

COMUNE DI SANTARCANGELO

PROGETTO DI P.U.A.

AREA AN.C.11 - Frazione di San Vito, Comune di Santarcangelo di Romagna - Via Emilia vecchia

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Proprietà:	INIZIATIVE ROMAGNA SRL , con sede in Santarcangelo di Romagna (RN) Via del Carpino n. 8, iscritta al Registro delle Imprese di Rimini al n. 02710450400, iscritta al R.E.A. di Rimini al n. 277816, C.F. e P.IVA: 02710450400, in persona del Dott. Manlio Maggioli C.F. MGGMNL31E11I304U, nella sua qualità di Amministratore Unico
Progettista incaricato:	Arch. GIOVANNI GAVELLI c.so A. Diaz n° 64 - Forlì C.F. GVL GNN 52B15 D704H
Rilievo topografico e progettista pista ciclabile secondo stralcio:	Geom. MAURO BENVENUTI
Relazione geologica:	Dott. Geol. MASSIMILIANO FLAMIGNI  <i>PRIDE - Projects and Ideas for Development</i> <i>Consulenza Ambientale e Pianificazione Territoriale</i> Via Maceo Casadei 19 – 47121 – Forlì e-mail: pride3@hotmail.it , C.F. e P.IVA. 03535850402 
Progettista collaboratore verde pubblico:	Dott. For. GIOVANNI GRAPEGGIA
Progettista collaboratore invarianza idraulica, reti fognature, acqua e gas:	Ing. MASSIMO PLAZZI
Progettista collaboratore reti E- distribuzione e Pubblica Illuminazione:	P.I. ANDREA PADOVANI
Documentazione impatto acustico:	Dott. PAOLO GALEFFI
Valutazione di sostenibilità ambientale:	Ing. DANTE NERI

INDICE

1 PREMESSA.....	2
2 ALLEGATI.....	2
3 INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO.....	3
4 CARATTERI GEOLOGICI.....	3
5 CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....	5
6 ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.....	5
7 INDAGINI ESEGUITE E DISPONIBILI.....	7
7.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE E DISPONIBILI.....	7
7.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE.....	9
8 CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI, STIMA DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERENI.....	10
9 STIMA DI MASSIMA DELLA CAPACITA' PORTANTE E DEI CEDIMENTI.....	14
10 CENNI SULLA SISMICITA' DELL'AREA.....	19
11 ANALISI DEGLI ELABORATI DI MICROZONAZIONE SISMICA DISPONIBILI PER SANTARCANGELO DI ROMAGNA.....	23
12 AGGIORNAMENTO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER L'AMBITO "AN.C.11" AI SENSI DELLA DGR 630 DEL 29 APRILE 2019.....	26
12.1 VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ALL'INTERNO DELL'AMBITO IN ESAME.....	31
13 CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI AI SENSI DELLE NTC 2018.....	33
14 CONCLUSIONI.....	35

1 PREMESSA

La presente “Relazione geologica e sismica” riassume gli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche e delle analisi effettuate per verificare, dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, le condizioni generali di edificabilità del comparto “AN.C.11 – *San Vito via Vecchia Emilia*”, nel territorio comunale di Santarcangelo di Romagna, in occasione della progettazione della pianificazione attuativa del comparto stesso.

Per questo lavoro si è proceduto:

- ad una accurata ricerca bibliografica con reperimento dei dati disponibili e delle cartografie di base e tematiche necessarie e dei dati geognostici e geofisici disponibili,
- ad un sopralluogo sull'area,
- alla organizzazione, predisposizione ed assistenza all'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche e geofisiche,
- alla restituzione dei dati, all'analisi dei risultati ed alla stesura della presente relazione.

2 ALLEGATI

Costituiscono parte integrante della presente relazione i seguenti allegati (presenti in calce):

- Inquadramento corografico dell'area di intervento,
- Inquadramento topografico dell'area di intervento
- Carta geologica dell'area pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna,
- Planimetria con individuazione dei punti di esecuzione delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite e disponibili,
- Esiti delle prove geognostiche eseguite e disponibili,
- Esiti delle indagini geofisiche eseguite.

3 INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'ambito in esame è oggi un vasto fondo agricolo (estensione complessiva di circa 7,4 ha) situato ad est – sud est dell'abitato di San Vito, immediatamente a sud della Via Emilia Vecchia.

Dal punto di vista amministrativo l'intera area di intervento ricade all'interno del territorio comunale di Santarcangelo di Romagna.

Sulle cartografie ufficiali della regione Emilia-Romagna (Tavole 1 e 2) l'area di intervento è individuabile:

- sulla Tavoletta, in scala 1:25.000, 256 SO – Santarcangelo di Romagna,
- sugli Elementi, in scala 1:5.000, 256101 – Casale San Vito e 256104 – San Vito.

4 CARATTERI GEOLOGICI

L'area in esame si trova nella parte alta della pianura emiliano romagnola, in prossimità del margine appenninico.

Si tratta della zona occupata dalle conoidi dei fiumi appenninici, e dalle relative aree di interconoide, in cui il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di una spessa coltre di depositi alluvionali nella quale si alternano, messi in posto nel corso dei differenti cicli deposizionali che si sono succeduti a partire dal plio-pleistocene fino ad oggi, terreni grossolani e fini (vedi stralcio sezione geologica pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna riportato sulla figura 1).

Su questa sezione, il cui tracciato “passa” (come si vede) alcune centinaia di metri ad est dell'ambito in esame, sono rappresentate le diverse unità idrostratigrafiche (i così detti gruppi acquiferi) individuabili praticamente nel sottosuolo di tutta la pianura.

Sulla sezione è anche individuabile (almeno in prima approssimazione) la posizione del *bedrock* geologico plio-pleistocenico il cui tetto, come è noto, corrisponde a quello del gruppo acquifero C.

Come si vede il substrato è poco profondo, e in genere coperto da depositi ghiaiosi amalgamati, nei pressi del margine collinare (campitura grigia in figura 1).

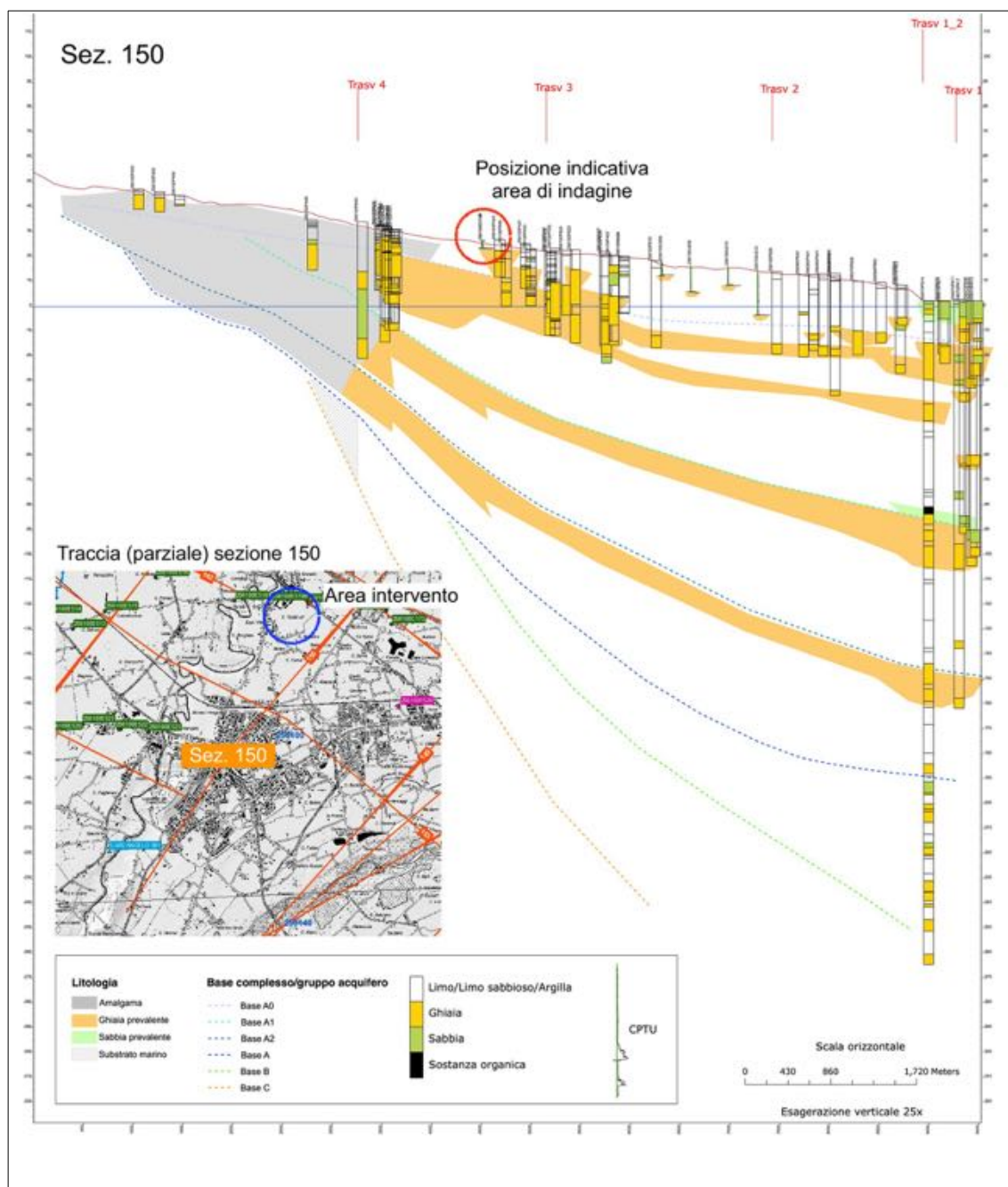


Figura 1: Sezione geologica profonda pubblicata dalla Regione Emilia-Romagna.

Allontanandosi dal margine si assiste ad una differenziazione dei vari gruppi e complessi acquiferi (campiture arancio e verdi sulla figura 1) separati tra loro da orizzonti fini, arealmente continui (in bianco sulla figura 1), accompagnata da un “repentino” approfondimento del *bedrock* marino al di sotto della pianura.

Sempre dalla sezione risulta che, in corrispondenza del sito in esame, il *bedrock* si trova ad una profondità di circa 110 - 120 metri dal p.c.

In questo contesto generale l'ambito in esame si trova in un'area di conoide in cui i gruppi e complessi acquiferi risultano compartimentati e separati tra loro.

All'interno del quadro geologico generale appena descritto i terreni presenti nella porzione più superficiale (alcune decine di metri) di sottosuolo in corrispondenza dell'ambito "*AN.C.11 – San Vito via Vecchia Emilia*" (vedi Tavola 3) sono di origine alluvionale e sono ascrivibili all'Allomembro Emiliano Romagnolo Superiore (AES) - Subsistema di Ravenna (AES8).

Tessituralmente si tratta di prevalenti depositi limoso-argillosi e sabbiosi di piana alluvionale, generalmente compatti, con all'interno intercalati, a vari livelli, orizzonti ghiaiosi anche piuttosto "potenti".

5 CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area in esame è ad uso agricolo (seminativo) e le passate lavorazioni hanno completamente obliterato le originarie geoforme presenti.

Ad oggi il fondo si presenta come una vasta area subpianeggiante, con "baulatura" in direzione sud ovest – nord est. I vari elementi della "baulatura" sono separati da fossi poco profondi.

Le quote topografiche, su base CTR, sono variabili attorno ai 27 m.s.l.m.

6 ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

Corso d'acqua principale della zona (vedi figura 2) è il Torrente Uso il cui alveo meandriforme si trova circa 300 metri a nord ovest del confine del lotto.

Il confine sud orientale del lotto è invece "formalizzato" da un fosso consortile denominato "Fontanaccia" (vedi foto su figura 3).

Per quanto riguarda le acque sotterranee le indagini eseguite e disponibili non hanno individuato la presenza di alcuna falda freatica stabile.

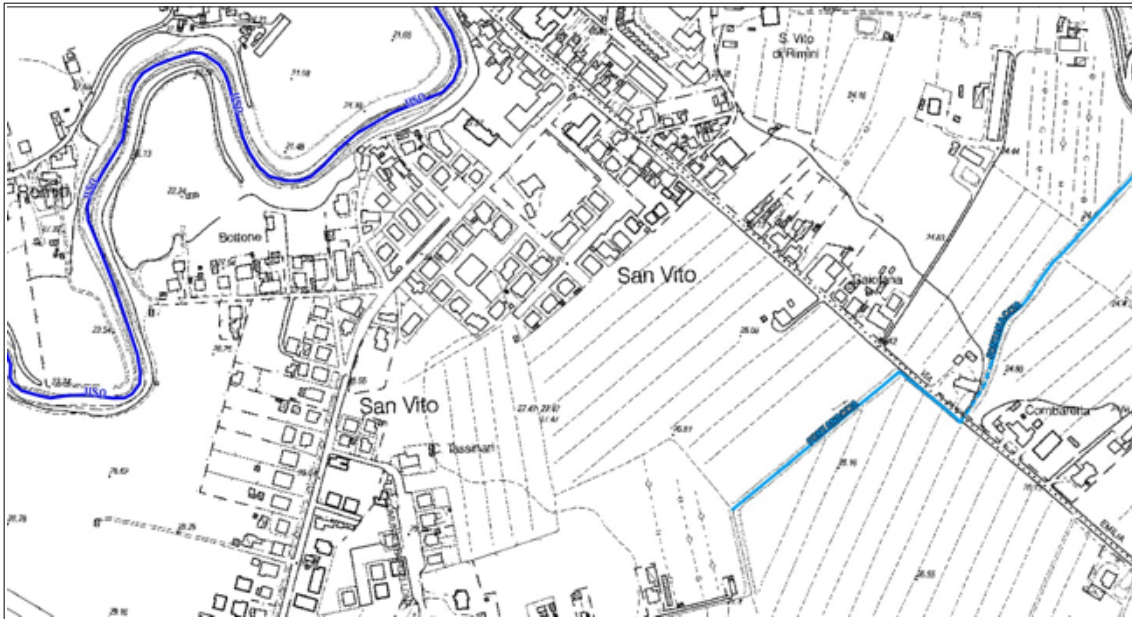


Figura 2: Schermata WEBGIS Consorzio di Bonifica della Romagna con indicazione del Torrente Uso e del fosso Fontanaccia.



Figura 3: Foto del fosso Fontanaccia, confine sud orientale del lotto.

Dai dati disponibili non si hanno notizie in merito alla presenza di falde nel primo orizzonte ghiaioso. Falde sospese e temporanee saranno possibili nel sottosuolo dell'area in conseguenza di eventi meteorici particolarmente intensi o prolungati.

7 INDAGINI ESEGUITE E DISPONIBILI

I dati utilizzati per questo studio fanno capo a:

- numero 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE) che derivano dalla banca dati geognostica della Regione Emilia-Romagna,
- numero 14 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) effettuate appositamente per questo studio,
- numero 4 indagini geofisiche misura di rumore ambientale a stazione singola con tromografo sismico e metodologia HVSR) effettuate appositamente per questo studio.

I punti di esecuzione di tutte le indagini, eseguite e disponibili, sono rappresentati, su base ortofoto CGR 2018, sulla tavola 4 in allegato.

7.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE E DISPONIBILI

Le indagini geognostiche disponibili sono rappresentate da n° 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (E519A ed E519B) effettuate in un'area immediatamente a nord della via Emilia Vecchia.

Entrambe le prove si sono interrotte poco oltre i tre metri dal p.c. per rifiuto all'avanzamento in corrispondenza del tetto di un orizzonte ghiaioso.

Le indagini eseguite appositamente per questo studio sono prove penetrometriche statiche con punta meccanica tipo Begemann (da CPT1 a CPT14) e sono state spinte fino a rifiuto all'avanzamento in corrispondenza del tetto dell'orizzonte ghiaioso rinvenuto in tutte le verticali di prova.

L'apparecchiatura utilizzata per l'esecuzione delle prove penetrometriche è un penetrometro semovente di PAGANI da 200 kN.

Con tale attrezzatura le prove statiche si eseguono infiggendo nel terreno, per mezzo di un martinetto, una punta conica telescopica dotata di manicotto per la misura dell'attrito laterale (punta meccanica tipo “*Begemann*”) e ricavando, ad intervalli regolari di 20 cm, i dati di resistenza all'avanzamento della punta (R_p) e dell'insieme punta più manicotto di attrito (R_t), attraverso le letture effettuate su di una cella di carico digitale. Per la regolarità della prova la velocità di infissione è fissata a 2 cm/sec.

La stratigrafia dei terreni attraversati nel corso della prova CPT può essere ottenuta, secondo quanto proposto sperimentalmente da *Schmertmann* (1978), per mezzo del diagramma di figura 4 sulla base dei valori di R_p (resistenza alla punta) ed R_l (resistenza laterale con $R_l = R_t - R_p$) dei vari livelli di terreno attraversati.

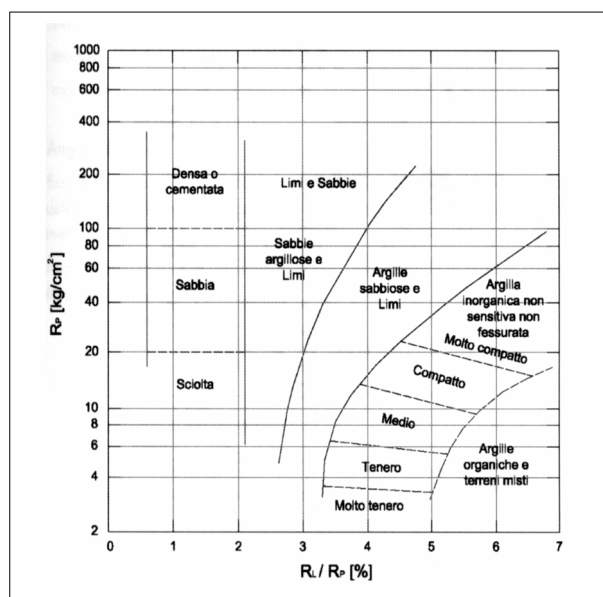


Figura 4: Interpretazione della stratigrafia da prove CPT (*Schmertmann*, 1978)

I principali parametri geotecnici dei terreni attraversati possono essere ottenuti attraverso correlazioni riportate in letteratura. A titolo di esempio per la coesione non drenata dei livelli argillosi viene utilizzata la formula:

$$c_u = (R_p - y_d)/N_c$$

con N_c variabile da 14 a 22.



Figura 5: Attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prove CPT

Gli esiti di tutte le indagini geognostiche, eseguite e disponibili, sono trasmessi in allegato.

7.2 INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE

Sulla Tavola 4 sono rappresentati i punti di esecuzione delle indagini geofisiche eseguite ed utilizzate nell'ambito del presente studio .

In calce alla relazione si trasmette la relazione sulle indagini geofisiche eseguite nella quale, oltre ad una breve descrizione della metodologia utilizzata per l'esecuzione e l'interpretazione delle prove, sono contenuti gli esiti delle elaborazioni delle indagini stesse.

Sulla tabella seguente sono riassunti i valori di Vs30 (Vs equivalente per un intervallo di 30 metri) ricavati dall'elaborazione delle indagini geofisiche.

Quadro sinottico dei valori di Vs30 ricavati dall'elaborazione delle indagini geofisiche

Prova HVSR	Vs30 (m/s)
TR 1	256
TR 2	270
TR 3	270
TR 4	270

8 CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI, STIMA DELLE PRINCIPALI CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERENI

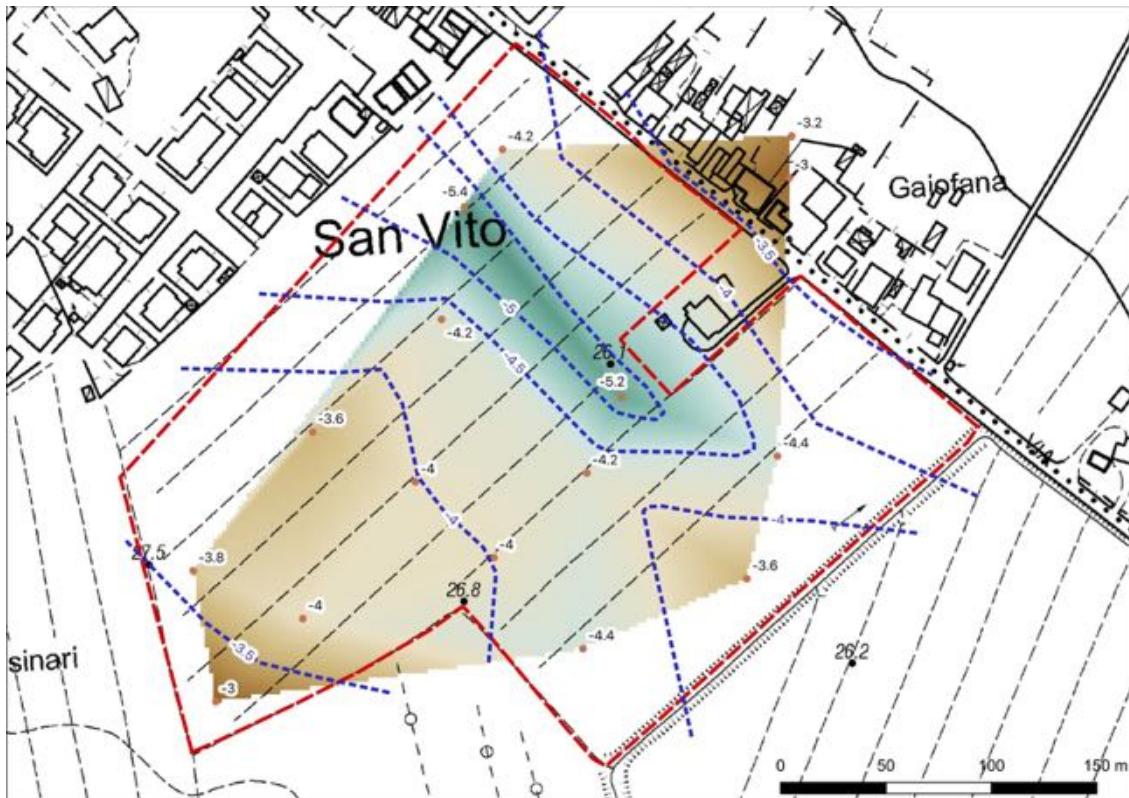
Le indagini eseguite mostrano un quadro del sottosuolo del comparto sostanzialmente omogeneo caratterizzato da:

- un orizzonte superiore di argille e argille limose alluvionali, compatte o estremamente compatte, caratterizzate da fenomeni di essiccamento nella porzione più superficiale. La porzione sommitale di questo orizzonte è inoltre costituita da suolo agrario (per uno spessore complessivo variabile dai 40 ai 60 cm),
- un orizzonte inferiore di ghiaie alluvionali, piuttosto addensate, il cui tetto si rinviene a differenti profondità (dai circa 3,0 ai circa 5,4 m dal p.c.) nel sottosuolo dell'ambito.

Sulla figura 6 è indicativamente rappresentato l'andamento del tetto dell'orizzonte ghiaioso nel sottosuolo del comparto.

Come si vede il tetto delle ghiaie si rinviene a circa tre metri di profondità sia a nord est del comparto (loc. "Gaiofana") che in corrispondenza della porzione sud occidentale dello stesso.

Il tetto delle ghiaie presenta un maggiore approfondimento (fino a oltre 5 metri dal p.c.) lungo un asse orientato nord ovest – sud est nella porzione centro settentrionale del lotto.



Come già detto i terreni presenti in superficie sono fortemente sovraconsolidati per essiccamento per profondità che, sulla base degli esiti delle CPT, possono variare dai circa 1,0 ai circa 1,6 metri dal p.c.

Il forte essiccamento è causa di una notevole riduzione di volume dei terreni argillosi con la conseguente comparsa di fenomeni di fessurazione superficiale che nel fondo sono assai diffuse (vedi foto di figura 7) e sono caratterizzate sia da una notevole ampiezza (larghezza delle fessure anche di dieci centimetri) che da una certa continuità (lunghezza delle fessurazioni di decine di metri). Queste fessure ovviamente si richiuderanno quando l'argilla verrà reidratata (in conseguenza di periodi piovosi intensi e/o prolungati) per poi ripresentarsi in occasione dei successivi periodi siccitosi.



Figura 7: Fessurazioni legate all'essiccamento dei terreni argillosi.

I terreni presenti sono soggetti a fenomeni di ritiro-rigonfiamento in funzione delle variazioni di contenuto d'acqua e tali fenomeni, se non adeguatamente considerati nel corso della progettazione, potranno avere ripercussioni anche sui futuri manufatti realizzati.

A conferma di questo la "strada ciclo-pedonale" esistente lungo il confine nord occidentale del lotto risulta interessata da numerose e profonde lesioni (vedi foto di figura 8) imputabili proprio a tale tipo di fenomeni.



Figura 8: Lesioni sulla “ciclo-pedonale” al confine nord occidentale del lotto legata ai fenomeni di ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi.

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche dei terreni presenti, tralasciando i valori dell'orizzonte essiccato che porterebbe a sovrastimare la coesione del deposito, la seguente tabella riassume i valori nominali dei principali parametri che è possibile attribuire ai livelli di terreno attraversati (cu – coesione non drenata espressa in kg/cmq, c' – coesione drenata espressa in kg/cmq, ϕ' – angolo di attrito espresso in gradi ($^{\circ}$), γ – peso di volume naturale espresso in kg/mc, EEd – modulo edometrico è espresso in kg/cmq).

Descrizione	cu	c'	ϕ'	γ	EEd
Argille e argille limose compatte e estremamente compatte (essiccate in superficie)	0,9 - 1,7	0,2	24	1900	60-65
Ghiaie e sabbie	-	-	40°	1950	-

9 STIMA DI MASSIMA DELLA CAPACITA' PORTANTE E DEI CEDIMENTI

Nel presente paragrafo, con la sola finalità di verificare le condizioni generali di edificabilità del comparto, si procede ad una stima preliminare del “carico ammissibile” e dei “cedimenti da questo indotti” considerando future ipotetiche strutture realizzate su fondazioni nastriformi, larghe un metro, e poste ad almeno un metro dal p.c. attuale.

Per la stima della capacità portante si utilizza la formula trinomia:

$$q_d = c N_c + \gamma D N_q + \gamma B/2 N_\gamma$$

con:

- B = dimensione minore della fondazione
- L = dimensione maggiore della fondazione
- D = approfondimento della fondazione
- c = coesione
- γ = peso di volume
- N_c , N_q e N_γ = fattori di capacità portante

Noto “ q_d ” il carico ammissibile (q_a) si ottiene imponendo un “fattore di sicurezza” pari a 2,3.

La verifica viene svolta in condizioni non drenate ($\phi = 0$) utilizzando la formulazione proposta da Meyerhof (1963).

Nel caso in esame, a fronte di una coesione non drenata c_u pari a 88,25 kPa (0,9 kg/cmq uguale al valore minimo riscontrato) avremo $q_d \approx 5,74$ kg/cmq cui corrisponde, considerando un “fattore di sicurezza” pari a 2,3 (in realtà si tratta del coefficiente di riduzione delle resistenze da applicare in ragione delle NTC 2018), un carico ammissibile pari ad 2,49 kg/cmq.

Tale carico è sicuramente compatibile con “normali” costruzioni che trasmetteranno, verosimilmente, carichi più contenuti.

CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE

METODO DI MEYERHOF (1963)

Dati:

B =	1,00	[m]	$\gamma =$	18,63	[kN/m ³]
ex =	0,00	[m]	$\phi =$	0	[°]
L =	10,00	[m]	c =	0,00	[kN/m ²]
ey =	0,00	[m]	cu =	88,25	[kN/m ²]
D =	1,00	[m]	$\theta =$	0	[°]
zw =	0,00	[m]	in presenza di falda no		
Fs =	2,3				

Elaborazione dati:

B' =	1,00	[m]	kp =	1,00	coeff. di spinta passiva.
L' =	10,00	[m]			

Fattori di forma:		Fattori di profondità:		Fattori inclinazione:	
sc =	1,02	dc =	1,20	ic =	1,00
sq =	1,00	dq =	1,00	iq =	1,00
sy =	1,00	dy =	1,00	iy =	0,00

Nq =	1,000	Q =	5631,25	[kN]	574,22	[t]
Nc =	5,142	q _{un} =	563,12	[kN/m ²]	5,742	[kg/cm ²]
N _γ =	0,000	σ _{amm} =	244,84	[kN/m ²]	2,497	[kg/cm ²]

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	$\theta =$	inclinazione del carico
Fs =	fattore di sicurezza		

Il carico ammissibile, che andrà comunque verificato nel corso delle successive fasi progettuali, non costituisce quindi un fattore limitante alla realizzazione di un “normale” intervento edilizio.

Per una stima preliminare dei cedimenti indotti dall'incremento dei carichi connessi alla realizzazione dei fabbricati si è utilizzato il Metodo di Schmertmann che si basa sulla correlazione con gli esiti di prove CPT che abbiano interessato una profondità pari almeno a 2 - 4 volte maggiore rispetto alla larghezza della fondazione B.

Le formule utilizzate sono le seguenti:

$$s = c_1 \cdot c_2 \cdot (p - \sigma'_{vo}) \cdot \sum_i \left(\frac{Iz_i}{E_i} \cdot \Delta z_i \right) = [mm]$$

$$E = qc \cdot \left[2,5 + \left(\frac{L}{B} - 1 \right) \cdot 0,11 \right]$$

$$c_1 = 1 - 0,5 \cdot \frac{\sigma'_{vo}}{(p - \sigma'_{vo})} \geq 0,5 \quad c_2 = 1 + 0,2 \cdot \log \left(\frac{t}{0,1} \right)$$

dove

- p carico applicato dalla fondazione sul terreno
- σ'_{vo} tensione verticale efficace preesistente alla quota del piano di posa della fondazione
- Iz fattore di deformazione
- E modulo elastico equivalente del terreno
- Δz spessore della striscia di terreno considerata
- c_1 e c_2 coefficienti correttivi
- L e B sono la lunghezza e larghezza della fondazione, t tempo espresso in anni
- qc resistenza alla punta del penetrometro (CPT)

Con il Metodo di Schmertmann il cedimento (s) viene calcolato dividendo il terreno al di sotto della fondazione in strisce all'interno delle quali si possono ritenere costanti il fattore di deformazione Iz ed il modulo di deformazione equivalente del terreno E .

Il fattore di influenza della fondazione Iz varia con la profondità e a seconda della geometria della fondazione come rappresentato sull'elaborato di calcolo inserito sulla pagina seguente.

Metodologia di calcolo dei Cedimenti - Prove CPT

Fondazioni Superficiali

METODO DI SCHMERTMANN

$B = 1,00$ [m]
 $D = 1,00$ [m]
 $L = 10,00$ [m]

Fondaz. = Nastriforme

$\gamma = 1,90$ [kN/m³]
 $\gamma = 18,64$ [kPa]

$q' = 244$ [kPa]

$\sigma'_{vo} = 18,64$ [kPa]
 $\Delta q' = 225,36$ [kPa]

$z = 2,00$ [m]
 $\sigma'_{vi} = 37,28$ [kPa]

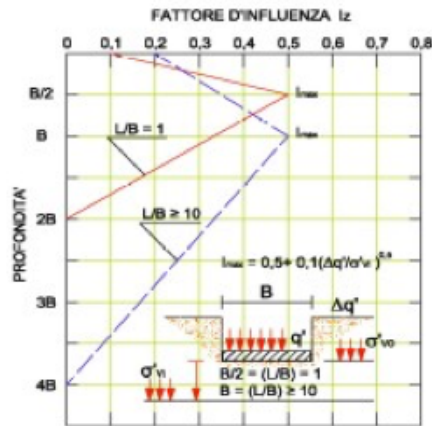
$l_z_{max} = 0,746$

$C1 = 0,9586$

$t = 30$ [anni]

$C2 = 1,4954$

$H = 4,00$ [m] (profondità significativa da suddividere in strisce Δz)



Strato n.	Δz [m]	l_z -	q_c [Mpa]	E [kPa]	$C1$ -	$\Delta q'$ [kPa]	s [mm]
a	0,60	0,36	6,00	21,00	0,9586	225,36	2,25
b	0,40	0,64	4,50	15,75	0,9586	225,36	3,49
c	1,40	0,57	2,40	8,40	0,9586	225,36	20,59
d	0,20	0,37	5,70	19,95	0,9586	225,36	0,81
e	0,60	0,27	3,50	12,25	0,9586	225,36	2,89
f	0,60	0,12	3,60	12,60	0,9586	225,36	1,28
g	0,20	0,02	4,00	14,00	0,9586	225,36	0,08
h	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9586	225,36	0,00
i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,9586	225,36	0,00
Totale		4,00				Totale	31,39

cedimento immediato = 31,39 [mm]

cedimento nel tempo = 46,94 [mm]

Utilizzando i carichi precedentemente calcolati si ottengono cedimenti dell'ordine dei 3 cm sul breve periodo e di circa 4,5 nel lungo. Una variazione dei carichi o una diversa distribuzione degli stesi porterà ovviamente ad una modifica dei valori.

In linea generale si tratta comunque di valori “normali” che non pongono vincoli alla realizzazione di opere come quelle previste sul sito.

Ovviamente anche in questo caso valutazioni più rigorose elaborate ai sensi delle vigenti NTC dovranno accompagnare le successive fasi della progettazione.

10 CENNI SULLA SISMICITA' DELL'AREA

Dalla mappa delle massime intensità macrosismiche osservate in Emilia-Romagna a partire dall'anno 1000 ad oggi (figura 9) risulta che il Comune di Santarcangelo di Romagna è stato interessato, in occasione di terremoti passati, da risentimenti pari al VIII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

Il Comune di Santarcangelo di Romagna è stato, per la prima volta, classificato sismico nel 1983 ed in tale occasione era stato inserito classificato come di II categoria. Successivamente, a seguito dell'entrata in vigore dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 (OPCM 3274/2003 e s.m.i.), il territorio comunale è stato inserito in Zona sismica 2.

Sulla figura 10 è riportata la mappa di pericolosità sismica di base per l'area della Regione Emilia-Romagna derivante da quella allegata alla OPCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b. Essendo il Comune di Santarcangelo di Romagna inserito in Zona (sismica) 2 il picco di accelerazione al suolo (*Peak Ground Acceleration* o PGA) su suolo rigido (un suolo caratterizzato da velocità delle onde di taglio superiore agli 800 m/s) risultava pari a 0,225g.

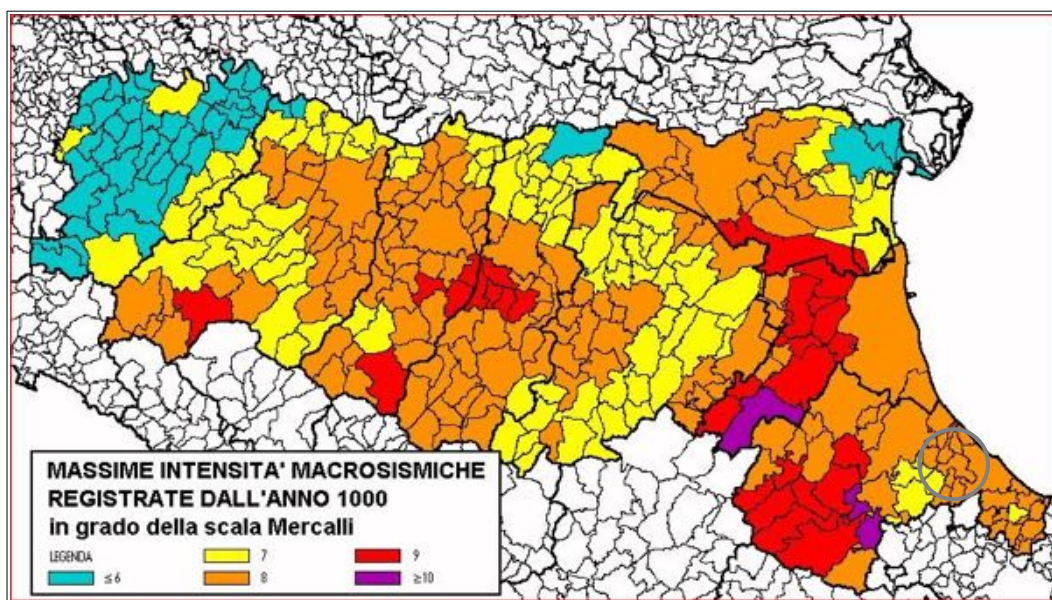


Figura 9: Mappa delle massime intensità macrosismiche (scala Mercalli-Cancani-Sieberg o MCS) osservate in Emilia-Romagna dall'anno 1000.

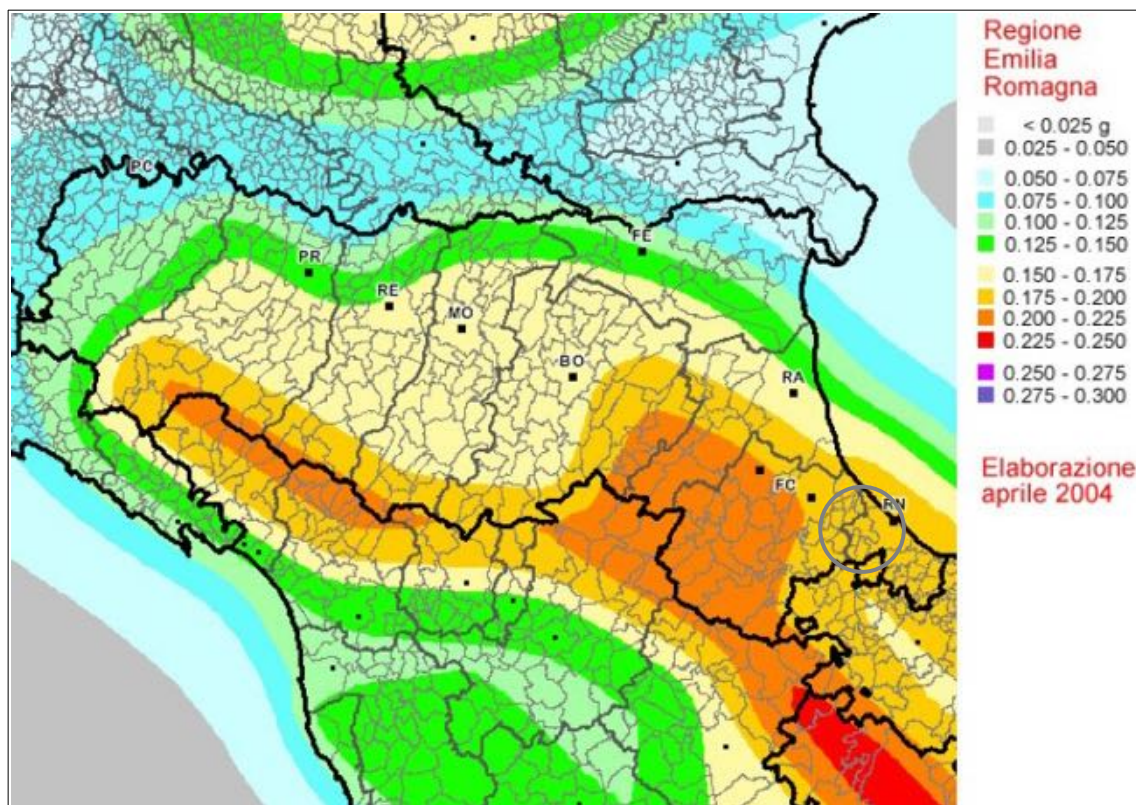


Figura 10: Mappa di pericolosità sismica di base della Regione Emilia-Romagna, ricavata dai valori di pericolosità disponibili per il territorio nazionale sul sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it> (OPCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b) e calcolati per una griglia di 0,05°, in termini di accelerazione massima del suolo (espressa come percentuale dell'accelerazione di gravità g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi e pianeggianti ($V_s > 800$ m/s; categoria di sottosuolo A, par. 3.2.2 del DM 14/01/2008)

Nell'ambito della zonazione sismogenetica "ZS9" (figura 11) definita dal "Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV, l'area di intervento si trova entro la Zona 917.

La Zona 917, assieme alla 912, rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale e include le sorgenti sismogenetiche principali della fascia appenninica esterna, cui è possibile associare la sismicità della costa romagnola e marchigiana.

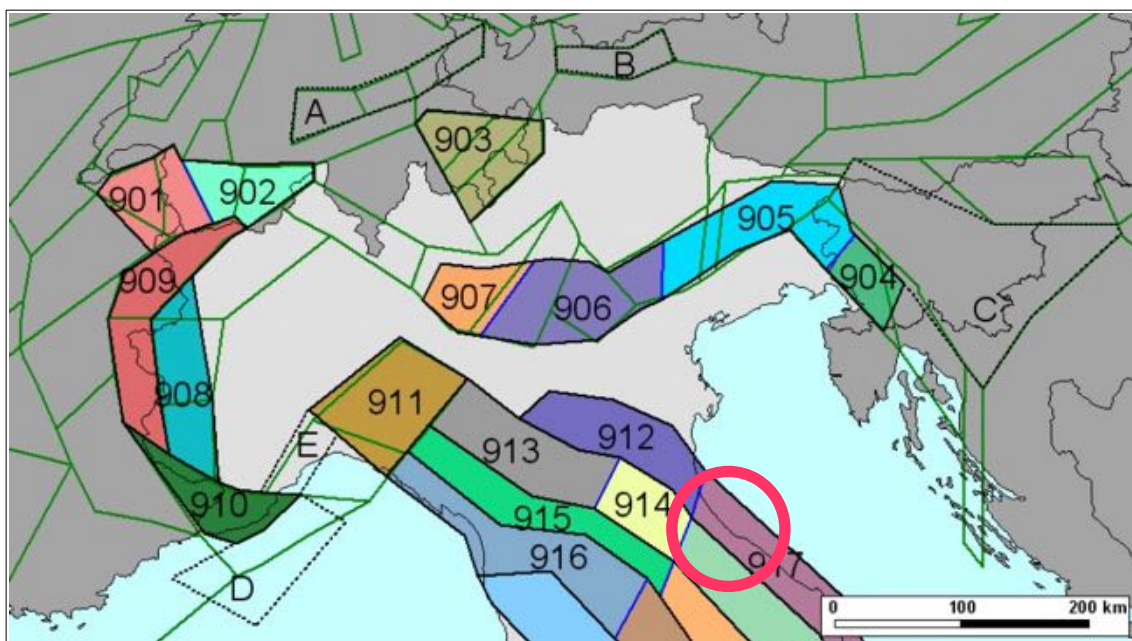


Figura 11: Zonazione sismogenetica ZS9 – Zona 917 “Rimini-Ancona”

Nel rapporto conclusivo del Gruppo di Lavoro per la redazione per la mappa di pericolosità sismica (OPCM 3273/2003) del INGV alla Zona 917, “Rimini-Ancona” è associato un valore di magnitudo pari a 6,14.

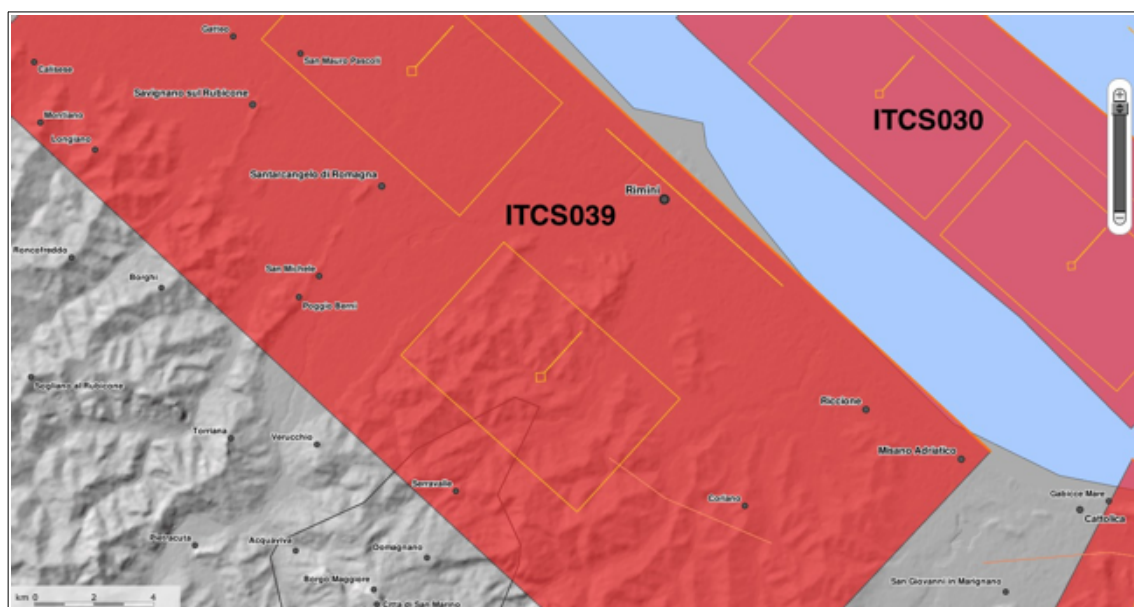


Figura 12: Schermata WEBGIS del Database delle sorgenti sismogenetiche italiane (DISS) per il settore di interesse.

Sulla figura 12 è infine riportato un estratto di mappa dal GIS del Database delle sorgenti sismogenetiche italiane (DISS) compilato sempre dal INGV.

Come si vede l'area in esame si trova all'interno della struttura sismogenetica composita denominata "Riminese onshore" identificata come ITCS039.

I terremoti associati a tale sorgente presentano magnitudo massime pari a 5,9 con profondità ipocentrali comprese tra i 2 e i 10 km.

ID DISS	Name	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Slip rate (mm/y)	Max Magnitude
ITCS039	Riminese onshore	2,0	10,0	1,0-1,07	5,9

Più nel dettaglio l'area di intervento si trova entro la struttura sismogenetica "individuale" denominata "Val Marecchia" e identificata come ITIS036.

I terremoti associati a tale sorgente presentano magnitudo massime pari a 5,7 con profondità ipocentrali comprese tra i 3 e i 6 km.

ID DISS	Name	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Slip rate (mm/y)	Max Magnitude
ITIS036	Val Marecchia	3,0	6,0	0,1-0,5	5,7

11 ANALISI DEGLI ELABORATI DI MICROZONAZIONE SISMICA DISPONIBILI PER SANTARCANGELO DI ROMAGNA

Per il Comune di Santarcangelo di Romagna è disponibile uno studio di microzonazione sismica (Rapporto tecnico indagine sismica di microzonazione) elaborato a corredo del Piano Strutturale Comunale (PSC) nel Luglio del 2010.

L'analisi era stata realizzata in ottemperanza a quanto richiesto dall'allora vigente normativa regionale in materia di microzonazione sismica costituita dalla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 (atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della LR 20/2000 per *“Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”*).

Le tavole e le risultanze delle analisi allora effettuate, relativamente all'ambito *“AN.C.11 – San Vito via Vecchia Emilia”* qui in esame, sono brevemente analizzate e descritte all'interno del presente paragrafo.

All'interno dell'area, definita in occasione dello studio di microzonazione sismica disponibile “SITO 30”, era stata effettuata una misura di rumore ambientale a stazione singola con metodologia HVSR, la cui ubicazione è rappresentata sulla tavola 4 e sulla figura 13, che aveva consentito di ricavare una V_{s30} pari a 383 m/s. Per l'area non erano stati riconosciuti particolari rischi di natura cosismica a parte la “normale” amplificazione stratigrafica.

Il fattore di amplificazione per il sito, in termini di PGA, era risultato pari a 1,4 (figura 13). A seguire (figure 14 e 15) si riportano anche le carte relative all'analisi di II livello con i fattori di amplificazione (FA) in termini di intensità spettrale (o intensità di Housner, SI).

I fattori di amplificazione in termini di intensità di Housner erano valutati, sulla base di quanto contenuto nella DAL 112/2007, per due differenti intervalli di riferimento:

- $0,1\text{ s} < T < 0,5\text{ s}$
- $0,5\text{ s} < T < 1,0\text{ s}$.

ed erano risultati rispettivamente pari a 1,7 e 2,0.

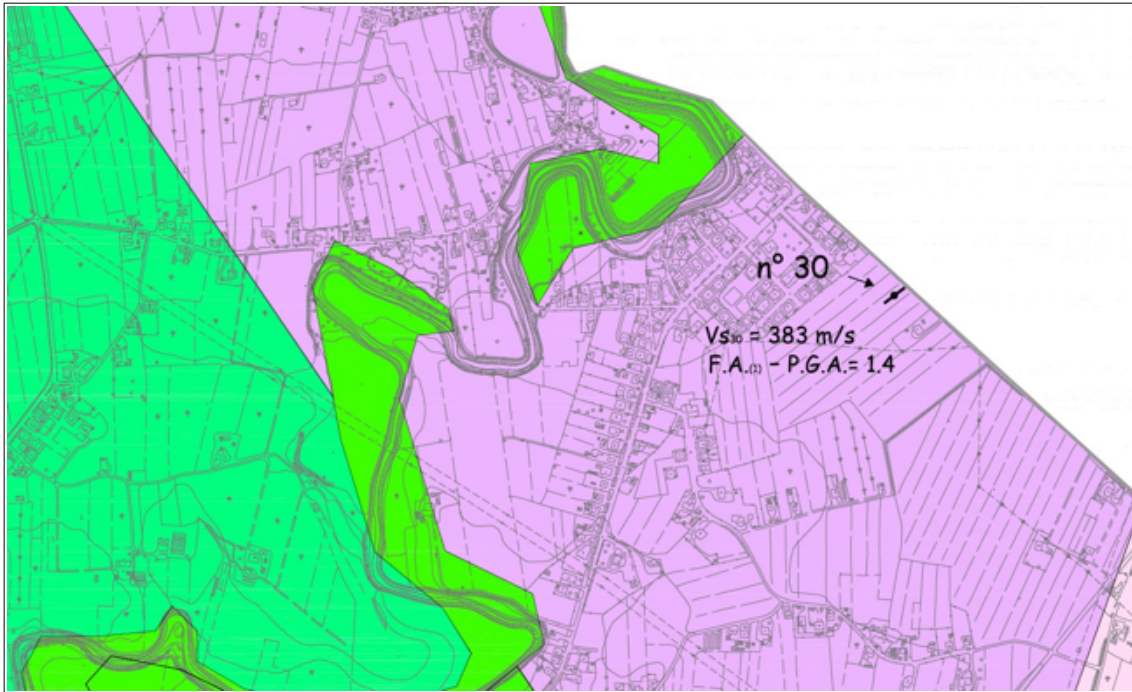


Figura 13: Studio di microzonazione sismica – Fattori di amplificazione PGA

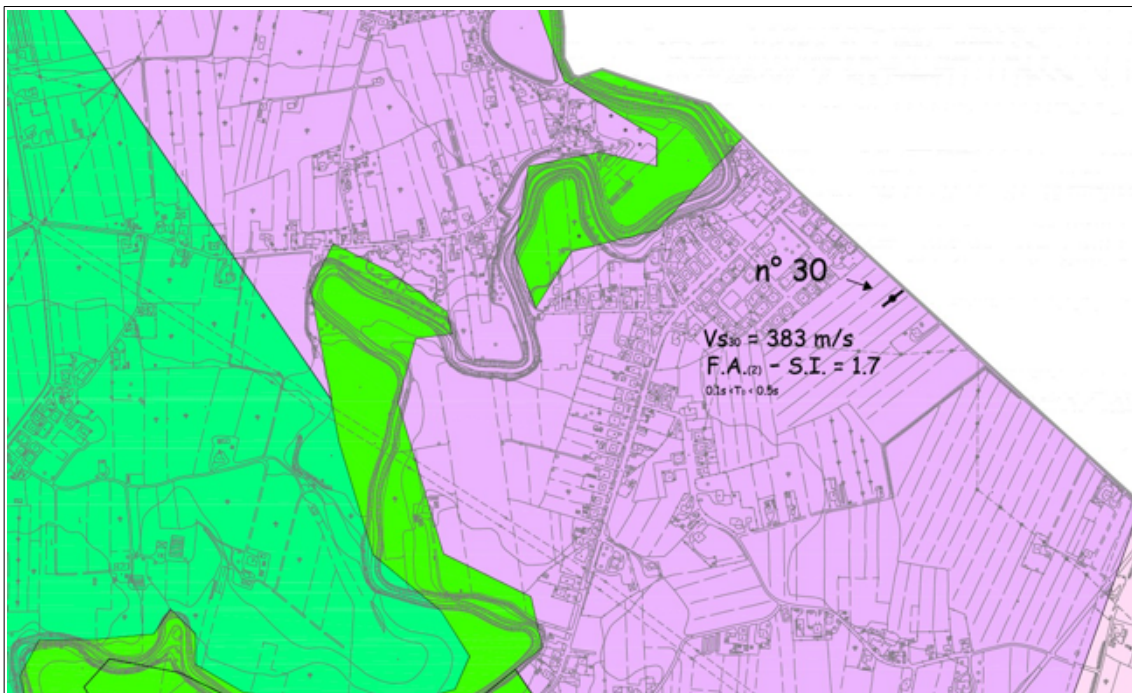


Figura 14: Studio di microzonazione sismica – Fattori di amplificazione SI 0,1 s < T_0 < 0,5 s

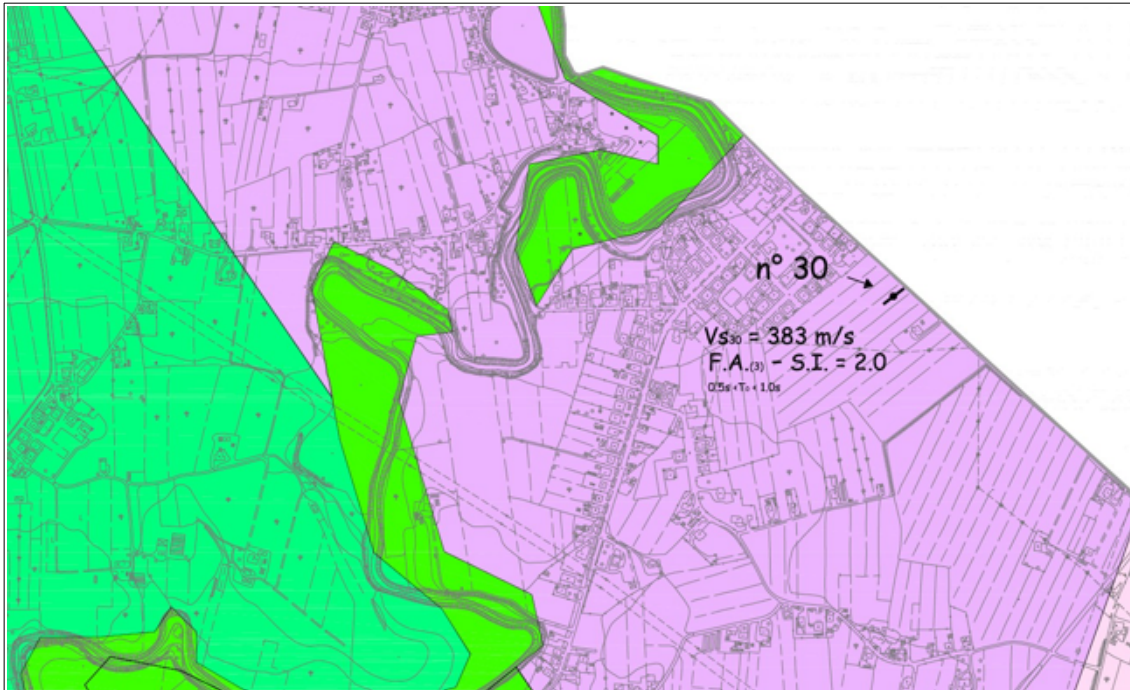


Figura 15: Studio di microzonazione sismica – Fattori di amplificazione SI 0,5 s < T0 < 1,0 s

Riepilogando, sulla base degli studi di microzonazione sismica a corredo del PSC l'ambito in esame non presenta particolari rischi cosismici (liquefazione ciclica o cedimenti post sismici di terreni coesivi soffici). L'area è tuttavia potenzialmente soggetta ad amplificazione del segnale sismico per caratteristiche litologiche ed è stata pertanto assoggettata agli approfondimenti di II livello con l'approccio semplificato utilizzando le tabelle della (allora vigente) DAL 112/2007 che avevano condotto alla definizione dei fattori di amplificazione riassunti nella tabella sottostante:

FA PGA	1,4
FA S.I. (0,1 s < T < 0,5 s)	1,7
FA S.I. (0,5 s < T < 1,0 s)	2,0

Tali valori, derivanti dall'applicazione di metodi contenuti all'interno di un atto non più in vigore, sono da considerare solamente quali termini di confronto con

quelli che deriveranno dalle analisi di microzonazione sismica di II livello effettuate per l'ambito in esame ai sensi della vigente DGR 630/2019 e sviluppate nel paragrafo seguente.

12 AGGIORNAMENTO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER L'AMBITO " AN.C.11" AI SENSI DELLA DGR 630 DEL 29 APRILE 2019

Nei paragrafi precedenti si sono analizzate le condizioni geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area del comparto "*AN.C.11 – San Vito via Vecchia Emilia*" e si sono brevemente descritte le risultanze, per l'area medesima, degli studi di microzonazione sismica disponibili.

I dati raccolti hanno consentito di inquadrare correttamente l'ambito da un punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico ed in particolare permettono di definire quanto segue:

1. l'ambito in esame si trova in un tratto di pianura, prossimo al margine pedecollinare, caratterizzato dalla presenza di un potente orizzonte di depositi alluvionali,
2. tali depositi sono, in superficie, di natura prevalentemente limoso-argillosa, generalmente consistenti. A pochi metri dal p.c., in corrispondenza dell'ambito in esame, si incontra il tetto di un orizzonte ghiaioso il cui spessore è stato investigato direttamente nel corso delle indagini eseguite per poche decine di centimetri ma che sulla base dei dati disponibili dovrebbe essere di molti metri,
3. la falda freatica non è risultata essere presente almeno fino alle profondità investigate dalle indagini,
4. a monte dell'area in esame il margine collinare, caratterizzato dalla presenza di depositi marini plio-pleistocenici, "sprofonda" sotto la pianura e il tetto dei depositi marini si attesta, all'altezza dell'abitato di San Vito (e quindi all'altezza dell'ambito in esame), a circa 110-120 m dal p.c.
5. l'area di intervento è sub pianeggiante e priva di qualsivoglia problematica di stabilità.

L'assenza di falda, ma soprattutto le caratteristiche litologiche e meccaniche dei terreni presenti nel primo sottosuolo dell'ambito (il sottosuolo è caratterizzato dalla presenza di terreni coesivi, da compatti ad estremamente compatti, con intercalati orizzonti ghiaiosi), consentono di escludere la possibilità che possano avvenire fenomeni di liquefazione ciclica in condizioni sismiche e l'area, geomorfologicamente stabile, potrà essere soggetta ad amplificazioni stratigrafiche.

Con tali premesse si ritiene possibile procedere ad una valutazione della pericolosità sismica del sito per mezzo dell'approccio semplificato per l'approfondimento di II livello contenuto all'interno della DGR dell'Emilia-ROMAGNA n° 630 del 29 aprile 2019.

In tale modo la definizione dei fattori di amplificazione (F.A.) dell'azione sismica può essere effettuata servendosi degli abachi contenuti nell'ALLEGATO A2 alla suddetta DGR: *“Tabelle e formule per la stima dei fattori di amplificazione sismica per la microzonazione sismica (II livello di approfondimento)”*.

I fattori di amplificazione riportati negli abachi rappresentano il rapporto fra i vari parametri dello scuotimento sismico valutato per una determinata/specifica situazione geo-litologica ed il corrispondente scuotimento atteso su suolo rigido orizzontale (suolo A) così come definito nell'ambito della tabella 3.2.II delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018:

Suolo di categoria A come definito sulla Tabella 3.2.II NTC2018

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

I fattori di amplificazione dei parametri dello scuotimento che vengono considerati negli abachi sono stati valutati per tempi di ritorno $TR = 475$ anni con smorzamento del 5% e sono:

- il fattore di amplificazione in termini di accelerazione di picco orizzontale (PGA/PGA0)
- il fattore di amplificazione in termini di intensità spettrale in accelerazione SA/SA0 per differenti intervalli di periodo proprio

	T1	T2
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s
SA4*	0,5 s	1,5 s

- il fattore di amplificazione in termini di intensità spettrale in velocità (o intensità di *Housner*) SI/SI0 per differenti intervalli di periodo proprio

	T1	T2
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

Gli abachi riportati nell'ALLEGATO A2 sono differenziati in funzione dei differenti “*ambienti geomorfologici e litostratigrafici*” individuabili all'interno del territorio della Regione Emilia-Romagna pertanto bisogna, innanzi tutto, comprendere in quali condizioni (cioè all'interno di quale degli “ambienti”) sia da inquadrare il sito in esame.

In prima approssimazione, all'interno della pubblicazione “*Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna*” (A.Tento, L.Martelli, A.Marcellini - CNR - Istituto per la dinamica dei processi ambientali, 2015) è contenuta una mappa (figura 16) della localizzazione indicativa degli ambienti (geomorfologici e litostratigrafici) in Emilia-Romagna, che, sebbene sia stata realizzata per valutazioni inerenti la DGR 2193/2015 (normativa regionale in materia di microzonazione sismica vigente fino all'emanazione della DGR 630/2019), è in genere ben sovrapponibile con le considerazioni sugli ambienti geomorfologici e litostratigrafici considerati anche all'interno dell'allegato A2 della vigente DGR. Su tale mappa l'ambito in esame si verrebbe a trovare in condizioni di margine.

Sulla base di quanto esposto nei paragrafi precedenti sulle condizioni geologiche e geomorfologiche dell'ambito l'area del comparto in esame può essere classificata, guardando alle descrizioni contenute nell'Allegato A2, come in condizioni di MARGINE definito come *“settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m.”*

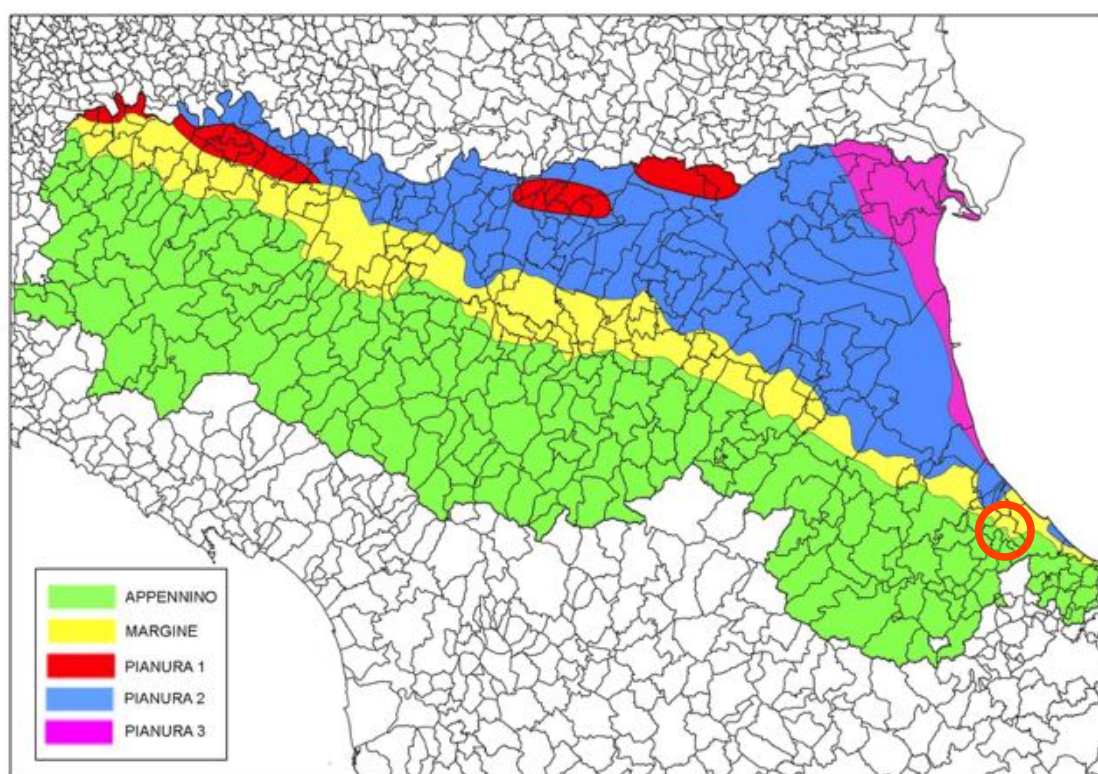


Figura 16: Localizzazione indicativa delle ambienti geomorfologici e litostratigrafici in Emilia-Romagna. La parte nord occidentale del Comune di Santarcangelo è in condizioni di Margine.

Nell'allegato si specifica inoltre che il margine può essere:

- *“di tipo A: caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore a 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di V_s media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti);*
- *di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini.”*

Ora, con riferimento alla sezione di figura 1, il sottosuolo dell'area appare caratterizzato dall'alternanza di orizzonti alluvionali fini e grossolani fino al raggiungimento del substrato marino a 110-120 m di profondità e questo consente di inquadrare l'ambito in esame in un ambiente di MARGINE di tipo B. L'abaco di riferimento per la valutazione dei fattori di amplificazione è quindi il seguente.

Fattore di amplificazione PGA

Vs30 (m/s)	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattori di amplificazione SA1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s), SA2 (0,4 s ≤ T ≤ 0,8 s), SA3 (0,7 s ≤ T ≤ 1,1 s), SA4 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s),

Vs30 (m/s)	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di amplificazione SI1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s), SI2 (0,5 s ≤ T ≤ 1,0 s), SI3 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s)

Vs30 (m/s)	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

Per il corretto utilizzo degli abachi, facendo riferimento alle indagini geologiche e geofisiche sito specifiche, bisogna poi risalire allo spessore H del deposito di

copertura e alla velocità equivalente delle onde di taglio (V_sH) per lo spessore considerato.

Quest'ultimo valore si calcola, a partire da un profilo di velocità delle onde di taglio, con la formula:

$$V_sH = H / \sum_{i=1, N} (h_i / V_{si}) \quad (1)$$

dove:

- N = numero degli strati
- H = spessore copertura
- h_i = spessore strato i -esimo
- V_{si} = velocità onde di taglio nello strato i -esimo.

Nella norma regionale, analogamente a quanto accade nelle NTC 2018, se H è superiore a 30 metri (come nel nostro caso) la velocità equivalente vien calcolata per uno spessore di 30 metri (V_{s30}).

12.1 VALUTAZIONE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE ALL'INTERNO DELL'AMBITO IN ESAME

Per quanto riguarda l'ambito in esame lo spessore delle coperture è sicuramente superiore ai 30 metri (infatti H non rientra fra i parametri di ingresso dell'abaco per MARGINE di Tipo B sopra riportato) e la V_s di riferimento sarà la V_{s30} .

Utilizzando l'abaco, per ogni prova disponibile, si sono valutati i fattori di amplificazione in termini di PGA/PGA_0 , SA/SA_0 e SI/SI_0 (questi ultimi due per i differenti periodi di riferimento richiesti dalla normativa).

HVSr	VS30 (m/s)	FA PGA	FA SA				FA SI		
			(0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s)	(0,4 s ≤ T ≤ 0,8 s)	(0,7 s ≤ T ≤ 1,1 s)	(0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s)	(0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s)	(0,5 s ≤ T ≤ 1,0 s)	(0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s)
TR 1	256	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,5	2,7
TR 2	270	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,5	2,7
TR 3	270	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,5	2,7
TR 4	270	1,6	1,8	2,6	2,9	2,9	1,9	2,5	2,7

L'intero ambito risulta quindi omogeneo dal punto di vista sismico e

caratterizzato dai seguenti Fattori di Amplificazione:

- FA PGA = 1,6
- FA SA1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s) = 1,8
- FA SA2 (0,4 s ≤ T ≤ 0,8 s) = 2,6
- FA SA3 (0,7 s ≤ T ≤ 1,1 s) = 2,9
- FA SA4 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s) = 2,9
- FA SI1 (0,1 s ≤ T ≤ 0,5 s) = 1,9
- FA SI2 (0,5 s ≤ T ≤ 1,0 s) = 2,5
- FA SI3 (0,5 s ≤ T ≤ 1,5 s) = 2,7

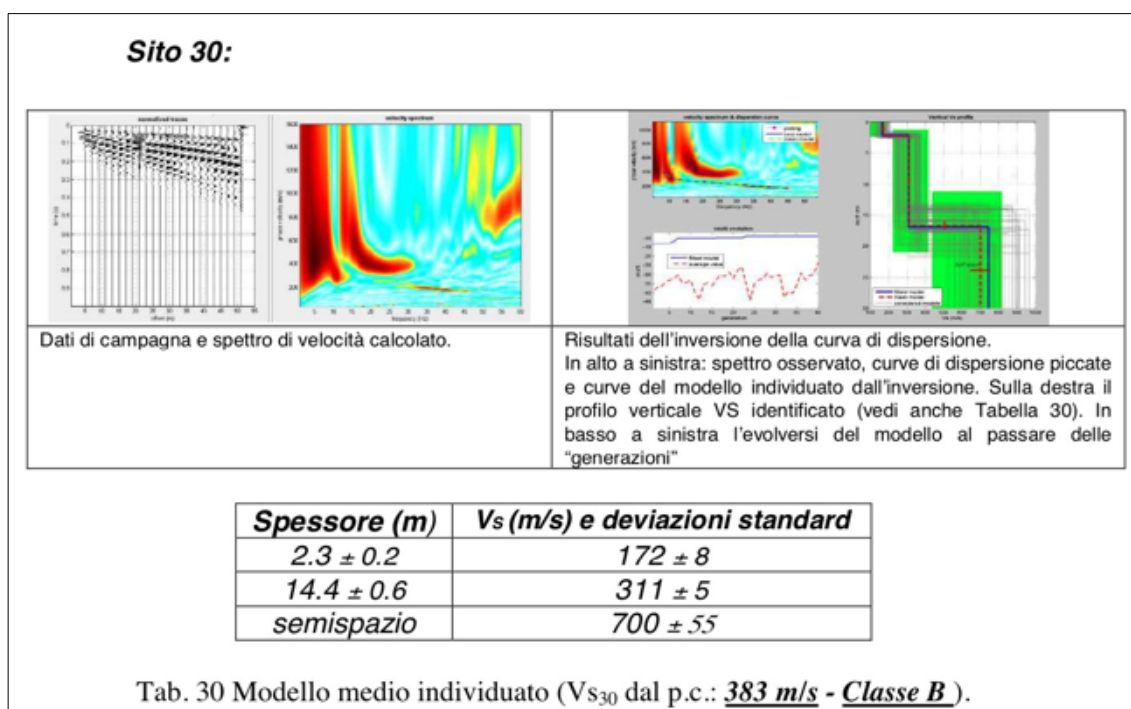


Figura 17: Esiti dell'indagine HVSR che era stata considerata nell'ambito degli studi di microzonazione sismica del Comune di Santarcangelo

Questi valori, se raffrontati con i valori desumibili dagli studi di microzonazione preesistenti, risultano (qualora raffrontabili) più elevati, in parte per le modifiche normative (cambiamento degli abachi di riferimento) ed in parte per i differenti valori di Vs30 che erano stati considerato in seguito alle indagini per la

microzonazione sismica di Santarcangelo di Romagna e che erano risultati pari a 383 m/s a causa, a parere dello scrivente, di una sovrastima della Vs nel semispazio al di sotto dei 18 metri circa dal p.c. (vedi figura 17) che, nell'occasione, era stato valutato in 700 m/s.

13 CONSIDERAZIONI SULLA CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI AI SENSI DELLE NTC 2018

Pur esulando dai contenuti strettamente contingenti al presente studio si ritiene utile e necessario fornire alcune indicazioni sulla caratterizzazione sismica del sito ai sensi delle vigenti norme tecniche per le costruzioni.

Con le NTC 2018 per la definizione delle azioni sismiche di progetto ci si dovrebbe in generale riferire a specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) definendo dapprima l'azione sismica di base e modificando poi il segnale in ragione delle condizioni geologiche e geomorfologiche del sito per determinare l'azione sismica di progetto che quindi considera:

- l'amplificazione legata alle condizioni stratigrafiche del sito,
- l'amplificazione legata alle condizioni topografiche del sito.

Questo viene fatto con appositi *software* di modellazione sismica (in genere 1D o 2D) che consentono di elaborare il segnale sismico individuando le modifiche che esso subisce, in termini di ampiezza e contenuto in frequenza, trasferendosi dal *bedrock* alla superficie.

Qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni presenti in un dato sito siano chiaramente riconducibili a specifiche categorie (definite nella Tab. 3.2.II delle NTC 2018 sotto riportata) si può tuttavia fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità (velocità equivalente) di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{s,i}) \quad (1)$$

dove:

- h_i = spessore dello strato i -esimo in metri

- $V_{s,i}$ = velocità dell'onda di taglio i-esima
- N = numero di strati
- H = profondità del substrato “sismico”, cioè quella formazione o terreno, molto rigido, caratterizzato da $V_s > 800$ m/sec.

Se il substrato è più profondo di 30 metri si utilizza per la classificazione sismica del terreno la V_{s30} .

La norma impone inoltre di valutare gli eventuali effetti cosismici che possono avere influenza sul progetto.

I valori di V_{s30} calcolati in corrispondenza delle prove geofisiche eseguite all'interno dell'ambito mostrano una sostanziale omogeneità (dai 256 m/s di TR 1 ai 270 m/s delle altre prove).

Tabella 3.2.II NTC2018 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 3.2.III NTC 2018 – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Visti i valori di Vs30 calcolati in precedenza si ritiene che il terreno di fondazione, per l'intero ambito in esame e per le profondità di interesse ingegneristico, possa essere cautelativamente classificato come di tipo C: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

Dal punto di vista morfologico l'area in esame è sub pianeggiante e pertanto si potrà considerare la categoria topografica T1.

14 CONCLUSIONI

Il presente elaborato riassume gli esiti delle indagini e delle analisi effettuate per verificare le condizioni generali di edificabilità del comparto *“AN.C.11 – San Vito via Vecchia Emilia”*, nel territorio comunale di Santarcangelo di Romagna, in occasione della progettazione della pianificazione attuativa del comparto stesso.

Le indagini geologiche hanno messo in evidenza che:

- l'area, ad oggi, è un fondo agricolo sub pianeggiante e stabile,
- i terreni presenti nel primo sottosuolo dell'ambito sono di origine alluvionale, limoso-argillosi, da compatti a estremamente compatti, in superficie,
- più in profondità (a partire dai circa 3-5 metri dal p.c.) è presente un orizzonte di ghiaie addensate il cui spessore, da dati disponibili,

dovrebbe essere di parecchi metri,

- l'orizzonte superficiale di terreno limoso argilloso è fortemente essiccato ed è caratterizzato dalla presenza di diffuse ed ampie fessurazioni (fenomeni di ritiro-rigonfiamento in funzione delle variazioni di contenuto d'acqua), questo dovrà essere attentamente valutato nel corso della progettazione onde evitare ripercussioni sui futuri manufatti,
- la falda freatica è risultata assente almeno fino alle profondità investigate dalle indagini,
- dal punto di vista sismico non ci sono rischi di potenziale liquefazione dei terreni,
- la buona consistenza dei "terreni fini" (coesivi) incontrati nel corso delle indagini consente di escludere eventuali problemi di cedimenti post sismici degli "orizzonti soffici".

I terreni presenti mostrano caratteristiche meccaniche adeguate all'edificazione con carichi "normali" e cedimenti contenuti nell'ordine di qualche centimetro.

Per quanto riguarda le analisi di microzonazione sismica i valori di V_{s30} ricavati sulla base dell'interpretazione delle indagini geofisiche sono risultati variabili fra i circa 256 m/s e i circa 270 m/s pertanto l'intero ambito "AN.C.11 – San Vito via Vecchia Emilia" è da considerare sostanzialmente omogeneo.

I Fattori di Amplificazione, valutati utilizzando gli abachi dell'allegato A2 della DGR 630/2019, per un "*ambiente geomorfologico e litostratigrafico*" di "*MARGINE di Tipo B*" (per la scelta dell'abaco utilizzato si vedano le considerazioni espresse nel corso delle relazione), validi per l'ambito in esame sono i seguenti:

- $FA_{PGA} = 1,6$
- $FA_{SA1} (0,1 s \leq T \leq 0,5 s) = 1,8$
- $FA_{SA2} (0,4 s \leq T \leq 0,8 s) = 2,6$
- $FA_{SA3} (0,7 s \leq T \leq 1,1 s) = 2,9$
- $FA_{SA4} (0,5 s \leq T \leq 1,5 s) = 2,9$

- FA SI1 ($0,1 \text{ s} \leq T \leq 0,5 \text{ s}$) = 1,9
- FA SI2 ($0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,0 \text{ s}$) = 2,5
- FA SI3 ($0,5 \text{ s} \leq T \leq 1,5 \text{ s}$) = 2,7

Vista l'assenza di evidenti fenomeni cosismici che possono innescare instabilità nei terreni non si ritiene necessario, almeno a livello di pianificazione urbanistica, procedere con il III livello di approfondimento.

Pur con i necessari approfondimenti che dovranno accompagnare le edificazioni nei singoli lotti le analisi svolte indicano che l'area, dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, non presenta condizioni ostative nei confronti degli usi in progetto.

TAVOLA 2: INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO IN SCALA 1:5.000:
ELEMENTI 256101 - CASALE SAN VITO E 256104 - SAN VITO

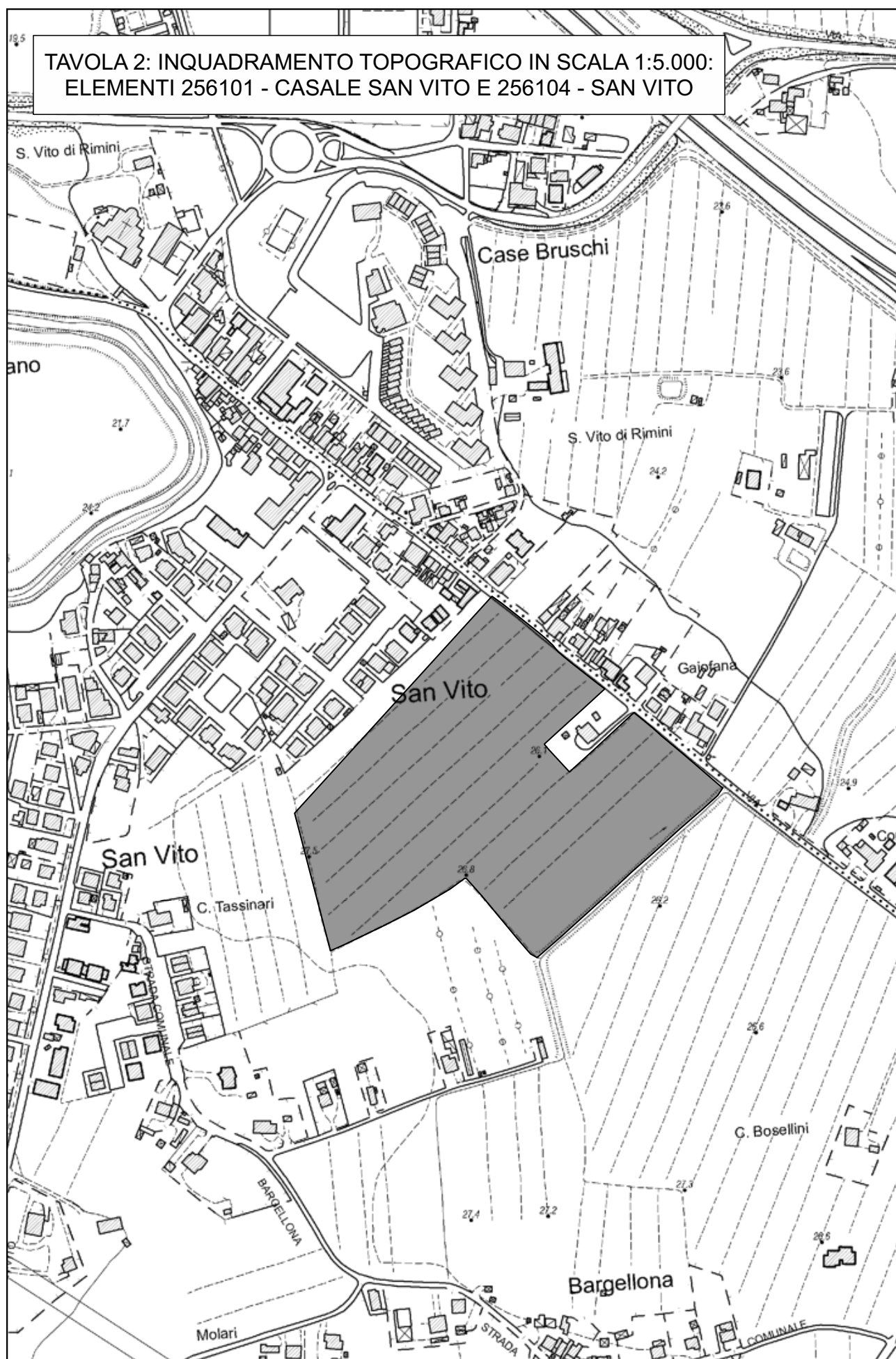


TAVOLA 3: CARTA GEOLOGICA PUBBLICATA DALLA
REGIONE EMILIA-ROMAGNA - SCALA 1:5.000.

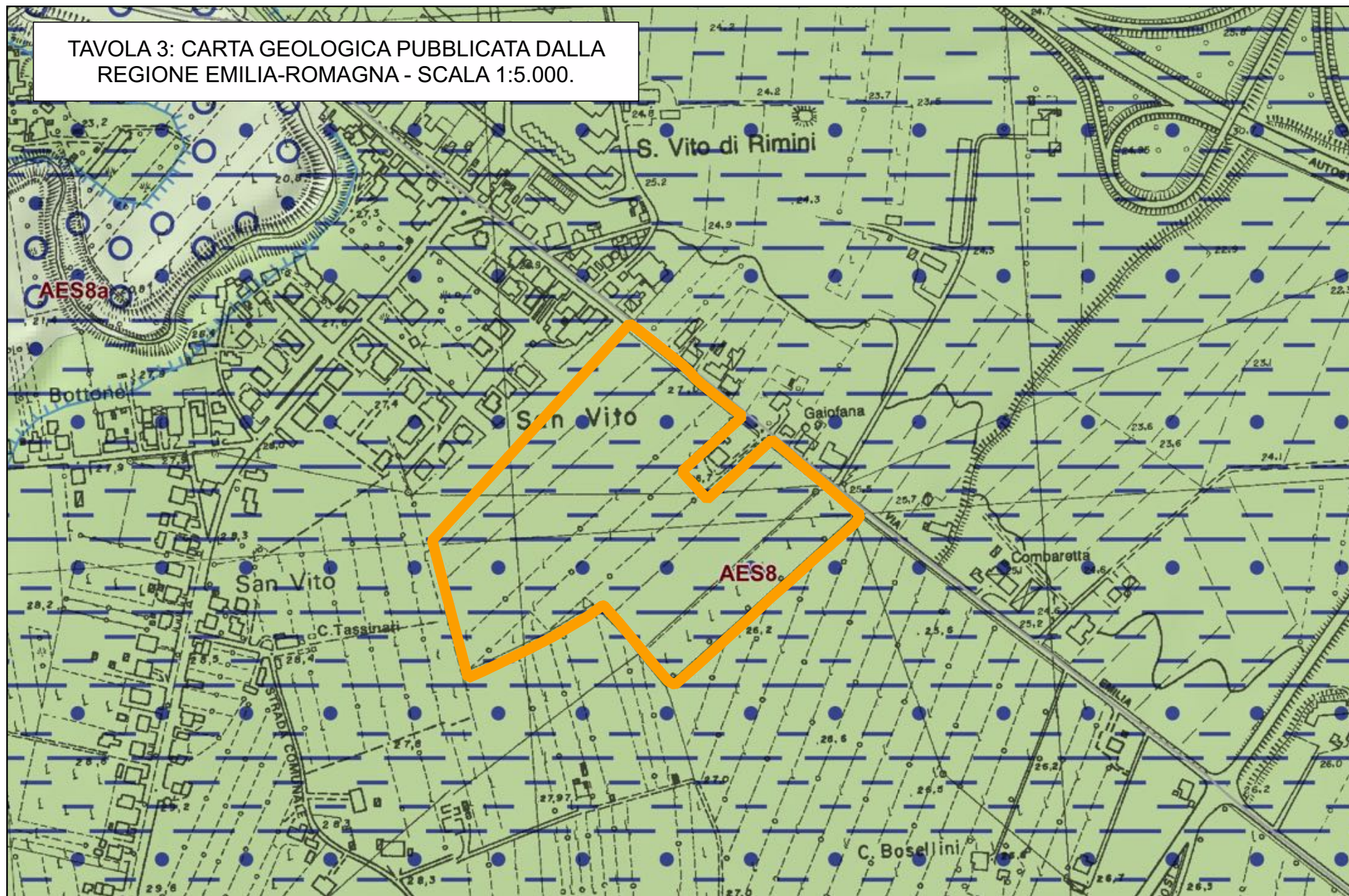
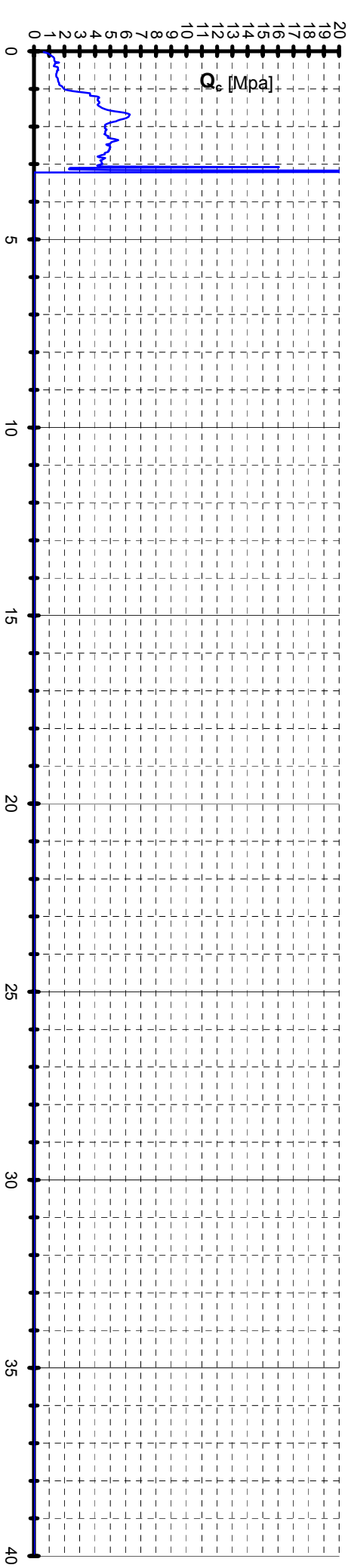
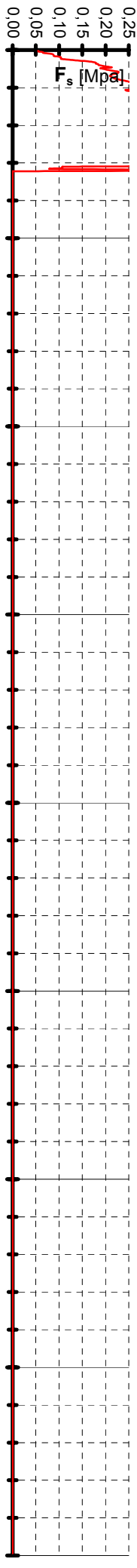
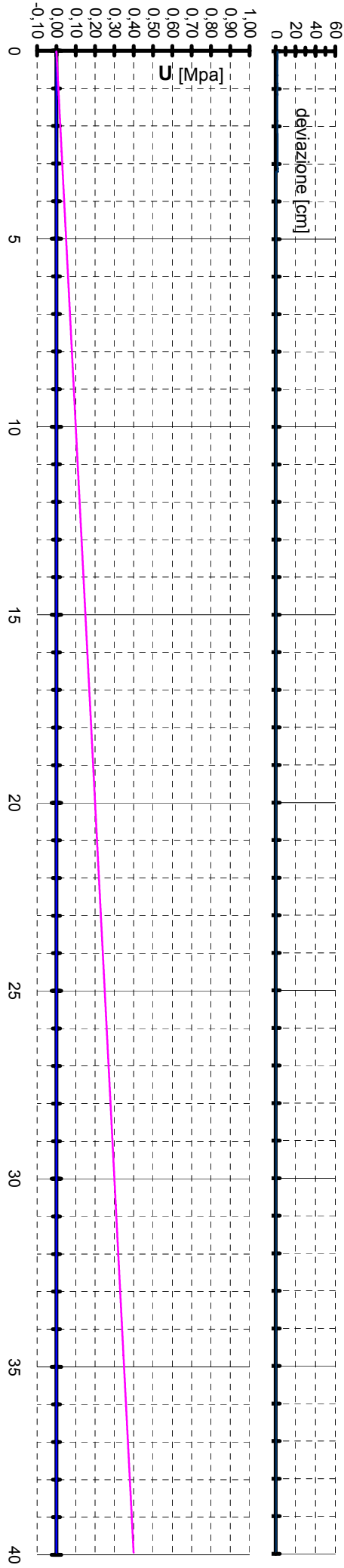
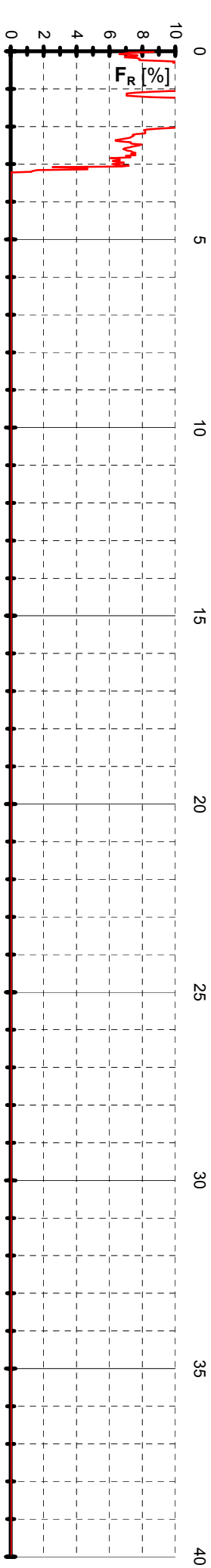
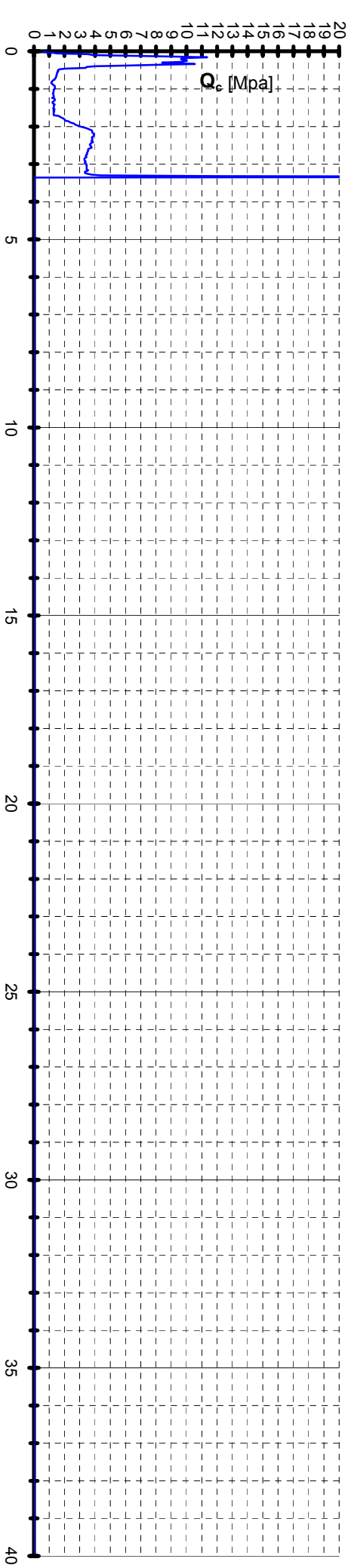
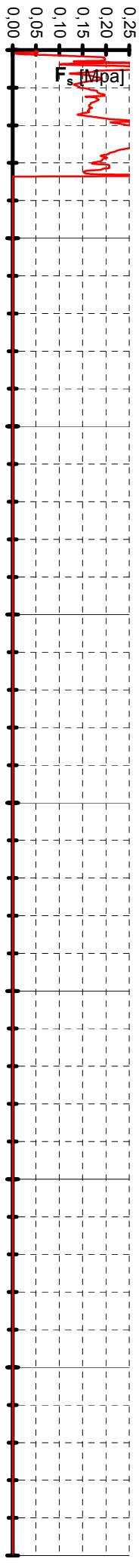
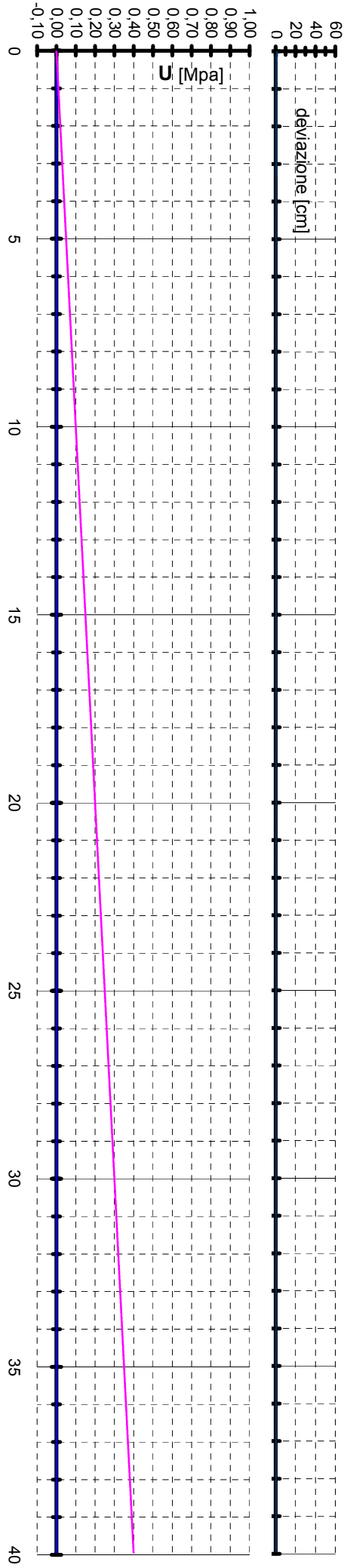
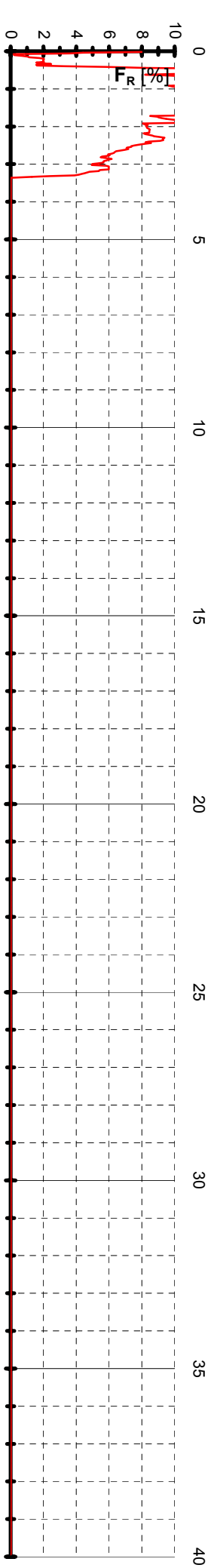


TAVOLA 4: ORTOFOTO EMILIA-ROMAGNA (CGR 2018) CON INDICAZIONE DEI PUNTI DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE E DISPONIBILI - SCALA 1:2000



PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

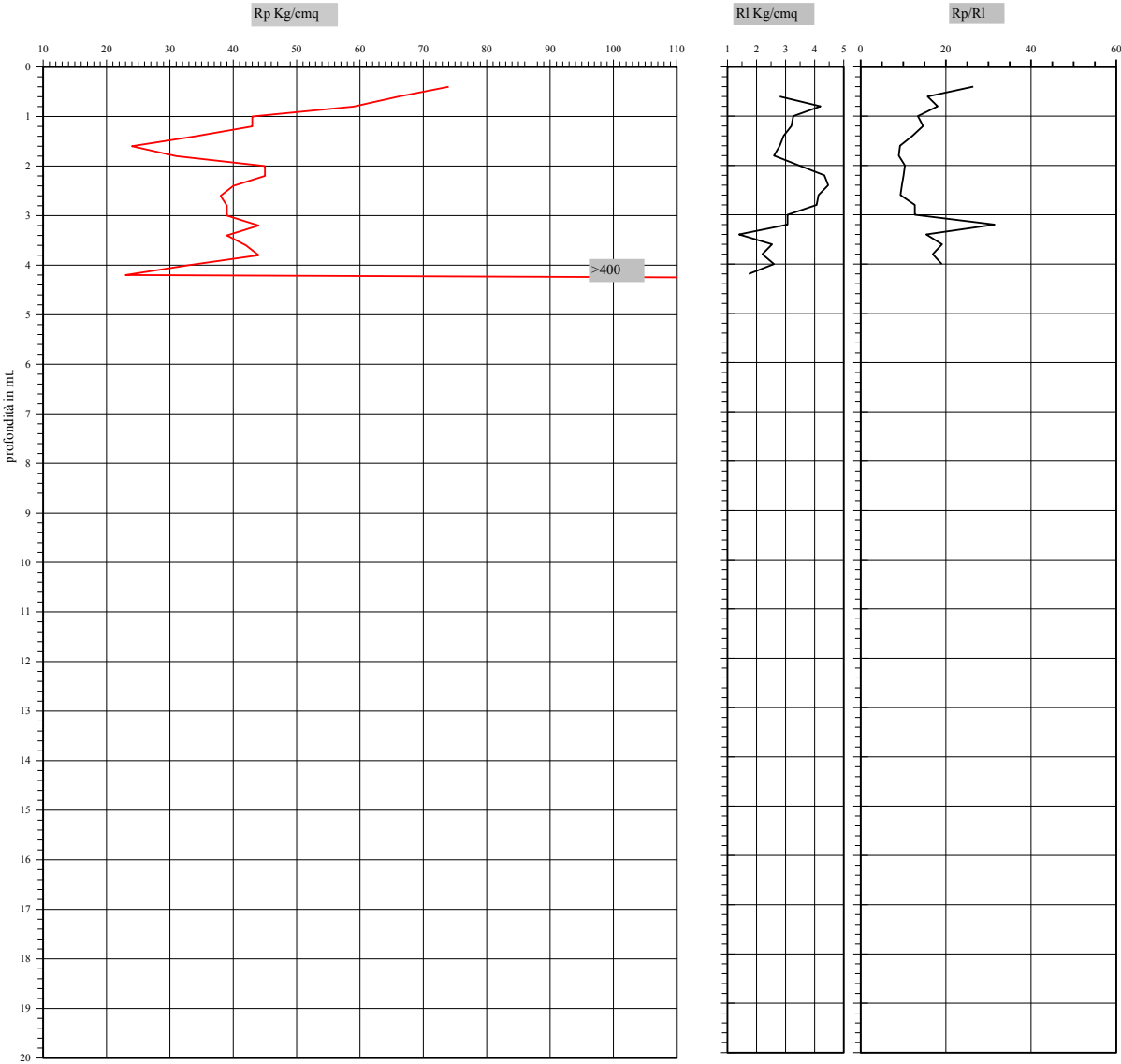




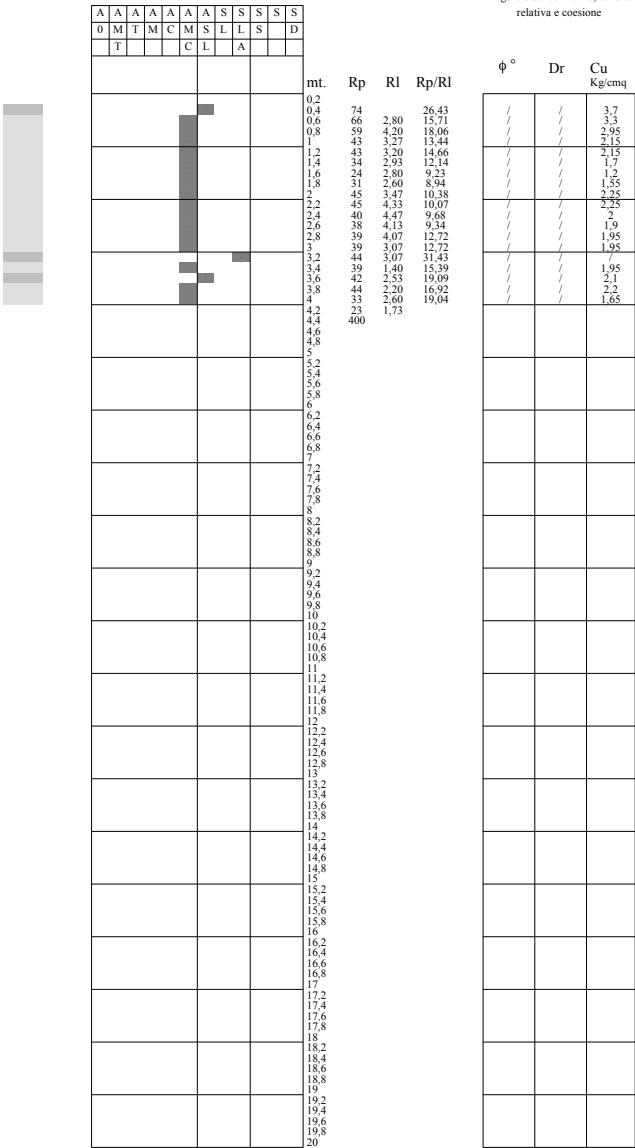
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT1
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



- argilla
- sabbia limoso argilloso
- sabbia
- Legenda:
- AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera; AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa; SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argilloso SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

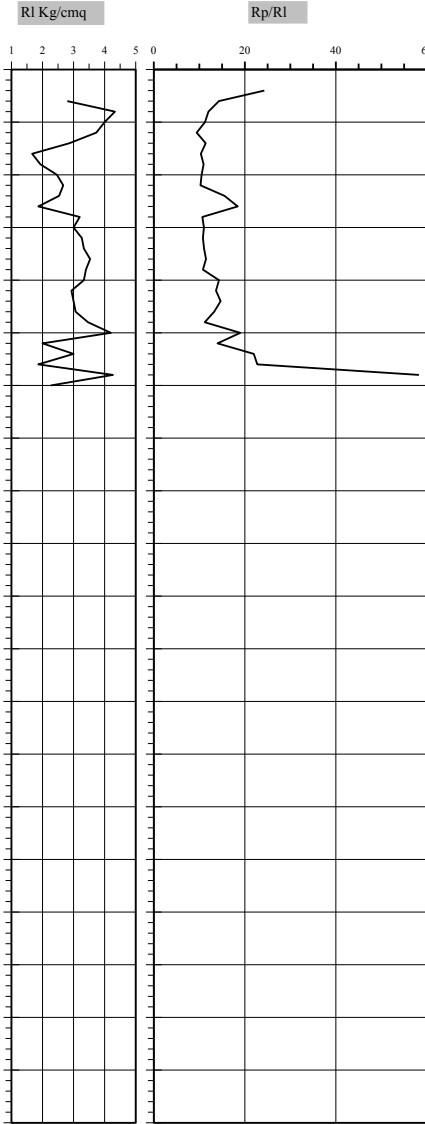
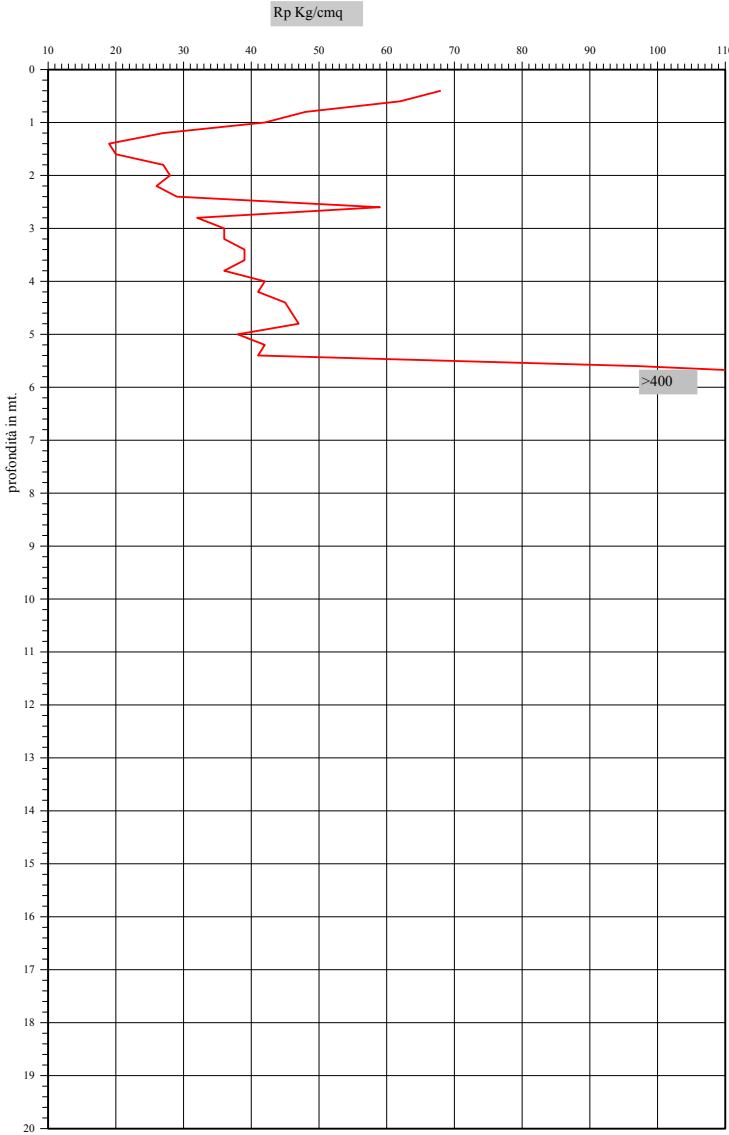
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT2
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

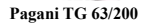
AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

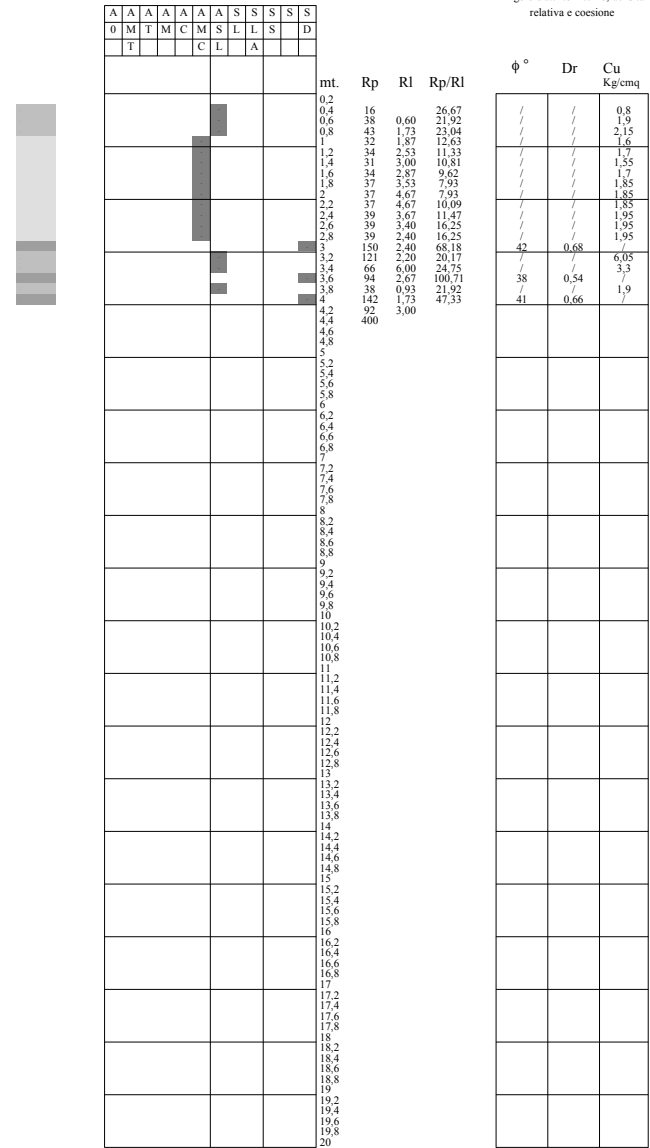
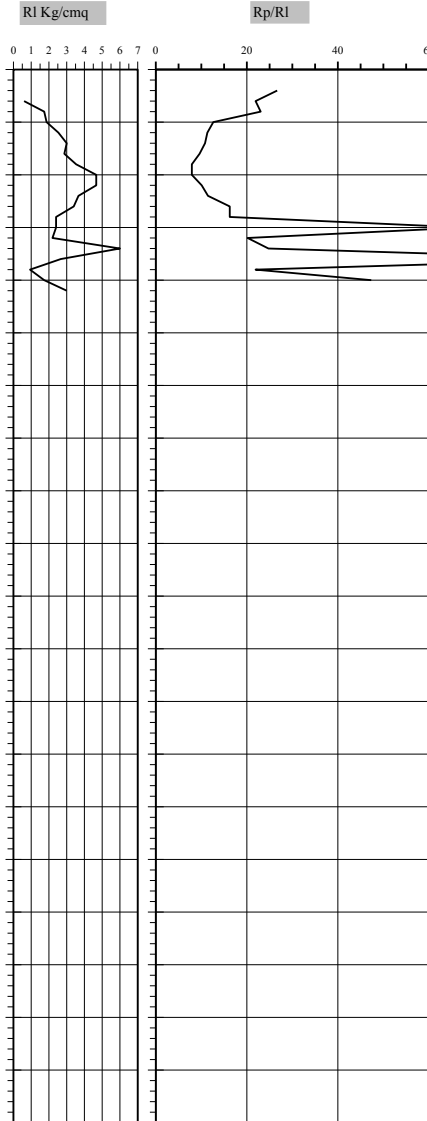
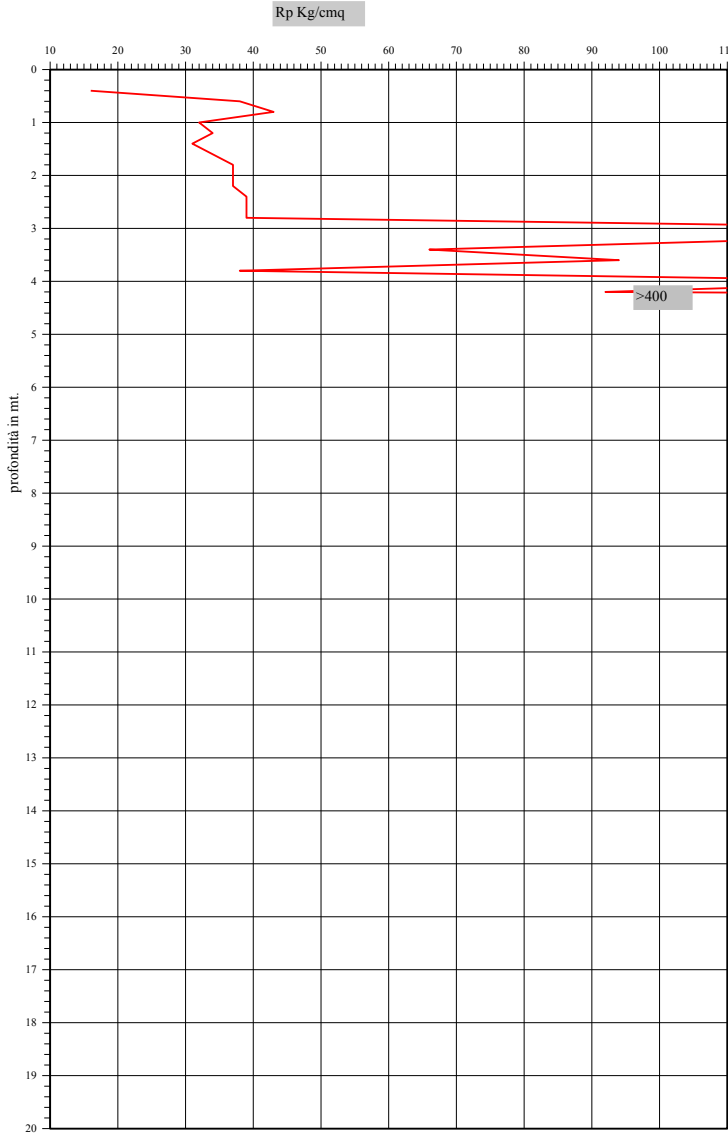
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT3
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

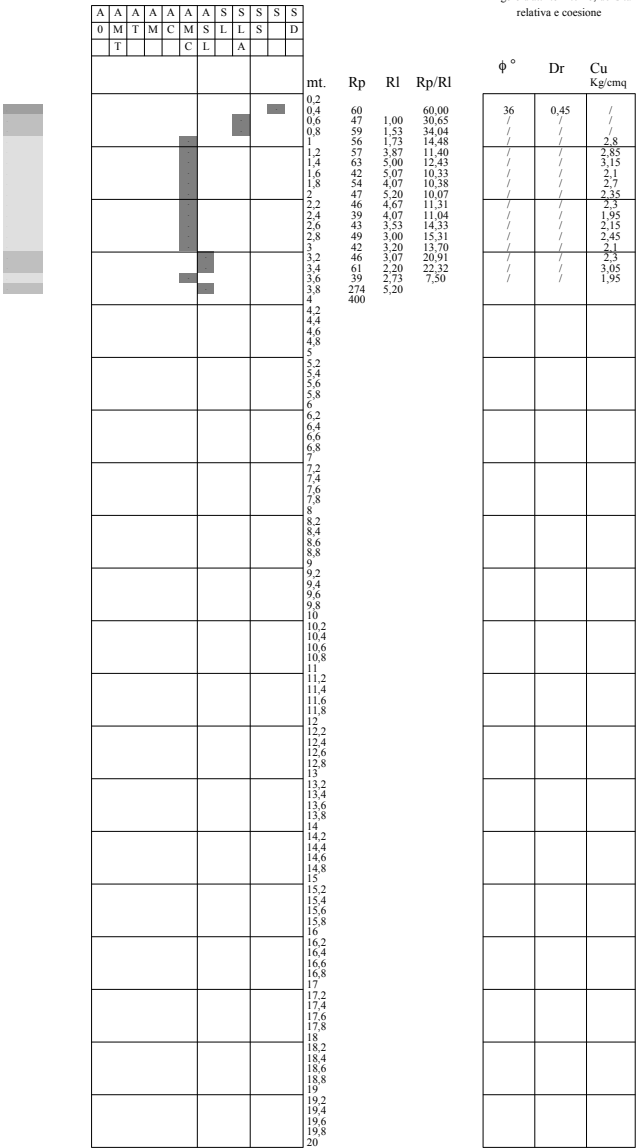
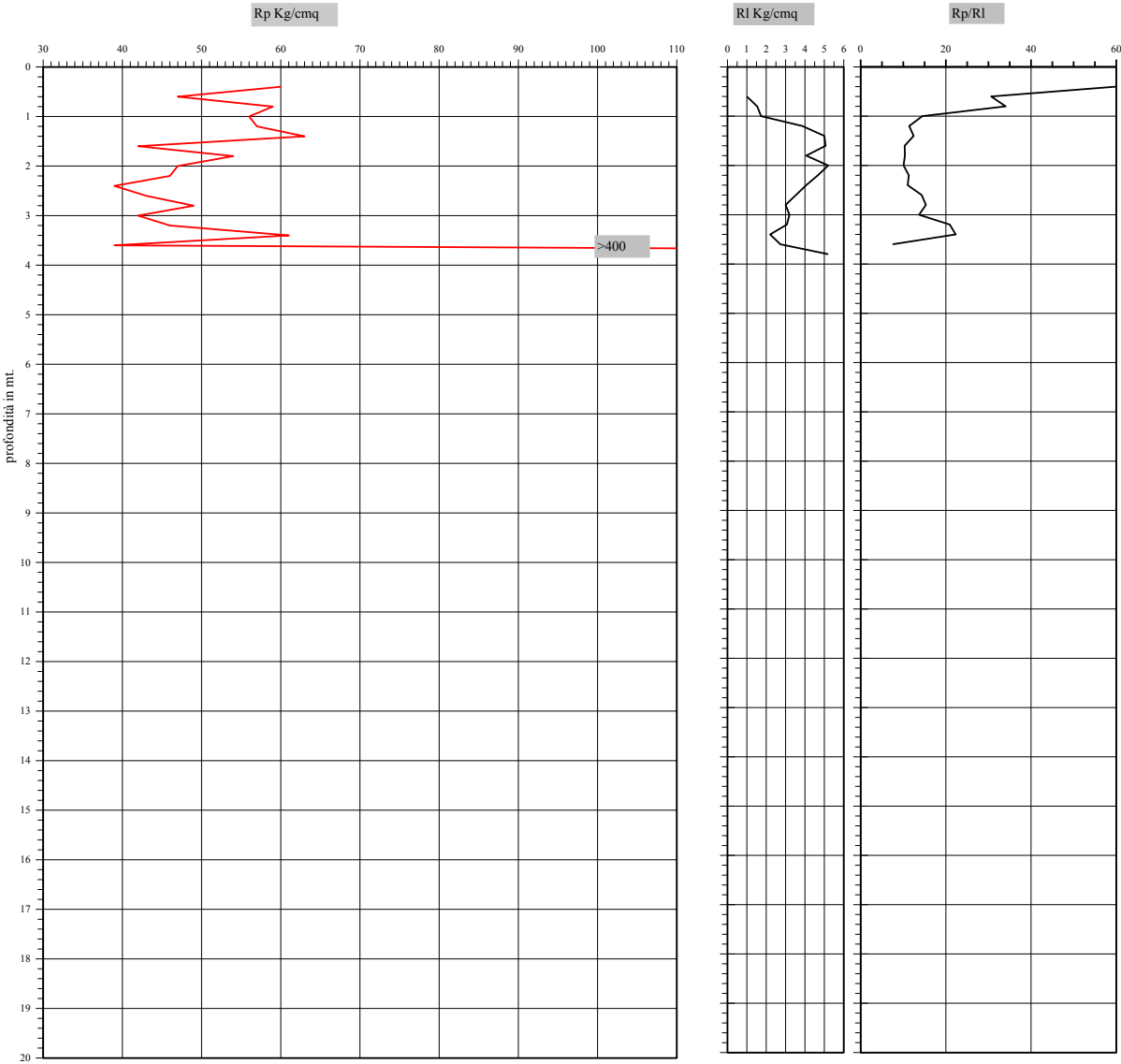
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT4
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

argilla
sabbia limoso argilloso
sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argilloso
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

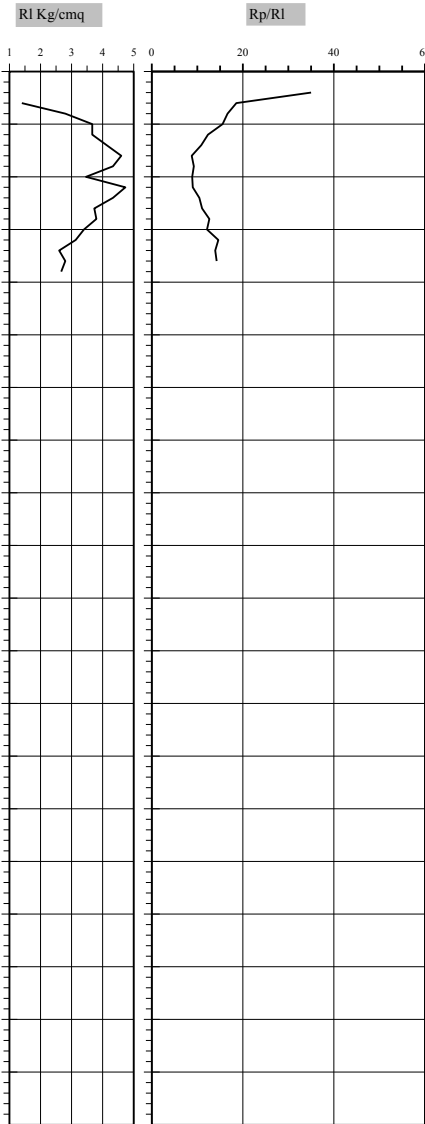
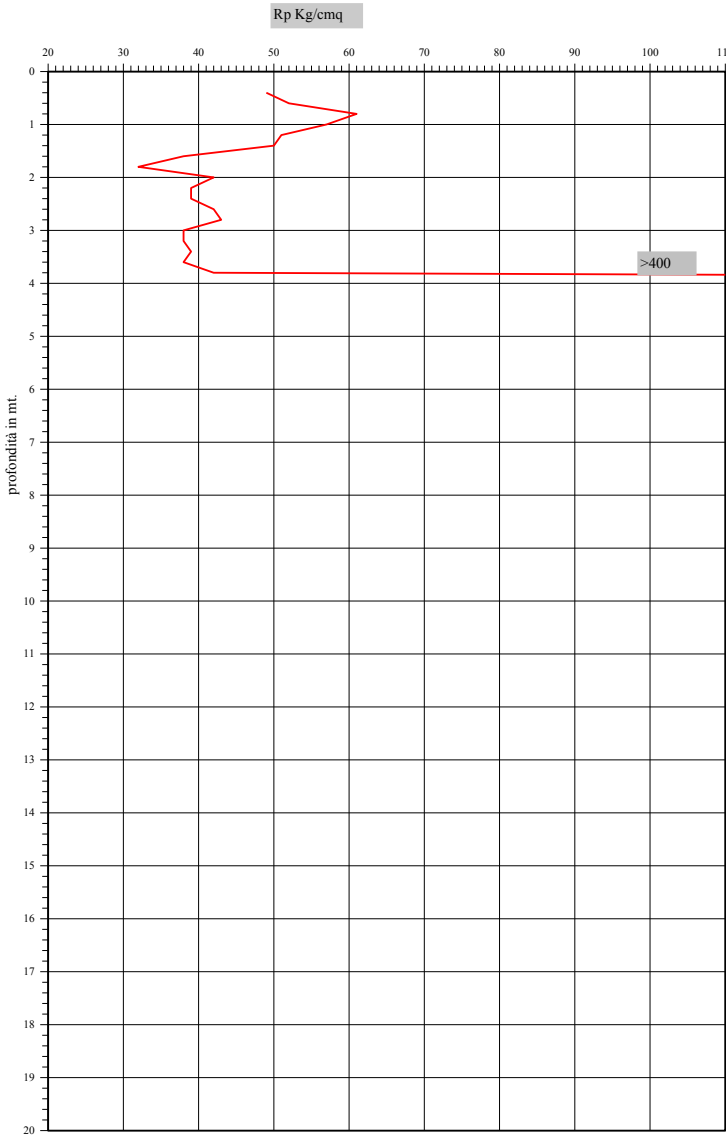
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT5
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

[illegible]

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

ϕ°	Dr	Cu Kg/cmq
--------------	----	--------------

Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT6
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:

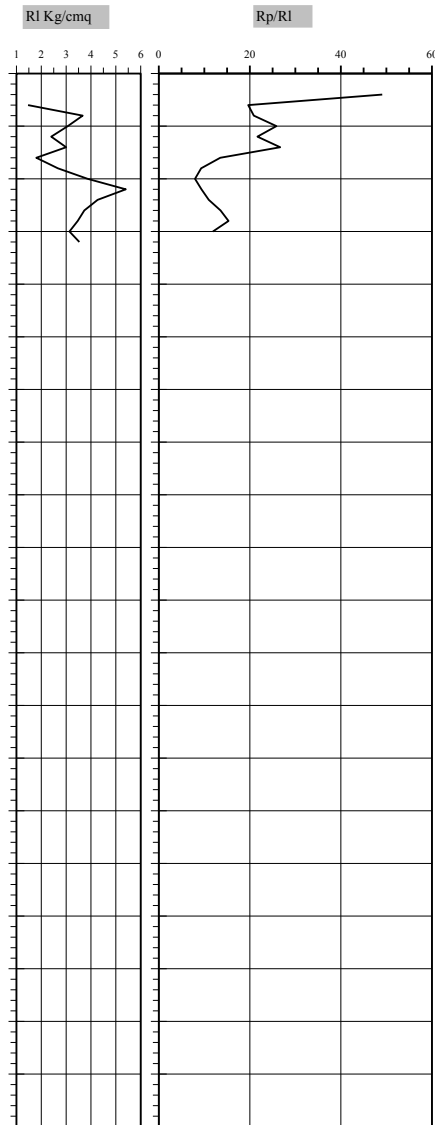
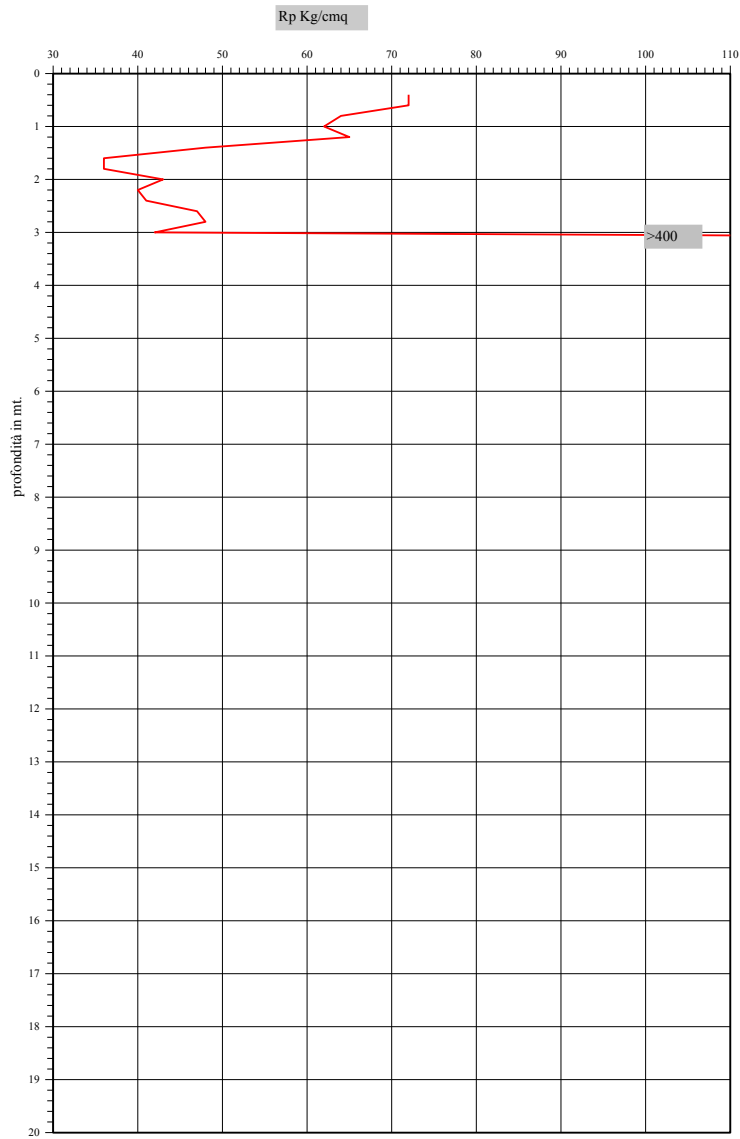
Liv.falda: assente
Note:

Note:



Pagani TG 63/200

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

[illegible]

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

[illegible]

Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;

AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta

AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;

SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa

SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

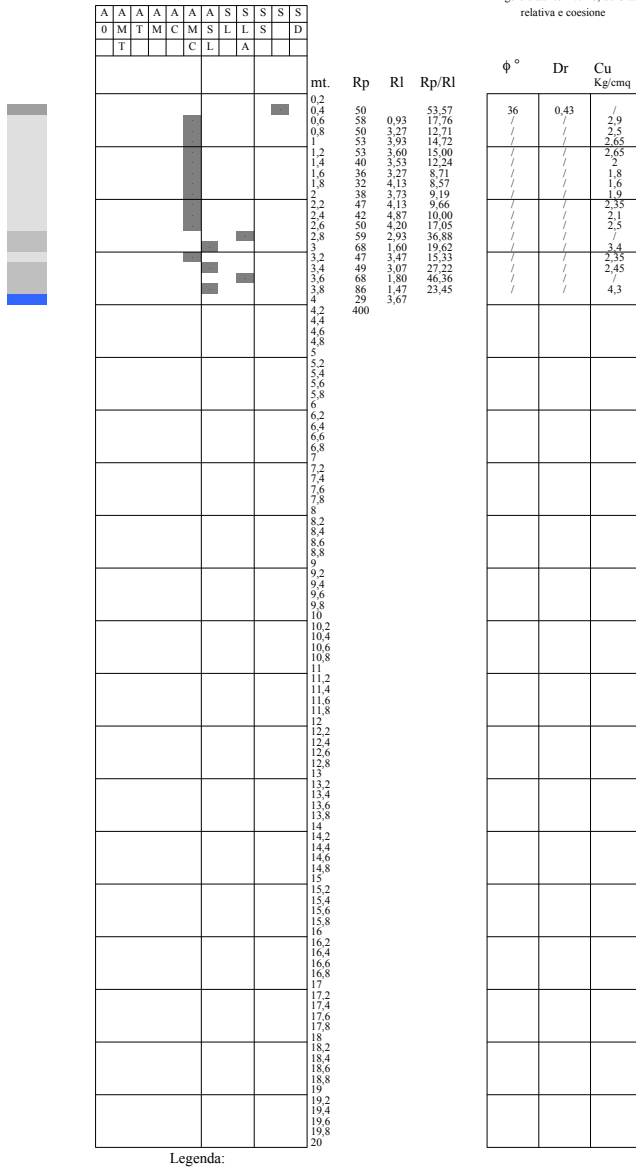
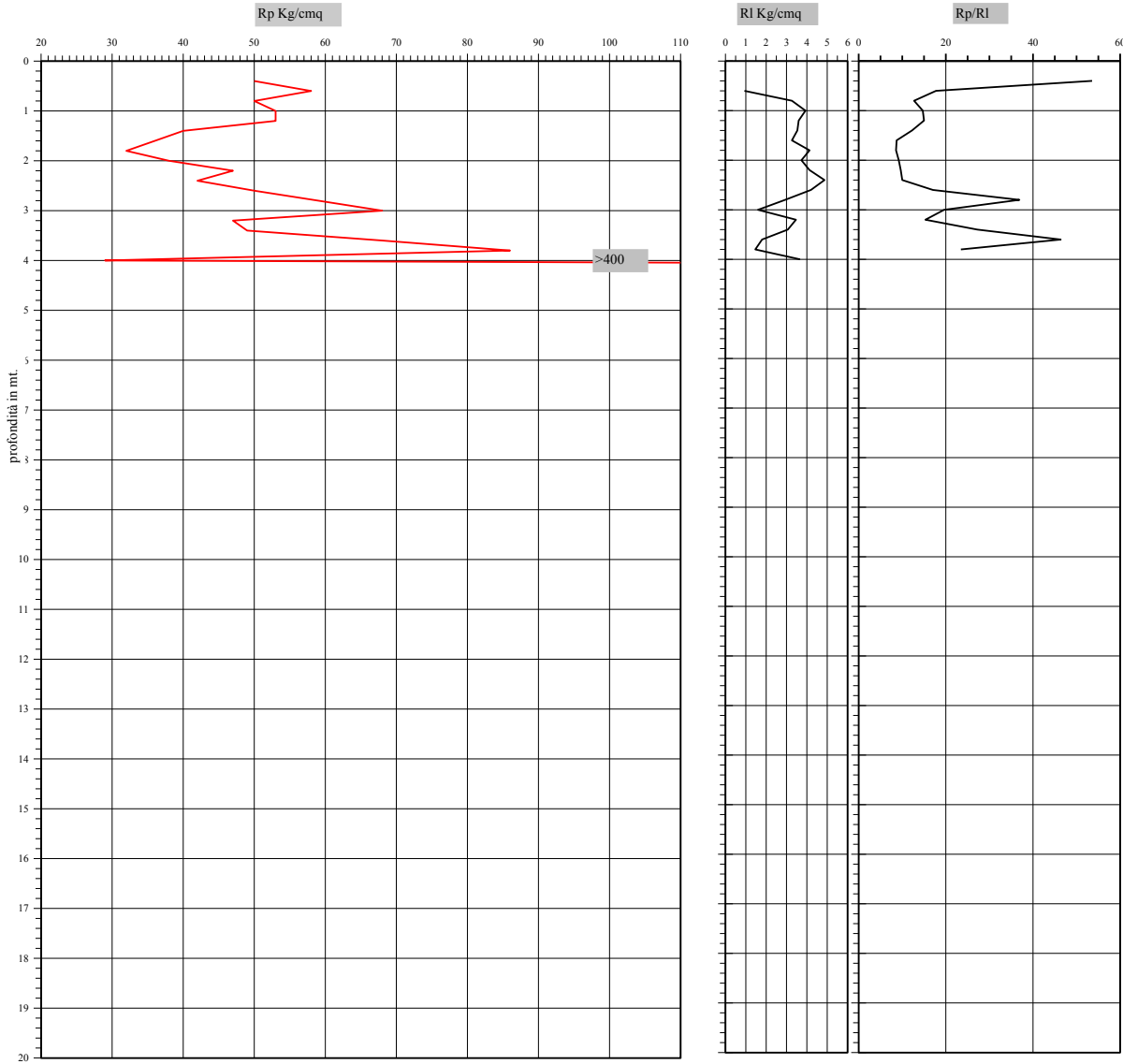
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT7
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

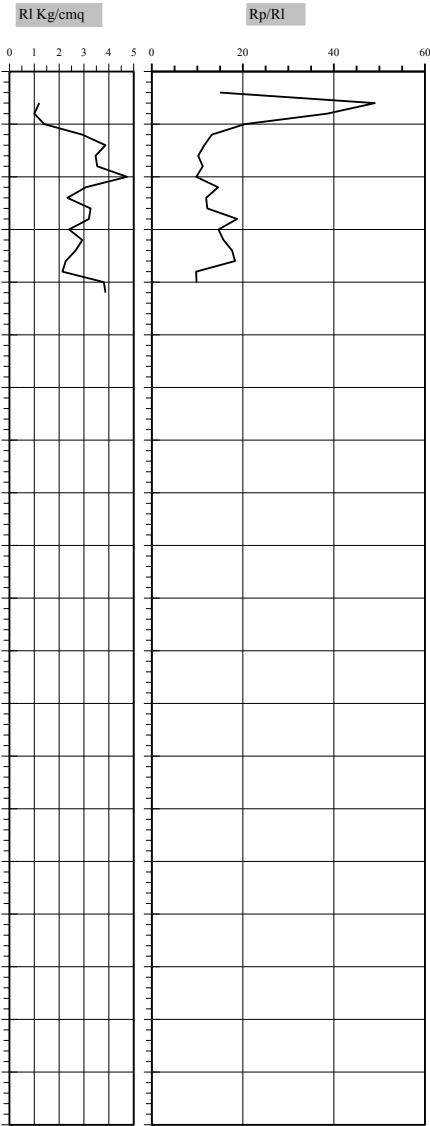
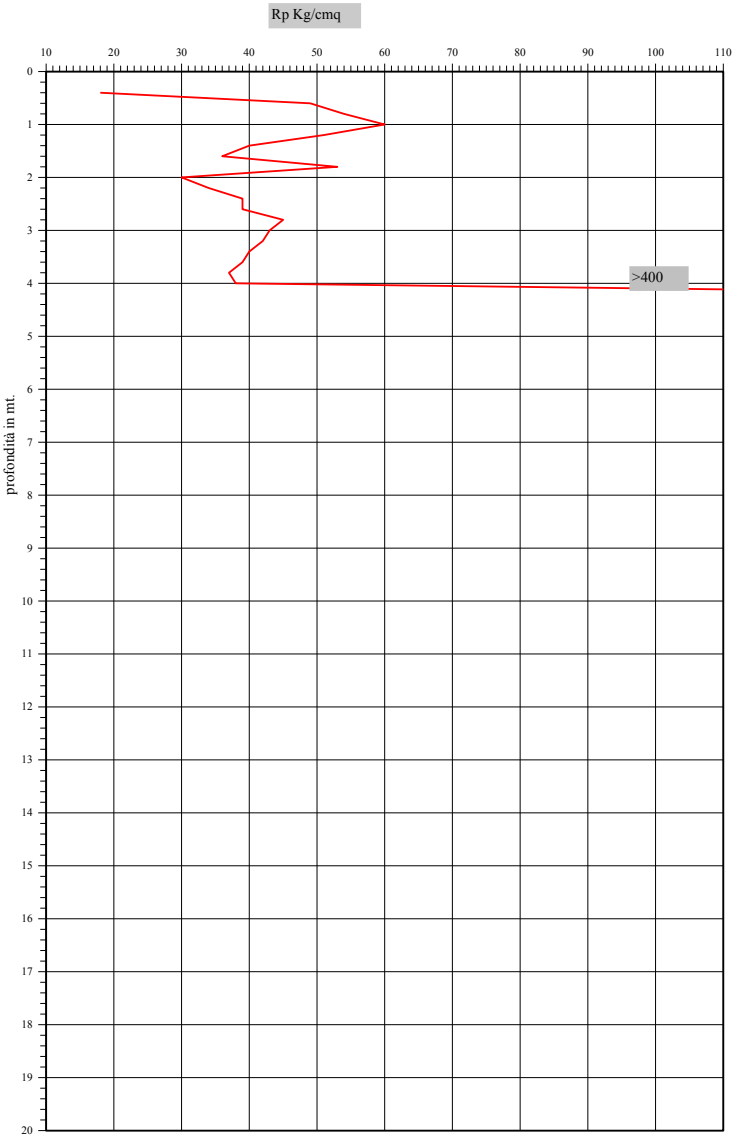
	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

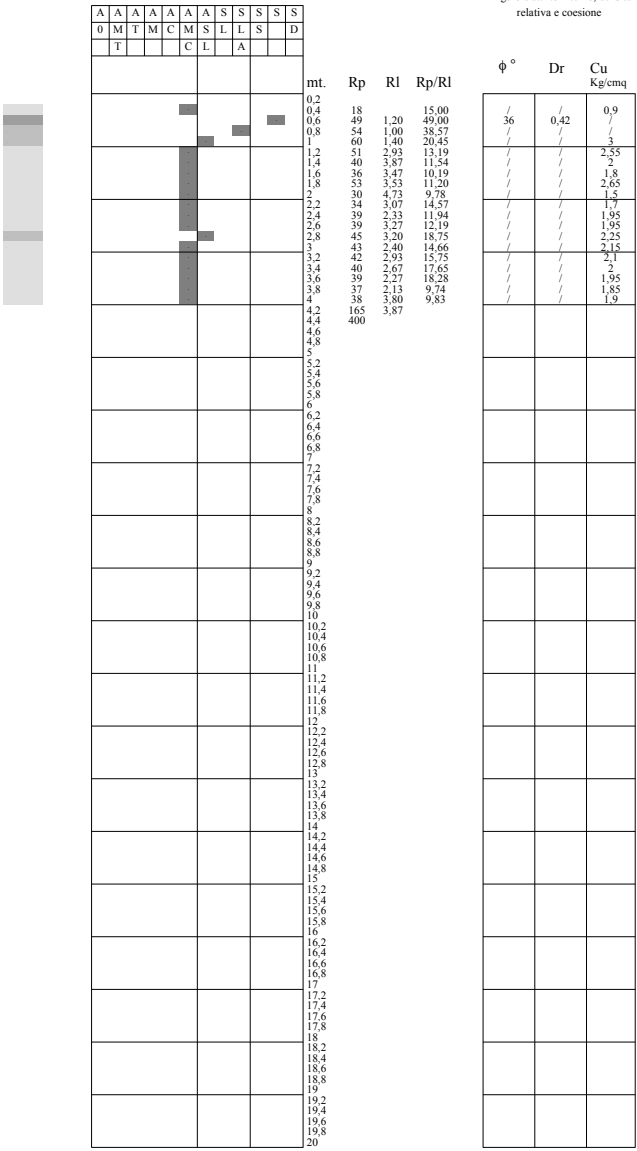
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT8
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT9
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

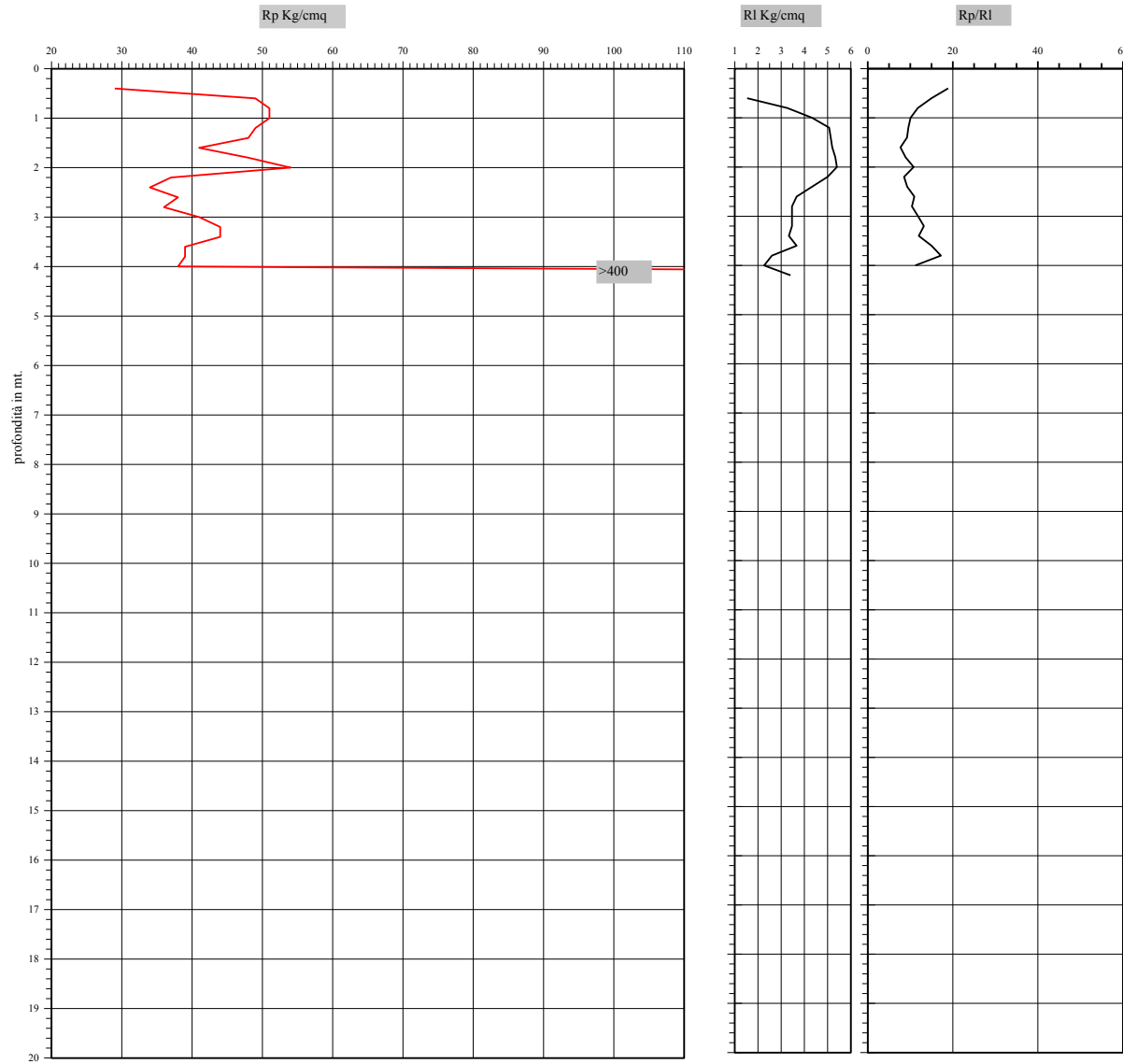
Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:

Note:



Pagani TG 63/200

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



A	A	A	A	A	A	S	S	S	S	S
0	M	T	M	C	M	S	L	L	S	
	T				C	L		A		

[illegible]

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

[illegible]

Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;

AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta

AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;

SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa

SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

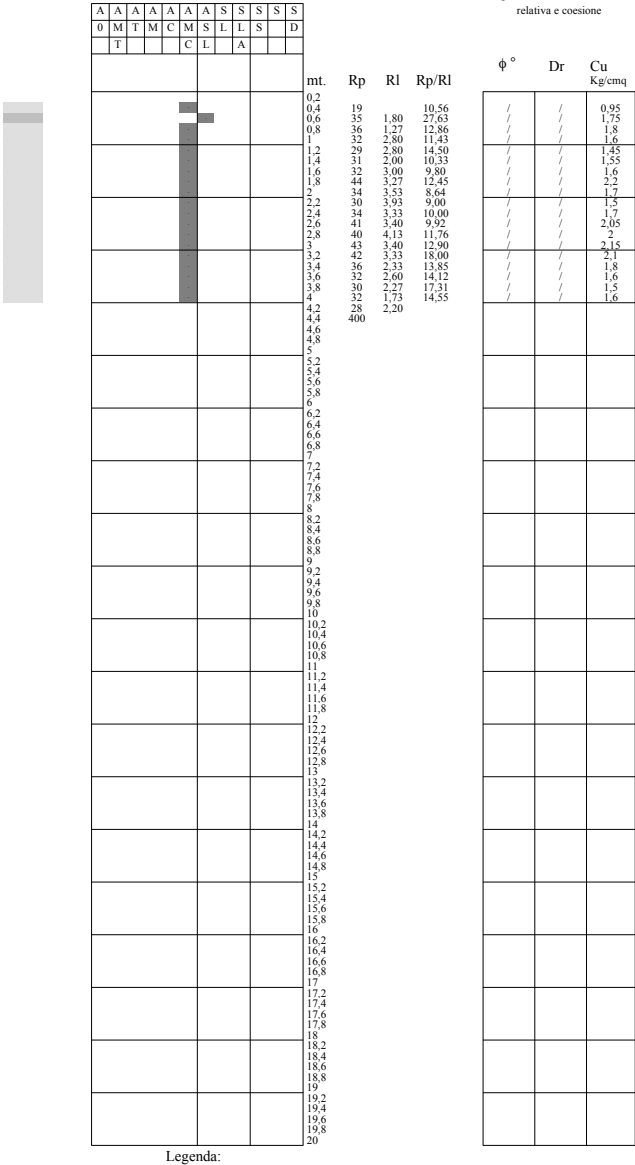
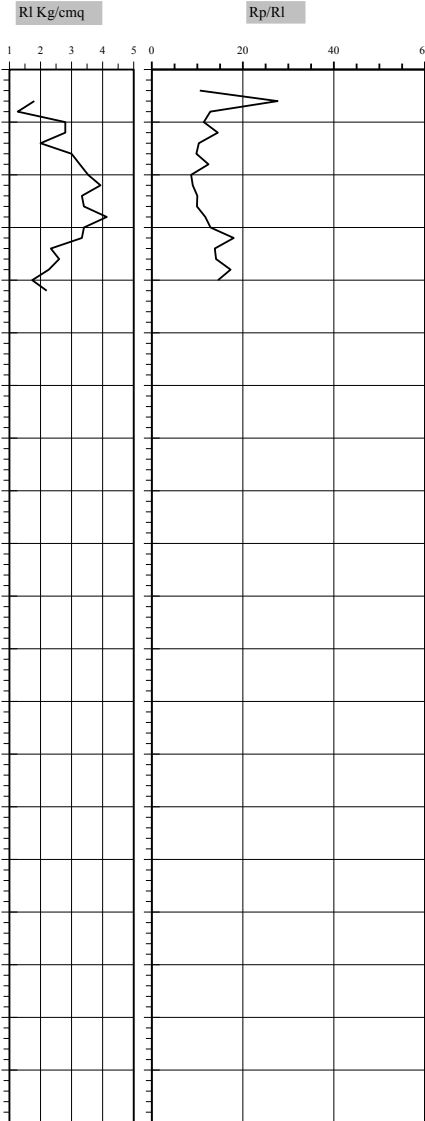
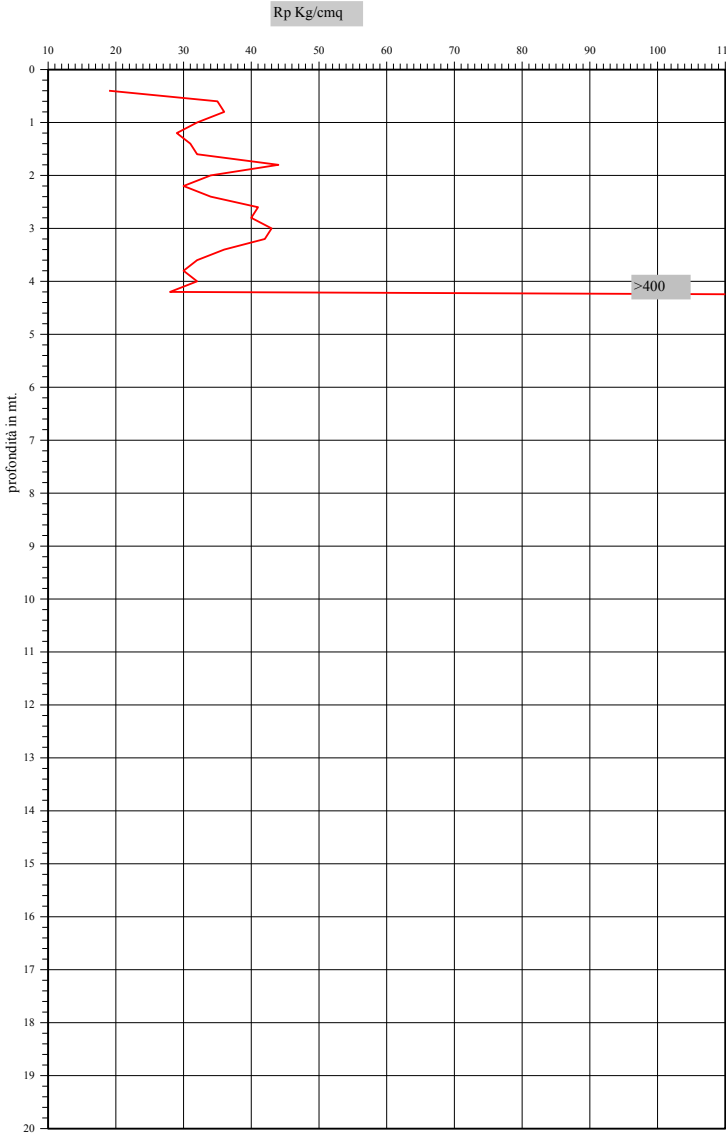
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT10
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

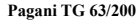
AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

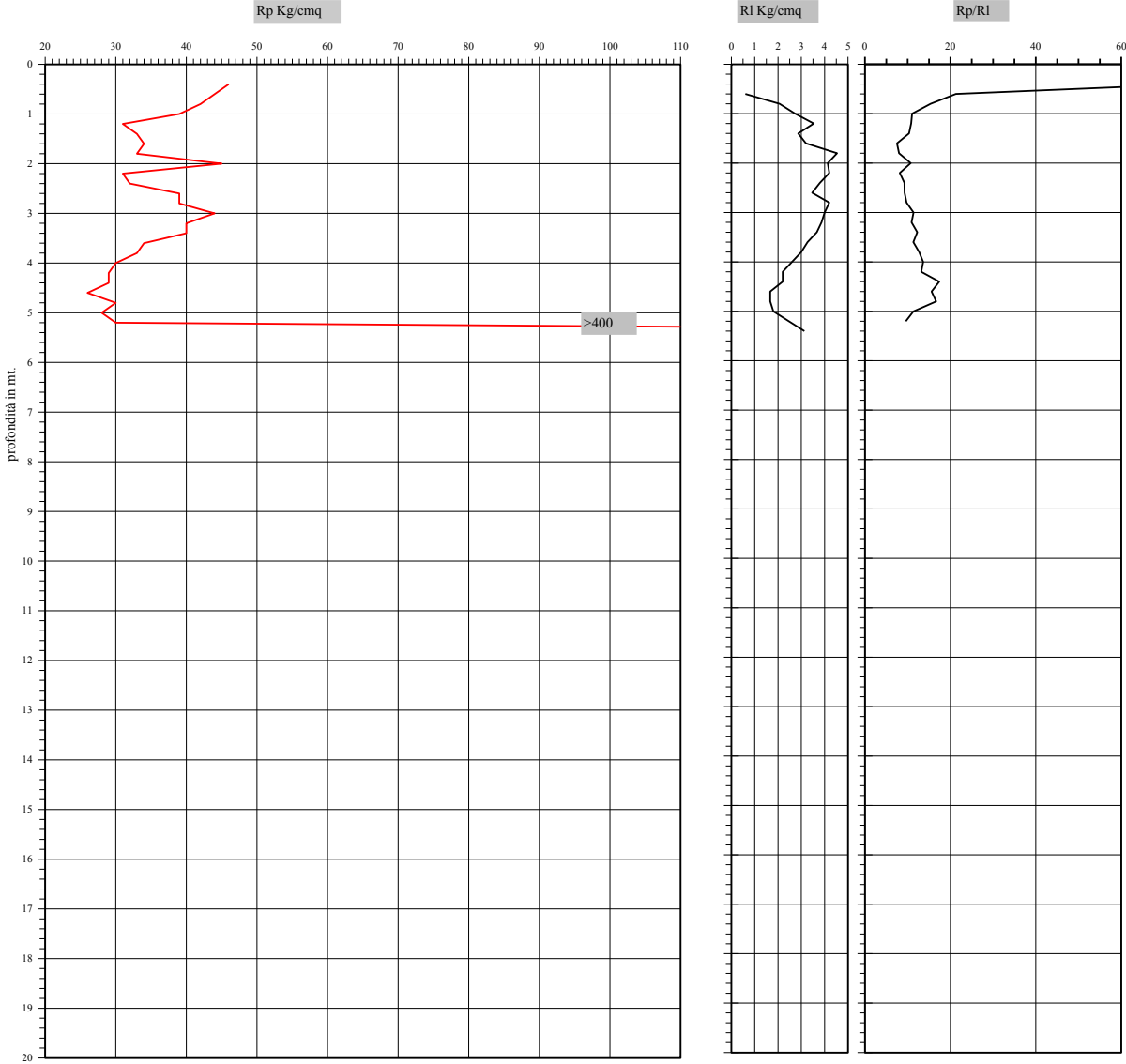
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT11
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

[illegible]

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

ϕ°	Dr	Cu Kg/cmq
--------------	----	--------------

Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;

AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta

AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabb

SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillos

SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

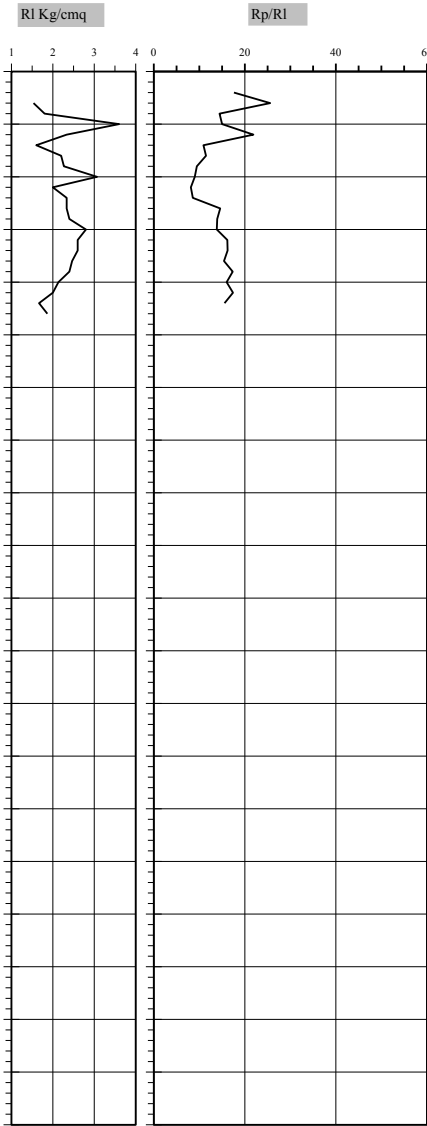
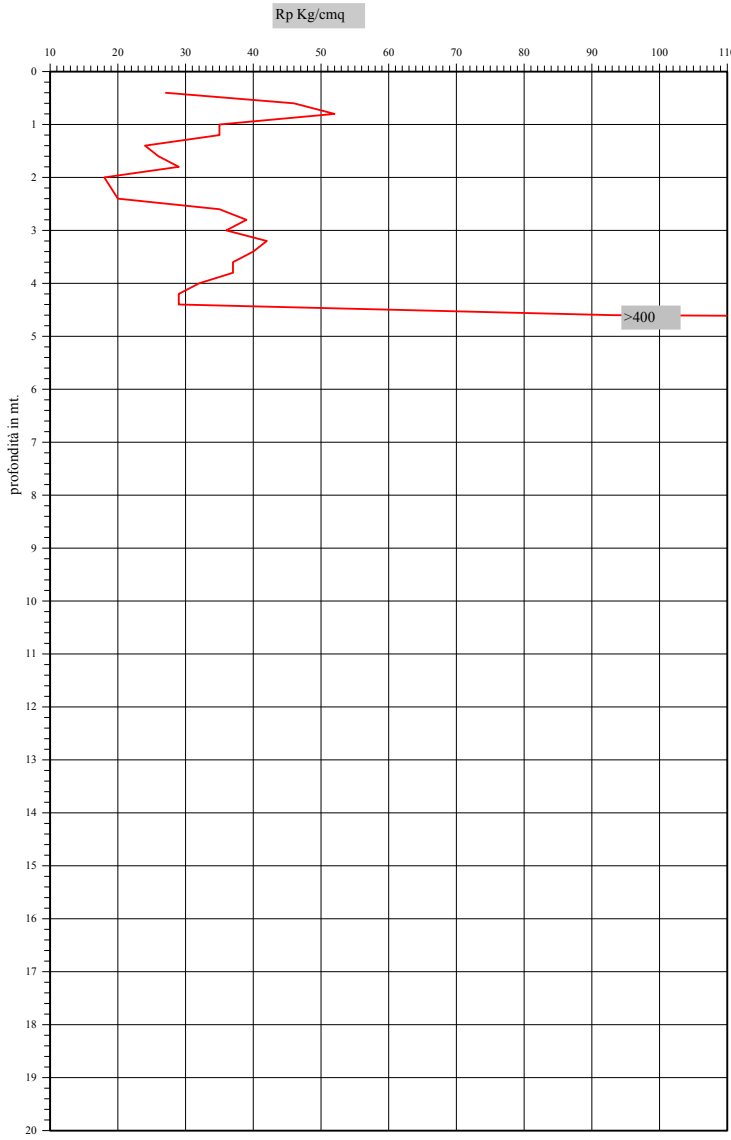
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT12
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Legenda:

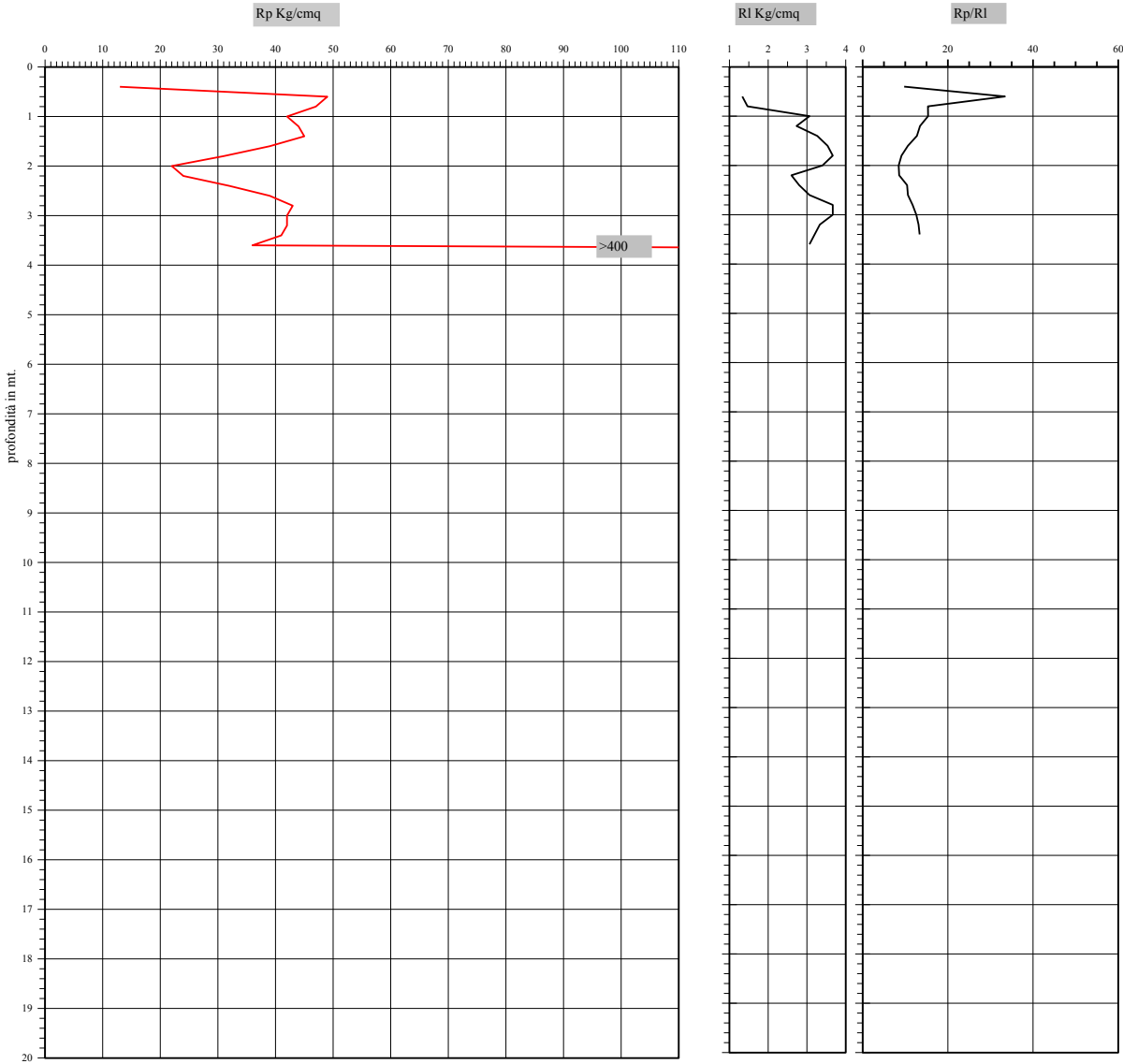
	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

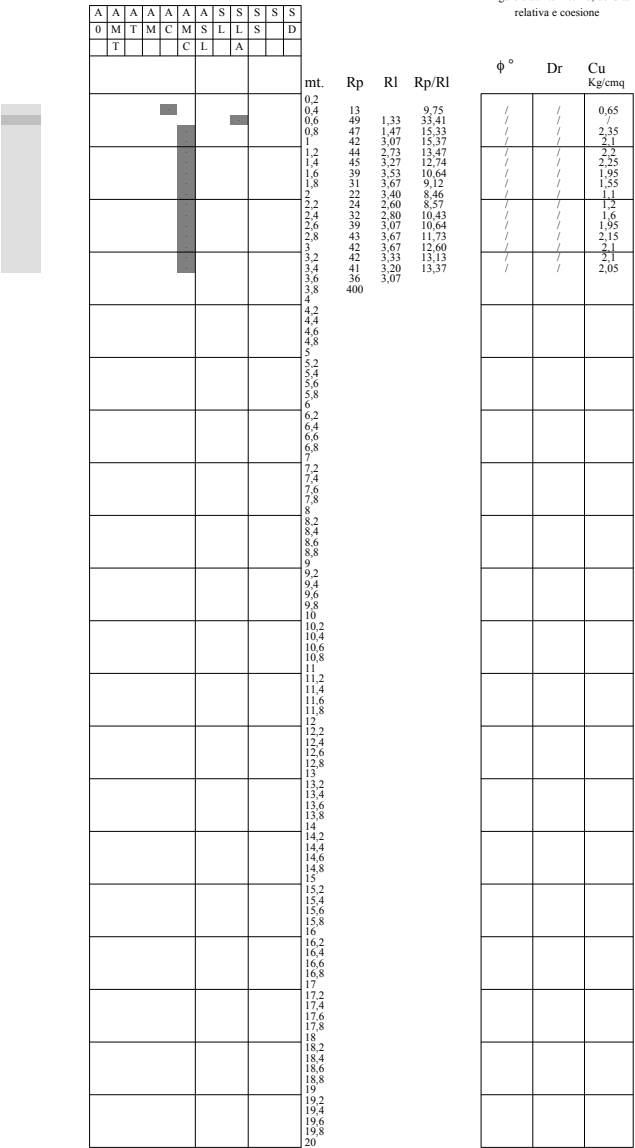
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT13
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Quota inizio: piano campagna
Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

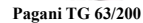


Legenda:
argilla
sabbia limoso argilloso
sabbia
AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argilloso
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

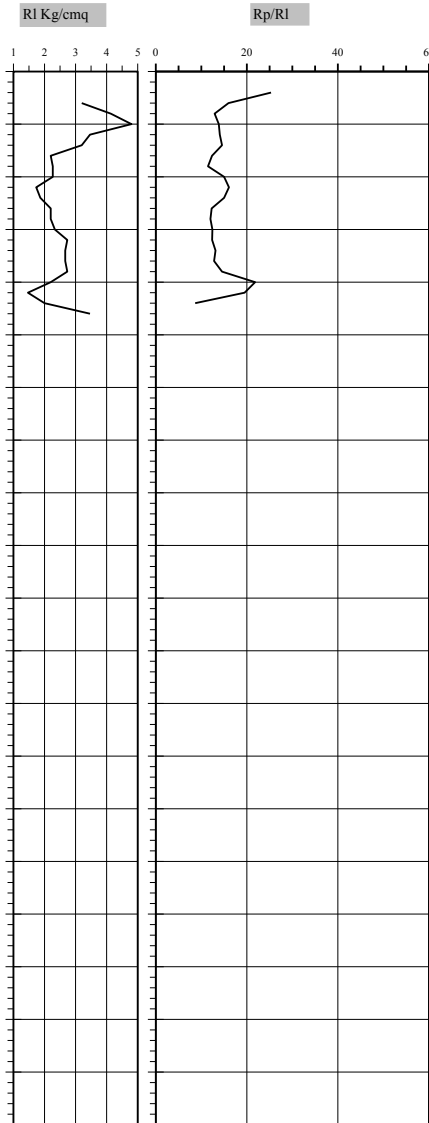
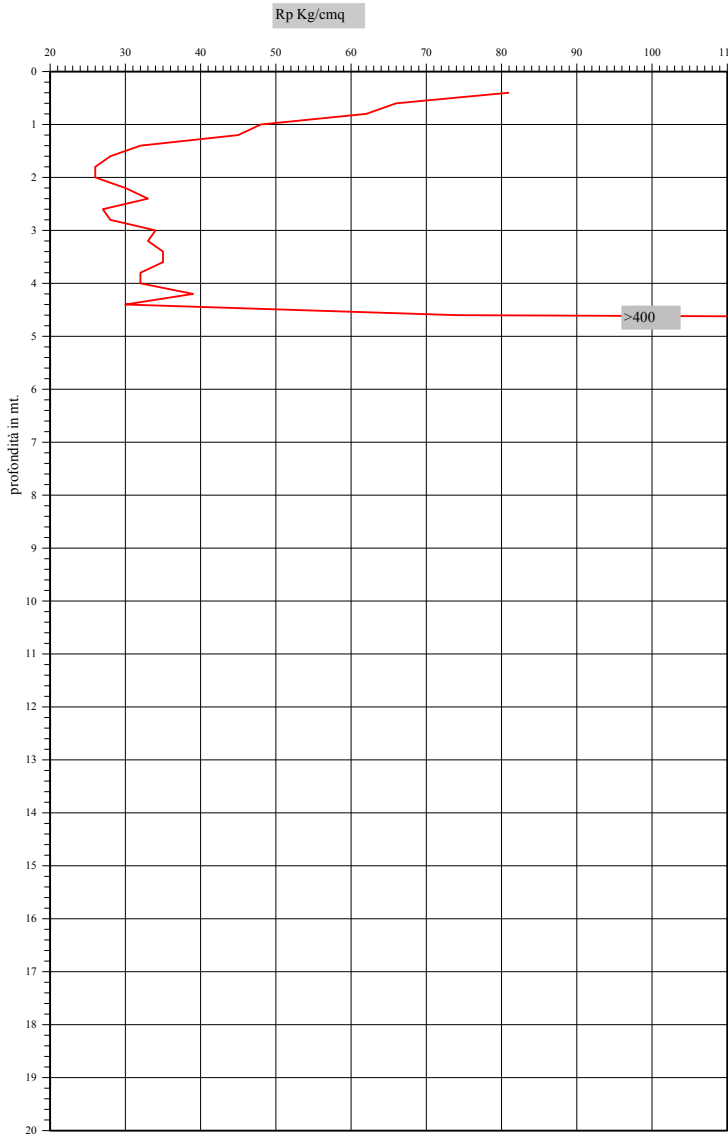
Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT14
Cantiere: Santarcangelo di R. (RN) - San Vito, via Antica Emilia
Data: Ottobre 2021

Liv.falda: assente
Note:



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

[illegible]

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

[illegible]

Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

	argilla
	sabbia limoso argillosa
	sabbia

INDAGINI GEOFISICHE HVSR

Lab.Geo

Prove geognostiche
e indagini geofisiche

di **Scaparrotti dott. Roberto**

Via Coletti 82/b - 47921 Rimini

Cell. 320 0555670

mail: scaparrotti.roberto@libero.it - p.i.039 913 304 02

c.f.: SCP RRT 60A 08H 294W

INDAGINE SISMICA PASSIVA MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE “TROMINO” ® (METODO NAKAMURA)

STIMA DELLA V_{seq} CON MISURA DIRETTA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DA STAZIONE SINGOLA - METODO H/V

LOCALITÀ: Santarcangelo di R. (RN) – S. Vito, Via Antica Emilia

RELAZIONE GEOFISICA

Rimini, Ottobre 2021

La caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione, è stata svolta con metodologia di sismica passiva a stazione singola H/V per mezzo di strumento *Tromino*®, Micromed S.p.a.. La tecnica si basa sulla misura del microtremore sismico ambientale come di seguito descritto.

Oggetto della misura: il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla loro acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato nella figura sottostante. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

La tecnica impiegata. Cenni storici

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie. Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenze maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso. Riconosciuta questa capacità è dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere usato come strumento stratigrafico. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D). In questi casi la profondità h della discontinuità sismica viene ricavata tramite la formula semplice della risonanza $h = V/(4f_r)$ o, al più, tramite la formula [1] in cui v_0 è la velocità al tetto dello strato, x un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e f_r la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

$$h = \left[\frac{V_0 (1 - x)}{4 f_r} + 1 \right]^{\frac{1}{1-x}} - 1 \quad [1]$$

Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- a) il contenuto in frequenza,
- b) la risposta strumentale,
- c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. I modelli sintetici di inversione impiegati in questo lavoro partono dalla modellizzazione del campo d'onde superficiali (onde di Rayleigh e Love) in sistemi multistrato (Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981).

L'inversione delle curve H/V per ottenere un profilo di vs è possibile a patto di disporre di un punto di taratura (es. penetrometria o sondaggio) che fornisca la profondità di un riflettore – anche molto superficiale – riconoscibile nella curva H/V oppure a patto di conoscere la vs del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2007).

Procedura ed analisi dei dati per stazioni singole H/V

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza* ovvero il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso tra due diversi strati. Per *strato* si intende un'unità distinta da quella sopra o sottostante caratterizzate dunque da contrasti d'impedenza diversi. L'interpretazione delle curve sperimentali sono state svolte con apposito programma “*Grilla*” agganciandosi alle prove effettuate.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero, viene ricavata la curva sperimentale H/V secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s.;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene poi invertita creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

L'inversione delle curve H/V è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo. Nel caso in questione tale vincolo è fornito dalla profondità del riflettore sismico noto tramite il sondaggio preso come riferimento, il cui marker è riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2007).

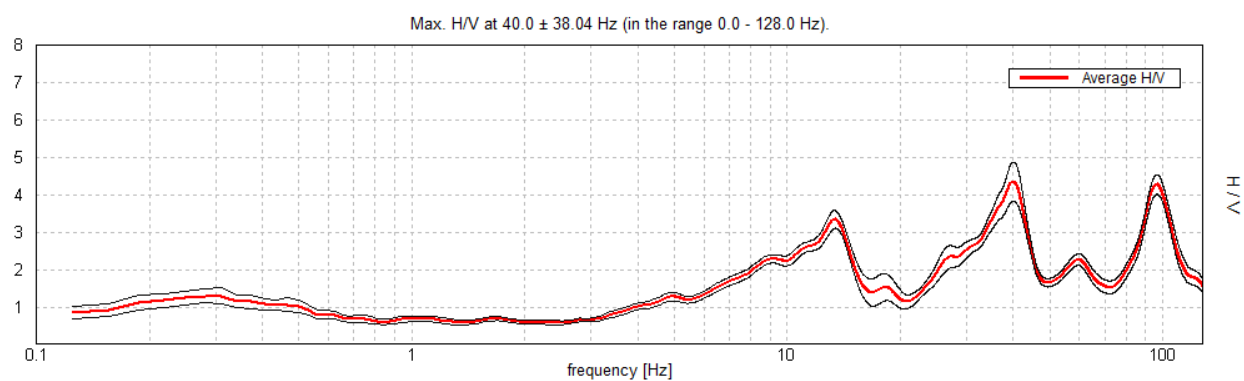
Dall'analisi congiunta della curva sperimentale H/V e degli spettri da cui essa deriva è stata ricavata la curva teorica.

Sono state svolte registrazioni HVSR con un intervallo di tempo di 18 minuti.

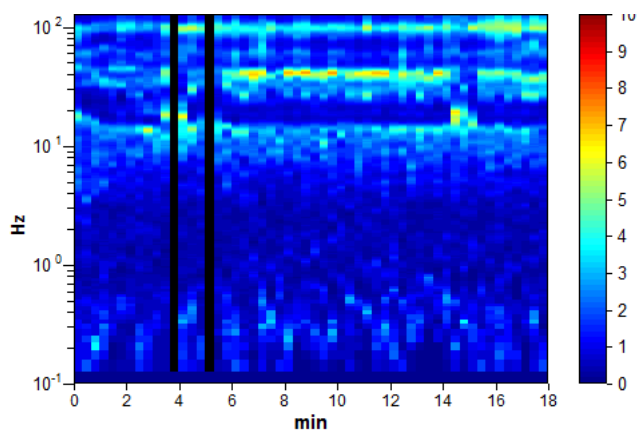
TR 1 Prova di riferimento CPT 2
--

Instrument: TEN-0035/01-08
Data format: 16 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 06/10/2021 10:17:44 End recording: 06/10/2021 10:35:45
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h18'00". Analyzed 96% trace (manual window selection)
Sampling rate: 256 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

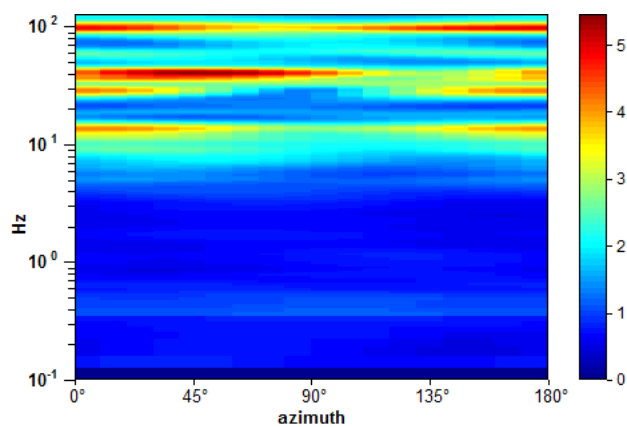
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



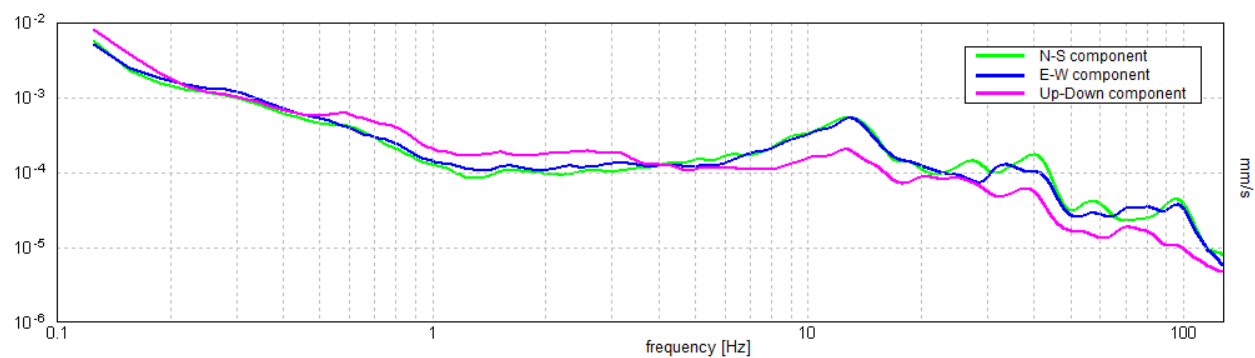
H/V TIME HISTORY



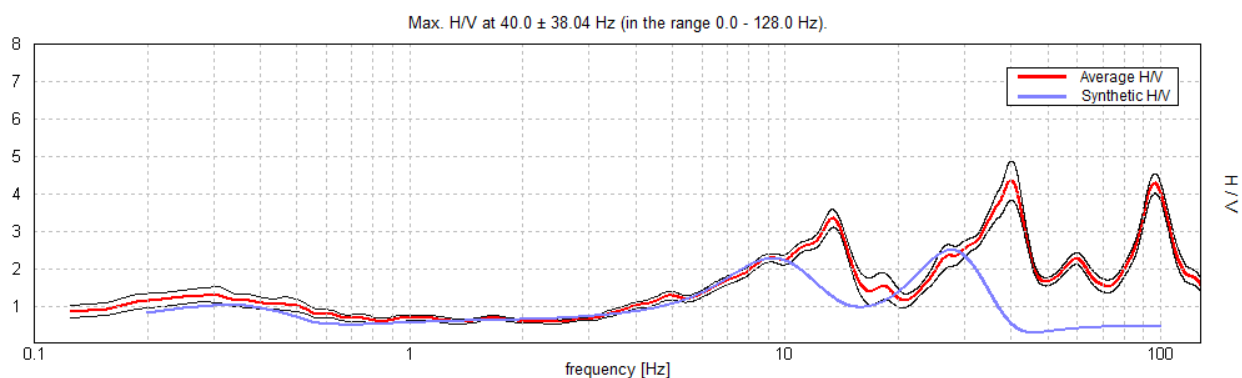
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

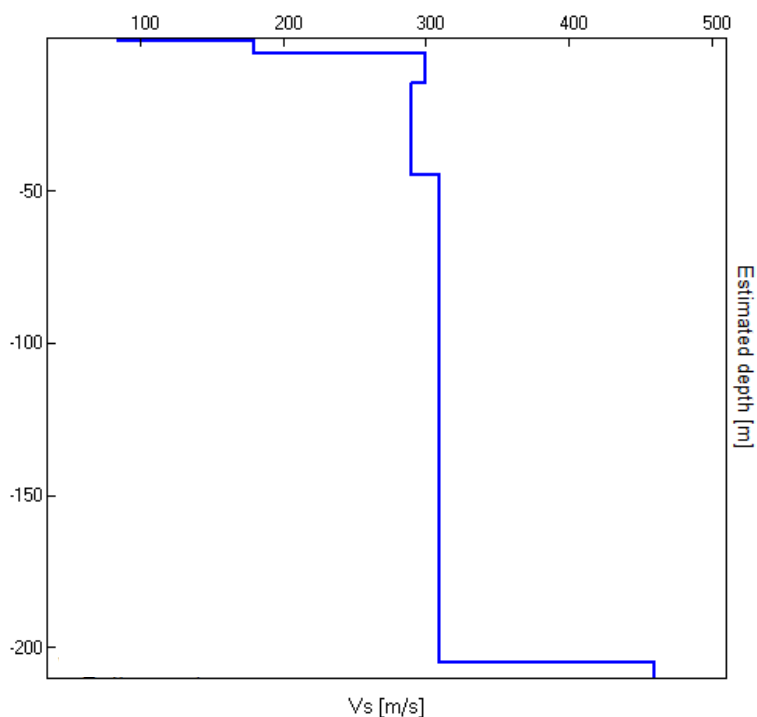


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



I picchi a 96.4, 40 e 13.4 Hz non sono stati interpretati in quanto ritenuti picchi di natura antropica

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.80	0.80	85	0.42
4.80	4.00	180	0.42
14.80	10.00	300	0.42
44.80	30.00	290	0.42
204.80	160.00	310	0.42
inf.	inf.	460	0.42



Ipotizzando le fondazioni a varie quote si ottengono le seguenti V_{seq} :

Profondità fondazione (m)	V_{seq} (m/s)
0.0	256
1.0	272
2.0	277
3.0	283

Si riportano di seguito i **tabulati del METODO SESAME 2005** (Site Effect **S** assessment using **A**mbient **E**xitations) applicati alla curva. Trattasi di un progetto di ricerca internazionale sull'utilizzo di strumentazioni sismiche idonee alla registrazione del rumore ambientale che costituisce il presupposto fondamentale per una corretta applicazione del metodo Nakamura. In tale tabulato i primi tre parametri debbono essere tutti verificati in quanto rappresentano la correttezza della misura, mentre gli ulteriori sei non debbono essere necessariamente tutti verificati in quanto evidenziano picchi non significativi dal punto di vista sismico. Un bedrock roccioso, per esempio, potrebbe dare tutti NO in quanto non presenterebbe picchi significativi.

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

Max. H/V at 40.0 ± 38.04 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	40.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	41600.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1921 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	25.906 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	45.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.34 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.95091 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	38.0365 < 2.0		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.522 < 1.58	OK	

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

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

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

TR 2

Prova di riferimento CPT 5

Instrument: TEN-0035/01-08

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 06/10/2021 12:01:15 End recording: 06/10/2021 12:19:15

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h18'00". Analysis performed on the entire trace.

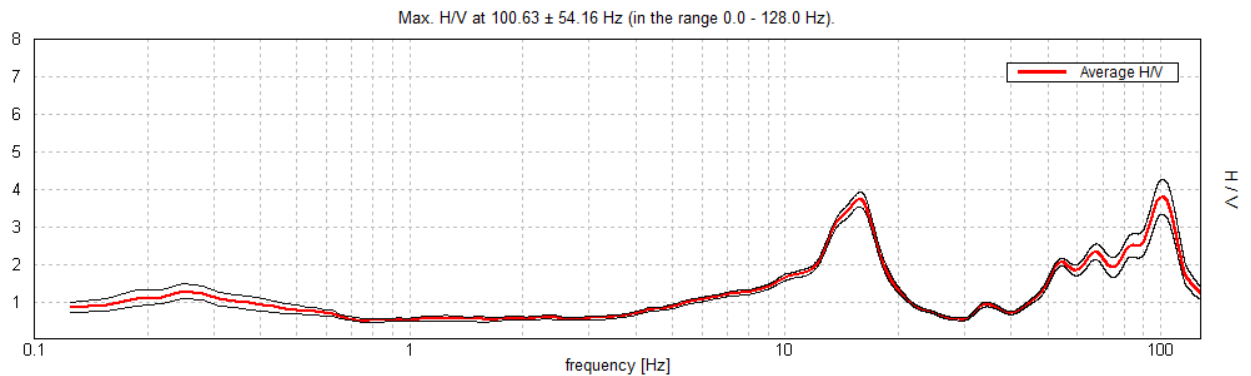
Sampling rate: 256 Hz

Window size: 20 s

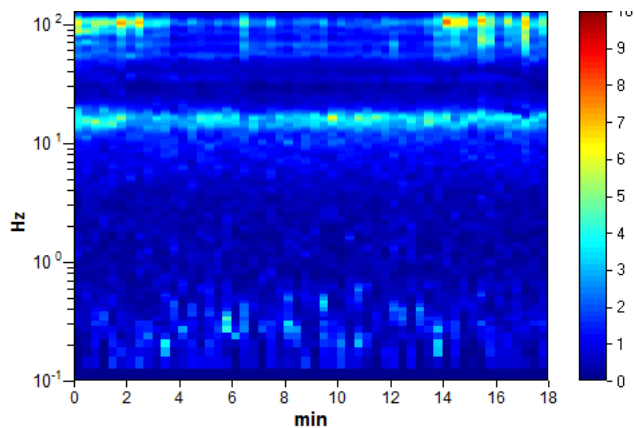
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

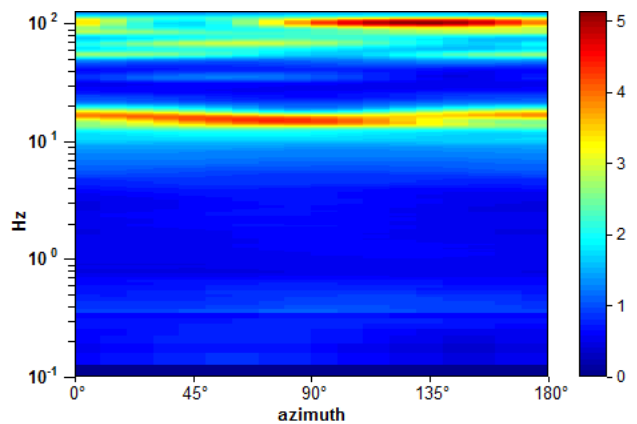
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



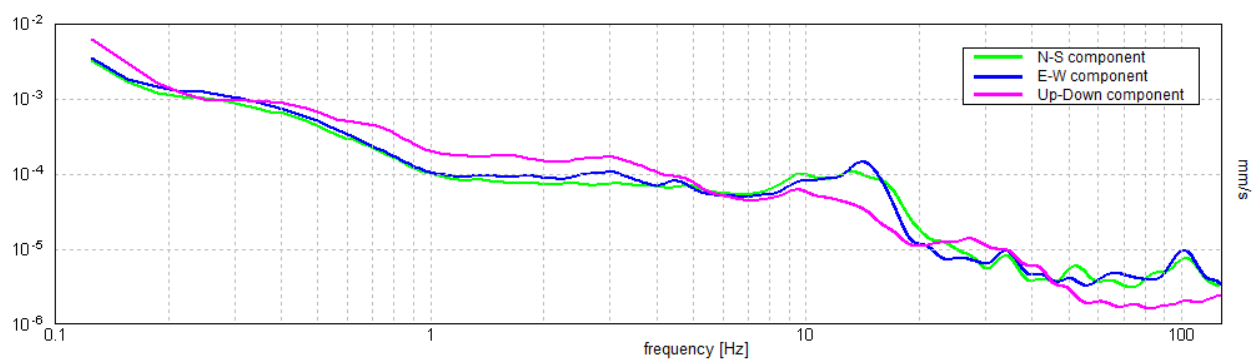
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

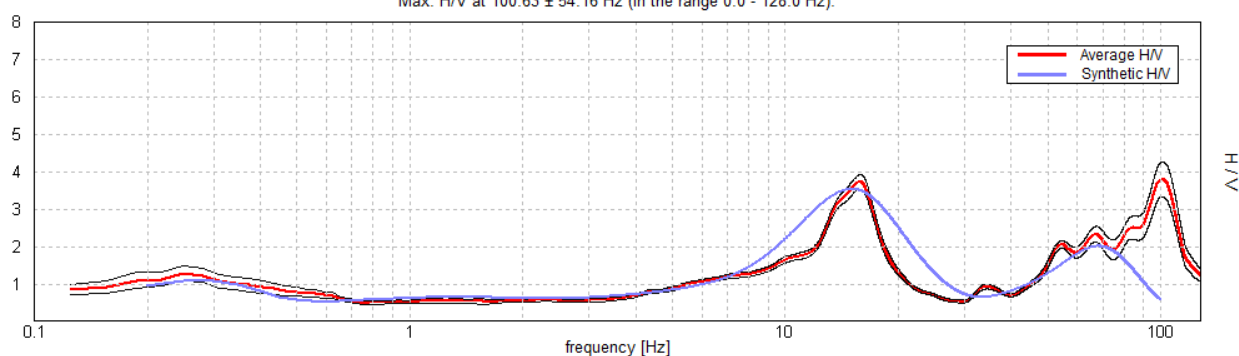


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 100.63 ± 54.16 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]

Thickness [m]

Vs [m/s]

Poisson ratio

0.20

0.20

55

0.42

1.40

1.20

110

0.42

3.80

2.40

200

0.42

13.80

10.00

270

0.42

43.80

30.00

260

0.42

243.80

200.00

310

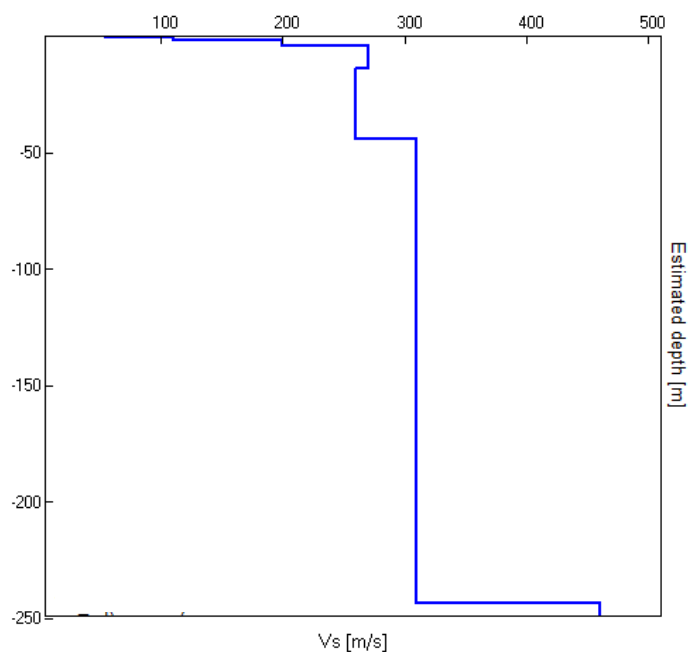
0.42

inf.

inf.

460

0.42



Ipotizzando le fondazioni a varie quote si ottengono le seguenti V_{seq} :

Profondità fondazione (m)	V_{seq} (m/s)
0.0	270
1.0	283
2.0	291
3.0	296

Si riportano di seguito i **tabulati del METODO SESAME 2005** (Site EffectS assessment using AMbient Exitations) applicati alla curva. Trattasi di un progetto di ricerca internazionale sull'utilizzo di strumentazioni sismiche idonee alla registrazione del rumore ambientale che costituisce il presupposto fondamentale per una corretta applicazione del metodo Nakamura. In tale tabulato i primi tre parametri debbono essere tutti verificati in quanto rappresentano la correttezza della misura, mentre gli ulteriori sei non debbono essere necessariamente tutti verificati in quanto evidenziano picchi non significativi dal punto di vista sismico. Un bedrock roccioso, per esempio, potrebbe dare tutti NO in quanto non presenterebbe picchi significativi.

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

Max. H/V at 100.63 ± 54.16 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	100.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	108675.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 2487 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	61.125 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	115.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.79 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.5382 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	54.15646 < 5.03125		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.4632 < 1.58	OK	

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

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

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

TR 3

Prova di riferimento CPT 9

Instrument: TEN-0035/01-08

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 06/10/2021 15:35:10 End recording: 06/10/2021 15:53:11

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h18'00". Analyzed 83% trace (manual window selection)

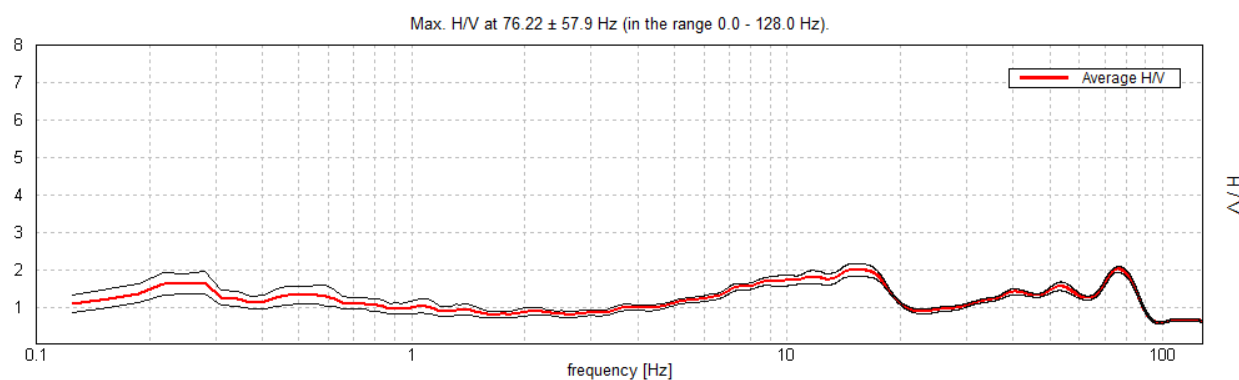
Sampling rate: 256 Hz

Window size: 20 s

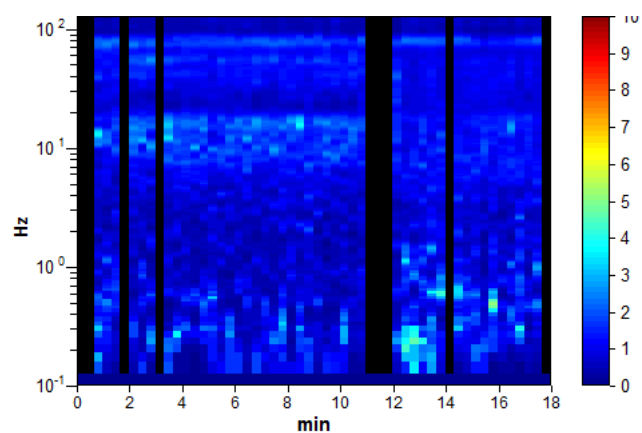
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

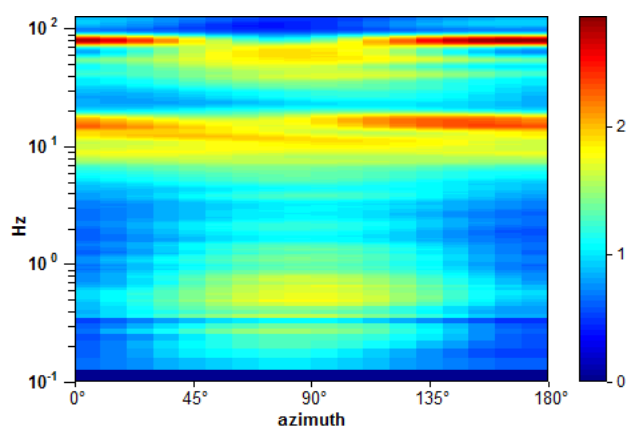
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



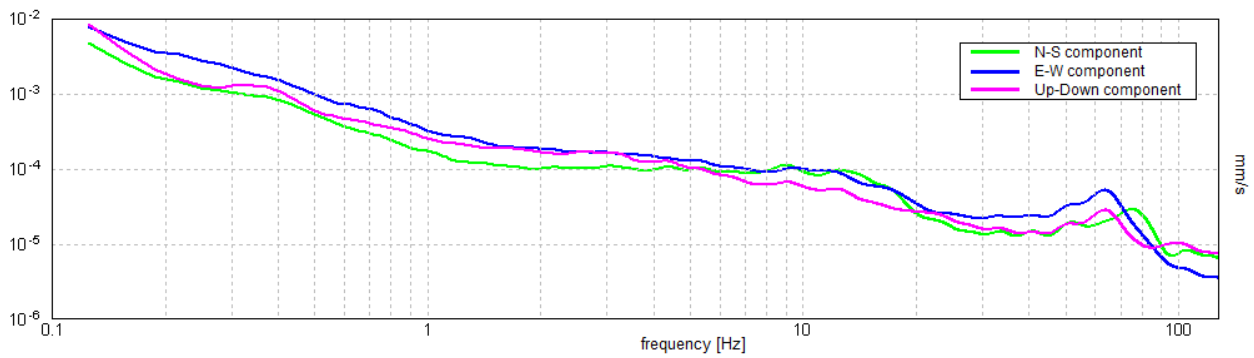
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

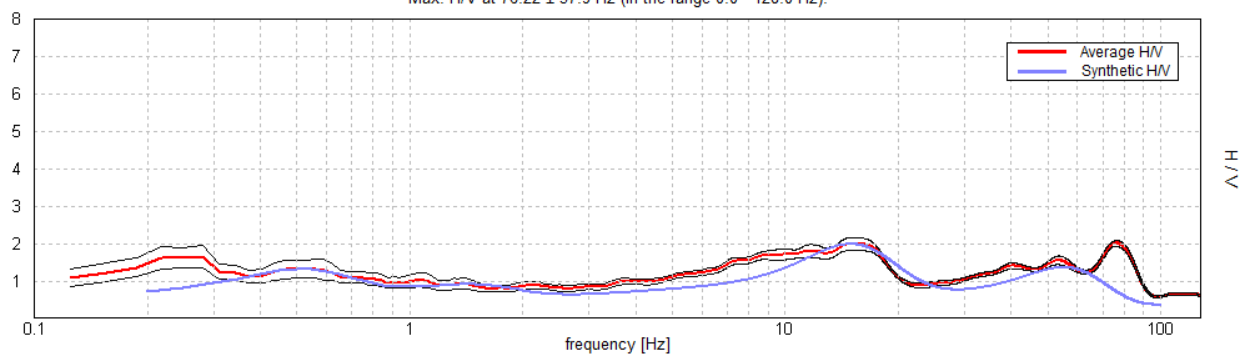


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 76.22 ± 57.9 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).



Depth at the bottom of
the layer [m]

Thickness [m]

Vs [m/s]

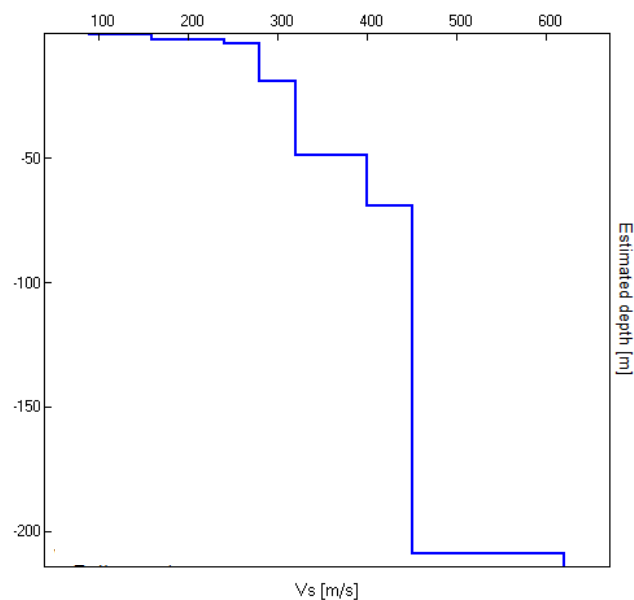
Poisson ratio

0.40
2.20
4.00
19.00
49.00
69.00
209.00
inf.

0.40
1.80
1.80
15.00
30.00
20.00
140.00
inf.

90
160
240
280
320
400
450
620

0.42
0.42
0.42
0.42
0.42
0.42
0.42
0.42



Ipotizzando le fondazioni a varie quote
si ottengono le seguenti Vs_{eq}:

Profondità fondazione (m)	Vseq (m/s)
0.0	270
1.0	283
2.0	291
3.0	296

Si riportano di seguito i **tabulati del METODO SESAME 2005** (Site EffectS assessment using **AM**bient **EX**itations) applicati alla curva. Trattasi di un progetto di ricerca internazionale sull'utilizzo di strumentazioni sismiche idonee alla registrazione del rumore ambientale che costituisce il presupposto fondamentale per una corretta applicazione del metodo Nakamura. In tale tabulato i primi tre parametri debbono essere tutti verificati in quanto rappresentano la correttezza della misura, mentre gli ulteriori sei non debbono essere necessariamente tutti verificati in quanto evidenziano picchi non significativi dal punto di vista sismico. Un bedrock roccioso, per esempio, potrebbe dare tutti NO in quanto non presenterebbe picchi significativi.

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

Max. H/V at 76.22 ± 57.9 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$76.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$68596.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 2878 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	29.063 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	88.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.01 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.75969 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$57.90254 < 3.81094$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0764 < 1.58$	OK	

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

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

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

TR 4

Prova di riferimento CPT 14

Instrument: TEN-0035/01-08

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 08/10/2021 16:21:11 End recording: 08/10/2021 16:39:12

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h18'00". Analysis performed on the entire trace.

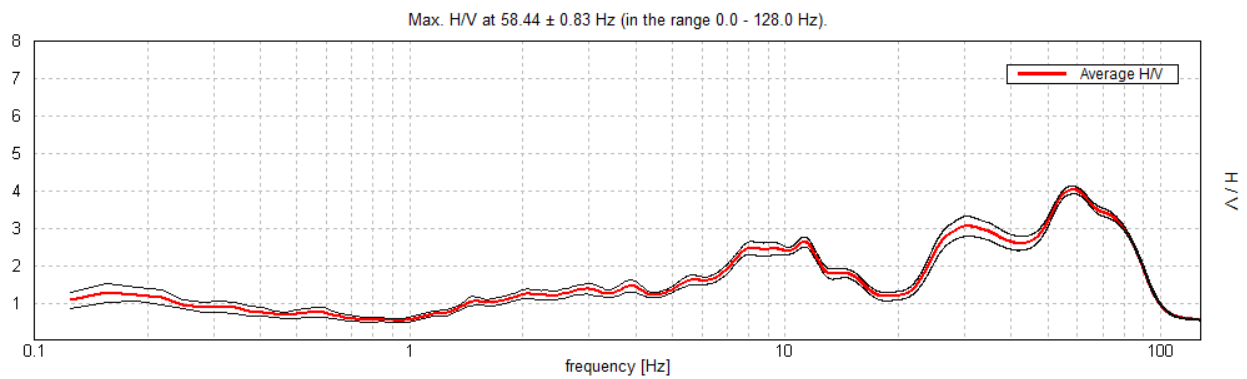
Sampling rate: 256 Hz

Window size: 20 s

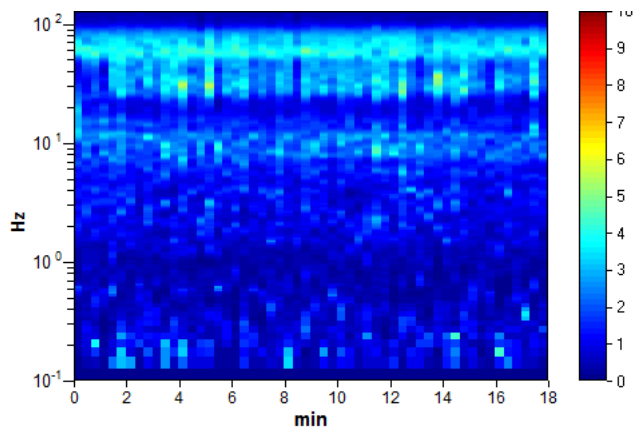
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

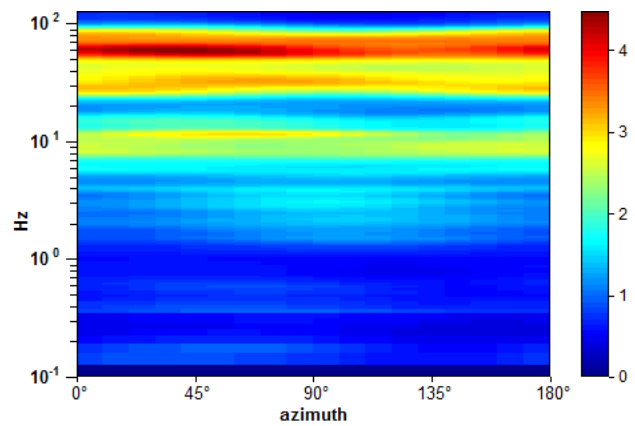
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



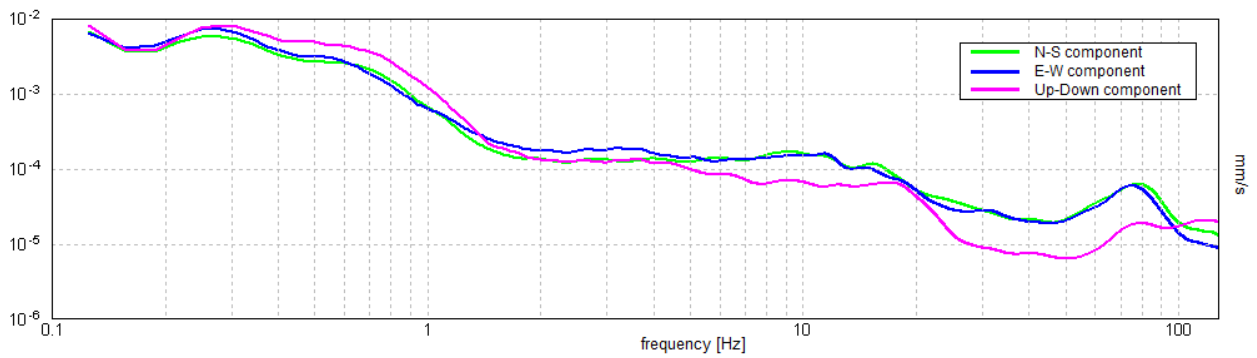
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

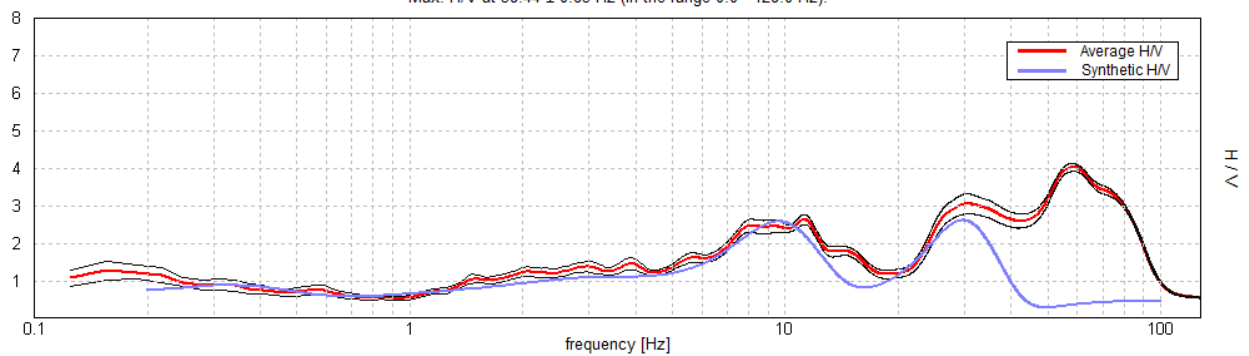


SINGLE COMPONENT SPECTRA

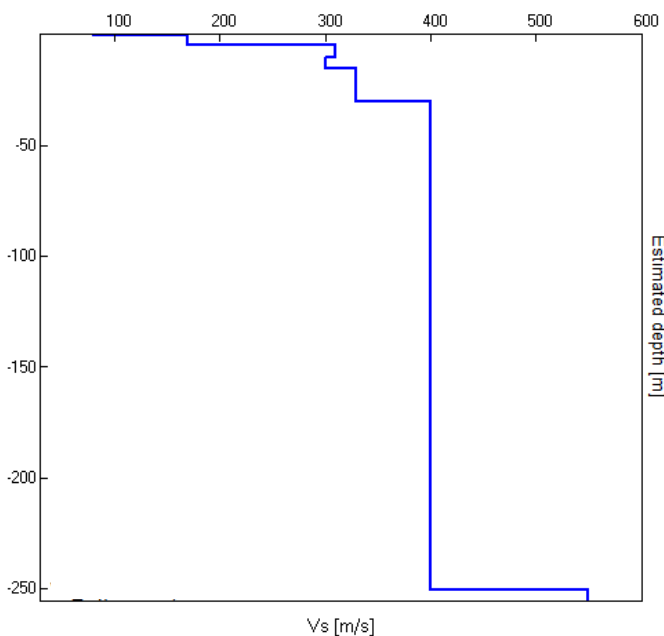


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 58.44 ± 0.83 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	80	0.42
4.50	3.80	170	0.42
10.50	6.00	310	0.42
15.50	5.00	300	0.42
30.50	15.00	330	0.42
250.50	220.00	400	0.42
inf.	inf.	550	0.42



Ipotizzando le fondazioni a varie quote si ottengono le seguenti V_{seq} :

Profondità fondazione (m)	V_{seq} (m/s)
0.0	270
1.0	290
2.0	300
3.0	311

Si riportano di seguito i **tabulati del METODO SESAME 2005** (Site EffectS assessment using AMbient Exitations) applicati alla curva. Trattasi di un progetto di ricerca internazionale sull'utilizzo di strumentazioni sismiche idonee alla registrazione del rumore ambientale che costituisce il presupposto fondamentale per una corretta applicazione del metodo Nakamura. In tale tabulato i primi tre parametri debbono essere tutti verificati in quanto rappresentano la correttezza della misura, mentre gli ulteriori sei non debbono essere necessariamente tutti verificati in quanto evidenziano picchi non significativi dal punto di vista sismico. Un bedrock roccioso, per esempio, potrebbe dare tutti NO in quanto non presenterebbe picchi significativi.

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

Max. H/V at 58.44 ± 0.83 Hz (in the range 0.0 - 128.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$58.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$63112.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 2806 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	24.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	89.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.02 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01414 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.82659 < 2.92188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.104 < 1.58$	OK	

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

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

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