

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Geol. LORENZO DEL MASCHIO

Via Camogli 59 - 41125 Modena
Tel 347/4128277 - Fax 059/394816
e-mail delmaschio.l@alice.it
PEC delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it

COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO
PROVINCIA DI MODENA

OGGETTO:

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA - LIVELLO 3 -
DEL COMUNE DI PAVULLO**

-RELAZIONE ILLUSTRATIVA-

MARZO 2019

Dott. Geol Lorenzo Del Maschio

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE	1
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1. Inquadramento sismotettonico	4
2.2. Attività tettonica	4
2.3. Pericolosità sismica di base	5
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	22
3.1 Inquadramento geologico	22
3.2 Inquadramento geomorfologico	32
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	37
4.1 Dati Geotecnici	37
4.1.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	38
4.1.2 Prove penetrometriche con p. e. e piezocono (CPTU)	38
4.1.3 Indagini di laboratorio	39
4.2 Dati Geofisici	40
4.2.1 Prove Down-Hole	41
4.2.2 Prove con cono sismico (SCPT)	45
4.2.3 Prove SPAC/ESAC	45
4.2.4 Prove HVSR	47
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	48
6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	56
6.1 Premessa	56
6.2 Metodologie di elaborazione	60
6.3 Definizione del moto di input (scelta delle azioni sismiche)	61
6.4 Definizione del modello di calcolo	62
6.5 Risultati della modellazione	68
6.5.1 Pavullo capoluogo	70
6.5.2 Sant'Antonio	118
7. ELABORATI CARTOGRAFICI	146
7.1 Carta delle indagini	146
7.2 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	147
7.3 Carta di microzonazione sismica (livello 3)	148
7.4 Commenti finali e criticità	150
8. BIBLIOGRAFIA	151
9. ALLEGATI	153

1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti dallo studio di microzonazione sismica di III livello ai fini della valutazione delle condizioni di sicurezza del territorio comunale di Pavullo nel Frignano, effettuato su incarico (Determinazione n° 410 del 14/10/2017) e finanziato con Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016 “Attribuzione contributi a favore degli enti locali - Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica e delle indicazioni per l’archiviazione informatica”.

Lo studio è stato redatto nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- Allegato A2 “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l’emergenza, di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016”, della deliberazione di Giunta regionale n. 2188 del 13/12/2016 “O.C.D.P.C. 9 maggio 2016, N. 344 - Annualità 2015
- Criteri per l’attribuzione di contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica, di cui all’art. 2, comma 1, lettere A), B) E C). Modalità di concessione e liquidazione de contributi;
- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”
- Versione 4.1, Roma, novembre 2018 - Elaborato e approvato nell’ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica;
- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni;
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 20 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell’atto coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica di cui alla deliberazione dell’Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12”.

Le aree oggetto di studio, d’accordo con l’amministrazione comunale, sono state quelle individuate e definite negli studi di secondo livello, già approvati dall’amministrazione comunale stessa nel proprio strumento urbanistico.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 7.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea ed in versione digitale. I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (shapefile).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS - SoftMS" nella versione 4.1.

Il presente studio di terzo livello è stato basato sullo studio di primo e secondo livello redatto dal sottoscritto nell'ottobre 2013.

In particolar modo lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito nelle seguenti fasi:

- individuazione, dallo studio di microzonazione di I e II livello, delle aree rappresentative per lo studio di III livello (Pavullo capoluogo e la frazione di Sant'Antonio);

- realizzazione per di nuove indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio geotecnico al fine di caratterizzare in maniera più dettagliata i terreni presenti nelle aree di cui sopra;

- integrazione delle cartografie di primo livello e secondo livello con i nuovi dati in merito a:

- Carta delle indagini;

- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs);

- valutazione della risposta sismica locale (RSL) su opportune sezioni ritenute significative attraverso il codice di calcolo commerciale LSR2D - Stacec Srl che implementa un modello bidimensionale agli elementi finiti la cui soluzione numerica di propagazione delle onde sismiche avviene attraverso un'analisi lineare equivalente nel dominio del tempo ed in tensioni totali;

- calcolo dei fattori di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;

- calcolo dei fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s;

- calcolo dei fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s;

- redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 per i diversi fattori amplificativi sopra riportati e nello specifico:

- FPGA;
- FA0105;
- FA0408;
- FA0711;
- FH0105;
- FH0510;
- FH0515;

- determinazione delle spettro elastico di risposta in superficie rappresentativo della singola zona, sia in termini di pseudovelocità, che in termini di pseudoaccelerazione e fornitura degli spettri degli accelerogrammi di input utilizzati per le elaborazioni numeriche.

- determinazione per ogni singola zona della categoria di sottosuolo indicativa (A, B, C, D, E, S1, S2), così come definita nella normativa antisismica vigente (NTC2008 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 14 Gennaio 2008; Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica).

- redazione della cartografia, per le aree indagate nella microzonazione di III livello, dei valori di H_{MS} , parametro che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione, cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0,1s e 0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA0,1-0,5s):

$$H_{MS} = \frac{ASI_{PU}}{\Delta T} \times FA_{0,1-0,5s}$$

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Inquadramento Sismotettonico

L'orogenesi appenninica, non ancora conclusa allo stato attuale, che interessa il territorio comunale, si è sviluppata inizialmente attraverso la fase ligure; la presenza di estesi affioramenti appartenenti alla successione epiligure che, in parte, suturano le deformazioni della fase ligure permette abbastanza agevolmente di separare e individuare gli uni dagli altri.

Partendo dalla fase ligure i complessi presenti sul territorio possono essere suddivisi in cinque unità tettoniche, distribuite secondo fasce ad andamento appenninico. Partendo dalle posizioni geografiche più meridionali sono rispettivamente individuate da: Unità tettonica Morello, Unità Tettonica Leo, Unità Tettonica Caio, Unità Tettonica Monghidoro e Unità Tettonica Cassio.

La prima è costituita da tre piccoli lembi della formazione di Monte Morello che sono rappresentati da scaglie tettoniche inglobate nelle Argille a Palombini dell'Unità Tettonica Leo, osservabili a sud del confine comunale.

Quest'ultima unità, formata dalle Argille a Palombini; Argille Varicolori di Grizzana Morandi, Arenarie del Monte Gabba ed Arenarie del Poggio Mezzature, è molto deformata. La Formazione, nel territorio comunale, maggiormente rappresentata è quella delle Argille a Palombini, i cui rapporti sono strutturalmente molto complessi e non riconducibili a geometrie definite.

L'Unità Tettonica Monghidoro si rinviene nella zona occidentale settentrionale e si sovrappone mediante contatti a basso angolo dell'Unità Tettonica Leo. Nel territorio comunale è riscontrabile in alcuni limitati affioramenti presso gli abitati di Montebonello e Pavullo.

Sull'Unità tettonica Monghidoro si rinvengono in discordanza angolare i termini più antichi della Successione Epiligure, che suturano parzialmente i contatti con la sottostante Unità tettonica Leo e con l'Unità tettonica Cassio.

L'Unità Tettonica Cassio si giustappone alle Unità Leo e Monghidoro ed è delimitata a sud della linea tettonica del Sistema della Val Rossena.

Sul complesso di base dell'Unità Cassio, la successione Cassio-Viano giace tettonicamente formando grandi placche discontinue relativamente poco deformate; l'unità Monghidoro è stata invece piegata secondo ampie sinclinali rovesciate a vergenza orientale.

La sutura tettonica tra l'unità Monghidoro e Cassio viene ripetutamente intersecata da faglie trascorrenti sinistre ad andamento trasversale rispetto alle direttrici appenniniche.

Successivamente alla fase ligure, a partire dall'Oligocene superiore, si registra la fase subligure, con la messa in posto del Melange di Coscogno attraverso il sottoscorrimento

di unità subliguri rispetto alle liguridi, con successivo riaffioramento sotto forma di scaglie tettoniche. Le condizioni di spinta tettonizzazione di queste unità indica una elevata ed intensa attività tettonica in tale fase, evidenziata anche dalle ripercussioni sulla successione epiligure.

Le strutture più recenti presenti nell'area in esame sono da ricollegarsi alle fasi tettoniche finali dell'orogenesi, soprattutto nel periodo che va dal Messiniano al Pleistocene.

In particolare a tali fasi tettoniche si deve l'individuazione di due settori strutturalmente differenziati, separati da una linea tettonica trasversale, la linea dello Scoltenna, che individua due aree, una a nord-ovest del torrente Scoltenna - fiume Panaro, ed una a sud-est che si estende sino alla linea del Sillaro.

L'area a nord-ovest della linea dello Scoltenna è dominata da grandi sistemi di faglie inverse a direzione appenninica, impostate prevalentemente in corrispondenza di suture tra le diverse unità strutturali individuate dalle fasi ligure e subligure. Dall'interno verso l'esterno si individua il Sistema della Val Rossenna, la linea Alevara-Rodiano e la linea Canossa-S. Romano.

Il settore sud-orientale della linea dello Scoltenna rappresenta invece un'area caratterizzata prevalentemente da fenomeni di tettonica trascorrente in corrispondenza delle grandi zone di taglio antiappenninico, sia sinistre (torrente Lavino, torrente Setta) che destre (faglia dell'Idice).

Il Sistema della Val Rossenna è saldato dai depositi epiliguri affioranti presso Pavullo proseguendo verso Montese e Vergato, senza indicazioni di tettonica recente dopo la loro deposizione. Tutto il settore sud-orientale non sembra pertanto interessato da fenomeni tettonici significativi recenti, ad indicare che la linea dello Scoltenna individua due settori che hanno subito un diverso grado di tettonizzazione e di raccorciamento. Tale linea rappresenterebbe pertanto uno svincolo meccanico tra il settore nord-occidentale, più raccorciato, ed il settore sud-orientale meno raccorciato e più ribassato.

2.2 Attività tettonica

Le disamine relative alle strutture profonde, redatte nell'ambito dell'elaborazione della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004), individua faglie e sovrascorrimenti del Pliocene - Pleistocene inferiore riattivati, quali il sovrascorrimento orientato nord ovest – sud est da Pompeano-Montebonello-Pavullo abitato.

Altre faglie riattivate in tale periodo, orientate nord-sud, sono individuate tra Benedello e Crocette, mentre con orientazione circa est-ovest sono individuate due faglie circa parallele con direzione Crocette-Verica e Montebonello-Miceno-Niviano.

La sopraccitata carta sismotettonica R.E.R. evidenzia un epicentro sismico con magnitudo $4 < M < 5$ rispettivamente in prossimità di Pavullo nel Frignano e nel tratto di territorio tra Vesale e lo Scoltenna.

L'attività sismica nell'area in oggetto è prevalentemente correlata alla fascia deformativa del Fronte di Accavallamento del Basamento e deformazioni delle pieghe appenniniche che si estendono in direttrice ovest nord-ovest - est sud-est. Una sensibile influenza sulla sismicità nel territorio dell'alto e medio appennino modenese, è connessa all'attività sismogenetica della zona della Garfagnana nella quale si sono verificati epicentri sismici con $M > 5,5 - 6$.

Nel territorio di Pavullo la sismicità è principalmente connessa all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture superficiali nei primi 15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti

Gli ipocentri generati a media profondità (15 - 25 km) e profondi di (25 - ≥ 35 km) sono rappresentati in percentuale relativa decisamente inferiore rispetto i primi.

2.3 Pericolosità sismica di base

Allo stato attuale la normativa di riferimento in materia sismica risulta essere il D.M. 17 gennaio 2018 recante "norme tecniche per le costruzioni", entrata in vigore a partire dal 22 marzo 2018.

La classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna introdotta ai sensi del punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 maggio 2003, prevede che il territorio nazionale sia suddiviso in quattro zone sismiche, caratterizzate da quattro diversi valori di accelerazione (a_g).

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone" all'allegato 1.A" sono individuate quattro zone sismiche orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima al suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s secondo lo schema seguente. I valori di accelerazione delle quattro zone sismiche sono maggiormente specificati rispetto all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 secondo la schema di seguito proposto (tabella 2.1):

Tabella 2.1: Valori di accelerazione al suolo a_g

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g) - OPCM 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g) - OPCM 3274
1	$0.25 < a_g \leq 0.35 g$	$0.35 g$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 g$	$0.25 g$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 g$	$0.15 g$
4	$\leq 0.05 g$	$0.05 g$

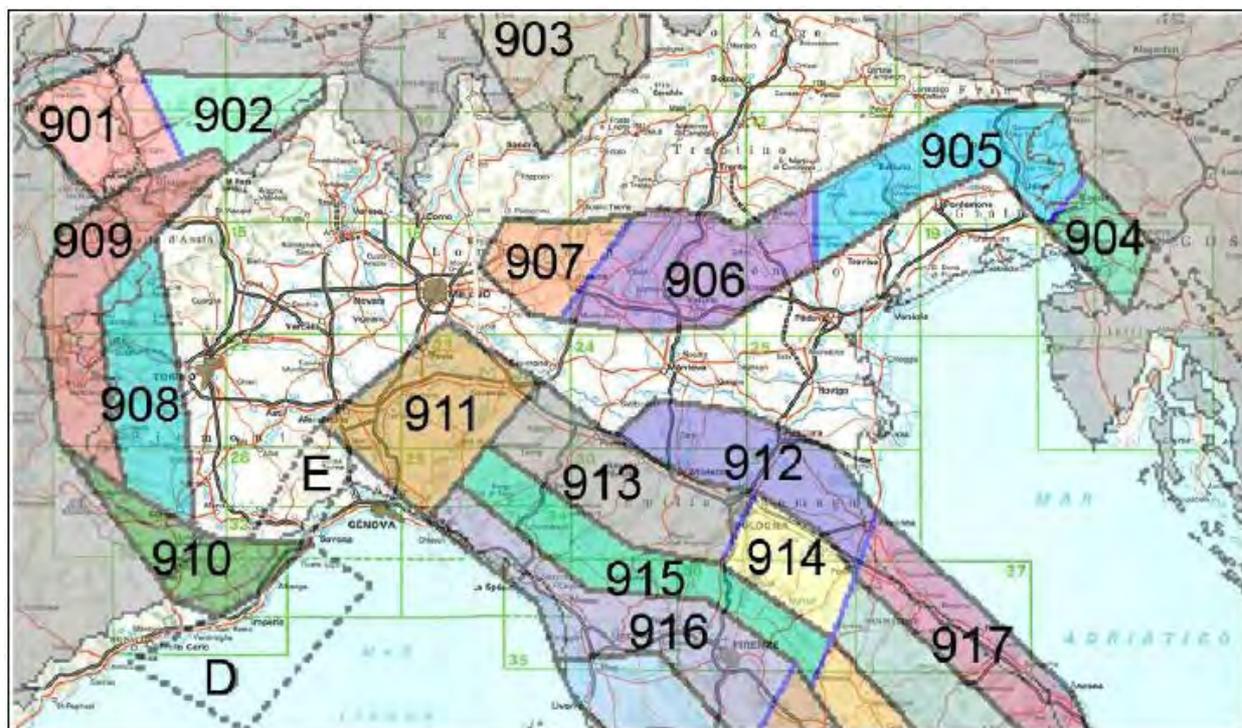
Di seguito si riportano le classificazioni della sismicità del comune interessato dagli interventi in base alle vecchie normative e ovviamente anche in base alla nuova e vigente classificazione proposta dall'OPCM 3274/2003 e s.m.i (tabella 2.2).

Tabella 2.2: Classificazione della sismicità del comune e valore dell'accelerazione al suolo a_g

Comune	Classificazione sismica (Decreti fino al 1984)	Classificazione sismica OPCM 3274/2003	a_g
Pavullo n/F	n.c.	3	0.15 g

I parametri di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, a_g , relativi all'area di pertinenza del settore di territorio in esame, in base alla griglia dell'NTC 14/01/2008, sono congruenti con quelli delle classificazioni sopra esposte.

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgenti a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da INGV, attribuisce il territorio in oggetto alla zona sismogenetica 913 (Meletti e Valensise, 2004) <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>.



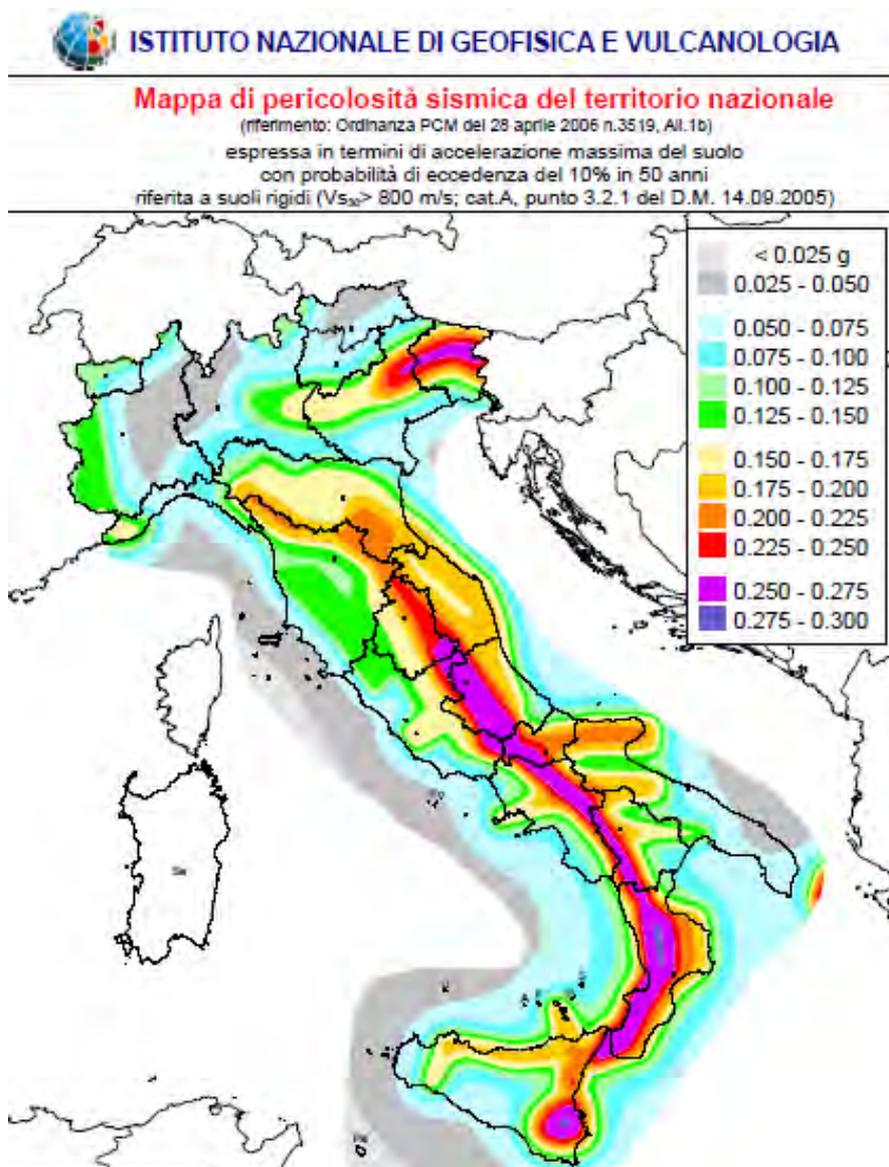
Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

Una stima della pericolosità sismica dell'area è data dalla mappa redatta dall'INGV nel 2006 (OPCM3519/2006), disponibile nel sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

I valori di a_g , attribuiscono, alle fasce territoriali a cui appartiene il territorio di Pavullo, valori dell'accelerazione di picco a_g attesa su suolo di riferimento (categoria di suolo A delle NTC 2008) per un periodo di ritorno di 475 anni (parametro ritenuto indicativo e di riferimento per la pericolosità sismica a scala nazionale) compresi tra:

$$a_g = 0,150 \div 0,175 \text{ g}$$

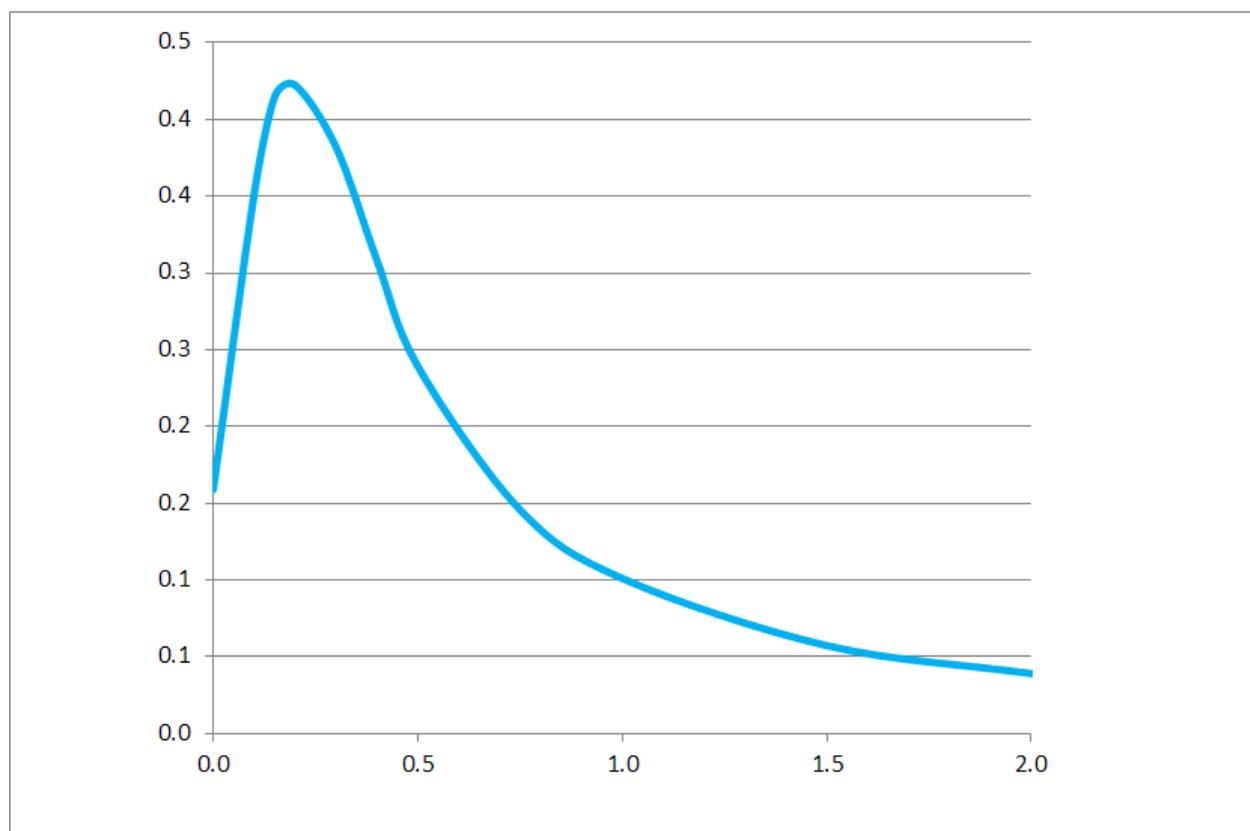
per un'eccedenza dell'evento del 10 % in 50 anni.



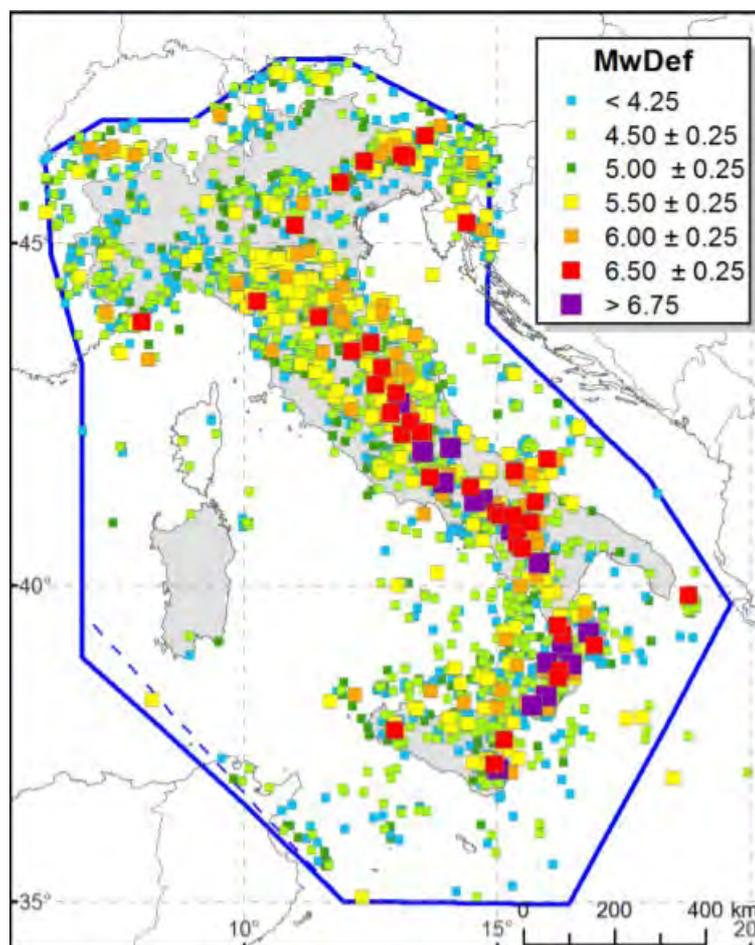
Il valore della a_g di riferimento riportato nell'allegato A4 della Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna n° 2193/2015, corrisponde, per il comune di Pavullo, a:

$a_{gref} = 0,159g$

Lo spettro di risposta di riferimento del bedrock sismico o suolo A nel comune di Pavullo (MO), che presenta il valore di a_g pari a 0,159g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, è visualizzato nella seguente figura.



Per quanto riguarda la sismicità storica del comune, il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani CPTI15 (A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Lolli e P. Gasperini (a cura di), 2016. CPTI15, la versione 2015 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>) documenta eventi massimi sismici all' 8° grado della Scala Mercalli - Cancani - Sieberg, con intensità compresa tra $M = 5,5 - 6$.



A tal proposito si riportano i dati storici del comune di Pavullo e dei comuni limitrofi. Nella tabella 2.3 sono riportati i dati storici del comune di Pavullo nel Frignano, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI1), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (luglio 2016) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

Pavullo nel Frignano



PlaceID IT_38865
 Coordinate (lat, lon) 44.334, 10.834
 Comune (ISTAT 2015) Pavullo nel Frignano
 Provincia Modena
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 52

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	📄 1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	📄 1892	05	17	03	08	1	Carpineti	28	5	4.28
F	📄 1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
F	📄 1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
3	📄 1896	07	08	01	51	2	Porretta Terme	17	5	4.37
NF	📄 1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
NF	📄 1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4	📄 1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
4	📄 1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
6	📄 1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
4-5	📄 1908	06	02	22	30		Frignano	18	4-5	4.50
NF	📄 1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
4	📄 1913	02	13	16	39		Corno alle Scale	26	5	4.18
5	📄 1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
3	📄 1915	10	10	23	10		Reggiano	30	6	4.87
3	📄 1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82
4	📄 1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
3	📄 1919	09	25	03	15		Frignano	7	4	3.70
6	📄 1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
2	📄 1922	08	02	21	13		Frignano	21	5	4.32
4	📄 1923	06	28	15	12		Modenese	22	6	5.04

4	🔗	1924 06 12 21 03 4	Frignano	25	5-6	4.46
2-3	🔗	1928 06 13 08	Carpi	35	6	4.67
3-4	🔗	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
2	🔗	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
2	🔗	1931 06 10 17 02	Modenese	14	4	4.59
3	🔗	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
7	🔗	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5.30
4	🔗	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4.96
3	🔗	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
NF	🔗	1956 04 26 03 00 0	Appennino bolognese	89	6	4.74
3	🔗	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4.73
3	🔗	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
4	🔗	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
4	🔗	1985 01 23 10 10 1	Garfagnana	73	6	4.60
NF	🔗	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	🔗	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
3-4	🔗	1988 02 08 11 24 4	Garfagnana	75	6	4.34
5	🔗	1988 02 08 13 36 4	Frignano	43	5	4.28
NF	🔗	1992 04 17 11 59 0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
4-5	🔗	1995 08 24 17 27 3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
1-2	🔗	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7	4.82
4	🔗	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	🔗	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4-5	🔗	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5	4.33
5-6	🔗	1999 07 07 17 16 1	Frignano	32	5	4.67
NF	🔗	2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
4	🔗	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5	4.22
3-4	🔗	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4	4.23
3-4	🔗	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30

NF		2002 06 19 22 11 1	Frignano	52	3 4.03
3		2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6 5.24

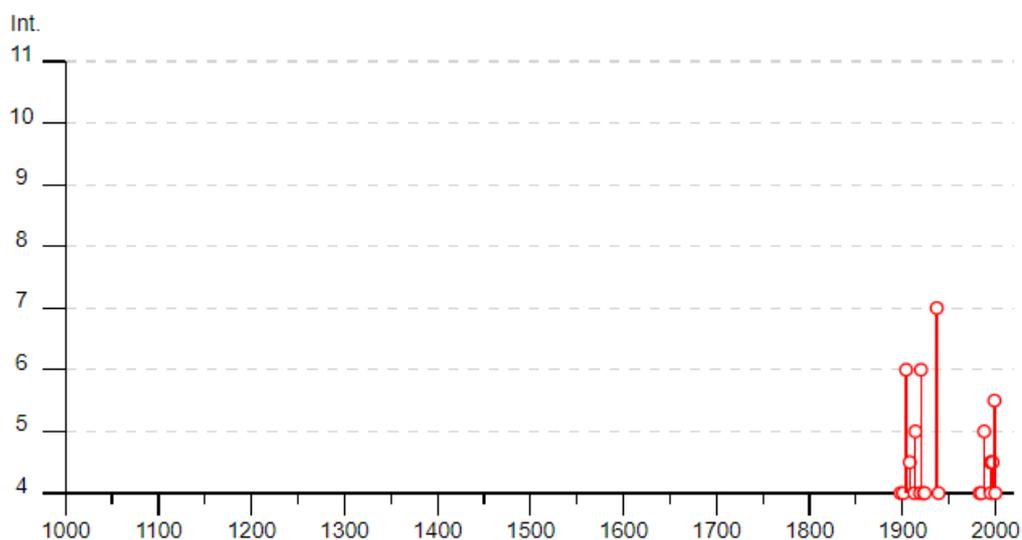


Tabella 2.3: Storia sismica del comune di Pavullo nel Frignano (MO).

Nella tabella 2.4 sono riportati i dati storici del comune di Serramazzoni, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI1), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (luglio 2016) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

Serramazzoni



PlaceID IT_39124
 Coordinate (lat, lon) 44.426, 10.789
 Comune (ISTAT 2015) Serramazzoni
 Provincia Modena
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 17

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	I _o	M _w
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
NF	1956	04	26	03	00	0	Appennino bolognese	89	6	4.74
3-4	1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73
3-4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
3	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
3	1995	08	24	17	27	3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
3	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
3-4	1999	07	07	17	16	1	Frignano	32	5	4.67
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
3-4	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
4	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
3-4	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30

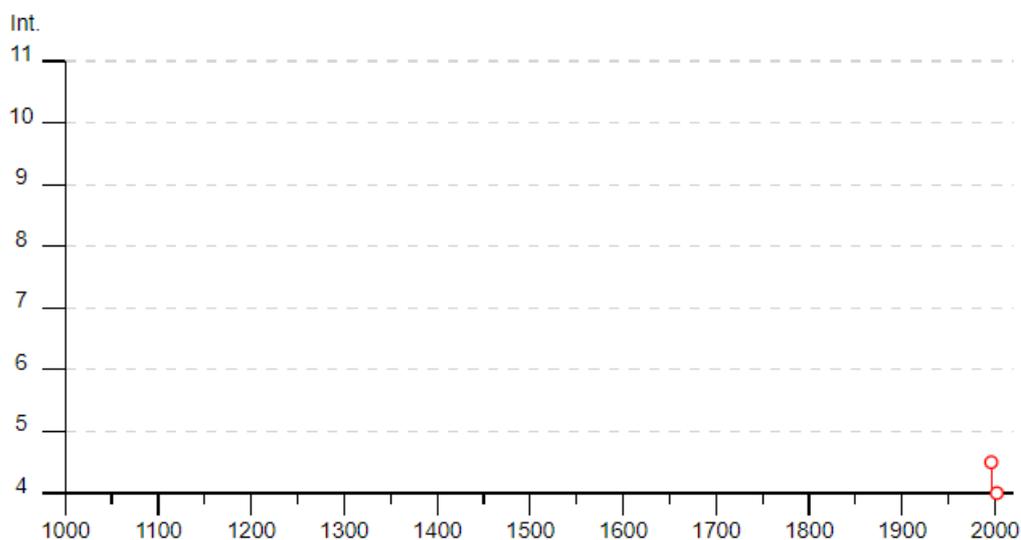


Tabella 2.4: Storia sismica del comune di Serramazzoni (MO).

Nella tabella 2.5 sono riportati i dati storici del comune di Lama Mocogno, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI1), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (luglio 2016) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

Lama Mocogno (Lama)



PlaceID	IT_38447
Coordinate (lat, lon)	44.308, 10.731
Comune (ISTAT 2015)	Lama Mocogno
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	34

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	🔗	1887	02	23	05	21	5 Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	🔗	1892	05	17	03	08	1 Carpineti	28	5	4.28
NF	🔗	1896	12	08	17	06	4 Sestola	26	5	4.33
2	🔗	1897	09	06	03	10	4 Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
NF	🔗	1903	07	27	03	46	Lunigiana	79	7-8	5.19
4	🔗	1904	02	25	18	47	5 Reggiano	62	6	4.81
3	🔗	1904	11	17	05	02	Pistoiese	204	7	5.10
4	🔗	1908	06	02	22	30	Frignano	18	4-5	4.50
3	🔗	1909	03	18	02	51	Appennino reggiano	12	4-5	4.13
4	🔗	1913	02	13	16	39	Corno alle Scale	26	5	4.18
NF	🔗	1919	06	29	15	06	1 Mugello	565	10	6.38
8	🔗	1920	09	07	05	55	4 Garfagnana	750	10	6.53
3-4	🔗	1922	08	02	21	13	Frignano	21	5	4.32
3	🔗	1923	06	28	15	12	Modenese	22	6	5.04
4	🔗	1924	06	12	21	03	4 Frignano	25	5-6	4.46
2	🔗	1925	07	20	15	03	3 Garfagnana	7	4-5	3.95
3	🔗	1927	11	20	10	24	1 Appennino reggiano	16	5	4.29
5	🔗	1930	05	24	22	02	Appennino tosco-emiliano	43	5	4.91
2	🔗	1930	10	26	07	14	Appennino tosco-emiliano	14	4	4.21
NF	🔗	1980	11	23	18	34	5 Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	🔗	1985	01	23	10	10	1 Garfagnana	73	6	4.60

NF	🔗	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4	🔗	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
3	🔗	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
3-4	🔗	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
5	🔗	1988	02	08	13	36	4	Frignano	43	5	4.28
4-5	🔗	1995	08	24	17	27	3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
3-4	🔗	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3-4	🔗	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	🔗	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
3-4	🔗	1999	07	07	17	16	1	Frignano	32	5	4.67
NF	🔗	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
4-5	🔗	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
3-4	🔗	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
4	🔗	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
4-5	🔗	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

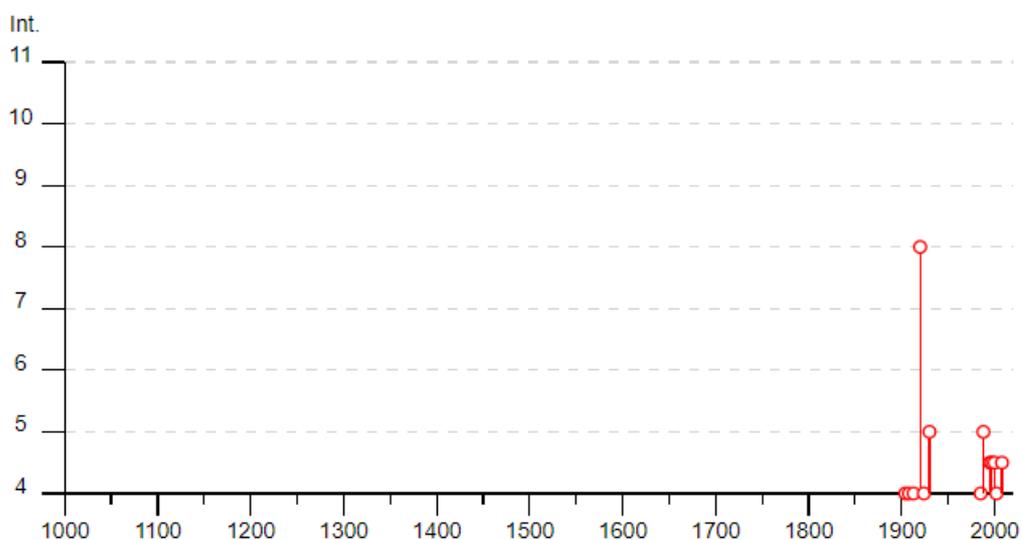


Tabella 2.5: Storia sismica del comune di Lama Mocogno (MO).

Nella tabella 2.6 sono riportati i dati storici del comune di Sestola, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI1), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (luglio 2016) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

Sestola



PlaceID	IT_39139
Coordinate (lat, lon)	44.229, 10.771
Comune (ISTAT 2015)	Sestola
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	48

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
F	1892	05	17	03	08	1	Carpineti	28	5	4.28
5-6	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
3	1896	07	08	01	51	2	Porretta Terme	17	5	4.37
5-6	1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
4	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3-4	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
NF	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
5	1902	08	04	22	36	1	Lunigiana	60	6	4.78
2-3	1902	12	04	16	35	0	Lunigiana	36	5	4.35
3	1903	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
F	1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
3	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
4	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
4	1908	06	02	22	30		Frignano	18	4-5	4.50
4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
4	1909	03	18	02	51		Appennino reggiano	12	4-5	4.13
4	1913	02	13	16	39		Corno alle Scale	26	5	4.18
5-6	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63

5-6	🔗	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
3	🔗	1916 07 27 18 38	Garfagnana	22	5-6	4.56
4	🔗	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10	6.38
4	🔗	1919 09 25 03 15	Frignano	7	4	3.70
6-7	🔗	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10	6.53
3	🔗	1922 08 02 21 13	Frignano	21	5	4.32
2	🔗	1923 06 28 15 12	Modenese	22	6	5.04
5	🔗	1924 06 12 21 03 4	Frignano	25	5-6	4.46
2	🔗	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4.73
3	🔗	1965 05 10 05 01 5	Appennino reggiano	11	4-5	4.29
3	🔗	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
NF	🔗	1971 09 11 23 18 1	Pianura emiliana	15	5	4.19
3	🔗	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
4	🔗	1985 01 23 10 10 1	Garfagnana	73	6	4.60
3	🔗	1986 10 01 19 53 3	Lunigiana	68	5	4.46
NF	🔗	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
4	🔗	1988 02 08 11 24 4	Garfagnana	75	6	4.34
4	🔗	1988 02 08 13 36 4	Frignano	43	5	4.28
4-5	🔗	1995 08 24 17 27 3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
3-4	🔗	1995 10 10 06 54 2	Lunigiana	341	7	4.82
4	🔗	1995 12 31 21 29 4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	🔗	1997 12 24 17 53 1	Garfagnana	98	5	4.33
3-4	🔗	1999 07 07 17 16 1	Frignano	32	5	4.67
5	🔗	2000 10 03 01 12 3	Frignano	62	5	4.22
3	🔗	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4	4.23
3-4	🔗	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30
NF	🔗	2002 06 19 22 11 1	Frignano	52	3	4.03
3-4	🔗	2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6	5.24

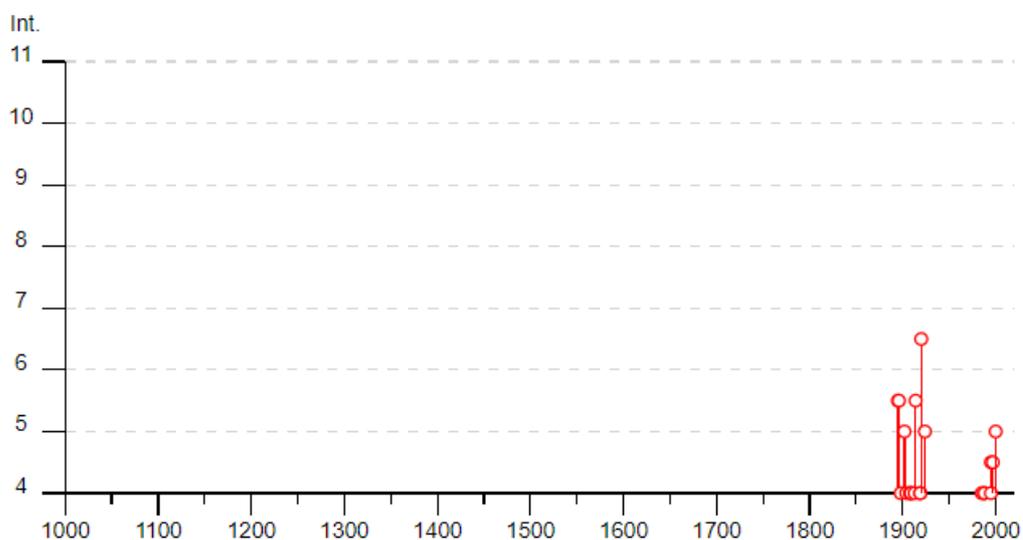


Tabella 2.6: Storia sismica del comune di Sestola (MO).

Nella tabella 2.7 sono riportati i dati storici del comune di Montese definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI1), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (luglio 2016) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>

Montese



PlaceID IT_38738
 Coordinate (lat, lon) 44.270, 10.944
 Comune (ISTAT 2015) Montese
 Provincia Modena
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 34

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	🔗 1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4	🔗 1889	03	08	02	57	0	Bolognese	38	5	4.53
3	🔗 1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50
4	🔗 1896	07	08	01	51	2	Porretta Terme	17	5	4.37
5	🔗 1896	12	08	17	06	4	Sestola	26	5	4.33
4	🔗 1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
3-4	🔗 1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
4	🔗 1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
4	🔗 1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
F	🔗 1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
4-5	🔗 1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10
4-5	🔗 1908	06	02	22	30		Frignano	18	4-5	4.50
4	🔗 1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	🔗 1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
6	🔗 1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3	🔗 1922	08	02	21	13		Frignano	21	5	4.32
2	🔗 1939	10	15	14	05		Garfagnana	62	6-7	4.96
2	🔗 1956	04	26	03	00	0	Appennino bolognese	89	6	4.74
2	🔗 1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7	4.99
2	🔗 1956	06	03	01	45	5	Appennino forlivese	62	6	4.51
5	🔗 1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73

F	🔗	1962	05	11	01	05	3	Appennino bolognese	15	5-6	4.69
2-3	🔗	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	🔗	1985	01	23	10	10	1	Garfagnana	73	6	4.60
4	🔗	1995	08	24	17	27	3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
NF	🔗	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3	🔗	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
5	🔗	1999	07	07	17	16	1	Frignano	32	5	4.67
NF	🔗	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	🔗	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
NF	🔗	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
3	🔗	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	🔗	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03
4	🔗	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24

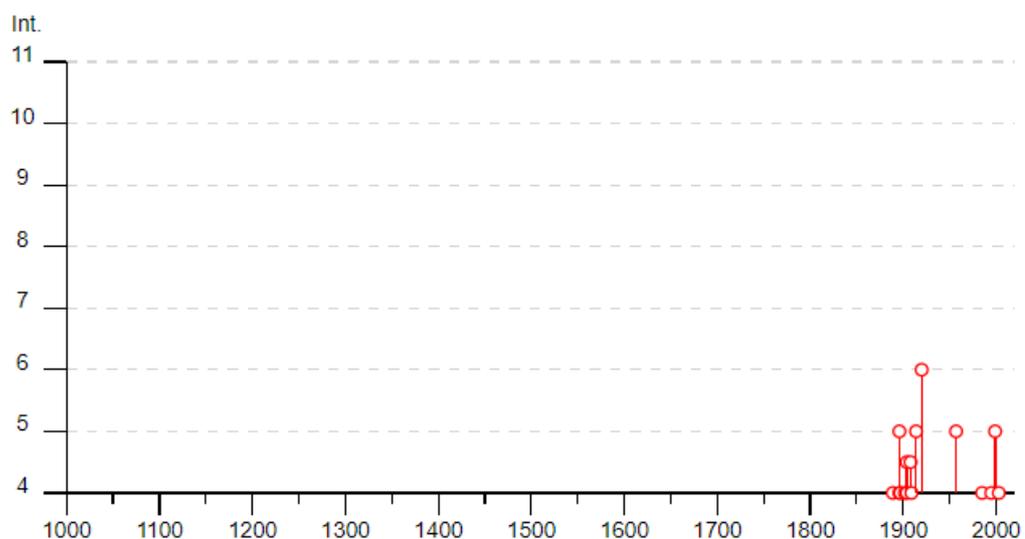


Tabella 2.7: Storia sismica del comune di Montese (MO).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

L'orogenesi appenninica si sviluppa a partire da processi che si svolgono dal Cretaceo superiore all'Attuale. In particolare le fasi tettoniche riconosciute sono: (Bettelli, Panini & Pizziolo, 2002):

- fase ligure: corrisponde alla chiusura dell'Oceano ligure; ha coinvolto i domini liguri interni ed esterni ed il dominio subligure a partire dal Cretaceo superiore sino all'Eocene medio, in seguito al quale inizia la sedimentazione epiligure dei bacini episuturali;
- fase subligure: dall'Oligocene superiore si assiste alla collisione delle zolle continentali europea e adriatica, con la messa in posto dei domini liguri e subliguri già tettonizzati e della successione epiligure, in fase di sedimentazione, sul dominio tosco-umbro-marchigiano.

L'assetto geologico, stratigrafico e strutturale del territorio comunale di Pavullo nel Frignano rientra nel più complessivo ambito del versante emiliano sud-orientale dell'Appennino settentrionale, facente parte dell'edificio a falde appenninico precedentemente descritto. Tale settore risulta contraddistinto da una spiccata complessità geologica, derivante soprattutto da estesi affioramenti di successioni a dominante argillosa ("argille scagliose" o "complesso caotico" dei vecchi Autori), costituenti l'originaria base stratigrafica dei flysch liguri cretacei ed olocenici, intensamente deformate dalla tettonica attiva (tettoniti).

L'intero territorio comunale appartiene al foglio 236 "PAVULLO NEL FRIGNANO" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Per le informazioni di seguito sinteticamente riportate si vedano soprattutto le note illustrative del foglio CARG 236 Pavullo nel Frignano (G. Bettelli et alii; 2002).

Il territorio è geologicamente attribuibile alle Unità Alloctone Liguridi Esterne (Bettelli et alii), contraddistinte dall'assenza di testimonianze del substrato oceanico sul quale si sono depositate e successivamente scollate durante la fase orogenica appenninica.

Isolate testimonianze, incluse tettonicamente e per fenomeni sedimentari, del sopracitato substrato sono rappresentate da locali masse ofiolitiche, presenti nel settore meridionale del territorio.

I processi tettonici che hanno coinvolto l'appennino settentrionale hanno scomposto i vari domini paleogeografici impilando e giustappoando gli stessi in modo complesso, nel periodo che va dal Cretaceo all'attuale, sviluppandosi in due fasi. La prima di queste ha prodotto pieghe isoclinali compresse nelle liguridi interne, che sono state ulteriormente ripiegate nella seconda fase che ha ancor più raccorciato le preesistenti strutture. Le fasi liguridi hanno determinato la chiusura del preesistente oceano ligure e

con l'impilamento delle successioni dei Domini Liguri si sono generati vari bacini marini minori nei quali si sono depositate le successioni delle sequenze epiliguri.

Le formazioni liguri mostrano una deformazione interna molto maggiore rispetto quanto osservabile nelle litozone della sovrastante Successione Epiligure; in particolare la formazione delle Argille Varicolori risulta particolarmente deformata al punto che, probabilmente per il comportamento duttile dei litotipi argilloso - marnosi che la compongono, la stratificazione risulta quasi completamente cancellata.

Le strutture compressive e la superficie di sovrascorrimento della coltre alloctona, risultano dislocate da faglie disgiuntive subverticali con direzione sia appenninica che antiappenninica. L'età di queste strutture è dunque almeno successiva al Pliocene inferiore.

Tali strutture disgiuntive si presentano spesso come zone di intensa fatturazione, talora senza rigetti importanti alla scala cartografica. I rigetti riconoscibili lungo tali superfici presentano sia componente verticale che orizzontale.

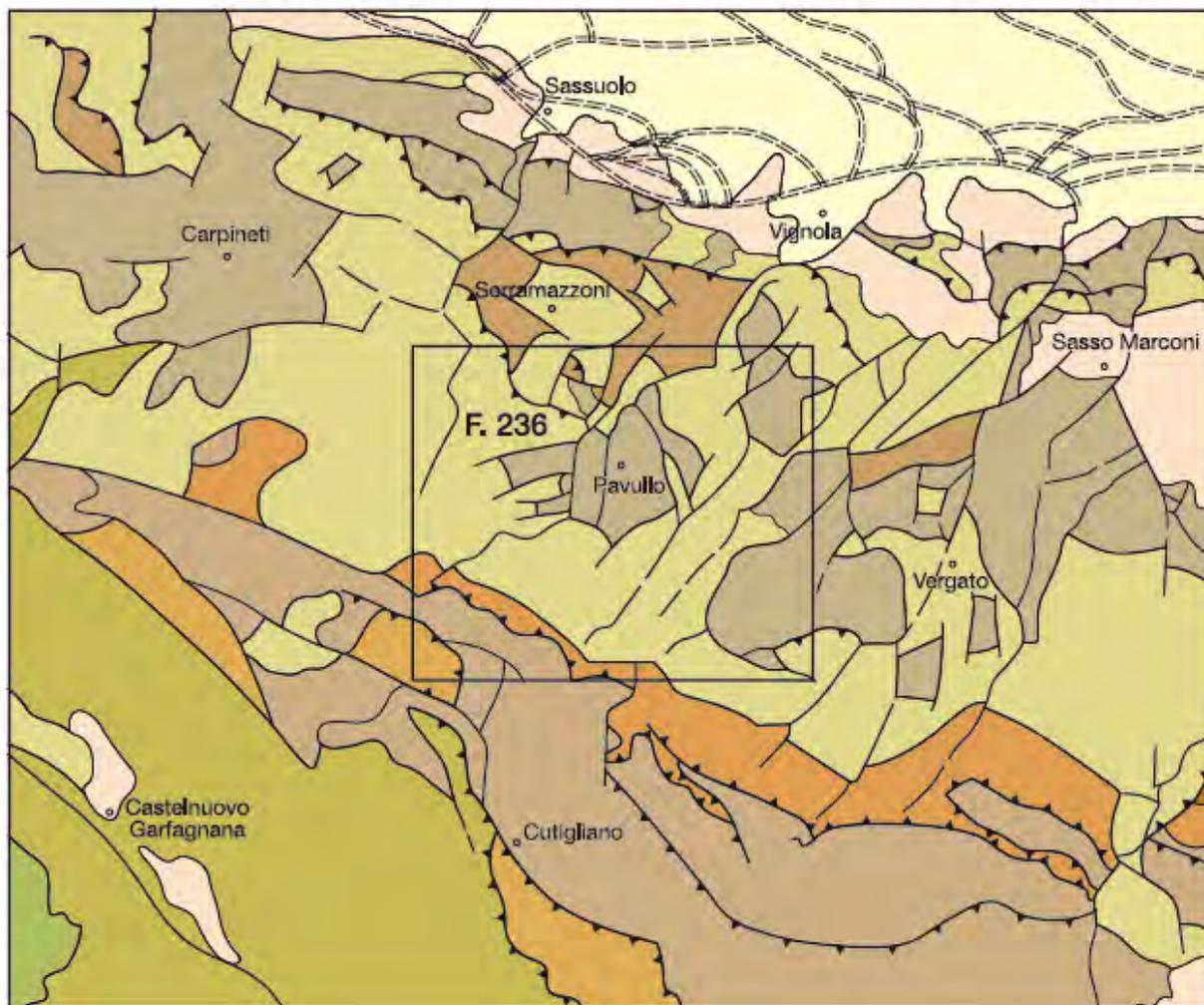
Queste strutture recenti hanno decisamente influenzato anche la geometria del reticolo idrografico.

In sintesi le unità litostratigrafiche che costituiscono la fascia del medio appennino modenese, al quale appartiene il territorio di comunale, sono attribuite, dall'alto in basso in senso stratigrafico, a:

- o Unità Quaternarie continentali;
- o Successione Epiligure;
- o Liguridi;
 - Successioni della Val Rossena e della Val Tresinaro;
 - Formazione Pre Flysch ad Elmintoidi;
- o SubLiguridi.

Quanto sopra descritto si può riscontrare nello schema geologico semplificato di cui sotto:

SCHEMA GEOLOGICO SEMPLIFICATO scala 1:800 000

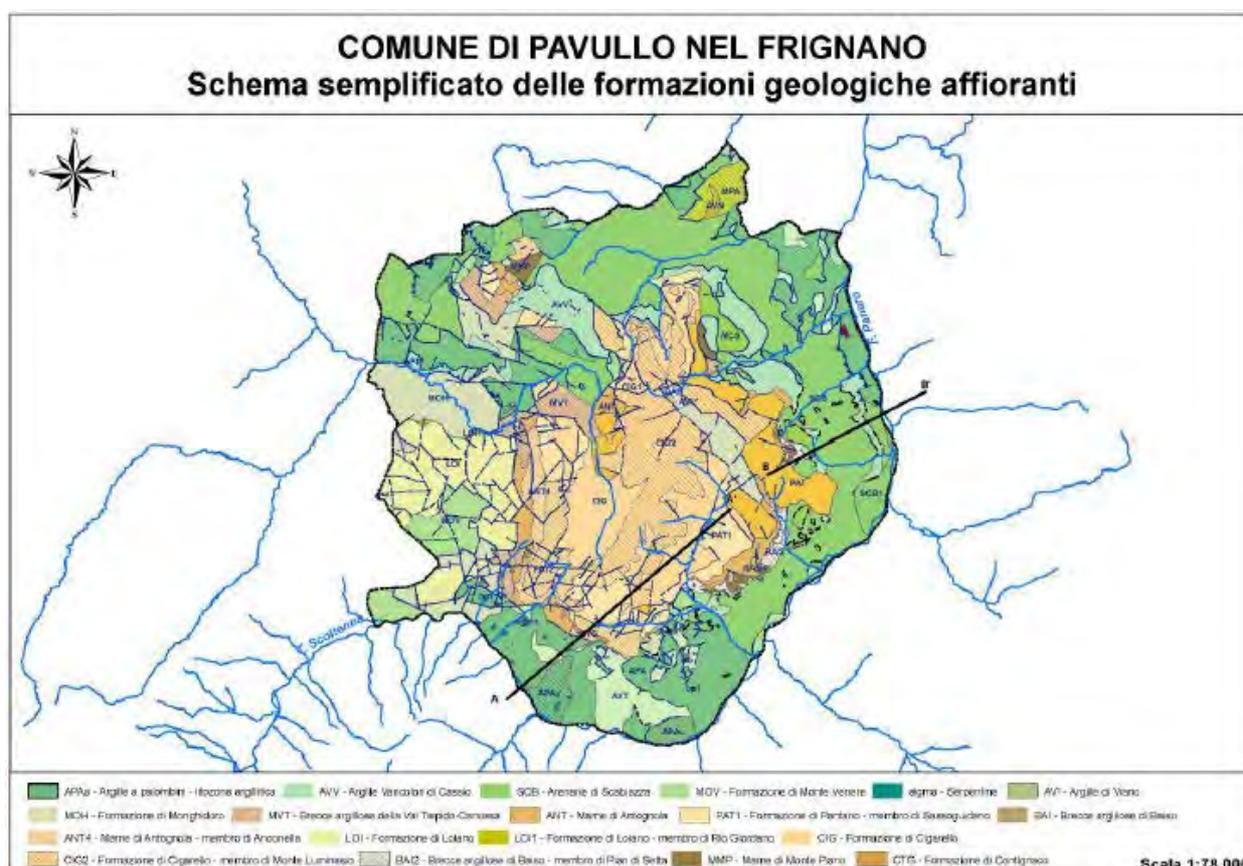


- | | | | |
|---|--|--|---------------------------------------|
|  | Depositi quaternari della pianura |  | Sotto-unità tettonica Modino |
|  | Depositi messiniani superiori e
plio-quaternari del margine padano
e del Mugello |  | Falda Toscana |
|  | Depositi epiliguridi |  | Unità toscane metamorfiche |
|  | Unità tettoniche Liguridi |  | Limiti stratigrafici |
|  | Unità tettonica di Coscogno
e Monte Staffola |  | Faglie dirette o trascorrenti |
|  | Melange di Firenzeuola
(Unità caotica B) |  | Faglie inverse o sovrascorrimenti |
|  | Sotto-unità tettonica Sestola-Vidiciatico |  | Principali fronti compressivi sepolti |
|  | Sotto-unità tettonica Pievepelago-Cervarola | | |

Le formazioni affioranti, riportate nella carta geologica semplificata del comune di Pavullo, appartengono al Dominio palogeografico Ligure (le formazioni rappresentate in carta con tonalità di verde) ed alla Successione Epiligure (formazioni rappresentate in carta con tonalità di marrone).

Le litologie della Successione Epiligure sono rappresentate da arenarie, areniti, marne e marne argilloso-siltose, breccie poligeniche e peliti arenacee.

Le formazioni appartenenti al Dominio Ligure vengono suddivise in due tipologie distinte: le formazioni flyschoidi, rappresentate prevalentemente da litologie calcareo-marnose ed arenaceo-argillose, e le formazioni pre-flysch, rappresentate essenzialmente da litologie a dominante argillosa.



La serie litostratigrafica delle successioni locali è riferita a quella adottata dal progetto CARG., Carta Geologica Regione Emilia Romagna. La descrizione dei tipi litologici delle successioni presenti nel territorio sono schematicamente di seguito descritte relativamente alle caratteristiche litotecniche salienti, riportate nella legenda della tav. 8.2: “Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica”.

Si riportano di seguito la descrizione delle unità litostratigrafiche:

UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI

SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES8) (Olocene età radiometrica della base: 14.000-11.000 anni)

Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali.

AES8a - UNITA' DI MODENA (Post-VI secolo dC.)

Depositi ghiaiosi sabbiosi medio fini – limoso sabbiosi; corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive.

Nel territorio comunale la presenza delle unità quaternarie continentali è limitata lungo i principali corsi d'acqua.

SUCCESSIONE EPILIGURE

FORMAZIONE DI CIGARELLO (CIG) (Langhiano p.p. - Serravalliano)

Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con A/P < 1 o litofacies marnose franche;

- MEMBRO DI MONTE LUMINASIO (CIG₂) (Langhiano - Serravalliano sup.)

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati da sottili a molto spessi, prevalentemente tabulari. Rapporto A/P >1. Intercalazioni metriche e decametriche di peliti sabbiose;

- MEMBRO DI MONTALTO NUOVO (CIG₁) (Langhiano inf.)

Alternanze di arenarie finissime bioturbate e siltite o peliti marnoso-sabbiose in strati da sottilissimi a medi; verso l'alto arenarie bioturbate in strati metrici e peliti marnose.

FORMAZIONE DI PANTANO (PAT) (Burdigaliano sup.-Langhiano inf.)

Arenite siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione. Il limite inferiore è netto, discordante, su CTG e su ANT. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. La potenza è fino a circa 500 m;

- MEMBRO DI MONTECUCCOLO (PAT₂) (Burdigaliano sup - Langhiano inf)

Biocalcareni ed areniti ibride giallastre da fini a grossolane, localmente microconglomeratiche, con stratificazione prevalentemente obliqua a grande scala;

- MEMBRO DI SASSOGUIDANO (PAT₁) (Miocene inf. - medio)

Areniti ibride prevalentemente finissime e fini, a luoghi bioturbate, con stratificazione da media a molto spessa, tabulare ed obliqua a piccola scala, a luoghi poco evidente.

FORMAZIONE DI CONTIGNACO (CTG) (Acquitano terminale – Burdigaliano p.p)

Torbiditi sottili ed emipelagiti marnose, spesso selciose, grigio biancastre; talora siltiti o arenarie fini o finissime risedimentate con patine superficiali nerastre. Marne carbonatiche e selciose, più o meno siltose, di colore grigio-verdognolo o grigio azzurro. Gli strati sono generalmente di spessore medio, spesso poco evidenti; sono presenti intervalli arenacei biancastri, gradati, da sottili a spessi, con base netta.

BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO - CANOSSA (MVT) (Acquitano)

Brecce argillose poligeniche a matrice argillosa prevalentemente grigia, costituita in gran parte da clasti millimetrici di marne e peliti, recanti clasti litoidi angolari appartenenti alle Argille a Palombini (APA), alle Arenarie di Scabiazza (SCB) e a sporadiche ofioliti.

FORMAZIONE DI ANTOGNOLA (ANT) (Rupeliano Terminale - Acquitano)

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. Stratificazione da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione.

- MEMBRO DI ANCONELLA (ANT₄) (Chattiano)

Torbiditi arenaceo-pelitiche, in strati da medi a molto spessi; arenarie quarzoso feldspatiche, di colore grigio chiaro alterate in giallastro; subordinate marne argillose grigie, grigio verdi, grigio scuro o nerastre.

FORMAZIONE DI RANZANO (RAN) (Rupeliano)

Unità litologicamente eterogenea a dominante arenacea suddivisa in membri sulla base del rapporto A/P.

- MEMBRO DI ALBERGANA (RAN₄) (Rupeliano)

Torbiditi pelitico-arenacee in strati generalmente da molto sottili a medi costituiti da feldspatoareniti fini passanti a peliti grigio scure. Localmente strati molto sottili di vulcanoclastiti andesitiche. Rapporto A/P << 1. A luoghi strati da sottili a spessi di arenarie litiche e di conglomerati fini. Verso l'alto prevalenza di peliti marnose grigio verdastre, scure

MARNE DI MONTEPIANO (MMP) (Luteziano Sup - Praboniano p.p.)

Argille, argille marnose e marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di feldspatoareniti risedimentate biancastre, siltiti nerastre e calcari marnosi grigio-verdi od ocra.

FORMAZIONE DI LOIANO (LOI) (Luteziano Sup - Bartoniano)

Arenarie arcosiche, da fini a molto grossolane, a luoghi microconglomeratiche, in genere scarsamente cementate, con subordinati conglomerati, in strati medi e banchi frequentemente amalgamati, di colore biancastro o grigio chiaro (marrone chiaro se alterate); A/P sempre > 1.

- MEMBRO DI RIO GIORDANO (LOI1) (Luteziano sup - Bartoniano)

Argille marnoso-siltose verdastre, grigio scure o localmente rossastre a stratificazione indistinta con sottili intercalazioni di arenarie fini grigio-marroni. Il rapporto A/P è generalmente << 1.

BRECCHE ARGILLOSE DI BAISO (BAI) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce sedimentarie poligeniche a prevalente matrice argillosa con clasti eterometrici ed eterogenei costituiti da litotipi appartenenti a varie unità liguri. A seconda della litologia prevalente la formazione è stata interamente suddivisa in alcuni membri che affiorano in areali distinti e senza legami di carattere stratigrafico reciproci

- MEMBRO DI PIAN DI SETTA (BAI2) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigia con prevalenti clasti eterometrici di calcilutiti grigio chiare, arenarie fini e argille. Materiale in prevalenza proveniente da APA, AVT, AVV e SCB.

MEMBRO DELLA VAL FOSSA (BAI1) (Luteziano sup. - Bartoniano)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigio scura e nerastra con clasti eterometrici (in genere di piccole dimensioni) di peliti, calcilutiti e arenarie; materiali provenienti prevalentemente da AVV, SCB e AVS.

LIGURIDI

Flysch e formazioni post-Flysch

ARGILLE DI VIANO (AVI) (Paleocene inf. - Eocene medio)

Argille siltose grigie, nerastre o rossastre in strati sottili o medi. Subordinate arenarie fini in strati sottili; rare calcilutiti marnose biancastre in strati medi e calcareniti marnose in strati da medi a spessi.

FLYSCH DI MONTE CASSIO (MCS) (Campaniano sup. - Maastrichtiano sup.)

Torbiditi a base calcarenitica fine e media passante a marne calcaree, in strati da spessi a molto spessi, grigio-biancastre alternate a pacchi di strati torbiditici arenaceo-pelitici da sottili a spessi, grigiastri.

FORMAZIONE DI MONGHIDORO (MOH) (Maastrichtiano sup. - Paleocene sup.)

Torbiditi arenaceo-pelitici in strati spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P generalmente intorno a 2/1 cui si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P circa 1/2.

FORMAZIONE DI MONTE VENERE (MOV) (Campaniano su. - Maastrichtiano sup.)

Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto A/P >1, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi.

Formazioni pre-Flysch

ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV) (Cenomaniano sup. - Campaniano sup.?)

Argilliti scure, rossastre o rosate, verdi e nerastre, con stratificazione (quando preservata) da molto sottile a sottile, in cui si intercalano livelli sottili di torbiditi arenaceo-pelitici grigie, calcilutiti silicee grigiastre o verdognole gradate in strati da medi a spessi e calcilutiti marnose spesse grigio chiaro,

ARGILLE VARIEGATE DI GRIZZANA MORANDI (AVT) (Cenomaniano sup.? -Santoniano sup.?)

Argilliti e argille rosso violacee, verdastre, grigio-scure e grigio azzurrognole, con subordinate siltite grigio-scure o nere manganesifere, in strati sottili o molto sottili e calcilutiti grigio-verdi in strati sottili e medi.

ARENARIE DEL POGGIO MEZZATURE (APM) (Santoniano sup. - Campaniano inf.)

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a molto spessi costituiti di arenarie grigio-verdastre medie o grossolane, a luoghi microconglomeratiche, passanti ad arenarie fini e ad argille grigio-verdi. Rapporto A/P >1.

ARGILLE A PALOMBINI (APA) (Barremiano A: Turoniano?)

Argilliti ed argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio-azzurrognole, fissili (nella pelite è spesso presente un clivaggio scaglioso a carattere pervasivo), alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi, biancastre in superficie alterata, talvolta con base arenitica da fine a grossolana, in strati da medi a spessi (molto spesso discontinui per motivi tettonici) e più rari calcari marnosi grigi e verdi in strati spessi. Rapporto Argilla/Calcarea quasi sempre >1.

All'interno della formazione sono talora presenti lembi di breccie poligeniche a elementi magmatici, calcarei e diasprigni: (**bp1**), basalti (**β**), serpentiniti (**Σ**), lembi di rocce granitoidi (**Gr**).

Litozona argillitica (APAA)

Argilliti grigie e a luoghi verdognole, con fissilità spesso molto evidente e in qualche caso silicizzate; sono alternate a calcilutiti grigie in strati medi e spessi con subordinati pacchi di strati sottili arenaceopelitici giallastri e nocciola, e rari calcari marnosi.

Litozona calcarea (APAc)

Caratterizzata da un rapporto C/A >1.

OFIOLITI

Basalti brecciati (**Bb**).

ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB) (Turoniano sup.? A: Campaniano inf.)

Torbiditi arenaceo-pelitiche con arenarie da molto sottili a medie, mal strutturate e poco cementate, talora gradate, con granulometria da fine a finissima, di colore grigio, grigio scure o grigio-verdastre (beige o rossastro se alterate) in strati molto sottili e sottili, e argille o argille marnose verdastre o grigio scuro molto sporche; rapporto A/P <1 o uguale a 1.

Membro del M. Mazzano (SCB1) (Coniaciano-Santoniano p.p.)

Torbiditi arenitico-marnose in strati da medi a molto spessi a geometria tabulare costituiti da una base arenitica fine passante a marna grigio-verde e giallastra, localmente spessa. Subordinate torbiditi arenaceo-pelitiche tipo SCB.

SUBLIGURIDI

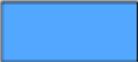
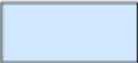
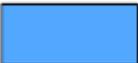
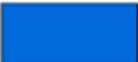
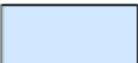
FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (MPA) (*Ypresiano - Luteziano*)

Torbiditi calcarenitico-marnose in strati da medi a molto spessi e in banchi. Base degli strati biocalcarenitica, da fine a grossolana, passante a marna calcarea biancastra o grigio verdognola.

ARGILLE E CALCARI DEL T. LAVINELLO (AVN) (*Campaniano sup.?-Ypresiano*)

Argilliti rosse, rosate e grigie, con intercalati spezzoni di strato (da sottilissimi a molto spessi) e di calcilutiti grigio chiare e verdastre e di calcareniti fini, biancastre e rosate o verdognole e marne grigio chiare.

Le Unità geologiche, sopra descritte, nella Carta geologica tecnica sono state raggruppate secondo la seguente legenda sotto riportata:

Substrato geologico rigido o non rigido		
	LP	Lapideo
	GR	Granulare cementato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	NR	Substrato geologico non rigido
	SF	Substrato geologico rigido molto fratturato
	LPS	Lapideo, stratificato
	GRS	Granulare cementato, stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
	NRS	Substrato geologico non rigido, stratificato

3.2 Inquadramento geomorfologico

Il presente capitolo descrive i caratteri geomorfologici del comune di Pavullo, con particolare attenzione alle forme e ai processi che possono determinare fenomeni di instabilità e pericolosità del territorio.

La geomorfologia dell'area in oggetto è condizionata dalle unità stratigrafico deposizionali affioranti; in particolare, come messo in evidenza nel paragrafo relativo alla geologia, il territorio è caratterizzato dalla presenza, nella parte centrale, di unità litologiche prevalentemente calcareo-arenacee marnose, a prevalente componente litoide, poggianti su unità a componente prevalentemente argillosa, quindi facilmente degradabili, affioranti nell'intorno.

a. Morfologia delle aree a prevalenza calcareo-arenacea

Questa porzione centrale del territorio comunale, come precedentemente indicato, è caratterizzata da affioramenti di unità litotecniche a principale componente litoide.

La morfologia di quest'area è caratterizzata da forme e processi peculiari, quali accentuata acclività dei versanti, ripidi crinali, orli di scarpata. Questi ultimi sono suddivisi, in orli aventi scarpate comprese tra 10 e 20 m e maggiori di 20 m. In particolare, gli orli più significativi sono presenti nell'area centro orientale del territorio, compresa tra Gaiato, Sassoguidano, Verica, Iddiano e Benedello, e risultano scolpite entro la formazione di Pantano. Gli orli summenzionati sono identificabili come forme strutturali, poligeniche, modellate a partire dal Pleistocene medio, ad opera di processi di degradazione selettiva legate all'erosione fluviale dello Scoltenna-Panaro (in passato ubicato in posizione più occidentale, nei pressi della Conca di Pavullo). Negli affioramenti costituiti da alternanze di litotipi competenti e marnoso-pelitici, è possibile osservare, a volte, esempi significativi di morfoselezione, cioè del fenomeno per cui gli agenti di degradazione di un corpo roccioso intervengono in modo più o meno spinto su differenti tipi litologici. I fenomeni di dissesto originatisi entro le unità maggiormente competenti, sul territorio comunale, possono essere:

- Frane per crollo e scivolamento di blocchi: come facilmente intuibile, questo fenomeno determina la caduta libera, il movimento per salti e balzi ed il rotolamento di frammenti di roccia staccatisi dai versanti; sul territorio sono presenti alcuni esempi di frane di questo tipo, ad ovest di Sassomassiccio e ad est di Iddiano;
- Frane per Espansione Laterale: si tratta di movimenti laterali di masse rocciose fratturate; se ne riconosce un importante esempio presso l'abitato di Verica.

All'interno di queste litologie sono presenti, anche se in maniera piuttosto ridotta, fenomeni carsici. In particolar modo l'elemento geomorfologico maggiormente visibile, legato a fenomeni carsici, sono le numerose doline presenti lungo la fascia che da Sassoguidano si spinge fino a Verica. La dolina è costituita da una cavità a forma più o meno circolare, con uno o più punti di assorbimento idrico sul fondo (inghiottitoi). Questa forma peculiare prende origine dalla soluzione di carbonati, effettuata dalle

acque di circolazione superficiale, in movimento circolare oppure per crollo di una cavità sotterranea. Spesso tale fenomeno si imposta lungo fratture o contatti di origine tettonica, come, ad esempio, le tre doline di Verica, impostate su allineamenti tettonici aventi direzione SO-NE.

Altre forme tipiche legate alla dissoluzione dei carbonati sono le numerose grotte presenti nel territorio comunale, soprattutto nei pressi di Benedello, Iddiano, Sassomassiccio e Gaiato. Anche in questo caso, tali forme carsiche sono impostate entro le rocce calcareo-arenacee del gruppo del Pantano e Cigarellino, in corrispondenza di fratture tettoniche; queste ultime hanno favorito le infiltrazioni di acque di circolazione e i conseguenti fenomeni di dissoluzione.

b. Morfologia delle aree prevalentemente argillose

I litotipi argillosi sono tra le rocce fra le meno resistenti all'erosione e risultano pertanto particolarmente deboli in rapporto ai processi erosivi, soprattutto di tipo meccanico.

Il substrato così definito, per l'area in esame, determina una morfologia prevalentemente poco acclive, con forme dolci e svasate, ad eccezione delle aree denudate dove possono impostarsi fenomeni di ruscellamento, soliflusso e frane per colata, scivolamento o dovute alla combinazione di queste ultime due.

In particolare la granulometria fine, l'assenza di cementazione, la scarsa o nulla impermeabilità alle acque superficiali, la saturazione facilitano l'instaurarsi di forme e fenomeni tipici, quali

- ruscellamento diffuso ed erosione laminare;
- ruscellamento concentrato ed erosione a rivoli: tale processo deriva da un'evoluzione del ruscellamento diffuso;
- erosione a solchi e formazione di calanchi: il progressivo approfondirsi dei rivi summenzionati, con l'incremento dell'acqua, determina un ulteriore sviluppo dell'erosione concentrata.
- soliflusso: si tratta di un fenomeno di movimentazione lenta sui versanti, nel quale i terreni argillosi divengono plastici o quasi fluidi per imbibizione d'acqua ed il terreno può colare verso valle anche in versanti a scarsa acclività; la profondità del movimento è condizionata dalla profondità di imbibizione del terreno superficiale, ma generalmente non supera i 2 m;
- frane per scivolamento: si tratta di movimenti in massa che comportano uno spostamento per taglio lungo una o più superfici di scorrimento, oppure entro un livello sufficientemente sottile; i movimenti possono essere rotazionali o traslativi; è possibile individuare frane per scivolamento attive e quiescenti;
- frane per colata: il fenomeno è caratterizzato da movimenti di materiali sciolti entro la massa spostata, tali per cui la forma assunta dal materiale in movimento o la distribuzione apparente delle velocità e degli spostamenti è assimilabile a quelle dei fluidi viscosi; anche in questo caso si possono individuare frane attive e quiescenti;

- contropendenze: in terreni interessati da movimenti di massa, quali frane per colata e soliflusso, è possibile individuare dei tratti di versante in contropendenza e con avvallamenti, rispetto all'andamento generale. Questo si determina per l'accumulo gravitativo di materiali detritici, messi in posto per soliflusso e per frana;
- orli di scarpata di degradazione: in corrispondenza di fenomeni di frana è possibile individuare un orlo di scarpata, corrispondente alla scarpata principale presente in coronamento; spesso tali orli, soprattutto per frane quiescenti, risultano oblitterati dalla rivegetazione del versante, pertanto la loro individuazione è risultata spesso incerta.

c. Forme e processi dei corsi d'acqua

I corsi d'acqua presenti risultano prevalentemente impostati su dislocazioni di carattere tettonico, sia per quanto riguarda il corso d'acqua principale, il fiume Scoltenna-Panaro, sia per i corsi d'acqua minori (torrente Lerna, rio Tufo, ecc).

Tali elementi idrografici determinano processi di erosione lineare, soprattutto in occasione di eventi meteorici rilevanti. L'alveo dei corsi d'acqua appare spesso incassato entro vallecole a V, e possono determinare orli di scarpata fluviale, attuali o non attuali.

L'evolversi dei fenomeni di erosione fluviale determina l'approfondimento dell'alveo, con conseguente erosione dei versanti circostanti e la conseguente attivazione di fenomeni di degradazione gravitativa e di frana. Questo fenomeno è facilitato dal substrato presente: in presenza di rocce prevalentemente argilloso-marnose tali fenomeni risulteranno infatti più marcati.

Oltre agli orli di scarpata fluviale, le forme più tipicamente legate alla presenza di un corso d'acqua sono rappresentate dai terrazzi fluviali. In particolare sono stati individuati tre ordini di terrazzi in adiacenza al Fiume Panaro.

Detti depositi sono organizzati in cicli sedimentari costituiti da ghiaie sabbiose alla base che passano a sabbie limose e quindi a limi sabbiosi verso l'alto. Tali corpi sedimentari occupano in genere i fondovalle e la parte inferiore dei versanti dove costituiscono terrazzi elevati di 5 ÷ 10 m rispetto all'alveo attuale nelle fasce prossime agli assi idrici superficiali.

I depositi terrazzati in narrativa sono riferibili al sistema AES8, unità AES8a, di età Romana - Attuale. Non sono stati riconosciuti depositi alluvionali più antichi. La causa di ciò è probabilmente correlata all'elevato grado di erodibilità del substrato, dovuta alla natura prevalentemente argilloso-marnosa e all'intensa fatturazione, che ha impedito la conservazione dei terrazzi più antichi di solito a quote maggiori.

Si segnalano, infine, alcune conoidi torrentizie attribuibili ai corsi d'acqua minori, come ad esempio alla confluenza tra il torrente Lerna ed il fiume Panaro e nella piana di Pavullo.

Tutte le forme geomorfologiche sono state riportate nella tavola 8.2: "Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica".

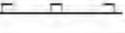
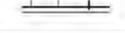
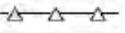
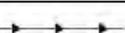
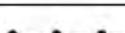
Le forme geomorfologiche sono state raggruppate in due macro categorie di cui si riporta sotto le legende e nello specifico sono:

- Forme di instabilità di versante
- Forme di superficie e sepolte

Figura 1.1.2-5 Legenda della Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica: instabilità di versante

Instabilità di versante	1 - crollo o ribaltamento	2 - scorrimento	3 - colata	4 - complessa	5 - non definito
1 - attiva					
2 - quiescente					
3 - inattiva					
4 - non definita					

Figura 1.1.2-7 **Legenda della Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica: forme di superficie e sepolte**

Forme di superficie e sepolte	
	Conoide alluvionale.
	Falda detritica.
	Area con cavità sepolte.
	Orlo di scarpata morfologica (10-20m)
	Orlo di scarpata morfologica (>20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
	Orlo di terrazzo fluviale (>20m)
	Cresta
	Scarpata sepolta
	Valle sepolta stretta ($C \geq 0.25$)*
	Valle sepolta larga ($C < 0.25$)*
	Picco isolato
	Cavità isolata o <i>sinkhole</i>

* $C = H/L$ con H profondità della valle e L semilarghezza della stessa

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Dati Geotecnici

Per quanto riguarda le indagini eseguite per la microzonazione di III livello si fa presente che si è tenuto conto della banca dati realizzata per il I e II livello di microzonazione che consisteva di:

- 14 sondaggi stratigrafici meccanici a carotaggio continuo;
- 31 prove penetrometriche statiche meccaniche CPT;
- 32 prove penetrometriche dinamiche leggere (DPL);
- 133 prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti (DPH e DPSH - SCPT);

Oltre alle indagini in sito sono state raccolte, dove presenti, le indagini di laboratorio prelevate dai campioni ottenuti dai sondaggi stratigrafici.

In sintesi tra le prove esistenti di laboratorio sono stati selezionate complessivamente:

- 8 Prove di classificazione chimico-fisica dei materiali;
- 10 Prove di Taglio diretto (TD - CD) per valutare i parametri di resistenza al taglio dei materiali;
- 6 prove Edometriche (EDO) per valutare i parametri di deformabilità dei materiali;
- 1 prove di espansione laterale libera (ELL).

Tali indagini sono state opportunamente integrate con indagini e prove di laboratorio realizzate ad hoc per lo studio di microzonazione di III livello suddivise nelle aree di studio di Pavullo capoluogo e nella frazione di Sant'Antonio. Si riporta nella tabella sottostante l'elenco delle indagini geognostiche eseguite:

Abitato	Sondaggi geognostici	CPTU
Capoluogo	1	1
Sant'Antonio	1	1

Oltre a tali indagini si è provveduto a raccogliere n.6 campioni dai fori di sondaggio su cui sono state realizzate le seguenti indagini di laboratorio sintetizzate nella tabella sottostante.

Abitato	N. campioni	Granulometrie	Limiti Atterberg	Prove Colonna risonante
Capoluogo	3	3	3	3
Sant'Antonio	3	3	3	3

Si riporta di seguito una descrizione delle nuove indagini geognostiche e di laboratorio eseguite:

4.1.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

La campagna d'indagine è stata eseguita da parte della ditta Sogeo s.r.l. di Lugo con la realizzazione di due sondaggi verticali a carotaggio continuo (uno nel capoluogo e uno a Sant'Antonio) entrambi spinti a una profondità di 40,0 metri dal piano campagna.

I sondaggi sono stati attrezzati con un tubo in PVC opportunamente cementato per l'esecuzione della prova down-hole.

Nell'indagine è stata utilizzata una sonda a rotazione impiegando per la perforazione sia dei carotieri semplici che doppi per le frazioni litoidi più importanti. Nel corso delle operazioni di perforazione sono stati prelevati un totale di n. 6 campioni indisturbati. Le stratigrafie di dettaglio sono riportate in allegato.

Nei certificati delle stratigrafie allegate sono riportate:

- descrizione delle litologie riportata nella stratigrafia;
- descrizione del colore del terreno;
- descrizione dello stato di addensamento o del grado di consistenza;
- le quote di prelievo dei campioni indisturbati;
- la determinazione speditiva di campagna del valore di pocket penetrometer e vane test, espressi in daN/cm^2 ;
- il livello di falda misurato durante l'esecuzione della perforazione.
- fotografie delle carote depositate in cassetta.

4.1.2 Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (CPTU)

Sono state eseguite 2 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono. Le indagini sono state eseguite utilizzando un penetrometro Pagani TG-63 da 200 kn.

Ciascuna prova è consistita nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Nei diagrammi e nelle tabelle riportati in allegato sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- q_c (MPa) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kPa) = resistenza laterale (manicotto);
- U (kPa) = pressione dei pori (setto poroso);

Il rilievo e la memorizzazione dei dati di prova sono stati eseguiti mediante l'impiego di una punta digitale "MK" della Pagani Geotechnical Equipment, delle seguenti caratteristiche tecniche:

SPECIFICHE TECNICHE

Sensore	Fondo scala	Risoluzione	Precisione
QC	50 - 100 MPa	24 bit	0,005 MPa
FS	1600 kPa	24 bit	0,04 MPa
U2	2500 kPa	24 bit	0,04 MPa
TILT	0° - 20°	12 bit	0,5°

DIMENSIONI

Lunghezza	320 mm	Peso	1,8 kg
Diametro	35,8 mm	Angolo di apertura punta	60°
Sezione	10 cm ²	Superficie manicotto laterale	150 cm ²

4.1.3 Indagini di laboratorio

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati inviati al Laboratorio IsmGeo srl di Seriate (Bg) per le analisi geotecniche.

Per ogni campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg;

- Determinazione delle caratteristiche granulometriche;
- Determinazione del peso di volume;
- Determinazione dell'umidità naturale;
- Determinazione dell'indice dei vuoti;

Inoltre su tutti i campioni sono state eseguite prove in colonna risonante per la determinazione dei parametri G e D.

I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in allegato.

4.2 Dati Geofisici

Dal punto di vista geofisico sono state utilizzate le prove prese in considerazione per la microzonazione di I e II livello. Tali prove sono indagini geofisiche di superficie e quindi indirette. Le prove reperite e ritenute valide sono prove sia di sismica attiva (quindi con generazione di sorgente sismica artificiale) che di sismica passiva (quindi con analisi naturale del rumore ambientale). Le prove inoltre sono state effettuate sia a stazione singola che in stendimento lineare ("array sismico").

In sintesi tra le indagini esistenti sono stati selezionati complessivamente:

- 3 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 57 prospezioni simiche a rifrazione attiva con metodo MASW - HoliSurface in onde Rayleigh (array sismico con geofoni tridimensionali con analisi della componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh);
- 8 prospezioni simiche a rifrazione passiva con metodo ReMi (array sismico con geofoni verticali);
- 138 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Le indagini pregresse sono state opportunamente integrate con nuove indagini sia di superficie che lungo le verticali di indagine e quindi si è provveduto ad effettuare misure dirette della velocità delle onde S in fori di sondaggio. Le nuove indagini sono state eseguite nelle arre di interesse per lo studio del III livello e quindi nel capoluogo e nella frazione di Sant'Antonio.

Si riporta nella tabella sottostante l'elenco delle indagini geognostiche eseguite:

Abitato	Down-hole	SCPT	SPAC/ESAC	HVSr
Capoluogo	1	1	2	

Sant'Antonio	1	1	2	2
--------------	---	---	---	---

Le nuove indagini, sono state georeferenziate in apposito elaborato cartografico in scala 1:10.000.

Si riporta di seguito una descrizione delle nuove indagini geofisiche eseguite:

4.2.1 Prove Down-Hole

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno.

L'indagine geofisica, consente di determinare le velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente (piano campagna) ai ricevitori (ad ogni metro di profondità) di cui è nota la distanza.

La prova (Figura 1) consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto di un sistema di 5 geofoni (1 verticale e 4 orizzontali), alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio appositamente strumentato.

Il sistema energizzante (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali.

Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

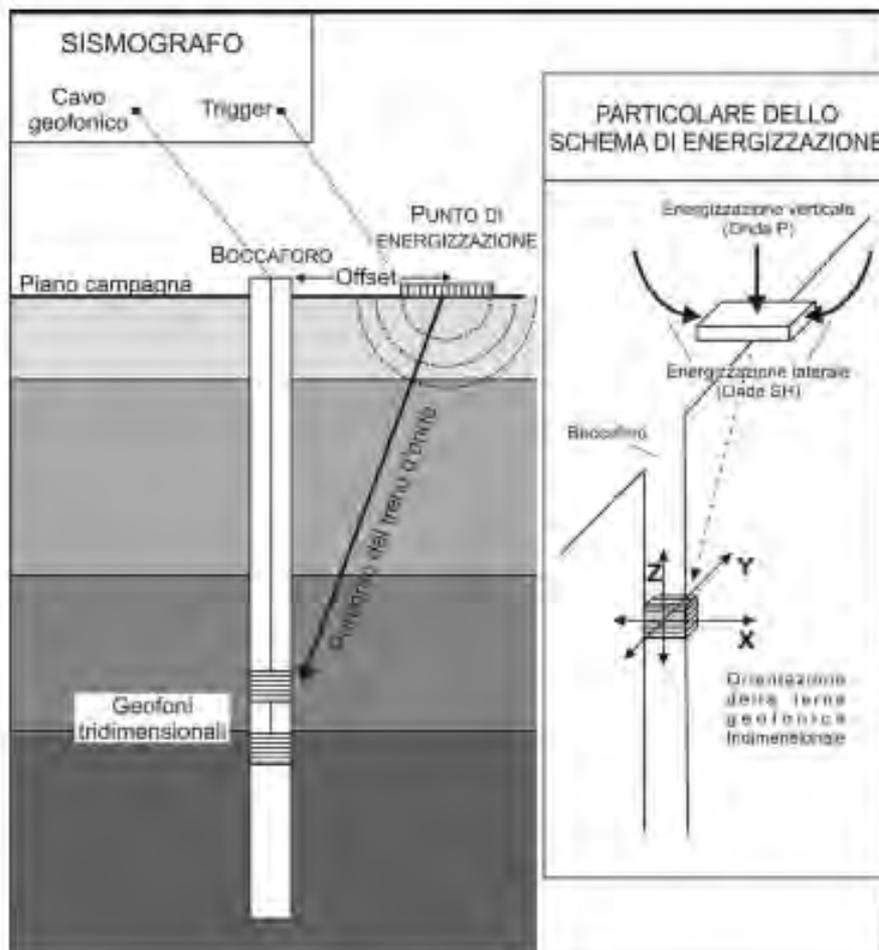


Figura 1
 schema semplificato
 di un'indagine
 down-hole;

La misura dei primi arrivi sismici deve essere realizzata con precisione e un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il momento dell'impulso dato al terreno e l'inizio della registrazione al sismografo si traduce in un errore significativo nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro.

La forma d'onda prodotta da questo geofono viene acquisita su un canale del sismografo e viene analizzata separatamente, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono è sempre lo stesso per tutte le battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato.

L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite in diversi momenti vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena di tanti geofoni quante sono le quote di misura nel foro.

In particolare vengono raggruppate in un unico sismogramma le forme d'onda relative al geofono verticale e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali. In quest'ultimo caso, poiché i geofoni orizzontali sono 4 e il sismogramma

uno solo, viene selezionata (tramite apposito algoritmo o manualmente) la traccia in cui si registra il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio (con massima ampiezza).

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove è composta dalle seguenti parti:

1) sistema energizzante; 2) sistema di ricezione; 3) trigger; 4) sistema di acquisizione dati.

L'acquisizione è stata effettuata tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit DoReMi prodotto dalla Sara Electronic Instruments Srl utilizzando complessivamente 5 canali di registrazione.

Il sistema di ricezione all'interno del sensore da pozzo SSBH è composto da 5 ricevitori (geofoni) di cui 1 è orientato secondo la lunghezza del contenitore entro cui sono alloggiati (geofono verticale) e gli altri 4 disposti a 45° l'uno dall'altro (geofoni orizzontali).

Caratteristiche tecniche Sensore da foro SSBH

Caratteristiche tecniche	
Numero canali:	5 (standard), 3 o altro (a richiesta)
Configurazione:	Z, ed H (0°, 45°, 90°, 135°)
Non ortogonalità:	< 0.1%
Livellamento:	non previsto
Frequenza naturale:	10Hz (+/-5%) (4.5Hz o 8 Hz a richiesta)
Damping:	0.707
Massa inerziale:	24 g
Sensibilità nominale:	27 V/m/s - (per il 4.5Hz disponibile a 80V/m/s)
Tilt massimo:	Verticale: 10° Orizzontale: 5°
Movimento massa:	0.2mm
Dimensioni:	1080x50mm
Peso sensore:	4.5 kg
Peso complessivo:	18 Kg
Lunghezza cavo:	standard 50 metri
Connettore:	Cannon JC series 10 poli
Integrazione possibile con:	DoReMi, SR04, SL06, SL07
Sistema di bloccaggio:	elettrico
Alimentazione:	12V batteria
Conformità:	CE

Caratteristiche tecniche Sismografo Doremi a 24Bit

Caratteristiche tecniche	
Classe strumentale:	sismografo multicanale per geofisica
Topologia:	rete differenziale RS485 half-duplex multipunto
Lunghezza max rete:	virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori
N. max canali per tratta:	255
Dimensioni elemento:	80x55x18 mm
Peso:	250 g (per elemento con cavo di 5 metri)
Cavo:	per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato
Memoria:	60 kBytes (30000 campioni)
Frequenze selezionabili:	da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)
Convertitore:	tipo SAR a 16 bit (96 dB)
Amplificatore:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Banda passante:	2Hz - 200Hz
Reiezione modo comune:	>80dB
Diafonia (crosstalk):	zero, la trasmissione è digitale
<i>Dinamica del sistema</i>	
Risoluzione:	7.6 µV @ 27dB; 0.076 µV @ 60dB
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
S/N ratio fra 0.5 e 30Hz:	>94dB (> 150dB con l'uso del PGA)
<i>Alimentazione</i>	
Alimentazione:	batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc
Consumo di energia:	Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.

Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

I dati ottenuti possono essere elaborati con due differenti tecniche:

- Interpretazione con il metodo diretto

Con il metodo diretto, inizialmente, si correggono i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore ad ogni passo di misura (generalmente 1.0 m) per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde e, successivamente, si realizza il grafico $t_{corr}-z$, sia per le onde P che per le onde S. In tal modo la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

- Interpretazione con il metodo intervallo

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo).

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie di ricezioni non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di pseudo-intervallo, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Nel caso in esame è stata adottato il metodo intervallo secondo la modalità pseudo-intervallo, in quanto si dispone di un solo sensore a 5 canali (su cui selezionare i segnali migliori), ritenuto appropriato per il caso in esame e, ottenute le misure, è stato possibile calcolare i tempi corretti e la velocità intervallo delle onde P ed S ad ogni passo di misura, con relativo grafico.

4.2.2 Prove con cono sismico (SCPT)

Tali prove hanno lo scopo di determinare i profili di velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) contestualmente a quello di determinare i profili della resistenza alla punta (q_c), dell'attrito laterale (f_s) e della pressione interstiziale (u) nei depositi di terreno.. Rispetto ad una prova DH, la prova SCPT non richiede la perforazione di un foro di sondaggio ed ha grande rapidità di esecuzione, fornendo un migliore accoppiamento meccanico del ricevitore sismico con il terreno circostante.

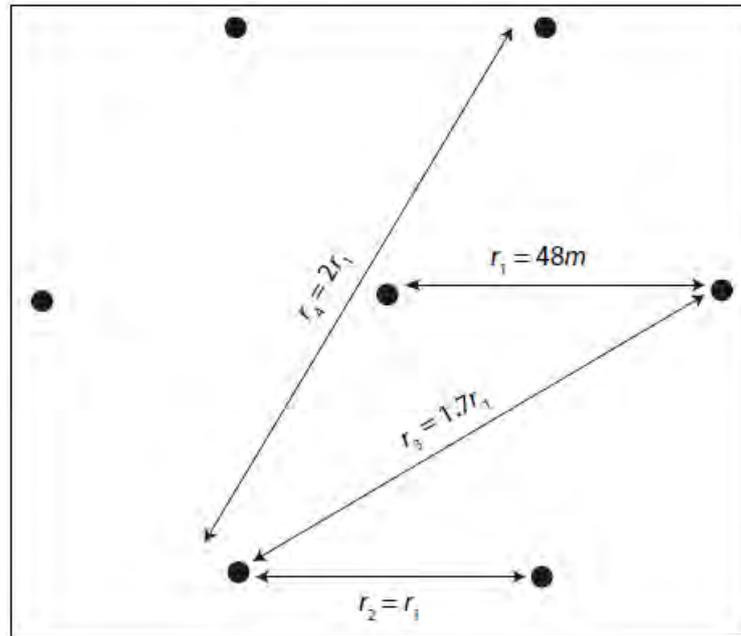
L'attrezzatura di misura è composta da un penetrometro con punta elettrica dotato di piezocono su cui risiedono di due inclinometri monoassiali per la determinazione della verticalità. Alle spalle del piezocono è montato il modulo sismico, costituito da un'asta che contiene due geofoni posti alla distanza di 0.5 m tra di loro in grado di misurare le onde di taglio generate da un dispositivo di energizzazione posto in superficie.

La prova SCPT si svolge contestualmente alla prova penetrometrica statica CPTU. Il passo che si adotterà per le misure dei tempi di percorrenza delle onde sismiche S è costante lungo la verticale di infissione della punta ed è pari a 1 metro. Se durante la fase di penetrazione della sonda si incontreranno strati ghiaiosi o comunque di materiale consistente tali da impedire l'avanzamento del penetrometro, si interromperà prova e si provvederà alla realizzazione di un preforo per l'attraversamento dello strato o degli strati impenetrabili nel sottosuolo. In questo caso le misure di velocità con il cono sismico saranno interrotte e riprese a partire da una distanza dalla base del preforo non inferiore ad 1 m. Per facilitare l'identificazione dell'istante di arrivo delle onde S si utilizzerà la tecnica di inversione della polarità della sorgente sismica. I tempi di percorrenza delle onde sismiche saranno calcolati con tecnica della correlazione incrociata ("cross-correlatlon"), in quanto consente di identificare sui segnali raccolti ai ricevitori lo stesso punto caratteristico in corrispondenza dell'istante di arrivo dell'onda S o P e quindi di calcolare la differenza dei tempi di percorrenza delle rispettive onde. La tecnica di correlazione incrociata fornisce risultati più oggettivi rispetto al solo metodo di identificazione visiva di controllo.

4.2.3 Prove SPAC/ESAC

La necessità di disporre di modelli sismostratigrafici profondi (il più accurati possibile), per affrontare gli approfondimenti sismici di livello 3 impone di investigare profondità ben superiori ai 30 metri. Per questo studio si propone di elaborare tali modelli profondi mediante tecniche di investigazione sismica basate sulla raccolta ed analisi del rumore sismico ambientale utilizzando il metodo SPAC/ESAC (Autocorrelazione Spaziale). L'utilizzo delle tecniche passive sull'analisi spettrale delle onde Rayleigh (R) è giustificata dal fatto che il rumore sismico ambientale è ricco di onde superficiali tipo R e che in un mezzo omogeneo ed isotropo la velocità di propagazione delle onde S può essere ricavata indirettamente dall'analisi spettrale delle onde R secondo equazioni sperimentali.

Esso consiste nella raccolta del rumore acustico ambientale in un array di geofoni disposti in cerchio intorno a un geofono centrale (v. figura sottostante).



Per ogni coppia e per ogni distanza intergeofonica vengono calcolati i cross-spettri normalizzati, o “coerenze”. Gli spettri di coerenza di ogni coppia vengono poi mediati per ogni valore di r . Aki (1957) dimostra che, se il rumore acustico raccolto è un processo stocastico stazionario, la coerenza $\gamma(f)$ è funzione della frequenza e della distribuzione della velocità delle onde S, V_s , sotto l'array di geofoni: $\gamma(f) = J_0(kr)$, essendo J_0 la funzione di Bessel di ordine 0 e al solito f la frequenza e k il numero d'onda, a sua volta legato a v_s da: $k = f/v_s$.

L'ipotesi di processo stocastico stazionario si realizza in situazioni di rumore acustico di livello elevato, sostanzialmente costante e isotropo spazialmente, come tutto sommato si può ritenere avvenga a causa del traffico di un'area urbana.

Tale tecnica permette di ottenere i profili verticali (1 D) della velocità media delle onde di taglio "S" anche molto profonde favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico. Un secondo vantaggio della tecnica ESAC riguarda lo svincolo dal problema della direzionalità della/e sorgente di rumore sismico ambientale in quanto è già implicito nella stessa geometria utilizzata impiegando geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz).

4.2.4 Prove HVSR

E già stato dimostrato che quando un' onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica $Z_1 = \rho_1 v_1$ (dove ρ è la densità e v la velocità di un' onda di volume - P o S) a un mezzo con impedenza acustica $Z_2 = \rho_2 v_2$, se $Z_2 < Z_1$ l' ampiezza dell' onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall' angolo d' incidenza e non dalla frequenza per le onde P, quindi tutte le singole componenti sinusoidali dell' onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra che ha luogo anche un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua VS supera 800 m/s), tali frequenze di risonanza sono date da (Lanzo e Silvestri, 1999):

$$f_n = \frac{V_{2S}(2n-1)}{4h}, n = 1, 2, \dots, \infty$$

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purché il sottosuolo sia tabulare, cioè a strati piano/paralleli. Questa è una circostanza particolarmente fortunata, perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l' energia associata alle onde superficiali, per avere un' informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa infatti si ottiene con 3 "semplici" passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo (anche meno di un' ora) le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale $z(t)$ e due orizzontali ortogonali tra loro: $x(t)$, $y(t)$) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse (in genere basta che tale frequenza sia inferiore a 1 Hz, essendo le frequenze proprie dei manufatti intorno a 1 Hz o di poco superiori);
2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier $Z(f)$, $X(f)$ e $Y(f)$;
3. facendo il rapporto, detto per l' appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio:

$$\frac{\sqrt{|X(f)|^2 + |Y(f)|^2}}{|Z(f)|}$$

Il primo lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu pubblicato da Nogoshi e Igarashi nel 1971, ma Nakamura lo riprese nel 1989 con maggiore fortuna; per questo motivo è chiamato anche "metodo di Nakamura".

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la costruzione del modello di sottosuolo da utilizzare nelle analisi per la definizione della microzonazione sismica di III livello si è provveduto a mettere insieme tutte le informazioni ottenute nei livelli di microzonazione precedente con le informazioni desunte dalle nuove indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio realizzate ad hoc per questo studio.

In particolar modo, poiché lo studio si è concentrato nel Capoluogo e nella frazione di Sant'Antonio per le due località si è provveduto a:

- Ricostruire la morfologia (superficiale e sepolta);
- Identificare le principali unità geologiche e lito-stratigrafiche;
- Ricavare informazioni sui livelli di falda;
- Identificare preliminarmente le zone sismicamente instabili;

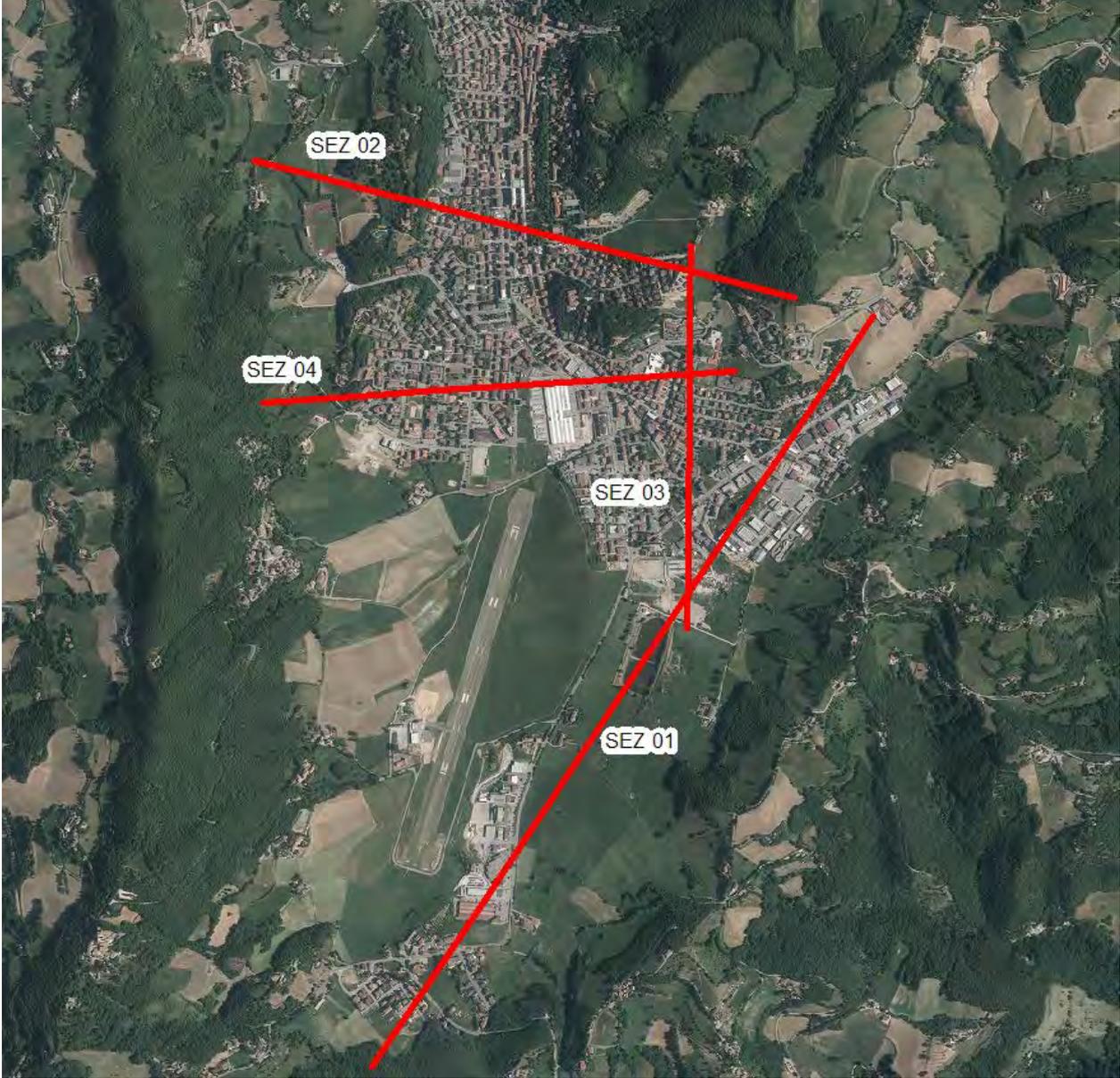
e per ciascuna unità geologica/litologica/sismostratigrafica ai fini delle analisi della risposta sismica locale(RSL):

- determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche (da prove in sito in foro e di superficie);
- determinare i parametri geotecnici dei materiali presenti in condizioni dinamiche e cicliche (da prove di laboratorio).

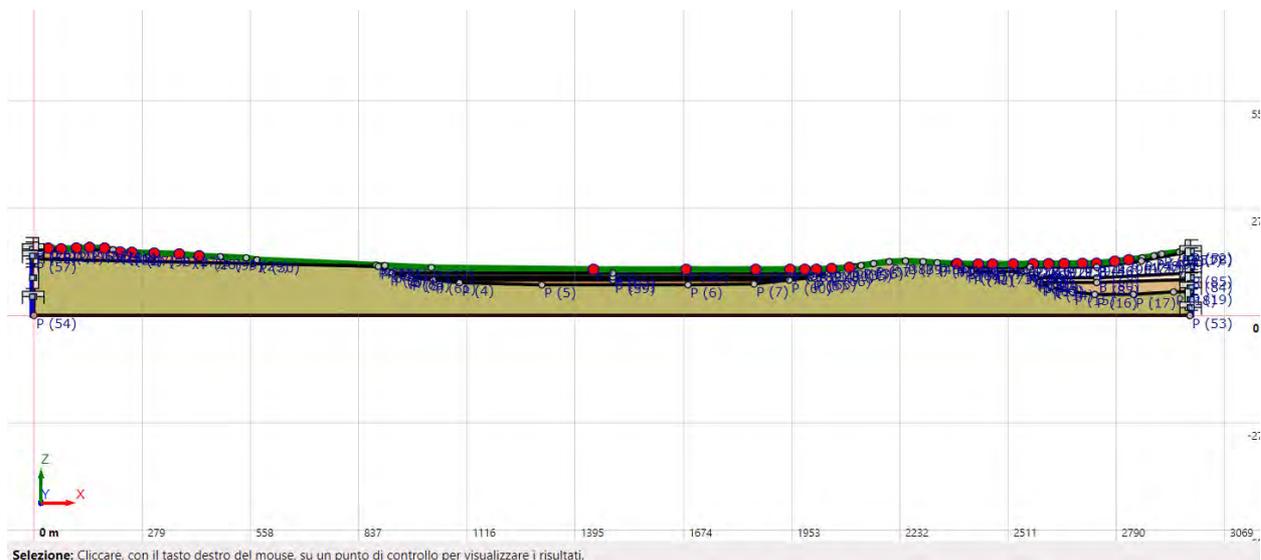
Attraverso il percorso sopra descritto, dal momento che il contesto geologico e geomorfologico comunale qui analizzato è quello di un ambiente montano con marcati effetti complessi sia di valle che topografici si è provveduto a realizzare 7 sezioni sismostratigrafiche (4 nel capoluogo e 3 nella frazione di Sant'Antonio) necessaria alle analisi di RSL richieste dallo studio di III livello.

Si riportano di seguito la planimetria e le sezioni ricavate:

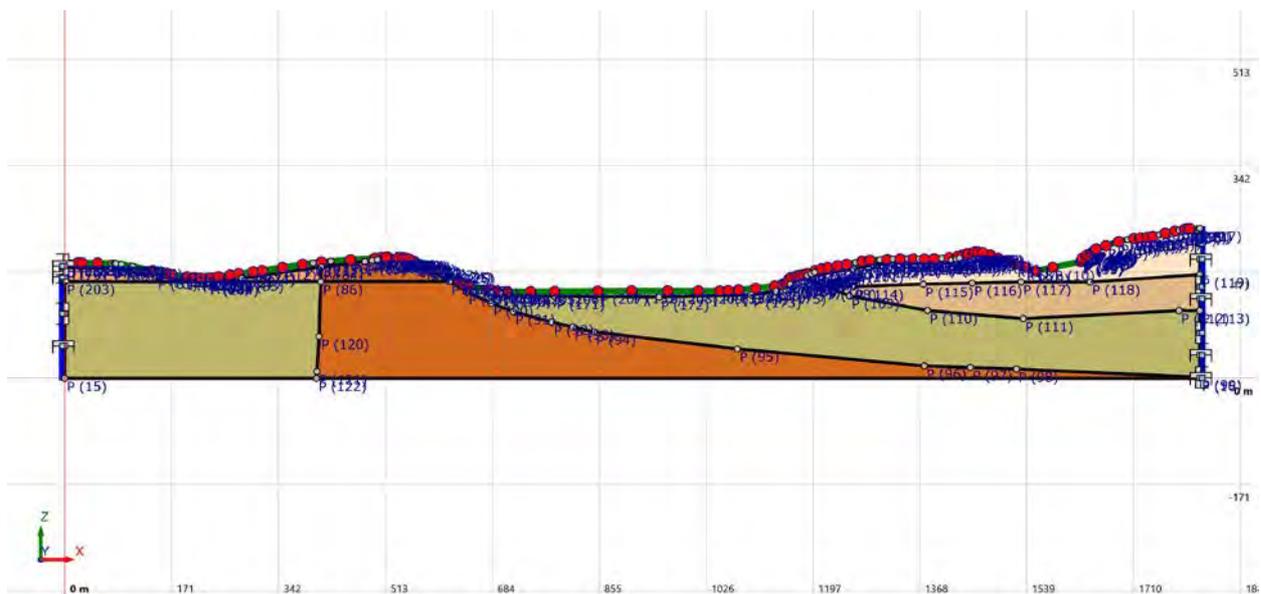
- Pavullo Capoluogo



Sezione 01



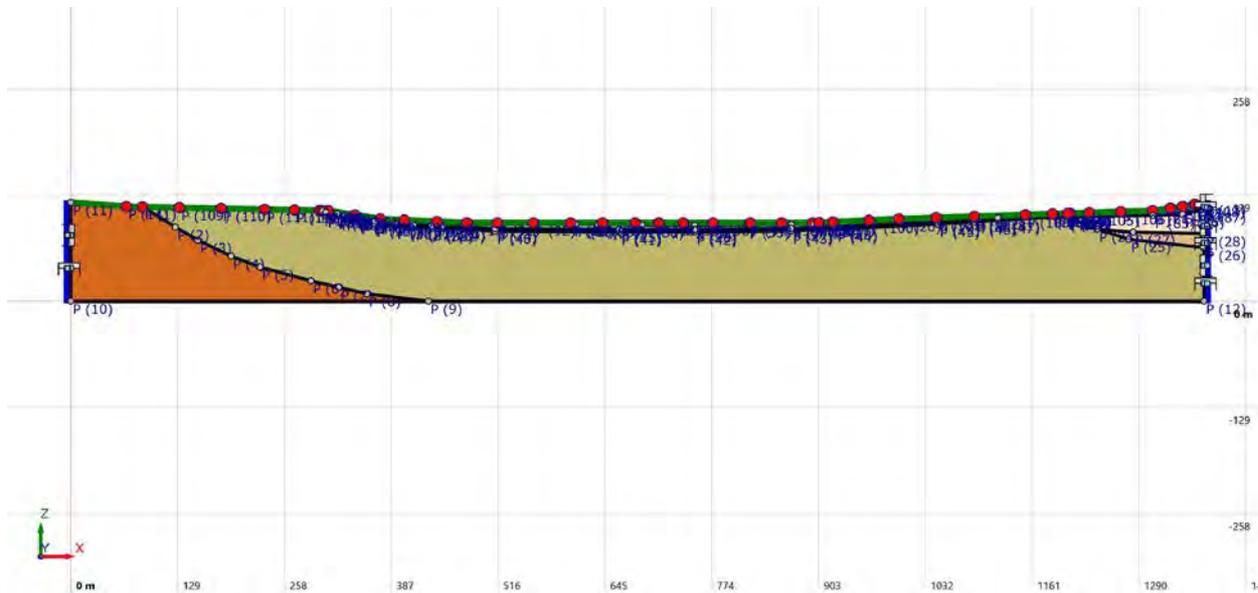
Sezione 02



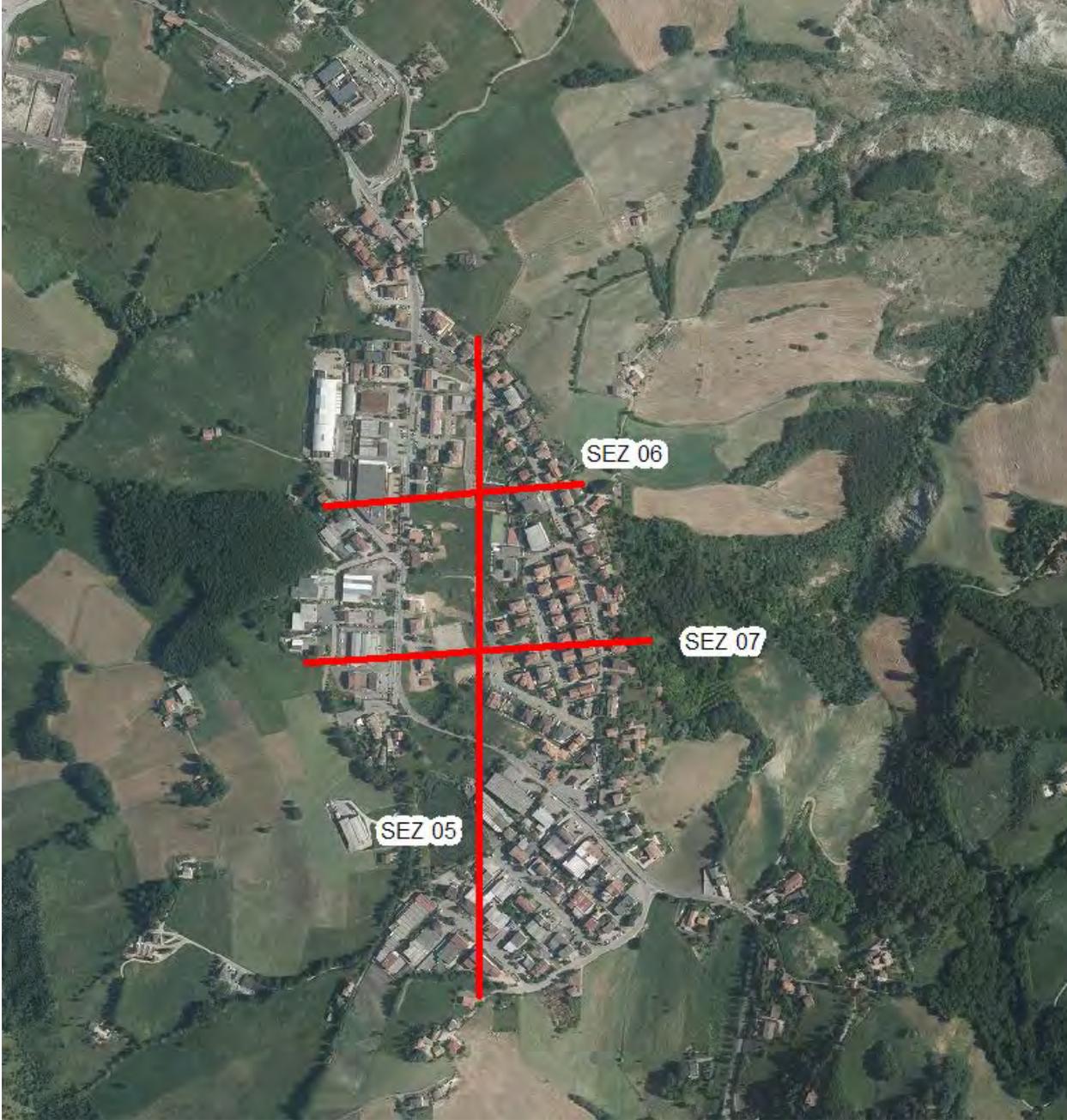
Sezione 03



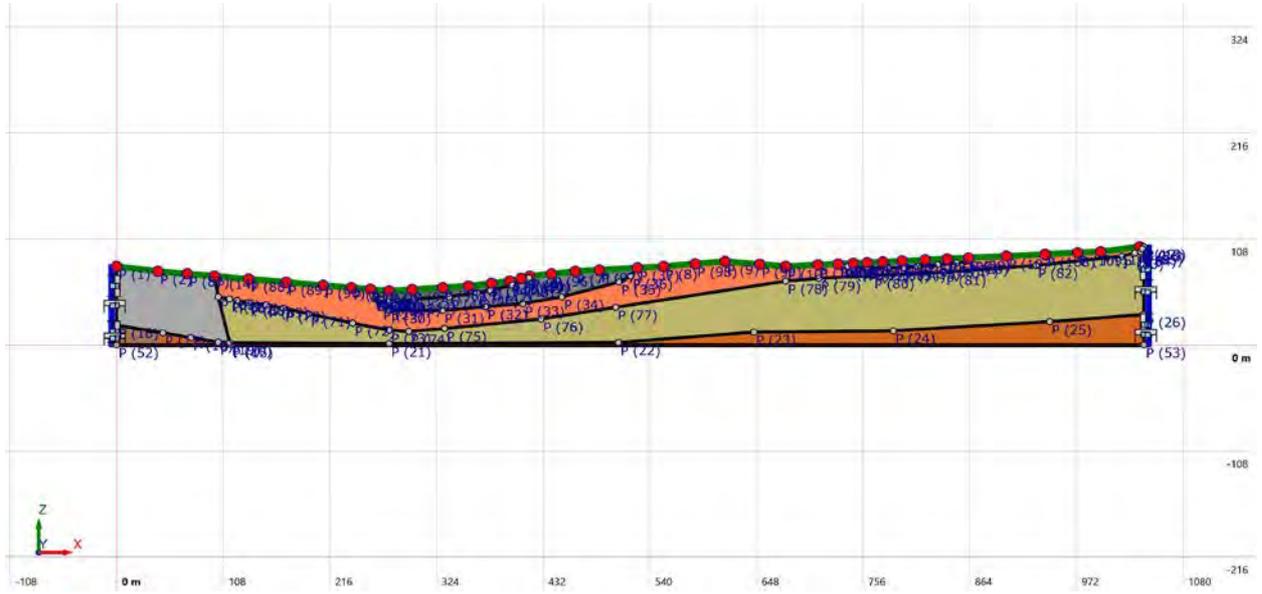
Sezione 04



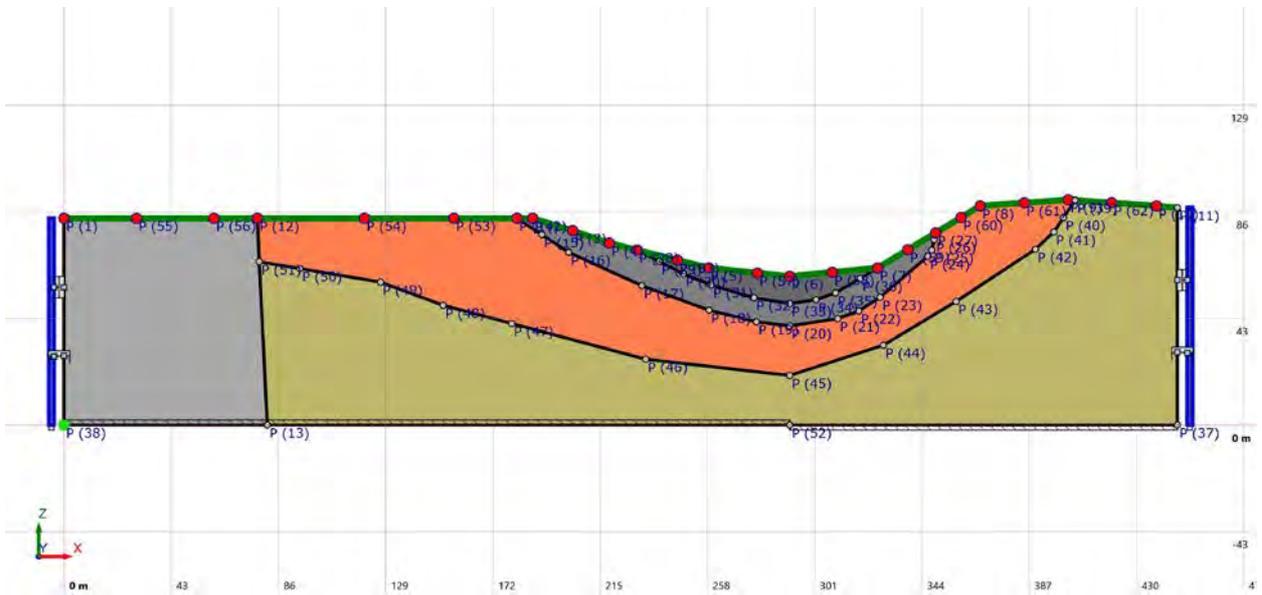
- Sant'Antonio



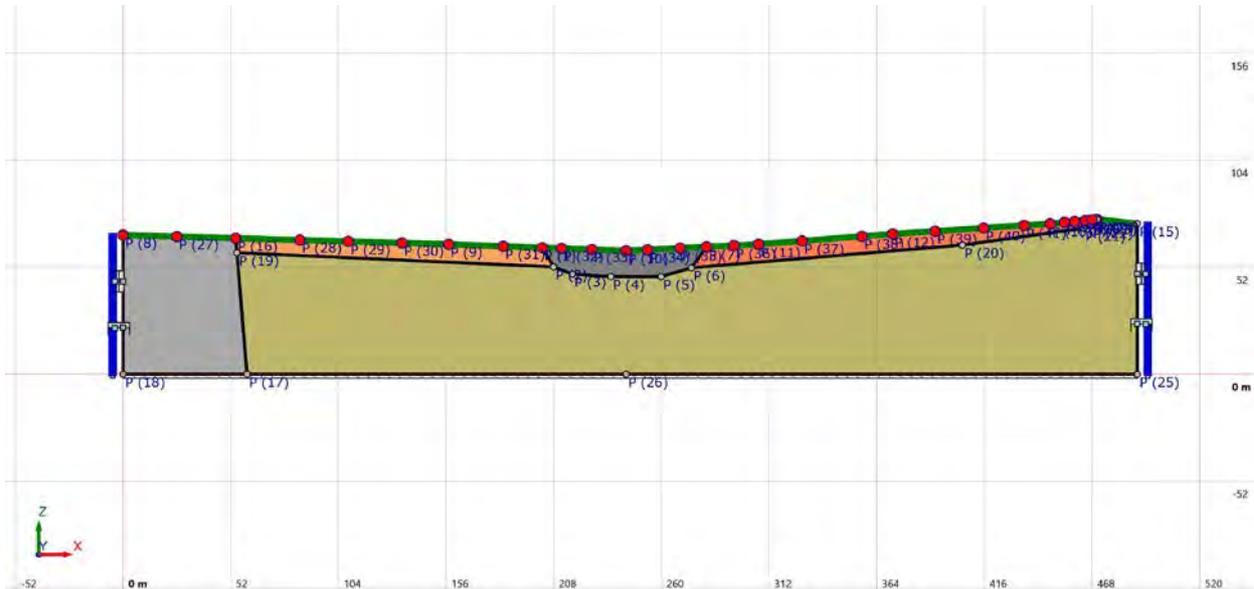
Sezione 05



Sezione 06



Sezione 07



Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati i dati delle indagini geognostiche nuove e pregresse (sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche (CPT e CPTU) e prove penetrometriche dinamiche (DPSH, DPH, DPM e DPL) realizzate in ciascun sito.

Per quanto riguarda la definizione delle caratteristiche sismostratigrafiche di ciascuna unità geologica si è fatto riferimento alla indagini geofisiche in foro e di superficie che sono state realizzate sia nuove che pregresse.

Data la complessità del contesto geologico presente si è proceduto all'identificazione del substrato sismico (cosidetto "Bedrock sismico", cioè del sismostrato che presenta velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s) attraverso l'utilizzo dei metodi sismologico-strumentali e per la precisione si è fatto ricorso all'analisi dei rapporti spettrali delle registrazioni di segnali sismici generati dai microtremori attraverso la tecnica HVSR.

In tale contesto geologico appariva poco significativo l'assunzione, data la forte variabilità presente, dell'andamento di V_s crescente con la profondità e adattare ai valori di V_s misurati in prossimità della quota di fondo una legge di potenza del tipo $V_S(z) = V_0 \cdot z^x$.

Per quanto riguarda il comportamento dei terreni presenti sotto le condizioni sismiche, ovvero sotto azioni dinamiche e cicliche si è provveduto ad effettuare indagini di laboratorio proprie della geotecnica sismica ed in particolare sono state effettuate sui n.6 campioni prelevati nei fori di sondaggio prove di colonna risonante.

L'esecuzione delle prove di Colonna Risonante su campioni indisturbati permette di ricavare la stima del modulo di taglio G e dello smorzamento D dei terreni al variare delle deformazione di taglio imposta. La prova RC condotta, con un sistema di

sollecitazione costituito da una struttura resa solidale alla testa del campione nella quale sono alloggiati dei magneti, che interagendo con delle bobine attraversate da corrente elettrica, trasferiscono al campione una torsione ciclica di frequenza pari al segnale in arrivo e in modalità "fixed-free" (con rotazioni della base inferiore del provino impedito, mentre la base superiore è completamente libera di ruotare). Nella parte superiore del provino è posizionato il sistema di eccitazione (oscillatore), pilotato da una tensione variabile in ampiezza e frequenza in grado di imporre una sollecitazione torsionale di forma sinusoidale di direzione normale all'asse longitudinale. La deformazione di taglio γ del provino viene fornita dai valori di frequenza di risonanza ed accelerazione misurate mentre il valore di smorzamento D viene calcolato mediante l'osservazione della diminuzione di ampiezza delle oscillazioni libere nel tempo dopo aver diseccitato l'oscillatore. La determinazione del modulo di taglio e del damping del terreno sarà estesa a valori crescenti di deformazione di taglio fino ai massimi valori consentiti dal sistema, nell'intorno di una deformazione dello 0.1-0.2%.

Il riepilogo dei risultati delle indagini di laboratorio è riportato nell'allegato al presente documento.

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

6.1 Premessa

Lo studio di microzonazione sismica di III livello per il comune di Pavullo nel Frignano è stato realizzato nelle aree del capoluogo e di Sant'Antonio secondo le seguenti fasi:



In particolar modo lo studio si è focalizzato sui seguenti elementi chiave:

1. Scelta dell'input sismico
2. Definizione del modello di sottosuolo
3. Implementazione del modello e analisi numeriche
4. Interpretazione dei risultati e rappresentazione in mappe

Per il modello di sottosuolo individuato nel capitolo 5 è stato effettuato lo studio dell'analisi di risposta sismica locale (RSL) finalizzata alla valutazione dell'azione sismica in superficie.

Dal punto di vista strettamente fisico, per analisi di risposta sismica locale si intende la valutazione quantitativa delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite da un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

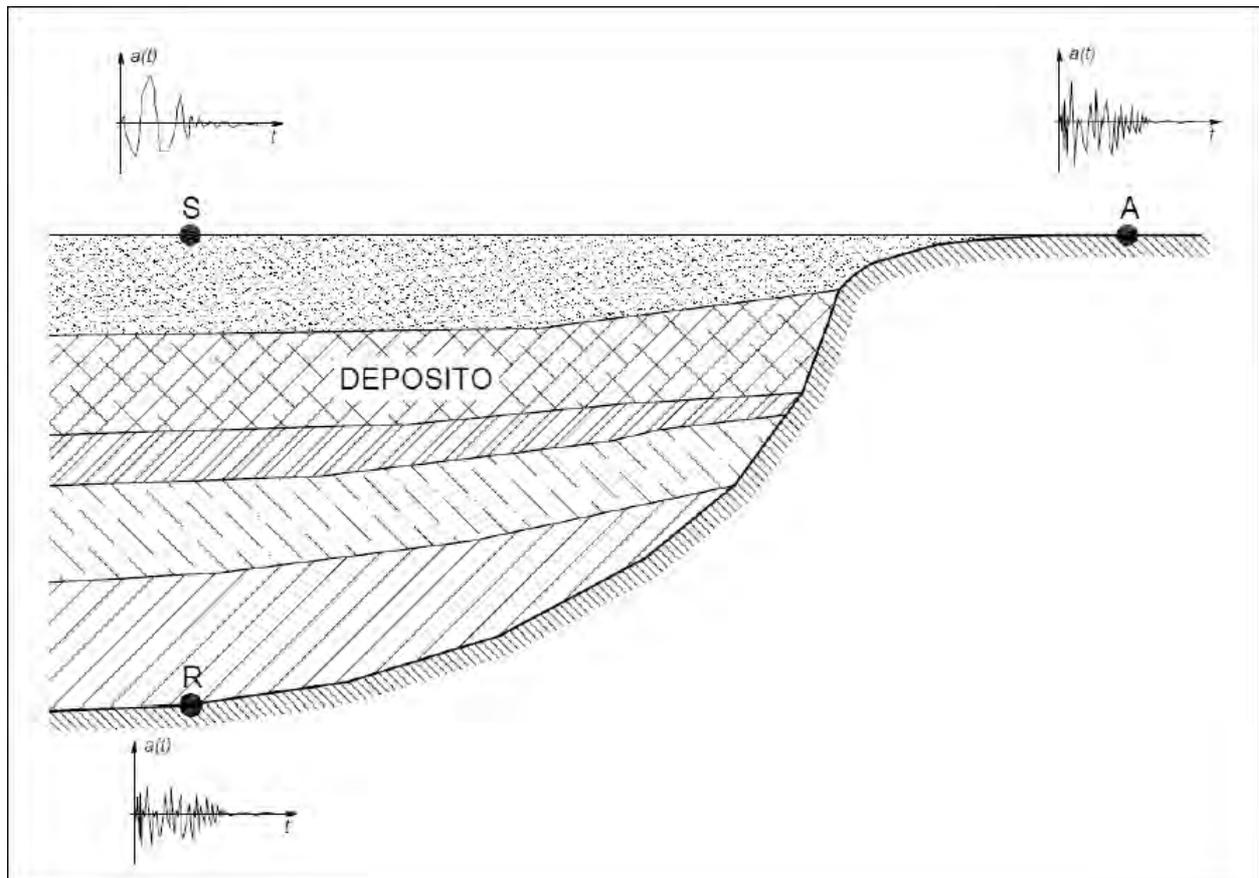


Figura 6.1: Schema di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale.

Dal punto di vista tecnico, è forse più significativa una valutazione alternativa di tale fenomeno, cioè quella che assume come moto sismico di riferimento quello relativo ad un ipotetico (o reale) affioramento della formazione rocciosa di base (A). La valutazione quantitativa della risposta sismica locale può quindi effettuarsi sulla base del confronto tra le diverse grandezze rappresentative del moto sismico alla superficie del terreno e quello di riferimento (roccia di base o affiorante), nel dominio del tempo o delle frequenze. Nel dominio del tempo un parametro spesso utilizzato è il fattore di amplificazione:

$$FA = \frac{a_{max,S}}{a_{max,A}}$$

dove $a_{max,S}$ rappresenta l'accelerazione massima registrata sulla superficie del deposito e $a_{max,A}$ l'accelerazione massima sulla roccia affiorante. Tale fattore può risultare maggiore o minore dell'unità identificando un effetto di amplificazione o di smorzamento. Il fattore di amplificazione così definito però ha il limite di non descrivere l'effetto di "filtraggio" esercitato dal deposito nei confronti del moto sismico di riferimento, ma si limita a descriverne soltanto gli effetti di amplificazione in termini di

ampiezza. Operando nel dominio delle frequenze, un parametro spesso utilizzato ed in grado di superare i limiti del fattore di amplificazione è la cosiddetta funzione di trasferimento:

$$H(f) = \frac{F_s(f)}{F_A(f)}$$

dove $F_s(f)$ ed $F_A(f)$ sono entrambe funzioni complesse della frequenza e rappresentano rispettivamente lo spettro di Fourier del moto in superficie al deposito e lo spettro di Fourier del moto su roccia affiorante. Entrambe i termini del rapporto sono funzioni complesse e pertanto anche il loro rapporto (funzione di trasferimento) risulta una funzione complessa; è utile far riferimento al modulo di tale funzione (spettro di ampiezza) detto *funzione di amplificazione*:

$$A(f) = |H(f)|$$

Dal punto di vista fisico tale funzione è in grado di indicare quali componenti del moto sismico (in termini di frequenza), rispetto al moto di riferimento, sono state amplificate ed in che rapporto e quali componenti sono state smorzate. Tuttavia, è necessario osservare che è lecito applicare il principio di sovrapposizione degli effetti, e quindi le trasformate di Fourier, solo se la risposta meccanica del terreno è governata da leggi costitutive di tipo lineare. In tali ipotesi, la funzione di amplificazione è una proprietà della geometria del sito e delle caratteristiche meccaniche dei materiali che lo costituiscono.

Operando nel dominio delle frequenze, nota la funzione di trasferimento, è possibile ottenere, mediante un'operazione detta di *convoluzione*, il moto in superficie a partire dal moto di riferimento.

$$F_s(f) = H(f) F_A(f)$$

Questo significa che il moto in superficie ottenuto è fortemente condizionato dal contenuto in frequenza del moto di riferimento, il quale a sua volta è caratterizzato da contenuti in frequenza dipendenti da meccanismo di sorgente, magnitudo e percorso di propagazione. Si osservi inoltre, che la risposta meccanica di un sottosuolo reale non è affatto lineare e pertanto la funzione di trasferimento non può essere univoca, ma dipendente dal livello deformativo raggiunto dal terreno e quindi dalle caratteristiche del moto sismico che lo attraversa. In altre parole, se l'energia del moto sismico che attraversa il deposito è bassa, il livello deformativo raggiunto sarà lieve e viceversa se l'energia del moto è elevata; nei due casi le funzioni di trasferimento risultano differenti. Pertanto, dovendo tener conto del comportamento non lineare del terreno, oltre che di aspetti legati alla topografia o alla morfologia sepolta, nei casi pratici è necessario

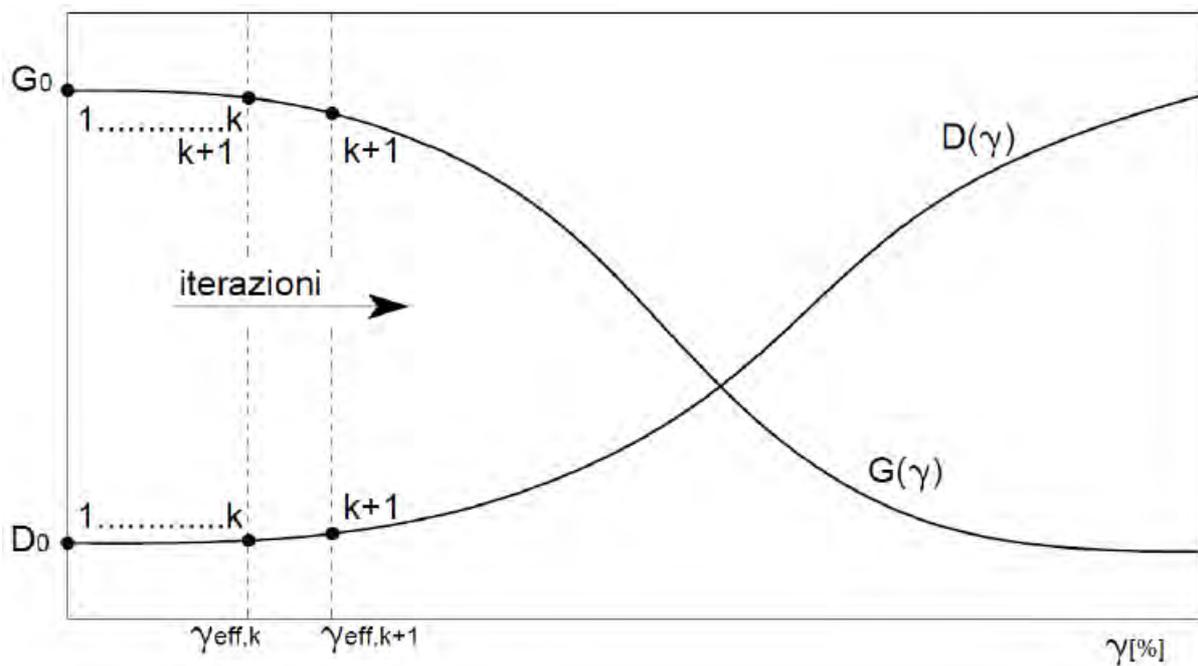
ricorrere a delle procedure numeriche. Le possibili procedure utilizzate per tener conto del legame costitutivo non lineare nella soluzione dell'equilibrio dinamico del sistema di equazioni si distinguono in:

- *Analisi lineare equivalente* che consiste nell'esecuzione di una serie di analisi lineari complete che utilizzano dei parametri di rigidità e smorzamento secanti dei materiali, i quali vengono aggiornati fino al soddisfacimento di un certo criterio di convergenza;
- *Analisi non lineare incrementale* che consiste nell'integrazione passo-passo delle equazioni del moto ottenute nel rispetto dei legami costitutivi non lineari del terreno.

Mentre il primo schema di analisi si presta ad una soluzione sia nel dominio del tempo che nel dominio delle frequenze, il secondo schema di analisi ricerca necessariamente la soluzione nel dominio del tempo, vista l'impossibilità di applicare il principio di sovrapposizione degli effetti e quindi l'analisi di Fourier.

Lo schema lineare equivalente è largamente adottato nella pratica professionale in quanto rappresenta il giusto compromesso tra l'accuratezza dei risultati ottenuti e l'onere computazionale. Sono infatti numerosi i codici di calcolo che adottano tale schema indipendentemente che si tratti di un problema monodimensionale, bidimensionale o tridimensionale. L'algoritmo lineare equivalente può essere sintetizzato nei seguenti passi:

- Si assumono dei valori iniziali per i moduli elastici e per i rapporti di smorzamento viscoso dei materiali;
- A partire dal terremoto di riferimento, schematizzato come accelerogramma in ingresso, si integrano le equazioni del moto dinamico in modo da ottenere le deformazioni massime γ_{max} in ogni punto del modello;
- Dalle deformazioni massime si ottengono le deformazioni effettive mediante la relazione $\gamma_{eff} = \beta \gamma_{max}$ (β : rapporto di deformazione effettiva dipendente dalla magnitudo dell'evento sismico e variabile tra 0.5 e 0.7);
- Dalle deformazioni effettive, mediante le curve che descrivono la non linearità del terreno (Figura sottostante), vengono ottenuti i valori aggiornati dei moduli di taglio e dei rapporti di smorzamento viscoso;



- Con i valori dei parametri dei materiali così ottenuti si ritorna al punto 2. fintanto che non risulta soddisfatto il seguente criterio di convergenza:

$$|\gamma_{eff}^k - \gamma_{eff}^{k-1}| \leq toll$$

dove con l'indice k indica la generica iterazione e $toll$ un valore di tolleranza massimo assunto per le deformazioni a taglio.

6.2 Metodologie di elaborazione

Si riporta di seguito l'elenco dei software utilizzati per tutte le elaborazioni effettuate:

- Dati geognostici

CPTe - IT®Geologismiki

Fondazio®GeoDeepDrill Srl

- Dati geofisici

WinMasw Acd 2018®Eliosoft

HoliSurface 2018®Eliosoft

SPAS®Geologismiki

- Elaborazioni numeriche Risposta sismica locale
LSR2D - Stacec Srl

6.3 Definizione del moto di input (scelta delle azioni sismiche)

Sulla base delle indicazioni fornite ai paragrafi 3.2.3.6 e 7.11.3.1 contenute nelle NTC 18 e di quelle contenute in ICMS 2008 si è provveduto ad utilizzare accelerogrammi naturali (il numero minimo che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati) selezionati da banche accelerometriche digitali imponendo i criteri di scelta e spettro-compatibilità imposti dalle NTC 18.

Per la selezione delle combinazioni degli accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri da normativa si è utilizzato il programma REXEL versione 3.5, sviluppato dall'Università degli Studi di Napoli Federico II (<http://www.relus.it/>).

Gli accelerogrammi selezionati sono stati tutti registrati su siti rocciosi affioranti e sono caratterizzati da valori di magnitudo e distanza epicentrale così caratterizzati:

- Magnitudo momento: $5.5 < M_w < 6.5$;
- Distanza epicentrale (Repi): $Repi < 20$ Km;
- Sito di registrazione: sottosuolo di categoria A ($V_s > 800$ m/s);

La tolleranza adottata sui valori di distanza è tipicamente maggiore di quella sui valori di magnitudo, poiché quest'ultima ha un' influenza maggiore sulle caratteristiche del moto sismico.

L'altro criterio importante e restrittivo adottato per la selezione degli accelerogrammi reali è quello della spettro-compatibilità. Gli accelerogrammi selezionati per il sito in esame sono spettro-compatibili, in media, con lo spettro di risposta elastico su suolo di categoria A prescritto dalle NTC 18 per il periodo di ritorno di 475 anni, nell'intervallo di periodo specificato (fino a 2 secondi). Al fine di ottenere la spettro-compatibilità, gli accelerogrammi selezionati sono stati tutti scalati linearmente al valore di accelerazione di picco prescritta dalle NTC 18 per il sito in oggetto. Le componenti orizzontali degli accelerogrammi utilizzati nelle analisi, il confronto tra i corrispondenti spettri, lo spettro medio e lo spettro di normativa delle NTC 18 sono illustrati nelle figure sottostanti.

DB - ITACA 2.3

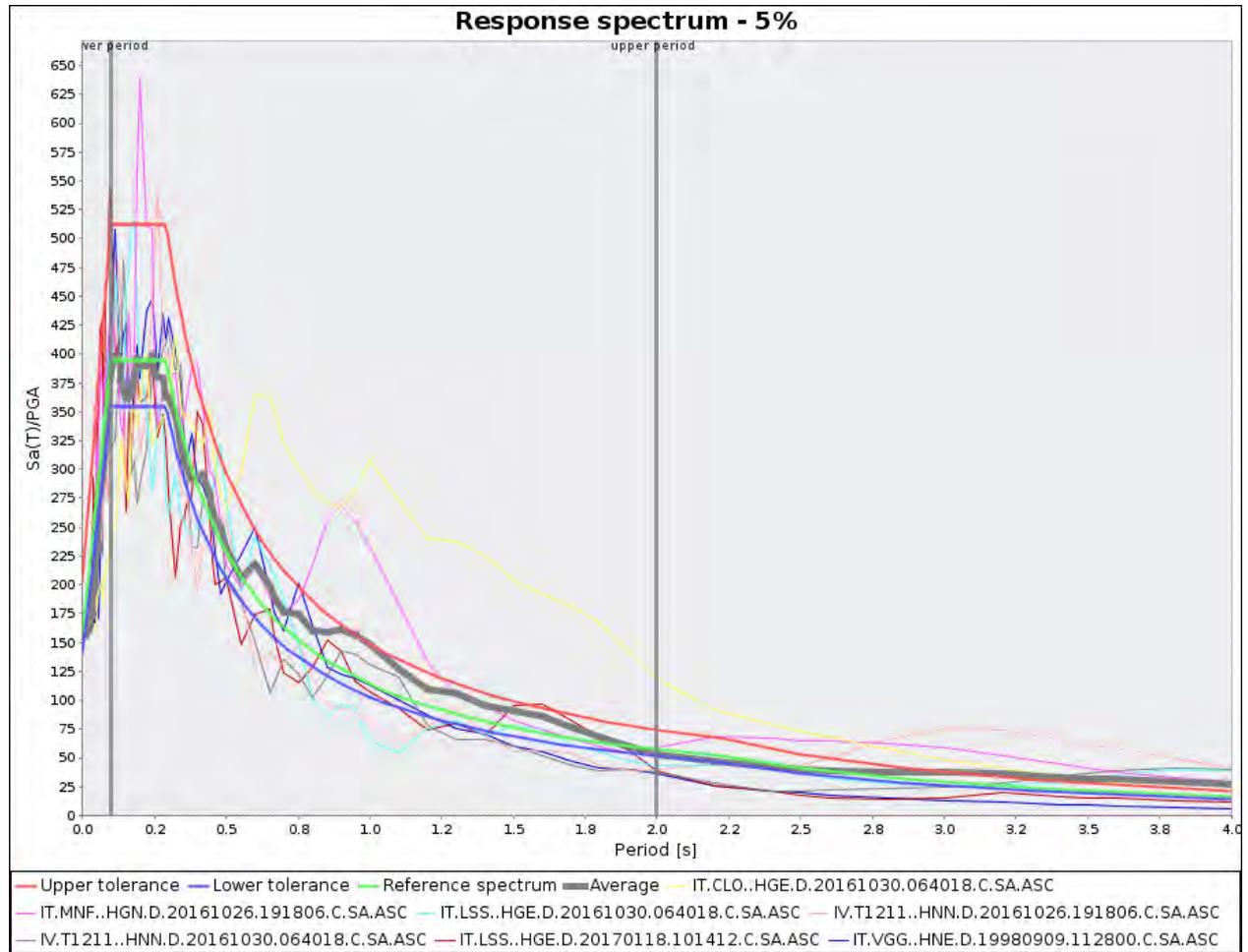


Figura: Spettro-compatibilità tra lo spettro medio (Average spectrum), ottenuto da 7 registrazioni accelerometriche naturali (componente orizzontale), e lo spettro risposta elastico (Target spectrum) per il sito in oggetto.

6.4 Definizione del modello di calcolo

Il codice di calcolo adottato per le simulazioni numeriche è LSR2D - Stacec Srl. Tale codice consente di ottenere una soluzione numerica del problema di propagazione delle onde sismiche in un modello bidimensionale, il cui schema di analisi adottato è quello lineare equivalente nel dominio del tempo e le equazioni del moto vengono assemblate mediante il metodo degli elementi finiti nell'ipotesi di materiale viscoelastico in tensioni totali. Il deposito viene discretizzato in una mesh di elementi di forma triangolare o quadrangolare, consentendo una efficace modellazione della variazione geometrica del contatto deposito-basamento, così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici.

La scelta della griglia di calcolo rappresenta un punto fondamentale dell'analisi in quanto da essa dipende l'accuratezza della soluzione. In generale è possibile affermare che tanto più è fitta la mesh tanto più sarà accurata la soluzione, tuttavia una mesh troppo fitta fa aumentare notevolmente gli oneri computazionali; per contro una mesh troppo grossolana si traduce in un filtraggio delle componenti di alta frequenza poiché le piccole lunghezze d'onda non possono essere adeguatamente modellate da nodi troppo distanti tra loro. A tal proposito è stato scelto che la dimensione di ogni elemento non sia inferiore ad $1/8$ della più piccola lunghezza d'onda considerata nell'analisi:

$$p \leq \frac{1}{8} \frac{V_s}{f_{\max}}$$

dove V_s è la velocità di propagazione delle onde del materiale costituente l'elemento e f_{\max} è la massima frequenza considerata nell'analisi (in genere 20-25 Hz).

Il moto sismico di input u''_b viene applicato simultaneamente a tutti i nodi della base sotto forma di onde trasversali SV e/o onde di compressione P (in plane motion) con direzione di propagazione verticale ed ha il significato fisico di un moto registrato su affioramento piano del basamento (outcropping bedrock). Per tenere conto della perdita di energia per radiazione alla base del modello sono presenti degli smorzatori viscosi lineari aventi costanti di smorzamento pari a:

$$cx = \rho_b V_{S,b}$$

$$cy = \rho_b V_{P,b}$$

Nel sistema di equazioni globale tali coefficienti vengono assemblati all'interno della matrice di smorzamento Cb .

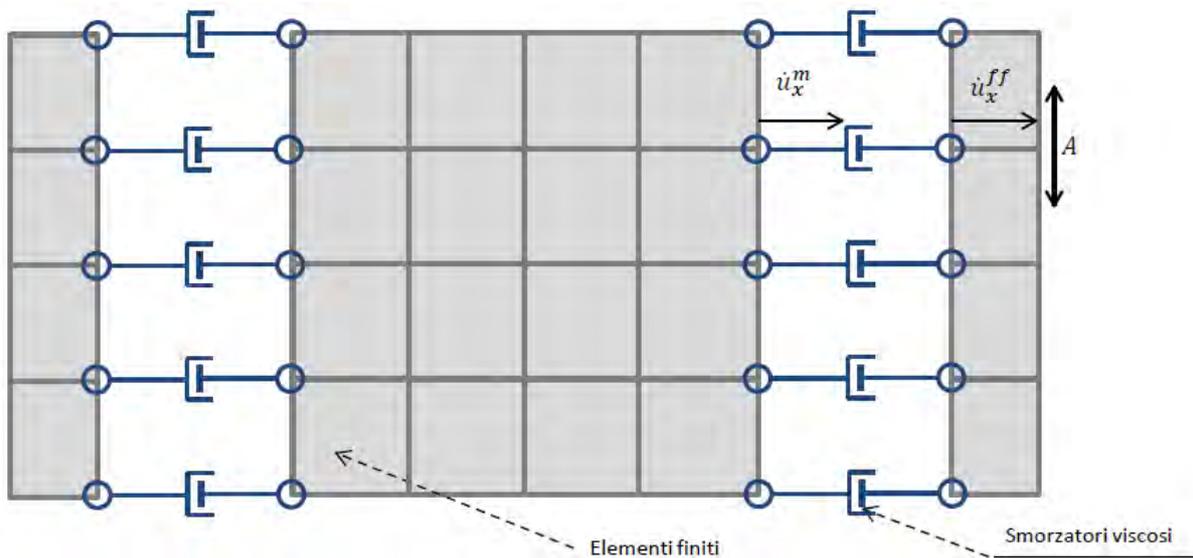
Gli spostamenti in corrispondenza delle frontiere laterali del modello dovrebbero essere uguali a quelli di una colonna di terreno isolata in condizioni di campo libero. Se lo smorzamento del terreno è relativamente alto, tale condizione può essere raggiunta semplicemente allontanando di una certa distanza dalla regione di interesse le frontiere laterali ed assegnando delle restrizioni cinematiche nei confronti della componente verticale (condizione 1). Tuttavia, se lo smorzamento del terreno è basso la distanza necessaria per il raggiungimento della condizione desiderata risulta molto elevata, producendo un notevole incremento dei costi computazionali. Un metodo alternativo, è quello di "applicare" il moto di campo libero in modo tale che le frontiere agiscano come un sistema in grado di assorbire le onde riflesse che altrimenti verrebbero artificialmente reintrodotti nel modello. Nel codice LSR2D questo è implementato mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field sono uguali. È necessario, per il

corretto funzionamento di tali condizioni al contorno, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori vengono ottenute mediante le seguenti equazioni:

$$F_x = -\rho V_p (\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}) A \quad (1)$$

$$F_y = -\rho V_s (\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}) A \quad (2)$$

- ρ : densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_p : velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_s : velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- A : area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- \dot{u}_{xm} : velocità del nodo del modello in direzione x;
- \dot{u}_{ym} : velocità del nodo del modello in direzione y;
- \dot{u}_{xff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione x;
- \dot{u}_{yff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione y.



Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale,

vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni (1) e (2). Tali forze vengono assemblate all'interno del vettore $\mathbf{F}_{ff}(t)$ presente al secondo membro delle equazioni globali del moto.

Le risposta dissipativa del terreno viene modellata mediante il modello lineare viscoso e quindi, dal punto di vista matematico, attraverso la matrice di smorzamento globale \mathbf{C}_e . Essa viene ottenuta mediante una procedura di assemblaggio delle matrici locali di smorzamento degli elementi finiti presenti nel modello, le quali al loro volta sono ottenute mediante lo schema di smorzamento classico (alla Rayleigh). Per elemento i -esimo, questo prevede:

$$C_i = \alpha_{R,i}M_i + \beta_{R,i}K_i$$

dove $\alpha_{R,i}$ e $\beta_{R,i}$ sono i coefficienti di Rayleigh, M_i e K_i rispettivamente la matrice di massa e di rigidità del singolo elemento finito.

I coefficienti di Rayleigh per il singolo elemento vengono determinati sulla base di due pulsazioni angolari globali ω_n e ω_m mediante le seguenti relazioni:

$$\alpha_{R,i} = \xi_i \frac{2 \omega_n \omega_m}{\omega_n + \omega_m}$$

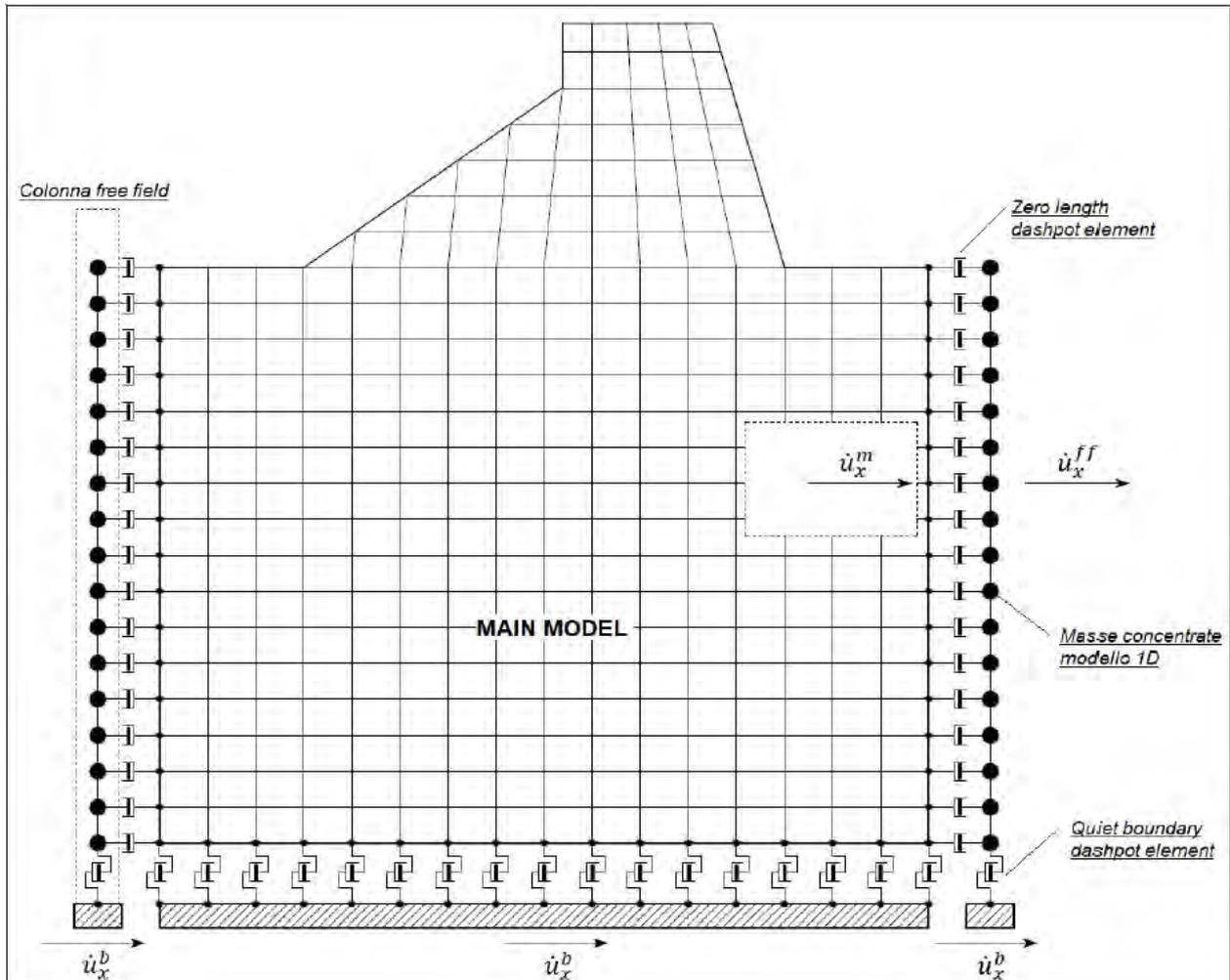
$$\beta_{R,i} = \xi_i \frac{2}{\omega_n + \omega_m}$$

dove:

- ξ_i : rapporto di smorzamento viscoso dell' i -esimo elemento finito;
- ω_n : prima frequenza naturale circolare dell'intero deposito (calcolata mediante analisi modale dal solutore);
- $\omega_m = n \omega_n$: essendo n l'intero dispari che approssima per eccesso il rapporto tra la frequenza predominante dell'input sismico ω_l e la frequenza ω_n .

6.4a Le equazioni del moto

La schematizzazione del modello agli elementi finiti adottato dal codice di calcolo LSR2D è riportata nella figura sottostante,



l'equilibrio dinamico globale per tale sistema può essere espresso mediante la seguente relazione:

$$M \ddot{u} + (C_e + C_b)\dot{u} + Ku = -MI_x \ddot{u}_{b,x}(t) - MI_y \ddot{u}_{b,y}(t) + F_{ff}(t)$$

dove:

- M : matrice di massa globale del sistema;
- C_e : matrice di smorzamento globale del sistema relativa agli elementi finiti;

- C_b : matrice di smorzamento globale del sistema relativa agli smorzatori viscosi presenti alla base del modello;
- K : matrice di rigidità globale del sistema;
- $\ddot{\mathbf{u}}$: vettore delle accelerazioni globali del sistema;
- $\dot{\mathbf{u}}$: vettore delle velocità globali del sistema;
- \mathbf{u} : vettore degli spostamenti globali del sistema;
- I_x : vettore globale di trascinamento in direzione orizzontale;
- I_y : vettore globale di trascinamento in direzione verticale;
- $\ddot{u}_{b,x}(t)$: storia temporale in direzione orizzontale dell'accelerazione in input;
- $\ddot{u}_{b,y}(t)$: storia temporale in direzione verticale dell'accelerazione in input;
- $F_{ff}(t)$: forze dinamiche dovute alle condizioni free-field.

6.4b Integrazione nel tempo

La soluzione delle equazioni del moto all' n -simo istante di tempo viene ottenuta mediante un algoritmo di integrazione diretta nel dominio del tempo (metodo di Newmark). I metodi di integrazione facenti parti della famiglia dei metodi di Newmark si basano sulle seguenti espressioni:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma)\ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$
$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - 2\beta)\ddot{u}_{n-1} + 2\ddot{u}_n]$$

Nel codice di calcolo LSR2D viene utilizzato il metodo CAA (Constant Average Acceleration Method) che risulta incondizionatamente stabile e non introduce alcun damping numerico nella soluzione [Hughes, 1987]. In tal caso i coefficienti del γ e β valgono rispettivamente 0.5 e 0.25.

Riscrivendo l'equazione del moto nella seguente forma:

$$M \ddot{\mathbf{u}} + C \dot{\mathbf{u}} + K \mathbf{u} = \mathbf{p}$$

l'algoritmo di soluzione numerica viene di seguito illustrato.

Note le condizioni iniziali in termini di spostamento e di velocità, si determina l'accelerazione iniziale attraverso la relazione:

$$\ddot{\mathbf{u}}_0 = M^{-1}(\mathbf{p}_0 - C \dot{\mathbf{u}}_0 - K \mathbf{u}_0)$$

Assegnata l'ampiezza Δt dell'intervallo di integrazione, si calcolano le seguenti costanti:

$$\widehat{K} = \frac{1}{\beta \Delta t^2} M + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} C + K; \quad A = \frac{1}{\beta \Delta t} M + \frac{\gamma}{\beta} C; \quad B = \frac{1}{2\beta} M + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) C$$

Per ogni intervallo di integrazione si calcolano le quantità:

$$\Delta \hat{p}_n = \Delta p_n + A \dot{u}_n + B \ddot{u}_n; \quad \Delta u_n = \frac{\Delta \hat{p}_n}{\widehat{K}}$$

$$\Delta \dot{u}_n = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta u_n - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_n - \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \ddot{u}_n; \quad \Delta \ddot{u}_n = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta u_n - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{u}_n - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_n$$

da cui si ottiene:

$$u_{n+1} = u_n + \Delta u_n; \quad \dot{u}_{n+1} = \dot{u}_n + \Delta \dot{u}_n; \quad \ddot{u}_{n+1} = \ddot{u}_n + \Delta \ddot{u}_n$$

Sostituendo n con $n+1$, si ripete il procedimento per il successivo intervallo di integrazione, e così via per tutti gli istanti di tempo.

6.5 Risultati della modellazione

I risultati della analisi condotte con il codice LSR2D lungo le sette sezioni significative hanno permesso di ricavare per ognuno dei singoli areali in cui è stato suddiviso il territorio oggetto dello studio di III livello:

- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) e lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido);
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido.

In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido);

- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero $FA_{0.1-0.5 s}$):

$$H_{MS} = \frac{ASI_{PU}}{\Delta T} \times FA_{0,1-0,5s}$$

I valori di $ASI_{PU}/\Delta T$ sono forniti dalla Regione Emilia-Romagna e calcolati per ogni punto della griglia INGV della pericolosità sismica di base.

Inoltre per ognuna delle sette sezioni utilizzate nella modellazione numerica bidimensionale è stato possibile ricavare:

- Il valore delle accelerazioni (in m/s^2) (sia lungo il profilo orografico che in profondità);
- il valore delle deformazioni massime (in %) (sia lungo il profilo orografico che in profondità).

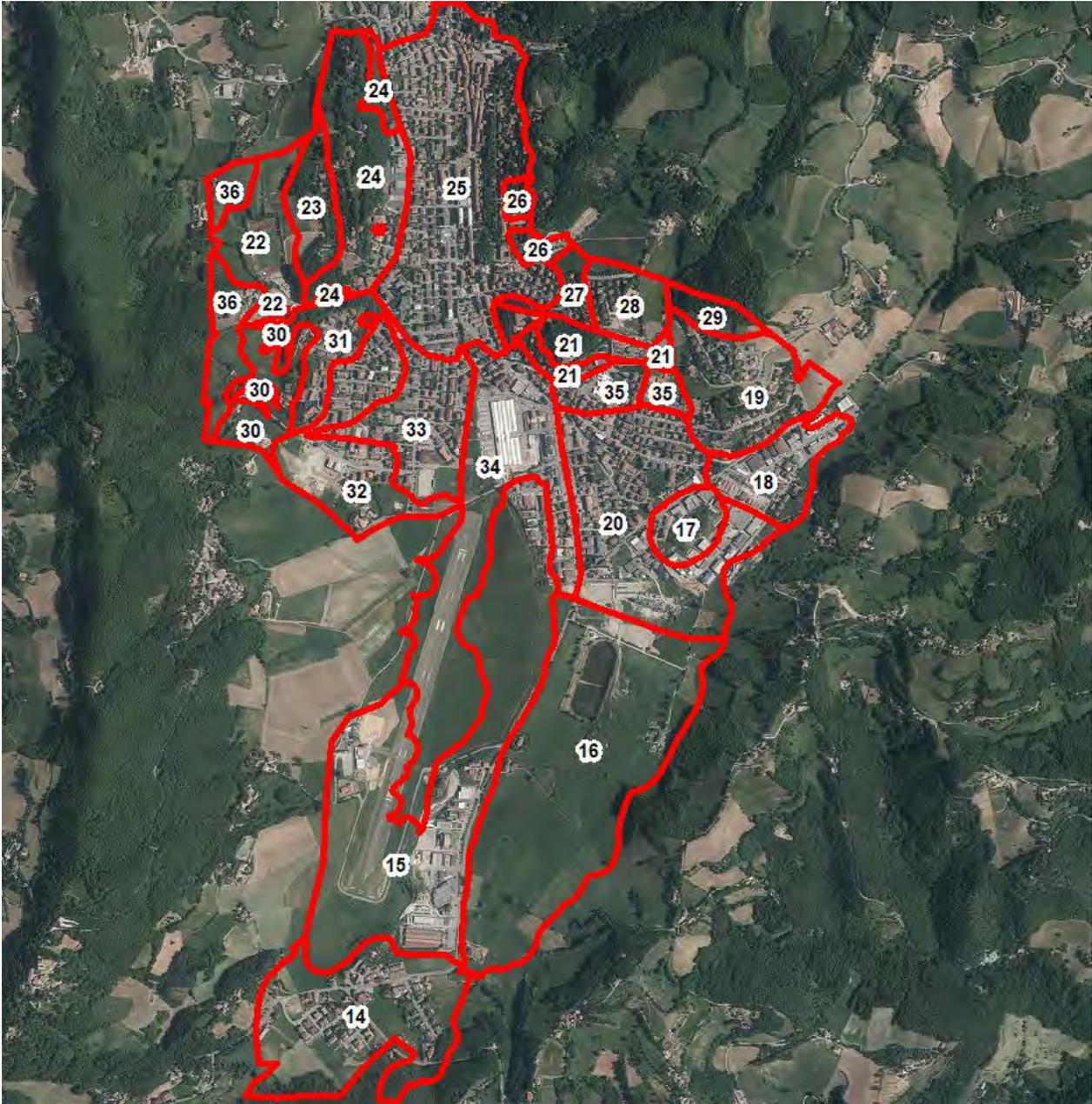
Si riportano di seguito i risultati per l'abitato di Pavullo capoluogo e della frazione di Sant'Antonio.

6.5.1 Pavullo Capoluogo

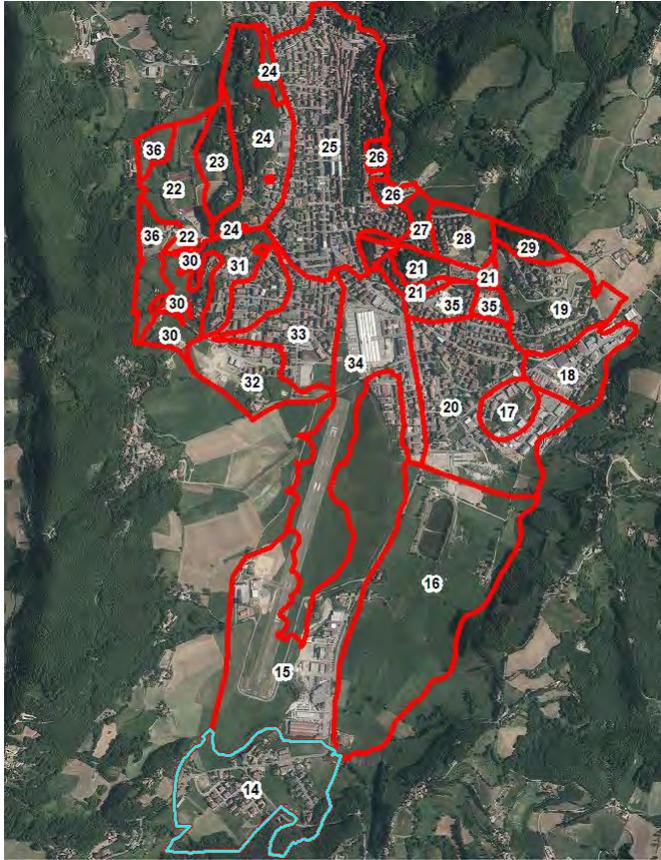
Si riporta di seguito:

- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo per ogni singola zona;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido);
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido);
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s):

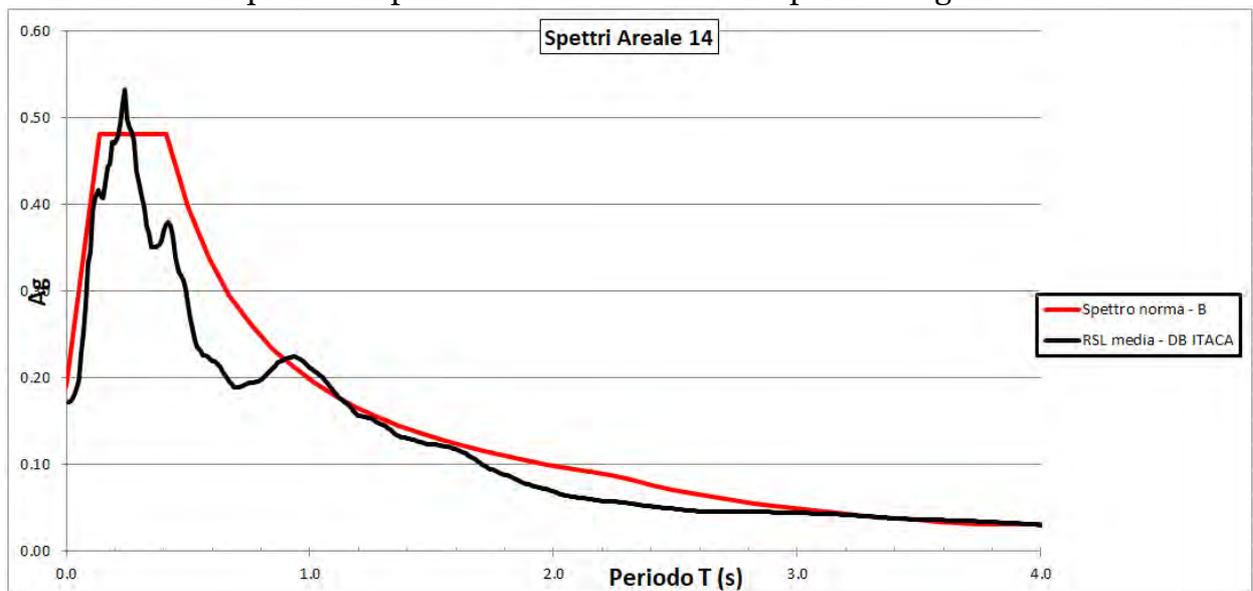
$$H_{MS} = \frac{ASI_{PU}}{\Delta T} \times FA_{0,1-0,5s}$$



Zona 14



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.07$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.17$$

$$FA_{0408} = 1.13$$

$$FA_{0711} = 1.26$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.18$$

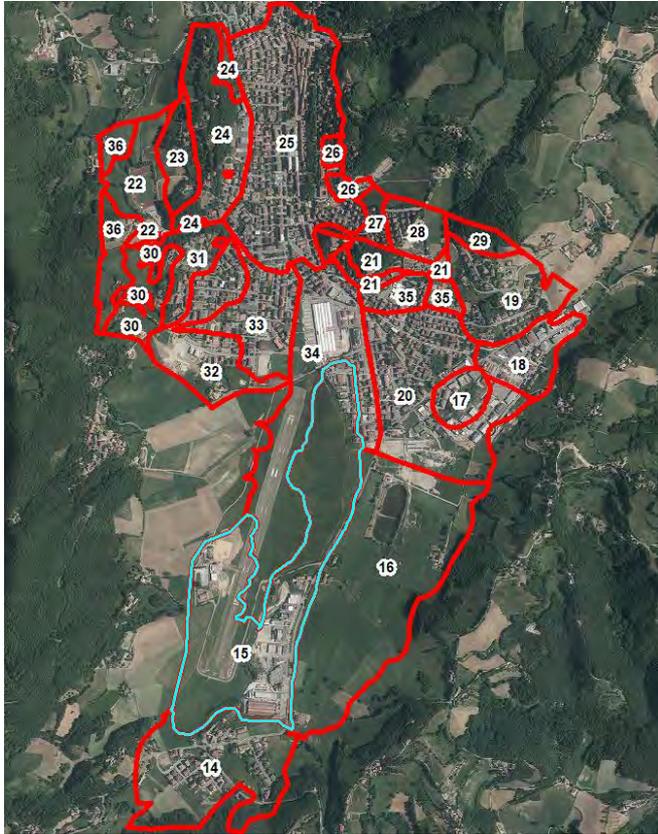
$$FH_{0510} = 1.15$$

$$FH_{0515} = 1.25$$

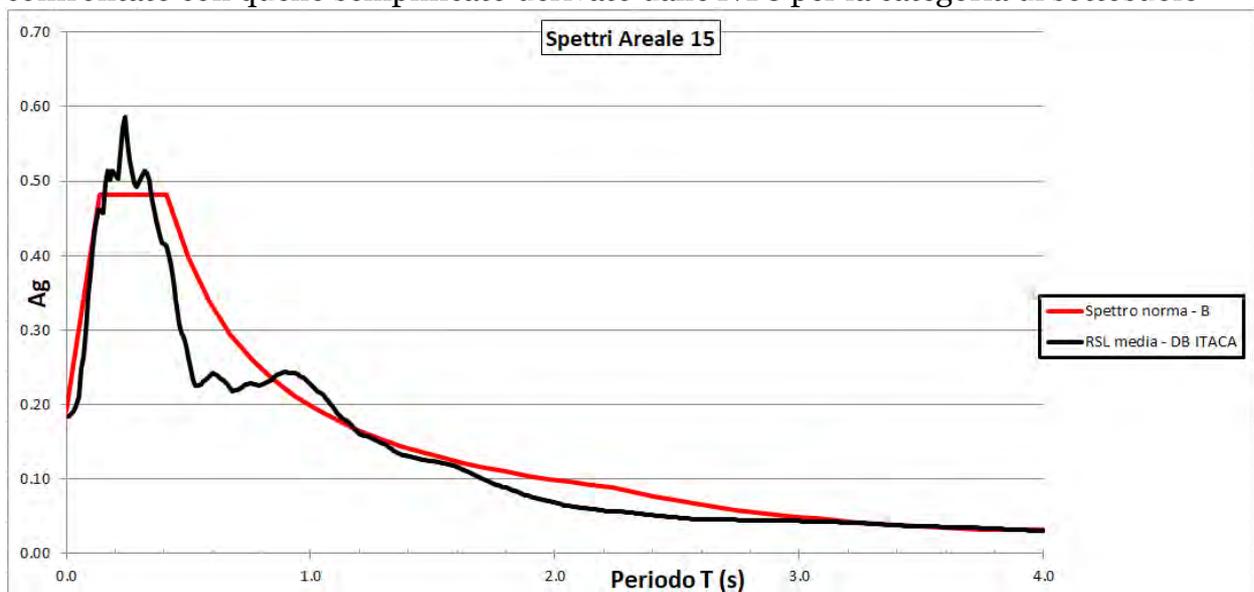
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 418.22 \text{ cm/s}^2$$

Zona 15



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.14$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.31$$

$$FA_{0408} = 1.17$$

$$FA_{0711} = 1.43$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.33$$

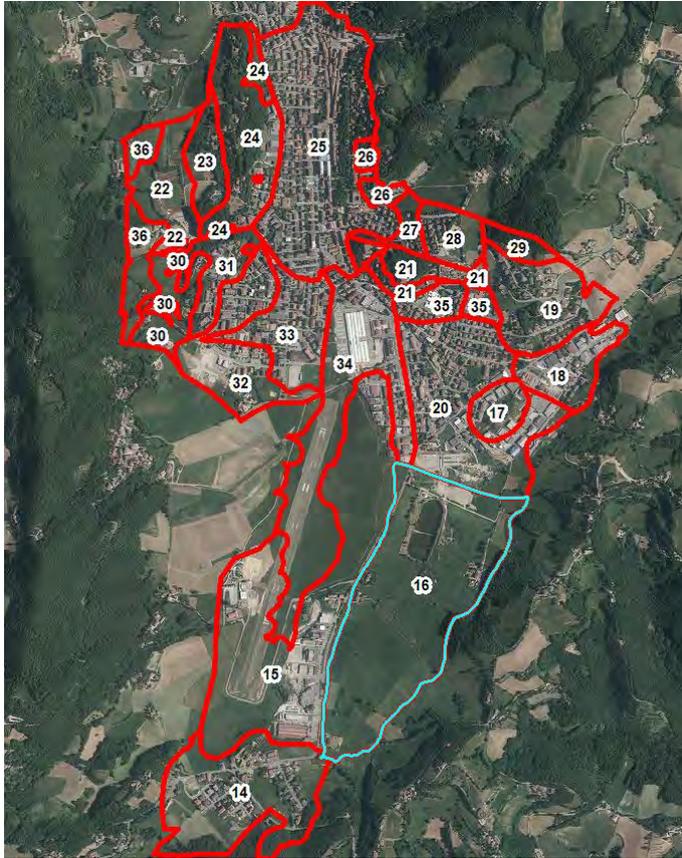
$$FH_{0510} = 1.37$$

$$FH_{0515} = 1.33$$

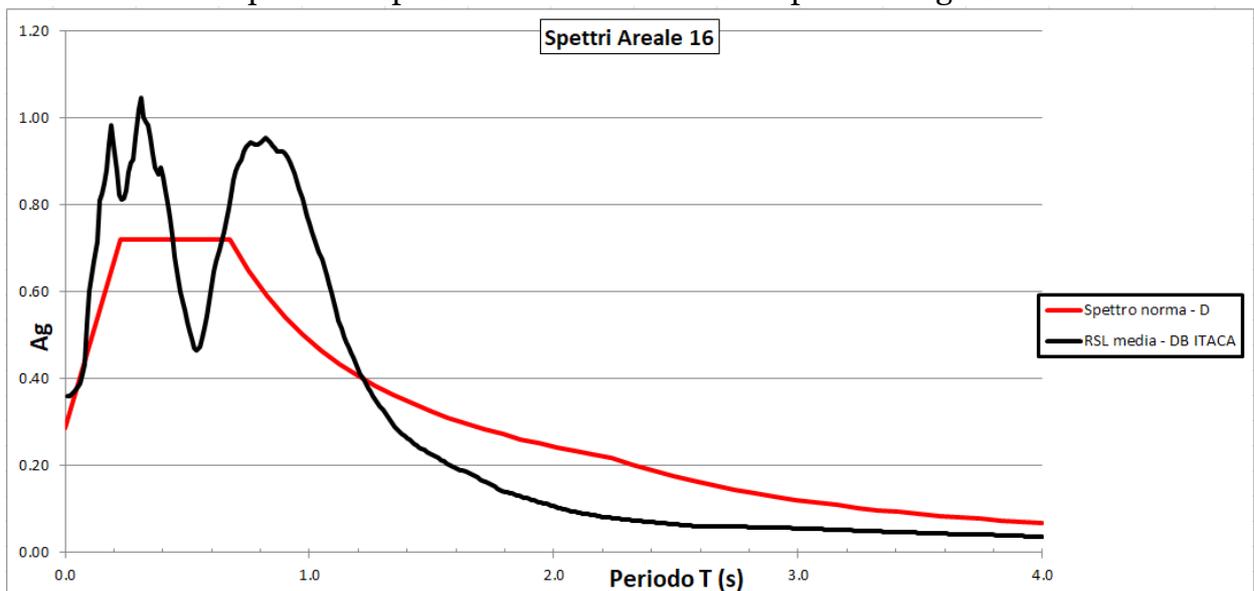
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 468.26 \text{ cm/s}^2$$

Zona 16



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 2.19$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.39$$

$$FA_{0408} = 3.43$$

$$FA_{0711} = 5.28$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.31$$

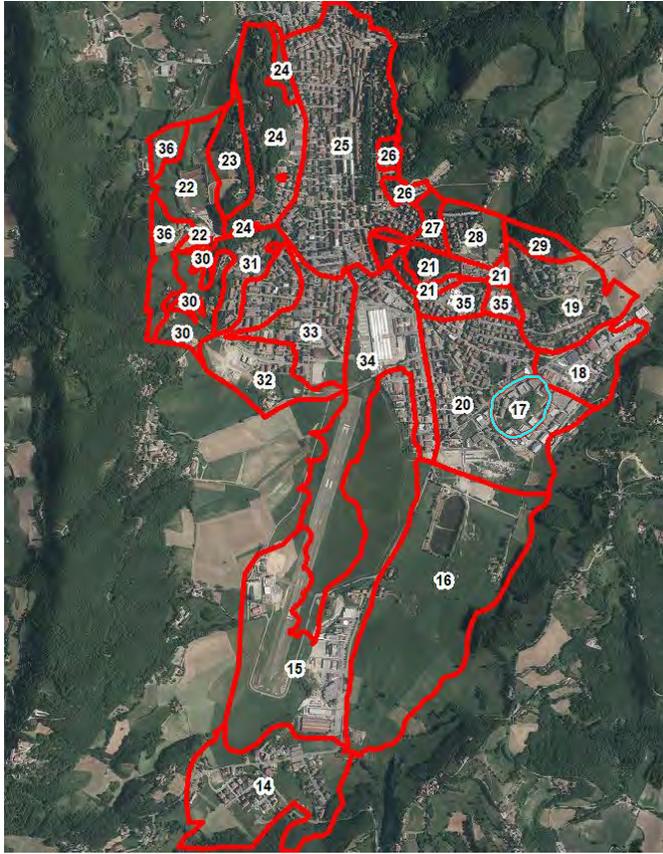
$$FH_{0510} = 4.22$$

$$FH_{0515} = 3.91$$

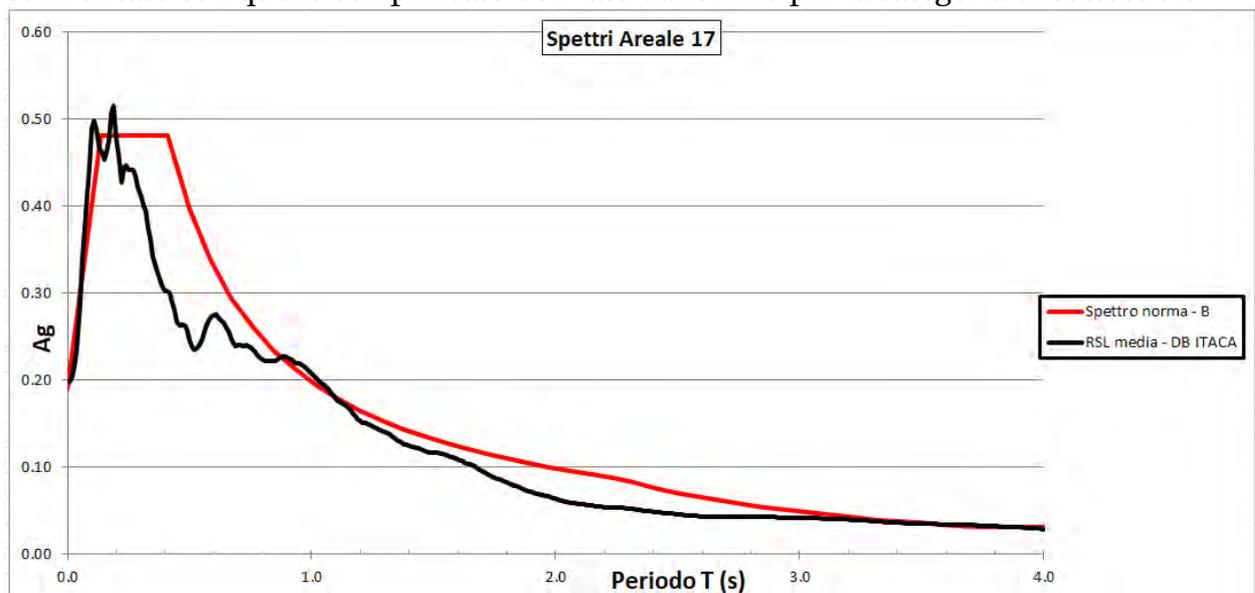
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 854.31 \text{ cm/s}^2$$

Zona 17



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.23$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.12$$

$$FA_{0408} = 1.20$$

$$FA_{0711} = 1.59$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.08$$

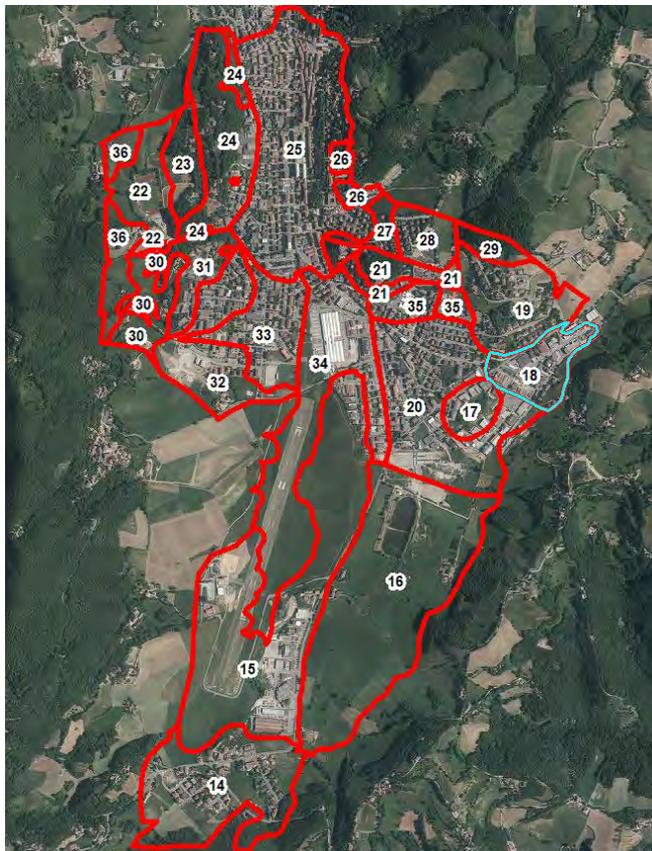
$$FH_{0510} = 1.43$$

$$FH_{0515} = 1.43$$

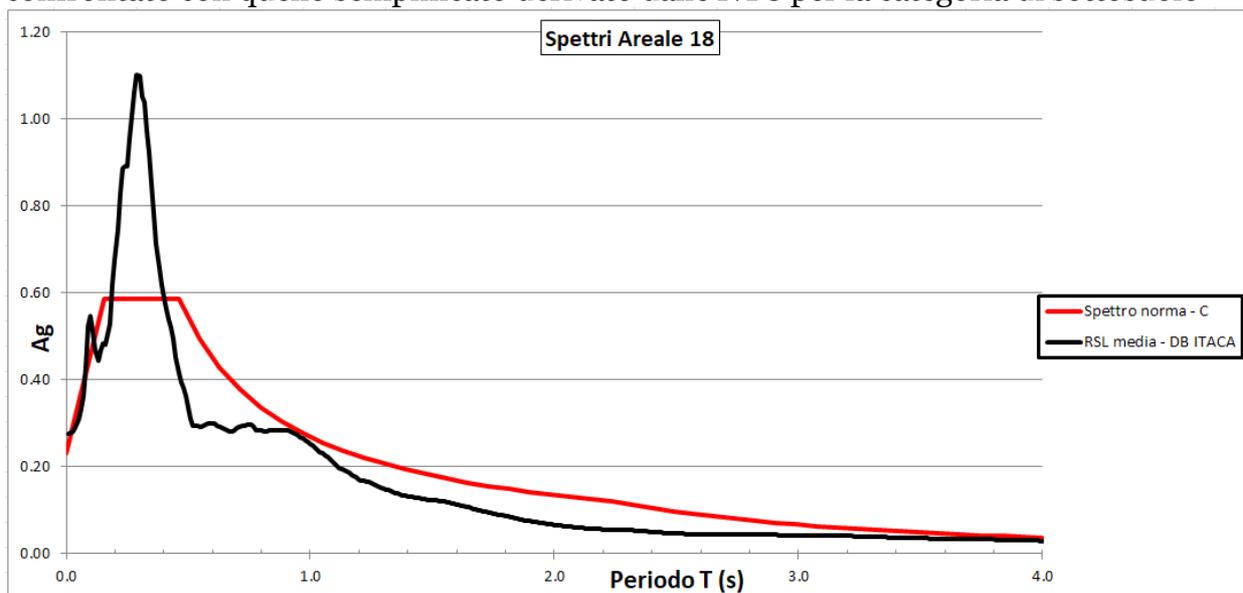
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 400.34 \text{ cm/s}^2$$

Zona 18



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.71$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.98$$

$$FA_{0408} = 1.53$$

$$FA_{0711} = 1.67$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.07$$

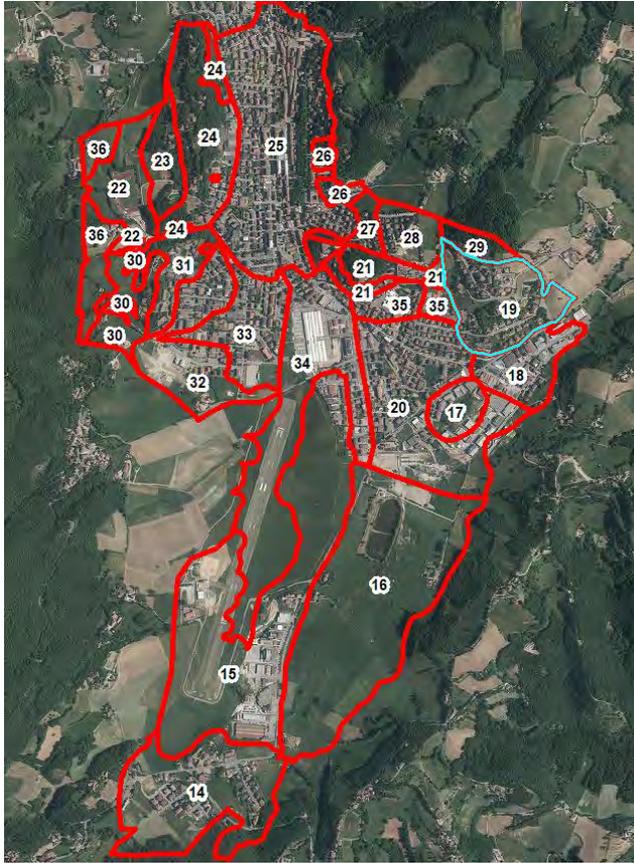
$$FH_{0510} = 1.62$$

$$FH_{0515} = 1.59$$

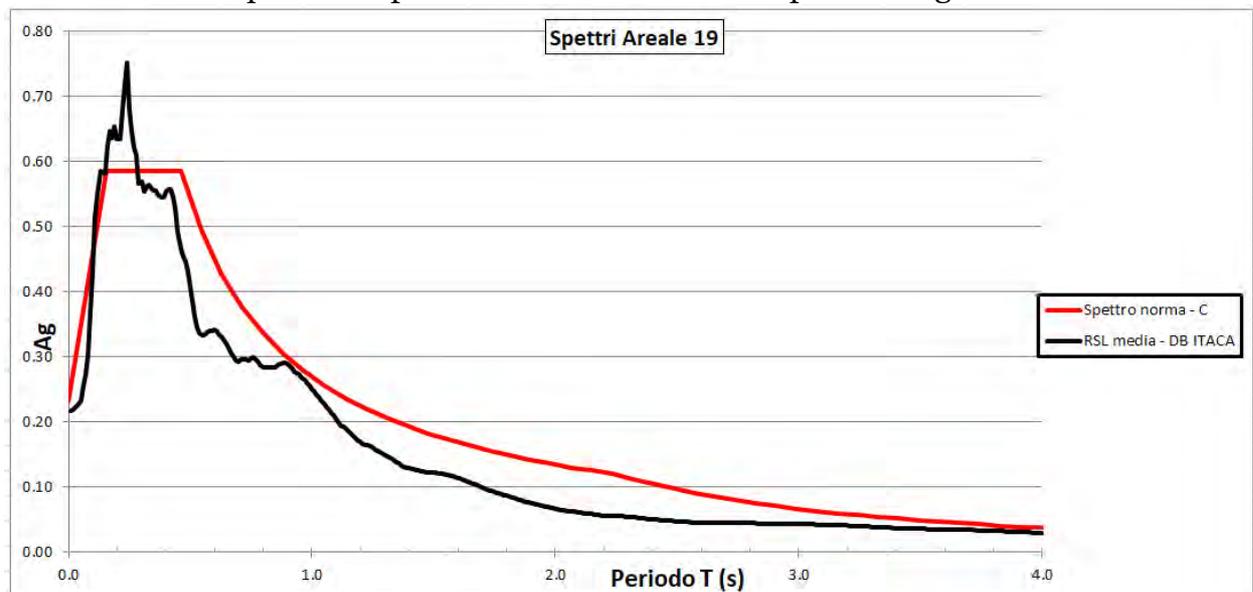
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 707.75 \text{ cm/s}^2$$

Zona 19



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.36$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.64$$

$$FA_{0408} = 1.78$$

$$FA_{0711} = 1.68$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.72$$

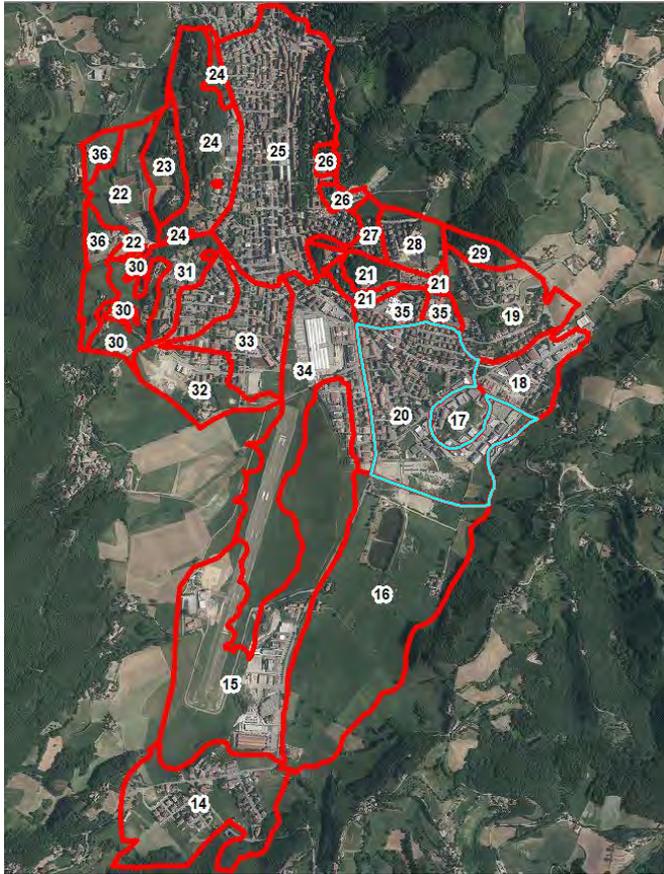
$$FH_{0510} = 1.70$$

$$FH_{0515} = 1.61$$

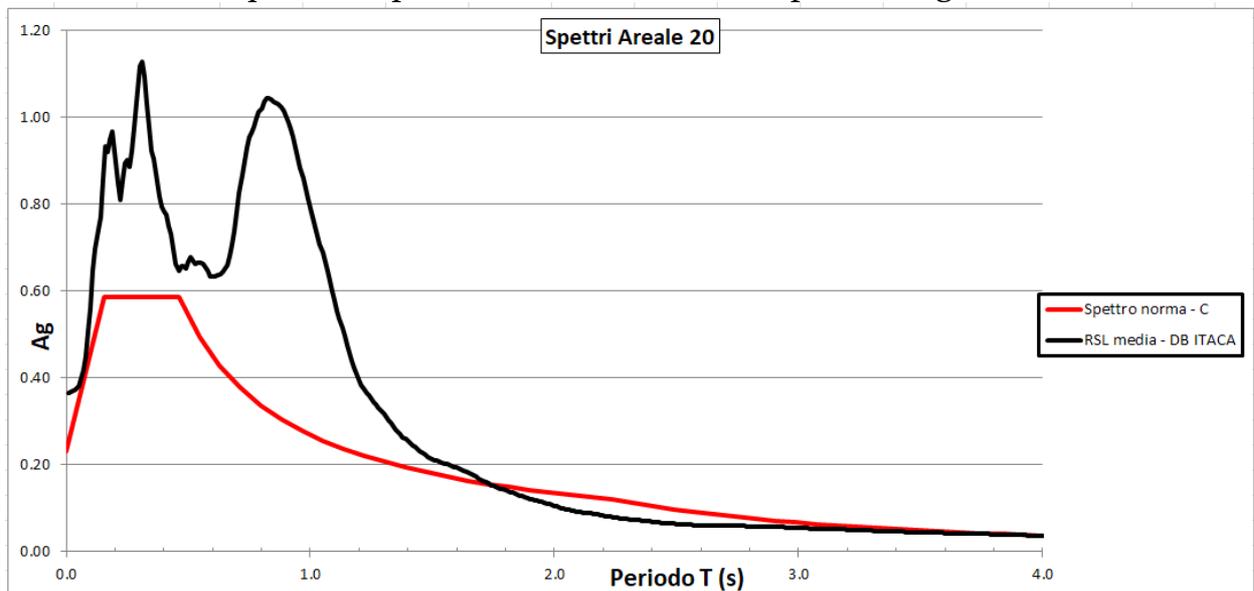
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 586.22 \text{ cm/s}^2$$

Zona 20



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 2.25$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.44$$

$$FA_{0408} = 3.42$$

$$FA_{0711} = 5.55$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.37$$

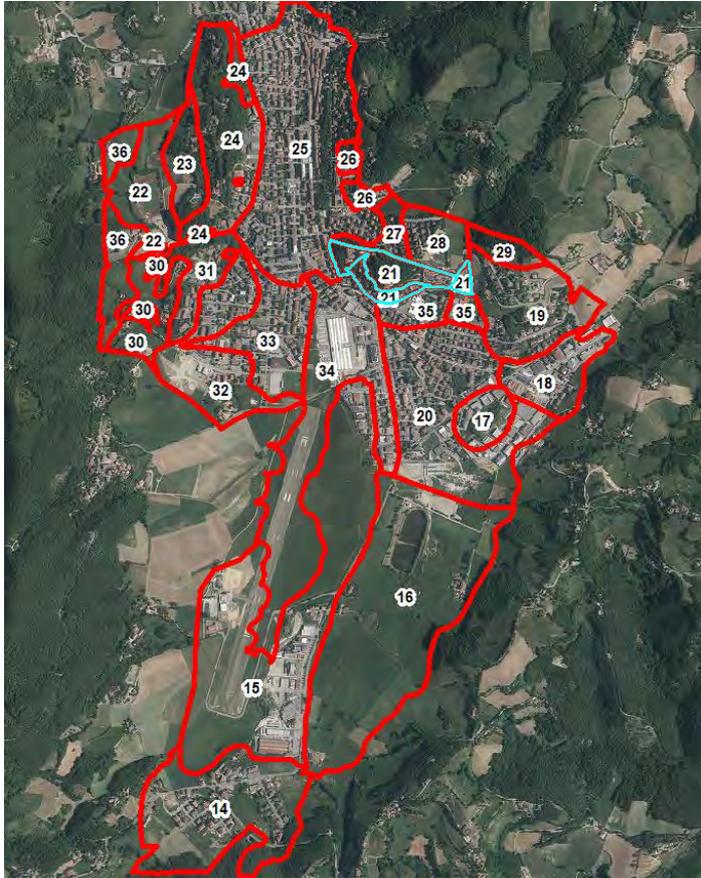
$$FH_{0510} = 4.49$$

$$FH_{0515} = 4.05$$

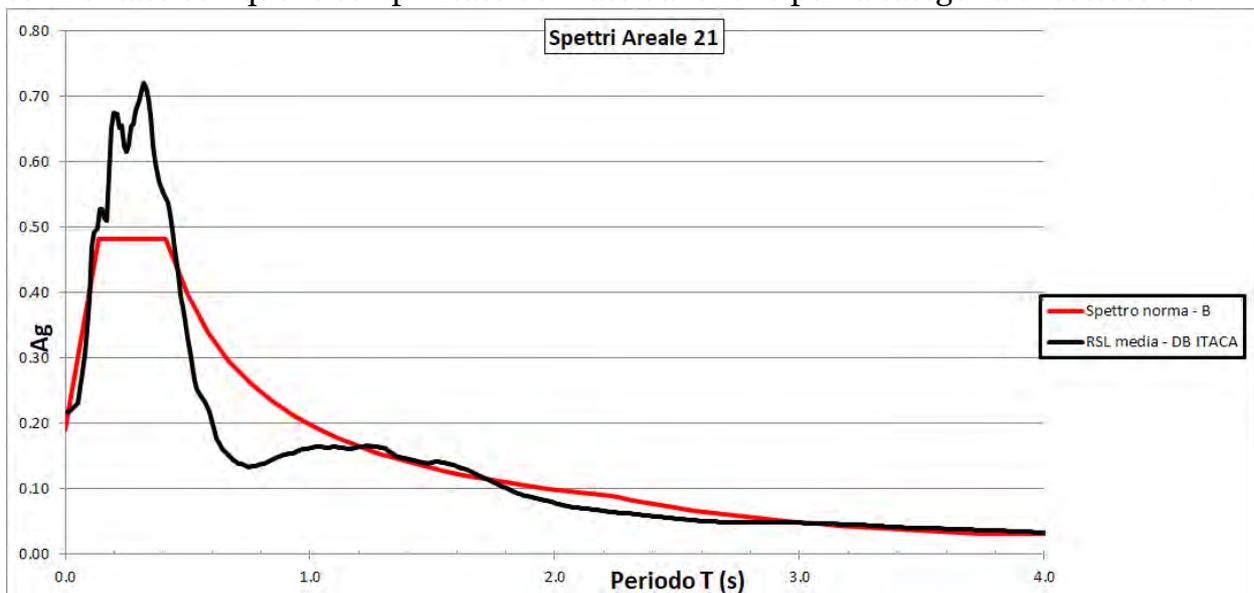
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 872.18 \text{ cm/s}^2$$

Zona 21



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.33$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.63$$

$$FA_{0408} = 1.80$$

$$FA_{0711} = 1.71$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.70$$

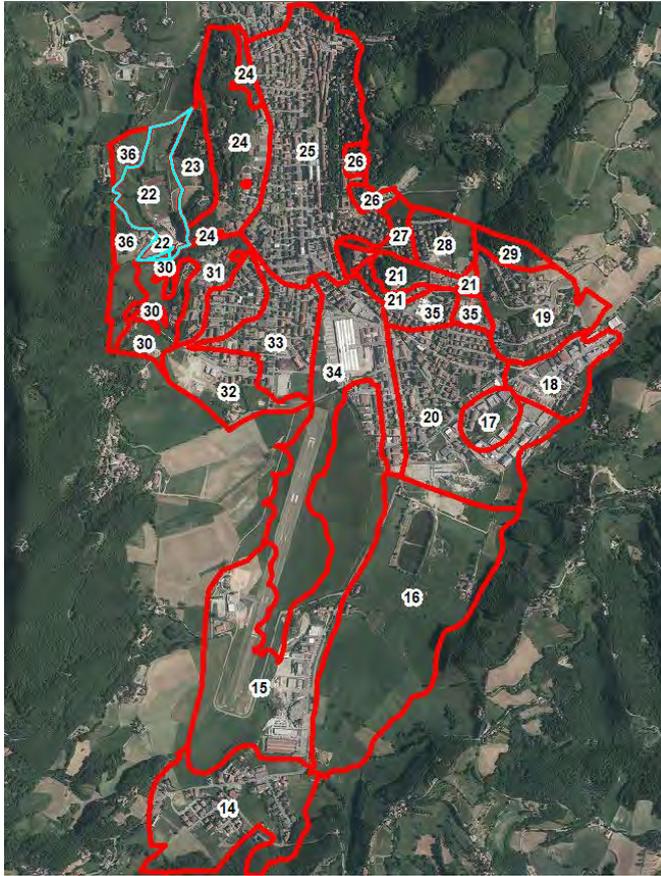
$$FH_{0510} = 1.76$$

$$FH_{0515} = 1.58$$

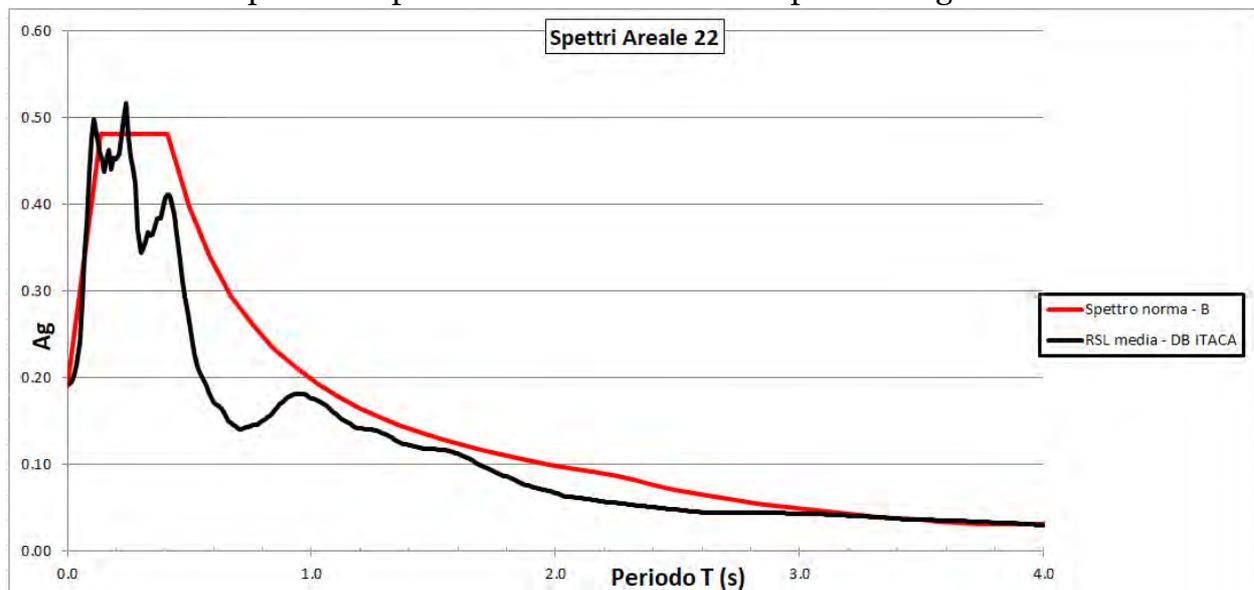
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 582.64 \text{ cm/s}^2$$

Zona 22



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.19$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.27$$
$$FA_{0408} = 1.00$$
$$FA_{0711} = 1.10$$

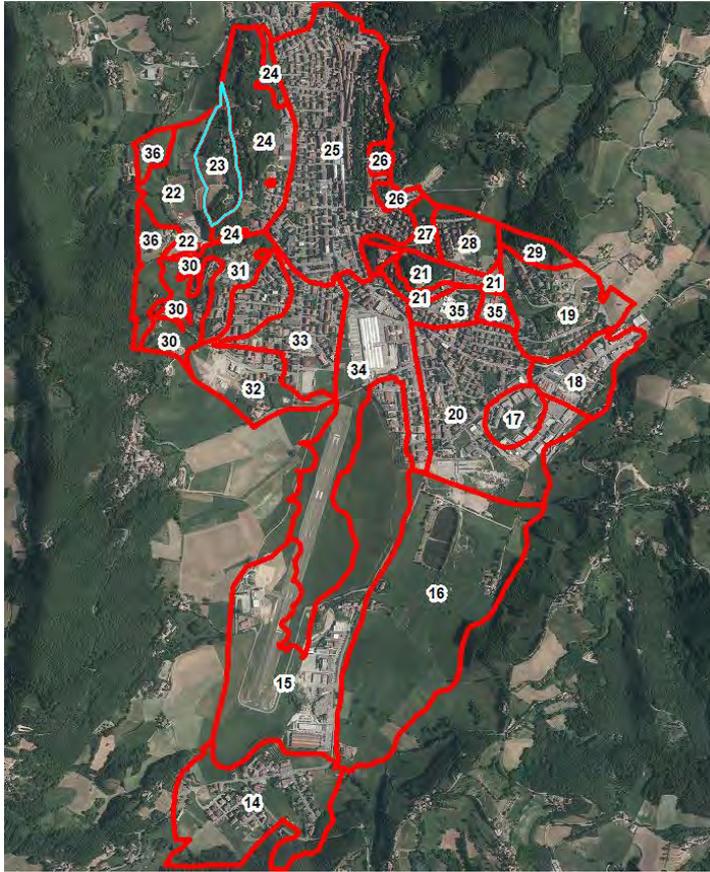
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.25$$
$$FH_{0510} = 1.01$$
$$FH_{0515} = 1.13$$

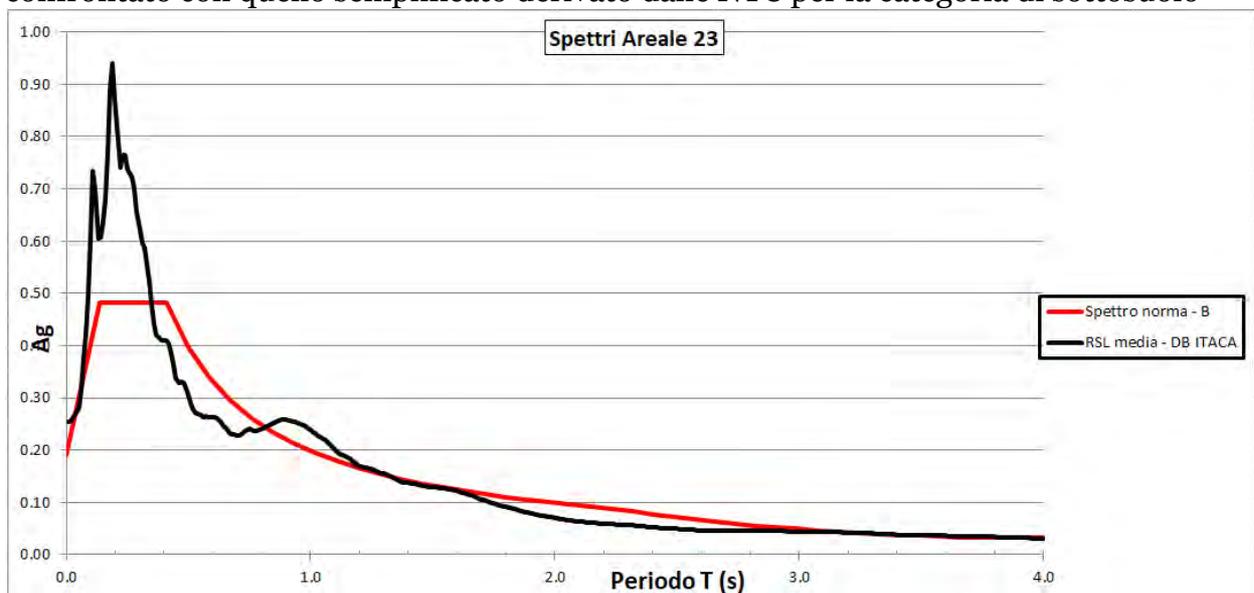
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 453.96 \text{ cm/s}^2$$

Zona 23



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.57$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.67$$

$$FA_{0408} = 1.43$$

$$FA_{0711} = 1.58$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.64$$

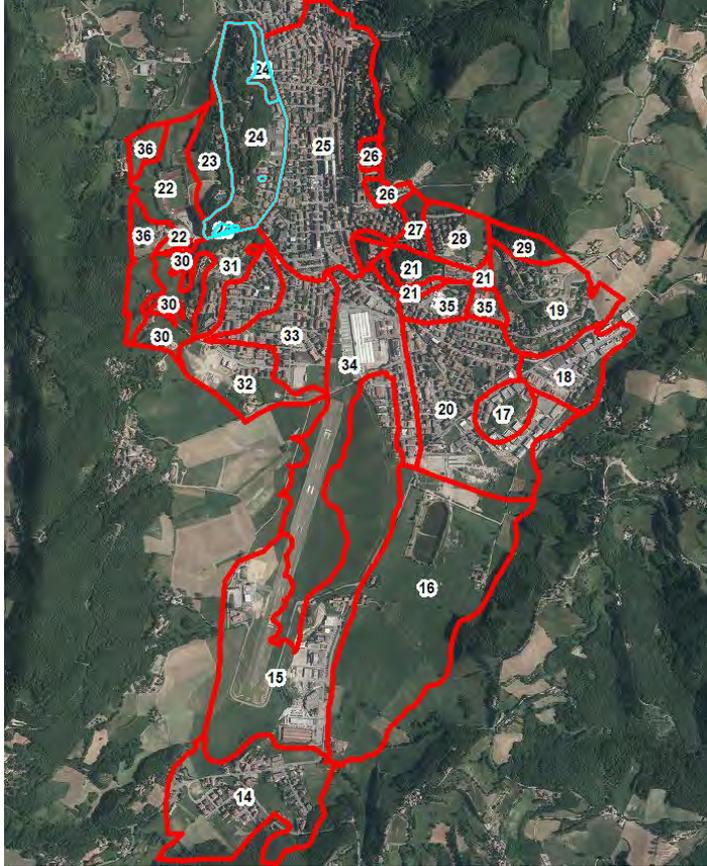
$$FH_{0510} = 1.51$$

$$FH_{0515} = 1.55$$

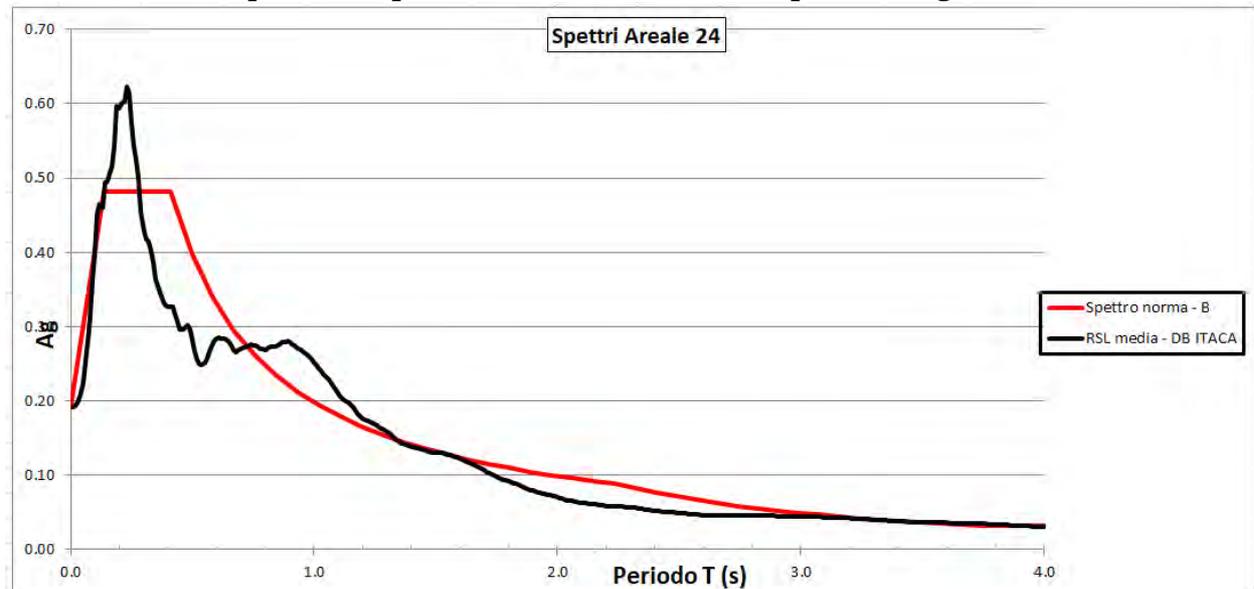
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 596.94 \text{ cm/s}^2$$

Zona 24



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.19$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.24$$

$$FA_{0408} = 1.31$$

$$FA_{0711} = 1.64$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.24$$

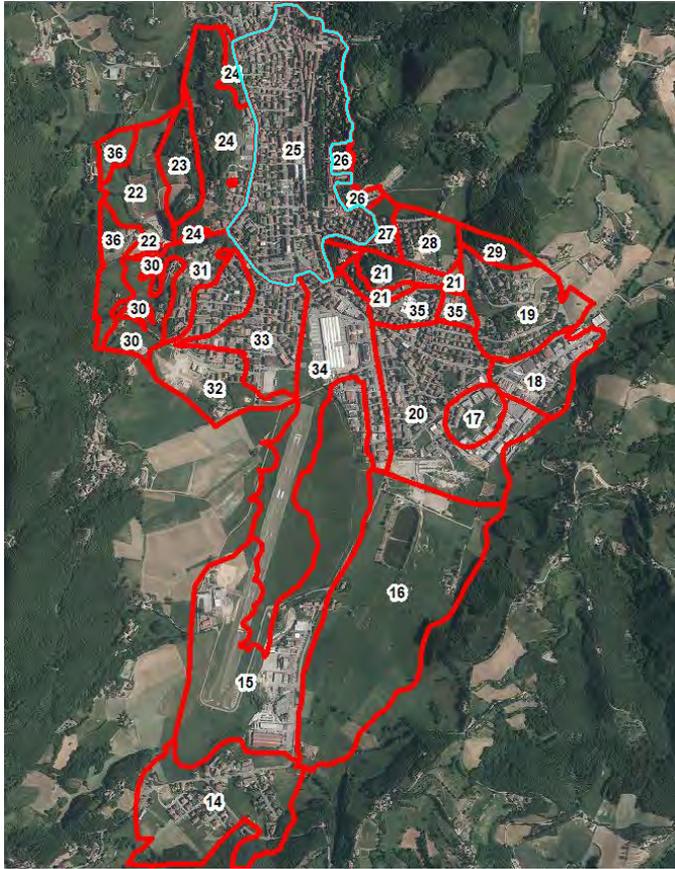
$$FH_{0510} = 1.44$$

$$FH_{0515} = 1.50$$

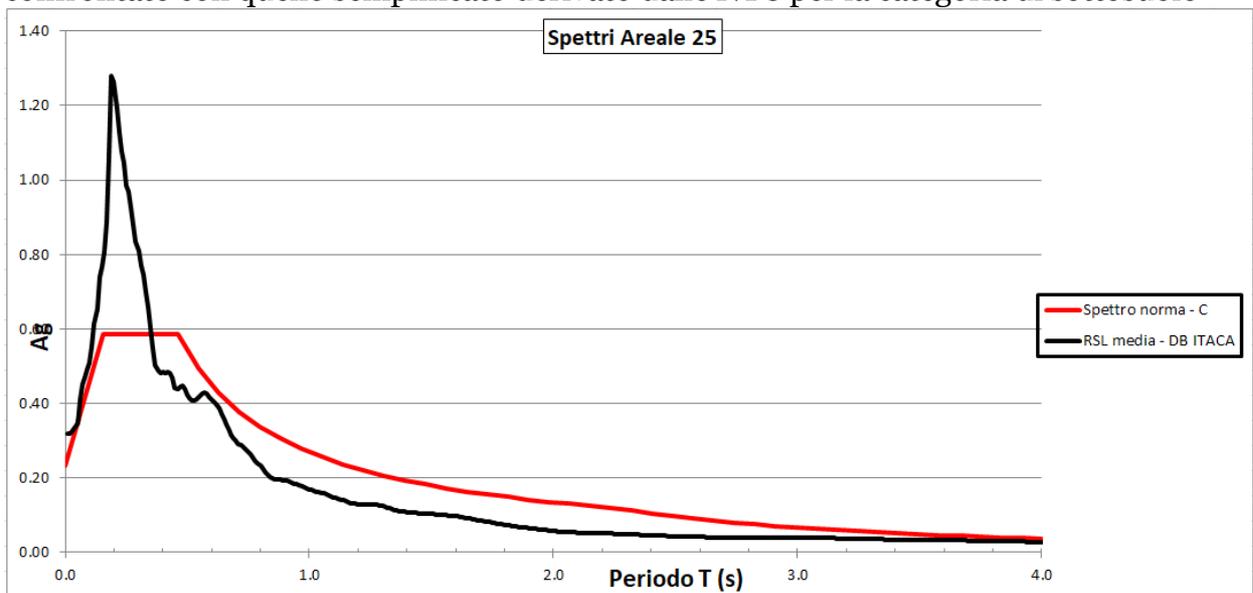
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 443.24 \text{ cm/s}^2$$

Zona 25



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.96$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.02$$

$$FA_{0408} = 1.78$$

$$FA_{0711} = 1.30$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.04$$

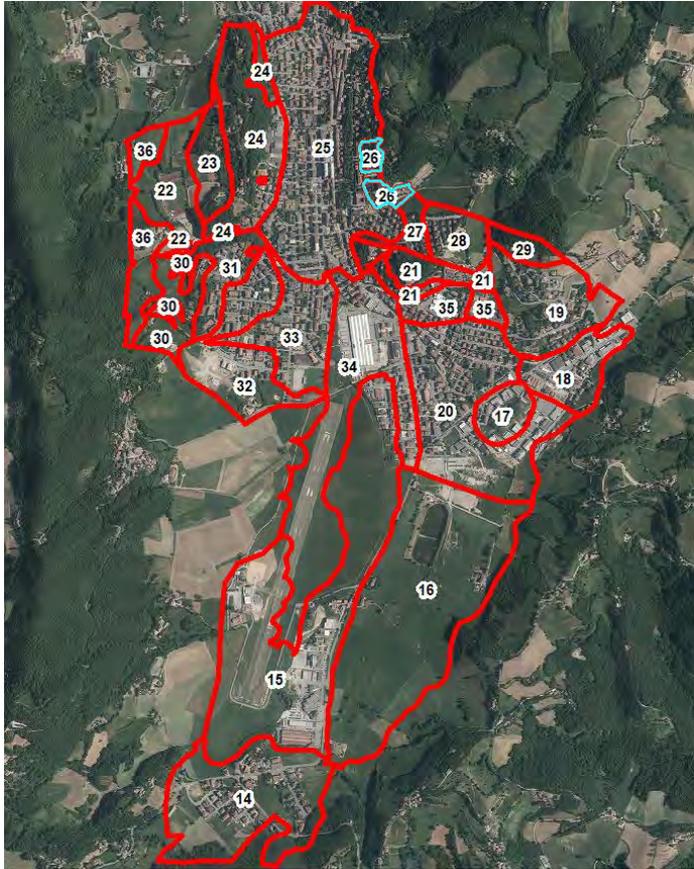
$$FH_{0510} = 1.63$$

$$FH_{0515} = 1.44$$

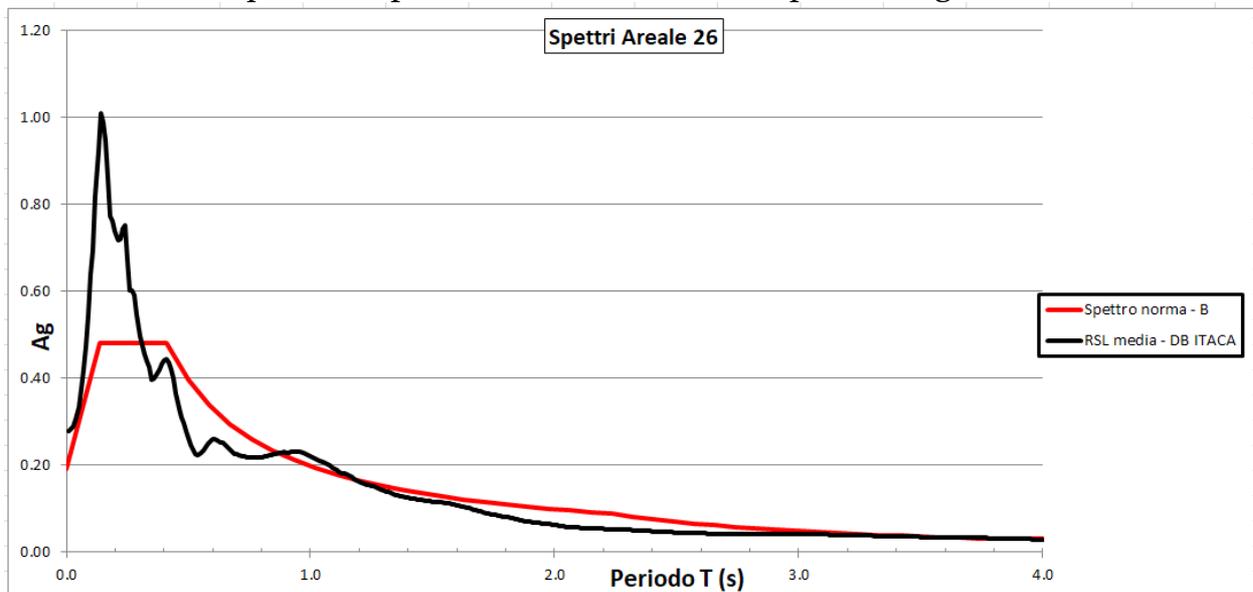
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 722.05 \text{ cm/s}^2$$

Zona 26



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.74$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.66$$

$$FA_{0408} = 1.22$$

$$FA_{0711} = 1.36$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.59$$

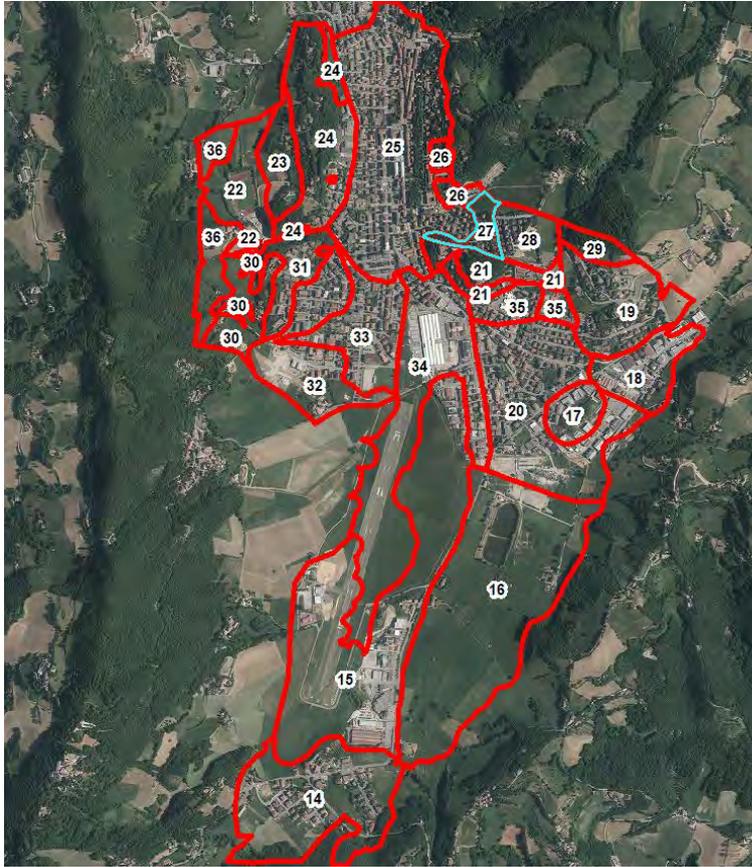
$$FH_{0510} = 1.28$$

$$FH_{0515} = 1.35$$

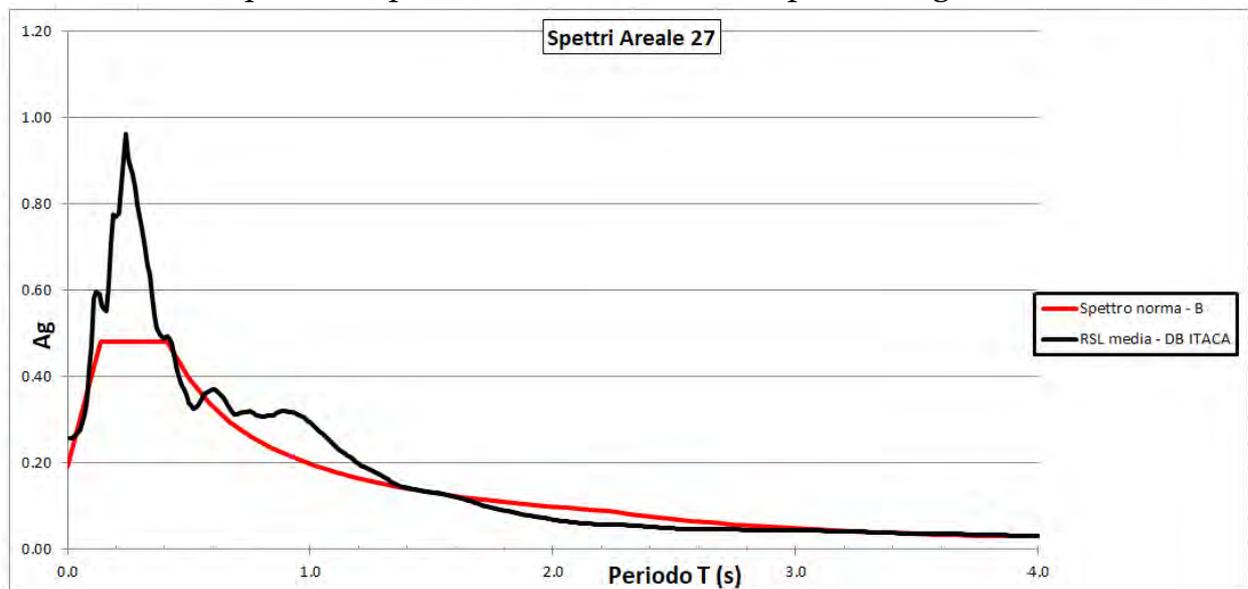
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 593.37 \text{ cm/s}^2$$

Zona 27



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.59$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.83$$

$$FA_{0408} = 1.63$$

$$FA_{0711} = 1.91$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.84$$

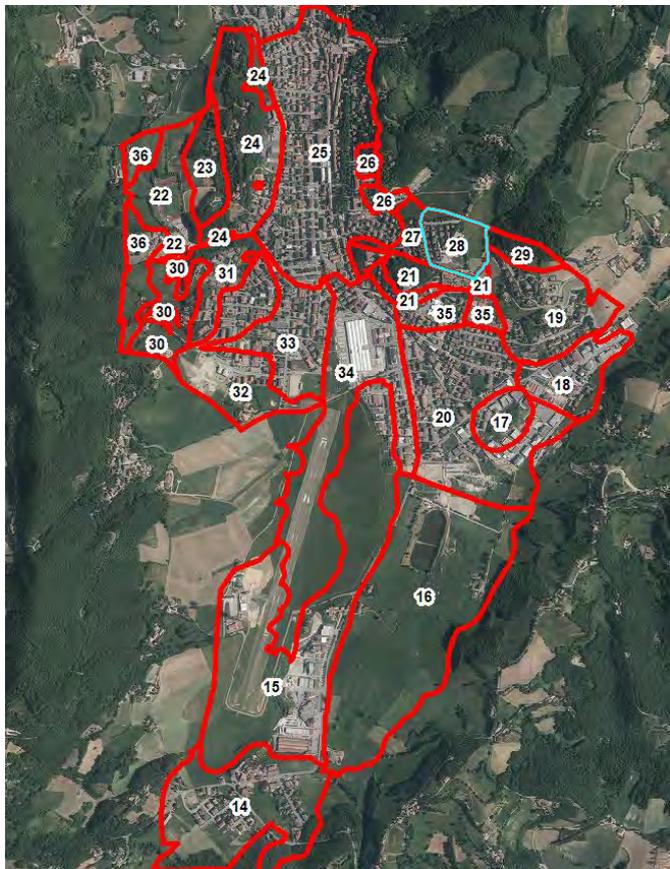
$$FH_{0510} = 1.75$$

$$FH_{0515} = 1.60$$

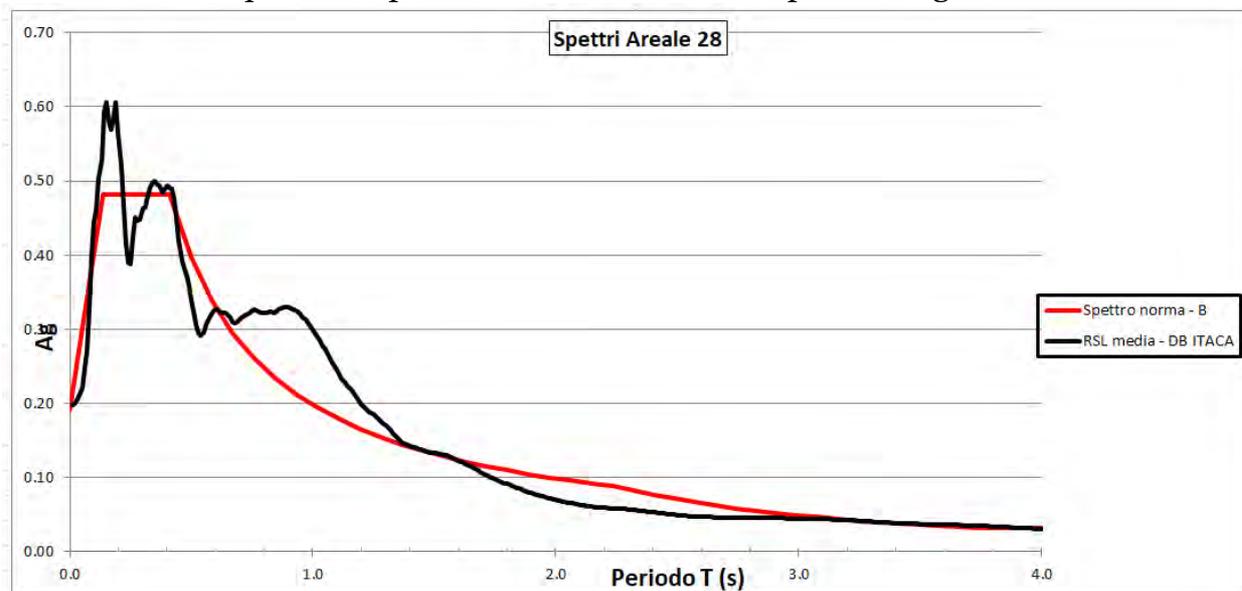
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 654.13 \text{ cm/s}^2$$

Zona 28



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.22$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.57$$

$$FA_{0408} = 1.60$$

$$FA_{0711} = 1.91$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.59$$

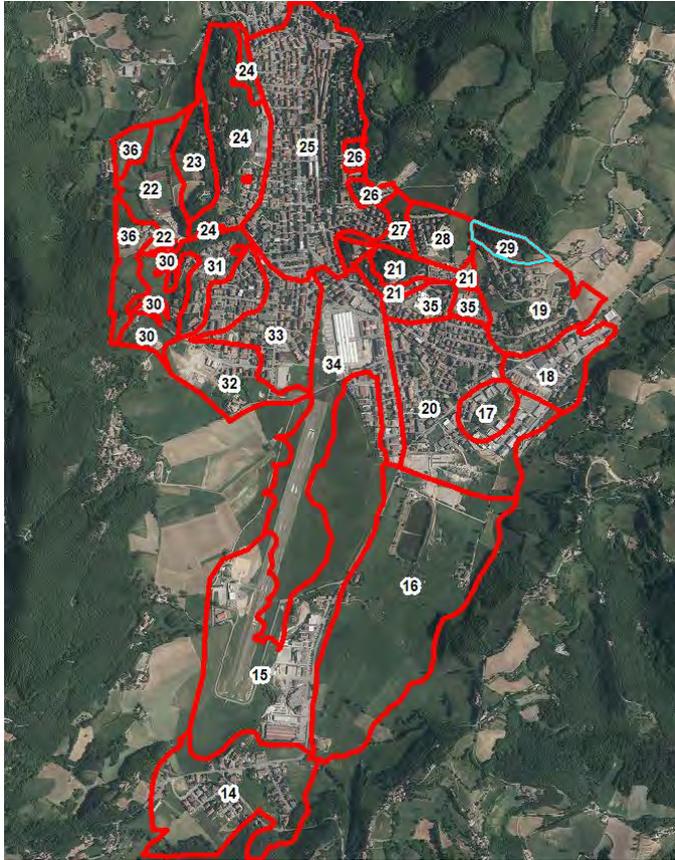
$$FH_{0510} = 1.71$$

$$FH_{0515} = 1.70$$

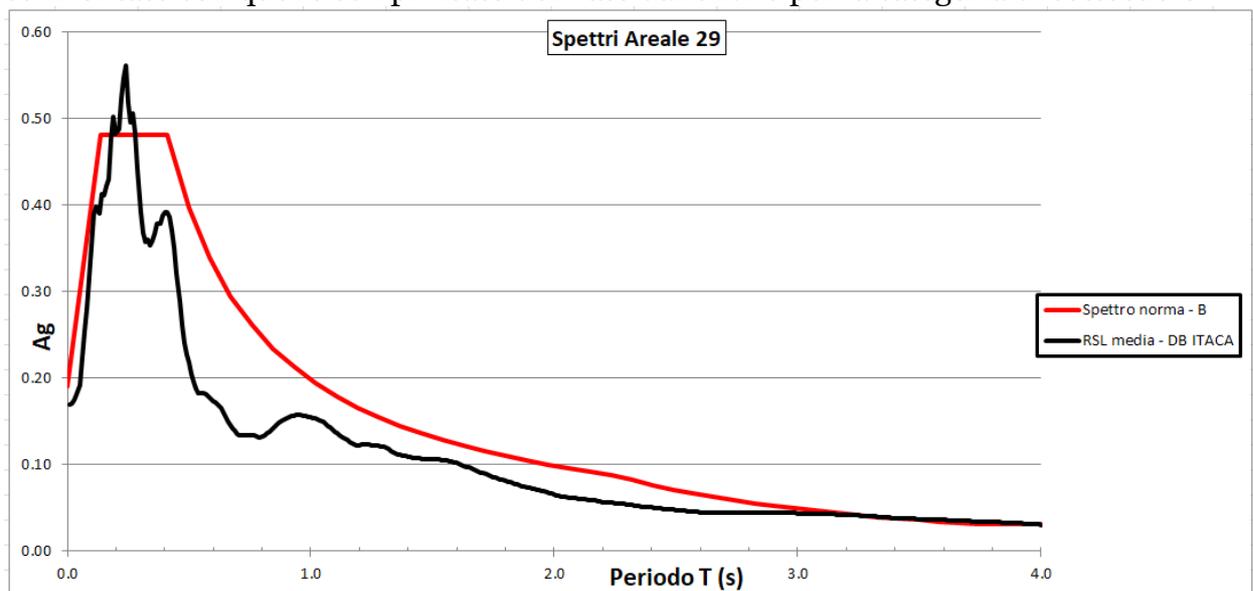
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 561.20 \text{ cm/s}^2$$

Zona 29



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.05$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.22$$

$$FA_{0408} = 1.19$$

$$FA_{0711} = 1.17$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.31$$

$$FH_{0510} = 1.17$$

$$FH_{0515} = 1.23$$

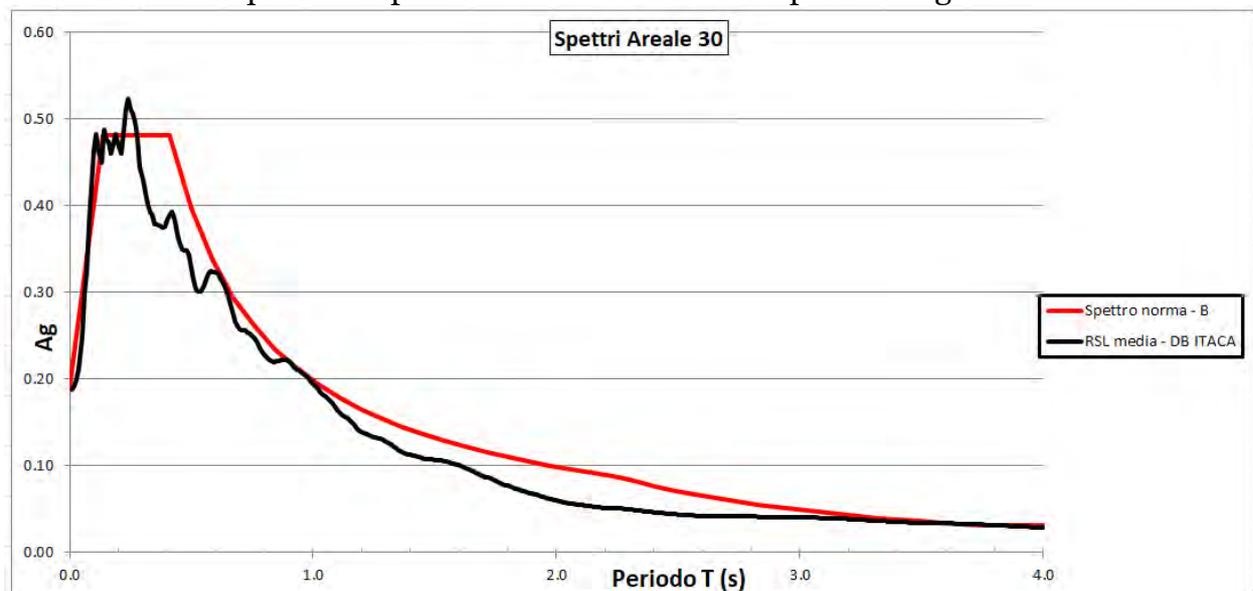
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 436.09 \text{ cm/s}^2$$

Zona 30



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.17$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.24$$

$$FA_{0408} = 1.39$$

$$FA_{0711} = 1.34$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.24$$

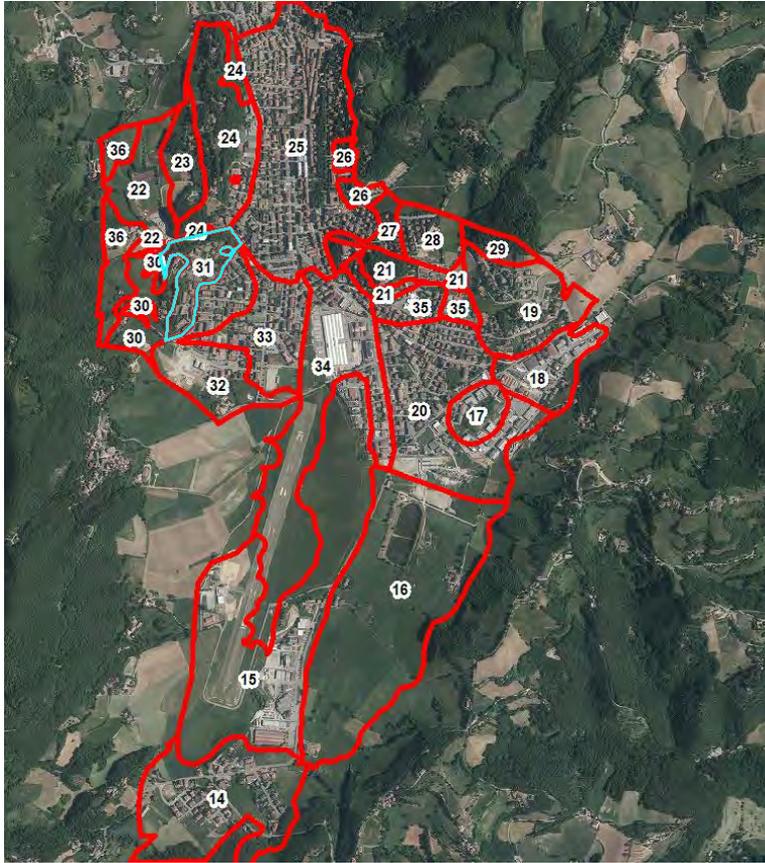
$$FH_{0510} = 1.38$$

$$FH_{0515} = 1.31$$

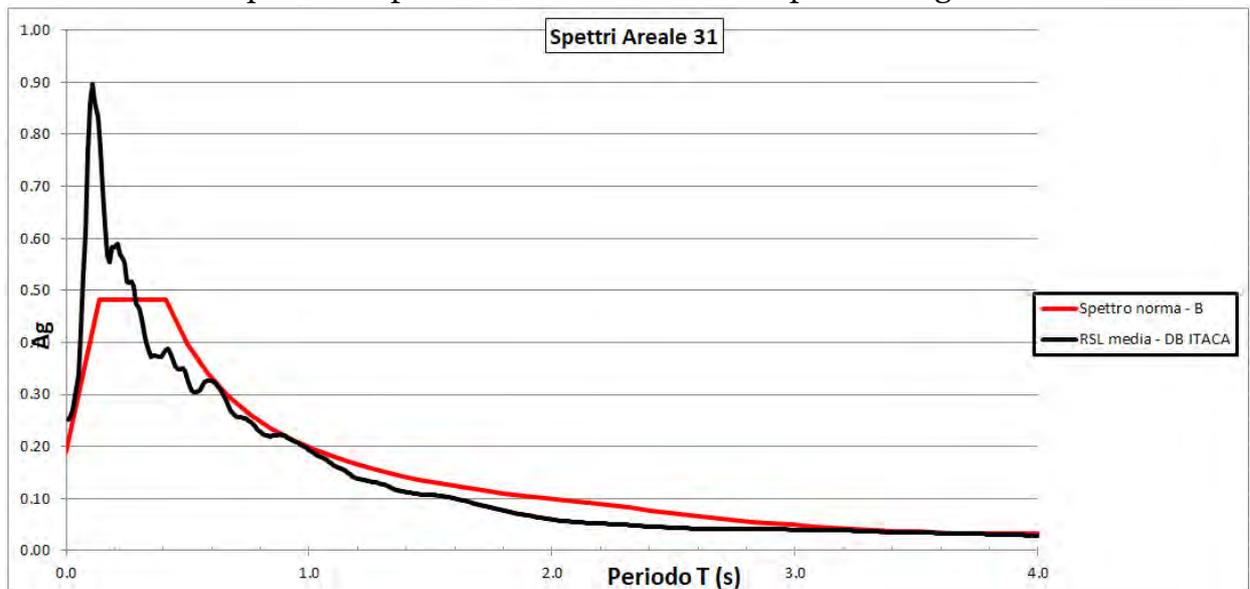
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 443.24 \text{ cm/s}^2$$

Zona 31



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.56$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.45$$

$$FA_{0408} = 1.41$$

$$FA_{0711} = 1.35$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.37$$

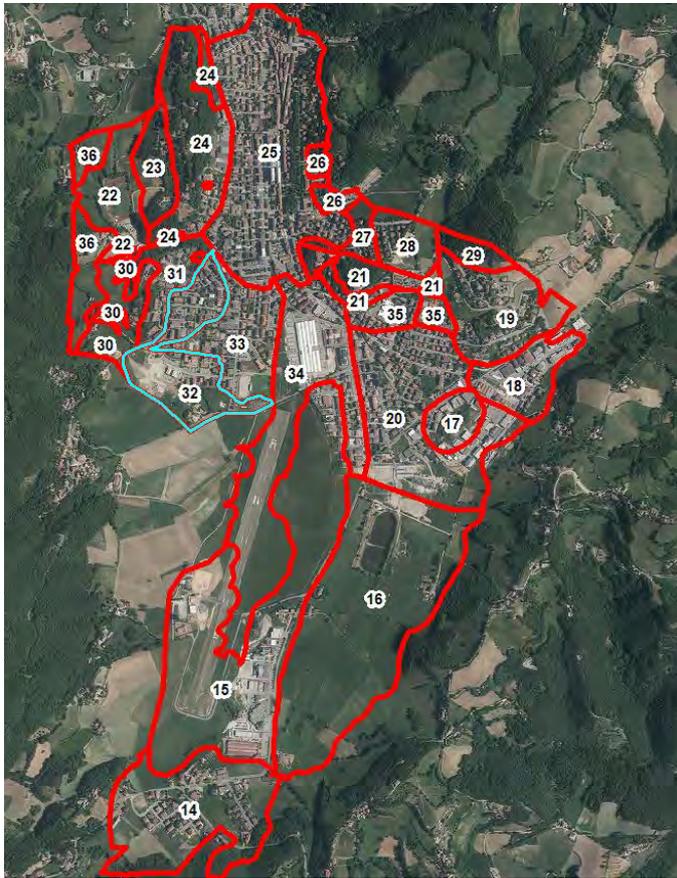
$$FH_{0510} = 1.40$$

$$FH_{0515} = 1.34$$

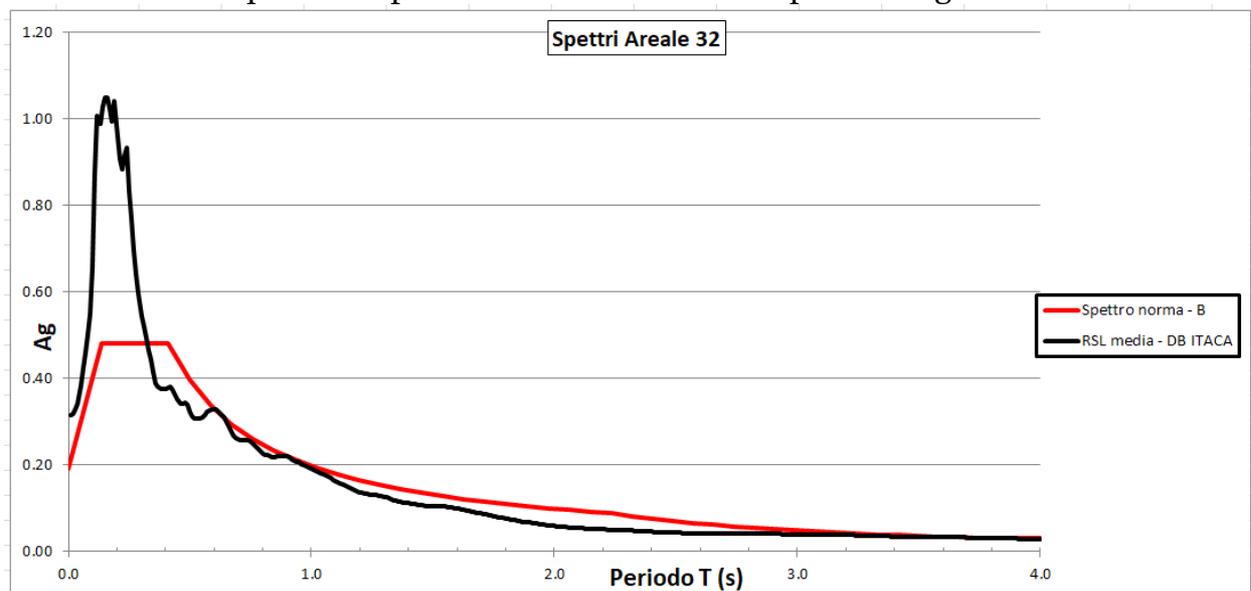
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 518.30 \text{ cm/s}^2$$

Zona 32



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.96$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.15$$
$$FA_{0408} = 1.60$$
$$FA_{0711} = 1.42$$

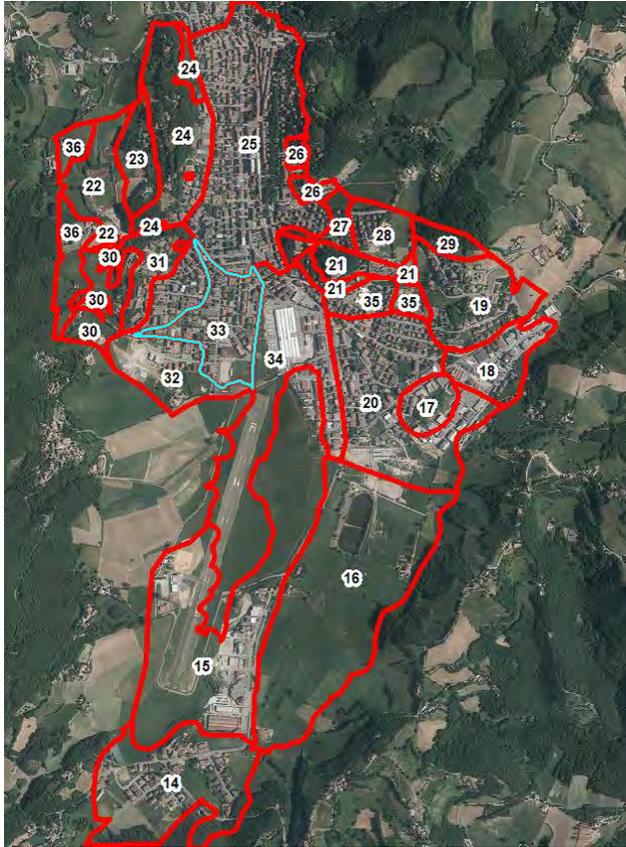
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.12$$
$$FH_{0510} = 1.57$$
$$FH_{0515} = 1.47$$

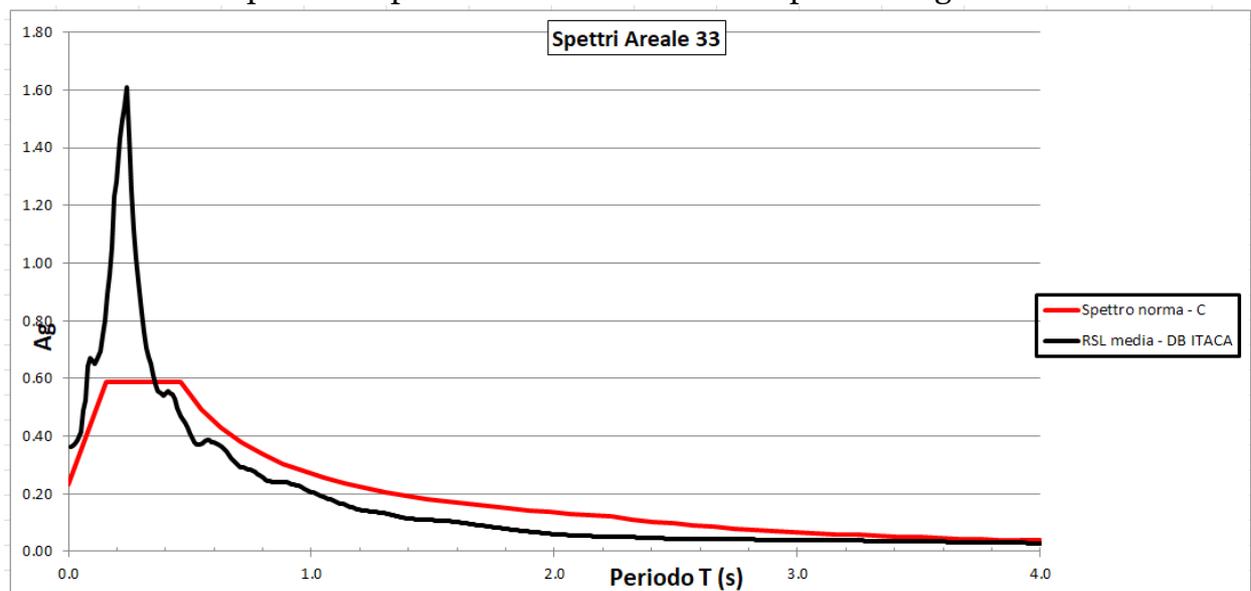
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 768.52 \text{ cm/s}^2$$

Zona 33



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 2.24$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.40$$

$$FA_{0408} = 1.73$$

$$FA_{0711} = 1.48$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.40$$

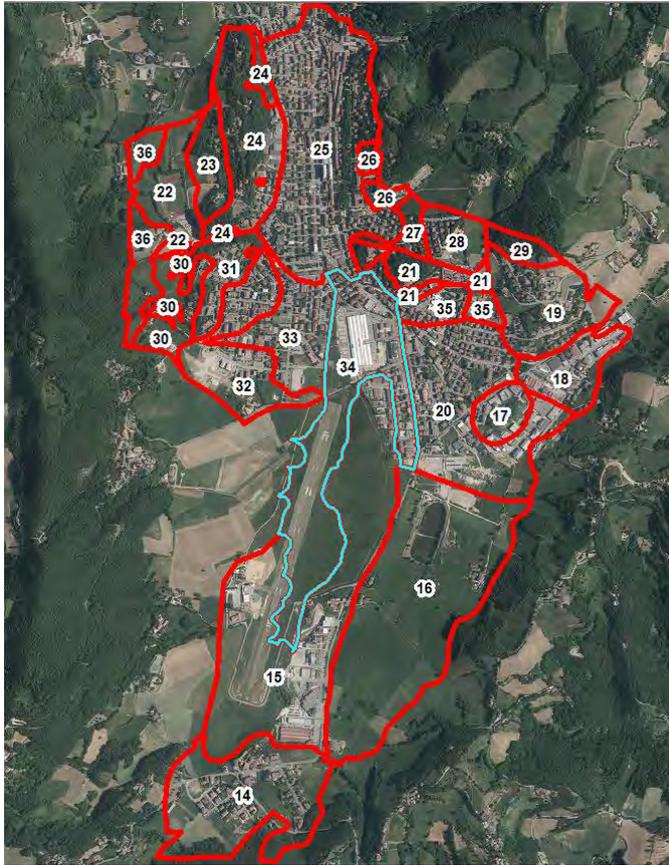
$$FH_{0510} = 1.68$$

$$FH_{0515} = 1.56$$

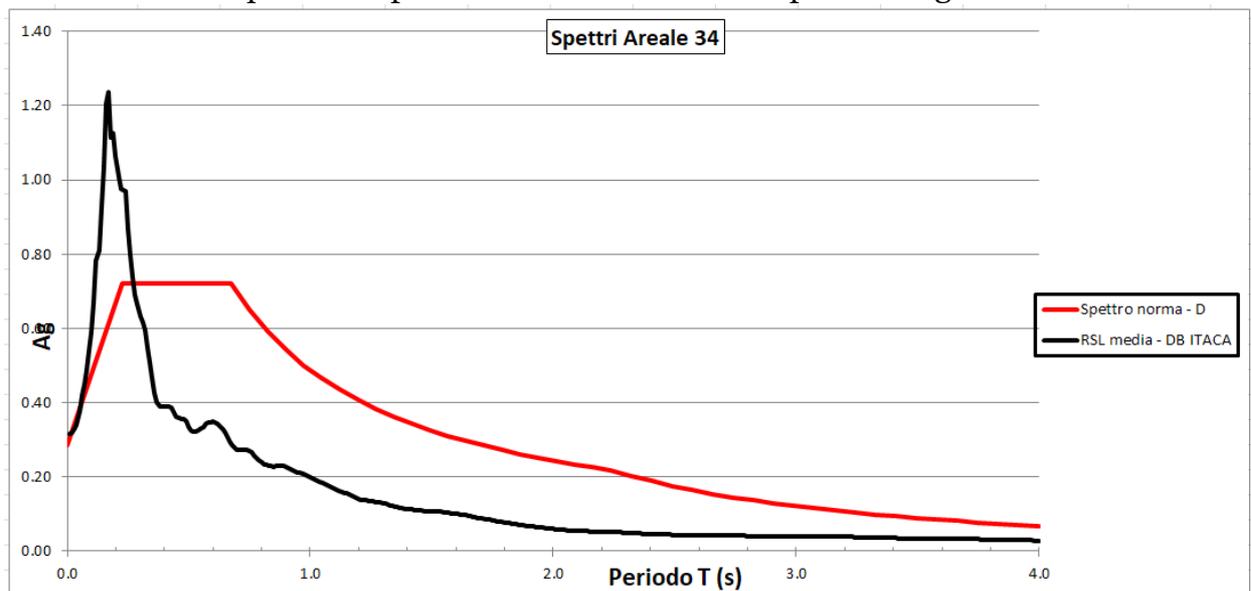
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 857.88 \text{ cm/s}^2$$

Zona 34



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.96$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.93$$

$$FA_{0408} = 1.51$$

$$FA_{0711} = 1.40$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.84$$

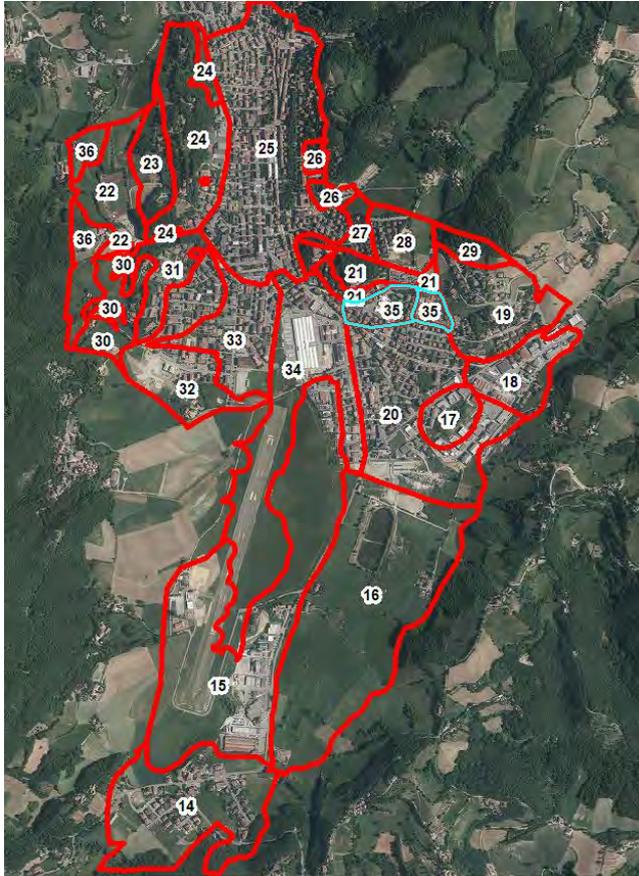
$$FH_{0510} = 1.52$$

$$FH_{0515} = 1.44$$

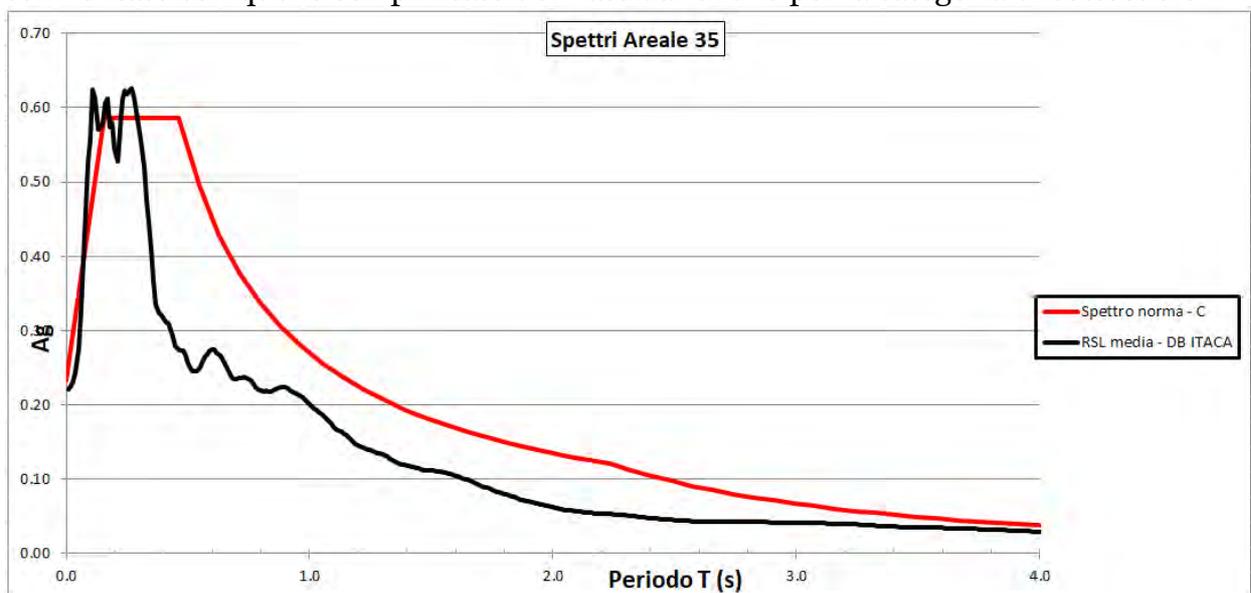
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 689.88 \text{ cm/s}^2$$

Zona 35



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.38$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.43$$

$$FA_{0408} = 1.37$$

$$FA_{0711} = 1.48$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.48$$

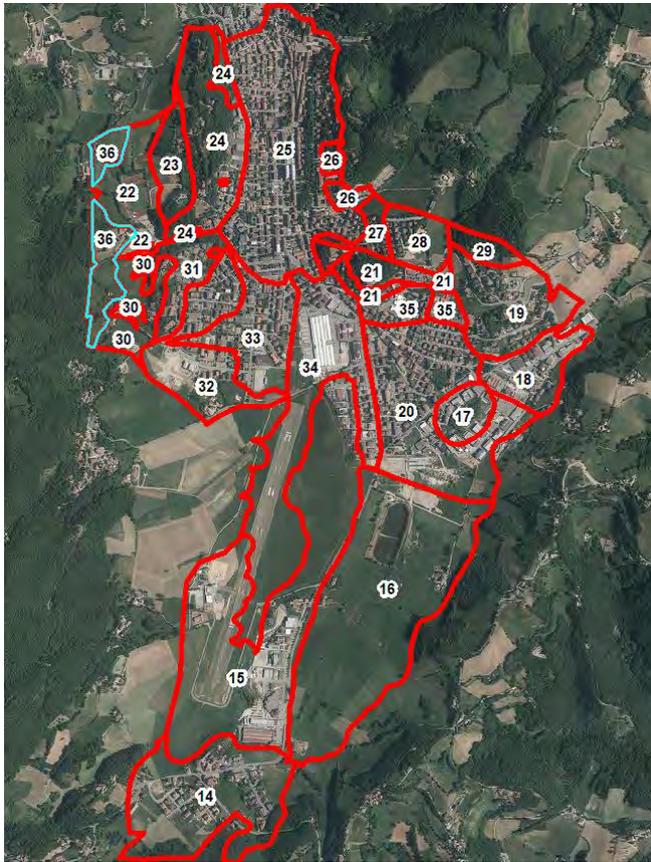
$$FH_{0510} = 1.40$$

$$FH_{0515} = 1.44$$

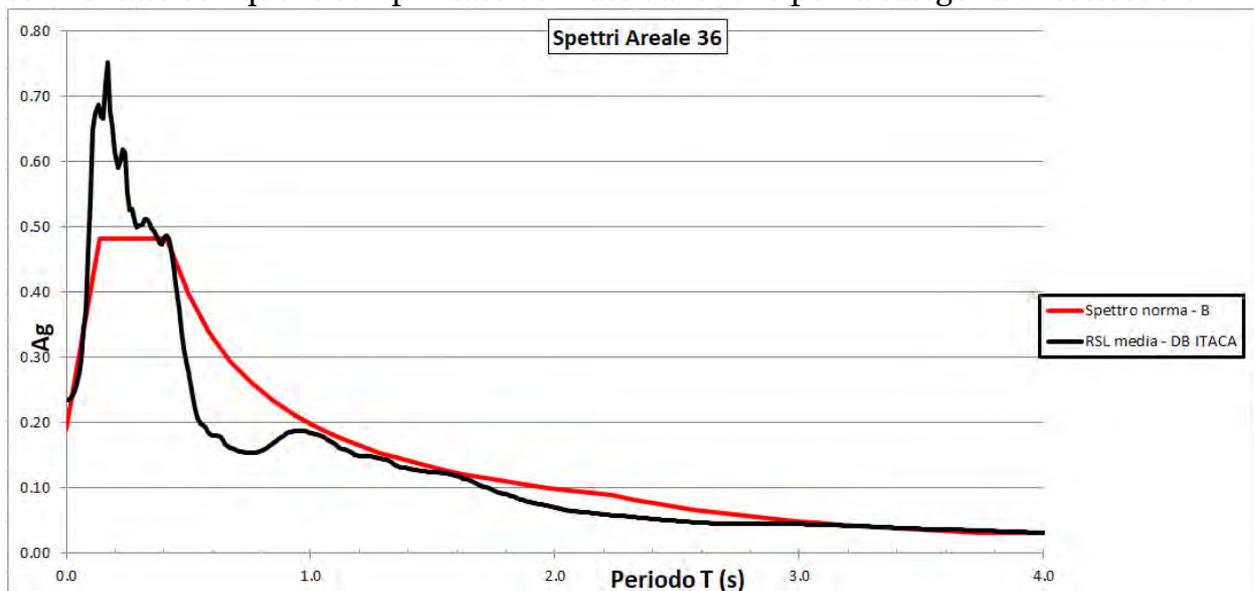
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 511.15 \text{ cm/s}^2$$

Zona 36



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.45$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.58$$

$$FA_{0408} = 1.37$$

$$FA_{0711} = 1.18$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.63$$

$$FH_{0510} = 1.23$$

$$FH_{0515} = 1.31$$

- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 564.77 \text{ cm/s}^2$$

6.5.2 Sant'Antonio

Si riporta di seguito:

- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo per ogni singola zona;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido);
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido);
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s):

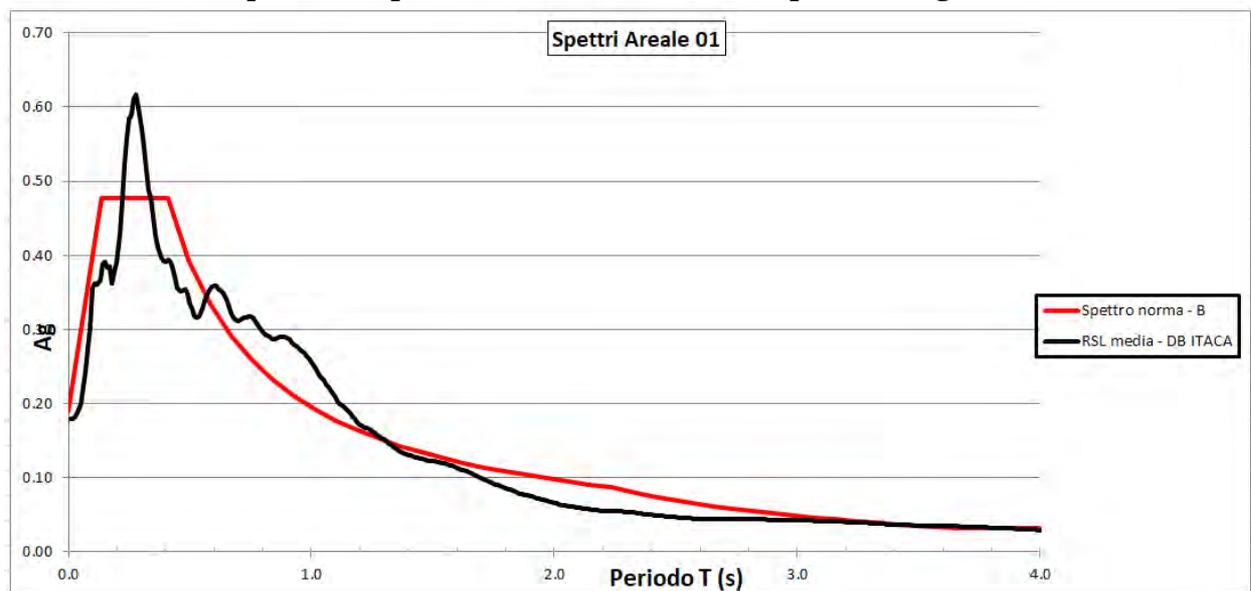
$$H_{MS} = \frac{ASI_{PU}}{\Delta T} \times FA_{0,1-0,5s}$$



Zona 01



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.11$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.26$$

$$FA_{0408} = 1.54$$

$$FA_{0711} = 1.76$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.28$$

$$FH_{0510} = 1.63$$

$$FH_{0515} = 1.59$$

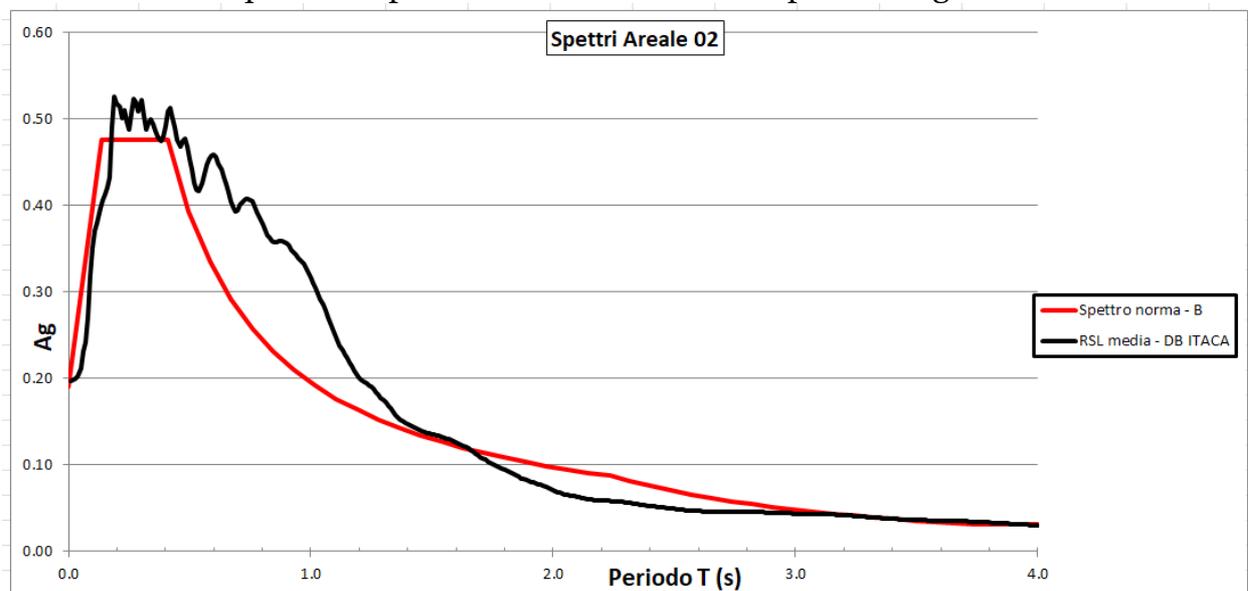
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 440.50 \text{ cm/s}^2$$

Zona 02



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.24$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.38$$

$$FA_{0408} = 2.01$$

$$FA_{0711} = 2.37$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.39$$

$$FH_{0510} = 2.12$$

$$FH_{0515} = 2.00$$

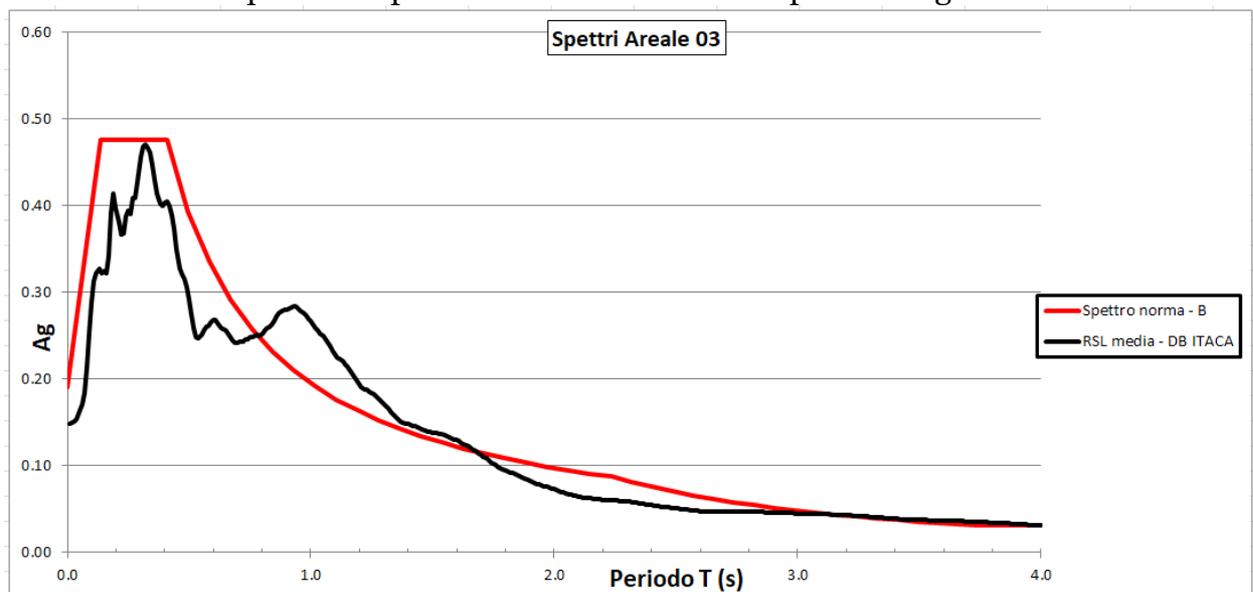
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 482.45 \text{ cm/s}^2$$

Zona 03



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.05$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.10$$

$$FA_{0408} = 1.27$$

$$FA_{0711} = 1.64$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.14$$

$$FH_{0510} = 1.43$$

$$FH_{0515} = 1.51$$

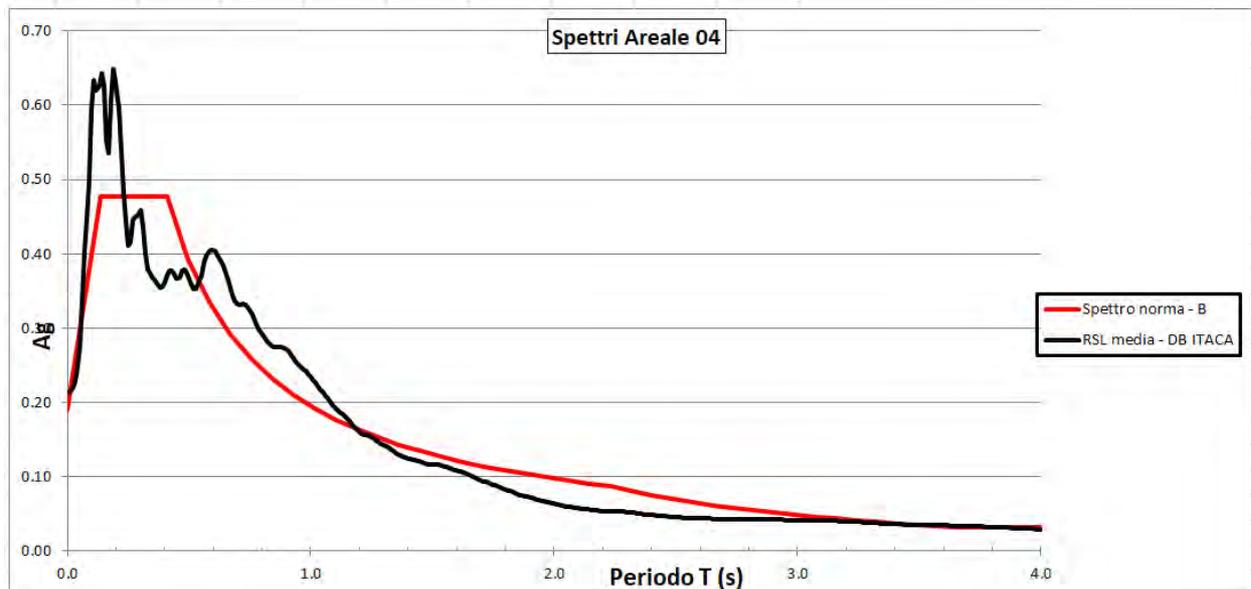
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 384.56 \text{ cm/s}^2$$

Zona 04



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.32$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.33$$

$$FA_{0408} = 1.68$$

$$FA_{0711} = 1.73$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.25$$

$$FH_{0510} = 1.74$$

$$FH_{0515} = 1.66$$

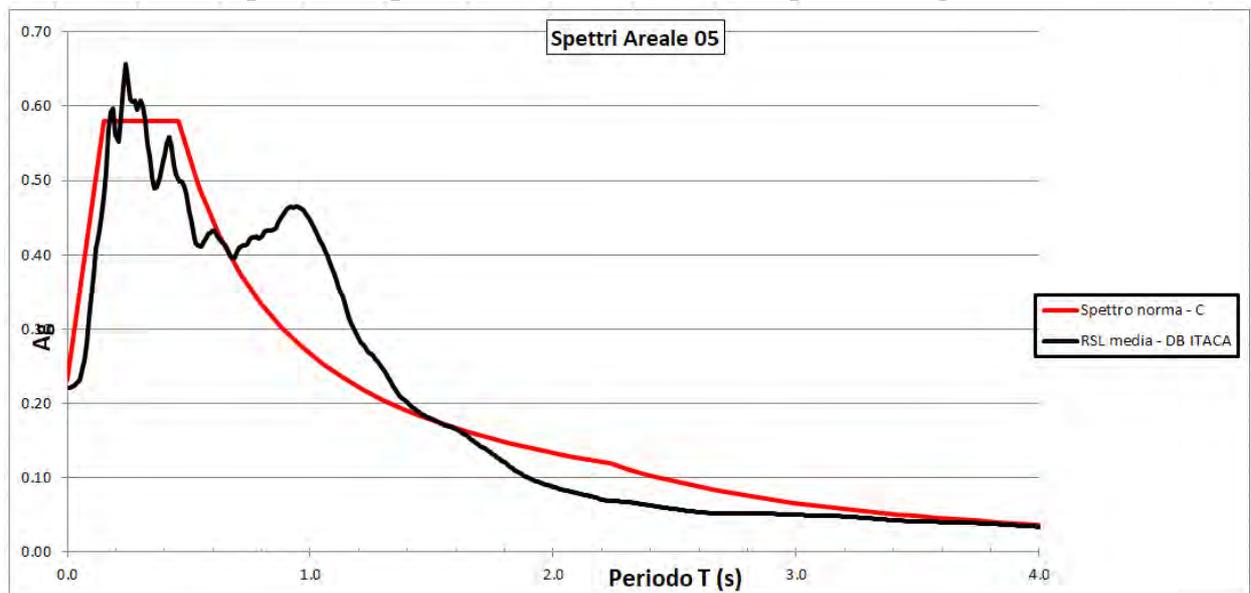
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 464.97 \text{ cm/s}^2$$

Zona 05



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.39$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.54$$

$$FA_{0408} = 2.07$$

$$FA_{0711} = 2.70$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.54$$

$$FH_{0510} = 2.36$$

$$FH_{0515} = 2.36$$

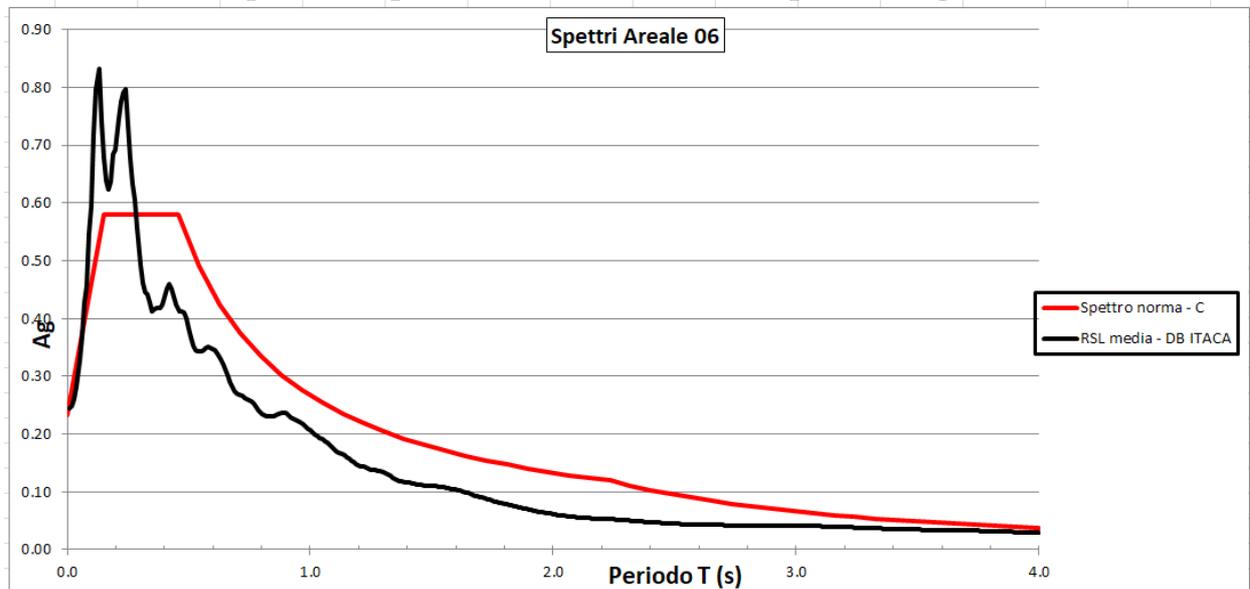
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 538.38 \text{ cm/s}^2$$

Zona 06



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.52$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.64$$

$$FA_{0408} = 1.60$$

$$FA_{0711} = 1.56$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.59$$

$$FH_{0510} = 1.57$$

$$FH_{0515} = 1.48$$

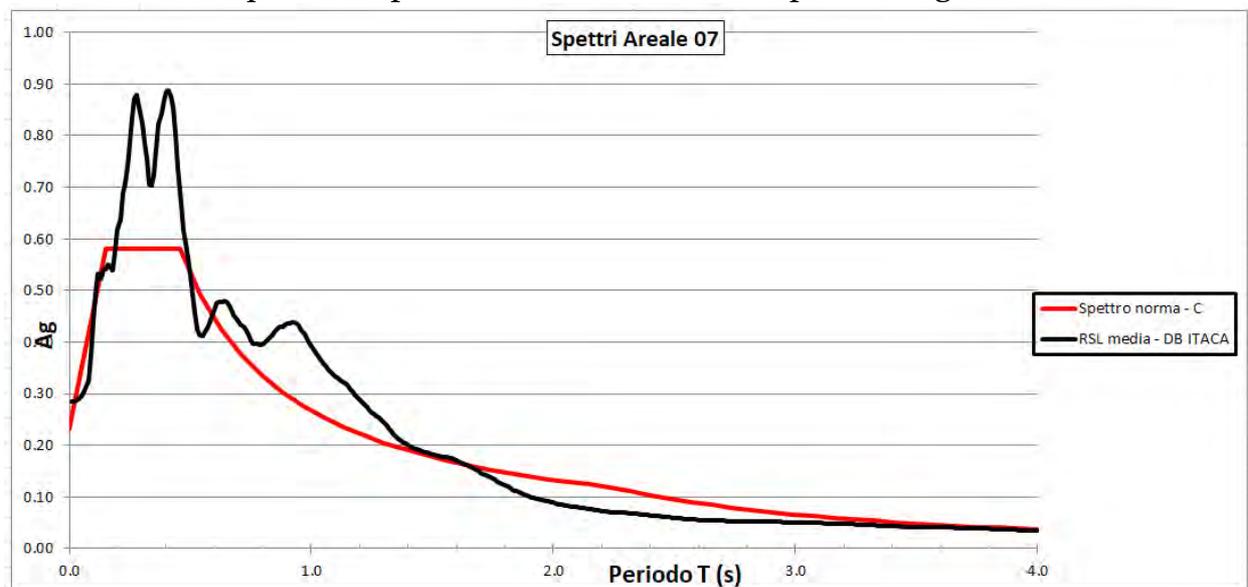
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 573.35 \text{ cm/s}^2$$

Zona 07



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.76$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.03$$

$$FA_{0408} = 2.39$$

$$FA_{0711} = 3.31$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.12$$

$$FH_{0510} = 2.36$$

$$FH_{0515} = 2.40$$

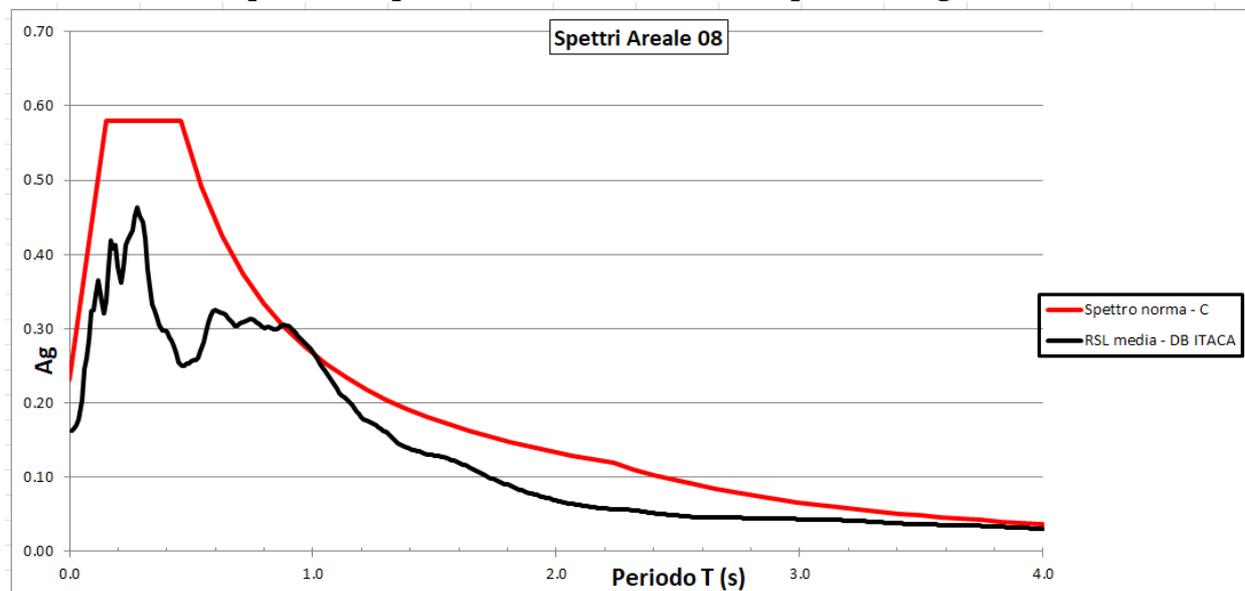
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 709.69 \text{ cm/s}^2$$

Zona 08



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.57$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.75$$

$$FA_{0408} = 2.06$$

$$FA_{0711} = 2.15$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.75$$

$$FH_{0510} = 2.19$$

$$FH_{0515} = 2.02$$

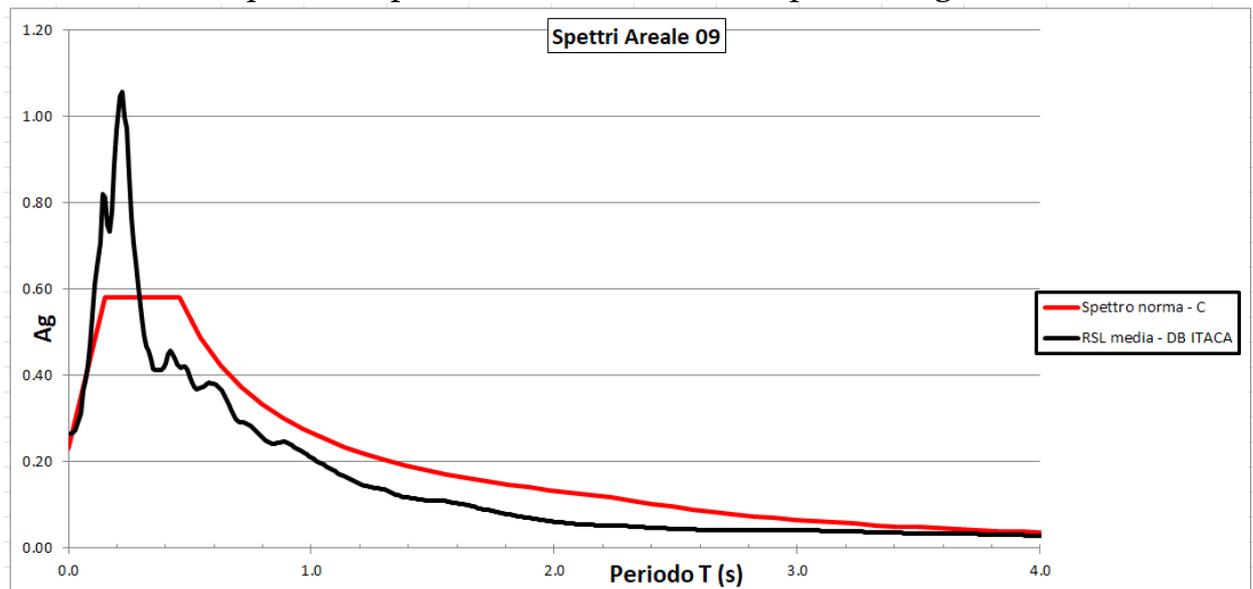
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 611.80 \text{ cm/s}^2$$

Zona 09



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.64$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.78$$

$$FA_{0408} = 1.76$$

$$FA_{0711} = 1.62$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.78$$

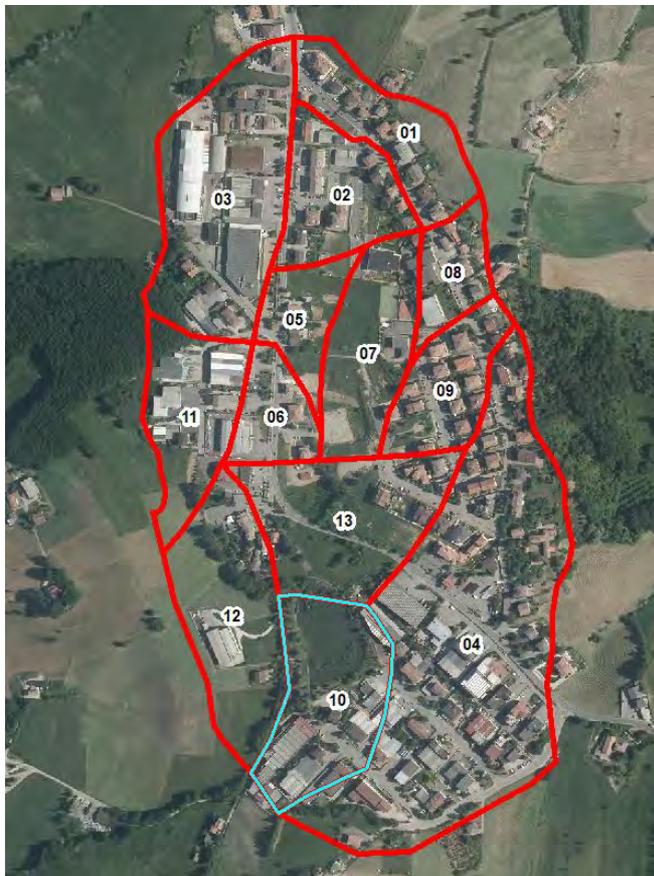
$$FH_{0510} = 1.64$$

$$FH_{0515} = 1.56$$

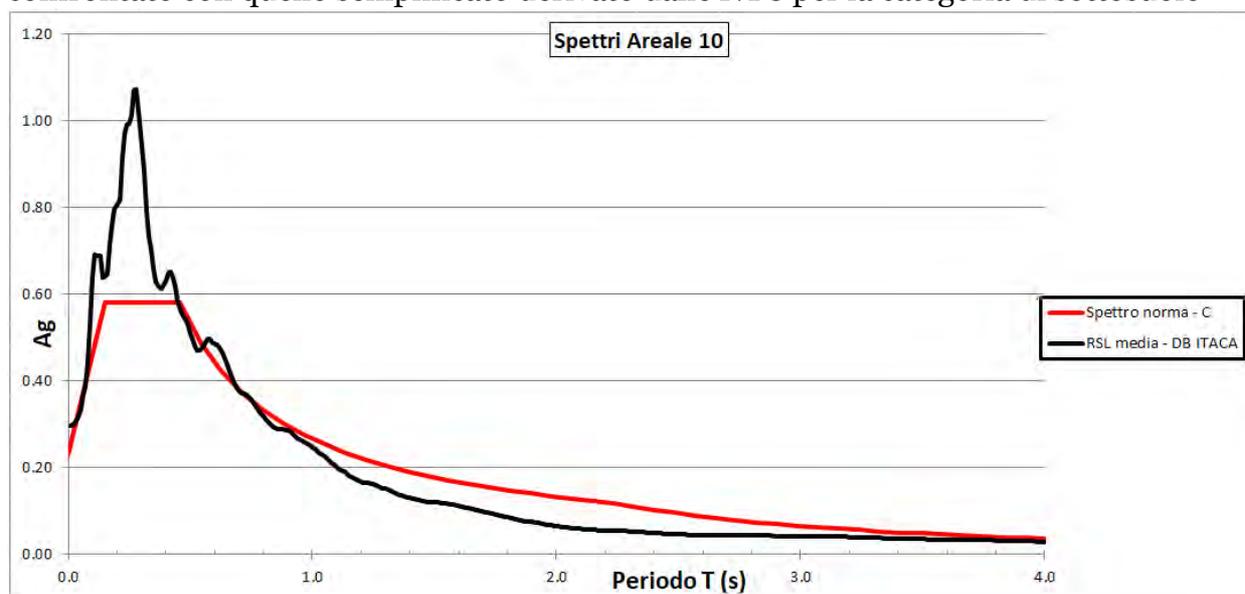
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 622.29 \text{ cm/s}^2$$

Zona 10



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.84$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 2.14$$

$$FA_{0408} = 2.14$$

$$FA_{0711} = 1.79$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 2.20$$

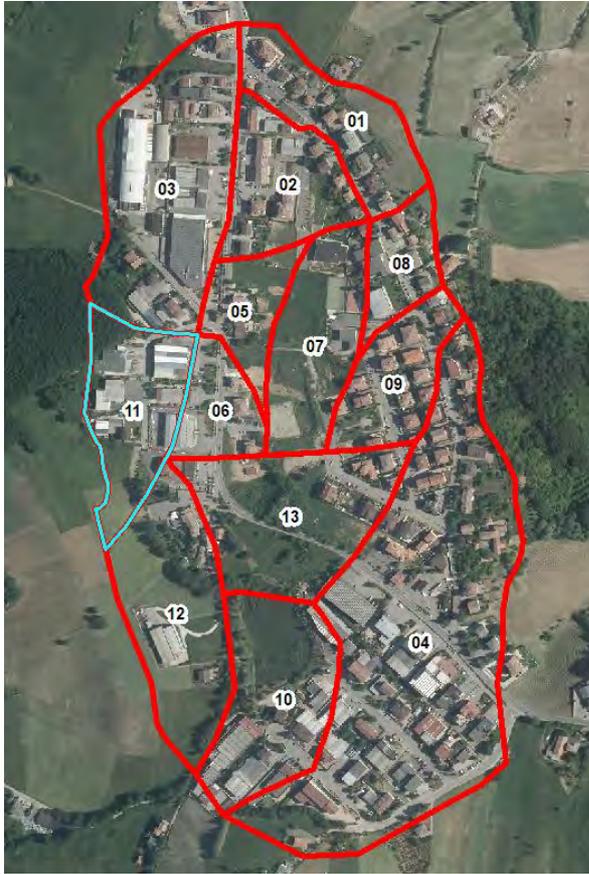
$$FH_{0510} = 2.00$$

$$FH_{0515} = 1.79$$

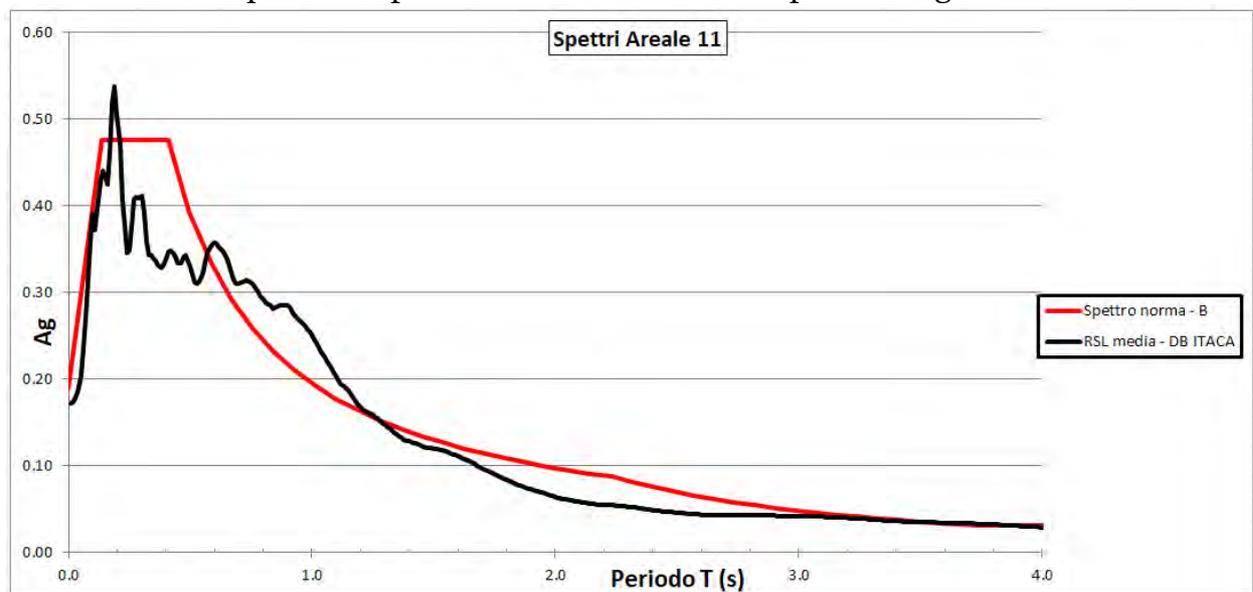
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 748.15 \text{ cm/s}^2$$

Zona 11



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.05$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.11$$

$$FA_{0408} = 1.58$$

$$FA_{0711} = 1.84$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.07$$

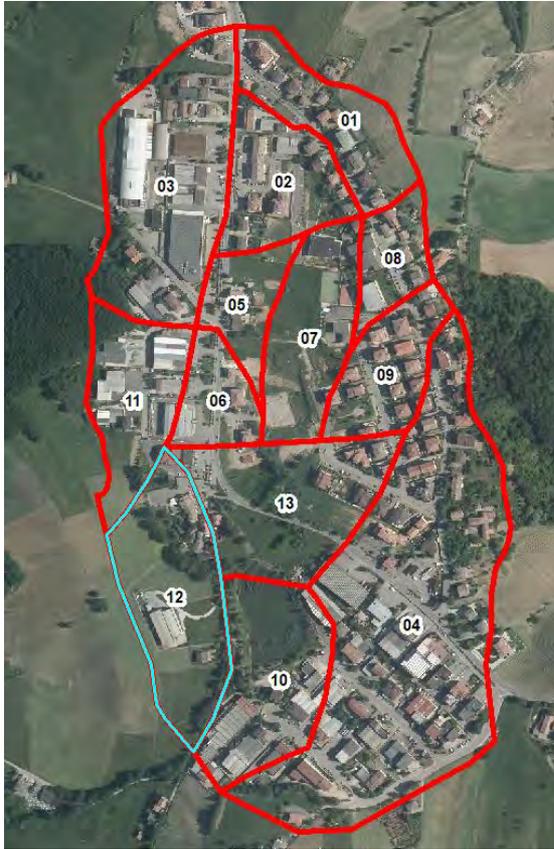
$$FH_{0510} = 1.73$$

$$FH_{0515} = 1.64$$

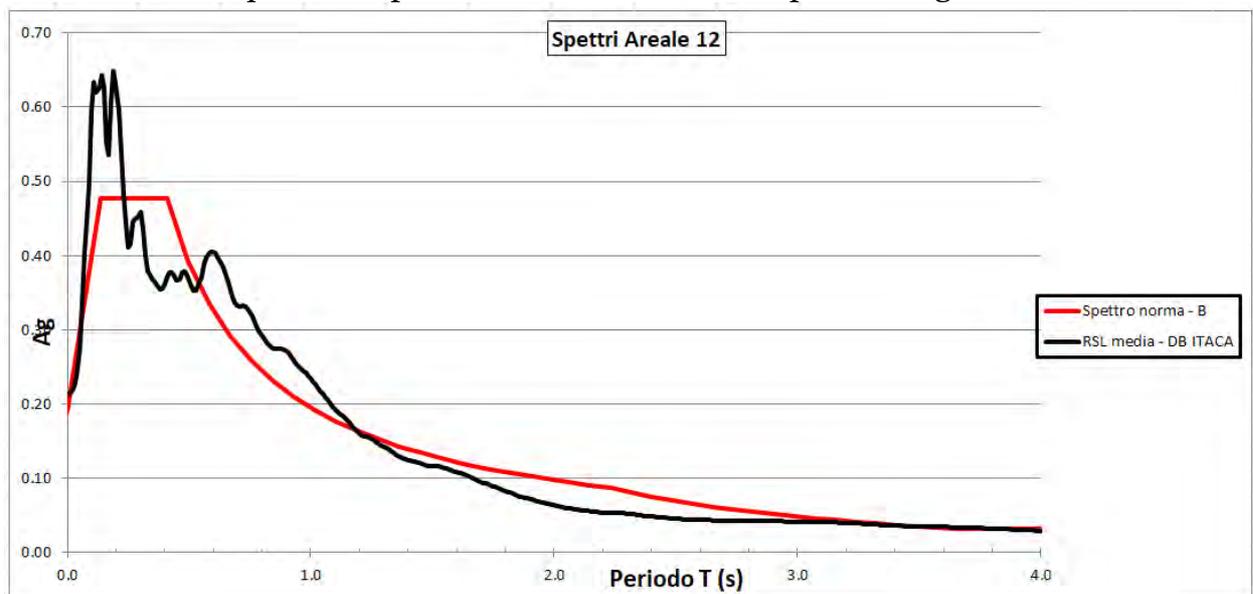
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 388.06 \text{ cm/s}^2$$

Zona 12



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.32$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.33$$

$$FA_{0408} = 1.68$$

$$FA_{0711} = 1.71$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.25$$

$$FH_{0510} = 1.73$$

$$FH_{0515} = 1.64$$

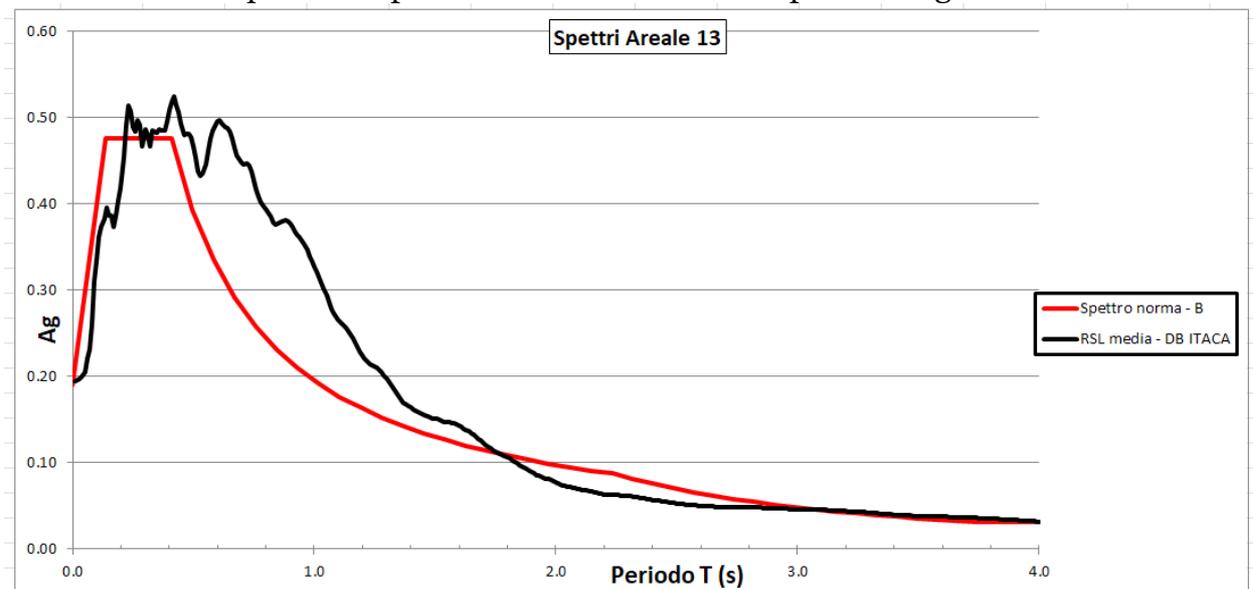
- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 464.97 \text{ cm/s}^2$$

Zona 13



Confronto tra lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA) ottenuto come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output ottenuto da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo



- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido

$$FPGA = 1.36$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudoaccelerazione (FA) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FA_{0105} = 1.60$$

$$FA_{0408} = 1.98$$

$$FA_{0711} = 2.35$$

- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FH) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido)

$$FH_{0105} = 1.65$$

$$FH_{0510} = 2.03$$

$$FH_{0515} = 2.07$$

- il valore di H_{ms} , che rappresenta che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{PU}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato tra 0.1 - 0.5 s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0.4 s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione calcolato per lo stesso intervallo di periodi (ovvero FA 0.1-0.5 s)

$$H_{ms} = 559.36 \text{ cm/s}^2$$

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Nelle Carte delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche eseguite per lo studio di III livello.

Tale cartografia costituisce una integrazione di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
- prova sismica in foro tipo Downhole
- prova penetrometrica con cono sismico (SCPT)
- stazione microtremore a stazione singola (HVSr)
- MASW
- ESAC/SPAC
- REMI

secondo gli “STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.1”

figura 1.1.1-1 Legenda della Carta delle indagini

Indagini	
	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio a distruzione di nucleo
	Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
	Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
	Sondaggio con piezometro
	Sondaggio con inclinometro
	Prova penetrometrica in foro (SPT)
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con punta elettrica
	Prova penetrometrica statica con piezocono
	Prova penetrometrica dinamica super pesante
	Prova penetrometrica dinamica pesante
	Prova penetrometrica dinamica media
	Prova penetrometrica dinamica leggera ^(*)

Indagini	
	Prova dilatometrica
	Prova pressiometrica
	Prova scissometrica o Vane Test
	Prova di carico con piastra
	Dilatometro sismico
	Pozzo per acqua
	Pozzo per idrocarburi
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Trincea paleosismologica
	Stazione geomeccanica
	Profilo sismico a rifrazione
	Verticale virtuale lungo profilo sismico a rifrazione ^(**)
	Profilo sismico a riflessione
	Verticale virtuale lungo profilo sismico a riflessione ^(**)
	Tomografia elettrica
	Verticale virtuale lungo tomografia elettrica ^(**)
	Prova sismica in foro tipo Downhole
	Prova sismica in foro tipo Crosshole

Indagini	
	Prova sismica in foro tipo Uphole
	Prova REfractionMicrotremors
	Prova penetrometrica con cono sismico
	Stazione accelerometrica / sismometrica
	Stazione microtremore a stazione singola
	Array sismico, ESAC/SPAC
	SASW

Indagini	
	MASW
	FTAN
	Sondaggio elettrico verticale
	Sondaggio elettrico orizzontale
	Profilo di resistività
	Stazione gravimetrica
	Georadar

I campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati oggetto di analisi geotecniche.

Per ogni campione prelevato sono state eseguite le seguenti prove:

- Descrizione geotecnica;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg;
- Determinazione delle caratteristiche granulometriche;
- Determinazione del peso di volume;
- Determinazione dell'umidità naturale;
- Determinazione dell'indice dei vuoti;

Inoltre su tutti i campioni sono state eseguite prove in colonna risonante per la determinazione dei parametri G e D e la definizione della soglia volumetrica

7.2 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La carta delle velocità delle onde di taglio (Vs), rappresenta la sintesi delle velocità delle onde di taglio con indicazione per ogni punto di misura di:

- del tipo di prova geofisica che è stata effettuata;
- della profondità del substrato H (in m) e di VsH (in m/s) *nelle aree in cui H < 50 m*;
- di Vs30 (in m/s) *nelle aree in cui H > 50 m*.

Per gli areali oggetto dello studio di III livello.

Tale cartografia costituisce una integrazione di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello.

L'elaborato è stato redatto in scala 1:10000

7.3 Carta di microzonazione sismica (livello 3)

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1:5.000 fanno parte degli elaborati grafici conclusivi del presente studio. Tutte le aree cartografate sono state redatte con studi di terzo livello.

L'amplificazione è stata calcolata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo), sia di rapporto di accelerazione per prefissati intervalli di periodi (A/Ao), sia di Intensità di Housner (SI/SIo) per prefissati intervalli di periodi attraverso l'analisi di risposta sismica locale RSL descritta nei precedenti capitoli della presente relazione. In particolare sono stati calcolati:

▪ **accelerazione massima (PGA):** $F_{PGA} = \frac{PGA_{out}}{PGA_{inp}}$

▪ **intensità di Housner (cioè di spettro di risposta elastico in pseudovelocità):** $FV_{ab} = \frac{\int_a^b S_{V,out}(\xi, T) dT}{\int_a^b S_{V,inp}(\xi, T) dT}$

▪ **spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione:** $FA_{ab} = \frac{\int_a^b S_{A,out}(\xi, T) dT}{\int_a^b S_{A,inp}(\xi, T) dT}$

La cartografia realizzata in merito alla Microzonazione sismica di Livello 3 è costituita dai seguenti elaborati:

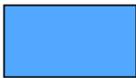
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FPGA;
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA 0.1 - 0.5 s;
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA 0.4 - 0.8 s;
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FA 0.7 - 1.1 s;
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH 0.1 - 0.5 s;
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH 0.5 - 1.0 s;
- Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FH 0.5 - 1.5 s;

Nello specifico pertanto la carta di microzonazione sismica di livello 3 si compone, per ogni microzona individuata di sette fattori differenti sopra descritti.

Nelle cartografie realizzate le aree sono state suddivise in:

- Zone stabili;
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- Zone suscettibili di instabilità.

Le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e uno spettro di risposta elastico rappresentativo. La legenda utilizzata per queste zone è la seguente:

Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0).¹³	
	1.0
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione).¹⁴	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Le zone suscettibili di instabilità hanno come attributo i parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e a seconda del tipo di instabilità sarà riportato il valore del parametro quantitativo rappresentativo dell'instabilità. Nello specifico nelle aree di studio del III livello le zone suscettibili di instabilità di Pavullo capoluogo e Sant'Antonio sono dovute a cedimenti differenziali e pertanto per tale instabilità non è necessario definire alcun parametro quantitativo come si evince dalla legenda sottostante

Zone suscettibili di instabilità	
Vedi Figura 1.1.4.2-2a	ZS _{FR} Zona di Suscettibilità per Instabilità di versante
	ZR _{FR} Zona di Rispetto per Instabilità di versante
Vedi Figura 1.1.4.2-2b	ZS _{LQ} Zona di Suscettibilità per Liquefazione
	ZR _{LQ} Zona di Rispetto per Liquefazione
	ZS _{FRAC} Zona di Suscettibilità per Faglie Attive e Capaci
	ZR _{FRAC} Zona di Rispetto per Faglie Attive e Capaci
	ZAC _D - Zona di Attenzione per <u>cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole</u> *
	ZAI _D - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti *

8. BIBLIOGRAFIA

- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 236 PAVULLO NEL FRIGNANO. ISPRA SGI
Enti realizzatori Regione Emilia-Romagna SGSS, a cura di F.PANINI, G.BETTELLI, M.PIZZIOLO.
- DGR 1302/2012. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1302 del 10/09/2012, "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2010 e ss.mm". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 195 del 26/09/2012.
- LOCATI M., CAMASSI R. e STUCCHI M. (a cura di), 2011 . BDMI11, la versione 2011 del Database Microsismico Italiano. Milano,
- GRUPPO DI LAVORO MS,2008. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle province Autonome - Dipartimento della protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- DAL 112/2007. Deliberazione dell'assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Boll. Uff. Reg. Emilia- Romagna n.64 del 17/05/2007.
- MELETTI C. e VALENSISE G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- BOCCALETTI M. – MARTELLI L. – AA.VV. (2003) – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze
- OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.
- BOSELLINI A- MUTTI E - RICCI LUCCHI F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000 (2016) Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse Sezione di Firenze, Università degli studi di Firenze - DST e INGV.

- MARCELLINI A., MARTELLI L., TENTO A., DAMINELLI R. (2009): l'amplificazione sismica negli "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"
- STACEC Srl - "Codice di calcolo LSR2D – Manuale d'uso versione 4.0"
- MARTELLI L., SANI F., BONINI M., CORTI G. (2014B): *Proposta preliminare per una nuova zonazione sismogenetica dell'Appennino settentrionale e aree limitrofe*. Atti 33° convegno nazionale GNGTS, Bologna 25-27 novembre 2014, sessione 2.1, 42-48.
- MARTELLI L., SANTULIN M., SANI F., TAMARO A., BONINI M., REBEZ A., CORTI G., SLEJKO D. (2017): *Seismic hazard of the Northern Apennines based on 3D seismic sources*. Journal of Seismology. DOI 10.1007/s10950-017-9665-1.

9. ALLEGATI

- Stratigrafie sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- Prove penetrometriche con p. e. e piezocono (CPTU)

- Prove Down-Hole
- Prove con cono sismico (SCPT)
- Prove SPAC/ESAC
- Prove HVSr

- Indagini di laboratorio



COMMITTENTE: Dott. Geol. Del Maschio Lorenzo	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 40.00
CANTIERE: Scuola Materna Sant'Antonio - Pavullo (MO)	QUOTA (m): p.d.c.	
PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR	LATITUDINE (°):	
METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 22/10/2018-23/10/2018
PIEZOMETRO:		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 178-17	CERTIFICATO N°: C18-083-1	RAPPORTO N°: -----
		DATA DI EMISSIONE: 31/10/2018
		PAGINA N°: 1 di 2

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton	Tubo Down Hole
	4.5		0.30		Suolo argilloso limoso di colore marrone-nocciola, con frustoli vegetali						
1	1.2	0.80									
2	1.6	0.60			Limo argilloso di colore marrone-grigio con screziature arancio-ocra e tracce nere di sostanza organica						
	1.3	0.50	2.20								
3	1.4	0.60	2.50		Torba limosa argillosa di colore nerastro	2.50					
			3.00		Campione indisturbato	3.00					
4	0.6	0.40									
	0.9	0.60									
5	0.5	0.20									
	0.6	0.30									
6	1.0	0.40									
	1.0	0.30									
7	0.8	0.20			Argilla debolmente limosa di colore grigio-verde, poco compatta, con sporadiche tracce nere di sostanza organica e bande marrone-ocra. Da -9.0 m presenti intervalli centimetrici debolmente sabbiosi						
	1.5	0.70									
8	1.0	0.40									
	1.2	0.50									
9											
	0.7	0.40									
10	2.5	1.00									
11	2.9		11.00								
	3.4										
12	2.5				Argilla debolmente limosa di colore grigio-verde, molto compatta, con bande marrone-ocra e più scarse lenti di colore marrone-ruggine. Presenti frammenti lapidei centimetrici e deposizioni carbonatiche biancastre						
	> 6										
13	4.3										
	2.3	1.60									
14	1.8		14.00								
			14.50		Campione indisturbato	14.00					
15	> 6					C.1.1					
	5.3					14.50					
16	> 6										
	2.5										
17											
	4.7				Argilla debolmente limosa di colore grigio-verde, molto compatta, con bande marrone-ocra e più scarse lenti di colore marrone-ruggine. Presenti frammenti lapidei centimetrici e deposizioni carbonatiche biancastre						
18	> 6										
	2.8										
19											
	> 6										
20	> 6										
	> 6										
21	> 6		20.50								
	> 6										
22											
23											
24											
25					Marna argillosa di colore grigio-verde, ricca in frammenti lapidei centimetrici con deposizioni carbonatiche e trovanti calcarei di spessore di 30-40 cm con venature di calcite. Da -26.5 m diminuisce la percentuale dei trovanti e dei frammenti lapidei						
26											
27											
28											
29											
30											

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO S.R.L.
 INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
 Via S. Pottio n. 43 - 48022 S. Pottio di LUGO (RA)
 Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C
 Decr. n. 005754 del 05/07/2010

COMMITTENTE: Dott. Geol. Del Maschio Lorenzo	SOND.N°: S.1	PROF.(m): 40.00
CANTIERE: Scuola Materna Sant'Antonio - Pavullo (MO)	QUOTA (m): p.d.c.	
PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR	LATITUDINE (°):	
METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 22/10/2018-23/10/2018
PIEZOMETRO:		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 178-17	CERTIFICATO N°: C18-083-1	RAPPORTO N°: -----
	DATA DI EMISSIONE: 31/10/2018	PAGINA N°: 2 di 2

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. [n. colpi] P.A.	Falda	Pz.Norton	Tubo Down Hole
31											
32					Marna argillosa di colore grigio-verde, ricca in frammenti lapidei centimetrici con deposizioni carbonatiche e trovanti calcarei di spessore di 30-40 cm con venature di calcite.						
33					Da -26.5 m diminuisce la percentuale dei trovanti e dei frammenti lapidei						
34											
35			34.50		Campione semidisturbato	34.50					
36			35.00			C.I.3 (*)					
37											
38					Marna argillosa di colore grigio-verde, con frammenti lapidei centimetrici con deposizioni carbonatiche e trovanti calcarei di spessore di 30-40 cm con venature di calcite.						
39											
40			40.00								40.00
41											
42											
43											
44											
45											

Note:
 Da -21.0 m parziale perdita dell'acqua di perforazione.

C.I. = campioni indisturbati
 C.I.(*) = campione semidisturbato

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	Falda	Tubo Down Hole	Carotaggio	R.Q.D.
										20 40 60 80	20 40 60 80
1			0.10		Soletta di asfalto			1.00			
			0.60		Terreno di riporto costituito da ghiaia e ciottoli a spigoli vivi (Ø = 7-8 cm) in matrice sabbioso limosa di colore nocciola-verdastro, con piccoli frammenti di laterizi rossi						
			0.80								
2			1.80		Sabbia debolmente limosa di colore marrone chiaro con sfumature oca-verdastre						
3	0.3		2.40		Sabbia medio-grossolana, debolmente limosa, di colore grigio-ocra. Presenza di calcinelli, piccoli frammenti di radici, qualche ciottolo (Ø = 2 cm) e piccoli frammenti di laterizi rossastrati						
4	0.7	0.40	3.50								
5	0.2	0.2	4.50		Campione indisturbato						
6			5.50		Limo sabbioso di colore grigio con piccole sfumature verdastre. A tratti sabbia più grossolana. Presente qualche frammento grossolano di laterizio rosso e qualche ciottolo (Ø = 2 cm)						
7	> 6				Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore grigio-verdastro, con rari calcinelli, piccoli frammenti di laterizi rossi e ciottoli da tra -3.8 e -4.5 m						
8	> 6				Limo argilloso, debolmente sabbioso, di colore grigio scuro, con alcuni livelli di sabbia grossolana. Presenti rari ciottoli (Ø = 4 cm) e rari frammenti di laterizi						
9	> 6										
10					Limo argilloso, debolmente sabbioso di colore grigio chiaro. Molto consistente (Valori di pocket penetrometer > 6 Kg/cm²)						
11			10.80		Limo argilloso marnoso, debolmente sabbioso, di colore grigio scuro, con frammenti lapidei di argillite (Ømax = 4-5 cm). Fratturato						
12			12.20								
13					Marna siltosa di colore da grigio chiaro a grigio scuro, con intervalli centimetrici debolmente sabbiosi. Da molto consistente a debolmente litificata						
14											
15					Limo argilloso marnoso, debolmente sabbioso, di colore grigio scuro						
16											
17	2.1	2.3	16.70		Marna siltosa, da debolmente litificata a litificata, di colore grigio chiaro						
18			17.10		Limo argilloso marnoso, debolmente sabbioso, di colore grigio scuro						
19	3.5		18.20								
			18.50		Campione carotato con T2 e inserito nella fustella						
20	5.5		19.10		Marna siltosa di colore da grigio chiaro a grigio scuro, da debolmente litificata a litificata			18.50			
21	3.2		19.70		Alternanza, in livelli di spessore variabile da 0.50 m a 1.50 m, di marna siltosa con limo argilloso marnoso, debolmente sabbioso. Colore da grigio scuro a grigio chiaro			19.10			
22											
23			23.00		Marna siltosa di colore grigio chiaro, a buon grado di litificazione						
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGEO S.R.L.
 INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
 Via S. Pottio n. 43 - 48022 S. Pottio di LUGO (RA)
 Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com
 Concessione Ministero Infrastrutture e Trasporti - Settore C
 Decr. n. 005754 del 05/07/2010

COMMITTENTE: Dott. Geol. Del Maschio Lorenzo	SOND.N°: S.2	PROF.(m): 39.40
CANTIERE: Scuole Foscolo - Pavullo (MO)	QUOTA (m): p.d.c.	
PERFORATRICE: Ellettari EK200/STR	LATITUDINE (°):	
METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	LONGITUDINE (°):	
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice e doppio Ø 101 mm (*)	DATA INIZ-FINE: 24/10/2018-26/10/2018
PIEZOMETRO:		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 178-17	CERTIFICATO N°: C18-083-2	RAPPORTO N°: -----
	DATA DI EMISSIONE: 31/10/2018	PAGINA N°: 2 di 2

Scala 1:100	P.P. I [daN/cm²]	Vane Test [daN/cm²]	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	Falda	Tubo Down Hole	Carotaggio	R.Q.D.
31					Marna siltosa di colore grigio chiaro, a buon grado di litificazione						
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40			39.40								
41											
42											
43											
44											
45											

Note:
 (*) Da 0.00 a -17.00 m perforazione mediante carotiere semplice.
 Da -17.00 a -39.40 m perforazione mediante doppio carotiere.

Livello acqua rilevato:
 -il giorno 25/10/2018, ore 8.00, con fondo foro a -20.0 m, a -1.0 m dal p.d.c.
 -il giorno 26/10/2018, ore 8.00, con fondo foro a -36.8 m, a -1.0 m dal p.d.c.

C.I. = campioni indisturbati
 CR = campione semidisturbato

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio



SOGGEO S.p.A.
INGEGNERIA GEOTECNICA ED AMBIENTALE
Via S. Polito n. 43 - 48022 S. Polito di Lupatoto (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: soggeo@soggeo-sil.com

COMMITTENTE: Dott. Del Maschio Lorenzo

LOCALITA': Scuola Mat. Sant'Antonio-Pavullo (MO) **SONDAGGIO N.:** S.1

RIF. N°: 178-17

ALLEGATO A: C18-083-1

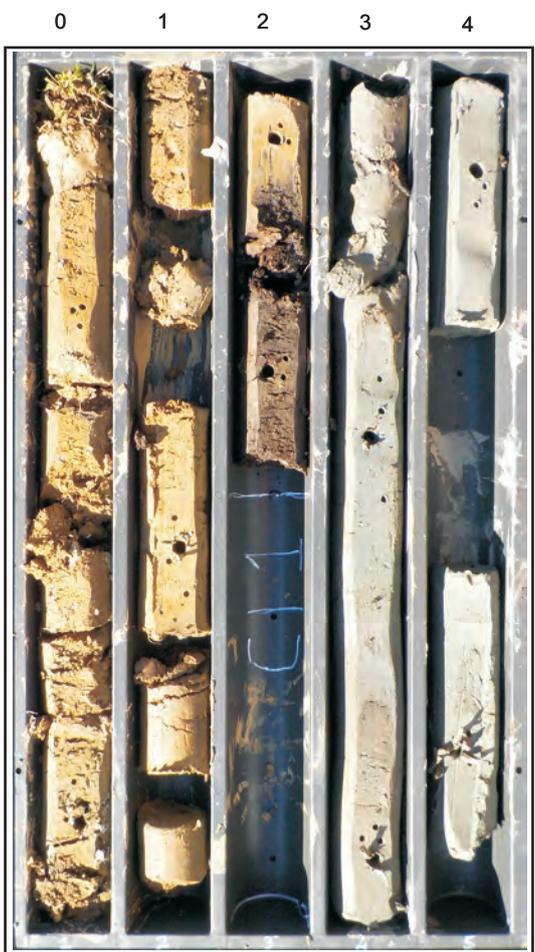
DATA: 22/10/2018



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m



SOGEO s.r.l.
INDAGNI GEONOSTICHE ED AMBIENTALI
Via S. Polito n. 43 - 48022 S. Polito di Lupatoto (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-sil.com

COMMITTENTE: Dott. Del Maschio Lorenzo

LOCALITA': Scuola Mat. Sant'Antonio-Pavullo (MO)

SONDAGGIO N: S.1

RIF. N°: 178-17

ALLEGATO A: C18-083-1

DATA: 22/10/2018

20 21 22 23 24



Cassa 5 da -20.0 a -25.0 m

21 22 23 24 25

30 31 32 33 34



Cassa 7 da -30.0 a -35.0 m

31 32 33 34 35

25 26 27 28 29



Cassa 6 da -25.0 a -30.0 m

26 27 28 29 30

35 36 37 38 39



Cassa 8 da -35.0 a -40.0 m

36 37 38 39 40

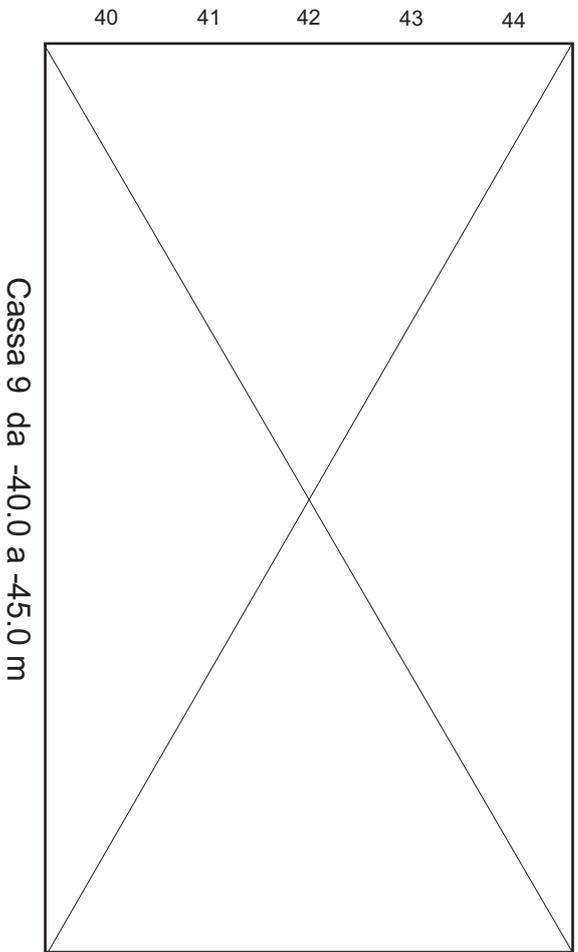


SOG GEO[®]
S.R.L.
INDAGINI GEOLOGICHE ED AMBIENTALI
Via Edison 1/1 - 48022 LUIGO (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - Email: soggeo@soggeo-srl.com

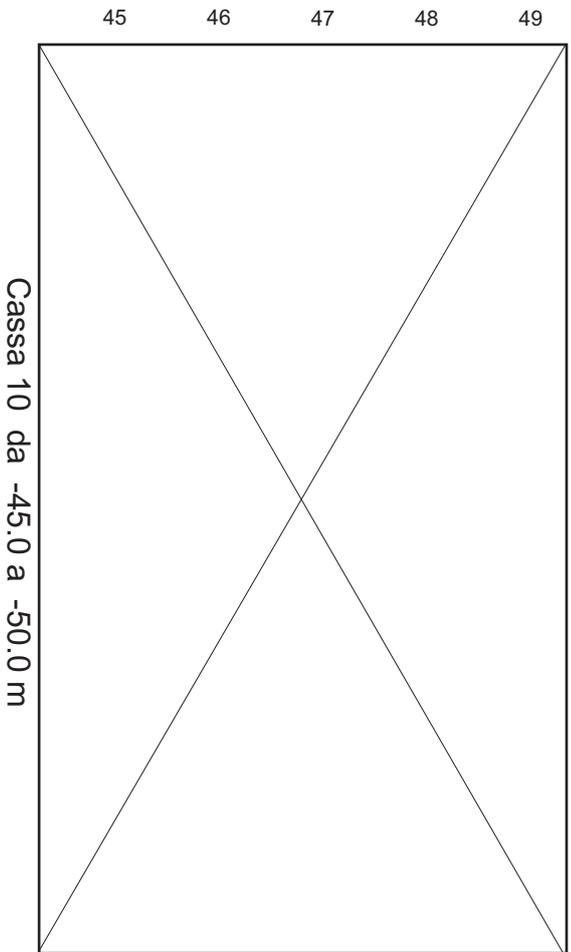
COMMITTENTE: Dott. Del Maschio Lorenzo
RIF. N° : 178-17

LOCALITA': Scuola Mat. Sant'Antonio-Pavullo (MO)
ALLEGATO A: C18-083-1

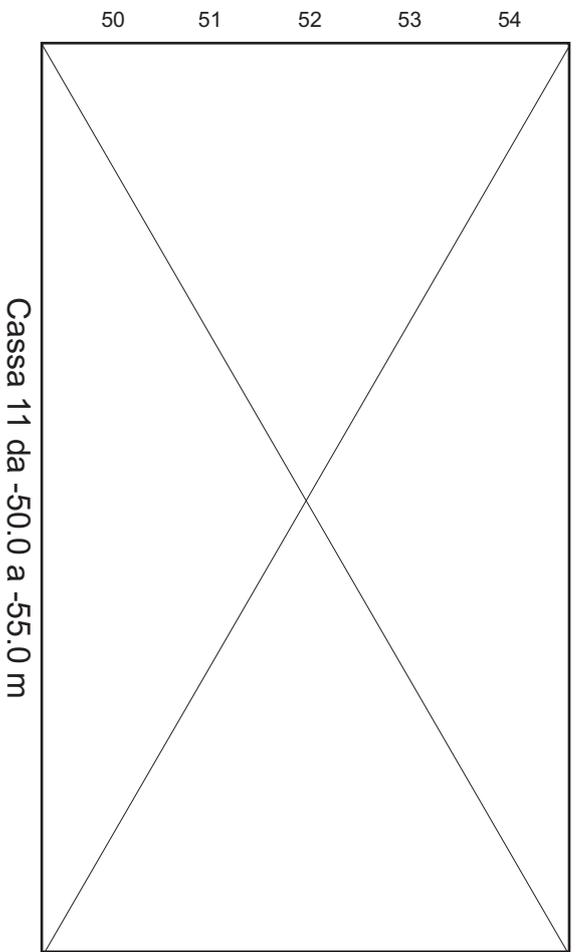
SONDAGGIO N.: S.1
DATA: 22/10/2018



41 42 43 44 45



46 47 48 49 50



51 52 53 54 55





SOGEO s.r.l.
INDAGINI GEOSTRUTTURICHE ED AMBIENTALI
Via S. Polito n. 43 - 48022 S. Polito di Lupatoto (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Del Maschio Lorenzo
RIF. N° : 178-17

LOCALITA': Scuole Foscolo - Pavullo (MO)
ALLEGATO A: C18-083-2

SONDAGGIO N.: S.2
DATA: 24/10/2018

0 1 2 3 4



Cassa 1 da 0.0 a -5.0 m

1 2 3 4 5

10 11 12 13 14



Cassa 3 da -10.0 a -15.0 m

11 12 13 14 15

5 6 7 8 9



Cassa 2 da -5.0 a -10.0 m

6 7 8 9 10

15 16 17 18 19



Cassa 4 da -15.0 a -20.0 m

16 17 18 19 20



SOGEO s.r.l.
INDAGNI GEOTECCNICI ED AMBIENTALI
Via S. Polito n. 43 - 48022 S. Polito di Lupatoto (RA)
Tel. 054522042 - Fax 054534443 - E-mail: sogeo@sogeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Del Maschio Lorenzo
RIF. N° : 178-17

LOCALITA': Scuole Foscolo - Pavullo (MO)
ALLEGATO A: C18-083-2

SONDAGGIO N: S.2
DATA: 24/10/2018

20 21 22 23 24



Cassa 5 da -20.0 a -25.0 m

21 22 23 24 25

25 26 27 28 29



Cassa 6 da -25.0 a -30.0 m

26 27 28 29 30

30 31 32 33 34



Cassa 7 da -30.0 a -35.0 m

31 32 33 34 35

35 36 37 38 39



Cassa 8 da -35.0 a -40.0 m

36 37 38 39 40



SOGGEO[®]
S.R.L.
INDAGINI GEOGNOSTICHE ED AMBIENTALI
Via Edison 1/1 - 48022 LUIGO (RA)
Tel. 054522042 - fax 054534443 - Email: soggeo@soggeo-srl.com

COMMITTENTE: Dott. Del Maschio Lorenzo

LOCALITA': Scuole Foscolo - Pavullo (MO)

SONDAGGIO N.: S.2

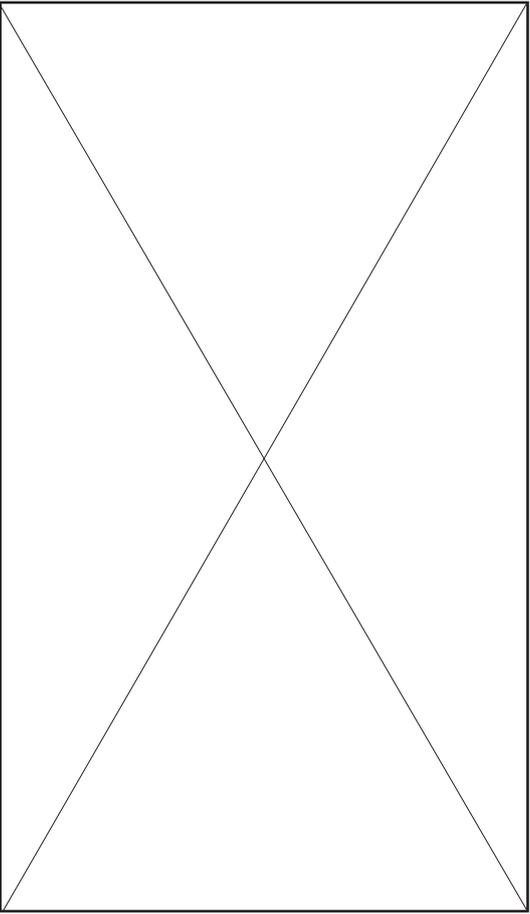
RIF. N° : 178-17

ALLEGATO A: C18-083-2

DATA: 24/10/2018

40 41 42 43 44

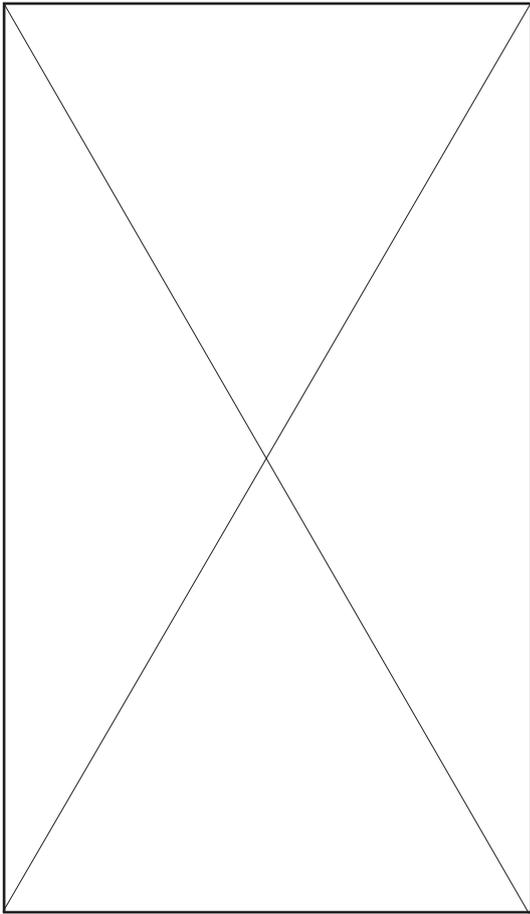
Cassa 9 da -40.0 a -45.0 m



41 42 43 44 45

45 46 47 48 49

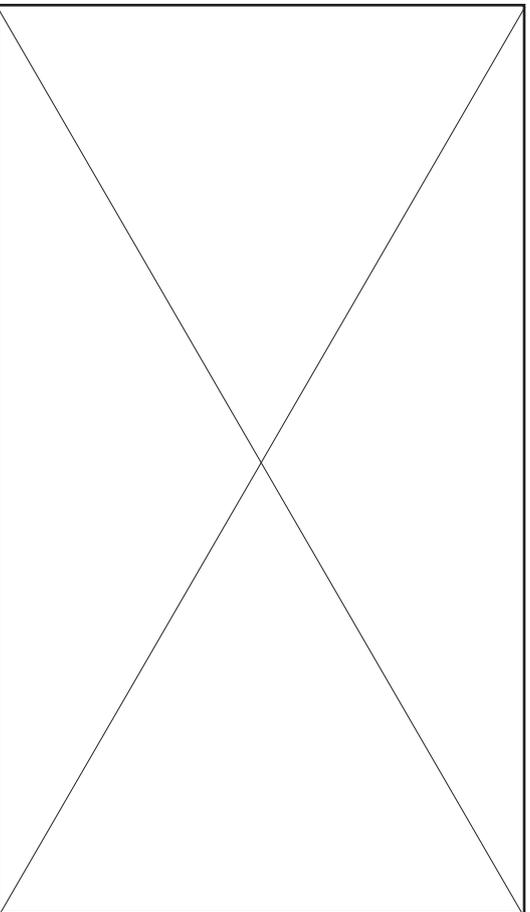
Cassa 10 da -45.0 a -50.0 m



46 47 48 49 50

50 51 52 53 54

Cassa 11 da -50.0 a -55.0 m



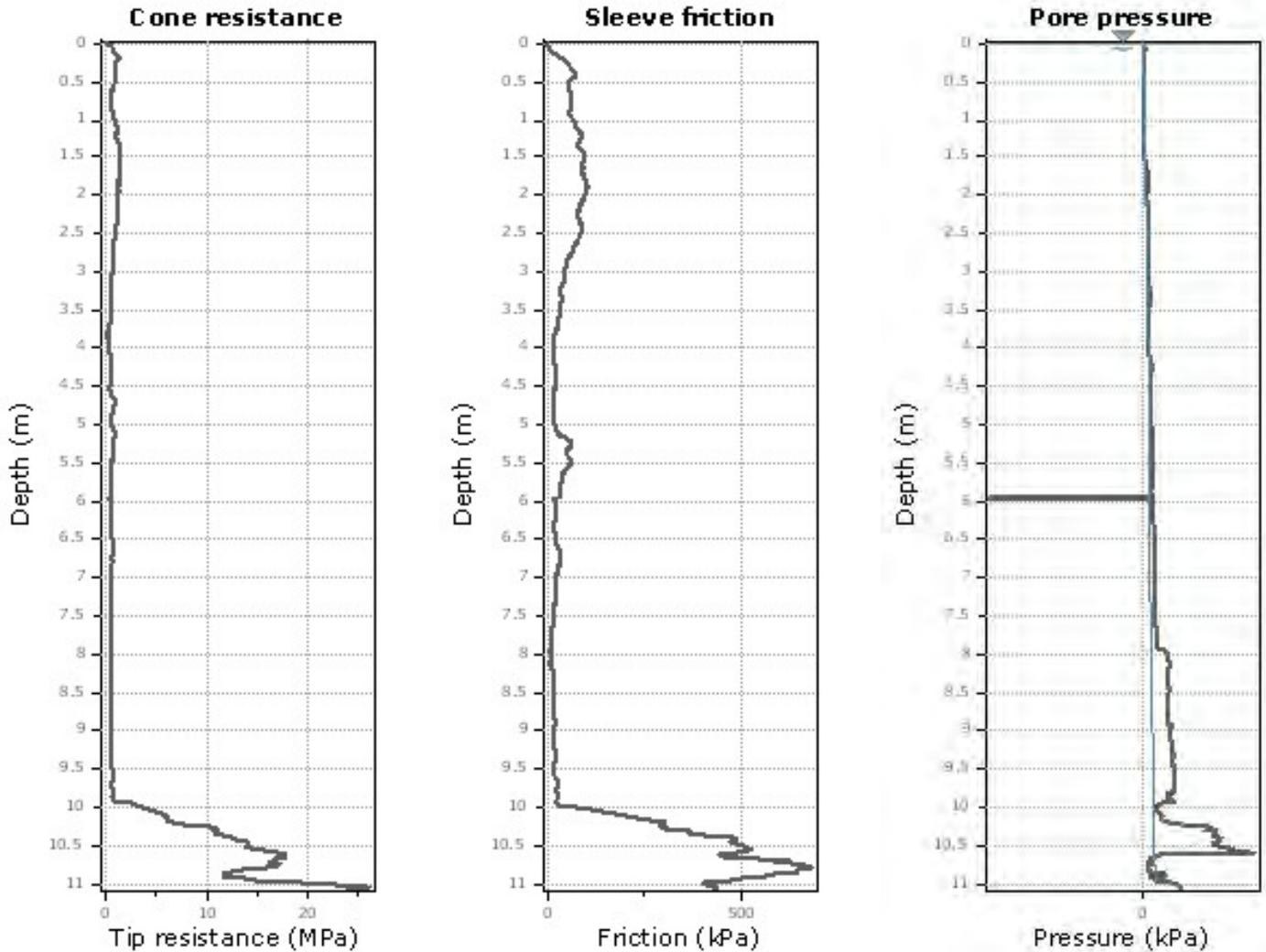
51 52 53 54 55



Posizionamento

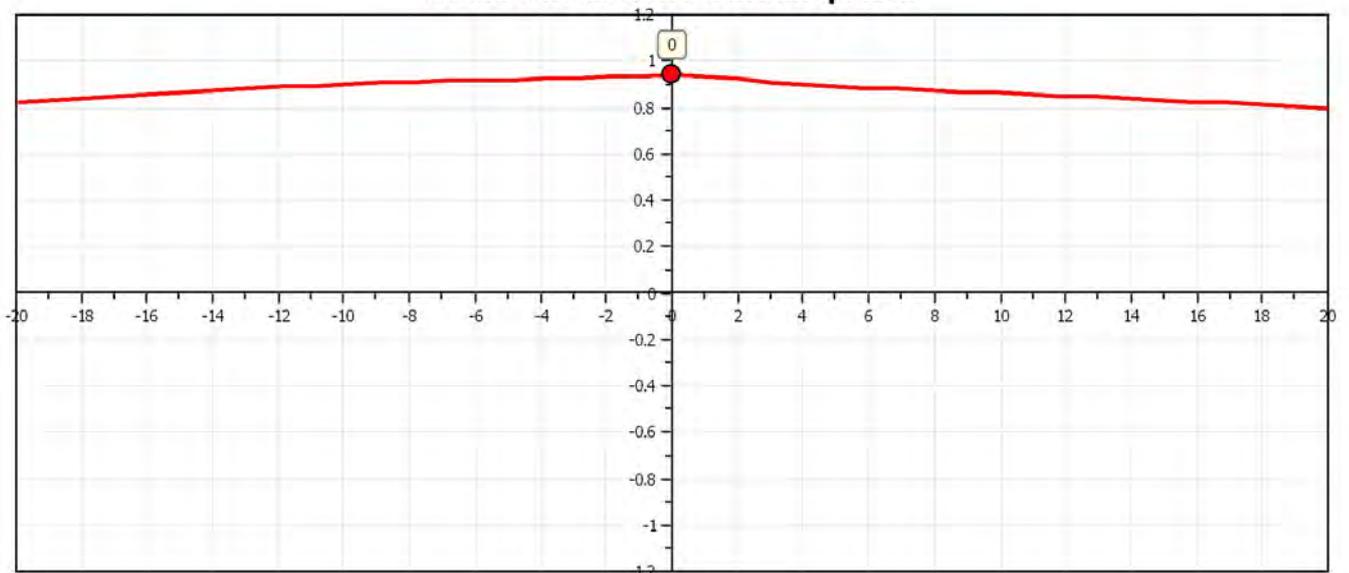
Project:

Location:



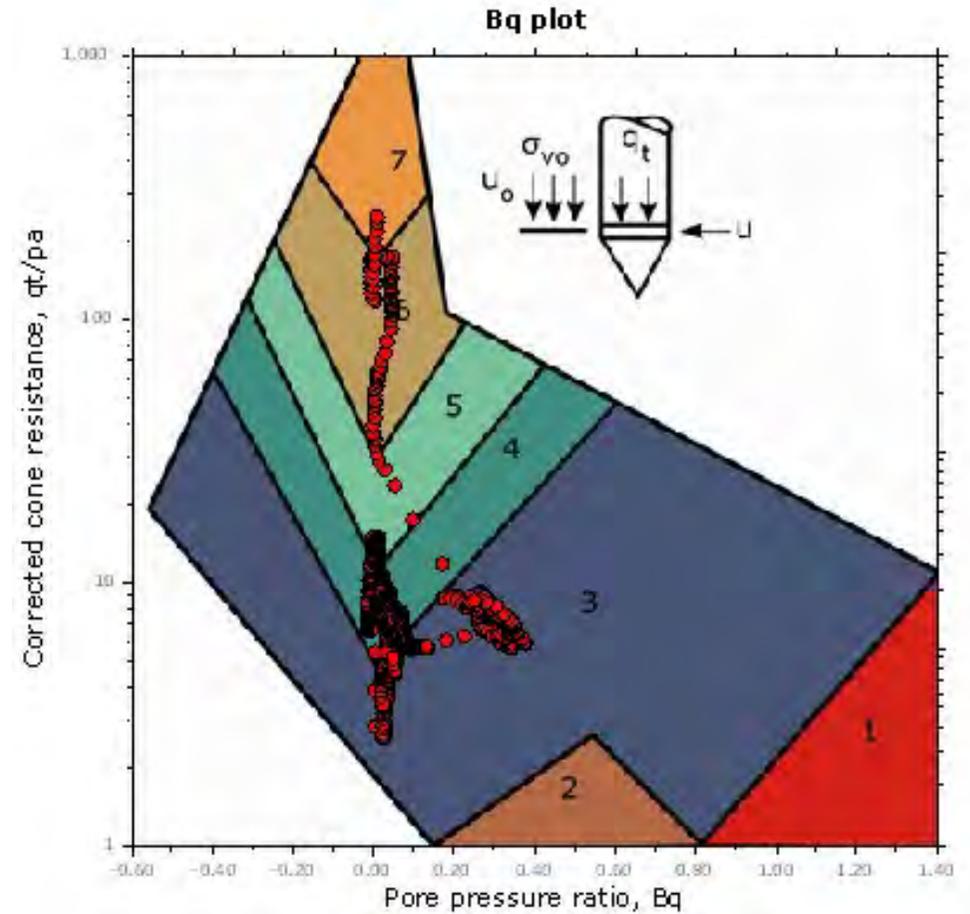
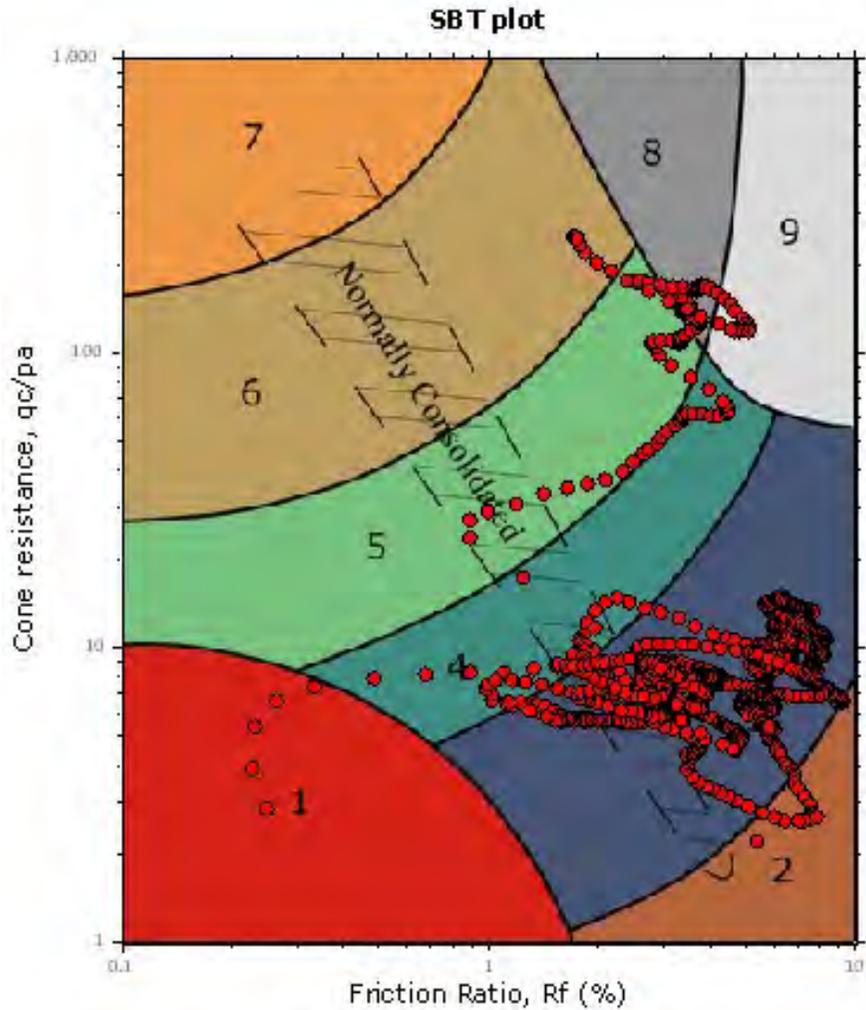
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between q_c & f_s



Project:
Location:

SBT - Bq plots

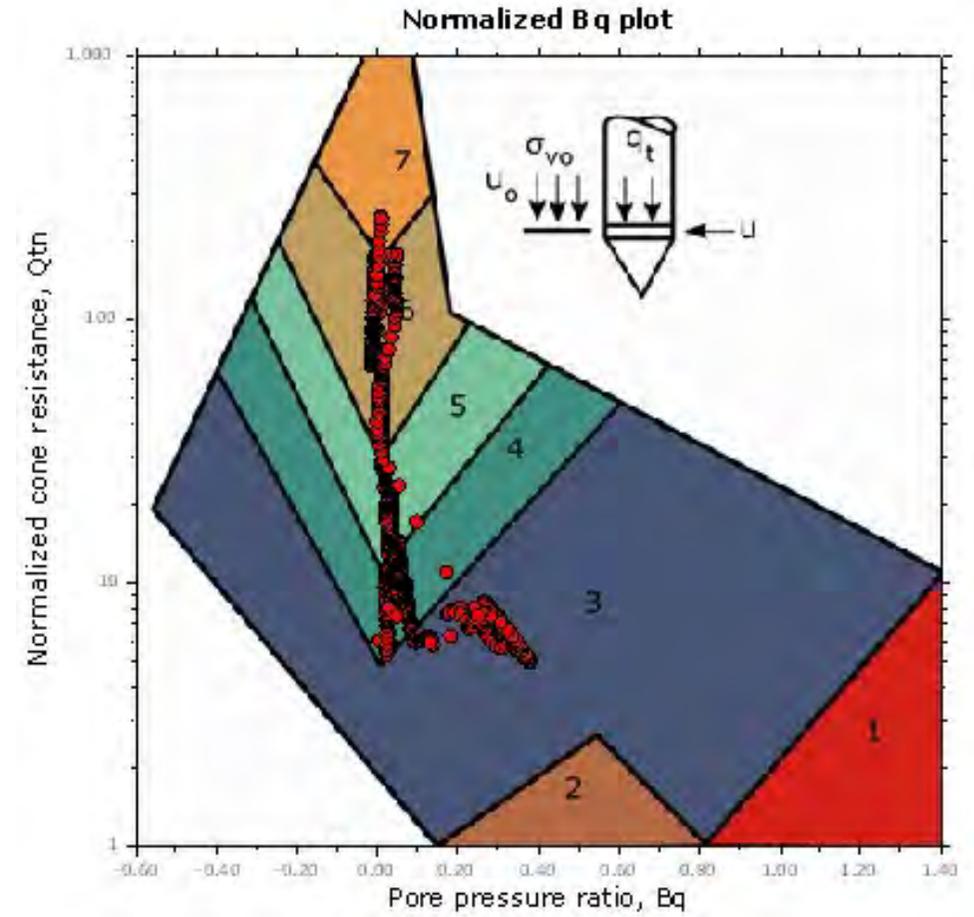
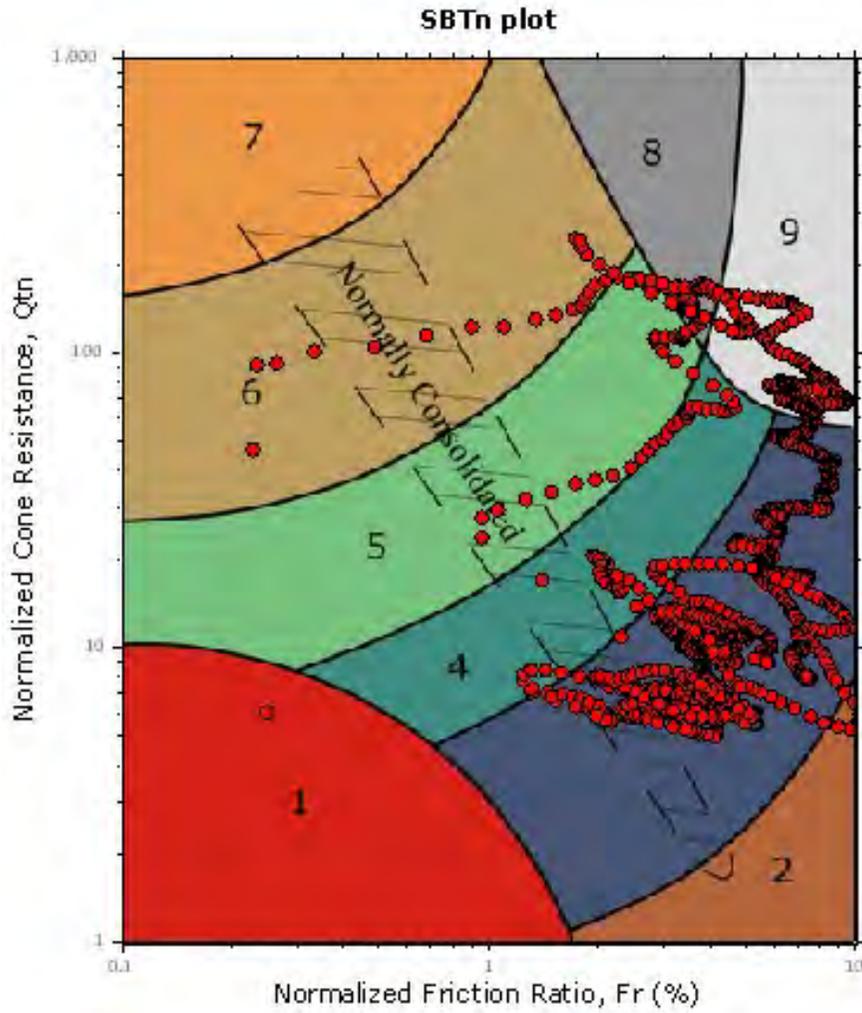


SBT legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravelly sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

Project:
Location:

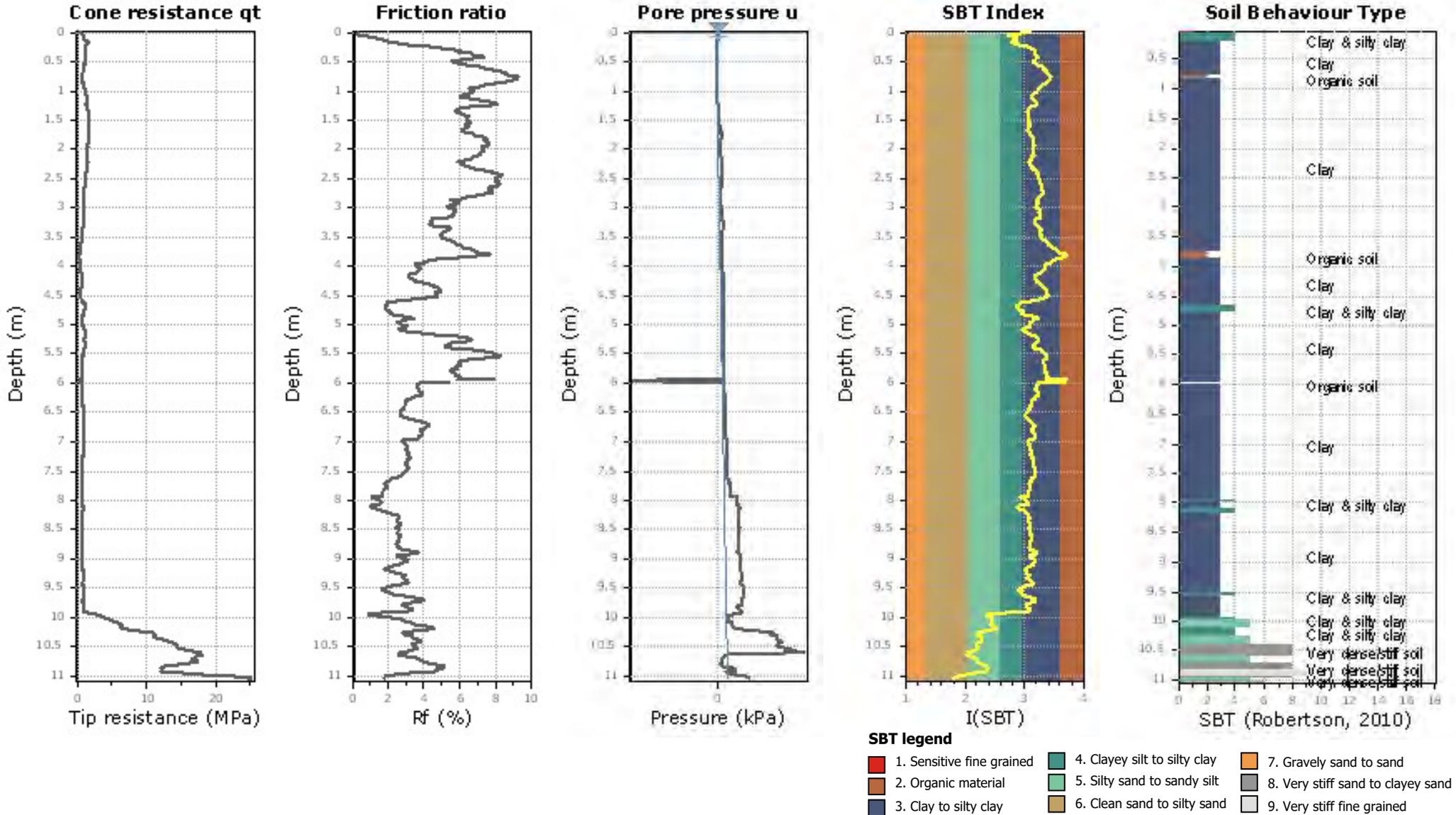
SBT - Bq plots (normalized)



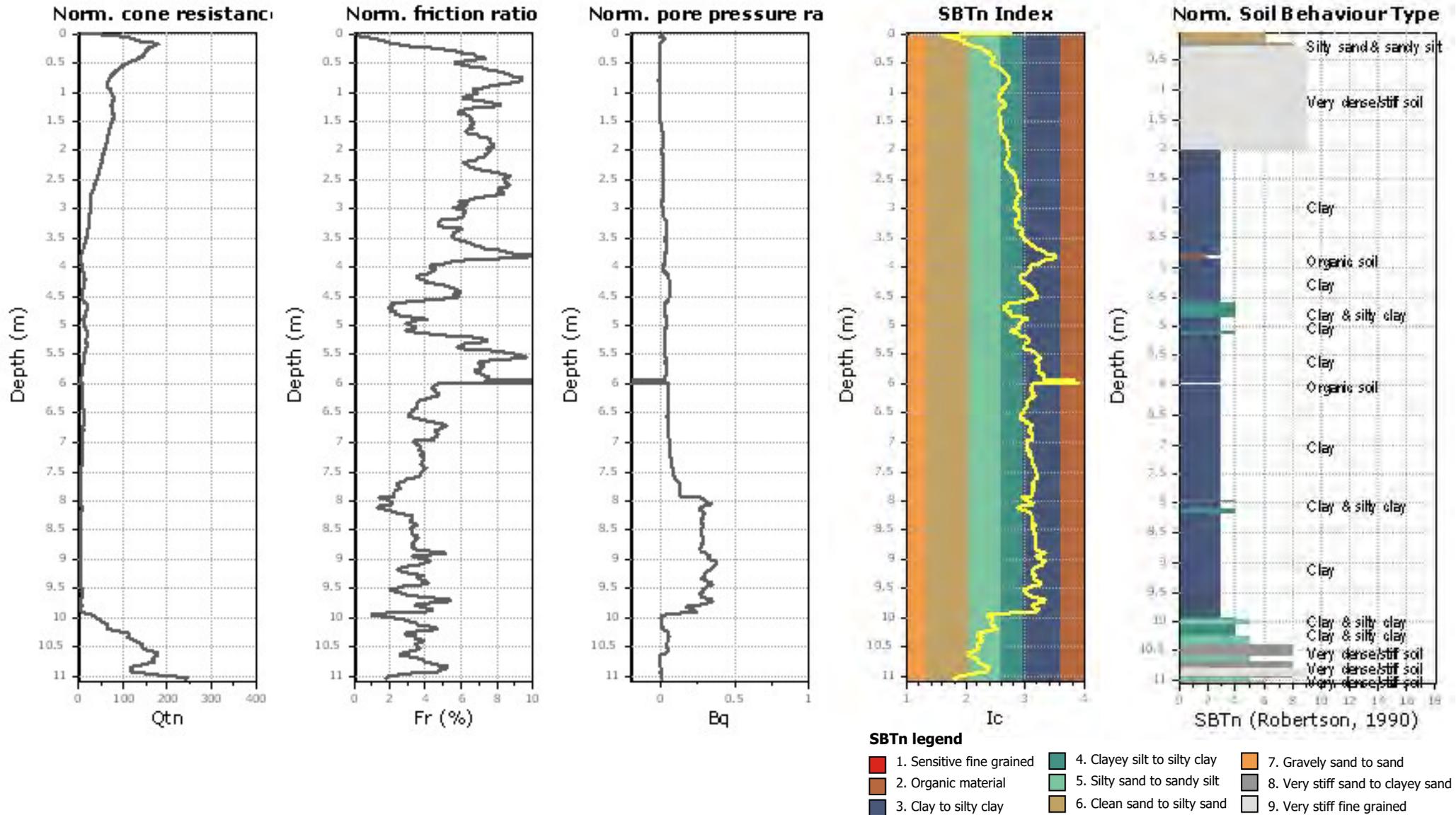
SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravelly sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

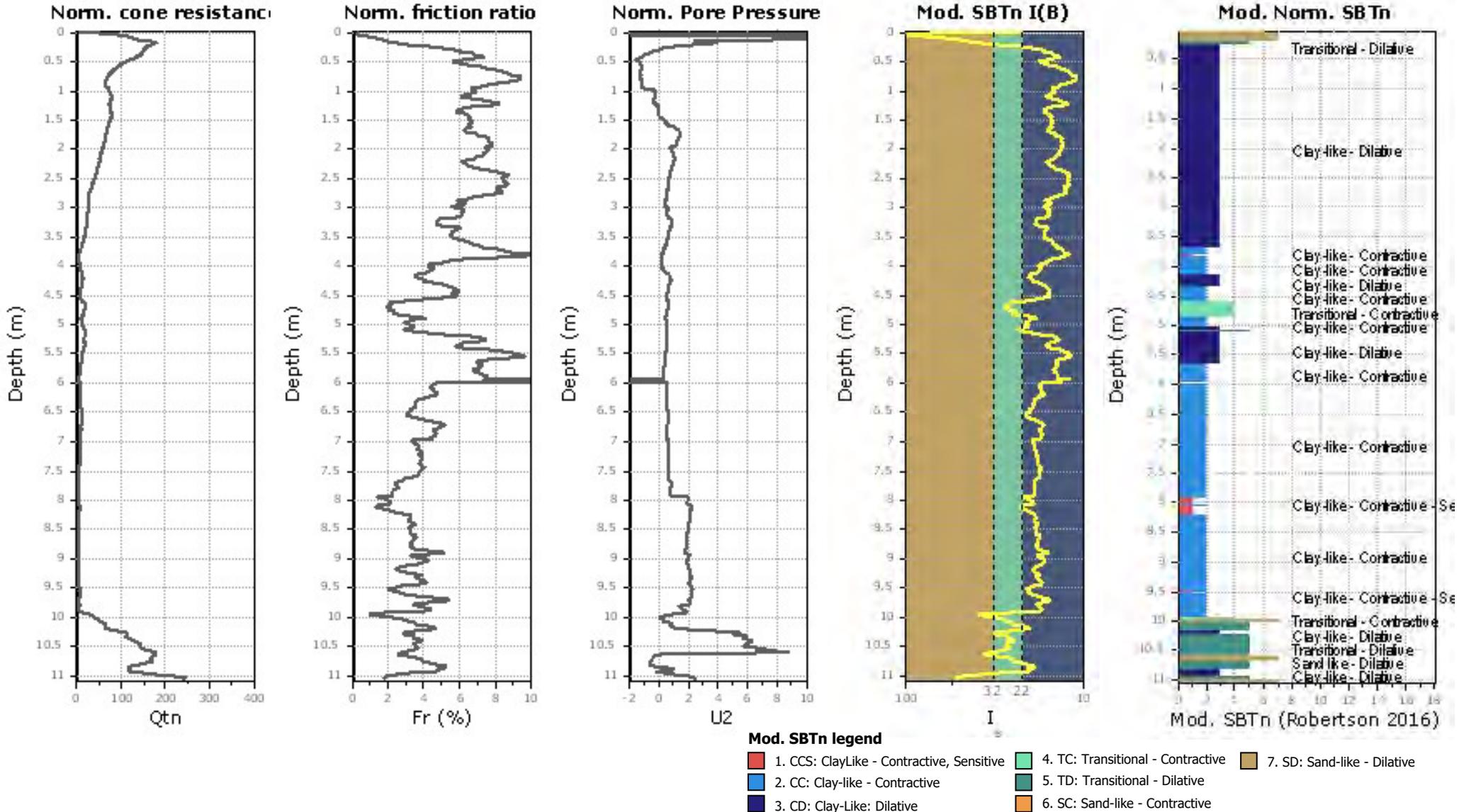
Project:
Location:



Project:
Location:

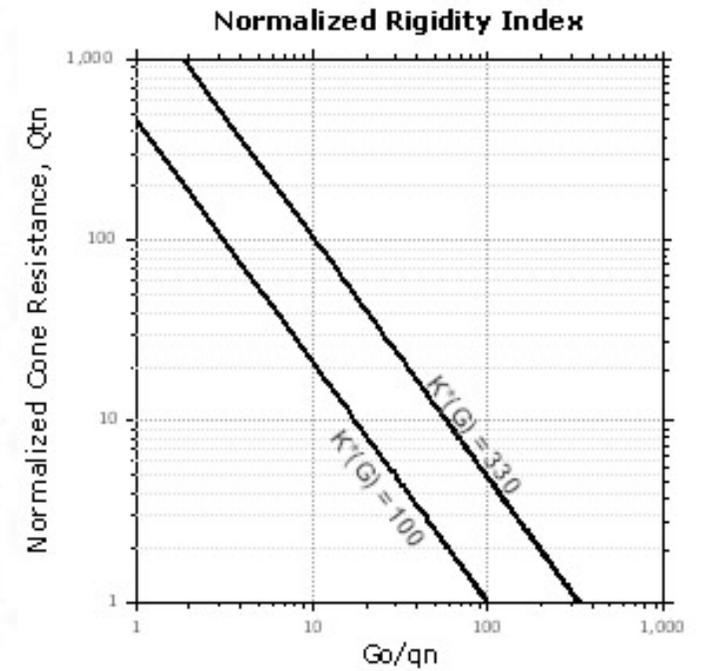
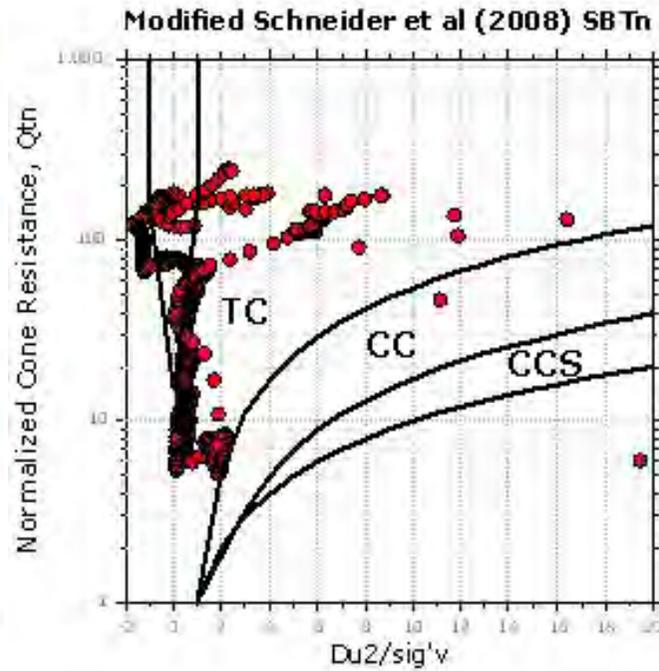
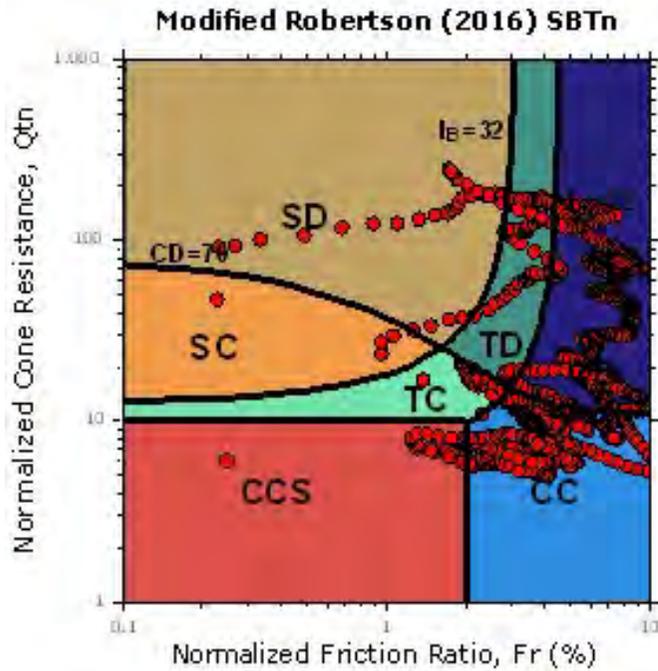


Project:
Location:



Project:
Location:

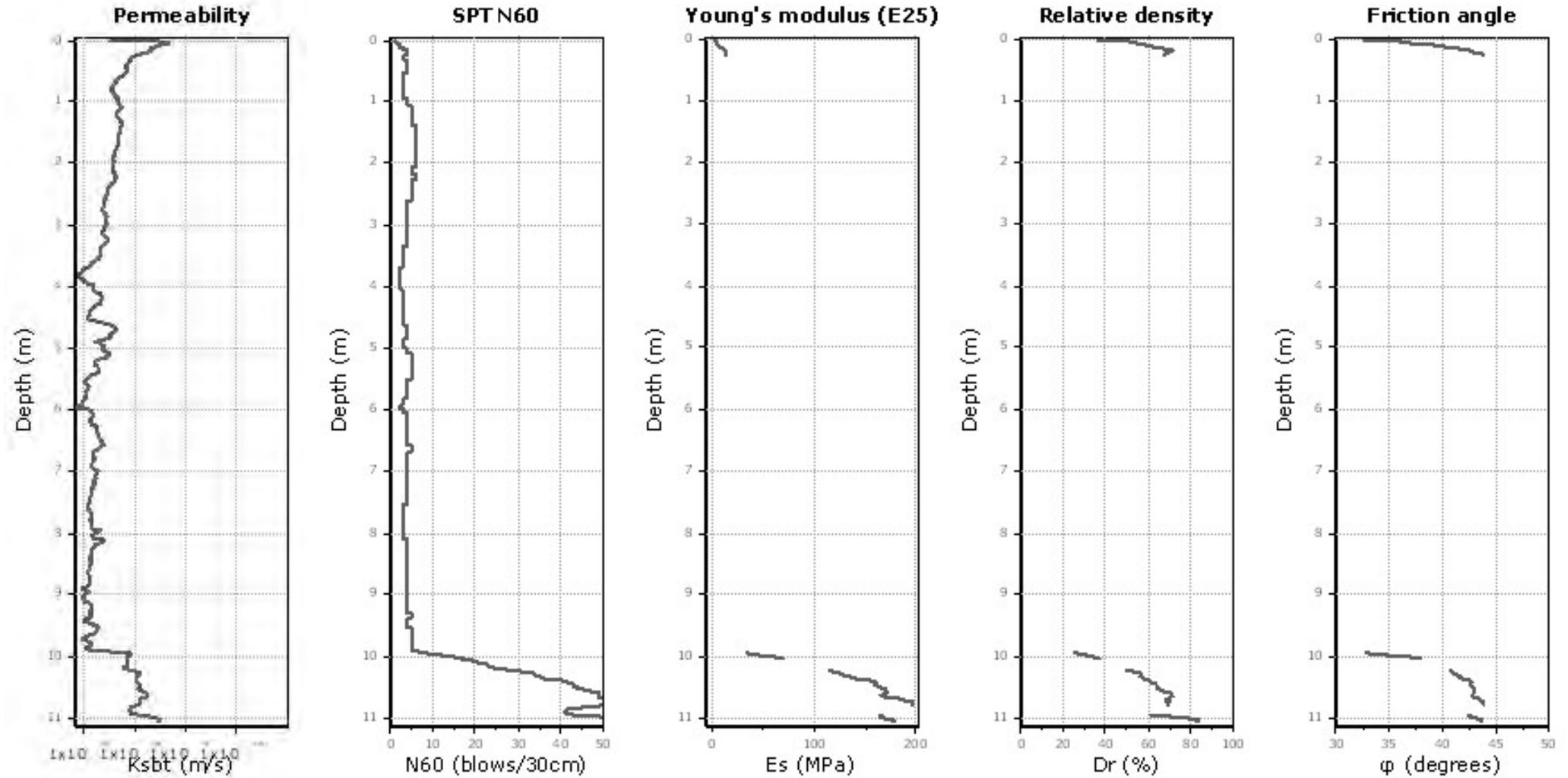
Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

$K'(G) > 330$: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project:
Location:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

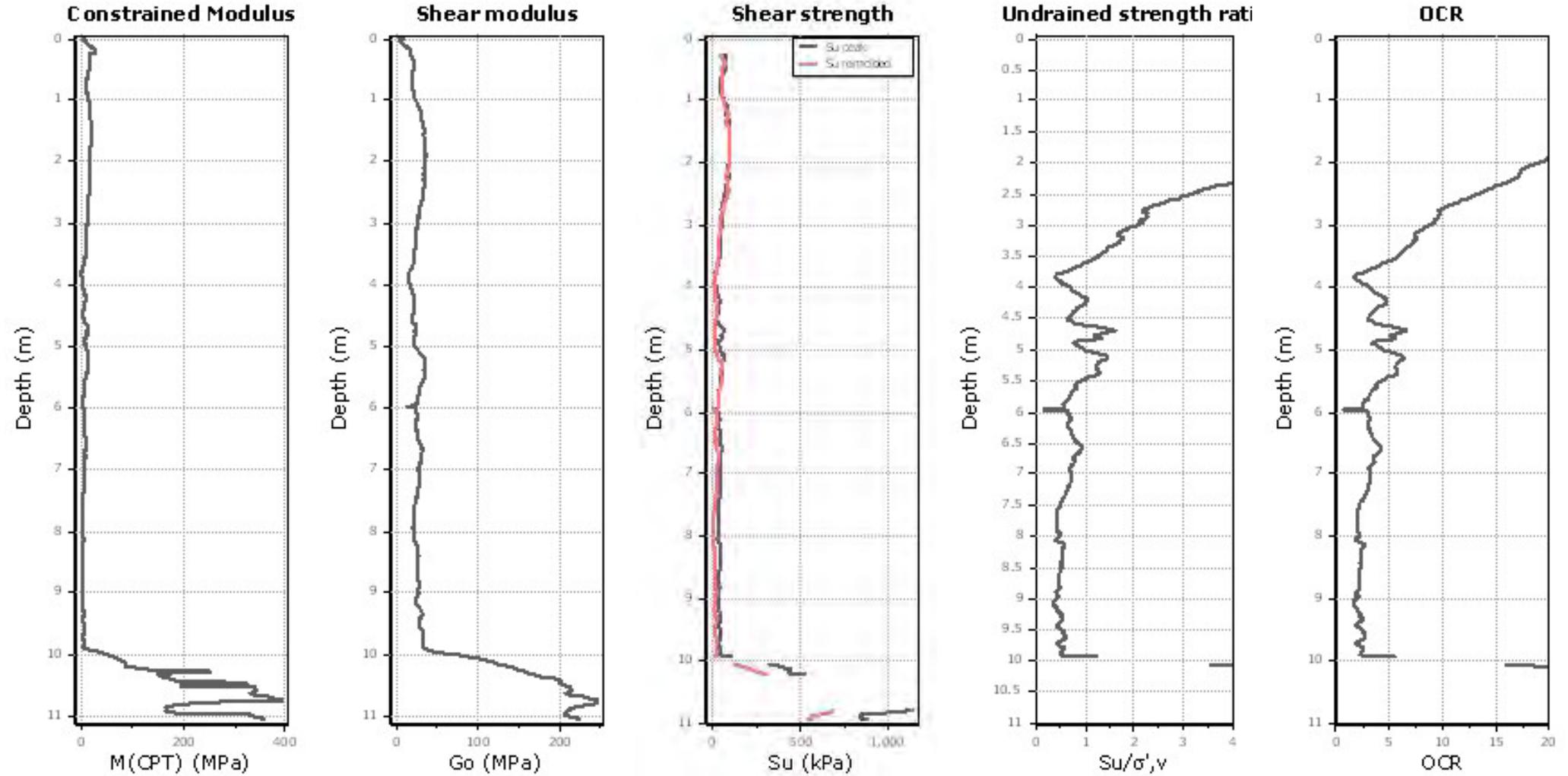
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● User defined estimation data

Project:
Location:

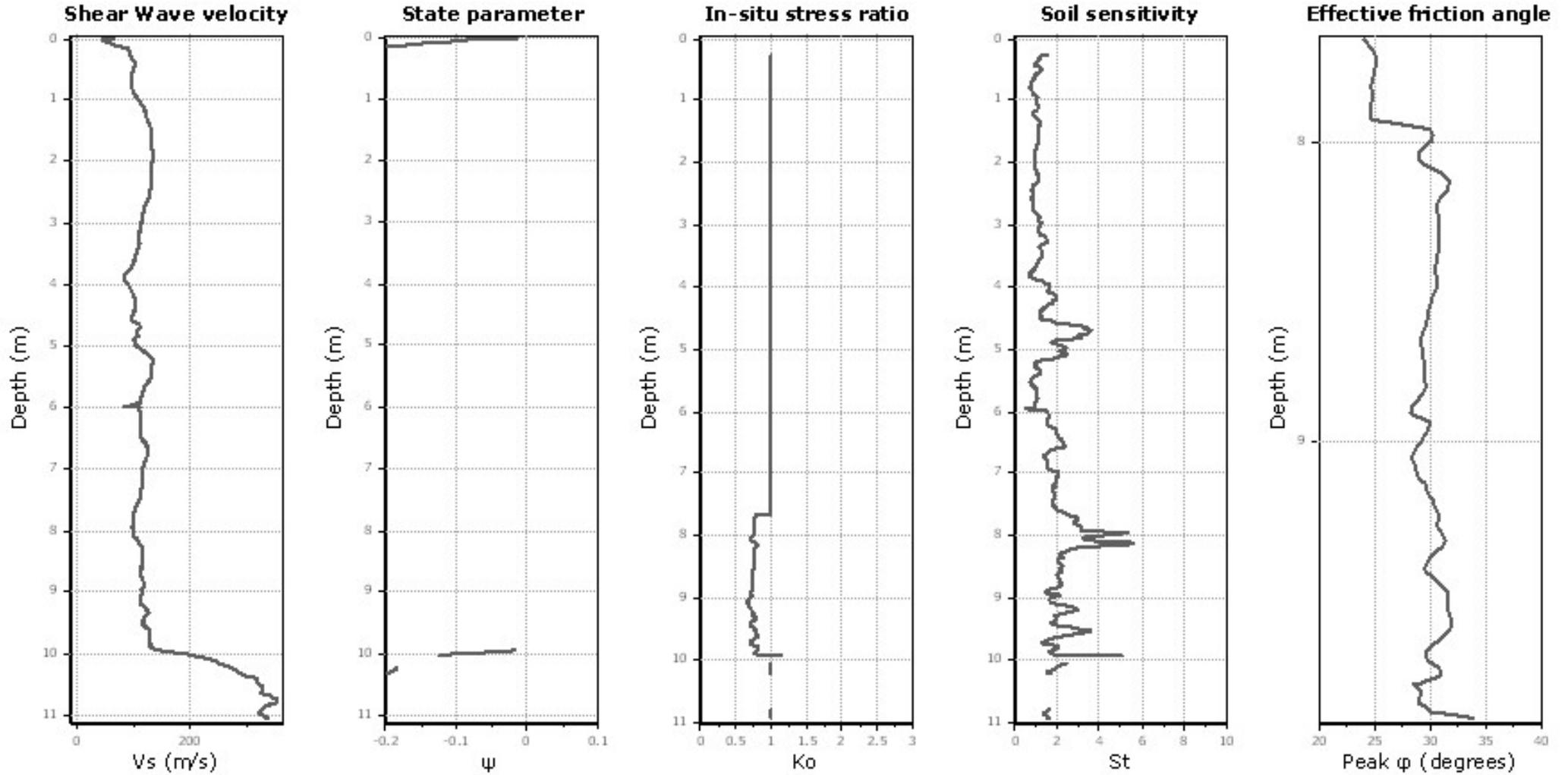


Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable alpha using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)
 Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
 Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kc} : 14

OCR factor for clays, N_{kc} : 0.33
 ● User defined estimation data
 ● Flat Dilatometer Test data

Project:
Location:



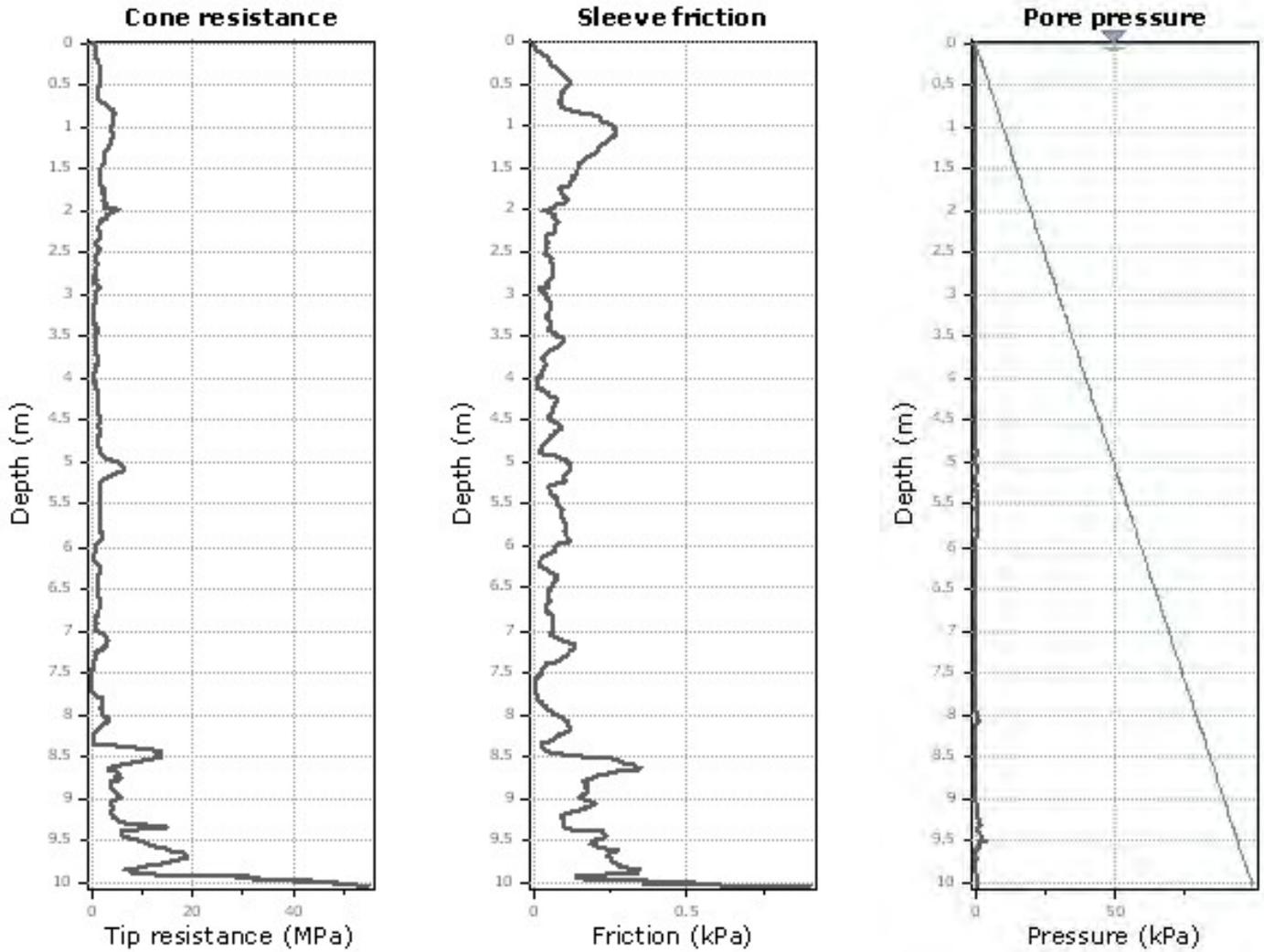
Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

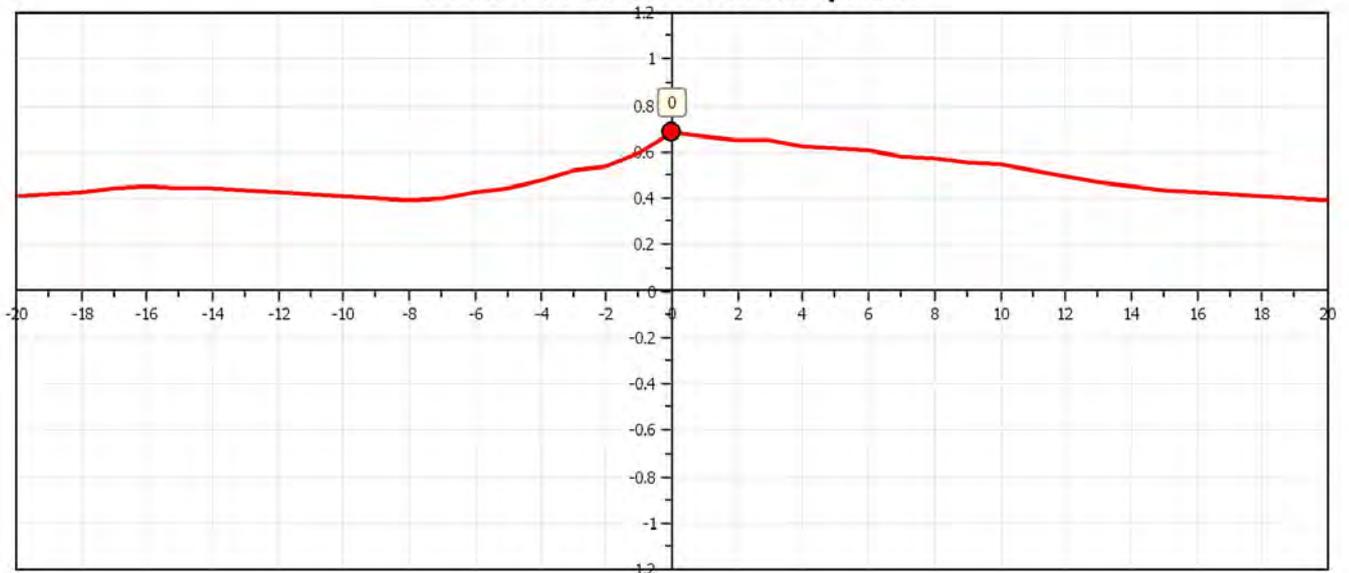
Project:

Location:



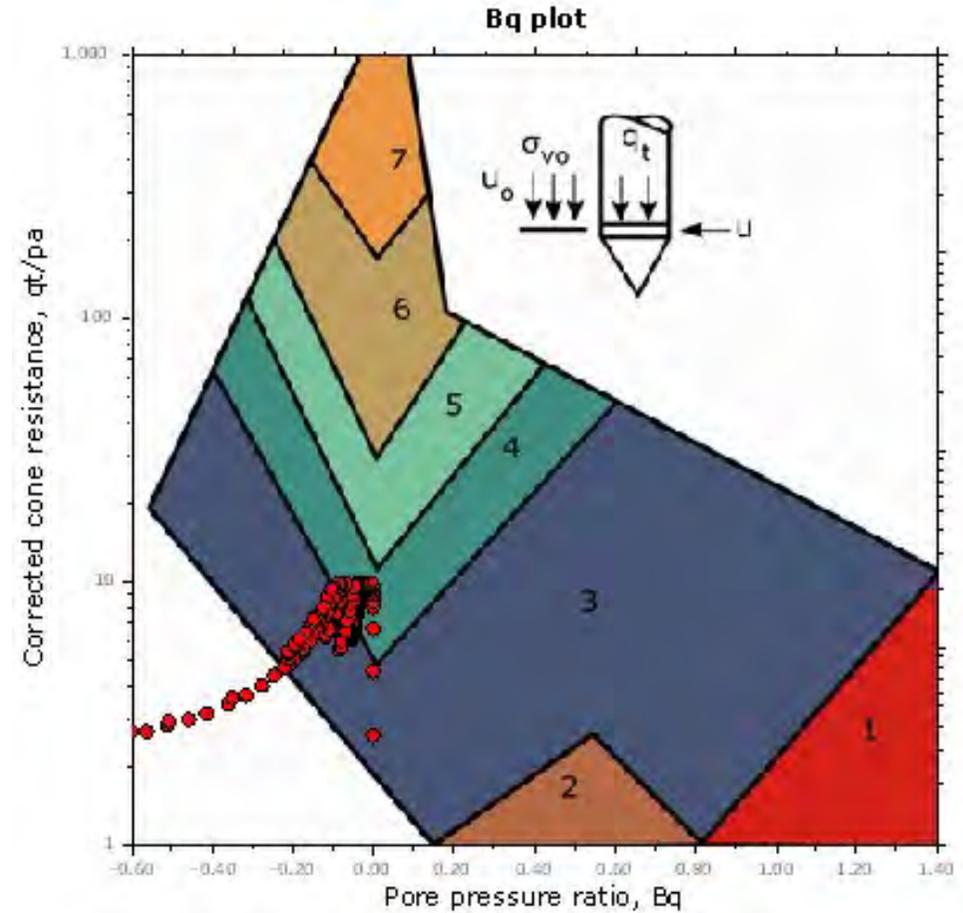
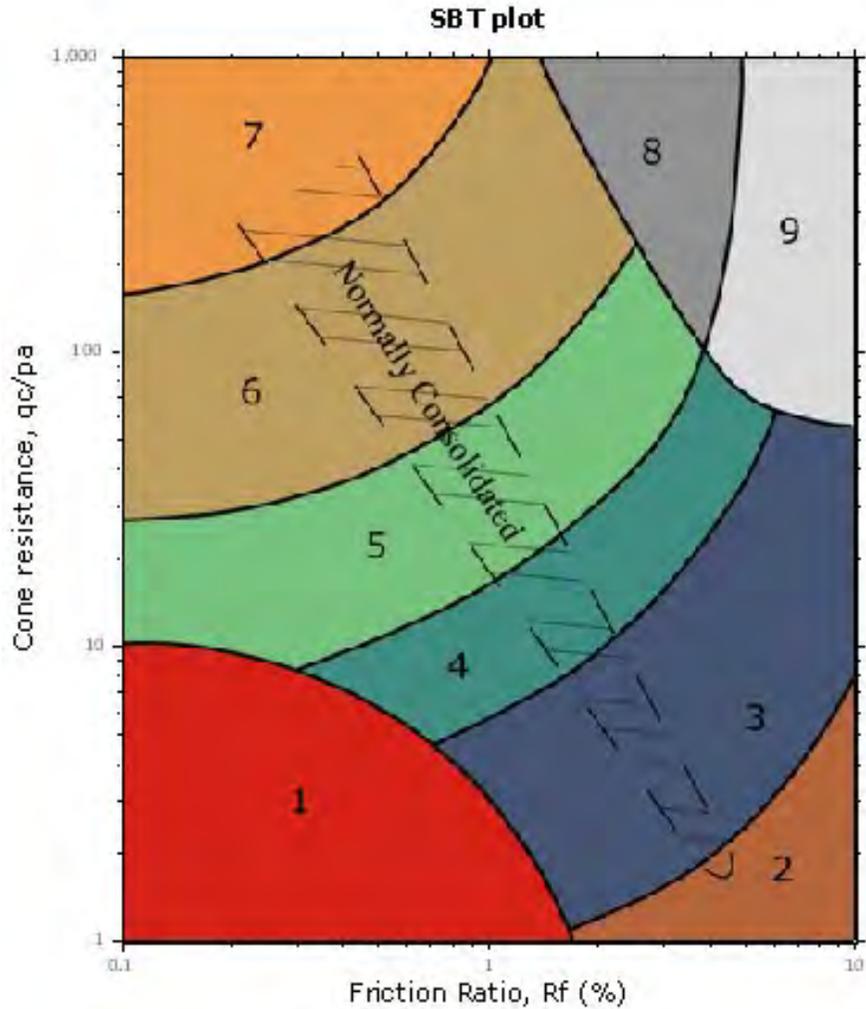
The plot below presents the cross correlation coefficient between the raw q_c and f_s values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two successive CPT measurements).

Cross correlation between q_c & f_s



Project:
Location:

SBT - Bq plots



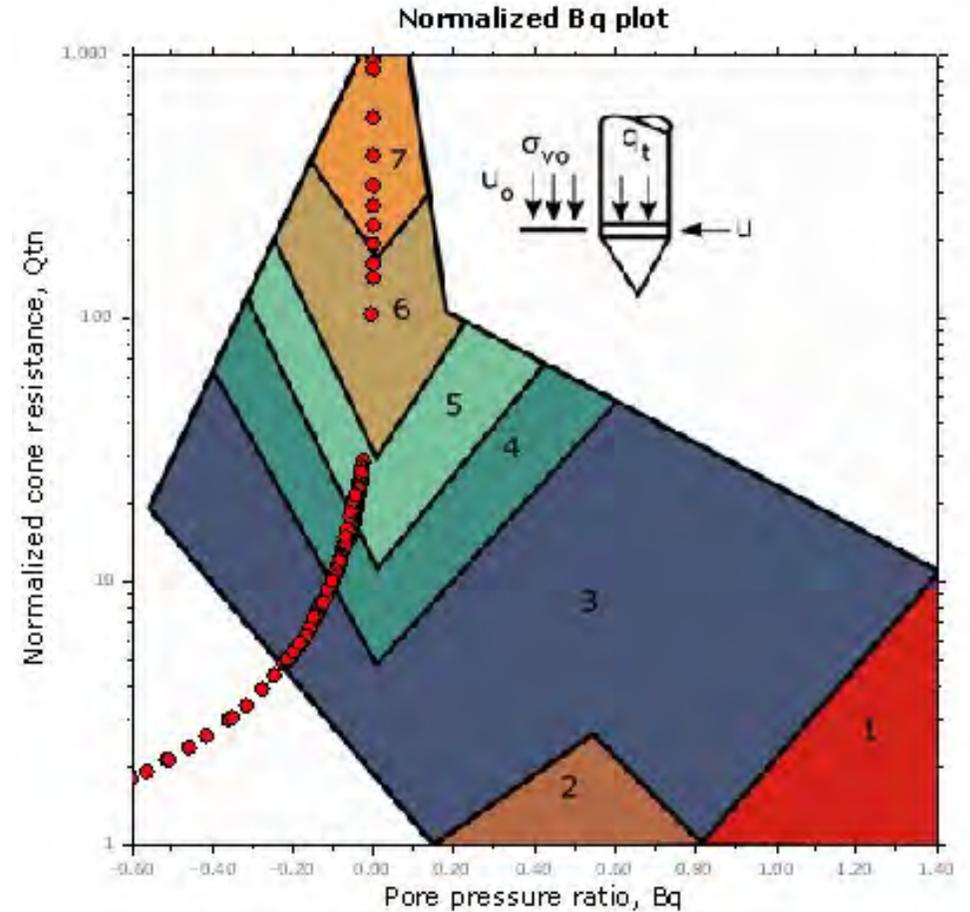
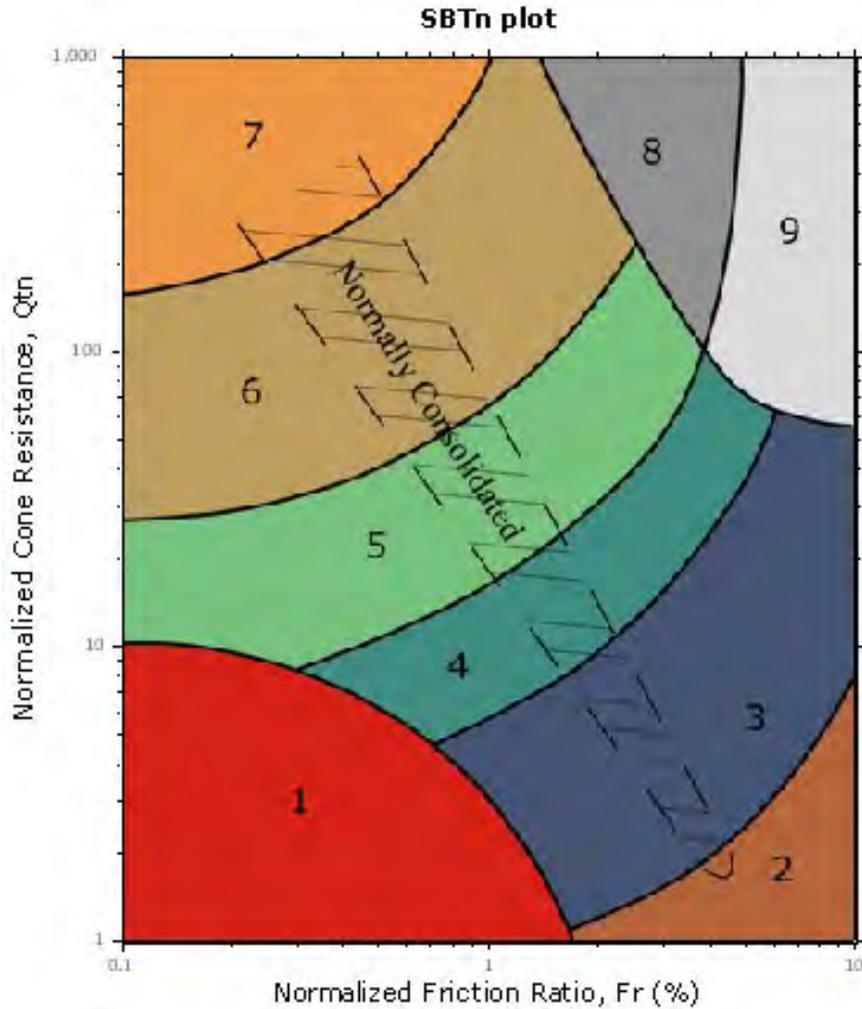
SBT legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravelly sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

Project:

Location:

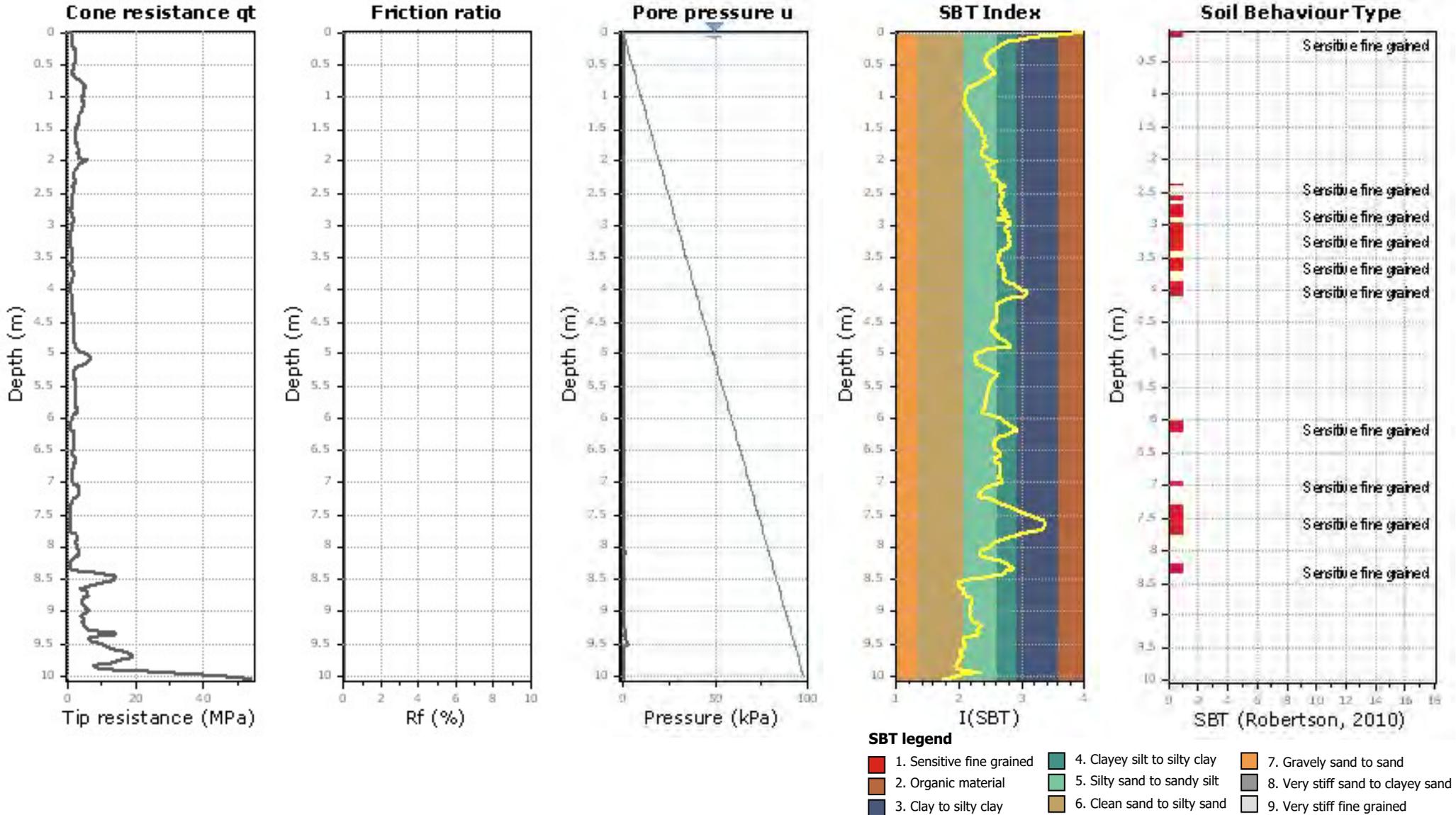
SBT - Bq plots (normalized)



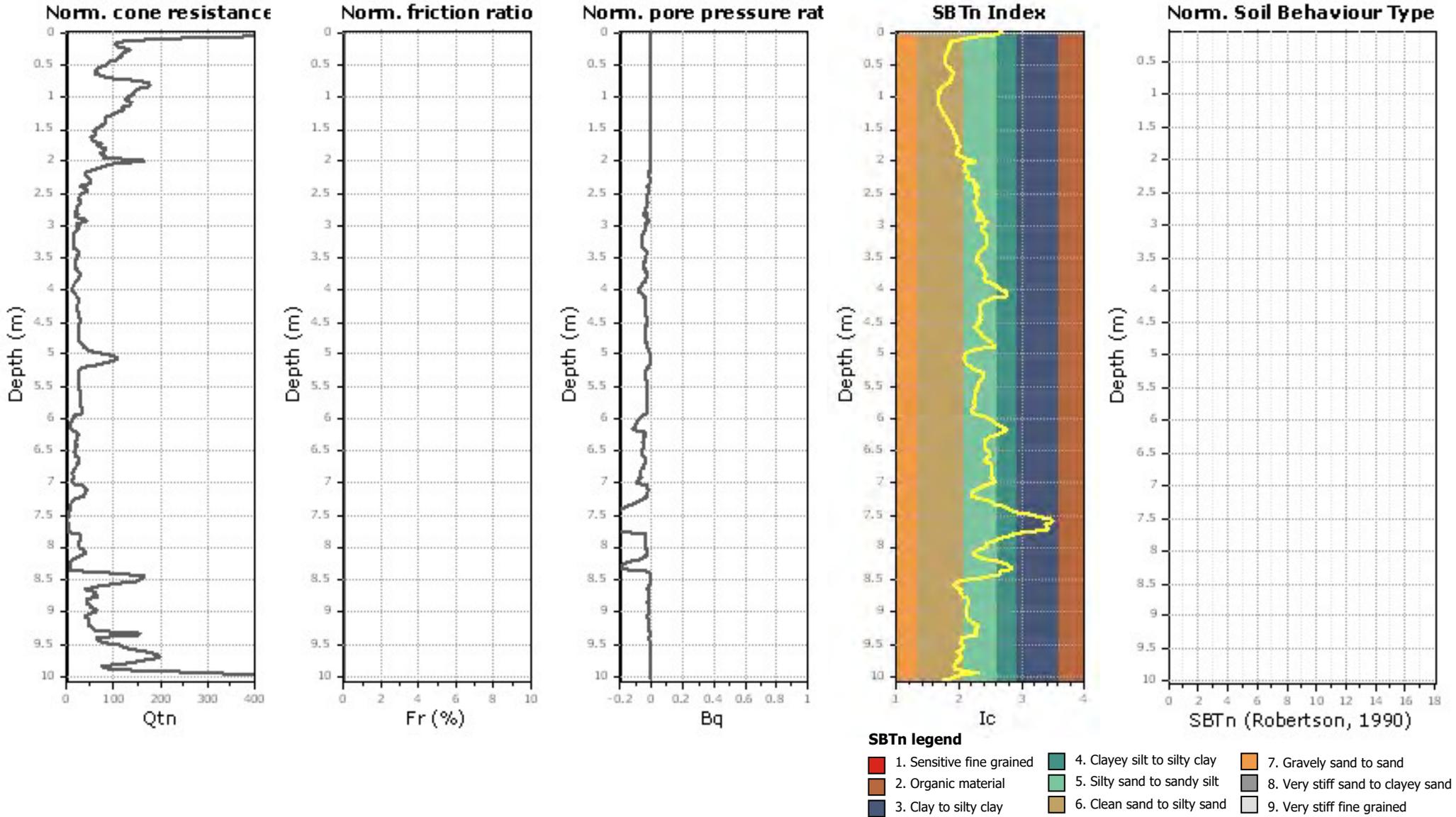
SBTn legend

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 4. Clayey silt to silty clay | 7. Gravelly sand to sand |
| 2. Organic material | 5. Silty sand to sandy silt | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clay to silty clay | 6. Clean sand to silty sand | 9. Very stiff fine grained |

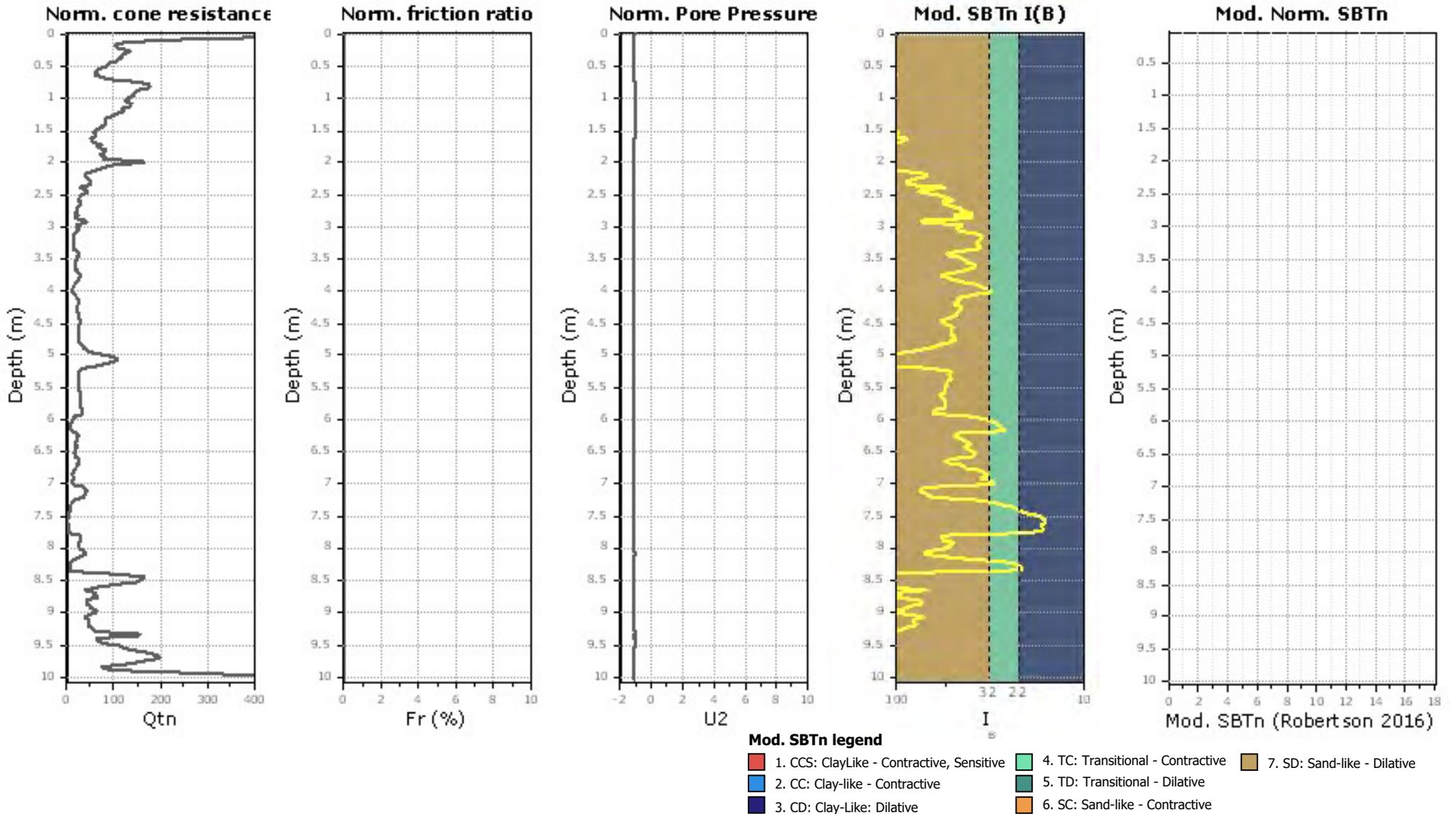
Project:
Location:



Project:
Location:

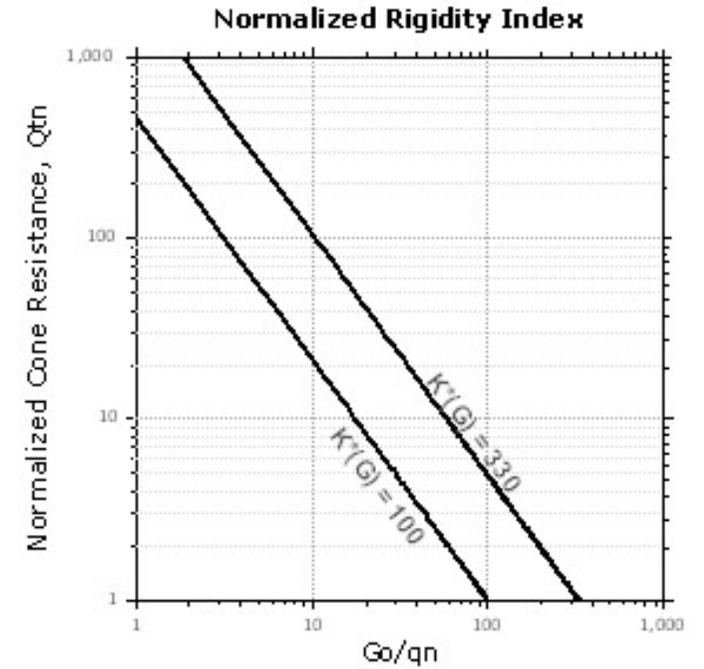
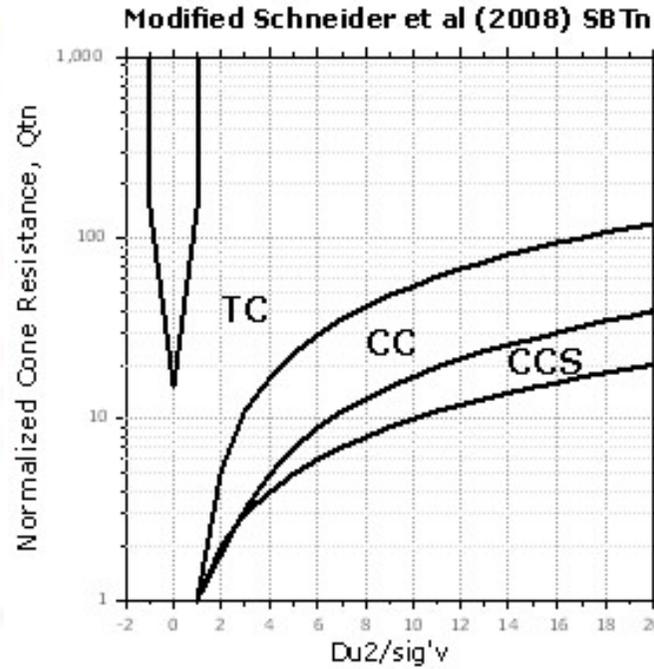
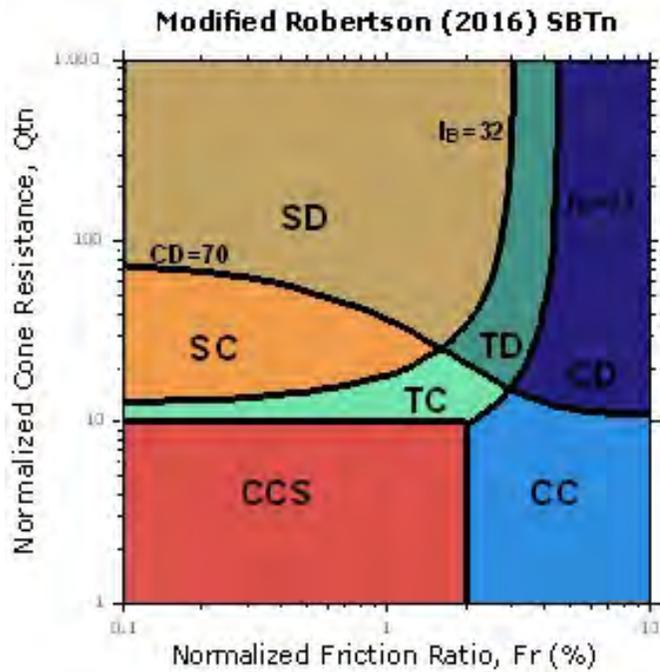


Project:
Location:



Project:
Location:

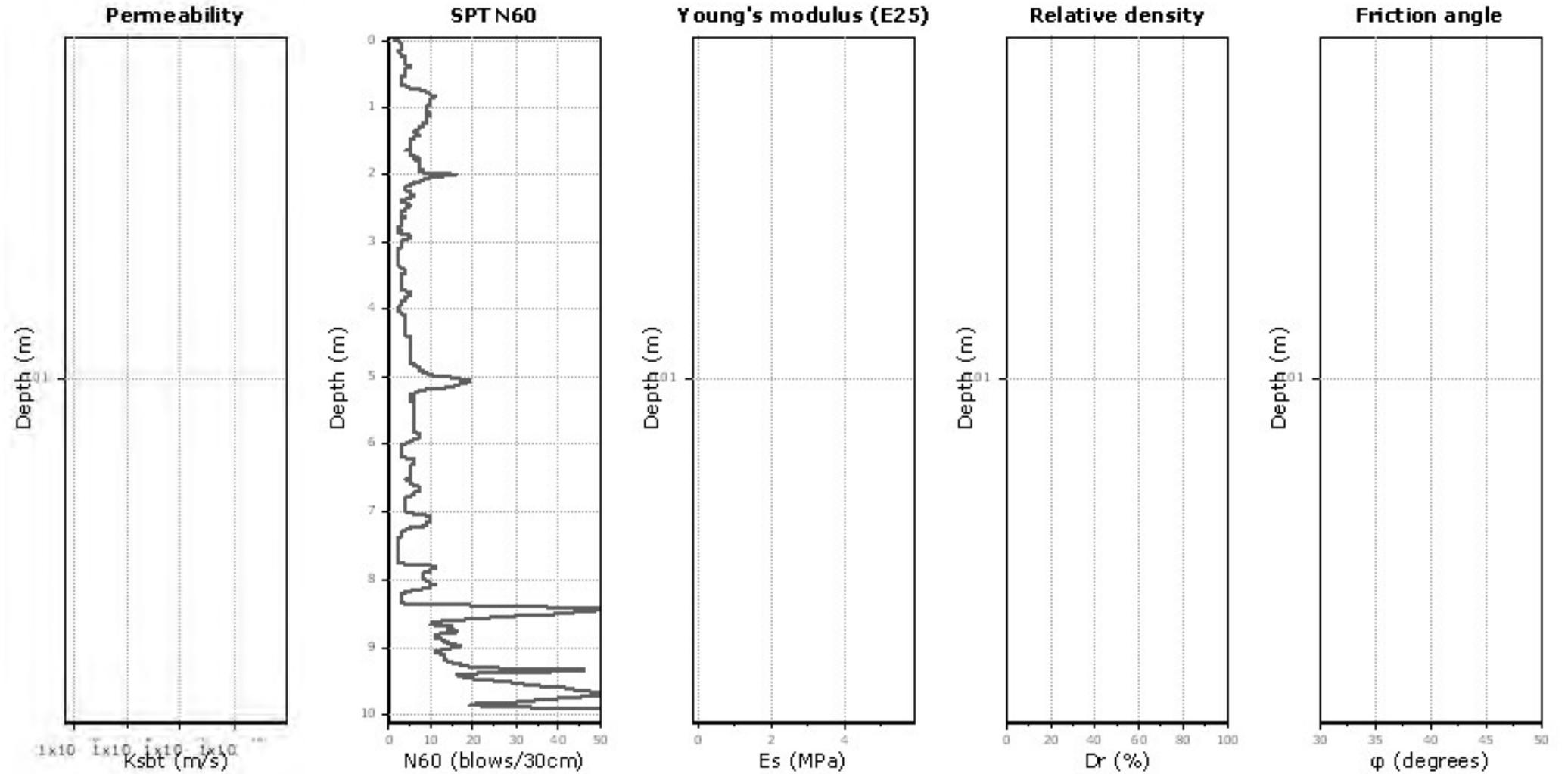
Updated SBTn plots



- CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
- CC: Clay-like - Contractive
- CD: Clay-like - Dilative
- TC: Transitional - Contractive
- TD: Transitional - Dilative
- SC: Sand-like - Contractive
- SD: Sand-like - Dilative

$K'(G) > 330$: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project:
Location:



Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n

SPT N_{60} : Based on I_c and q_t

Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

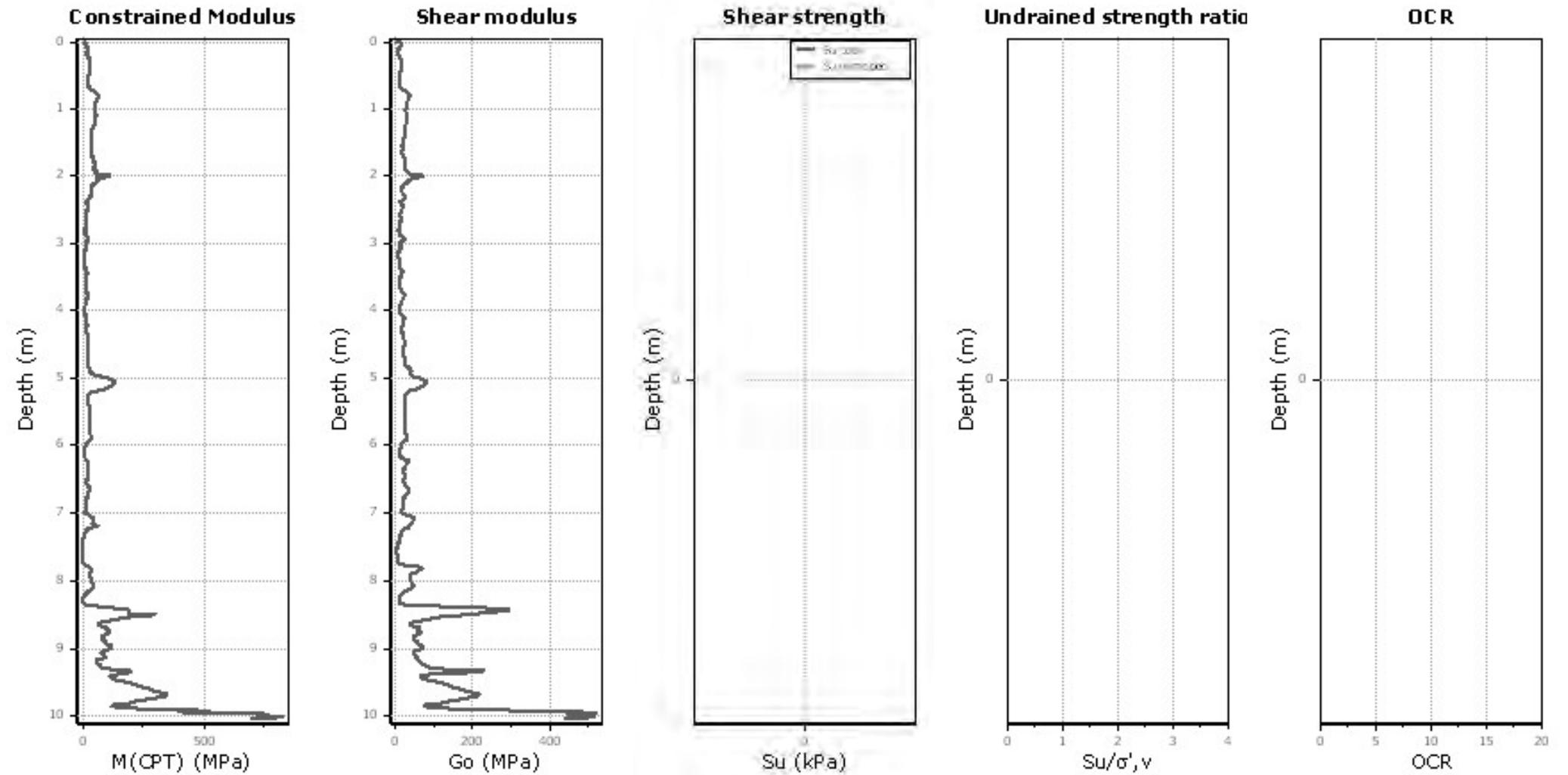
Relative density constant, C_{Dr} : 350.0

Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)

● User defined estimation data

Project:

Location:



Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable alpha using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)

Go: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)

Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt} : 14

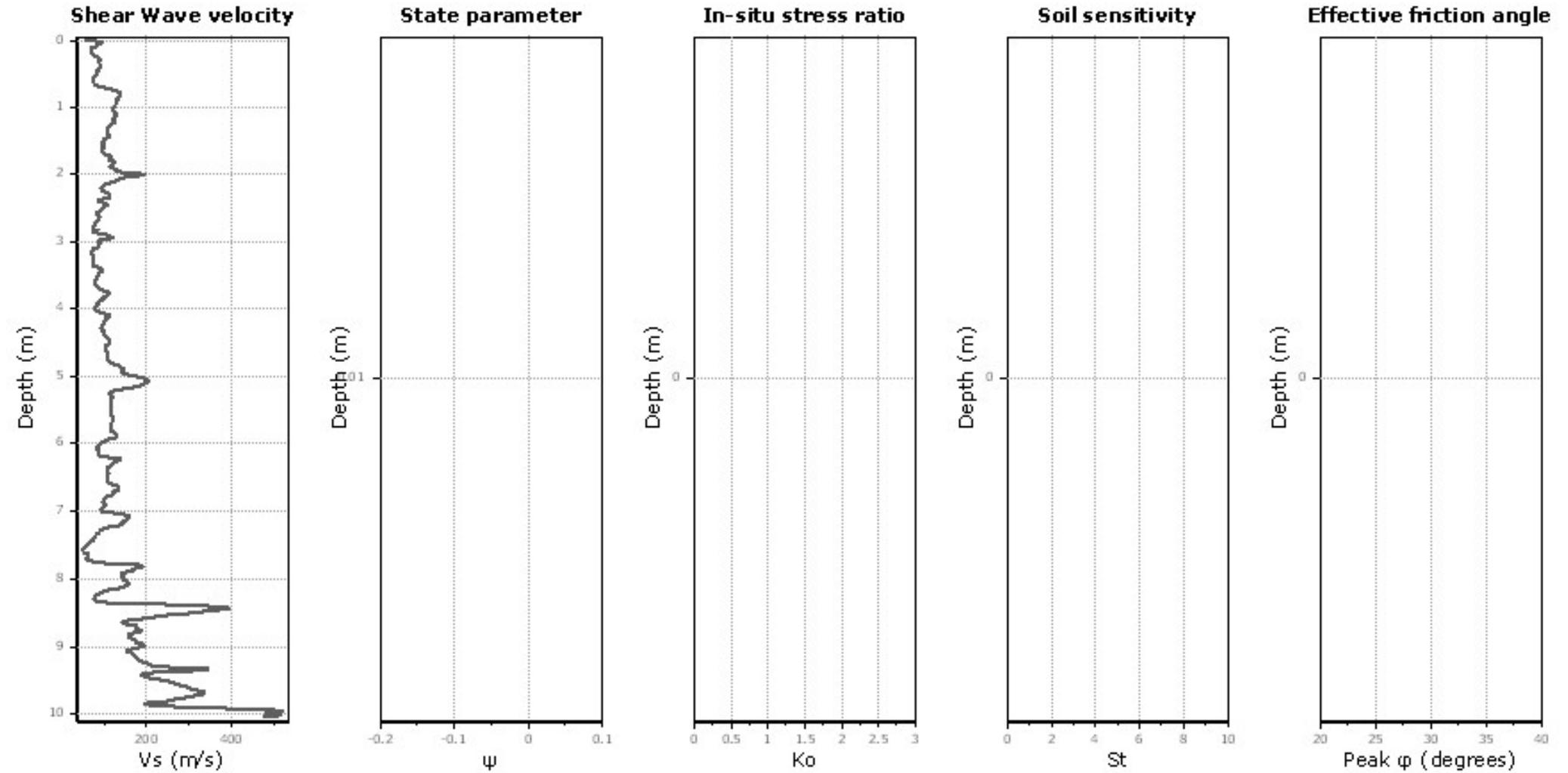
OCR factor for clays, N_{kt} : 0.33

● User defined estimation data

● Flat Dilatometer Test data

Project:

Location:



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_s : 7.00

—●— User defined estimation data

a1. Prova Down Hole So1 - DH40

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno.

L'indagine geofisica, consente di determinare le velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente (piano campagna) ai ricevitori (ad ogni metro di profondità) di cui è nota la distanza.

La prova (Figura 1) consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto di un sistema di 5 geofoni (1 verticale e 4 orizzontali), alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio appositamente strumentato.

Il sistema energizzante (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali.

Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

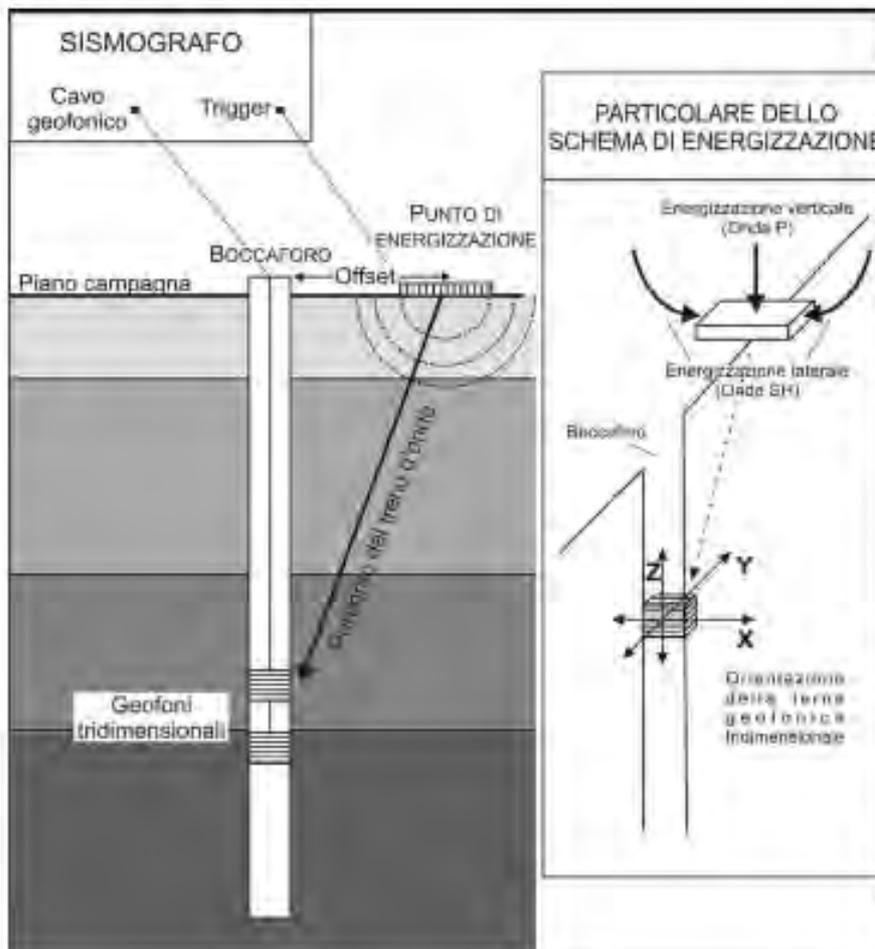


Figura 1
 schema semplificato
 di un'indagine
 down-hole;

La misura dei primi arrivi sismici deve essere realizzata con precisione e un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il momento dell'impulso dato al terreno e l'inizio della registrazione al sismografo si traduce in un errore significativo nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro.

La forma d'onda prodotta da questo geofono viene acquisita su un canale del sismografo e viene analizzata separatamente, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono è sempre lo stesso per tutte le battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato.

L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite in diversi momenti vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena di tanti geofoni quante sono le quote di misura nel foro.

In particolare vengono raggruppate in un unico sismogramma le forme d'onda relative al geofono verticale e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali. In quest'ultimo caso, poiché i geofoni orizzontali sono 4 e il sismogramma uno solo, viene selezionata (tramite apposito algoritmo o manualmente) la traccia in cui si registra il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio (con massima ampiezza).

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove è composta dalle seguenti parti:

- 1) sistema energizzante;
- 2) sistema di ricezione;
- 3) trigger;
- 4) sistema di acquisizione dati.

L'acquisizione è stata effettuata tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit DoReMi prodotto dalla Sara Electronic Instruments Srl utilizzando complessivamente 5 canali di registrazione.

Il sistema di ricezione all'interno del sensore da pozzo SSBH è composto da 5 ricevitori (geofoni) di cui 1 è orientato secondo la lunghezza del contenitore entro cui sono alloggiati (geofono verticale) e gli altri 4 disposti a 45° l'uno dall'altro (geofoni orizzontali).

Caratteristiche tecniche Sensore da foro SSBH

Caratteristiche tecniche	
Numero canali:	5 (standard), 3 o altro (a richiesta)
Configurazione:	Z, ed H (0°, 45°, 90°, 135°)
Non ortogonalità:	< 0.1%
Livellamento:	non previsto
Frequenza naturale:	10Hz (+/-5%) (4.5Hz o 8 Hz a richiesta)
Damping:	0.707
Massa inerziale:	24 g
Sensibilità nominale:	27 V/m/s - (per il 4.5Hz disponibile a 80V/m/s)
Tilt massimo:	Verticale: 10° Orizzontale: 5°
Movimento massa:	0.2mm
Dimensioni:	1080x50mm
Peso sensore:	4.5 kg
Peso complessivo:	18 Kg
Lunghezza cavo:	standard 50 metri
Connettore:	Cannon JC series 10 poli
Integrazione possibile con:	DoReMi, SR04, SL06, SL07
Sistema di bloccaggio:	elettrico
Alimentazione:	12V batteria
Conformità:	CE

Caratteristiche tecniche Sismografo Doremi a 24Bit

Caratteristiche tecniche	
Classe strumentale:	sismografo multicanale per geofisica
Topologia:	rete differenziale RS485 half-duplex multipunto
Lunghezza max rete:	virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori
N. max canali per tratta:	255
Dimensioni elemento:	80x55x18 mm
Peso:	250 g (per elemento con cavo di 5 metri)
Cavo:	per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato
Memoria:	60 kBytes (30000 campioni)
Frequenze selezionabili:	da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)
Convertitore:	tipo SAR a 16 bit (96 dB)
Amplificatore:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Banda passante:	2Hz - 200Hz
Reiezione modo comune:	>80dB
Diafonia (crosstalk):	zero, la trasmissione è digitale
<i>Dinamica del sistema</i>	
Risoluzione:	7.6 μ V @ 27dB; 0.076 μ V @ 60dB
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
S/N ratio fra 0.5 e 30Hz:	>94dB (> 150dB con l'uso del PGA)
<i>Alimentazione</i>	
Alimentazione:	batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc
Consumo di energia:	Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.

Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

I dati ottenuti possono essere elaborati con due differenti tecniche:

- Interpretazione con il metodo diretto

Con il metodo diretto, inizialmente, si correggono i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore ad ogni passo di misura (generalmente 1.0 m) per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde e, successivamente, si realizza il grafico tcorr-z, sia per le onde P che per le onde S. In tal modo la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

- Interpretazione con il metodo intervallo

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo).

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie di ricezioni non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di pseudo-intervallo, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Nel caso in esame è stata adottato il metodo intervallo secondo la modalità pseudo-intervallo, in quanto si dispone di un solo sensore a 5 canali (su cui selezionare i segnali migliori), ritenuto appropriato per il caso in esame e, ottenute le misure, è stato possibile calcolare i tempi corretti e la velocità intervallo delle onde P ed S ad ogni passo di misura, con relativo grafico.

Si calcolano, quindi, i parametri ricavabili per basse deformazioni quali: densità, coefficiente di Poisson, modulo di deformazione a taglio, modulo di Young, per ogni intervallo, definito con passo di 1 mt:

Coefficiente di Poisson
$$\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

Densità geofisica
$$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{acc. di gravità m/s})$$

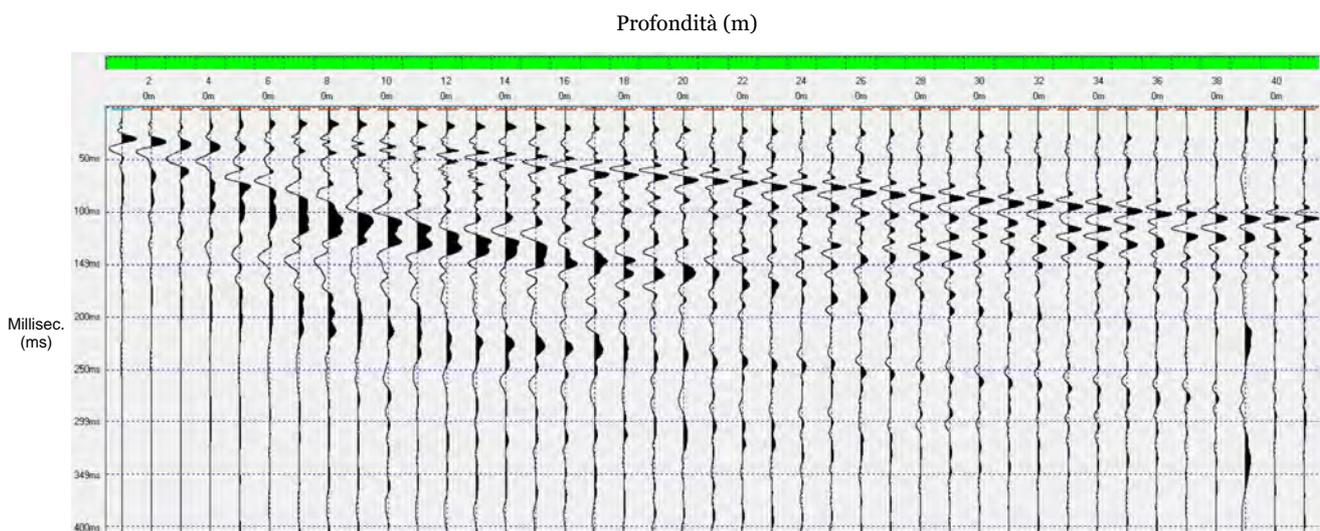
Peso di volume
$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in Kg/m}^3)$$

Modulo di Elasticità
$$E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/m}^2)$$

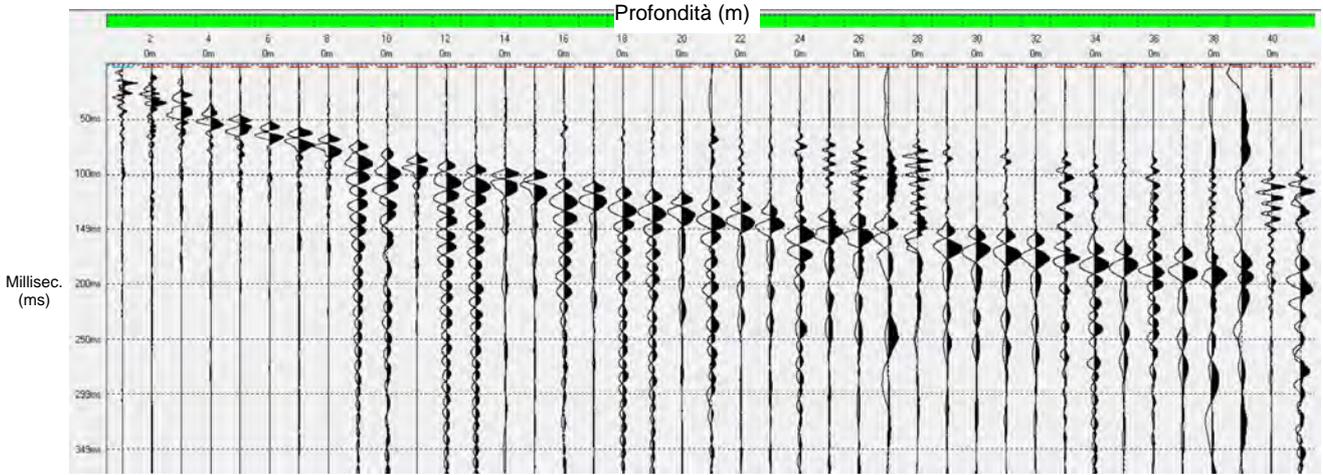
Modulo di Taglio
$$G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/m}^2)$$

Sismogrammi di campagna

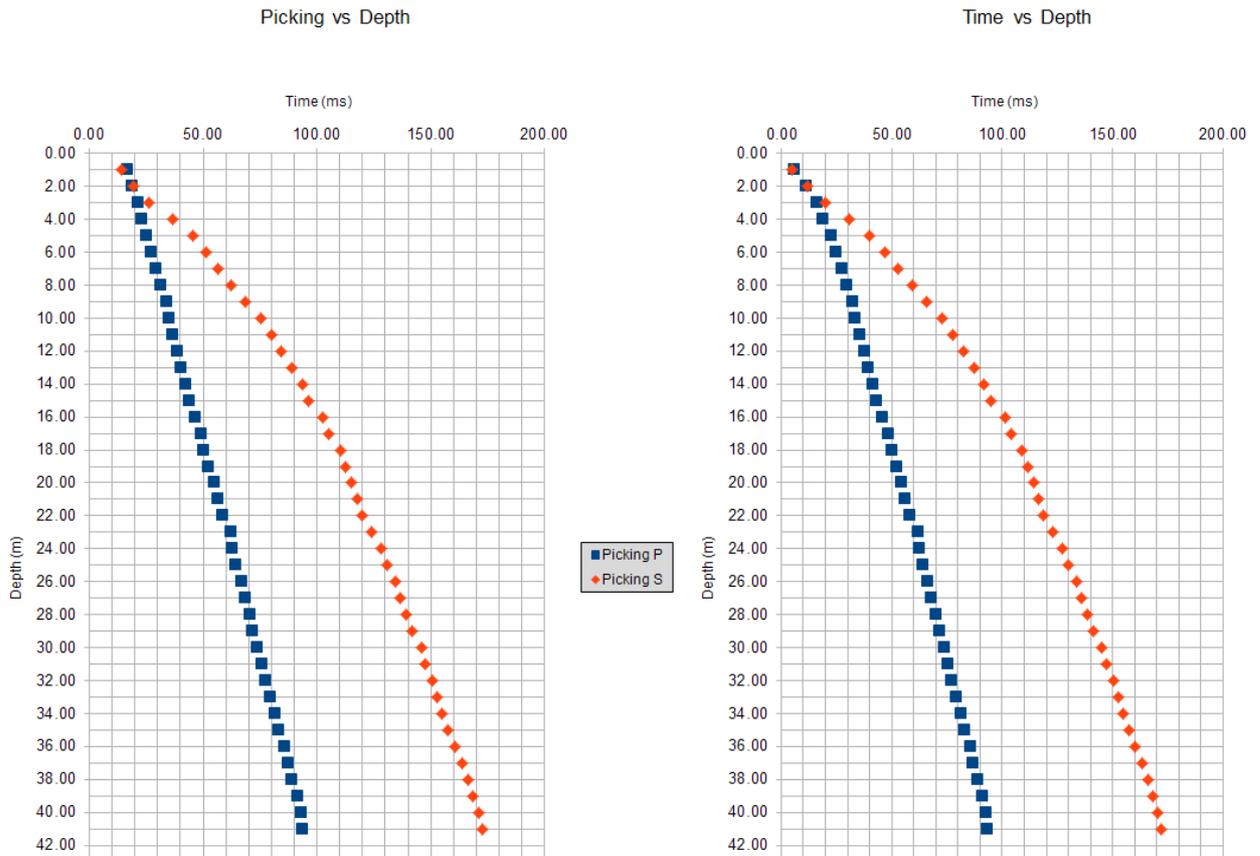
- Onde P (onde di compressione)



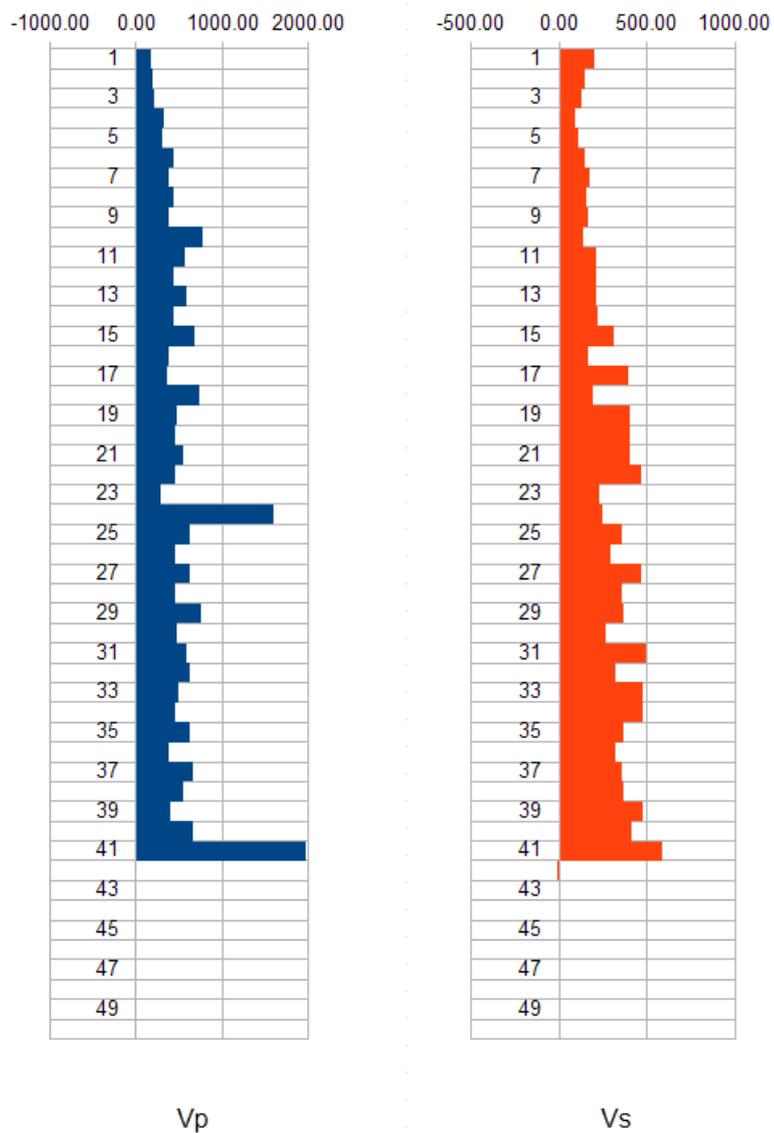
- Onde SH (Onde di taglio - Sovrapposizione del Segnale Sx e Dx)



Dati della prova e velocità intervallo (tabelle e profili vs depth)



Profili vs depth



$V_s(30) = 210 \text{ m/s}$

a1. Prova Down Hole So2 - DH40

Le prove sismiche in foro di tipo down-hole vengono realizzate, in fori di sondaggio appositamente attrezzati con tubo in PVC cementato all'esterno.

L'indagine geofisica, consente di determinare le velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde S), calcolando il tempo ad esse necessario per spostarsi dalla sorgente (piano campagna) ai ricevitori (ad ogni metro di profondità) di cui è nota la distanza.

La prova (Figura 1) consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, sollecitazioni verticali (per la generazione di onde di compressione P) ed orizzontali (per onde di taglio polarizzate orizzontalmente SH) mediante una sorgente meccanica, e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto di un sistema di 5 geofoni (1 verticale e 4 orizzontali), alloggiati a profondità note nel foro di sondaggio appositamente strumentato.

Il sistema energizzante (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali.

Conosciuta la distanza tra sorgente e ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P ed SH) in corrispondenza della verticale di misura.

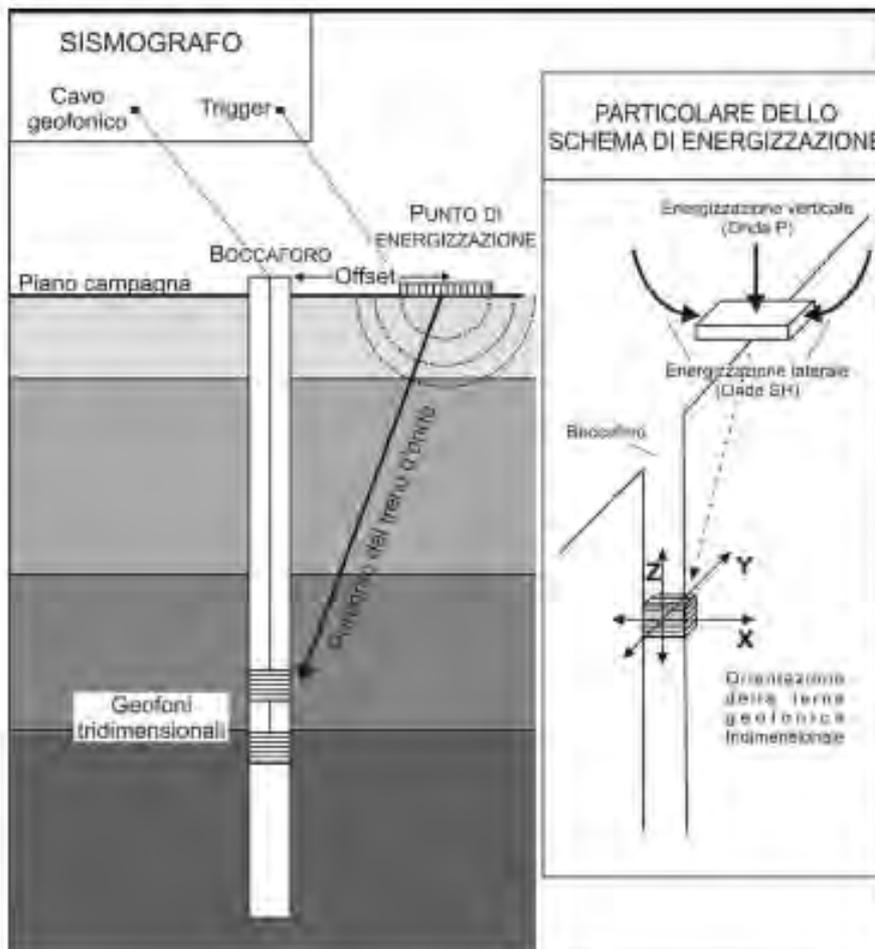


Figura 1
schema semplificato
di un'indagine
down-hole;

La misura dei primi arrivi sismici deve essere realizzata con precisione e un dettaglio non superiore al decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il momento dell'impulso dato al terreno e l'inizio della registrazione al sismografo si traduce in un errore significativo nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro.

La forma d'onda prodotta da questo geofono viene acquisita su un canale del sismografo e viene analizzata separatamente, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono è sempre lo stesso per tutte le battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato.

L'analisi dei dati prevede che le battute eseguite in diversi momenti vengano raccolte a ricostruire un unico sismogramma, identico a quello che sarebbe stato ricevuto da una catena di tanti geofoni quante sono le quote di misura nel foro.

In particolare vengono raggruppate in un unico sismogramma le forme d'onda relative al geofono verticale e in un altro sismogramma le forme d'onda relative ai geofoni orizzontali. In quest'ultimo caso, poiché i geofoni orizzontali sono 4 e il sismogramma uno solo, viene selezionata (tramite apposito algoritmo o manualmente) la traccia in cui si registra il piano di oscillazione principale dell'onda di taglio (con massima ampiezza).

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove è composta dalle seguenti parti:

- 1) sistema energizzante;
- 2) sistema di ricezione;
- 3) trigger;
- 4) sistema di acquisizione dati.

L'acquisizione è stata effettuata tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit DoReMi prodotto dalla Sara Electronic Instruments Srl utilizzando complessivamente 5 canali di registrazione.

Il sistema di ricezione all'interno del sensore da pozzo SSBH è composto da 5 ricevitori (geofoni) di cui 1 è orientato secondo la lunghezza del contenitore entro cui sono alloggiati (geofono verticale) e gli altri 4 disposti a 45° l'uno dall'altro (geofoni orizzontali).

Caratteristiche tecniche Sensore da foro SSBH

Caratteristiche tecniche	
Numero canali:	5 (standard), 3 o altro (a richiesta)
Configurazione:	Z, ed H (0°, 45°, 90°, 135°)
Non ortogonalità:	< 0.1%
Livellamento:	non previsto
Frequenza naturale:	10Hz (+/-5%) (4.5Hz o 8 Hz a richiesta)
Damping:	0.707
Massa inerziale:	24 g
Sensibilità nominale:	27 V/m/s - (per il 4.5Hz disponibile a 80V/m/s)
Tilt massimo:	Verticale: 10° Orizzontale: 5°
Movimento massa:	0.2mm
Dimensioni:	1080x50mm
Peso sensore:	4.5 kg
Peso complessivo:	18 Kg
Lunghezza cavo:	standard 50 metri
Connettore:	Cannon JC series 10 poli
Integrazione possibile con:	DoReMi, SR04, SL06, SL07
Sistema di bloccaggio:	elettrico
Alimentazione:	12V batteria
Conformità:	CE

Caratteristiche tecniche Sismografo Doremi a 24Bit

Caratteristiche tecniche	
Classe strumentale:	sismografo multicanale per geofisica
Topologia:	rete differenziale RS485 half-duplex multipunto
Lunghezza max rete:	virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori
N. max canali per tratta:	255
Dimensioni elemento:	80x55x18 mm
Peso:	250 g (per elemento con cavo di 5 metri)
Cavo:	per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 twisted pair schermato
Memoria:	60 kBytes (30000 campioni)
Frequenze selezionabili:	da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms)
Convertitore:	tipo SAR a 16 bit (96 dB)
Amplificatore:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Banda passante:	2Hz - 200Hz
Reiezione modo comune:	>80dB
Diafonia (crosstalk):	zero, la trasmissione è digitale
<i>Dinamica del sistema</i>	
Risoluzione:	7.6 μ V @ 27dB; 0.076 μ V @ 60dB
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
S/N ratio fra 0.5 e 30Hz:	>94dB (> 150dB con l'uso del PGA)
<i>Alimentazione</i>	
Alimentazione:	batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc
Consumo di energia:	Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

I sistemi energizzanti (sia per la generazione delle onde P sia delle onde SH) sono in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali, ovvero con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali (o verticali).

Come sorgente per le onde P è stata utilizzata una mazza del peso di 10 Kg usata per colpire una piastra metallica poggiata sul terreno.

Come sorgente per le onde SH è stato utilizzato un parallelepipedo (trave in legno) di forma tale da poter essere colpito lateralmente con una mazza del peso di circa 10 Kg.

Il parallelepipedo è stato gravato di un carico statico addizionale in modo che potesse rimanere aderente al terreno sia al momento in cui veniva colpito, sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venisse in parte dispersa.

Con questo dispositivo è stato possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile.

I dati ottenuti possono essere elaborati con due differenti tecniche:

- Interpretazione con il metodo diretto

Con il metodo diretto, inizialmente, si correggono i tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore ad ogni passo di misura (generalmente 1.0 m) per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde e, successivamente, si realizza il grafico tcorr-z, sia per le onde P che per le onde S. In tal modo la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali.

- Interpretazione con il metodo intervallo

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori consecutivi posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo).

Quando si dispone di un solo ricevitore, cioè nell'ipotesi in cui le coppie di ricezioni non corrispondano ad un unico impulso, i valori di velocità determinati vengono definiti di pseudo-intervallo, consentendo solo un'apparente migliore definizione del profilo di velocità.

Nel caso in esame è stata adottato il metodo intervallo secondo la modalità pseudo-intervallo, in quanto si dispone di un solo sensore a 5 canali (su cui selezionare i segnali migliori), ritenuto appropriato per il caso in esame e, ottenute le misure, è stato possibile calcolare i tempi corretti e la velocità intervallo delle onde P ed S ad ogni passo di misura, con relativo grafico.

Si calcolano, quindi, i parametri ricavabili per basse deformazioni quali: densità, coefficiente di Poisson, modulo di deformazione a taglio, modulo di Young, per ogni intervallo, definito con passo di 1 mt:

Coefficiente di Poisson
$$\nu = \frac{Vp^2 - 2 \cdot Vs^2}{2 \cdot (Vp^2 - Vs^2)}$$

Densità geofisica
$$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{acc. di gravità m/s})$$

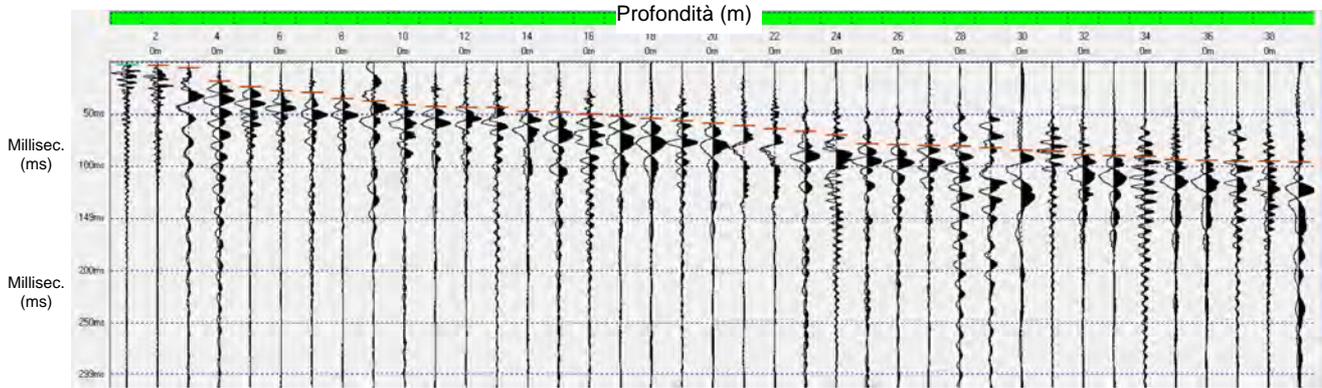
Peso di volume
$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot Vp_{m/sec}^{0.19} \quad (\gamma_{din} \text{ in Kg/m}^3)$$

Modulo di Elasticità
$$E_{din} = Vp^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1 + \nu) \cdot (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/m}^2)$$

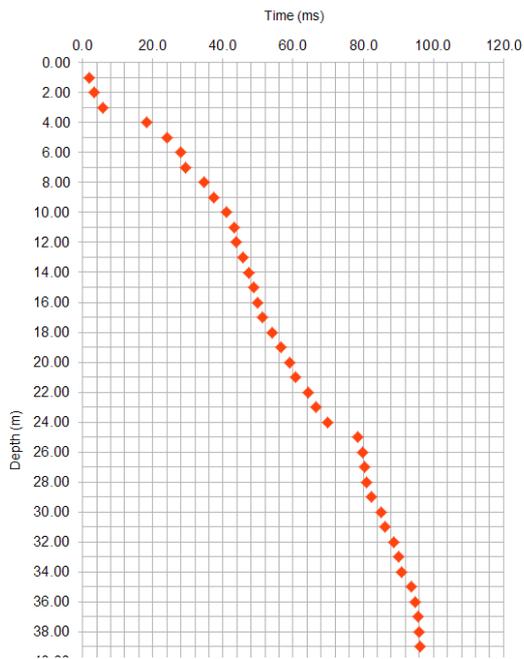
Modulo di Taglio
$$G_{din} = \delta_{din} \cdot Vs^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/m}^2)$$

Sismogrammi di campagna

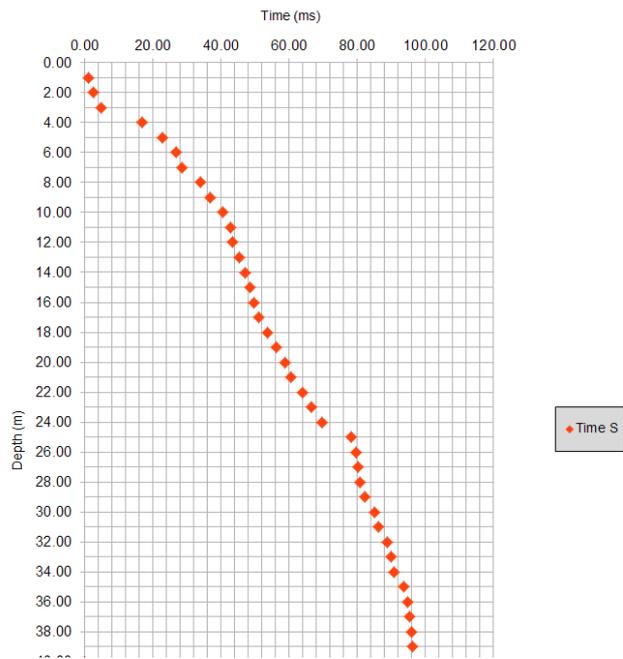
- Onde SH (Onde di taglio - Sovrapposizione del Segnale Sx e Dx)



Dati della prova e velocità intervallo (tabelle e profili vs depth)

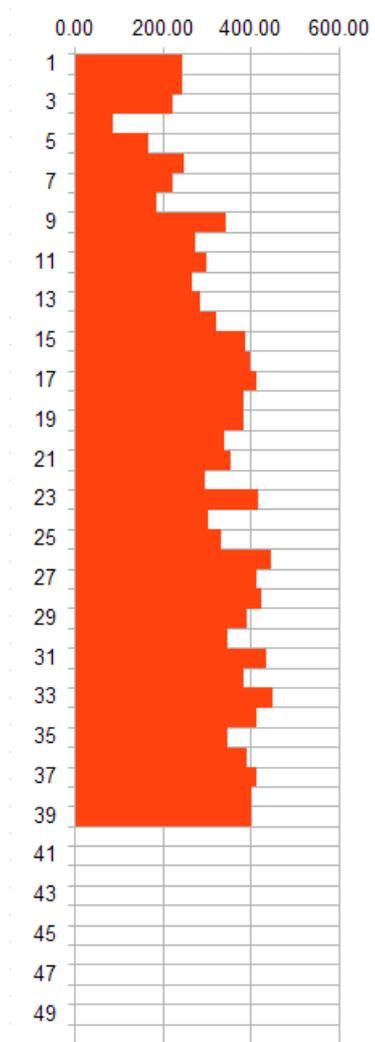


◆ Picking S



◆ Time S

Profili vs depth



Vs

Vs (30) = 350 m/s

PROVA S-CPTU

doc.	data emiss.	sperimentatore	responsabile
1			

Committente:

Cantiere:

Pavullo nel Frignano (MO)

Prova:

SCPT 01

Data prova:

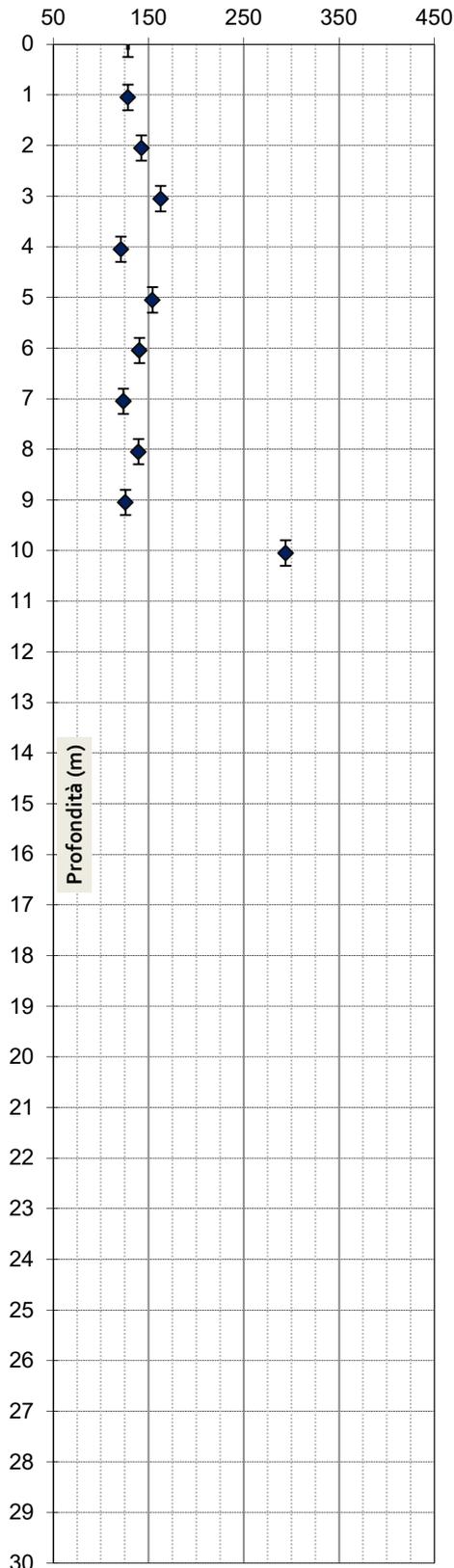
Distanza sorgente da verticale misura:

0.50 metri

Profondità sorgente da piano campagna:

0.00 metri

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)



Prof. misura	Prof. dato	Velocità	Time Shift	Accuratezza	
da	a	m	m/s	msec	
		0.00		61.190	
0.8	1.3	1.05	128.42	3.500	0.905
1.8	2.3	2.05	142.59	3.685	0.952
2.8	3.3	3.05	162.64	3.035	0.748
3.8	4.3	4.05	121.03	4.160	0.540
4.8	5.3	5.05	154.04	3.230	0.950
5.8	6.3	6.05	140.39	3.550	0.992
6.8	7.3	7.05	123.69	4.065	0.869
7.8	8.3	8.05	139.43	3.630	0.963
8.8	9.3	9.05	125.79	3.970	0.965
9.8	10.3	10.05	293.85	1.730	0.993

PROVA S-CPTU

doc.	data emiss.	sperimentatore	responsabile
1			

Committente:

Cantiere:

Pavullo nel Frignano (MO)

Prova:

SCPT 02

Data prova:

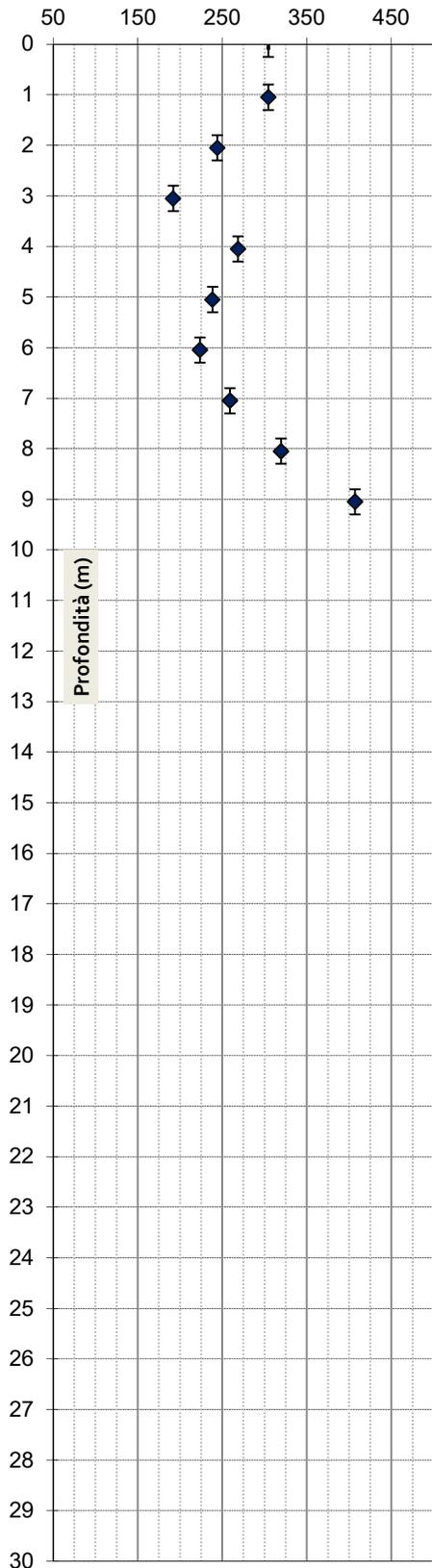
Distanza sorgente da verticale misura:

0.50 metri

Profondità sorgente da piano campagna:

0.00 metri

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)



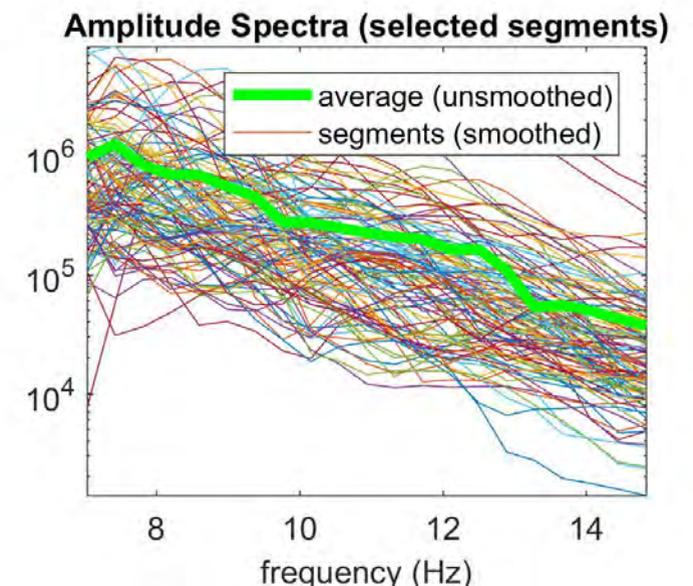
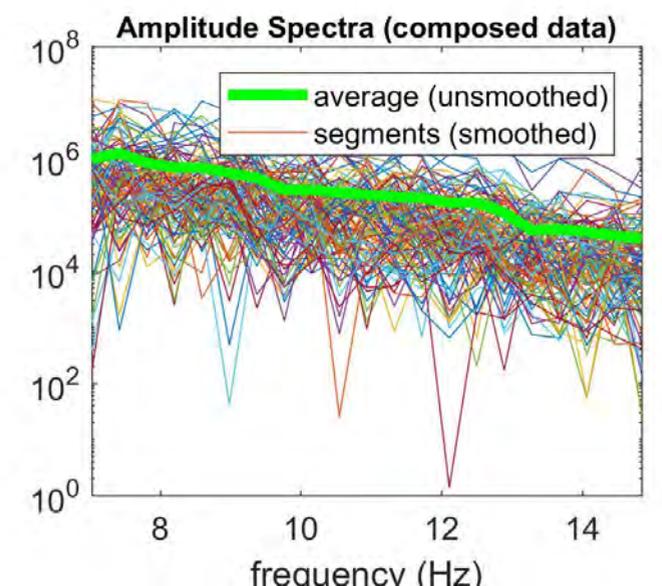
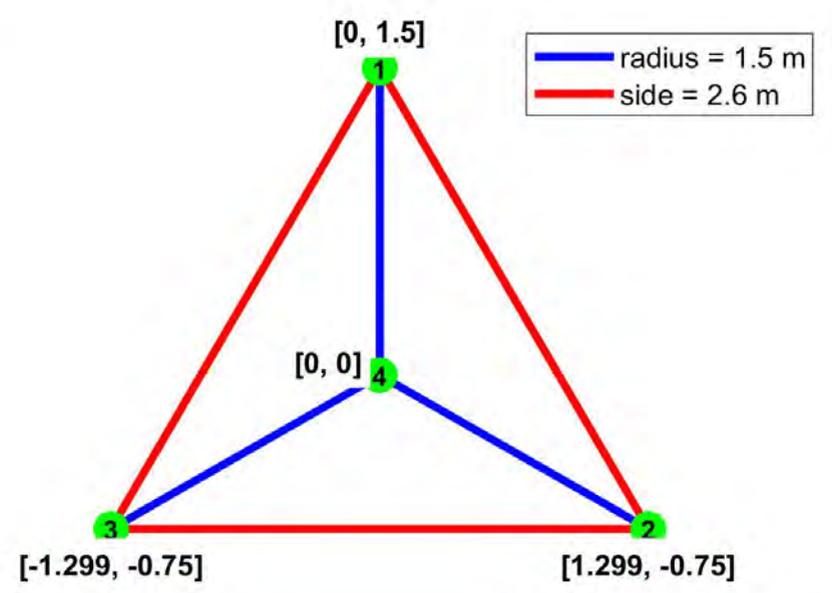
Prof. misura da	Prof. dato a	Prof. dato m	Velocità m/s	Time Shift msec	Accuratezza
		0.00		54.830	
0.8	1.3	1.05	304.48	1.485	0.970
1.8	2.3	2.05	244.16	2.090	0.748
2.8	3.3	3.05	191.97	2.570	0.897
3.8	4.3	4.05	268.65	1.930	0.863
4.8	5.3	5.05	238.50	2.100	0.945
5.8	6.3	6.05	223.69	2.270	0.808
6.8	7.3	7.05	259.11	1.930	0.959
7.8	8.3	8.05	319.42	1.565	0.944
8.8	9.3	9.05	407.20	1.230	0.952

resample to 8ms (125...

data radius: 1.5
number of: 4 nCCA

 selected segments ...

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\01\
Dataset: maam_01_1.5m.dat
Recording time: 20 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]



velocity spectrum (limits)
min freq. 7 max freq. 15
min vel. 30 max vel. 300

pre-processing tools

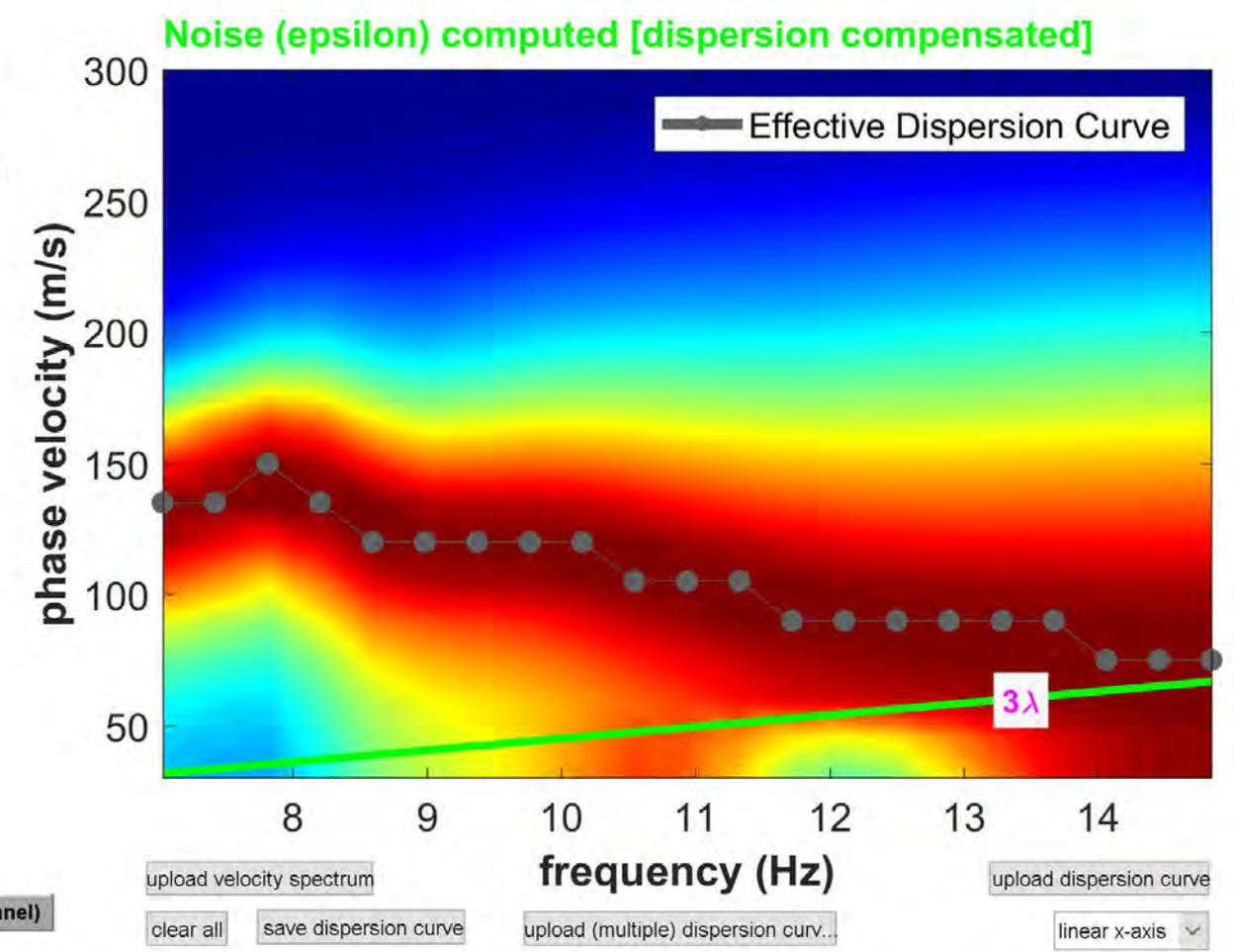
processing parameters
10 window length (s)
15% spectral
50% tapering (%)
260 tolerance
below show
8 tolerance
15... velocity

picking

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)

central TR=first

upper limit
100

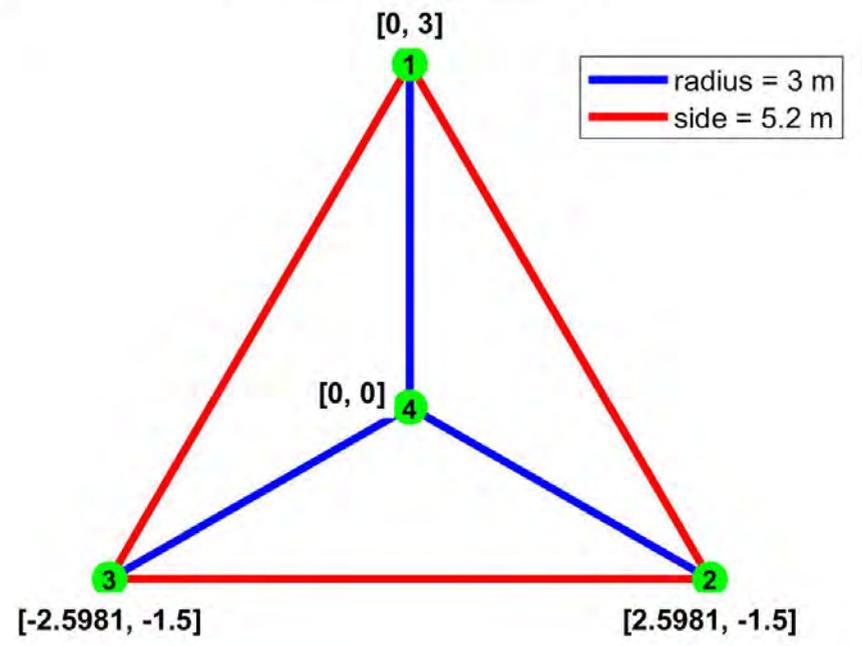


resample to 8ms (125...

data radius: 3
number of: 4 nCCA

 selected segments ...

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\01\3m
Dataset: maam_01_3m.dat
Recording time: 16.98 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]



velocity spectrum (limits)
min freq. 3.5 max freq. 12
min vel. 30 max vel. 500

pre-processing tools

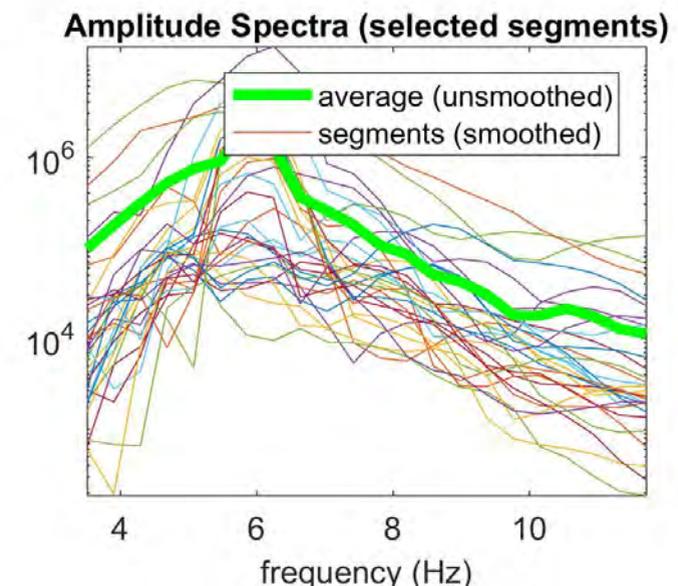
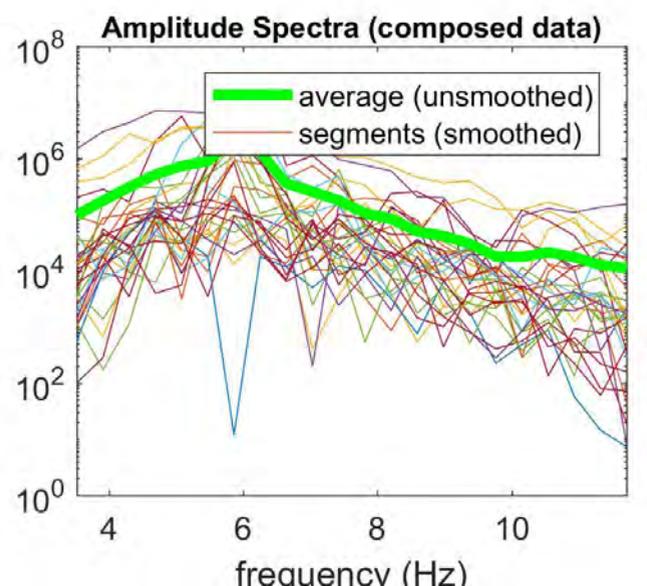
upper limit: 100



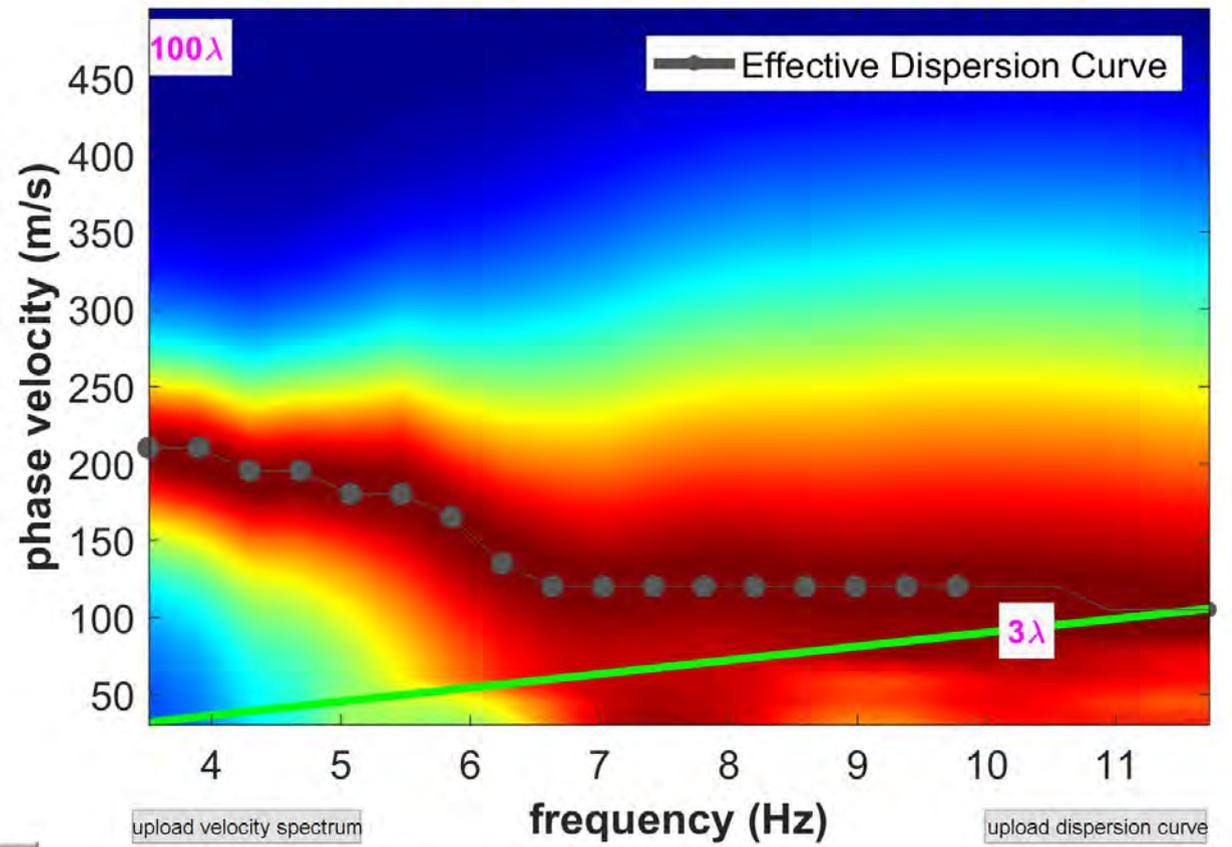
processing parameters
18 window length (s)
15% spectral
50% tapering (%)
260 tolerance
below show
8 tolerance
15... velocity

picking
effective dispersion curve

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)
central TR=first



Noise (epsilon) computed [dispersion compensated]



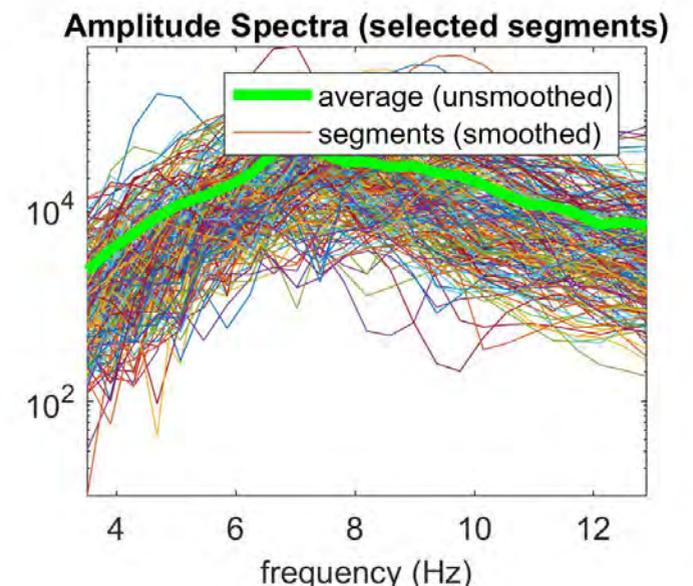
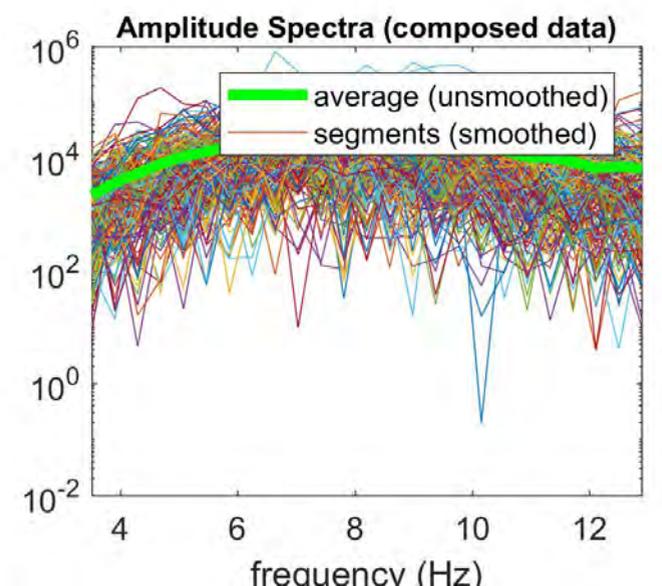
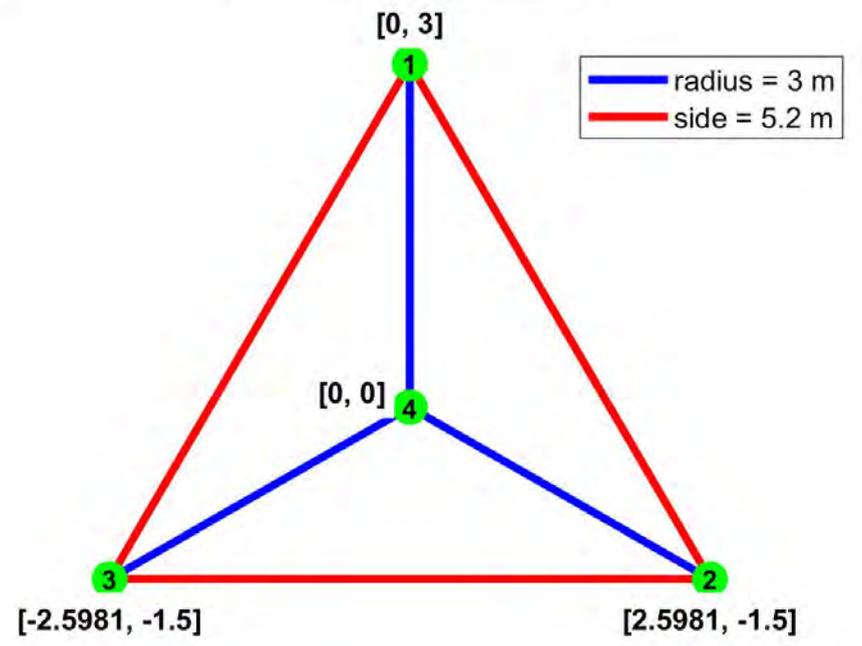
linear x-axis

resample to 8ms (125...

data radius: 3
number of: 4 nCCA

 selected segments ...

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\02\
Dataset: maam_02_3m.dat
Recording time: 20 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]



velocity spectrum (limits)
min freq. 3.5 max freq. 13
min vel. 80 max vel. 400

pre-processing tools

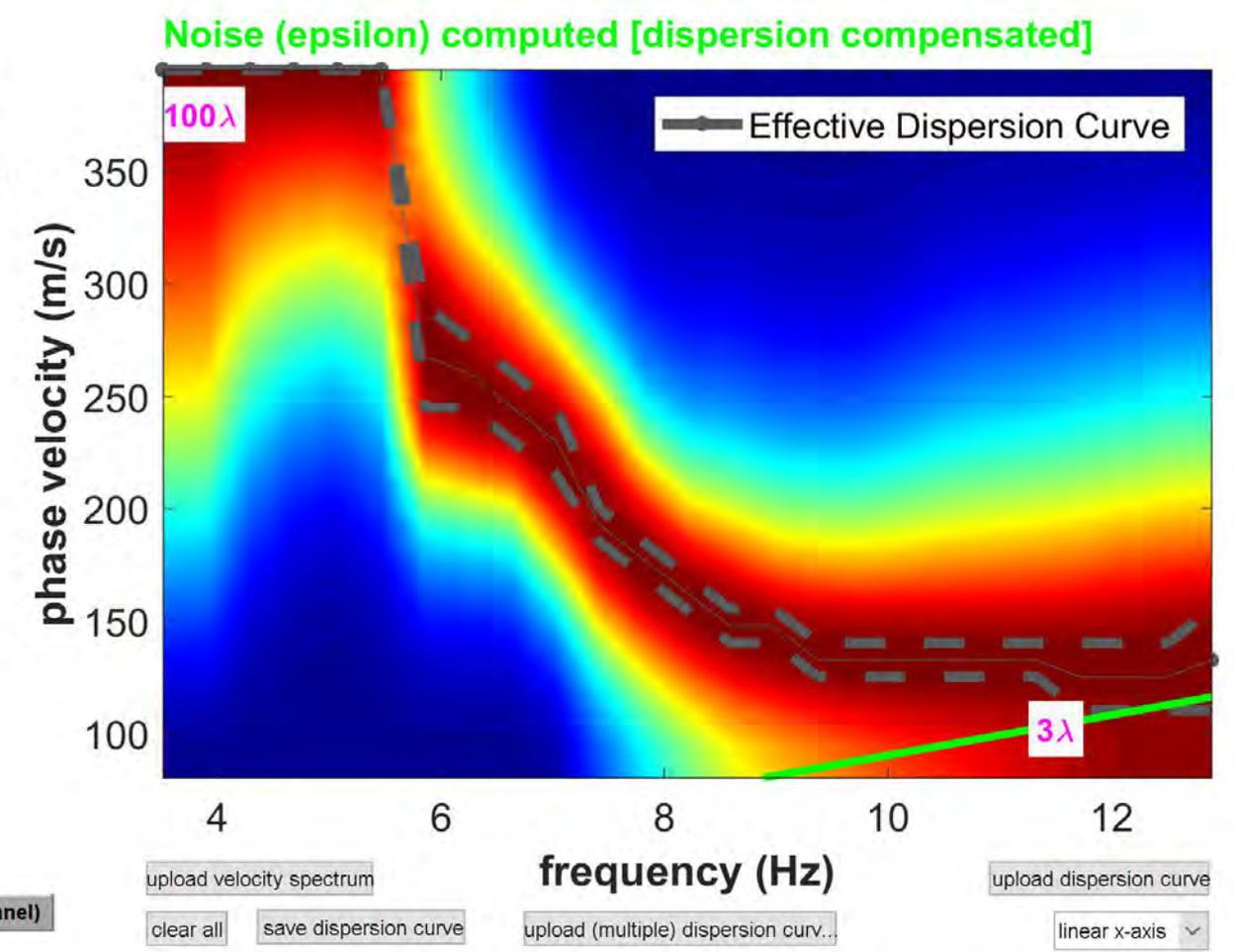
upper limit: 100



processing parameters
18 window length (s)
15% spectral
50% tapering (%)
320 tolerance
below show
8 tolerance
15... velocity

picking
effective dispersion curve

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)
central TR=first



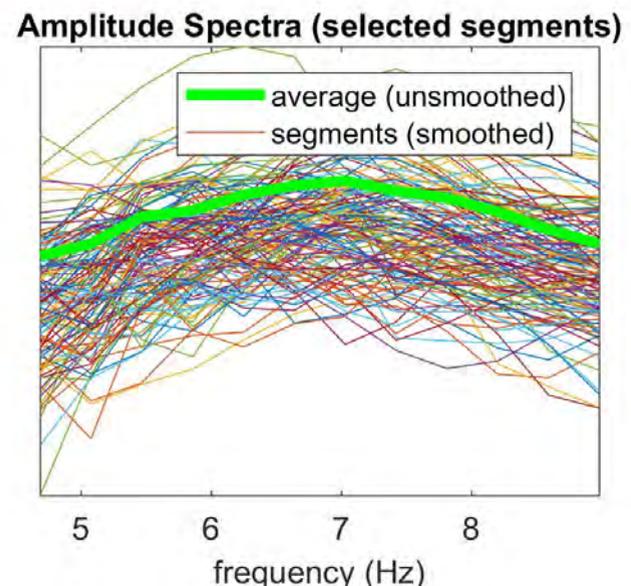
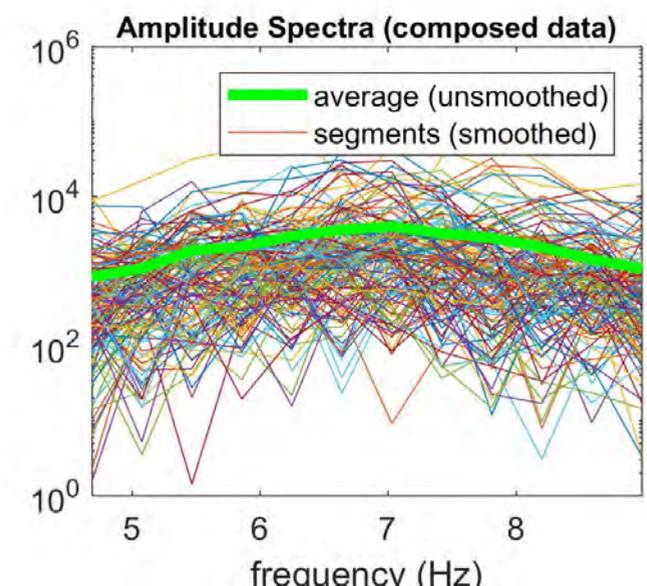
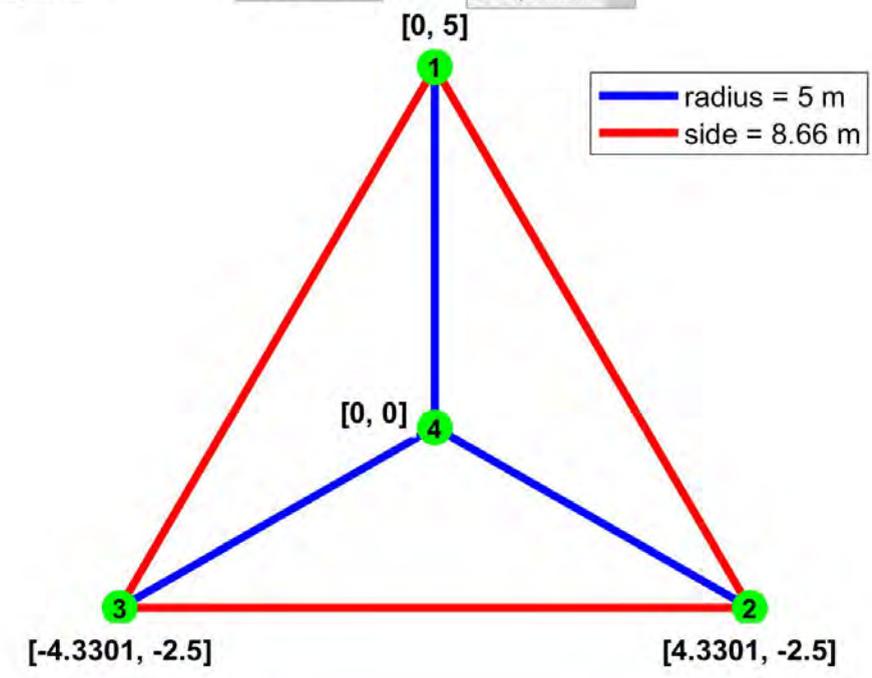
resample to 8ms (125...

data radius: 5
number of: 4
show/update channel ...
 selected segments ...

show location
show data
clean data
PSD
filter

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\02\
Dataset: maam_02_5m.dat
Recording time: 20 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]

play audio data
no equaliza...



velocity spectrum (limits)
min freq: 4.5 max freq: 9
min vel: 80 max vel: 600

pre-processing tools
TCEMCD
concatenate HVSR
utilities

processing parameters
28 window length (s)
15% spectral
50% tapering (%)
320 tolerance
below show
8 tolerance
15... velocity

picking
effective dispersion curve
start picking save picking
cancel picking

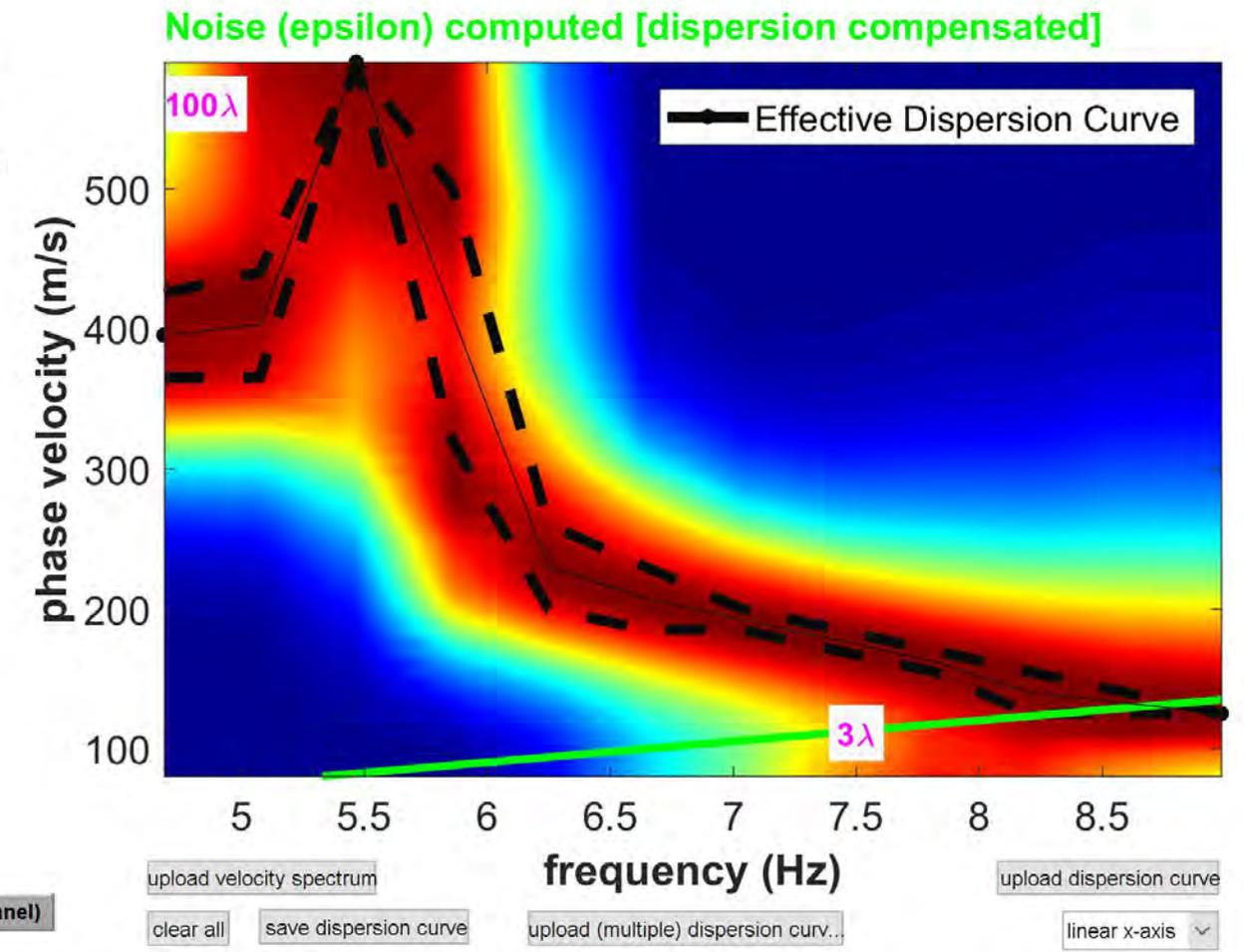
upper limit: 100
show lambda
open working folder



hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)

central TR=first
compute MAAM

model the data (open the panel)



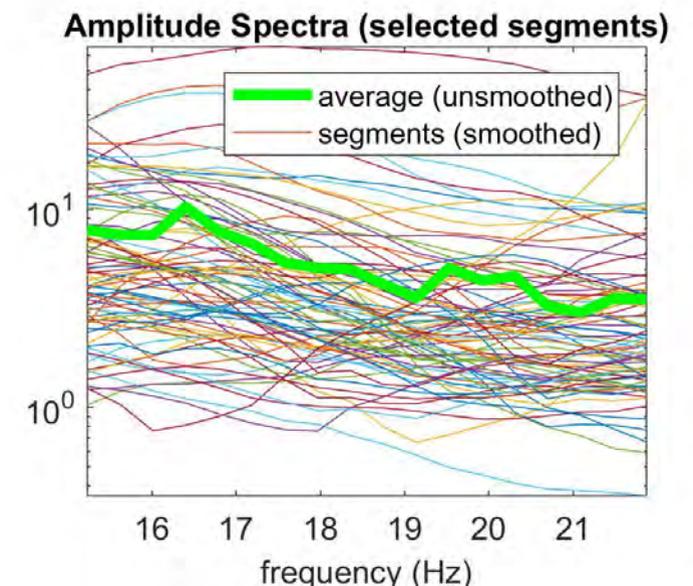
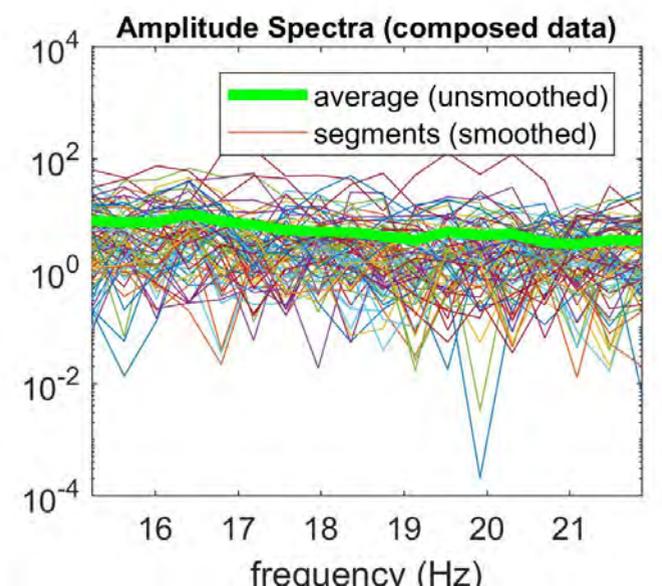
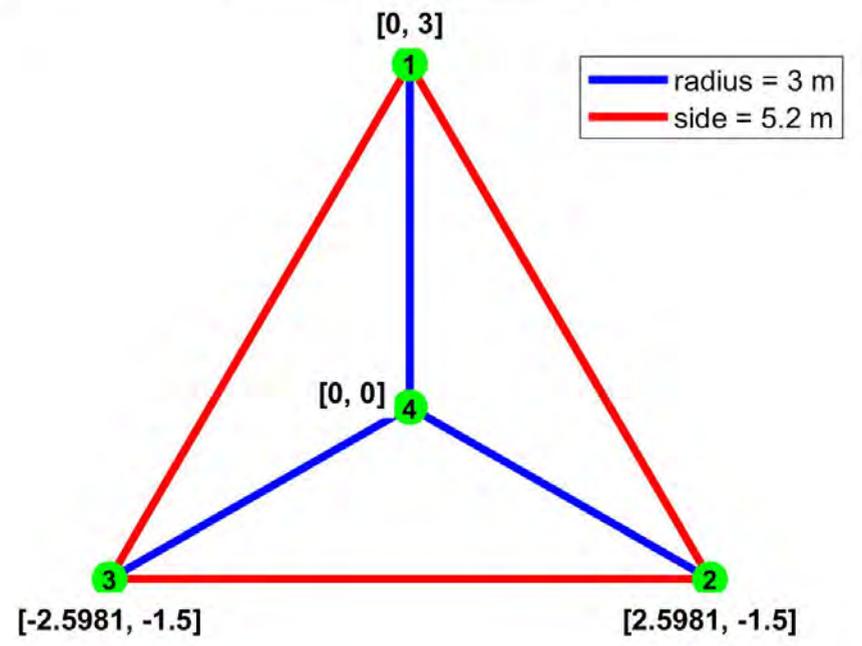
resample to 8ms (125...

data radius: 3
number of: 4
show/update channel ...
check data selected segments ...
play audio data
no equaliza...

show location
show data
clean data
PSD
filter

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\03\3m
Dataset: maam_03_3m.dat
Recording time: 15.96 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]

detrend data
nCCA



velocity spectrum (limits)
min freq: 15 max freq: 22
min vel: 80 max vel: 400

pre-processing tools
TCEMCD
concatenate HVSR
utilities

upper limit: 100
show lambda
open working folder

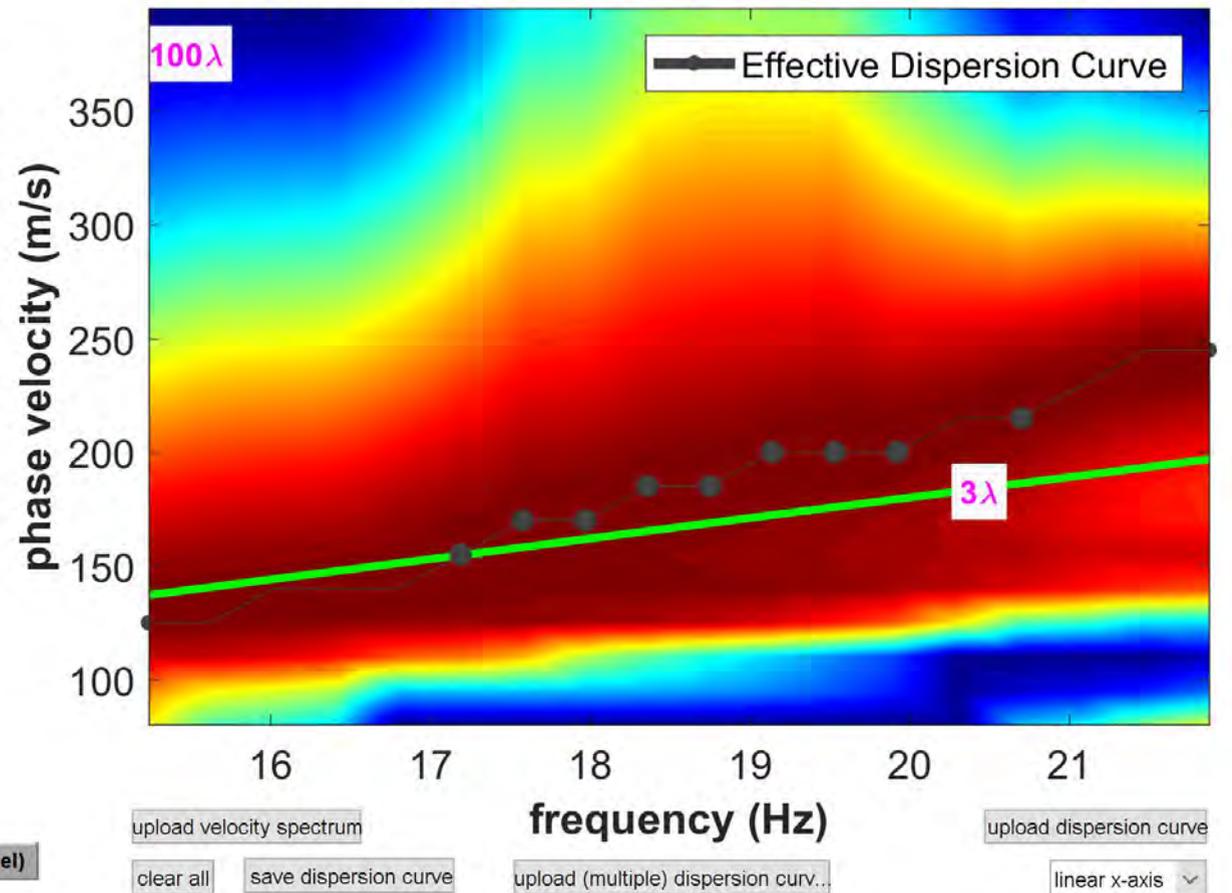


processing parameters
18 window length (s)
15% spectral
50% tapering (%)
260 tolerance
below show
8 tolerance
15... velocity

picking
effective dispersion curve
start picking save picking
cancel picking

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)
central TR=first
compute MAAM

Noise (epsilon) computed [dispersion compensated]



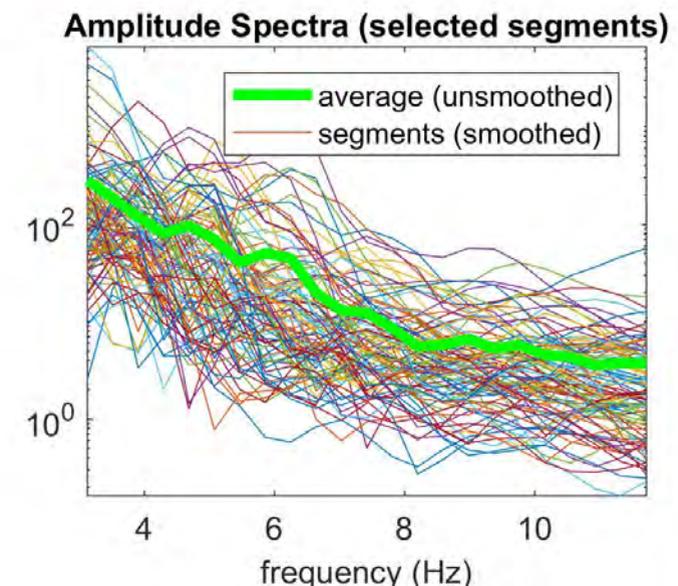
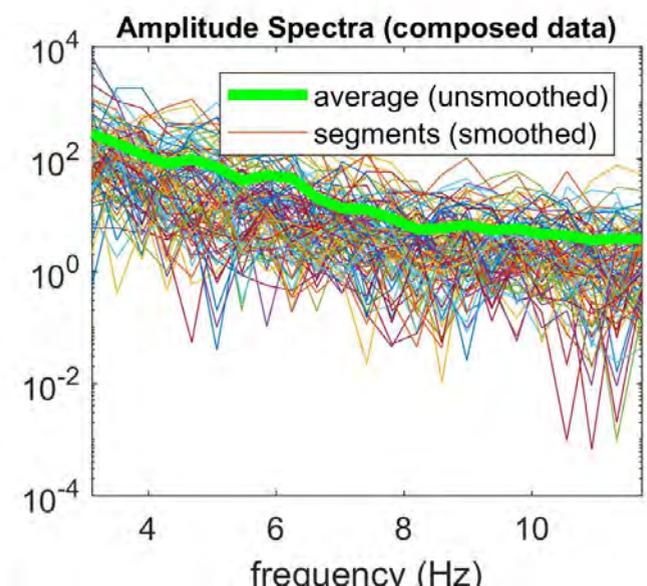
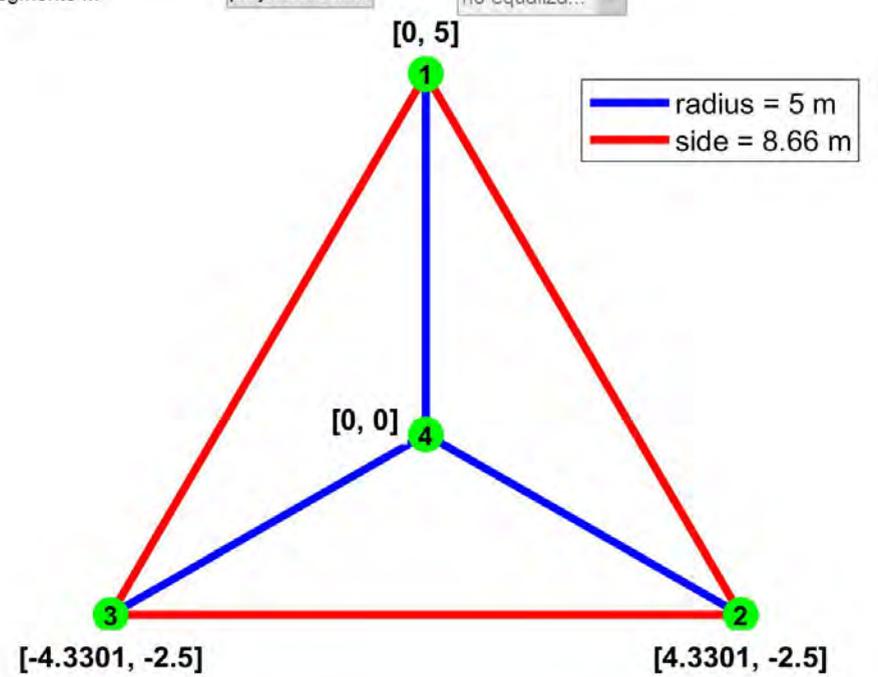
model the data (open the panel)

resample to 8ms (125...

data radius
number of nCCA

 selected segments ...

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\03\5m
Dataset: maam_03_5m.dat
Recording time: 17.44 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]



velocity spectrum (limits)
min freq. max freq.
min vel. max vel.

pre-processing tools

upper limit



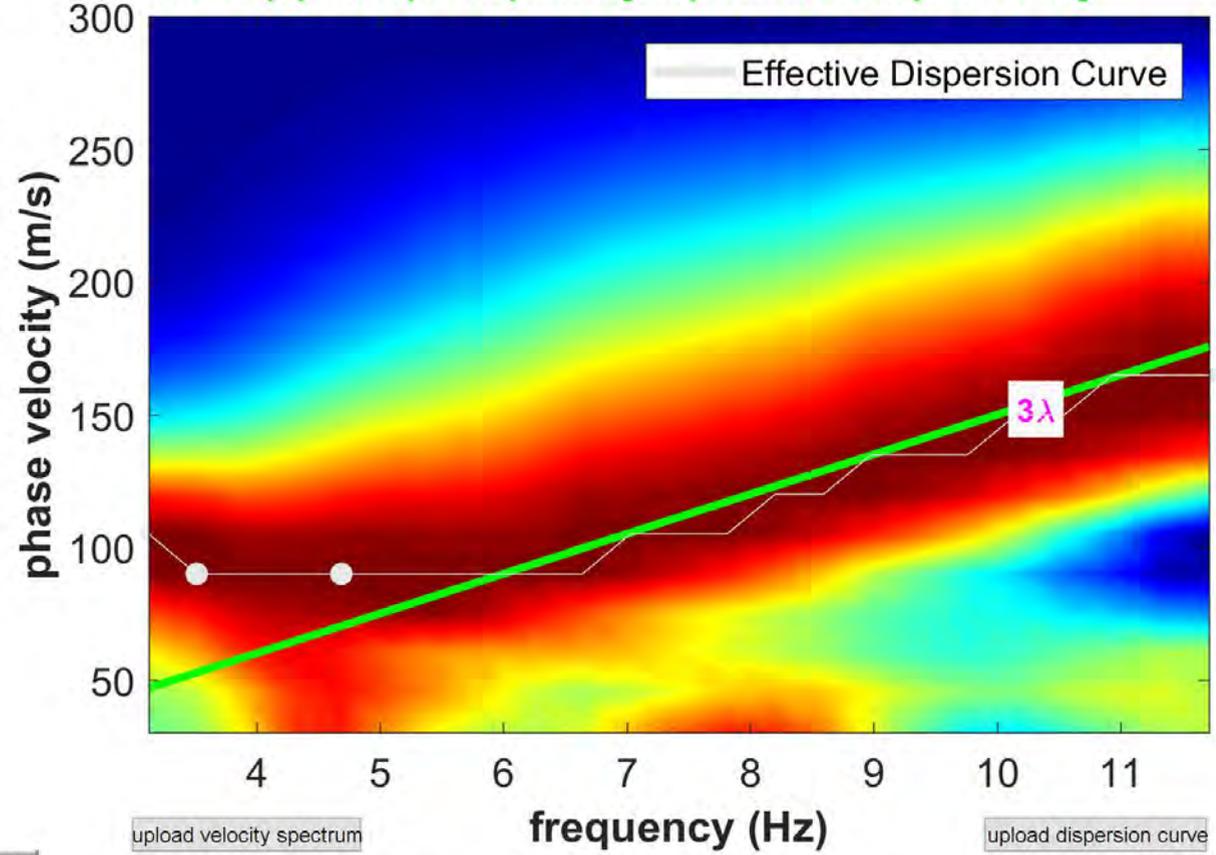
processing parameters
 window length (s)
 spectral
 tapering (%)
 tolerance

 tolerance
 velocity

picking

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)

Noise (epsilon) computed [dispersion compensated]

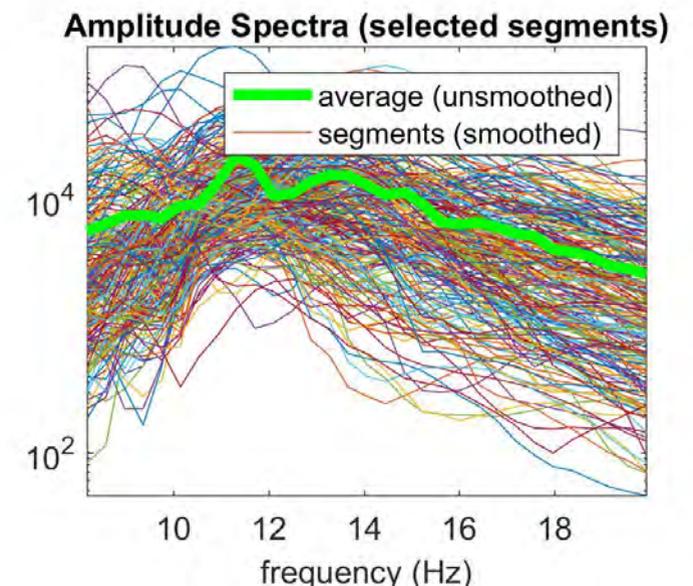
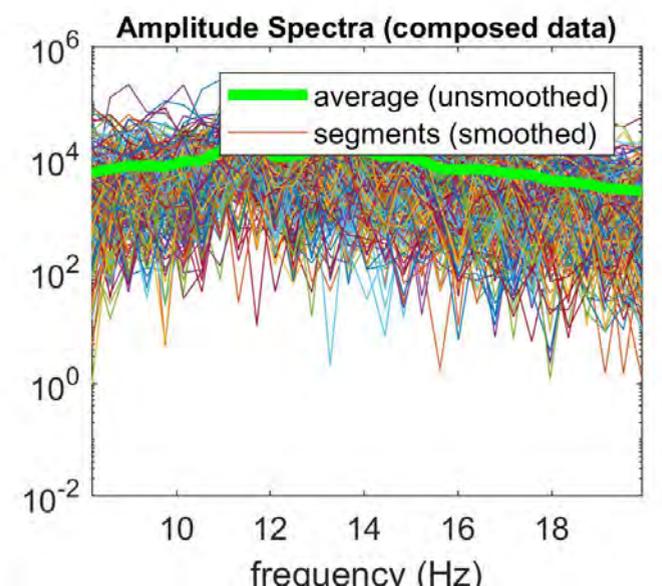
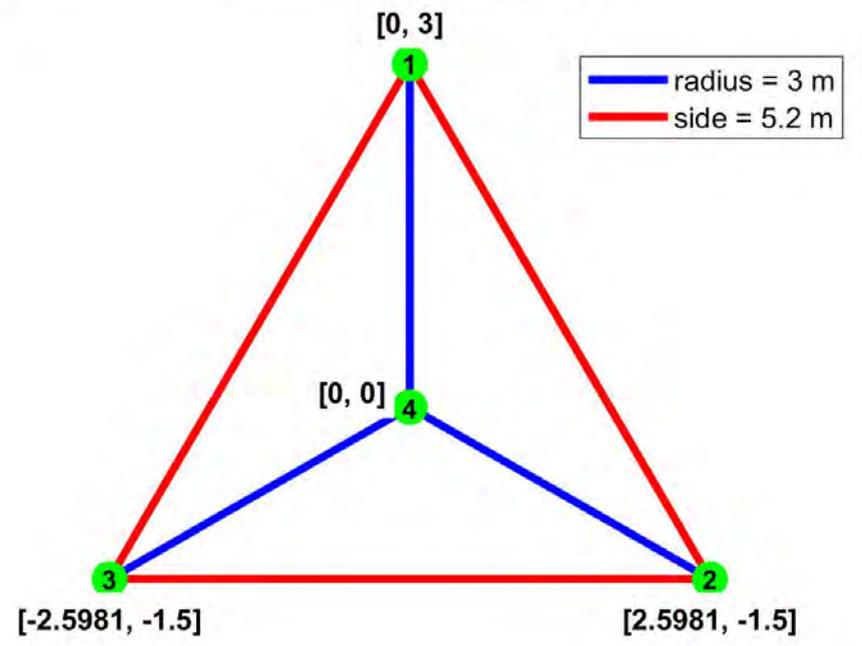


resample to 8ms (125...

data radius
number of nCCA

 selected segments ...

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\04\
Dataset: maam_04_3m.dat
Recording time: 20 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]



velocity spectrum (limits)
min freq. max freq.
min vel. max vel.

pre-processing tools

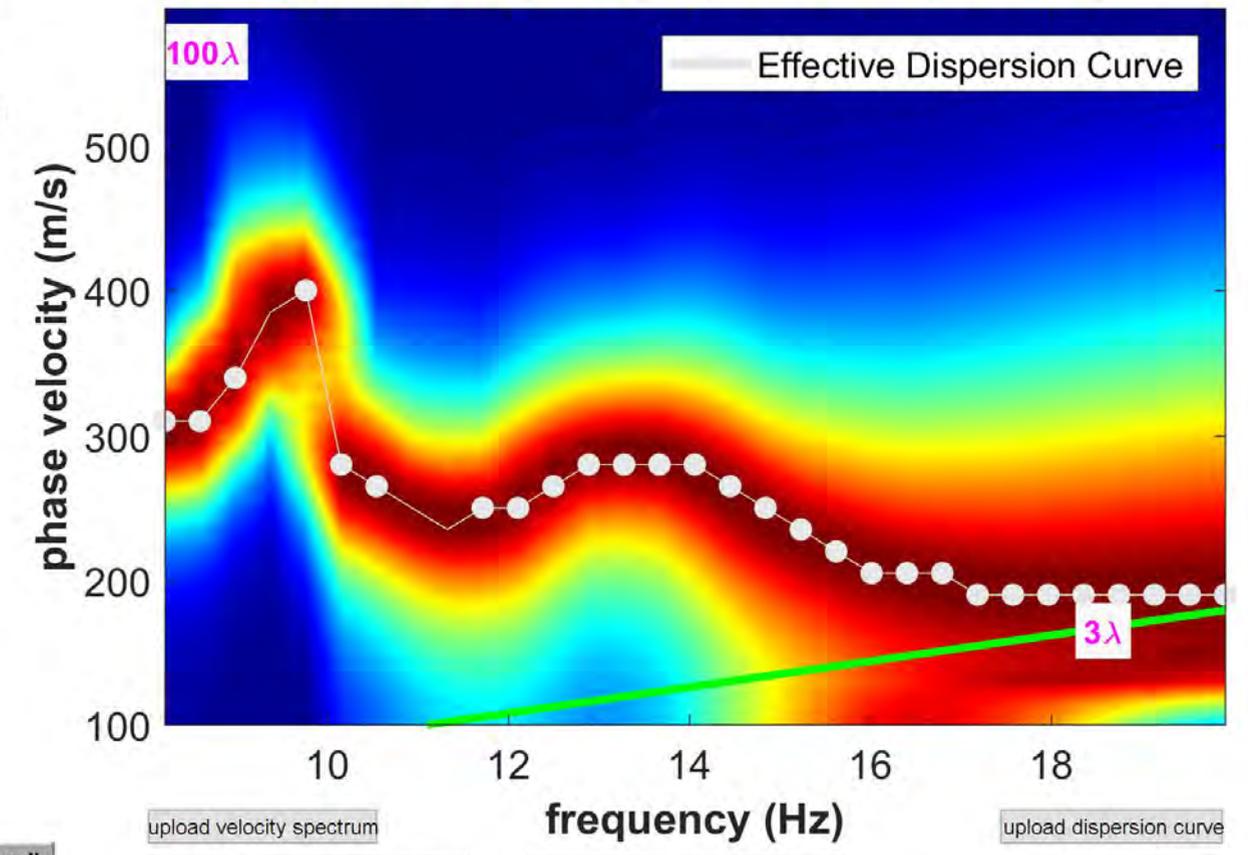
processing parameters
 window length (s)
 spectral
 tapering (%)
 tolerance

 tolerance
 velocity

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)

upper limit

Noise (epsilon) computed [dispersion compensated]

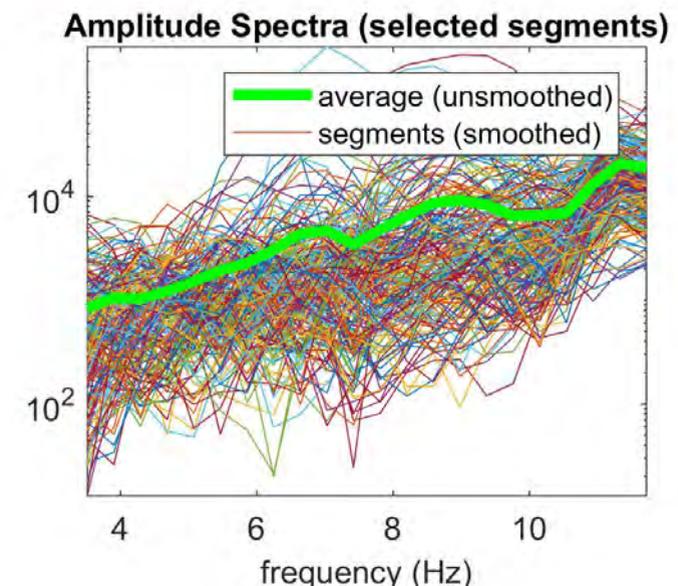
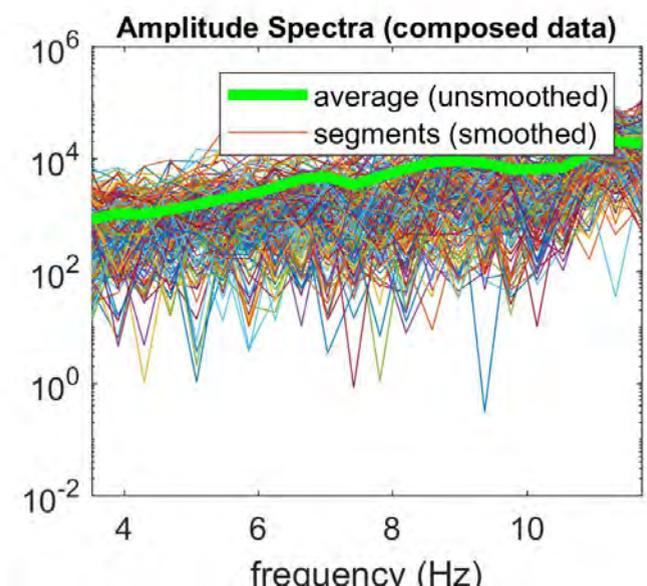
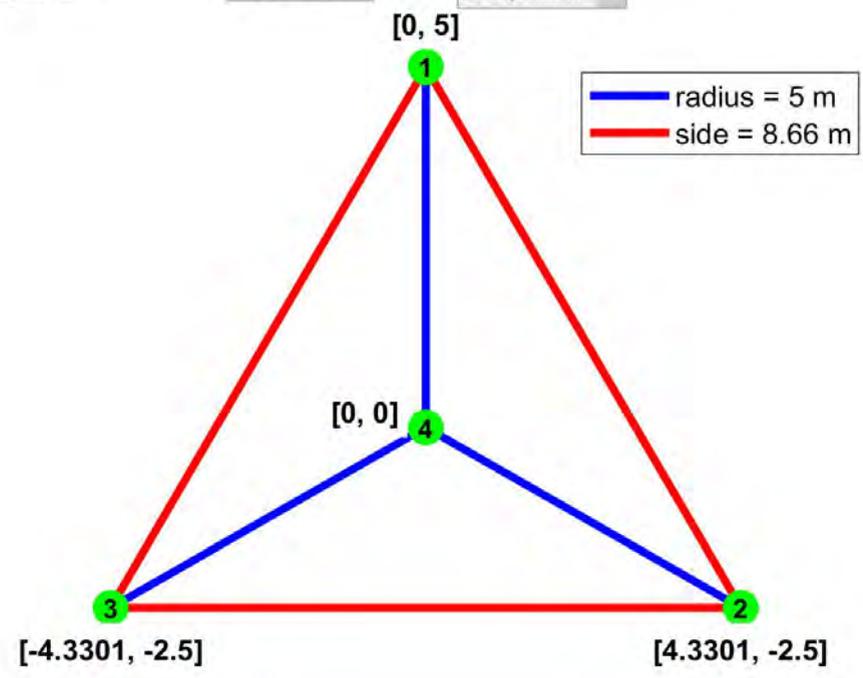


resample to 8ms (125...

data radius
number of nCCA

 selected segments ...

Folder: E:\Relazioni\Microzonazione\Pavullo\LIVELLO_III\Indagini_new\MAAM\04\5m
Dataset: maam_04_5m.dat
Recording time: 17.2 min
Sampling: 10 ms [Nyquist frequency: 50Hz]



velocity spectrum (limits)
min freq. max freq.
min vel. max vel.

pre-processing tools

upper limit



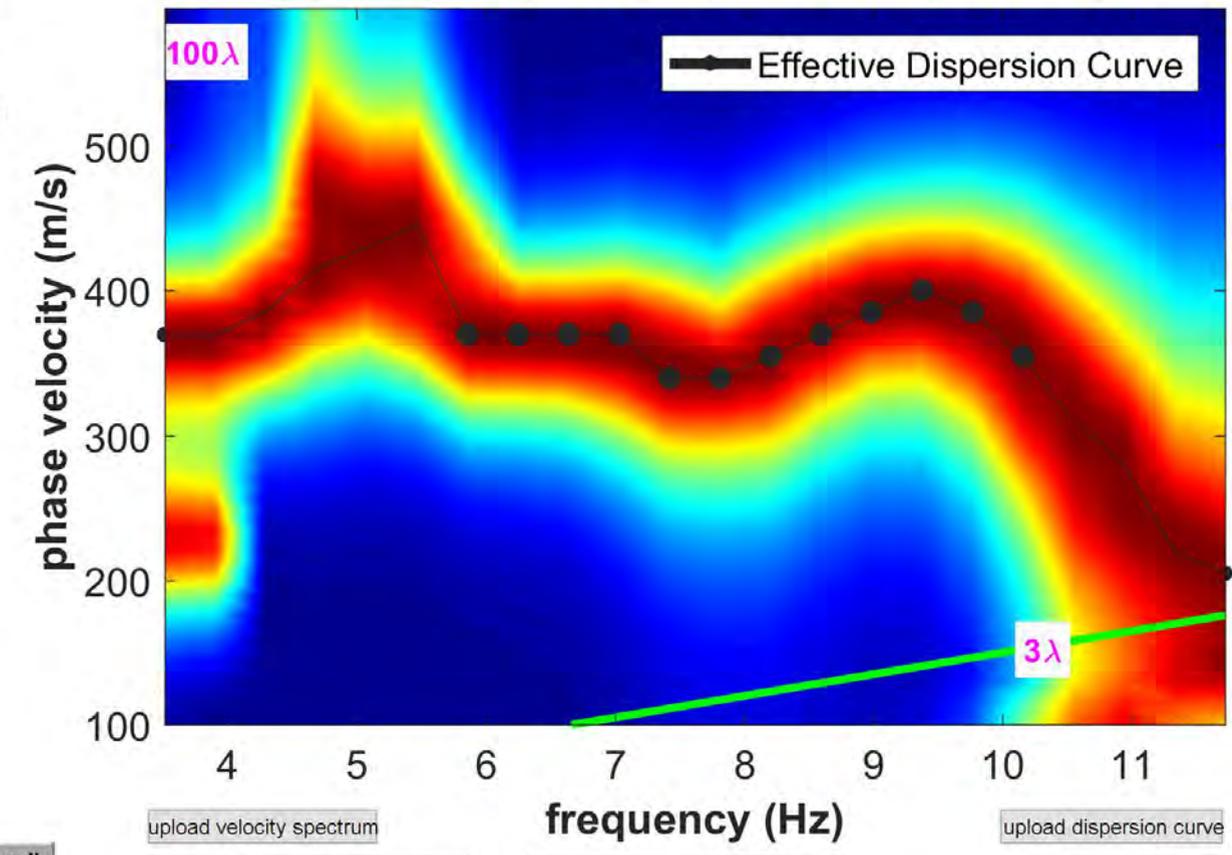
processing parameters
 window length (s)
 spectral
 tapering (%)
 tolerance

 tolerance
 velocity

picking

hold on
 noise computation
 trace normalization
 verbose
 advanced processing
 auto (for raw data)

Noise (epsilon) computed [dispersion compensated]



show data **reset**

step#1 (optional) - decimate
 128 Hz new frequency **resample**

step#2 - H/V computation
remove events both Rad. & Tr. **clean axes**
 20 window length (s) **Min. freq.: 0.5Hz**
 5 tapering (%)
 15 amplitude threshold **test removal**
 5 HVSR threshold
 15% spectral smoothing (triangular window)
 2 detrending order no equalization
 Particle motion, all HVSRs, time lapse and video
 full output **compute**

continuity

3D motion
 save video **show 3D motion**

directivity analysis
 frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz **compute**

save- option#1: save HVSR as it is
 save H/V from 0.5 to 60 Hz
save HV curve (as it is)

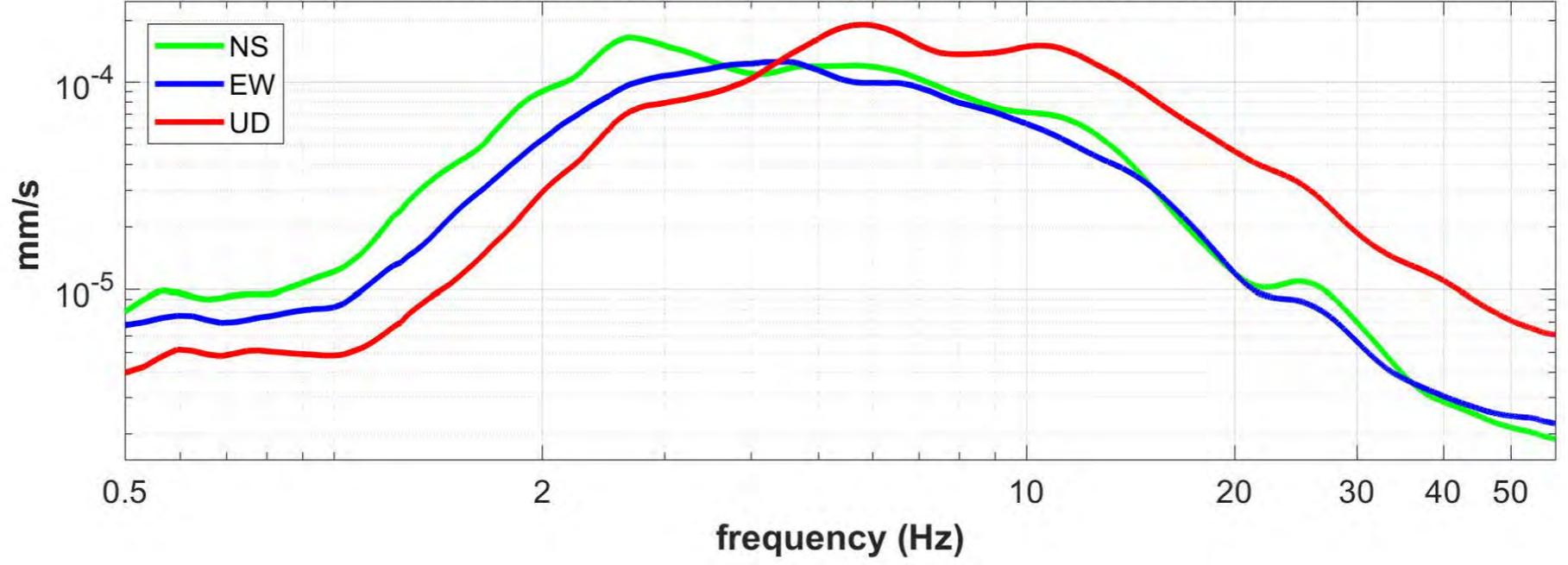
picking HV or amplitude spectra
 HVSR **pick data**
save picked HV **compute**

quick analysis (f=Vs/4H)
 200 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)
 20 depth of the bedrock
 1000 Vs of the bedrock
clean **compute**

highlight a frequency
draw/highlight 10 Hz

directivity over time
directivity in time time 120 s

HV01maternapavullo.SAF (128Hz) - Average Spectra

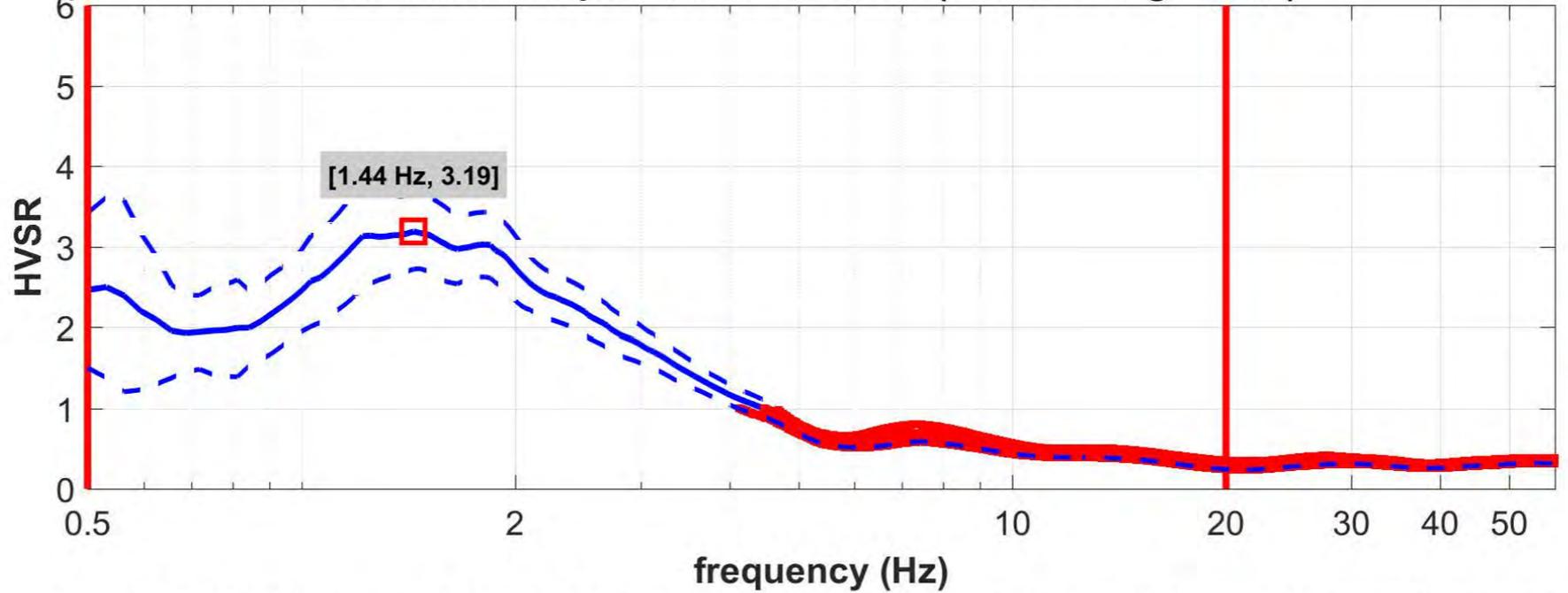


open working folder
show location
field notes

your comments

default axes

HV01maternapavullo.SAF - HVSR (window length: 20s)



- Criteria for a reliable H/V curve**
- #1: OK
 - #2: OK
 - #3: OK
- Criteria for a clear H/V peak [1.44 Hz]**
- #1: OK
 - #2: OK
 - #3: OK
 - #4: NO
 - #5: NO
 - #6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

show data **reset**

step#1 (optional) - decimate
 128 Hz new frequency **resample**

step#2 - H/V computation
remove events both Rad. & Tr. **clean axes**
 20 window length (s) **Min. freq.: 0.5Hz**
 5 tapering (%)
 15 amplitude threshold **test removal**
 5 HVSR threshold
 15% spectral smoothing (triangular window)
 2 detrending order no equalization
 Particle motion, all HVSRs, time lapse and video
 full output **compute**

continuity

3D motion
 save video **show 3D motion**

directivity analysis
 frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Hz **compute**

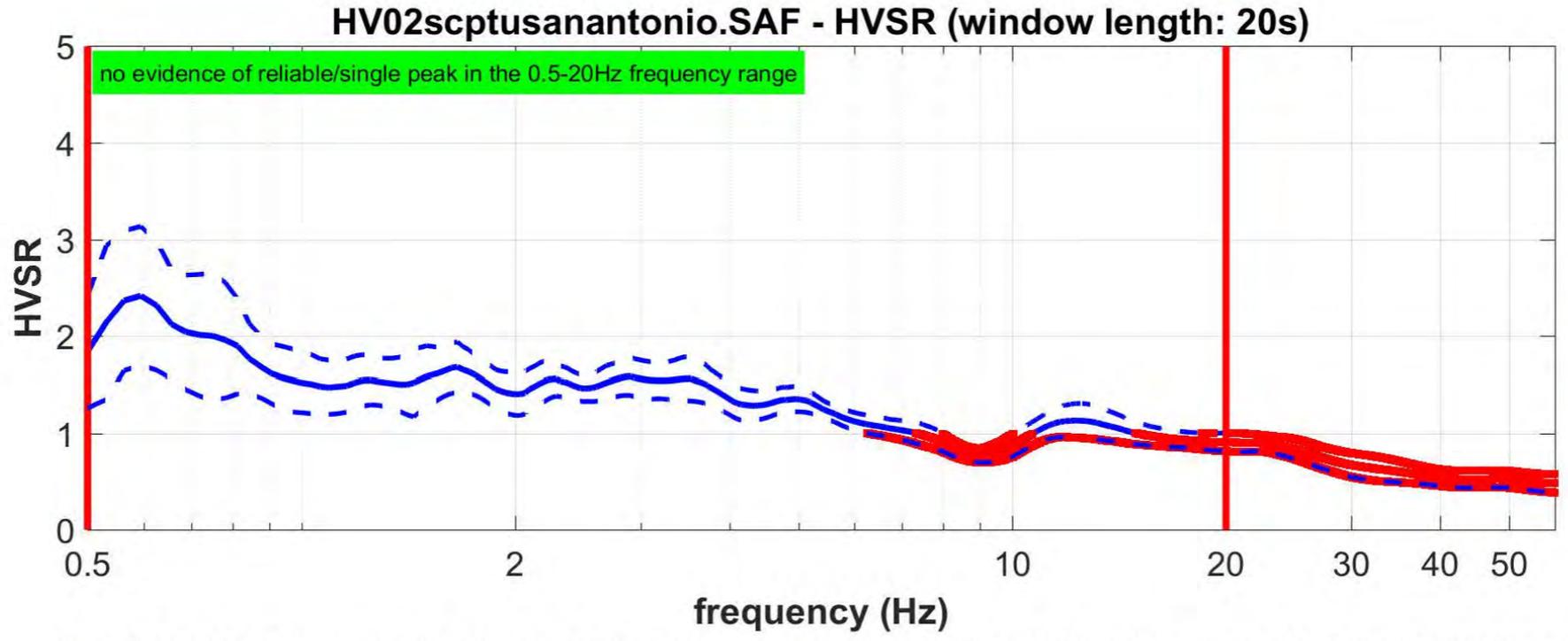
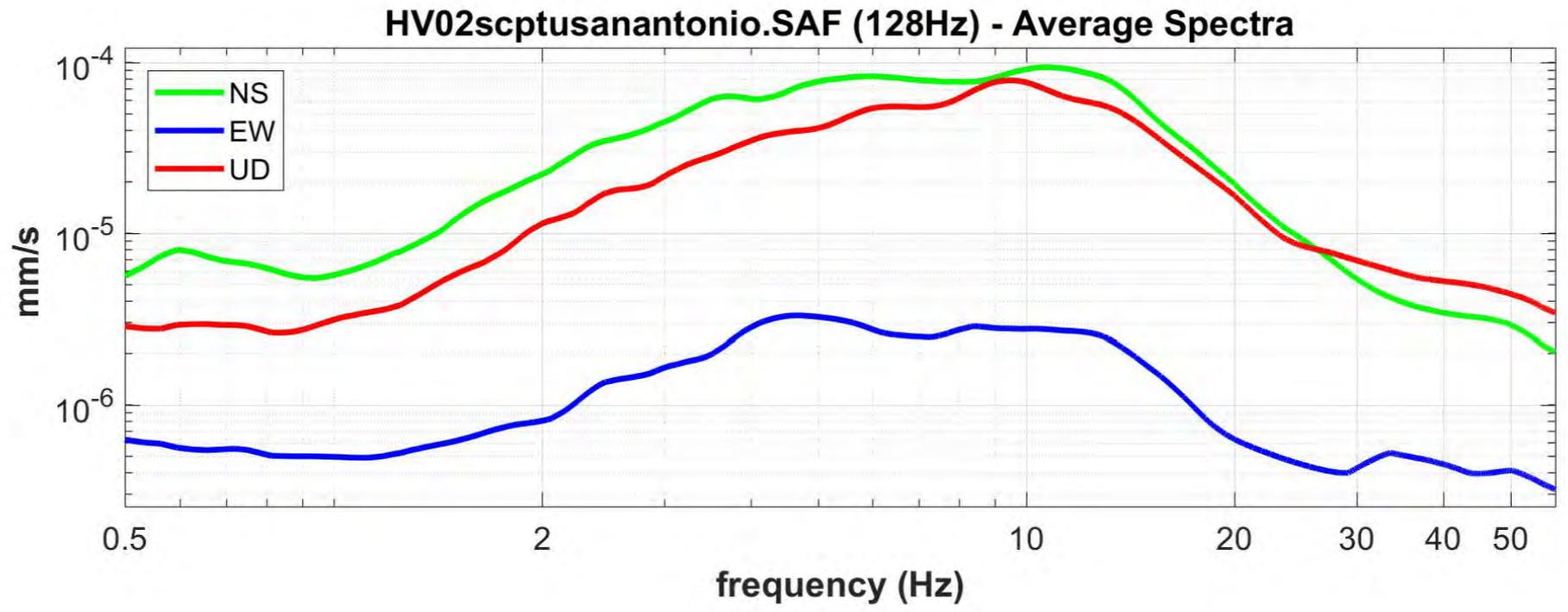
save- option#1: save HVSR as it is
 save H/V from 0.5 to 60 Hz
save HV curve (as it is)

picking HV or amplitude spectra
 HVSR **pick data**
save picked HV **compute**

quick analysis (f=Vs/4H)
 200 average Vs (m/s) (from surface to bedrock)
 20 depth of the bedrock
 1000 Vs of the bedrock
clean **compute**

highlight a frequency
draw/highlight 10 Hz

directivity over time
directivity in time time 120 s



open working folder
show location
field notes

your comments

default axes

Criteria for a reliable H/V curve

#1: OK
 #2: OK
 #3: OK

Criteria for a clear H/V peak [0.594 Hz]

#1: NO
 #2: OK
 #3: OK
 #4: NO
 #5: NO
 #6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve



Via Pastrengo, 9 – 24068 Seriate (Bg)
Tel: 035 303120
Fax: 035 303120
E-mail: ismgeo@ismgeo.it

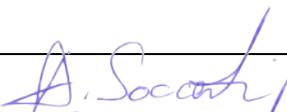
Istituto
Sperimentale
Modelli
GEOtecnici

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

PAVULLO

PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Prog. L001; Doc. RAT 003/2019

Redatto da:	Andrea Saccenti 	18/01/2019
Rivisto e Approvato da:	Andrea Saccenti 	

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	18/01/2019	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI 1
Profondità prelievo [m]:	2.50 – 3.00
Data prova:	26/11/2018



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	03/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D422/07

Classificazione di riferimento: AGI 1977

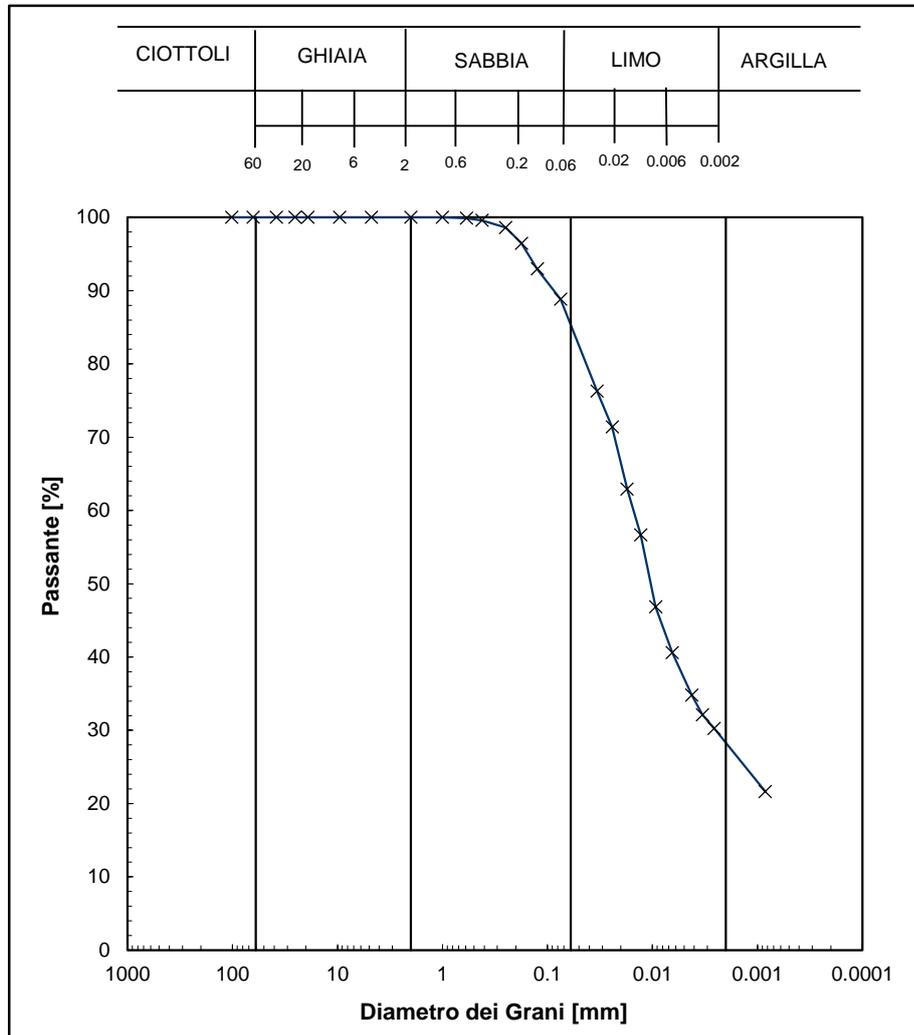
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	C11
Profondità prelievo [m]:	2.85 - 3
Prova:	Gr 1
Data prova:	28/11/2018

Vagliatura		
Diametro vaglio [mm]	Massa tratt. [g]	Massa tratt. [%]
101.6	0	0
63.5	0	0
38.1	0	0
25.4	0	0
19.1	0	0
9.53	0	0
4.75	0	0
2	0	0
1	0	0
0.59	0.5	0.1
0.42	1.1	0.3
0.25	3.7	1.0
0.177	8.1	2.1
0.125	13.3	3.5
0.075	15.7	4.1

Aerometria		
Tempo [min]	Temp. [°C]	Letture [-]
2	17.5	1.0220
4	17.5	1.0209
8	17.5	1.0190
15	17.5	1.0176
30	17.5	1.0154
64	17.5	1.0140
155	17.5	1.0127
249	17.5	1.0121
423	17.0	1.0118
4239	16.0	1.0101



Curva granulom.	
Diametro [mm]	Passante [%]
1.02.E+02	100.0
6.35.E+01	100.0
3.81.E+01	100.0
2.54.E+01	100.0
1.91.E+01	100.0
9.53.E+00	100.0
4.75.E+00	100.0
2.00.E+00	100.0
1.00.E+00	100.0
5.90.E-01	99.9
4.20.E-01	99.6
2.50.E-01	98.6
1.77.E-01	96.5
1.25.E-01	93.0
7.50.E-02	88.8
3.38.E-02	76.3
2.42.E-02	71.4
1.74.E-02	62.9
1.29.E-02	56.7
9.34.E-03	46.8
6.48.E-03	40.6
4.22.E-03	34.8
3.34.E-03	32.1
2.59.E-03	30.3
8.44.E-04	21.6
-	-
-	-

Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	2.85	3.00	379.1	VIA UMIDA	89	-	-	15	57	28	32	-	1.5.E-02	1.0.E-02

NOTE:

GS= 2.700



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

Sperimentatore:	Diaby
Direttore:	Saccenti
Data emissione:	11/12/2018
Rev.	0

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI1
Profondità prova [m]:	2.85 - 3.00
Prova:	LLP1
Data prova:	26/11/2018

Normativa di riferimento: ASTM D4318

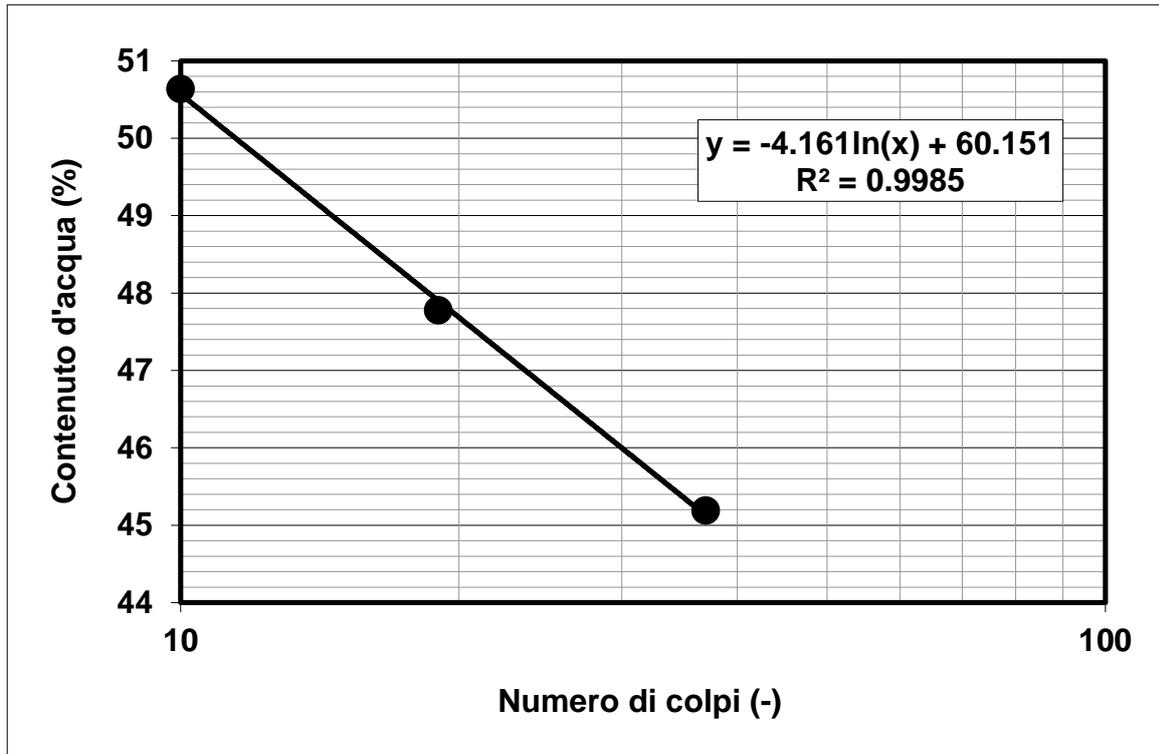
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	37	19	10
massa tara (g)	22.45	22.31	22.15
massa umido + tara (g)	78.39	86.74	82.9
massa secco + tara (g)	60.98	65.91	62.48
umidità (%)	45.19	47.78	50.63

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.23	22.2
massa umido + tara (g)	36.82	36.5
massa secco + tara (g)	34.35	34.11
umidità (%)	20.38	20.07

Limite Liquido LL (%)	46.8
Limite Plastico LP (%)	20.2
Indice Plastico IP(%)	26.5



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

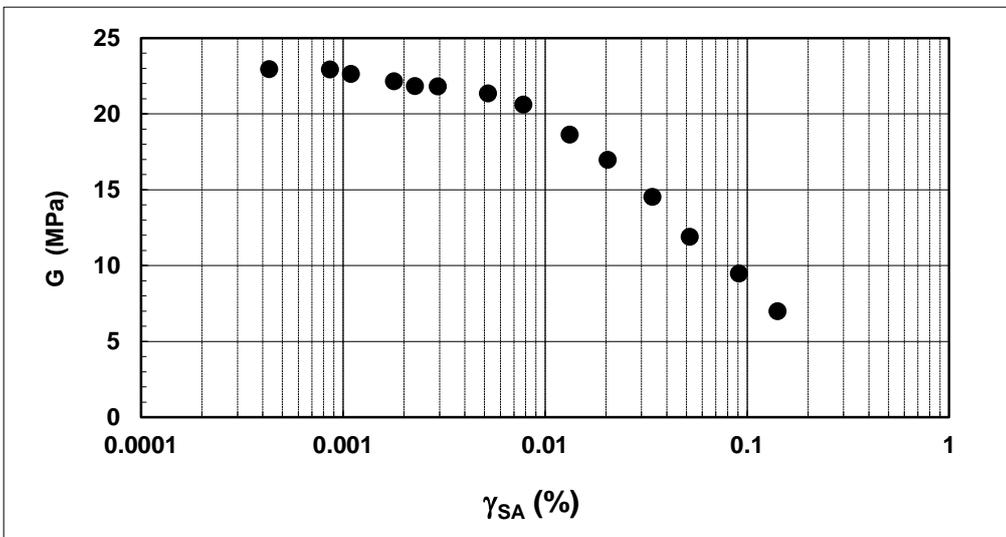
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	C11
Profondità prova [m]:	2.88 - 2.98
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	27/11/2018

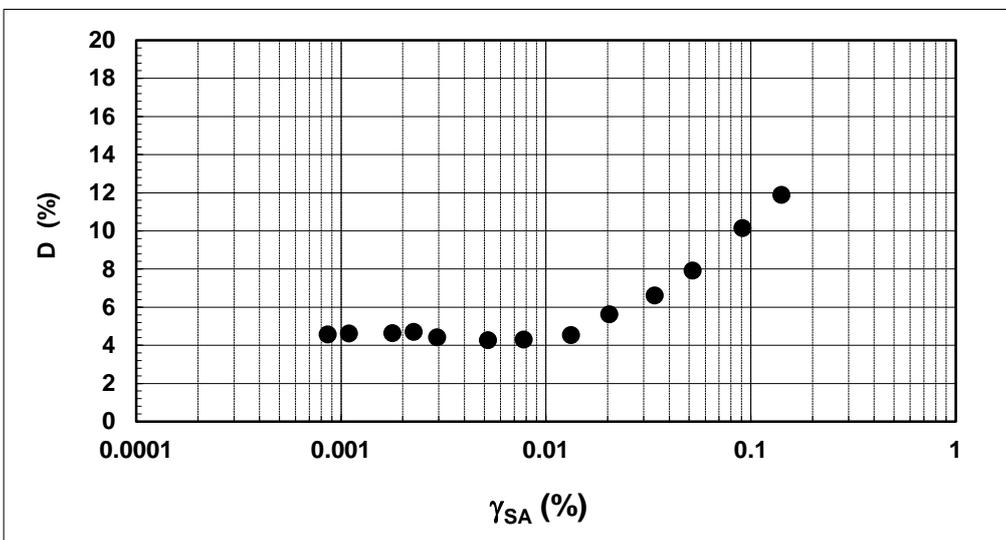
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	102.00	17.65	38.3	1.075	50	50	1.0	200.0	0.90	49.6	101.3	17.97	37.4	1.026	98	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.70



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- $K = \sigma'_r / \sigma'_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

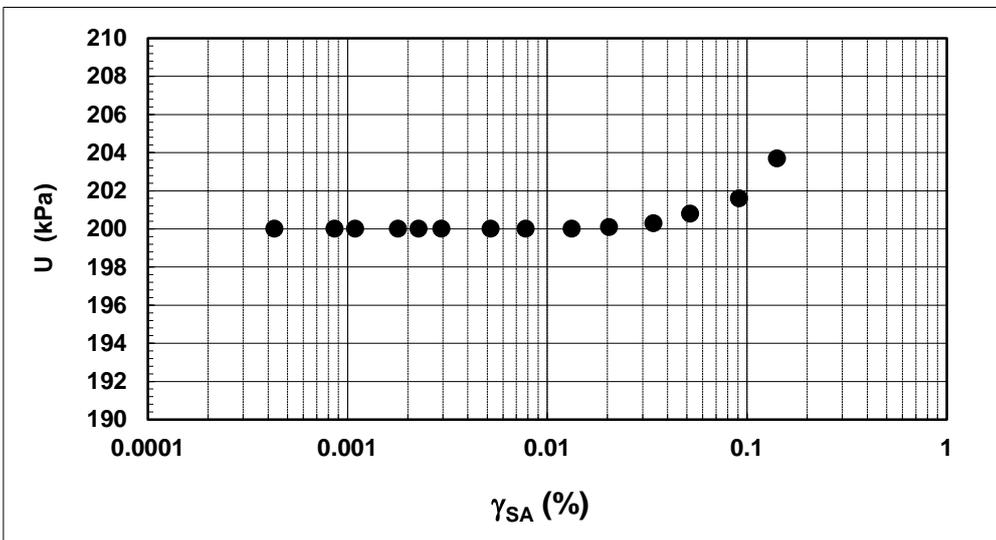
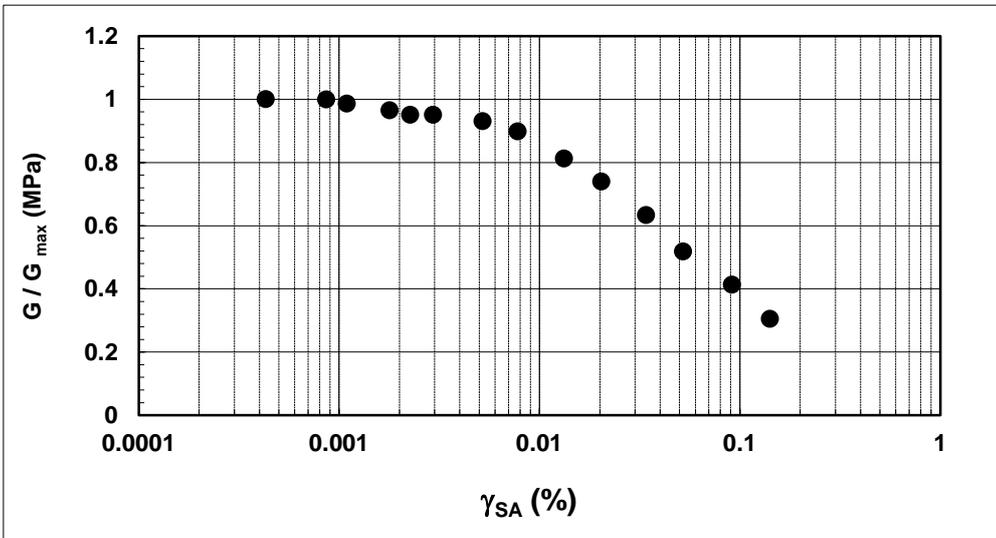
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI1
Profondità prova [m]:	2.88 - 2.98
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	27/11/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	102.00	17.65	38.3	1.075	50	50	1.0	200.0	0.90	49.6	101.3	17.97	37.4	1.0	98	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																2.700	



Note:	
--------------	--



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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI1
Profondità prova [m]:	2.88 - 2.98
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	27/11/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	
50.00	102.00	17.65	38.3	1.075	50	50	1.0	200.0	0.90	49.6	101.3	17.97	37.4	1.026	superficie di appoggio	INDISTURBATO
															eccitazione	FUSTELLAZIONE
																PIETRA POROSA
																TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
22.94	1.000	0.00043		200.0
22.93	0.999	0.00086	4.56	200.0
22.64	0.987	0.00109	4.62	200.0
22.15	0.965	0.00179	4.63	200.0
21.82	0.951	0.00227	4.69	200.0
21.81	0.950	0.00295	4.42	200.0
21.34	0.930	0.00521	4.27	200.0
20.60	0.898	0.00780	4.30	200.0
18.63	0.812	0.01327	4.54	200.0
16.96	0.739	0.02040	5.62	200.1
14.53	0.633	0.03402	6.62	200.3
11.88	0.518	0.05201	7.92	200.8
9.48	0.413	0.09126	10.15	201.6
6.99	0.305	0.14149	11.89	203.7

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:	
--------------	--

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	18/01/2019	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI 2
Profondità prelievo [m]:	14.00 – 14.50
Data prova:	26/11/2018



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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	03/12/2018	Angeloni	Saccenti

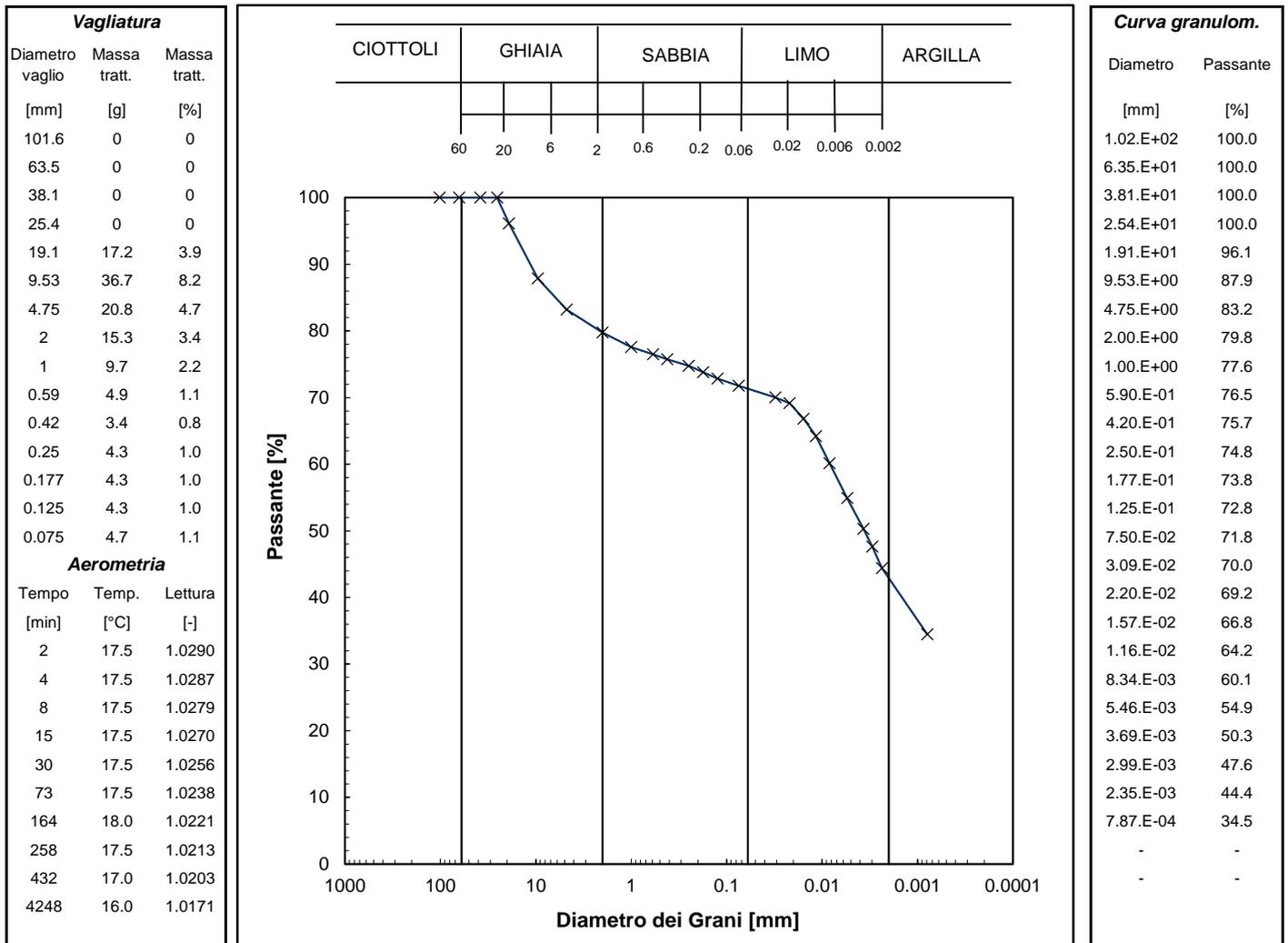
Normativa di riferimento: ASTM D422/07

Classificazione di riferimento: AGI 1977

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI2
Profondità prelievo [m]:	14.35 - 14.5
Prova:	Gr 1
Data prova:	27/11/2018



Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	14.35	14.50	444.8	VIA UMIDA	72	-	20	8	28	43	39	39	8.2.E-03	3.6.E-03

NOTE:

GS= 2.700

La soluzione disperdente è stata preparata il 14/05/18



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

Sperimentatore:	Diaby
Direttore:	Saccenti
Data emissione:	11/12/2018
Rev.	0

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI2
Profondità prova [m]:	14.35 - 14.50
Prova:	LLP1
Data prova:	26/11/2018

Normativa di riferimento: ASTM D4318

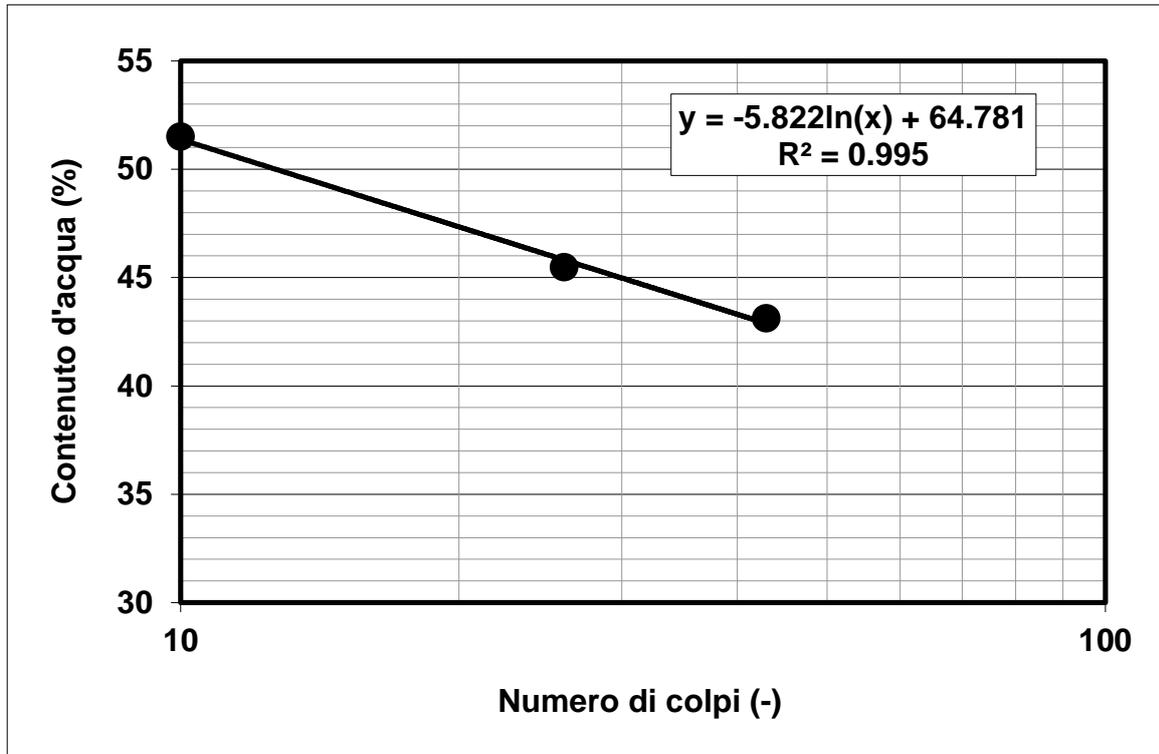
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	43	26	10
massa tara (g)	22.26	22.3	22.79
massa umido + tara (g)	74.81	71.54	67.39
massa secco + tara (g)	58.98	56.15	52.23
umidità (%)	43.11	45.47	51.49

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.15	22.49
massa umido + tara (g)	28.93	29.83
massa secco + tara (g)	27.89	28.7
umidità (%)	18.12	18.20

Limite Liquido LL (%)	46.0
Limite Plastico LP (%)	18.2
Indice Plastico IP(%)	27.9



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

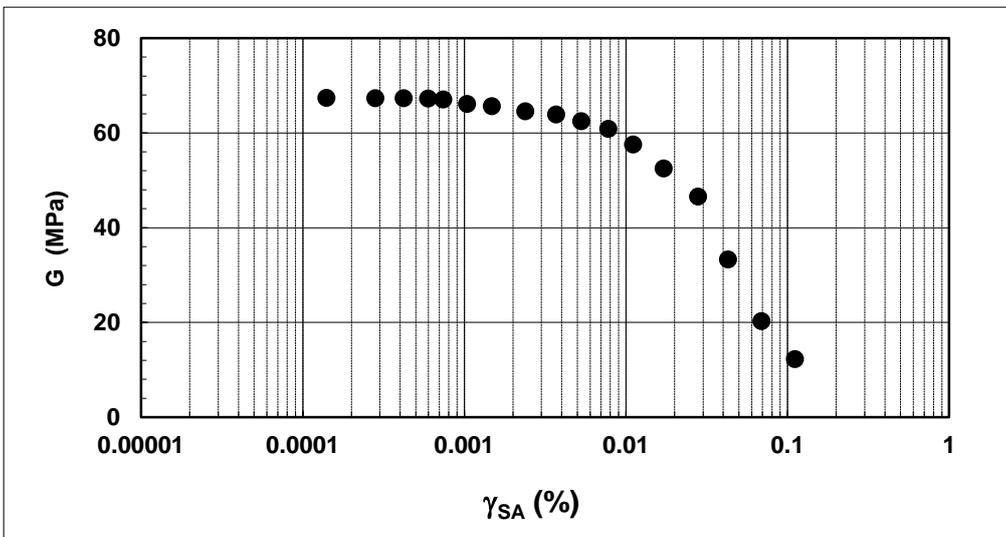
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	C12
Profondità prova [m]:	14.35 - 14.45
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	11/12/2018

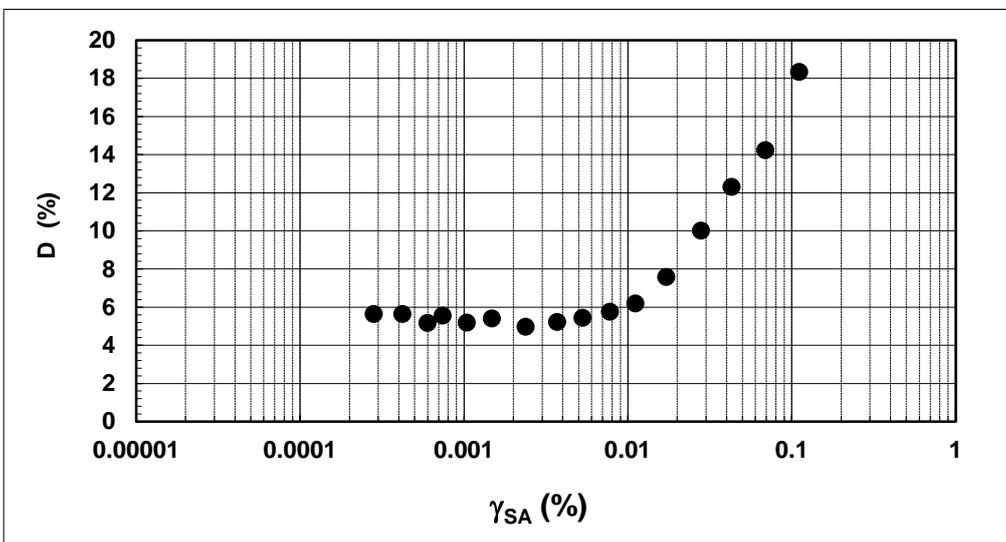
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	98.88	21.53	15.3	0.418	180	180	1.0	200.0	0.89	50.3	99.6	21.31	16.5	0.448	99	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.70



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- $K = \sigma'_r / \sigma'_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

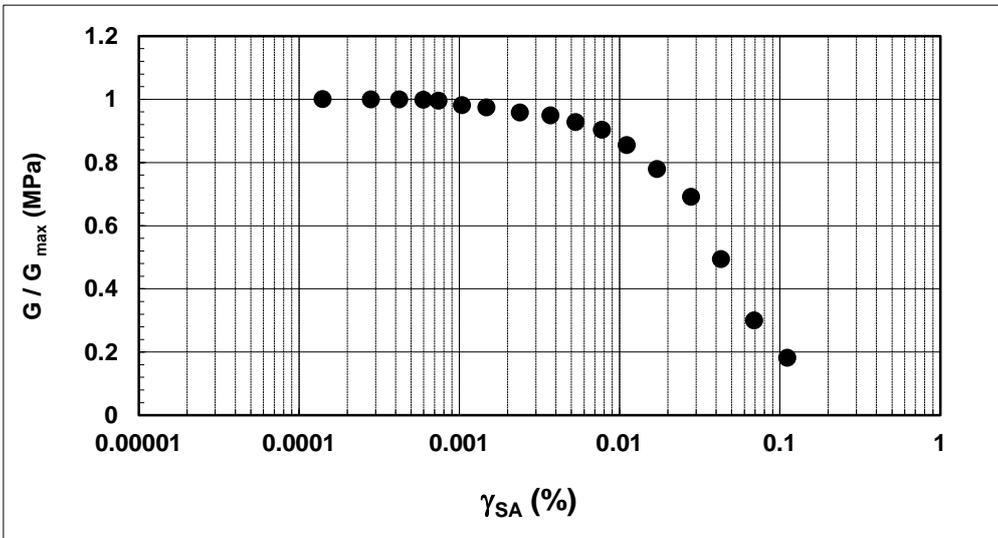
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI2
Profondità prova [m]:	14.35 - 14.45
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	11/12/2018

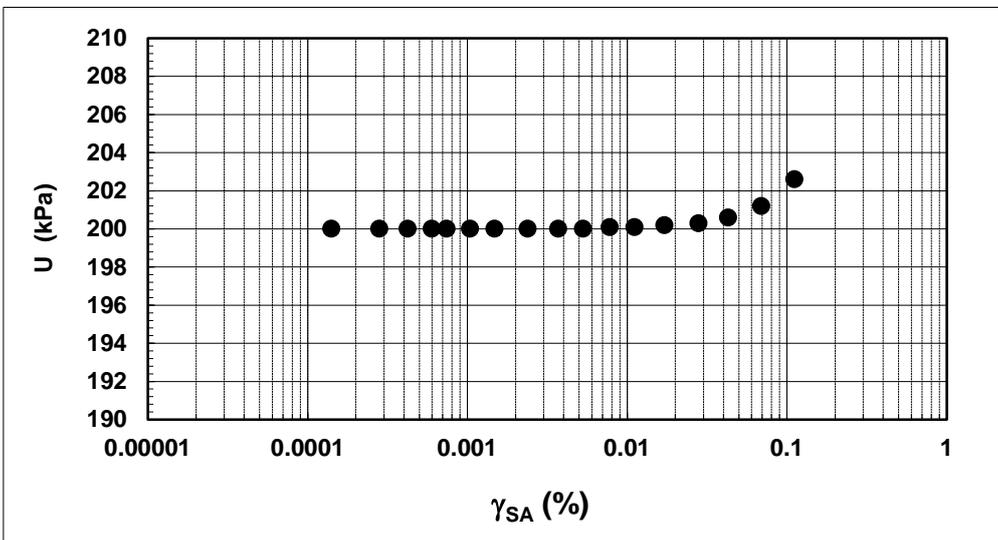
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	98.88	21.53	15.3	0.418	180	180	1.0	200.0	0.89	50.3	99.6	21.31	16.5	0.4	99	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico	2.700



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ_r / σ_a
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI2
Profondità prova [m]:	14.35 - 14.45
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	11/12/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	
50.00	98.88	21.53	15.3	0.418	180	180	1.0	200.0	0.89	50.3	99.6	21.31	16.5	0.448	superficie di appoggio	INDISTURBATO
															eccitazione	PIETRA POROSA
																TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
67.35	1.000	0.00014		200.0
67.32	1.000	0.00028	5.64	200.0
67.28	0.999	0.00042	5.63	200.0
67.23	0.998	0.00060	5.17	200.0
67.02	0.995	0.00074	5.56	200.0
66.08	0.981	0.00104	5.18	200.0
65.62	0.974	0.00148	5.40	200.0
64.51	0.958	0.00239	4.96	200.0
63.87	0.948	0.00371	5.21	200.0
62.46	0.927	0.00531	5.44	200.0
60.82	0.903	0.00778	5.75	200.1
57.54	0.854	0.01111	6.19	200.1
52.46	0.779	0.01715	7.58	200.2
46.56	0.691	0.02796	10.02	200.3
33.26	0.494	0.04293	12.30	200.6
20.23	0.300	0.06900	14.24	201.2
12.23	0.182	0.11125	18.33	202.6

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

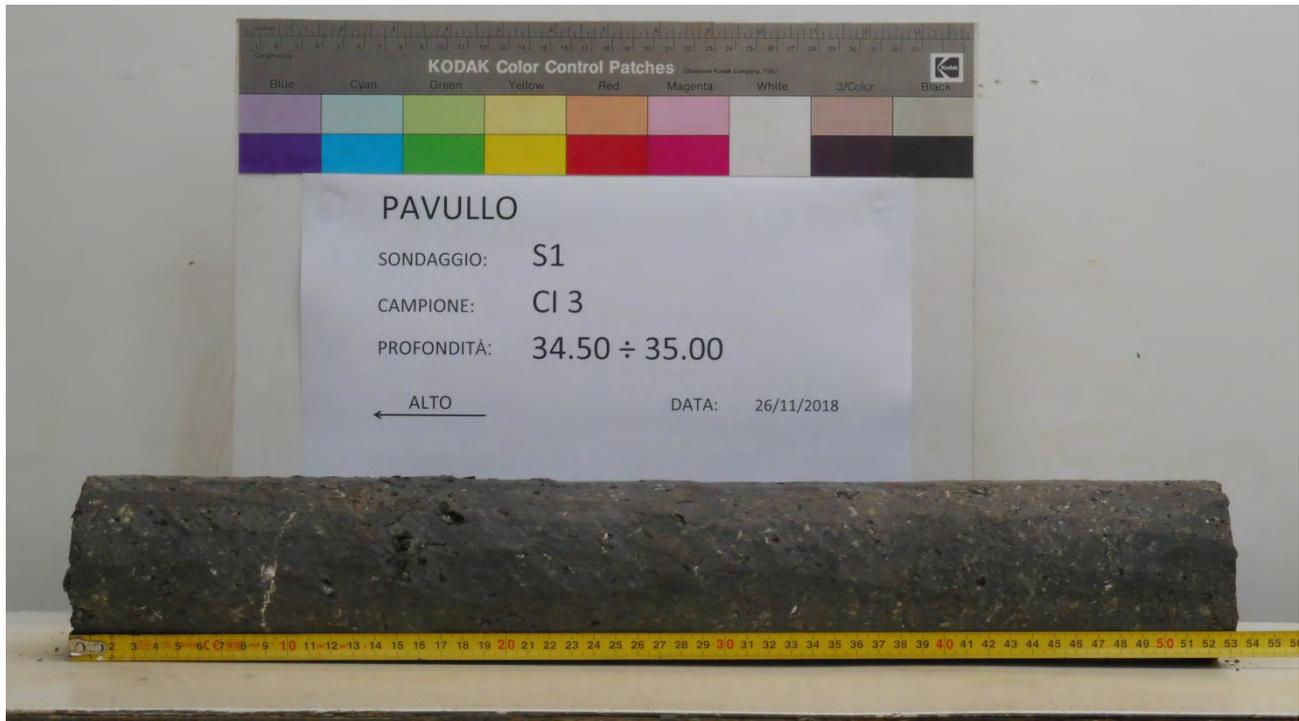
Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	18/01/2019	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI 3
Profondità prelievo [m]:	34.50 – 35.00
Data prova:	26/11/2018



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	03/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D422/07

Classificazione di riferimento: AGI 1977

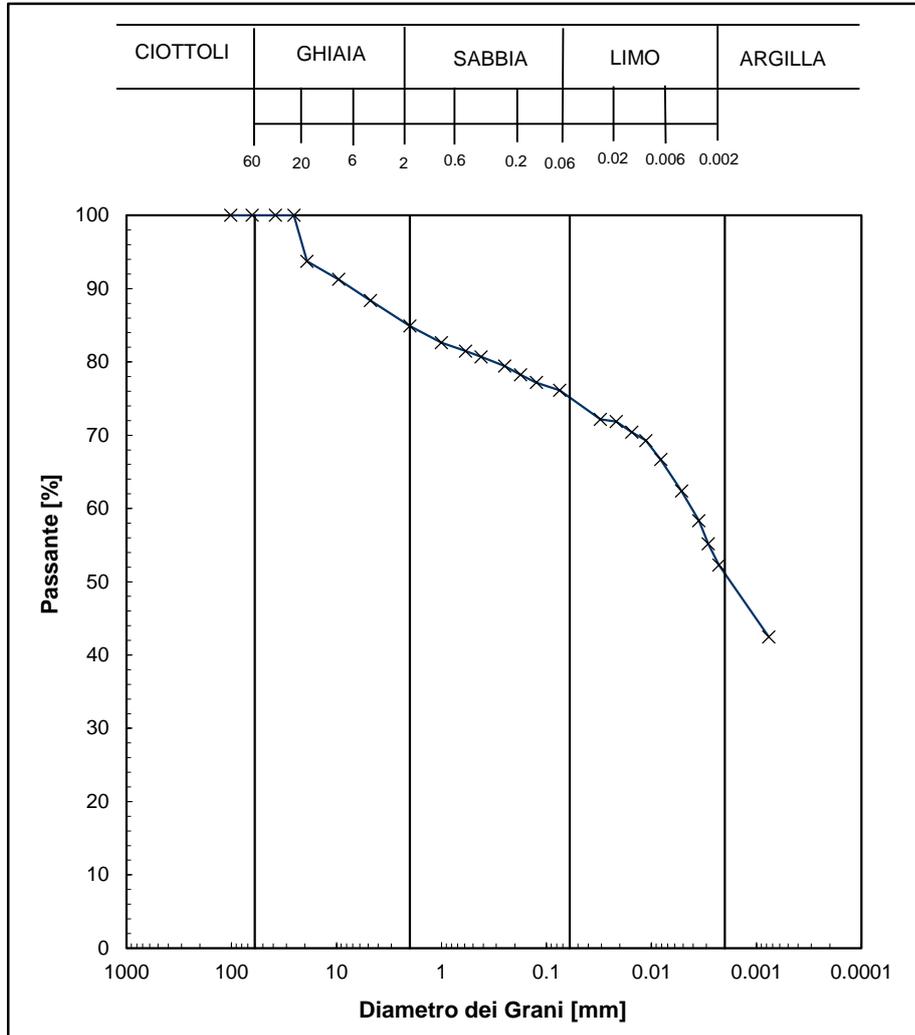
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	C3
Profondità prelievo [m]:	34.85 - 35
Prova:	Gr 1
Data prova:	27/11/2018

Vagliatura		
Diametro vaglio [mm]	Massa tratt. [g]	Massa tratt. [%]
101.6	0	0
63.5	0	0
38.1	0	0
25.4	0	0
19.1	33.3	6.3
9.53	13.1	2.5
4.75	15.3	2.9
2	18.5	3.5
1	11.9	2.3
0.59	6.2	1.2
0.42	4.1	0.8
0.25	6.6	1.2
0.177	6.4	1.2
0.125	5.6	1.1
0.075	5.6	1.0

Aerometria		
Tempo [min]	Temp. [°C]	Letture [-]
2	17.5	1.0300
4	17.5	1.0299
8	17.5	1.0294
15	17.5	1.0290
30	17.0	1.0282
77	17.5	1.0266
169	17.5	1.0252
262	17.5	1.0241
437	17.0	1.0232
4253	16.0	1.0200



Curva granulom.	
Diametro [mm]	Passante [%]
1.02.E+02	100.0
6.35.E+01	100.0
3.81.E+01	100.0
2.54.E+01	100.0
1.91.E+01	93.7
9.53.E+00	91.3
4.75.E+00	88.4
2.00.E+00	84.9
1.00.E+00	82.6
5.90.E-01	81.5
4.20.E-01	80.7
2.50.E-01	79.5
1.77.E-01	78.3
1.25.E-01	77.2
7.50.E-02	76.1
3.06.E-02	72.1
2.17.E-02	71.9
1.54.E-02	70.4
1.13.E-02	69.3
8.16.E-03	66.7
5.16.E-03	62.4
3.54.E-03	58.3
2.88.E-03	55.2
2.27.E-03	52.3
7.65.E-04	42.5
-	-
-	-

Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	34.85	35.00	530.1	VIA UMIDA	76	-	15	10	24	51	42	40	4.1.E-03	1.8.E-03

NOTE:

GS= 2.700



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

Sperimentatore:	Diaby
Direttore:	Saccenti
Data emissione:	11/12/2018
Rev.	0

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	C3
Profondità prova [m]:	34.85 - 35.00
Prova:	LLP1
Data prova:	26/11/2018

Normativa di riferimento: ASTM D4318

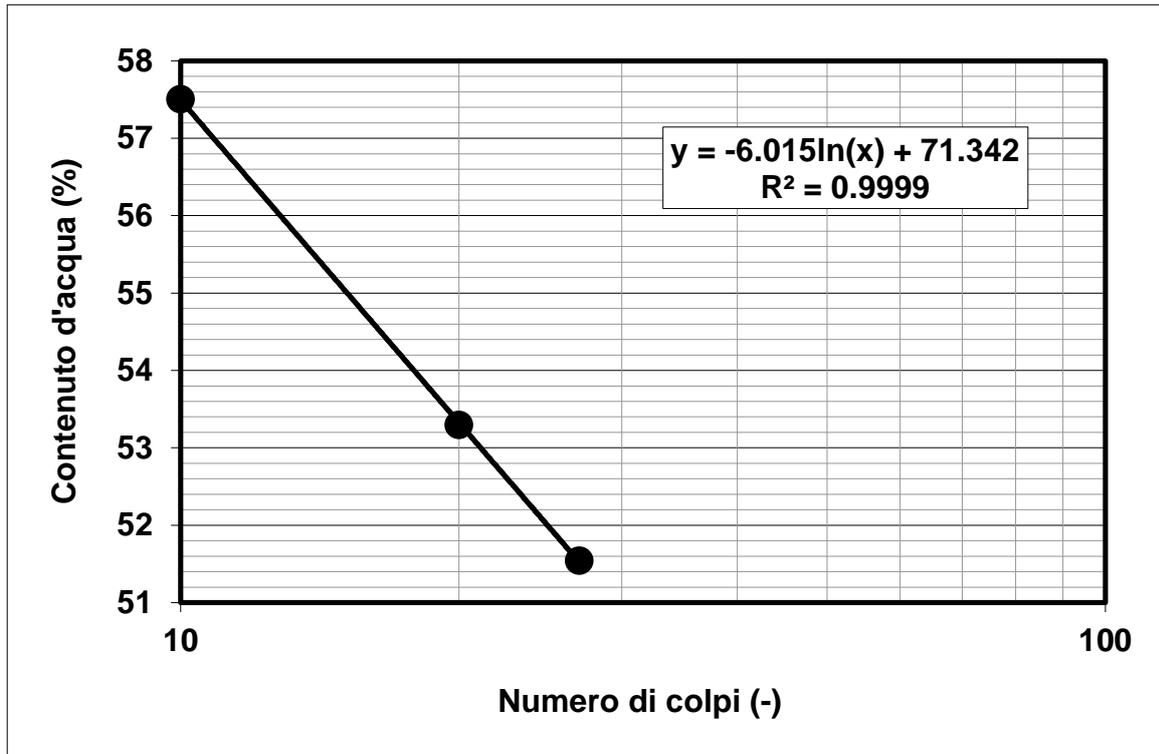
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	10	20	27
massa tara (g)	22.34	22.47	22.41
massa umido + tara (g)	74.3	70.88	71.6
massa secco + tara (g)	55.33	54.05	54.87
umidità (%)	57.50	53.29	51.54

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.34	22.69
massa umido + tara (g)	28.76	29.42
massa secco + tara (g)	27.68	28.29
umidità (%)	20.22	20.18

Limite Liquido LL (%)	52.0
Limite Plastico LP (%)	20.2
Indice Plastico IP(%)	31.8



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

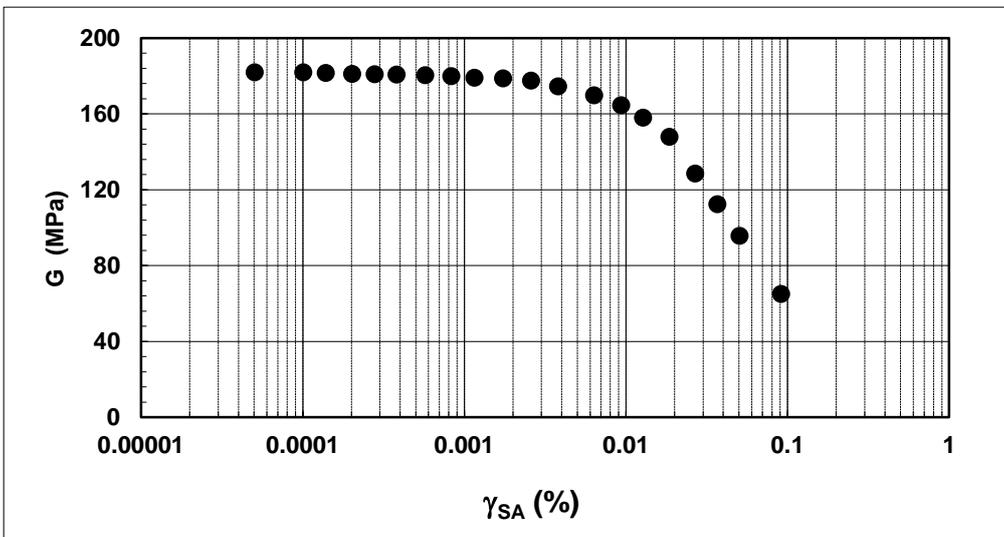
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	C13
Profondità prova [m]:	34.85 - 34.95
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	28/11/2018

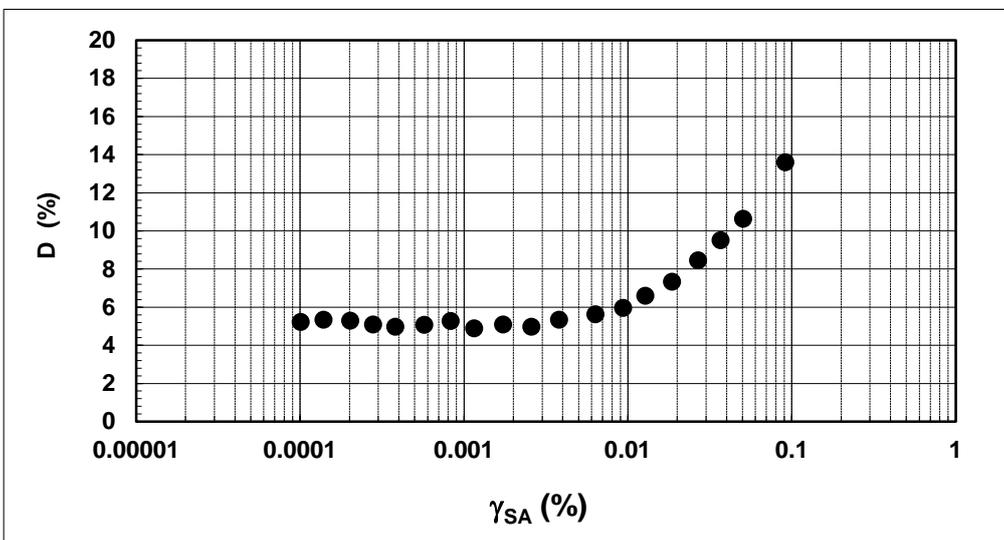
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	103.00	21.95	13.2	0.367	470	470	1.0	200.0	0.88	50.3	103.7	21.78	14.6	0.394	100	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.70



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ_r / σ_a
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S1
Campione:	CI3
Profondità prova [m]:	34.85 - 34.95
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	28/11/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	
50.00	103.00	21.95	13.2	0.367	470	470	1.0	200.0	0.88	50.3	103.7	21.78	14.6	0.394	superficie di appoggio	INDISTURBATO
															eccitazione	PIETRA POROSA
																TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
181.91	1.000	0.00005		200.0
181.91	1.000	0.00010	5.21	200.0
181.60	0.998	0.00014	5.33	200.0
181.07	0.995	0.00020	5.28	200.0
180.88	0.994	0.00028	5.09	200.0
180.73	0.993	0.00038	4.97	200.0
180.34	0.991	0.00057	5.07	200.0
179.77	0.988	0.00083	5.27	200.0
178.97	0.984	0.00115	4.88	200.1
178.63	0.982	0.00174	5.09	200.1
177.50	0.976	0.00259	4.97	200.2
174.49	0.959	0.00382	5.33	200.4
169.83	0.934	0.00636	5.63	200.6
164.55	0.905	0.00935	5.96	200.7
157.95	0.868	0.01280	6.59	200.7
147.88	0.813	0.01864	7.32	200.8
128.51	0.706	0.02681	8.45	201.0
112.36	0.618	0.03679	9.50	201.2
95.56	0.525	0.05047	10.62	201.7
65.02	0.357	0.09125	13.60	202.3

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	18/01/2019	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI 1
Profondità prelievo [m]:	1.80 – 2.40
Data prova:	26/11/2018



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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	10/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D422/07

Classificazione di riferimento: AGI 1977

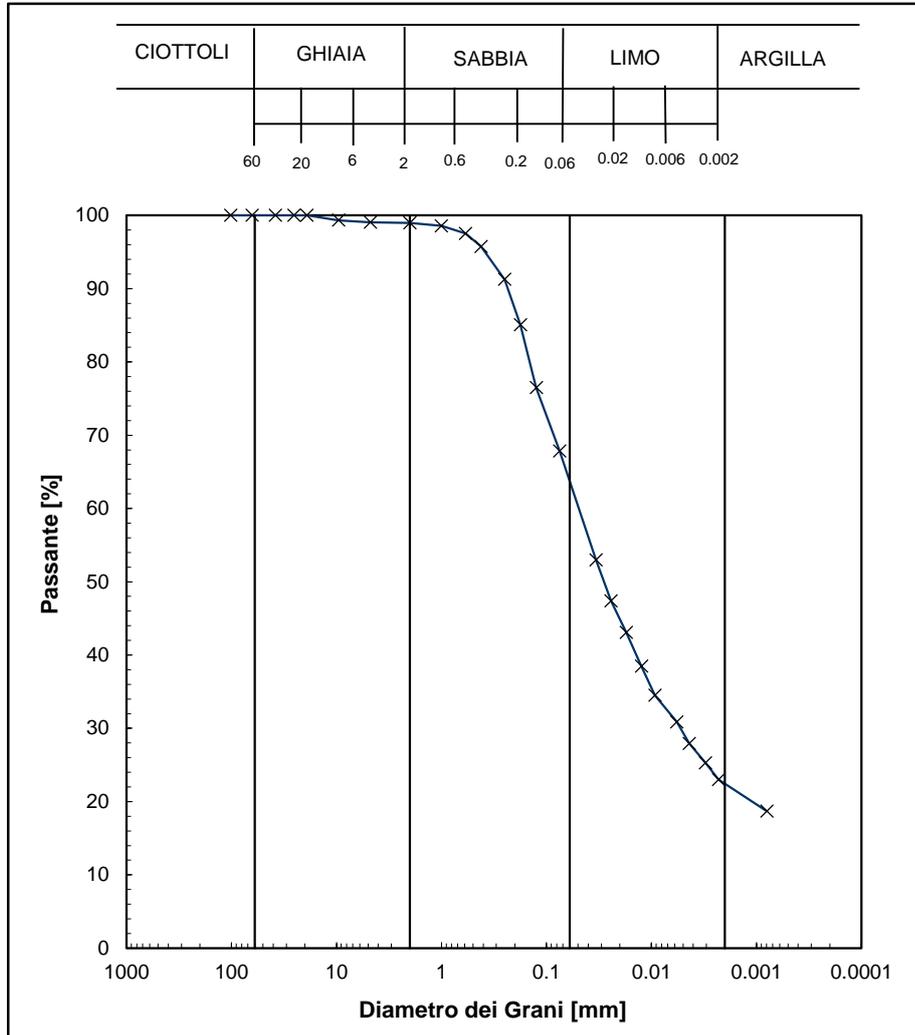
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI1
Profondità prelievo [m]:	2.25 - 2.4
Prova:	Gr 1
Data prova:	28/11/2018

Vagliatura		
Diametro vaglio [mm]	Massa tratt. [g]	Massa tratt. [%]
101.6	0	0
63.5	0	0
38.1	0	0
25.4	0	0
19.1	0	0
9.53	3.1	0.7
4.75	1.3	0.3
2	0.3	0.1
1	1.9	0.4
0.59	4.8	1.0
0.42	8.1	1.8
0.25	20.5	4.5
0.177	28.5	6.2
0.125	39.3	8.6
0.075	39.5	8.6

Aerometria		
Tempo [min]	Temp. [°C]	Letture [-]
2	18.5	1.0206
4	18.5	1.0189
8	18.5	1.0176
16	18.5	1.0162
30	18.0	1.0151
79	18.5	1.0139
139	18.5	1.0130
281	19.0	1.0121
501	19.5	1.0113
4294	19.5	1.0100



Curva granulom.	
Diametro [mm]	Passante [%]
1.02.E+02	100.0
6.35.E+01	100.0
3.81.E+01	100.0
2.54.E+01	100.0
1.91.E+01	100.0
9.53.E+00	99.3
4.75.E+00	99.1
2.00.E+00	99.0
1.00.E+00	98.6
5.90.E-01	97.5
4.20.E-01	95.8
2.50.E-01	91.3
1.77.E-01	85.1
1.25.E-01	76.5
7.50.E-02	67.9
3.36.E-02	53.0
2.42.E-02	47.4
1.74.E-02	43.1
1.24.E-02	38.5
9.26.E-03	34.5
5.73.E-03	30.9
4.36.E-03	27.9
3.07.E-03	25.3
2.30.E-03	23.0
7.94.E-04	18.7
-	-
-	-

Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	2.25	2.40	458.5	VIA UMIDA	68	-	1	35	41	22	33	27	4.9.E-02	2.8.E-02

NOTE:

GS= 2.700



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

Sperimentatore:	Diaby
Direttore:	Saccenti
Data emissione:	11/12/2018
Rev.	0

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI1
Profondità prova [m]:	2.25 - 2.40
Prova:	LLP1
Data prova:	26/11/2018

Normativa di riferimento: ASTM D4318

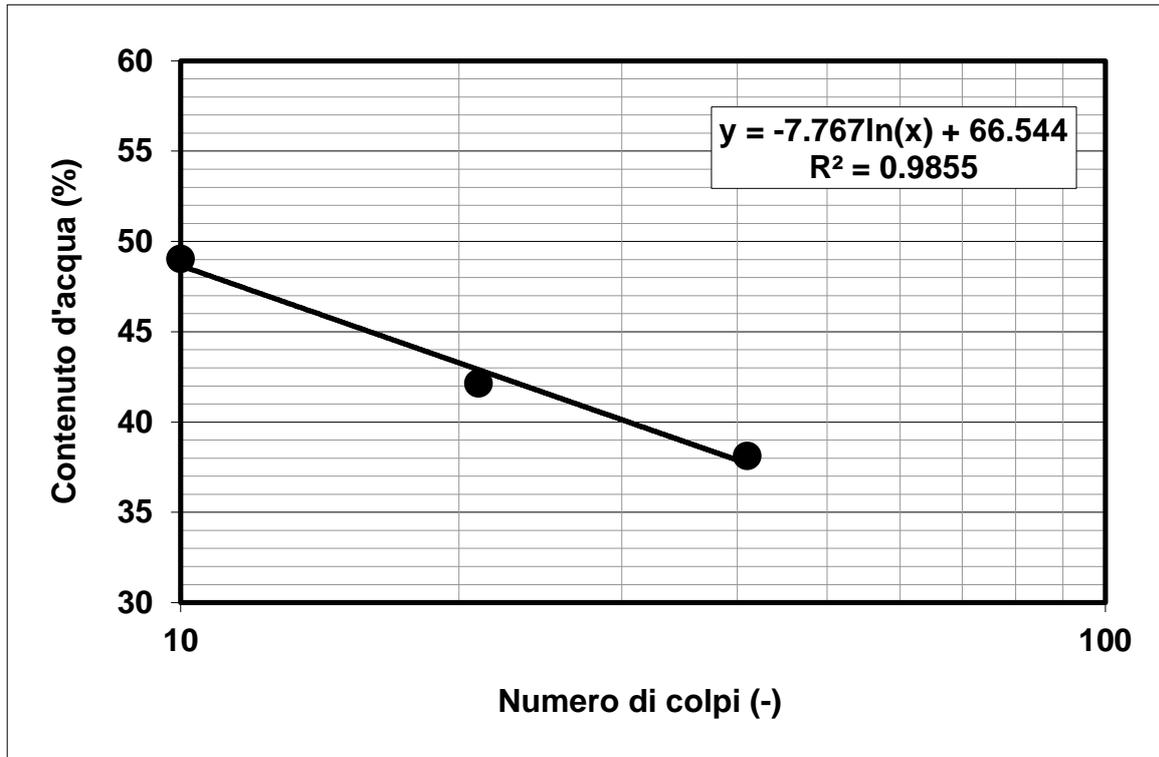
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	41	21	10
massa tara (g)	22.66	22.41	22.21
massa umido + tara (g)	69.56	72.71	76.38
massa secco + tara (g)	56.62	57.8	58.56
umidità (%)	38.10	42.13	49.02

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.28	22.48
massa umido + tara (g)	38.57	39.1
massa secco + tara (g)	36.09	36.56
umidità (%)	17.96	18.04

Limite Liquido LL (%)	41.5
Limite Plastico LP (%)	18.0
Indice Plastico IP(%)	23.5



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

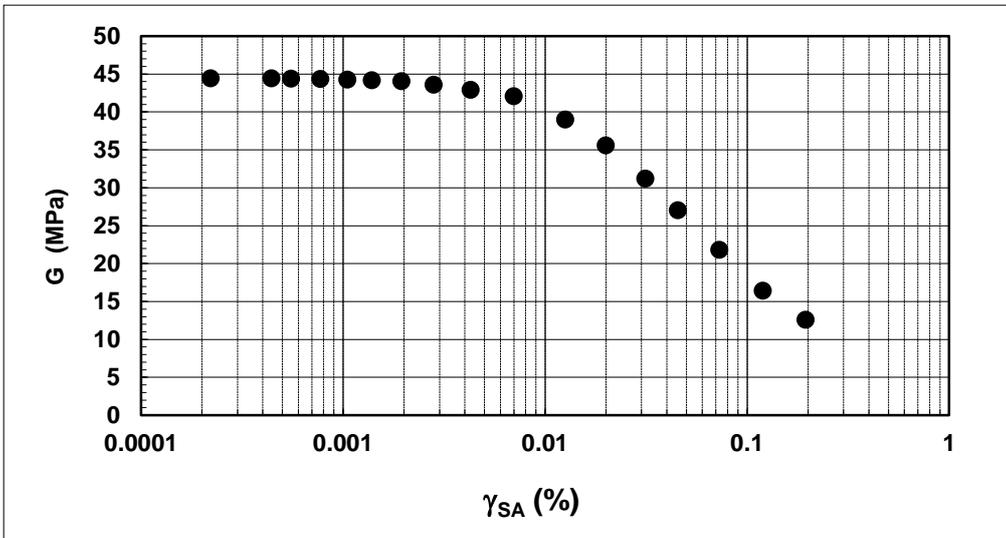
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	C11
Profondità prova [m]:	2.25 - 2.35
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	28/11/2018

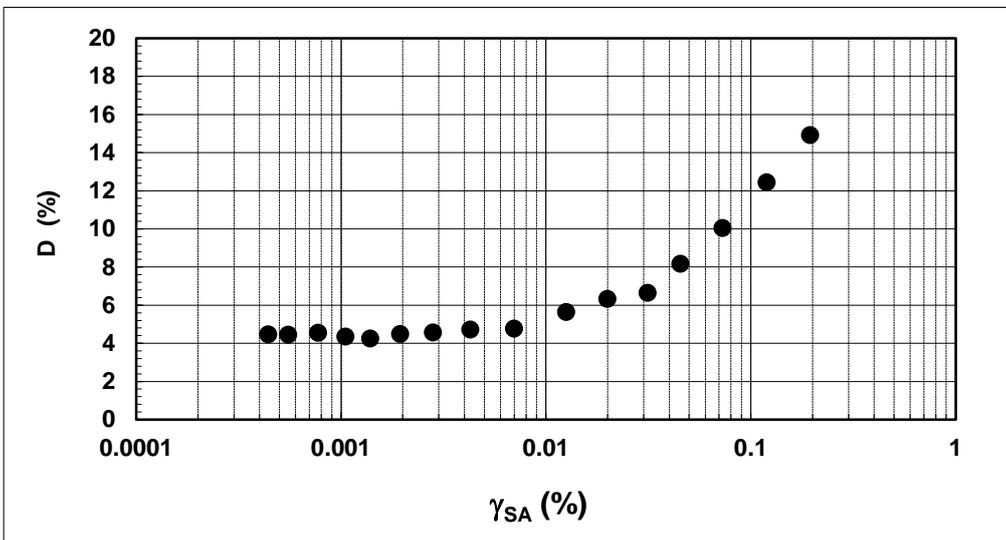
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali	
Φ	H	γ _w	w	e	σ' _a	σ' _r	K	B.P.	B	D	H	γ _w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	100.30	19.34	26.4	0.732	60	60	1.0	200.0	0.89	49.7	99.8	19.57	26.0	0.706	100	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.70



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ_r / σ_a
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

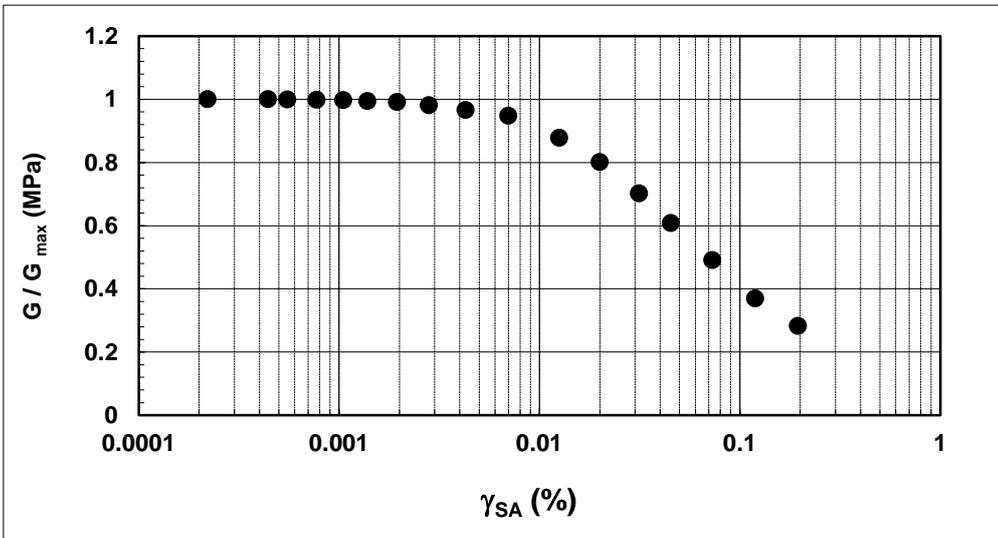
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI1
Profondità prova [m]:	2.25 - 2.35
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	28/11/2018

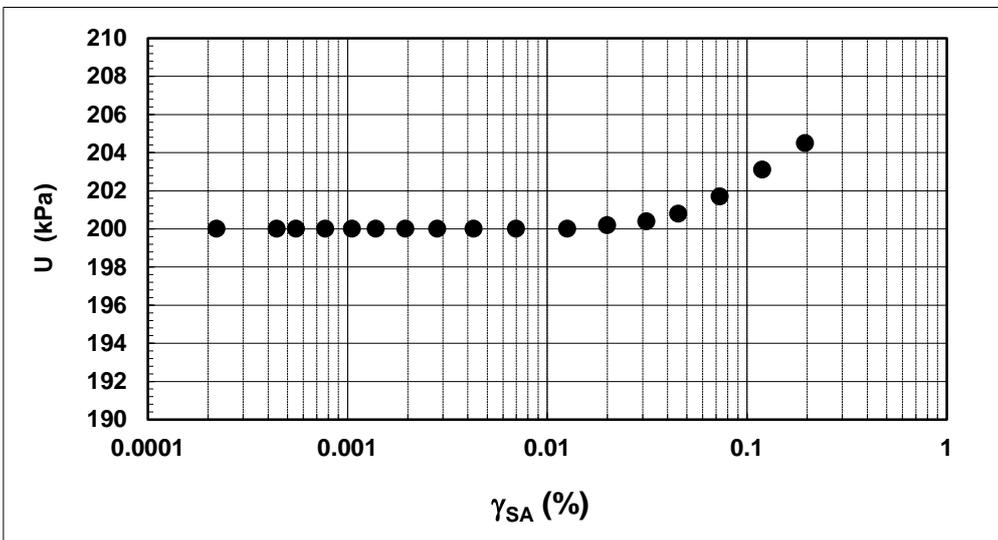
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	100.30	19.34	26.4	0.732	60	60	1.0	200.0	0.89	49.7	99.8	19.57	26.0	0.7	100	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico	2.700



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- $K = \sigma'_r / \sigma'_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	17/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI1
Profondità prova [m]:	2.25 - 2.35
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	28/11/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	
50.00	100.30	19.34	26.4	0.732	60	60	1.0	200.0	0.89	49.7	99.8	19.57	26.0	0.706	superficie di appoggio	INDISTURBATO
															eccitazione	FUSTELLAZIONE
																PIETRA POROSA
																TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
44.40	1.000	0.00022		200.0
44.40	1.000	0.00044	4.47	200.0
44.37	0.999	0.00055	4.44	200.0
44.35	0.999	0.00077	4.54	200.0
44.27	0.997	0.00105	4.34	200.0
44.15	0.994	0.00139	4.24	200.0
44.02	0.991	0.00195	4.48	200.0
43.58	0.981	0.00281	4.56	200.0
42.91	0.966	0.00428	4.72	200.0
42.06	0.947	0.00699	4.77	200.0
38.97	0.878	0.01257	5.63	200.0
35.58	0.801	0.01996	6.32	200.2
31.19	0.702	0.03141	6.64	200.4
27.01	0.608	0.04534	8.17	200.8
21.82	0.491	0.07297	10.04	201.7
16.41	0.369	0.11943	12.44	203.1
12.56	0.283	0.19497	14.91	204.5

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	18/01/2019	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI 2
Profondità prelievo [m]:	18.50 – 19.10
Data prova:	26/11/2018



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	03/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D422/07

Classificazione di riferimento: AGI 1977

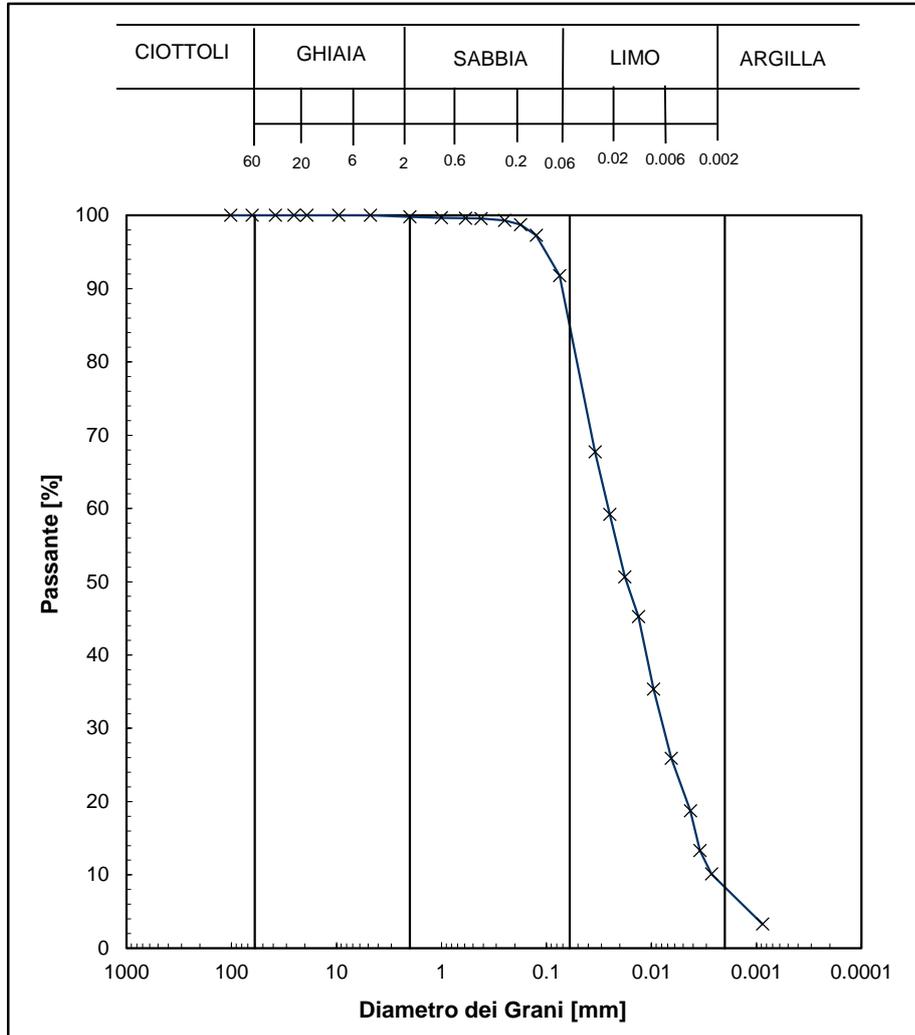
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI2
Profondità prelievo [m]:	18.95 - 19
Prova:	Gr 1
Data prova:	27/11/2018

Vagliatura		
Diametro vaglio [mm]	Massa tratt. [g]	Massa tratt. [%]
101.6	0	0
63.5	0	0
38.1	0	0
25.4	0	0
19.1	0	0
9.53	0	0
4.75	0	0
2	0.6	0.2
1	0.4	0.1
0.59	0.2	0.1
0.42	0.1	0.0
0.25	0.8	0.2
0.177	1.8	0.6
0.125	4.5	1.5
0.075	16.9	5.5

Aerometria		
Tempo [min]	Temp. [°C]	Letture [-]
2	17.5	1.0201
4	17.5	1.0182
8	17.5	1.0163
15	17.5	1.0151
30	17.5	1.0129
68	17.5	1.0108
160	18.0	1.0091
253	17.5	1.0080
428	17.0	1.0074
4243	16.0	1.0061



Curva granulom.	
Diametro [mm]	Passante [%]
1.02.E+02	100.0
6.35.E+01	100.0
3.81.E+01	100.0
2.54.E+01	100.0
1.91.E+01	100.0
9.53.E+00	100.0
4.75.E+00	100.0
2.00.E+00	99.8
1.00.E+00	99.7
5.90.E-01	99.6
4.20.E-01	99.6
2.50.E-01	99.3
1.77.E-01	98.7
1.25.E-01	97.3
7.50.E-02	91.8
3.45.E-02	67.7
2.49.E-02	59.2
1.79.E-02	50.6
1.33.E-02	45.2
9.57.E-03	35.4
6.48.E-03	25.9
4.26.E-03	18.8
3.44.E-03	13.3
2.68.E-03	10.1
8.73.E-04	3.3
-	-
-	-

Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	18.95	19.00	306.2	VIA UMIDA	92	-	0	15	77	8	32	5	2.6.E-02	1.7.E-02

NOTE:

GS= 2.700



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

Sperimentatore:	Diaby
Direttore:	Saccenti
Data emissione:	11/12/2018
Rev.	0

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI2
Profondità prova [m]:	18.95 - 19.00
Prova:	LLP1
Data prova:	26/11/2018

Normativa di riferimento: ASTM D4318

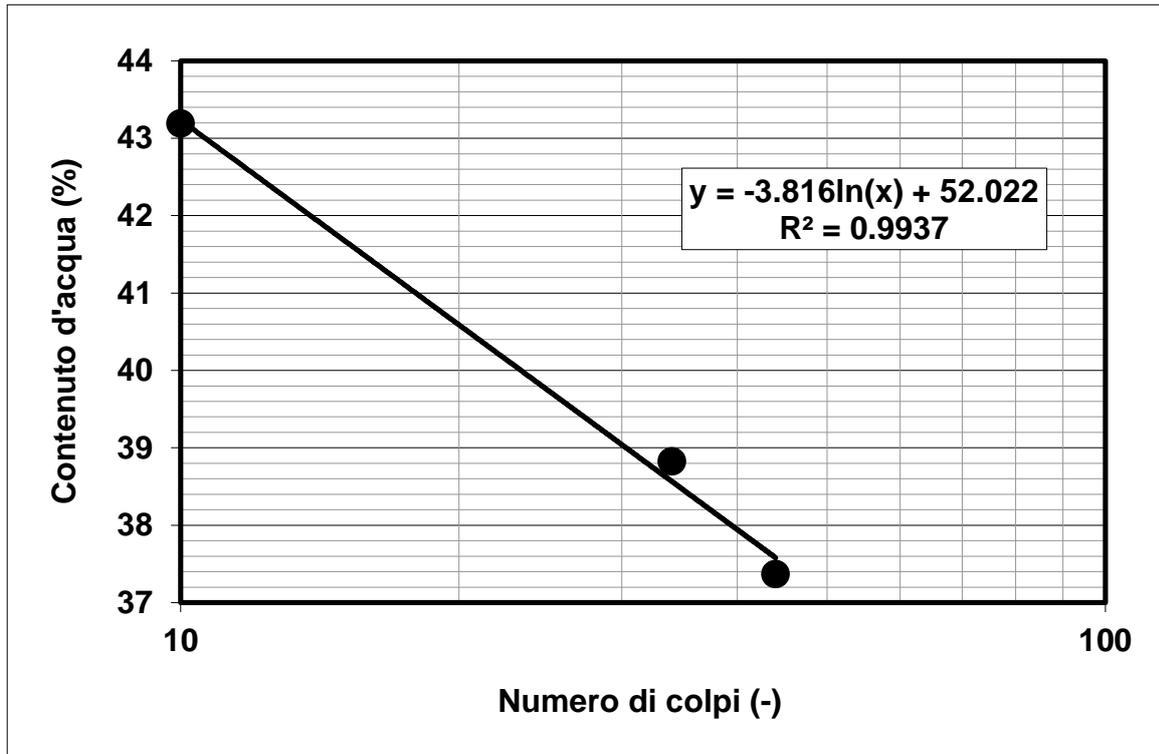
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	44	34	10
massa tara (g)	22.34	21	22.52
massa umido + tara (g)	78.22	84.22	84.85
massa secco + tara (g)	63.02	66.54	66.05
umidità (%)	37.36	38.82	43.19

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.23	22.63
massa umido + tara (g)	37.72	38.03
massa secco + tara (g)	35.1	35.43
umidità (%)	20.36	20.31

Limite Liquido LL (%)	39.7
Limite Plastico LP (%)	20.3
Indice Plastico IP(%)	19.4



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

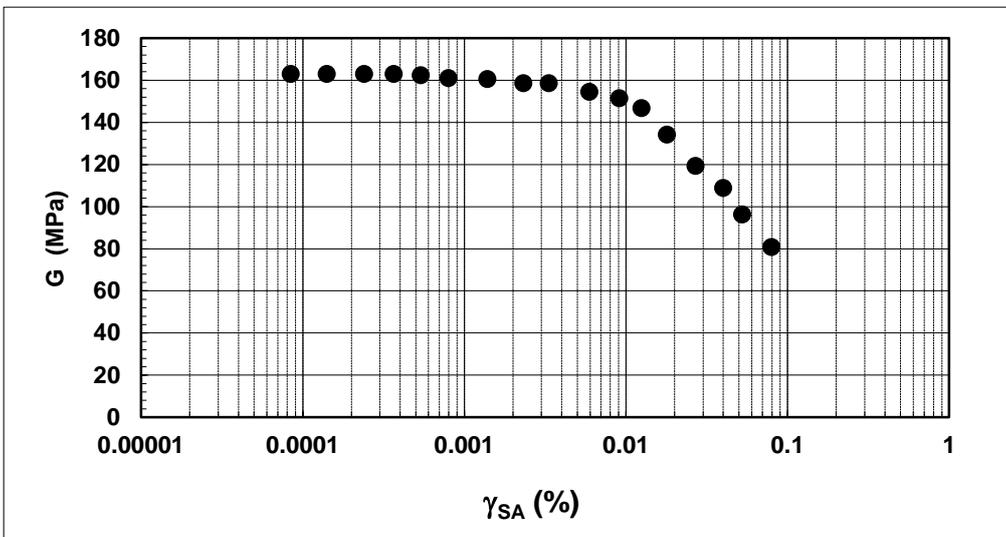
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	C12
Profondità prova [m]:	18.95 - 19.05
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	11/12/2018

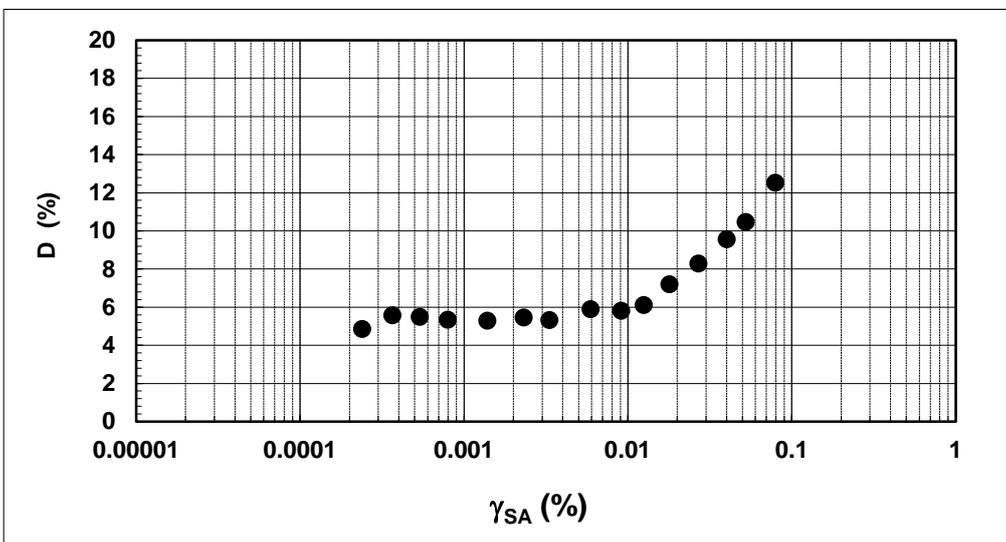
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	95.50	22.65	11.0	0.298	260	260	1.0	200.0	0.91	50.0	95.6	22.62	11.2	0.302	100	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.70



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- $K = \sigma'_r / \sigma'_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:	
--------------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

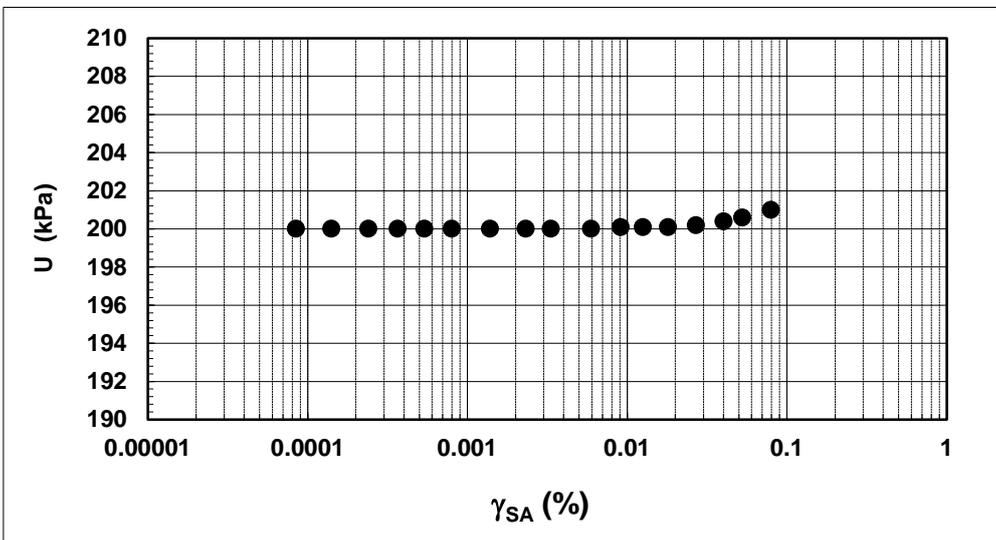
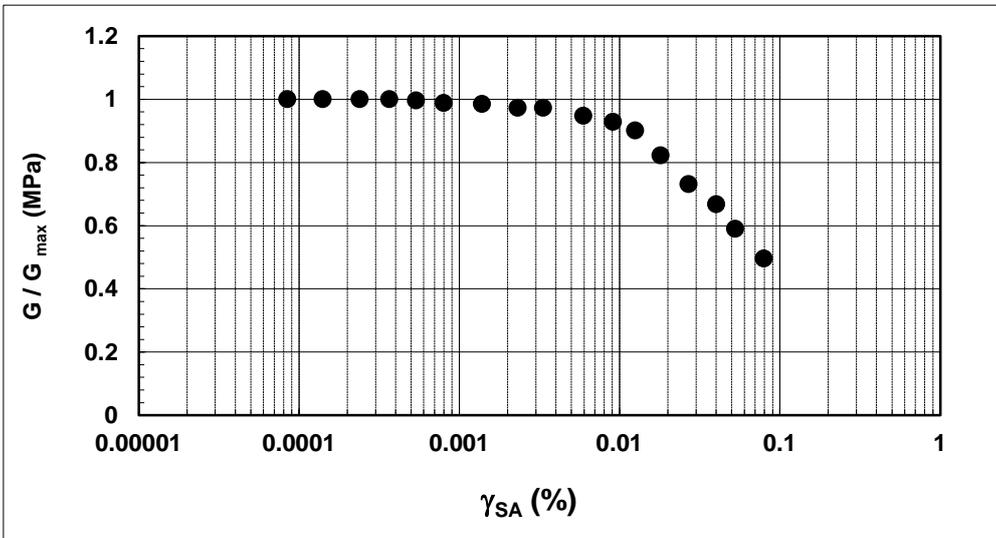
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI2
Profondità prova [m]:	18.95 - 19.05
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	11/12/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	95.50	22.65	11.0	0.298	260	260	1.0	200.0	0.91	50.0	95.6	22.62	11.2	0.3	100	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																2.700	



Note:	
--------------	--

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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	18/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTT. DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI2
Profondità prova [m]:	18.95 - 19.05
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	11/12/2018

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	
50.00	95.50	22.65	11.0	0.298	260	260	1.0	200.0	0.91	50.0	95.6	22.62	11.2	0.302	superficie di appoggio	INDISTURBATO
															eccitazione	PIETRA POROSA
																TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
162.93	1.000	0.00008		200.0
162.96	1.000	0.00014	0.00	200.0
162.96	1.000	0.00024	4.84	200.0
162.93	1.000	0.00037	5.57	200.0
162.28	0.996	0.00054	5.49	200.0
161.01	0.988	0.00080	5.33	200.0
160.52	0.985	0.00139	5.28	200.0
158.57	0.973	0.00232	5.45	200.0
158.48	0.973	0.00333	5.32	200.0
154.44	0.948	0.00595	5.89	200.0
151.34	0.929	0.00910	5.81	200.1
146.78	0.901	0.01251	6.11	200.1
134.07	0.823	0.01798	7.20	200.1
119.25	0.732	0.02695	8.28	200.2
108.77	0.668	0.04010	9.55	200.4
96.19	0.590	0.05251	10.47	200.6
80.81	0.496	0.07955	12.51	201.0

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

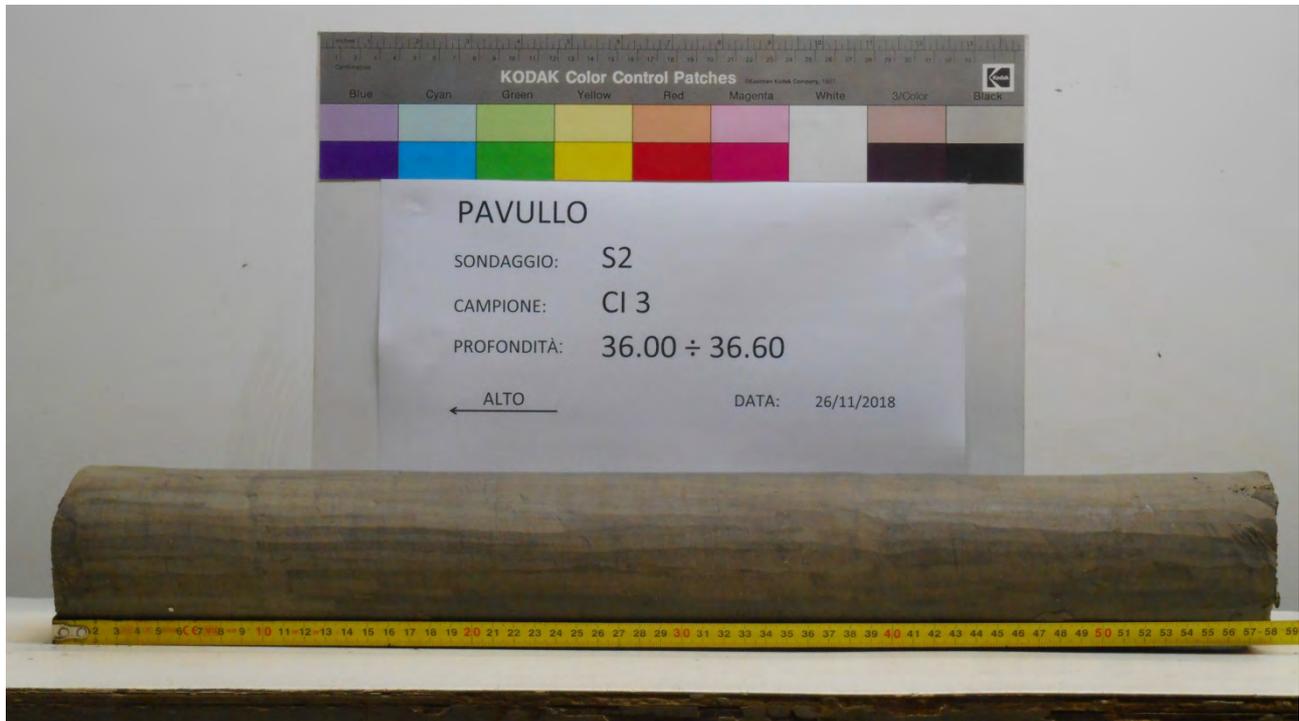
Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	18/01/2019	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI 3
Profondità prelievo [m]:	36.00 – 36.60
Data prova:	26/11/2018



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

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	21/12/2018	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D422/07

Classificazione di riferimento: AGI 1977

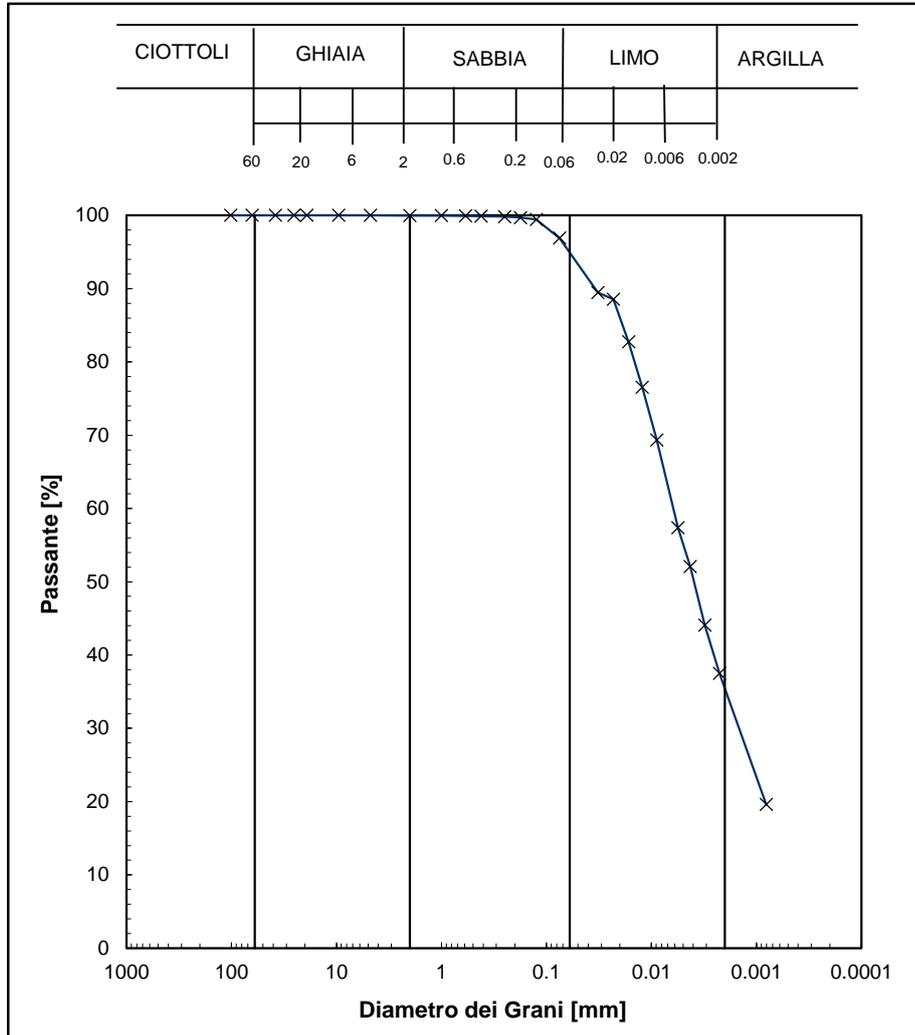
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 047/2018

Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI3
Profondità prelievo [m]:	36.45 - 36.6
Prova:	Gr 1
Data prova:	07/12/2018

Vagliatura		
Diametro vaglio [mm]	Massa tratt. [g]	Massa tratt. [%]
101.6	0	0
63.5	0	0
38.1	0	0
25.4	0	0
19.1	0	0
9.53	0	0
4.75	0	0
2	0.1	0.0
1	0	0
0.59	0.1	0.0
0.42	0.1	0.0
0.25	0.2	0.1
0.177	0.4	0.1
0.125	0.8	0.3
0.075	7.6	2.5

Aerometria		
Tempo [min]	Temp. [°C]	Letture [-]
2	18.0	1.0252
4	18.0	1.0250
8	18.0	1.0237
15	18.0	1.0223
30	17.5	1.0208
79	18.0	1.0180
137	18.5	1.0167
265	19.0	1.0148
504	20.0	1.0131
4288	19.5	1.0092



Curva granulom.	
Diametro [mm]	Passante [%]
1.02.E+02	100.0
6.35.E+01	100.0
3.81.E+01	100.0
2.54.E+01	100.0
1.91.E+01	100.0
9.53.E+00	100.0
4.75.E+00	100.0
2.00.E+00	100.0
1.00.E+00	100.0
5.90.E-01	99.9
4.20.E-01	99.9
2.50.E-01	99.8
1.77.E-01	99.7
1.25.E-01	99.4
7.50.E-02	96.9
3.24.E-02	89.4
2.30.E-02	88.6
1.65.E-02	82.8
1.22.E-02	76.5
8.87.E-03	69.3
5.59.E-03	57.4
4.27.E-03	52.1
3.10.E-03	44.1
2.25.E-03	37.5
8.06.E-04	19.6
-	-
-	-

Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	36.45	36.60	301.4	VIA UMIDA	97	-	0	5	59	35	35	-	6.2.E-03	3.9.E-03

NOTE:

La soluzione disperdente è stata preparata il 14/05/18

GS= 2.700



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

Sperimentatore:	Diaby
Direttore:	Saccenti
Data emissione:	26/11/2018
Rev.	0

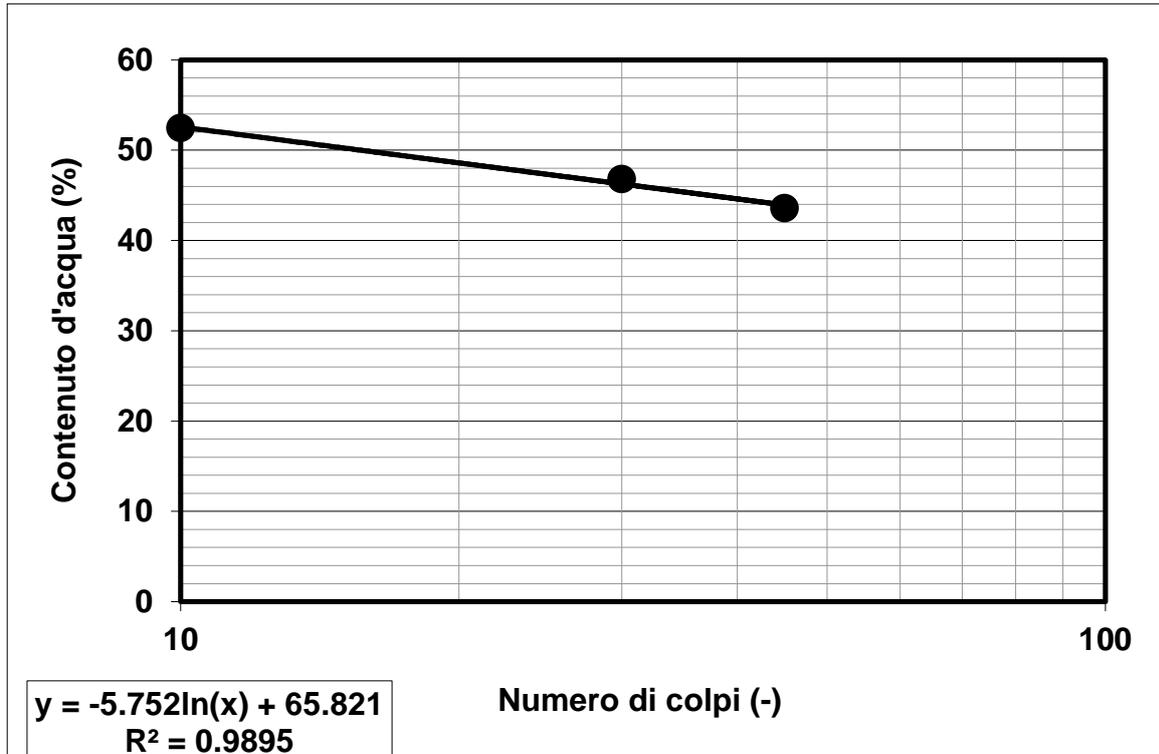
Committente:	DOTTOR DEL MASCHIO
Cantiere:	PAVULLO
Sondaggio:	S2
Campione:	CI3
Profondità prova [m]:	36.45 - 36.60
Prova:	LLP1
Data prova:	26/11/18

Normativa di riferimento: ASTM D4318
 N° certificato di prova:
 N° verbale di accettazione: 047/2018

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	45	30	10
massa tara (g)	22.82	22.26	22.44
massa umido + tara (g)	59.44	62.27	64.94
massa secco + tara (g)	48.33	49.52	50.32
umidità (%)	43.55	46.77	52.44

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.22	22.15
massa umido + tara (g)	34.72	35.56
massa secco + tara (g)	32.48	33.15
umidità (%)	21.83	21.91

Limite Liquido LL (%)	47.3
Limite Plastico LP (%)	21.9
Indice Plastico IP(%)	25.4



Note: