



COMUNE DI BORGHI
(PROVINCIA DI FORLÌ-CESENA)

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE TECNICA

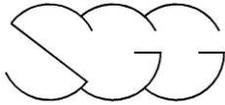
Progettista responsabile
Antonio Maria Baldi (S.G.G. srl)

Gruppo di lavoro S.G.G. srl
Filippo Ricci (coordinatore e interpretazione) Duccio Notari (G.I.S. ed elaborazioni cartografiche)



INDICE

| | | |
|------|--|---------|
| 1 | INTRODUZIONE | Pag. 4 |
| 2 | SISMICITA' DEL COMUNE DI BORGHI | Pag. 7 |
| 3 | INQUADRAMENTO STRUTTURALE | Pag. 11 |
| 4 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO | Pag. 13 |
| 5 | INDAGINI SVOLTE | |
| 5.1 | Indagini pregresse | Pag. 16 |
| 5.2 | Indagini attuali | Pag. 17 |
| 6 | ESECUZIONE DEI RILIEVI | Pag. 21 |
| 7 | ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI | Pag. 25 |
| 8 | ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI | Pag. 28 |
| 9 | ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA | |
| 9.1 | Introduzione | Pag. 33 |
| 9.2 | Carta Geologico-tecnica | Pag. 33 |
| 9.3 | Carta delle frequenze | Pag. 36 |
| 9.4 | Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) | Pag. 39 |
| 9.5 | Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs) | Pag. 41 |
| 10 | DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA | Pag. 44 |
| 11 | CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO | Pag. 46 |
| 12 | TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO | |
| 12.1 | Introduzione ed inquadramento area | Pag. 49 |
| 12.2 | Indagini integrative per il III° livello | Pag. 50 |
| 12.3 | Dati di base | Pag. 51 |
| 12.4 | Analisi di risposta sismica locale | Pag. 58 |
| 12.5 | Verifiche di stabilità e determinazione degli spostamenti | Pag. 66 |



APPENDICE

Indagini I° e II° livello

- | | |
|-------------------------|---------|
| - Prove Masw | Pag. 72 |
| - Misure HVSR | Pag. 78 |
| - Prove penetrometriche | Pag. 84 |
| - | |

Indagini III° livello Pag. 88

ELENCO ELABORATI

- Carta geologico-tecnica
- Carta delle indagini
- Carta delle frequenze
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Carta della velocità delle onde di taglio s (V_s)
- Carta del fattore di amplificazione PGA
- Carta del fattore di amplificazione intensità spettrale $0,1s < T_0 < 0,5s$
- Carta del fattore di amplificazione intensità spettrale $0,5s < T_0 < 1,0s$

1 - INTRODUZIONE

Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine di microzonazione sismica eseguita per conto del Comune di Borghi (FC).



Figura 1 – Indagine effettuata nel territorio di Borghi

In accordo con l'Amministrazione Comunale lo studio di microzonazione sismica riguarda essenzialmente le zone urbanizzate e quelle limitrofe, tralasciando le parti prive di urbanizzazioni significative. La cartografia prodotta è in scala 1:5.000 e 1:10.000.

Lo scopo dello studio è quello di individuare le varie zone omogenee dal punto di vista sismico e di determinare l'amplificazione locale in ognuno di questi settori. Nello specifico le varie indagini e prospezioni hanno permesso di ricostruire, sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche, i rapporti geometrici degli strati di terreno (definizione della profondità del bedrock sismico e dello spessore del deposito di copertura), i



profili di velocità delle onde superficiali ed il computo del valore di V_{s30} e di V_{sH} . A tal scopo sono state realizzate su tutto il territorio comunale delle misure tomografiche HVSR, delle prove sismiche MASW e delle prove penetrometriche.

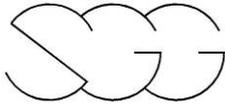
Ad integrazione e completamento di tali prove sono state riprese ed elaborate delle indagini in sito fornite dall'amministrazione comunale e costituite da sondaggi geognostici, prove penetrometriche, profili sismici, prove MASW.

Nella presente relazione sono illustrate le metodologie esecutive ed interpretative delle misure geofisiche, i risultati di tutte le indagini ed in particolar modo le elaborazioni e la cartografia finale relativamente alla microzonazione sismica del territorio comunale di Borghi.

Gli elaborati grafici sono forniti in formato shapefile georeferenziato nel sistema WGS84UTM33N, mentre i dati tabellari sono riportati in formato *mdb* seguendo gli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" di Microzonazione sismica - Versione2.0 (Giugno 2012).

Il presente studio è redatto in conformità alle seguenti normative ed indirizzi:

- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Gruppo di lavoro MS, 2008. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- OPCM 3907 del 13 novembre 2010 - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Allegati: "Specifiche tecniche per la redazione in ambiente GIS degli elaborati cartografici della microzonazione sismica" e "Simbologia per la stesura della carta delle indagini secondo quanto previsto dagli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.
- Deliberazione dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 "Disciplina generale sulla tutela e

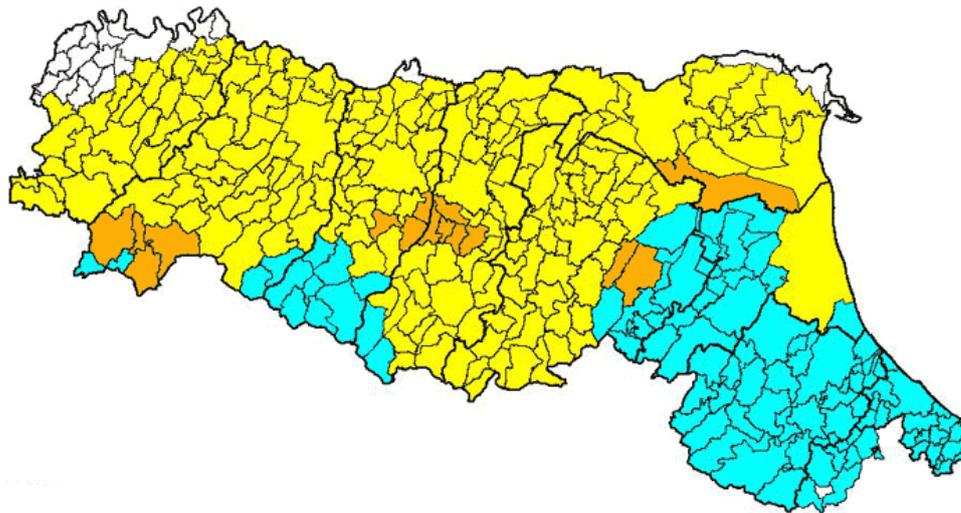


l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna n° 1051 del 18/07/2011 "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 3907/2010 e ss.mm."
- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna 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 4007/2012 a favore degli enti locali".

2 - SISMICITA' DEL COMUNE DI BORGHI

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003, il Comune di Borghi fa parte dei comuni sismici classificati in zona 2 (sismicità media).



Legenda

| | | |
|--------|-----|--|
| zona 2 | 96 | precedente riclassificazione (1983-1984) |
| | 16 | |
| zona 3 | 214 | |
| zona 4 | 22 | |

n. Comuni coinvolti

Figura 2 - Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003 (Allegato 1, punto 3 "prima applicazione")

Attualmente la pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale è stata definita con l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006 attraverso la mappa di pericolosità sismica per il territorio nazionale (fig. 3). I valori di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni sono

riferiti a suoli rigidi di categoria A ($V_{s30} > 800$ m/s) e rappresentano la pericolosità sismica di base del territorio.

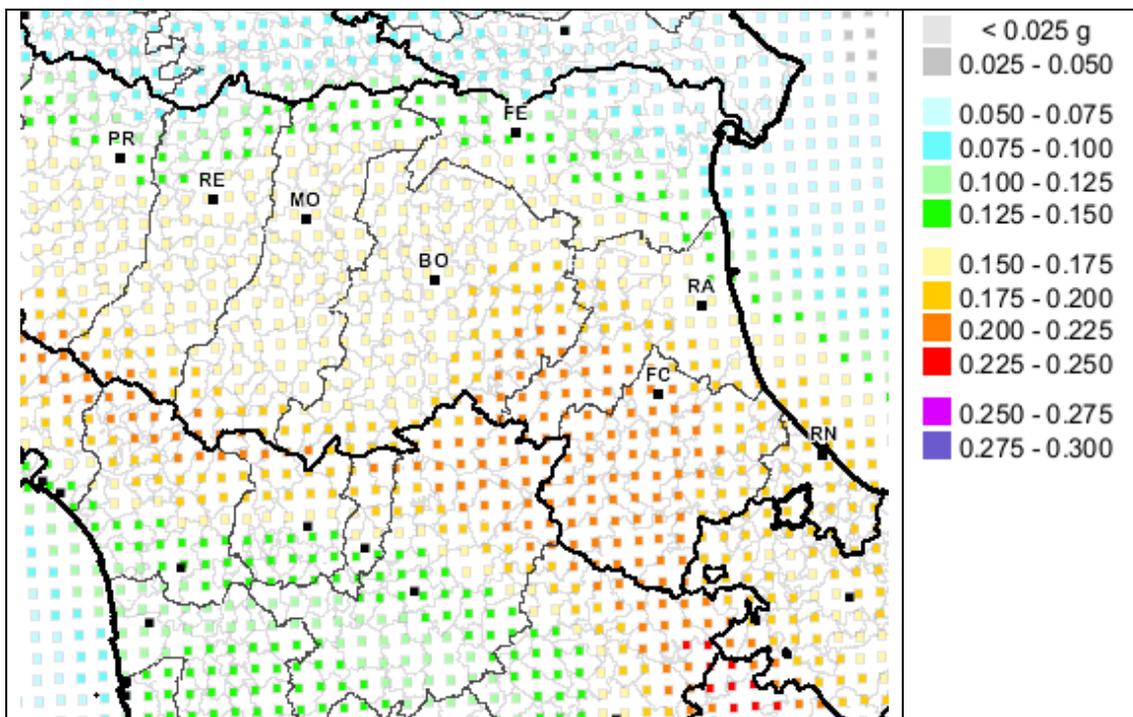


Figura 3 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005.)

Dalla carta sopra riportata è possibile dedurre che il territorio del Comune di Borghi fa parte di un'area caratterizzata dai valori dell'accelerazione massima compresi nell'intervallo tra 0,175 e 0,200 g, con il valore di 0,187 g riscontrato come PGA per il capoluogo comunale.

Di seguito (fig. 4) viene riportato l'elenco dei terremoti che hanno interessato il territorio comunale di Borghi, con evidenziato data, ora, epicentro e magnitudo.

Numero di eventi: 3

| Effetti | In occasione del terremoto del: | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------|----|----|----|----|------------------------|-----|----|------|
| Is | Anno | Me | Gi | Or | Mi | Area epicentrale | Np | Ix | Mw |
| 7 | 1916 | 08 | 16 | 07 | 06 | Alto Adriatico | 256 | 8 | 5.92 |
| NF | 1986 | 12 | 06 | 17 | 07 | BONDENO | 604 | 6 | 4.56 |
| 4-5 | 1997 | 09 | 26 | 09 | 40 | Appennino umbro-march. | 869 | 9 | 6.05 |

Figura 4 Storia sismica di Borghi, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>.

Ai fini della parametrizzazione sismica assume particolare importanza il valore della magnitudo attesa. Tale parametro entra in gioco in quanto, maggiore è la magnitudo maggiore è l'energia rilasciata e quindi la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza.

Secondo la zonazione attualmente in vigore il territorio di Borghi ricade all'interno della zona sismogenetica 918 (fig. 5). La magnitudo attesa per l'area in studio risulta essere pari a 6,37 (fig. 6).

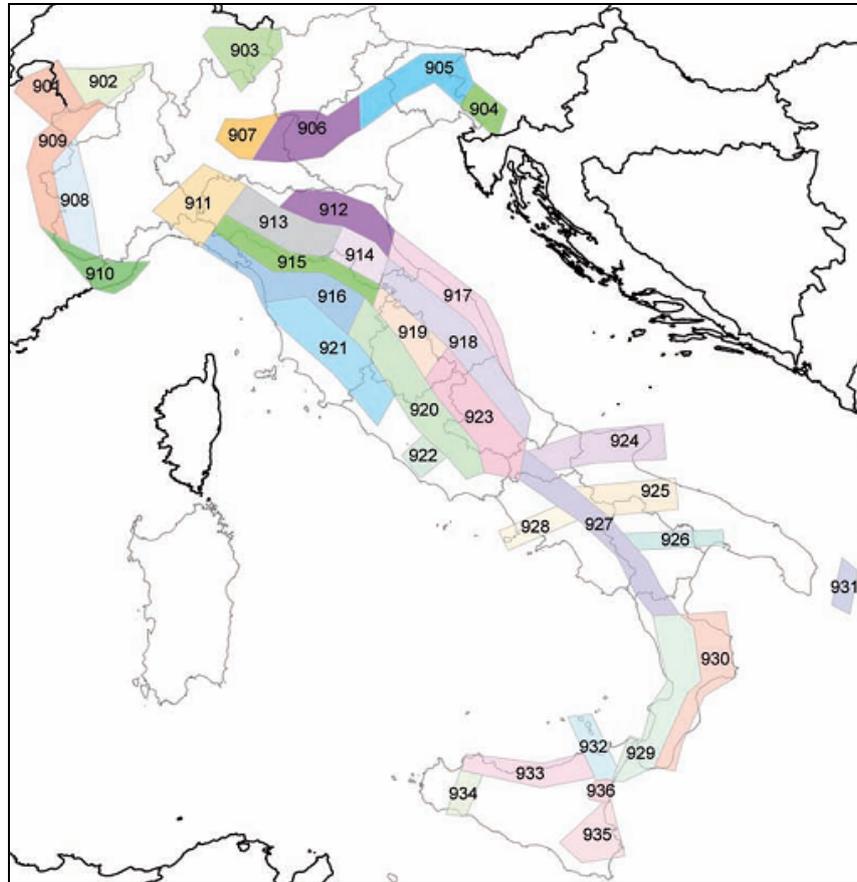


Figura 5 Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento (Gruppo di lavoro, 2004)

| Nome ZS | Numero ZS | M_{wmax} |
|--|---|------------|
| Colli Albani, Etna | 922, 936 | 5.45 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | 5.91 |
| Altre zone | 901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934 | 6.14 |
| Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo | 918, 919, 910 | 6.37 |
| Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica | 905, 906, 915, 930 | 6.60 |
| Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto | 924, 925, 931 | 6.83 |
| Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata | 923, 927 | 7.06 |
| Calabria tirrenica, Iblei | 929, 935 | 7.29 |

Figura 6 Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche



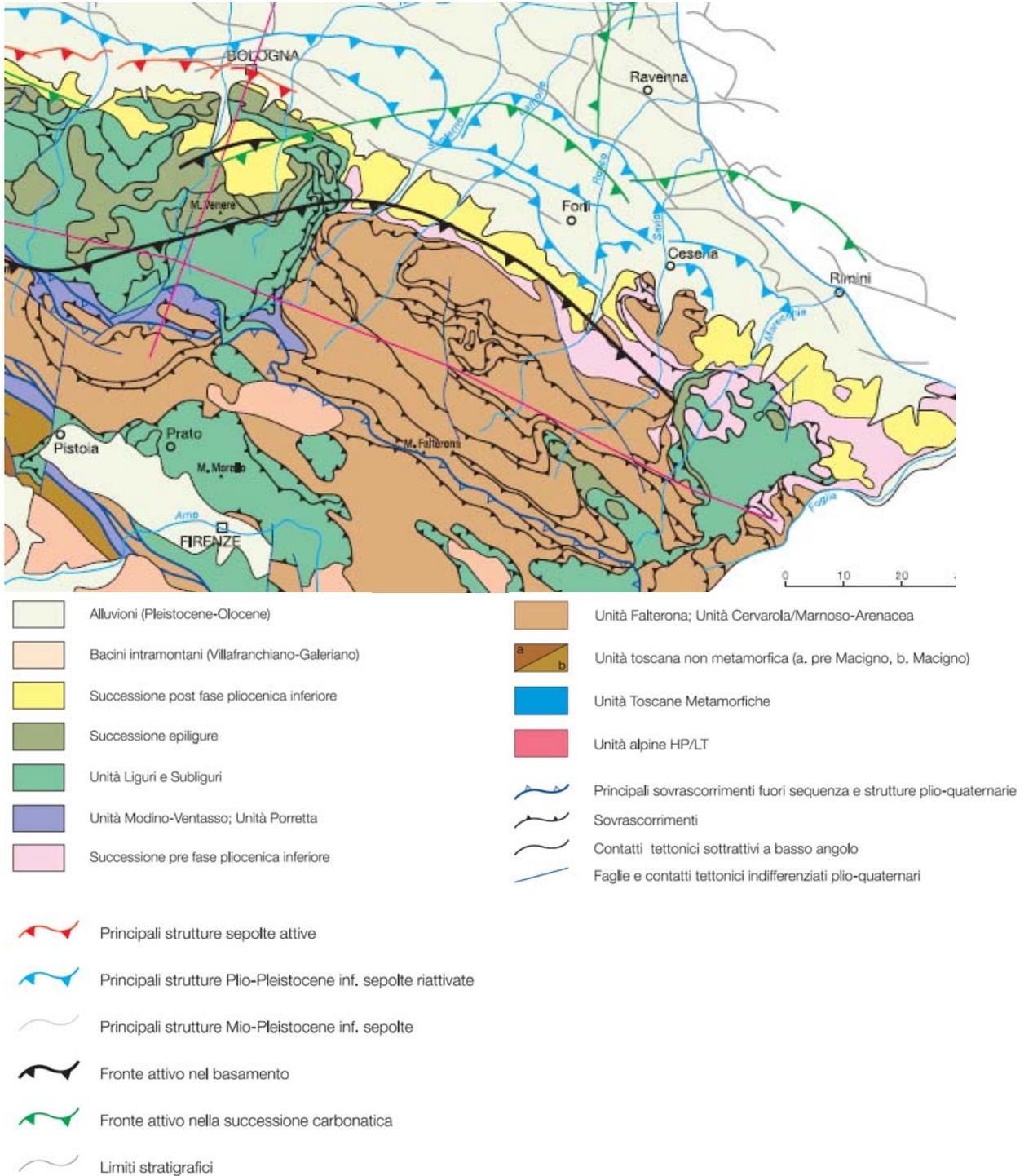
3 - INQUADRAMENTO STRUTTURALE

Il territorio del Comune di Borghi, dal punto di vista geologico-strutturale, è caratterizzato dal klipper del Marecchia: un vasto e complesso corpo roccioso, dovuto ad una falda isolata marginalmente dall'erosione e, a sua volta, separata dalla sottostante Formazione marnoso-arenacea dal piano di scorrimento.

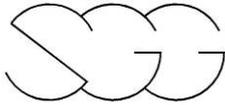
Il sovrascorrimento della Val Marecchia, sul quale ricade gran parte del territorio in esame, e l'intero rilievo appenninico di pertinenza, sono esclusi dal sistema di falde Liguridi eo-mesoalpine.

Il complesso ciclo orogenetico, sviluppatosi in fasi successive tra l'Oligocene inferiore e il Pleistocene inferiore, che ha portato alla strutturazione dell'Appennino settentrionale, «si identifica con l'evoluzione dell'avanfossa oligo-miocenica che, successivamente alla fase di esumazione dell'edificio eo-mesoalpino, si instaura al fronte della catena progradante verso l'avampaese apulo del margine della placca Adria». Nei fondali del bacino marino subsidente, corrispondente a questa avanfossa, si andavano poi progressivamente depositando potenti successioni di sedimenti torbiditici

Il sistema, costituito dal rilievo montuoso in formazione e dalla sua avanfossa, tendeva poi progressivamente a spostarsi verso oriente fino a dar luogo all'attuale fossa adriatica. Durante questo processo si sono depositate masse rocciose sempre più giovani, mentre procedevano nella stessa direzione gli accavallamenti e le deformazioni compressive dell'orogenesi. Contemporaneamente all'attuazione dei sistemi di scorrimenti, che hanno scomposto il prisma silicoclastico di avanfossa, «le unità della catena appenninica si strutturano in falde, associate a mélanges sinorogenici, al di sotto delle Liguridi dell'edificio eo-mesoalpino e della loro copertura post mesoalpina».



.Figura 7 Schema tettonico tratto dalle note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna



4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Borghi è collocato nella fascia pedecollinare romagnola al passaggio fra l'alta pianura e le aree di conoide dei Torrenti Uso e Rubicone, e la media collina.

Il territorio di Borghi, dal punto di vista geologico strutturale, è caratterizzato dal klipper del Marecchia: l'intera struttura klipper – Formazione marnoso-arenacea poggia poi su rocce della successione carbonatica mesozoica e verso la pianura si immerge sotto una potente coltre, depositatasi successivamente al Pliocene inferiore.

I rilievi collinari presenti nell'ambito comunale ed in particolare la zona del capoluogo sono costituiti da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da una alternanza di livelli arenacei e subordinatamente calcarenitici e livelli pelitici; la serie litostratigrafica appartiene al Pliocene inferiore ed è assai particolare in quanto immersa in prevalenti facies argillose di mare profondo.

L'ambiente di formazione di queste unità arenacea è invece di costa o mare basso con abbondanti macrofossili e tritume conchigliare.

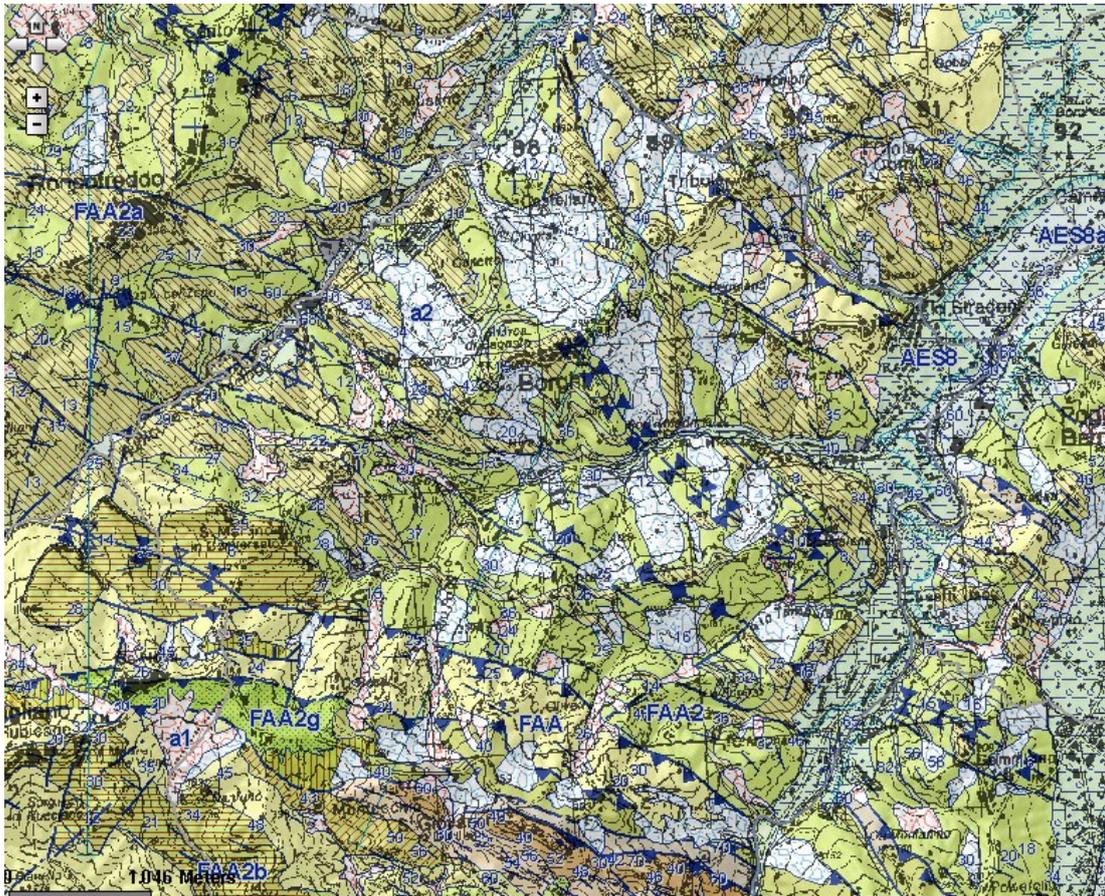
Le molasse, essendo essenzialmente quarzoso-feldspatiche, presentano una debole cementazione calcarea e sono soggette ad una facile alterazione nella parte esposta agli agenti meteorici.

La base del livello arenaceo più alto, che corrisponde grossomodo all'attuale capoluogo, poggia su unità argillose a loro volta giacenti su di un altro potente orizzonte pluristrato di arenarie compatte. Questa successione alla cui base è posta l'unità litica garantisce su tutto il versante buone prerogative statiche.

Le argille marnose grigio azzurre e quelle varicolori affiorano prevalentemente nel settore centro meridionale del comune.

Il territorio comunale è caratterizzato da numerosi depositi franosi sia attivi che quiescenti e di diversa origine.

La sottostante Carta Geologica (fig. 8) è prodotta dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna.



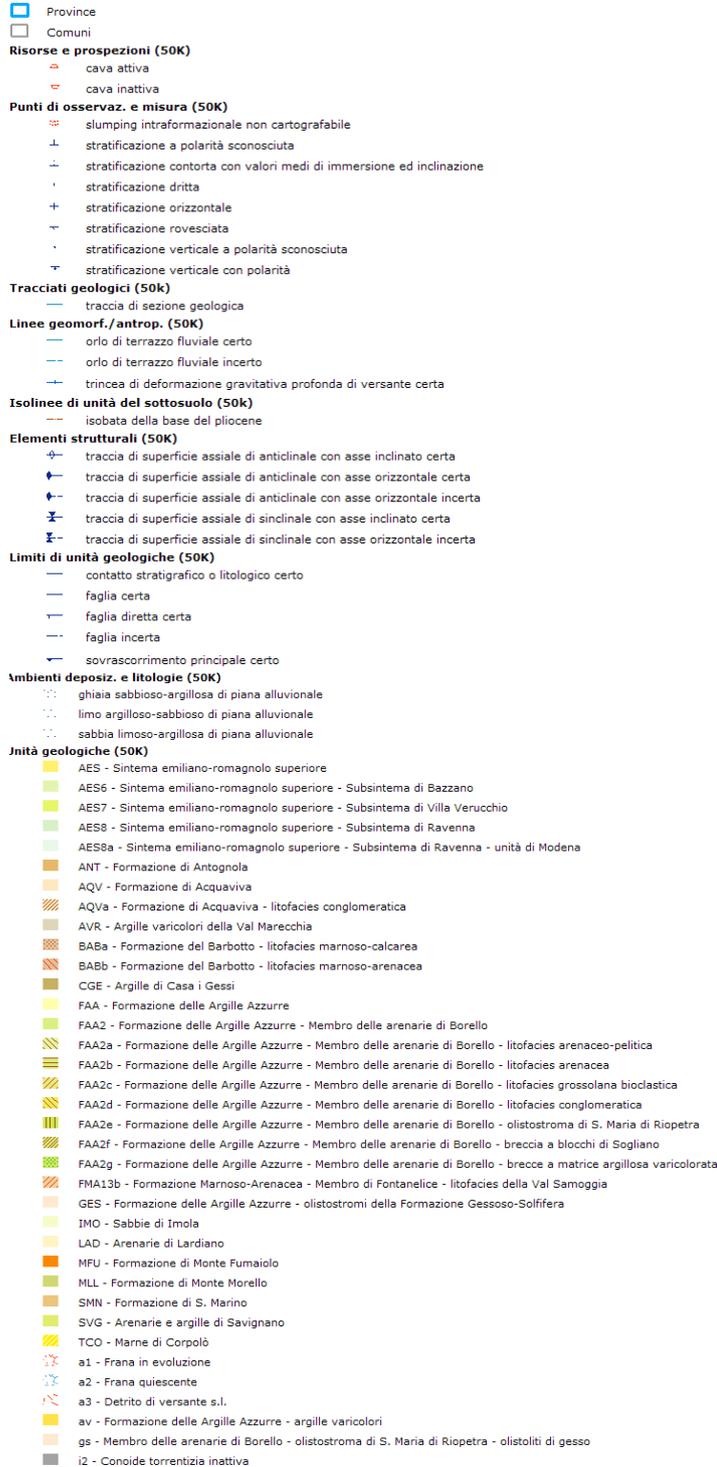
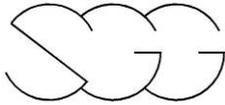


Figura 8- Estratto della Carta Geologica della Regione Emilia Romagna



5 - INDAGINI SVOLTE

5.1 Indagini pregresse

La prima fase di tale incarico si è basata sulla raccolta dei dati esistenti ed in particolare sul reperimento dei risultati delle indagini precedentemente svolte nel territorio del Comune di Borghi. L'amministrazione comunale ci ha fornito i dati relativi a delle prove, identificabili come indagini dirette (prove penetrometriche e sondaggi geognostici) e come indagini indirette (prove geofisiche MASW, prove Re.Mi).

L'elevato numero di prove disponibili e l'esistenza di specifici elaborati geologici di dettaglio ha perciò permesso di limitare le nuove indagini; per quest'ultime sono state preferite le misure tomografiche e quelle sismiche nei settori più scoperti dalle precedenti indagini, nelle aree urbanizzate ed in quelli in cui sono previste della modifiche urbanistiche.

Complessivamente, le precedenti indagini sono così riassumibili:

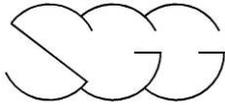
Indagini dirette

- n° 25 sondaggi geognostici
- n° 218 prove penetrometriche CPT

Indagini indirette

- n° 13 prove MASW
- n° 7 profili sismici
- n° 21 prove HVSR

Gli elaborati grafici di tali prove non verranno consegnati su formato cartaceo, ma fanno parte del database GIS secondo quanto previsto dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" Versione2.0 (Giugno 2012).



Per ogni indagine puntuale o lineare è stato compilato il database, seguendo una maschera di immissione dati personalizzata.

| pkey_spu | pkey_indpu | classe_ind | tipo_ind | ID_INDP | |
|---------------------------------|------------|---------------|----------|-----------------|---------|
| 1 | 1 | GS | CPTU | 40004P001CPTU01 | |
| id_indpuex | | arch_ex | | | |
| B1 (1) | | SPG | | | |
| note_ind | | | | | |
| | | | | | |
| prof_top | | prof_bot | | spessore | |
| 0 | | | | -8,8 | |
| quota_slm_top | | quota_slm_bot | | data_ind | doc_pag |
| 186 | | 177,2 | | 17/01/2011 | 5 |
| doc_ind | | | | | |
| ..\..\Indagini\Documenti\B1.pdf | | | | | |

Ad ogni entità inserita nel database, che è stato popolato secondo i campi previsti dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” Versione2.0 (Giugno 2012), è stato collegato con un oggetto nello shapefile puntuale o lineare come indicato dagli stessi standard. Sono stati inoltre aggiunti alcuni nuovi campi per facilitare le funzioni di elaborazione grafica ed al fine di aumentare le informazioni ottenibili dagli shapefile.

5.2 Indagini attuali

La prospezione geofisica e le misure tomografiche sono state eseguite nei giorni dal 6 al 15 Marzo 2013. L'ubicazione complessiva delle indagini è riportata in dettaglio nell'elaborato “Carta delle indagini”.

L'indagine geofisica e geotecnica si è svolta attraverso l'esecuzione di 5 prove MASW per l'acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh, con l'esecuzione di 5 misure HVSR (fig. 9) a stazione singola della durata di 20

minuti ciascuna e con 3 prove penetrometriche.



Figura 9 – Misura HVSR

Le prove vengono riassunte nelle successive tabelle con la sigla con cui sono contraddistinte nella “Carta delle Indagini”

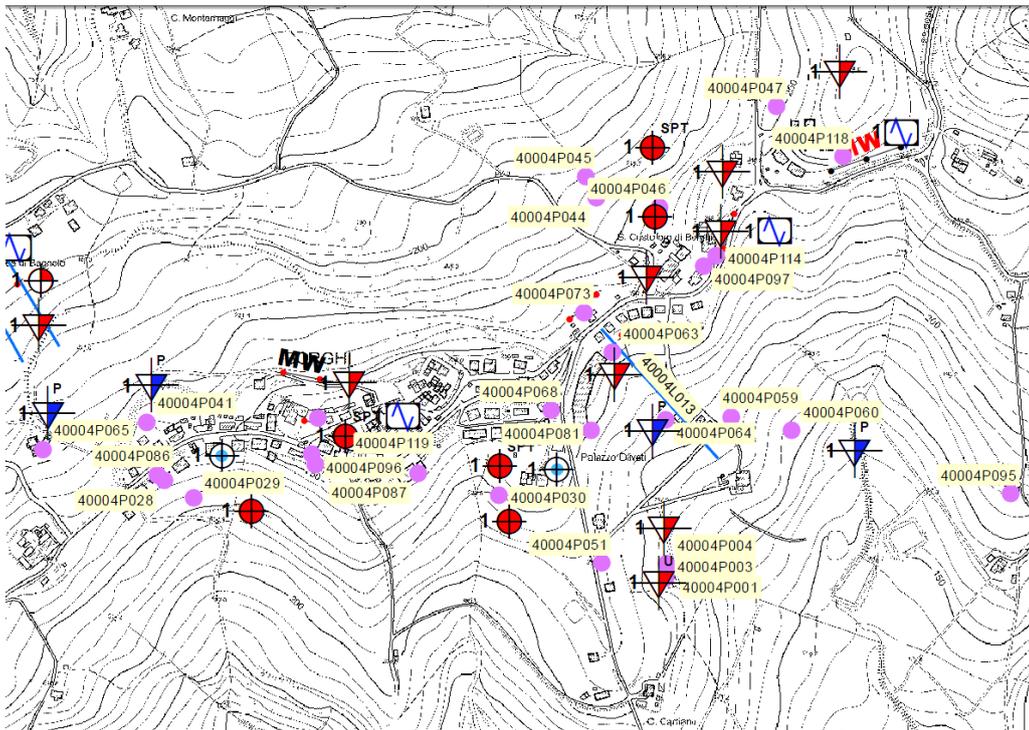
| | |
|--------|-----------------|
| MASW 1 | 40004L016MASW23 |
| MASW 2 | 40004L016MASW24 |
| MASW 3 | 40004L016MASW25 |
| MASW 4 | 40004L016MASW26 |
| MASW 5 | 40004L016MASW27 |

| | |
|--------|------------------|
| HVSR 1 | 40004P123HVSR138 |
| HVSR 2 | 40004P124HVSR139 |
| HVSR 3 | 40004P125HVSR140 |
| HVSR 4 | 40004P126HVSR141 |
| HVSR 5 | 40004P127HVSR142 |

| | |
|------------------------|----------------|
| PROVA PENETROMETRICA 1 | 40004P128DP144 |
| PROVA PENETROMETRICA 2 | 40004P129DP145 |
| PROVA PENETROMETRICA 3 | 40004P130DP146 |

La carta delle indagini individua la posizione planimetrica di tutte le indagini svolte nell’ambito del progetto in esame. Tale carta, ed il relativo database, sono stati redatti, come già descritto in precedenza, secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” Versione2.0 (Giugno 2012).

Di seguito viene riportato un estratto della Carta delle Indagini e la relativa legenda.



Legenda

Indagini precedenti

- Ubicazione delle indagini puntuali
- Tipologie di indagini puntuali**
- Sondaggio a carotaggio continuo
 - Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
 - Sondaggio con prelievo di campioni
 - Sondaggio con piezometro
 - Prova penetrometrica in foro (SPT)
 - Prova penetrometrica dinamica pesante
 - Prova penetrometrica dinamica leggera
 - Prova penetrometrica statica
 - Prova penetrometrica statica con piezocono
 - Stazione microtremore a stazione singola
- Sezione geologica
- Prove MASW

Indagini attuali

- Ubicazione delle indagini puntuali
- Stazione microtremore a stazione singola di nuova realizzazione
 - Prova penetrometrica dinamica pesante di nuova realizzazione
- Prove MASW di nuova realizzazione

Figura 10 – Estratto e legenda della Carta delle indagini

6 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

Prove Multi-channel Analysis of Surface Waves (“MASW”)

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell’effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della V_{sH} e della V_{s30} (il valore medio ponderato della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad \text{eq. (1)}$$

in cui V_{si} e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell’i-esimo strato

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d’inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio).

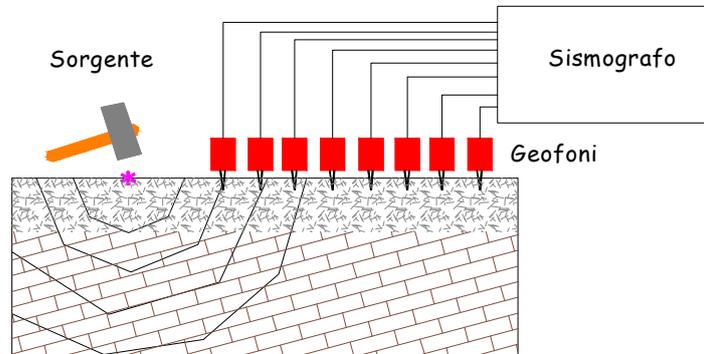


Figura 11 - Stendimento sismico

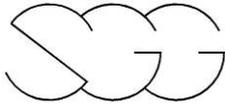
La prova consiste nel produrre in un punto sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (fig. 11) le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Curva HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V). L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente

L'idea di base è quella secondo cui il rapporto H/V consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità delle sorgenti nel corso della registrazione mettendo in evidenza il ruolo della struttura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa a quella



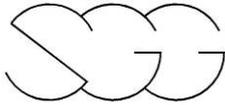
configurazione strutturale (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile dei fenomeni di risonanza e l'ampiezza del massimo della funzione H/V (maggiore è il contrasto di impedenza sismica, maggiore è l'entità del massimo).

La struttura del campo d'onde presente nel terreno (rumore sismico ambientale, microtremore, rumore sismico o seismic noise) è condizionata dalle caratteristiche delle sorgenti che lo determinano (siano esse naturali o antropiche) e dalle proprietà meccaniche dei terreni. Infatti, ciascuna sorgente genera un treno d'onde che raggiunge il punto di misura con caratteristiche che dipendono dall'entità delle sollecitazioni nelle componenti orizzontali e verticali del moto e dalle modalità di propagazione fra la sorgente e il sito in funzione dei fenomeni di riflessione, rifrazione e diffrazione che hanno luogo in corrispondenza di variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni nel sottosuolo. In genere, nel campo di rumore ambientale, saranno presenti sia onde di volume (P e S in quantità variabili) che onde superficiali (Love e Rayleigh).

Se si considera un intervallo di tempo opportunamente lungo (dell'ordine delle decine di minuti), le proprietà medie di un campo d'onde sismiche generato da una molteplicità di sorgenti differenti, distribuite casualmente attorno a un punto di misura, tendono ad avere un andamento che non dipende dalle singole sorgenti che hanno generato il campo, ma solo dalle proprietà del mezzo in cui le onde si propagano e dal livello energetico medio dell'attività antropica o naturale.

In particolare, si può immaginare che, in media, le componenti orizzontali e verticali del moto del suolo tendano a essere sollecitate in modo equivalente, con un'ampiezza media pari al livello medio del rumore in quell'intervallo temporale. In questa ipotesi, i rapporti fra le ampiezze verticali e orizzontali del moto (H/V) saranno statisticamente indipendenti dalle caratteristiche delle sorgenti.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza ν_0 di una copertura



sedimentaria di spessore H sovrapposta a un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento (V_s) e 4 volte lo spessore H ($v_0 = V_s/4H$). Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio o, viceversa a questa ultima se lo spessore H è noto.

Studi teorici mostrano che se il rumore è effettivamente dominato da onde di volume emergenti da direzioni sub-verticali, l'andamento e l'ampiezza della funzione H/V riflettono quelle della funzione di risposta del deposito sedimentario analizzato. In caso contrario si vede che l'ampiezza dei massimi della funzione H/V è correlata (ma non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica presente alla base della copertura.

L'assenza di massimi della funzione H/V suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

Le registrazioni di microtremori, della durata di 20 minuti, sono state effettuate con il tromografo digitale TROMINO ENGY PLUS (specifiche tecniche su www.tromino.it), strumento appositamente progettato per questo scopo.

7 - ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Il metodo “MASW” consente di eseguire un’analisi dei dati sismici in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della velocità delle onde S.

Per l’interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (winMASW Professional Version 4.1).

Il profilo verticale di V_s è ottenuto tramite l’inversione (considerando tanto il modo fondamentale che quelli superiori) delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura si sviluppa in due fasi:

- Determinazione dello spettro della velocità sulla quale si identifica la curva di dispersione
- Inversione della curva di dispersione attraverso l’utilizzo di algoritmi genetici.

L’elaborazione del segnale consiste inizialmente nel calcolo dello spettro di velocità dei dati sismici acquisiti in campagna (fig. 12).

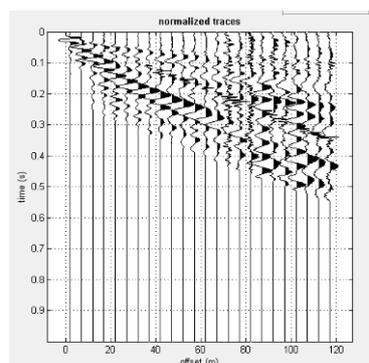


Figura 12: dati di campagna

Sullo spettro di velocità calcolato (fig. 13) è eseguito un “picking” della curva di dispersione (soprassegno con cerchietti) individuando un insieme di punti che appartengono ad un certo modo (in questo caso al modo fondamentale) di propagazione dell’onda superficiale di Rayleigh.

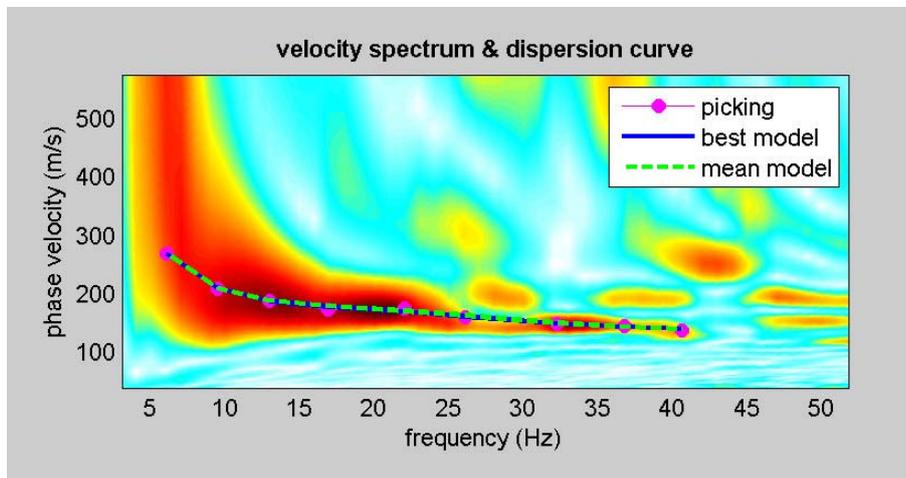


Figura 13: esempio di spettro di velocità tratto dalla prova MASW e relativo picking

Allo scopo di ottenere una prima valutazione del possibile modello del terreno è altresì effettuata una modellazione diretta del terreno tramite il calcolo di una curva di dispersione appartenente ad un modello a quattro strati, i cui valori di V_s e degli spessori sono definiti sulla base di osservazioni desunte e dalla tomografia sismica a rifrazione e delle stratigrafie delle prove penetrometriche.

Successivamente per ottenere il profilo verticale di V_s è eseguita l'inversione della curva di dispersione precedentemente individuata. Tale inversione è eseguita tramite l'utilizzo di algoritmi genetici che consentono di ottenere soluzioni affidabili ed una stima dell'attendibilità del modello ricavato in termini di deviazione standard.

L'operazione di inversione è ottimizzata definendo uno spazio di ricerca i cui confini sono definiti da valori di V_s e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione. Tali assunzioni sono fatte sulla base delle conoscenze geologiche del sito e delle informazioni derivate dalle prove penetrometriche e dai sondaggi geognostici.

Una volta fissati i limiti minimi e massimi dello spazio di ricerca, sono quindi impostati i parametri genetici che definiscono sia il numero di individui (ossia il numero di modelli che costituiscono la popolazione che si evolverà verso soluzioni sempre migliori) sia il numero di generazioni al passare delle quali sono esplorati modelli sempre migliori.

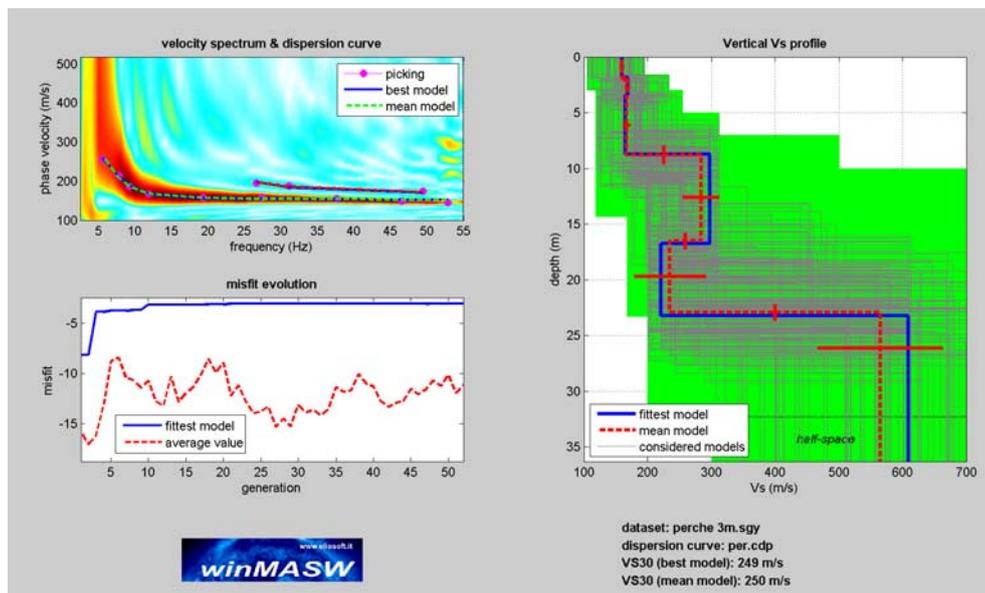
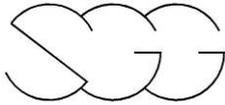


Figura 14: Esempio di risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale VS identificato (modello "migliore" e medio sono tipicamente analoghi). In basso a sinistra l'evolversi del modello al passare delle "generazioni" utile per la valutazione dei valori di deviazione standard tra il modello medio e quello migliore ai fini di verificare l'accettabilità del modello ottenuto (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici – Dal Moro et al., 2007).

L'analisi dei dati attraverso l'uso di algoritmi genetici porta in ultima analisi alla definizione del profilo verticale della Vs (fig. 14) in funzione della profondità con associato il valore del V_{s30} o V_{sH} .



8 - ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI

La misura della funzione H/V è stata effettuata tramite l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per un tempo di venti minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio.

La misura è stata effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tri-direzionale caratterizzato da sufficiente sensibilità.

I risultati di ogni analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software GRILLA, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 secondi) per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto. Su ciascuna di queste finestre viene calcolato lo spettro di ampiezza del segnale nelle tre componenti. In questa fase è stata applicato un sistema di lisciamento (smoothing) triangolare del 10% adottato per la determinazione dello spettro.

L'andamento dei rapporti spettrali è stato quindi ottenuto mediando i valori ottenuti per le diverse finestre temporali considerate. Per definire la qualità delle misure sono state anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura e fatta una stima del relativo intervallo di confidenza.

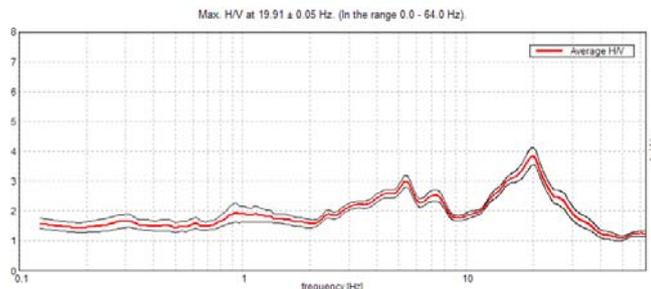
Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- Ciascuna delle tracce è suddivisa in segmenti o finestre di 20 secondi.
- In ogni finestra e per ciascuna delle tracce viene eseguita:
 - un'analisi preliminare: eliminazione di trend lineari (detrend) e tapering delle estremità.
 - la trasformata di Fourier (FFT)
 - il lisciamento degli spettri con finestra triangolare ampia una frazione della frequenza centrale (in questo lavoro generalmente il 10%).

- Le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali vengono mediate in modo geometrico, e vengono calcolati i rapporti HVSR (f), in ciascuna finestra temporale.
- Si calcolano i rapporti HVSR medi ed il relativo intervallo di confidenza al 95%. Alla frequenza di risonanza viene associata una stima dell'incertezza sperimentale.

Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale e stimare il relativo intervallo di confidenza. In particolare, la funzione H/V è ottenuta facendo la media dei valori delle funzioni H/V calcolate in ogni finestra temporale.

Sperimentalmente, l'analisi di qualità della misura può essere effettuata confrontando le ampiezze spettrali medie del rumore misurato lungo le due componenti orizzontali, oppure calcolare diversi valori della funzione H/V di volta in volta proiettando lungo direzioni differenti le ampiezze spettrali ottenute sul piano orizzontale (fig. 15). La stazionarietà nel tempo, invece, può essere valutata rappresentando in funzione del tempo le funzioni H/V ottenute nelle diverse finestre temporali considerate (fig. 15).



H/V TIME HISTORY

DIRECTIONAL H/V

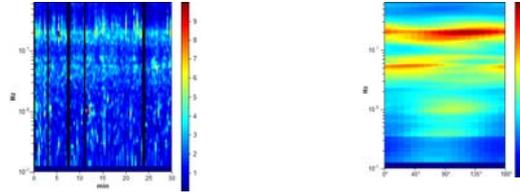


Figura 15: Esempio di risultati delle analisi di rumore sismico relative a una corretta misura H/V. In alto sono riportati i valori del rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza con il relativo intervallo di confidenza al 95%. In basso a sinistra è riportato l'andamento nel tempo (ascissa) dei valori H/V (colori) in funzione della frequenza (ordinata). In basso a destra sono invece riportati i valori della funzione H/V (colore) in funzione della frequenza (in ordinata) al variare della direzione del segnale (ascissa)..

Ai fini dell'affidabilità e della chiarezza del massimo della funzione H/V, infine è effettuata una analisi secondo i criteri determinati nell'ambito del progetto europeo SESAME per l'eliminazione di massimi spuri della funzione H/V, la cui presenza è frutto delle caratteristiche del campo d'onde sismiche e non della struttura locale del sottosuolo.

Infine, un buon indicatore della qualità del picco H/V può essere ottenuto dall'esame degli spettri singoli. Infatti, massimi fisicamente significativi sono generalmente associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale. La curva sottostante può essere considerata come un esempio di picco H/V chiaro e fisicamente significativo (fig. 16).

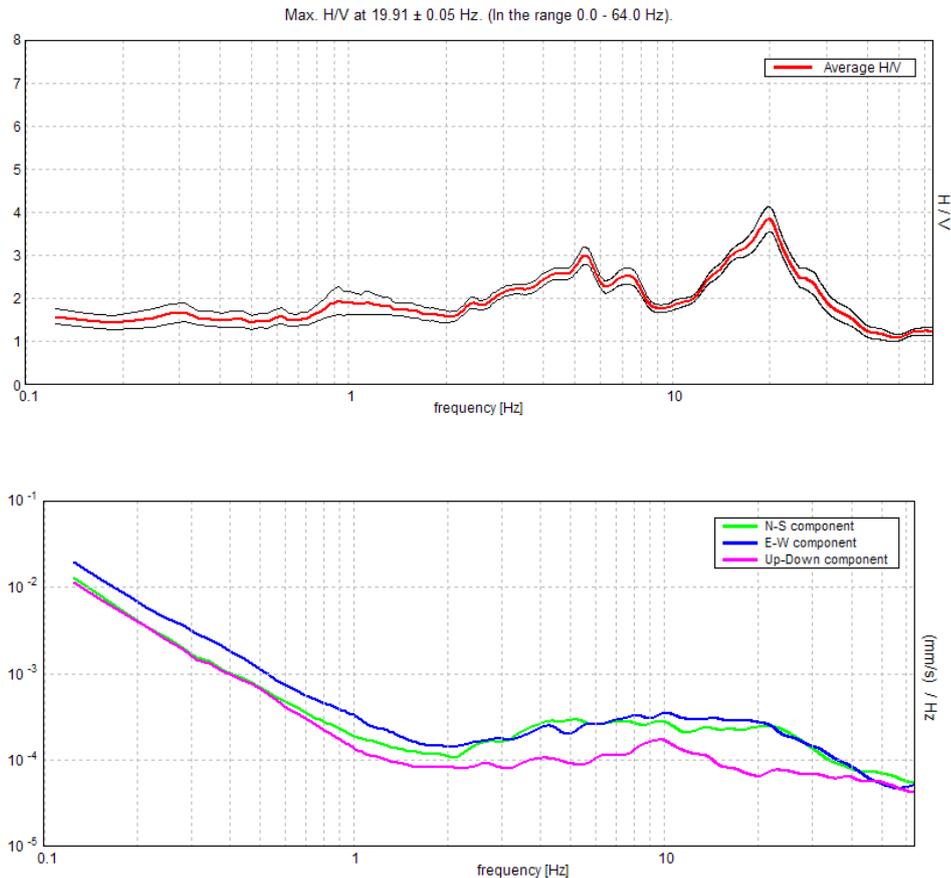
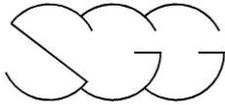


Figura 16: Esempio di andamento degli spettri relativi a una corretta misura H/V nella quale viene identificato un picco fisicamente significativo. Nella figura superiore è riportato l'andamento della curva H/V (curva rossa) e il relativo intervallo di confidenza (curve nere). Nella figura in basso sono riportati gli andamenti degli spettri di ampiezza del rumore sulla componente verticale (curva magenta) e sulle componenti orizzontali (curve verde e blu).

Come già ricordato, un picco chiaro e netto indica un buon contrasto di impedenza sismica; di conseguenza, un passaggio litologico significativo ad un litotipo avente spessori consistenti e che quindi può essere considerato sismicamente come il sub-strato.

Nel complesso le misure HVSR eseguite nel territorio del comune di Borghi presentano un picco chiaro e netto corrispondente a frequenze di



risonanza fondamentali (F_0) comprese tra 2 e 6 Hz e subordinatamente prossime a 10 Hz. Le misure 40004P122, 40004P126 e 40004P127 identificano, inoltre, una frequenza di risonanza secondaria rispetto alla fondamentale (F_1). Le misure hanno pertanto evidenziato frequenze di risonanza del sottosuolo corrispondenti ad uno o più passaggi litologici significativi; solo in taluni casi (misure 40004P112, 40004P076, 40004P125) la curva HVSR mostra un andamento più o meno piatto corrispondente a situazioni litologiche caratterizzate dall'assenza di passaggi litologici netti nel sottosuolo.

9 - ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA

9.1 Introduzione

Come specificato negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” Versione 2.0”, tutti gli elaborati GIS sono stati georeferenziati nel sistema WGS84UTM33N, e sono stati redatti in scala 1:5000 e 1: 10.000.

I progetti GIS sono stati realizzati utilizzando il software ArcMap v.10 della ESRI; gli shapefiles sono stati organizzati in geodatabase secondo quanto previsto dagli standard. Per ogni shapefile è stato comunque creato un file con estensione “.lyr” che permetterà la ricostruzione delle simbologie indipendentemente dalla versione di ArcMap utilizzata.

La topografia di base è stata fornita dalla committenza e, dopo le opportune modifiche, è stata inserita nella cartella denominata “Basi_Dati”

9.2 Carta geologico-tecnica

La carta geologico-tecnica rappresenta il documento di sintesi di tutti gli elementi geologici e geomorfologici che possono produrre modificazioni locali del moto sismico in superficie. In tale elaborato, redatto alla scala 1:5.000, sono state distinte le aree instabili con indicazione del grado di attività e della tipologia di movimento, i terreni di copertura e le aree caratterizzate dall'affioramento del substrato geologico. I terreni di copertura comprendono i depositi olocenici e pleistocenici, i depositi detritici di versante e di conoide.

| TERRENI DI COPERTURA | |
|------------------------------------|---------|
| Unità di Modena | GM |
| Deposito alluvionale in evoluzione | GM |
| Subsintema di Ravenna | SP |
| Deposito di versante | fd (GM) |
| Conoide torrentizia in evoluzione | ca (GM) |
| Subsintema di Villa Verucchio | GM |
| Subsintema di Bazzano | GM |
| Subsintema di Torre Stagni | GP |



Il substrato geologico è costituito da ammassi rocciosi strutturalmente ordinati costituiti da una alternanza di livelli arenacei e subordinatamente calcarenitici e livelli pelitici; la serie litostratigrafica appartiene al Pliocene inferiore ed è assai particolare in quanto immersa in prevalenti facies argillose di mare profondo.

Le argille marnose grigio azzurre e quelle varicolori affiorano prevalentemente nel settore centro meridionale del comune.

Il substrato geologico spesso non corrisponde con il substrato sismico ed è proprio per tale motivo che l'attribuzione geologico-tecnica, in molte delle formazioni sotto riportate coincide con un substrato non rigido (NRS e NR); tale assegnazione è legata al fatto che, nonostante queste formazioni costituiscono il litotipo profondo con spessori consistenti e con caratteristiche geologiche da basamento, sono caratterizzate da velocità delle onde S Vs decisamente inferiori a 800 m/sec.

| SUBSTRATO GEOLOGICO | |
|---|-----|
| FAA2p - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea | NRS |
| FAA2ap - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica | NRS |
| AQV - Formazione di Acquaviva | ALS |
| FAA - Argille Azzurre | NRS |
| SMN - Formazione di San Marino | LPS |
| ge - Olistoliti di GES | NRS |
| FAA2e - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies a breccie di Santa Maria Riopetra | NRS |
| MLL - Formazione di Monte Morello | ALS |
| AVS - Argille Varicolori della Val Samoggia | NR |
| FAA2ar - Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenacea organogena | NRS |
| AQV1 - Formazione di Acquaviva - membro argilloso bituminoso | NRS |
| ANT - Marne di Antognola | NRS |
| gh - Olistoliti di GHL | NRS |
| GES - Formazione Gessoso Solifera | NRS |

Legenda

Terreni di copertura

- RI Terreni contenenti resti di attività antropica
- GP Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
- GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
- SP Sabbie pulite con granulometria poco assortita

Substrato geologico

- NR Substrato geologico non rigido
- LPS Lapideo stratificato
- ALS Alternanza di litotipi stratificato
- NRS Substrato geologico non rigido stratificato

Instabilità di versante

- Scorrimento - attiva
- Colamento - attiva
- Complessa - attiva
- Non definito - attiva
- Scorrimento - quiescente
- Colamento - quiescente
- Complessa - quiescente
- Non definito - quiescente

Forme di superficie e sepolti

- Conoide alluvionale

Elementi lineari

- Orlo di terrazzo fluviale
- Traccia di sinclinale
- Traccia di anticlinale
- Traccia della sezione geologica

Faglie non attive

- Diretta/contacto tettonico (certa)
- Diretta/contacto tettonico (presunta)
- Trascorrente/obliqua/sovrascorrimento (certa)
- Trascorrente/obliqua/sovrascorrimento (presunta)

Elementi geologici e idrogeologici

- Giacitura strati
- Profondità (m) substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo
- Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido

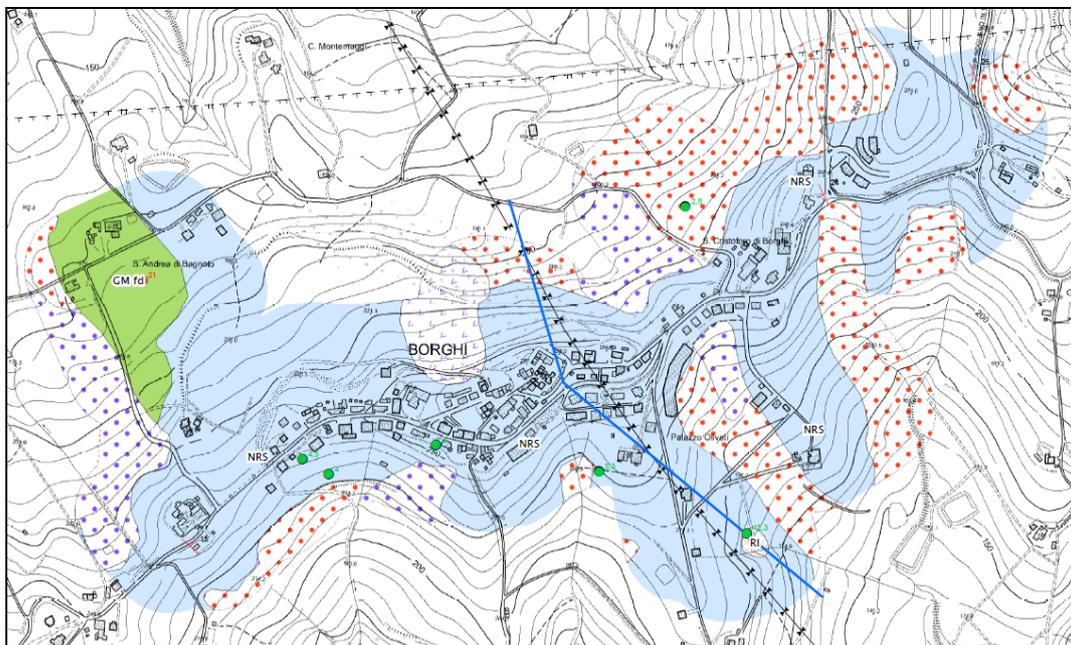


Figura 17: Legenda ed estratto della Carta Geologico- tecnica

Le sezioni riportate in tale cartografia sono alla scala 1:2.500.

9.3 Carta delle frequenze

Di seguito si riportano i risultati delle analisi HVSR delle registrazioni di rumore sismico ambientale.

Per ciascun sito di misura identificato dalla denominazione HVSR e da un numero progressivo, si riportano i valori delle frequenze di risonanza associate a picchi significativi della curva HVSR.

Con la denominazione F_0 (frequenza di risonanza fondamentale) sono state identificate le frequenze associate al picco principale della curva HVSR.

Nel caso in cui la curva HVSR abbia evidenziato un ulteriore picco significativo, questa frequenza di risonanza è stata identificata con la denominazione F_1 .

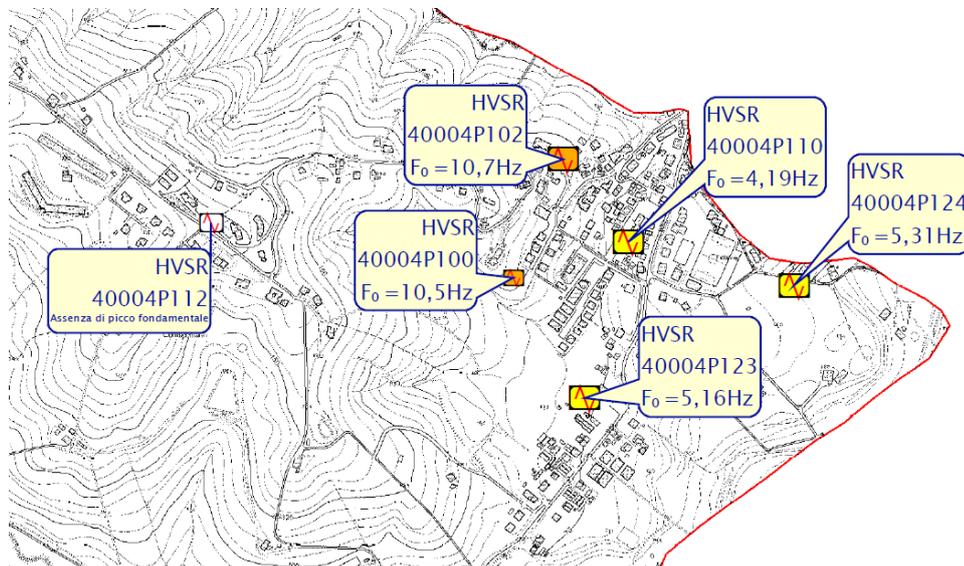
Per ciascuna prova tomografica, si riporta la frequenza di risonanza F_0 con relativa ampiezza del picco della curva HVSR e, quando presente, la frequenza di risonanza F_1 .

| Misura HVSR | F0 (Hz) | Ampiezza | F1 (Hz) |
|-------------|---------|----------|---------|
| 40004P104 | 5,10 | <3 | |
| 40004P108 | 2,00 | <3 | |
| 40004P109 | 3,31 | >3 | |
| 40004P110 | 4,19 | >3 | |
| 40004P111 | 9,13 | >3 | |
| 40004P112 | assente | | |
| 40004P113 | 1,69 | >3 | |
| 40004P114 | 2,60 | <3 | |
| 40004P115 | 4,31 | <3 | |
| 40004P116 | 3,75 | <3 | |
| 40004P117 | 2,50 | >3 | |
| 40004P118 | 1,90 | >3 | |
| 40004P119 | 1,25 | >3 | |
| 40004P120 | 4,00 | >3 | |
| 40004P076 | assente | | |
| 40004P100 | 10,50 | <3 | |
| 40004P102 | 10,70 | >3 | |
| 40004P107 | 3,70 | <3 | |

| | | | |
|-----------|---------|----|-------|
| 40004P122 | 3,00 | >3 | 8,00 |
| 40004P123 | 5,16 | >3 | |
| 40004P124 | 5,31 | >3 | |
| 40004P125 | assente | | |
| 40004P126 | 6,56 | >3 | 4,40 |
| 40004P127 | 4,00 | >3 | 10,00 |

I risultati delle prove HVSR basate su registrazioni del rumore di fondo vengono sintetizzati nella Carta delle Frequenze. Questo elaborato, così come tutti gli altri, vengono presentati sia in formato pdf che in formato vettoriale (shapefile).

Nella Carta delle Frequenze, redatta alla scala 1:10.000, sono stati riportati tutti i punti di misura con una simbologia tale da evidenziare i diversi valori delle frequenze di risonanza, espressa in Hz, e le relative ampiezze dei picchi.



Legenda

Punti di misura HVSR

Ampiezza HVSR >3

 1Hz < F₀ < 2Hz

 2Hz < F₀ < 8Hz

 F₀ > 8Hz

Ampiezza HVSR <3

 2Hz < F₀ < 8Hz

 F₀ > 8Hz

 Assenza di picco di frequenza fondamentale

Figura 18 – Estratto e legenda della Carta delle frequenze

I differenti colori indicano l'intervallo di frequenza in cui ricade il punto di misura; la dimensione del simbolo indica l'ampiezza del picco. Nel caso in cui sia presente una seconda frequenza di risonanza oltre al valore di F₀, è stato riportato anche il valore di F₁.

9.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Questa cartografia rappresenta il documento fondamentale del livello 1 di microzonazione. In tale elaborato, redatto alla scala 1:5.000, sono individuate le aree omogenee dal punto di vista sismico e per le quali dovranno essere effettuate le indagini in applicazione al II° livello di microzonazione. Nell'intero territorio comunale sono presenti delle "zone stabili", delle "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" e delle "zone suscettibili di instabilità".

Tutte le aree sono evidenziate nella successiva legenda

Legenda

Zone stabili

-  LPS Substrato lapideo
-  ALS Alternanze di litotipi

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  Zona 1
-  Zona 2
-  Zona 3
-  Zona 4
-  Zona 5
-  Zona 6
-  Zona 7

Zone suscettibili di instabilità

-  Instabilità di versante: Attiva
-  Instabilità di versante: Quiescente

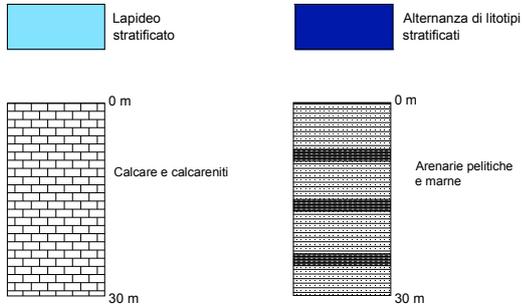
Forme di superficie e sepolte

-  Conoide alluvionale
-  Orlo di terrazzo fluviale
-  Traccia della sezione topografica

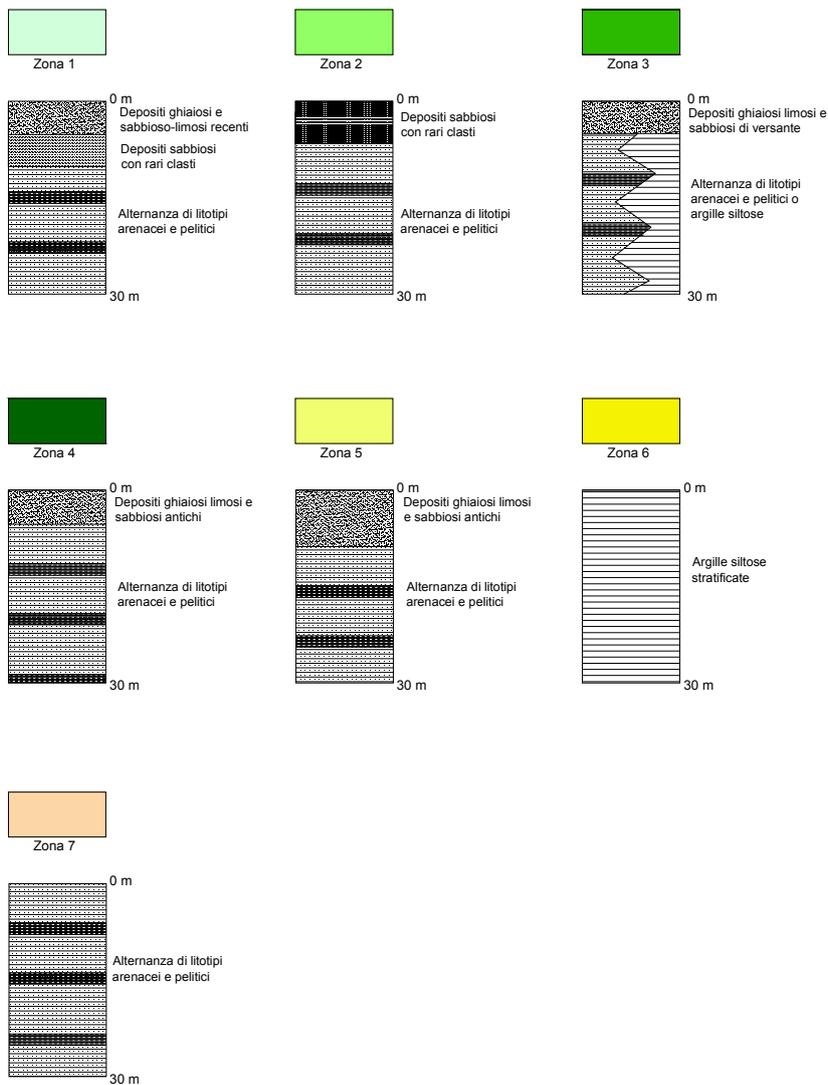
Figura 19 – Legenda della Carta MOPS

Ognuna delle aree in cui è stato suddiviso il territorio e riportate nella soprastante legenda fanno riferimento ad una successione stratigrafica tipo che viene riportata di seguito.

ZONE STABILI



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Le limitate zone stabili lasciano uno spazio prevalente alle zone stabili suscettibili ad amplificazione; le zone suscettibili di instabilità sono riconducibili a frane attive ed a frane quiescenti.

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazione locale la zona 7, ed in maniera subordinata la zona 6, sono le prevalenti delle varie zone cartografate. Nelle aree di fondovalle sono presenti anche le zone stabili suscettibili di amplificazione locale 1 e 2.

9.5 Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)

L'esecuzione della nuova campagna di indagini consistenti in 5 prove sismiche MASW, 5 misure HVSR, insieme alle altre indagini sismiche esistenti hanno permesso, per le verticali indagate, la ricostruzione della velocità delle onde S (Vs) con il variare della profondità.

Le curve HVSR caratterizzate da picchi chiari e netti sono stati utilizzate ai fini della definizione del profilo di Vs, attraverso il processo di inversione implementato nel software GRILLA, esclusivamente nelle aree del territorio comunale non coperte da altre indagini sismiche.

In appendice sono riportati i risultati delle prove MASW e delle misure HVSR utilizzate ai fini della definizione del profilo verticale di Vs.

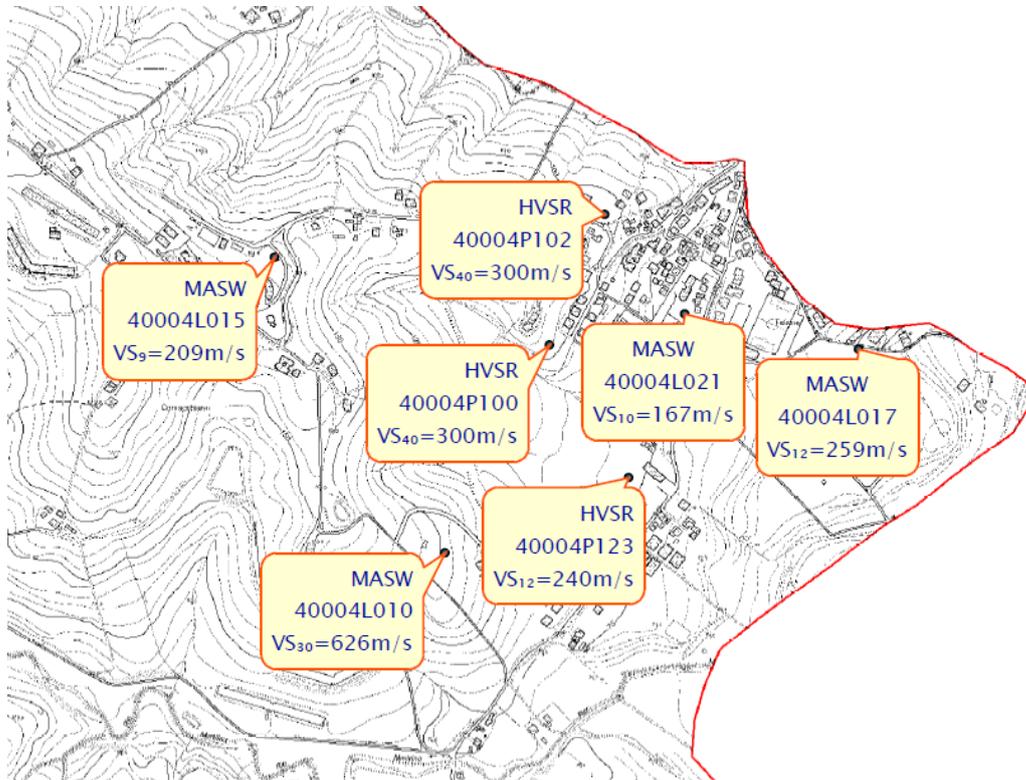
Non essendo la Carta delle velocità delle onde di taglio (Vs) prevista nelle specifiche redatte dalla Protezione Civile, si è cercato di creare una struttura del database che fosse omogenea con gli standard nazionali.

Nella Carta della velocità delle onde S viene riportata, per ogni prova sismica il valore del V_{S30} nel caso in cui non ci siano contrasti di impedenza significativi (substrato profondo) o il valore di V_{SH} dove H è lo spessore della copertura posta al di sopra del substrato.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i risultati delle prove sismiche, espressi in termini di V_{S30} o di V_{SH} .



| Indagine | Tipologia indagine | Vs |
|-----------------|---------------------------|------------------------|
| 4004L016 | masw | Vs ₁₉ = 414 |
| 4004L017 | masw | Vs ₁₂ = 259 |
| 4004L018 | masw | Vs ₁₆ = 458 |
| 4004L019 | masw | Vs ₁₉ = 233 |
| 4004L020 | masw | Vs ₃₀ = 955 |
| 4004L005 | masw | Vs ₄₀ = 250 |
| 4004L008 | masw | Vs ₃₀ = 305 |
| 4004L010 | masw | Vs ₃₀ = 626 |
| 4004L012 | masw | Vs ₃₀ = 308 |
| 4004L015 | masw | Vs ₉ = 209 |
| 4004L014 | masw | Vs ₄₀ = 348 |
| 4004L021 | masw | Vs ₁₀ = 167 |
| 4004L022 | masw | Vs ₃₄ = 333 |
| 4004P123 | HVSR | Vs ₁₂ = 240 |
| 4004P126 | HVSR | Vs ₁₀ = 243 |
| 4004P127 | HVSR | Vs ₅ = 240 |
| 4004P100 | HVSR | Vs ₄₀ = 300 |
| 4004P102 | HVSR | Vs ₄₀ = 300 |
| 4004P104 | HVSR | Vs ₄₀ = 307 |
| 4004P107 | HVSR | Vs ₂₆ = 278 |
| 4004P108 | HVSR | Vs ₄₀ = 352 |
| 4004P109 | HVSR | Vs ₃₄ = 357 |
| 4004P111 | HVSR | Vs ₃₀ = 326 |
| 4004P113 | HVSR | Vs ₁₅ = 191 |
| 4004P115 | HVSR | Vs ₄₀ = 442 |
| 4004P116 | HVSR | Vs ₂₇ = 318 |



Legenda

- Punto di misura delle VS con indicazione del tipo di indagine, del codice identificativo e del valore della velocità riferito alla profondità del substrato

Figura 20 – Estratto e legenda della Carta della velocità delle onde di taglio S

10 - DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA

Il calcolo dell'amplificazione sismica ed in particolare dei fattori di amplificazione, sono stati effettuati secondo quanto stabilito nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento Tecnico n. 112/2007, ovvero utilizzando le metodologie concordate dal servizio preposto dalla Regione Emilia Romagna.

Per la determinazione dei fattori di amplificazione sono state utilizzate le tabelle dell'allegato A2 contenute nell'atto sopra citato, facendo riferimento ai valori riferiti all'ambito "APPENNINO E MARGINE APPENNINICO-PADANO" di seguito riportate.

Appennino e Margine Appenninico – Padano

In caso di substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/s

F.A. P.G.A.

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 15 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.0 | 1.0 |
| 20 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 25 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.0 |
| 30 | 1.8 | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |
| 35 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.0 |
| 40 | 1.6 | 1.8 | 1.9 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.0 |

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

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 15 | 2.1 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 20 | 2.3 | 2.3 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| 25 | 2.2 | 2.4 | 2.2 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 30 | 2.1 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.3 | 1.2 | 1.0 |
| 35 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.0 |
| 40 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.0 |

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

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 15 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 20 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 25 | 2.1 | 2.1 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 30 | 2.4 | 2.3 | 1.9 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 35 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 1.8 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| 40 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.0 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 |

In caso di substrato affiorante caratterizzato da $V_s < 800$ m/s

F.A. P.G.A.

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 10 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 15 | 2.5 | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 20 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 25 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 30 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 35 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 40 | 1.7 | 1.9 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |

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

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 10 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 15 | 2.6 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 20 | 2.6 | 2.5 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 25 | 2.4 | 2.6 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 30 | 2.2 | 2.4 | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 35 | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |
| 40 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |

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

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 10 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 15 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.0 |
| 20 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.0 |
| 25 | 2.4 | 2.4 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 30 | 2.8 | 2.8 | 2.4 | 1.9 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 35 | 3.0 | 2.9 | 2.7 | 2.1 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 40 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | 2.3 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.0 |

F.A. P.G.A.

| V_{s30} | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| F.A. | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |

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

| V_{s30} | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| F.A. | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |

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

| V_{s30} | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| F.A. | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |

Per le varie prove sismiche, conoscendo la stratigrafia puntuale, è stato scelto caso per caso il valore di V_{sH} o di V_{s30} . Utilizzando le tabelle relative all'ambito individuato è possibile trovare il valore del fattore di amplificazione, al variare della V_s che può essere relativa ad un preciso spessore H (V_{sH}) o ai primi 30 metri di profondità (V_{s30}).

11 - CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO (FATTORE DI AMPLIFICAZIONE)

L'elaborato conclusivo dello studio di microzonazione sismica di II° livello del comune di Borghi, è costituito dalla realizzazione delle carte dei *fattori di amplificazione* espressi sia in termini di P.G.A. sia in termini di Intensità di Housner.

La definizione dei fattori di amplificazione sismica è stata eseguita mediante l'applicazione delle tabelle in funzione dei valori di V_{sH} e V_{s30} ottenuti elaborando i dati delle prove sismiche (MASW, HVSR). Questi fattori sono stati espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) sia in termini di Intensità di spettrale per intervalli di tempo compresi tra $0.1s < T_0 < 0.5s$ e $0.5s < T_0 < 1.0s$.

Il risultato finale è costituito pertanto nella produzione di tre carte di microzonazione, dove tramite campitura in colori diversi, è stato attribuita a ciascuna porzione di territorio comunale urbanizzato ed urbanizzabile il valore del fattore di amplificazione locale.

L'attribuzione dei fattori di amplificazione è stato effettuato sulla base delle microzone omogenee in prospettiva sismica individuate nel primo livello di approfondimento, attraverso i valori derivati dalle indagini puntuali. Sono stati valutati statisticamente i valori di FA per le diverse zone omogenee, preferendo per l'attribuzione il criterio della distanza rispetto a quello della media del valore; nei casi in cui non si aveva uno specifico valore per una certa area, l'attribuzione è stata determinata in riferimento alla corrispondente zona omogenea ed in particolare riferendosi alle zone con caratteristiche di successione stratigrafica e di dimensione simili a quella in esame.

Nella successiva tabella sono riportati i fattori di amplificazione, in coincidenza delle varie prove, per la PGA e per i due intervalli di intensità spettrale ($0,1s < T_0 < 0,5s$) e ($0,5s < T_0 < 1,0s$).



| Indagine | PGA | 0,1 < To < 0,5 | 0,5 < To < 1,0 |
|-----------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 4004L016 | 1,7 | 1,7 | 1,4 |
| 4004L017 | 2,0 | 1,9 | 1,5 |
| 4004L018 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 4004L019 | 2,2 | 2,5 | 1,9 |
| 4004L020 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 4004L005 | 1,9 | 2,0 | 3,0 |
| 4004L008 | 2,0 | 2,3 | 2,4 |
| 4004L010 | 1,2 | 1,3 | 1,3 |
| 4004L012 | 2,0 | 2,3 | 2,4 |
| 4004L015 | 2,3 | 2,2 | 1,6 |
| 4004L014 | 1,8 | 2,3 | 2,3 |
| 4004L021 | 2,3 | 2,2 | 1,6 |
| 4004L022 | 1,9 | 2,2 | 1,8 |
| 4004P123 | 2,0 | 1,9 | 1,5 |
| 4004P126 | 2,0 | 1,9 | 1,5 |
| 4004P127 | 1,7 | 1,5 | 1,4 |
| 4004P100 | 2,0 | 2,3 | 2,8 |
| 4004P102 | 2,0 | 2,3 | 2,8 |
| 4004P104 | 2,0 | 2,3 | 2,8 |
| 4004P107 | 2,1 | 2,3 | 1,9 |
| 4004P108 | 1,8 | 2,3 | 2,3 |
| 4004P109 | 1,9 | 2,2 | 2,1 |
| 4004P111 | 2,0 | 2,3 | 2,4 |
| 4004P113 | 2,5 | 2,6 | 1,9 |
| 4004P115 | 1,6 | 1,8 | 1,7 |
| 4004P116 | 2,1 | 2,3 | 1,9 |

L'elaborazione di tali valori ha permesso la redazione delle carte tematiche nelle quali si evidenzia il fattore di amplificazione a cui è soggetta

una determinata porzione di territorio. Nel caso specifico, di seguito, viene riportata la legenda utilizzata nella carta di microzonazione sismica Livello 2 (F_{aPGA}) (fig. 21).



Legenda

Zone stabili

 Zone stabili ($F_{aPGA}=1,0$)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (F_{aPGA})

 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

 $\geq 2,5$

Zone suscettibili di instabilità

 Instabilità di versante e relativo valore di amplificazione locale

 Indagine di sito con relativo fattore di amplificazione derivato

Figura 21: Estratto e Legenda della Carta del fattore di amplificazione PGA

12 - TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

12.1 Introduzione ed inquadramento area

Secondo le normative vigenti ed in riferimento agli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica”, gli approfondimenti di terzo livello riguardano le zone soggette ad un carico urbanistico e che sono state identificate nel livello precedente come “zone suscettibili di instabilità”. Nel caso specifico del comune in esame, interessano particolarmente le aree instabili o potenzialmente instabili.

Per l’approfondimento del terzo livello, in accordo con l’Amministrazione comunale, è stata scelta in’ampia area ubicata a valle del capoluogo nel settore sud-orientale.

Tale area, così come evidenziato nella figura sottostante, coincide con una grande frana quiescente che a partire dall’abitato raggiunge le zone più basse del versante.

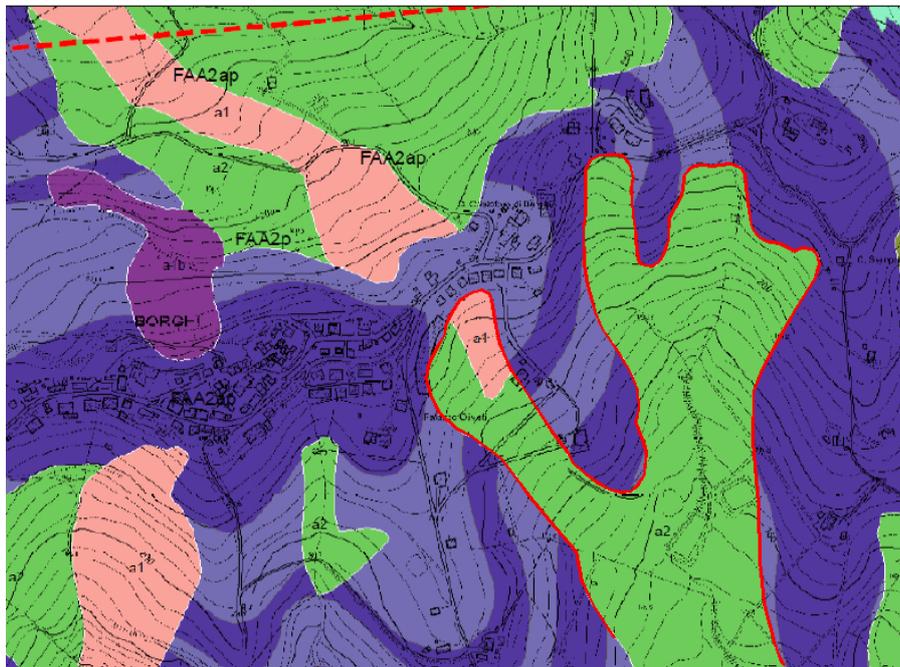


Figura 22: Estratto della Carta Geologica - Regione Emilia Romagna

12.2 Indagini integrative per il III° livello

Per poter eseguire gli approfondimenti richiesti, oltre alle indagini raccolte ed a quelle eseguite nell'ambito dei precedenti livelli, sono state eseguite delle ulteriori indagini.



Figura 23: Sonda posizionata per l'esecuzione del sondaggio geognostico

In particolare sono stati eseguiti due profili sismici da 120 e 240 m (P10 Borghi e P9 Borghi), ubicati sulla frana ed un sondaggio geognostico utile per la ricostruzione stratigrafica.

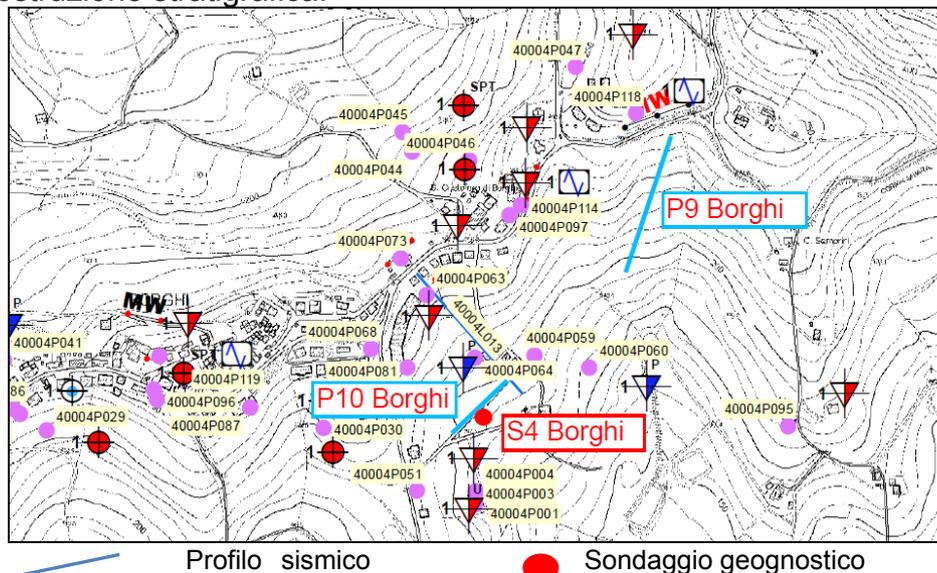


Figura 24: Estratto della Carta delle indagini comprensiva delle indagini integrative per il III° livello

I profili sismici integrativi (onde P e prova MASW) abbinati alle prove eseguite nell'ambito dei precedenti livelli ed in particolare al sondaggio geognostico attualmente eseguito, hanno permesso di evidenziare meglio le caratteristiche della frana quiescente. E' stato perciò individuato un passaggio tra la parte potenzialmente instabile ed i livelli sottostanti stabili posto ad una profondità di circa 8 - 9 metri. In particolare si evidenzia un livello di circa 3 metri di materiale di riporto prevalentemente argilloso a cui segue un livello di limi sabbiosi (fino a -8,5 m), che a sua volta precede uno strato argilloso pliocenico che rappresenta la parte alterata del substrato.

Quote slm (m)

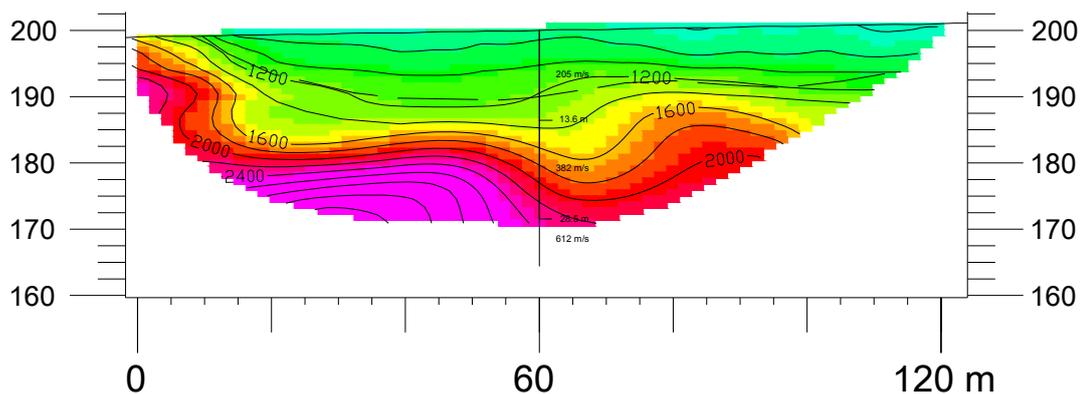


Figura 25: Profilo sismico (P9 Borghi)

12.3 Dati di base

In riferimento alla Delibera dell'Assemblea Leg. dell'Emilia Romagna n°112 ed ogg. n°3121 del 2 maggio 2007, con attenzione all'allegato A4, l'analisi di risposta sismica locale di terzo livello e' stata svolta impiegando:

- il valore di a_{refg} assegnato al Comune di Borghi dalla Regione Emilia Romagna pari a 0.187 g;
- lo spettro di risposta al bedrock normalizzato per un periodo di ritorno di anni 475 (con smorzamento del 5%) per l'Emilia Romagna (fig.26) e lo spettro di risposta a probabilità uniforme per il Comune di Borghi (fig.27);

- i fattori di amplificazione sismica relativi al caso di Appennino e margine appenninico padano con un substrato caratterizzato da $V_s < 800$ m/sec con V_{sH} pari a 200 m/sec ed un valore H pari a m 15;
- i n.3 accelerogrammi di riferimento, assegnati al Comune di Borghi dagli atti di indirizzo della Regione Emilia Romagna.

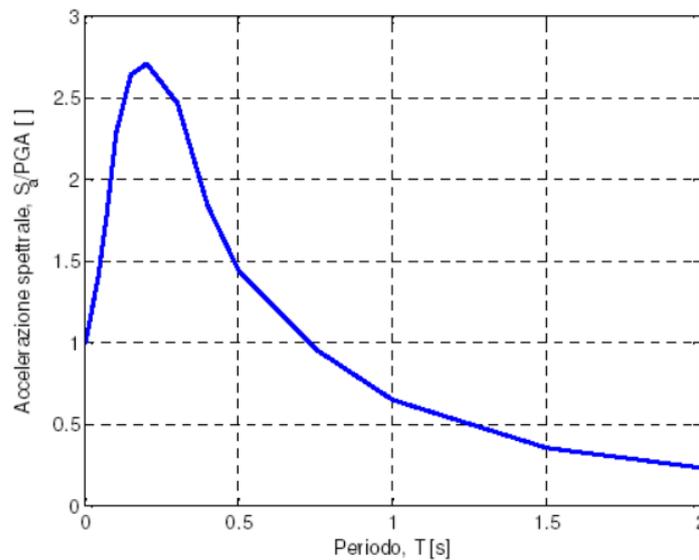


Fig.26 Spettro di risposta normalizzato ($T_r = 475$ anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia Romagna

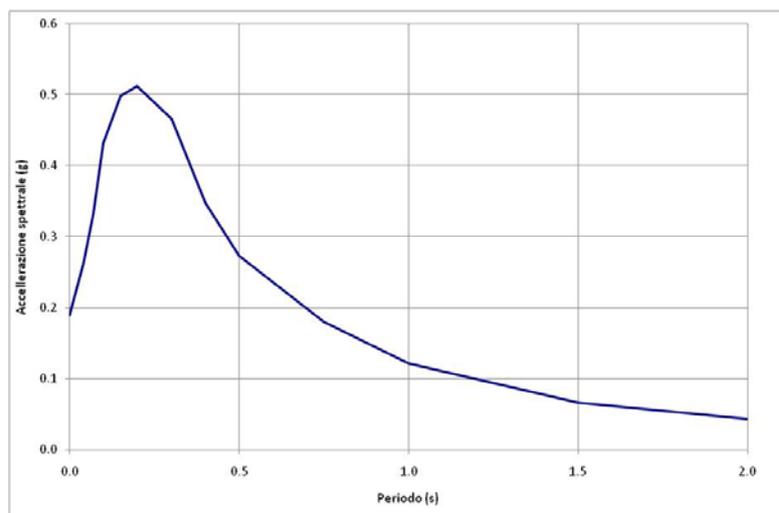


Fig.27 Spettro di risposta a probabilità uniforme ($T_r = 475$ anni, smorzamento = 5%) per il Comune di Borghi

In riferimento all'allegato A2 della Delibera n°112, la valutazione dei fattori di amplificazione sismica a livello II di approfondimento risulta definito dallo scenario previsto per “APPENNINO e MARGINE APPENNINICO-PADANO”, nel caso di substrato marino caratterizzato da una V_s minore di 800 m/sec ed indicato dalle seguenti tabelle:

F.A. P.G.A.

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 10 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 15 | 2.5 | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 20 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 25 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 30 | 1.9 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 35 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 40 | 1.7 | 1.9 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |

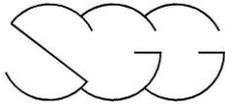
F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 10 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 15 | 2.6 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 20 | 2.6 | 2.5 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 25 | 2.4 | 2.6 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 30 | 2.2 | 2.4 | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 35 | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.2 | 1.9 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |
| 40 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |

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

| V_{sH} H | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| 10 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.1 | 1.0 |
| 15 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.0 |
| 20 | 2.1 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.0 |
| 25 | 2.4 | 2.4 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 30 | 2.8 | 2.8 | 2.4 | 1.9 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 35 | 3.0 | 2.9 | 2.7 | 2.1 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 1.0 |
| 40 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | 2.3 | 1.9 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.0 |

dove nel caso in esame ricorre la condizione $V_{sH} = 200$ m/sec ed H media = m 15.



I fattori di amplificazione del caso sono pertanto indicati, nella fase di primo approfondimento della risposta sismica di sito, in

FA (PGA) = 2.5

FA IS (0.1-0.5 sec)= 2.6

FA IS (0.5-1.0 sec)= 1.9

Per quanto attiene l'analisi di livello superiore, l'analisi di risposta sismica locale è stata eseguita tramite modellazioni numeriche che simulano il processo di propagazione delle onde sismiche attraverso il substrato ed i depositi superficiali.

L'analisi adottata è del tipo lineare equivalente ed è stata eseguita con il codice di calcolo Shake 91, tramite il software EERA (Equivalent-linear Earthquake Response Analysis), nel quale la procedura iterativa impiegata simula il comportamento non lineare del terreno.

Il codice calcola la risposta di un terreno stratificato composto da strati piano paralleli sovrapposti ad un semispazio uniforme.

Il comportamento dinamico dei terreni del modello geofisico di riferimento viene descritto dalla relazione sforzi / deformazioni di tipo isteretico in un modello lineare equivalente espresso dalla coppia di parametri modulo di taglio (Shear Modulus) e smorzamento (Damping Ratio) espressa in funzione dello stato tensionale del suolo.

Nel caso in esame la stratigrafia di riferimento è composta dalle differenti litologie delle "Argille azzurre", e distinte nelle seguenti litofacies:

- a) materiale in frana costituito da limi sabbiosi fino a profondità di circa 8,5m.
- b) argille limose con livelli sabbiosi fino a profondità di 12,5 m.
- c) argille compatte con livelli sabbiosi.

Dal punto di vista litotecnico, nella profondità' di interesse per la Microzonazione Sismica, il comportamento dinamico del terreno è stato descritto tramite le seguenti curve di degrado.

In particolare, i limi sabbiosi superficiali sono state descritti tramite curve reperite in letteratura e corrispondenti a litologie analoghe a quelle analizzate.

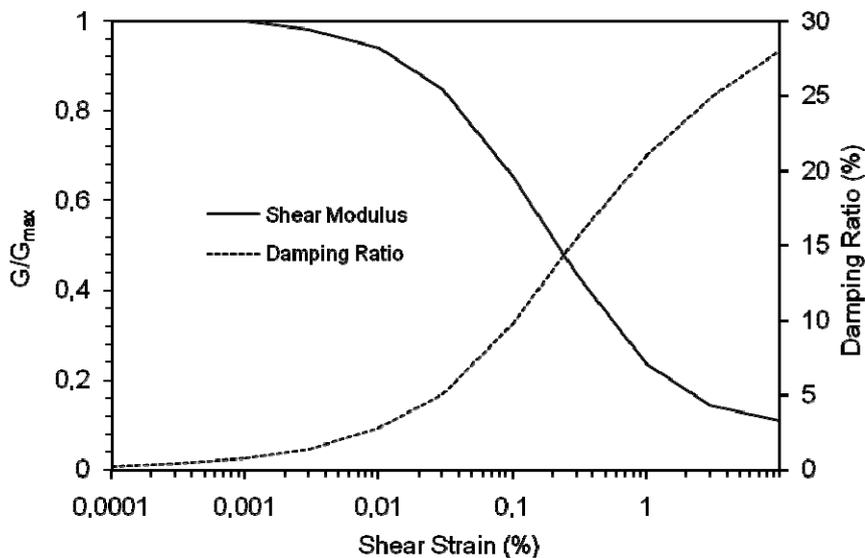


Figura 28 Curve di degrado e smorzamento per le sabbie (Seed & Idriss 1970)

Le argille sono state caratterizzate dalle curve di degrado/smorzamento derivate da una prova dinamica di laboratorio eseguita su un campione di argilla compatta riconducibile alla formazione delle “argille Azzurre” prelevato nel Comune di Sogliano al Rubicone.

PROVA DI COLONNA RISONANTE

Pag. 3 di 3

ASTM D4015-95

| | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------------|------------------|----------|--------------------|------------------|-----|------------|
| N.VERB.ACCELT./CAMP | 1596-4 | Data ricevimento | 16/09/13 | Rapp di prova n. | 1596-4-RC | del | 23/09/2013 |
| | | Data prelievo | - | Data inizio prova | 18/09/13 | | |
| | | Data apertura | 18/09/13 | Data fine prova | 23/09/13 | | |
| COMMESSA | 106-13 | Sondaggio | S1 | Tipologia campione | indisturbato | | |
| COMMITTENTE | Stdio di geologia e geofisica srl | Campione | Cl 2 | Profondità (m) | 7,10-7,60 | | |
| CANTIERE | Sogliano al Rubicone | | | | | | |

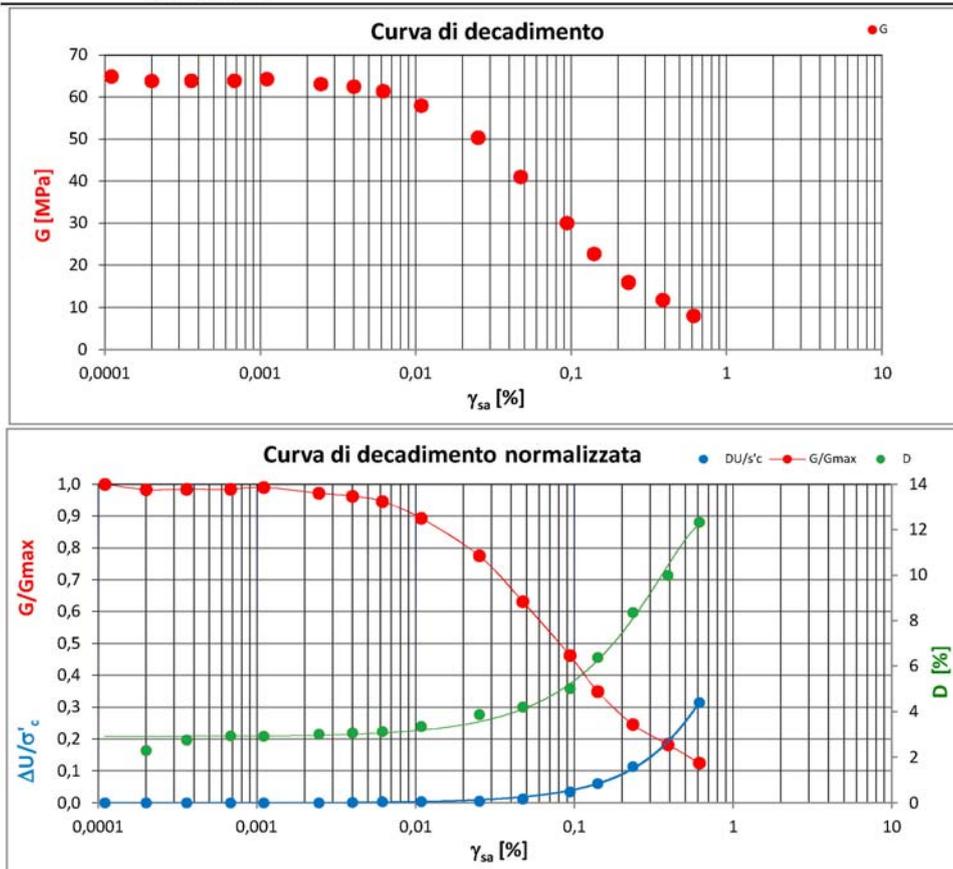


Figura 29 Prova di colonna risonante eseguita dal laboratorio Geostudi s.r.l. di Pomezia (Rm) su campione di argilla compatta prelevato a Sogliano al Rubicone.

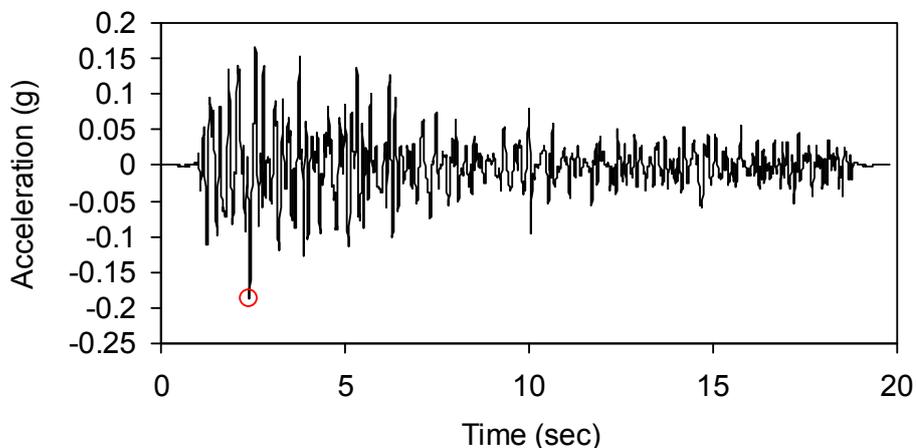
Il moto di input, che viene assegnato al tetto del semispazio che rappresenta il substrato di riferimento, e' rappresentato da onde S incidenti verticalmente, ed e' applicato alla profondita' alla quale, in relazione al gradiente di velocita'

del locale substrato, si raggiunge il valore di velocità' delle onde S di 800 m/sec.

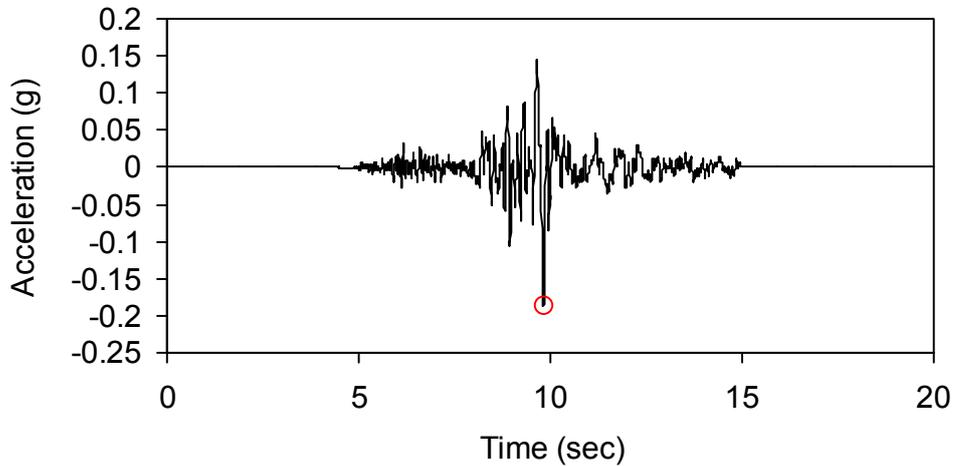
Di seguito si riportano i segnali di riferimento per il comune di Borghi ovvero i 3 accelerogrammi selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database " attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. I segnali di riferimento vengono forniti dalla Regione Emilia Romagna, già scalati per il comune di riferimento, all'indirizzo

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/gli-indirizzi-per-gli-studi-di-microzonazione-sismica-in-emilia-romagna-per-la-pianificazione-territoriale-e-urbanistica>.

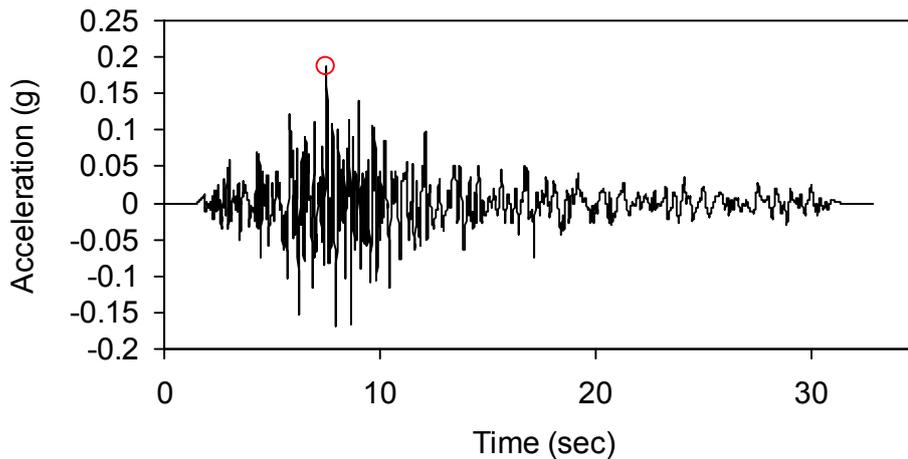
000046xa_040004Borghi



000126xa_040004Borghi



000354xa_040004Borghi



12.4 Analisi di risposta sismica locale

L'analisi di risposta sismica locale, intesa a definire il fattore di amplificazione relativo all'area in esame ed accertare eventuali condizioni di criticità, e' stata condotta mediante l'impiego del codice Shake-91, applicando alla profondità' alla quale il bedrock sismico raggiunge il valore di velocità' delle onde S di 800 m/sec, il moto di riferimento rappresentato dai 3 accelerogrammi assegnati al Comune di Borghi.

Il modello sismo-stratigrafico di riferimento per la verifica della risposta sismica locale, derivato dalle indagini eseguite e coerenti tra loro, risulta definito come segue:

Fundamental period (s) = 0.40
 Average shear wave velocity (m/sec) = 371.80
 Total number of sublayers = 5

| Layer Number | Soil Material Type | Number of sublayers in layer | Thickness of layer (m) | Maximum shear modulus G_{max} (MPa) | Initial critical damping ratio (%) | Total unit weight (kN/m^3) | Shear wave velocity (m/sec) | Location and type of earthquake input motion | Location of water table | Depth at middle of layer (m) | Vertical effective stress (kPa) |
|--------------|--------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Surface | 1 | 2 | 8.0 | 69.92 | | 19.00 | 190 | | | 4.0 | 76.00 |
| | 2 | 4 | 4.5 | 83.54 | | 19.50 | 205 | | | 10.3 | 195.88 |
| | 3 | 4 | 16.0 | 297.50 | | 20.00 | 382 | | | 20.5 | 399.75 |
| | 4 | 3 | 8.5 | 782.69 | | 20.50 | 612 | | | 32.8 | 646.88 |
| Bedrock | 5 | 3 | | 1337.41 | | 20.50 | 800 | Outcrop | | 37.0 | 734.00 |

Lo spettro di risposta al sito e' stato confrontato con quello derivato dal II° livello di approfondimento, al fine di analizzare le differenze tra la risposta di un modello semplificato con quello di dettaglio indicato per il sito in esame.

Lo sforzo e la deformazione degli strati, restituita dalla funzione di trasferimento per ogni layer e sublayer in cui e' stato discretizzato il sottosuolo dalla quota dell'input del moto sismico alla superficie, e' stata analizzata alla quota del piano campagna, e rapportata a quella di un modello con substrato affiorante con $V_s = 800$ m/sec, al fine di definire il fattore di amplificazione determinato dalla particolare successione stratigrafica del sottosuolo dell'area di studio.

Lo spettro di risposta sismica locale medio è stato determinato quale valore medio di quelli calcolati in riferimento a ciascuno degli accelerogrammi assegnati al Comune, e raffrontato a quello relativo al medesimo scenario di sito proposto con l'analisi di secondo livello.

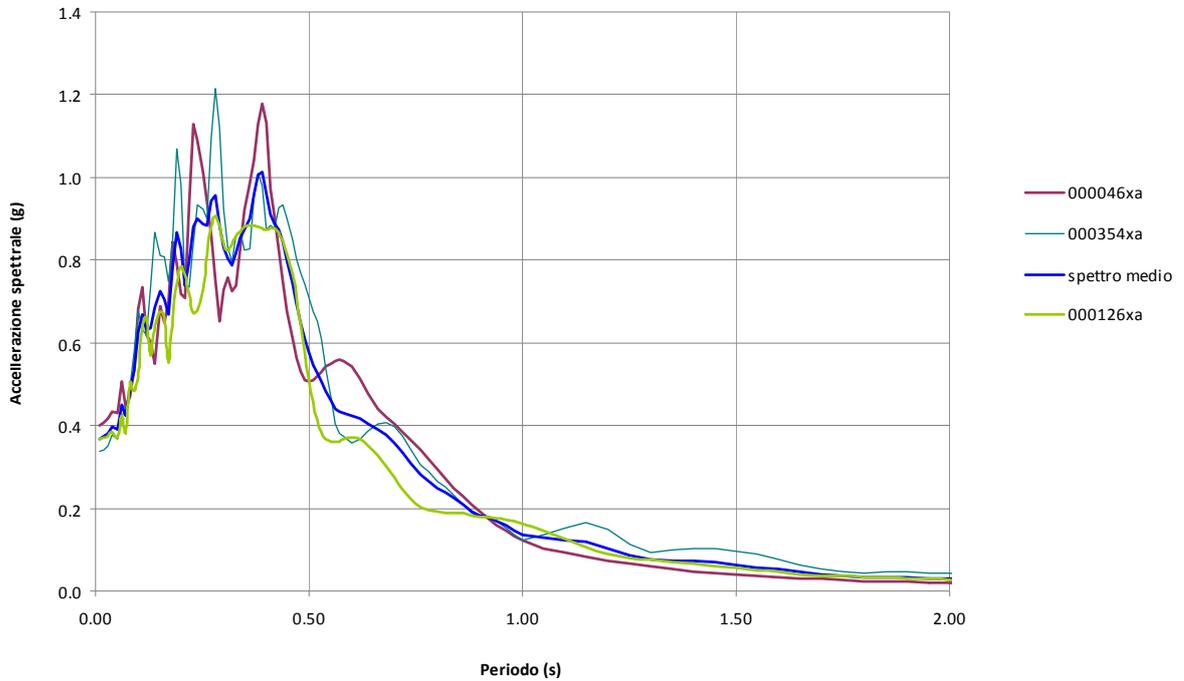


Figura 30 Spettri di risposta sismica locale in accelerazione relativi ai 3 accelerogrammi di input del Comune di Borghi (000046xa,000354xa,000126xa) e spettro di risposta sismica in accelerazione medio

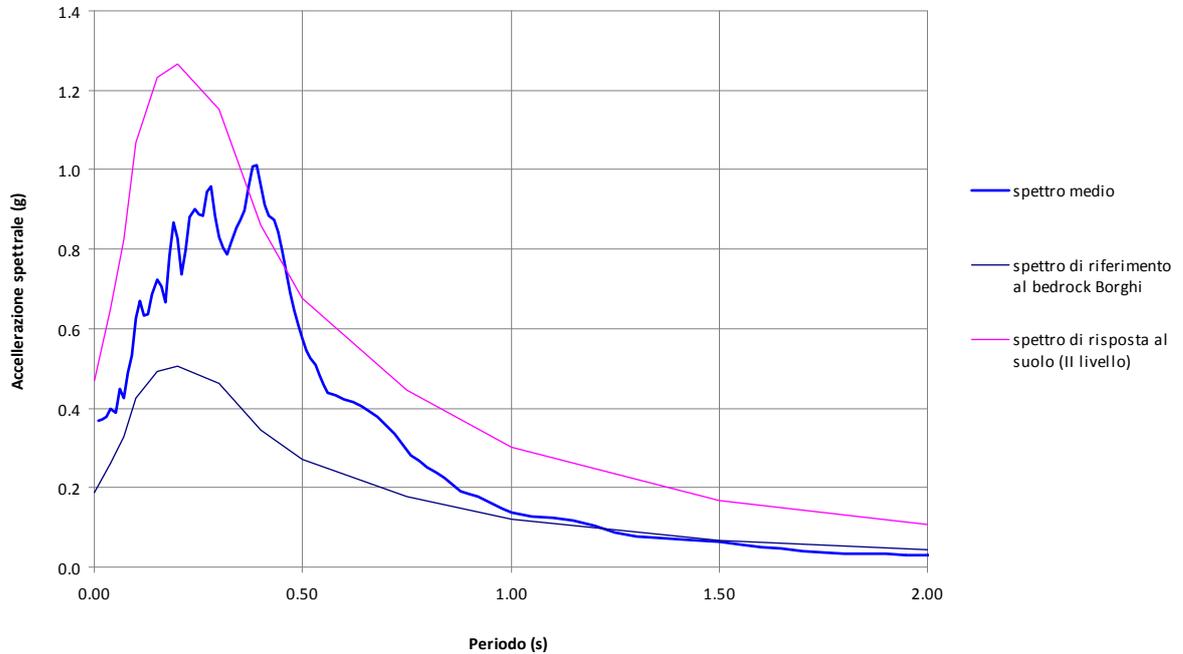


Figura 31 Spettro di risposta sismica in accelerazione medio derivato dall' analisi di risposta sismica locale, spettro di riferimento al Bedrock per il Comune di Borghi e spettro di risposta al suolo derivato dal secondo livello di approfondimento



L'analisi determina un valore di $a_{g_{max}}$ di **1.007 g** al periodo di 0.38 sec, localmente più' elevato del massimo relativo allo scenario di analisi di secondo livello, ed un valore al suolo per $T=0$ sec di a_{g_0} di **0.369 g**.

Lo spettro di risposta del moto atteso al piano campagna, mediato su quelli derivati da ciascuno dei n.3 accelerogrammi di input, costituisce lo spettro di riferimento derivato dall' analisi di risposta locale, che rapportato allo spettro determinato nelle medesime condizioni di sollecitazione dinamica per un substrato affiorante con $V_s = 800$ m/sec, consente di indicare, nei rapporti caratteristici, i fattori di amplificazione al sito.

In particolare si tabellano i rapporti caratteristici di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) al p.c., e di Intensità' spettrale di Housner (SI/SI0), negli intervalli di periodo di sec 0.1-0.5 e sec 0.5-1.0.

Rapporto di Intensità spettrale di Housner - 0,1-0,5s

| accelerogramma | SI suolo (*dT) | SI roccia (*dT) | SI/SI0 |
|----------------|----------------|-----------------|-------------|
| 000046xa | 1528.68 | 709.43 | 2.15 |
| 000126xa | 1486.80 | 657.13 | 2.26 |
| 000354xa | 1668.68 | 716.90 | 2.33 |
| | | media | 2.25 |

Rapporto di Intensità spettrale di Housner - 0,5-1s

| accelerogramma | SI suolo (*dT) | SI roccia (*dT) | SI/SI0 |
|----------------|----------------|-----------------|-------------|
| 000046xa | 1104.50 | 546.68 | 2.02 |
| 000126xa | 833.14 | 453.31 | 1.84 |
| 000354xa | 1015.78 | 620.27 | 1.64 |
| | | media | 1.83 |

Rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0)

| accelerogramma | Amax suolo | Amax0 | Amax/Amax0 |
|----------------|------------|--------------|-------------|
| 000046xa | 0.402 | 0.187 | 2.15 |
| 000126xa | 0.368 | 0.187 | 1.97 |
| 000354xa | 0.336 | 0.187 | 1.80 |
| | | media | 1.97 |



Di seguito si riportano i valori tabellari degli Spettri di risposta sismica locale in accelerazione relativi ai 3 accelerogrammi di input del Comune di Borghi (000046xa,000354xa,000126xa) e dello spettro di risposta sismica in accelerazione medio.

| 000046xa | | 000126xa | | 000354xa | | SPETTRO MEDIO | |
|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
| Period (sec) | Absolute Acceleration (g) | Period (sec) | Absolute Acceleration (g) | Period (sec) | Absolute Acceleration (g) | Period (sec) | Absolute Acceleration (g) |
| 0.01 | 0.4020 | 0.01 | 0.3682 | 0.01 | 0.3363 | 0.01 | 0.3688 |
| 0.02 | 0.4067 | 0.02 | 0.3699 | 0.02 | 0.3408 | 0.02 | 0.3725 |
| 0.03 | 0.4154 | 0.03 | 0.3732 | 0.03 | 0.3495 | 0.03 | 0.3794 |
| 0.04 | 0.4336 | 0.04 | 0.3846 | 0.04 | 0.3775 | 0.04 | 0.3986 |
| 0.05 | 0.4306 | 0.05 | 0.3706 | 0.05 | 0.3689 | 0.05 | 0.3900 |
| 0.06 | 0.5079 | 0.06 | 0.4233 | 0.06 | 0.4200 | 0.06 | 0.4504 |
| 0.07 | 0.4433 | 0.07 | 0.3844 | 0.07 | 0.4448 | 0.07 | 0.4242 |
| 0.08 | 0.4693 | 0.08 | 0.5034 | 0.08 | 0.4921 | 0.08 | 0.4882 |
| 0.09 | 0.5347 | 0.09 | 0.4843 | 0.09 | 0.5802 | 0.09 | 0.5331 |
| 0.10 | 0.6804 | 0.10 | 0.5176 | 0.10 | 0.6775 | 0.10 | 0.6252 |
| 0.11 | 0.7355 | 0.11 | 0.6414 | 0.11 | 0.6333 | 0.11 | 0.6701 |
| 0.12 | 0.6199 | 0.12 | 0.6628 | 0.12 | 0.6176 | 0.12 | 0.6334 |
| 0.13 | 0.6009 | 0.13 | 0.5686 | 0.13 | 0.7351 | 0.13 | 0.6349 |
| 0.14 | 0.5508 | 0.14 | 0.6385 | 0.14 | 0.8660 | 0.14 | 0.6851 |
| 0.15 | 0.6880 | 0.15 | 0.6741 | 0.15 | 0.8114 | 0.15 | 0.7245 |
| 0.16 | 0.6478 | 0.16 | 0.6617 | 0.16 | 0.8087 | 0.16 | 0.7061 |
| 0.17 | 0.7031 | 0.17 | 0.5515 | 0.17 | 0.7486 | 0.17 | 0.6678 |
| 0.18 | 0.8433 | 0.18 | 0.6564 | 0.18 | 0.8473 | 0.18 | 0.7823 |
| 0.19 | 0.7913 | 0.19 | 0.7409 | 0.19 | 1.0697 | 0.19 | 0.8673 |
| 0.20 | 0.7175 | 0.20 | 0.7844 | 0.20 | 0.9843 | 0.20 | 0.8287 |
| 0.21 | 0.7080 | 0.21 | 0.7640 | 0.21 | 0.7415 | 0.21 | 0.7378 |
| 0.22 | 0.9377 | 0.22 | 0.7170 | 0.22 | 0.7350 | 0.22 | 0.7966 |
| 0.23 | 1.1302 | 0.23 | 0.6720 | 0.23 | 0.8406 | 0.23 | 0.8809 |
| 0.24 | 1.0893 | 0.24 | 0.6777 | 0.24 | 0.9344 | 0.24 | 0.9005 |
| 0.25 | 1.0119 | 0.25 | 0.7277 | 0.25 | 0.9218 | 0.25 | 0.8871 |
| 0.26 | 0.9401 | 0.26 | 0.8107 | 0.26 | 0.9019 | 0.26 | 0.8842 |
| 0.27 | 0.8594 | 0.27 | 0.8790 | 0.27 | 1.0956 | 0.27 | 0.9447 |
| 0.28 | 0.7510 | 0.28 | 0.9058 | 0.28 | 1.2161 | 0.28 | 0.9576 |
| 0.29 | 0.6505 | 0.29 | 0.8846 | 0.29 | 1.1186 | 0.29 | 0.8846 |



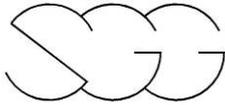
| | | | | | | | |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 0.30 | 0.7266 | 0.30 | 0.8420 | 0.30 | 0.9236 | 0.30 | 0.8307 |
| 0.31 | 0.7584 | 0.31 | 0.8233 | 0.31 | 0.8304 | 0.31 | 0.8040 |
| 0.32 | 0.7250 | 0.32 | 0.8384 | 0.32 | 0.7950 | 0.32 | 0.7862 |
| 0.33 | 0.7365 | 0.33 | 0.8577 | 0.33 | 0.8603 | 0.33 | 0.8182 |
| 0.34 | 0.8286 | 0.34 | 0.8655 | 0.34 | 0.8699 | 0.34 | 0.8547 |
| 0.35 | 0.9194 | 0.35 | 0.8793 | 0.35 | 0.8239 | 0.35 | 0.8742 |
| 0.36 | 0.9878 | 0.36 | 0.8836 | 0.36 | 0.8262 | 0.36 | 0.8992 |
| 0.37 | 1.0410 | 0.37 | 0.8834 | 0.37 | 0.9538 | 0.37 | 0.9594 |
| 0.38 | 1.1294 | 0.38 | 0.8809 | 0.38 | 1.0111 | 0.38 | 1.0071 |
| 0.39 | 1.1791 | 0.39 | 0.8777 | 0.39 | 0.9784 | 0.39 | 1.0117 |
| 0.40 | 1.1323 | 0.40 | 0.8753 | 0.40 | 0.8730 | 0.40 | 0.9602 |
| 0.41 | 0.9742 | 0.41 | 0.8769 | 0.41 | 0.8821 | 0.41 | 0.9111 |
| 0.42 | 0.9031 | 0.42 | 0.8769 | 0.42 | 0.8760 | 0.42 | 0.8853 |
| 0.43 | 0.8251 | 0.43 | 0.8675 | 0.43 | 0.9259 | 0.43 | 0.8728 |
| 0.44 | 0.7472 | 0.44 | 0.8489 | 0.44 | 0.9318 | 0.44 | 0.8427 |
| 0.45 | 0.6742 | 0.45 | 0.8158 | 0.45 | 0.9017 | 0.45 | 0.7972 |
| 0.46 | 0.6115 | 0.46 | 0.7680 | 0.46 | 0.8516 | 0.46 | 0.7437 |
| 0.47 | 0.5625 | 0.47 | 0.7088 | 0.47 | 0.8013 | 0.47 | 0.6909 |
| 0.48 | 0.5293 | 0.48 | 0.6428 | 0.48 | 0.7663 | 0.48 | 0.6461 |
| 0.49 | 0.5113 | 0.49 | 0.5751 | 0.49 | 0.7410 | 0.49 | 0.6091 |
| 0.50 | 0.5061 | 0.50 | 0.5112 | 0.50 | 0.7090 | 0.50 | 0.5754 |
| 0.51 | 0.5099 | 0.51 | 0.4558 | 0.51 | 0.6738 | 0.51 | 0.5465 |
| 0.52 | 0.5194 | 0.52 | 0.4122 | 0.52 | 0.6508 | 0.52 | 0.5274 |
| 0.53 | 0.5306 | 0.53 | 0.3826 | 0.53 | 0.6106 | 0.53 | 0.5079 |
| 0.54 | 0.5416 | 0.54 | 0.3661 | 0.54 | 0.5407 | 0.54 | 0.4828 |
| 0.55 | 0.5504 | 0.55 | 0.3595 | 0.55 | 0.4663 | 0.55 | 0.4587 |
| 0.56 | 0.5561 | 0.56 | 0.3594 | 0.56 | 0.4046 | 0.56 | 0.4400 |
| 0.57 | 0.5582 | 0.57 | 0.3622 | 0.57 | 0.3813 | 0.57 | 0.4339 |
| 0.58 | 0.5565 | 0.58 | 0.3660 | 0.58 | 0.3725 | 0.58 | 0.4317 |
| 0.60 | 0.5418 | 0.60 | 0.3704 | 0.60 | 0.3559 | 0.60 | 0.4227 |
| 0.62 | 0.5142 | 0.62 | 0.3660 | 0.62 | 0.3669 | 0.62 | 0.4157 |
| 0.64 | 0.4774 | 0.64 | 0.3512 | 0.64 | 0.3872 | 0.64 | 0.4053 |
| 0.66 | 0.4392 | 0.66 | 0.3284 | 0.66 | 0.4043 | 0.66 | 0.3906 |
| 0.68 | 0.4211 | 0.68 | 0.3015 | 0.68 | 0.4087 | 0.68 | 0.3771 |
| 0.70 | 0.4049 | 0.70 | 0.2735 | 0.70 | 0.3978 | 0.70 | 0.3587 |
| 0.72 | 0.3851 | 0.72 | 0.2464 | 0.72 | 0.3731 | 0.72 | 0.3349 |
| 0.74 | 0.3631 | 0.74 | 0.2222 | 0.74 | 0.3405 | 0.74 | 0.3086 |
| 0.76 | 0.3399 | 0.76 | 0.2023 | 0.76 | 0.3049 | 0.76 | 0.2824 |
| 0.78 | 0.3164 | 0.78 | 0.1963 | 0.78 | 0.2865 | 0.78 | 0.2664 |



| | | | | | | | |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 0.80 | 0.2930 | 0.80 | 0.1912 | 0.80 | 0.2649 | 0.80 | 0.2497 |
| 0.82 | 0.2703 | 0.82 | 0.1882 | 0.82 | 0.2518 | 0.82 | 0.2367 |
| 0.84 | 0.2484 | 0.84 | 0.1903 | 0.84 | 0.2316 | 0.84 | 0.2234 |
| 0.86 | 0.2279 | 0.86 | 0.1880 | 0.86 | 0.2090 | 0.86 | 0.2083 |
| 0.88 | 0.2087 | 0.88 | 0.1808 | 0.88 | 0.1878 | 0.88 | 0.1924 |
| 0.90 | 0.1908 | 0.90 | 0.1776 | 0.90 | 0.1797 | 0.90 | 0.1827 |
| 0.92 | 0.1745 | 0.92 | 0.1778 | 0.92 | 0.1791 | 0.92 | 0.1771 |
| 0.94 | 0.1594 | 0.94 | 0.1765 | 0.94 | 0.1692 | 0.94 | 0.1684 |
| 0.96 | 0.1457 | 0.96 | 0.1736 | 0.96 | 0.1534 | 0.96 | 0.1576 |
| 0.98 | 0.1332 | 0.98 | 0.1692 | 0.98 | 0.1354 | 0.98 | 0.1459 |
| 1.00 | 0.1219 | 1.00 | 0.1635 | 1.00 | 0.1221 | 1.00 | 0.1358 |
| 1.05 | 0.1040 | 1.05 | 0.1455 | 1.05 | 0.1346 | 1.05 | 0.1280 |
| 1.10 | 0.0920 | 1.10 | 0.1254 | 1.10 | 0.1524 | 1.10 | 0.1233 |
| 1.15 | 0.0816 | 1.15 | 0.1063 | 1.15 | 0.1662 | 1.15 | 0.1180 |
| 1.20 | 0.0726 | 1.20 | 0.0893 | 1.20 | 0.1477 | 1.20 | 0.1032 |
| 1.25 | 0.0649 | 1.25 | 0.0791 | 1.25 | 0.1129 | 1.25 | 0.0856 |
| 1.30 | 0.0582 | 1.30 | 0.0751 | 1.30 | 0.0936 | 1.30 | 0.0756 |
| 1.35 | 0.0525 | 1.35 | 0.0706 | 1.35 | 0.0990 | 1.35 | 0.0740 |
| 1.40 | 0.0475 | 1.40 | 0.0655 | 1.40 | 0.1026 | 1.40 | 0.0719 |
| 1.45 | 0.0432 | 1.45 | 0.0601 | 1.45 | 0.1022 | 1.45 | 0.0685 |
| 1.50 | 0.0394 | 1.50 | 0.0547 | 1.50 | 0.0961 | 1.50 | 0.0634 |
| 1.55 | 0.0361 | 1.55 | 0.0496 | 1.55 | 0.0878 | 1.55 | 0.0578 |
| 1.60 | 0.0332 | 1.60 | 0.0451 | 1.60 | 0.0769 | 1.60 | 0.0517 |
| 1.65 | 0.0307 | 1.65 | 0.0412 | 1.65 | 0.0638 | 1.65 | 0.0452 |
| 1.70 | 0.0284 | 1.70 | 0.0380 | 1.70 | 0.0531 | 1.70 | 0.0399 |
| 1.75 | 0.0265 | 1.75 | 0.0354 | 1.75 | 0.0457 | 1.75 | 0.0359 |
| 1.80 | 0.0247 | 1.80 | 0.0332 | 1.80 | 0.0437 | 1.80 | 0.0339 |
| 1.85 | 0.0231 | 1.85 | 0.0315 | 1.85 | 0.0458 | 1.85 | 0.0335 |
| 1.90 | 0.0217 | 1.90 | 0.0300 | 1.90 | 0.0463 | 1.90 | 0.0326 |
| 1.95 | 0.0204 | 1.95 | 0.0286 | 1.95 | 0.0446 | 1.95 | 0.0312 |
| 2.00 | 0.0192 | 2.00 | 0.0274 | 2.00 | 0.0417 | 2.00 | 0.0294 |
| 2.05 | 0.0182 | 2.05 | 0.0262 | 2.05 | 0.0380 | 2.05 | 0.0275 |
| 2.10 | 0.0172 | 2.10 | 0.0251 | 2.10 | 0.0339 | 2.10 | 0.0254 |
| 2.15 | 0.0163 | 2.15 | 0.0240 | 2.15 | 0.0312 | 2.15 | 0.0239 |
| 2.20 | 0.0155 | 2.20 | 0.0230 | 2.20 | 0.0294 | 2.20 | 0.0226 |
| 2.25 | 0.0148 | 2.25 | 0.0220 | 2.25 | 0.0287 | 2.25 | 0.0218 |
| 2.30 | 0.0141 | 2.30 | 0.0210 | 2.30 | 0.0292 | 2.30 | 0.0214 |
| 2.35 | 0.0135 | 2.35 | 0.0201 | 2.35 | 0.0290 | 2.35 | 0.0208 |
| 2.40 | 0.0129 | 2.40 | 0.0192 | 2.40 | 0.0280 | 2.40 | 0.0200 |



| | | | | | | | |
|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 2.50 | 0.0119 | 2.50 | 0.0176 | 2.50 | 0.0249 | 2.50 | 0.0181 |
| 2.60 | 0.0110 | 2.60 | 0.0162 | 2.60 | 0.0221 | 2.60 | 0.0164 |
| 2.70 | 0.0102 | 2.70 | 0.0150 | 2.70 | 0.0209 | 2.70 | 0.0154 |
| 2.80 | 0.0095 | 2.80 | 0.0139 | 2.80 | 0.0208 | 2.80 | 0.0147 |
| 2.90 | 0.0089 | 2.90 | 0.0130 | 2.90 | 0.0208 | 2.90 | 0.0142 |
| 3.00 | 0.0083 | 3.00 | 0.0121 | 3.00 | 0.0201 | 3.00 | 0.0135 |
| 3.10 | 0.0078 | 3.10 | 0.0113 | 3.10 | 0.0187 | 3.10 | 0.0126 |
| 3.20 | 0.0074 | 3.20 | 0.0106 | 3.20 | 0.0174 | 3.20 | 0.0118 |
| 3.30 | 0.0070 | 3.30 | 0.0100 | 3.30 | 0.0166 | 3.30 | 0.0112 |
| 3.40 | 0.0066 | 3.40 | 0.0094 | 3.40 | 0.0147 | 3.40 | 0.0102 |
| 3.50 | 0.0063 | 3.50 | 0.0088 | 3.50 | 0.0122 | 3.50 | 0.0091 |
| 3.60 | 0.0060 | 3.60 | 0.0083 | 3.60 | 0.0109 | 3.60 | 0.0084 |
| 3.70 | 0.0057 | 3.70 | 0.0078 | 3.70 | 0.0105 | 3.70 | 0.0080 |
| 3.80 | 0.0054 | 3.80 | 0.0074 | 3.80 | 0.0100 | 3.80 | 0.0076 |
| 3.90 | 0.0052 | 3.90 | 0.0070 | 3.90 | 0.0095 | 3.90 | 0.0072 |
| 4.00 | 0.0050 | 4.00 | 0.0066 | 4.00 | 0.0091 | 4.00 | 0.0069 |
| 4.10 | 0.0048 | 4.10 | 0.0063 | 4.10 | 0.0087 | 4.10 | 0.0066 |
| 4.20 | 0.0046 | 4.20 | 0.0060 | 4.20 | 0.0082 | 4.20 | 0.0063 |
| 4.30 | 0.0044 | 4.30 | 0.0057 | 4.30 | 0.0078 | 4.30 | 0.0060 |
| 4.40 | 0.0042 | 4.40 | 0.0054 | 4.40 | 0.0074 | 4.40 | 0.0057 |
| 4.50 | 0.0041 | 4.50 | 0.0052 | 4.50 | 0.0070 | 4.50 | 0.0054 |
| 4.60 | 0.0039 | 4.60 | 0.0050 | 4.60 | 0.0066 | 4.60 | 0.0052 |
| 4.70 | 0.0038 | 4.70 | 0.0048 | 4.70 | 0.0062 | 4.70 | 0.0049 |
| 4.80 | 0.0037 | 4.80 | 0.0046 | 4.80 | 0.0059 | 4.80 | 0.0047 |
| 4.90 | 0.0036 | 4.90 | 0.0044 | 4.90 | 0.0055 | 4.90 | 0.0045 |
| 5.00 | 0.0034 | 5.00 | 0.0043 | 5.00 | 0.0052 | 5.00 | 0.0043 |
| 5.10 | 0.0033 | 5.10 | 0.0041 | 5.10 | 0.0049 | 5.10 | 0.0041 |
| 5.20 | 0.0032 | 5.20 | 0.0040 | 5.20 | 0.0046 | 5.20 | 0.0039 |
| 5.40 | 0.0031 | 5.40 | 0.0037 | 5.40 | 0.0041 | 5.40 | 0.0036 |
| 5.60 | 0.0029 | 5.60 | 0.0035 | 5.60 | 0.0036 | 5.60 | 0.0034 |
| 5.80 | 0.0027 | 5.80 | 0.0034 | 5.80 | 0.0033 | 5.80 | 0.0031 |
| 6.00 | 0.0026 | 6.00 | 0.0032 | 6.00 | 0.0030 | 6.00 | 0.0029 |
| 6.20 | 0.0025 | 6.20 | 0.0030 | 6.20 | 0.0027 | 6.20 | 0.0028 |
| 6.40 | 0.0024 | 6.40 | 0.0029 | 6.40 | 0.0025 | 6.40 | 0.0026 |
| 6.60 | 0.0023 | 6.60 | 0.0028 | 6.60 | 0.0024 | 6.60 | 0.0025 |
| 6.80 | 0.0022 | 6.80 | 0.0027 | 6.80 | 0.0022 | 6.80 | 0.0024 |
| 7.00 | 0.0021 | 7.00 | 0.0026 | 7.00 | 0.0021 | 7.00 | 0.0023 |
| 7.20 | 0.0020 | 7.20 | 0.0025 | 7.20 | 0.0020 | 7.20 | 0.0022 |
| 7.40 | 0.0020 | 7.40 | 0.0024 | 7.40 | 0.0019 | 7.40 | 0.0021 |



| | | | | | | | |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 7.60 | 0.0019 | 7.60 | 0.0023 | 7.60 | 0.0018 | 7.60 | 0.0020 |
| 7.80 | 0.0019 | 7.80 | 0.0022 | 7.80 | 0.0017 | 7.80 | 0.0019 |
| 8.00 | 0.0018 | 8.00 | 0.0021 | 8.00 | 0.0016 | 8.00 | 0.0019 |
| 8.50 | 0.0017 | 8.50 | 0.0020 | 8.50 | 0.0015 | 8.50 | 0.0017 |
| 9.00 | 0.0016 | 9.00 | 0.0018 | 9.00 | 0.0014 | 9.00 | 0.0016 |
| 9.50 | 0.0015 | 9.50 | 0.0017 | 9.50 | 0.0013 | 9.50 | 0.0015 |
| 10.00 | 0.0014 | 10.00 | 0.0016 | 10.00 | 0.0012 | 10.00 | 0.0014 |

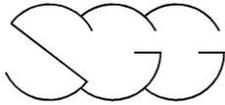
L'area analizzata, trattandosi di un'area caratterizzata dalla presenza di una frana quiescente, è presumibilmente esclusa da previsioni di nuove edificazioni. Nel caso in cui vengano comunque previste delle nuove strutture, lo spettro di progettazione dovrà tenere conto dei risultati dell'analisi di risposta sismica locale di terzo livello, dato che per talune frequenze risulta maggiore dello spettro derivato dall'analisi semplificata di secondo livello e quindi maggiormente cautelativo.

12.5 Verifiche di stabilità e determinazione degli spostamenti

Tra i vari requisiti che dovranno essere forniti con il terzo livello di approfondimento, vi è il grado stabilità ed i cedimenti attesi del corpo franoso. Per valutare il grado di stabilità sono state eseguite delle verifiche in condizioni sismiche secondo il metodo pseudo-statico.

Le verifiche sono state eseguite sulla base di una caratterizzazione geotecnica dei terreni ottenuta dal complesso di tutte le indagini precedenti e di quelle attualmente eseguite; inoltre sono stati usati i parametri derivanti da specifiche prove, eseguite nell'ambito di tale incarico su terreni simili in comuni adiacenti.

Le verifiche di stabilità e la parametrizzazione dei terreni vengono eseguite sulla base delle norme tecniche per le costruzioni (D. M. 14 gennaio 2008). Secondo tale normativa le verifiche di stabilità vengono di norma eseguite secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) che rispetto alle altre combinazioni è la più severa nella parametrizzazione geotecnica.



Di seguito vengono riassunte le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari litotipi presenti nell'area.

- Limi sabbiosi (frana quiescente):

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| peso di volume | $\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$ |
| coesione | $C = 0 \text{ kPa}$ |
| angolo di attrito | $\varphi = 25^\circ$ |

- Argille limose con livelli sabbiosi:

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| peso di volume | $\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$ |
| coesione | $C = 10 \text{ kPa}$ |
| angolo di attrito | $\varphi = 23^\circ$ |

- Argilla compatta con livelli sabbiosi:

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| peso di volume | $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$ |
| coesione | $C = 30 \text{ kPa}$ |
| angolo di attrito | $\varphi = 23^\circ$ |

Entrando nel dettaglio dei calcoli, le verifiche sono state eseguite per mezzo di uno programma computerizzato predisposto dalla *Geo&Soft*; tale software valuta la stabilità tramite il metodo "Sarma" basato sulla ricerca delle condizioni di equilibrio, attraverso il calcolo del coefficiente di sicurezza di superfici di scivolamento definite arbitrariamente. Nel caso in esame viene considerata come metodologia specifica quella di una superficie planare coincidente con l'ipotizzato piano di scivolamento. Il coefficiente di sicurezza coincide con il valore che assume un parametro riduttivo P_r delle caratteristiche geotecniche reattive (tangente dell'angolo di attrito e coesione) quando esso porta all'annullamento dell'accelerazione critica. Le superfici di scivolamento definite arbitrariamente sono considerate stabili quando il coefficiente di sicurezza $> 1,1$ (colore verde); si considerano prossime alla instabilità con il fattore di sicurezza compreso tra 1 e 1,1 (colore giallo) e instabili con il coefficiente di sicurezza < 1 (colore rosso).

Il territorio del Comune di Borghi, secondo la normativa sismica vigente, è inserito in zona 2.

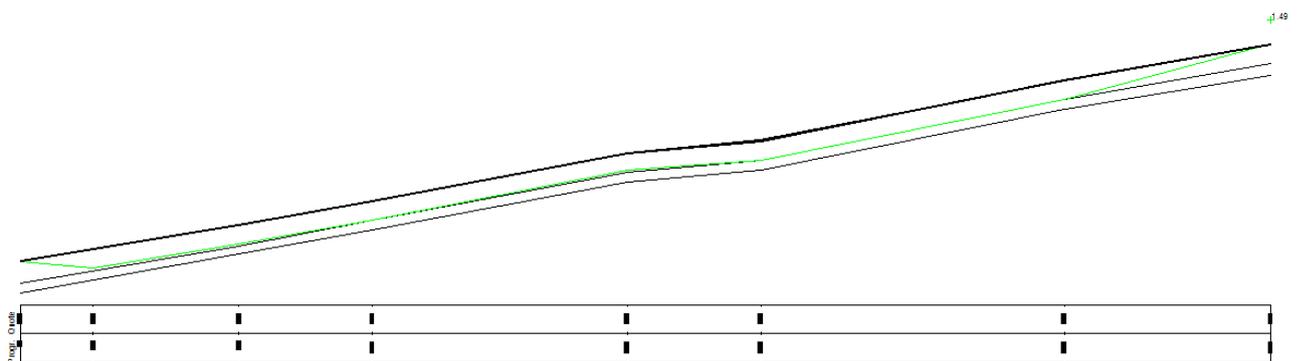
La determinazione dell'accelerazione orizzontale massima è stata eseguita con l'analisi di risposta sismica, sulla base del profilo stratigrafico locale ed utilizzando come moto di input gli accelerogrammi di riferimento per il Comune di Borghi.

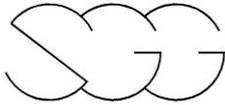
Il valore ottenuto dovrà essere corretto con un fattore topografico (S_T), che nel caso specifico viene considerato in modo cautelativo pari a 1,2 (T2).

Per determinare la componente sismica orizzontale, cioè il parametro da inserire nel programma di calcolo, l'accelerazione sismica prevista per il sito in esame deve essere ridotta per mezzo di un coefficiente di riduzione sismica anche dipendente della categoria di suolo. Nel caso specifico il coefficiente riduttivo è pari a 0,28.

In riferimento a tutto quanto sopra, le verifiche di stabilità sono state effettuate utilizzando la componente sismica orizzontale pari a 0,124 e quella verticale pari a 0,062, essendo convenzionalmente la metà di quella orizzontale.

Per ciò che riguarda la sezione analizzata e considerando la superficie di scivolamento planare, emerge che il coefficiente di sicurezza è pari a 1,49.





Complessivamente, si può perciò affermare che l'area analizzata risulta stabile.

Per il calcolo degli spostamenti permanenti indotti dall'azione sismica, viene adottato uno dei metodi semplificati ed in particolare l'approccio originario di Newmark, dove lo spostamento S è il prodotto di S_0 (spostamento di un blocco rigido equivalente al corpo di frana su un piano orizzontale) ed A (fattore di forma che dipende dalla geometria del versante, dalle caratteristiche del sistema e dalla forma della superficie di scorrimento)

$$S = S_0 \cdot A$$

ovvero

$$S = S_0 \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\cos \phi}$$

dove

α = inclinazione della superficie di scorrimento

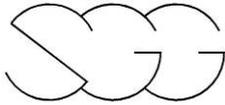
ϕ = angolo di resistenza al taglio del terreno

$$S_{0(\max)} = \frac{v_{\max}^2}{2a_c} (a_{\max} / a_c)$$

a_{\max} = accelerazione massima del moto alla base del pendio (g)

v_{\max} = velocità massima del moto alla base (cm/sec)

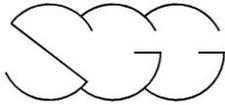
$a_c = K_c g$ accelerazione critica



Dai calcoli effettuati risulta che, per la frana in esame, lo spostamento atteso S in caso di evento sismico è pari a 6,9 cm.

Siena, Settembre 2013

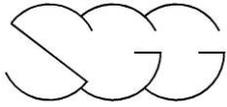
Dr. Geol. Antonio Maria Baldi



Appendice

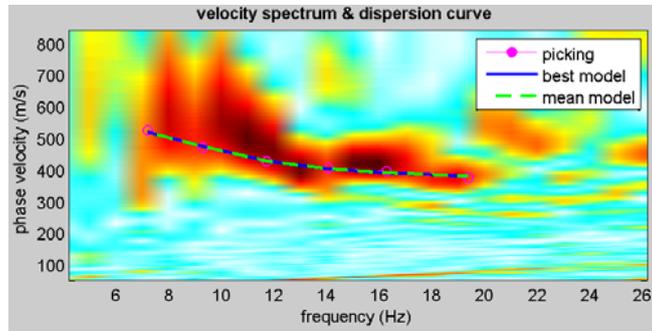
Indagini I° e II° livello

- | | |
|--------------------------------|---------|
| - Prove MASW | Pag. 72 |
| - Misure HVSR | Pag. 78 |
| - Prove penetrometriche | Pag. 84 |

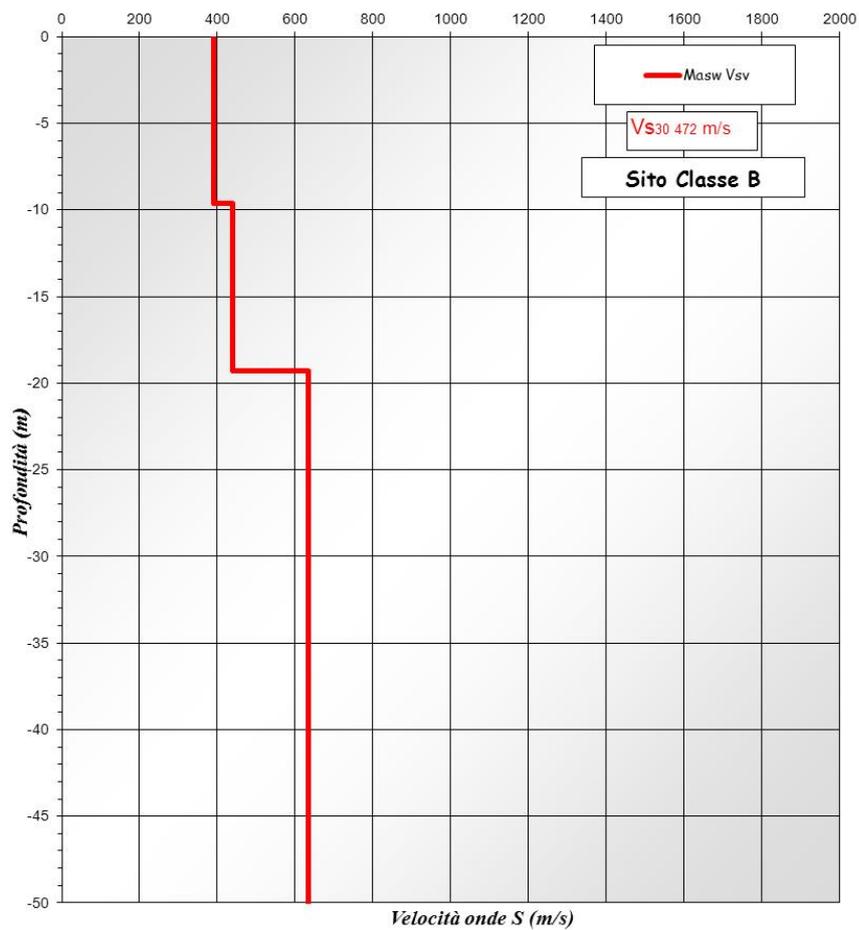


PROVE MASW

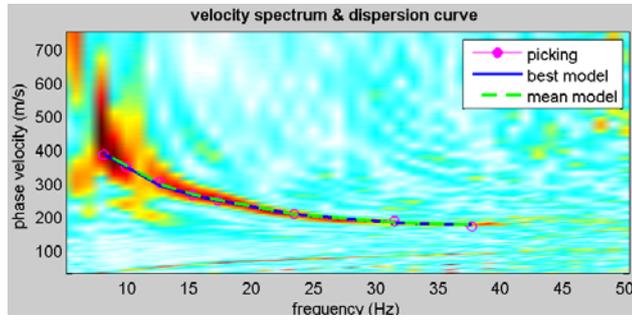
40004L016MASW23



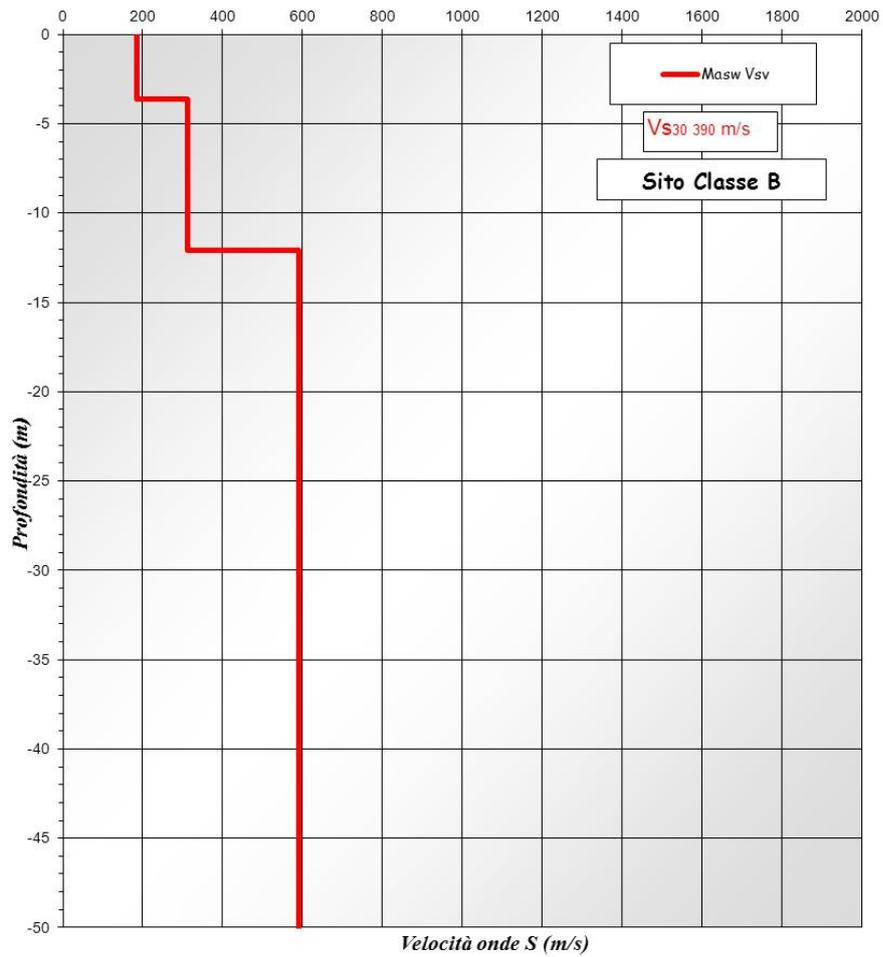
Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



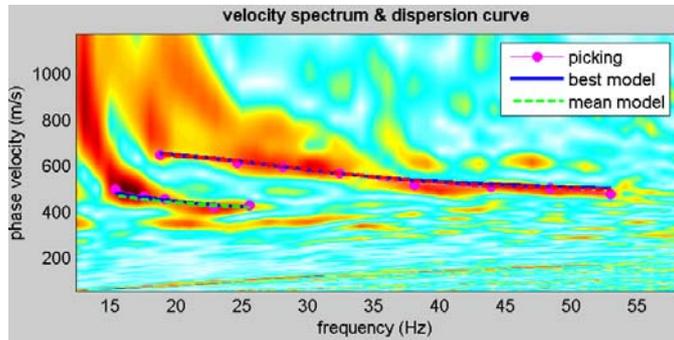
40004L017MASW24



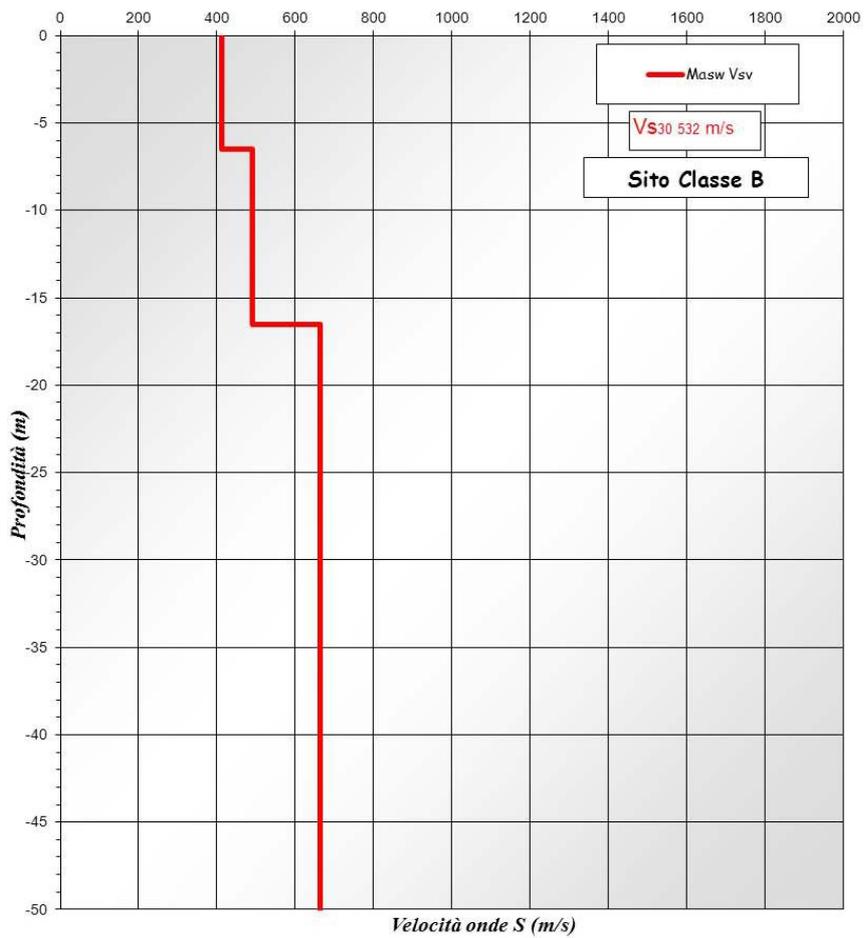
Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



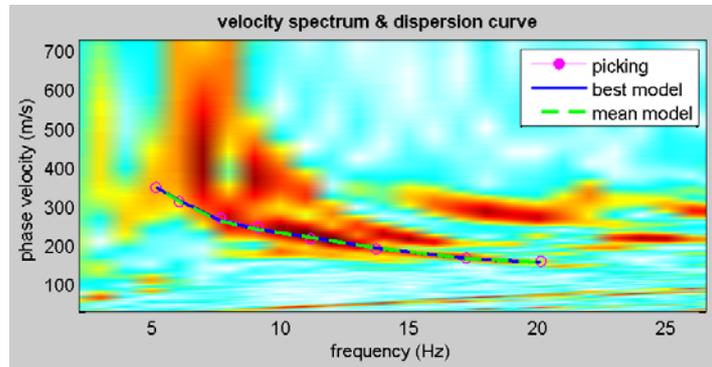
40004L018MASW25



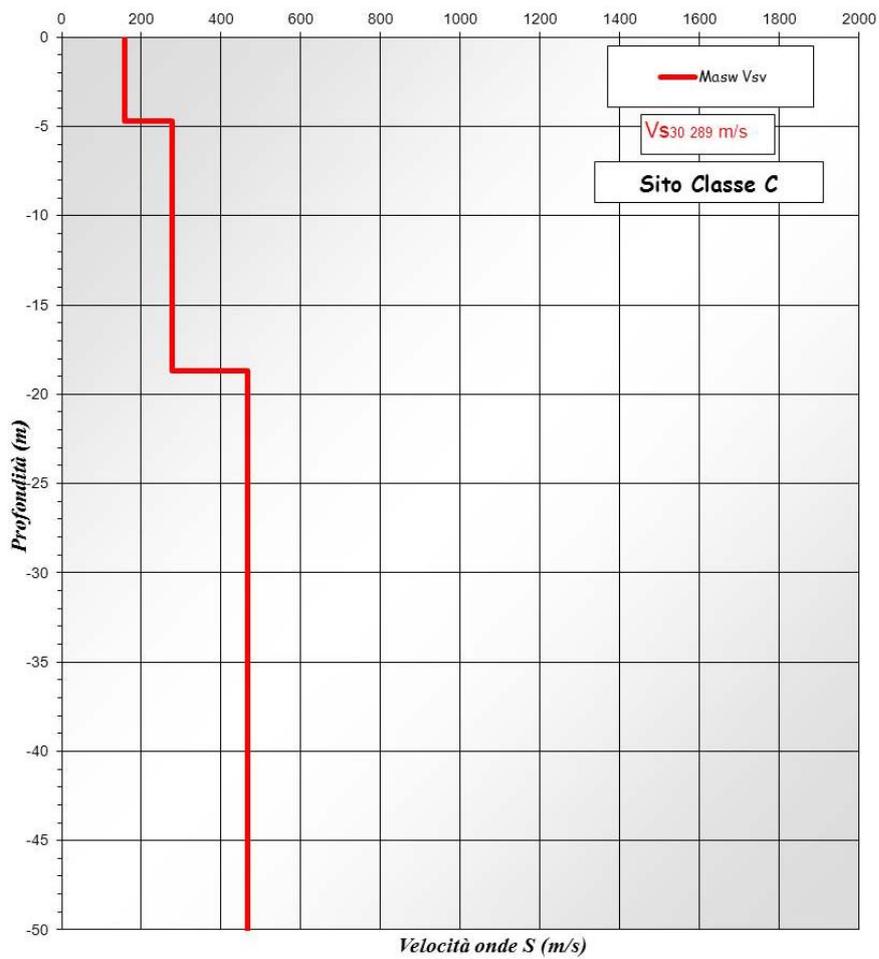
Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



40004L019MASW26

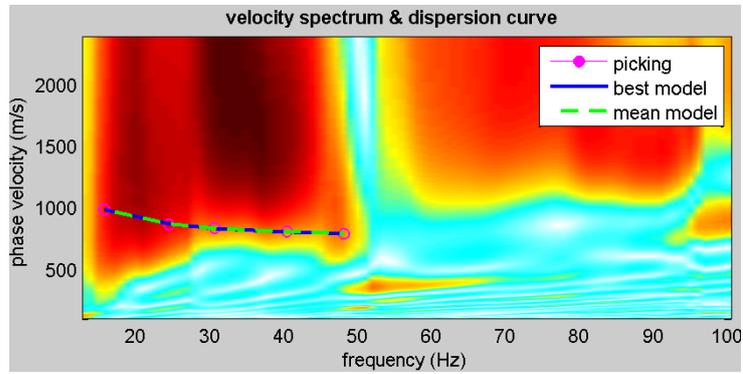


Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves

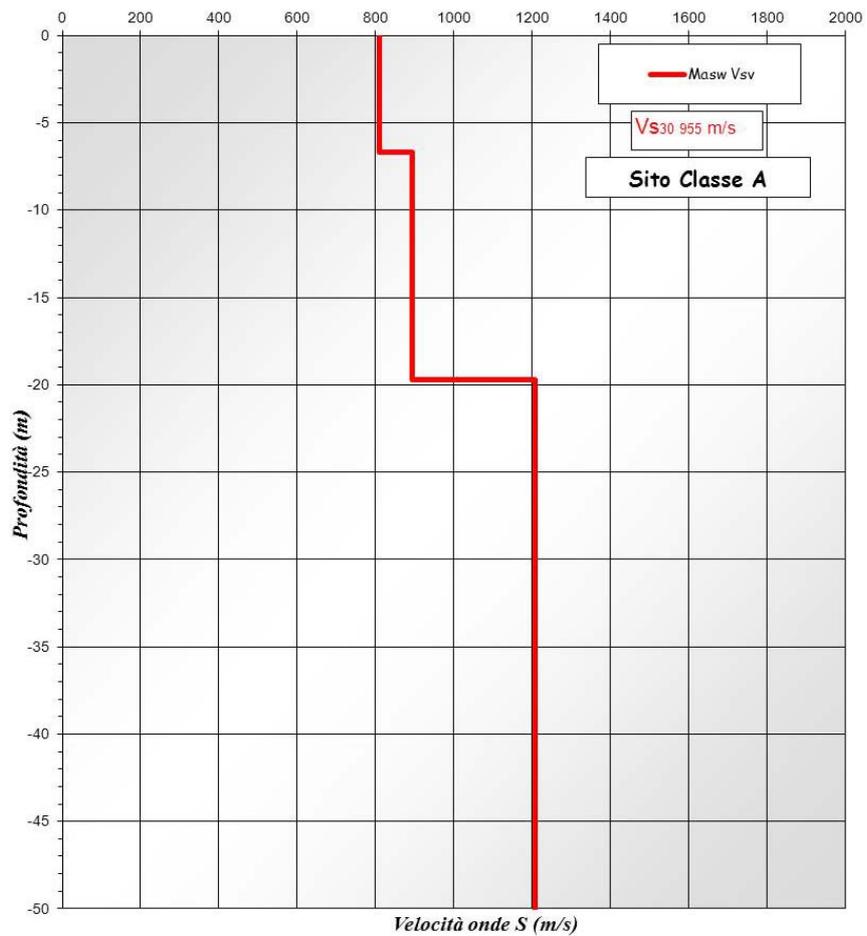


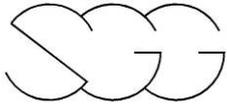
Comune di Borghi (FC)
 Studio di microzonazione sismica
 Relazione tecnica

40004L020MASW27



Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



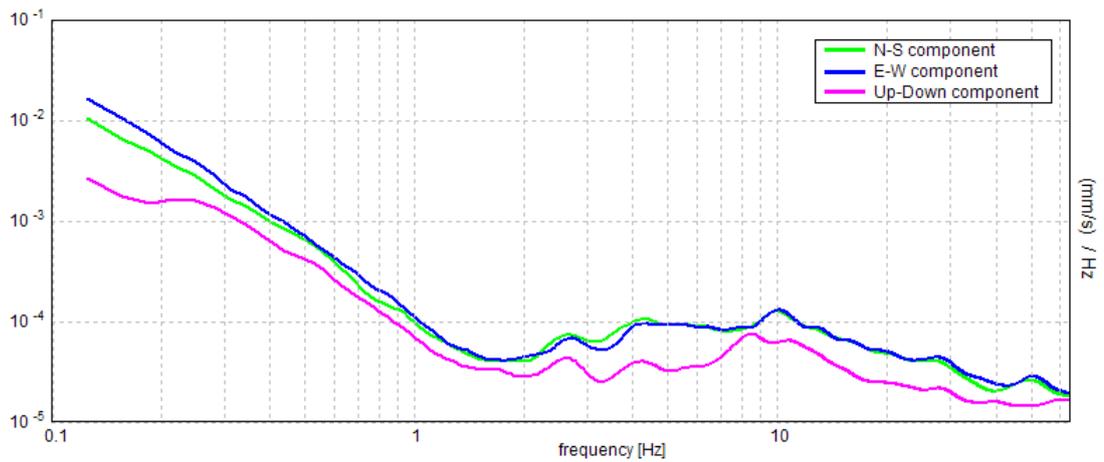
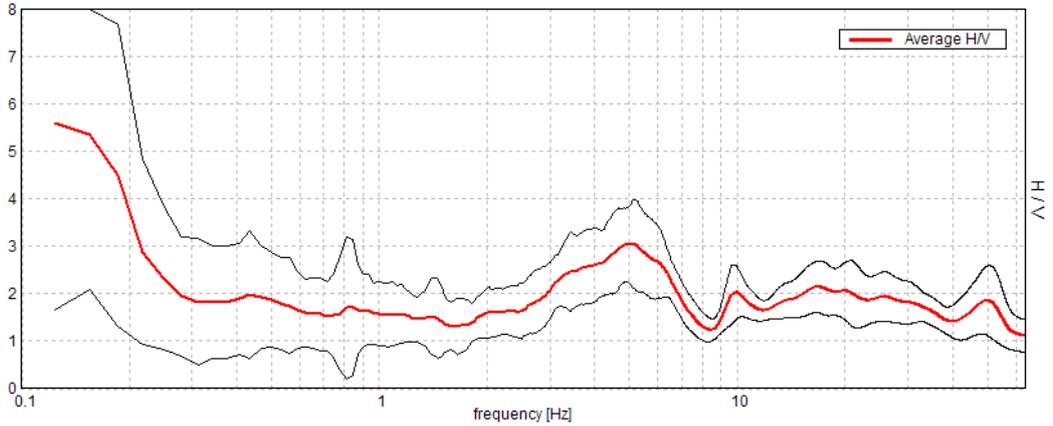


PROVE HVSR

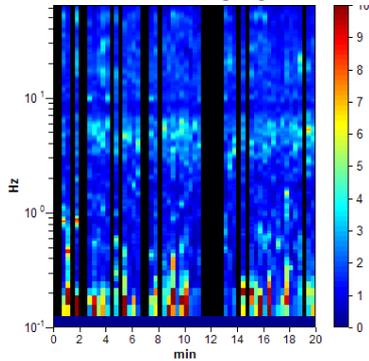
Misura 40004P123HVSR138

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

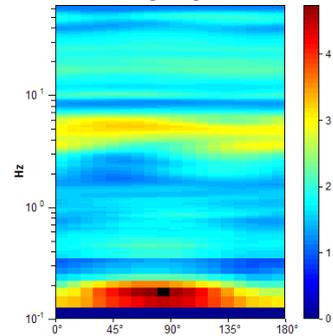
Max. H/V at 5.16 ± 3.14 Hz. (In the range 2.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



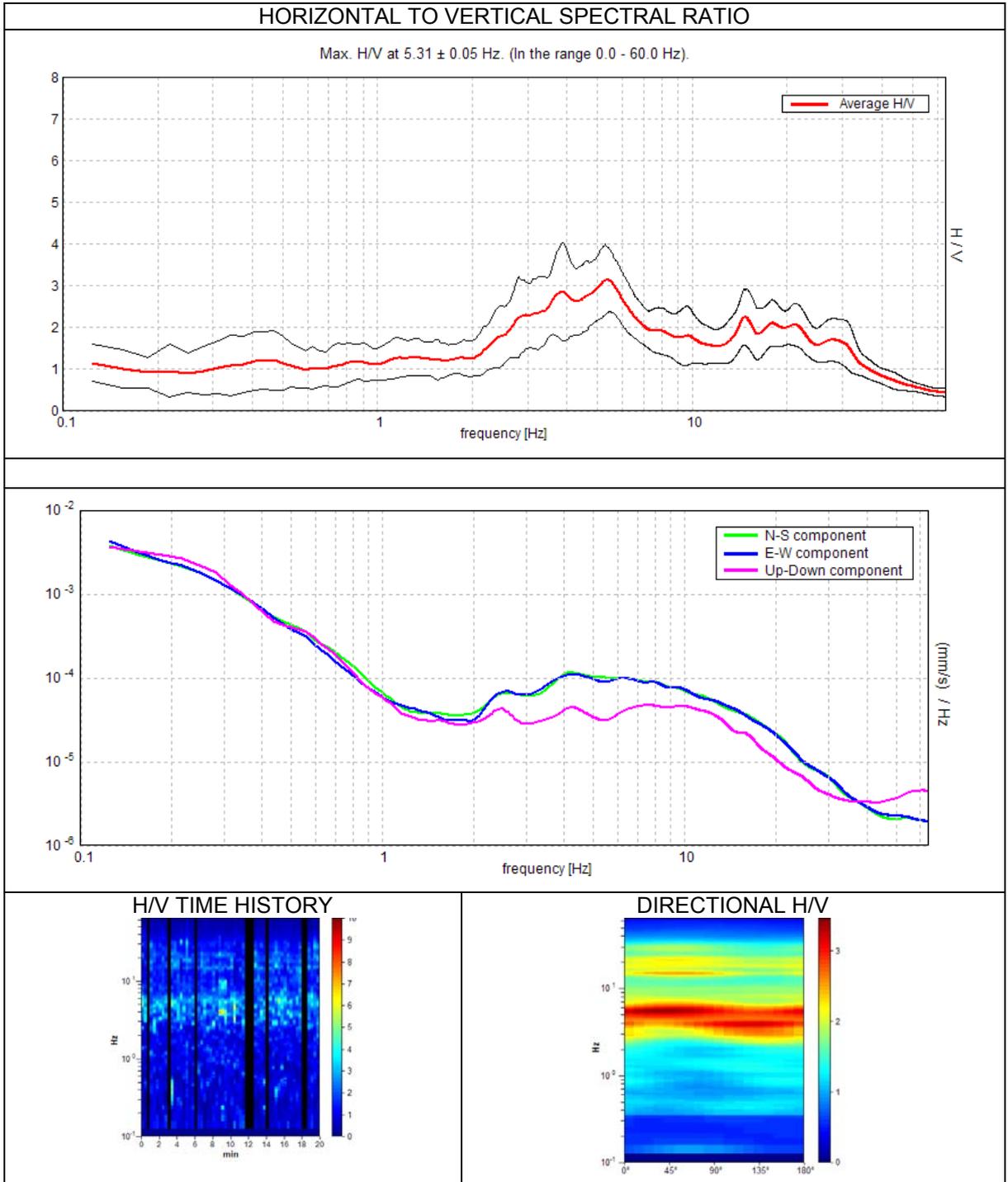
DIRECTIONAL H/V



| |
|------------|
| f_0 (Hz) |
| 5,16 |

Misura 40004P124HVSR139

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

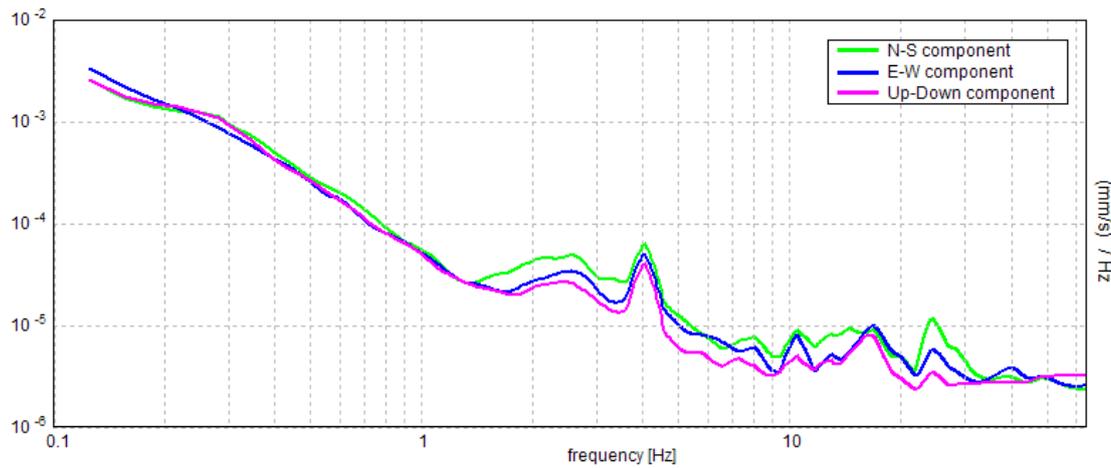
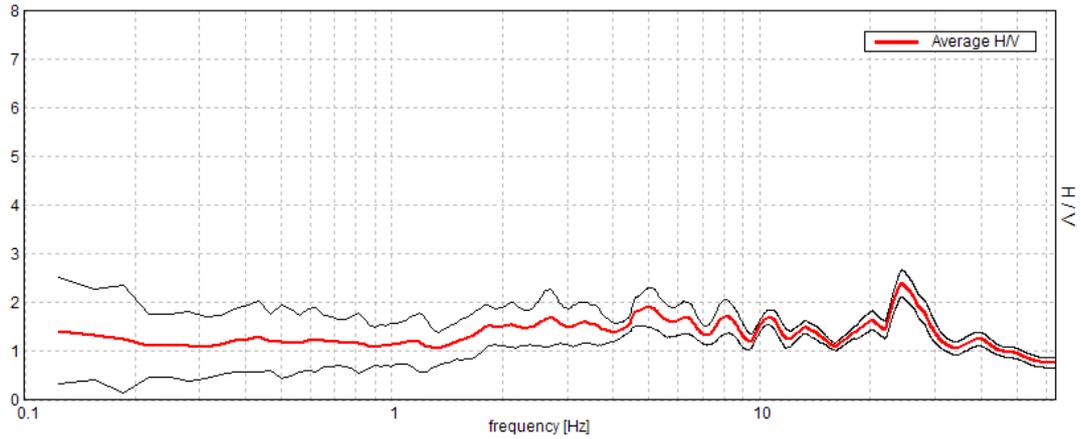


| |
|------------|
| f_0 (Hz) |
| 5,31 |

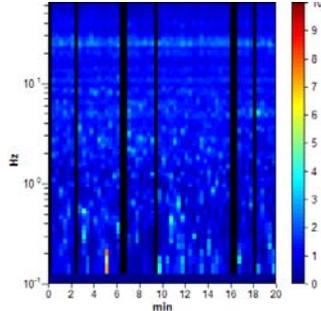
Misura 40004P125HVSR140

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

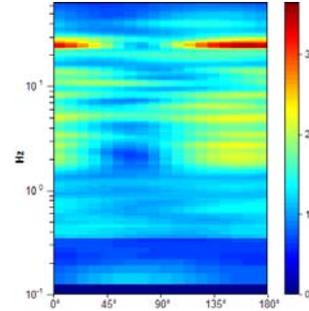
Max. H/V at 24.34 ± 0.88 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



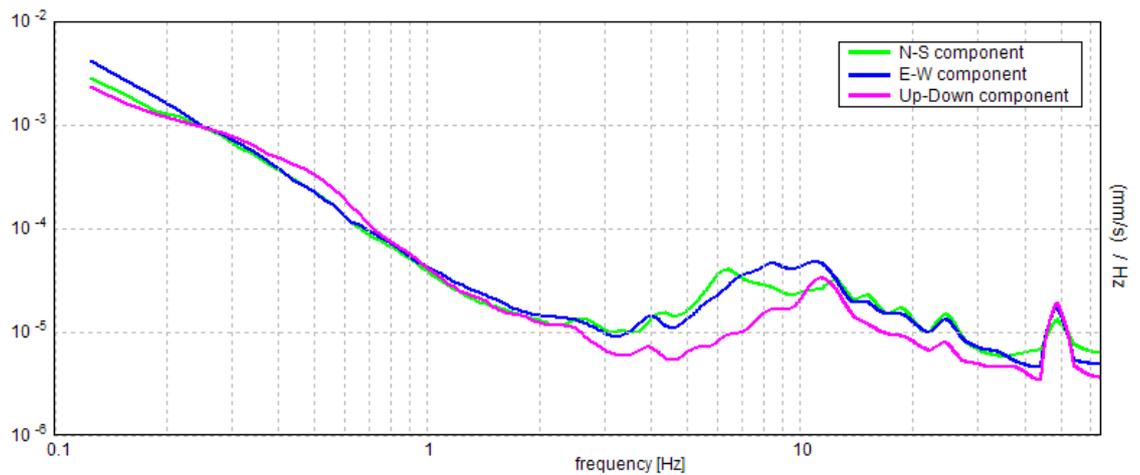
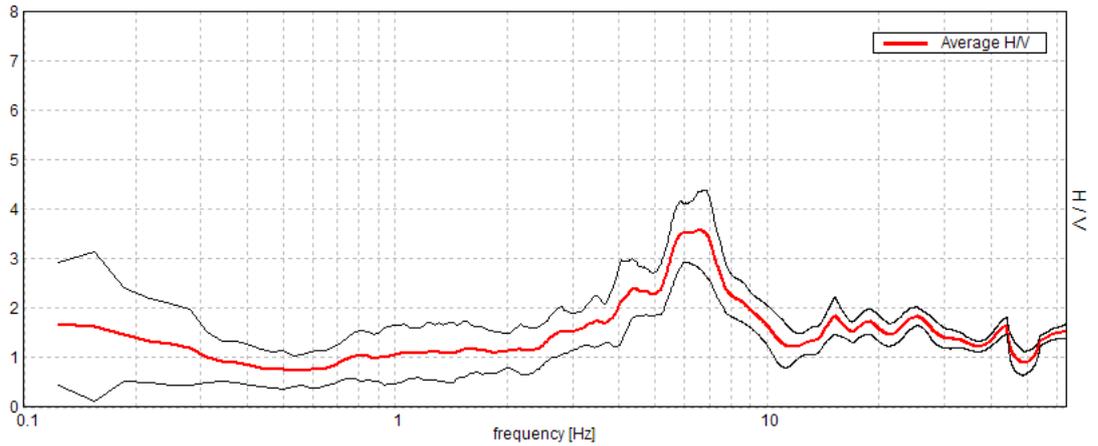
f_0 (Hz)

/

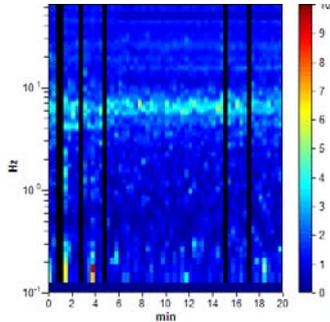
Misura 40004P126HVSR141

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

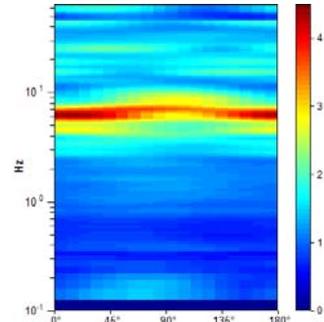
Max. H/V at 6.56 ± 0.35 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



f_0 (Hz)

6,56

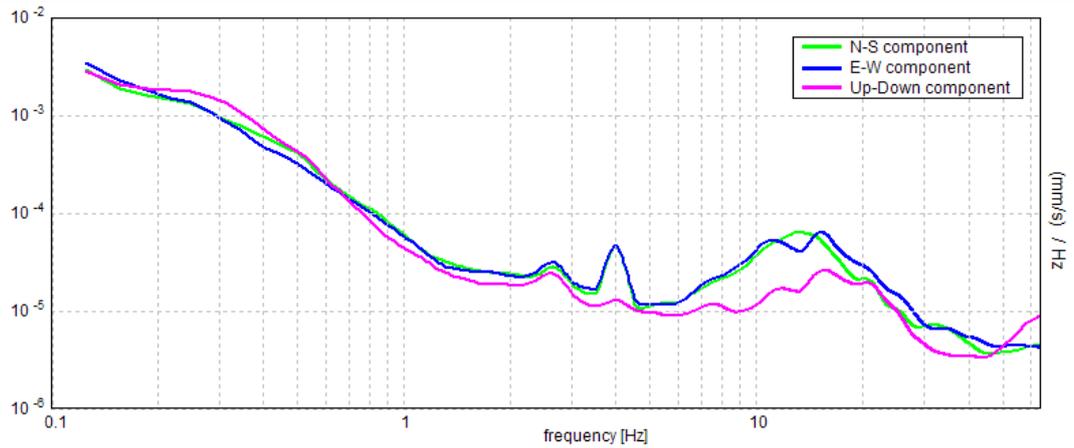
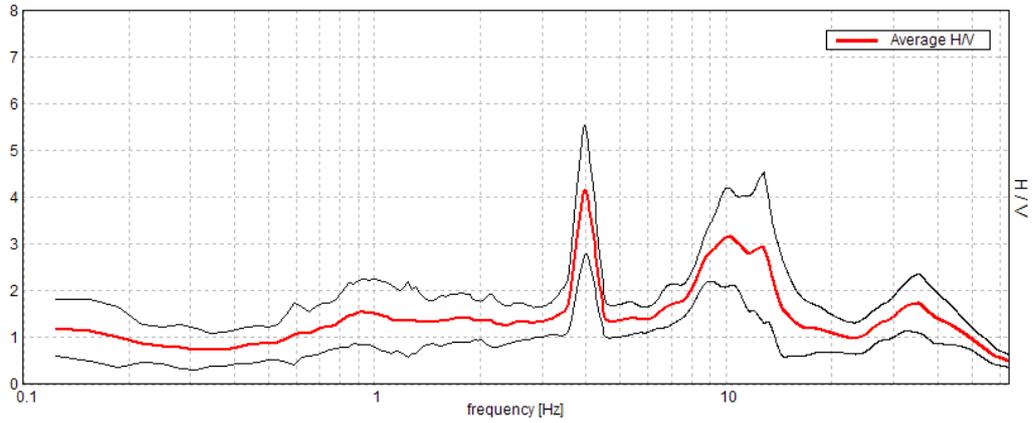
f_1 (Hz)

4,4

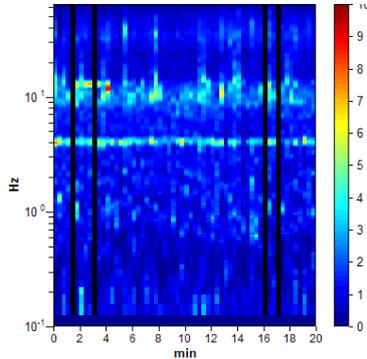
Misura 40004P127HVSR142

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

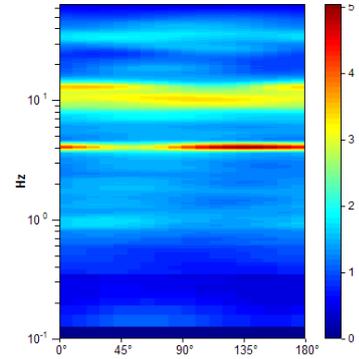
Max. H/V at 4.0 ± 0.32 Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

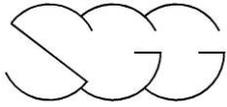


f_0 (Hz)

4,0

f_1 (Hz)

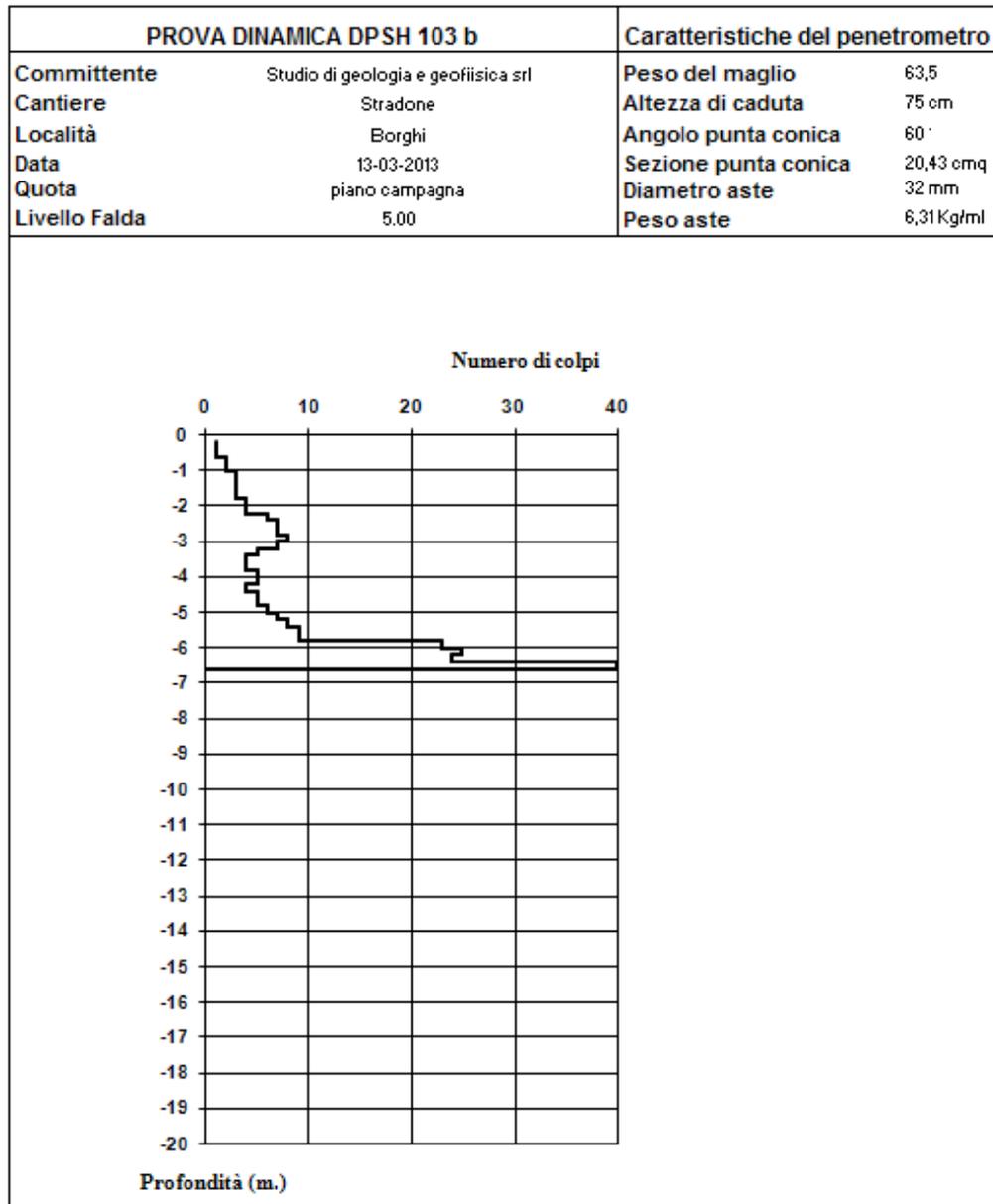
10,0



PROVE PENETROMETRICHE

40004P128DP144

| | |
|---|---|
| GEOECOTER associated engineers www.geocoter.com | GEOECOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata |
| | Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080 |
| P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613 | |



Comune di Borghi (FC)
 Studio di microzonazione simica
 Relazione tecnica

40004P129DP145

| | |
|--|---|
| associated engineers www.geocoter.com | GEOECOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata |
| | Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax: 0547/95080 |
| | P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613 |

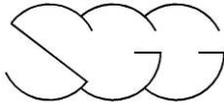
| PROVA DINAMICA DPSH 104 b | | Caratteristiche del penetrometro | |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------|
| Committente | Studio di geologia e geofisica srl | Peso del maglio | 63,5 |
| Cantiere | Prati Verdi | Altezza di caduta | 75 cm |
| Località | Borghi | Angolo punta conica | 60° |
| Data | 13-03-2013 | Sezione punta conica | 20,43 cmq |
| Quota | piano campagna | Diametro aste | 32 mm |
| Livello Falda | 3.00 | Peso aste | 6,31 Kg/ml |

Numero di colpi

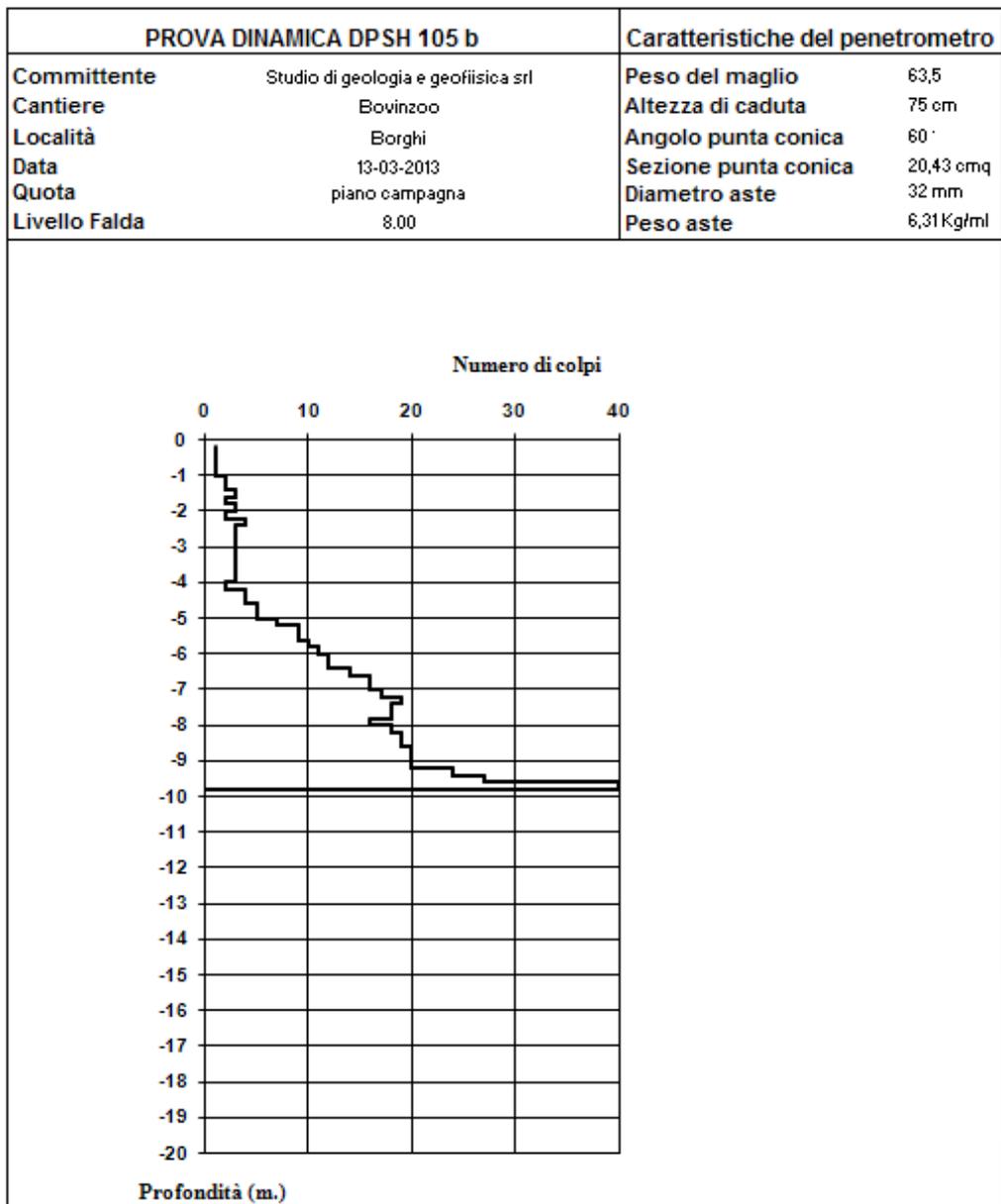
| Profondità (m.) | Numero di colpi |
|-----------------|-----------------|
| 0 | 10 |
| -1 | 15 |
| -2 | 20 |
| -3 | 25 |
| -4 | 30 |
| -4.5 | 35 |
| -5 | 35 |
| -6 | 35 |
| -7 | 35 |
| -8 | 35 |
| -9 | 35 |
| -10 | 35 |
| -11 | 35 |
| -12 | 35 |
| -13 | 35 |
| -14 | 35 |
| -15 | 35 |
| -16 | 35 |
| -17 | 35 |
| -18 | 35 |
| -19 | 35 |
| -20 | 35 |

Profondità (m.)

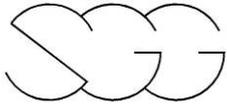
Comune di Borghi (FC)
 Studio di microzonazione sismica
 Relazione tecnica

**40004P130DP146**

| | |
|--|---|
|  GEOECOTER associated engineers | GEOECOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata |
| | Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax 0547/95080 |
| www.geocoter.com | P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613 |

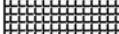
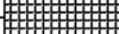
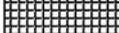


Comune di Borghi (FC)
Studio di microzonazione simica
Relazione tecnica

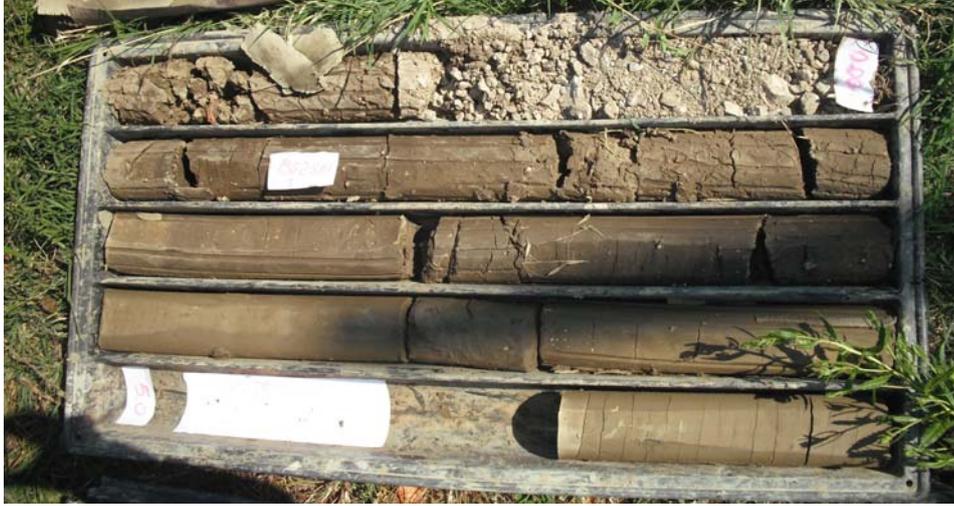


Indagini III° livello



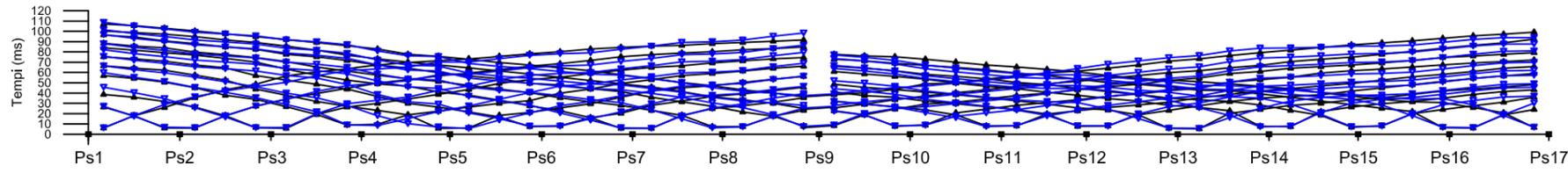
|  | | Loc. Trabocchi - Montefeltro 47030 Sogliano di F. (FC) Tel. e Fax 0547/95000 C.F./P.I. Reg. Imprese Forlì Cesena n. 02649290405 n. REA 284299 iscr. Albo Soc. Coop. n. A06613 | | MACCHINA PERFORATRICE: IPC DRILL 830 METODO DI PERFORAZIONE: CAROTTAGGIO CONTINUO | | S1 PROFONDITA' m 15,00 | | | | | |
|---|-----------------|---|--|--|------|------------------------------|------------|--------------|------------|---------------|------------|
| Committente : Sgg | | RIVESTIMENTO: | | ATTREZZO DI PERFORAZIONE: Carotere diamantato | | DATA: 26/08/2013 | | | | | |
| Cantiere: Borghi (2) (FC) | | NOTE: Profondità raggiunta 15,00 m | | | | | | | | | |
| CAMPIONI: disturbato (d) - indisturbato (i) A - da carotiere semplice (d) C - da carotiere triplo (i) E - da carotiere a pistone (i) B - da carotiere doppio (i) D - da S.P.T. (d) F - da Schelby (i) | | | | OPERATORE: Dott. Geol. Mario S. Gabrieli ASSISTENTE: Lorenzo Gabrieli | | | | | | | |
| Pocket Penetrometer Vane test fig.10/m | Profondità m | Simbolo Stratigrafico | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA | CAMPIONI | | Prof. acqua | | SPT | | Standard test | |
| | | | | Recupero (%) K.O. (d.R.) 20% 50% 75% | Tipo | Numero | Profondità | Data lettura | Profondità | N. colpi | Profondità |
| | 0,5 |  | Ghiaie e sabbie <u>Rilevato stradale</u> | | | | | | | | |
| | 1 |  | <u>Gradone</u> | | | | | | | | |
| | 2 |  | Terreno argilloso marrone di riporto, compattato | | | | | | | | |
| | 3 |  | <u>Coltre detritica</u> | | | | | | | | |
| 3 | 2 |  | Limi sabbiosi con falda effimera a - 4,70 m dal p.c. con presenza di frustoli vegetali, finemente laminati | | | 4,5 | | | | | |
| | 5 |  | <u>Substrato Ossidato</u> | | | 5,0 | | | | | |
| | 5 |  | Argille limose plioceniche decomprese, con livelli sabbiosi | | | | | | | | |
| | 10 |  | <u>Substrato Formazionale</u> | | | | | | | | |
| | 13 |  | Argille grigie plioceniche con livelli sabbiosi azzurri | | | | | | | | |
| >6 | >2 |  | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | |
| | 16 | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | | |

Comune di Borghi (FC)
 Studio di microzonazione sismica
 Relazione tecnica

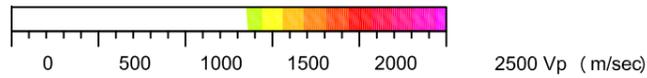
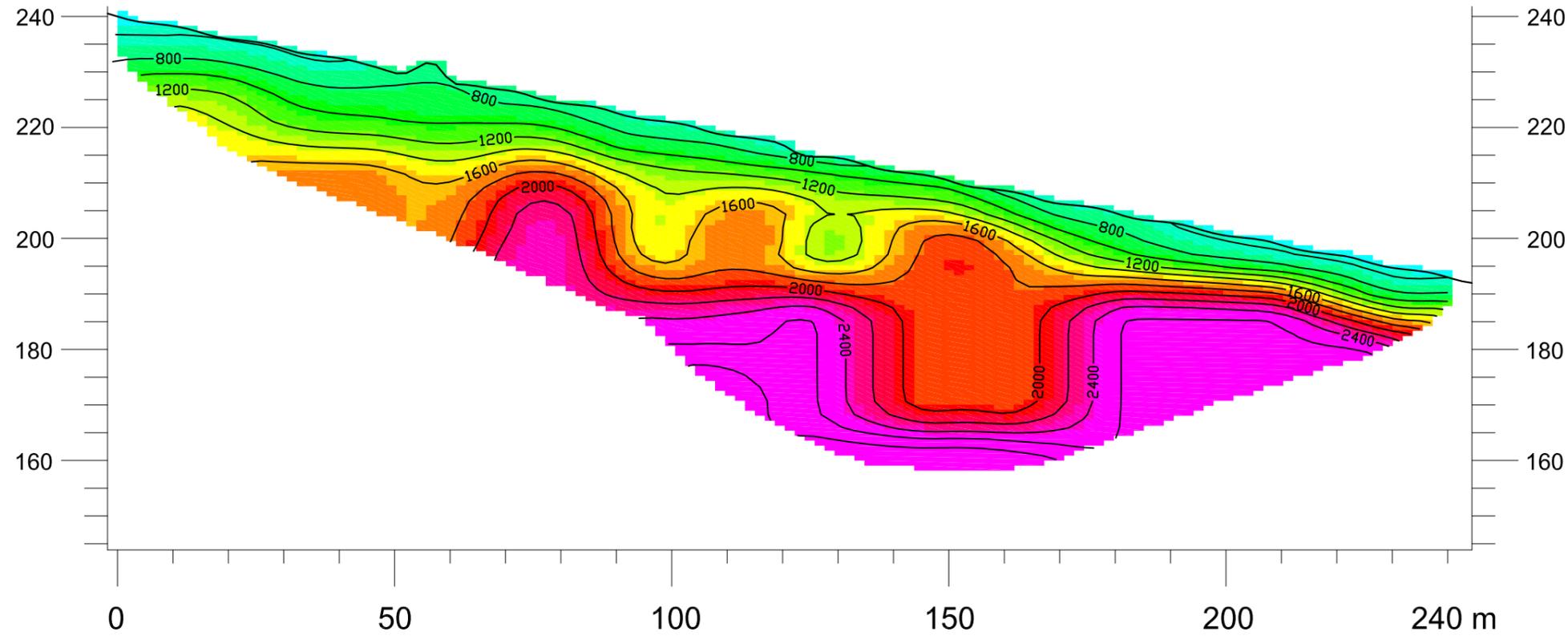


Comune di Borghi (FC)
Studio di microzonazione sismica
Relazione tecnica

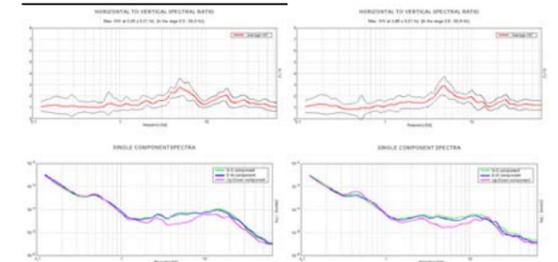
P9 - Borghi



Quote slm (m)

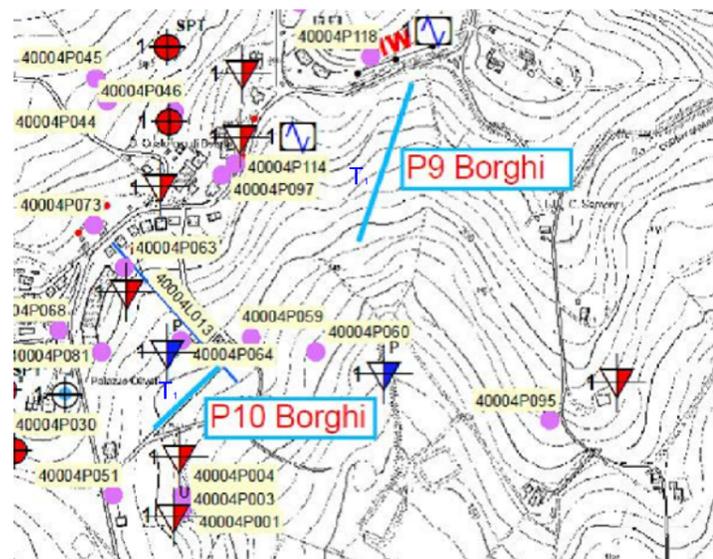
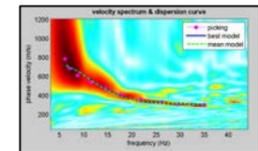
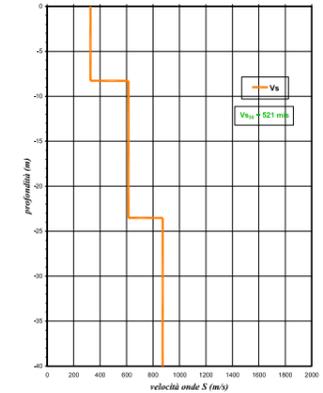


Misura HVSR



Borghi 9

Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



LEGENDA

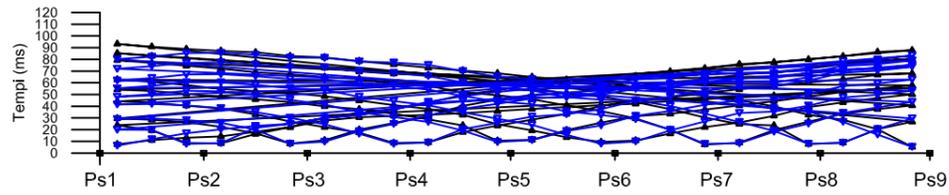
- dati sperimentali
- valori calcolati con l'interpretazione tomografica
- Punto di scoppio
- Superficie topografica
- Curve di isovelocità sismica e relativo valore (m/s) (equidistanza 200 m/s)
- Maglia cella tomografica 1,8x0,9 m

LEGENDA

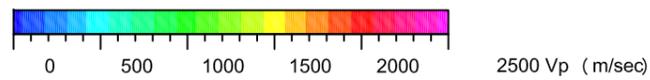
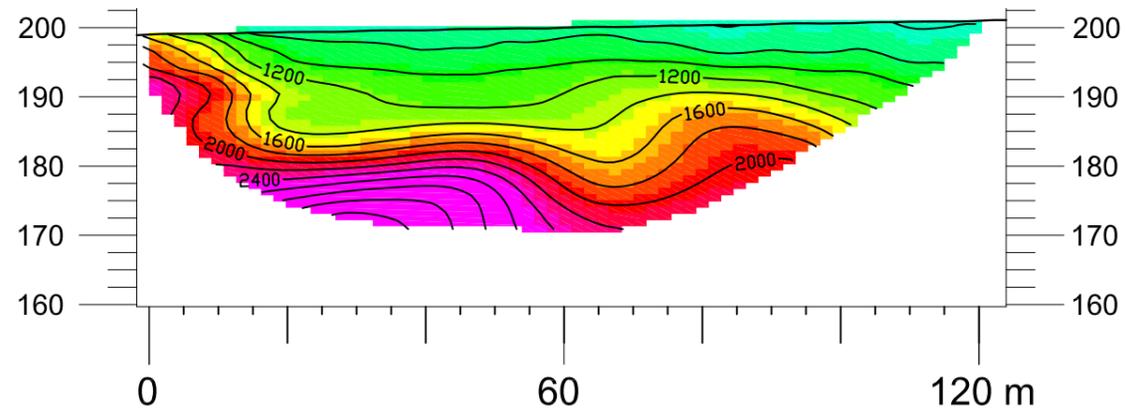
- Ubicazione linea sismica, nome identificativo e posizione dei punti di scoppio
- Ubicazione prova Masw
- Ubicazione misura HVSR

| | | | | | |
|---|-------------|----------------|-------------|------------|--------------------|
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | | | | | |
| A | EMISSKINE | 30-Agosto-2013 | De Luca | Riud | Baldi |
| Rev. | Descrizione | Data | Redatto | Verificato | Approvato |
| COMMITTENTE : Comune di Borghi | | | | | Commissa n° T 718 |
| LOCALITA': Borghi | | | | | |
| INDAGINE: Studio di microzonazione sismica | | | | | |
| OGGETTO: Prove integrative - III Livello | | | | | |
| TAVOLA: Tomografia sismica a rifrazione P9 - Prova MASW - Misura HVSR | | | | | FORMATO A1 |
| 4369SSGG13A | | 30 Ago 2013 | PRECISIONE: | UNITA: | SCALA: |
| nome file : | | | | m | 1:500 |
| | | | Profondità: | m | 1:2.000 |
| STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA s.r.l. STRADA MASSETANA ROMANA, 56 - SIENA - ITALY - Tel. +39 057749276 - Fax +39 0577287254 - e.mail: info@sgg.it | | | | DATA | CONTROLLO QUALITA' |

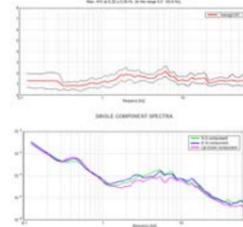
P10 - Borghi



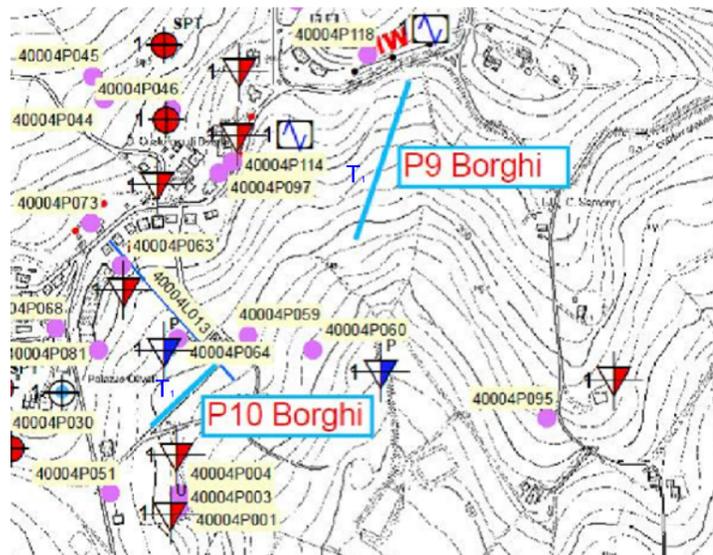
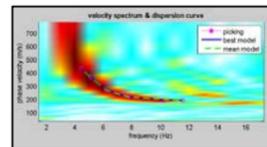
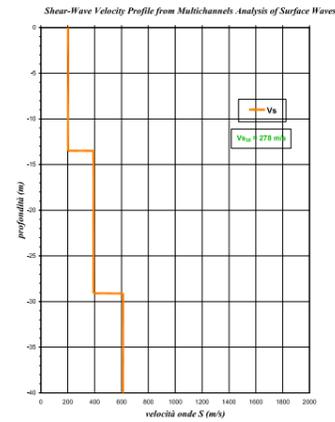
Quote slm (m)



Misura HVSR



Borghi 10



LEGENDA

- dati sperimentali
- valori calcolati con l'interpretazione tomografica
- Punto di scoppio
- Superficie topografica
- Curve di isovelocità sismica e relativo valore (m/s) (equidistanza 200 m/s)
- Maglia cella tomografica 1,8x0,9 m

LEGENDA

- Ubicazione linea sismica, nome identificativo e posizione dei punti di scoppio
- Ubicazione prova Masw
- Ubicazione misura HVSR

| | | | | | |
|--|-------------|----------------|-------------|--------------------|-------------------|
| D | | | | | |
| C | | | | | |
| B | | | | | |
| A | EMISSIONE | 30-Agosto-2013 | De Luca | Riud | Bald |
| Rev. | Descrizione | Data | Redatto | Verificato | Approvato |
| COMMITTENTE : Comune di Borghi | | | | | Commissa n° T 718 |
| LOCALITA': Borghi | | | | | |
| INDAGINE: Studio di microzonazione sismica | | | | | |
| OGGETTO: Prove integrative - III Livello | | | | | |
| TAVOLA: Tomografia sismica a rifrazione P10 - Prova MASW - Misura HVSR | | | | | FORMATO A1 |
| 4369SSGG14A | | 30 Ago 2013 | PRECISIONE: | UNITA' | SCALA |
| nome file : | | | Distanze: | m | 1:500 |
| | | | Quote: | m | 1:2.000 |
| | | | Profondità: | m | |
| STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA s.r.l. | | | DATA | CONTROLLO QUALITA' | |
| STRADA MASSETANA ROMANA, 56 - SIENA - ITALY - | | | | | |
| Tel. +39 057749276 - Fax +39 0577287254 - e.mail: info@agg.it | | | | | |

Tutti i diritti sono riservati. La riproduzione e la distribuzione di terzi è vietata.