



## PROGETTISTI

### CESARE TRINCHERO

ARCHITETTO - Iscr. Ord. Arch. PV n° 490  
Piazza Cornaggia, 19 - 27055 Rivanazzano (PV)  
Tel. 0383 944634 - Fax 0383 933920  
cesare.trinchero@archestudio.info  
www.archestudio.info

### ADRIANO ROSOLEN

DOTTOR ARCHITETTO  
BIM Manager - Certificato ICMQ n. 18.05151  
adriano.rosolen@archestudio.info  
www.archestudio.info

### COLLABORATORI INTERNI

ING. VIVIANA MINUDRIO  
BIM Specialist - Certificato ICMQ n. 18-05222  
viviana.minudrio@archestudio.info

ARCH. FRANCESCA LAURIA  
BIM Specialist - Certificato ICMQ n. 18-05218  
francesca.lauria@archestudio.info

ING. ALICE RATTO  
alice.ratto@archestudio.info

## PROGETTO OPERE STRUTTURALI

### ING. GIUSEPPE TASSINARI

Viale L. Cilla, 54 - 48123 RAVENNA  
Tel. 0544 248148 - Fax 0544 248148  
giuseppe.tassinari@ingtassinari.it

## PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI

### STUDIO M s.t.a.

Ing. FABIO MELUCCI

Per. Ind. MATTIA MALERBA

Per. Ind. DANIELE URBINATI

strada Consolare Rimini-San Marino 51/c- 47924 (RN)  
Tel. 0541 395182 - Fax 0541 752354  
studio@studiomsta.it

## PROGETTO IMPIANTI MECCANICI

### PREVENZIONE INCENDI

### ING. LUIGI DE MICHELE

Via Cento n. 54/1 - LUGO - RA  
Tel. 0545 31873  
demichele@pdmprogetti.it

## PROGETTO OPERE IDRAULICHE

### ING. RAFFAELLA LOMBARDI

Via N. Copernico, 99 - 47122 FORLÌ (FC)  
Tel. 0543 795295 - Fax 0543 796310  
info@lspstudio.it

## COMMESSA:

21\_0001

## COORDINAMENTO GENERALE

G.V.M. ENGINEERING s.r.l.

Corso Garibaldi 11 - Lugo (RA)

## RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

FRANCESCO DAPPORTO

INGEGNERE

GVM Real Estate



## COMMITTENTE

GVM REAL ESTATE S.r.l.

Via Larga, 8 - 20122 Milano

## PROPRIETA'

GVM REAL ESTATE S.r.l.

Via Larga, 8 - 20122 Milano

## PROGETTO:

VARIANTE SOSTANZIALE AL PIANO URBANISTICO ATTUATIVO  
CON CONVENZIONE REGISTRATA IN DATA 12/10/2020

## OGGETTO:

RELAZIONE PER PARERE ALL'EX. ART. 37 L.E. 31/2002

## PROGETTO:

DEFINITIVO

## TAVOLA:

ARC015

## REVISIONE:

R02

## SCALA:

---

## DATA:

22.12.2021

N°:	TIPO DI ELABORAZIONE	REDAZIONE		VERIFICA		VALIDAZIONE	
		DATA:	NOME:	DATA:	NOME:	DATA:	NOME:
01	PRIMA EDIZIONE						
02	SECONDA EDIZIONE						
03	TERZA EDIZIONE						



# COMUNE DI COTIGNOLA

Provincia di Ravenna

o o o o o o o o o o o

## INSERIMENTO NUOVA AREA NEL POC

Cotignola (RA) – via Madonna di Genova

Committente: Villa Maria S.p.A.

5237

## RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Data

**20 APR 2016**



<b>1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
2.1 INDAGINI ESEGUITE .....	5
<b>3. CONSIDERAZIONI SU</b>	
<b>ALTIMETRIA - IDROLOGIA - LITOLOGIA - GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>8</b>
3.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E STRATIGRAFICHE .....	9
3.2 CONTESTO IDROGEOLOGICO ED IDROGEOLOGIA .....	13
<b>4. MODELLAZIONE LITOSTRATIGRAFICA .....</b>	<b>15</b>
4.1 GENERALITA' .....	15
4.2 INTERPRETAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E CARATTERIZZAZIONE .....	16
<b>5. CARATTERISTICHE SISMICHE .....</b>	<b>19</b>
5.1 PERICOLOSITÀ SISMICA .....	19
5.2 INDAGINI SISMICHE ESEGUITE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO .....	21
5.3 ANALISI SISMICA DI TERZO LIVELLO E MODELLAZIONE NUMERICA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	22
5.3.1 ELABORAZIONE .....	24
<b>6. VERIFICHE SULLA</b>	
<b>LIQUEFAZIONE DEI LIVELLI SABBIOSI E DEI CEDIMENTI POST SISMA .....</b>	<b>35</b>
6.1 ASPETTI GENERALI .....	35
6.2 METODI DI CALCOLO .....	35
6.3 RISULTATI DELLE VERIFICHE ESEGUITE .....	36
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	<b>43</b>
<b>8. ALLEGATI .....</b>	<b>45</b>

## 1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

---

- Decreto Ministeriale 14.01.2008, Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- PCM - Dip. Protezione Civile, Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica, Parti I, II e III. Roma settembre 2008.
- OPCM n.3316. Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza PCM n.3274 del 20.03.03.
- OPCM del 28.04.06 n. 3519 - Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale
- OPCM n. 3519 del 28.04.2006. Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone
- DGR 2193/2015. Aggiornamento indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna
- AGI- Associazione Geotecnica Italiana. Raccomandazioni sulle prove Geotecniche di laboratorio., 1994
- AGI, Associazione Geotecnica Italiana. Raccomandazioni sulla programmazione e esecuzione delle indagini geotecniche, 1977

## 2. PREMESSA

---

La presente indagine geologica è stata eseguita, su incarico della Società Villa Maria Group, poiché l'Unione dei Comuni della Bassa Romagna ha espressamente richiesto l'esecuzione di uno studio geologico e sismico di III livello (ai sensi del DGR n.2193/2015 della Regione Emilia-Romagna), per l'inserimento nel POC di una nuova area, di proprietà del Committente, sita in via Madonna di Genova. Per tale ambito, attualmente a destinazione agricola, è prevista una destinazione per la realizzazione di servizi ed attrezzature a servizio del vicino complesso ospedaliero di Villa Maria Cecilia.

Cartograficamente l'area in esame ricade nel foglio 239030 - Solarolo (scala 1:10.000) della Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia Romagna.

La figura 1.1 localizza l'area oggetto di studio.

Le coordinate del sito, riferite all'ellissoide ED50, sistema di riferimento per la carta di pericolosità

dell'INGV, sono le seguenti:

- **Latitudine:** 44.397067
- **Longitudine:** 11.897996

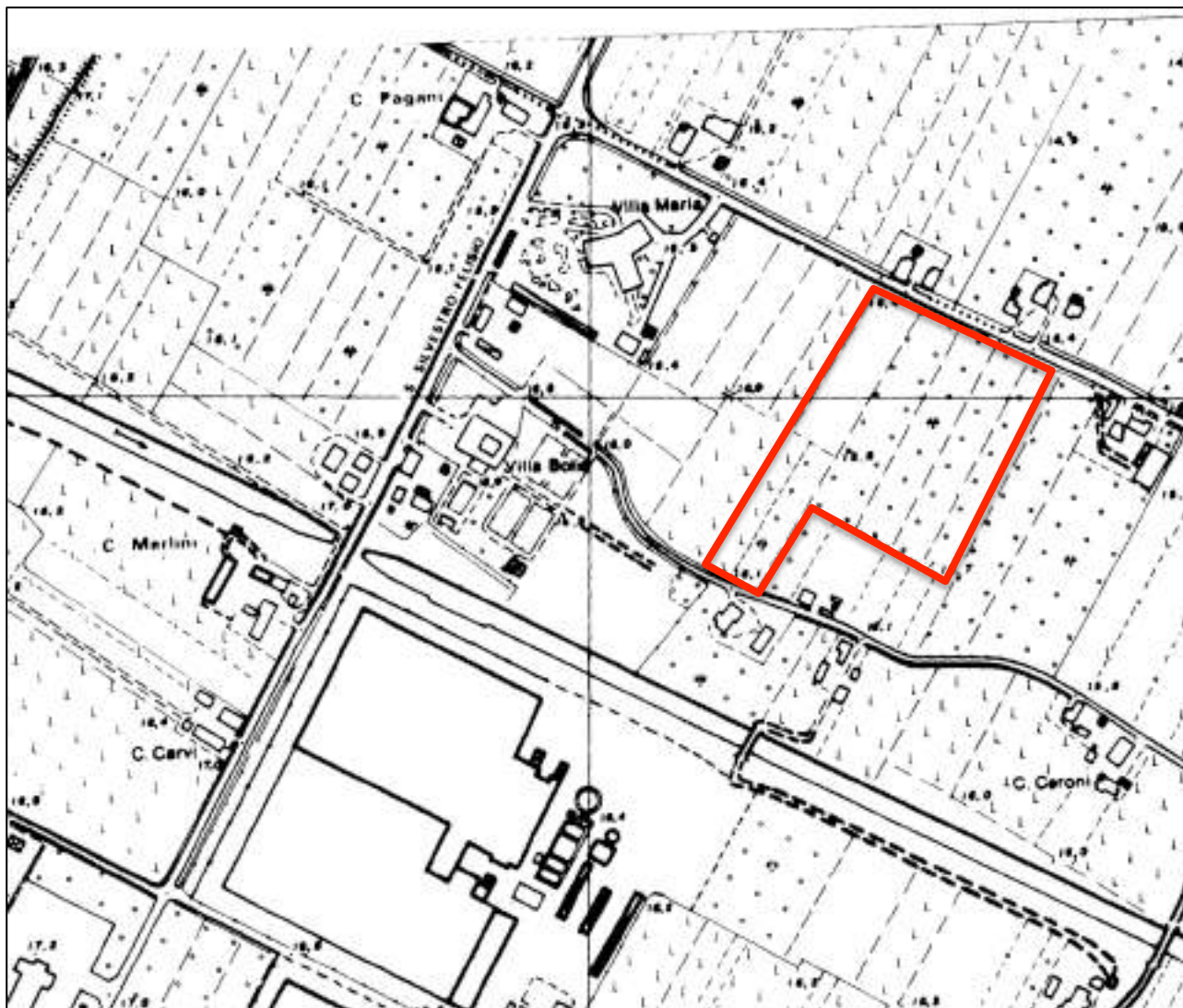


Figura 1.1 – Localizzazione dell'area interessata riportata sulla CTR (scala originale 1:10000)

Per verificare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni in oggetto, oltre al rilevamento diretto ed alla ricerca bibliografica, è stata svolta una campagna preliminare di indagini geognostiche consistente nell'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche con piezocono (CPTU) e n. 2 registrazioni del rumore sismico (microtremori) del sottosuolo con tecnica HVSr.

Si è inoltre fatto riferimento alle stratigrafie dei pozzi esistenti e ai dati relativi a precedenti

indagini geologiche eseguite nei dintorni (archivio personale e Servizio Geologico Regione E-R).

I dati ottenuti con le indagini geognostiche, e quelli ricavati dai dati bibliografici disponibili, hanno consentito la ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo e la parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

Il presente studio è stato redatto in fase di Piano Operativo Comunale. Nelle successive fasi di pianificazione e nella fase di progettazione dovranno essere redatti specifici approfondimenti, sulla base di indagini geognostiche integrative, come previsto dal DM 11.3.88 e dal DM 14.1.2008.

## 2.1 INDAGINI ESEGUITE

La necessità di elaborare lo studio di Microzonazione, spinto fino al “terzo livello” di approfondimento, ha indirizzato all’esecuzione di specifiche prove geognostiche e geofisiche (fig. 2.1), di seguito elencate:

- n. 3 penetrometrie statiche, con punta elettrica dotata di piezocono (CPTU), sono state spinte fino a profondità comprese tra -30,10/30,45 metri dal p.c. Le prove sono state realizzate con un penetrometro dotato di spinta da 200 kN (foto 1-2-3), montato su mezzo semovente. La punta piezometrica utilizzata presenta caratteristiche standard ed i parametri di resistenza rilevati ( $Q_c$ ;  $f_s$ ;  $u_2$ ) sono stati acquisiti per ogni cm di avanzamento. La successiva elaborazione ha poi consentito la stima dei principali parametri geotecnici. In allegato sono riportati i grafici e le elaborazioni delle prove CPTU eseguite.
- Sono disponibili numerosi dati bibliografici, da indagini pregresse e/o tratti dal Servizio Sismico Regionale, consistenti in prove penetrometriche CPT, alcuni sondaggi meccanici, e stratigrafie di pozzi per acqua.
- n. 2 registrazioni del rumore sismico (microtremori) del sottosuolo con tecnica HVSR.

Le registrazioni sono state eseguite con strumentazione tromografica portatile (Tromino). Si tratta di un apparecchio portatile, dalle dimensioni di 10x7x14 cm e 1 kg di peso, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. L'elaborazione fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), e consente di stimare le frequenze fondamentali di risonanza  $f_r$  del sottosuolo:  $f_r = V_s/4 \cdot H$  (con  $H$  = spessore dello strato). I risultati delle registrazioni eseguite, opportunamente calibrati con la stratigrafia, desunta dalle prove in situ eseguite e dai dati bibliografici disponibili, forniscono un ulteriore e utile supporto alla ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo e alla stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di sottosuolo investigato. In allegato si trovano i report delle acquisizioni tromografiche eseguite.

- È inoltre disponibile n.1 prospezione sismica, eseguita nel novembre 2009 con il metodo Masw (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo, in occasione di un ampliamento della vicina clinica. Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente). La strumentazione utilizzata è quella classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo a 24 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su p.c..

Sono state effettuate 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna, per il metodo passivo e una registrazione da 2 secondi, per il metodo attivo. I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (24 bits, range dinamico 117 dB), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello  $V_s$ /profondità attendibile.

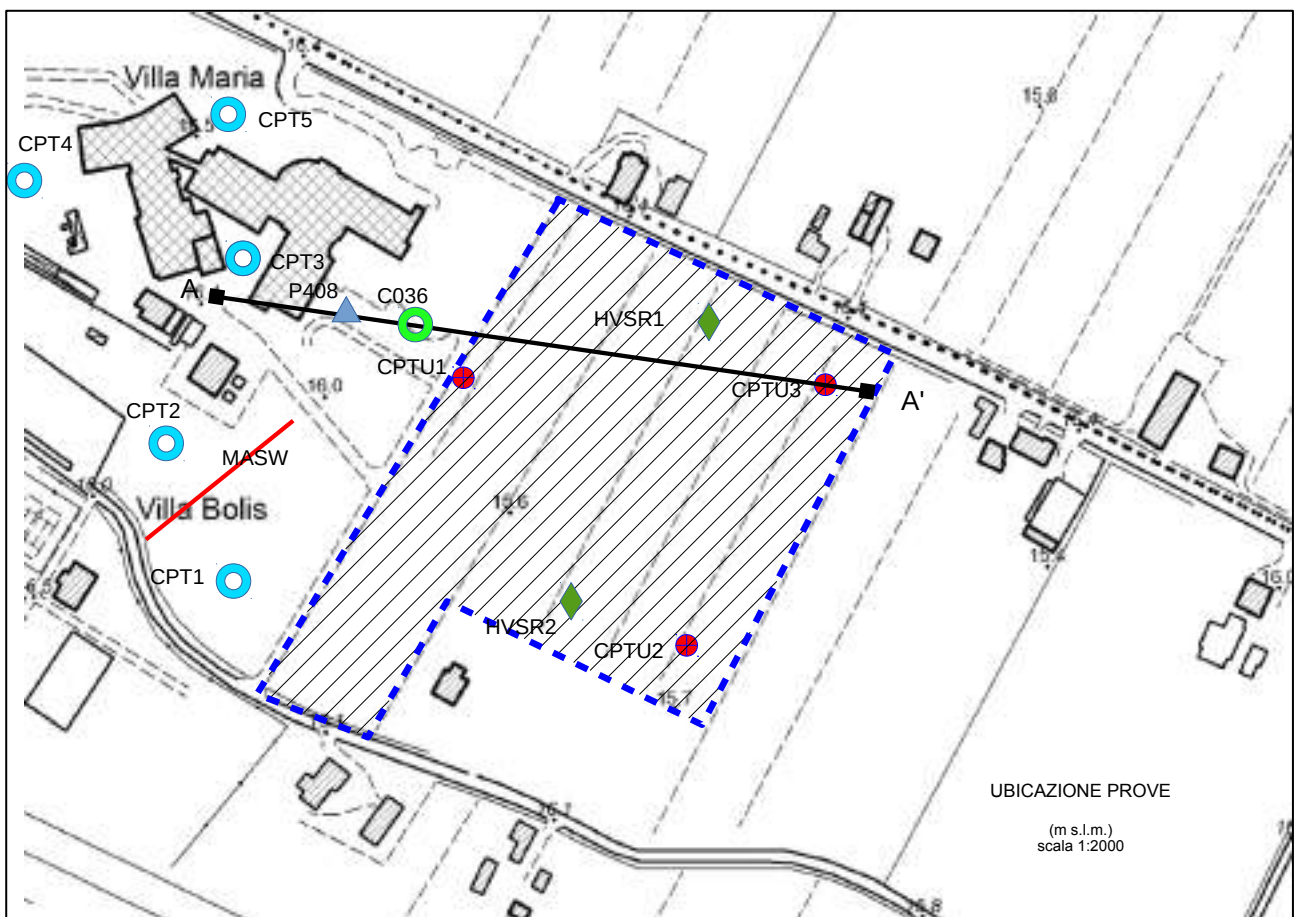


Fig: 2.1 – ubicazione area e prove



### 3. CONSIDERAZIONI SU ALTIMETRIA - IDROLOGIA - LITOLOGIA - GEOMORFOLOGIA

---

Le tematiche riportate nel titolo verranno esaminate in un unico capitolo poiché, in relazione all'ubicazione dell'area in oggetto, risultano strettamente legate tra di loro e vicendevolmente si influenzano.

L'area in esame è situata nella zona intravalliva compresa tra i Fiumi Senio e Santerno, ad ovest dell'abitato di Cotignola (RA).

Per quanto riguarda l'altimetria, la quota media dell'area è di circa 15,4/15,7 m slm, e si possono osservare lievi pendenze che, in genere, si sviluppano ortogonalmente ai corsi d'acqua presenti, e che vanno a sovrapporsi alla generale pendenza regionale verso NE.

Il territorio del Comune di Cotignola ha una superficie di circa 35 kmq, con un'altitudine di 19 metri sul livello del mare, e ricade all'interno dell'ampio bacino sedimentario padano, precisamente nella parte SUD-EST molto vicina al limite fra la Pianura Padana ed i primi rilievi appenninici. Il motivo deposizionale locale è caratterizzato da trasgressioni e regressioni, che hanno dato luogo a depositi principalmente d'origine continentale e fluviale. Sopra i sedimenti fini, d'origine marina, sono andate depositandosi le alluvioni trasportate dai corsi d'acqua provenienti dai rilievi appenninici; queste sono costituite principalmente da terreni pelitici con intercalate lenti sabbiose o strati d'esiguo spessore, sempre a matrice sabbiosa. Nella parte alta del Pliocene si trovano invece strati argillosi, la cui distribuzione è stata condizionata dalla subsidenza differenziale verificatasi in prossimità della costa.

I terreni del Quaternario continentale (Olocene), sono invece quasi esclusivamente sabbiosi, con alcune aree ghiaiose in corrispondenza dell'antica fonda valle. I suoli lentiformi, argillosi, hanno invece avuto origine in concomitanza con la regressione marina che ha trasformato anche il

territorio del Comune di Cotignola in un'enorme piana alluvionale. I terreni alluvionali recenti, hanno una generale pendenza verso Nord-Est, secondo l'attuale direzione di deflusso dei corsi d'acqua appenninici. A volte presentano, localmente, un assetto più irregolare, per la presenza di dossi fluviali.

L'idrologia superficiale oltre che dalla presenza del Fiume Santerno (circa 5000m ad ovest) e del Torrente Senio e (circa 4000 metri ad est) è caratterizzata da una rete di canali e fossi di scolo ai quali è affidato il compito di convogliare le acque meteoriche e superficiali entro la rete principale di scolo e che, in accordo con la direzione generale del drenaggio superficiale, allontanano le acque verso NE.

Gli spartiacque superficiali sono definiti dai dossi fluviali e dal reticolo stradale.

### 3.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E STRATIGRAFICHE

L'area in oggetto si colloca in un contesto di pianura alluvionale e ricade nel F. 239-Faenza (scala 1:50000) della Carta Geologica d'Italia. La figura 3.1 riporta uno stralcio della cartografia geologica di pianura (Servizio Geologico Regione E-R) nel quale si può osservare che i depositi che affiorano in corrispondenza dell'area in esame appartengono al "Subsistema di Modena" (e vengono identificati con sigla AES8a). La successione stratigrafica è la seguente:

#### **SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO**

Depositi alluvionali e localmente deltizi in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. Limite inferiore in conforme sulle Sabbie di Imola (IMO). Limite superiore coincide col piano topografico. Comprende il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) non affiorante, ed il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES). Spessore massimo: circa 310 m nel sottosuolo della pianura. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE (~700.000 anni BP – Attuale)

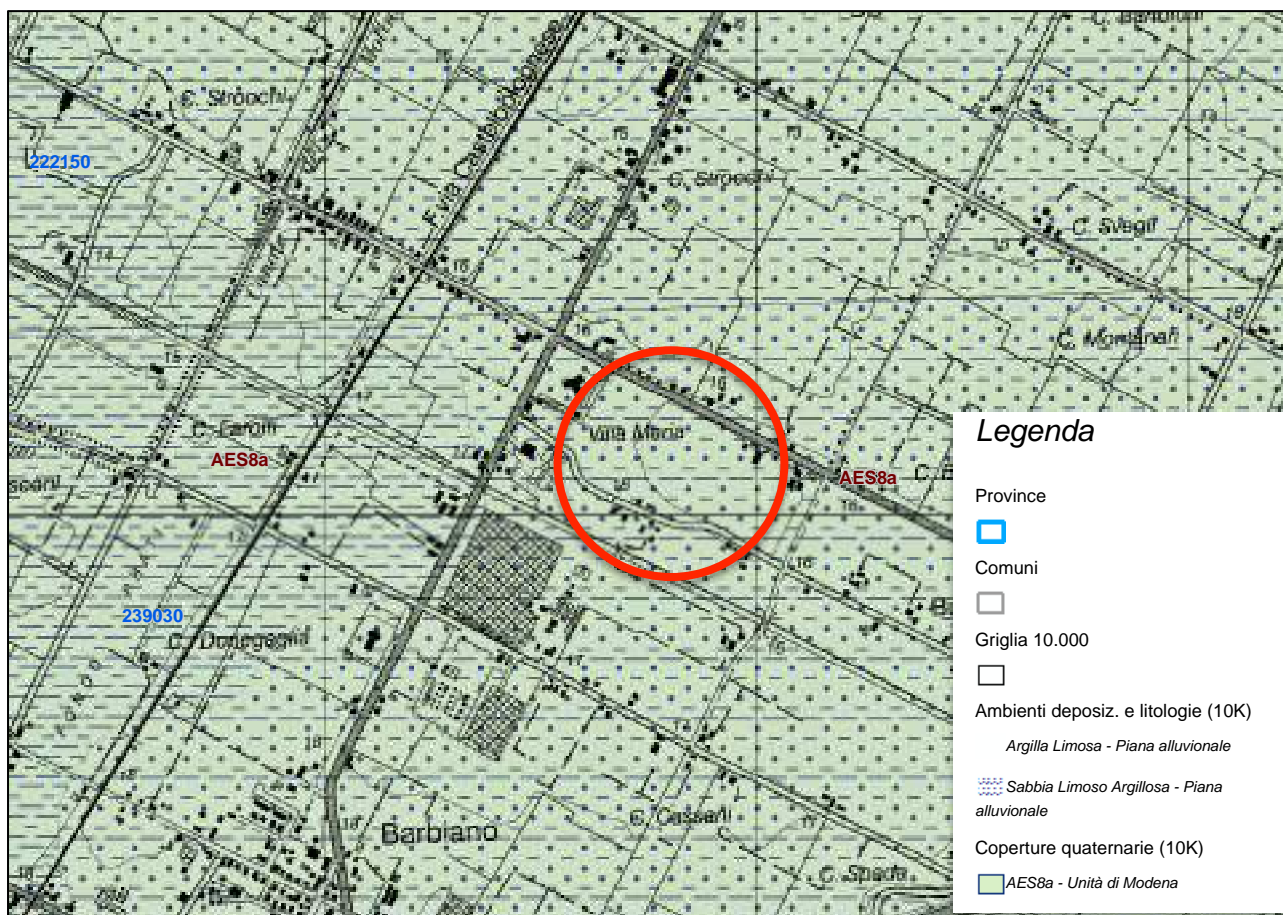


Figura 3.1 – Cartografia geologica tratta dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Il cerchio rosso indica l'area in esame.

### SUBSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di terrazzo alluvionale, conoide alluvionale e piana alluvionale. L'unità è parzialmente suddivisa in subsistemi (AES<sub>8</sub>, AES<sub>7</sub>, AES<sub>6</sub>, AES<sub>5</sub> ed AES<sub>4</sub>). Ogni subsistema è limitato in affioramento da una scarpata di terrazzo fluviale. Nel sottosuolo ogni subsistema è correlato con un ciclo di sedimenti alluvionali fini alla base e via via più grossolani verso il tetto.

Nei settori di interfluvio, le porzioni più antiche di questa unità non sono differenziate in subsistemi. Si tratta di depositi prevalentemente fini, con subordinate ghiaie e sabbie grossolane in lenti discontinue alla base, dove hanno spessore fino a 5 m e costituiscono dei canali che incidono il substrato. Verso l'alto si passa ad un'alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose con livelli di calcinelli e locali accumuli di noduli ferro manganesiferi. Questi depositi diventano via-via più fini verso l'alto. Presenti all'interno dell'intera unità alcuni suoli intercalati.

Limite inferiore in conforme sulle sottostanti unità marine. Limite superiore coincidente col piano topografico.

Spessore massimo: circa 210 m nel sottosuolo della pianura.

PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE (350.00-450.000 anni BP – Attuale).

#### Subsistema di Ravenna (AES<sub>8</sub>)

Ghiaie, sabbie, limi ed argille di terrazzo alluvionale, conoide alluvionale e piana alluvionale. Limite inferiore conforme su AES<sub>7</sub> e sulle sottostanti unità marine. Limite superiore coincidente col piano topografico e costituito da un suolo relativamente poco evoluto, non calcareo, con fronte di alterazione compreso tra 0,5 e 1,5 m (Inceptisuolo) e contenente reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano, oppure da un suolo poco evoluto, calcareo (Entisuolo). La presenza di quest'ultimo identifica localmente l'Unità di Modena (AES<sub>8</sub>).

Spessore massimo: 20 m circa nel sottosuolo della pianura.

PEISTOCENE SUP.- OLOCENE (13 Ka – Attuale), definita su base radiometrica. Dove l'unità di

Modena non è presente, il tetto dl Subsintema di Ravenna è datato su base archeologica e radiometrica al periodo romano.

#### **Unità di Modena (AES<sub>8a</sub>)**

Costituisce la parte sommitale di AES<sub>8</sub>. Comprende sabbie, ghiaie, argille, limi e, subordinatamente, ghiaie di piana alluvionale.

Limite inferiore, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonato a parzialmente carbonato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Limite superiore coincidente col piano topografico e definito da un suolo calcareo privo di reperti archeologici di età romana o più antichi.

Spessore massimo 10 m circa nel sottosuolo della pianura.

Età post-romana (IV.VI sec. D.C. – Attuale), definita su base archeologica.

#### **Subsintema di Villa Verucchio (AES<sub>7</sub>)**

Ghiaie prevalenti di terrazzo alluvionale e conoide alluvionale spesse sino a 10 m circa in corrispondenza degli sbocchi vallivi, sormontate da limi e sabbie di piana inondabile e/o eluvio-colluviali. Limite inferiore inconforme sulle sottostanti unità marine. Limite superiore coincidente col piano topografico e costituito da un suolo evoluto (Alfisuolo) con fronte di alterazione potente sino a 2m.

Spessore massimo: 70 m circa nel sottosuolo della pianura.

PLESTOCENE SUP. (125 –18 ka).

#### **Subsintema di Bazzano (AES<sub>6</sub>)**

Ghiaie prevalenti di terrazzo alluvionale e conoide alluvionale spesse sino a 20 m circa in corrispondenza degli sbocchi vallivi, sormontate da limi e sabbie di piana inondabile e/o eluvio-colluviali, che nei settori intravallivi, raggiungono i 20 m di spessore.

Limite inferiore inconforme sulle sottostanti unità marine. Limite superiore coincidente col piano topografico e caratterizzato da un fronte di alterazione potente sino a 5 m, costituito da un suolo evoluto (Alfisuolo) in aree di conoide alluvionale e da un suolo relativamente meno evoluto (Inceptisuolo) nei settori intravallivi.

Spessore massimo: 50 m circa nel sottosuolo della pianura.

PLESTOCENE MEDIO

...

La figura 3.2 riporta la sezione n. 157, che attraversa l'area in esame con andamento SO-NE, (Servizio Geologico Regione E-R) nella quale si può osservare anche l'individuazione degli acquiferi regionali.

I dati raccolti a livello locale sono in buon accordo, per lo spessore indagato, con le indicazioni della cartografia geologica ufficiale. Le indagini geofisiche e geotecniche eseguite nel sito hanno permesso di ricostruire il modello geologico locale ed indicano:

- CPTU1-CPTU2-CPTU3 - (spinte fino a circa -30/31 m) si osserva una generale presenza di terreni argilloso-limoso, entro i quali sono presenti livelli sabbiosi consistenti, alle quote di 8/10m, 13/15m, 23/26m (29m CPTU1)

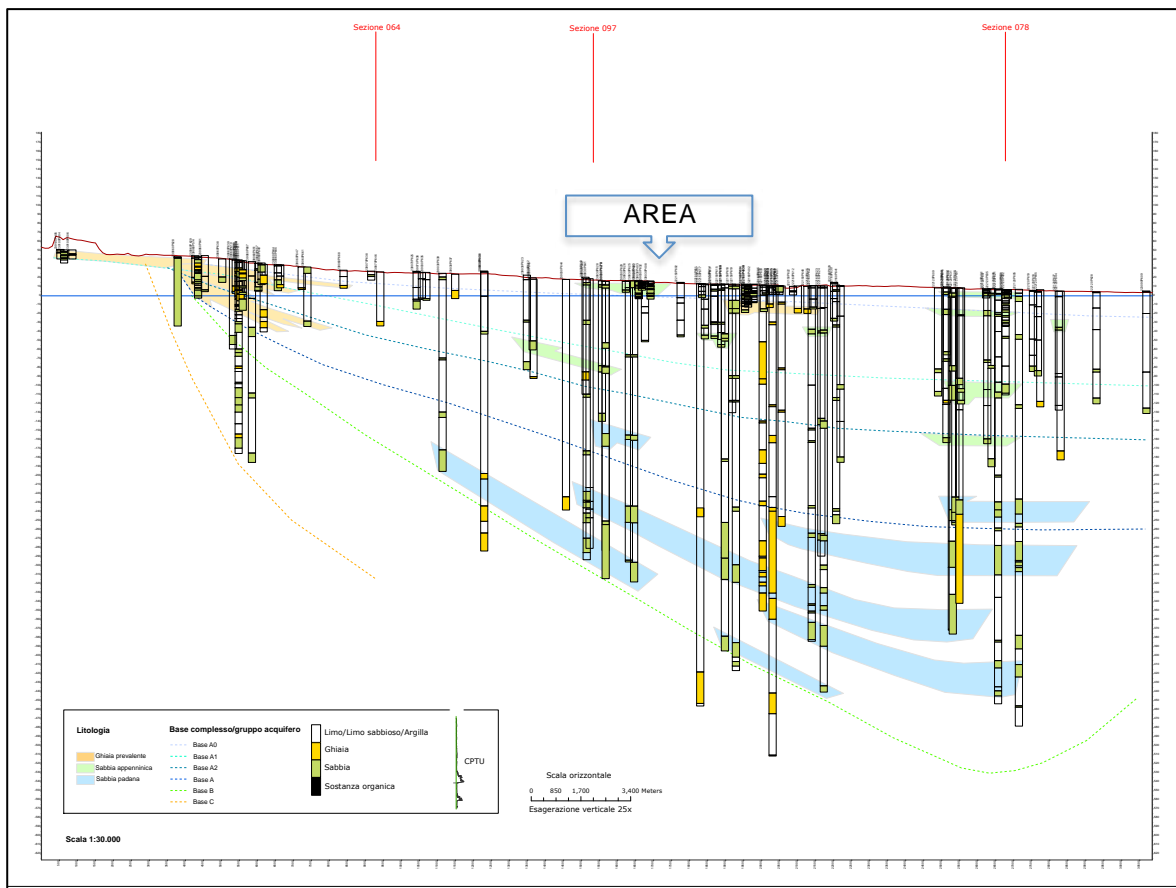


Fig. 3.2 Sez. 157 (Carta Geologica dell'Emilia Romagna – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli , non in scala)

- CPT1-CPT2-CPT3-CPT4-CPT5 - (NOV 2013 - CPT eseguite per l'ampliamento delle adiacenti strutture ospedaliere, spinte fino a -40 m) presenza di un livello superficiale limoso-sabbioso (dallo spessore di 3 m circa), con intercalazioni limo-argillose e lenti sabbioso-limose; prevalenza di argille/argille limose (fino a -40 m circa dal p.c.), caratterizzate da una discreta uniformità latero-verticale (indicante una certa stabilità delle condizioni di deposizione nel tempo)
- P408-C035-C036-C037-C038 (sondaggio, spinto a -12m, e CPT, spinte a -10/15 m, eseguite per un primo ampliamento delle strutture ospedaliere) primo livello argilloso-limoso, fino a -2,5/3m, poi limi sabbioso-argillosi, fino a -6m circa; seguono sabbie fini a diverso contenuto limoso, fino -20m
- P632-P625-P626 (pozzi, con profondità comprese tra 70/334m) terreno limoso-sabbioso fino a -7m, poi argille limose fino a -65/80m ed argille, per lo più consistenti, entro le quali sono presenti livelli sabbiosi alle quote di 65/70m, 81/84m, 171/177m, 250/268m, 321/334m.
- HVSR1-HVSR2-MASW
  1. Il primo intervallo ha velocità imputabili ad un terreno argilloso di medio-bassa compattezza, fino a profondità di 2,00/2,40 m p.c.
  2. Il secondo intervallo, con una profondità di 8,00/8,40 m p.c. Livello superficiale più compatto, composto principalmente da livelli di limi argilloso-sabbioso e sabbie limose.
  3. Il terzo intervallo, con una profondità di 73,00/83,00 m p.c. Livello compatto, composto principalmente da sabbie e sabbie limose, intervallate con livelli argillosi.
  4. Il quarto intervallo, con una profondità di 463,00 m p.c. Substrato compatto, composto principalmente da sabbie e sabbie limose, che in profondità subiscono un aumento del materiale costipato e di densità.
  5. oltre 463,00 m p.c. il substrato sopra descritto subisce un aumento di densità.

### 3.2 CONTESTO IDROGEOLOGICO ED IDROGEOLOGIA

Attualmente il livello statico della falda, ricavato dalle profondità rilevate entro i fori di sondaggio, è risultato (fig. 3.3) compreso tra  $-1,0/-1,3$  m. dal p.c. (caratterizzato da dislivelli dell'ordine di 10/20 cm).

Nel giugno 1992, in occasione di un primo ampliamento delle strutture ospedaliere, furono registrate profondità comprese tra  $-1,85/-1,92$  m dal p.c. (fig. 3.4).

Nel novembre 2009, all'interno delle 5 CPT eseguite per un nuovo ampliamento di Villa Maria, furono registrate profondità comprese tra  $-2,4/-3,0$  m. dal p.c.

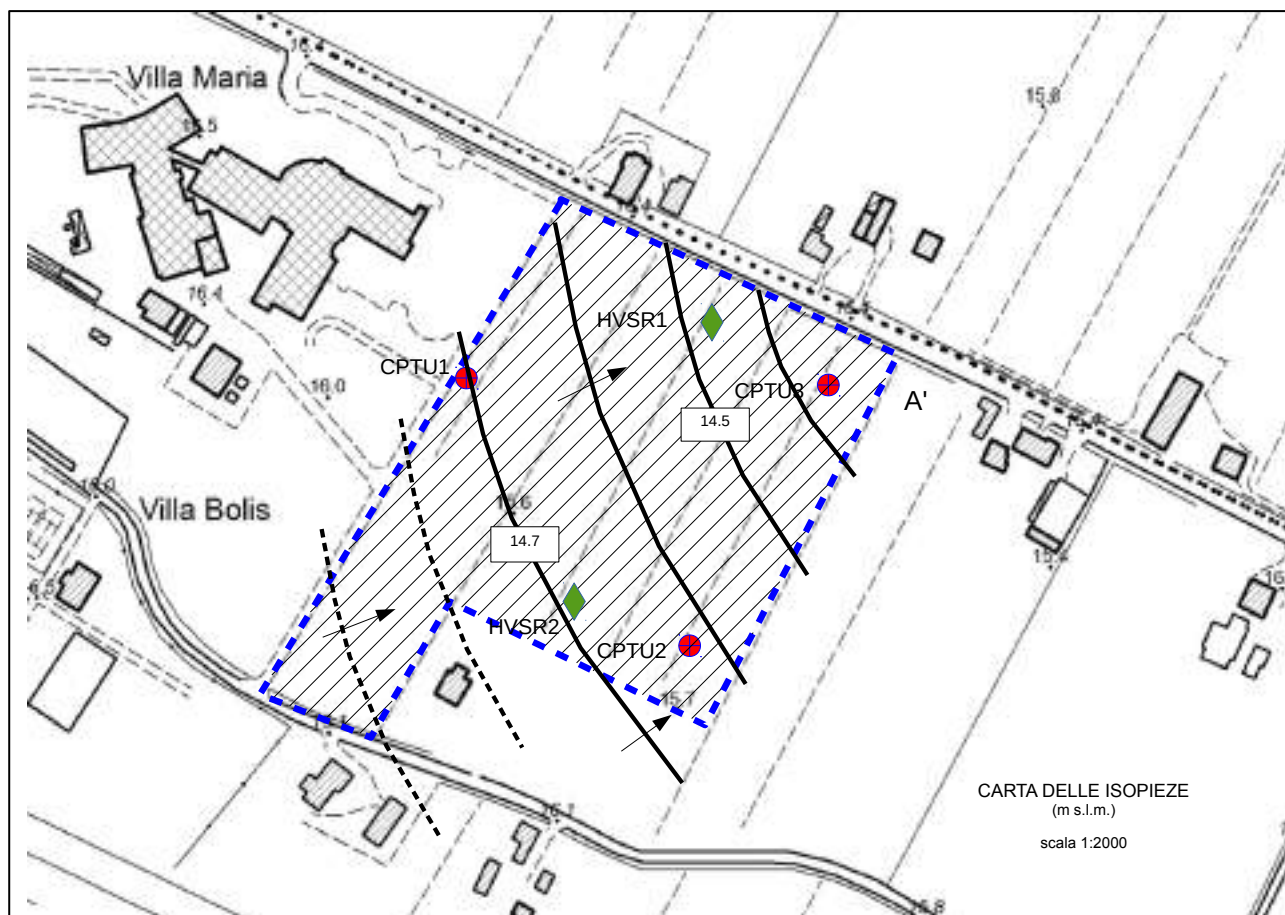


Fig. 3.3 - Isopieze della superficie freatica (31.3.2016) – È evidente la direzione di scorrimento verso NE, compatibile con quella media regionale, e priva di zone perturbate imputabili a strutture sepolte.

L'alimentazione avviene generalmente per filtrazione delle acque meteoriche attraverso i terreni superficiali.

Considerando i diversi periodi del rilievo, e le caratteristiche dei terreni presenti, si può ipotizzare

la seguente oscillazione stagionale del livello medio freatico (per periodi di normale piovosità):

- livello minimo -1,0 m circa dal p.c.
- livello massimo -3/3,5 m circa dal p.c.

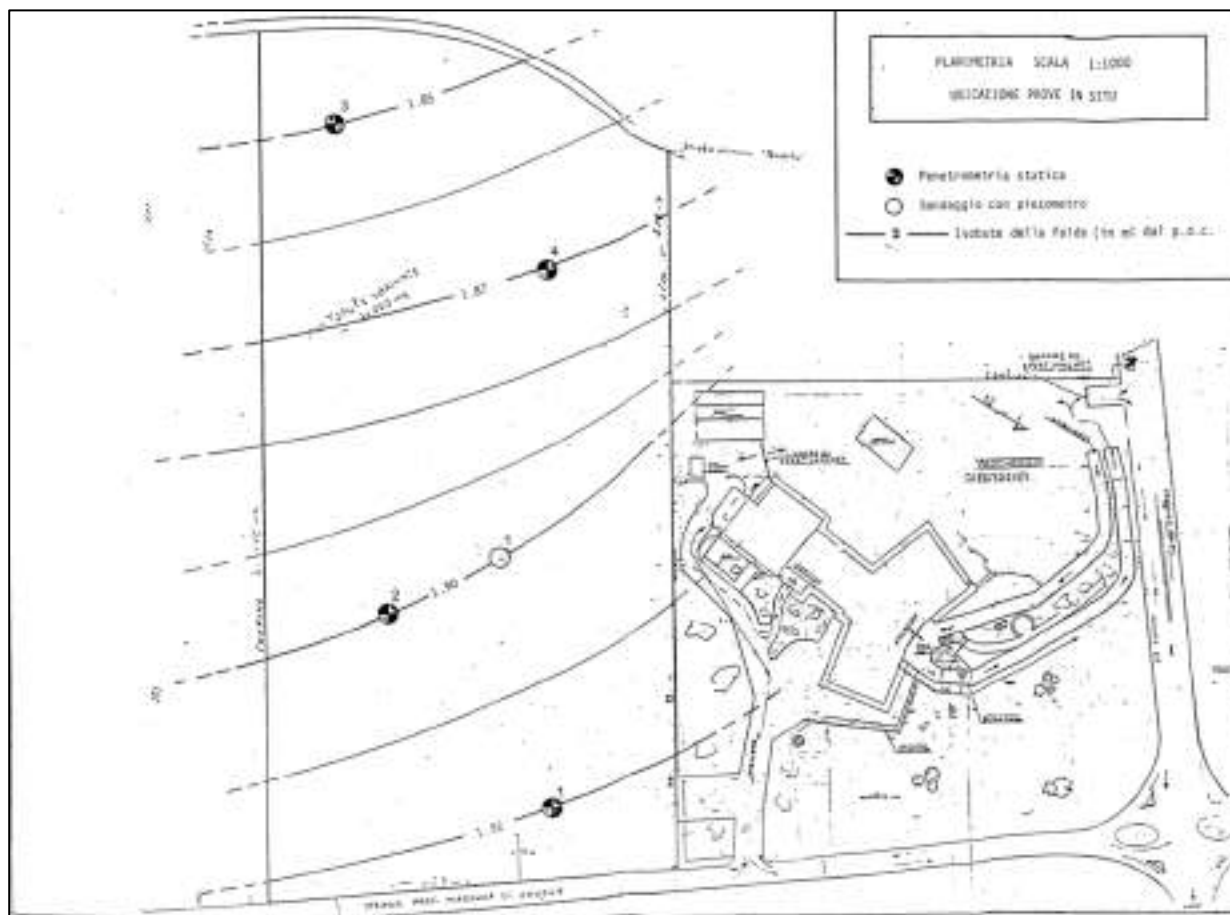


Fig. 3.4 - Carta delle isobate della superficie freatica (giugno 1992)

Per quanto riguarda il punto di vista idraulico si può osservare che la regimazione locale secondaria è fornita dai fossi di testata e trasversali dei campi agricoli.

Non sono state osservate particolari criticità idrauliche.

## 4. MODELLAZIONE LITOSTRATIGRAFICA

---

### 4.1 GENERALITA'

Nel corso dello studio si è provveduto a valutare, dal punto di vista geologico-tecnico, l'edificabilità dell'area in oggetto, e le eventuali limitazioni dovute ad aspetti direttamente legati al territorio (geomorfologia, idrologia, ecc.). Ad una prima fase di acquisizione dei dati bibliografici disponibili (sostanzialmente si tratta di altre indagini eseguite nelle vicinanze, e/o contenute nel database del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione E.R.) è seguita una verifica diretta delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni; allo scopo sono stati utilizzati i risultati forniti da tre prove penetrometriche statiche, con punta elettrica dotata di piezocono (CPTU- Probe code: MKJ160), eseguite all'interno dell'area in esame. Per l'esecuzione delle penetrometrie è stato utilizzato un penetrometro statico di tipo olandese, con spinta di 200 KN, semovente ed auto-ancorante. Le prove sono state spinte fino ad una profondità di indagine pari a 30/31m dal p.c. (profondità compatibile con le indicazioni delle NTC08).

Caratteristiche strumentazione utilizzata:

- punta conica elettrica  $\varnothing$  35.7 mm, area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica elettrica angolo di apertura:  $\alpha = 60^\circ$
- altezza manicotto laterale (  $\varnothing = 35.7 \text{ mm}$  -  $h = 133 \text{ mm}$  -  $A_m = 150 \text{ cm}^2$ )
- pressione neutra rilevata attorno al cono (U2)
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm/sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- rilievo inclinazione della sonda
- spinta max nominale dello strumento 200 KN

In allegato sono riportati i risultati in forma grafica e numerica

È stata dapprima eseguita una interpretazione della litologia (che ha fornito le indicazioni riportate alle pagine precedenti) ed alla elaborazione attraverso l'utilizzo dei programmi *GeoTecA 5.1.2* (Interstudio) e *Static Probing 2016* (Geostru).

Nella figura 4.1 sono riportate le documentazioni fotografiche dell'esecuzione delle CPTU.





Fig. 4.1 Documentazione fotografica

#### 4.2 INTERPRETAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E CARATTERIZZAZIONE

Dopo avere ricostruito l'assetto stratigrafico dell'area si è provveduto alla discretizzazione delle diverse unità litologiche individuate, ottenendo una caratterizzazione geotecnica, preliminare, dell'Ambito studiato (ricavata dalle prove CPTU). In allegato sono riportate le proprietà geomeccaniche dei terreni indagati e le correlazioni utilizzate.

Le prove penetrometriche hanno evidenziato un primo intervallo (fino a circa -2/2,5m circa) caratterizzato da sedimenti limosi, caratterizzati da qc medio di 15/16 kg/cmq.

Più in profondità, fino a -7/8 m circa, troviamo limi argillosi ed argille limose con resistenze alla

punta qc  $< 1.0 \text{ kg/cmq}$ . Più in profondità si può osservare come tutte le verticali indagate siano caratterizzate da comportamento prevalentemente coesivo, con la presenza di livelli limoso-sabbiosi isolati, ma caratterizzati da una discreta continuità laterale.

Come si può osservare i primi dieci metri circa non risultano particolarmente indicati per manufatti di un certo impegno costruttivo, per i quali potrebbe risultare necessario l'utilizzo di fondazioni profonde (pali). Sarà comunque compito delle successive analisi, relative alle fasi di attuazione e/o costruzione, valutare la tipologia di fondazione più idonea, la profondità di incastro e la valutazione dell'entità dei cedimenti attesi (assoluti e/o differenziali), in funzione delle nuove strutture.

A livello preliminare è stato valutato il carico limite ( $Q_{lim}$ ) per una fondazione superficiale nastriforme, attestata a  $-1,0 \text{ m}$  dal p.c., utilizzando i parametri più cautelativi ricavati dalle prove penetrometriche.

Poiché, per fondazione nastriforme, il volume significativo è dell'ordine di 1-2 volte la larghezza della fondazione (NTC08), lo spessore coinvolto risulta quello compreso tra  $-1\text{m}$  e  $-3\text{m}$  dal p.c., posti  $B=1\text{m}$  e  $D=-1\text{m}$ .

Il calcolo del carico limite ( $Q_{lim}$ ) è quindi stato effettuato utilizzando, cautelativamente i parametri relativi allo spessore meno performante. La falda è stata considerata a  $-1,0 \text{ m}$  (massimo livello di risalita ipotizzato, in normali condizioni di piovosità).

Nella tabella sottostante vengono riportati i valori, preliminari, dei parametri caratteristici ottenuti dalle elaborazioni delle CPTU (eseguite con il programma GeoTecA 5.1.2-Interstudio e Static Probing 2016-Geostru), per i primi dieci metri. I valori riportati sono quelli medi:

Profondità (m)	0,8÷2	2÷7	7÷10
Descrizione	Limi argillosi-limi sabbiosi	Limi argillosi-argille limose	Limi argilloso sabbiosi
$\gamma_m$ (T/m <sup>3</sup> )	1,66	1,72	1,68
$R_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	15,9	9,3	19,4
$Cu_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0,37	0,49	-
$\phi_m$ (°)	-	-	29
$mv_m$ (cm <sup>2</sup> /kg)	0,03062	0,02481	0,02220

La valutazione, eseguita sulla base dell'equazione proposta da Brinch-Hansen (1970-74) per condizioni non drenate, ha fornito il seguenti valori:

$$q_{lim} = cu \times Nc \times sc \times dc \times ic \times gc \times bc + q$$

dove:

$$q = \gamma \times D$$

$sc$  (fattore di forma)

$dc$  (fattore di profondità)

$ic$  (fattore di inclinaz. del carico)

$gc$  (fattore di inclinaz. del terreno)

$bc$  (fattore di inclinaz. del piano posa)

#### CALCOLO DEL CARICO LIMITE

METODO DI BRINCH - HANSEN (1970 -74)

Dati:

B =	1.00	[m]	$\gamma$ =	16.60	[kN/m <sup>3</sup> ]
ex =	0.00	[m]	$\phi$ =	0.0	[°]
L =	10.00	[m]	c =	0.00	[kN/m <sup>2</sup> ]
ey =	0.00	[m]	cu =	37.00	[kN/m <sup>2</sup> ]
D =	1.00	[m]	ca =	1.00	[kN/m <sup>2</sup> ]
zw =	1.00	[m]	$\beta$ =	0.0	[°]
			$\eta$ =	0.0	[°]

In presenza di falda si

Componenti del carico applicato:

V =	0.00	[kN]	H =	0.00	[kN]
-----	------	------	-----	------	------

Elaborazione dati:

B' =	1.00	[m]	kp =	1.00	coeff. di spinta passiva
L' =	10.00	[m]	$\delta$ =	0	

<b>Fattori di forma:</b>	<b>Fattori di profondità:</b>	<b>Fatt. inclinaz. carico:</b>
sc = 1.020	dc = 1.400	ic = 1.000
sq = 1.000	dq = 1.000	iq = 1.000
sy = 1.000	dγ = 1.000	iγ = 1.000
<b>Fatt. incl. piano fondaz.:</b>	<b>Fatt. incl. Terreno:</b>	<b>Verifiche del metodo:</b>
bc = 1.000	gc = 1.000	$H < V \cdot \tan \delta + Af \cdot ca$ Ok
bq = 1.000	gq = 1.000	$\beta \leq \phi$ Ok
bγ = 1.000	gγ = 1.000	$iq, i\gamma > 0$ Ok
		$\beta + \eta \leq 90^\circ$ Ok
Nq = 1.000	Q = 2882.61 [kN]	293.94 [t]
Nc = 5.142	q <sub>lim</sub> = 288.26 [kN/m <sup>2</sup> ]	2.939 [kg/cm <sup>2</sup> ]
Nγ = 0.000		

B =	larghezza fondazione	$\gamma$ =	peso di volume del terreno
ex =	eccentricità lungo B	$\phi$ =	angolo di attrito interno
L =	lunghezza fondazione	c =	coesione
D =	approfondimento piano di posa	cu =	coesione non drenata
zw =	quota falda	ca =	adesione lungo la base (ca ≤ c)
		$\beta$ =	inclinazione del pendio (terreno)
V =	comp. verticale del carico	$\eta$ =	inclinazione del carico
H =	comp. orizzontale del carico	$\delta$ =	angolo di attrito terreno-fondazione

## 5. CARATTERISTICHE SISMICHE

### 5.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

La recente riclassificazione della sismicità del territorio (Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003) ha individuato quattro valori di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; il territorio nazionale è, di conseguenza, stato suddiviso in quattro zone. Ogni zona è stata individuata in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Ai sensi di questa normativa il territorio del Comune di Cotignola rientra in zona sismica 2. Nella fig. 5.1 è riportato il risultato della consultazione delle banche dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, relativa-mente alle osservazioni macro sismiche dei terremoti (DBMI11),

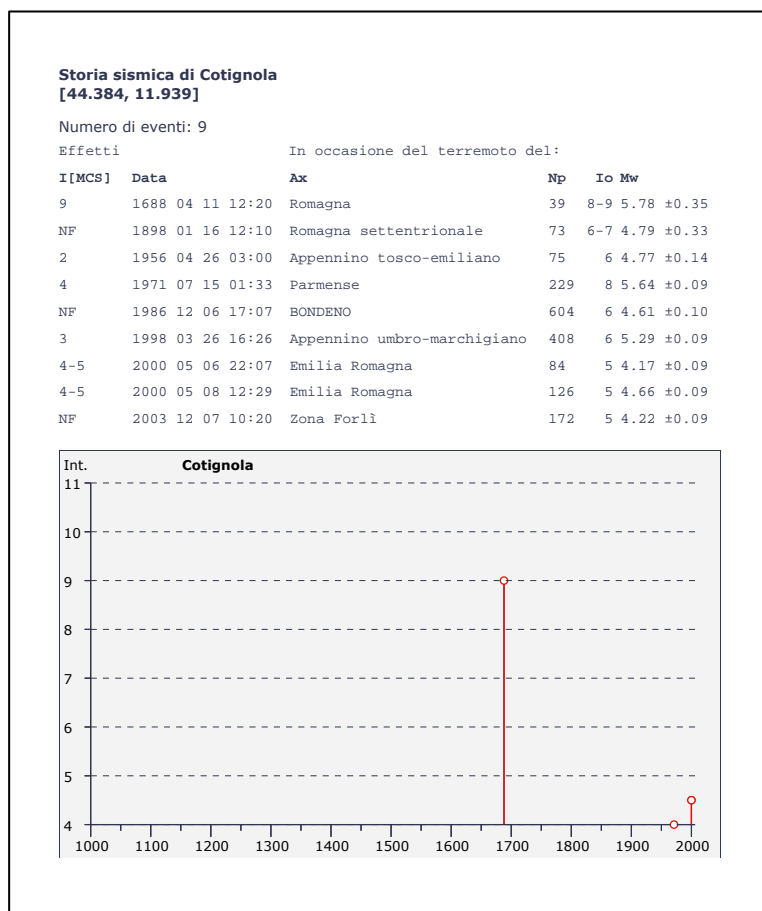


Fig. 5.1 osservazioni macrosismiche dei terremoti (DBMI11)

dal quale risulta che 9 eventi sismici con  $M_w > 4$  hanno caratterizzato la storia sismica di Cotignola.

I valori massimi ( $M_w > 5$ ), sono stati registrati a distanze  $> 70/80$  km circa, per lo più nell'area Romagnola e nell'Appennino tosco-emiliano e umbro-marchigiano. È inoltre evidente la lacuna temporale per il periodo antecedente il 1680.

Sotto il profilo sismico, gli studi sulla pericolosità sismica (a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia-INGV), hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9, in base alla quale l'area in oggetto ricade nell'ampia zona 912.

Analizzando il database delle sorgenti sismogenetiche del territorio nazionale DISS 3.2.0 (INGV), l'area in esame, la cui sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico sepolto, ricade all'interno di una sorgente sismogenetica composta: ITCS011 Ascensione-Armaia e ITCS109 Fusignano-Villanova, caratterizzate rispettivamente da magnitudo massima attribuita  $M = 5.8-6.0$

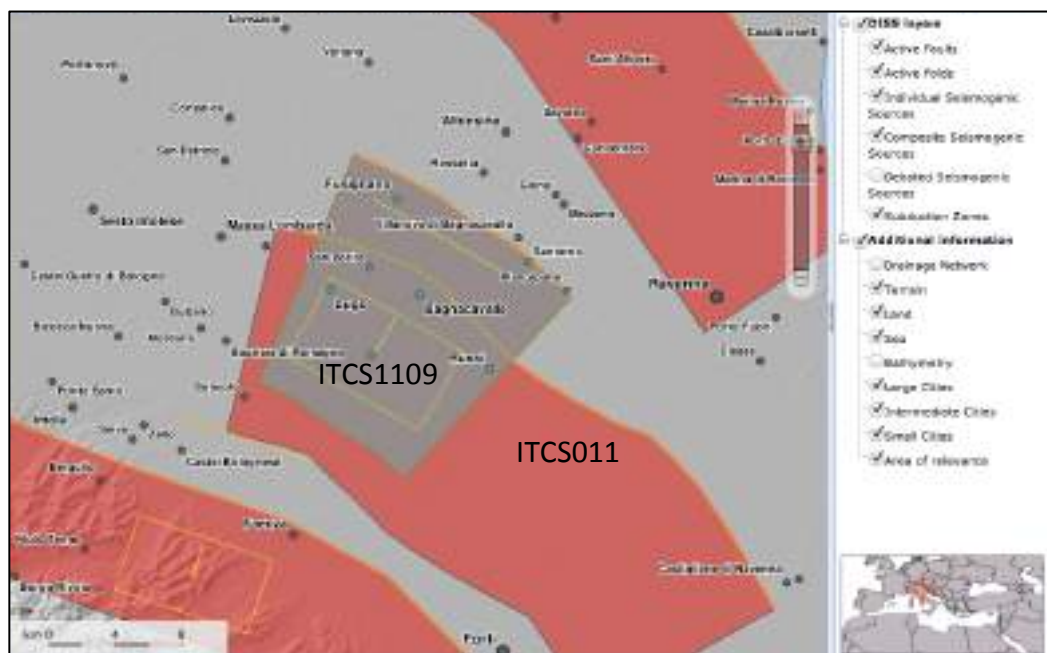


Figura 5.2 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.2.0.

Lo studio geologico e sismico elaborato a corredo del PSC ha evidenziato come l'area in esame sia collocata tra due paleoalvei, come si può osservare nella Fig. 5.3. Per tale ragione è stato richiesto un ulteriore approfondimento finalizzato alla definizione quantitativa della liquefacibilità dei terreni e della risposta sismica locale.

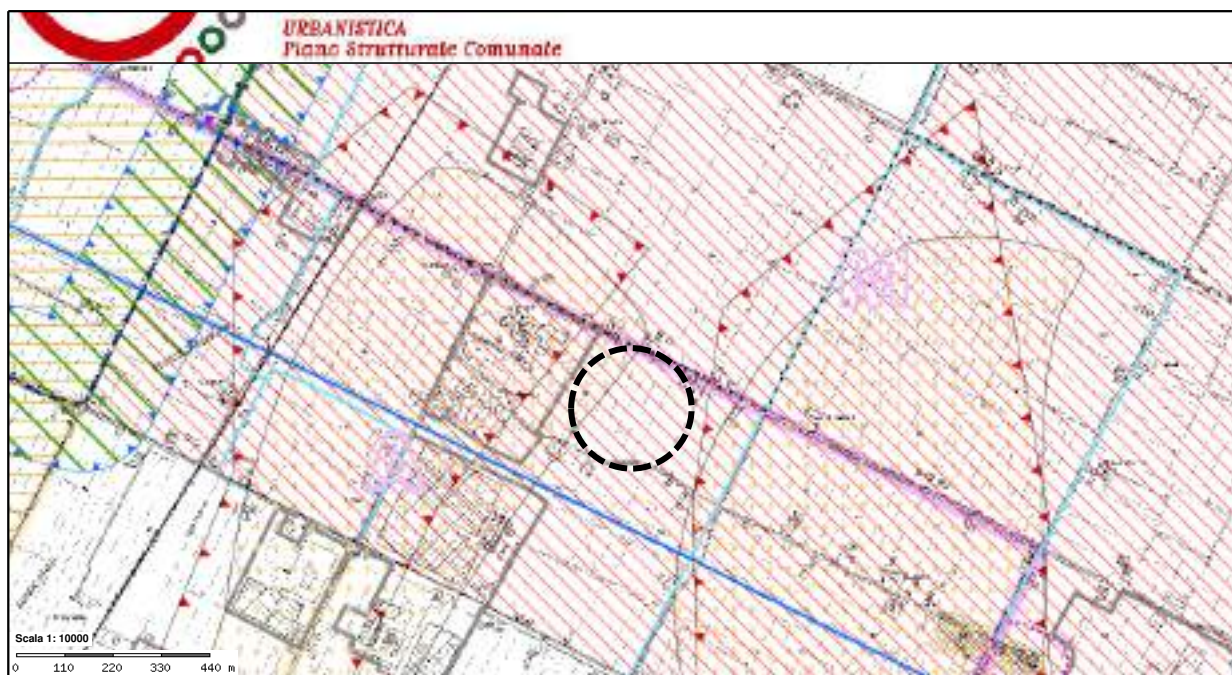


Figura 5.3 – PSC Carta dei vincoli e delle tutele. Il puntinato giallo individua le aree di paleoalveo ed il cerchio tratteggiato l'ubicazione dell'area in esame

## 5,2 INDAGINI SISMICHE ESEGUITE E CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO

Lo studio ha come scopo l'elaborazione di un modello geofisico per il sito investigato, con la ricostruzione di un profilo sismo-stratigrafico e Vs30. A tale scopo sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche CPTU e n. 2 registrazioni di rumore sismico, (HVSr) con tromografo digitale TROMINO. Sono inoltre disponibili i risultati di numerose prove penetrometriche CPT ed una prova MASW, eseguite nel 2009 nell'area adiacente, per l'ampliamento delle strutture ospedaliere. I risultati ottenuti hanno consentito di ricostruire il modello geologico superficiale, tali dati integrati con quelli reperiti presso l'archivio delle Regione Emilia-Romagna, hanno consentito di ricostruire lo schema sismo-stratigrafico, fino al bedrock.

layer n.	Profondità (m)	Descrizione	VS (m/s)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
1	0 ÷ 2	Argille	85-150	18
2	2 ÷ 8	Limi argilloso-sabbiosi	250-260	18
3	8 ÷ 75	Sabbie-sabbie limose	290-310	19
4	75 ÷ 463	Sabbie-sabbie limose	520-550	22
5	>463	Bedrock sismico	800	23

Il valore calcolato delle Vs30 è risultato pari a  $259 \pm 271$  m/s per le HVRS e 270 m/s per la prova MASW, ne consegue che il terreno indagato rientra all'interno della **categoria C**.

I rapporti spettrali, rilevati dalle prove HVSR, indicano una *frequenza fondamentale di risonanza del sito* di  $0,91 \pm 0,23/0,08$  Hz (nell'intervallo 0,0-64,0 Hz).

#### CONDIZION TOPOGRAFICHE

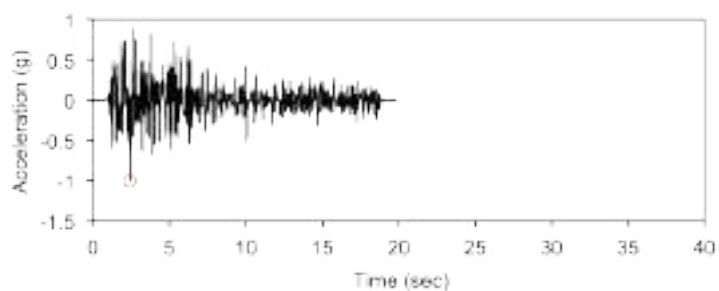
Sulla base della tabella Tab. 3.2.1V allegata al punto 3.2.2 delle NTC 2008, l'area in esame rientra nella categoria T1, in quanto si colloca in un territorio pianeggiante.

#### 5.3 ANALISI SISMICA DI TERZO LIVELLO E MODELLAZIONE NUMERICA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

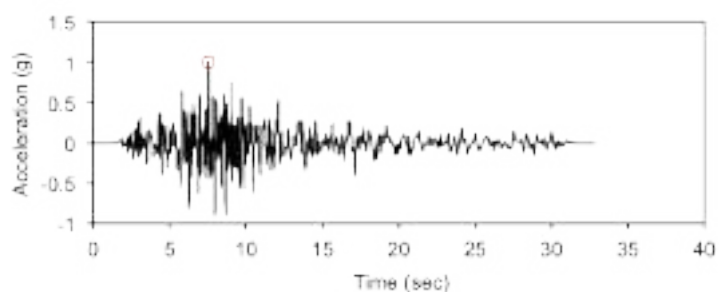
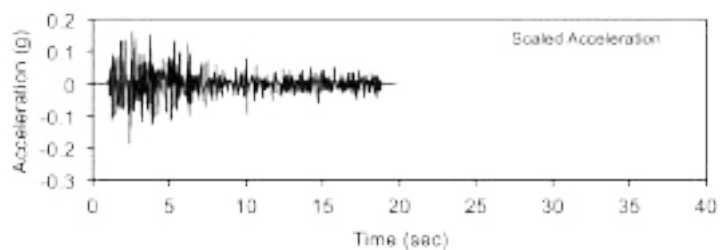
Per valutare gli effetti di risposta sismica locale, in termini di amplificazione orizzontale di picco PGA e in termini di intensità spettrale S.I, è stato utilizzato lo specifico codice di calcolo monodimensionale EERA (USC – Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits). L'elaborazione ha permesso di valutare l'amplificazione dell'impulso sismico al suolo e di ottenere gli spettri di risposta sulla base dei terremoti di riferimento (TR 475 anni con smorzamento pari al 5%) forniti dalla Regione Emilia-Romagna per le analisi di "terzo livello".

I segnali di input sono stati resi disponibili dalla regione Emilia-Romagna, si tratta di tre tipologie di segnali, e sono rappresentati dai tre differenti accelerogrammi di progetto riprodotti nella fig.5.4. Tali segnali sono stati "scalati" all'intensità massima di picco corrispondente alla zona in esame (valutata tramite Geostru-PS):  $PGA=0,187g$ .

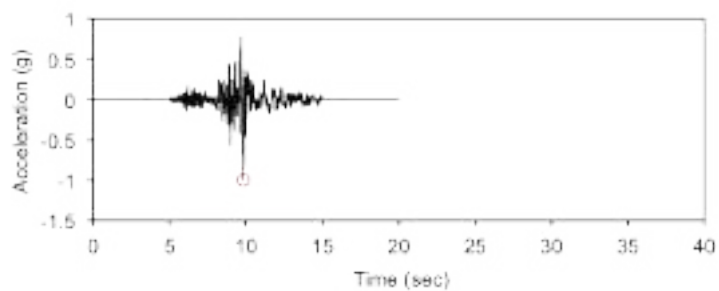
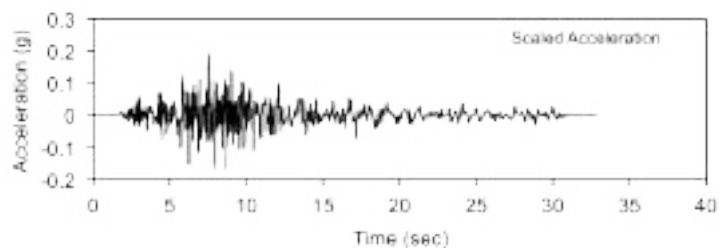




000046xa.xy



000126xa.xy



000354xa.xy

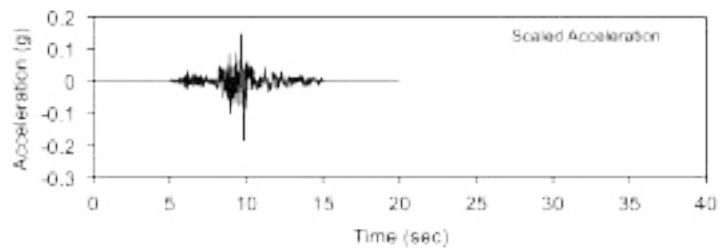


Figura 5.4. Accelerogrammi di progetto Regione Emilia-Romagna, scalati a 0,187g al bedrock.

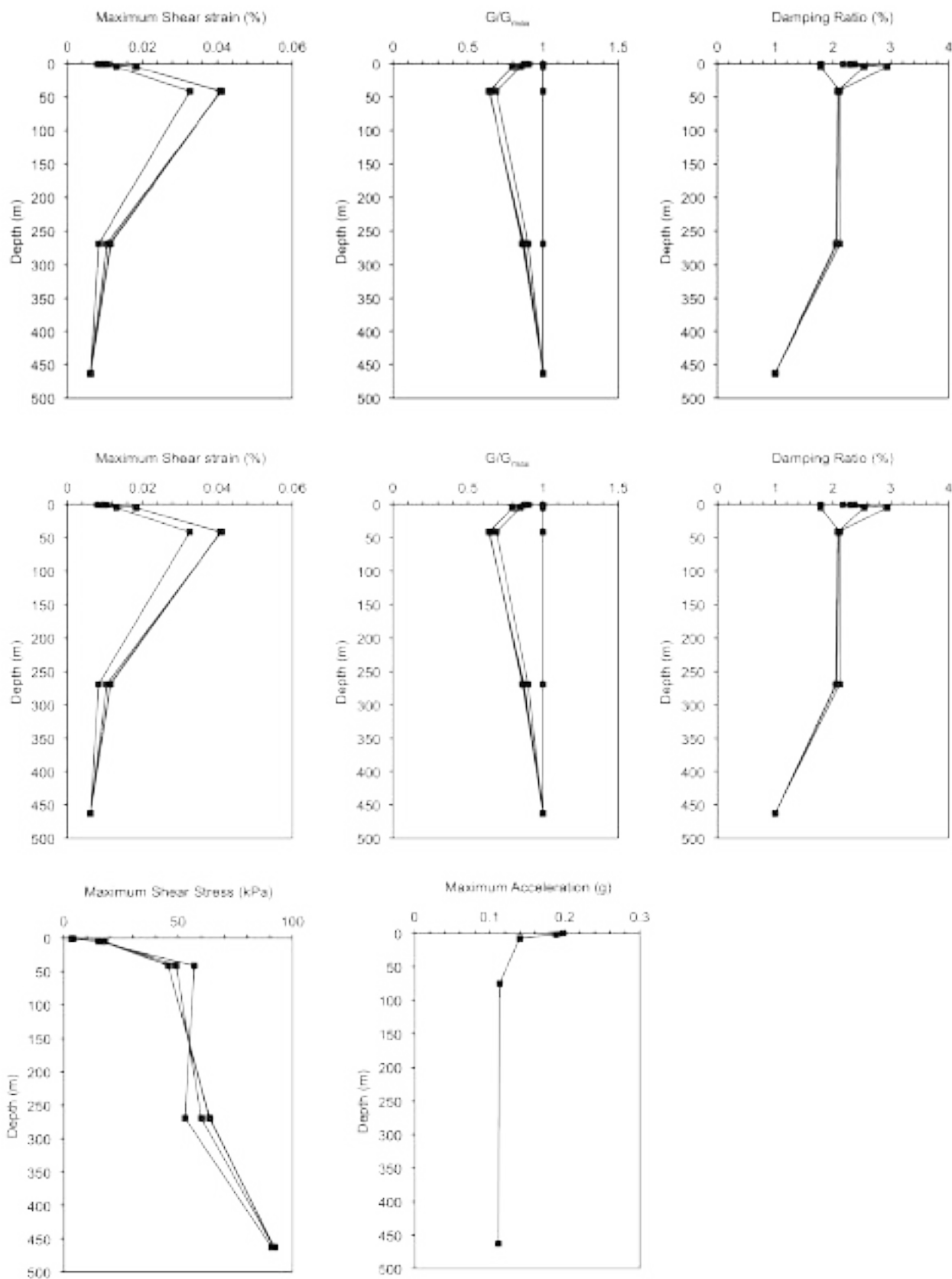


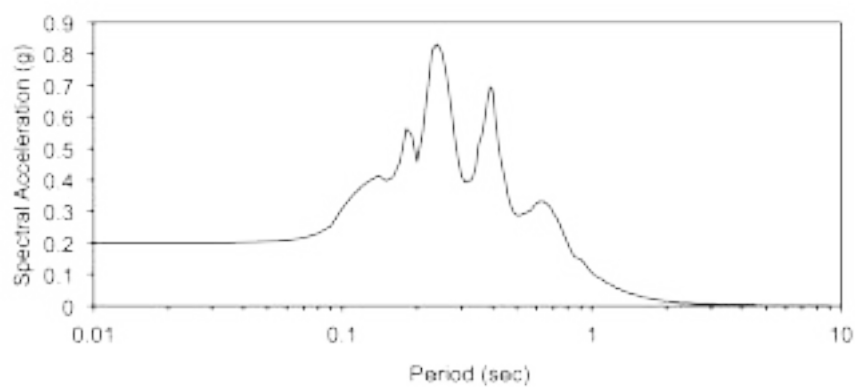
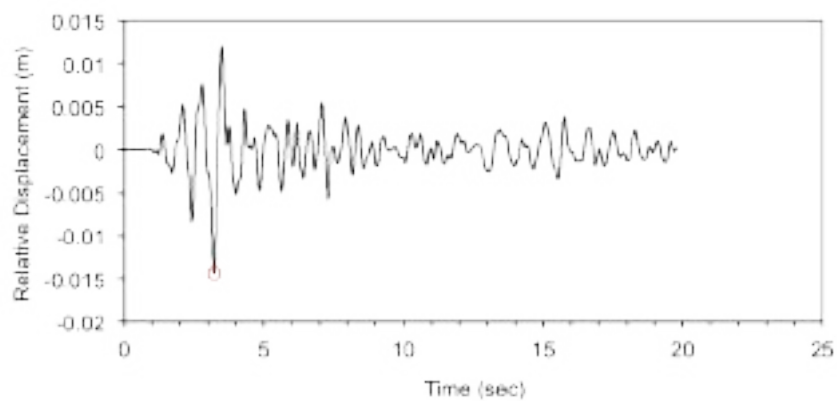
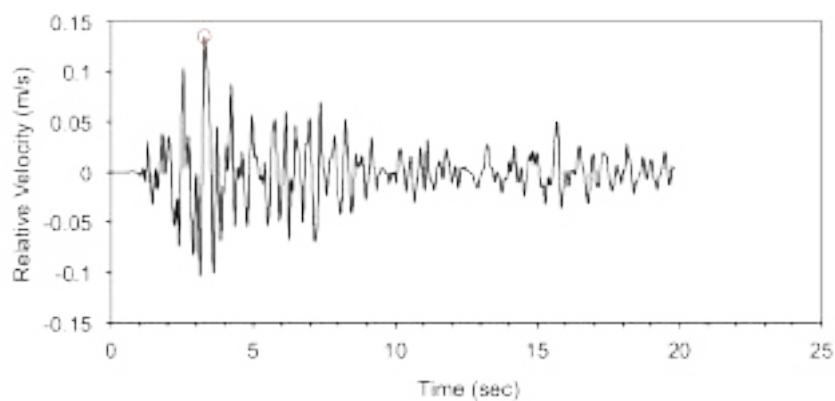
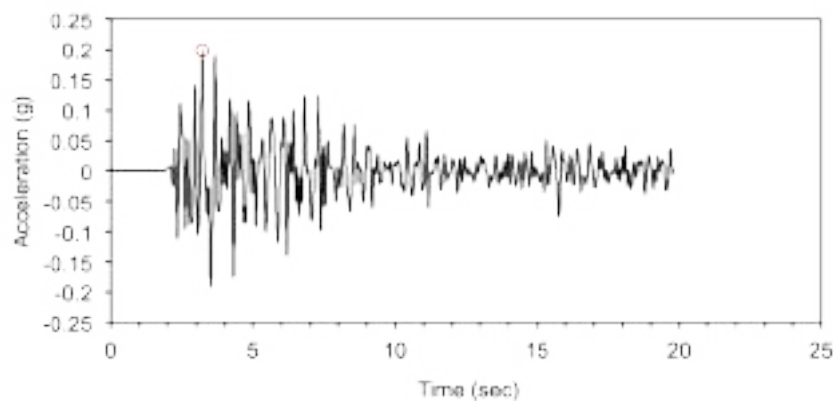
### 5.3.1 ELABORAZIONE

Una volta ricostruita la colonna stratigrafica ed inseriti i vari layers all'interno del codice di calcolo si è provveduto alla fase di elaborazione. Nelle pagine seguenti sono riportati i risultati, in forma tabellare, ed i grafici, ottenuti dopo 8 iterazioni di calcolo con valore dell'errore residuo inferiore al 2%, che rappresentano l'andamento in profondità dello sforzo di taglio massimo, del rapporto  $G/G_0$ , dello smorzamento, dei valori di tensione di picco e l'andamento dell'accelerazione di picco in funzione della profondità e della stratigrafia. Seguono i grafici relativi alla storia temporale di accelerazione, velocità relativa e spostamento al piano campagna,. Infine sono riportati gli spettri di risposta al piano campagna della accelerazione del sito, con smorzamento del 5%.

#### **PRIMO SEGNALE DI RIFERIMENTO (000046xa.xy)**

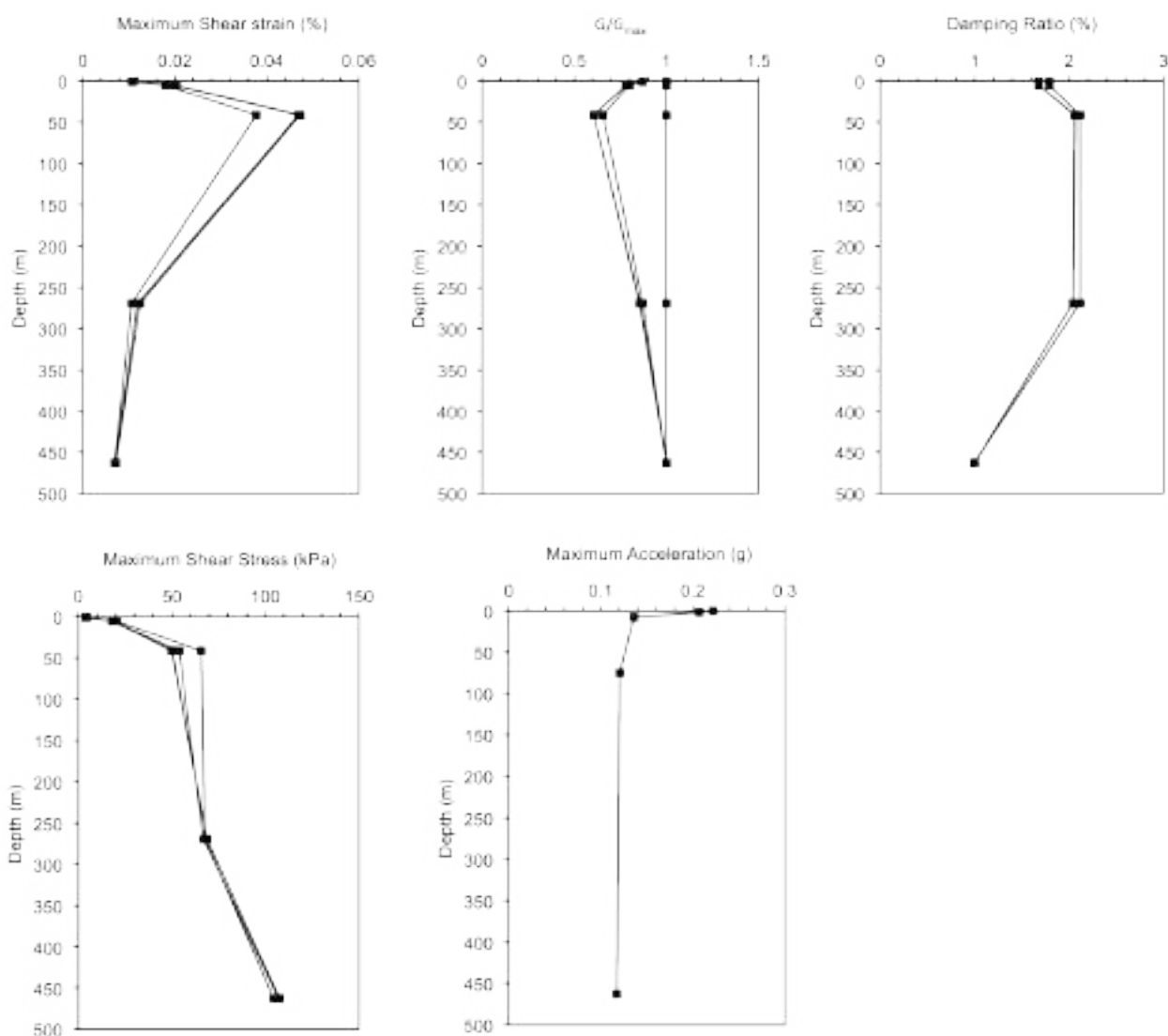
Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum acceleration (g) =	0.198
Time of maximum acceleration (sec) =	3.21
Mean Square frequency (Hz) =	3.65
Maximum relative velocity (m/s) =	0.13519
Time of maximum relative velocity (sec) =	3.28
Maximum relative displacement (m) =	-0.01437
Time of maximum relative displacement (sec) =	3.20

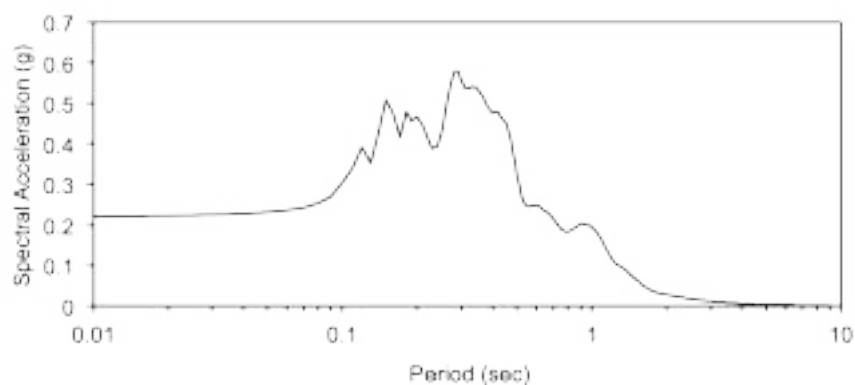
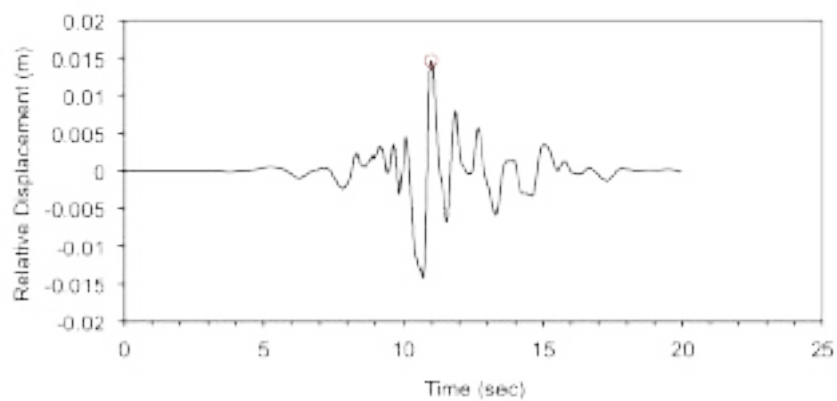
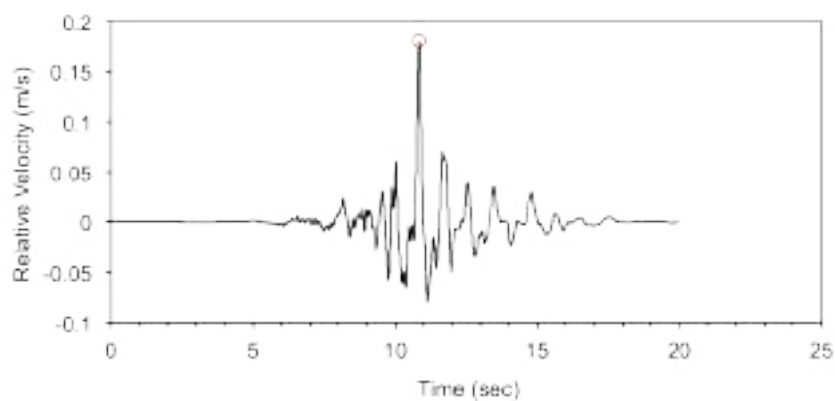
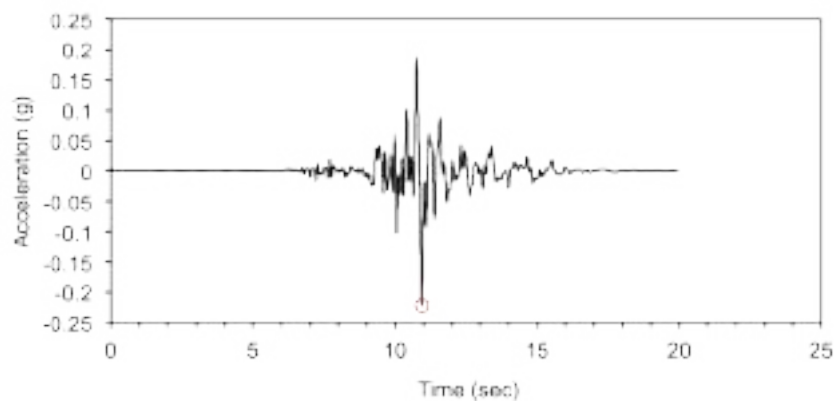




**SECONDO SEGNALE DI RIFERIMENTO (000126xa.xy)**

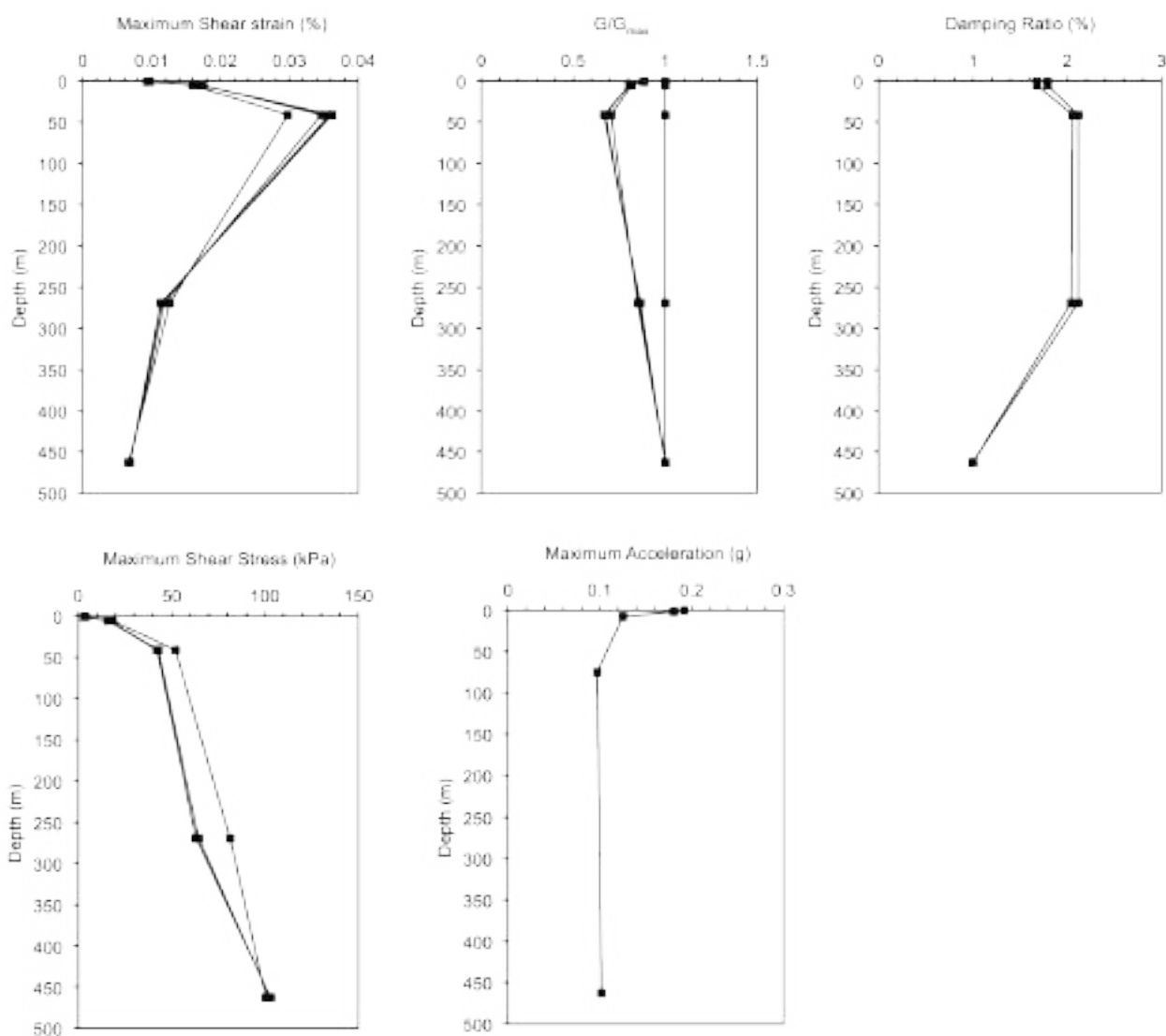
Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum acceleration (g) =	0.222
Time of maximum acceleration (sec) =	10.92
Mean Square frequency (Hz) =	3.16
Maximum relative velocity (m/s) =	0.18063
Time of maximum relative velocity (sec) =	10.85
Maximum relative displacement (m) =	0.01473
Time of maximum relative displacement (sec) =	10.97

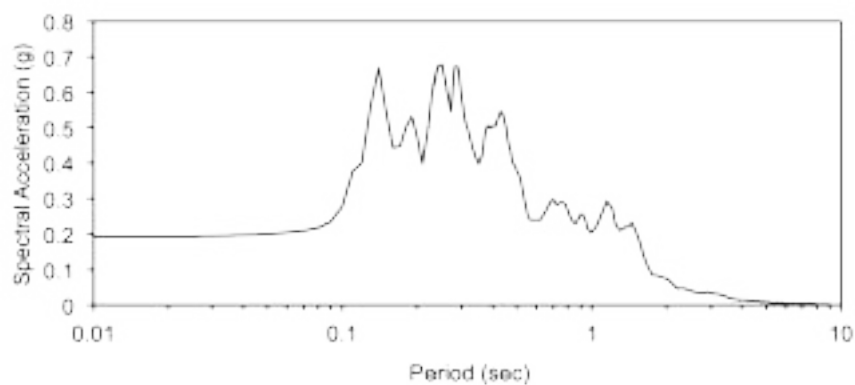
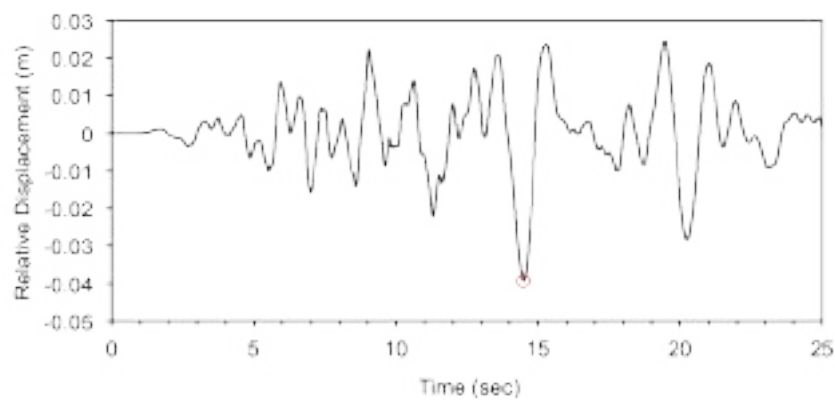
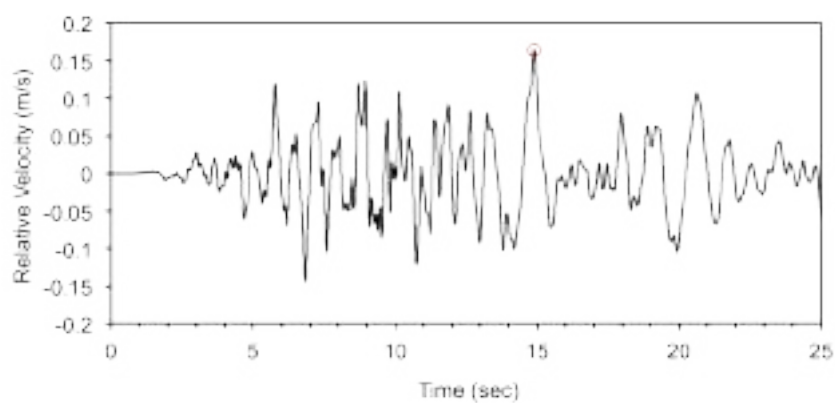
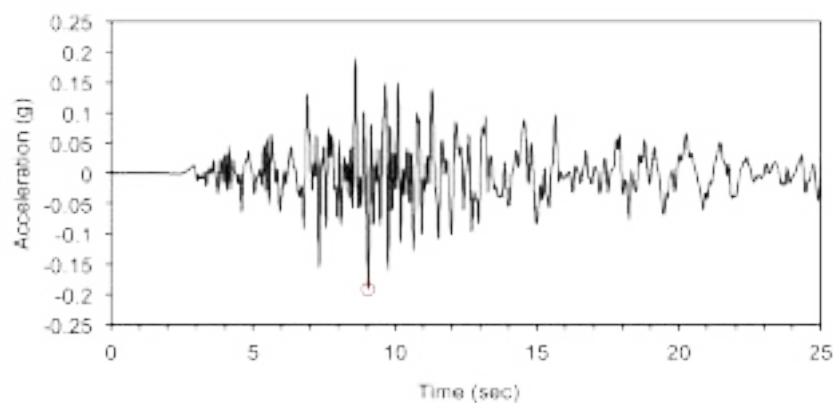




### TERZO SEGNALE DI RIFERIMENTO (000354~~xa~~.xy)

Number of sublayer =	1
Type of sublayer =	Outcrop
Depth at top of sublayer (m) =	0
Maximum acceleration (g) =	0.192
Time of maximum acceleration (sec) =	9.04
Mean Square frequency (Hz) =	3.08
Maximum relative velocity (m/s) =	0.16455
Time of maximum relative velocity (sec) =	14.88
Maximum relative displacement (m) =	-0.03938
Time of maximum relative displacement (sec) =	14.48





Nella figura 5.6 sono riportate le funzioni di trasferimento bedrock-superficie, ricavate col processo di elaborazione, per i tre accelerogrammi di input. La modellazione è limitata alla stima dell'amplificazione entro i 10 Hz (ai fini ingegneristici questo è il limite più utile per le analisi delle interazioni sottosuolo/strutture). Sia i valori di picco, sia i relativi valori in frequenza, risultano in linea con quelli ricavato dal tromografo.

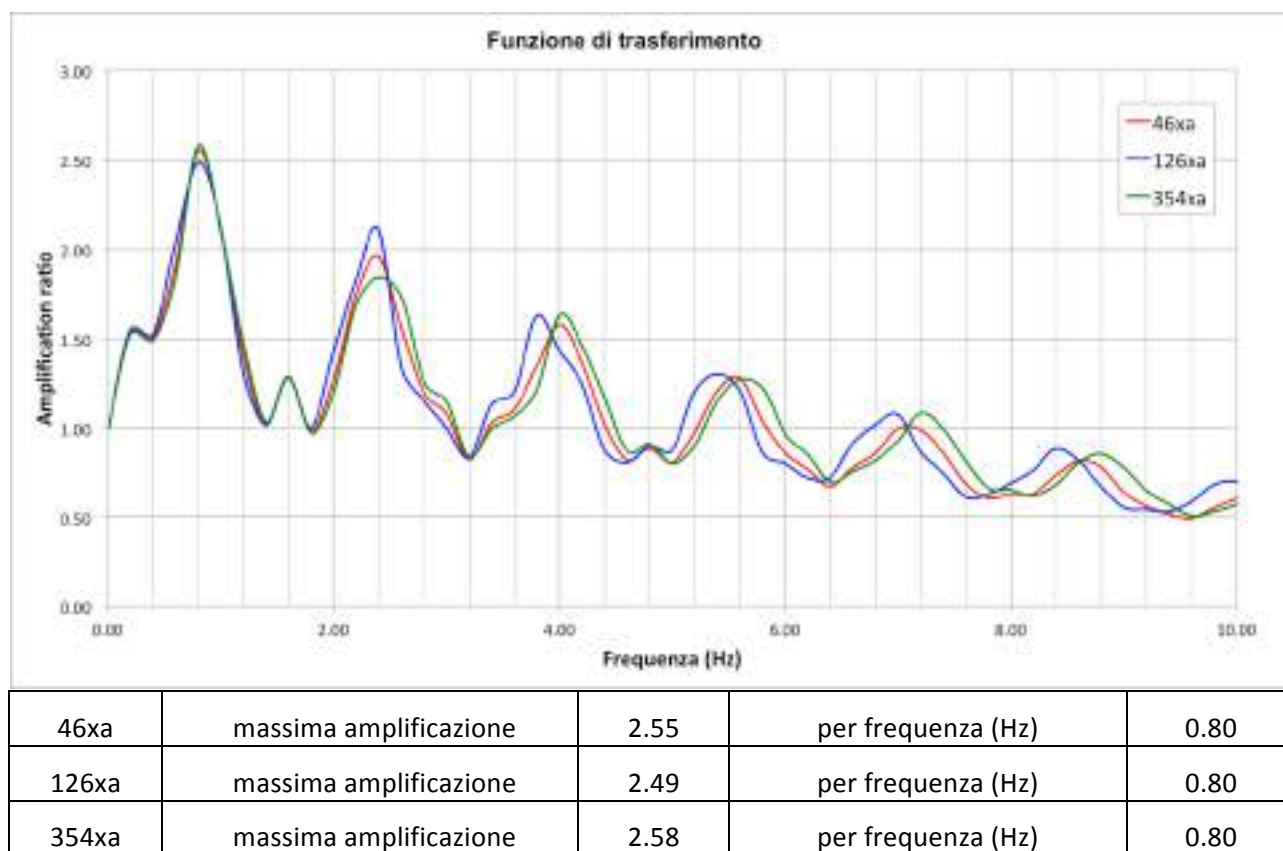


Figura 5.6 – Funzione di trasferimento del moto bedrock-superficie

Dal punto di vista progettuale è importante evitare che vi sia coincidenza tra le frequenze di risonanza naturale del terreno e le frequenze di vibrazione propria delle strutture, poichè potrebbero verificarsi pericolose amplificazioni per doppia risonanza.

## INTENSITÀ di HOUSNER

L'Intensità di Housner è il parametro utilizzato per valutare l'intensità di un terremoto dal suo



spettro di velocità, ed è misurata attraverso l'area sottesa (nel campo di periodi compresi tra 0,1 e 1,5 secondi).

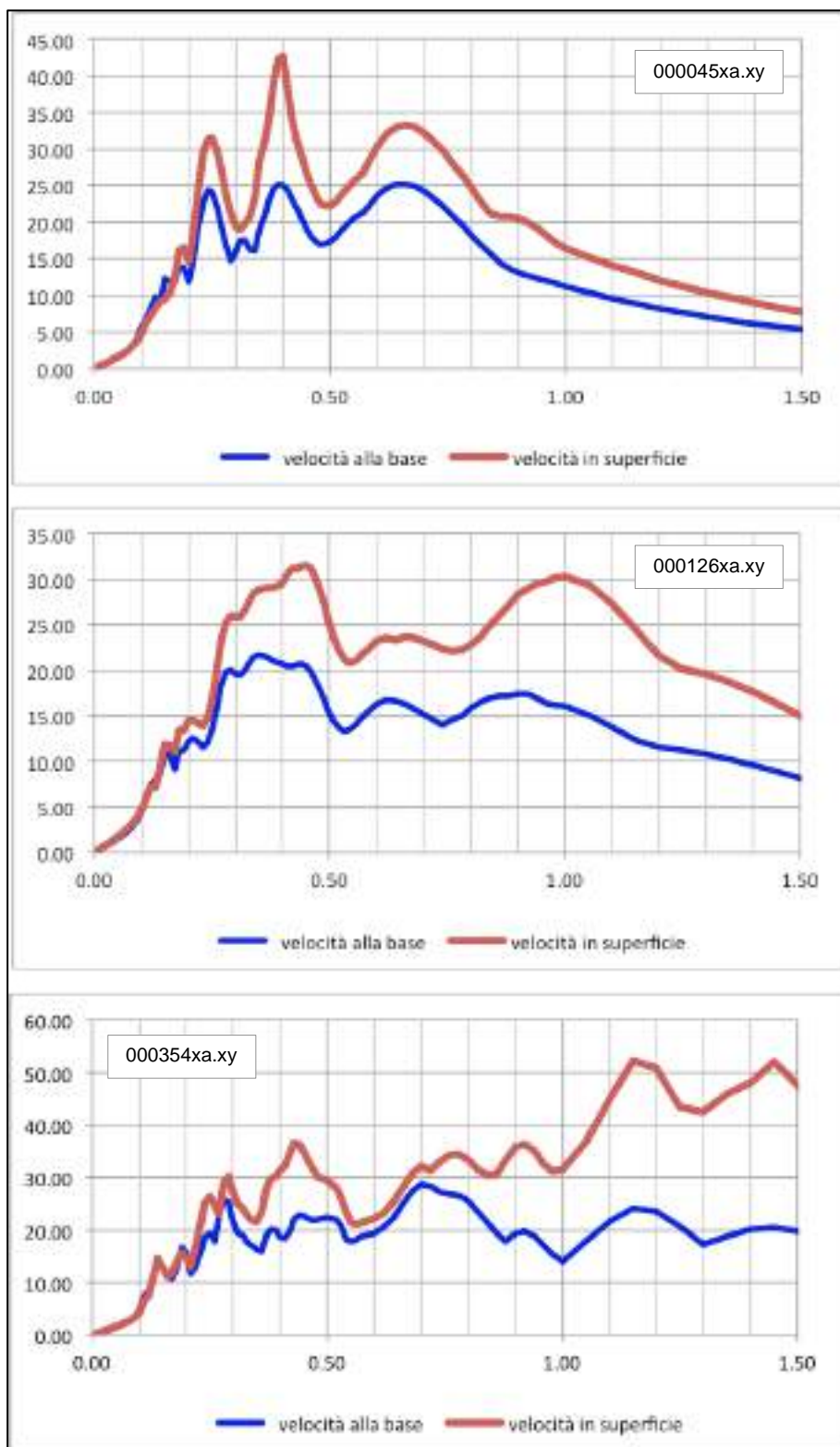


Figura 5.7 - Intensità di Housner S.I. riferite al bedrock e al suolo per i tre input sismici.

ed al suolo, dai quali sono stati ricavati i rapporti di intensità spettrali (SI) di Housner.

Per le applicazioni di microzonazione viene utilizzato lo spettro di pseudo-velocità riferito a uno smorzamento del 5%; per la Regione Emilia-Romagna la stima dell'intensità spettrale di Housner (SI), richiesta nel terzo livello di caratterizzazione, è data dal rapporto fra gli spettri PSV al suolo e PSV al bedrock, negli intervalli temporali prefissati.

Nella fig. 5.7 sono riportati i grafici delle pseudo velocità spettrali (per i tre segnali di input utilizzati), riferite al bedrock sismico

Nella tabella che segue sono riassunti i fattori di amplificazione calcolati

<b>000045xa.xy</b>	Velocità al bedrock	Velocità al suolo	Fattore di amplificazione
SI1 0,1<T <sub>0</sub> <0,5 s	229.07	229.07	1,38
SI2 0,5<T <sub>0</sub> <1,0 s	392.28	531.76	1,36
SI2 0,5<T <sub>0</sub> <1,5 s	531.76	486.53	1,38

<b>000126xa.xy</b>	Velocità al bedrock	Velocità al suolo	Fattore di amplificazione
SI1 0,1<T <sub>0</sub> <0,5 s	217,51	304,86	1,4
SI2 0,5<T <sub>0</sub> <1,0 s	342,36	539,45	1,58
SI2 0,5<T <sub>0</sub> <1,5 s	482,18	801,73	1,66

<b>000354xa.xy</b>	Velocità al bedrock	Velocità al suolo	Fattore di amplificazione
SI1 0,1<T <sub>0</sub> <0,5 s	233,58	322,82	1,38
SI2 0,5<T <sub>0</sub> <1,0 s	460,23	650,16	1,41
SI2 0,5<T <sub>0</sub> <1,5 s	719,92	1245,06	1,73

La modellazione consente anche la valutazione dell'amplificazione locale, intesa come rapporto  $F.A.=PGA/PGA_0$  ossia come rapporto dell'agmax al suolo (calcolata con HEERA) rispetto all'agmax al suolo rigido che, per l'area in oggetto, è risultata pari a 0,187g.

Occorrerà infine adottare i parametri maggiormente cautelativi, tra quelli emersi dalle elaborazioni eseguite.

La tabella sottostante riassume i fattori di amplificazione per i tre segnali in input, rapportati con il valore di riferimento indicato della normativa per il II livello (DGR2193/2015 - All.A2), essendo  $V_{s30} = 259/271$  m/s:

segnale	F.A.	SI1	SI2	SI3
00046	1,06	1,38	1,36	1,38
000126	1,19	1,40	1,58	1,66
000354	1,03	1,38	1,41	1,73
<b>NORMATIVA (pianura 3)</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>

Infine si riportano in fig. 5.8 gli spettri dei tre accelerogrammi e lo spettro normalizzato relativo ai valori medi.

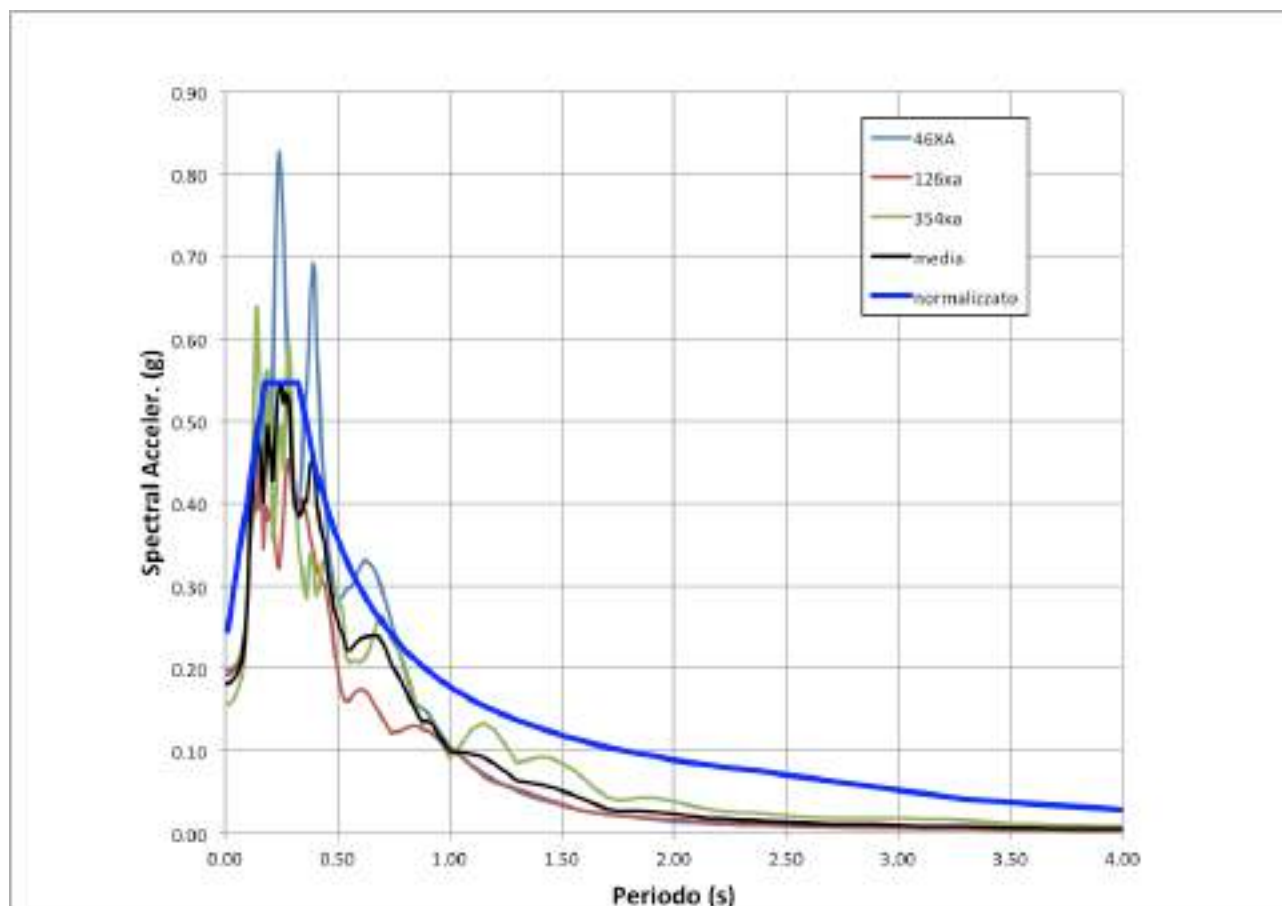


Figura 5.8 - spettro di risposta elastico orizzontale

## 6. VERIFICHE SULLA LIQUEFAZIONE DEI LIVELLI SABBIOSI E DEI CEDIMENTI POST SISMA

---

### 6.1 ASPETTI GENERALI

Le indagini penetrometriche CPTU eseguite consentono la verifica quantitativa del rischio sismico di liquefazione, come disposto anche dal recente DGR 2193/2015.

A causa delle sollecitazioni di tipo ciclico, indotte dal sisma, si può verificare un incremento della pressione dell'acqua interstiziale ( $u$ ) che, se va ad eguagliare la pressione litostatica totale ( $\sigma$ ), porta all'annullamento della resistenza al taglio ( $\tau$ ); in tale condizione il sedimento raggiunge uno stato di fluidità, pari a quella di un liquido viscoso, dando luogo al fenomeno della liquefazione.

Le pressioni di confinamento fanno sì che per i livelli sabbiosi situati a profondità superiori ai 15-20 metri il fenomeno della liquefazione non si verifichi (la letteratura non riporta casi di liquefazioni per tale condizione).

Vi sono, inoltre, altre condizioni, contemplate dalla normativa (e che non si verificano per il sito in esame), che permettono di omettere tale verifica.

L'azione di scuotimento, provocata dal sisma, può inoltre essere causa di un addensamento dei depositi granulari poco addensati e/o recenti, sia dei depositi coesivi poco consistenti.

Per le verifiche sono stati utilizzati i risultati delle tre prove penetrometriche (CPTU) eseguite.

Per valutare il pericolo di liquefazione è stato adottato il metodo basato sui risultati di prove CPTe/CPTu (Boulanger e Idriss, 2014), consigliato dal DGR 2193/2015, ed al quale si rimanda per ulteriori chiarimenti.

### 6.2 METODI DI CALCOLO

Si è quindi proceduto al calcolo della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma con il software "Cliq" (GeoLogismiki Geotechnical Software), utilizzando i seguenti dati di input di pericolosità

sismica:

1. magnitudo del terremoto:  $M_w = 6.0$  (maggiore del più realistico dato disaggregato, ricavato dal sito Progetto DPC-INGV-S1, che indica come l'evento sismico che ha la maggior probabilità di interessare l'area di studio sia caratterizzato da  $M_w = 4.95$  ed una distanza di 7,5 km)
2.  $a_{max}$  suolo = calcolata con la modellazione numerica di  $RSL = 0,22g$
3. soggiacenza della quota piezometrica pari a un metro dal p.c. (valore massimo di risalita ipotizzato)

Si è valutato anche l'indice di potenziale liquefazione-PLI (Iwasaki 1982), che consente una valutazione del rischio di liquefazione in funzione della profondità dei livelli liquefacibili.

Iwasaki ha proposto le seguenti classi di rischio di liquefazione in funzione del valore di LPI:

$LPI = 0 \rightarrow$  rischio di liquefazione molto basso

$0 < LPI \leq 5 \rightarrow$  rischio di liquefazione basso

$5 < LPI \leq 15 \rightarrow$  rischio di liquefazione alto

$LPI > 15 \rightarrow$  rischio di liquefazione molto alto

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

### 6.3 RISULTATI DELLE VERIFICHE ESEGUITE

Nelle pagine successive sono riportati i plottaggi con i risultati delle analisi eseguite, per ciascuna delle tre prove CPTU (CPTU1-fig.6.1; CPTU2-fig.6.2; CPTU3-fig.6.3).



**Dott. Geol. Giampaolo Guarnieri**  
 Studio di Geologia  
 via M. T. D'Azeglio, 9 - 48022 Lugo (RA)  
 tel/fax 0545.30390-cell 333.29.76.031

### LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

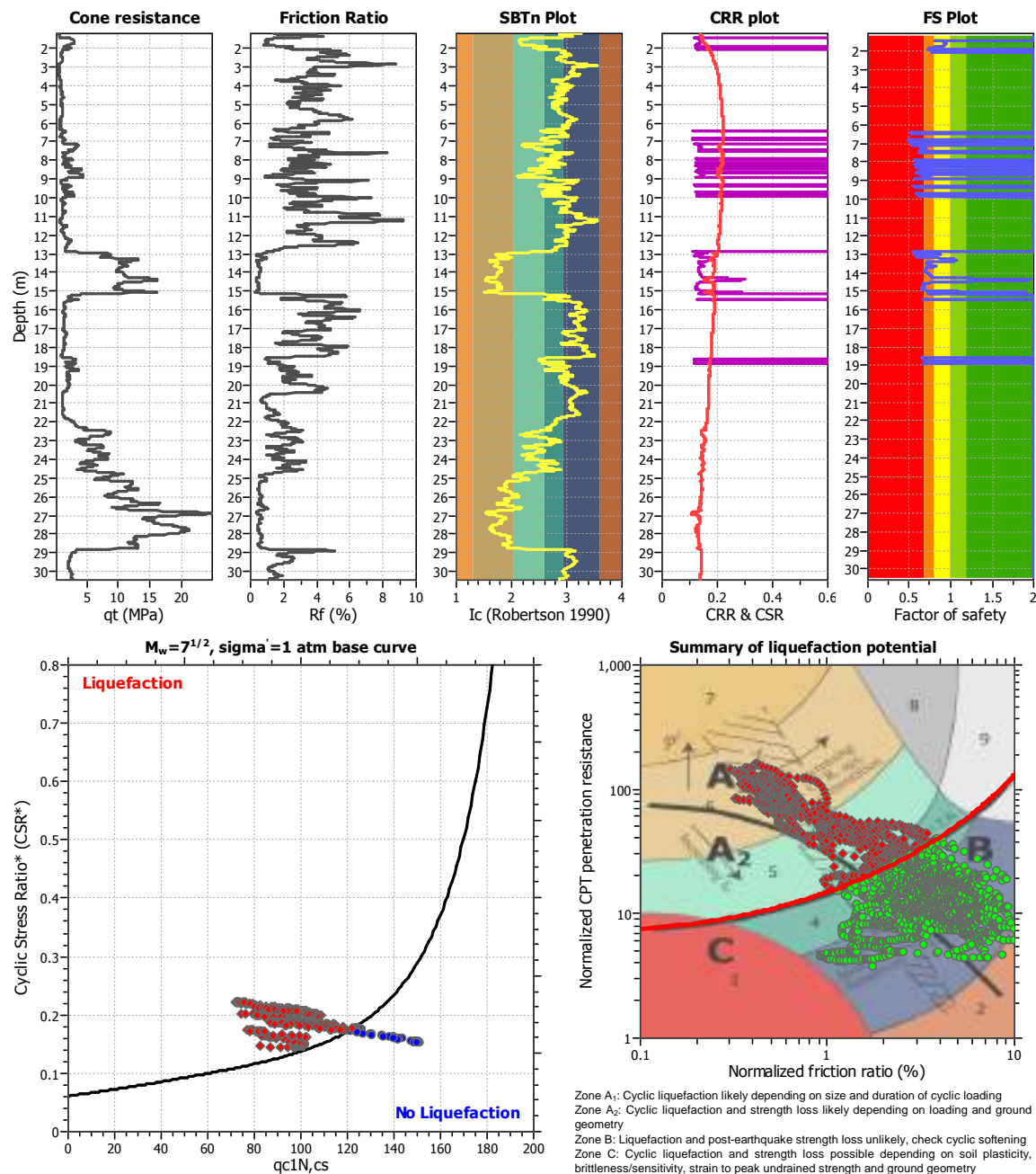
**Project title :** via Madonna di Genova

**Location :** Cotignola (RA)

**CPT file :** CPTU1

#### Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.22	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method based



CLiq v.1.7.6.49 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 4/19/2016, 9:59:19 AM  
 Project file: C:\Users\giampaolguarnieri\Desktop\liquefazione\_CLIQ\liquefazione\_cedimenti.ciq

1

Fig.6.1 - Plottaggio delle verifiche di liquefacibilità e cedimenti, relativi alla prova penetrometrica CPTU1 eseguita.



**Dott. Geol. Giampaolo Guarnieri**  
 Studio di Geologia  
 via M. T. D'Azeglio, 9 - 48022 Lugo (RA)  
 tel/fax 0545.30390-cell 333.29.76.031

# LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

**Project title :** via Madonna di Genova

**Location :** Cotignola (RA)

**CPT file :** CPTU2

## Input parameters and analysis data

Analysis method:	B&I (2014)	G.W.T. (in-situ):	1.00 m	Use fill:	No	Clay like behavior	
Fines correction method:	B&I (2014)	G.W.T. (earthq.):	1.00 m	Fill height:	N/A	applied:	Sands only
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	3	Fill weight:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Earthquake magnitude $M_w$ :	6.00	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	No	Limit depth:	20.00 m
Peak ground acceleration:	0.22	Unit weight calculation:	Based on SBT	$K_0$ applied:	Yes	MSF method:	Method based

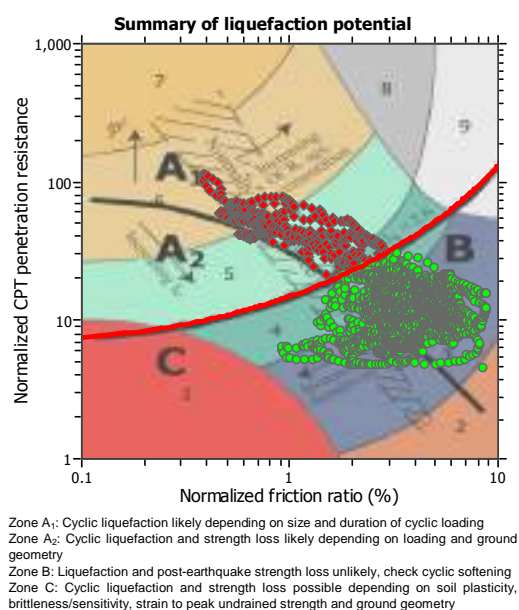
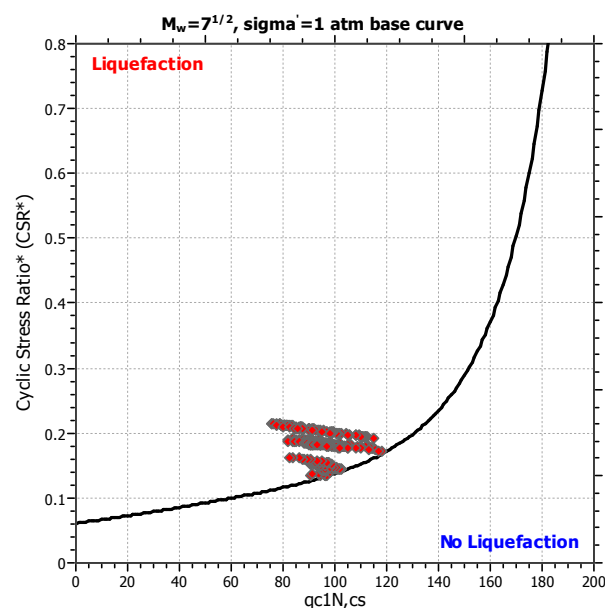
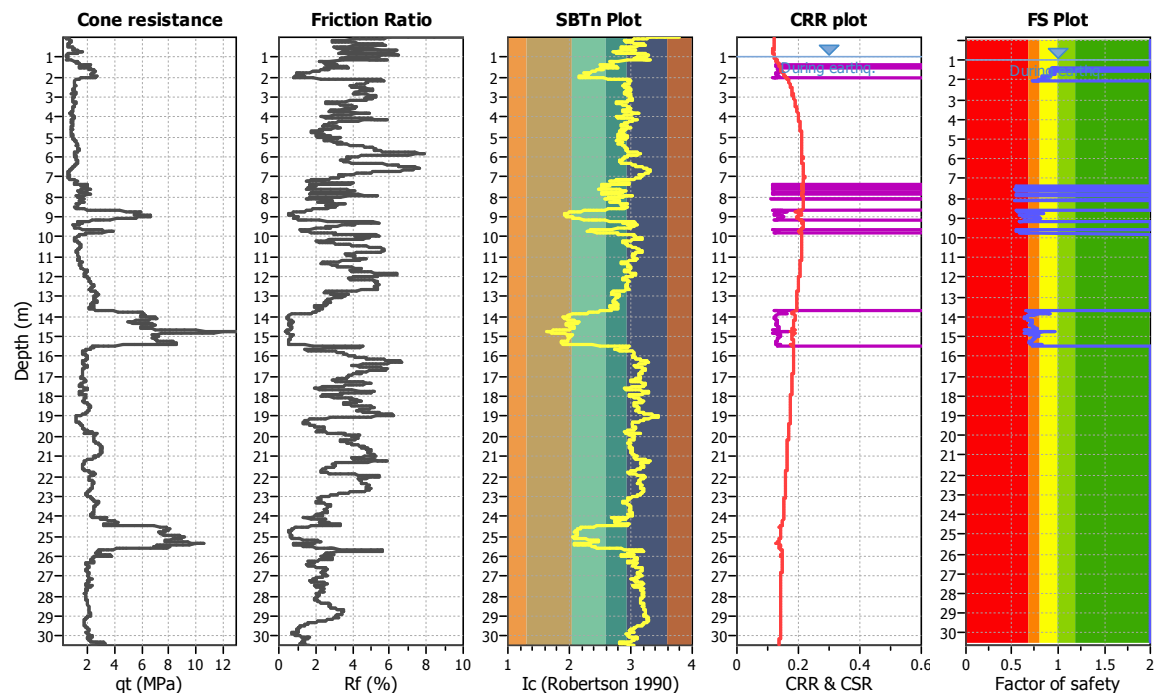


Fig.6.2 - Plottaggio delle verifiche di liquefacibilità e cedimenti, relativi alla prova penetrometrica CPTU2 eseguita.



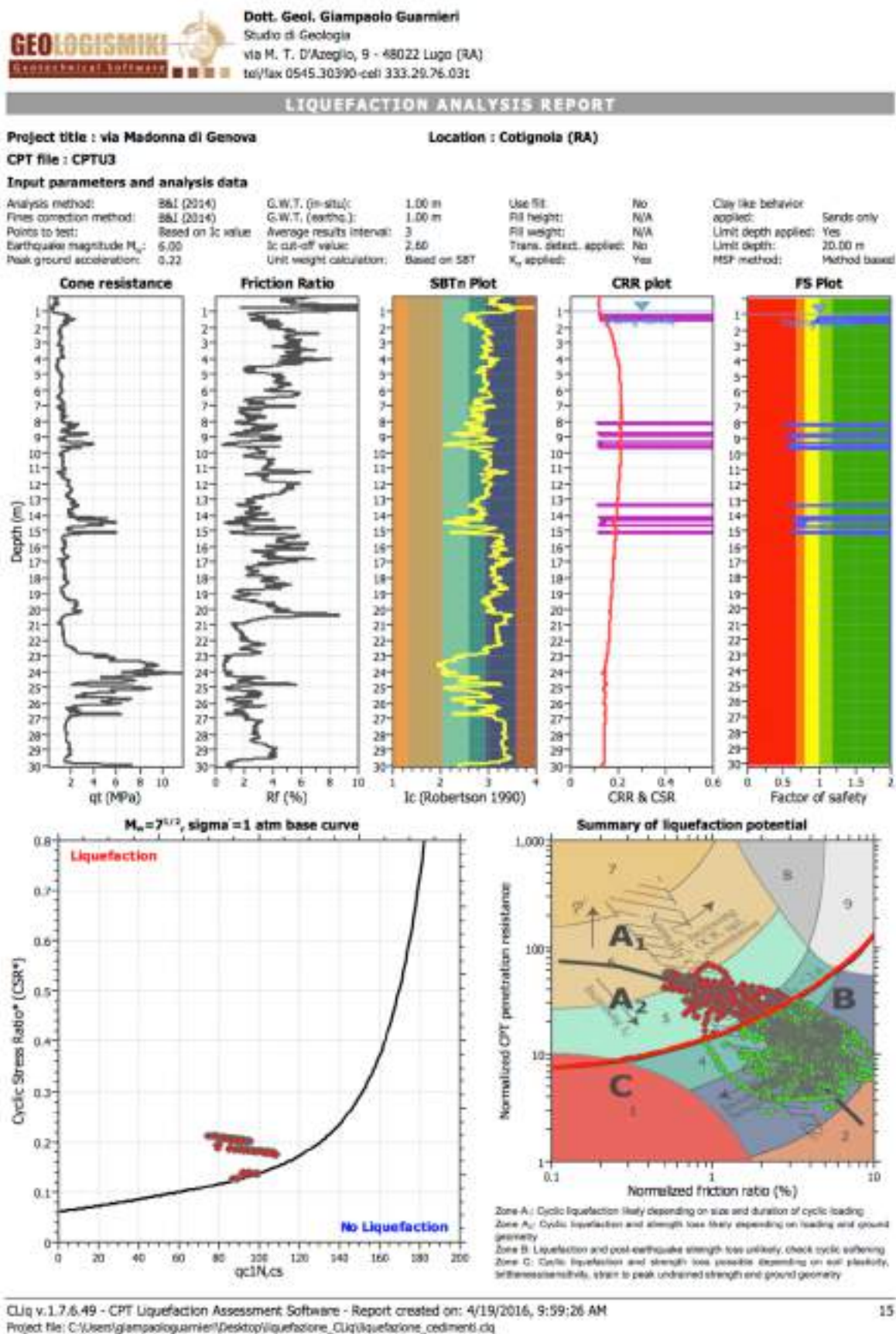


Fig.6.3 - Plottaggio delle verifiche di liquefacibilità e cedimenti, relativi alla prova penetrometrica CPTU3 eseguita.



Dalle precedenti figure si può riscontrare come i livelli sabbiosi, presenti in quasi tutte le verticali indagate anche se con diversi spessori, siano suscettibili alla liquefazione, con valori di FS inferiori all'unità.

Nei diagrammi "CRR plot" è evidente come gli sforzi di taglio indotti dal terremoto (CSR, in rosso) superino, in corrispondenza dei suddetti livelli sabbiosi (situati a -7m e -15m circa), la resistenza al taglio ciclica dei terreni (CRR, in viola). Si osserva una maggiore severità in corrispondenza della CPTU1.

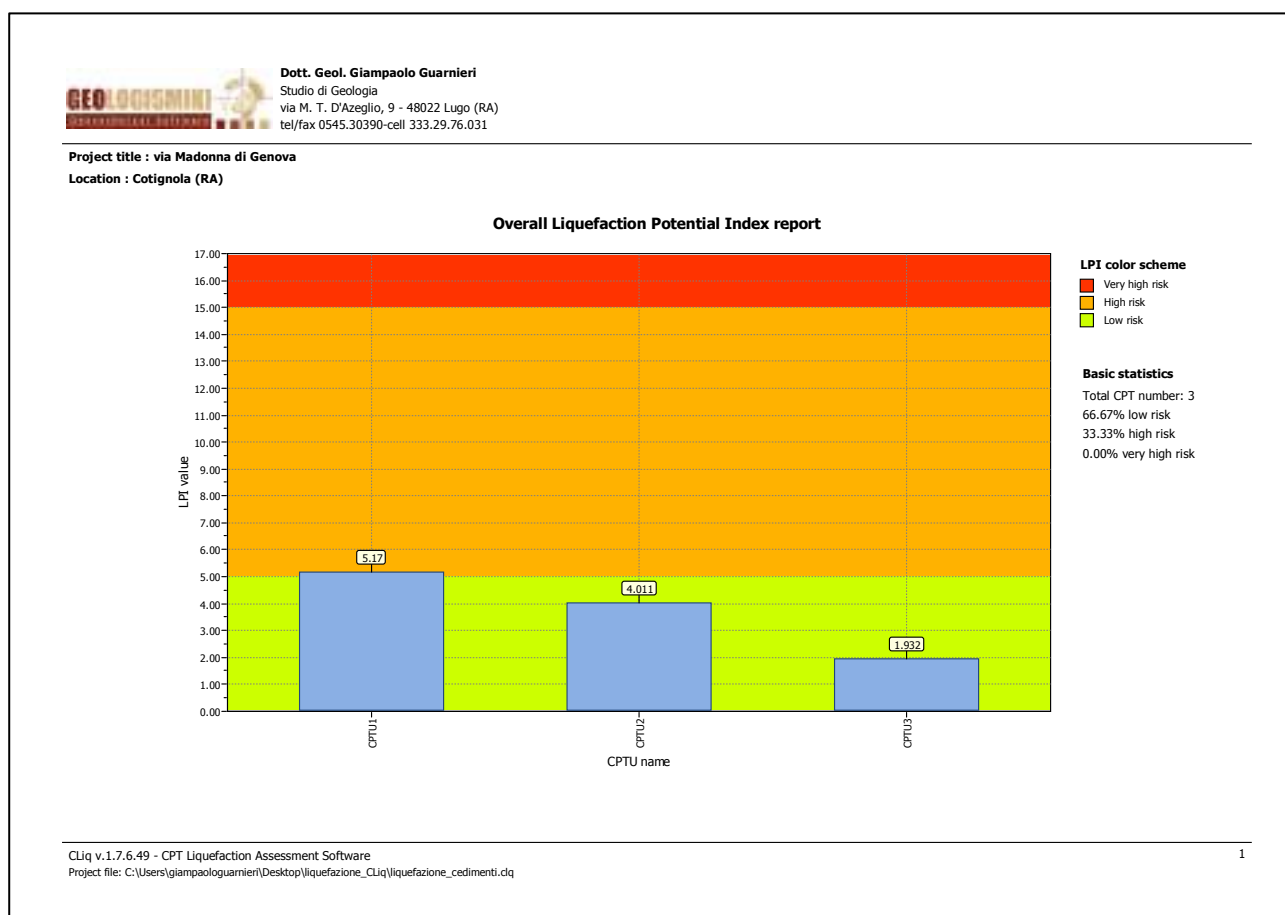


Fig. 6.4 – valutazione del potenziale di liquefazione (LPI)

È evidente anche dal valore del potenziale di liquefazione (LPI), diagrammato nella fig 6.4, dove, in corrispondenza delle CPTU2-3 sussiste un basso rischio di liquefazione ( $0 < LPI \leq 5$ ), mentre per la CPTU1 siamo al limite del confine rischio basso/alto ( $LPI=5,17$ ).

Per quanto riguarda i terreni fini (porzione B-C della *Carta della classificazione del comportamento dei sedimenti* - P.K.Robertson, 2009) è evidente come la maggior parte di essi ricada nella porzione “B”, caratterizzata da suscettività sismica improbabile. Esiste tuttavia una certa nuvola di punti anche in corrispondenza della porzione “C”, caratterizzata da possibile perdita di resistenza, con possibilità di cedimenti post-sisma.

Poiché la stima dei cedimenti indotti dall'azione sismica è affetta da notevoli incertezze, i valori che si ottengono applicando le procedure di calcolo proposte dai vari autori (fig. 6.4), dovranno pertanto intendersi come puramente orientativi.

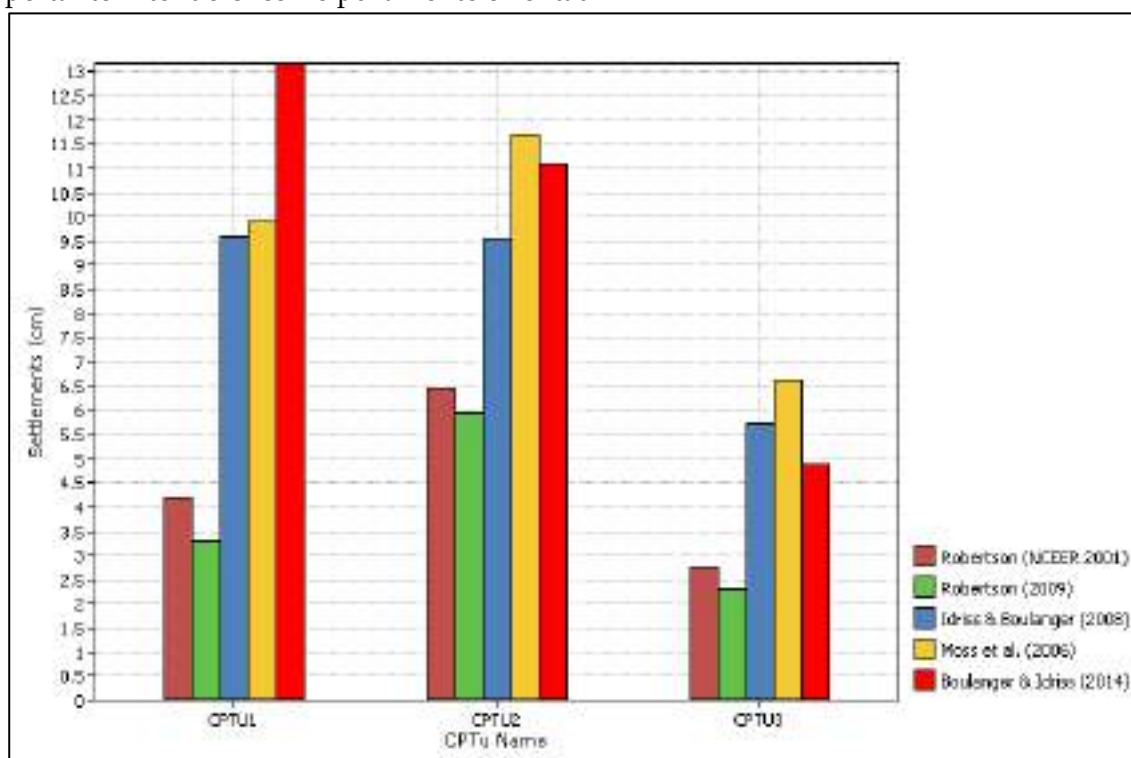


Fig. 6.4 – valutazione cedimenti post-sisma secondo diversi Autori.

Nella fig. 6.5 è riportato l'andamento dei cedimenti post-sismici, valutati con il metodo proposto da “Idriss & Boulanger, 2008”, in funzione della PGA.

Nel caso in esame (PGA=0,22g) risulta:

CPTU1 = 9,5 cm

CPTU2 = 9,5 cm

CPTU3 = 5,7 cm

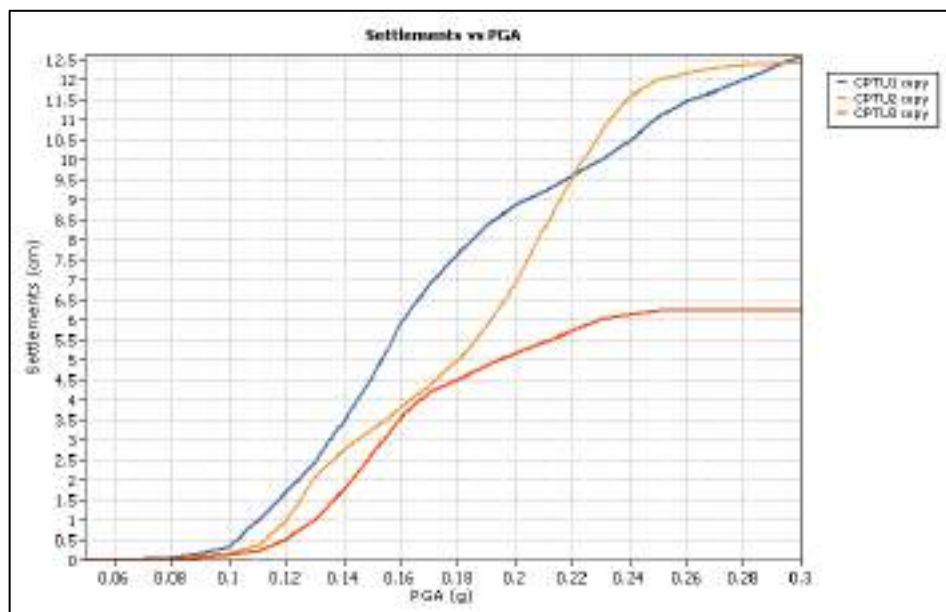


Fig. 6.5 – valutazione cedimenti post-sisma in funzione della PGA

In conclusione le indagini penetrometriche eseguite (CPTU) hanno messo in evidenza la possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione in corrispondenza dei livelli sabbiosi, attribuibili alla porzione esterna delle strutture sepolte sabbiose (paleo-alvei) presenti ad ovest dell'area (si osserva, infatti, una maggiore coerenza, con tale ipotesi, nella parte più occidentale dell'area di studio, in corrispondenza della CPTU1).

## 7. CONCLUSIONI

---

Il contesto geologico e gli esiti della caratterizzazione sismica di terzo livello hanno messo in luce alcuni elementi che dovranno essere approfonditi nelle successive fasi di pianificazione, prima, ed attuazione, poi.

È infatti emersa la presenza di strati sabbiosi che sembrano da mettere in relazione con le strutture di un paleo alveo, individuate nelle precedenti fasi di pianificazione e PSC. La potenza di questi strati sembra mostrare un assottigliamento in direzione est, ad indicare che l'area in esame si collocherebbe nella porzione marginale della struttura sepolta. Questo aspetto dovrà pertanto essere oggetto di approfondimento nelle successive fasi di studio.

In relazione alla possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione negli strati sabbiosi posti entro i primi 20 metri, unitamente a cedimenti post-sismici di una certa entità, dovranno essere valutate con cura anche la profondità di incastro delle fondazioni e l'entità dei cedimenti attesi (assoluti e/o differenziali), in relazione alle strutture previste. In particolare, per manufatti di particolare impegno costruttivo potrebbero essere indispensabili fondazioni profonde, la cui progettazione dovrà essere messa in relazione anche alla propensione alla liquefacibilità dei livelli sabbiosi presenti, ed all'eventuale ricorso ad opportune opere di attenuazione dei fenomeni descritti.

Occorrerà pertanto che il numero delle verticali d'indagine e la loro profondità siano congrui all'importanza dell'opera di progetto e siano spinte almeno a -20 metri dal piano campagna, e comunque a profondità tali da garantire un intervallo di conoscenza proporzionato alle strutture.

In relazione alle possibili criticità emerse dal punto di vista sismico (liquefacibilità e cedimenti post sisma), vi è la necessità di eseguite prove penetrometriche finalizzate a verifiche quantitative della

propensione alla liquefazione delle strutture sepolte granulari, ed una migliore definizione geometrica delle stesse. Risulta pertanto opportuna l'esecuzione di prove penetrometriche elettriche con piezocono (CPTU).

Gli esiti ricavati dalle ulteriori prove CPTU dovranno essere accompagnati da verifiche più approfondite quali l'esecuzione di sondaggio geognostici, accompagnati dal prelievo di campioni di terreno negli intervalli più critici al fine di effettuare specifiche prove geotecniche di laboratorio (es. prove triassiali cicliche), e finalizzate alla valutazione delle resistenze alla liquefazione (CRR) dello strato/intervallo in questione. Campioni di terreno dovranno essere prelevati anche in corrispondenza di sedimenti fini a bassa coesione, negli intervalli interessati da potenziale perdite di resistenza e cedimenti, al fine di effettuare le opportune analisi di laboratorio (contenuto d'acqua, limiti di Atterberg, prove edometriche, ecc.).



Dott. Geol. Giampaolo Guarnieri

## 8. ALLEGATI

---

diagrammi penetrometrici ed elaborazioni

sezione litologica

prove bibliografiche

### ALLEGATI 1-2

Vengono di seguito riportati i riferimenti alle metodologie ed ai codici di calcolo utilizzati.

Elaborazione prove penetrometriche eseguita con il programma GeoTec A, prodotto e distribuito dalla società Interstudio srl, di Pistoia, serie n. 5856, in licenza a Geol. Giampaolo Guarnieri-Lugo (RA).

Cedimenti e pressioni valutate su terreno isotropo elastico alla “Boussinesque”; portanza valutata con il metodo Terzaghi-Meyerof.

Elaborazione eseguita con il programma GeoTec C, prodotto e distribuito dalla società Interstudio srl, di Pistoia, serie 5775, in licenza a Geol. Giampaolo Guarnieri-Lugo (RA), e con il programma Static della società GeoStru Software di Bianco (RC).

Valutazione di Risposta Sismica Locale eseguite con il codice di calcolo monodimensionale EERA (USC – Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits).

Liquefazione dei livelli sabbiosi e dei cedimenti post sisma eseguite con il software “CLiq v.1.7 – Soil liquefaction software (GeoLogismiki Geotechnical Software), in licenza a Geol. Giampaolo Guarnieri-Lugo (RA).

I programmi sono basati su metodi di calcolo consolidati sia in bibliografia che nella pratica corrente e che sono in uso da oltre 15 anni, con un affinamento e una messa a punto continua. Ogni nuova versione segue una procedura di verifica che passa sia attraverso una fase interna alla società di sviluppo che una successiva fase di beta-test effettuata da utenti beta-tester.

Il controllo dei dati e dei risultati è facilitato da varie forme di rappresentazione sia numerica che grafica, che mettono in evidenza anche gli eventuali errori “grossolani” nell’introduzione dei dati. Inoltre il Progettista ha proceduto ad alcuni test di compatibilità con esempi conosciuti prima dell’utilizzo del programma.

Elaboratore utilizzato: Apple MacBook Pro 15.4”  – n. seriale W88469UD1G0 (sul quale sono state attivate protezioni firewall, di tipo software ed hardware).

SOGEO s.r.l.		
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016		
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU 1 - C16-019-1		



  

Company information	Test information
Name: SOGEO s.r.l.	Name: CPTU 1
Address: Via San Pietro 43	Location: Fano, Perchiazza
Zipcode: 06022	Date: 04/04/2016
City: Lago (RA)	Probe type: PUNTAZZA
P.I.A. 0801162099	Probe depth (mm): 120
E-Mail: sogeo@foggo.it	Hydrostatic line (cm): 0
Phone number: +3905422942	Ground level (m): 3
Fax number: +3905423443	Latitude: 4
	Longitude: 9
	Operator: Claudio Zucconi
	Comments:
	Probe code: MK1180

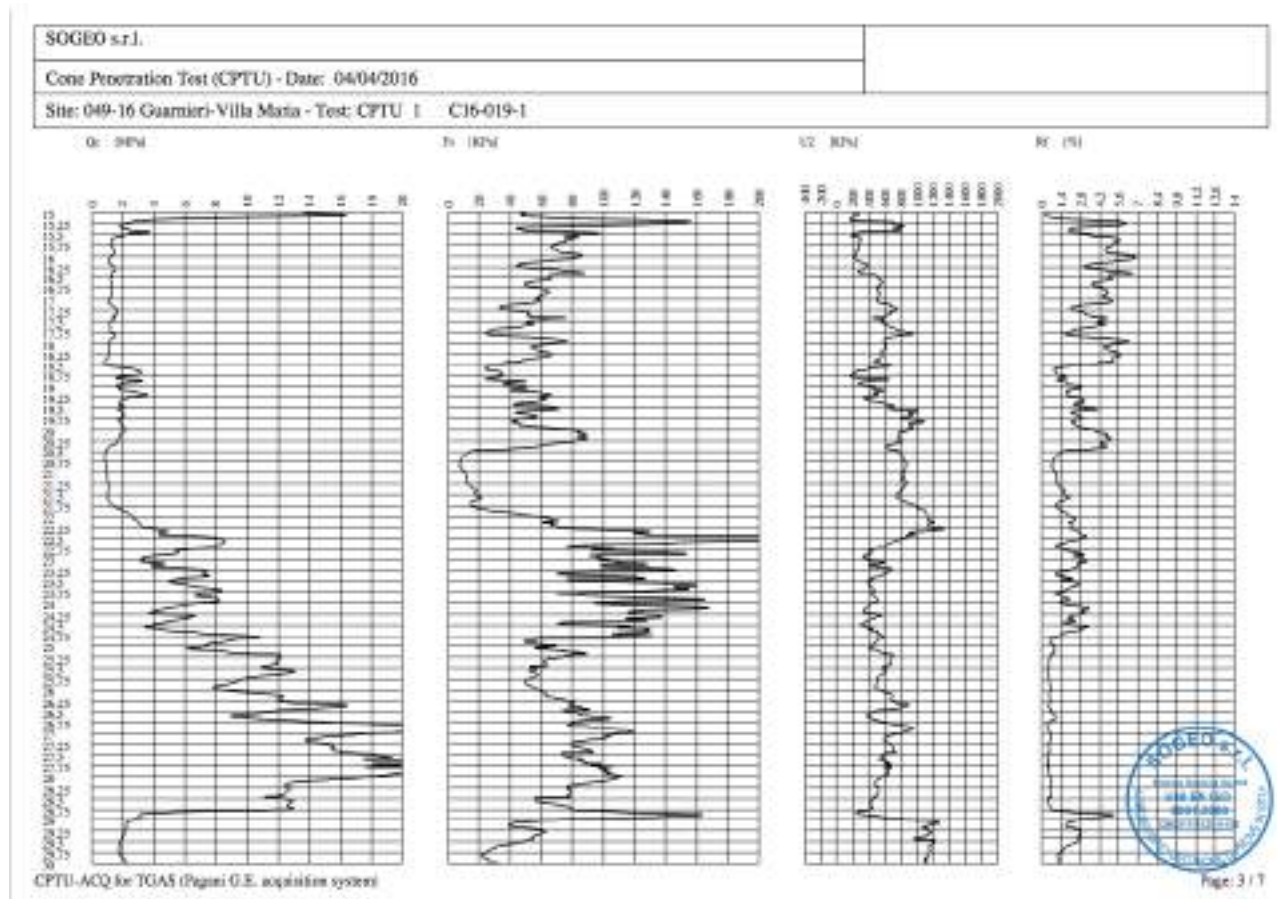
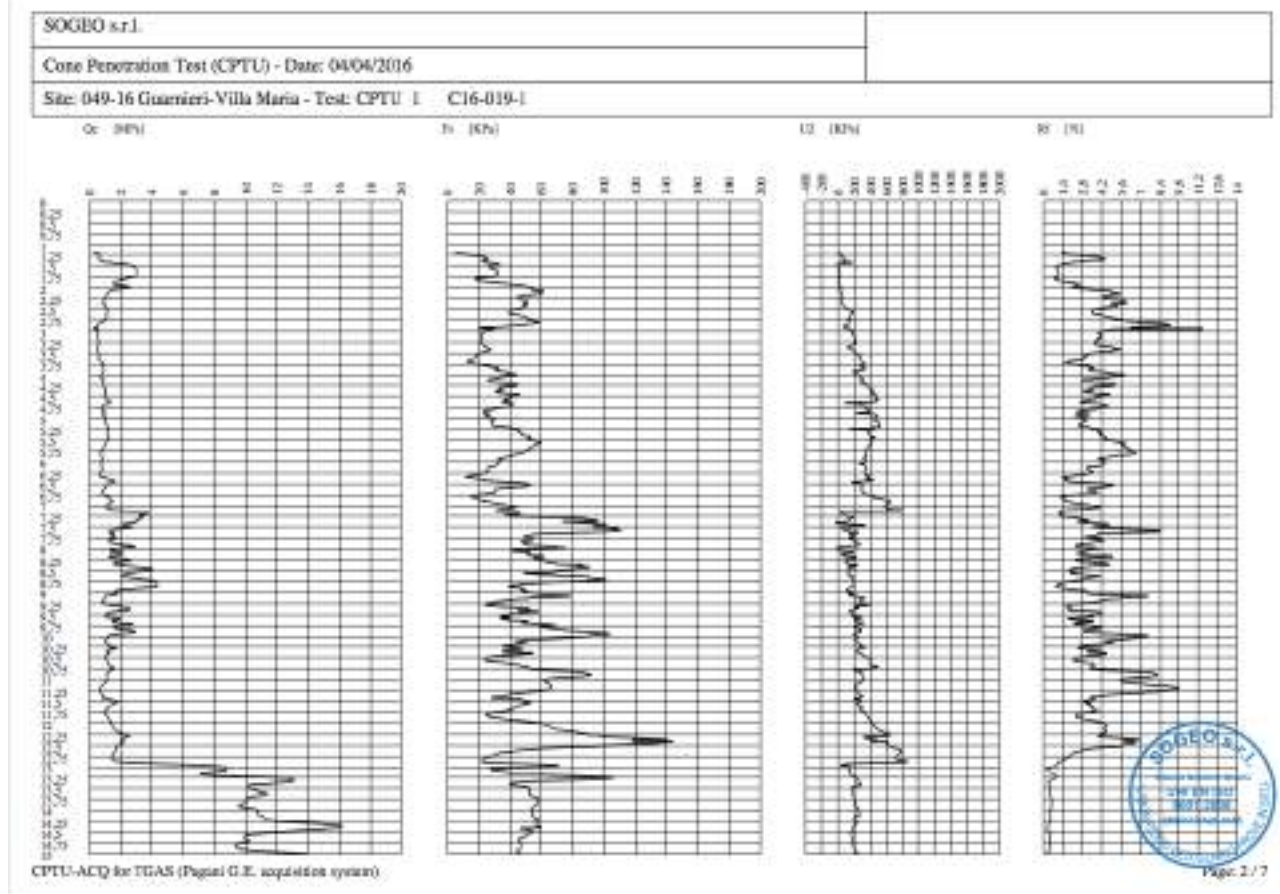
Site information
Name: HP-35 Guarnieri Villa Maria
Date:
Commissioner: Dott. Giampaolo Guarnieri
Locality: Catagols (CN) c/a Villa Maria

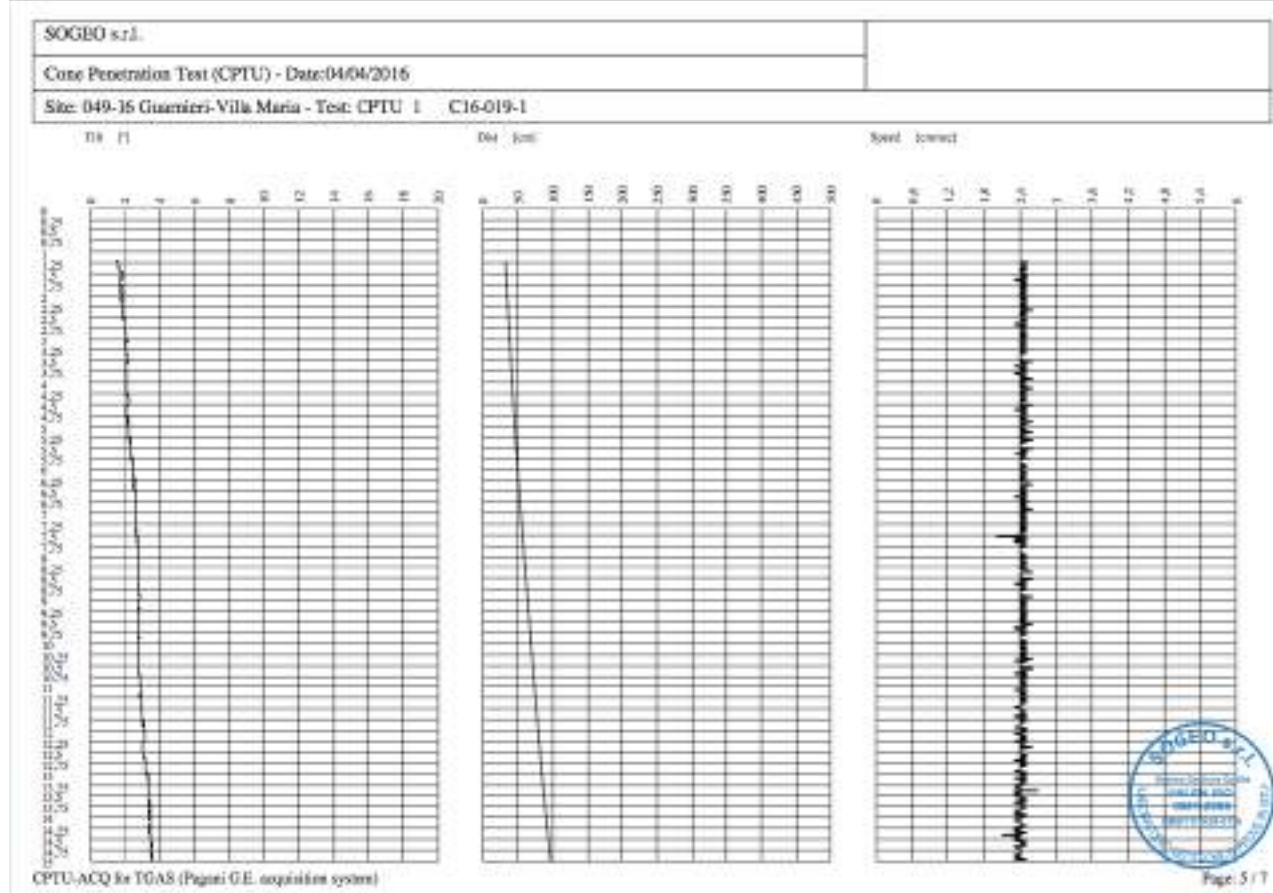
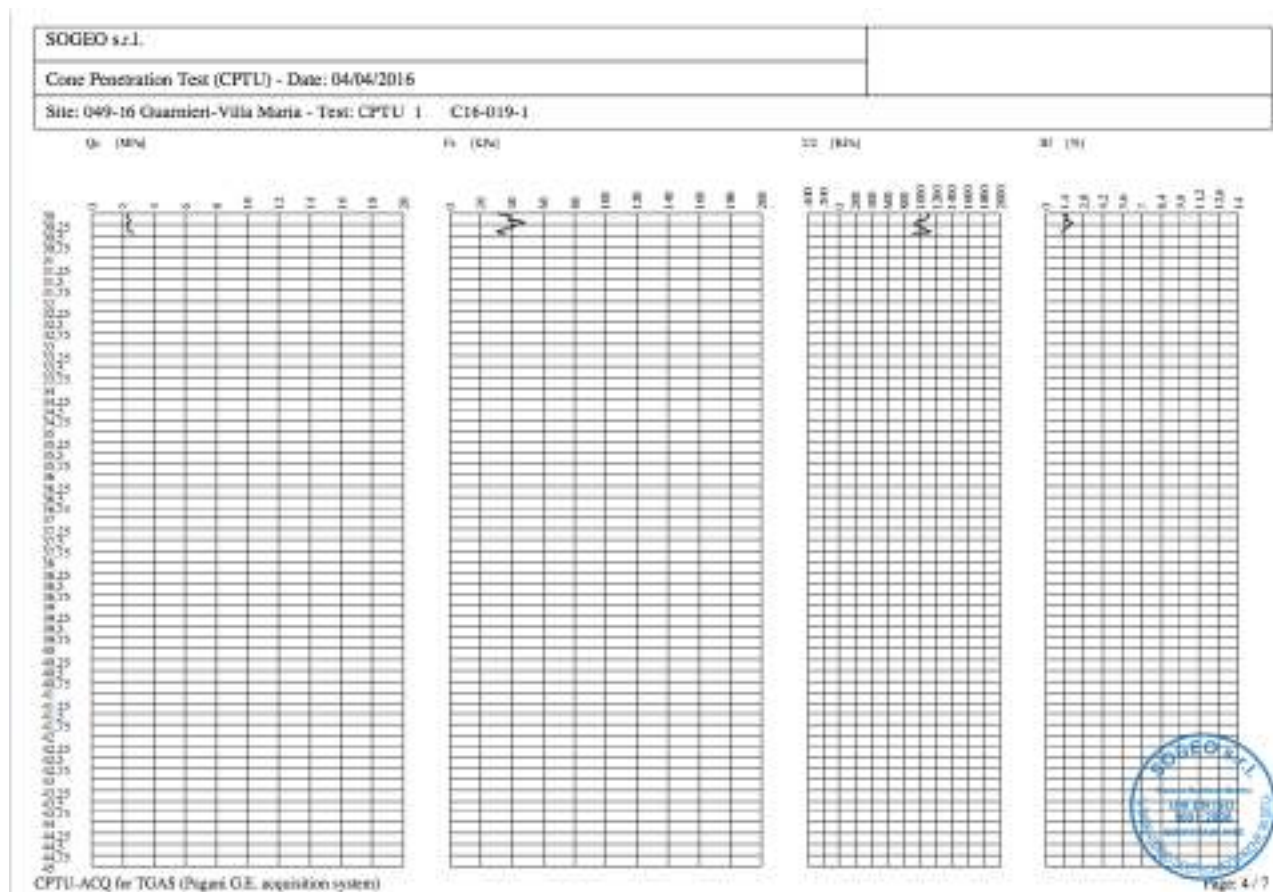



CPTU-ACQ line TCAS (Pagani G.E. acquisition system)

Page: 1 / 7



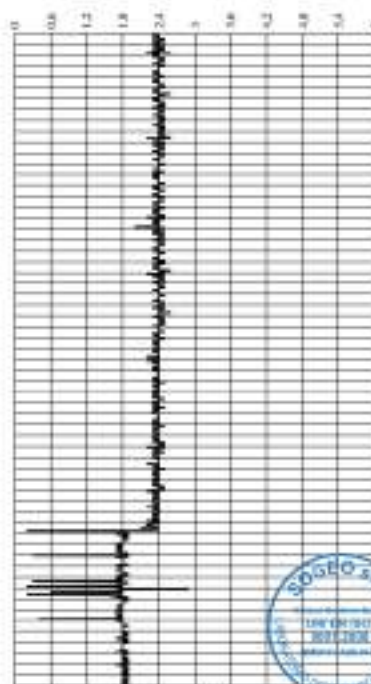
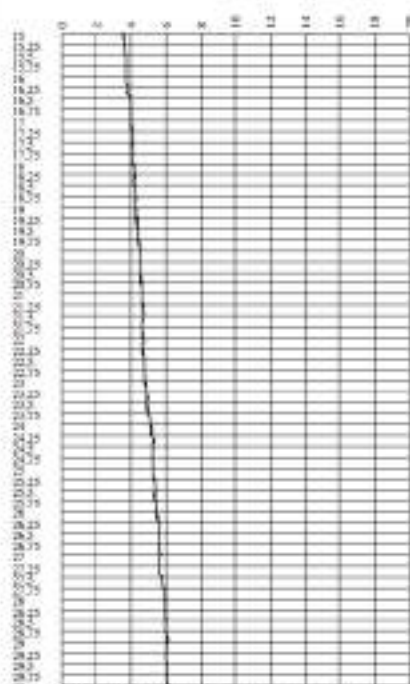




SOGEO s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016	
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU_1 C16-019-1	

T<sub>18</sub> [°]D<sub>50</sub> [mm]

Speed [mm/sec]



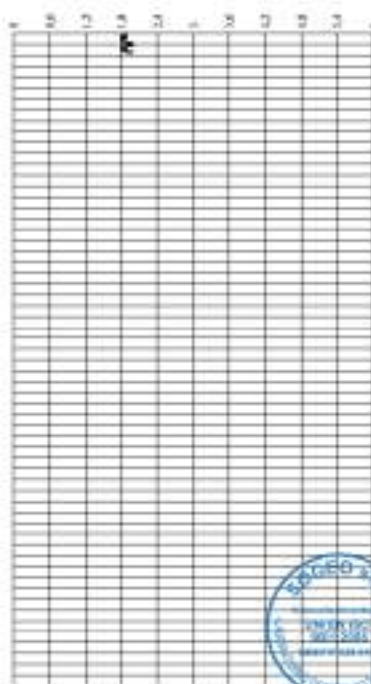
CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

Page 6 / 7

SOGEO s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016	
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU_1 C16-019-1	

T<sub>18</sub> [°]D<sub>50</sub> [mm]

Speed [mm/sec]



CPTU-ACQ for TGAS (Pagani G.E. acquisition system)

Page 7 / 7

SOGEO s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016	
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU 2 C16-019-2	

#### Company information

Name: SOGEO s.r.l.  
 Address: Via San Pietro 40  
 Zip code: 49022  
 City: Lago (RA)  
 P.IVA: 0109162099  
 E-Mail: [info@sogeo.it](mailto:info@sogeo.it)  
 Phone number: +39054122402  
 Fax number: +39054134441

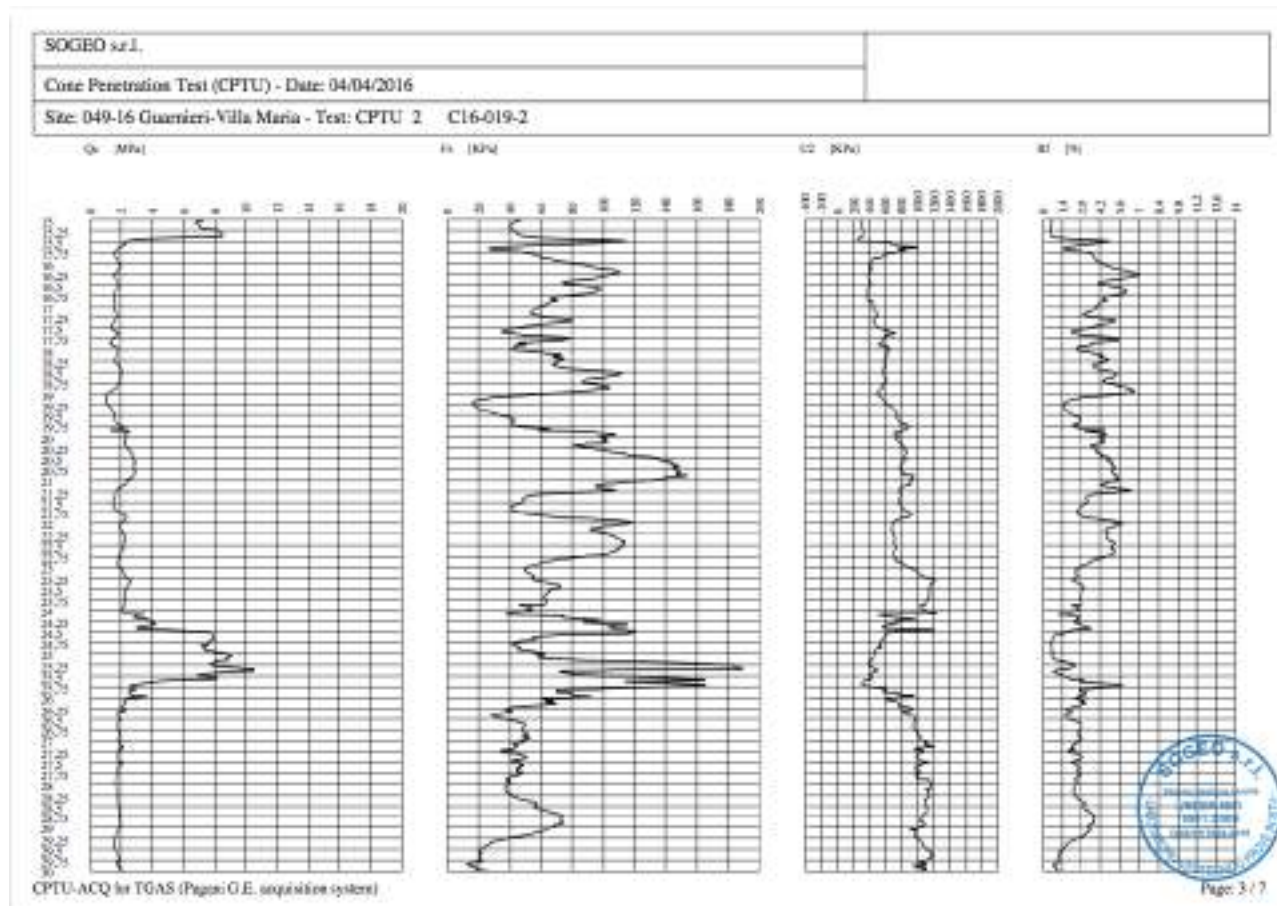
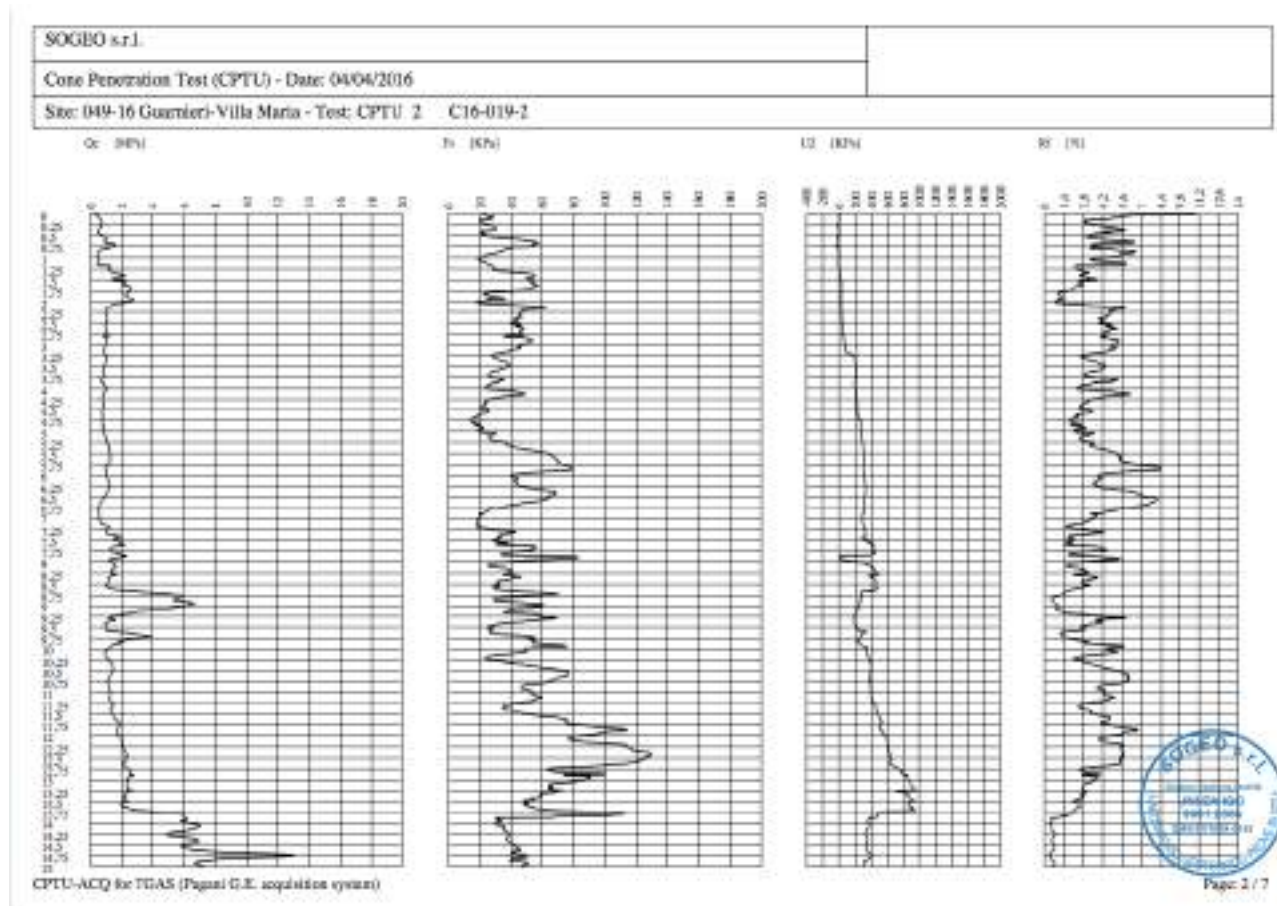
#### Site information

Name: 049-16 Guarnieri-Villa Maria  
 Date:  
 Commissioned by: Dispositivo Guarnieri  
 Locality: Cotignola (RA) c/o Villa Maria

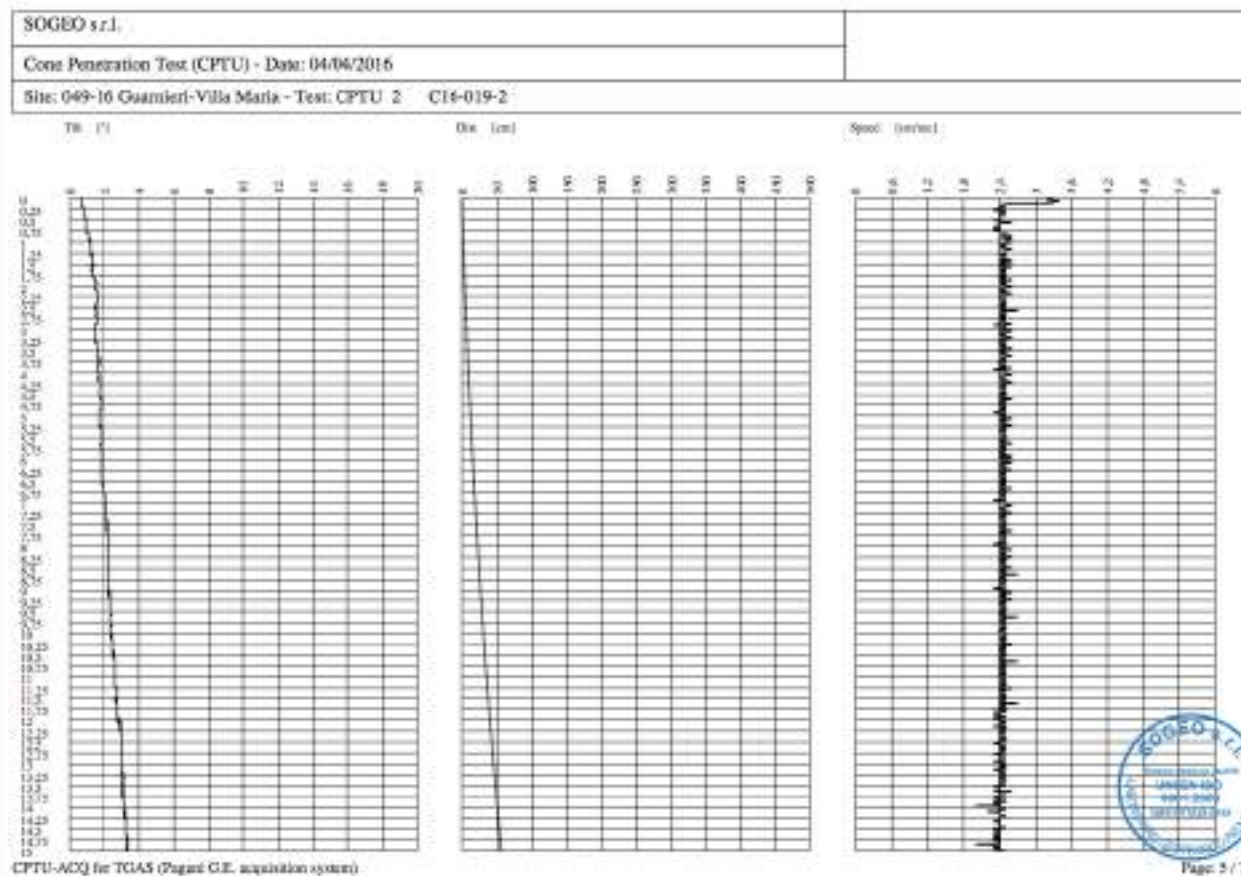
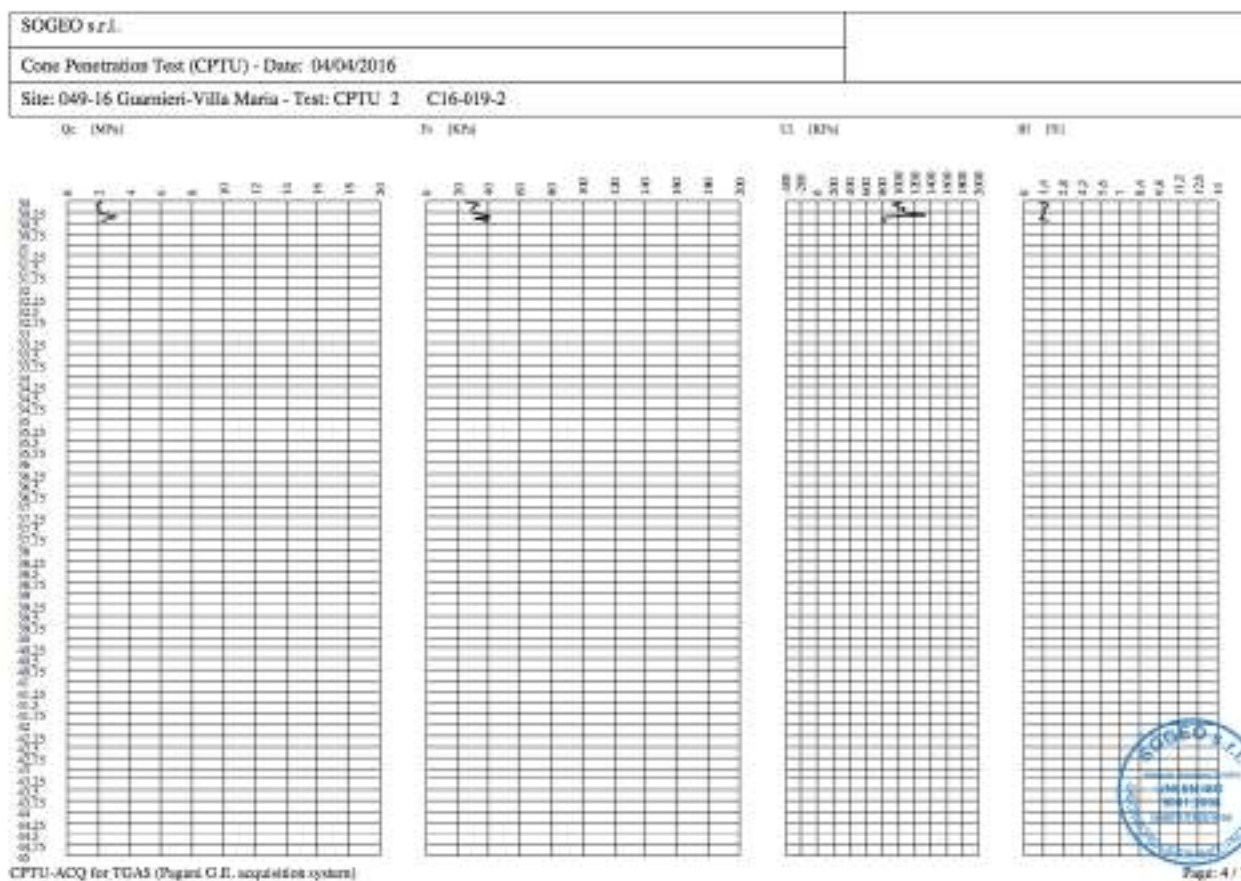
#### Test information

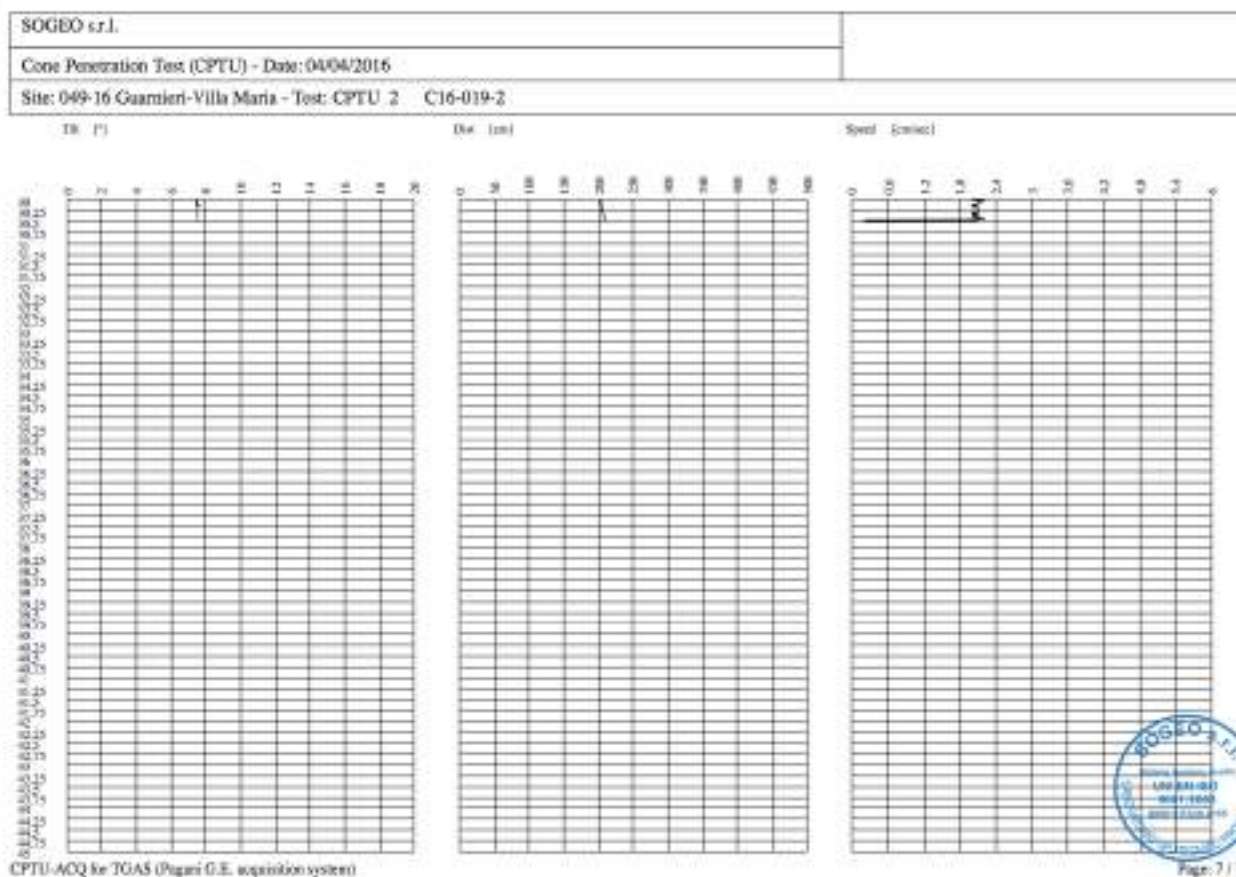
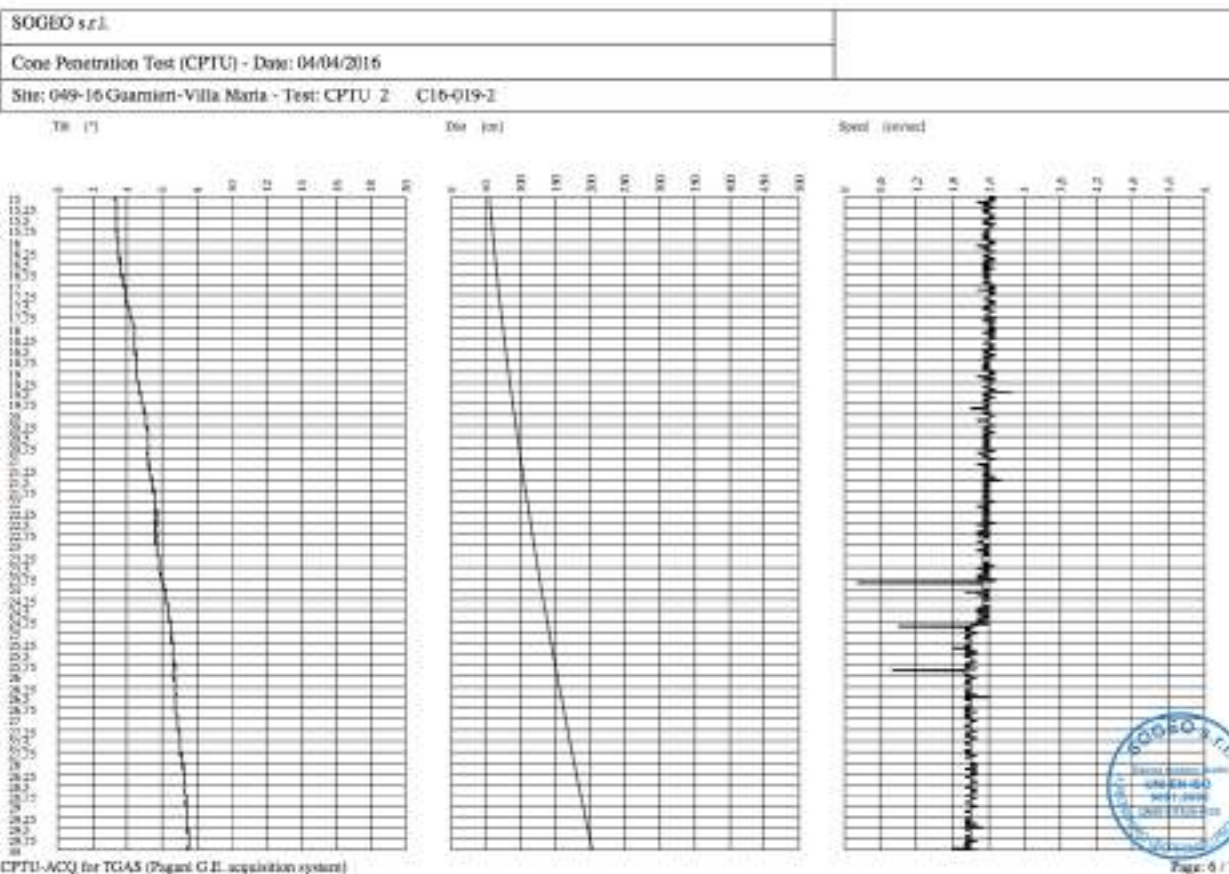
Name: CPTU 2  
 Location: Campo di grano duro Sud  
 Date: 04/04/2016  
 Prefixed mode:  
 Prefixed depth (cm): 0  
 Hydraulic line (cm): 0  
 Diameter bore (mm): 0  
 Latitude: 0  
 Longitude: 0  
 Operator: Claudio Zanoni  
 Comments:  
 Probe code: MK0100











SOGEO s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016	
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU 3 C16-019-3	

#### Company information

Name: SOGEO s.r.l.  
 Address: Via San Pietro 40  
 Zip code: 48022  
 City: Lugo (RA)  
 P.IVA: 0303628098  
 E-Mail: info@sogeo.it  
 Phone number: +39054523942  
 Fax number: +39054534401

#### Site information

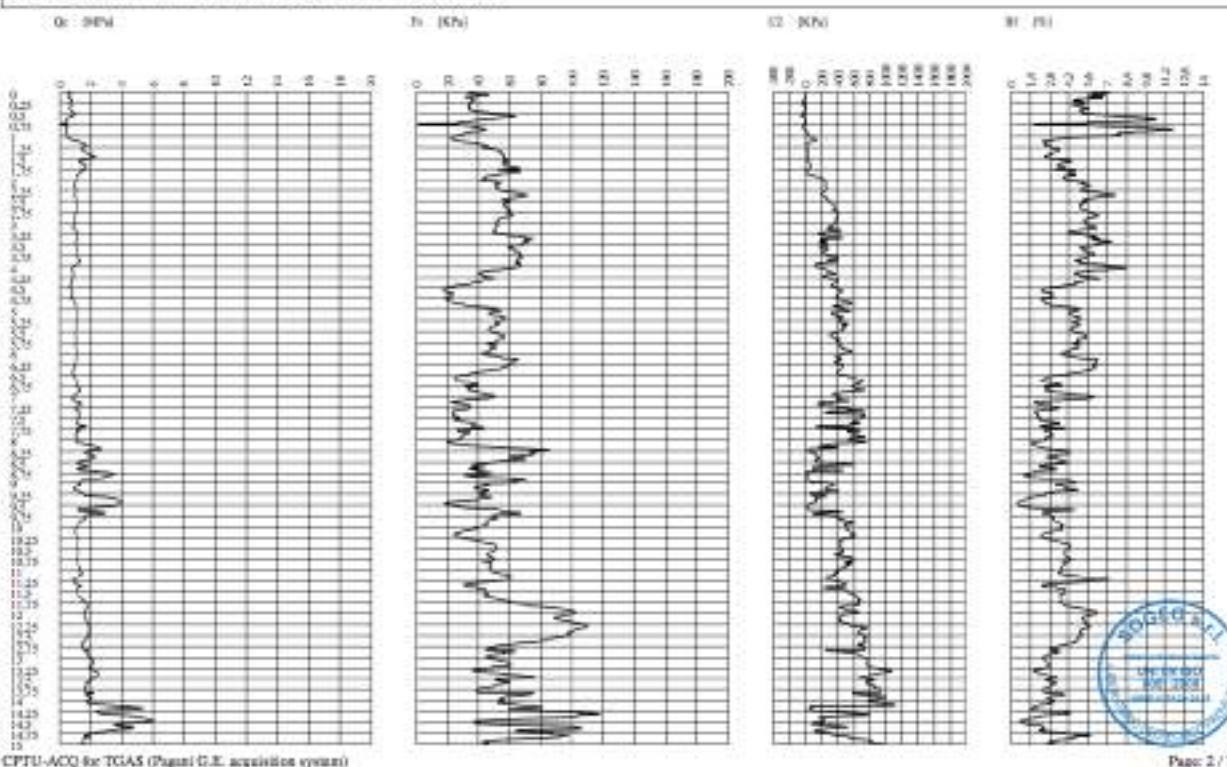
Name: 049-16 Guarnieri-Villa Maria  
 Date:  
 Commissioner: Dott. Giampaolo Guarnieri  
 Locality: Cotignola (RA) via Villa Maria

#### Test information

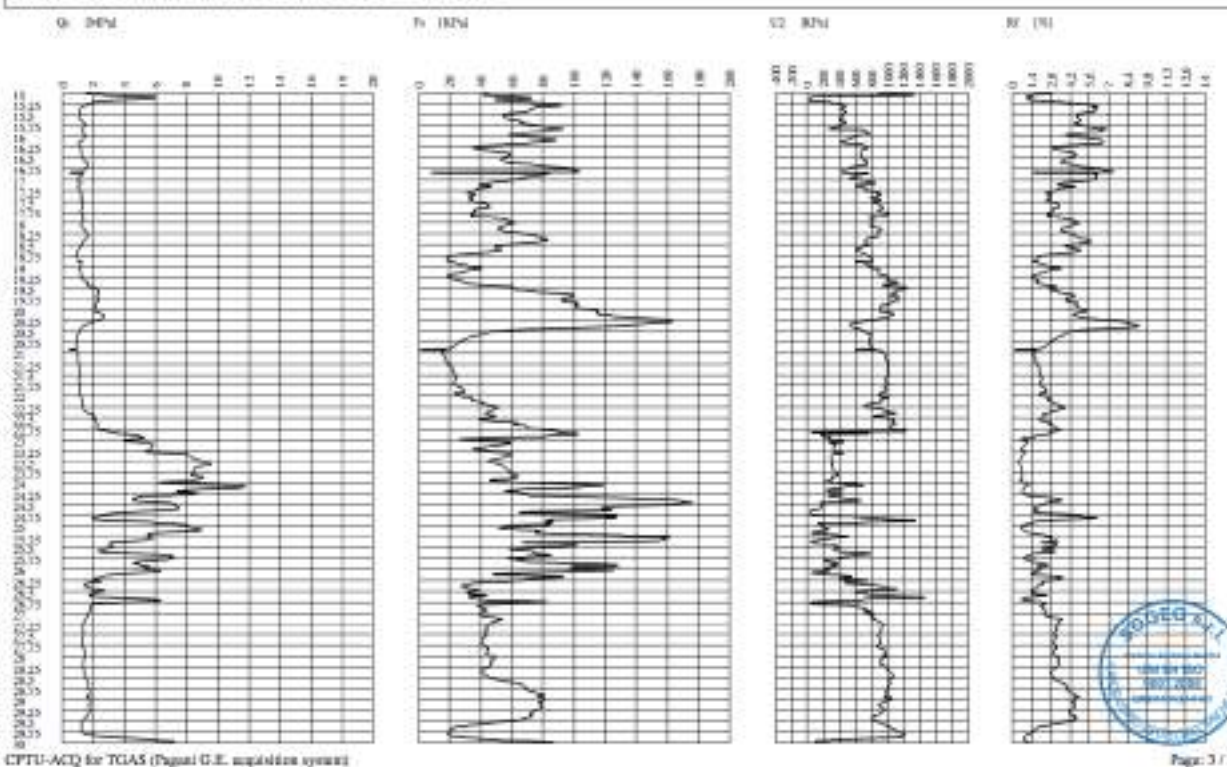
Name: CPTU 3  
 Location: Campo di grano - Lago Merl  
 Date: 04/04/2016  
 Probe model:  
 Probe depth (cm): 8  
 Hydraulic line (cm): 0  
 Ground level (m): 8  
 Latitude: 8  
 Longitude: 9  
 Operator: Claudio Zanussi  
 Comments:  
 Probe code: M62188



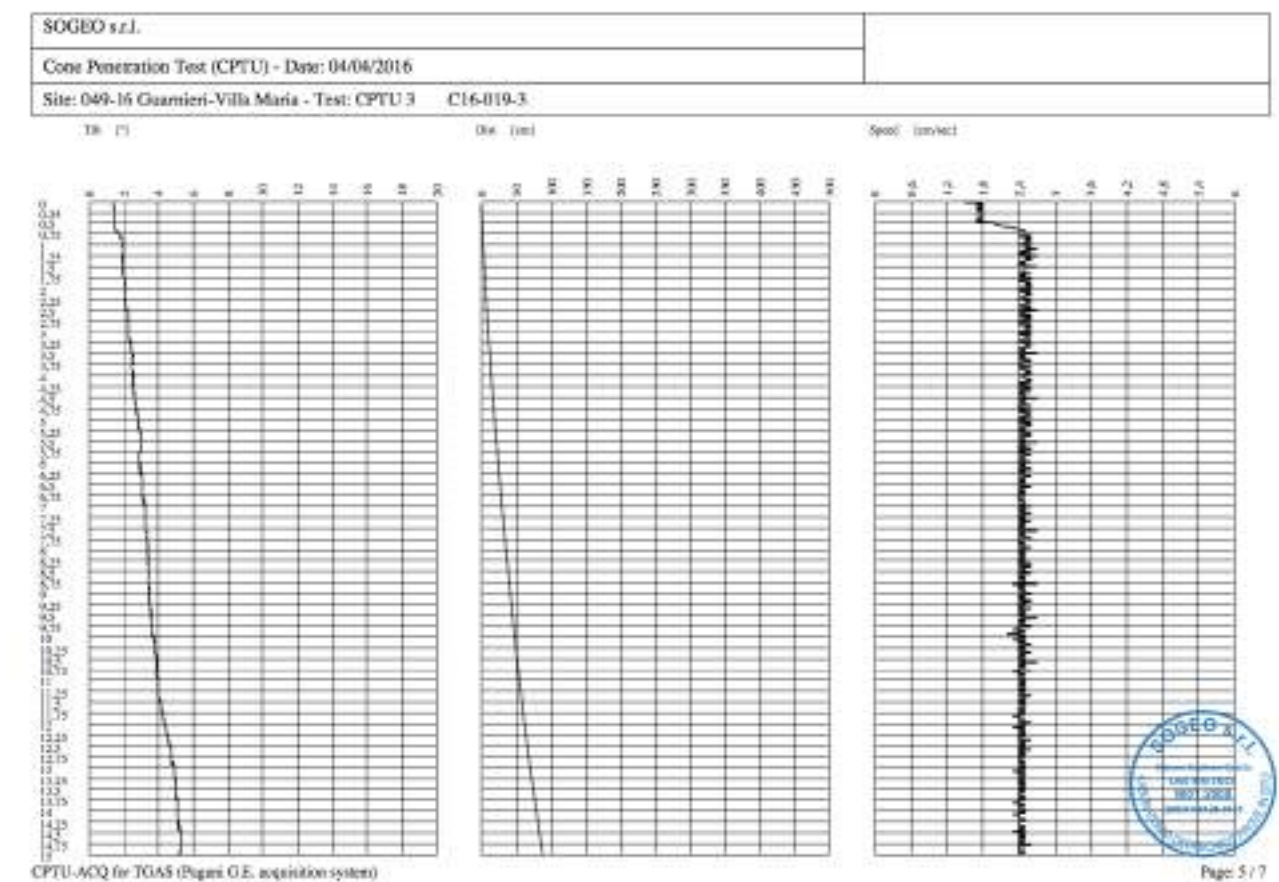
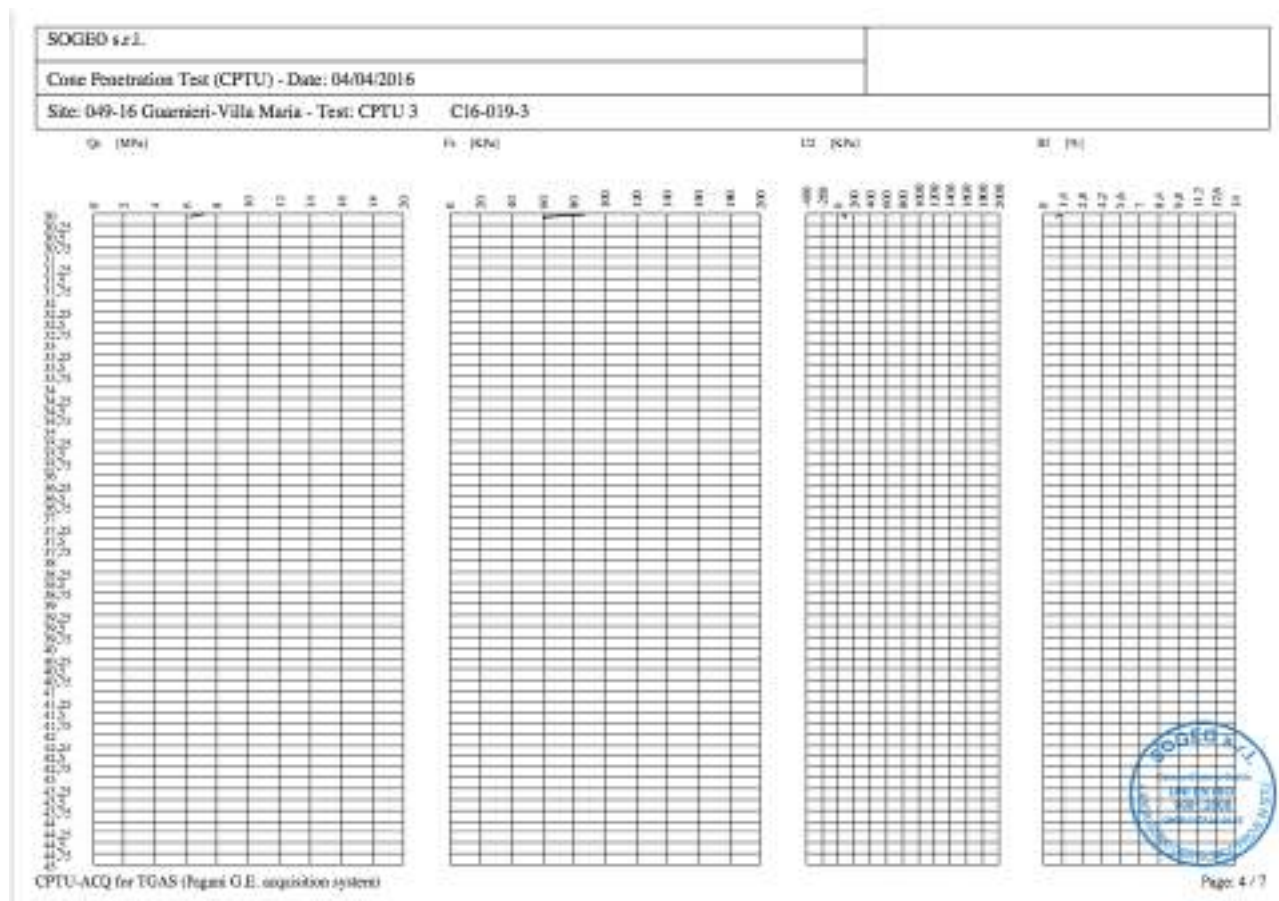
SOGEO s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016	
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU 3	C16-019-3

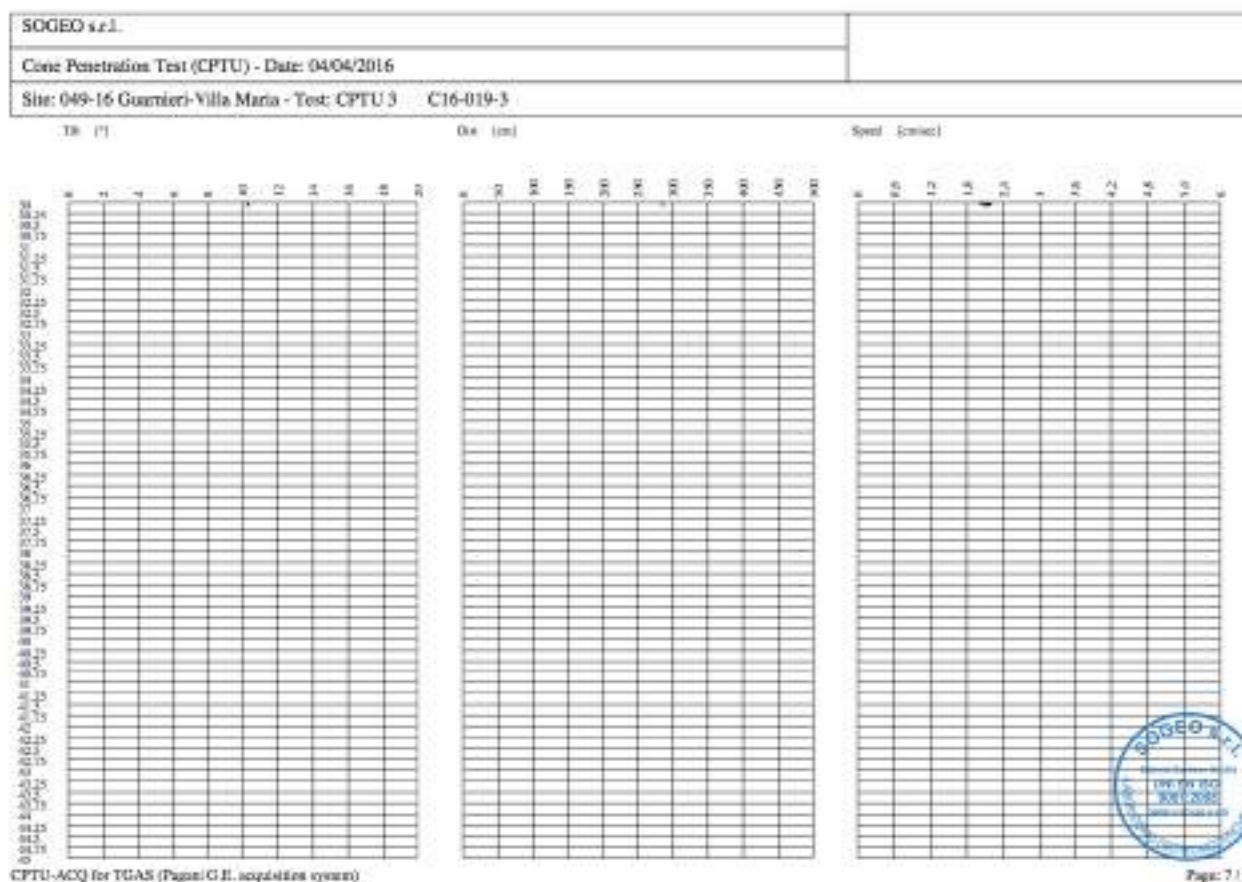
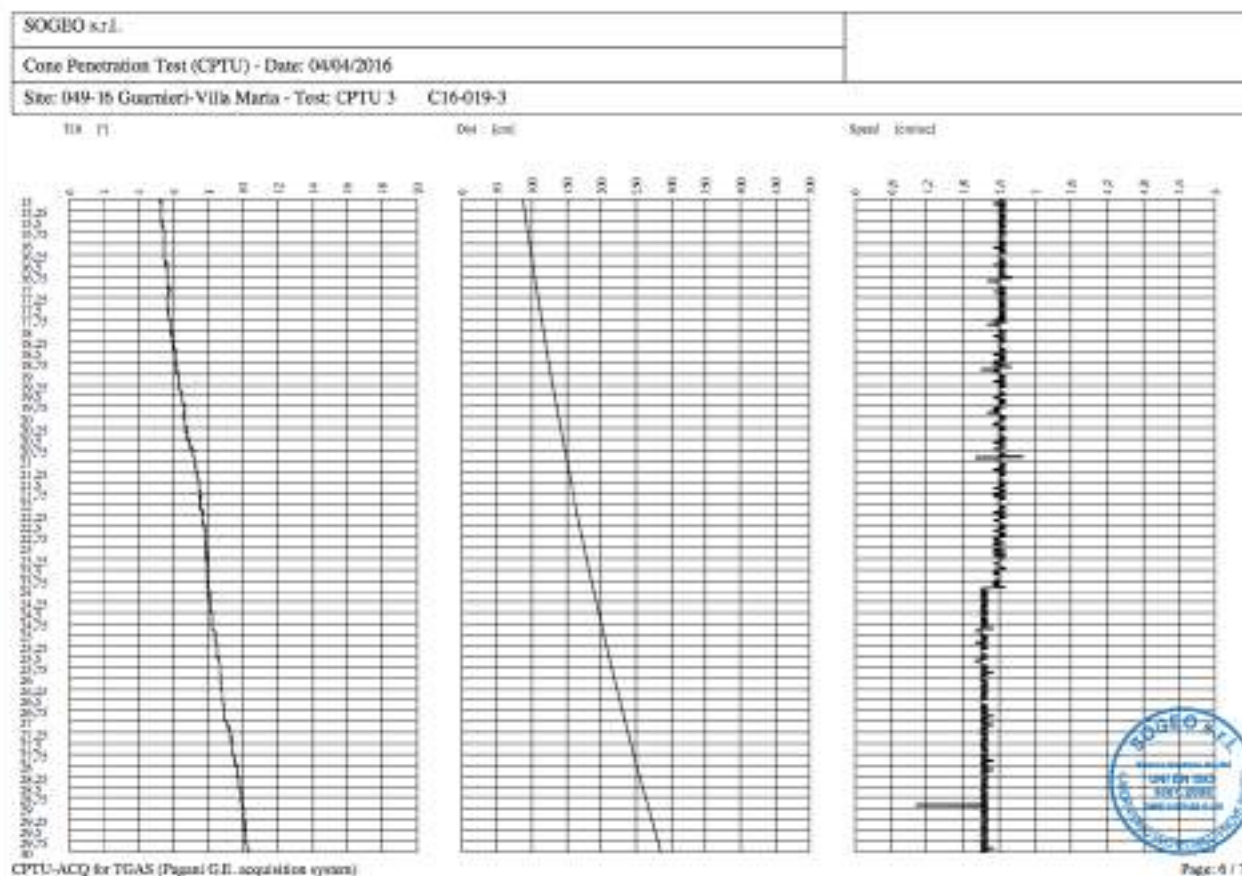


SOGEO s.r.l.	
Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/04/2016	
Site: 049-16 Guarnieri-Villa Maria - Test: CPTU 3	C16-019-3









## RELAZIONE TECNICA

Cotignola via Madonna di Genova  
**CPTU 1** - 04.04.2016  
 Prot. n. 5237

Quota livello di falda : 1.30

## Interpretazione stratigrafia

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI í	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
0.20 Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1900	0.038	0.000	45	100	0.0053	6.3434	5.2e-1
0.40 Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1900	0.076	0.000	45	100	0.0053	6.3434	5.2e-1
0.60 Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1900	0.114	0.000	45	100	0.0053	6.3434	5.2e-1
0.80 Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1900	0.152	0.000	45	100	0.0053	6.3434	5.2e-1
1.00 Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1900	0.190	0.000	45	100	0.0053	6.3434	5.2e-1
1.20 Limi argillosi e argille	1509	1509	0.220	0.115	0	0	0.1513	0.2203	2.2e-1
1.40 Limi argillosi e argille	1696	1696	0.254	0.438	0	0	0.0529	0.6306	1.8e-2
1.60 Sabbie limose	1500	870	0.271	0.000	28	43	0.0207	2.1436	2.0e-1
1.80 Sabbie limose	1500	870	0.289	0.000	28	37	0.0250	1.7743	3.1e-1
2.00 Sabbie limose	1500	870	0.306	0.000	28	38	0.0234	1.9010	4.7e-2
2.20 Limi argillosi e argille	1766	1136	0.329	0.703	0	0	0.0357	0.9328	2.9e-3
2.40 Argille	1745	1115	0.351	0.609	0	0	0.0160	1.2473	1.3e-3
2.60 Limi argillosi e argille	1766	1136	0.374	0.700	0	0	0.0357	0.9328	9.1e-3
2.80 Torbe	1722	1092	0.396	0.514	0	0	0.0182	2.1857	1.6e-4
3.00 Argille	1662	1032	0.416	0.334	0	0	0.0194	0.7810	5.3e-3
3.20 Limi argillosi e argille	1662	1032	0.437	0.333	0	0	0.0640	0.5207	9.7e-3
3.40 Argille	1644	1014	0.457	0.291	0	0	0.0203	0.7066	2.5e-3
3.60 Limi argillosi e argille	1669	1039	0.478	0.347	0	0	0.0616	0.5416	2.6e-2
3.80 Limi argillosi e argille	1726	1096	0.500	0.523	0	0	0.0446	0.7474	1.6e-2
4.00 Argille	1708	1078	0.522	0.457	0	0	0.0182	1.0107	7.6e-4
4.20 Limi argillosi e argille	1727	1097	0.544	0.524	0	0	0.0443	0.7519	5.3e-3
4.40 Limi argillosi e argille	1758	1128	0.566	0.652	0	0	0.0372	0.8952	2.0e-2
4.60 Limi argillosi e argille	1773	1143	0.589	0.723	0	0	0.0343	0.9730	1.5e-2
4.80 Limi argillosi e argille	1715	1085	0.611	0.475	0	0	0.0475	0.7013	7.8e-3
5.00 Limi argillosi e argille	1754	1124	0.633	0.628	0	0	0.0382	0.8733	3.0e-2
5.20 Limi argillosi e argille	1769	1139	0.656	0.698	0	0	0.0351	0.9508	2.2e-2
5.40 Limi argillosi e argille	1774	1144	0.679	0.720	0	0	0.0341	0.9766	4.1e-3
5.60 Argille	1750	1120	0.701	0.606	0	0	0.0156	1.2814	6.2e-4
5.80 Torbe	1698	1068	0.723	0.413	0	0	0.0183	1.9149	3.3e-4
6.00 Argille	1705	1075	0.744	0.432	0	0	0.0182	0.9934	4.4e-3
6.20 Limi argillosi e argille	1712	1082	0.766	0.455	0	0	0.0483	0.6898	1.6e-2
6.40 Limi e limi sabbiosi	1500	870	0.783	0.000	28	21	0.0331	1.0058	9.0e-2
6.60 Limi argillosi e argille	1749	1119	0.806	0.596	0	0	0.0392	0.8506	7.5e-3
6.80 Limi e limi sabbiosi	1500	870	0.823	0.000	28	21	0.0323	1.0313	1.8e-1
7.00 Limi argillosi e argille	1768	1138	0.846	0.678	0	0	0.0353	0.9436	1.2e-2
7.20 Sabbie limose	1500	870	0.863	0.000	28	36	0.0169	2.6254	1.4e-1
7.40 Limi e limi sabbiosi	1500	870	0.881	0.000	28	32	0.0156	2.1307	1.4e-2
7.60 Torbe	1787	1157	0.904	0.777	0	0	0.0127	3.1595	3.2e-5
7.80 Limi argillosi e argille	1795	1165	0.927	0.820	0	0	0.0264	1.0995	3.9e-3
8.00 Limi argillosi e argille	1854	1224	0.951	1.249	0	0	0.0120	1.5358	4.4e-3
8.20 Limi argillosi e argille	1785	1155	0.975	0.758	0	0	0.0304	1.0384	2.3e-3
8.40 Limi argillosi e argille	1879	1249	1.000	1.481	0	0	0.0088	1.7647	5.0e-3
8.60 Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.017	0.000	28	26	0.0207	1.6095	1.2e-2
8.80 Sabbie limose	1500	870	1.034	0.000	28	37	0.0151	2.9432	1.2e-1
9.00 Limi argillosi e argille	1818	1188	1.058	0.961	0	0	0.0192	1.2553	1.3e-2
9.20 Limi argillosi e argille	1723	1093	1.080	0.471	0	0	0.0455	0.7324	5.3e-3
9.40 Sabbie limose	1500	870	1.097	0.000	28	28	0.0239	1.8587	7.0e-2
9.60 Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.115	0.000	28	24	0.0226	1.4752	7.4e-2
9.80 Limi argillosi e argille	1812	1182	1.138	0.915	0	0	0.0208	1.2129	3.2e-3
10.00 Torbe	1777	1147	1.161	0.705	0	0	0.0134	2.9853	7.7e-5
10.20 Limi argillosi e argille	1766	1136	1.184	0.646	0	0	0.0357	0.9328	4.0e-3
10.40 Limi argillosi e argille	1788	1158	1.207	0.760	0	0	0.0291	1.0567	3.1e-3
10.60 Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.225	0.000	28	18	0.0352	0.9472	3.9e-2
10.80 Limi argillosi e argille	1801	1171	1.248	0.833	0	0	0.0244	1.1357	1.8e-3
11.00 Argille	1768	1138	1.271	0.653	0	0	0.0141	1.4208	6.0e-4
11.20 Torbe	1692	1062	1.292	0.358	0	0	0.0184	1.8543	1.4e-5

11.40	Limi argillosi e argille	1742	1112	1.314	0.531	0	0	0.0408	0.8167	9.1e-3
11.60	Limi argillosi e argille	1798	1168	1.338	0.813	0	0	0.0252	1.1211	1.1e-2
11.80	Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.355	0.000	28	17	0.0382	0.8733	4.3e-2
12.00	Limi argillosi e argille	1797	1167	1.378	0.800	0	0	0.0257	1.1106	3.1e-3
12.20	Limi argillosi e argille	1840	1210	1.403	1.099	0	0	0.0145	1.4176	1.8e-3
12.40	Argille	1857	1227	1.427	1.238	0	0	0.0086	2.3341	3.7e-4
12.60	Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.444	0.000	28	21	0.0252	1.3244	1.2e-2
12.80	Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.462	0.000	28	19	0.0289	1.1530	1.0e-1
13.00	Sabbie	1800	1170	1.485	0.000	32	47	0.0086	3.8598	2.6e-1
13.20	Sabbie	1800	1170	1.509	0.000	32	44	0.0094	3.5453	1.8e-1
13.40	Sabbie	1800	1170	1.532	0.000	33	54	0.0066	5.0181	5.2e-1
13.60	Sabbie	1800	1170	1.555	0.000	33	53	0.0069	4.8287	4.0e-1
13.80	Sabbie	1800	1170	1.579	0.000	32	50	0.0075	4.4365	3.3e-1
14.00	Sabbie	1800	1170	1.602	0.000	33	52	0.0071	4.6692	3.8e-1
14.20	Sabbie	1800	1170	1.626	0.000	33	53	0.0069	4.8654	3.7e-1
14.40	Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1270	1.651	0.000	35	63	0.0051	6.6000	4.7e-1
14.60	Sabbie	1800	1170	1.674	0.000	32	49	0.0076	4.4053	3.8e-1
14.80	Sabbie	1800	1170	1.698	0.000	32	48	0.0080	4.1776	3.8e-1
15.00	Sabbie	1800	1170	1.721	0.000	34	57	0.0058	5.7635	5.1e-1
15.20	Argille	1902	1272	1.747	1.691	0	0	0.0066	3.0149	3.7e-4
15.40	Sabbie limose	1500	870	1.764	0.000	28	24	0.0240	1.8524	5.5e-2
15.60	Argille	1802	1172	1.788	0.807	0	0	0.0116	1.7191	5.3e-4
15.80	Argille	1797	1167	1.811	0.775	0	0	0.0120	1.6712	1.6e-3
16.00	Torbe	1785	1155	1.834	0.704	0	0	0.0128	3.1257	1.9e-4
16.20	Limi argillosi e argille	1795	1165	1.857	0.758	0	0	0.0264	1.0995	1.0e-2
16.40	Torbe	1791	1161	1.881	0.736	0	0	0.0124	3.2354	1.9e-4
16.60	Limi argillosi e argille	1793	1163	1.904	0.744	0	0	0.0270	1.0890	3.7e-3
16.80	Limi argillosi e argille	1798	1168	1.927	0.770	0	0	0.0254	1.1176	2.0e-3
17.00	Argille	1776	1146	1.950	0.645	0	0	0.0135	1.4809	1.6e-3
17.20	Limi e limi sabbiosi	1500	870	1.967	0.000	28	19	0.0263	1.2689	5.3e-2
17.40	Limi argillosi e argille	1804	1174	1.991	0.803	0	0	0.0233	1.1565	6.7e-3
17.60	Limi argillosi e argille	1783	1153	2.014	0.679	0	0	0.0311	1.0278	4.9e-3
17.80	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.031	0.000	28	19	0.0269	1.2376	9.9e-2
18.00	Argille	1776	1146	2.054	0.642	0	0	0.0134	1.4873	5.0e-4
18.20	Argille	1773	1143	2.077	0.624	0	0	0.0137	1.4595	1.1e-3
18.40	Argille	1733	1103	2.099	0.444	0	0	0.0171	1.1672	1.3e-3
18.60	Sabbie limose	1500	870	2.117	0.000	28	24	0.0233	1.9073	2.5e-1
18.80	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.134	0.000	28	19	0.0243	1.3728	8.4e-2
19.00	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.151	0.000	28	19	0.0261	1.2764	1.8e-2
19.20	Sabbie limose	1500	870	2.169	0.000	28	28	0.0176	2.5220	5.4e-2
19.40	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.186	0.000	28	20	0.0234	1.4275	3.1e-2
19.60	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.204	0.000	28	21	0.0209	1.5959	4.8e-2
19.80	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.221	0.000	28	20	0.0231	1.4448	3.5e-2
20.00	Limi argillosi e argille	1866	1236	2.246	1.272	0	0	0.0103	1.6426	4.0e-3
20.20	Argille	1836	1206	2.270	1.007	0	0	0.0096	2.0753	9.7e-4
20.40	Limi argillosi e argille	1770	1140	2.293	0.592	0	0	0.0349	0.9544	2.3e-3
20.59	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.309	0.000	28	15	0.0416	0.8012	2.2e-1
20.60	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.310	0.000	28	15	0.0418	0.7975	2.2e-1
20.80	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.327	0.000	28	15	0.0404	0.8241	3.9e-1
20.81	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.328	0.000	28	15	0.0403	0.8278	3.9e-1
21.00	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.345	0.000	28	15	0.0374	0.8915	2.6e-1
21.20	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.362	0.000	28	15	0.0363	0.9176	2.4e-1
21.40	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.380	0.000	28	15	0.0352	0.9472	1.1e-1
21.60	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.397	0.000	28	15	0.0362	0.9212	9.2e-2
21.80	Sabbie limose	1500	870	2.414	0.000	28	18	0.0344	1.2934	2.2e-1
22.00	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.432	0.000	28	23	0.0170	1.9587	3.7e-2
22.20	Sabbie limose	1500	870	2.449	0.000	28	25	0.0199	2.2373	3.6e-2
22.40	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.467	0.000	28	30	0.0113	2.9554	8.7e-3
22.60	Sabbie limose	1500	870	2.484	0.000	28	41	0.0086	5.1625	4.3e-2
22.80	Sabbie limose	1500	870	2.501	0.000	28	33	0.0126	3.5235	4.1e-2
23.00	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.519	0.000	28	26	0.0138	2.4178	8.8e-3
23.20	Sabbie limose	1500	870	2.536	0.000	28	33	0.0126	3.5297	1.8e-2
23.40	Sabbie limose	1500	870	2.554	0.000	28	37	0.0102	4.3662	4.6e-2
23.60	Sabbie limose	1500	870	2.571	0.000	28	35	0.0110	4.0475	1.2e-2
23.61	Sabbie limose	1500	870	2.572	0.000	28	36	0.0108	4.1030	1.5e-2
23.80	Sabbie	1800	1170	2.594	0.000	31	37	0.0103	3.2476	1.1e-1
24.00	Sabbie limose	1500	870	2.612	0.000	28	36	0.0106	4.2115	8.0e-2
24.20	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.629	0.000	28	27	0.0126	2.6437	7.8e-3
24.40	Sabbie limose	1500	870	2.646	0.000	28	32	0.0132	3.3741	1.9e-2
24.60	Limi e limi sabbiosi	1500	870	2.664	0.000	28	30	0.0108	3.0793	1.1e-2
24.80	Sabbie	1800	1170	2.687	0.000	32	46	0.0071	4.7211	1.4e-1

25.00	Sabbie	1800	1170	2.711	0.000	31	37	0.0099	3.3735	1.9e-1
25.20	Sabbie	1800	1170	2.734	0.000	32	48	0.0064	5.2227	2.8e-1
25.40	Sabbie	1800	1170	2.757	0.000	32	48	0.0065	5.1434	3.6e-1
25.60	Sabbie	1800	1170	2.781	0.000	32	50	0.0060	5.5161	4.3e-1
25.80	Sabbie	1800	1170	2.804	0.000	31	42	0.0079	4.2072	3.8e-1
26.00	Sabbie	1800	1170	2.828	0.000	31	40	0.0085	3.9097	2.9e-1
26.20	Sabbie	1800	1170	2.851	0.000	32	47	0.0065	5.1641	3.1e-1
26.40	Sabbie	1800	1170	2.874	0.000	33	53	0.0053	6.2912	3.2e-1
26.60	Sabbie	1800	1170	2.898	0.000	31	41	0.0082	4.0827	1.5e-1
26.80	Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1270	2.923	0.000	34	61	0.0041	8.0425	4.5e-1
27.00	Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1270	2.949	0.000	34	58	0.0046	7.3242	2.6e-1
27.20	Sabbie	1800	1170	2.972	0.000	33	51	0.0056	5.9061	3.1e-1
27.40	Sabbie	1800	1170	2.995	0.000	33	53	0.0052	6.4243	3.1e-1
27.60	Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1270	3.021	0.000	34	56	0.0047	7.0846	3.5e-1
27.80	Ghiaie/Sabbie addensate	1900	1270	3.046	0.000	35	62	0.0040	8.3355	3.7e-1
28.00	Sabbie	1800	1170	3.070	0.000	34	57	0.0047	7.1680	2.8e-1
28.20	Sabbie	1800	1170	3.093	0.000	32	47	0.0062	5.3342	2.9e-1
28.40	Sabbie	1800	1170	3.116	0.000	32	47	0.0063	5.2794	2.9e-1
28.60	Sabbie	1800	1170	3.140	0.000	32	48	0.0061	5.4843	3.8e-1
28.80	Sabbie limose	1500	870	3.157	0.000	28	32	0.0120	3.7095	3.9e-2
29.00	Limi e limi sabbiosi	1500	870	3.175	0.000	28	22	0.0168	1.9875	1.8e-2
29.20	Limi e limi sabbiosi	1500	870	3.192	0.000	28	20	0.0199	1.6723	2.4e-2
29.40	Limi e limi sabbiosi	1500	870	3.209	0.000	28	19	0.0214	1.5561	2.1e-2
29.60	Limi e limi sabbiosi	1500	870	3.227	0.000	28	18	0.0237	1.4036	7.0e-2
29.80	Sabbie limose	1500	870	3.244	0.000	28	18	0.0308	1.4448	1.9e-1
30.00	Sabbie limose	1500	870	3.262	0.000	28	20	0.0254	1.7481	1.3e-1
30.20	Limi e limi sabbiosi	1500	870	3.279	0.000	28	20	0.0190	1.7545	5.0e-2
30.40	Sabbie limose	1500	870	3.296	0.000	28	21	0.0238	1.8657	1.6e-1

## RELAZIONE TECNICA

Cotignola - via Madonna di Genova

CPTU 2 - 04.04.2016

Prot. n. 5237

Quota livello di falda : 1.00

## Interpretazione stratigrafia

Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI í	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
0.00 Sabbia lim. molto compre NAN(000)	1600	1600	0.000	0.000	29	15-NAN(000)-NAN(000)-			
0.20 Sabbia argilloso-limosa	1650	1650	0.033	0.000	31	36	0.0510	0.6541	2.6e-2
0.40 Limo argilloso molto sof	1641	1641	0.066	0.232	0	0	0.0190	0.4625	1.4e-3
0.60 Limo argilloso soffice	1753	1753	0.101	0.495	0	0	0.0141	0.8693	2.5e-3
0.80 Limo argil-sabbioso scio	1754	1754	0.136	0.495	0	0	0.0141	0.8730	9.1e-3
1.00 Limo argilloso molto sof	1636	1636	0.169	0.220	0	0	0.0194	0.4498	4.5e-3
1.20 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.189	0.000	30	30	0.0324	0.7707	5.0e-2
1.40 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	0.210	0.000	31	39	0.0271	1.6394	2.4e-2
1.60 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	0.232	0.000	31	37	0.0280	1.5895	2.3e-2
1.80 Sabbia ghiaiosa sciolta	1700	1070	0.253	0.000	31	39	0.0188	1.3308	2.0e-1
2.00 Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1020	0.274	0.000	31	40	0.0173	1.4427	3.0e-1
2.20 Limo argilloso soffice	1748	1118	0.296	0.470	0	0	0.0142	0.8467	1.4e-3
2.40 Limo argil-sabbioso scio	1761	1131	0.319	0.509	0	0	0.0140	0.9065	4.6e-3
2.60 Limo argil-sabbioso scio	1744	1114	0.341	0.452	0	0	0.0143	0.8241	3.5e-3
2.80 Limo argil-sabbioso scio	1761	1131	0.364	0.510	0	0	0.0140	0.9103	3.2e-3
3.00 Limo argilloso soffice	1745	1115	0.386	0.455	0	0	0.0142	0.8317	1.8e-3
3.20 Limo argil-sabbioso scio	1728	1098	0.408	0.402	0	0	0.0146	0.7554	7.3e-3
3.40 Limo argil-sabbioso scio	1745	1115	0.430	0.453	0	0	0.0142	0.8317	7.8e-3
3.60 Limo argil-sabbioso scio	1718	1088	0.452	0.372	0	0	0.0149	0.7129	7.1e-3
3.80 Limo argilloso soffice	1690	1060	0.473	0.304	0	0	0.0161	0.6103	1.7e-3
4.00 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.493	0.000	29	21	0.0392	0.6379	4.8e-2
4.20 Limo argil-sabbioso scio	1714	1084	0.515	0.359	0	0	0.0151	0.6973	4.7e-3
4.40 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.536	0.000	29	19	0.0439	0.7593	3.5e-2
4.60 Sabbia argil-limosa molt	1650	1020	0.556	0.000	29	18	0.0483	0.6895	3.4e-2
4.80 Sabbia limosa molto scio	1650	1020	0.576	0.000	29	18	0.0489	0.5113	9.0e-2
5.00 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.597	0.000	29	19	0.0432	0.5781	5.9e-2
5.20 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.617	0.000	29	20	0.0380	0.8767	3.3e-2
5.40 Limo argil-sabbioso scio	1770	1140	0.640	0.527	0	0	0.0140	0.9546	4.6e-3
5.60 Limo argilloso plastico	1785	1155	0.663	0.584	0	0	0.0141	1.0385	8.3e-4
5.80 Argilla limosa plastica	1753	1123	0.686	0.465	0	0	0.0153	1.3039	7.9e-5
6.00 Limo argil-sabbioso scio	1755	1125	0.708	0.472	0	0	0.0141	0.8805	6.6e-3
6.20 Limo argil-sabbioso scio	1778	1148	0.731	0.553	0	0	0.0140	0.9985	8.2e-3
6.40 Argilla limosa plastica	1757	1127	0.754	0.475	0	0	0.0150	1.3319	2.5e-4
6.60 Argilla limosa soffice	1701	1071	0.775	0.315	0	0	0.0182	0.9752	7.8e-5
6.80 Limo argilloso molto sof	1647	1017	0.795	0.206	0	0	0.0186	0.4793	2.2e-3
7.00 Limo argil-sabbioso scio	1659	1029	0.816	0.226	0	0	0.0178	0.5127	1.5e-2
7.20 Sabbia sciolta	1700	1070	0.837	0.000	29	20	0.0341	0.7325	1.2e-1
7.40 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.858	0.000	29	23	0.0276	0.9073	4.2e-2
7.60 Sabbia sciolta	1700	1070	0.879	0.000	30	27	0.0210	1.1896	1.2e-1
7.80 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.899	0.000	29	23	0.0261	0.9571	4.5e-2
8.00 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.920	0.000	29	21	0.0303	1.0997	1.8e-2
8.20 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.940	0.000	29	21	0.0301	1.1069	1.9e-2
8.40 Limo argil-sabbioso scio	1771	1141	0.963	0.516	0	0	0.0140	0.9619	1.1e-2
8.60 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.983	0.000	29	19	0.0340	0.9803	2.8e-2
8.80 Ghiaia sciolta	1700	1070	1.005	0.000	31	43	0.0089	2.8033	2.9e-1
9.00 Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1020	1.025	0.000	32	44	0.0084	2.9641	1.8e-1
9.20 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.046	0.000	30	27	0.0191	1.3062	3.7e-2
9.40 Limo argil-sabbioso scio	1748	1118	1.068	0.428	0	0	0.0142	0.8430	5.3e-3
9.60 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.088	0.000	29	20	0.0322	0.7762	5.7e-2
9.80 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.110	0.000	30	26	0.0264	1.6857	2.8e-2
10.00 Limo argil-sabbioso adde	1773	1143	1.133	0.515	0	0	0.0140	0.9730	3.1e-3
10.20 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	1.153	0.000	29	17	0.0383	0.8693	4.3e-2
10.40 Limo argil-sabbioso adde	1802	1172	1.177	0.633	0	0	0.0146	1.1425	4.6e-3
10.60 Limo argilloso plastico	1785	1155	1.200	0.560	0	0	0.0141	1.0421	3.6e-4
10.80 Limo argilloso soffice	1767	1137	1.222	0.487	0	0	0.0140	0.9399	1.4e-3

11.00	Limo argil-sabbioso adde	1785	1155	1.245	0.555	0	0	0.0141	1.0385	3.1e-3
11.20	Limo argil-sabbioso adde	1786	1156	1.269	0.559	0	0	0.0141	1.0457	3.5e-3
11.40	Limo argil-sabbioso scio	1784	1154	1.292	0.550	0	0	0.0141	1.0349	1.2e-2
11.60	Limo argilloso plastico	1811	1181	1.315	0.672	0	0	0.0151	1.2062	1.6e-3
11.80	Limo argilloso plastico	1835	1205	1.339	0.799	0	0	0.0161	1.3798	5.3e-4
12.00	Limo argilloso plastico	1834	1204	1.363	0.793	0	0	0.0162	1.3729	1.0e-3
12.20	Limo argilloso plastico	1853	1223	1.388	0.910	0	0	0.0145	1.5292	3.9e-4
12.40	Limo argilloso plastico	1873	1243	1.413	1.047	0	0	0.0130	1.7088	3.1e-4
12.60	Limo argilloso plastico	1864	1234	1.437	0.979	0	0	0.0137	1.6228	3.5e-4
12.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.459	0.000	29	25	0.0242	1.8330	1.7e-2
13.00	Limo argil-sabbioso adde	1880	1250	1.484	1.092	0	0	0.0125	1.7711	4.0e-3
13.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.505	0.000	29	24	0.0256	1.7351	1.5e-2
13.40	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.527	0.000	29	23	0.0280	1.5861	1.5e-2
13.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.548	0.000	29	22	0.0295	1.5090	2.3e-2
13.80	Sabbia lim. mediamente a	1750	1120	1.570	0.000	31	39	0.0117	2.8436	3.7e-2
14.00	Ghiaia molto sciolta	1650	1020	1.591	0.000	31	39	0.0084	2.9619	4.2e-1
14.20	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.612	0.000	31	38	0.0088	2.8479	3.5e-1
14.40	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.634	0.000	31	41	0.0077	3.2374	3.9e-1
14.60	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.655	0.000	31	39	0.0083	3.0187	2.8e-1
14.80	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.676	0.000	32	50	0.0055	4.5685	4.1e-1
15.00	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.698	0.000	31	42	0.0074	3.3858	3.1e-1
15.20	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.719	0.000	31	41	0.0075	3.3324	3.6e-1
15.40	Ghiaia sciolta	1700	1070	1.741	0.000	31	42	0.0074	3.3878	2.8e-1
15.60	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.761	0.000	29	22	0.0211	1.1871	3.3e-2
15.80	Limo argil-sabbioso adde	1816	1186	1.785	0.672	0	0	0.0154	1.2377	6.7e-3
16.00	Limo argil-sabbioso adde	1844	1214	1.809	0.827	0	0	0.0153	1.4480	2.3e-3
16.20	Argilla limosa plastica	1833	1203	1.833	0.759	0	0	0.0098	2.0388	2.1e-4
16.40	Limo argilloso plastico	1829	1199	1.857	0.740	0	0	0.0166	1.3351	1.4e-3
16.60	Limo argilloso plastico	1822	1192	1.881	0.700	0	0	0.0159	1.2831	2.8e-4
16.80	Limo argil-sabbioso adde	1812	1182	1.905	0.645	0	0	0.0151	1.2097	2.3e-3
17.00	Limo argil-sabbioso adde	1810	1180	1.928	0.637	0	0	0.0150	1.1991	5.0e-3
17.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.950	0.000	29	20	0.0312	1.4242	1.3e-2
17.40	Limo argilloso plastico	1801	1171	1.973	0.591	0	0	0.0146	1.1390	1.8e-3
17.60	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.993	0.000	29	20	0.0240	1.0400	5.7e-2
17.80	Limo argilloso plastico	1790	1160	2.017	0.540	0	0	0.0142	1.0710	1.1e-3
18.00	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	2.037	0.000	29	20	0.0243	1.3695	3.0e-2
18.20	Limo argilloso plastico	1819	1189	2.061	0.676	0	0	0.0157	1.2622	1.5e-3
18.40	Limo argil-sabbioso adde	1848	1218	2.085	0.839	0	0	0.0150	1.4819	4.3e-3
18.60	Limo argilloso plastico	1852	1222	2.110	0.866	0	0	0.0146	1.5191	6.1e-4
18.80	Limo argilloso plastico	1839	1209	2.134	0.780	0	0	0.0158	1.4072	5.7e-4
19.00	Limo argilloso plastico	1764	1134	2.156	0.430	0	0	0.0140	0.9251	6.7e-4
19.20	Sabbia molto sciolta	1650	1020	2.177	0.000	29	15	0.0380	0.6576	1.3e-1
19.40	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.197	0.000	29	17	0.0295	0.8462	8.5e-2
19.60	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	2.218	0.000	29	18	0.0263	1.2657	2.3e-2
19.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.239	0.000	29	21	0.0272	1.6327	2.3e-2
20.00	Limo argil-sabbioso adde	1878	1248	2.264	1.043	0	0	0.0126	1.7580	1.9e-3
20.20	Limo argil-sabbioso adde	1876	1246	2.289	1.023	0	0	0.0128	1.7351	5.7e-3
20.40	Limo argil-sabbioso adde	1899	1269	2.314	1.212	0	0	0.0113	1.9749	1.8e-3
20.60	Limo argilloso consisten	1905	1275	2.340	1.267	0	0	0.0109	2.0452	5.6e-4
20.80	Limo argilloso consisten	1911	1281	2.365	1.319	0	0	0.0105	2.1118	5.2e-4
21.00	Limo argilloso plastico	1877	1247	2.390	1.029	0	0	0.0127	1.7482	3.7e-4
21.20	Limo argilloso plastico	1833	1203	2.414	0.730	0	0	0.0163	1.3592	2.5e-4
21.40	Limo argil-sabbioso scio	1814	1184	2.438	0.629	0	0	0.0152	1.2237	1.2e-2
21.60	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	2.459	0.000	29	17	0.0279	1.1956	2.2e-2
21.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.480	0.000	29	21	0.0268	1.6593	2.2e-2
22.00	Limo argilloso plastico	1853	1223	2.504	0.851	0	0	0.0146	1.5258	2.7e-4
22.20	Limo argilloso plastico	1861	1231	2.529	0.906	0	0	0.0139	1.5995	1.2e-3
22.40	Limo argilloso plastico	1870	1240	2.554	0.969	0	0	0.0132	1.6824	7.1e-4
22.60	Limo argilloso plastico	1862	1232	2.578	0.909	0	0	0.0138	1.6061	6.2e-4
22.80	Limo argil-sabbioso adde	1843	1213	2.603	0.780	0	0	0.0155	1.4378	2.3e-3
23.00	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.624	0.000	29	19	0.0305	1.4582	2.1e-2
23.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.646	0.000	29	21	0.0263	1.6890	2.6e-2
23.40	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.667	0.000	29	22	0.0242	1.8363	1.3e-2
23.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.688	0.000	29	21	0.0260	1.7088	1.5e-2
23.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.710	0.000	29	21	0.0264	1.6824	1.5e-2
24.00	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.731	0.000	29	20	0.0286	1.5560	3.1e-2
24.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.753	0.000	30	26	0.0178	2.4975	2.1e-2
24.40	Limo argil-sabbioso adde	1916	1286	2.778	1.350	0	0	0.0102	2.1748	5.5e-3
24.60	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.800	0.000	31	38	0.0069	3.6101	2.5e-1
24.80	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.821	0.000	31	38	0.0071	3.5227	3.6e-1
25.00	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.842	0.000	31	41	0.0063	3.9955	2.7e-1

25.20	Sabbia lim. mediamente a	1750	1120	2.865	0.000	31	39	0.0091	3.6648	3.4e-2
25.40	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.886	0.000	31	42	0.0059	4.2229	2.4e-1
25.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.908	0.000	30	31	0.0131	3.4000	5.8e-3
25.80	Limo argil-sabbioso adde	1901	1271	2.933	1.201	0	0	0.0111	2.0005	4.4e-3
26.00	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.954	0.000	29	24	0.0193	2.2999	2.1e-2
26.20	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.975	0.000	29	19	0.0215	1.1620	3.4e-2
26.40	Sabbia sciolta	1700	1070	2.996	0.000	29	18	0.0242	1.0323	1.0e-1
26.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	3.018	0.000	29	18	0.0321	1.3866	2.1e-2
26.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	3.039	0.000	29	19	0.0300	1.4819	2.6e-2
27.00	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	3.060	0.000	29	18	0.0313	1.4208	2.5e-2
27.20	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	3.081	0.000	29	18	0.0234	1.0682	4.6e-2
27.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	3.124	0.000	29	18	0.0317	1.4037	2.7e-2
27.80	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	3.144	0.000	29	17	0.0251	1.3282	2.9e-2
28.00	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	3.164	0.000	29	17	0.0260	1.2796	3.5e-2
28.20	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	3.185	0.000	29	17	0.0246	1.0142	3.9e-2
28.40	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	3.206	0.000	29	18	0.0317	1.4003	1.2e-2
28.60	Limo argil-sabbioso adde	1847	1217	3.231	0.779	0	0	0.0150	1.4786	1.0e-2
28.80	Limo argil-sabbioso adde	1850	1220	3.255	0.793	0	0	0.0148	1.4988	4.5e-3
29.00	Limo argil-sabbioso adde	1851	1221	3.279	0.800	0	0	0.0147	1.5090	7.2e-3
29.20	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	3.300	0.000	29	17	0.0262	1.2727	1.5e-2
29.40	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	3.320	0.000	29	16	0.0278	0.8993	8.3e-2
29.60	Sabbia sciolta	1700	1070	3.342	0.000	29	17	0.0245	1.0220	1.7e-1
29.80	Sabbia ghiaiosa molto sc	1650	1020	3.362	0.000	29	17	0.0253	1.3178	2.1e-1
30.00	Sabbia sciolta	1700	1070	3.383	0.000	29	19	0.0205	1.2171	1.7e-1
30.20	Sabbia sciolta	1700	1070	3.405	0.000	29	19	0.0218	1.1494	1.1e-1
30.40	Sabbia sciolta	1700	1070	3.426	0.000	29	21	0.0173	1.4451	1.4e-1
30.60	Sabbia sciolta	1700	1070	3.448	0.000	29	19	0.0204	1.2270	7.4e-2



## RELAZIONE TECNICA

Cotignola - viaMadonna di Genova  
**CPTU 3** - 04.04.2016  
 Prot. n. 5237

Quota livello di falda : 1.00

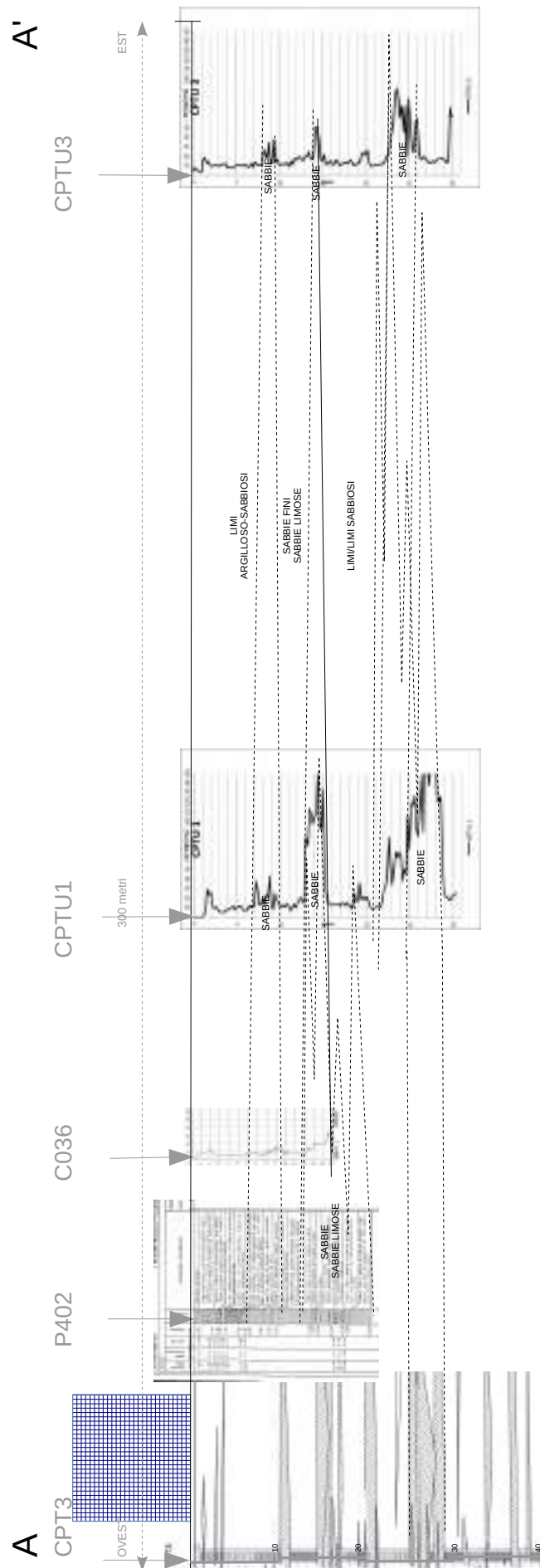
## Interpretazione stratigrafia

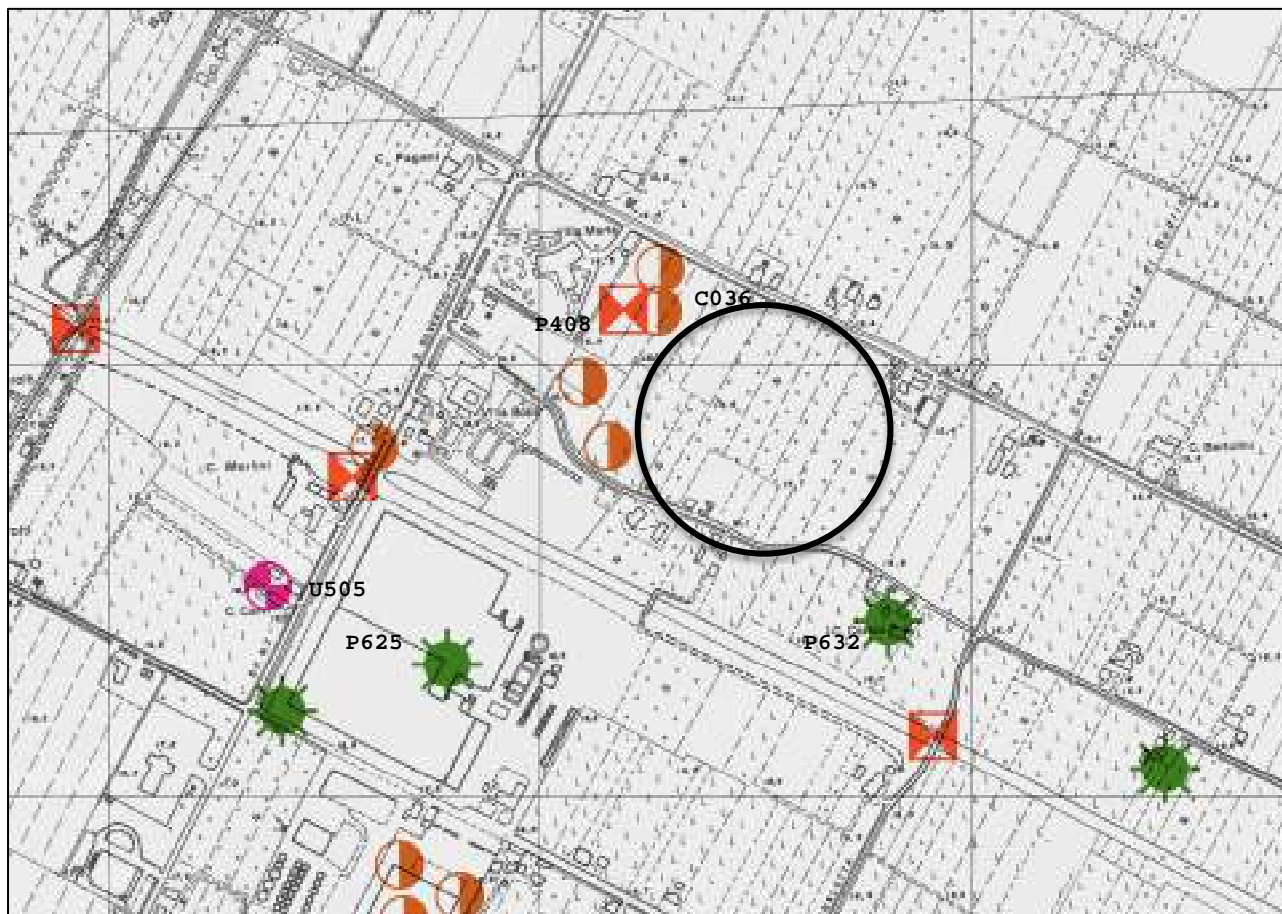
Prof. Terreno ml	Gamma kg/m3	Gamma' kg/m3	Sigma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI í	DR %	Mv cm2/Kg	K oriz kg/cm3	Perm. cm/sec
0.00 Sabbia lim. molto compre NAN(000)	1600	1600	0.000	0.000	29	15-NAN(000)-NAN(000)-			
0.20 Limo argilloso soffice	1709	1709	0.034	0.370	0	0	0.0153	0.6777	3.6e-3
0.40 Limo argilloso soffice	1681	1681	0.068	0.304	0	0	0.0166	0.5781	1.9e-3
0.60 Argilla soffice	1646	1646	0.101	0.238	0	0	0.0202	0.7127	1.3e-5
0.80 Argilla soffice	1625	1625	0.133	0.206	0	0	0.0215	0.6363	6.0e-5
1.00 Argilla limosa soffice	1598	1598	0.165	0.169	0	0	0.0236	0.5448	3.9e-4
1.20 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	0.187	0.000	31	36	0.0321	1.3832	3.2e-2
1.40 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	0.208	0.000	31	36	0.0309	1.4378	1.5e-2
1.60 Limo argil-sabbioso adde	1793	1163	0.231	0.642	0	0	0.0143	1.0890	3.7e-3
1.80 Limo argilloso plastico	1801	1171	0.255	0.677	0	0	0.0146	1.1390	1.6e-3
2.00 Limo argil-sabbioso scio	1761	1131	0.277	0.511	0	0	0.0140	0.9065	5.9e-3
2.20 Limo argilloso soffice	1740	1110	0.299	0.444	0	0	0.0143	0.8089	1.0e-3
2.40 Argilla limosa plastica	1748	1118	0.322	0.466	0	0	0.0158	1.2644	1.7e-4
2.60 Limo argilloso soffice	1766	1136	0.345	0.529	0	0	0.0140	0.9362	1.5e-3
2.80 Limo argilloso soffice	1751	1121	0.367	0.474	0	0	0.0141	0.8580	5.2e-4
3.00 Limo argilloso soffice	1744	1114	0.389	0.452	0	0	0.0142	0.8279	1.0e-3
3.20 Limo argil-sabbioso scio	1766	1136	0.412	0.523	0	0	0.0140	0.9325	2.8e-3
3.40 Limo argilloso plastico	1771	1141	0.435	0.542	0	0	0.0140	0.9619	4.4e-4
3.60 Limo argilloso plastico	1775	1145	0.458	0.556	0	0	0.0140	0.9839	1.1e-3
3.80 Limo argilloso plastico	1782	1152	0.481	0.581	0	0	0.0141	1.0204	7.3e-4
4.00 Argilla limosa plastica	1723	1093	0.503	0.382	0	0	0.0182	1.0985	6.7e-5
4.20 Limo argilloso soffice	1726	1096	0.524	0.391	0	0	0.0147	0.7477	2.0e-3
4.40 Limo argilloso soffice	1711	1081	0.546	0.349	0	0	0.0152	0.6856	3.3e-3
4.60 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.567	0.000	29	18	0.0465	0.5376	5.8e-2
4.80 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.587	0.000	29	19	0.0446	0.5608	5.3e-2
5.00 Limo argilloso soffice	1758	1128	0.609	0.485	0	0	0.0141	0.8917	1.5e-3
5.20 Limo argilloso soffice	1768	1138	0.632	0.519	0	0	0.0140	0.9436	1.3e-3
5.40 Limo argilloso soffice	1755	1125	0.655	0.475	0	0	0.0141	0.8805	2.2e-3
5.60 Limo argilloso soffice	1753	1123	0.677	0.466	0	0	0.0141	0.8693	9.4e-4
5.80 Limo argilloso soffice	1749	1119	0.700	0.452	0	0	0.0142	0.8505	2.2e-3
6.00 Limo argil-sabbioso scio	1771	1141	0.722	0.528	0	0	0.0140	0.9619	7.5e-3
6.20 Argilla limosa soffice	1752	1122	0.745	0.460	0	0	0.0154	1.2983	3.9e-4
6.40 Limo argilloso soffice	1723	1093	0.767	0.369	0	0	0.0148	0.7323	1.1e-3
6.60 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.787	0.000	29	19	0.0387	0.8618	4.4e-2
6.80 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.807	0.000	29	21	0.0319	1.0457	3.0e-2
7.00 Limo argilloso soffice	1732	1102	0.830	0.392	0	0	0.0145	0.7708	7.6e-4
7.20 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.850	0.000	29	22	0.0290	0.8622	4.3e-2
7.40 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.870	0.000	29	20	0.0327	0.7653	8.4e-2
7.60 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.891	0.000	29	19	0.0374	0.8917	1.6e-2
7.80 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.911	0.000	29	19	0.0363	0.9177	4.3e-2
8.00 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	0.932	0.000	29	18	0.0388	0.8580	3.3e-2
8.20 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	0.953	0.000	30	30	0.0227	1.9621	2.3e-2
8.40 Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	0.974	0.000	30	27	0.0258	1.7219	1.9e-2
8.60 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	0.995	0.000	29	24	0.0235	1.0656	5.5e-2
8.80 Sabbia sciolta	1700	1070	1.016	0.000	30	33	0.0136	1.8317	1.3e-1
9.00 Limo argilloso plastico	1795	1165	1.039	0.609	0	0	0.0143	1.0997	1.6e-3
9.20 Limo argil-sabbioso scio	1790	1160	1.063	0.585	0	0	0.0142	1.0674	1.1e-2
9.40 Ghiaia sabbiosa sciolta	1650	1020	1.083	0.000	30	34	0.0127	1.9736	2.2e-1
9.60 Limo argil-sabbioso adde	1799	1169	1.106	0.624	0	0	0.0145	1.1247	6.7e-3
9.80 Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	1.127	0.000	29	22	0.0251	1.3282	1.3e-2
10.00 Limo argil-sabbioso scio	1776	1146	1.150	0.527	0	0	0.0140	0.9912	8.8e-3
10.20 Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.170	0.000	29	18	0.0356	0.7021	5.7e-2
10.40 Limo argil-sabbioso adde	1775	1145	1.193	0.520	0	0	0.0140	0.9839	3.8e-3
10.60 Limo argil-sabbioso scio	1780	1150	1.216	0.536	0	0	0.0141	1.0095	5.6e-3
10.80 Limo argil-sabbioso scio	1773	1143	1.239	0.510	0	0	0.0140	0.9730	4.4e-3

11.00	Limo argil-sabbioso scio	1794	1164	1.262	0.596	0	0	0.0143	1.0961	7.9e-3
11.20	Argilla limosa soffice	1737	1107	1.284	0.384	0	0	0.0168	1.1906	2.8e-4
11.40	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.305	0.000	29	20	0.0286	0.8755	4.4e-2
11.60	Limo argil-sabbioso scio	1783	1153	1.328	0.544	0	0	0.0141	1.0276	9.2e-3
11.80	Limo argil-sabbioso adde	1841	1211	1.352	0.834	0	0	0.0156	1.4276	3.9e-3
12.00	Argilla limosa plastica	1823	1193	1.376	0.728	0	0	0.0104	1.9299	2.6e-4
12.20	Limo argilloso plastico	1841	1211	1.400	0.832	0	0	0.0156	1.4276	4.9e-4
12.40	Limo argilloso plastico	1852	1222	1.424	0.900	0	0	0.0146	1.5191	7.1e-4
12.60	Limo argilloso plastico	1828	1198	1.448	0.753	0	0	0.0165	1.3247	9.8e-4
12.80	Limo argil-sabbioso scio	1814	1184	1.472	0.680	0	0	0.0153	1.2272	1.2e-2
13.00	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.493	0.000	29	22	0.0223	1.1191	3.5e-2
13.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.514	0.000	29	23	0.0286	1.5527	1.8e-2
13.40	Sabbia lim. mediamente a	1750	1120	1.536	0.000	29	25	0.0239	1.3918	2.8e-2
13.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.558	0.000	29	22	0.0304	1.4616	1.1e-2
13.80	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	1.578	0.000	29	21	0.0252	0.9909	3.8e-2
14.00	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.600	0.000	29	22	0.0288	1.5426	1.9e-2
14.20	Sabbia mediamente addens	1750	1120	1.622	0.000	31	36	0.0131	2.5435	9.6e-2
14.40	Sabbia lim. mediamente a	1750	1120	1.644	0.000	31	36	0.0131	2.5479	4.1e-2
14.60	Sabbia lim. mediamente a	1750	1120	1.667	0.000	30	31	0.0163	2.0507	2.3e-2
14.80	Limo argilloso plastico	1826	1196	1.691	0.728	0	0	0.0163	1.3074	3.4e-4
15.00	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	1.711	0.000	29	19	0.0271	1.2307	1.7e-2
15.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	1.732	0.000	29	23	0.0268	1.6559	9.8e-3
15.40	Limo argilloso plastico	1775	1145	1.755	0.491	0	0	0.0140	0.9839	3.9e-4
15.60	Limo argilloso plastico	1781	1151	1.778	0.513	0	0	0.0141	1.0168	1.7e-3
15.80	Argilla limosa plastica	1800	1170	1.802	0.594	0	0	0.0118	1.6978	2.3e-4
16.00	Limo argil-sabbioso adde	1813	1183	1.825	0.657	0	0	0.0152	1.2202	3.5e-3
16.20	Limo argilloso soffice	1769	1139	1.848	0.464	0	0	0.0140	0.9509	1.8e-3
16.40	Limo argilloso plastico	1787	1157	1.871	0.532	0	0	0.0141	1.0494	2.1e-3
16.60	Limo argil-sabbioso scio	1825	1195	1.895	0.715	0	0	0.0162	1.3039	7.8e-3
16.80	Argilla limosa plastica	1805	1175	1.919	0.611	0	0	0.0115	1.7457	1.1e-4
17.00	Limo argilloso plastico	1761	1131	1.941	0.428	0	0	0.0140	0.9065	6.4e-4
17.20	Limo argil-sabbioso scio	1768	1138	1.964	0.453	0	0	0.0140	0.9436	1.2e-2
17.40	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	1.985	0.000	29	17	0.0323	1.0313	3.0e-2
17.60	Limo argil-sabbioso scio	1795	1165	2.008	0.563	0	0	0.0144	1.1033	1.1e-2
17.80	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	2.028	0.000	29	17	0.0311	1.0710	2.4e-2
18.00	Limo argilloso plastico	1787	1157	2.051	0.523	0	0	0.0141	1.0494	1.6e-3
18.20	Limo argil-sabbioso scio	1818	1188	2.075	0.668	0	0	0.0155	1.2517	7.5e-3
18.40	Limo argilloso plastico	1806	1176	2.099	0.607	0	0	0.0148	1.1709	4.7e-4
18.60	Limo argilloso soffice	1767	1137	2.121	0.442	0	0	0.0140	0.9399	2.4e-3
18.80	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.142	0.000	29	15	0.0377	0.6632	9.3e-2
19.00	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	2.162	0.000	29	16	0.0326	1.0240	2.8e-2
19.20	Sabbia sciolta	1700	1070	2.184	0.000	29	16	0.0319	0.7843	1.2e-1
19.40	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.204	0.000	29	19	0.0246	1.0142	5.6e-2
19.60	Limo argil-sabbioso adde	1880	1250	2.229	1.057	0	0	0.0125	1.7744	4.1e-3
19.80	Limo argil-sabbioso adde	1882	1252	2.254	1.069	0	0	0.0124	1.7907	3.6e-3
20.00	Limo argilloso plastico	1863	1233	2.279	0.932	0	0	0.0138	1.6161	6.9e-4
20.20	Limo argilloso consisten	1897	1267	2.304	1.192	0	0	0.0114	1.9493	4.3e-4
20.40	Argilla consistente	1792	1162	2.327	0.532	0	0	0.0274	1.6227	9.7e-6
20.60	Limo argil-sabbioso scio	1753	1123	2.350	0.382	0	0	0.0141	0.8693	1.1e-2
20.80	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	2.370	0.000	29	15	0.0403	0.8279	3.6e-2
21.00	Sabbia molto sciolta	1650	1020	2.391	0.000	29	15	0.0377	0.6632	1.5e-1
21.20	Sabbia molto sciolta	1650	1020	2.411	0.000	29	15	0.0362	0.6910	1.0e-1
21.40	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.431	0.000	29	15	0.0347	0.7215	7.6e-2
21.60	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.452	0.000	29	15	0.0352	0.7104	6.1e-2
21.80	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.472	0.000	29	15	0.0336	0.7434	4.5e-2
22.00	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.493	0.000	29	16	0.0326	0.7680	5.1e-2
22.20	Limo argil-sabbioso scio	1794	1164	2.516	0.533	0	0	0.0143	1.0961	1.1e-2
22.40	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	2.536	0.000	29	19	0.0233	1.0707	3.4e-2
22.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.558	0.000	29	21	0.0265	1.6791	1.9e-2
22.80	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.579	0.000	29	24	0.0207	2.1496	1.0e-2
23.00	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.600	0.000	30	29	0.0117	2.1339	3.2e-1
23.20	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.622	0.000	30	33	0.0090	2.7628	3.4e-1
23.40	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.643	0.000	31	40	0.0065	3.8318	3.0e-1
23.60	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.665	0.000	31	42	0.0060	4.1737	3.5e-1
23.80	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.686	0.000	31	40	0.0065	3.8438	2.8e-1
24.00	Sabbia ghiaiosa sciolta	1700	1070	2.707	0.000	30	35	0.0084	2.9830	1.5e-1
24.20	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.729	0.000	31	38	0.0072	3.4493	2.6e-1
24.40	Limo argil-sabbioso adde	1980	1350	2.756	2.146	0	0	0.0071	3.1147	3.1e-3
24.60	Sabbia mediamente addens	1750	1120	2.778	0.000	31	37	0.0097	3.4493	5.2e-2
24.80	Argilla limosa consisten	1857	1227	2.803	0.864	0	0	0.0085	2.3441	2.4e-4
25.00	Ghiaia sciolta	1700	1070	2.824	0.000	31	39	0.0067	3.7475	3.0e-1

25.20	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.846	0.000	30	32	0.0124	3.5725	1.7e-2
25.40	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.867	0.000	29	24	0.0205	2.1717	7.7e-3
25.60	Sabbia argil-limosa adde	1700	1070	2.888	0.000	29	21	0.0247	1.7972	1.0e-2
25.80	Sabbia ghiaiosa media ad	1750	1120	2.911	0.000	30	32	0.0123	2.7201	1.3e-1
26.00	Sabbia lim. mediamente a	1750	1120	2.933	0.000	30	33	0.0114	2.9156	2.8e-2
26.20	Limo argil-sabbioso adde	1874	1244	2.958	0.972	0	0	0.0130	1.7121	6.0e-3
26.40	Sabbia sciolta	1700	1070	2.979	0.000	29	17	0.0257	0.9727	8.5e-2
26.60	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	3.000	0.000	29	18	0.0237	1.0554	6.5e-2
26.80	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	3.020	0.000	29	19	0.0221	1.1292	4.7e-2
27.00	Sabbia limosa sciolta	1650	1020	3.041	0.000	29	18	0.0246	1.0142	3.5e-2
27.20	Limo argil-sabbioso scio	1805	1175	3.064	0.557	0	0	0.0148	1.1673	9.8e-3
27.60	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	3.105	0.000	29	16	0.0304	1.0961	1.5e-2
27.80	Limo argil-sabbioso scio	1797	1167	3.128	0.512	0	0	0.0144	1.1104	1.3e-2
28.00	Limo argil-sabbioso scio	1810	1180	3.152	0.575	0	0	0.0150	1.1991	1.2e-2
28.20	Limo argil-sabbioso scio	1799	1169	3.175	0.520	0	0	0.0145	1.1247	9.8e-3
28.40	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	3.196	0.000	29	16	0.0281	1.1850	2.1e-2
28.60	Limo argil-sabbioso adde	1831	1201	3.220	0.682	0	0	0.0165	1.3488	6.7e-3
28.80	Limo argil-sabbioso adde	1836	1206	3.244	0.707	0	0	0.0161	1.3832	2.9e-3
29.00	Limo argil-sabbioso adde	1839	1209	3.268	0.723	0	0	0.0158	1.4072	1.9e-3
29.20	Limo argil-sabbioso adde	1837	1207	3.292	0.712	0	0	0.0159	1.3935	1.8e-3
29.40	Limo argilloso plastico	1820	1190	3.316	0.618	0	0	0.0157	1.2692	1.7e-3
29.60	Sabbia argilloso-limosa	1650	1020	3.336	0.000	29	15	0.0315	1.0566	3.5e-2
29.80	Sabbia ghiaiosa molto sc	1650	1020	3.357	0.000	29	17	0.0255	1.3074	1.9e-1
30.00	Sabbia ghiaiosa media ad	1750	1120	3.379	0.000	30	35	0.0099	3.3694	1.1e-1
30.20	Sabbia ghiaiosa sciolta	1700	1070	3.400	0.000	30	33	0.0084	2.9767	1.8e-1

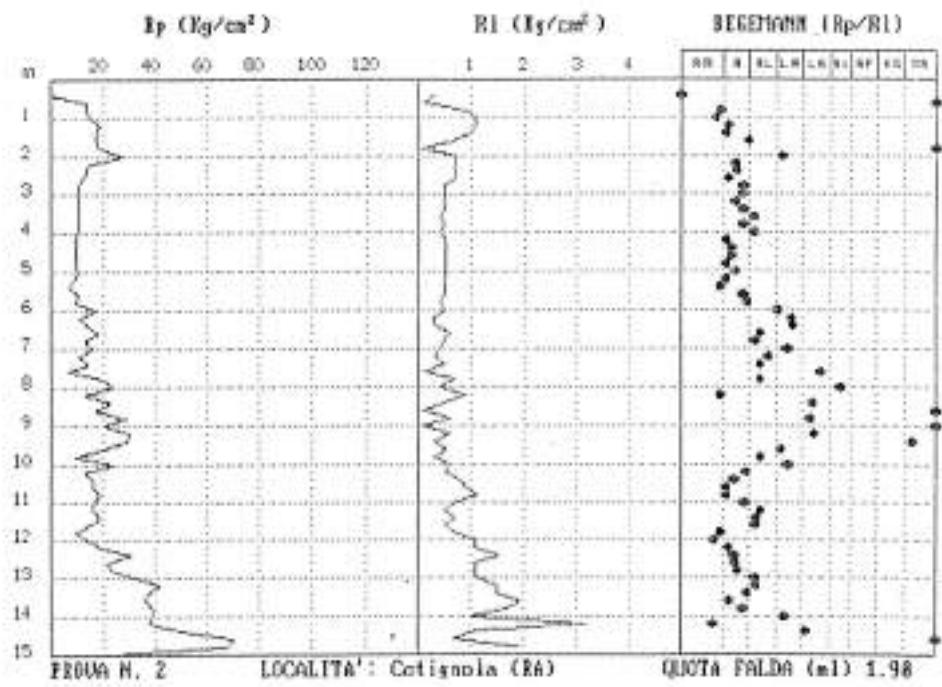
## SEZIONE LITOLOGICA (IPOTESI INTERPRETATIVA)





UBICAZIONE AREA E PROVE BIBLIOGRAFICHE  
SERVIZIO GEOLOGICO REGIONE EMILIA-ROMAGNA

C036



P408

**SOGEO**  
INDAGINI GEODINAMICHE - FONDAMENTI SPECIALI  
Isola (Ka) - Corso Matteotti, 212 - Tel. (0545) 23042

COMMITTENTE: VILLA MARIA S.p.A

CANTIERE: VILLA MARIA

ATTREZZATURA: Perforatrice ELLETTARI EX200STR

ATTREZ. DI PERFORAZ.:

PIEZOMETRO: installato piezometro Norton Ø 40 mm  
l.m.a. - 17,50 ml dal p.d.c.

SONDAGGIO N° 1

PROFONDITÀ: 20 ml

QUOTA: p.d.c.

DATA INIZIO: 03/05/92

DATA FINE: 03/05/92

METODO DI PERFORAZ.: Corotaggio continuo

RIVESTIMENTO:

NOTE:

SCALA: 1:100

Profondità letture (ml)	Profondità Pneumatiche (ml)	Vite Test (kg/cm²)	Profondità (ml)	Colore stratigrafico	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	RECUPERO % R.Q.D. % 0 30 100	CAMPIONI	Profondità Data di lettura (ml)	S.P.T	lit. esg.	
							Indicatore Sondaggio		Numero	Profondità (ml)	
1.00	1.4	0.40	0.30		Terrano agricolo						
2.00	1.5	0.60	2.50		Limo argilloso, a tratti con sottili velli sabbiosi, di colore nocciola chiara. Presente sostanza organica diffusa di colore ucrà						
2.50	1.0	0.52	2.50								
3.00	0.6	0.28	3.20		Argilla limosa di colore bruno, con abbondante sostanza organica diffusa e frammenti di laterizio ed alcuni biossidi						
3.50	0.2	0.08	3.20								
4.00	0.6	0.12	4.50		Limo sabbioso-argilloso, di colore nocciola, con venature grigie						
5.00	1.5	0.60	5.30		Sabbia fine, di colore nocciola, satura di acqua, debolmente limosa						
6.00	1.6	0.92	6.00		Limo sabbioso - nocciola con venature grigie						
			7.00		Limo argilloso, di colore nocciola con venature grigie ed ucrà, con sottili velli sabbiosi e sostanza organica diffusa						
			8.00		Argilla limosa di colore grigio con puntature nerastre ed ucrà						
			9.50		Sabbia fine debolmente limosa, nocciola				1	9.50	2
					Sabbia fine e media, a tratti debolmente limosa, di colore nocciola					9.95	3
					Sabbia media di colore nocciola con alcuni grigiastri. Presente un livello argilloso di colore grigiastro da -8.90 a -9.00 ml						5
			12.30		Sabbia fine, a tratti limosa, grigia						
			13.90		Sabbia grossolana di colore grigio						
					Tronco ligneo				2		6
					Sabbia fine e media di colore grigio, a tratti debolmente limosa, con frequenti livelli centimetrici di torba					14.45	6
15.00	1.5	0.60	15.80		Limo argilloso di colore grigio, a tratti debolmente sabbioso						
16.20	0.8	0.20	17.00		Sabbia fine e media di colore grigio, con velli millimetrici di limo argilloso dello stesso colore				3	18.00	5
16.80	1.00	0.40	17.60		Sabbia fine e media di colore grigio, compatta, con velli millimetrici di limo argilloso dello stesso colore					18.45	8
			20.00								9

P625

**CHEDA CATASTO POZZI** 02300416

**0 IDENTIFICAZIONE** N. pratica 4673 PRATICA N. 62 075/360 **6.3.0** Data perforazione GUBERTI ALVARO S **6.3.1** CARATTERISTICHE DEL POZZO

**C.A.L.P.O. Soc. Coop.**

**1. COTIGNOLA** **BARBIANO**

**DARIERA 5**

**2.9%**

**36.26**

**33.68**

**29.56**

**20.27**

**100**

**102.4**

**134.98**

**133.61**

**LOCALIZZAZIONE DEL POZZO E DATI RIASSUNTIVI**

**COTIGNOLA 39009** **BARBIANO**

LOCALIZZAZIONE	Quota del centro di campagna (m s.l.m.)	PROFONDITA' (m)	POTEREA PUNTA (m)	PORTATA (l/s)
46.4.4.6.1.10		33.68	20.27	

(1) Contatore 21 - 1.80 - 2.

U.G.M. scala 1:25.000 P.F.F.-I.T.S.E. COTIGNOLA

G.T.R. scala 1:5.000 foglio n. 4 elemento n. 57-95

Catasto scala 1:2.000 foglio n. 4 mappa n. 57-95

**0 SCHEDE E DATI DI RIFERIMENTO**

n. di foglio	Contorno	codice catastale I.S.T.A.T.	Portata (l/s)	consumo annuo (m³)

**6.3.2 EQUIPAGGIAMENTO**

**6.3.3 USI E DESTINAZIONE**

USI	DESTINAZIONE
agricolo	agricolo
industriale	industriale
domestico	domestico





SOGEO s.r.l.  
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)  
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

3

n°  
riferimento  
certificato n°

240-1-09  
R449-2009

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Committente: Villa Maria Cecilia S.p.A.  
Cantiere: Via Corriera, 1  
Località: Cotignola (RA)

U.M.:  
Scala: 1:100  
Pagina: 1  
Elaborato:

kg/cm²

1200

2

06/11/2009

Data certificato: 10/11/2009

Preforo: m

Falda: Non rilevata

Penetrometro: TG79-200	Quota inizio: Corr astine: kg/ml	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio:
Responsabile: Assistente:		

FON032

Http://www.sogeo-srl.com

SOGEO s.r.l.  
Via Edison 1/1 - 48022 LUGO (RA)  
Tel. +39(0)54522042 - Fax +39(0)54534443

3

n°  
riferimento  
certificato n°

240-1-09  
R449-2009

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

Committente: Villa Maria Cecilia S.p.A.  
Cantiere: Via Corriera, 1  
Località: Cotignola (RA)

U.M.:  
Scala: 1200  
Pagina: 2  
Elaborato:

kg/cm²

1200

2

06/11/2009

Data certificato: 10/11/2009

Preforo: m

Falda: Non rilevata

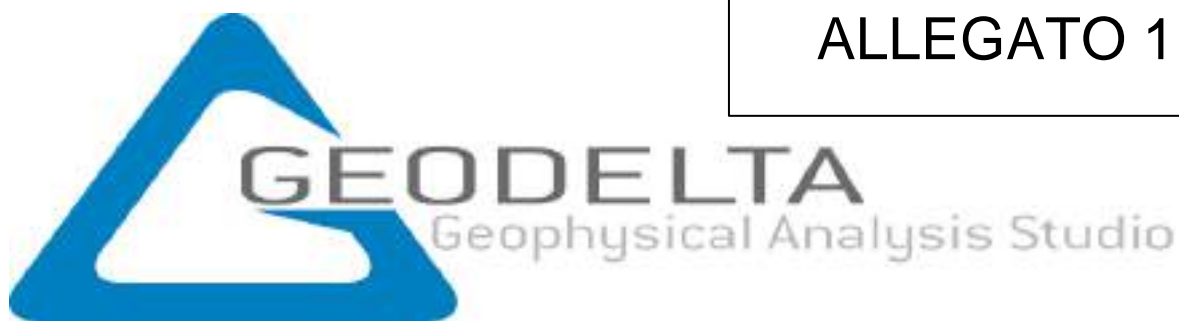
Penetrometro: TG73-200	Quota inizio: Corr astine: kg/ml	Lo sperimentatore: Il direttore laboratorio:
Responsabile: Assistente:		

FON032

Http://www.sogeo-srl.com

COMUNE DI COTIGNOLA – INSERIMENTO NEL POC DI NUOVA AREA

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA DI III LIVELLO



Via Muro,16 - 35030 Baone (PD) - [info@geodelta.it](mailto:info@geodelta.it) - Cell 347.8631217

**RELAZIONE TECNICA GEOFISICA  
INDAGINE SISMICA CON TROMOGRAFO  
PER LA DETERMINAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE  
CANTIERE: ZONA ADIBITA A EDIFICI A SERVIZIO DELLA CLINICA  
"VILLA MARIA CECILIA HOSPITAL" IN VIA MADONNA DI GENOVA  
COTIGNOLA (RA)**

Dott. Geol. Pier Giorgio Spadon

Galzignano Terme, Aprile 2016

Committente:

Geol. Giampaolo Guarnieri  
Via M. D'Azeglio 9 - 48022  
Lugo (RA)

## **Indice**

<b>1- PREMESSA .....</b>	<b>76</b>
<b>CAPITOLO 1: INDAGINE TROMOGRAFICA DEL RUMORE SISMICO.....</b>	<b>76</b>
<b>1.1 - INTERPRETAZIONE GEOFISICA HVSR 1: .....</b>	<b>77</b>
<b>1.2 - INTERPRETAZIONE GEOFISICA HVSR 2: .....</b>	<b>82</b>
<b>1.3 CONCLUSIONI .....</b>	<b>89</b>
<b>1.4 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....</b>	<b>90</b>

### **ALLEGATI:**

#### **ALLEGATO 1: UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE HVSR**

## 1 - Premessa

Lo scrivente su incarico della ditta sopra citata ha eseguito uno studio geofisico atto alla definizione delle caratteristiche sismo-stratigrafiche dei terreni.

Lo studio ha come scopo l'elaborazione di un modello geofisico per il corpo investigato, con la ricostruzione di un profilo sismo-stratigrafico e Vs 30 conforme OPCM 3274 del 2003 e succ. integrazioni, ordinanza 3519 del 28/04/2006, DM 14/09/2005 – DM 14/01/2008 ed Eurocodice 7-8 e UNI9916 o DIN4150.

## CAPITOLO 1: Indagine Tromografica del rumore sismico

Le misure di campagna sono state eseguite il mese di Aprile 2016. Sono state eseguite n.2 registrazioni di rumore sismico, in corrispondenza di sondaggi e prove geognostiche in precedenza eseguiti.

Caratteristiche tecniche indagini eseguite:

**Strumentazione impiegata.** Tutte le registrazioni del rumore sismico e vibrazioni sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO, progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale e/o vibrazioni indotte.

Si tratta di un apparecchio portatile tutto-in-uno di 10 x 7 x 14 cm e 1 kg di peso dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterno.

- **Procedure operative.** Sono state eseguite n. 2 misura del rumore sismico della durata di 20'.

## 1.1 - Interpretazione geofisica HVSR 1:

La durata di acquisizione pari a 20 minuti di campionamento è stata eseguita al fine di verificare il “rumore sismico ambientale” sui terreni per la costruzione di edifici a servizio della clinica "Villa Maria Cecilia Hospital" in Via Madonna di Genova nel comune di Cotignola (RA).

Instrument: TRZ-0153/01-11

Start recording: 04/04/16 10:01:26 End recording: 04/04/16 10:21:27

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

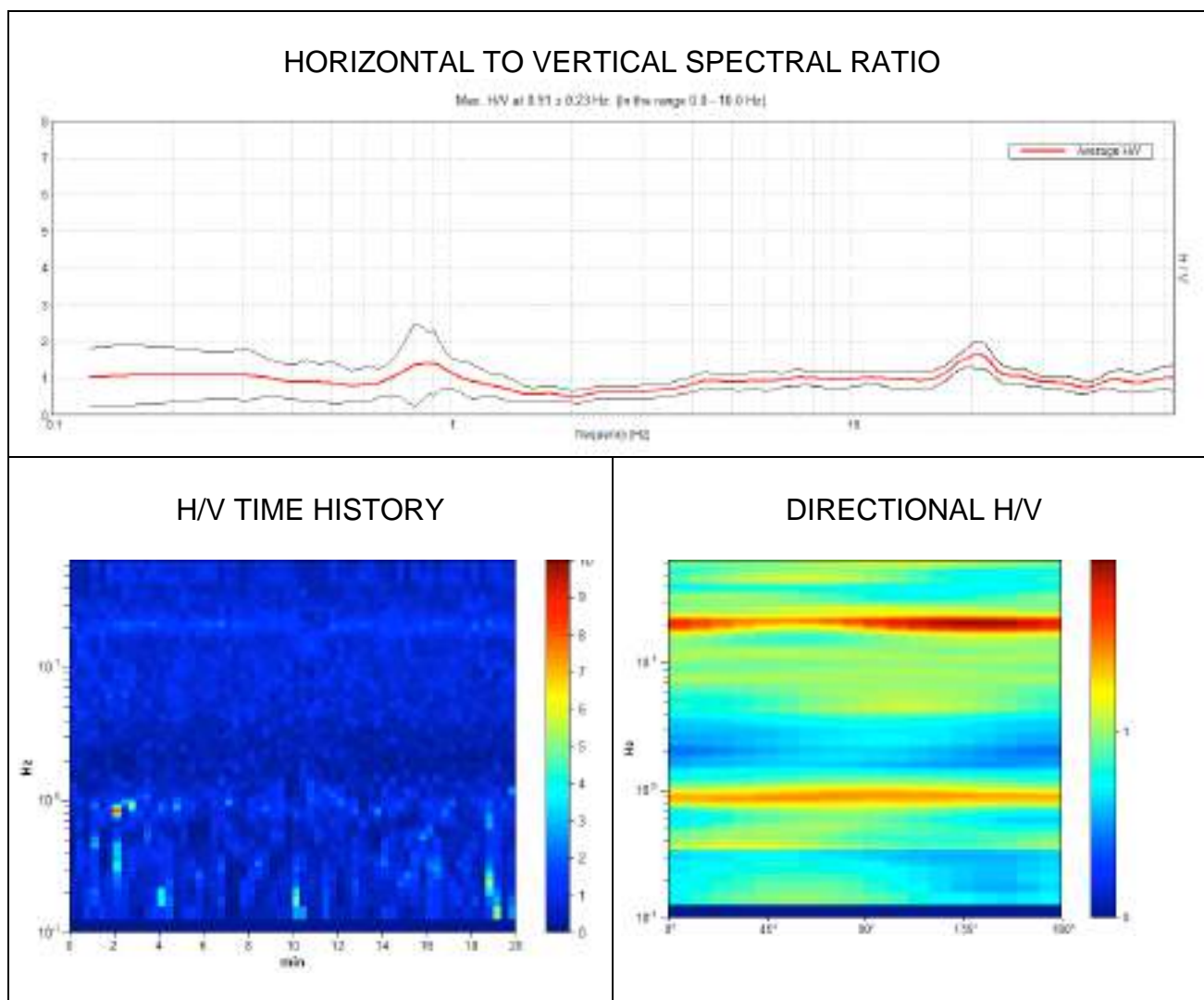
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

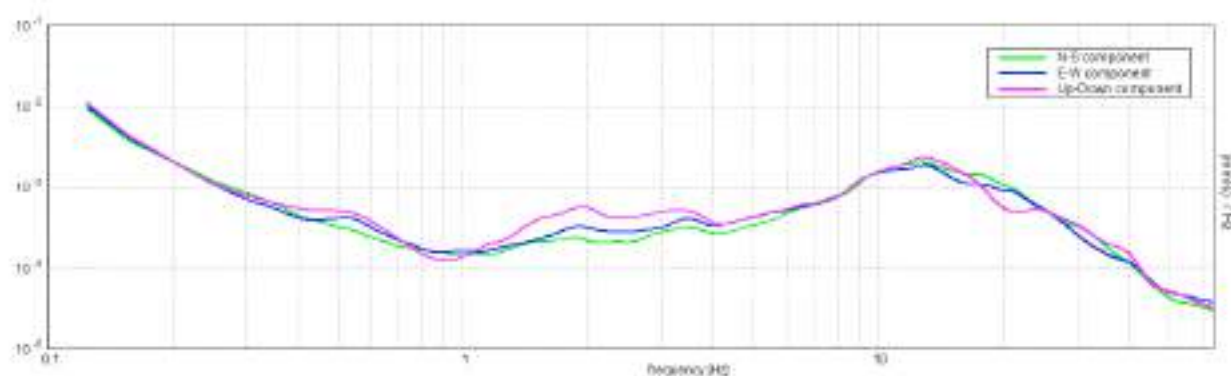
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

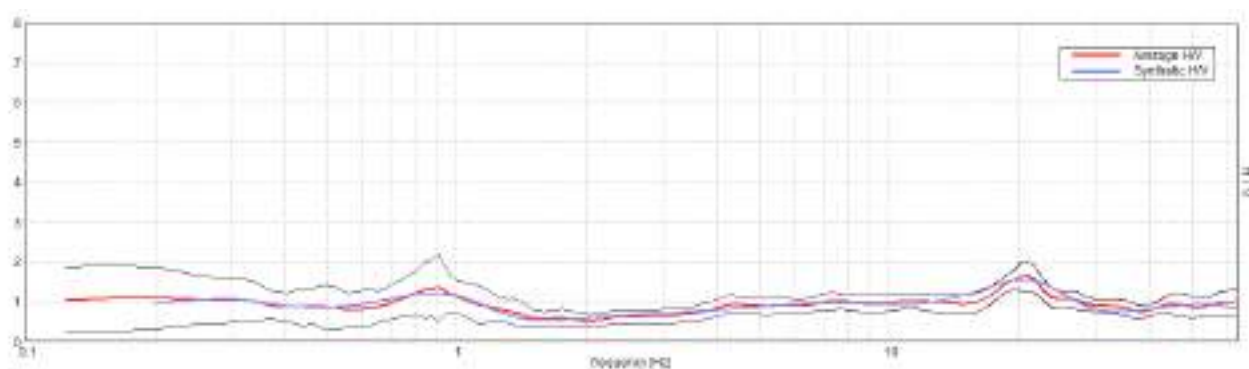
Smoothing: 10%



## SINGLE COMPONENT SPECTRA

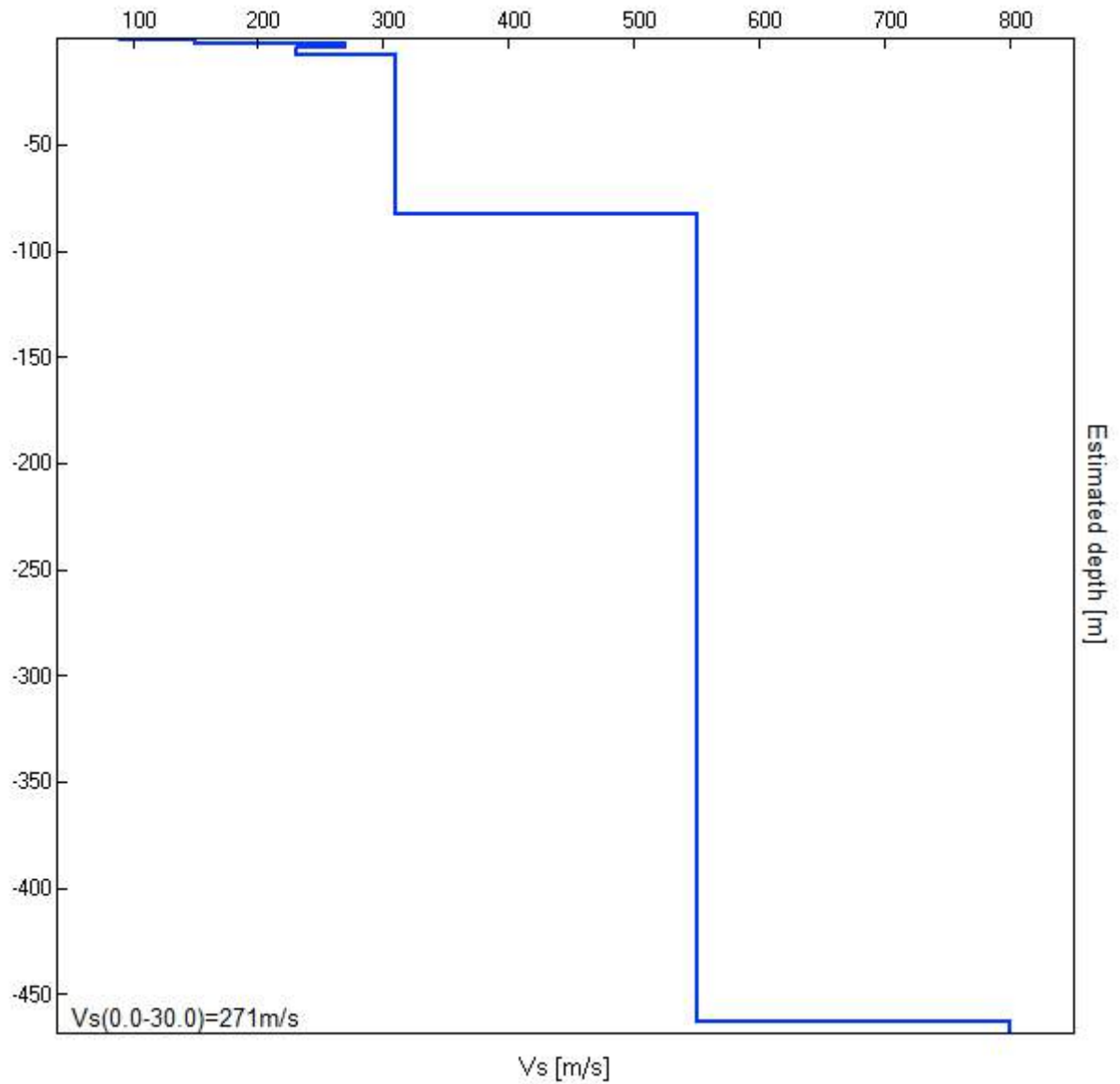


## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.40	0.40	90	0.35
2.00	1.60	150	0.35
4.00	2.00	270	0.35
8.00	4.00	230	0.35
83.00	75.00	310	0.35
463.00	380.00	550	0.35
inf.	inf.	800	0.35

$V_s (0.0-30.0) = 271\text{m/s}$     **SUOLO DI TIPO C**





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

**Max. H/V at  $0.91 \pm 0.23$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.91 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1087.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 44 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.406 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.42 > 2$		
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12548  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.11372 < 0.13594$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4372 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

## Sismo stratigrafia HVSR 1

Il profilo Tromografico registra 5 principali intervalli sismici principali:

1. Il primo intervallo ha velocità imputabili ad un terreno argilloso di medio-bassa compattezza con velocità comprese tra 90 - 150 m/s fino a profondità di 2,00 m p.c.
2. Il secondo intervallo ha fatto registrare una velocità media di 250 m/s con una profondità di 8,00 m p.c. Livello superficiale più compatto, composto principalmente da livelli di limi argilloso-sabbioso e sabbie limose.
3. Il terzo intervallo ha fatto registrare velocità di 310 m/s con una profondità di 83,00 m p.c. Livello compatto, composto principalmente da sabbie e sabbie limose, intervallate con livelli argillosi.
4. Il quarto intervallo ha fatto registrare velocità di 550 m/s con una profondità di 463,00 m p.c. Substrato compatto, composto principalmente da sabbie e sabbie limose, che in profondità subiscono un aumento del materiale costipato e di densità.
5. Il quinto intervallo ha fatto registrare velocità di 800 m/s e coincide con la base dello strato assunto come infinito sino ad una profondità di oltre 463,00 m p.c. Probabilmente il substrato sopra descritto subisce un aumento di densità. La dicitura "infinito" indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v. 3.5 dell'Università dell'Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s).

Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.

## 1.2 - Interpretazione geofisica HVSR 2:

La durata di acquisizione pari a 20 minuti di campionamento è stata eseguita al fine di verificare il “rumore sismico ambientale” sui terreni per la costruzione di edifici a servizio della clinica "Villa Maria Cecilia Hospital" in Via Madonna di Genova nel comune di Cotignola (RA).

Instrument: TRZ-0153/01-11

Start recording: 04/04/16 09:33:57 End recording: 04/04/16 09:53:57

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

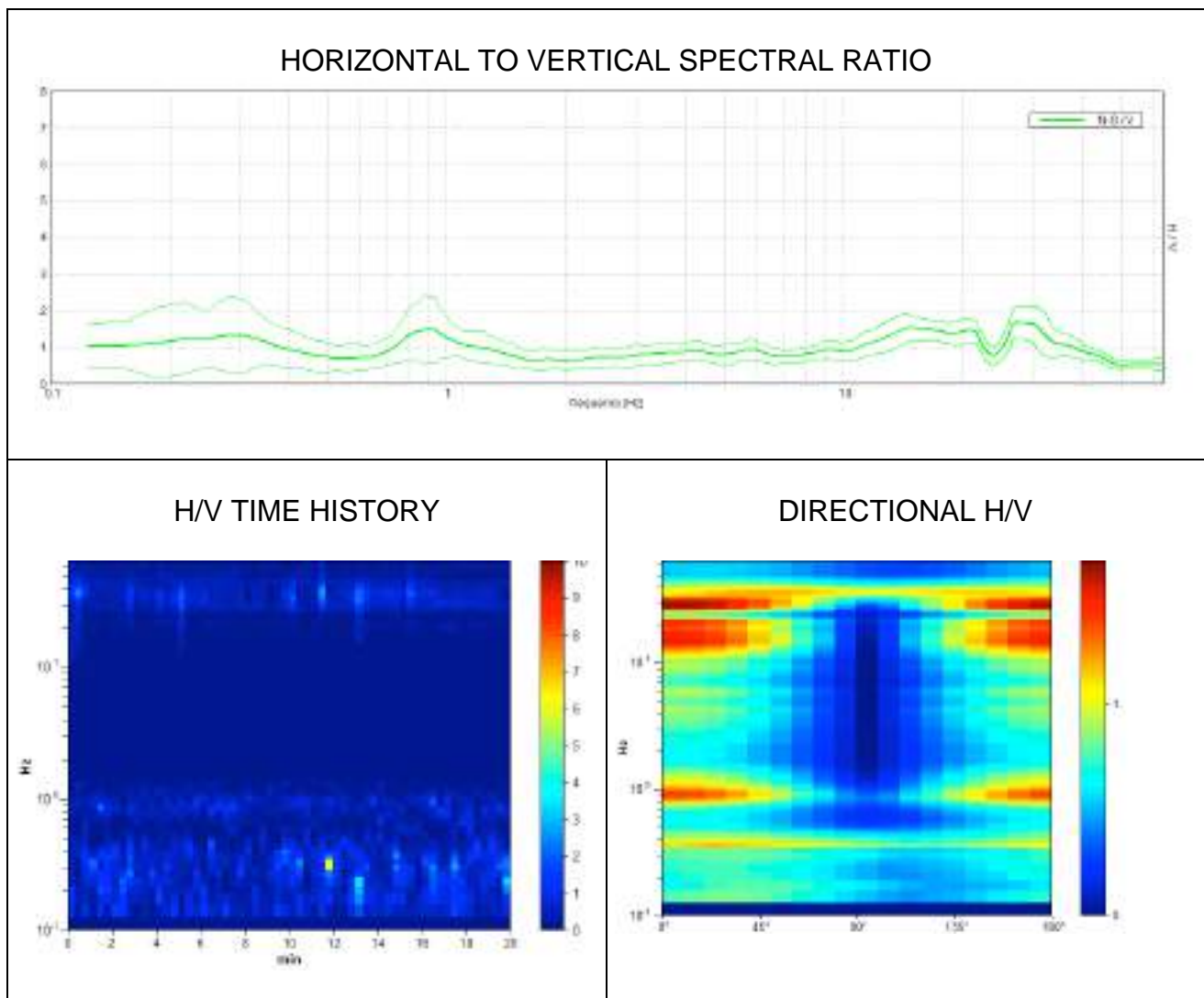
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

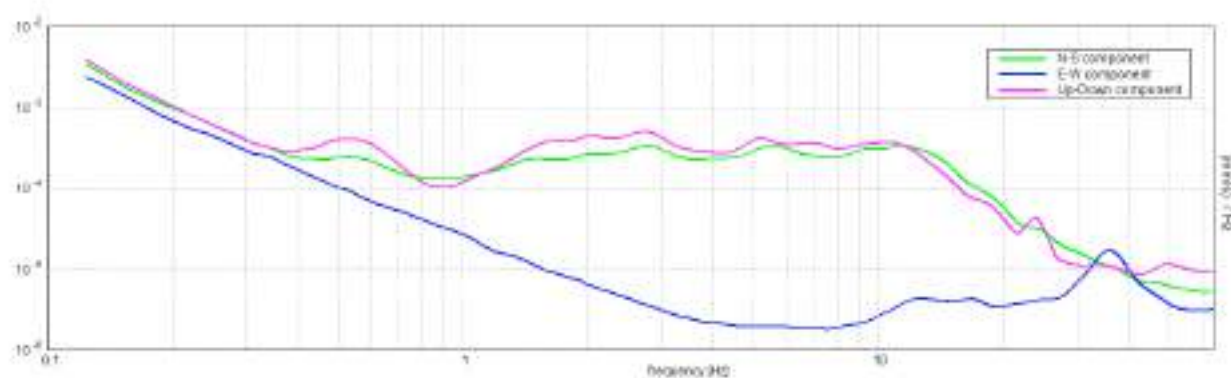
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

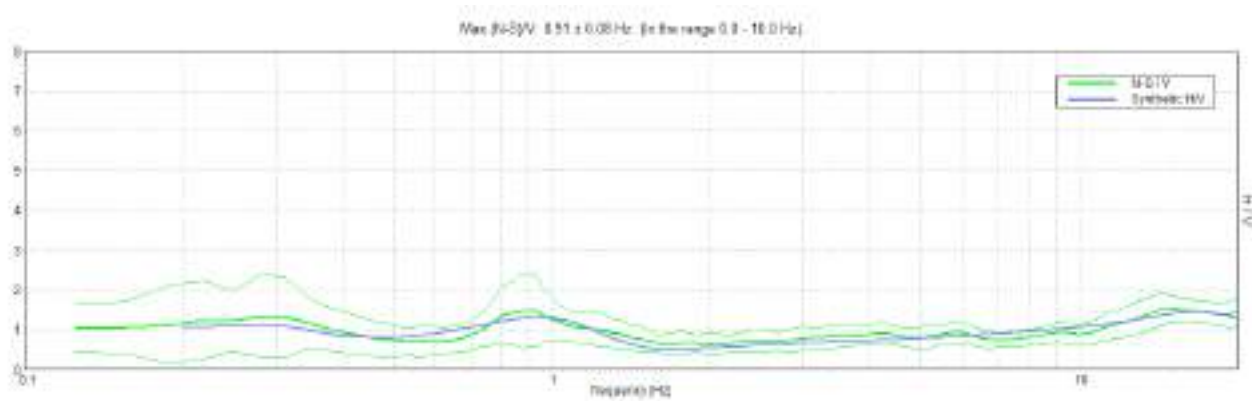
Smoothing: 10%



## SINGLE COMPONENT SPECTRA

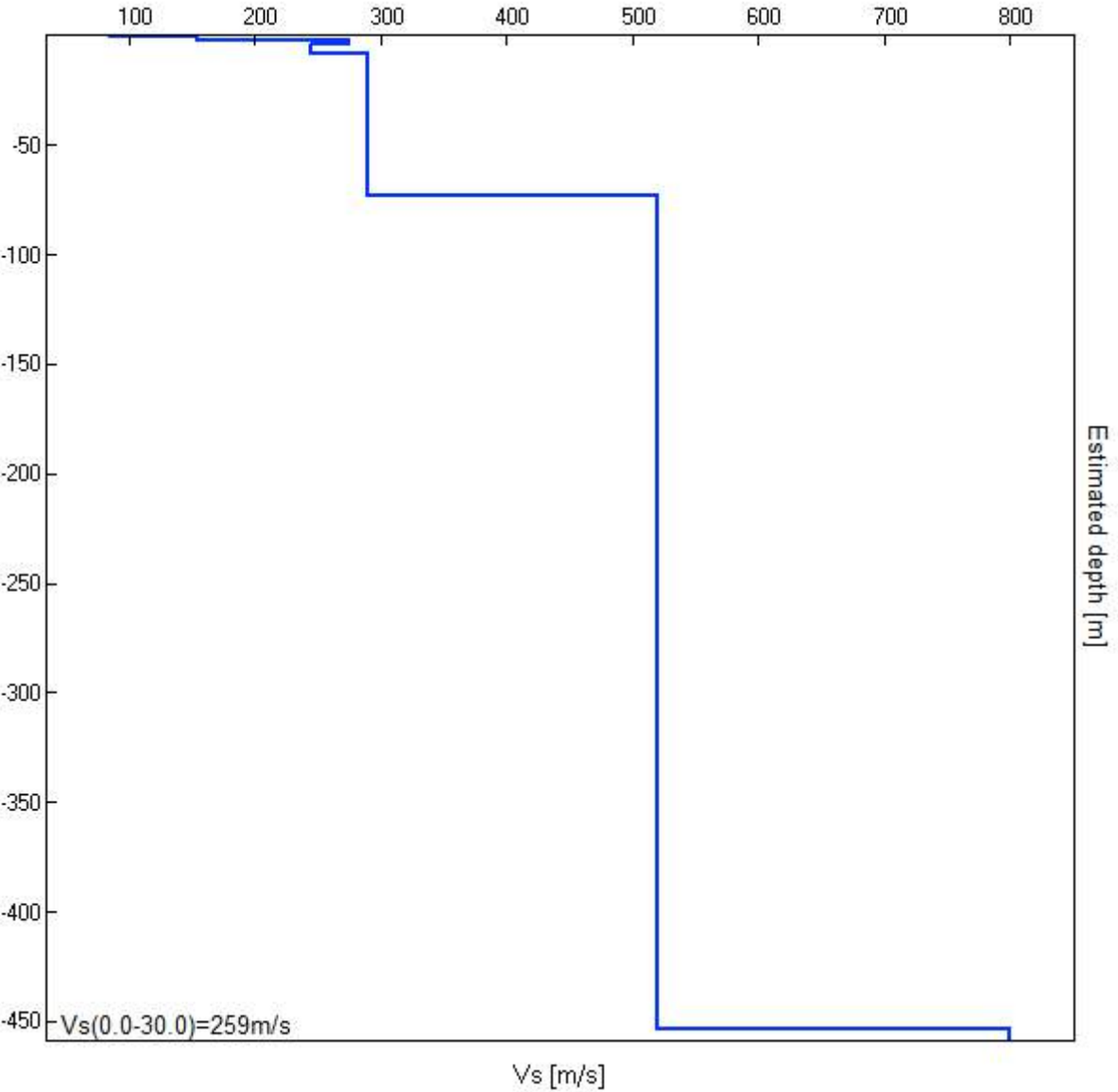


## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.40	0.40	85	0.35
2.40	2.00	155	0.35
4.40	2.00	275	0.35
8.40	4.00	245	0.35
73.40	65.00	290	0.35
453.40	380.00	520	0.35
inf.	inf.	800	0.35

Vs (0.0-30.0) = 259m/s **SUOLO DI TIPO C**



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

**Max. H/V at  $0.91 \pm 0.08$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.28 > 0.50$		
$n_c(f_0) > 200$	$337.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 14 times	<b>OK</b>	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.469 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.14 > 2$		
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01677  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00472 < 0.05625$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4654 < 2.5$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

## Sismo stratigrafia HVSr 2

Il profilo Tromografico registra 5 principali intervalli sismici principali:

1. Il primo intervallo ha velocità imputabili ad un terreno argilloso di medio-bassa compattezza con velocità comprese tra 85 - 155 m/s fino a profondità di 2,40 m p.c.
2. Il secondo intervallo ha fatto registrare una velocità media di 260 m/s con una profondità di 8,40 m p.c. Livello superficiale più compatto, composto principalmente da livelli di limi argilloso-sabbioso e sabbie limose.
3. Il terzo intervallo ha fatto registrare velocità di 290 m/s con una profondità di 73,40 m p.c. Livello compatto, composto principalmente da sabbie e sabbie limose, intervallate con livelli argillosi.
4. Il quarto intervallo ha fatto registrare velocità di 520 m/s con una profondità di 463,00 m p.c. Substrato compatto, composto principalmente da sabbie e sabbie limose, che in profondità subiscono un aumento del materiale costipato e di densità.
5. Il quinto intervallo ha fatto registrare velocità di 800 m/s e coincide con la base dello strato assunto come infinito sino ad una profondità di oltre 453,40 m p.c. Probabilmente il substrato sopra descritto subisce un aumento di densità. La dicitura "infinito" indica che è stata raggiunta la profondità massima di indagine, mentre con il programma Deepsoil v. 3.5 dell'Università dell'Illinois è stato calcolato il bedrock o meglio il bedrock-like (700 m/s).

Esso risulta rilevante ai fini degli effetti di sito, perché tale strato presenta forti contrasti di impedenza rispetto ai terreni sovrastanti, potendo così determinare in questi ultimi l'intrappolamento delle onde sismiche e dunque l'amplificazione del moto del suolo in caso di terremoto.



## Le frequenze di risonanza del sito sono risultate pari a:

**HVSR 1 : Max. H/V at  $0.91 \pm 0.23$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**HVSR 2 : Max. H/V at  $0.91 \pm 0.08$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

Nel caso che una sollecitazione si prolunghi nel tempo essa può diventare particolarmente pericolosa per l'edificio, progettato come elastico, quando il terreno trasmette una componente del segnale sismico che abbia la stessa frequenza di oscillazione della struttura:

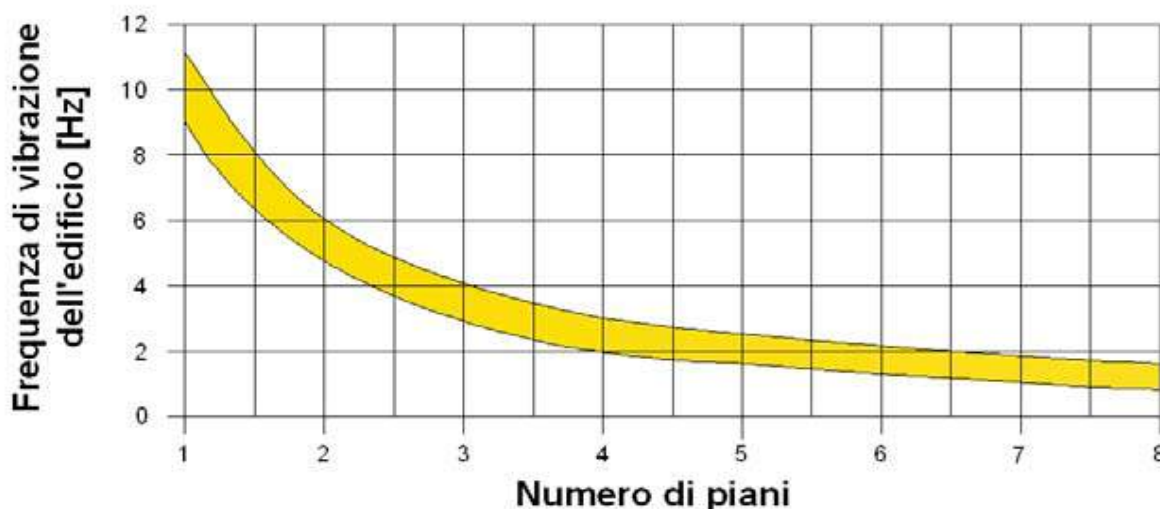
- Frequenza di oscillazione del terreno <  $F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura → i danni sono "limitati"
- Frequenza di oscillazione del terreno =  $F_n$  frequenza naturale di oscillazione della struttura → i danni sono "illimitati".

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

**freq. naturale edificio  $\approx$  freq. fondamentale di risonanza del sito**



**Parametri sismici:**

Categoria sottosuolo:	C	Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni	Coefficiente cu:	1,5

**Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento:	81	%	
Tr:	45	[anni]	ag: 0,070 g
Fo:	2,432		Tc*: 0,270 [s]

**Danno (SLD):**

Probabilità di superamento:	63	%	
Tr:	75	anni]	ag: 0,087 g
Fo:	2,429		Tc*: 0,280 [s]

**Salvaguardia della vita (SLV):**

Probabilità di superamento:	10	%	
Tr:	712	[anni]	ag: 0,216 g
Fo:	2,412 1		Tc*: 0,312 [s]

**Prevenzione dal collasso (SLC):**

Probabilità di superamento:	5	%	
Tr:	1462	[anni]	ag: 0,275 g
Fo:	2,437		Tc*: 0,321 [s]

**Coefficienti Sismici****SLO:**

Ss:	1,500	Cc:	1,620	St:	1,000	
Kh:	0,021	Kv:	0,010	Amax:	1,027	Beta: 0,200

**SLD:**

Ss:	1,500	Cc:	1,600	St:	1,000	
Kh:	0,026	Kv:	0,013	Amax:	1,284	Beta: 0,200

**SLV:**

Ss:	1,390	Cc:	1,540	St:	1,000	
Kh:	0,084	Kv:	0,042	Amax:	2,940	Beta: 0,280

**SLC:**

Ss:	1,300	Cc:	1,530	St:	1,000	
Kh:	0,100	Kv:	0,050	Amax:	3,500	Beta: 0,280

### 1.3 Conclusioni

La tecnica geofisica utilizzata durante questo lavoro ha permesso di ottenere i seguenti risultati di seguito brevemente riassunti:

- E' stata classificata la zona di studio come suolo di tipo C.
- E' stata fornita la frequenza di risonanza del sito per ciascun punto di misura.

Este, Aprile 2016



Dott. Geol. Pier Giorgio Spadon

## 1.4 Documentazione Fotografica

Tromografo HVSR 1



Tromografo HVSR 2



## ALLEGATO 1 : UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE HVSR



**IND.A.G.O. s.n.c.**

Indagini e Opere Ambientali e Geologiche

via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185

[www.indago-rovigo.it](http://www.indago-rovigo.it)

## ALLEGATO 2

### ***Rapporto Tecnico:***

Indagine sismica mediante la tecnica Masw attiva e passiva presso un sito a Cotignola (RA), ai sensi delle NTC (DM 14/01/08) e dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Dott. Geol. Enrico Farinatti

Rovigo, Novembre 2009

Committente: Dott. Geol. Giampaolo Guarnieri

Viale Orsini, 27

48022 – Lugo (RA)

## **Premessa**

Lo scrivente, su incarico del Dott. Geol. Giampaolo Guarnieri, ha eseguito un'indagine sismica mediante il metodo Masw (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo presso un sito a Cotignola (RA), ai sensi del DM 14/01/2008.

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh,  $V(\text{fase})/\text{freq.}$ , può essere convertito nel profilo  $V_s/\text{profondità}$ . Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

## **Modalità esecutive**

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva. Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo a 24 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su p.c..

Sono state effettuate 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna, per il metodo passivo e una registrazione da 2 secondi, per il metodo attivo. I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (24 bits, range dinamico 117 dB), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

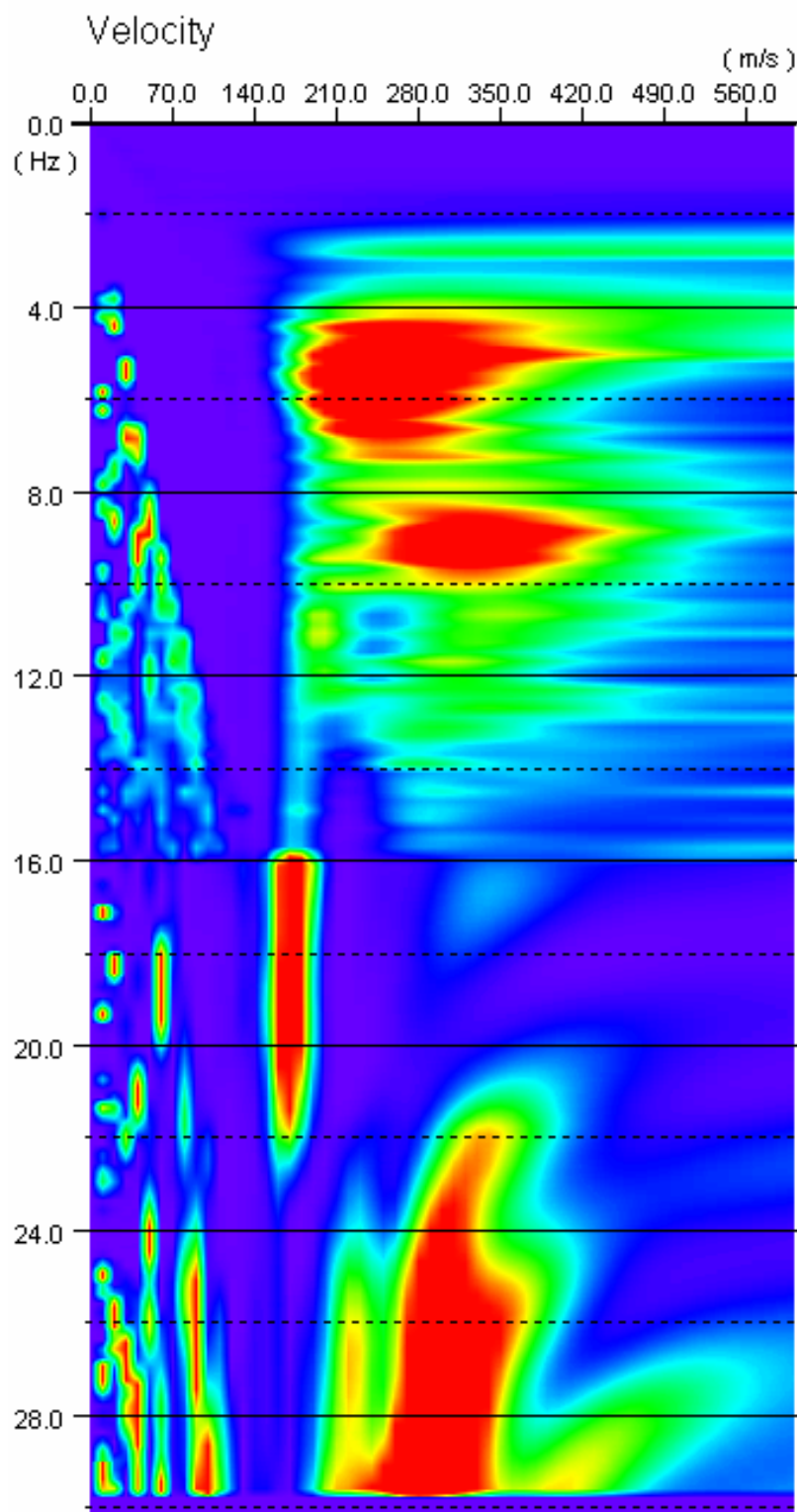
I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello  $V_s/\text{profondità}$  attendibile.



## Risultati e conclusioni

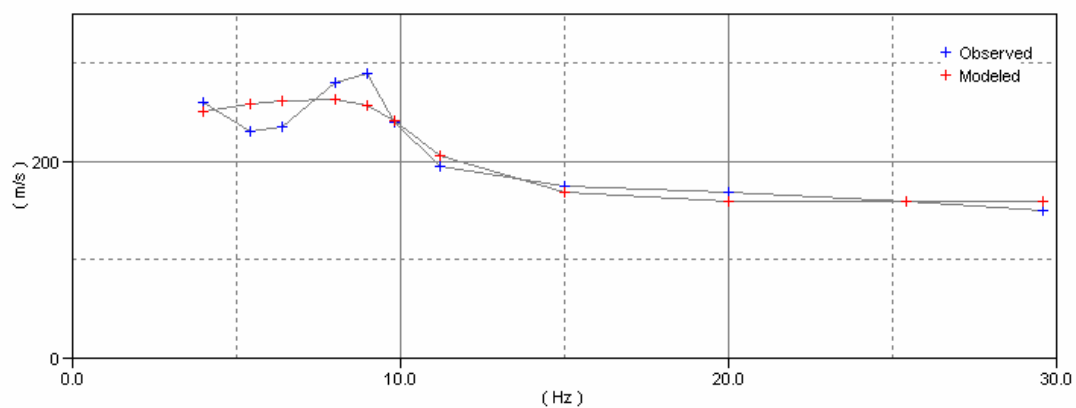
L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a circa 32 m di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati. L'errore RMS calcolato è del 1.7%.



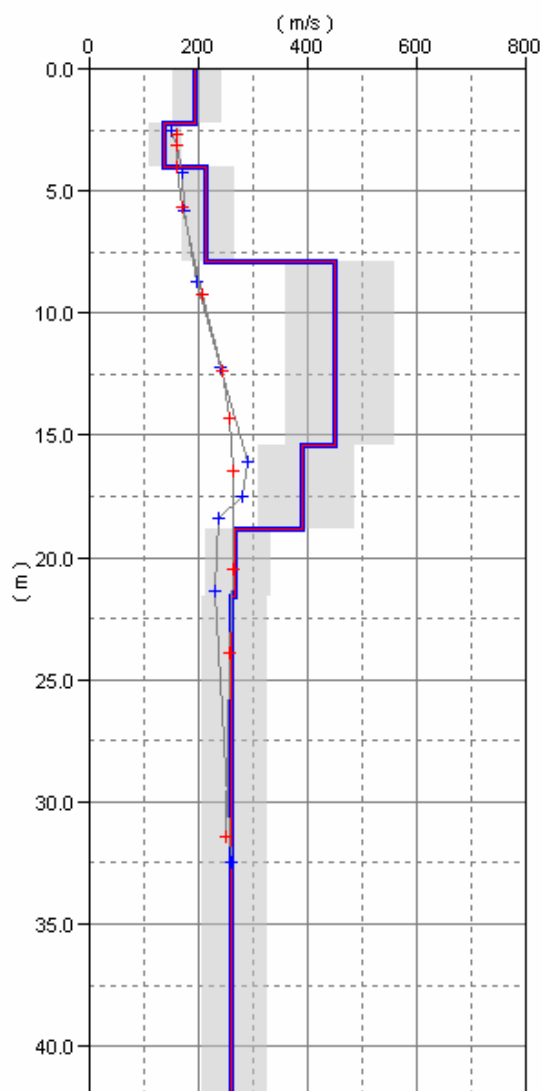
CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA METODI ATTIVO E PASSIVO

### Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

### Models



MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 12 geofoni in linea con interdistanza di 5 m.

La  $V_{s30}$  è stata ricavata dalla formula:

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

Nel caso specifico è risultato:

$$V_{s30} = 270 \text{ m/s}$$

Si tratta quindi di un suolo tipo C ( $S = 1.42$  secondo le NTC).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita** (secondo NTC). E' inoltre stata inserita la classificazione del sito in base alle vigenti normative regionali.

Dalle prove geognostiche eseguite e dall'indagine sismica, è stata evidenziata la presenza di un livello di natura limoso-sabbiosa da circa 8 a 15 m dal p.c.. Per questo strato è stata eseguita una verifica alla liquefazione, come previsto dalle linee guida.

Utilizzando quindi le velocità  $V_s$  misurate e supponendo la presenza di una percentuale di limo e/o argilla compresa tra il 5% e il 35%, nonché una magnitudo di riferimento  $M = 6.14$  (valore indicato dalle ZS9 per la Dorsale Ferrarese), è stato calcolato il coefficiente di sicurezza (previa una "normalizzazione" dei dati ottenuti per riportarli alla magnitudo di riferimento):

$$F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5} \quad \text{dove:}$$

$CRR_{7.5}$  = rapporto di resistenza ciclica (per  $M=7.5$ )

$CSR_{7.5}$  = rapporto di tensione ciclica (per  $M=7.5$ )

I risultati ottenuti (vedere grafico e tabella allegati) indicano che per il livello indagato non vi è rischio di liquefazione.

Rovigo, Novembre 2009

Dott. Geol. Enrico Farinatti

# ALLEGATI

# CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2008

Data 09/11/09

Località Via Corriera - Cotignola (RA)

Metodo di indagine MASW Attivo e Passivo (misura Vr)

Strumentazione utilizzata Sismografo ABEM RAS-24, 24 canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Rumore naturale+10 kg

Geometria stendimento: 12 geofoni - interasse 5 m

## RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del coeff. Cc e del coeff. amplificazione S)

### Categorie di suolo di fondazione

		Ss	Cc	S=S <sub>s</sub> *S <sub>T</sub>
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	1.00
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <b>Vs30</b> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e Cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).	<b>1.2</b>	<b>1.39</b>	1.20
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <b>Vs30</b> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e Cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	<b>1.42</b>	<b>1.55</b>	1.42
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <b>Vs30</b> inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e Cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).	<b>1.70</b>	<b>2.25</b>	1.70
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <b>Vs30</b> > 800 m/s).	<b>1.49</b>	<b>1.84</b>	1.49
<b>S1</b>	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < Cu30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	Servono studi speciali		
<b>S2</b>	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.			

I parametri a/g, F<sub>0</sub> e T<sub>c</sub> vengono forniti dalla normativa

### Categorie Topografiche:

		St	
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media ≤ 15°	<b>1</b>	
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO - COMP. ORIZZONTALE (NTC 2008)**  
**Possibilità di superamento del 10% in 50 anni**

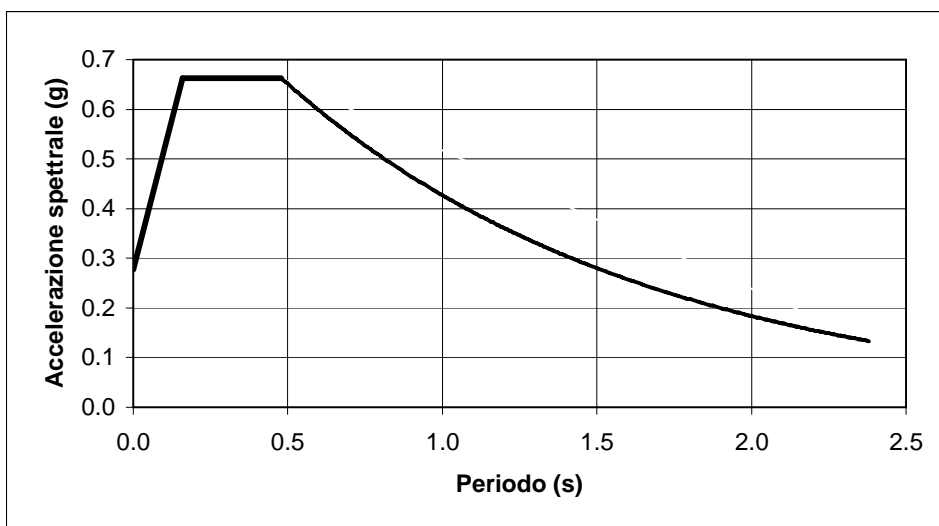
$$T_0 = ag \times S$$

$$T_b = T_c / 3$$

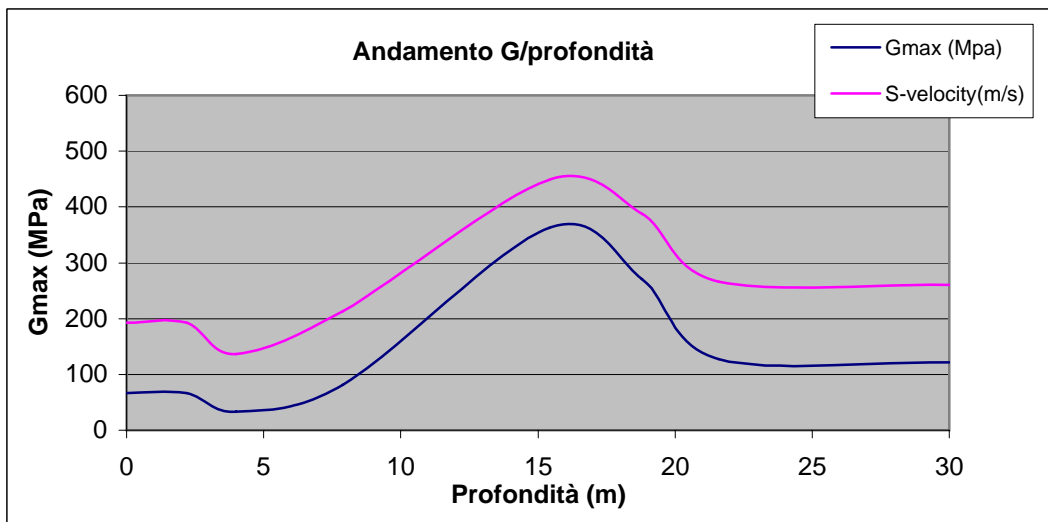
$$T_c = C_c \times T_c^*$$

$$T_d = 4.0 \times a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate
0.0000	0.2769
0.1597	0.6626
0.4790	0.6626
2.3800	0.1333



Depth(m)	S-velocity(m/s)	Gmax (Mpa)	$\rho$ (t/mc)
0.0	193	67	1.80
2.2	193	67	1.80
4.0	136	33	1.80
7.9	213	82	1.80
15.4	449	363	1.80
18.8	388	271	1.80
21.6	266	127	1.80
30.0	260	122	1.80



**Vs30 (m/s) = 270**



**CLASSIFICAZIONE DEL SITO Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la classificazione territoriale e urbanistica**

<b>Località</b>	Via Corriera - Cotignola (RA)
<b>Metodo di indagine</b>	MASW Attivo e Passivo (misura $V_r$ )
<b>Strumentazione utilizzata</b>	Sismografo ABEM RAS-24, 24 canali, 24 bits
<b>Metodo di energizzazione</b>	Rumore naturale+10 kg
<b>Geometria stendimento:</b>	12 geofoni - interasse 5 m

**Valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo  $a_{refg}$  0.186**

**Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica (PIANURA 2)**

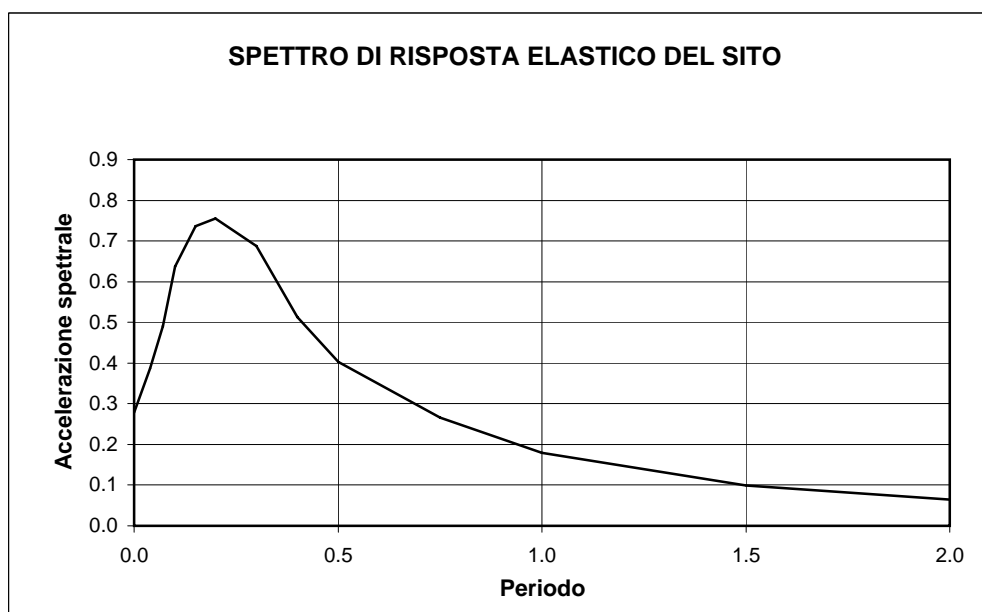
Vs30	F.A.
200	1.5
250	1.5
300	1.5
350	1.4
400	1.4
450	1.4
500	1.3
600	1.1
700	1.0
800	1.0

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO - COMP. ORIZZONTALI**

Possibilità di superamento del 10% in 50 ann

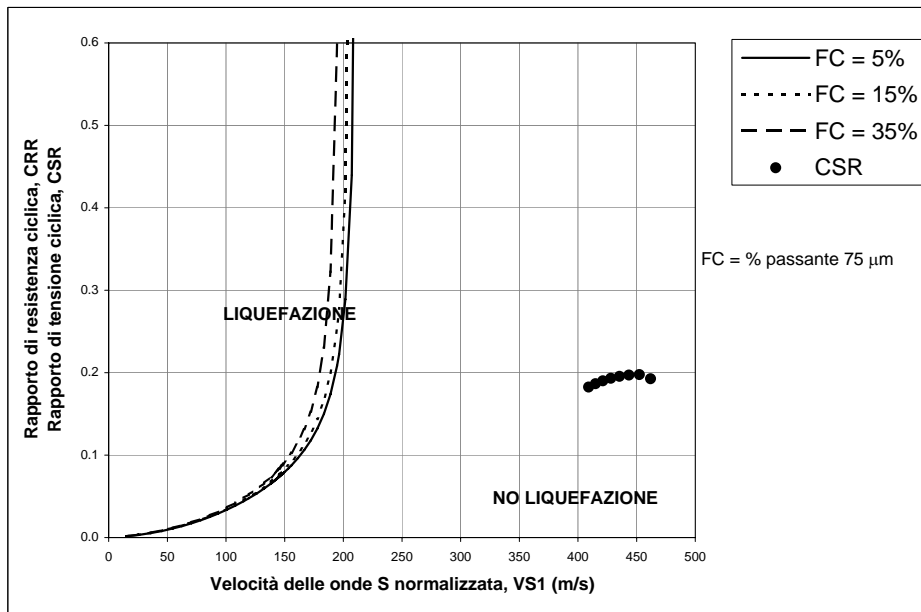
Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/200 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la classificazione territoriale e urbanistica"

T (s)	$Sa/a_{ref}$	$Sa/a_g$
0.000	1.000	0.279
0.040	1.389	0.387
0.070	1.759	0.491
0.100	2.283	0.637
0.150	2.637	0.736
0.200	2.707	0.755
0.300	2.466	0.688
0.400	1.840	0.513
0.500	1.445	0.403
0.750	0.955	0.266
1.000	0.645	0.180
1.500	0.355	0.099
2.000	0.231	0.064



## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

profondità (m)	V <sub>s</sub>	V <sub>s1</sub>	CSR	F <sub>s</sub> = CRR <sub>7.5</sub> /CSR <sub>7.5</sub>
8.0	449	462	0.193	3.31
9.0	449	452	0.198	3.07
10.0	449	444	0.197	2.95
11.0	449	435	0.196	2.86
12.0	449	428	0.193	2.79
13.0	449	421	0.190	2.73
14.0	449	415	0.187	2.69
15.0	449	409	0.183	2.67



La velocità delle onde sismiche viene ricondotta ad un valore  $V_{s1}$ , ovvero ad un valore normalizzato ad una tensione efficace  $p_a = 100$  kPa attraverso la:

$$V_{s1} = C_v \cdot V_s = V_s \cdot (p_a / \sigma'_{v0})^{0.25}$$

$$\text{RAPP. TENSIONALE CICLICO } CSR = \tau_{media} / \sigma' = 0.65 \cdot (a_{max} / g) \cdot (\sigma_v / \sigma'_v) \cdot r_d$$

$a_{max}$  = accelerazione di picco al piano campagna

$g$  = accelerazione di gravità

$\sigma_v / \sigma'_v$  = tensione totale ed efficace nel sottosuolo

$r_d$  = coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità d'interesse che tiene conto della deformabilità del sottosuolo

$$\text{COEFFICIENTE DI SICUREZZA ALLA LIQUEFAZIONE } F_s = CRR_{7.5} / CSR_{7.5}$$

$$\text{CSR riferito ad terremoto di magnitudo 7.5 } (CSR)_{M=7.5} = (CSR)_M / MSF$$

$$\text{fattore di scala per la magnitudo } MSF = 6.9 \cdot \exp(-M/4) - 0.058$$

$$\text{RAPP. DI RESISTENZA CICLICA (riferito a } M = 7.5) \text{ } CRR_{7.5} = 0.022 \cdot (V_{s1} / 100)^2 + 2.8 \cdot (1 / (V_{s1}^* - V_{s1}) - 1 / V_{s1}^*)$$