



**COMUNE DI SOGLIANO AL RUBICONE**  
**(PROVINCIA DI FORLI'-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 RONCOFREDDO	Pag. 7
3	INQUADRAMENTO STRUTTURALE	Pag. 11
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 14
5	INDAGINI SVOLTE	
5.1	Indagini pregresse	Pag. 18
5.2	Indagini attuali	Pag. 19
6	ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag. 22
7	ANALISI DELLA DISPERSIONE DELLE ONDE SUPERFICIALI	Pag. 26
8	ANALISI ED UTILIZZO DEI RAPPORTI SPETTRALI	Pag. 29
9	ANALISI DEI RISULTATI E RELATIVA CARTOGRAFIA	
9.1	Introduzione	Pag. 34
9.2	Carta Geologico-tecnica	Pag. 34
9.3	Carta delle frequenze	Pag. 38
9.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	Pag. 41
9.5	Carta della velocità delle onde di taglio S (Vs)	Pag. 43
10	DETERMINAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE SISMICA	Pag. 46
11	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO	Pag. 48
12	TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	
12.1	Introduzione ed inquadramento area	Pag. 51
12.2	Indagini integrative per il III° livello	Pag. 52
12.3	Dati di base	Pag. 54
12.4	Analisi di risposta sismica locale	Pag. 61
12.5	Verifiche di stabilità e determinazione degli spostamenti	Pag. 70



## **APPENDICE**

### **Indagini I° e II° livello**

- |                         |         |
|-------------------------|---------|
| - Prove Masw            | Pag. 75 |
| - Misure HVSR           | Pag. 80 |
| - Prove penetrometriche | Pag. 85 |

### **Indagini III° livello**

Pag. 89

## **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

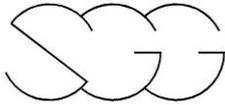
Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine di microzonazione sismica eseguita per conto del Comune di Sogliano al Rubicone (FC).



**Figura 1** – Indagine effettuata nel territorio di Sogliano al Rubicone

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.

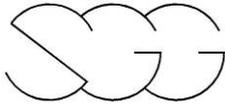
Ad integrazione e completamento di tali prove sono state riprese ed elaborate delle indagini in sito fornite dall'amministrazione comunale e costituite da sondaggi geognostici, prove penetrometriche, profili sismici, prove MASW.

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 Sogliano al Rubicone.

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" 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

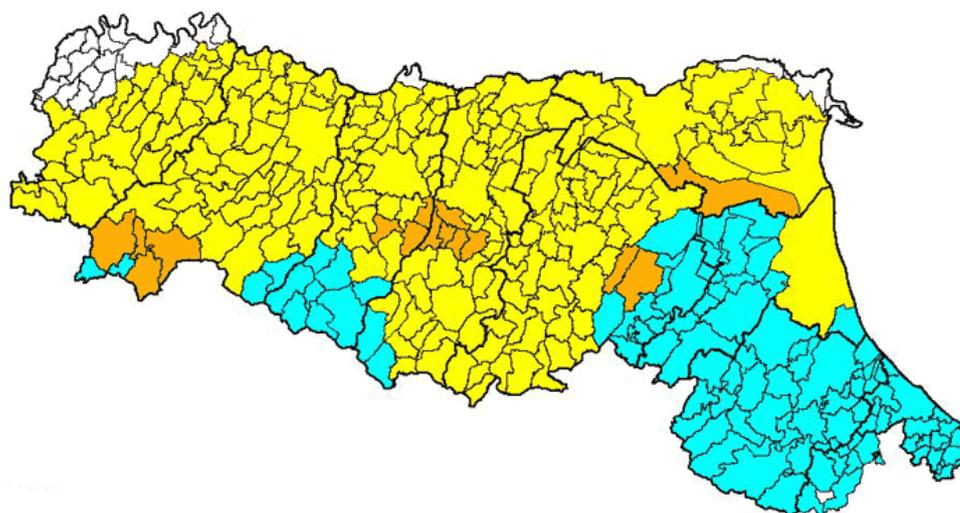


urbanistica".

- 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' DI SOGLIANO AL RUBICONE

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



### Legenda

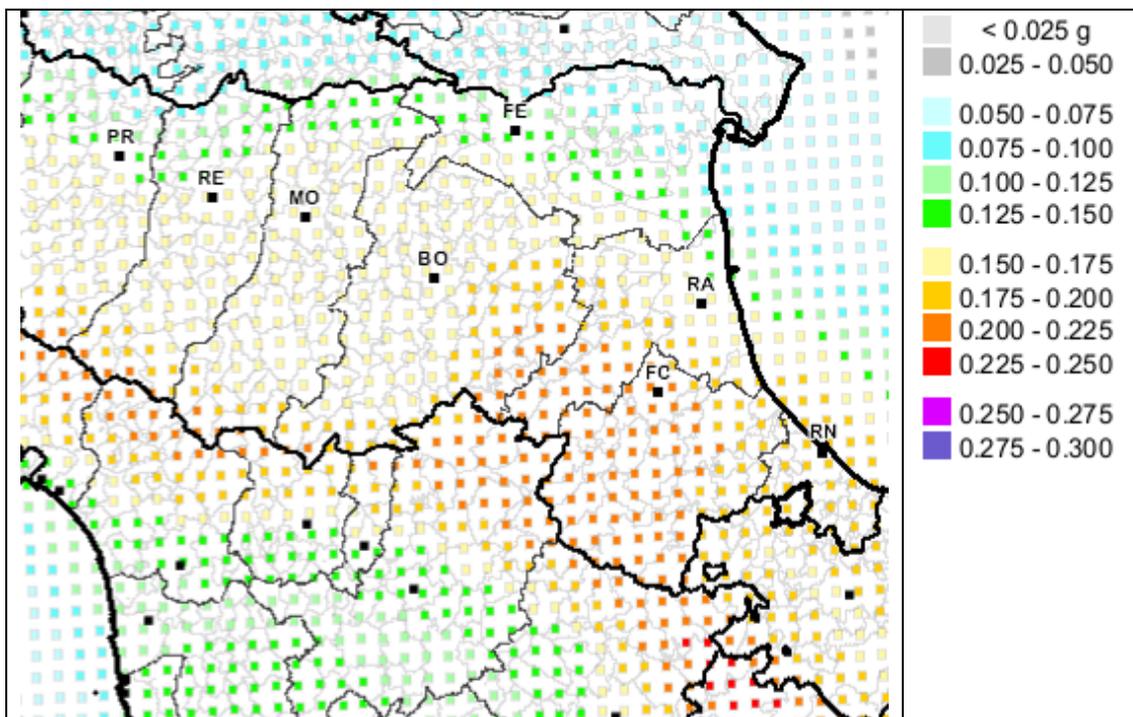
zona 2	96	precedente riclassificazione (1983-1984)
	16	
zona 3	214	
zona 4	22	

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 Sogliano al Rubicone 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 0,188 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 Sogliano al Rubicone, con evidenziato data, ora, epicentro e magnitudo.

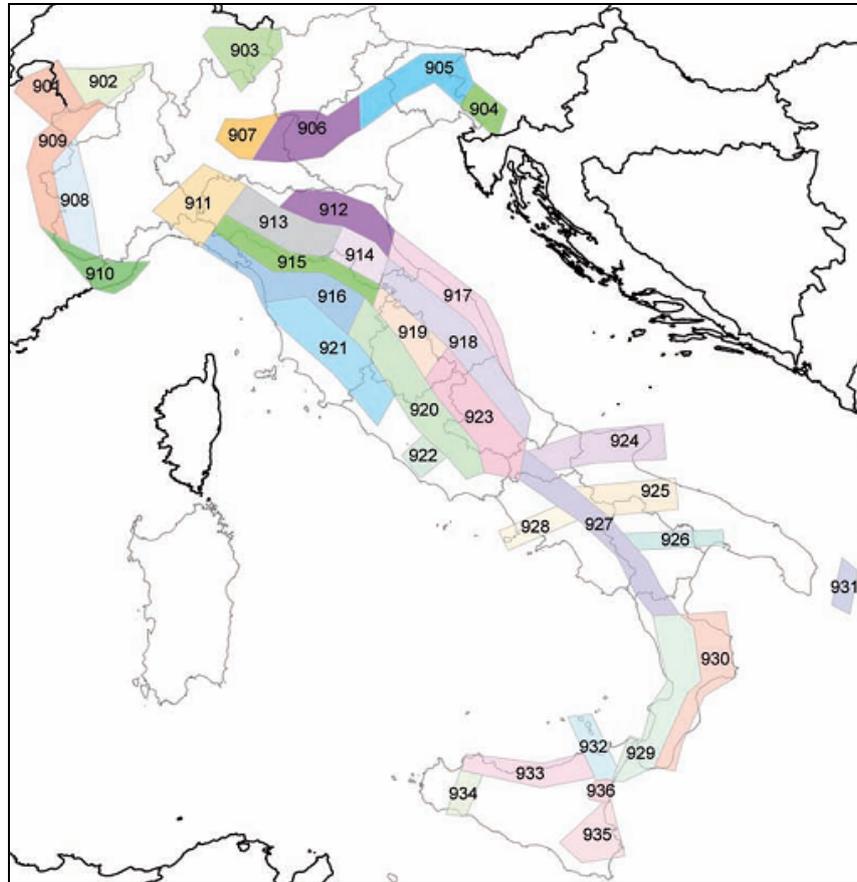
Numero di eventi: 6

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
7	1584	09	10	20	30	Appennino tosco-emiliano	18	9	5.97
F	1892	11	21			CITTA' DI CASTELLO	22	6-7	4.63
7	1918	11	10	15	12	Appennino romagnolo	95	8	5.79
NF	1986	12	06	17	07	BONDENO	604	6	4.56
4	1987	07	05	13	12	VALMARECCHIA	90	6	4.65
4-5	1997	09	26	09	40	Appennino umbro-march.	869	9	6.05

**Figura 4** Storia sismica di sogliano al Rubicone, 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 mappa delle zone sismo genetiche, il territorio di Sogliano al Rubicone 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 settore appenninico del Comune di Sogliano al Rubicone, dal punto di vista geologico-strutturale, è dominato dal klippe 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.

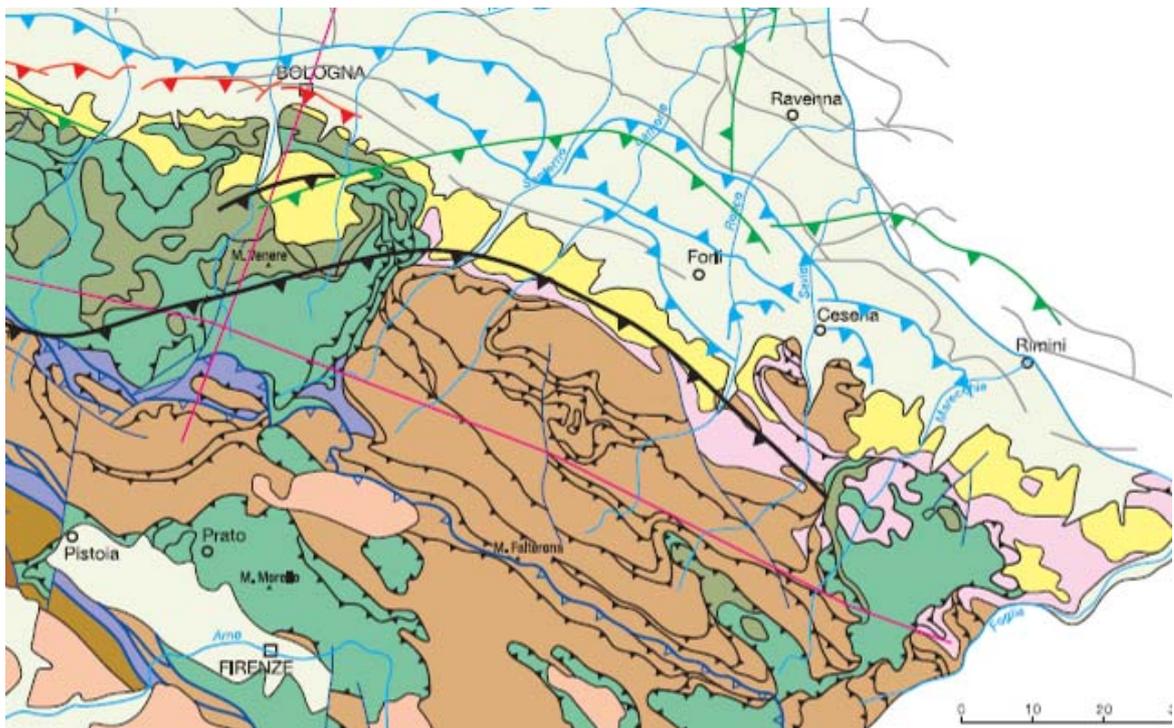
Il complesso ciclo orogenetico, sviluppatosi in fasi successive tra l'Oligocene inferiore e il Pleistocene inferiore, che ha portato alla strutturazione dell'Appennino settentrionale, «si identifica con l'evoluzione dell'avanfossa oligo-miocenica che, successivamente alla fase di esumazione dell'edificio 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

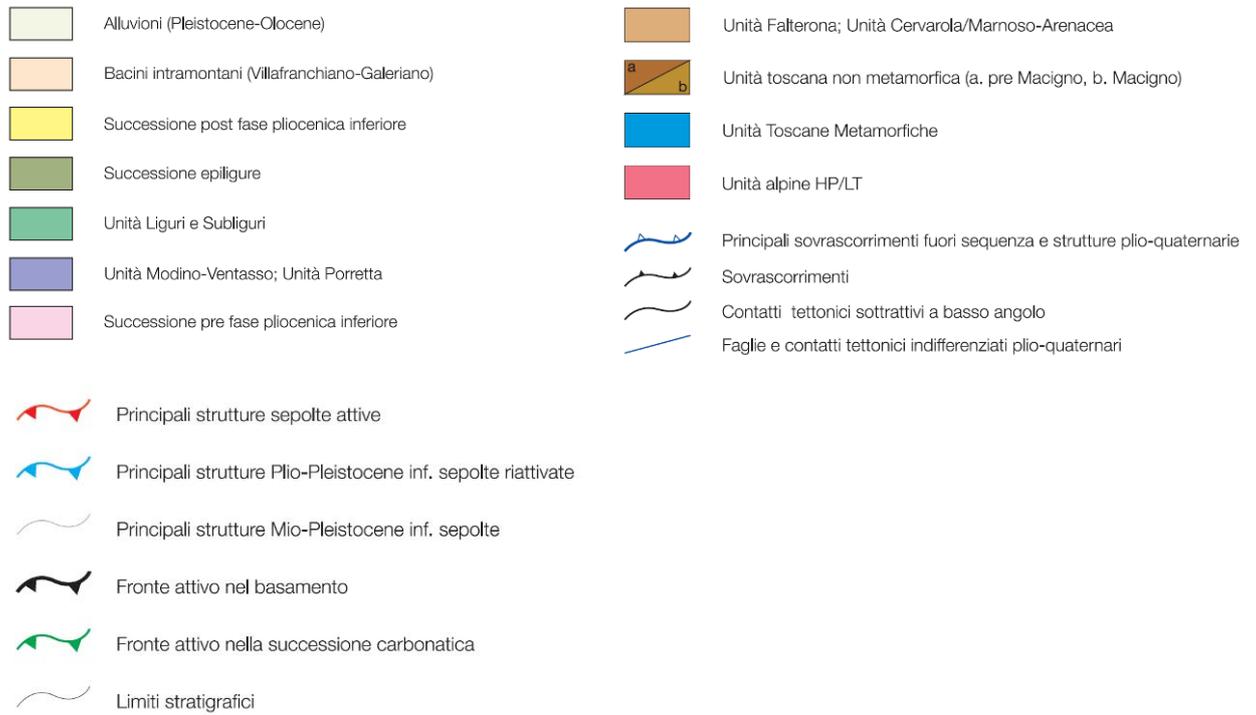
Il sistema, costituito dal rilievo montuoso in formazione e dalla sua avanfossa, tendeva poi progressivamente a spostarsi verso oriente fino a dar luogo all'attuale fossa adriatica. Durante questo processo si sono depositate masse rocciose sempre più giovani, mentre procedevano nella stessa direzione 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».

I terreni affioranti nell'area di studio comprendono la serie del Klippe del Marecchia, sovrascorso alla formazione marnoso-arenacea (Burdigaliano superiore – Messiniano inferiore) affiorante nel settore occidentale del territorio comunale, i calcari della successione carbonatica mesozoica su cui poggia la struttura Klippe - Formazione marnoso arenacea,

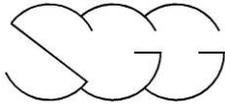
la formazione gessoso-solfifera messiniana corrispondente alla crisi di salinità del mediterraneo ed infine la successione post-evaporitica caratterizzata dalle argille grigie e peliti della formazione a colombacci (Messiniano medio-Pleistocene inferiore).

La sismicità della zona, dal punto di vista generale, è legata all'assetto strutturale dell'Appennino Romagnolo caratterizzato da uno stile a pieghe e faglie sub parallele con predominante orientamento longitudinale appenninico NW-SE.





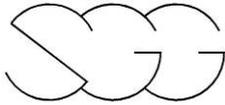
**Figura 7** Schema tettonico tratto dalle note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna



## 4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Sogliano al Rubicone appartiene alla collina cesenate ove si estende su una superficie di circa 9.400 ettari, perlopiù a quote comprese tra 300 e 600 metri sul livello del mare. Il settore appenninico in esame è dominato dal Klippe del Marecchia: un vasto e complesso corpo roccioso, sovrascorso sulla Formazione marnoso-arenacea ed isolato marginalmente dall'erosione, i cui costituenti vanno dalle Argille varicolori del Cretaceo inferiore – Eocene medio al Melange basale sinorogenico: un corpo lenticolare di brecce, in matrice argillosa, di età pliocenica inferiore, caratterizzato dalla presenza di depositi di colata (debris flow) e da frammenti litologici di scivolamento (slide block). La formazione marnoso-arenacea (Burdigaliano superiore – Messiniano inferiore) è un flysch, costituito da alternanze di arenarie e peliti torbiditiche e di subordinate marne emipelagiche, in cui talvolta si riscontrano anche livelli torbiditici carbonatici. Le sue successioni sono normalmente caratterizzate da pacchi di strati paralleli di enorme spessore e di grande estensione areale, in cui le arenarie, più o meno calcaree, si alternano ritmicamente a peliti e marne. Le dimensioni dei livelli arenitici raramente scendono a valori inferiori ai venti centimetri e altrettanto di rado superano lo spessore di un metro. Gli spessori della parte marnoso - pelitica sono invece assai variabili. Essa può ridursi in modo estremo, oppure assumere una netta prevalenza. In casi limite si hanno rocce quasi completamente arenacee oppure decisamente marnose. I vari membri della marnoso arenacea , come già detto, si distinguono in funzione della litofaces litoide (arenarie calcaree) e di quella pelitica. Nel territorio comunale i membri in cui prevale la litofaces litoide sono prevalenti rispetto a quelli in cui prevale la litofaces pelitica.

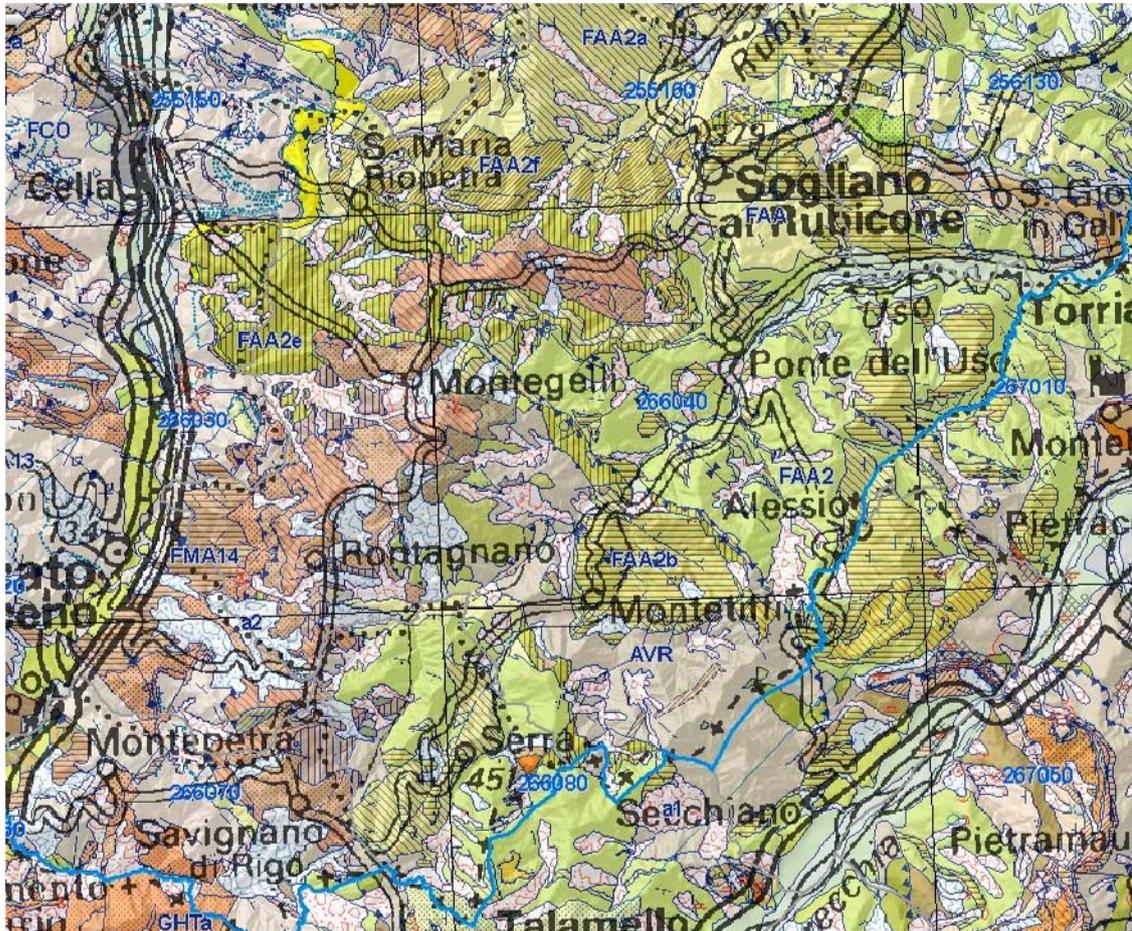
L'intera struttura Klippe - Formazione marnoso arenacea poggia su rocce della successione carbonatica mesozoica e verso la pianura si immerge sotto una potente coltre, depositatasi successivamente al Pliocene inferiore. Alla fase evaporitica messiniana e poi quella post-evaporitica del Messiniano medio – Pliocene inferiore è dovuta la serie romagnola



successiva ai depositi di avanfossa (Formazione marnoso-arenacea e peliti di chiusura). Alla fase evaporitica, corrispondente alla crisi di salinità, che ha interessato il bacino del Mediterraneo nel messiniano, si deve la formazione gessoso-solfifera col gesso selenitico in banchi, gessoruditi e gesso areniti, ma anche calcari, mineralizzazioni a zolfo e peliti marnose. La successione post-evaporitica è poi caratterizzata dalle argille grigie e peliti della formazione a colombacci (Messiniano medio-Pleistocene inferiore). Questa fase è chiusa, infine, dalle fasce di alluvioni recenti e terrazzate, depositi continentali che accompagnano i corsi d'acqua locali.

Il territorio comunale è intensamente interessato da fenomeni franosi in particolar modo sui versanti argillosi ma anche ai margini di masse rocciose isolate poggianti su litotipi plastici. I depositi di frana, pur interessando marginalmente gli ambiti urbanizzati, rappresentano per questo territorio una problematica significativa.

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



**Unità geologiche (50K)**

- AES7 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Villa Verucchio
- AES8 - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna
- AES8a - Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsintema di Ravenna - unità di Modena
- AMN - Argille di Montebello
- ANT - Formazione di Antognola
- AQV - Formazione di Acquaviva
- AQV - Membro delle arenarie di Borello - breccia a blocchi di Sogliano - lembi della Formazione di Acquaviva
- AQVa - Formazione di Acquaviva - litofacies conglomeratica
- AVR - Argille varicolori della Val Marecchia
- AVRa - Argille varicolori della Val Marecchia - litofacies arenacea
- AVRb - Argille varicolori della Val Marecchia - litofacies calcareo-arenacea
- BABA - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-calcareo
- BABb - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-arenacea
- BABc - Formazione del Barbotto - litofacies arenacea
- BABd - Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-argillosa
- CEA - Marne di Cella
- CGE - Argille di Casa i Gessi

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione simica  
Relazione tecnica



## 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 Sogliano al Rubicone. 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, quelle sismiche e le prove penetrometriche realizzate 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° 32 sondaggi geognostici
- n° 118 prove penetrometriche CPT

#### Indagini indirette

- n° 10 prove MASW
- n° 9 profili sismici
- n° 22 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 4 prove MASW per l'acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh, con l'esecuzione di 4 misure HVSR (fig. 9) a stazione singola della durata di 20 minuti ciascuna e 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”

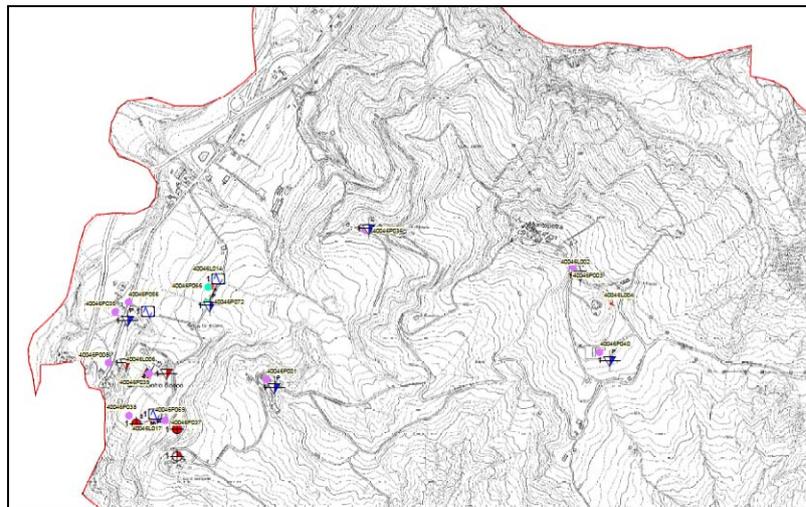
MASW 1	40046L011MASW15
MASW 2	40046L012MASW16
MASW 3	40046L013MASW17
MASW 4	40046L014MASW18

HVSR 1	40046P064HVSR70
HVSR 2	40046P065HVSR71
HVSR 3	40046P066HVSR72
HVSR 4	40046P068HVSR73

PROVA PENETROMETRICA 1	40046P070DP75
PROVA PENETROMETRICA 2	40046P071DP76
PROVA PENETROMETRICA 3	40046P072DP77

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 e la legenda della Carta delle Indagini.



### 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

— MW Prove MASW

#### Indagini attuali

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

**Figura 10 – 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).

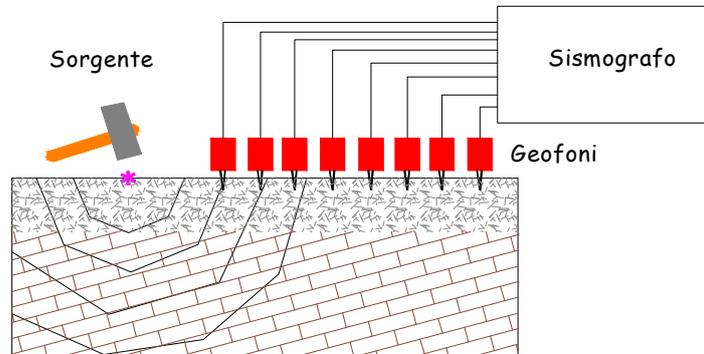
Le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell’effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

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 30 m 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

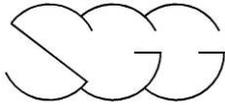
configurazione strutturale (con  $f_r$  circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Si osserva anche una certa correlazione (fortemente non lineare) fra l'entità della variazione di velocità responsabile 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  $\nu_0$  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](http://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.

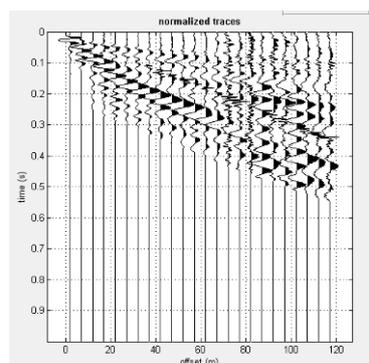
Per l’interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (winMASW Professional Version 4.1).

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:

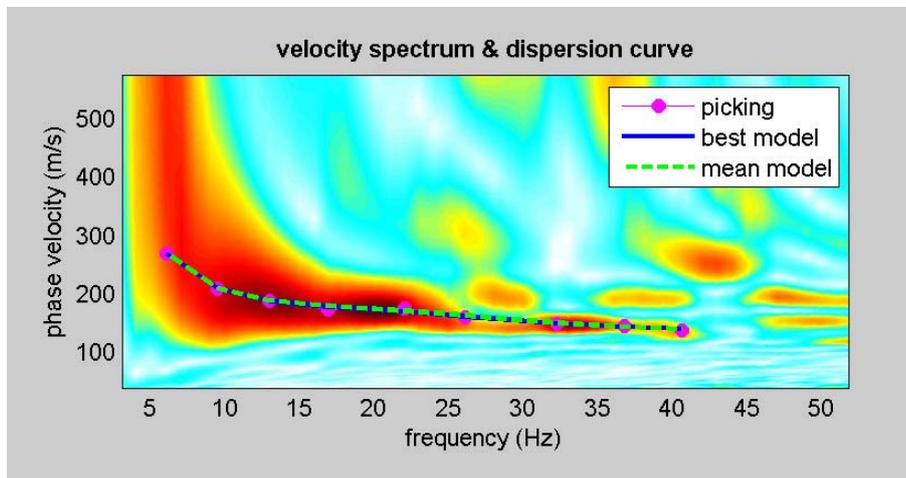
- Determinazione dello spettro della velocità sulla quale si identifica la curva di dispersione
- Inversione della curva di dispersione attraverso l’utilizzo di algoritmi genetici.

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

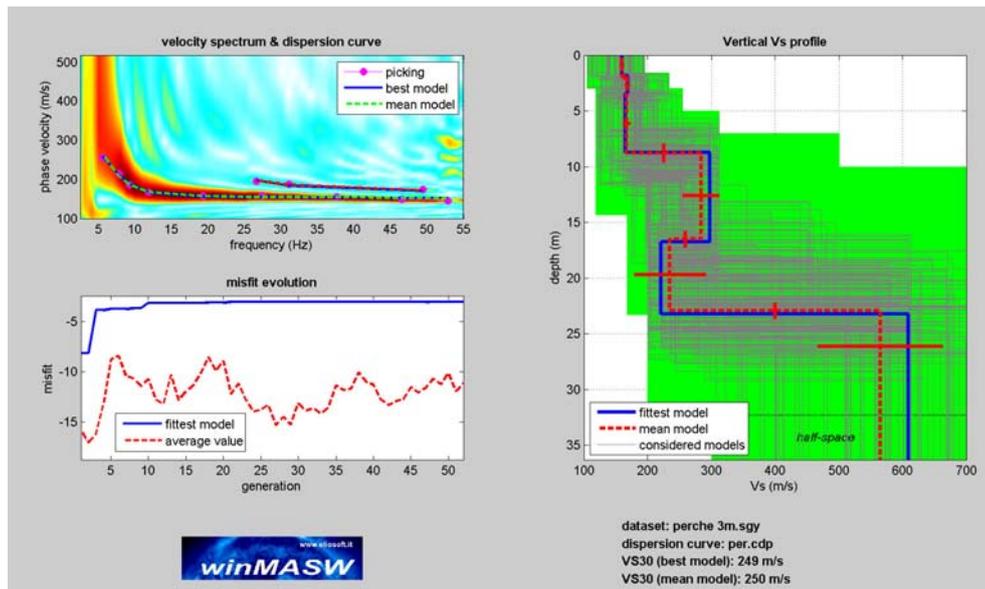
Allo scopo di ottenere una prima valutazione del possibile modello del terreno è altresì effettuata una modellazione diretta del terreno tramite il calcolo di una curva di dispersione appartenente ad un modello a quattro strati, i cui valori di  $V_s$  e degli spessori sono definiti sulla base di osservazioni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

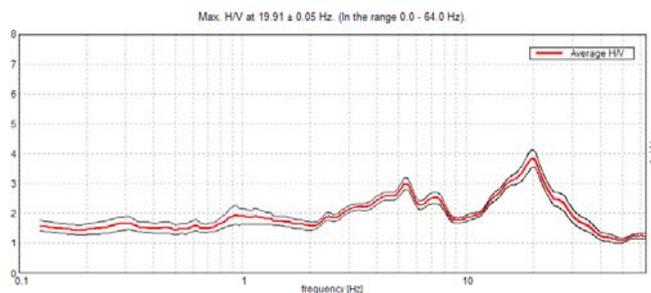
Di seguito sarà brevemente descritta la procedura di analisi seguita:

- 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.

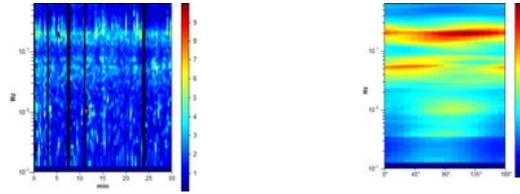
Lo spettro relativo alla componente orizzontale viene ottenuto effettuando la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale. La combinazione delle stime ottenute nelle diverse finestre temporali viene poi utilizzata per costruire la funzione H/V finale 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

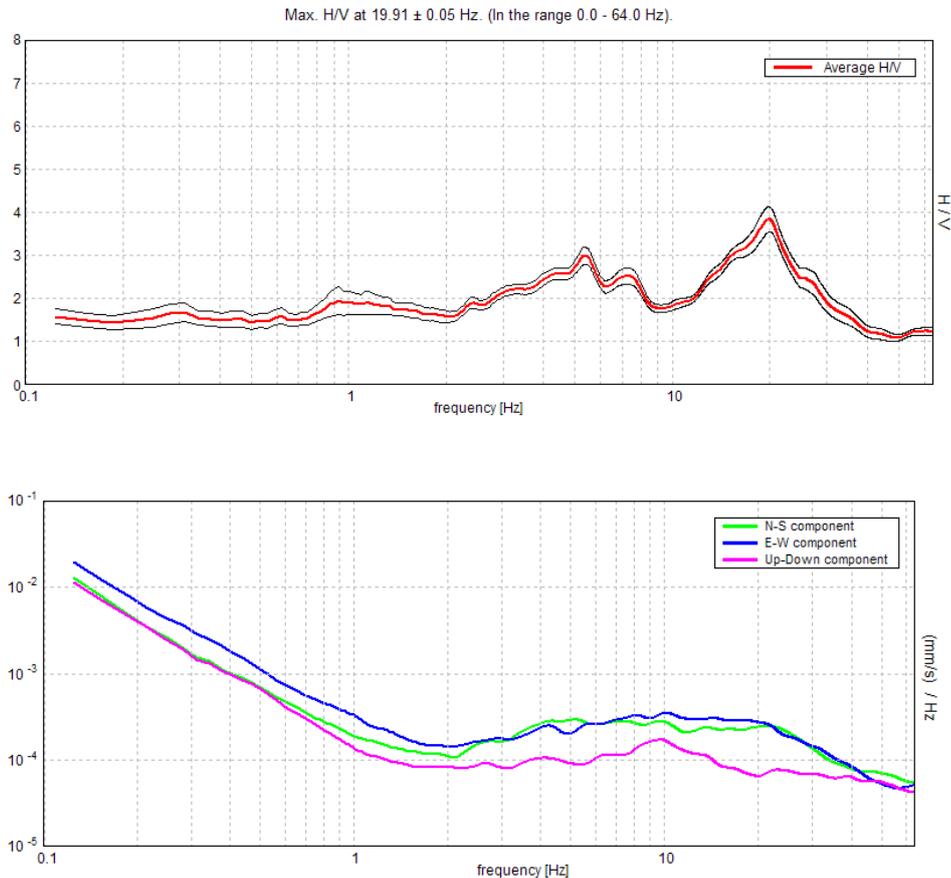
DIRECTIONAL H/V



**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.

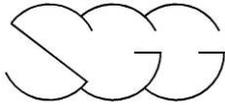
Infine, un buon indicatore della qualità del picco H/V può essere ottenuto dall'esame degli spettri singoli. Infatti, massimi fisicamente significativi sono generalmente associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale. La curva sottostante può essere considerata come un esempio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



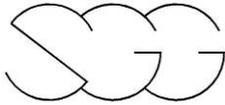
**Figura 16:** Esempio di andamento degli spettri relativi a una corretta misura H/V nella quale viene identificato un picco fisicamente significativo. Nella figura superiore è riportato l'andamento della curva H/V (curva rossa) e il relativo intervallo di confidenza (curve nere). Nella figura in basso 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 Sogliano al Rubicone presentano un picco chiaro e netto corrispondente a



frequenze di risonanza fondamentali ( $F_0$ ) comprese tra 3 e 16 Hz. Le misure 40046P064, 40046P065, 40046P051 e 40046P053 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; in particolare le misure 40046P065, 40046P066, 40046P053, 40046P054 e 40046P059 sono caratterizzate da picchi di ampiezza notevole e pertanto individuano situazioni geologiche che possono determinare fenomeni di risonanza importanti nelle rispettive frequenze individuate. Solo nel caso della misura 40046P068 la curva HVSR mostra un andamento più o meno piatto individuando una situazione litologica caratterizzata 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” Versione2.0”, 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.

<b>TERRENI DI COPERTURA</b>	
Unità di Modena	GM
Deposito alluvionale in evoluzione	GM
Subsistema di Ravenna	SP
Deposito di versante	fd (GM)
Subsistema di Villa Verucchio	GM



Deposito eluvio-colluviale	ec (GM)
Detrito di falda	fd (GP)
Deposito alluvionale in evoluzione fissato da vegetazione	GM
Deposito antropico	RI

Il territorio del Comune di Sogliano al Rubicone è dominato dal Klippe del Marecchia: un vasto e complesso corpo roccioso, sovrascorso sulla Formazione marnoso-arenacea ed isolato marginalmente dall'erosione, i cui costituenti vanno dalle Argille varicolori al Melange basale sinorogenico: un corpo lenticolare di brecce, in matrice argillosa, di età pliocenica inferiore, caratterizzato dalla presenza di depositi di colata (debris flow) e da frammenti litologici di scivolamento (slide block). La formazione marnoso-arenacea è un flysch, costituito da alternanze di arenarie e peliti torbiditiche e di subordinate marne emipelagiche, in cui talvolta si riscontrano anche livelli torbiditici carbonatici. Le sue successioni sono normalmente caratterizzate da pacchi di strati paralleli di enorme spessore e di grande estensione areale, in cui le arenarie, più o meno calcaree, si alternano ritmicamente a peliti e marne. Le dimensioni dei livelli arenitici raramente scendono a valori inferiori ai venti centimetri e altrettanto di rado superano lo spessore di un metro. Gli spessori della parte marnoso - pelitica sono invece assai variabili. Essa può ridursi in modo estremo, oppure assumere una netta prevalenza. In casi limite si hanno rocce quasi completamente arenacee oppure decisamente marnose.

Il substrato geologico talvolta non corrisponde con il substrato sismico ed è proprio per tale motivo che l'attribuzione geologico-tecnica, in diverse delle formazioni sotto riportate coincide con un substrato non rigido (NRS); tale assegnazione è legata al fatto che, nonostante queste formazioni costituiscono uno dei litotipi di base con caratteristiche geologiche da basamento, sono caratterizzate da velocità delle onde S Vs inferiori a 800 m/sec.

#### **SUBSTRATO GEOLOGICO**



SMN	Formazione di San Marino	LPS
FAA2e	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies a brecce di Santa Maria Riopetra	NRS
FAA2p	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea	NRS
SNEa	Formazione di Monte Senario - litofacies arenacea	ALS
MLL	Formazione di Monte Morello	ALS
FAA	Argille Azzurre	NRS
FAA2ap	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica	NRS
FMA12b	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies arenaceo-pelitica	ALS
FCOb	Formazione a Colombacci - litofacies conglomeratica	NR
GES	Formazione Gessoso Solifera	NRS
FMA12a	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies arenacea	ALS
FCOc	Formazione a Colombacci - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA13	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Fontanelice	ALS
BABa	Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-calcareo	NRS
BABd	Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-argillosa	NRS
FCOa	Formazione a Colombacci - litofacies arenacea	ALS
BABb	Formazione del Barbotto - litofacies marnoso-arenacea	ALS
cl	Strato guida Colombaccio	NRS
BABc	Formazione del Barbotto - litofacies arenacea	ALS
AVS	Argille Varicolori della Val Samoggia	NRS
SNE	Formazione di Monte Senario	ALS
FAA2d	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies conglomeratica	NR
GHL	Formazione dei Ghioli di Letto	NRS
FMA13c	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Fontanelice - litofacies arenacea	ALS
FMA12c	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Castel del Rio - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA14a	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Borgo Tossignano - litofacies pelitico-arenacea	ALS
FMA9c	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitico-arenacea	ALS
TRP	Tripoli e Marne tripolacee	NRS
GHLa	Formazione dei Ghioli di Letto - litofacies pelitico-arenacea	ALS
AQVg	Formazione di Acquaviva - litofacies conglomeratica	NR
GHLb	Formazione dei Ghioli di Letto - litofacies marnosa-tripolacea	ALS
FCO	Formazione a Colombacci	NRS
FAA2ar	Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenacea organogena	NRS
lu	Calcari con Lucine	LPS
SIL	Formazione di Sillano	NRS
CEA	Marne di Cella	NRS

oa	Olistolite arenaceo	ALS
FMA9d	Formazione Marnoso-Arenacea - membro di Civitella di Romagna - litofacies pelitica di Sarsina	NRS
SNEb	Formazione di Monte Senario - litofacies a brecciole	ALS
sl	Orizzonti caotici intraformazionali	NRS
MVS	Melange della Valle del Savio	NRS
aq	Blocchi di Formazione di Acquaviva (AQV)	NRS
MFU	Formazione del Monte Fumaiolo	ALS

## Legenda

### Terreni di copertura

	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

	Scorrimiento - attiva
	Colamento - attiva
	Complessa - attiva
	Non definito - attiva
	Scorrimiento - quiescente
	Colamento - quiescente
	Complessa - quiescente
	Non definito - quiescente

### Forme di superficie e sepolte

	Conoide alluvionale
	Falda detritica

### Elementi lineari

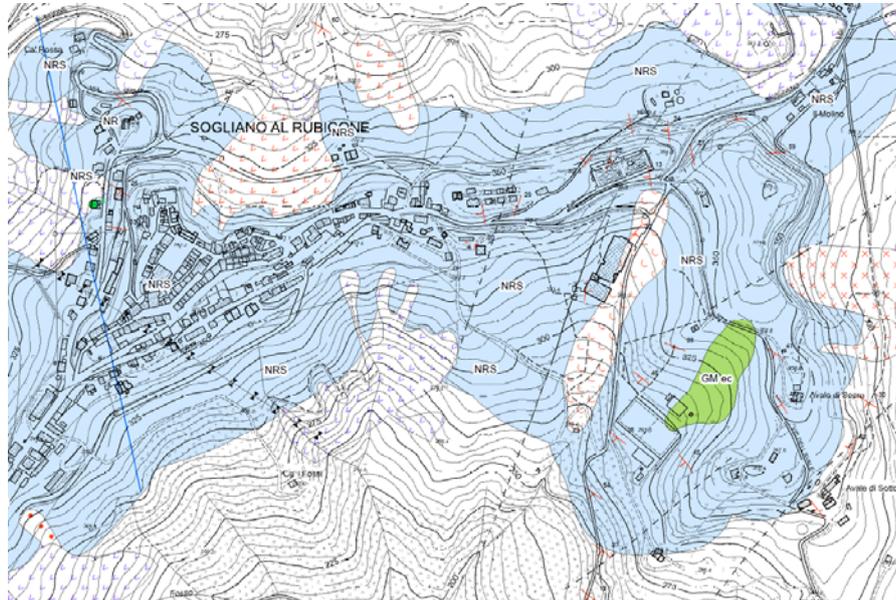
	Orlo di terrazzo fluviale
	Traccia di sinclinale
	Traccia di anticlinale
	Traccia di sezione geologica

### Faglie non attive

	Diretta/contacto tettonico (certa)
	Diretta/contacto tettonico (presunta)
	Inversa (certa)
	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

I risultati delle prove HVSR basate su registrazioni del rumore di fondo vengono sintetizzati nella Carta delle Frequenze.

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  $F_1$ .

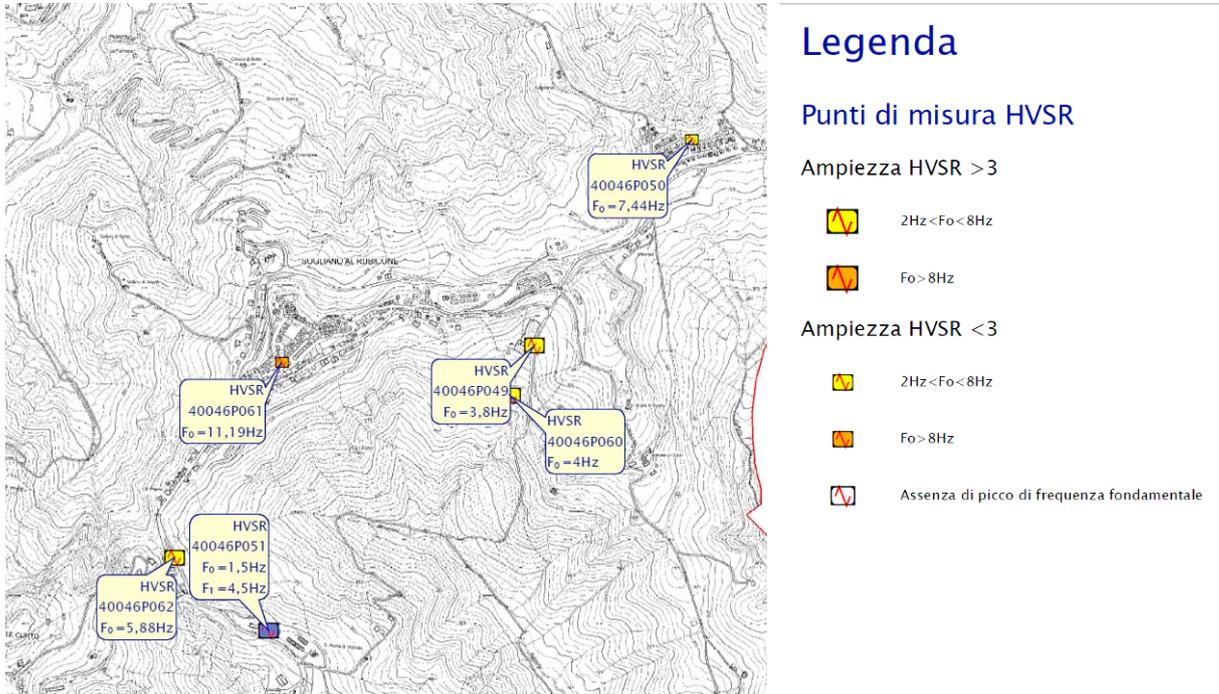


Per ciascuna prova tromografica, si riporta la frequenza di risonanza  $F_0$  con relativa ampiezza del picco della curva HVSR e, quando presente, la frequenza di risonanza  $F_1$ .

Misura HVSR	F0 (Hz)	Ampiezza	F1 (Hz)
40046P064	4,19	>3	7,50
40046P065	8,97	>3	7,00
40046P066	2,66	>3	
40046P068	Assente		
40046P049	3,80	>3	
40046P050	7,44	<3	
40046P051	1,50	>3	4,50
40046P052	10,13	>3	
40046P053	1,25	>3	10,20
40046P054	16,44	>3	
40046P055	11,63	>3	
40046P056	12,31	>3	
40046P057	4,80	>3	
40046P058	1,88	<3	
40046P059	10,44	>3	
40046P060	4,00	>3	
40046P061	11,19	<3	
40046P062	5,88	>3	
40046P063	3,75	<3	

Come già ricordato, 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.



**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 F<sub>0</sub>, è stato riportato anche il valore di F<sub>1</sub>.

### 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

-  Substrato lapideo
-  Alternanze di litotipi

##### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  Zona 1
-  Zona 2
-  Zona 3
-  Zona 4
-  Zona 5
-  Zona 6
-  Zona 7
-  Zona 8
-  Zona 9
-  Zona 10

##### Zone suscettibili di instabilità

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

##### Forme di superficie e sepolte

-  Conoide alluvionale
-  Falda detritica

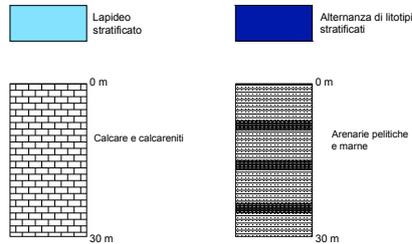
##### Elementi lineari

-  Orlo di terrazzo fluviale
-  Traccia della sezione topografica

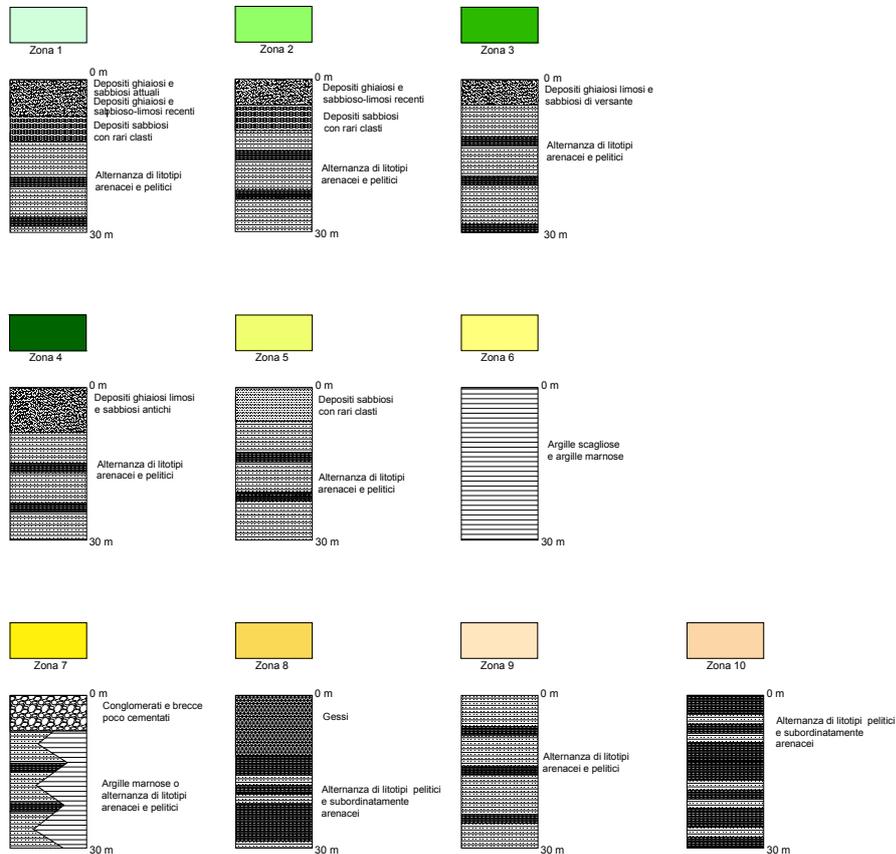
**Figura 19** – Legenda della Carta MOPS

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



Nello specifico si può osservare che le modeste estensioni delle zone stabili lasciano uno spazio prevalente alle zone stabili suscettibili ad amplificazione; le numerose ed anche ampie zone suscettibili di instabilità sono riconducibili a frane attive ed a frane quiescenti.

Tra le zone stabili suscettibili di amplificazione locale la zona 9 ed in maniera subordinata la zona 6 sono le prevalenti nelle aree in rilievo, mentre la zona 2 è quella che prevale nelle aree di fondovalle relativamente pianeggianti.

### **9.5 Carta della velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )**

L'esecuzione della nuova campagna di indagini consistenti in 4 prove sismiche MASW e 4 misure HVSR, insieme alle altre indagini sismiche esistenti hanno permesso, per le verticali indagate, la ricostruzione della velocità delle onde S ( $V_s$ ) con il variare della profondità.

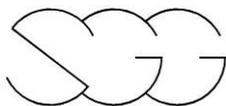
Le curve HVSR caratterizzate da picchi chiari e netti sono stati utilizzate ai fini della definizione del profilo di  $V_s$ , attraverso il processo di inversione implementato nel software GRILLA, esclusivamente nelle aree del territorio comunale non coperte da altre indagini sismiche.

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

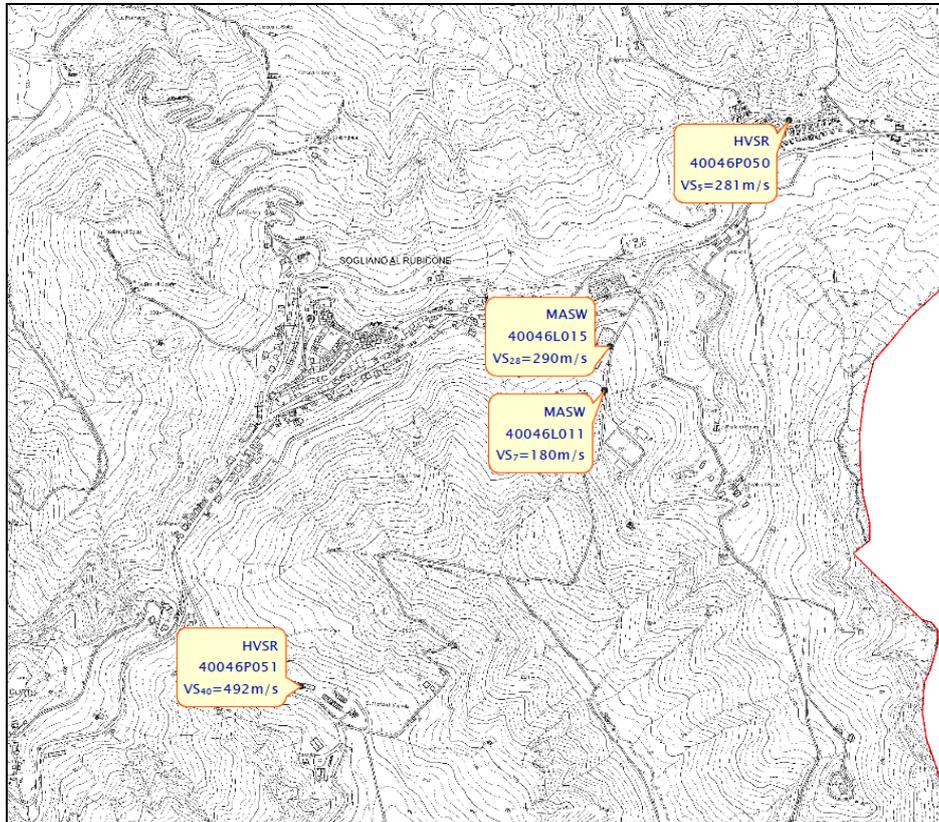
Non essendo la Carta delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) prevista nelle specifiche redatte dalla Protezione Civile, si è cercato di creare una struttura del database che fosse omogenea con gli standard nazionali.

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  $V_{sH}$ .



<b>Indagine</b>	<b>Tipologia indagine</b>	<b>Vs</b>
40046L011MASW15	masw	Vs7 = 180
40046L012MASW16	masw	Vs14 = 421
40046L013MASW17	masw	Vs25 = 238
40046L014MASW18	masw	Vs33 = 306
40046L015MASW19	masw	Vs28 = 290
40046L016MASW20	masw	Vs40 = 456
40046P050HVSR56	HVSR	Vs5 = 281
40046P051HVSR57	HVSR	Vs40 = 492
40046P052HVSR58	HVSR	Vs20 = 244
40046P053HVSR59	HVSR	Vs40 = 329
40046P054HVSR60	HVSR	Vs13 = 293
40046P055HVSR61	HVSR	Vs6 = 212
40046P056HVSR62	HVSR	Vs5 = 210
40046P058HVSR64	HVSR	Vs40 = 520
40046P059HVSR65	HVSR	Vs13 = 281



## 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 -  $0.1s < T_o < 0.5s$**

$V_{sH}$ 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 -  $0.5s < T_o < 1.0s$**

$V_{sH}$ 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 -  $0.1s < T_o < 0.5s$**

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

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

$V_{s30}$	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 Sogliano al Rubicone, 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  $0.5s < T_0 < 1.0s$ .

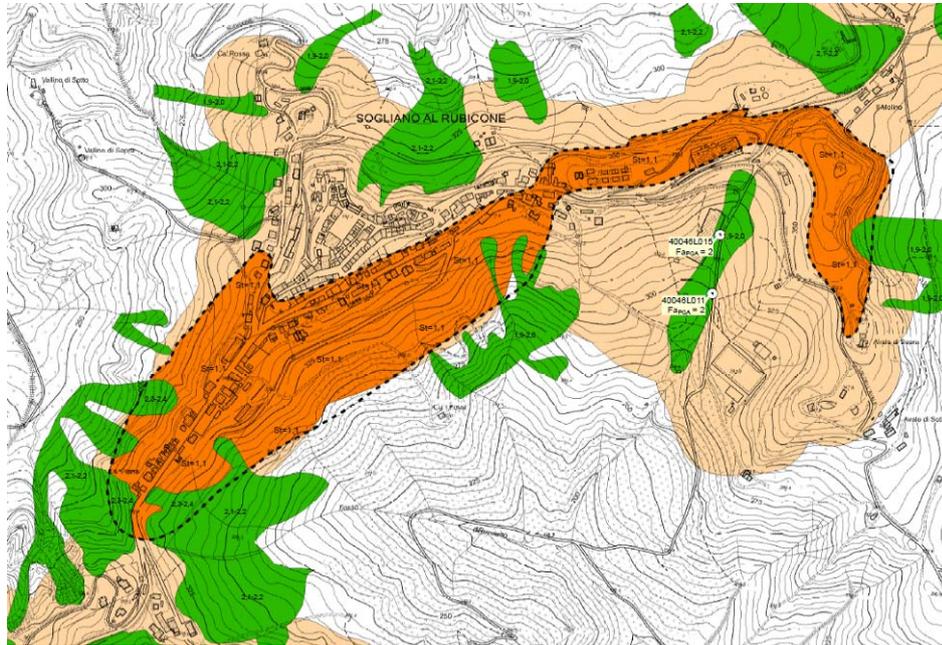
Il risultato finale è costituito pertanto nella produzione di tre carte di microzonazione, dove tramite campitura in colori diversi, è stato attribuita a ciascuna porzione di territorio comunale urbanizzato ed urbanizzabile il valore del fattore di amplificazione locale.

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 ( $0,5s < T_0 < 1,0s$ ).

<b>Indagine</b>	<b>PGA</b>	<b>0,1&lt;To&lt; 0,5</b>	<b>0,5&lt;To&lt; 1,0</b>
40046L011MASW15	2,0	1,7	1,4
40046L012MASW16	1,6	1,2	1,0
40046L013MASW17	2,1	2,6	2,4
40046L014MASW18	2,0	2,3	2,7
40046L015MASW19	2,0	2,3	2,4
40046L016MASW20	1,6	1,8	1,3
40046P050HVS56	1,5	1,4	1,4
40046P051HVS57	1,5	1,6	1,5
40046P052HVS58	2,2	2,5	1,9
40046P053HVS59	1,8	2,3	2,3
40046P054HVS60	1,9	1,9	1,5
40046P055HVS61	2,0	1,7	1,4
40046P056HVS62	1,6	1,2	1,0
40046P058HVS64	1,5	1,6	1,5
40046P059HVS65	1,9	1,9	1,5

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

Zone suscettibili ad amplificazione topografica con relativo fattore  $St$

#### Zone suscettibili di instabilità

■ Instabilità di versante e relativo valore di amplificazione locale

Indagini di sito con relativo fattore di amplificazione derivato

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

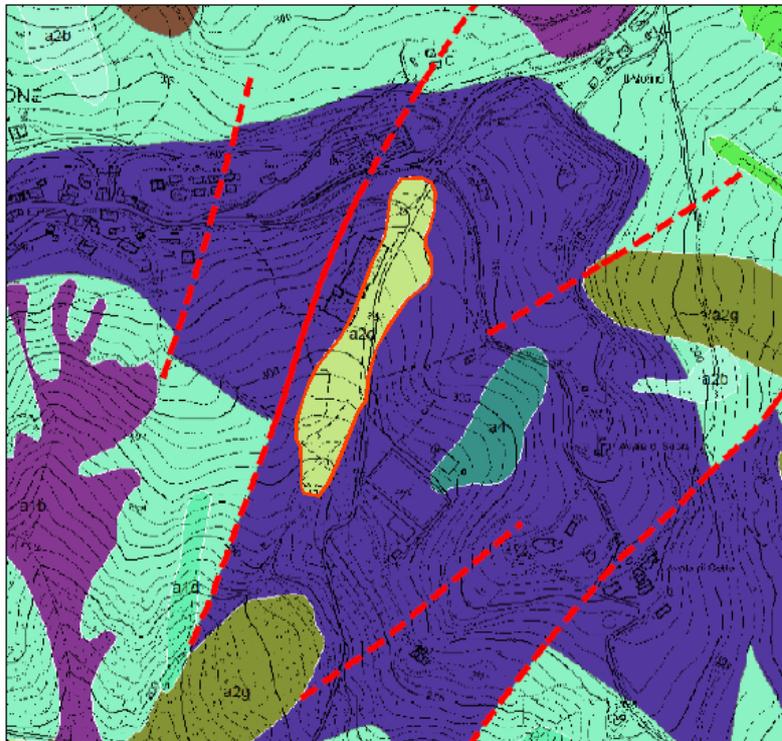
## 12 - TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

### 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’area ubicata in prossimità della scuola media posta in Via Rucciano.

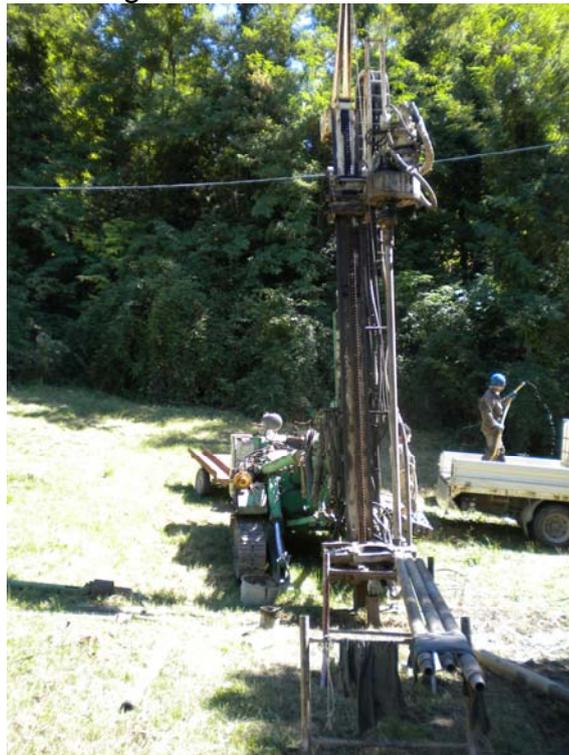
Tale area, così come evidenziato nella figura sottostante, coincide con una frana quiescente che a partire dalla strada provinciale arriva un centinaio di metri a valle del complesso scolastico.



**Figura 22:** Estratto della Carta Geologica - Regione Emilia Romagna

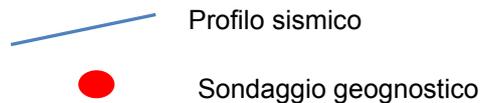
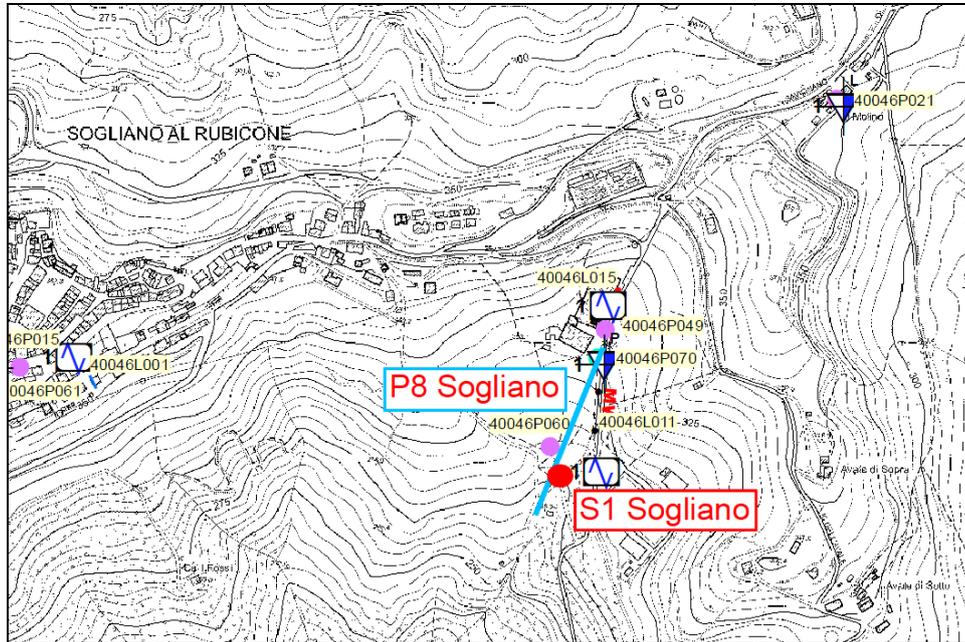
## 12.2 Indagini integrative per il III° livello

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.



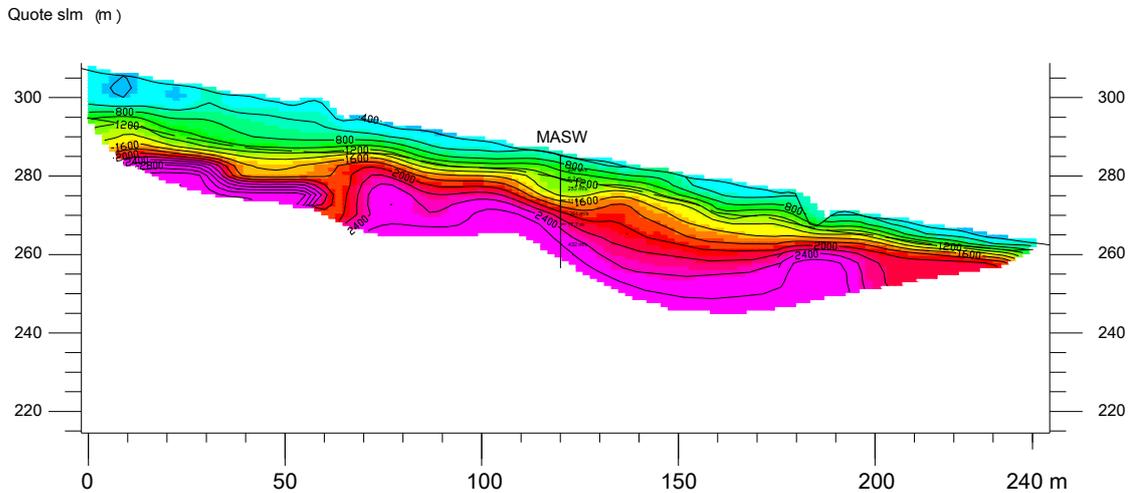
**Figura 23:** Sonda posizionata per l'esecuzione del sondaggio geognostico

In particolare è stato eseguito un profilo sismico di 240 m (P8 Sogliano), ubicato sulla frana ed un sondaggio geognostico utile per la ricostruzione stratigrafica e per il prelievo dei campioni da sottoporre a specifiche prove di laboratorio.



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

Il profilo sismico integrativo (onde P e prova MASW) abbinato 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 tra i 5 ed i 6 metri. In particolare si evidenzia un livello di circa 3 metri prevalentemente sabbioso a cui segue un livello eterogeneo limoso argilloso con livelli sabbiosi (fino a -5,5 m), che a sua volta precede un materiale argilloso compatto che rappresenta la parte alterata del substrato.

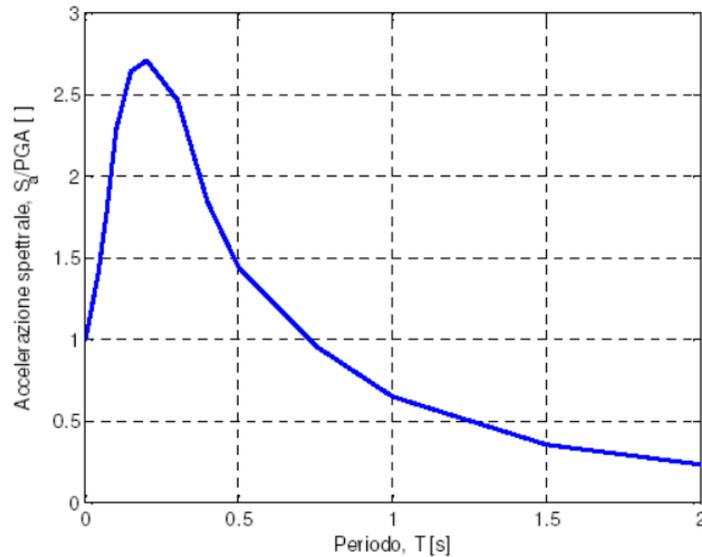


**Figura 25:** Profilo sismico (P8 Sogliano) eseguito presso Via Rucciano

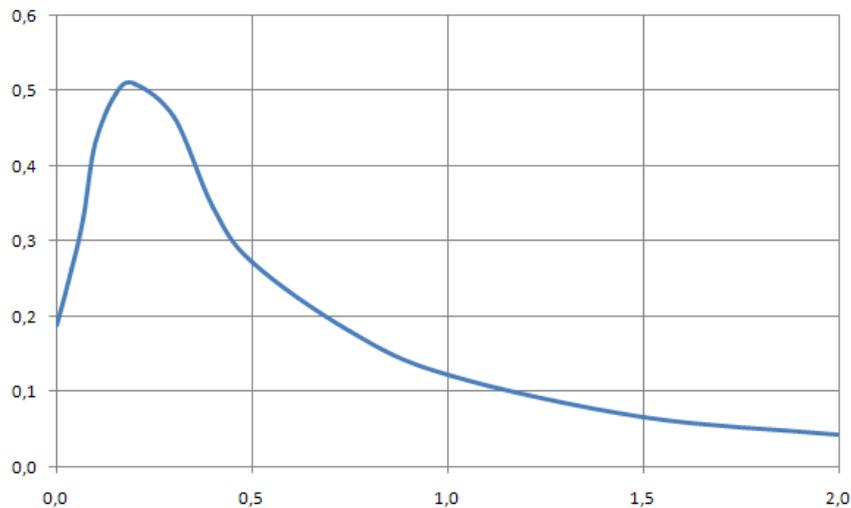
### 12.3 Dati di base

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 Sogliano al Rubicone dalla Regione Emilia Romagna pari a 0.188 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 Sogliano al Rubicone (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 250 m/sec ed un valore H pari a m 15;
- i n.3 accelerogrammi di riferimento, assegnati al Comune di Sogliano al Rubicone 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 Sogliano al Rubicone

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  $V_{sH} = 250$  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) = 2.2

FA IS (0.1-0.5 sec) = 2.2

FA IS (0.5-1.0 sec) = 1.7

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.

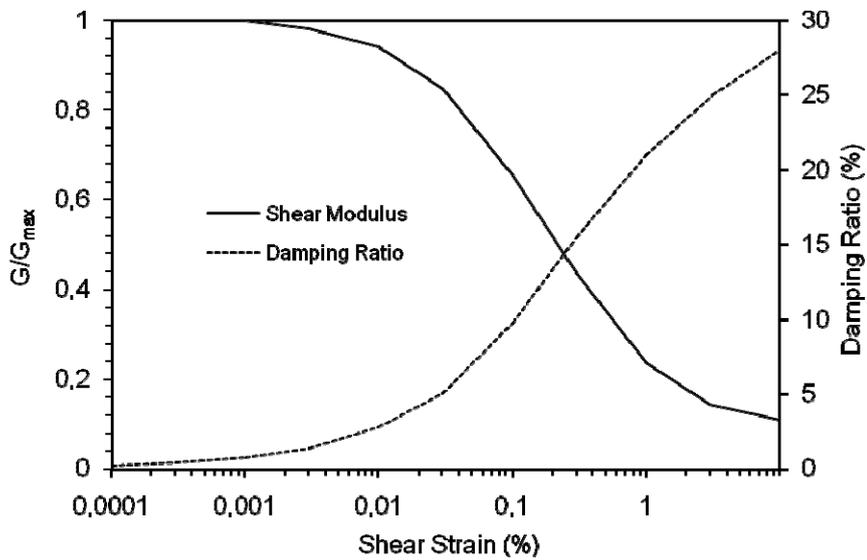
Il comportamento dinamico dei terreni del modello geofisico di riferimento viene descritto dalla relazione sforzi / deformazioni di tipo isteretico in un modello lineare equivalente espresso dalla coppia di parametri modulo di taglio (Shear Modulus) e smorzamento (Damping Ratio) espressa in funzione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

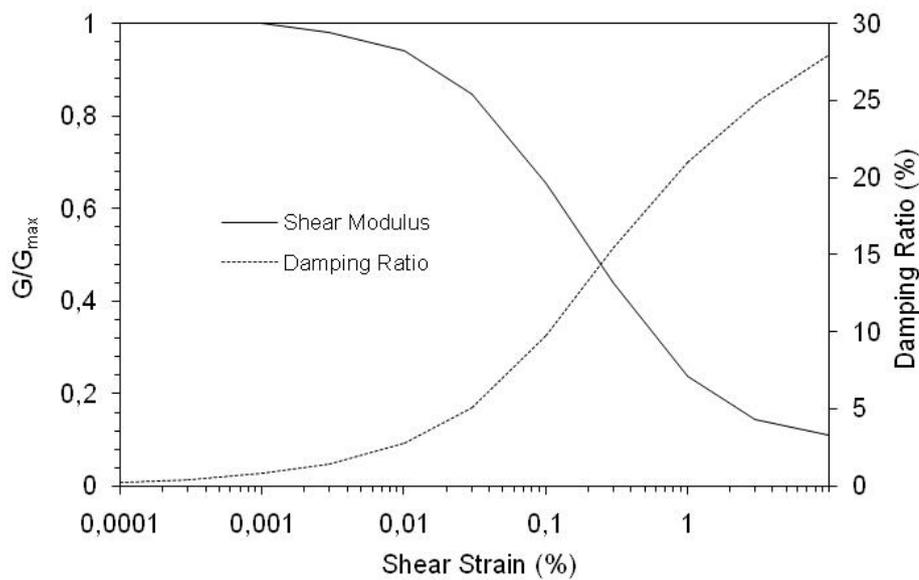
- a) materiale in frana costituito da limi sabbiosi fino a profondità di 3 m e argille limose da 3 a 5,5 m.
- b) argilla compatta fino a profondità di 7,5 m.
- c) argilliti con arenaria fino a profondità di 17 m.
- d) substrato formazionale costituito dalle "Argille Azzurre"

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, le sabbie e le argille superficiali sono state descritte tramite curve reperite in letteratura e corrispondenti a litologie analoghe a quelle analizzate.

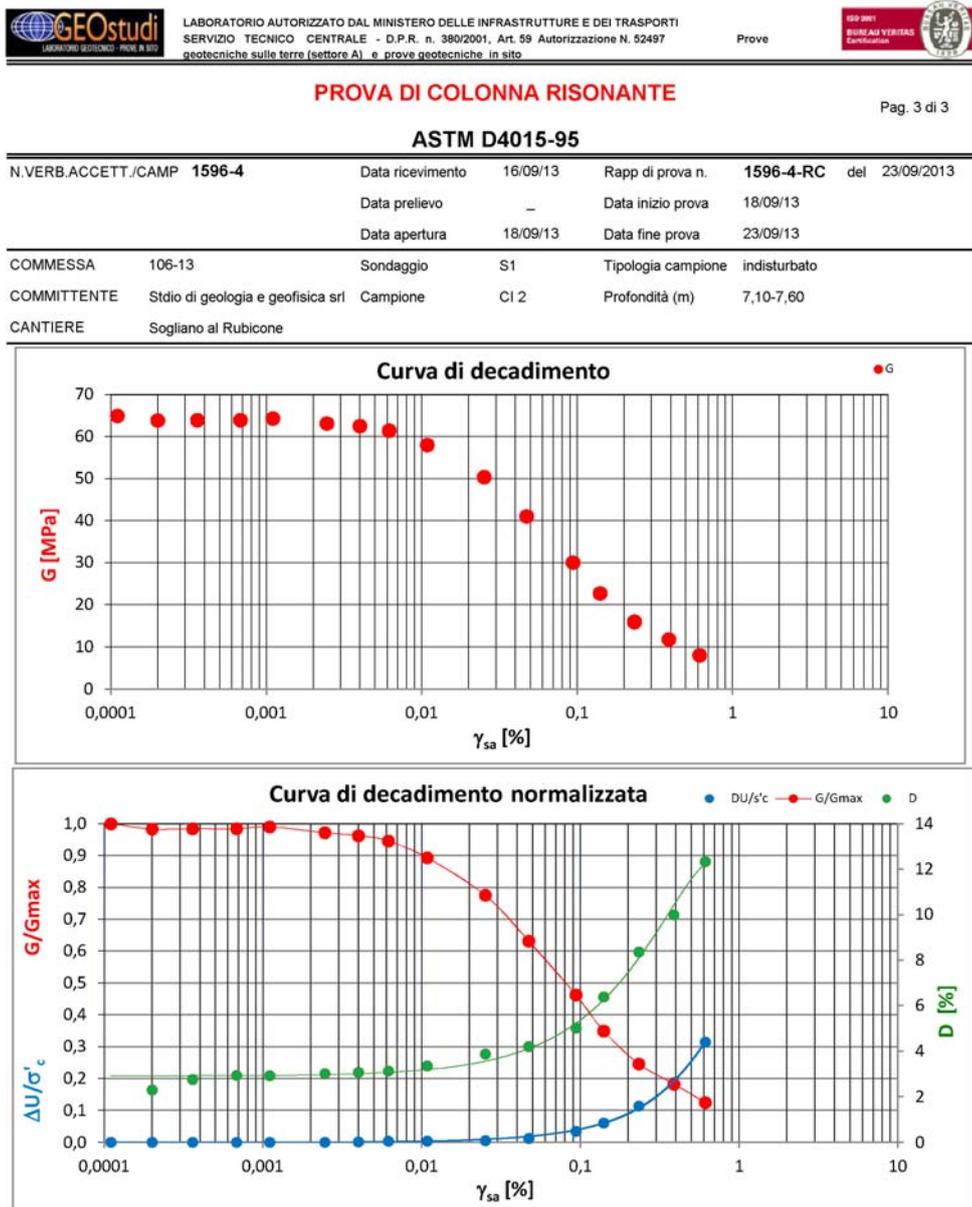


**Figura 28** Curve di degrado e smorzamento per le sabbie (Seed & Idriss 1970)



**Figura 29** Curve di degrado e smorzamento per le argille (Seed & Sun 1989)

Le argille compatte sono state caratterizzate tramite una prova di colonna risonante eseguita dal laboratorio Geostudi s.r.l. di Pomezia (Rm) sul campione prelevato a profondità di 7,10-7,60 m p.c. da cui si sono state derivate le seguenti curve di degrado/smorzamento.

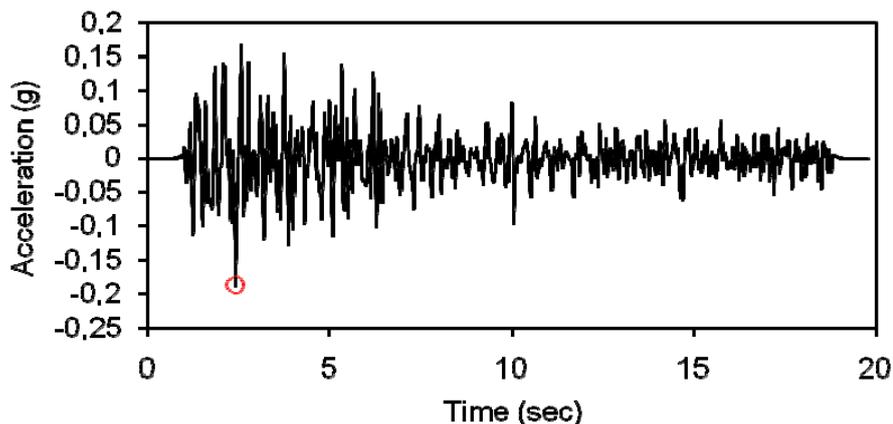


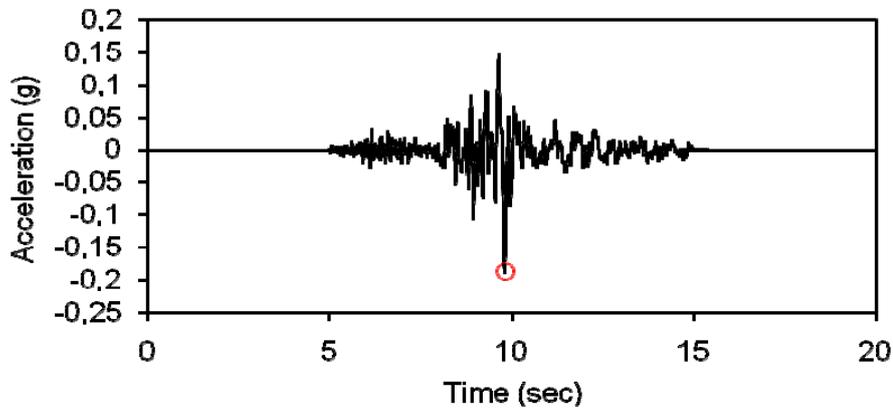
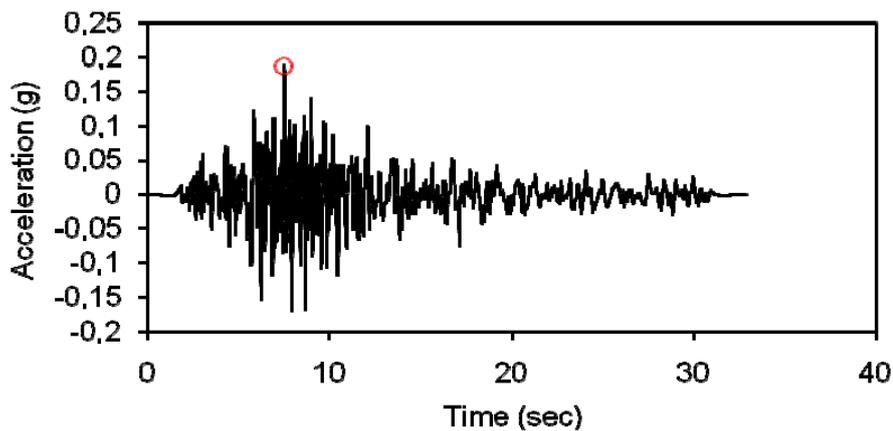
**Figura 30** Curve di degrado/smorzamento derivate da prova di colonna risonante

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 velocita' delle onde S di 800 m/sec.

Di seguito si riportano i segnali di riferimento per il comune di Sogliano al Rubicone ovvero i 3 accelerogrammi selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database " attraverso una procedura che valuta la similarita' 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, gia' 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\_040046SoglianoalRubicone



**000126xa\_040046SoglianoalRubicone**

**000354xa\_040046SoglianoalRubicone**

**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 Sogliano al Rubicone.

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:



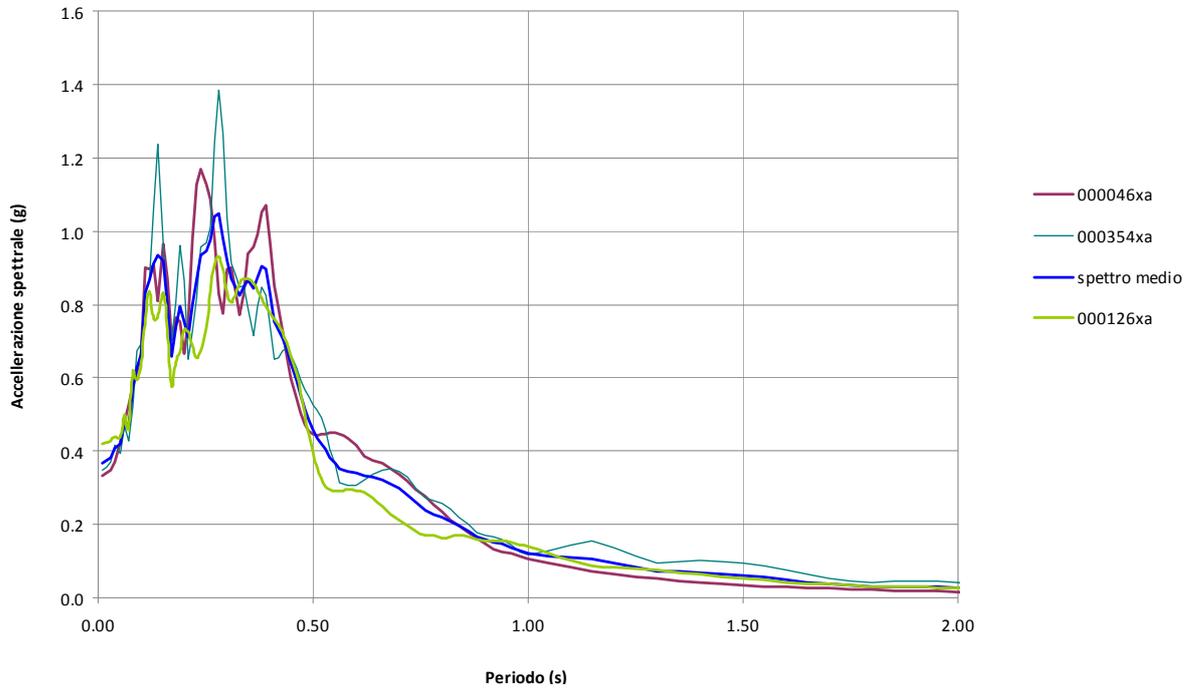
Fundamental period (s) = 0.36  
Average shear wave velocity (m/sec) = 409.32  
Total number of sublayers = 9

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 <sup>3</sup> )	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	3.0	69.92		19.00	190			1.5	28.50
	2	1	2.5	85.41		19.00	210			4.3	80.75
	3	4	2.0	124.24		19.50	250			6.5	124.00
	4	4	9.5	141.26		20.50	260			12.3	240.88
	5	4	6.0	386.39		20.50	430			20.0	399.75
	6	4	4.0	522.43		20.50	500			25.0	502.25
	7	4	5.0	752.29		20.50	600			29.5	594.50
	8	4	5.0	1023.96		20.50	700			34.5	697.00
Bedrock	9	3		1370.03		21.00	800	Outcrop		37.0	748.25

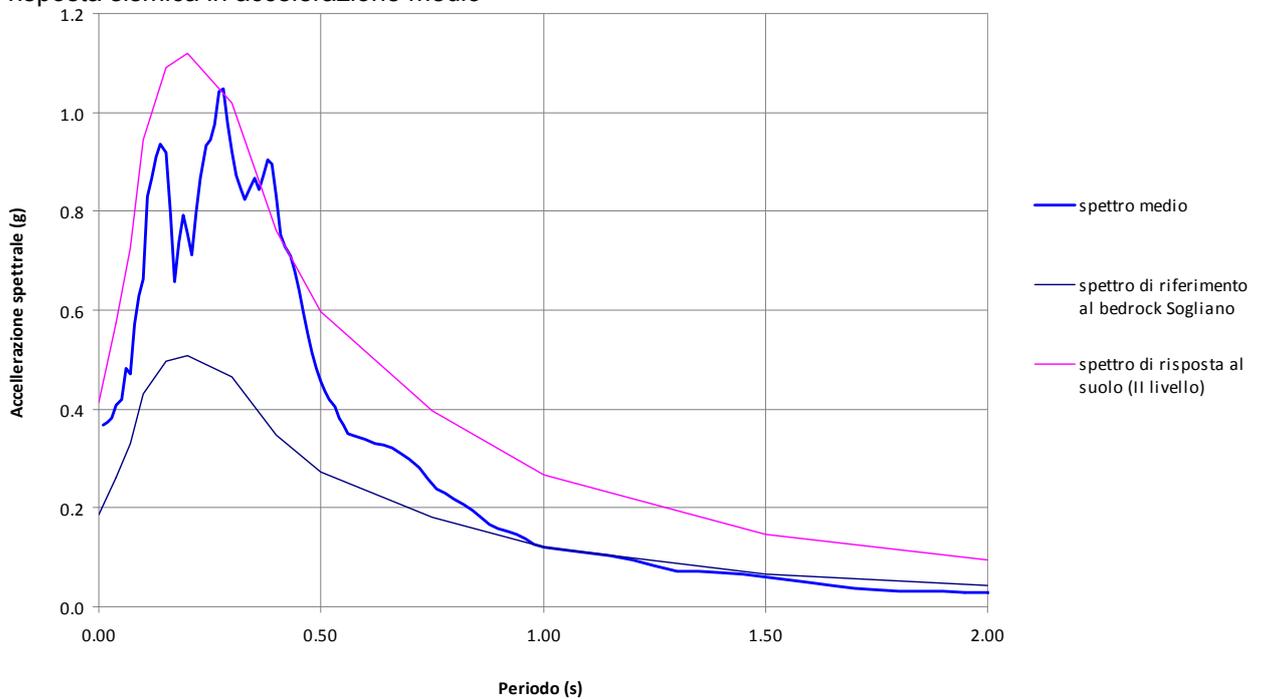
Lo spettro di risposta al sito e' stato confrontato con quello derivato dal II° livello di approfondimento, al fine di analizzare le differenze tra la risposta di un modello semplificato con quello di dettaglio indicato per il sito in esame.

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.

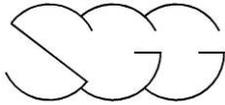
Lo spettro di risposta sismica locale medio è stato determinato quale valore medio di quelli calcolati in riferimento a ciascuno degli accelerogrammi assegnati al Comune, e raffrontato a quello relativo al medesimo scenario di sito proposto con l'analisi di secondo livello.



**Figura 31** Spettri di risposta sismica locale in accelerazione relativi ai 3 accelerogrammi di input del Comune di Sogliano al Rubicone (000046xa, 000354xa,000126xa) e spettro di risposta sismica in accelerazione medio



**Figura 32** Spettro di risposta sismica in accelerazione medio derivato dall' analisi di risposta sismica locale, spettro di riferimento al Bedrock per il Comune di Sogliano al Rubicone e spettro di risposta al suolo derivato dal secondo livello di approfondimento



L'analisi determina un valore di  $ag_{max}$  di **1.047 g** al periodo di 0.28 sec, ed un valore al suolo per  $T=0$  sec di  $ag_0$  di **0.368 g**. Ad eccezione dei valori di accelerazione nell'intervallo 0.35 - 0.40 sec, lo spettro derivato dall'analisi è ovunque minore dello spettro di secondo livello.

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	1525.07	713.22	2.14
000126xa	1383.50	660.65	2.09
000354xa	1520.70	720.74	2.11
		<b>media</b>	<b>2.11</b>

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

accelerogramma	SI suolo (*dT)	SI roccia (*dT)	SI/SI0
000046xa	891.79	549.61	1.62
000126xa	683.46	455.74	1.50
000354xa	874.25	623.59	1.40
		<b>media</b>	<b>1.51</b>

#### Rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0)

accelerogramma	Amax suolo	Amax0	Amax/Amax0
000046xa	0.334	0.188	1.78
000126xa	0.420	0.188	2.23
000354xa	0.350	0.188	1.86
		<b>media</b>	<b>1.96</b>



Di seguito si riportano i valori tabellari degli Spettri di risposta sismica locale in accelerazione relativi ai 3 accelerogrammi di input del Comune di Sogliano al Rubicone (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	0.3344	0.01	0.4195	0.01	0.3495	0.01	0.3678
0.02	0.3397	0.02	0.4221	0.02	0.3561	0.02	0.3726
0.03	0.3495	0.03	0.4269	0.03	0.3703	0.03	0.3822
0.04	0.3702	0.04	0.4402	0.04	0.4148	0.04	0.4084
0.05	0.4246	0.05	0.4403	0.05	0.3920	0.05	0.4189
0.06	0.4792	0.06	0.4975	0.06	0.4685	0.06	0.4817
0.07	0.5257	0.07	0.4599	0.07	0.4266	0.07	0.4707
0.08	0.5785	0.08	0.6150	0.08	0.5203	0.08	0.5713
0.09	0.6154	0.09	0.5951	0.09	0.6746	0.09	0.6284
0.10	0.6645	0.10	0.6316	0.10	0.6908	0.10	0.6623
0.11	0.9005	0.11	0.7607	0.11	0.8311	0.11	0.8307
0.12	0.8963	0.12	0.8364	0.12	0.8648	0.12	0.8658
0.13	0.9080	0.13	0.7595	0.13	1.0632	0.13	0.9102
0.14	0.8100	0.14	0.7629	0.14	1.2355	0.14	0.9361
0.15	0.9634	0.15	0.8320	0.15	0.9634	0.15	0.9196
0.16	0.8704	0.16	0.7312	0.16	0.7916	0.16	0.7978
0.17	0.7041	0.17	0.5737	0.17	0.6984	0.17	0.6588
0.18	0.7643	0.18	0.6444	0.18	0.8051	0.18	0.7379
0.19	0.7523	0.19	0.6681	0.19	0.9606	0.19	0.7936
0.20	0.6643	0.20	0.7314	0.20	0.8659	0.20	0.7538
0.21	0.7535	0.21	0.7280	0.21	0.6501	0.21	0.7105
0.22	0.9753	0.22	0.6897	0.22	0.7271	0.22	0.7974
0.23	1.1271	0.23	0.6553	0.23	0.8170	0.23	0.8665
0.24	1.1700	0.24	0.6738	0.24	0.9563	0.24	0.9334
0.25	1.1259	0.25	0.7389	0.25	0.9682	0.25	0.9443
0.26	1.0837	0.26	0.8345	0.26	1.0098	0.26	0.9760
0.27	0.9749	0.27	0.9083	0.27	1.2428	0.27	1.0420
0.28	0.8276	0.28	0.9310	0.28	1.3833	0.28	1.0473



0.29	0.7764	0.29	0.8951	0.29	1.2674	0.29	0.9796
0.30	0.8961	0.30	0.8338	0.30	1.0320	0.30	0.9206
0.31	0.8984	0.31	0.8041	0.31	0.9115	0.31	0.8714
0.32	0.8360	0.32	0.8249	0.32	0.8822	0.32	0.8477
0.33	0.7707	0.33	0.8552	0.33	0.8473	0.33	0.8244
0.34	0.8269	0.34	0.8708	0.34	0.8495	0.34	0.8491
0.35	0.9390	0.35	0.8698	0.35	0.7905	0.35	0.8664
0.36	0.9566	0.36	0.8572	0.36	0.7144	0.36	0.8428
0.37	0.9893	0.37	0.8376	0.37	0.7935	0.37	0.8735
0.38	1.0510	0.38	0.8157	0.38	0.8471	0.38	0.9046
0.39	1.0712	0.39	0.7938	0.39	0.8254	0.39	0.8968
0.40	0.9686	0.40	0.7743	0.40	0.7432	0.40	0.8287
0.41	0.8496	0.41	0.7585	0.41	0.6499	0.41	0.7527
0.42	0.7908	0.42	0.7437	0.42	0.6543	0.42	0.7296
0.43	0.7252	0.43	0.7248	0.43	0.6748	0.43	0.7082
0.44	0.6585	0.44	0.6975	0.44	0.6797	0.44	0.6786
0.45	0.5965	0.45	0.6595	0.45	0.6606	0.45	0.6389
0.46	0.5433	0.46	0.6118	0.46	0.6269	0.46	0.5940
0.47	0.5020	0.47	0.5577	0.47	0.5924	0.47	0.5507
0.48	0.4729	0.48	0.5013	0.48	0.5674	0.48	0.5139
0.49	0.4550	0.49	0.4464	0.49	0.5492	0.49	0.4835
0.50	0.4462	0.50	0.3969	0.50	0.5273	0.50	0.4568
0.51	0.4438	0.51	0.3554	0.51	0.5111	0.51	0.4368
0.52	0.4451	0.52	0.3244	0.52	0.4919	0.52	0.4205
0.53	0.4475	0.53	0.3043	0.53	0.4589	0.53	0.4035
0.54	0.4493	0.54	0.2937	0.54	0.4028	0.54	0.3819
0.55	0.4495	0.55	0.2899	0.55	0.3636	0.55	0.3677
0.56	0.4476	0.56	0.2900	0.56	0.3139	0.56	0.3505
0.57	0.4432	0.57	0.2915	0.57	0.3098	0.57	0.3482
0.58	0.4361	0.58	0.2932	0.58	0.3065	0.58	0.3453
0.60	0.4154	0.60	0.2931	0.60	0.3076	0.60	0.3387
0.62	0.3857	0.62	0.2858	0.62	0.3230	0.62	0.3315
0.64	0.3752	0.64	0.2709	0.64	0.3376	0.64	0.3279
0.66	0.3663	0.66	0.2506	0.66	0.3478	0.66	0.3216
0.68	0.3524	0.68	0.2284	0.68	0.3526	0.68	0.3111
0.70	0.3353	0.70	0.2137	0.70	0.3460	0.70	0.2983
0.72	0.3158	0.72	0.1982	0.72	0.3284	0.72	0.2808
0.74	0.2954	0.74	0.1833	0.74	0.2989	0.74	0.2592
0.76	0.2744	0.76	0.1702	0.76	0.2718	0.76	0.2388



0.78	0.2536	0.78	0.1688	0.78	0.2639	0.78	0.2288
0.80	0.2332	0.80	0.1638	0.80	0.2555	0.80	0.2175
0.82	0.2136	0.82	0.1673	0.82	0.2418	0.82	0.2075
0.84	0.1949	0.84	0.1685	0.84	0.2212	0.84	0.1949
0.86	0.1775	0.86	0.1655	0.86	0.1988	0.86	0.1806
0.88	0.1612	0.88	0.1586	0.88	0.1783	0.88	0.1660
0.90	0.1462	0.90	0.1566	0.90	0.1691	0.90	0.1573
0.92	0.1325	0.92	0.1557	0.92	0.1679	0.92	0.1520
0.94	0.1256	0.94	0.1533	0.94	0.1581	0.94	0.1457
0.96	0.1192	0.96	0.1495	0.96	0.1421	0.96	0.1369
0.98	0.1130	0.98	0.1444	0.98	0.1246	0.98	0.1273
1.00	0.1072	1.00	0.1383	1.00	0.1176	1.00	0.1211
1.05	0.0940	1.05	0.1202	1.05	0.1271	1.05	0.1138
1.10	0.0827	1.10	0.1011	1.10	0.1443	1.10	0.1094
1.15	0.0730	1.15	0.0854	1.15	0.1552	1.15	0.1045
1.20	0.0646	1.20	0.0823	1.20	0.1369	1.20	0.0946
1.25	0.0575	1.25	0.0783	1.25	0.1130	1.25	0.0829
1.30	0.0514	1.30	0.0738	1.30	0.0931	1.30	0.0728
1.35	0.0462	1.35	0.0689	1.35	0.0968	1.35	0.0706
1.40	0.0417	1.40	0.0636	1.40	0.1005	1.40	0.0686
1.45	0.0378	1.45	0.0581	1.45	0.0995	1.45	0.0651
1.50	0.0345	1.50	0.0527	1.50	0.0934	1.50	0.0602
1.55	0.0316	1.55	0.0477	1.55	0.0871	1.55	0.0555
1.60	0.0290	1.60	0.0432	1.60	0.0758	1.60	0.0494
1.65	0.0268	1.65	0.0395	1.65	0.0626	1.65	0.0430
1.70	0.0248	1.70	0.0364	1.70	0.0520	1.70	0.0377
1.75	0.0231	1.75	0.0339	1.75	0.0447	1.75	0.0339
1.80	0.0216	1.80	0.0319	1.80	0.0427	1.80	0.0321
1.85	0.0202	1.85	0.0302	1.85	0.0455	1.85	0.0320
1.90	0.0190	1.90	0.0288	1.90	0.0458	1.90	0.0312
1.95	0.0178	1.95	0.0275	1.95	0.0441	1.95	0.0298
2.00	0.0168	2.00	0.0263	2.00	0.0410	2.00	0.0281
2.05	0.0159	2.05	0.0252	2.05	0.0373	2.05	0.0261
2.10	0.0151	2.10	0.0241	2.10	0.0331	2.10	0.0241
2.15	0.0143	2.15	0.0231	2.15	0.0305	2.15	0.0226
2.20	0.0136	2.20	0.0221	2.20	0.0287	2.20	0.0215
2.25	0.0130	2.25	0.0211	2.25	0.0286	2.25	0.0209
2.30	0.0124	2.30	0.0201	2.30	0.0290	2.30	0.0205
2.35	0.0119	2.35	0.0192	2.35	0.0287	2.35	0.0199

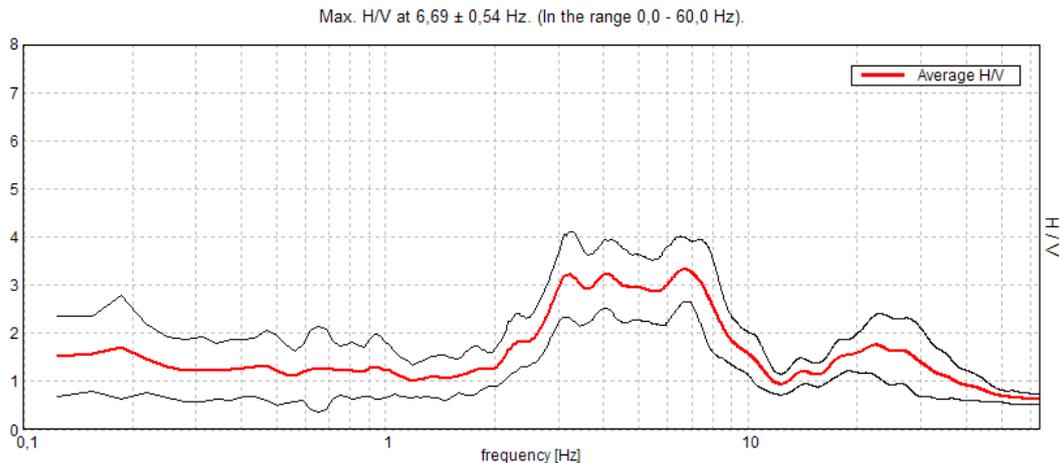


2.40	0.0114	2.40	0.0184	2.40	0.0276	2.40	0.0191
2.50	0.0105	2.50	0.0168	2.50	0.0244	2.50	0.0173
2.60	0.0097	2.60	0.0155	2.60	0.0217	2.60	0.0156
2.70	0.0090	2.70	0.0143	2.70	0.0206	2.70	0.0146
2.80	0.0084	2.80	0.0133	2.80	0.0205	2.80	0.0141
2.90	0.0079	2.90	0.0124	2.90	0.0204	2.90	0.0136
3.00	0.0074	3.00	0.0116	3.00	0.0197	3.00	0.0129
3.10	0.0070	3.10	0.0109	3.10	0.0182	3.10	0.0120
3.20	0.0066	3.20	0.0102	3.20	0.0171	3.20	0.0113
3.30	0.0062	3.30	0.0095	3.30	0.0164	3.30	0.0107
3.40	0.0059	3.40	0.0090	3.40	0.0145	3.40	0.0098
3.50	0.0056	3.50	0.0084	3.50	0.0121	3.50	0.0087
3.60	0.0053	3.60	0.0079	3.60	0.0107	3.60	0.0080
3.70	0.0051	3.70	0.0075	3.70	0.0104	3.70	0.0077
3.80	0.0049	3.80	0.0070	3.80	0.0101	3.80	0.0073
3.90	0.0047	3.90	0.0067	3.90	0.0097	3.90	0.0070
4.00	0.0045	4.00	0.0063	4.00	0.0093	4.00	0.0067
4.10	0.0043	4.10	0.0060	4.10	0.0088	4.10	0.0064
4.20	0.0041	4.20	0.0057	4.20	0.0084	4.20	0.0061
4.30	0.0040	4.30	0.0054	4.30	0.0080	4.30	0.0058
4.40	0.0038	4.40	0.0052	4.40	0.0076	4.40	0.0055
4.50	0.0037	4.50	0.0049	4.50	0.0072	4.50	0.0053
4.60	0.0036	4.60	0.0047	4.60	0.0068	4.60	0.0050
4.70	0.0034	4.70	0.0045	4.70	0.0064	4.70	0.0048
4.80	0.0033	4.80	0.0044	4.80	0.0060	4.80	0.0046
4.90	0.0032	4.90	0.0042	4.90	0.0056	4.90	0.0044
5.00	0.0031	5.00	0.0041	5.00	0.0053	5.00	0.0042
5.10	0.0030	5.10	0.0039	5.10	0.0050	5.10	0.0040
5.20	0.0029	5.20	0.0038	5.20	0.0047	5.20	0.0038
5.40	0.0028	5.40	0.0036	5.40	0.0041	5.40	0.0035
5.60	0.0026	5.60	0.0034	5.60	0.0037	5.60	0.0032
5.80	0.0025	5.80	0.0032	5.80	0.0034	5.80	0.0030
6.00	0.0024	6.00	0.0030	6.00	0.0031	6.00	0.0028
6.20	0.0023	6.20	0.0029	6.20	0.0028	6.20	0.0027
6.40	0.0022	6.40	0.0028	6.40	0.0026	6.40	0.0025
6.60	0.0021	6.60	0.0026	6.60	0.0024	6.60	0.0024
6.80	0.0020	6.80	0.0025	6.80	0.0023	6.80	0.0023
7.00	0.0019	7.00	0.0024	7.00	0.0022	7.00	0.0022
7.20	0.0018	7.20	0.0023	7.20	0.0020	7.20	0.0021

7.40	0.0017	7.40	0.0023	7.40	0.0019	7.40	0.0020
7.60	0.0017	7.60	0.0022	7.60	0.0018	7.60	0.0019
7.80	0.0016	7.80	0.0021	7.80	0.0017	7.80	0.0018
8.00	0.0016	8.00	0.0020	8.00	0.0017	8.00	0.0018
8.50	0.0014	8.50	0.0019	8.50	0.0015	8.50	0.0016
9.00	0.0013	9.00	0.0017	9.00	0.0013	9.00	0.0015
9.50	0.0012	9.50	0.0016	9.50	0.0012	9.50	0.0014
10.00	0.0012	10.00	0.0015	10.00	0.0011	10.00	0.0013

Per quanto riguarda le frequenze di risonanza del sito, ovvero le frequenze in corrispondenza delle quali in caso di terremoto ci si attende la maggiore amplificazione del sisma, oltre ai risultati dell'analisi di risposta sismica locale è necessario fare riferimento alla misura del rumore sismico ambientale T29 eseguita nell'ambito del terzo livello di approfondimento.

Le frequenze di risonanza caratteristiche del profilo stratigrafico analizzato, derivate dalla misura sperimentale del rumore sismico ambientale coincidono con valori tra 3 e 7Hz, derivati dalle discontinuità litologiche all'interno delle argille compatte tra 7 e 17 metri.



**Figura 33** Misura HVRS T29 eseguita nell'ambito del terzo livello di approfondimento

Nel caso in cui l'area analizzata venga interessata dalla realizzazione di nuove strutture, le frequenze di risonanza di sito dovranno essere tenute

nella adeguata considerazione al fine di evitare il fenomeno della doppia risonanza tra terreno e struttura. 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 di 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.

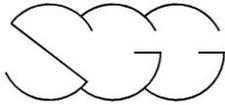
Le verifiche di stabilità e la parametrizzazione dei terreni vengono eseguite sulla base delle norme tecniche per le costruzioni (D. M. 14 gennaio 2008). Secondo tale normativa le verifiche di stabilità vengono di norma eseguite secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2) che rispetto alle altre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

#### **- Limo sabbioso (frana quiescente):**

peso di volume	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
coesione	$C = 1,5 \text{ kPa}$
angolo di attrito	$\varphi = 26^\circ$

#### **- Argilla limosa (frana quiescente):**

peso di volume	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
coesione	$C = 3 \text{ kPa}$
angolo di attrito	$\varphi = 22^\circ$

**- Argilla limosa compatta:**

peso di volume	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$
coesione	$C = 15 \text{ kPa}$
angolo di attrito	$\varphi = 22^\circ$

**- Argilla con livelli arenacei:**

peso di volume	$\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$
coesione	$C = 30 \text{ kPa}$
angolo di attrito	$\varphi = 24^\circ$

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 specifico viene considerata come metodologia 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 Sogliano, secondo la normativa sismica vigente, è inserito in zona 2.

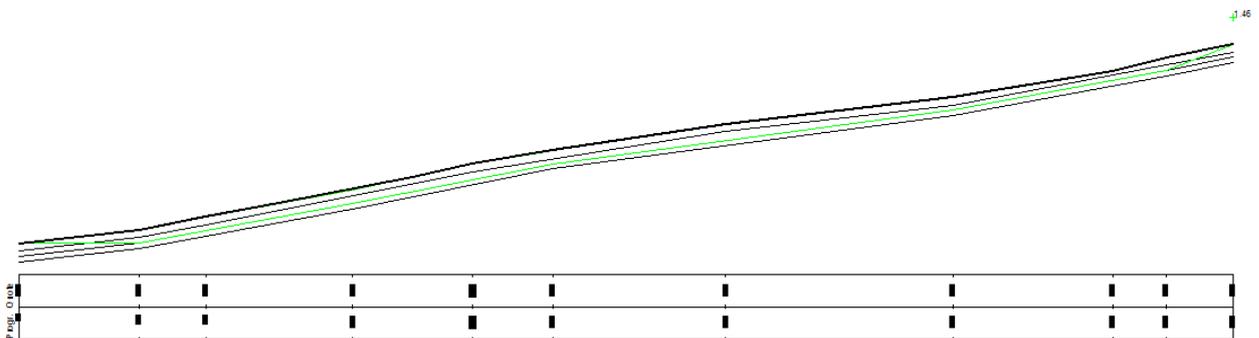
La determinazione dell'accelerazione orizzontale massima è stata eseguita con l'analisi di risposta sismica, sulla base del profilo stratigrafico locale ed utilizzando come moto di input gli accelerogrammi di riferimento per il Comune di Sogliano al Rubicone.

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 ( $T_2$ ).

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.

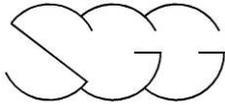
In riferimento a tutto quanto sopra, le verifiche di stabilità sono state effettuate utilizzando la componente sismica orizzontale pari a 0,123 e quella verticale pari a 0,062, essendo convenzionalmente la metà di quella orizzontale.

Per ciò che riguarda la sezione analizzata e considerando la superficie di scivolamento planare, emerge che il coefficiente di sicurezza è pari a 1,46.



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

Per il calcolo degli spostamenti attesi 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 dalle 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

$\alpha$  = inclinazione della superficie di scorrimento

$\phi$  = 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)

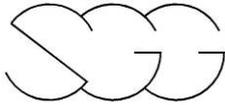
$v_{\max}$  = velocità massima del moto alla base (cm/sec)

$a_c = K_c g$  accelerazione critica

Dai calcoli effettuati risulta che, per la frana in esame, lo spostamento atteso S in caso di evento sismico è pari a 7,0 cm.

Siena, Settembre 2013

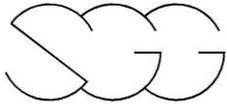
  
Dr. Geol. Antonio Maria Baldi



## **Appendice**

### **Indagini I° e II° livello**

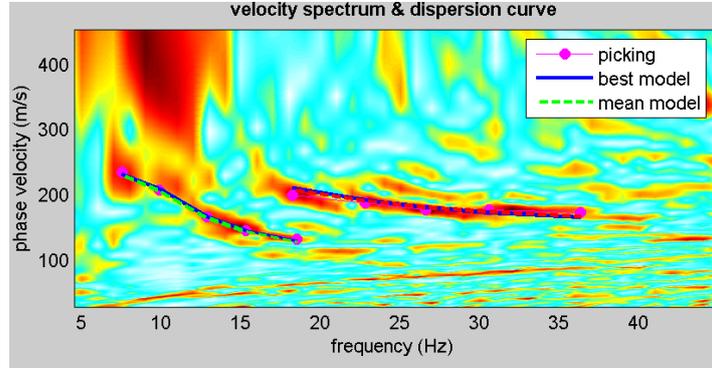
- |                                |         |
|--------------------------------|---------|
| - <b>Prove MASW</b>            | Pag. 75 |
| - <b>Misure HVSR</b>           | Pag. 80 |
| - <b>Prove penetrometriche</b> | Pag. 85 |



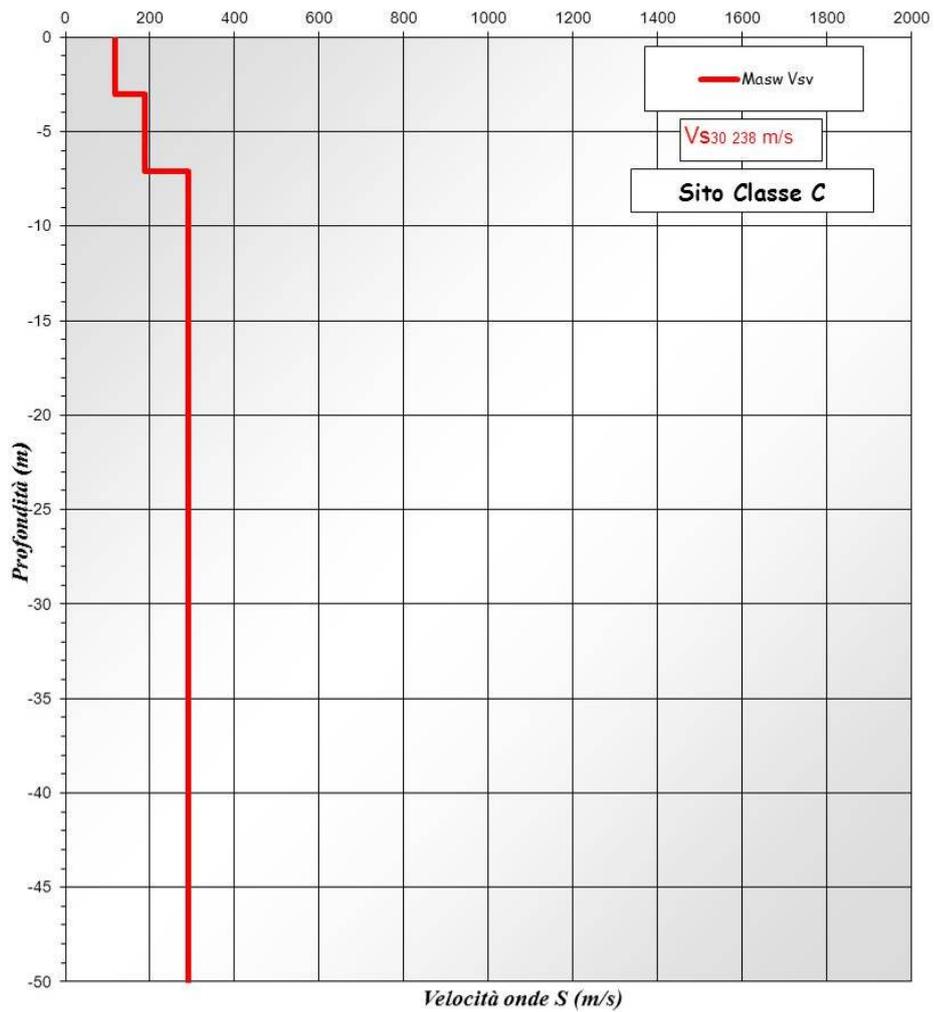
## **PROVE MASW**

### 40046L011MASW15

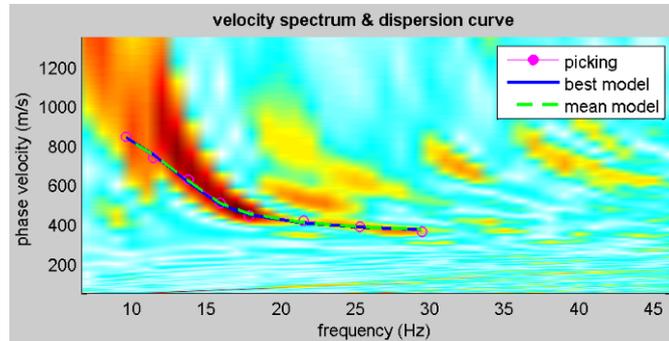
velocity spectrum & dispersion curve



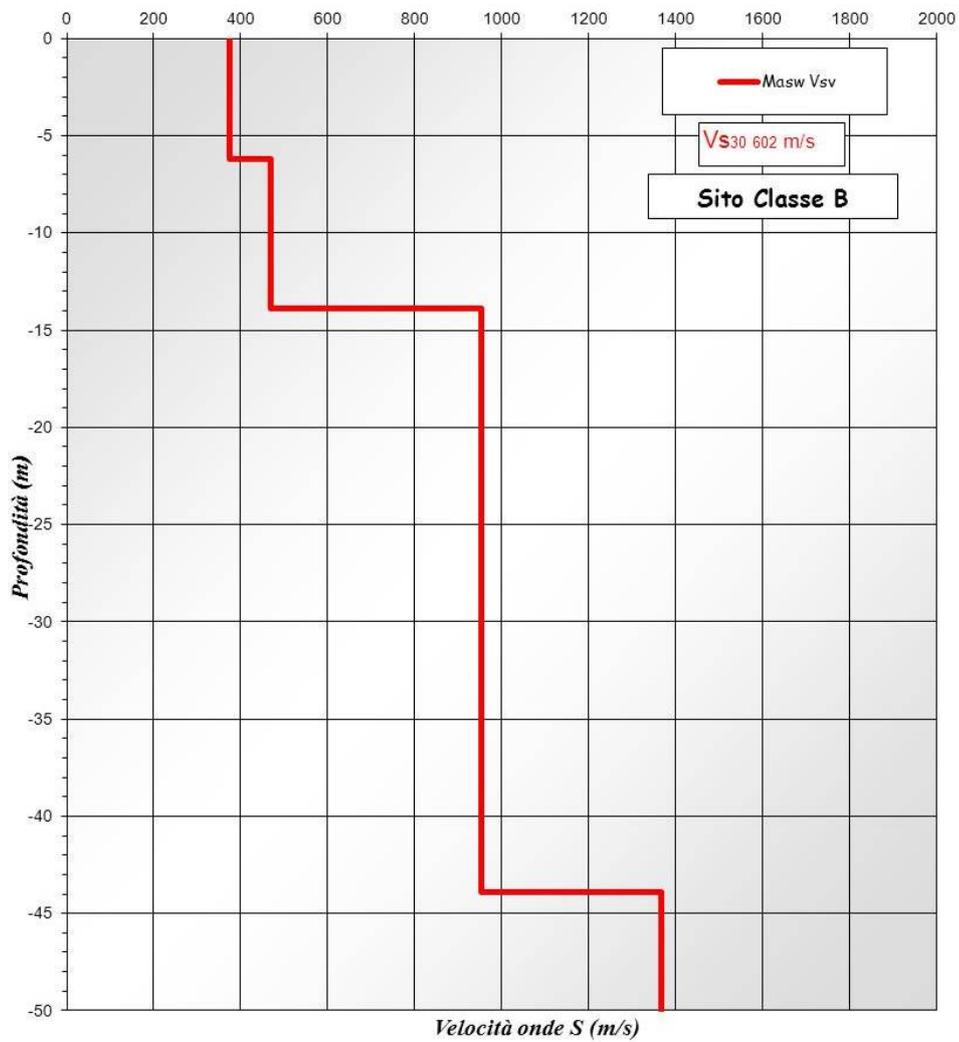
### Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



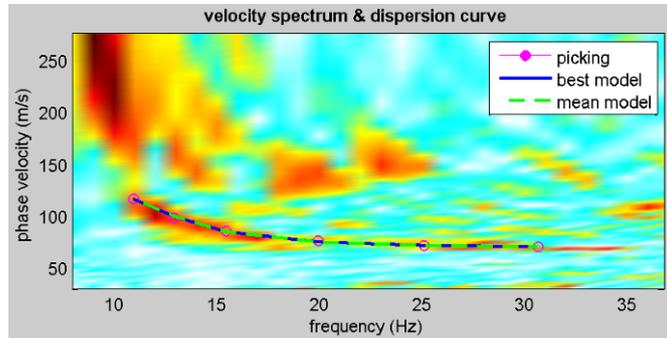
### 40046L012MASW16



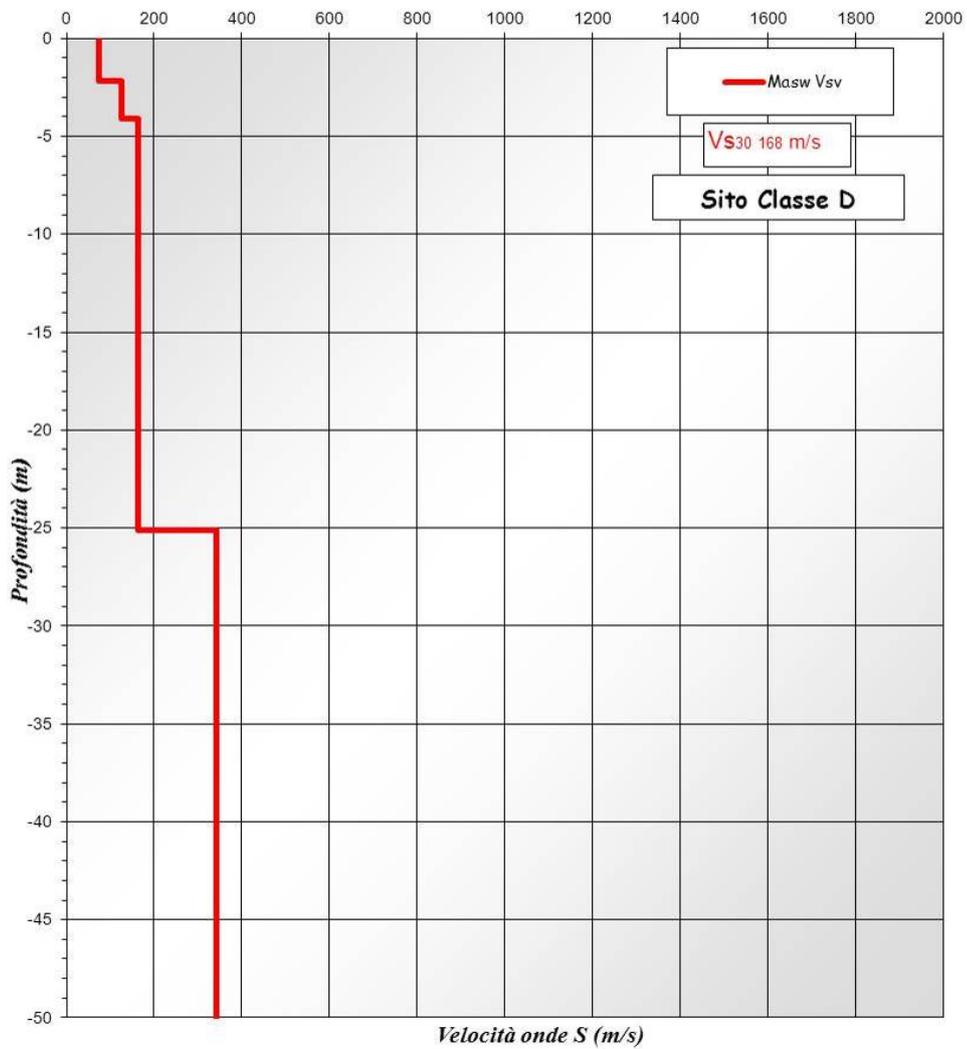
#### Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves



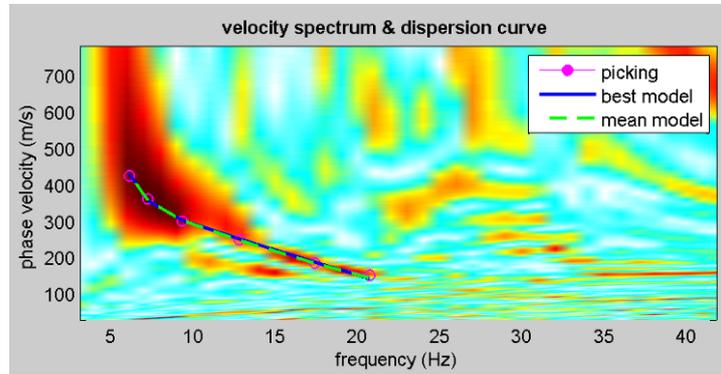
### 40046L013MASW17



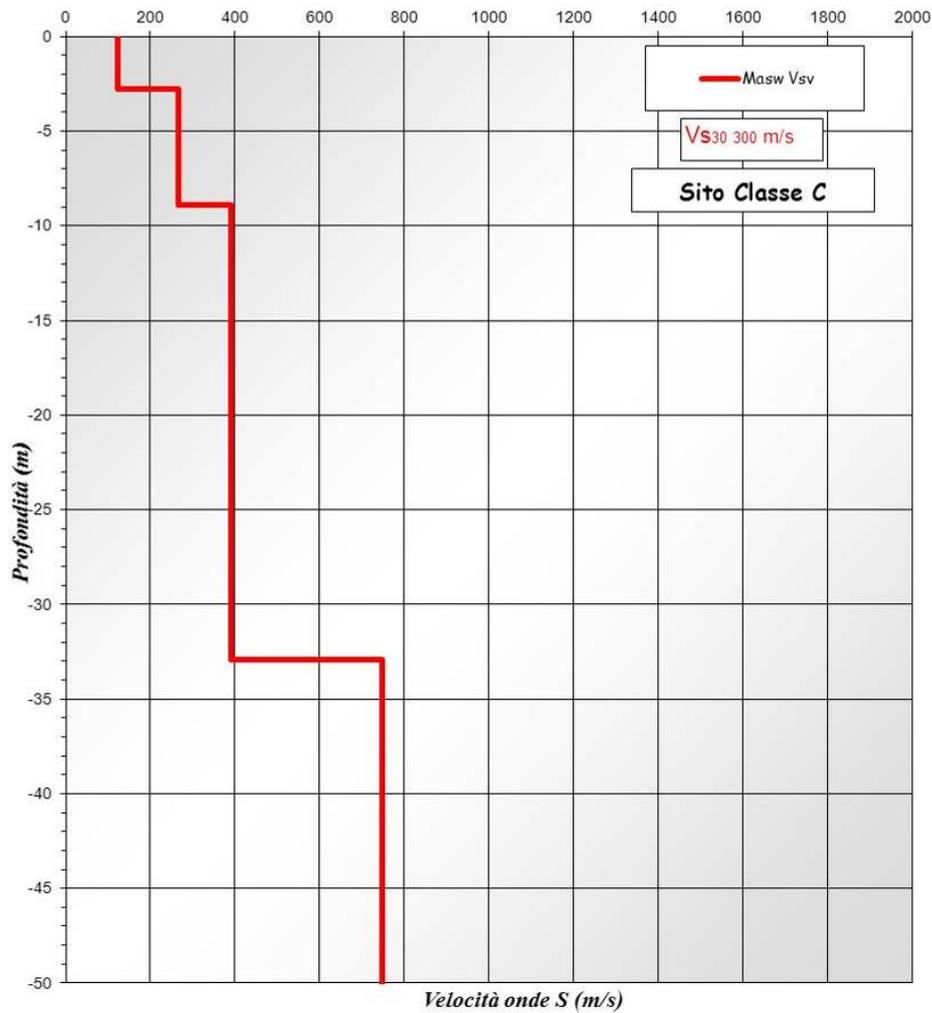
*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*

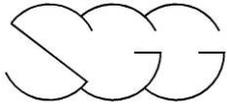


### 40046L014MASW18



*Shear-Wave Velocity Profile from Multichannels Analysis of Surface Waves*

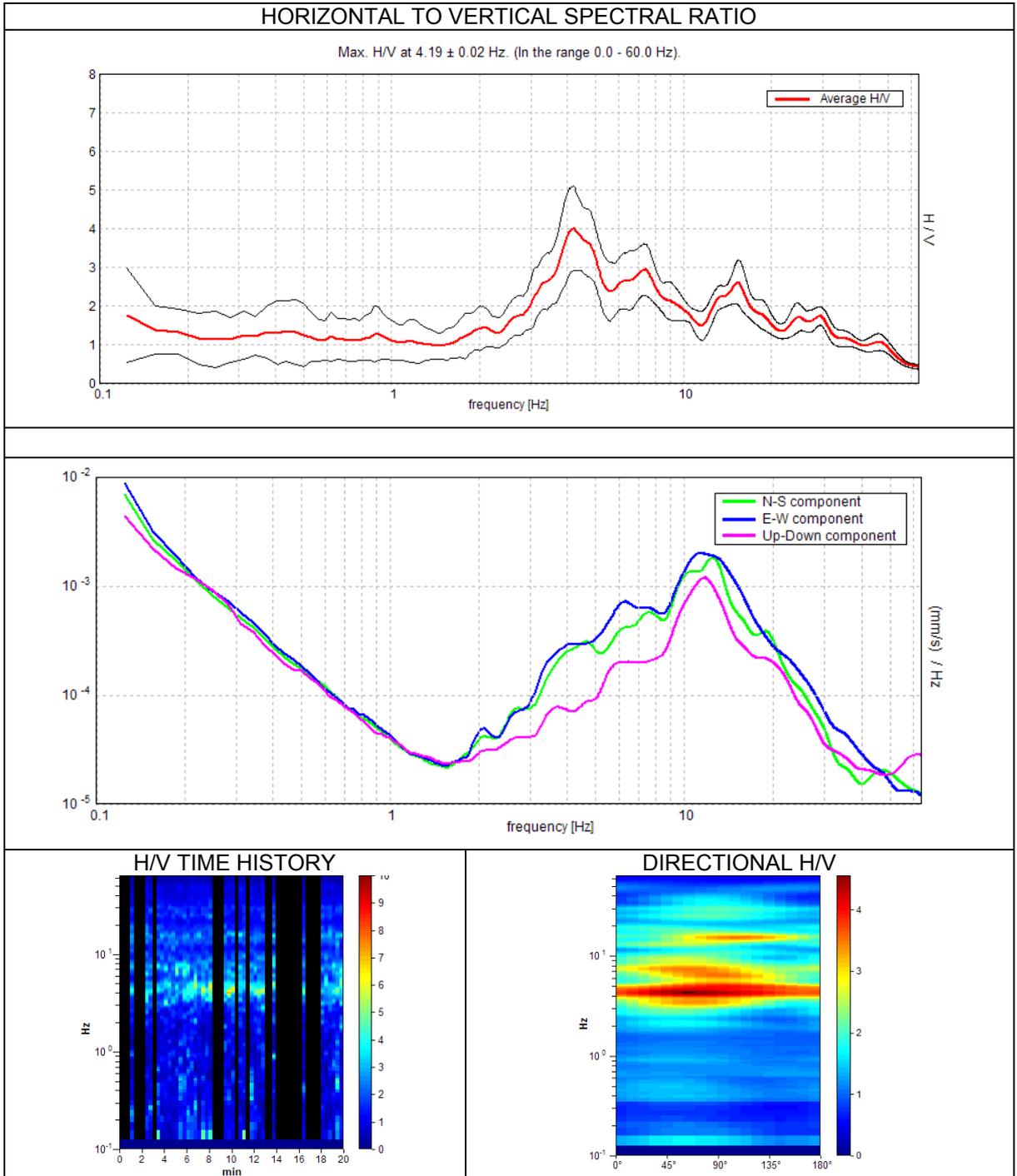




## **PROVE HVSR**

### Misura 40046P064HVSR70

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

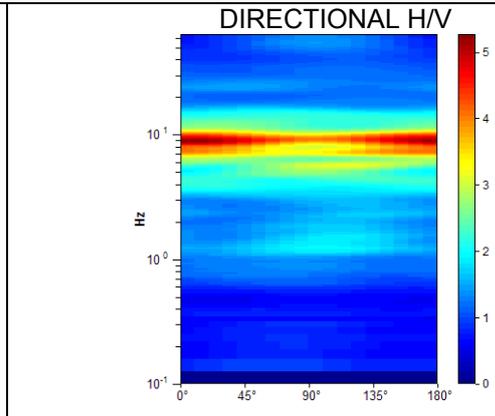
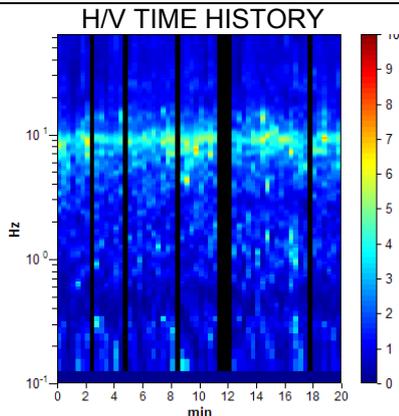
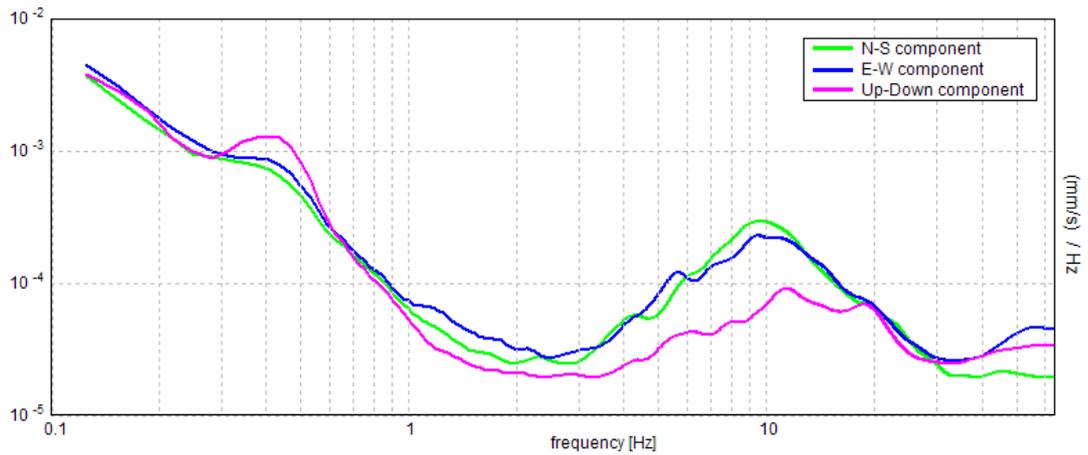
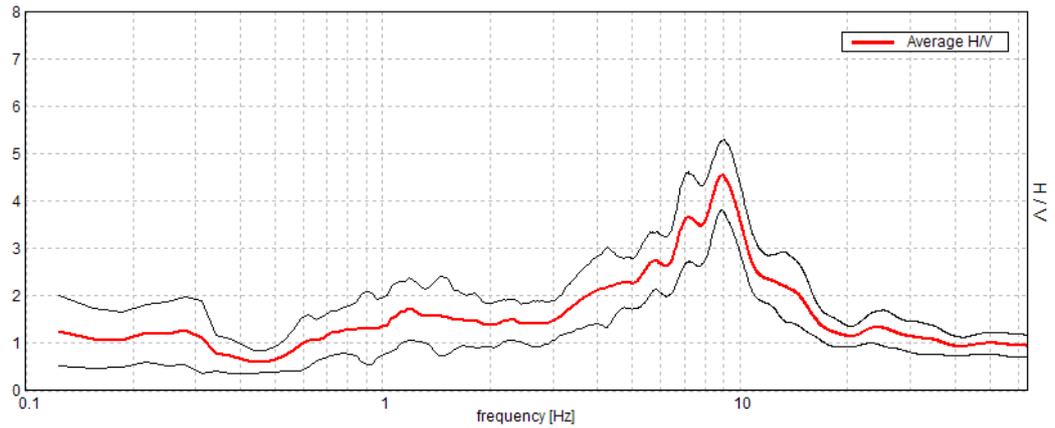


$f_0$ (Hz)	$f_1$ (Hz)
4,19	7,5

### Misura 40046P065HVSR71

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at  $8.97 \pm 0.07$  Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).

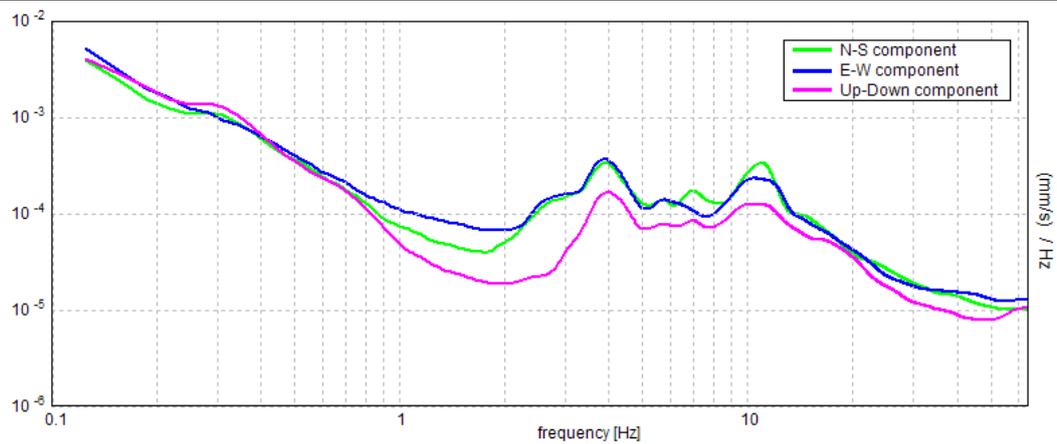
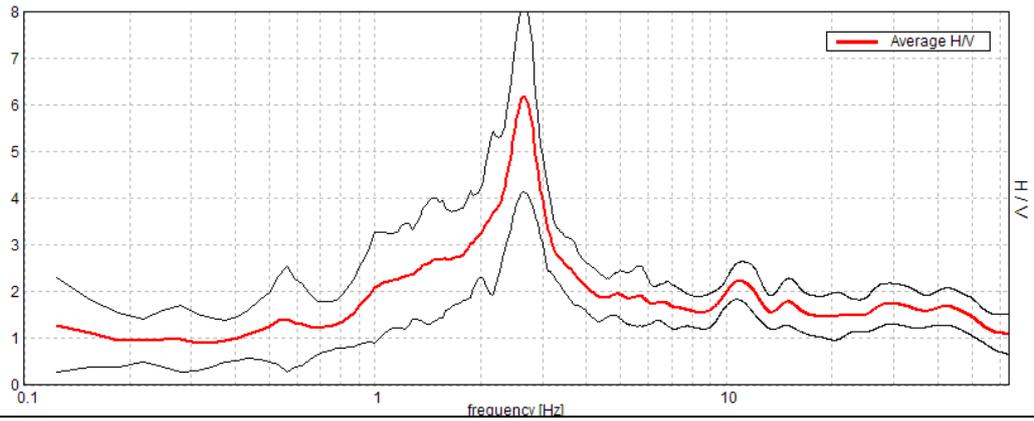


$f_0$ (Hz)	$f_1$ (Hz)
8,97	7,0

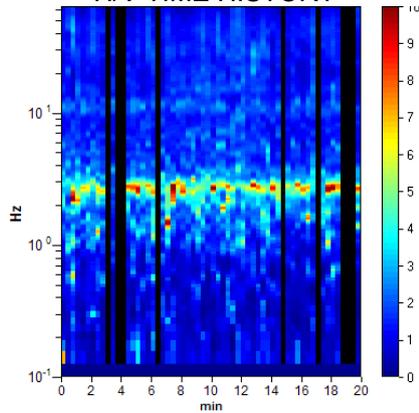
### Misura 40046P066HVSR72

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

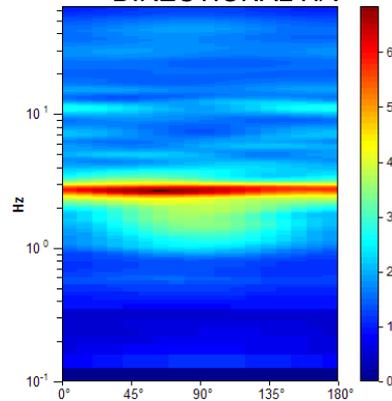
Max. H/V at  $2.66 \pm 0.11$  Hz. (In the range 0.0 - 60.0 Hz).



#### H/V TIME HISTORY



#### DIRECTIONAL H/V



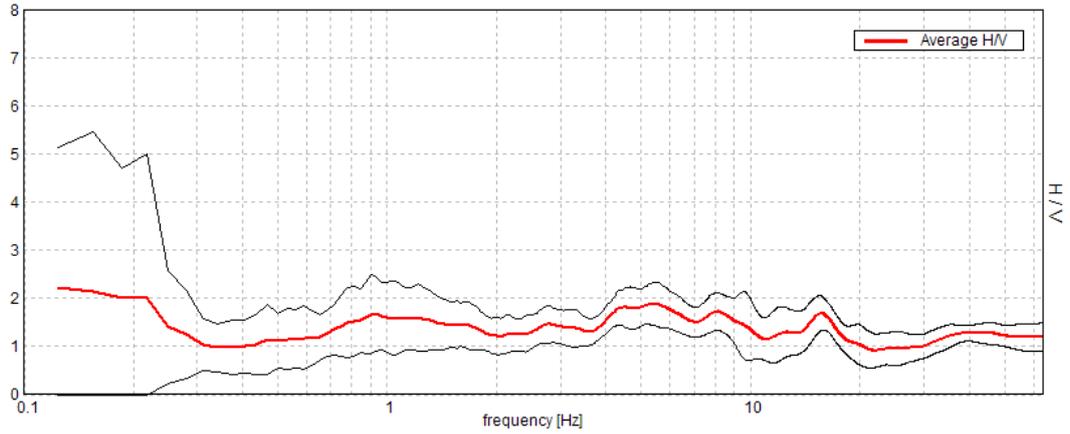
$f_0$  (Hz)

2,66

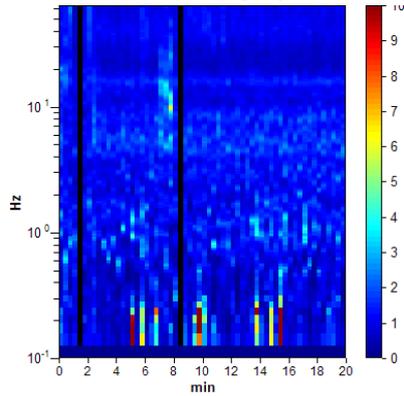
### Misura 40046P068HVSR73

#### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

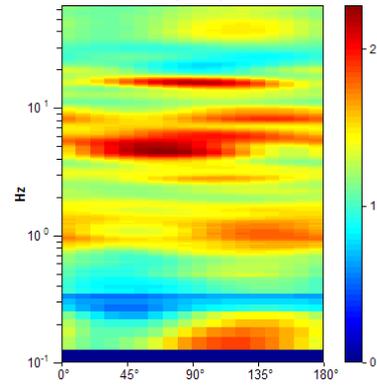
Max. H/V at 5.31 ± 1.32 Hz. (In the range 2.0 - 60.0 Hz).



#### H/V TIME HISTORY

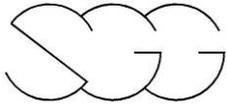


#### DIRECTIONAL H/V



**f<sub>0</sub> (Hz)**

5,31

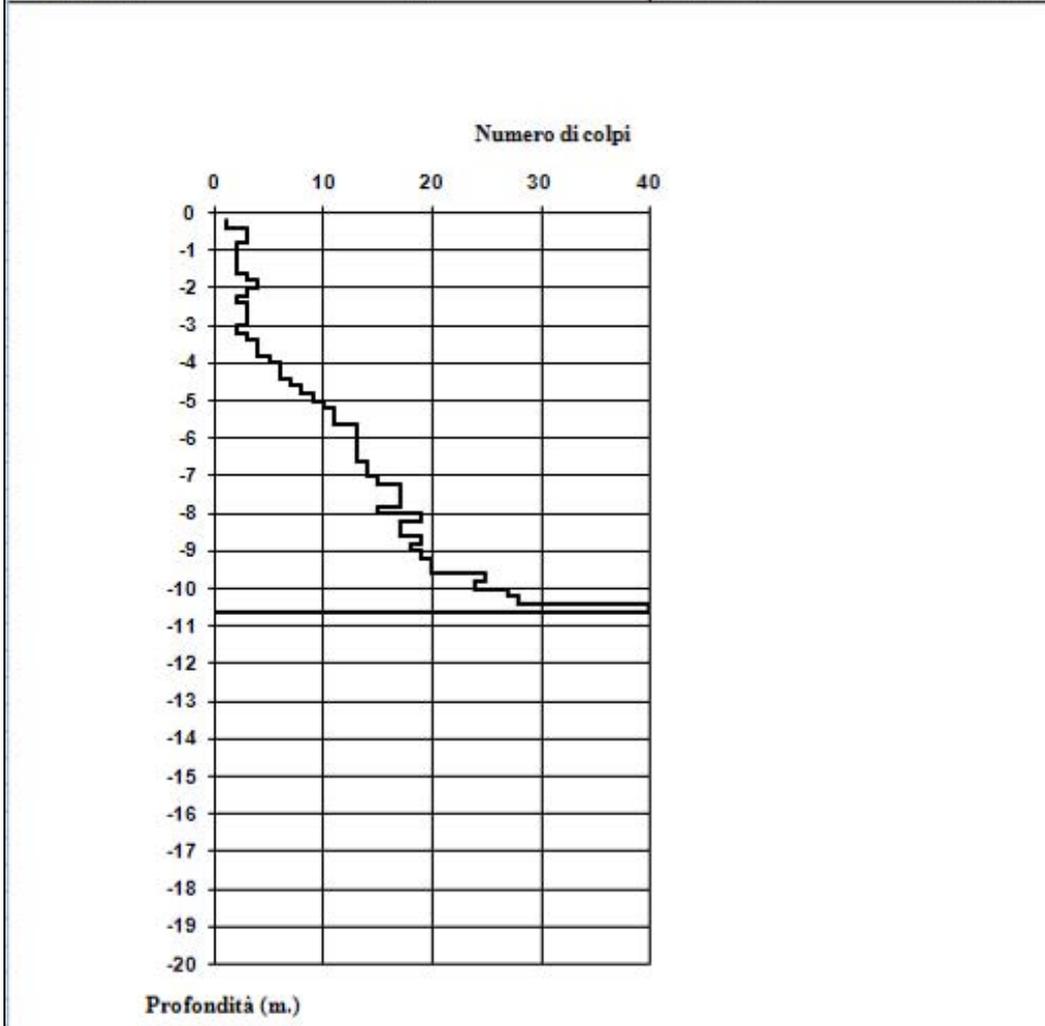


# **PROVE PENETROMETRICHE**

### 40046P070DP75

 <small>associated engineers</small> 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 101 s		Caratteristiche del penetrometro	
Committente	Studio di geologia e geofisica srl	Peso del maglio	63,5
Cantiere	Scuole	Altezza di caduta	75 cm
Località	Sogliano al Rubicone	Angolo punta conica	60°
Data	13-03-2013	Sezione punta conica	20,43 cmq
Quota	piano campagna	Diametro aste	32 mm
Livello Falda	9,00	Peso aste	6,31 Kg/ml



Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica

### 40046P071DP76

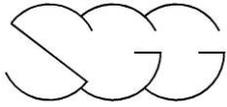
		GEOECOTER s.c.a.r.l. - Ingegneria Civile e Geologia Applicata Località Trabocchi, Montepetrabassa - 47030 Sogliano al Rubicone (FC) Tel/Fax 0547/95080	
www.geocoter.com		P.IVA Registro Imprese Forlì-Cesena 02669250405 R.E.A. 284299 Iscr. Albo Soc. Coop.ve A106613	
<b>PROVA DINAMICA DPSH 103 s</b>		<b>Caratteristiche del penetrometro</b>	
<b>Committente</b>	Studio di geologia e geofisica srl	<b>Peso del maglio</b>	63,5
<b>Cantiere</b>	Ponte Uso	<b>Altezza di caduta</b>	75 cm
<b>Località</b>	Sogliano al Rubicone	<b>Angolo punta conica</b>	60°
<b>Data</b>	13-03-2013	<b>Sezione punta conica</b>	20,43 cmq
<b>Quota</b>	piano campagna	<b>Diametro aste</b>	32 mm
<b>Livello Falda</b>	4.00	<b>Peso aste</b>	6,31 Kg/ml

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica

### 40046P072DP77

		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	
<b>PROVA DINAMICA DPSH 104 s</b>		<b>Caratteristiche del penetrometro</b>	
<b>Committente</b>	Studio di geologia e geofisica srl	<b>Peso del maglio</b>	63,5
<b>Cantiere</b>	Montepetra Bassa	<b>Altezza di caduta</b>	75 cm
<b>Località</b>	Sogliano al Rubicone	<b>Angolo punta conica</b>	60°
<b>Data</b>	15-03-2013	<b>Sezione punta conica</b>	20,43 cmq
<b>Quota</b>	piano campagna	<b>Diametro aste</b>	32 mm
<b>Livello Falda</b>	2.00	<b>Peso aste</b>	6,31 Kg/ml
<p><b>Numero di colpi</b></p> <p><b>Profondità (m.)</b></p>			

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica



## **Indagini III° livello**

		Loc. Trabocchi - Montefeltro Italia 47020 Sogliano al Rubicone (FC) Tel. e Fax 054749300 C.F./P.I. Reg. Imprese Forlì Cesena n. 02649250465 n. REA 284299 Reg. Albo Soc. Coop. n. A06613		MACCHINA PERFORATRICE: IPC DRILL 830 METODO DI PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO RIVESTIMENTO: ATTREZZO DI PERFORAZIONE: Carotiere diamantato NOTE: Profondità raggiunta 15,00 m		S1 PROFONDITA' m 15,00				
Committente : Sgg Cantiere: Sogliano al Rubicone (FC)				DATA: 26/08/2013						
CAMPIONE distribuito (d) - indistribuito (i) A - da carotiere semplice (d) B - da carotiere doppio (i) C - da carotiere triplo (i) D - da S.P.T. (d) E - da carotiere a pistone (i) F - da Shelby (i)				OPERATORE: Dott. Geol. Mario S. Gobetti ASSISTENTE: Lorenzo Gobetti						
Pochet Penetrometer Eggsma	Vane test Eggsma	Profondità m	Simbolo Stratigrafico	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONE		Prof. acqua Data lettura	Profondità N. colpi	SPT	Sistemi test
					Tipo	Numero Profondità				
		1		<u>Coltre pedologica</u> Limi sabbiosi marroni essiccati						
		2		<u>Coltre detritica</u> Argille limose zonate con livelli di limi						
2	0.4	3				3.0				
		4		<u>Substrato Ossidato</u> Argille limose ocra						
4	2	5				3.5				
		6		<u>Substrato Formazionale</u> Argille limose grigio azzurre del Pliocene facies argillosa						
5	>2	7				7.1				
		8		Banco arenaceo stratificazione a 70° E/W. Sede di acquifero in pressione (-1.87)		7.4				
		9								
>6	>2	10		Argille plioceniche						
		11								
		12		Banco arenaceo						
		13								
>6	>2	14		Argille plioceniche						
		15		fine sondaggio						
		16								
		17								
		18								
		19								
		20								

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione simica  
 Relazione tecnica



Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione simica  
 Relazione tecnica

**GEOstudi srl**Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)  
Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GFOSTUDI.LAB@fastwebnet.itAutorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in sito

N.VERB.ACCETT./CAMP.	1596/3	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48528 / AP	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova			

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL COMMESSA 106 / 2013

CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena

Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone

Campione C1

Profondità [m] 3,00-3,50

FUSTELLA INOX DIAMETRO INT.: cm 8,4 LUNGHEZZA: cm 70

**APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)****PROGRAMMA PROVE**APERTURA CAMPIONE INDISTURBATO  
CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)  
PESO DI VOLUME  
TAGLIO DIRETTO C.D.**DESCRIZIONE VISUALE**

Sabbia fine uniforme con limo debolmente argillosa di colore marrone chiaro olivastro (2,5Y 5/4), omogenea, umida, frazione fine fine poco plastica. Reagente all'HCL.

**DESCRIZIONE STRATIGRAFICA**

	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm <sup>2</sup> ]	TOR VANE [kg/cm <sup>2</sup> ]	[cm]	PROVINI
Sabbia fine uniforme con limo debolmente argillosa di colore marrone chiaro olivastro (2,5Y 5/4), omogenea, umida, frazione fine fine poco plastica. Reagente all'HCL.	0			0	
	10			10	
	15	2			
	20			20	
	30		1,8	30	TD1
	35			35	TD2
	40			40	TD3
	50			50	
	60			60	
	70			70	
	80		80		
	90		90		
	100		100		

QUALITA' DEL CAMPIONE SUFFICIENTE

**NOTE**Lo sperimentatore  
(Dott. E. Raspa)Il Direttore del Laboratorio  
(Dott. P. Manara)Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione simica  
Relazione tecnica



**GEOstudi srl**

Laboratorio Geotecnico – Prove in sito  
 LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO  
 SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI – SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 380/2001, Art. 59  
 Autorizzazione N. 52497 – Prove geotecniche sulle terre (settore A) e prove geotecniche in sito

Commessa : 106\_13  
 Cantiere : SOGLIANO AL RUBICONE  
 Committente: STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA srl



SONDAGGIO: S1                      CAMPIONE : C1                      PROFONDITA' (m): 3,00-3,50

**GEOstudi srl**Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)  
Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GEOSTUDI.LAB@fastwebnet.itAutorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in silo

N. VERB. ACCETT./CAMP.	1596/3	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48529 / FV	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova			
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova		Pag.	1/1

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL

COMMESSA 106 / 2013

CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena

Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone

Campione C1

Profondità [m] 3,00-3,50

**CARATTERISTICHE FISICHE E VOLUMETRICHE****PESO SPECIFICO DEI GRANI (ASTM D 854-92)**

Massa picn.+acqua+terr.secco [g]		
Temperatura [°C]		
Massa picnometro + acqua [g]		
Massa terreno secco [g]		
Peso specifico dei grani		
Peso specifico dei grani medio		

<b>PROVA EFFETTUATA</b>	TD1	TD2	TD3																
-------------------------	-----	-----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**GRANDEZZE INIZIALI****CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)**

Massa conten.+terr.umido [g]	81,26	89,93	85,41																
Massa conten.+terr.secco [g]	68,97	76,79	72,66																
Massa contenitore [g]	18,06	19,26	19,85																
Contenuto d'acqua (%)	24,1	22,8	24,1																

**PESO DI VOLUME UMIDO (BS 1377(90) PART 2)**

Lato / diametro provino [mm]	L60,00	L59,96	L59,91																
Altezza provino [mm]	19,91	19,86	19,76																
Massa fustella + provino [g]	208,20	206,80	205,21																
Massa fustella [g]	61,50	60,81	60,10																
Peso di volume umido [kN/m³]	20,07	20,05	20,07																

**CARATTERISTICHE DERIVATE**

Peso di volume del secco [kN/m³]	16,17	16,32	16,16																
Indice dei vuoti																			
Porosità (%)																			
Grado di saturazione																			

**GRANDEZZE FINALI****CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)**

Massa conten.+terr.umido [g]	123,44	126,97	126,57																
Massa conten.+terr.secco [g]	110,28	112,82	113,45																
Massa contenitore [g]	52,92	46,57	49,82																
Contenuto d'acqua (%)	22,9	21,4	20,6																

**PESO DI VOLUME UMIDO (BS 1377(90) PART 2)**

Altezza provino [mm]	19,28	19,15	18,80																
Massa fustella + provino [g]	208,20	206,80	205,21																
Massa fustella [g]	61,50	60,81	60,10																
Peso di volume umido [kN/m³]	20,53	20,54	20,49																

**CARATTERISTICHE DERIVATE**

Peso di volume del secco [kN/m³]	16,70	16,93	16,99																
Indice dei vuoti																			
Porosità (%)																			
Grado di saturazione																			

Lo sperimentatore  
(Dott. E. Raspa)Il Direttore del Laboratorio  
(Dott. P. Manara)Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione sismica  
Relazione tecnica



**GEOstudi srl**

Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)  
Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GEOSTUDILAB@fastwebnet.it



Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in sito

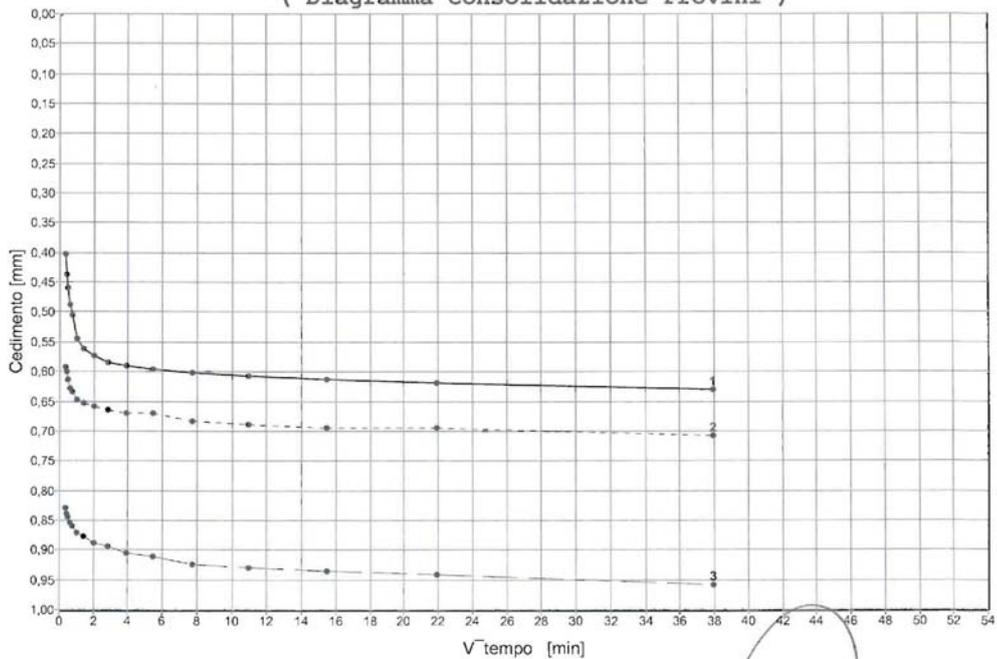
N. VERB. ACCETT./CAMP.	1596/3	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48530 / TD	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova	18/09/2013	Pag.	1/4
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova	21/09/2013		

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL COMMESSA 106 / 2013  
CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena  
Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone Campione C1 Profondità [m] 3,00-3,50

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO  
ASTM D 3080/90**

PROVINO N.	1	2	3
Lato [mm]	60,00	59,96	59,91
Area di base [cm <sup>2</sup> ]	36,00	35,95	35,89
Altezza iniziale [mm]	19,91	19,86	19,76
Contenuto naturale d'acqua iniziale (%)	24,1	22,8	24,1
Peso di volume iniziale [kN/m <sup>3</sup> ]	20,07	20,05	20,07
Altezza finale [mm]	19,28	19,15	18,80
Contenuto naturale d'acqua finale (%)	22,9	21,4	20,6
Pressione verticale [kPa]	49,03	98,07	196,13
Cedimento finale [mm]	0,63	0,71	0,96
t 100 [min]	1,63	1,37	2,59
Velocità di deformazione calcolata [mm/min]			

( Diagramma Consolidazione Provini )



Lo sperimentatore  
(Dott. E. Raspa)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dott. P. Manara)

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione sismica  
Relazione tecnica

**GEOaudi srl**

Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)

Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GEOAUDI.LAB@fastwebnet.it

Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in sito

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1596/3	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48530 / TD	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova	18/09/2013		
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova	21/09/2013	Pag.	2/4

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL

COMMESSA 106 / 2013

CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena

Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone

Campione C1

Profondità [m] 3,00-3,50

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO**

ASTM D 3080/90

( Diagramma Consolidazione Provini )

PROVINO N.1		PROVINO N.2		PROVINO N.3		PROVINO N.4		PROVINO N.5	
Tempo [min]	Deform.[mm]								
0,10	0,40	0,10	0,59	0,10	0,83				
0,17	0,44	0,17	0,60	0,17	0,84				
0,25	0,46	0,25	0,61	0,25	0,84				
0,40	0,49	0,40	0,63	0,40	0,85				
0,50	0,50	0,50	0,63	0,50	0,86				
1,00	0,54	1,00	0,65	1,00	0,87				
2,00	0,56	2,00	0,65	2,00	0,88				
4,00	0,57	4,00	0,66	4,00	0,89				
8,00	0,58	8,00	0,66	8,00	0,89				
15,00	0,59	15,00	0,67	15,00	0,91				
30,00	0,60	30,00	0,67	30,00	0,91				
60,00	0,60	60,00	0,68	60,00	0,92				
120,00	0,61	120,00	0,69	120,00	0,93				
240,00	0,61	240,00	0,70	240,00	0,93				
480,00	0,62	480,00	0,70	480,00	0,94				
1440,00	0,63	1440,00	0,71	1440,00	0,96				

Lo sperimentatore  
(Dott. E. Raspa)Il Direttore del Laboratorio  
(Dott. P. Manara)Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione simica  
Relazione tecnica



**GEOstudi srl**

Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)  
Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GEOSTUDILAB@fastwebnet.it



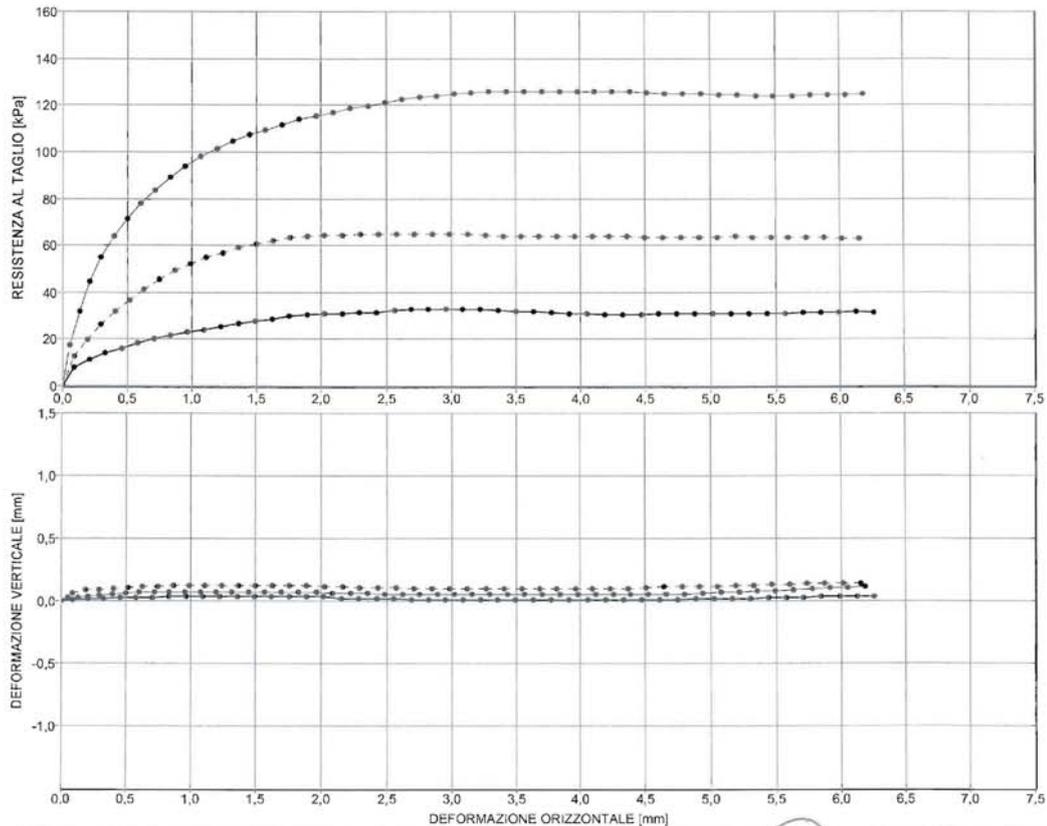
Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in sito

N.VERB.ACCE/TI/CAMP.	1596/3	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48530 / TD	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova	18/09/2013	Pag.	3/4
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova	21/09/2013		

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL COMMESSA 106 / 2013  
CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena  
Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone Campione C1 Profondità [m] 3,00-3,50

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - PICCO**  
ASTM D 3080/90

PROVINO N.	1	2	3
Lato [mm]	60,00	59,96	59,91
Altezza [mm]	19,91	19,86	19,76
Velocità di deformazione [mm/min]	0,008	0,008	0,008
Pressione verticale [kPa]	49,03	98,07	196,13



NOTE

Lo sperimentatore  
(Dott. E. Baspa)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dott. P. Manara)

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione sismica  
Relazione tecnica

**GEOstudi srl**

Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)

Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GEOSTUDI.LAB@fastwebnet.it

Autorizzazione: Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell' Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in sito

N. VERB. ACCETT./CAMP.	1596/3	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48530 / TD	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova	18/09/2013		
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova	21/09/2013	Pag.	4/4

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL COMMESSA 106 / 2013  
 CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena  
 Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone Campione C1 Profondità [m] 3,00-3,50

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - PICCO**  
**ASTM D 3080/90**

( Diagramma Provini )

PROVINO N. 1			PROVINO N. 2			PROVINO N. 3			PROVINO N. 4			PROVINO N. 5		
Def. orizz.	Def. vert.	TAU	Def. orizz.	Def. vert.	TAU	Def. orizz.	Def. vert.	TAU	Def. orizz.	Def. vert.	TAU	Def. orizz.	Def. vert.	TAU
[mm]	[mm]	[kPa]	[mm]	[mm]	[kPa]	[mm]	[mm]	[kPa]	[mm]	[mm]	[kPa]	[mm]	[mm]	[kPa]
0,21	0,02	11,42	0,19	0,08	19,81	0,13	0,03	32,13						
0,33	0,02	14,27	0,30	0,09	26,11	0,21	0,03	44,81						
0,46	0,03	16,08	0,41	0,10	31,73	0,30	0,04	55,12						
0,58	0,03	18,42	0,52	0,10	36,69	0,39	0,06	63,97						
0,71	0,03	19,98	0,63	0,11	41,19	0,50	0,06	71,34						
0,84	0,03	21,53	0,75	0,12	45,46	0,61	0,07	77,82						
0,97	0,03	22,83	0,87	0,12	49,06	0,72	0,07	83,72						
1,10	0,03	24,13	0,99	0,12	52,22	0,84	0,07	89,02						
1,23	0,03	25,42	1,12	0,12	54,69	0,95	0,07	93,74						
1,36	0,03	26,72	1,24	0,12	56,94	1,08	0,07	97,86						
1,49	0,03	27,50	1,37	0,12	58,97	1,20	0,07	101,40						
1,62	0,03	28,80	1,50	0,12	60,54	1,32	0,07	104,64						
1,76	0,03	29,84	1,63	0,12	62,12	1,45	0,07	107,30						
1,89	0,03	30,61	1,76	0,12	63,24	1,57	0,07	109,36						
2,02	0,03	31,13	1,89	0,12	63,92	1,70	0,07	111,72						
2,16	0,02	31,13	2,03	0,12	64,14	1,83	0,07	113,78						
2,29	0,02	31,39	2,16	0,11	64,37	1,96	0,07	115,55						
2,42	0,02	31,65	2,30	0,10	64,59	2,09	0,06	117,03						
2,56	0,02	32,17	2,44	0,10	64,82	2,22	0,06	118,50						
2,69	0,01	32,69	2,57	0,10	64,82	2,36	0,06	119,68						
2,82	0,01	32,69	2,71	0,10	64,82	2,49	0,06	121,15						
2,95	0,01	32,69	2,85	0,10	64,82	2,62	0,06	122,33						
3,09	0,01	32,69	2,98	0,10	64,82	2,75	0,06	123,22						
3,22	0,01	32,69	3,13	0,10	64,82	2,89	0,06	124,10						
3,36	0,01	32,43	3,27	0,10	64,37	3,02	0,06	124,69						
3,50	0,01	31,91	3,41	0,10	63,92	3,16	0,06	125,28						
3,63	0,01	31,91	3,54	0,10	63,69	3,29	0,06	125,57						
3,77	0,01	31,39	3,68	0,10	63,69	3,43	0,06	125,87						
3,91	0,01	30,87	3,82	0,10	63,69	3,57	0,06	125,87						
4,05	0,01	30,87	3,96	0,10	63,69	3,71	0,06	125,87						
4,19	0,01	30,61	4,09	0,10	63,69	3,84	0,06	125,87						
4,33	0,01	30,61	4,23	0,10	63,69	3,98	0,06	125,87						
4,47	0,01	30,61	4,37	0,10	63,92	4,12	0,06	125,87						
4,61	0,01	30,87	4,50	0,10	63,47	4,25	0,06	125,87						
4,75	0,01	30,87	4,64	0,11	63,47	4,39	0,06	125,57						
4,88	0,02	30,87	4,78	0,11	63,47	4,52	0,06	125,28						
5,02	0,02	30,87	4,91	0,12	63,47	4,66	0,06	124,98						
5,16	0,02	30,87	5,05	0,12	63,47	4,80	0,06	124,69						
5,30	0,02	31,13	5,19	0,12	63,69	4,94	0,06	124,69						
5,43	0,03	31,13	5,33	0,13	63,47	5,07	0,07	124,40						
5,57	0,03	31,13	5,47	0,13	63,47	5,21	0,07	124,40						
5,71	0,03	31,39	5,60	0,13	63,47	5,35	0,08	124,10						
5,85	0,03	31,65	5,73	0,14	63,24	5,49	0,08	124,10						
5,99	0,03	31,65	5,87	0,14	63,24	5,63	0,09	124,10						
6,12	0,03	31,91	6,01	0,14	63,02	5,77	0,09	124,40						
6,26	0,03	31,65	6,15	0,14	62,79	5,91	0,10	124,40						
						6,05	0,10	124,40						
						6,18	0,11	124,69						

Lo sperimentatore  
 (Dott. E. Raspa)

Il Direttore del Laboratorio  
 (Dott. P. Manara)

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica



**GEOaudi srl**

Via San Salvador 3 00040 Pomezia (Rm)  
Tel./fax: 0691603360 - 0691603317 e-mail: GEOSTUDILAB@fastwebnet.it



Autorizzazione Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n° 52497 ai sensi dell'Art. 59 del DPR n° 380/2001  
Prove geotecniche sui terreni (settore A) - Prove geotecniche in sito

N.VERB.ACCELT./CAMP.	1596/4	Data ricevimento	16/09/2013	CERTIFICATO N.	48531 / AP	Data	23/09/2013
		Data prelievo	03/09/2013	Data inizio prova		Pag.	1/1
		Data apertura	18/09/2013	Data fine prova			

COMMITTENTE STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA SRL COMMESSA 106 / 2013  
CANTIERE Provincia di Forlì - Cesena  
Sondaggio S1-Sogliano al Rubicone Campione C2 Profondità [m] 7,10-7,60

FUSTELLA INOX DIAMETRO INT.: cm 8,4 LUNGHEZZA: cm

**APERTURA CAMPIONE (ASTM D 2488/93)**

**PROGRAMMA PROVE**

APERTURA CAMPIONE INDISTURBATO  
CONTENUTO NATURALE DI ACQUA (ASTM D 2216-92)  
PESO DI VOLUME  
COLONNA RISONANTE

**DESCRIZIONE VISUALE**

Argilla con limo di colore grigio olivastro (5Y 4/2) con screziature grigiastre e rare laminazioni suborizzontali sabbioso limose. Molto consistente, omogenea, umida, plastica. Reagente all'HCL

**DESCRIZIONE STRATIGRAFICA**

DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	[cm]	POCKET PENETR. [kg/cm <sup>2</sup> ]	TOR VANE [kg/cm <sup>2</sup> ]	[cm]	PROVINI
Argilla con limo di colore grigio olivastro (5Y 4/2) con screziature grigiastre e rare laminazioni suborizzontali sabbioso limose. Molto consistente, omogenea, umida, plastica. Reagente all'HCL	0			0	
	10	3,3		10	
	20			20	
	30			30	RC
	40	3,2		40	
	50			50	
	60			60	
	70			70	
	80			80	
	90			90	
	100			100	

QUALITA' DEL CAMPIONE SUFFICIENTE

**NOTE**

Lo sperimentatore  
(Dott. E. Raspa)

Il Direttore del Laboratorio  
(Dott. P. Manara)



**GEOstudi srl**

Laboratorio Geotecnico - Prove in sito

LABORATORIO AUTORIZZATO DAL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI PRESIDENZA DEL CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI - SERVIZIO TECNICO CENTRALE - D.P.R. n. 389/2001, Art. 59  
 Autorizzazione N. 52497 - Prove geotecniche sulle terre (settore A) e prove geotecniche in sito

Commessa : 106\_13

Cantiere : SOGLIANO AL RUBICONE

Committente: STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA srl



SONDAGGIO: S1

CAMPIONE : C2

PROFONDITA' (m):

7,10-7,60

**PROVA DI COLONNA RISONANTE**

Pag. 1 di 3

**ASTM D4015-95**

N.VERB.ACCETT./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	CI 2	Profondità (m)	7,10-7,60		
CANTIERE	Sogliano al Rubicone						

Modalità di prova	Modello dinamico di riferimento	Fixed free
	Campo di deformazione esplorato (%)	$10^{-4}$ e $10^{-1}$
	Tipo di onda utilizzata	Sinusoidale
	Eccitazione	Torsionale

Dati generali di prova		Unità	Valori	
Condizioni inizio prova	Altezza del provino	Hi	mm	101,83
	Diametro del provino	Di	mm	50,66
	Volume del provino	Vi	cm <sup>3</sup>	205,26
	Peso umido del provino	P	g	414,72
	Contenuto naturale d'acqua	W <sub>i</sub>	%	24,1
	Peso specifico dei grani (Valore assunto)	$\gamma_s$	-	2,72
	Peso di volume umido	$\gamma_{wi}$	kN/m <sup>3</sup>	19,81
	Peso di volume secco	$\gamma_{wd}$	kN/m <sup>3</sup>	15,97
	Indice dei vuoti iniziale	e <sub>i</sub>	-	0,671
	Condizioni di prova	Pressione di cella	$\sigma_c$	kPa
Back pressure		BP	kPa	240
Pressione efficace		$\sigma'_c$	kPa	150
Coefficiente di Skempton		B	-	0,91
Altezza a fine consolidazione		Hf	mm	100,97
Diametro a fine consolidazione		Df	mm	50,45
Peso di volume a fine consolidazione		$\gamma_{wf}$	kN/m <sup>3</sup>	19,98
Contenuto d'acqua a fine consolidazione		W <sub>f</sub>	%	23,2
Indice dei vuoti a fine consolidazione	e <sub>f</sub>	-	0,645	

NOTE :

LO SPERIMENTATORE  
 (Dott.ssa Emma Raspa)

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
 (Dott. Paolo De Menara)

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
 Studio di microzonazione sismica  
 Relazione tecnica

**PROVA DI COLONNA RISONANTE**

Pag. 2 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	Stidio di geologia e geofisica srl	Campione	Cl 2	Profondità (m)	7,10-7,60		
CANTIERE	Sogliano al Rubicone						

Valori misurati			
$\gamma_{sa}$	G	D	U
%	MPa	%	kPa
0,00011	64,92	-	240,0
0,00020	63,84	2,303	240,0
0,00036	63,90	2,763	240,00
0,00068	63,90	2,943	240,00
0,00110	64,29	2,925	240,00
0,00245	63,10	3,020	240,00
0,00399	62,49	3,076	240,20
0,00616	61,41	3,134	240,50
0,01083	57,98	3,352	240,60
0,02515	50,35	3,884	240,80
0,04725	41,00	4,210	241,80
0,09378	30,00	5,018	245,00
0,14000	22,67	6,387	248,60
0,23300	15,96	8,360	255,30
0,38800	11,84	10,000	263,70
0,61240	8,09	12,338	275,90

Valori normalizzati	
G/Gmax	$\Delta U/\sigma'_c$
-	-
1,000	0,0000
0,983	0,0000
0,984	0,0000
0,984	0,0000
0,990	0,0000
0,972	0,0000
0,963	0,0013
0,946	0,0033
0,893	0,0040
0,776	0,0054
0,632	0,0121
0,462	0,0345
0,349	0,0608
0,246	0,1136
0,182	0,1876
0,125	0,3146

**LEGENDA**

$\gamma_{sa}$	Def di taglio in singola ampiezza	U	Pore pressure
G	Modulo di taglio	G/Gmax	Modulo di taglio normalizzato
D	Rapporto di smorzamento di taglio	$\Delta U/\sigma'_c$	Rapporto pressione interstiziale

NOTE :

 LO SPERIMENTATORE  
 (Dott.ssa Emma Raspa)

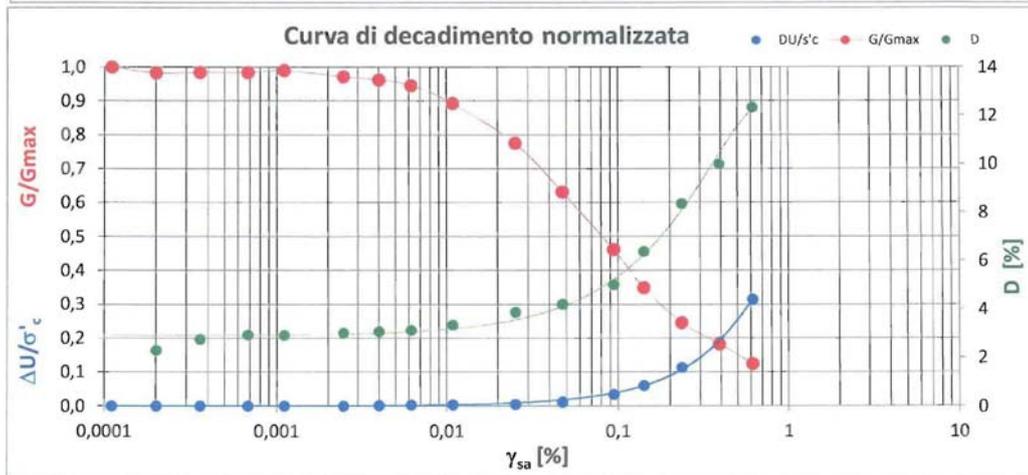
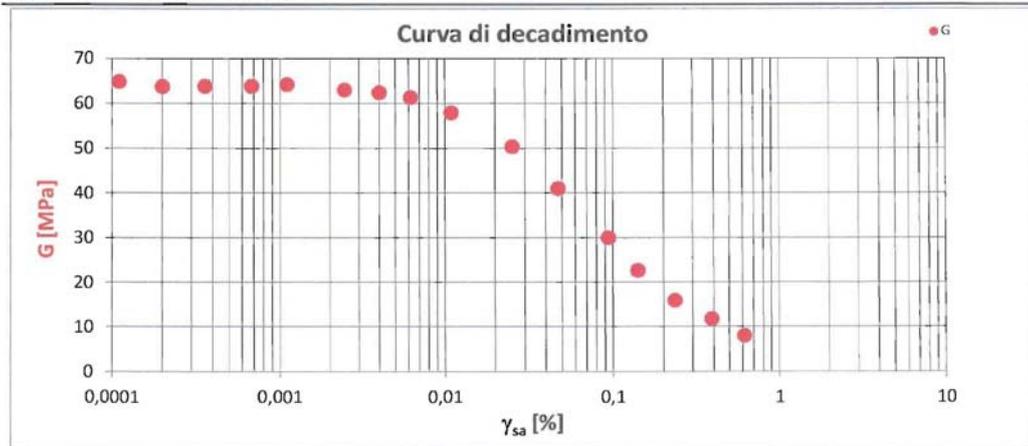
 IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
 (Dott. Pasquale Manara)

**PROVA DI COLONNA RISONANTE**

Pag. 3 di 3

**ASTM D4015-95**

N.VERB.ACCETT./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	Stidio di geologia e geofisica srl	Campione	CI 2	Profondità (m)	7,10-7,60		
CANTIERE	Sogliano al Rubicone						



**LEGENDA**

$\gamma_{sa}$	Def di taglio in singola ampiezza	U	Pore pressure
G	Modulo di taglio	G/Gmax	Modulo di taglio normalizzato
D	Rapporto di smorzamento di taglio	$\Delta U/\sigma'_c$	Rapporto pressione interstiziale

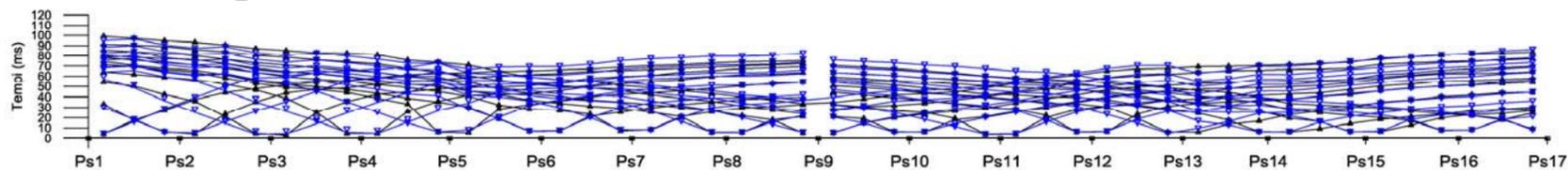
NOTE :

LO SPERIMENTATORE  
(Dott.ssa Emma Raspa)

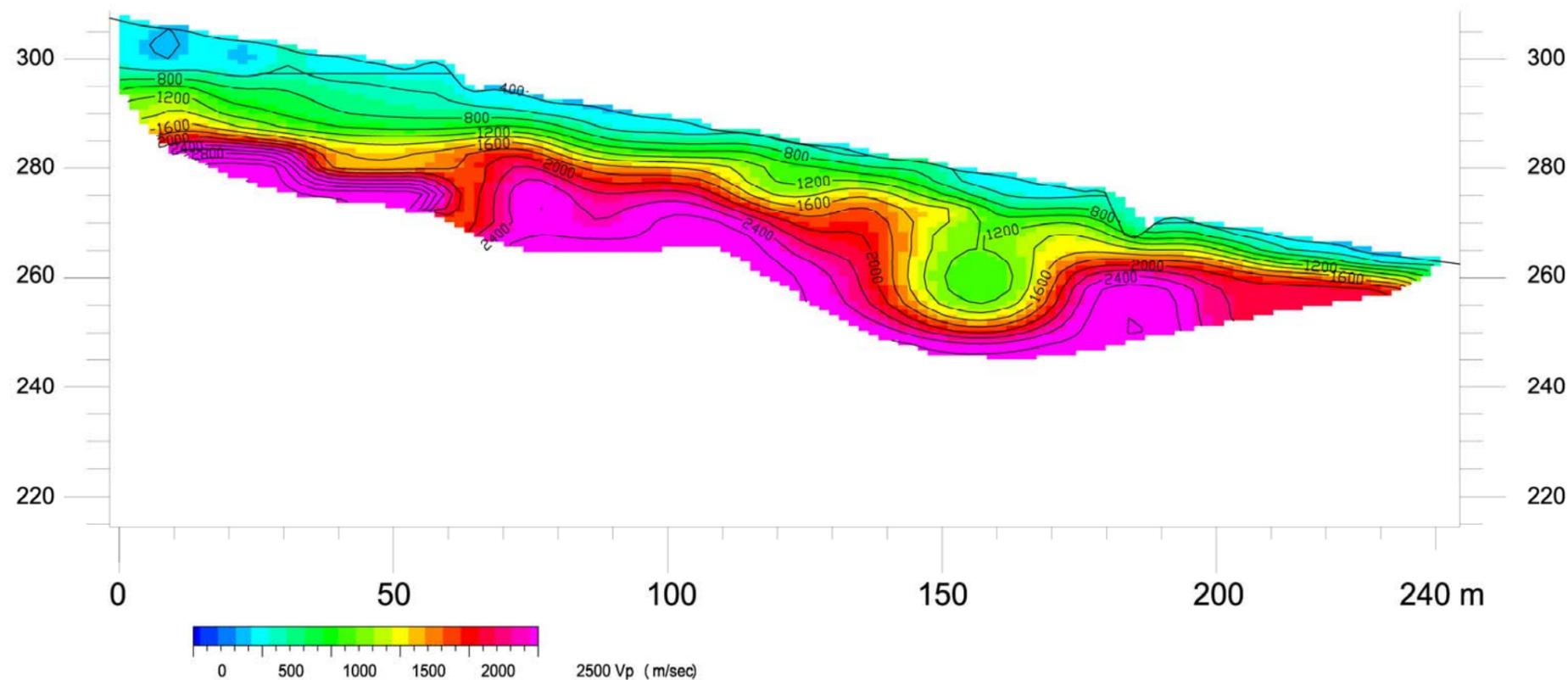
IL DIRETTORE DEL LABORATORIO  
(Dott. Pasquale Manara)

Comune di Sogliano al Rubicone (FC)  
Studio di microzonazione sismica  
Relazione tecnica

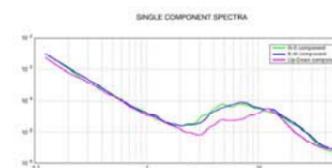
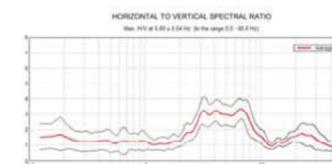
# P8 Sogliano



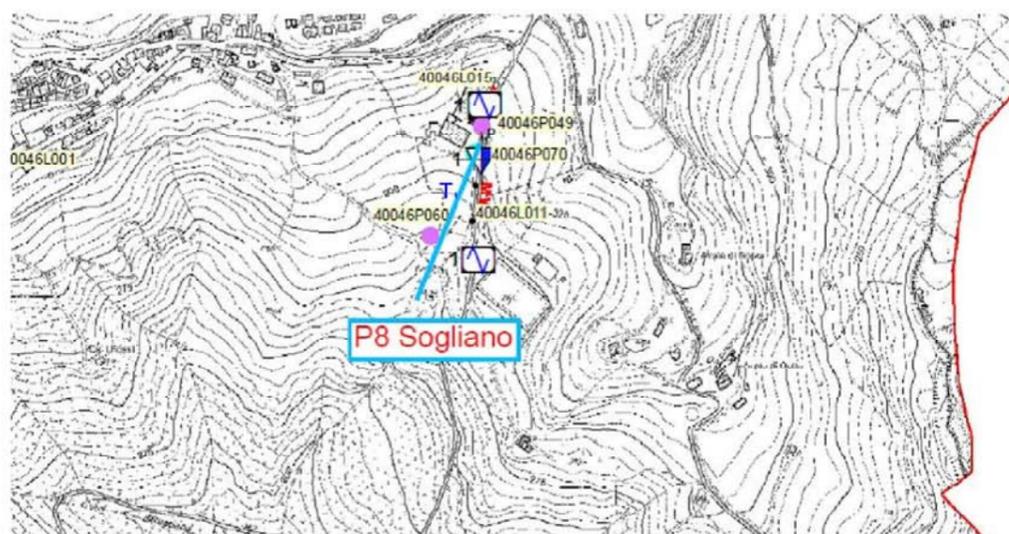
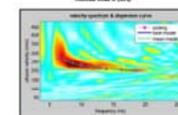
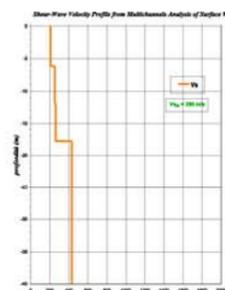
Quote slm (m)



## Misura HVSR



### Sogliano\_P8



### 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	EMMISSIONE	30-Aprile-2013	De Luca	Rossi	Basili
Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato
COMMITTENTE:  Comune di Sogliano					Commissio n° T 718
LOCALITA': Sogliano					
INDAGINE: Studio di microzonazione sismica					
OGGETTO: Prove integrative - III Livello					
TAVOLI A: Tomografia sismica a rifrazione P7 - Prova MASW - Misura HVSR					FORMATO A1
4372SGG17A		30	PRECISIONE:	UNITA'	SCALA
nome file:		App 2013	Distanze:	m	1:500
			Quote:	m	1:2.000
			Profondita':	m	
STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA s.r.l.					CONTROLLO QUALITA'
STRADA MASSETANA ROMANA, 56 - SIENA - ITALY -					
Tel. +39 057749276 - Fax +39 0577287254 - e-mail: info@sgg.it					