



**PROTEZIONE CIVILE**  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia – Romagna  
 Comune di Varsi



<p>Regione</p> <p>Emilia Romagna</p>	<p>RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI  <b>Mandataria:</b>   <b>EN GEO</b> S.r.l.  <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>  <a href="http://www.engeo.it">www.engeo.it</a></p> <p><b>Direttori tecnici:</b>          Dr. Geol. Carlo Caleffi          Dr. Geol. Francesco Cerutti</p> <p><b>Mandanti:</b>          Dr. Geol. Marco Baldi          Dr. Geol. Domenico Bianco          Dr. Geol. Stefano Castagnetti          Dr. Geol. Massimiliano Trauzzi</p> <p><b>Collaboratori:</b>          Dr. Geol. Alessandro Ferrari          Dr. Geol. Federico Madini</p>	<p>Data</p> <p>Settembre 2016</p>
--------------------------------------	--	-----------------------------------

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## INDICE

1.	Introduzione .....	2
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento .....	4
2.1	Inquadramento sismotettonico .....	4
2.2	Zonazione sismogenetica .....	9
2.3	Sismicità del territorio .....	10
2.4	Classificazione sismica comunale .....	11
2.5	Pericolosità sismica .....	13
2.6	Microzonazione sismica .....	14
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area .....	17
3.1	Geologia .....	17
3.2	Geomorfologia .....	20
4.	Dati geotecnici e geofisici .....	23
5.	Modello del sottosuolo .....	28
6.	Interpretazioni e incertezze .....	30
7.	Metodologie di elaborazione e risultati .....	35
8.	Elaborati cartografici di primo e secondo livello .....	37
8.1	Carta delle indagini .....	37
8.1.1	Abitato di Varsi .....	37
8.1.2	Abitato di Pessola .....	38
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica .....	38
8.2.1	Abitato di Varsi .....	39
8.2.2	Abitato di Pessola .....	41
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	42
8.3.1	Abitato di Varsi .....	42
8.3.2	Abitato di Pessola .....	44
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica .....	46
8.5	Carte delle velocità delle onde di taglio S .....	48
8.5.1	Abitato di Varsi .....	49
8.5.2	Abitato di Pessola .....	50
9.	Approfondimenti di terzo livello .....	51
9.1	Area considerata .....	51
9.2	Risposta sismica locale .....	52
9.2.1	Pericolosità sismica di base .....	52
9.2.2	Segnali in input .....	54
9.2.3	Modello geofisico del sottosuolo .....	55
9.2.4	Codice di calcolo per la valutazione della RSL .....	57
9.2.5	Risultati della modellazione numerica .....	58
9.2.6	RSL per il sito di Varsi SR1 .....	59
9.2.7	RSL per il sito di Varsi M1 .....	64
9.2.8	RSL per il sito di Varsi M3 .....	69
9.2.9	RSL per il sito di Pessola .....	74
9.3	Stabilità di versante .....	80
9.3.1	Metodo di verifica .....	80
9.3.2	Le ipotesi verificate .....	84
9.3.3	Frana di Varsi .....	86
9.3.4	Frana di Pessola .....	90
9.4	Carte di microzonazione sismica .....	93
10.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati .....	96
11.	Bibliografia .....	97
12.	Allegati .....	99

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	1 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Varsì*, effettuato su incarico dell'Unione dei Comuni Valli Taro e Ceno (cfr. Determinazione n° 11 dell'11/02/2016) e finanziato con Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri del 19 giugno 2014 n. 171 "Attuazione dell'articolo 11 del Decreto legge 28 aprile 2009 n° 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n° 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2013" (G.U. n° 145 del 25.6.2014).

Più precisamente, oggetto dell'incarico è stata la redazione degli studi di Microzonazione Sismica, con approfondimenti di III Livello, nel territorio urbanizzato e urbanizzabile del Capoluogo e della località Pessola.

Detta attività è stata svolta in conformità alle leggi e disposizioni vigenti (cfr. in particolare, il sopraccitato OPCM n.171 del 19 giugno 2014 e la DGR n.1227 del 31 agosto 2015) e facendo riferimento ai seguenti documenti tecnici:

- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni
- "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", approvati con DAL 112/2007, e successive modifiche e integrazioni
- "Studi di microzonazione sismica – standard di rappresentazione e archiviazione informatica" pubblicati sul sito web del Dipartimento della Protezione Civile

In Comune di Varsì, erano già stati svolti, dai geologi Dott. Federico Madini e Dott. Massimiliano Trauzzi, e certificati da parte del Servizio regionale competente, studi con approfondimenti di primo e di secondo livello. Essi sono stati, qui, recepiti, aggiornati con le nuove informazioni raccolte e rieditati in conformità agli ultimi standard.

Il presente studio ha previsto, in particolare, la raccolta di altri dati pregressi e l'esecuzione di una nuova campagna di indagini costituita da:

- n° 4 prove MASW che hanno consentito una migliore definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del *bedrock* sismico;
- n° 2 tomografie sismiche in onde P e onde S, per definire gli andamenti delle superfici di scorrimento, presumibilmente corrispondente con lo stesso *bedrock* sismico, nelle aree instabili.
- n° 10 prove HVSR, al fine di approfondire la conoscenza delle frequenze fondamentali dei terreni.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	2 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Le finalità di un'analisi più approfondita rispetto ai livelli d'approfondimento già effettuati sono state quelle di definire, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*), rappresentativi delle singole zone, di valutare il grado di pericolosità delle aree instabili e potenzialmente tali e di effettuare una zonazione più affidabile delle amplificazioni locali.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 11.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dp*).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica nella versione 4.0).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS - SoftMS" nella versione 4.0.

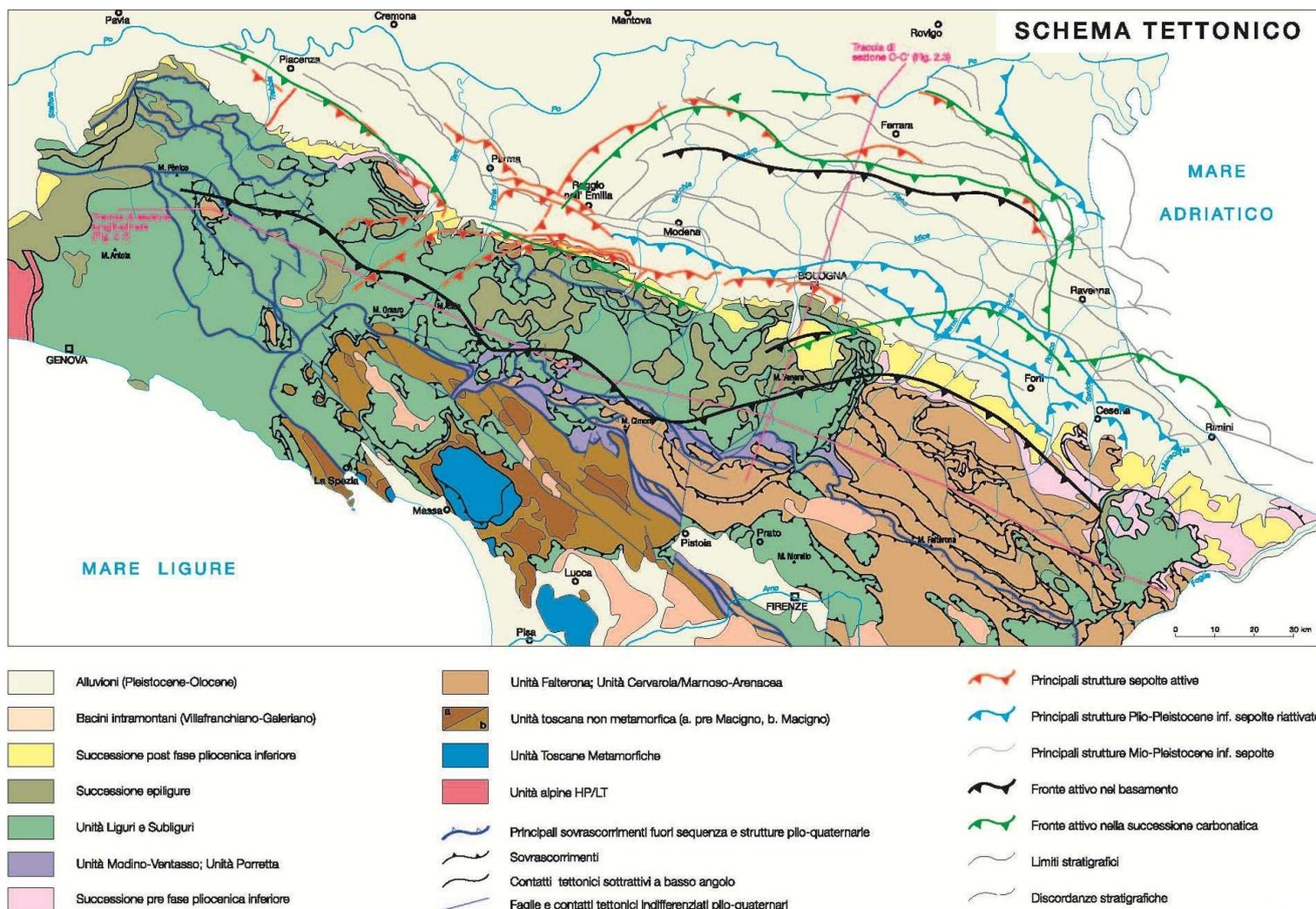
 <b>ENGEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	3 di 99

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Inquadramento sismotettonico

L'Appennino settentrionale è una catena a *thrusts* facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica.

Si tratta di un edificio costituito da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini (Cfr. Fig. 1): il Dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l., Auctt.) e il Dominio Tosco-Umbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico.



**Fig. 1 - Schema tettonico generale della Regione Emilia Romagna**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	4 di 99

Le formazioni rocciose appartenenti al Dominio Toscano, sono localizzate essenzialmente lungo la zona di crinale, mentre le unità liguri caratterizzano la fascia che si estende fino al di sotto dei depositi alluvionali della pianura.

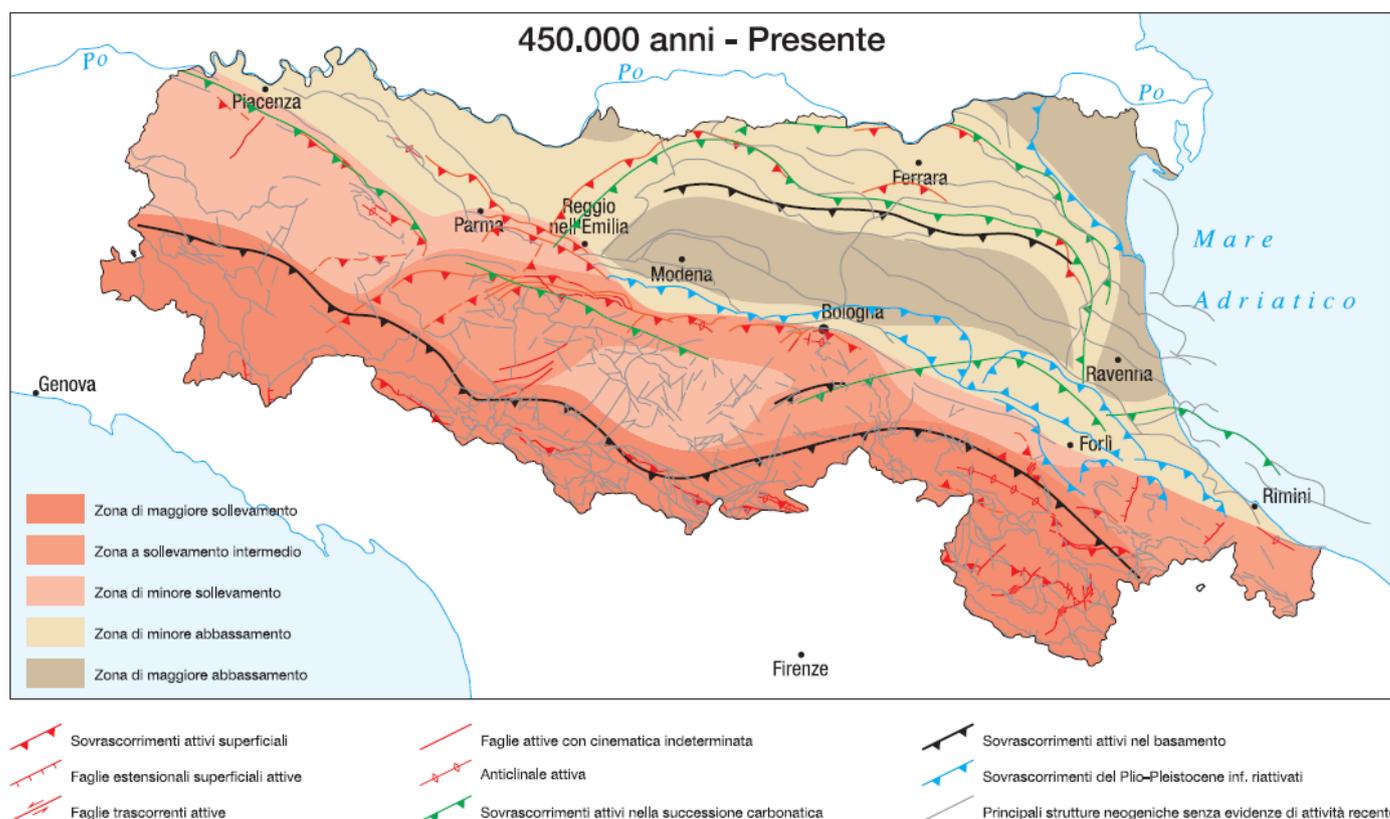
Il fronte appenninico è evidenziato dalle strutture ad arco delle pieghe emiliane e ferraresi, posizionate quasi a ridosso del fiume Po, dove sovrascorre con direzione settentrionale la piattaforma padano-veneta.

Oltre che al contatto tra unità tettoniche differenti, si possono rinvenire all'interno di ciascun dominio strutture attive, il cui studio risulta estremamente importante per definire i meccanismi di rottura che generano i terremoti.

Dall'analisi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna (Cfr. Fig. 2), emerge che le zone a maggiore sollevamento, con tassi >1 mm/anno, sono individuabili nella parte alta della catena, corrispondente al settore a monte del principale raddoppio crostale, ad indicare l'alto grado di attività di questa struttura.

L'area a sollevamento intermedio, con tassi mediamente ≥1 mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale del margine che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro.

Le aree a minore sollevamento (<1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle della struttura crostale.



**Fig. 2 - Schema dell'attività neotettonica della Regione Emilia Romagna**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	5 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri mediamente ad una profondità inferiore a 15 km, appare molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese.

I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti indicando direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari. Ne consegue che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

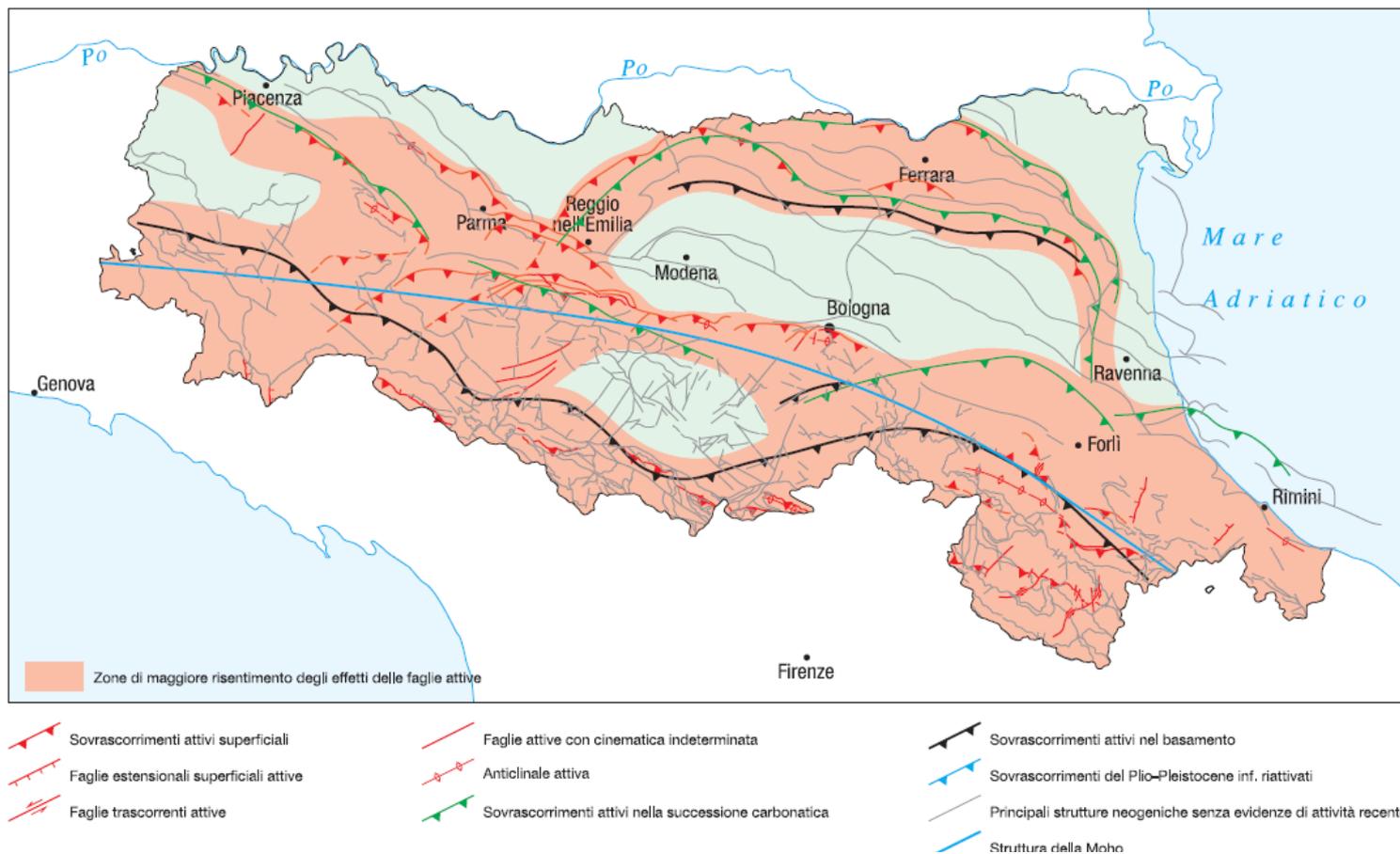
La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW ed i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, fino ad oltre 50 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano, e decisamente minore in pianura. I meccanismi focali calcolati sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori.

Risulta così un modello geodinamico attivo in cui le strutture superficiali della copertura, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti e inquadrabili in un sistema transpressivo che rispetto alle zone esterne dell'avampaese padano, relativamente stabili, assume il significato di un sistema di ordine inferiore all'interno di una zona di trascorrenza destra.

In Fig. 3 è riportata la distribuzione delle strutture attive rispettivamente della copertura, della crosta e del mantello con una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività. Per questa zonazione si è tenuto conto anche degli effetti superficiali quali le aree di maggiore sollevamento in catena e di minore abbassamento in pianura, come pure della distribuzione delle aree a maggiore frequenza di fenomeni franosi. Si osserva che il territorio del Comune di Varsì è situato in zona di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	6 di 99



**Fig. 3 - Carta della zonizzazione di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive**

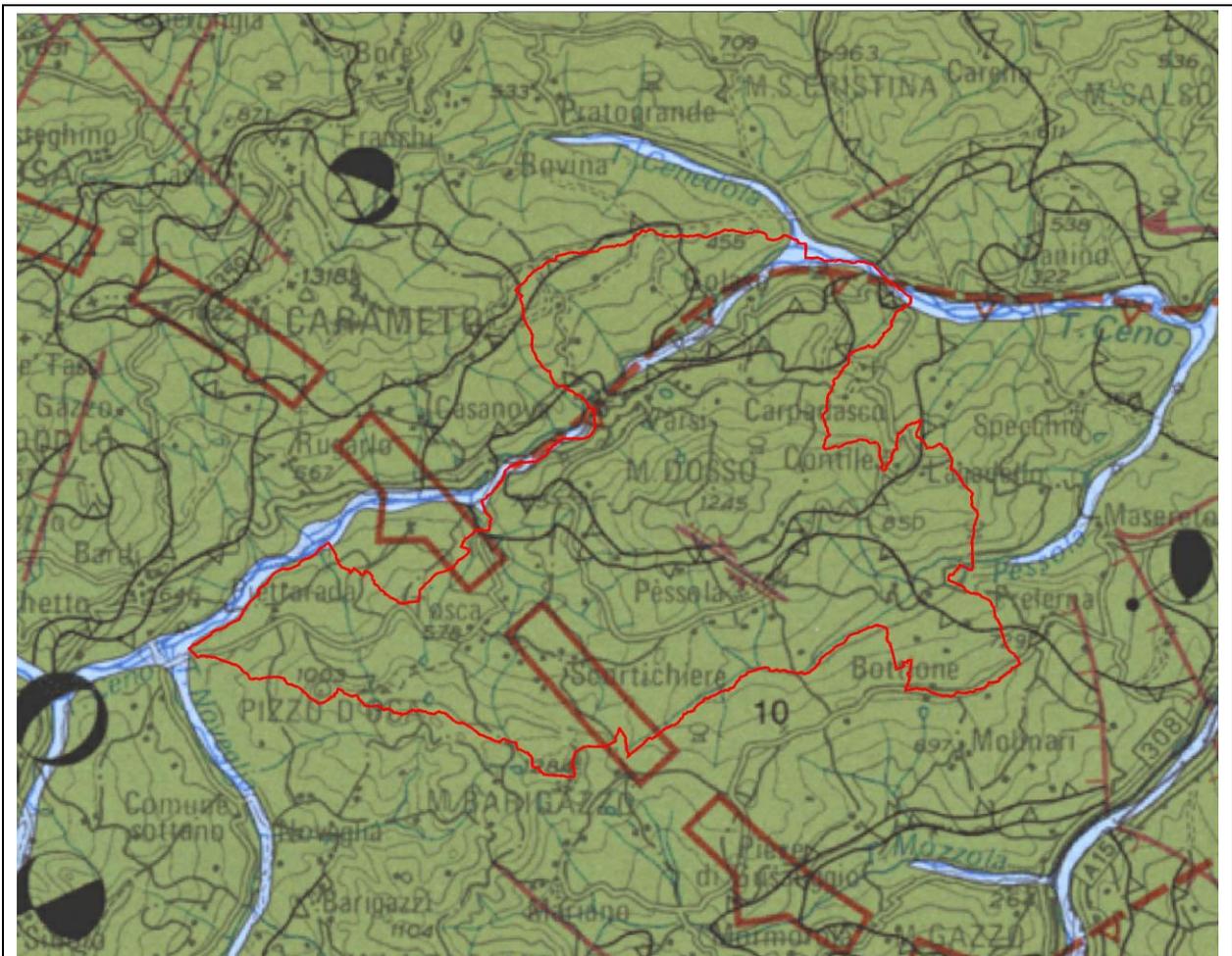
La Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna alla scala 1:250.000, rappresenta il documento fondamentale per la definizione della pericolosità sismica locale e all'individuazione di strutture potenzialmente sismogenetiche ed ha consentito di ottenere il quadro neotettonico e sismotettonico dell'area di studio.

Lo stralcio della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna riferito al territorio al contorno del Comune di Varsi è riportato in Fig. 4.

Nel dettaglio, in Fig. 4, all'interno del perimetro comunale di Varsi si rilevano, la linea tettonica su cui si è impostato il corso del T. Ceno ed il fronte di accavallamento esterno che attraversa trasversalmente il Comune di Varsi.

Le strutture tettoniche (faglie e sovrascorrimenti) di età plio-quadernaria con evidenze di riattivazione, risultano concentrate prevalentemente all'esterno del perimetro comunale, a sottolineare il basso grado di sismicità dell'area (illustrato dettagliatamente nei paragrafi successivi).

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	7 di 99



**LEGENDA**

- Depositi di conoide e alluvionali intramontani (Pleistocene medio-Olocene, 0,8 Ma - Presente)  
*Alluvial fan and intramountain alluvial deposits (Middle Pleistocene-Holocene, 0,8 My - Present)*
- Unità Liguri, Subliguri ed Epiliguri (Giurassico - Miocene, 205 - 6,8 Ma)  
*Ligurian, Subligurian and Epiligurian Units (Jurassic - Miocene, 205 - 6,8 My)*
- Strutture sepolte *Buried structures***  
Strutture attive e recenti (<1 Ma), determinate sulla base di dati morfologici di superficie e di dati geologici di sottosuolo  
*Active and recent structures (<1 My), recognized on the basis of surface morphological data and subsoil geological data*
- Sovrascorrimento  
*Thrust fault*
- Fronte di accavallamento del basamento  
*Basement thrust front*
- Strutture plio-quadernarie (4,5 - 1 Ma)**  
*Plio-Quaternary structures (4,5 - 1 My)*
- Sovrascorrimento di età Miocene-Pliocene inferiore successivamente riattivato  
*Reactivated Miocene-Early Pliocene thrust fault*
- Faglia trascorrente  
*Strike-slip fault*
- Faglia normale  
*Normal fault*
- Sovrascorrimento di età Miocene superiore-Pliocene inferiore (9 - 4,5 Ma) senza evidenze di riattivazione  
*Late Miocene-Early Pliocene (9 - 4,5 My) thrust fault, without evidences of reactivation*
- Principali sovrascorrimenti pre-Miocene superiore (>9 Ma)  
*Main pre-Late Miocene thrust faults (>9 My)*

**Meccanismi focali *Earthquake focal solutions***

- |       |  |  |
|-------|--|--|
| Mw    |  | Faglia normale<br><i>Normal fault</i>                              |
| = 3.0 |  | Faglia inversa<br><i>Thrust fault</i>                              |
| = 3.5 |  | Faglia trascorrente<br><i>Strike-slip fault</i>                    |
| = 4.0 |  | Faglia inversa/trascorrente<br><i>Thrust and strike-slip fault</i> |
| = 4.5 |  | Faglia normale/trascorrente<br><i>Normal and strike-slip fault</i> |
| = 5.0 |  |  |
| = 5.5 |  |  |

**Fig. 4 – Stralcio della carta sismotettonica della regione Emilia Romagna**

## 2.2 Zonazione sismogenetica

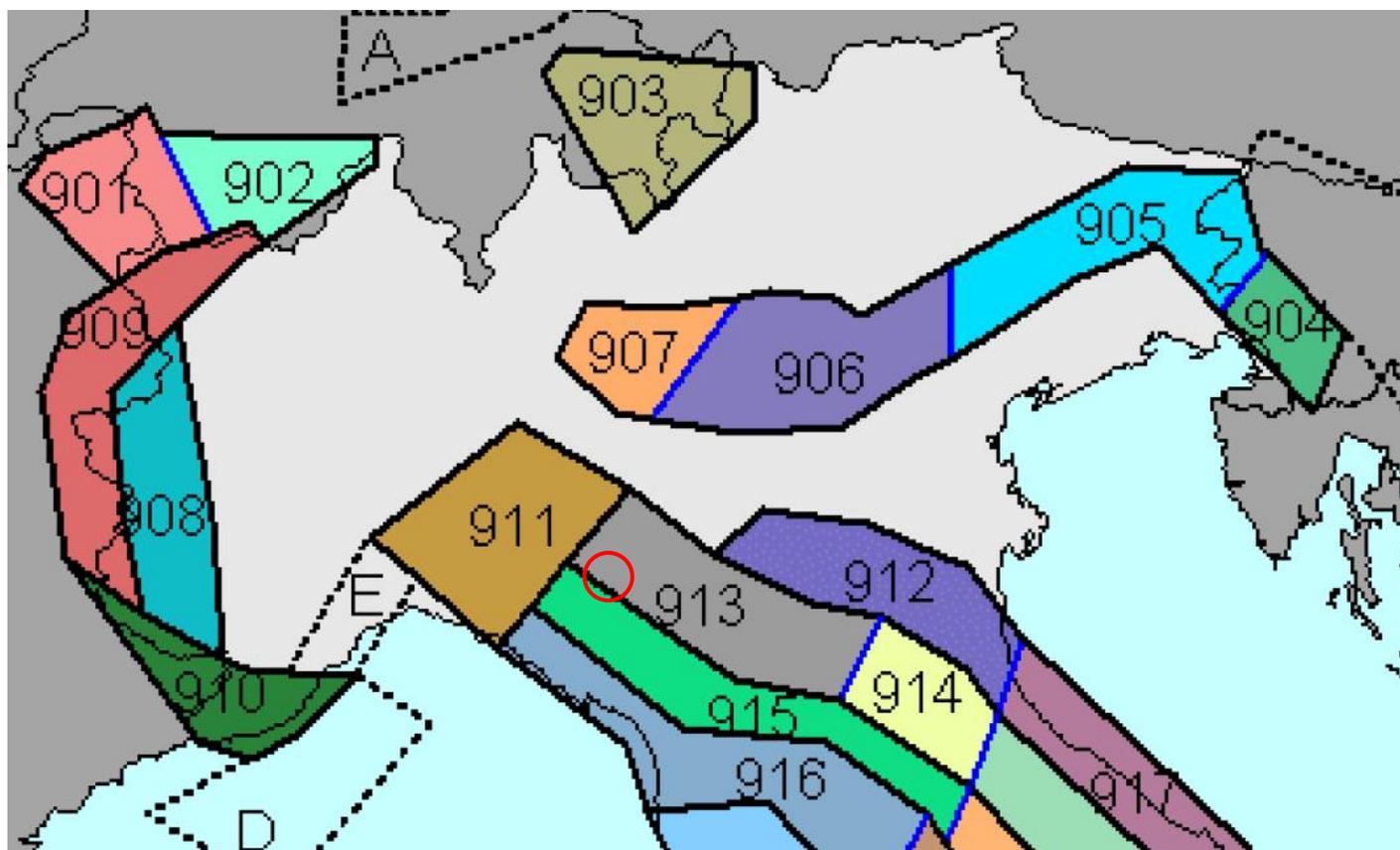
Allo scopo di associare la sismicità dell'area con i meccanismi responsabili dell'innesco dei terremoti, si è fatto riferimento alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004).

Tale lavoro, che sostituisce la precedente zonazione ZS4, suddivide il territorio nazionale in fasce contraddistinte da caratteristiche sismotettoniche omogenee (Cfr. Fig. 5). Esso risulta estremamente importante per gli studi pianificazione territoriale ed, in particolare, nelle valutazioni di pericolosità sismica.

A corredo degli studi di zonizzazione sono stati raccolti ed analizzati quasi 2.500 terremoti, degli ultimi 1.000 anni, con intensità epicentrale maggiore o uguale al V - VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

Come evidenziato in Fig. 5, l'area di studio ricade all'estremità sud-occidentale della zona 913 (in realtà il Comune di Varsì sconfina nella zona 915, ma per una porzione di territorio che non interessa i 2 abitati in esame: il Capoluogo e Pessola).

La zona 913 è contraddistinta da eventi sismici di bassa magnitudo, a cinematica prevalentemente compressiva, e anche se si possono avere fenomeni di trascorrenza nelle zone di svincolo che dissecano la continuità laterale delle strutture. Generalmente, le sorgenti sismiche si distribuiscono a profondità comprese tra i 12 e i 20 Km.



**Fig. 5 - Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 (2004)**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	9 di 99

## 2.3 Sismicità del territorio

Nella valutazione della pericolosità sismica di una determinata area occorre, in primo luogo, definire la pericolosità di base attraverso una corretta analisi della sismicità evidenziando, sia la distribuzione spazio-temporale degli eventi, sia le caratteristiche di intensità degli stessi, seguita da una valutazione della pericolosità locale determinata dagli aspetti geologico-morfologici del territorio.

La storia sismica comunale è stata dedotta dal database DBMI15 utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)<sup>1</sup> aggiornato al 2014, nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative all'abitato di Varsì.

Essa è riassunta nella Tab. 1, dove sono stati elencati gli eventi di maggior intensità al sito (Int.), indicando, per ciascuno di essi, oltre alla stessa intensità: l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Ho), il minuto (Mi) ed, eventualmente, il secondo (Se), in cui si è verificato, la denominazione dell'area epicentrale, il relativo numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1834	02	14	13	15		Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96
4	1974	04	15	21	49	1	Alta Val di Taro	13	5	4.14
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1985	08	08	19	05	1	Appennino parmense	2	5	3.66
4	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
3	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
3	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
NF	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68

**Tab. 1 – Massimi eventi sismici verificatisi nel Comune di Varsì**

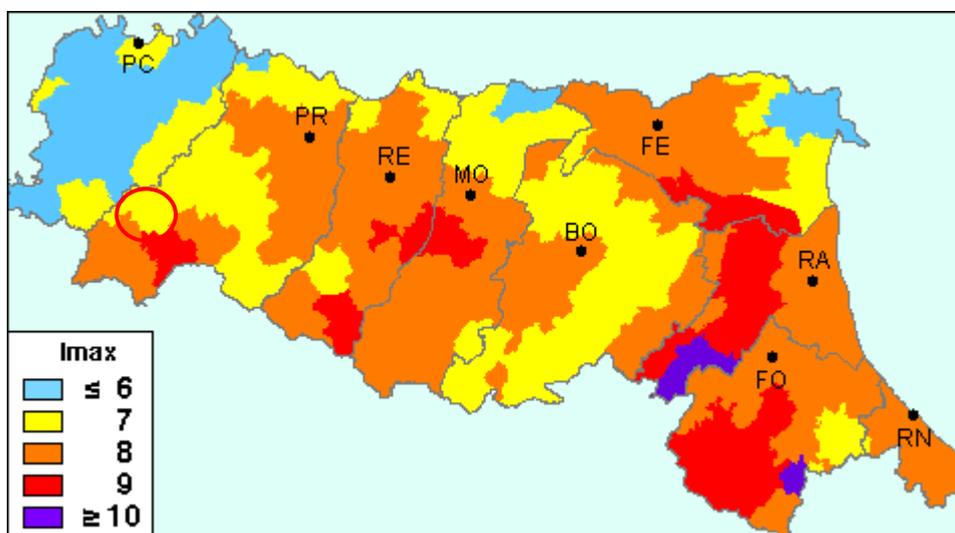
<sup>1</sup> Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

Dalla lettura di Tab. 1 si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Varsì si è verificato il 14 Febbraio 1834 con un'intensità al sito del V grado della scala MCS.

Fatto salvo quanto sopra, si propone di tenere in considerazione anche quanto indicato nel lavoro elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile, a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", determinate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA.

Secondo tale studio, basato in misura prevalente su valori realmente osservati, ma che contiene delle correzioni, per quelle località ove queste si siano rese necessarie, il territorio di Varsì è stato soggetto a terremoti di intensità massima pari al VII grado della scala MCS.



**Fig. 6 - Carta della massima intensità macrosismica in Emilia Romagna**

## 2.4 Classificazione sismica comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta nel 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Cfr. Tab. 2), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

 <b>ENGEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	11 di 99

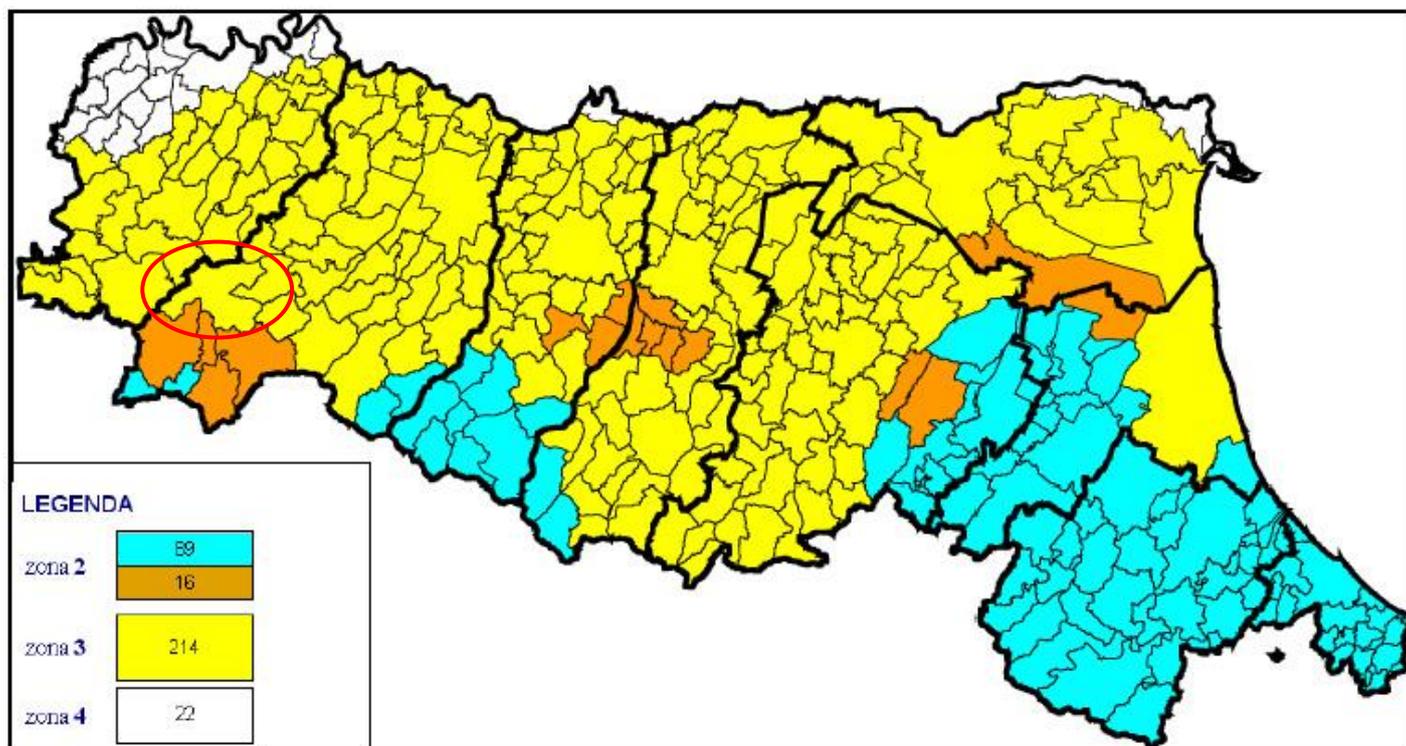
Zona	Valori massimi di ag
1	>0,25
2	0,15 ÷ 0,25
3	<b>0,05 ÷ 0,15</b>
4	<0,05

**Tab. 2 - Valori di accelerazione orizzontale associati a ciascuna zona sismica**

La classificazione vigente, identifica il Comune di Varsi in zona 3 (Cfr. Fig. 7), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0,05\*g e 0,15\*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

Risulta opportuno evidenziare che, con l'entrata in vigore del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni", la stima della pericolosità sismica, non è più associata alla zona sismica di appartenenza, ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica su uno specifico sito.

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.



**Fig. 7 - Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia Romagna**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 2.5 Pericolosità sismica

Il Rischio Sismico è espresso quantitativamente, in funzione dei danni attesi a seguito di un terremoto, in termini di perdite di vite umane e di costo economico dovuto ai danni alle costruzioni ed al blocco delle attività produttive.

Esso è determinato dalla convoluzione probabilistica  $Rischio = f [(PB \cdot PL) \cdot (V \cdot E)]$  dei seguenti tre fattori: Pericolosità, Vulnerabilità ed Esposizione.

La pericolosità sismica di un'area dipende dalle caratteristiche sismiche (sorgenti sismogenetiche, energia, tipo e frequenza dei terremoti) e da aspetti locali (geomorfologia e stratigrafia), in tal senso è suddivisibile in una pericolosità di base (PB) e in una pericolosità locale (PL).

La prima, nel caso del Comune di Varsì, illustrata nei paragrafi precedenti, consiste nella probabilità che, in un certo intervallo di tempo, si verifichino forti terremoti che possono provocare danni.

La pericolosità sismica di base di una zona, in senso lato, è determinata dalla frequenza con cui avvengono i terremoti e dall'intensità che raggiungono.

Tale dato, in senso probabilistico, è la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto del suolo (quale ad es. l'accelerazione massima PGA o il grado di intensità macrosismica), venga superato in un dato sito entro un fissato periodo di tempo.

Le caratteristiche sismiche, comunemente indicate come componenti della pericolosità sismica di base, sono quelle considerate per definire la zonazione della classificazione sismica nazionale.

La classificazione nazionale esprime la sismicità di un'area sulla base dei terremoti avvenuti in epoca storica e della distanza dalle potenziali sorgenti sismogenetiche, senza però considerare le caratteristiche locali del territorio che possono modificare il moto sismico atteso.

La pericolosità locale è influenzata dalla presenza di alcune tipologie di depositi e forme del paesaggio che possono amplificare il moto sismico in superficie favorendo fenomeni di instabilità dei terreni quali cedimenti, frane o fenomeni di liquefazione (effetti locali).

Nella determinazione del rischio sismico interviene pertanto, oltre alla pericolosità sismica di base (frequenza e intensità dei terremoti), anche l'assetto geologico-morfologico al contorno.

A parità di pericolosità, un'area densamente popolata e caratterizzata da costruzioni poco resistenti al terremoto avrà un rischio elevato, mentre un'area deserta avrà rischio nullo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	13 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Dunque elevata pericolosità sismica non significa necessariamente elevato rischio sismico, ma, per le ragioni sopra riportate, risulta possibile anche il verificarsi della relazione contraria.

In tal senso una suddivisione del territorio, operata sulla base della diversa risposta sismica del terreno, assume un importante ruolo nel processo di pianificazione territoriale e urbanistica come strumento di prevenzione e mitigazione del rischio sismico individuando aree a diversa pericolosità sismica.

Tale operazione è particolarmente efficace se applicata a partire dalle prime fasi della pianificazione territoriale e urbanistica (PTCP e PSC) attraverso la realizzazione di cartografia di analisi e apparati normativi che sostengano l'obiettivo comune di indirizzare le scelte di pianificazione verso ambiti a minore rischio sismico.

Ai sensi dell'art.A-2 comma 4 della L.R. 20/2000 "Disciplina Generale sulla Tutela e uso del Territorio "nei territori regionali individuati come zone sismiche, ai sensi dell'art. 145 della L.R. n. 3 del 1999, gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica concorrono alla riduzione ed alla prevenzione del rischio sismico, sulla base delle analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione".

L'art.37 della L.R. 31/2002 Disciplina Generale dell'Edilizia e s.m.i. indica che nelle zone sismiche il parere di compatibilità degli strumenti di pianificazione riguarda le "condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio"; il punto 9.3 della circolare n.6515 del 21/3/2003, sull'applicazione di alcune disposizioni della L.R. 31/2002 chiarisce che le "condizioni di pericolosità locale degli aspetti fisici del territorio" sono tutti gli aspetti fisici del territorio che influiscono sulla pericolosità locale, quali le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geotecniche e idrogeologiche che possono determinare instabilità dei versanti, effetti di amplificazione del moto sismico, addensamento e liquefazione.

Si segnala inoltre che, a seguito dell'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", preceduto dal D.M. 14.9.2005 (pubblicato sul Supplemento Ordinario n.159 alla Gazzetta Ufficiale n.222 del 23 settembre 2005 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni"), sono richiesti specifici studi per la valutazione della risposta sismica locale ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (punto 3.2.1).

## 2.6 Microzonazione sismica

Per "*microzonazione sismica*" si intende la suddivisione dettagliata del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale: tale suddivisione tiene conto sia della sismicità di base (distanza dalle sorgenti sismogenetiche, energia, frequenza e tipo dei terremoti attesi) sia delle caratteristiche geologiche e morfologiche locali.

La Regione Emilia-Romagna, ai sensi dell'art.16 della L.R. 20/2000, ha prodotto uno

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	14 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

specifico “atto di indirizzo e coordinamento tecnico per la compilazione di studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna a supporto della pianificazione territoriale e urbanistica”.

Esso è stato approvato tramite Delibera dell’Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna – progr. n° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007, divenuta efficace il giorno 17 maggio 2007, in occasione della pubblicazione sul BUR dell’atto di indirizzo stesso.

Secondo tali disposizioni, gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica, vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Si distinguono così 2 fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc..).

L’individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano 2 diversi livelli di approfondimento: secondo e terzo.

Come anticipato, nell’introduzione, in Comune di Varsì, erano già stati svolti, dai geologi Dott. Federico Madini e Dott. Massimiliano Trauzzi, e certificati da parte del Servizio regionale competente, studi con approfondimenti di primo livello con:

- definizione del modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici);
- individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- definizione del tipo di effetti attesi;
- indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario;

e di secondo livello con:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal primo livello e nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
- suddivisione dettagliata del territorio, in base all’amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	15 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Essi sono stati, qui, recepiti, aggiornati con le nuove informazioni raccolte e rieditati in conformità agli ultimi standard.

Inoltre, è stato effettuato un terzo livello di approfondimento che ha comportato:

- la definizione, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*) rappresentativi delle singole zone, sia in termini di pseudovelocità, che di pseudoaccelerazione;
- la quantificazione dell'effettivo grado di pericolosità nelle aree instabili e potenzialmente instabili, mediante calcolo del parametro FRT (massimo movimento di una frana in terra) in centimetri;
- la zonazione delle amplificazioni locali espresse come  $PGA/PGA_0$  (rapporto di accelerazione massima orizzontale) e  $SI/SI_0$  (rapporto di Intensità di Housner), per prefissati intervalli di periodi.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	16 di 99

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 Geologia

L'assetto geo-strutturale dei luoghi è da mettere in relazione con l'impilamento di unità tettoniche secondo lo schema a falde di ricoprimento ipotizzato già nel 1960 da P. Elter, vergenti in direzione nord-est, per effetto del sovrascorrimento delle unità di origine marina più antiche (Unità Liguridi) attraverso l'interposizione delle unità Subliguri, sulle più recenti Unità Toscane, che si trovano nella posizione tettonicamente più bassa. La storia geologica dell'area viene completata dalla deposizione, in discordanza con le sottostanti unità, della Successione Epiligure, caratterizzata da facies transizionali, che si deponono man mano che il fronte dell'accavallamento avanzava sulle sovrascorse unità Liguridi.

Il successivo innalzamento del crinale appenninico, avvenuto nel quaternario, ha determinato una rapida erosione delle unità Liguridi e Epiliguri e la venuta a giorno delle Unità Toscane nella zona della dorsale appenninica.

Schematicamente, in tale edificio, alle quote più elevate si collocano le Unità appartenenti al Dominio Ligure, mentre verso il basso affiorano prima le unità toscane seguite dalle unità appartenenti al cosiddetto Autoctono Padano (Cfr. Fig. 8).

SCHEMA SULLA POSIZIONE DELLE UNITA' TETTONICHE

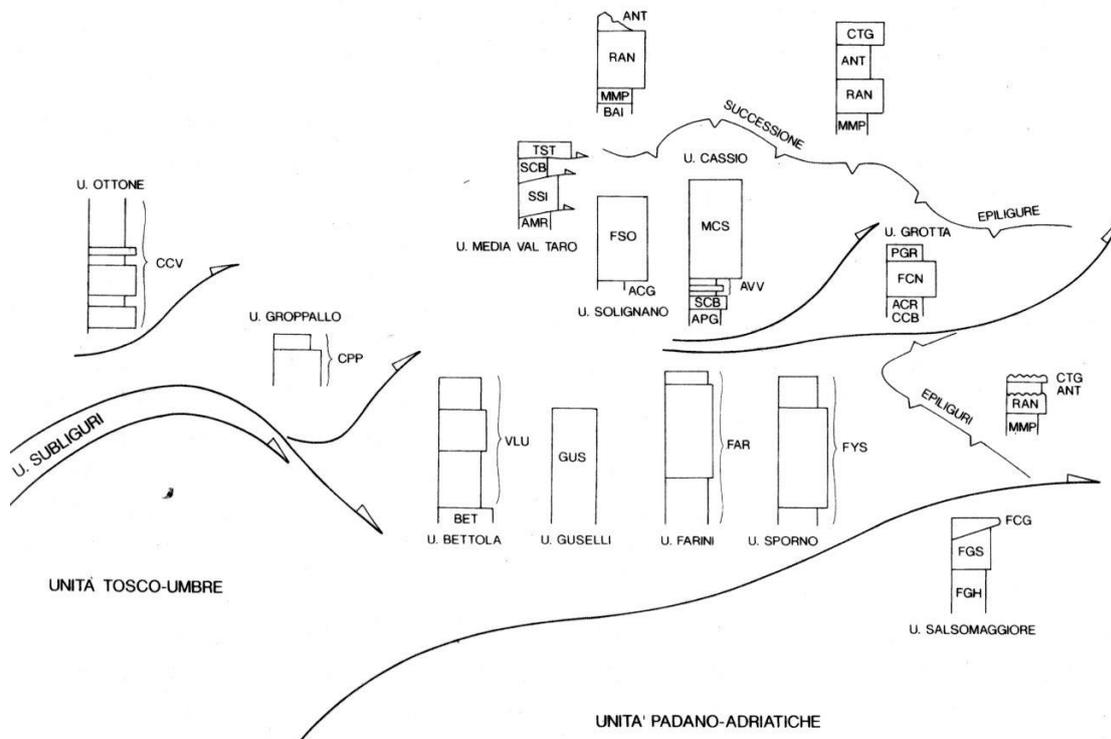
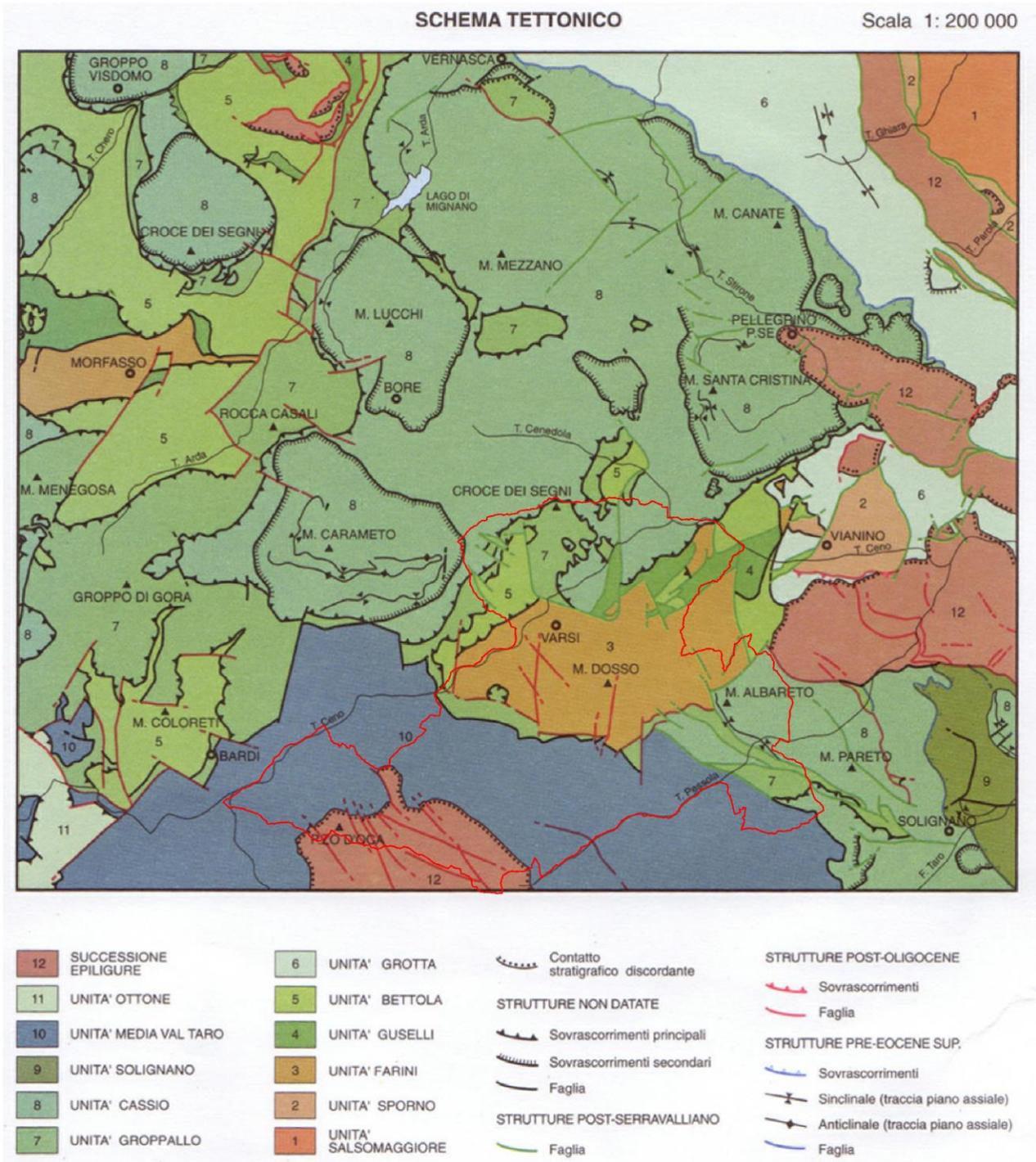


Fig. 8 - Schema strutturale della porzione di Appennino in esame

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	17 di 99

Contestualmente, in Fig. 9 sono stati raffigurati planimetricamente i rapporti strutturali tra le unità che affiorano in questo settore di Appennino indicando, tra l'altro, il confine comunale di Varsì.



**Fig. 9 - Schema tettonico della porzione di Appennino in esame  
(Fonte: Carta geologica d'Italia - Foglio 198 - Bardi)**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	18 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Gran parte del territorio, evidenzia corpi rocciosi riconducibili all'Unità Liguride Esterna, mentre la collocazione della Successione Epiligure risulta limitata alla porzione più meridionale del comune.

Le unità liguri, rappresentate in prevalenza dalle formazioni del Flysch di Farini d'Olmo e del Flysch di Bettola e dalle relative unità dei Complessi di Base (Complesso di Casanova, Argille varicolori, Argille a palombini, Argilliti di San Siro e Arenarie di Scabiazza), appaiono fortemente deformate attraverso strutture plicative e di taglio a piccola e grande scala, per effetto della lunga storia evolutiva che le ha contraddistinte.

Diversamente, la Successione Epiligure (Marne di Antognola, Formazione di Ranzano e Marne di Montepiano), qui rappresentata dalla placca del Monte Barigazzo, che appoggia in discordanza sulle sottostanti unità liguri, appare meno deformata essendosi depositata all'interno di bacini satelliti durante l'edificazione del prisma orogenico appenninico.

Più in dettaglio, considerando i soli abitati oggetto di studio, si è osservato che, al di sotto dei depositi quaternari continentali, generalmente di frana, che saranno descritti nel paragrafo successivo, si rinvengono solo 2 formazioni, entrambe appartenenti all'Unità Ligure:

- **FAR2 - Membro di Rigolo**, sottounità dell'unità torbiditica **FLYSCH DI FARINI D'OLMO (FAR)**, che costituisce il substrato, presente in corrispondenza dell'intero Capoluogo, con eccezione di una strettissima fascia posta all'estremità nord-orientale dell'area in esame. Trattasi di calcari marnosi e marne chiare in strati da medi a molto spessi e locali banchi, sovente a base arenitica grigia, alternati a subordinate areniti e peliti grigie in strati sottili e medi con rapporto  $A/P > 2$ .
- **SCB - ARENARIE DI SCABIAZZA**, che caratterizzano l'intero abitato di Pessola e la sopraindicata fascia posta all'estremità nord-orientale di quello Varsì. Sono torbiditi arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee con arenarie litiche grigio-nocciola, grigio-scure o grigioverdastre, fini e medie in strati sottili e medi regolarmente alternate a peliti grigie o verdastre o marne siltose debolmente marnose; si intercalano talora marne grigio chiare a base arenacea fine e molto fine in strati da molto sottili a spessi (rapporto  $A/P$  da  $<1$  a  $>1$ ), conglomerati e calciliti in strati spessi. Possono essere presenti marne siltose grigie in strati molto spessi con base arenitica e conglomeratica fine ad elementi sedimentari.

Ai fini del presente studio, va segnalato che, le formazioni sopraindicate ricadono entrambe nella stessa classe di substrato geologico, ALS Alternanze di litotipi, stratificato, tra quelle definite dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	19 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 3.2 Geomorfologia

L'attuale assetto geomorfologico dell'ambito territoriale del Comune di Varsì è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche e interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sull'andamento morfologico del territorio.

Le aree di specifico interesse, appartengono alla zona dei rilievi appenninici propriamente detti.

Uno dei parametri geomorfologici più importanti nella modifica ed evoluzione del territorio è costituito dal diverso grado di morfoselezione presente, che risulta strettamente correlato con le litologie presenti e dipendente da altri fattori come clima, acclività, coperture boschive e arboree ecc...

La morfoselezione può essere definita come la tendenza dei terreni e delle rocce ad evolversi verso forme e strutture selettive sotto l'azione dei processi e degli agenti morfogenetici principali (acque superficiali e meteoriche, vento, gelo-disgelo, gravità, ecc.).

In questa ottica, la morfoselezione risulta correlata all'impedenza (capacità dei suoli di opporsi all'erosione operata dalle acque superficiali dilavanti) ed alla ritenzione idrica dei suoli (quantità di acque superficiali assorbita dai terreni superficiali), a loro volta condizionate dal tipo e grado di copertura vegetale esistente e dalla geologia e litologia del substrato; litofacies argillose o pelitiche offrono infatti una minore resistenza all'erosione rispetto a rocce arenacee o calcaree e, quindi, hanno meno possibilità di queste ultime di originare nel tempo forme selettive (picchi o rilievi rocciosi, scarpate strutturali, ecc.).

Tutti questi elementi condizionano in ultima analisi la stabilità idrogeologica dei versanti ed i tempi di corrivazione (velocità di ruscellamento delle acque superficiali verso valle) e quindi i tempi di formazione delle piene fluviali.

La bassa morfoselettività delle rocce pelitiche e di quelle argilloso-marnose in genere, è di norma abbinata ad una elevata e diffusa franosità, che col tempo si evolve verso morfologie più dolci e meno acclivi (ossia più stabili), che consentono, di conseguenza, una più agevole e conveniente utilizzazione antropica dei suoli e dei terreni.

Non a caso, infatti, le zone meno densamente antropizzate della fascia appenninica risultano quelle in cui affiorano le rocce maggiormente morfoselettive, ossia quelle che originano una morfologia impervia, con acclività e pendenze elevate e che comportano la formazione di suoli di ridotto spessore e produttività; su tali superfici, localizzate per lo più nelle zone di crinale, si sviluppano quindi boschi, cespugli e praterie.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	20 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

In generale si può affermare che il territorio di Varsi è contraddistinto da una morfologia "giovane" caratterizzata da versanti più o meno acclivi, con incisioni vallive spesso pronunciate, dovute prevalentemente all'azione erosiva dei corsi d'acqua. Le forme di accumulo fluviale hanno estensione piuttosto ridotta (occupando i depositi alluvionali il fondo di valli strette (comprese fra versanti ricoperti da depositi gravitativi o incassate in pendii rocciosi). Molto più diffuse sono le forme di erosione fluviale, specialmente sulle sponde geologicamente instabili o costituite da depositi detritici o litologie "tenere" (argilliti, marne, formazioni flyschoidi, ecc.). Spesso tali fenomeni sono la causa dell'innescarsi di movimenti franosi di neoformazione sui versanti o della riattivazione di vecchie frane quiescenti.

Risultano evidenti gli stretti legami esistenti tra l'aspetto morfologico ed i motivi stratigrafico – tettonici e le caratteristiche geomeccaniche delle rocce. Laddove predominano i litotipi arenacei e calcarei, il rilievo si presenta accidentato, con pendii ripidi che seguono quasi fedelmente l'inclinazione degli strati, quando disposti a franapoggio; mentre sono caratterizzati da una forte acclività con strati a reggipoggio. Al contrario dove affiorano i terreni prevalentemente marnoso – argillosi la morfologia assume caratteri attenuati ed un aspetto relativamente addolcito e si osservano frequentemente versanti interessati da diffusi e talora ampi fenomeni di dissesto.

In tale contesto, è chiaro che i fenomeni di gran lunga più significativi e diffusi nel territorio e che per i loro effetti hanno più rilevanti e significative ricadute sul territorio stesso, a causa delle limitazioni e dei danni che provocano, sono i fenomeni legati alla gravità.

Nel presente studio, per la definizione dei movimenti gravitativi che interessano le aree in esame, si è fatto riferimento, principalmente, alla Nuova Carta del Dissesto della Provincia di Parma, alla scala 1:10.000, approvata dal Consiglio Provinciale nella seduta del 25 luglio 2016, che ne prevede l'identificazione e la classificazione sulla base dello stato di attività e della tipologia.

Più precisamente, sulla base dello stato di attività, si distinguono solo due classi:

- **frana attiva:** movimento gravitativo ritenuto attivo o riattivato (in un settore di corpo di frana quiescente) all'atto dell'indagine fotointerpretativa, ovvero rilevato o confermato da controllo sul terreno; l'attività può trovare conferma anche in dati documentali recenti (pubblicazioni, carte geologiche, relazioni tecniche, ecc.);
- **frana quiescente:** riguarda tutti i tipi di dissesto in cui è possibile desumere, da indizi di natura geomorfologica e considerazioni di evoluzione morfoclimatica del territorio appenninico, la temporanea inattività del corpo di frana e della scarpata principale ad essa connessa;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	21 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Infatti, nelle porzioni di territorio cartografate, non sono mai stati individuati corpi di frana ritenuti inattivi, intesi come fenomeni le cui cause e processi che li hanno generati non sono più presenti o sono stati rimossi (definiti “frane relitte” nella Carta del Dissesto della Provincia di Parma).

Quanto alla tipologia, esaminando la Carta del Dissesto della Provincia di Parma, che fa riferimento alla classificazione dei movimenti gravitativi di *Cruden & Varnes* (1996), e tenendo conto delle classi stabilite dagli ICMS, nel territorio in esame, si sono distinte le seguenti frane:

- Scorrimento: classe in cui sono accorpati gli scivolamenti rotazionali, quelli traslazionali o planari e quelli in blocco
- Colata: corrispondente ad una frana per colamento lento
- Complessa: data dalla combinazione di 2 o più movimenti di tipo semplice

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	22 di 99

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La raccolta dati ha previsto, innanzitutto, la consultazione e il recepimento dei dati utilizzati dai geologi Dott. Federico Madini e Dott. Massimiliano Trauzzi per la redazione degli studi con approfondimenti di primo e di secondo livello.

A riguardo, interessante è ricordare quelle che gli autori stessi ammettono essere delle limitazioni del proprio studio, ovvero:

- la carenza di dati stratigrafici (sono stati raccolti solo 7 sondaggi a carotaggio continuo che non hanno raggiunto il substrato roccioso e 9 prove penetrometriche, dinamiche per il centro di Varsì, mentre limitatamente al piccolo abitato di Pessola non sono state reperite indagini in sito);
- il fatto che si siano utilizzate prove geofisiche solo di tipo indiretto (a Varsì, 11 HVSR e 8 stendimenti sismici a rifrazione, a Pessola, 4 HVSR);
- la difficoltà nel definire la profondità del *bedrock* sismico (anche come conseguenza di quanto indicato nei 2 punti precedenti).

Alla luce dello stato delle conoscenze, dei risultati e delle limitazioni degli studi di primo e secondo livello, si è ritenuto necessario effettuare una ricerca di ulteriori dati, localizzati all'interno o, nelle immediate vicinanze, dei 2 centri abitati oggetto di approfondimento.

Nel corso di tale ricerca si è verificato che il Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po – Sede di Parma ha effettuato le seguenti indagini a Varsì Capoluogo:

- n° 2 sondaggi a carotaggio continuo, di cui 1 attrezzato con inclinometro e 1 con piezometro spinti, rispettivamente, sino alle profondità di -50,00 m da p.c. e -30,00 m da p.c. Entrambi hanno intercettato il substrato geologico.

Trattasi di informazioni che sono state acquisite, quale preziosissima base conoscitiva, dallo studio di microzonazione di terzo livello.

Altri dati, per il solo Capoluogo, sono stati reperiti presso l'Ufficio Tecnico Comunale esaminando le relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti edilizi e di opere pubbliche recenti (posteriori al 2012, in quanto le relazioni precedenti erano già state esaminate per gli studi di primo e secondo livello) e scansionando i risultati delle indagini geognostiche eseguite; ovvero:

- n° 2 saggi con escavatore;
- n° 1 prova MASW;
- n° 1 prova sismica a rifrazione;
- n° 1 prova HVSR.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	23 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Più in particolare sono state eseguite:

- n° 4 prove MASW (3 a Varsi e 1 a Pessola) che hanno consentito una migliore definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del *bedrock* sismico;
- n° 2 tomografie sismiche in onde P e onde S, (1 a Varsi e 1 a Pessola) per definire gli andamenti delle superfici di scorrimento, presumibilmente corrispondente con lo stesso *bedrock* sismico, nelle aree instabili;
- n° 10 prove HVSR, (7 a Varsi e 3 a Pessola) al fine di approfondire la conoscenza delle frequenze fondamentali dei terreni.

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S nel sottosuolo, portando quindi a determinare anche il parametro Vs30 (velocità media delle onde S nei primi 30m).

In un mezzo stratificato le onde di superficie (*Rayleigh*) danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidità del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati con distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione effettuata tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

L'acquisizione delle onde di *Rayleigh* può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel nostro caso), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello).

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	24 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Le indagini sono state realizzate con un sismografo a 16 canali, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a 3 m l'uno dall'altro a Varsì e a 2 m a Pessola; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 Kg battente su piastra metallica.

Ulteriori specifiche di acquisizione sono contenute nel report riportato in Elaborato 7.

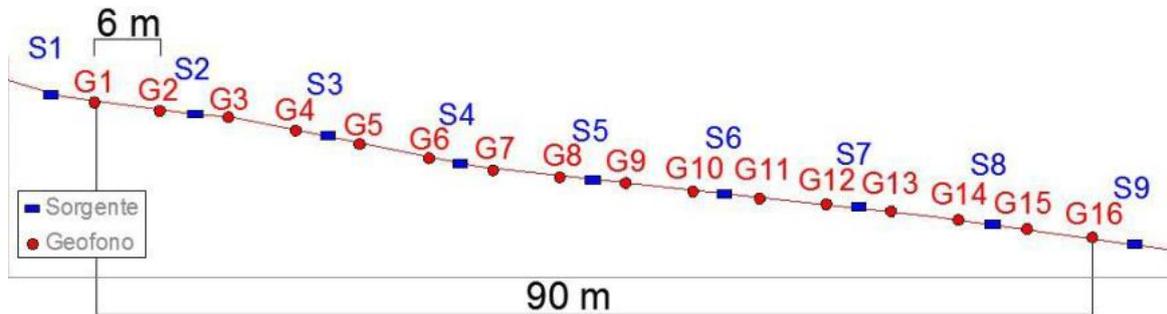
Il metodo della sismica a rifrazione si basa sulla misurazione dei tempi di percorrenza delle onde sismiche rifratte nell'interfaccia tra strati di sottosuolo a differente velocità. L'onda sismica viene indotta nel sottosuolo mediante una sorgente artificiale (martello su piastra - trave, cannoncini sismici, massa battente o esplosivo). L'energia s'irradia dal punto di energizzazione sul terreno (punto di scoppio o di battuta), sia propagandosi attraverso lo strato superiore (arrivi diretti), che muovendosi prima attraverso e poi lateralmente lungo gli strati a velocità maggiore per poi tornare in superficie. Questa energia viene rilevata in superficie attraverso una serie di ricevitori (geofoni) spazati a intervalli regolari.

Oltre una certa distanza dal punto di energizzazione il segnale rifratto giunge ai geofoni come primo arrivo, precedendo le onde dirette. Un sismografo registra i tempi di arrivo delle onde tra punto di energizzazione e ricevitori. La velocità di propagazione dell'onda rifratta dipende dalle caratteristiche elastiche e dalla conformazione dei terreni attraversati. Ne risulta che la relazione velocità dell'onda e distanza sorgente - geofono (detta dromocrona) consente di risalire agli spessori degli strati del sottosuolo con caratteristiche elastiche differenti e crescenti con l'aumentare della profondità e di definire le velocità di propagazione delle onde sismiche per ogni strato.

L'interpretazione delle misure sismiche a rifrazione è stata eseguita mediante metodo tomografico, rispetto al metodo classico la Tomografia sismica permette di individuare anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche, con un elevato potere risolutivo, offrendo la possibilità di ricostruire stratigraficamente situazioni complesse, non risolvibili con altre tecniche d'indagine.

Le indagini sono state realizzate con un sismografo a 16 canali, utilizzando geofoni verticali e orizzontali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a 6 m l'uno dall'altro, per una lunghezza totale dello stendimento pari a 90 metri. Come sorgente è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente prima su piastra metallica, al fine di generare onde di compressione (P), successivamente su trave generando onde di taglio Sh; le energizzazioni sono state eseguite in nove differenti punti equidistanti, due ubicati esternamente allo stendimento e sette interni (si veda Fig. 10). Tale configurazione è ottimale per ottenere una buona risoluzione finale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	25 di 99

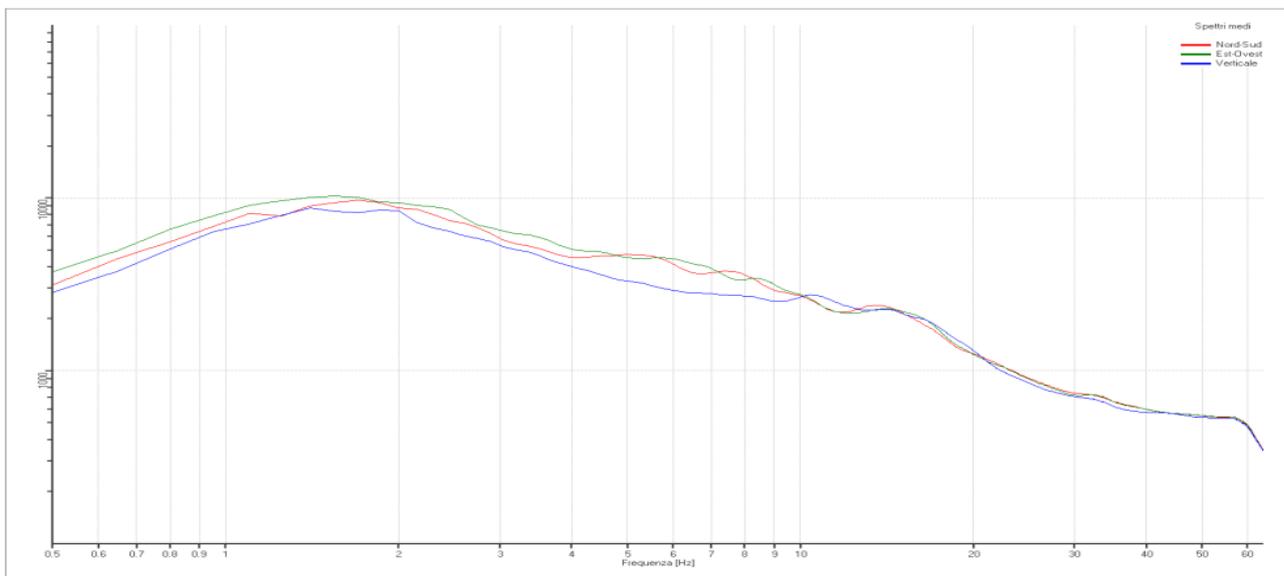


**Fig. 10 - Geometria stendimento sismico a rifrazione**

Ulteriori specifiche di acquisizione sono contenute nel report riportato in Elaborato 8.

Le misure HVSR, indagini di sismica passiva mediante misure di ascolto delle vibrazioni ambientali, sono state condotte utilizzando di un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) di proprietà dello scrivente soggetto attuatore. in grado di registrare, attraverso dei velocimetri, i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (12 minuti).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni).



**Fig. 11 - Esempio di spettro delle singole componenti**

Tutte le indagini sopraindicate sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	26 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto dell'Allegato D della delibera regionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	27 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il Comune di Varsì, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 8.2 la descrizione specifica delle caratteristiche delle 2 porzioni di territorio comunale oggetto del presente studio, di seguito, ci si limita a proporre alcune considerazioni su come il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

A riguardo, in primo luogo, va considerato che tutta la zona in esame ricade all'interno del Dominio Ligure, dove, sotto le coperture quaternarie, sono presenti esclusivamente depositi torbiditici, costituiti da alternanze di strati all'interno dei quali le velocità di propagazione delle onde sismiche sono molto differenti tra loro, anche se in pochissimi casi raggiungono velocità da *bedrock* sismico, maggiori di 800 m/s.

Si consideri, inoltre, che dette velocità risultano fortemente condizionate anche dal grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, determinato da vari fattori, primi fra tutti, l'azione tettonica, la gravità e gli agenti atmosferici. Ciò interessa, in particolare, il livello di roccia più superficiale, di spessore variabile, fortemente alterato (regolite).

Anche nelle coperture quaternarie si osservano significative variazioni nei profili delle Vs: sia in relazione allo stato di addensamento dei depositi, generalmente maggiore all'aumentare della profondità, che al tipo di litologie attraversate, con significativi incrementi al passaggio tra un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso, mentre a una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

Le conoscenze geognostiche, quando possibile, consentono di individuare le prime superfici di discontinuità, ad esempio, al contatto tra i depositi quaternari e il substrato marino. Quanto alle discontinuità più profonde, come potrebbe essere il limite regolite/roccia in posto o determinate dal passaggio tra strati costituiti da litotipi differenti, all'interno del substrato marino, è difficile che si abbiano informazioni attendibili.

D'altra parte, come verrà illustrato nel prosieguo della relazione, le indagini tromografiche effettuate restituiscono curve H/V in cui sono generalmente presenti più picchi, con contrasti d'impedenza bassi e simili tra loro, a frequenze associabili a differenti profondità.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	28 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

E' evidente che, in un tale contesto, definire la risposta sismica locale non sia sempre facile, così come risulta spesso una discreta forzatura assimilare l'assetto geologico delle varie zone ad un modello fisico monodimensionale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	29 di 99

**6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE**

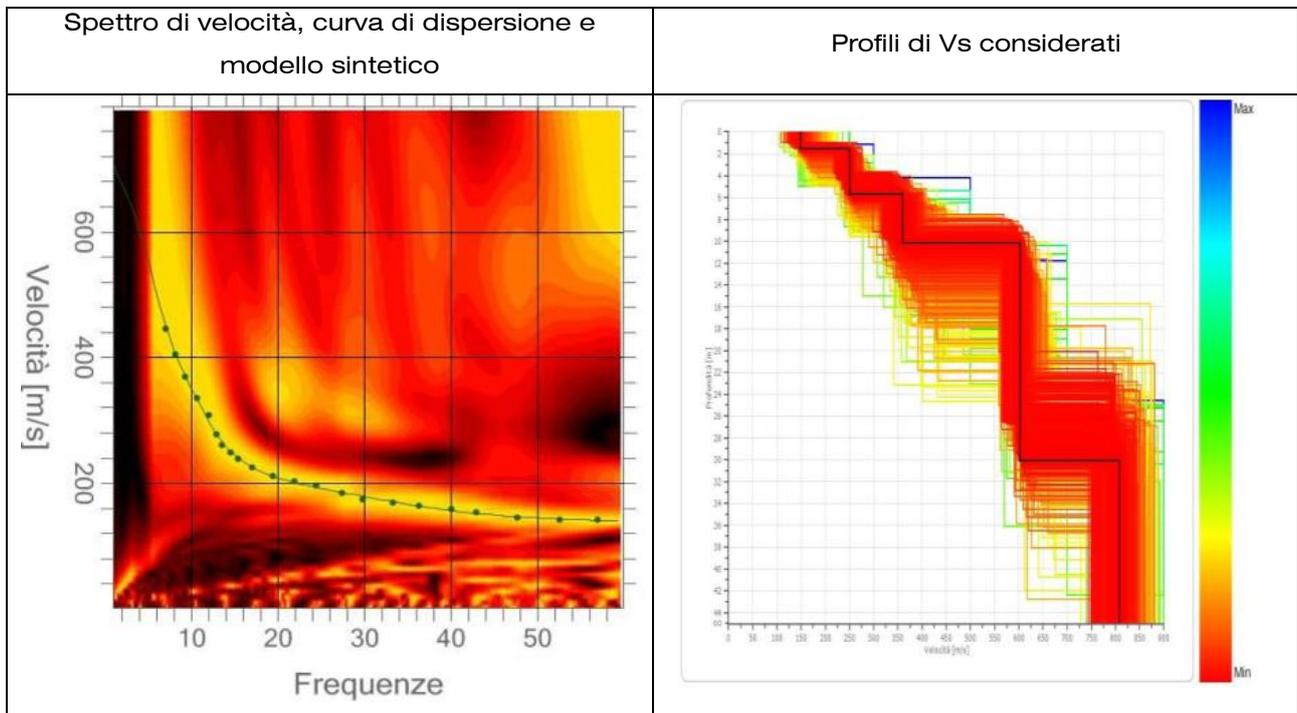
Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una i dati pregressi, ha previsto l’esecuzione e l’interpretazione di una nuova campagna d’indagini sismiche, articolata in

- n° 4 prove MASW;
- n° 2 tomografie sismiche in onde P e onde S;
- n° 10 prove HVSR,

L’analisi dei dati acquisiti mediante le prove MASW avviene attraverso le seguenti fasi:

- 1) Calcolo dello spettro di velocità;
- 2) Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori;
- 3) Picking della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere a un determinato modo;
- 4) Inversione della curva di dispersione e conseguente individuazione del profilo di velocità Vs.

In Fig. 12 si riporta lo spettro di velocità con sovrapposto il picking del modo fondamentale nonché la curva di dispersione sintetica corrispondente al miglior modello ottenuto e i profili di velocità calcolati (in rosso quelli che presentano miglior fit con la curva di dispersione).



**Fig. 12 – Immagini riassuntive dell’elaborazione di un’indagine MASW**

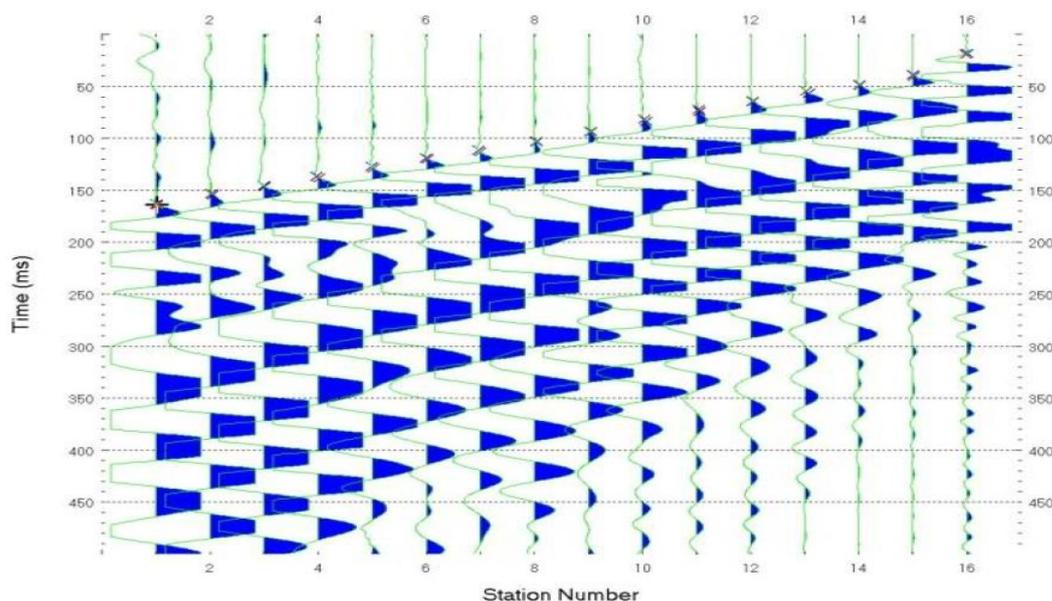
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	30 di 99

Durante il processo d'inversione il codice di calcolo genera iterativamente modelli la cui curva di dispersione si avvicina sempre più al picking eseguito, il numero d'iterazioni che il programma esegue è definito dall'utente e nel presente studio è stato settato a 1000. L'accuratezza del modello ottenuto viene definita da due parametri che il software fornisce a fine elaborazione: il *fattore di disadattamento della soluzione (misfit)* e la *percentuale d'errore*, entrambi sono espressione di quanto la curva di dispersione sintetica si avvicina a quella sperimentale.

I modelli restituiti hanno dato valori di fattore di disadattamento sempre inferiori a 0,03 e percentuale di errore inferiore a 0,064% indice di un buon fitting tra curva sperimentale e sintetica.

I dati acquisiti mediante sismica a rifrazione in onde P e SH sono stati analizzati tramite elaborazione di tipo Tomografico.

La procedura d'elaborazione ha comportato in prima fase un'interpretazione secondo i canoni classici della metodologia a rifrazione, con l'individuazione dei tempi dei primi arrivi sui simogrammi (in Fig. 13 si riporta un esempio di simogramma sperimentale) ottenendo così il grafico delle dromocrone sperimentali.

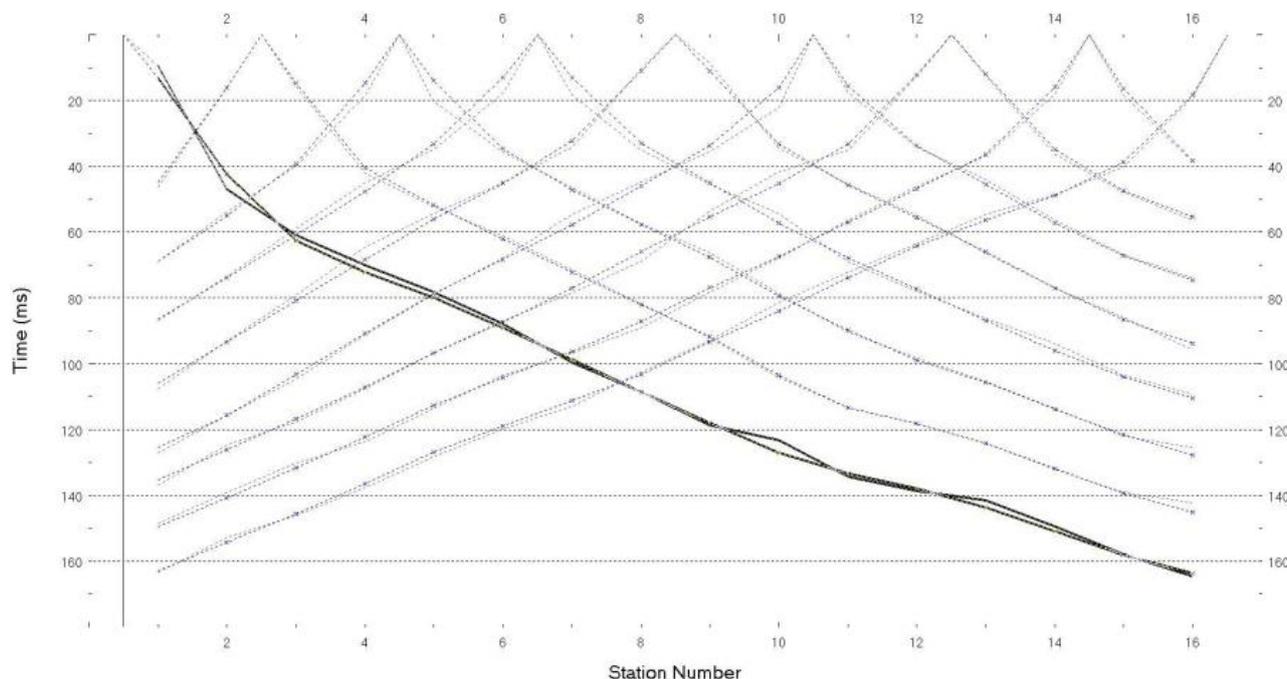


**Fig. 13 - Sismogramma sperimentale, con la x sono indicanti i primi arrivi**

In seguito, attraverso il software di calcolo *Rayfract*, sono stati ricostruiti i percorsi dei raggi sismici attraverso il terreno. In linea teorica ogni punto del mezzo investigato è attraversato in tutte le direzioni dai raggi sismici. Di ogni raggio è quindi calcolata la traiettoria e per ogni punto (o cella) del modello la sua velocità sismica caratteristica. Il

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	31 di 99

modello si affina in modo iterativo cercando la convergenza tra le dromocrone sintetiche e quelle sperimentali (Fig. 14), il numero di iterazioni realizzate è pari a 100. Il risultato finale dell'elaborazione consiste in una sezione di velocità sismica.



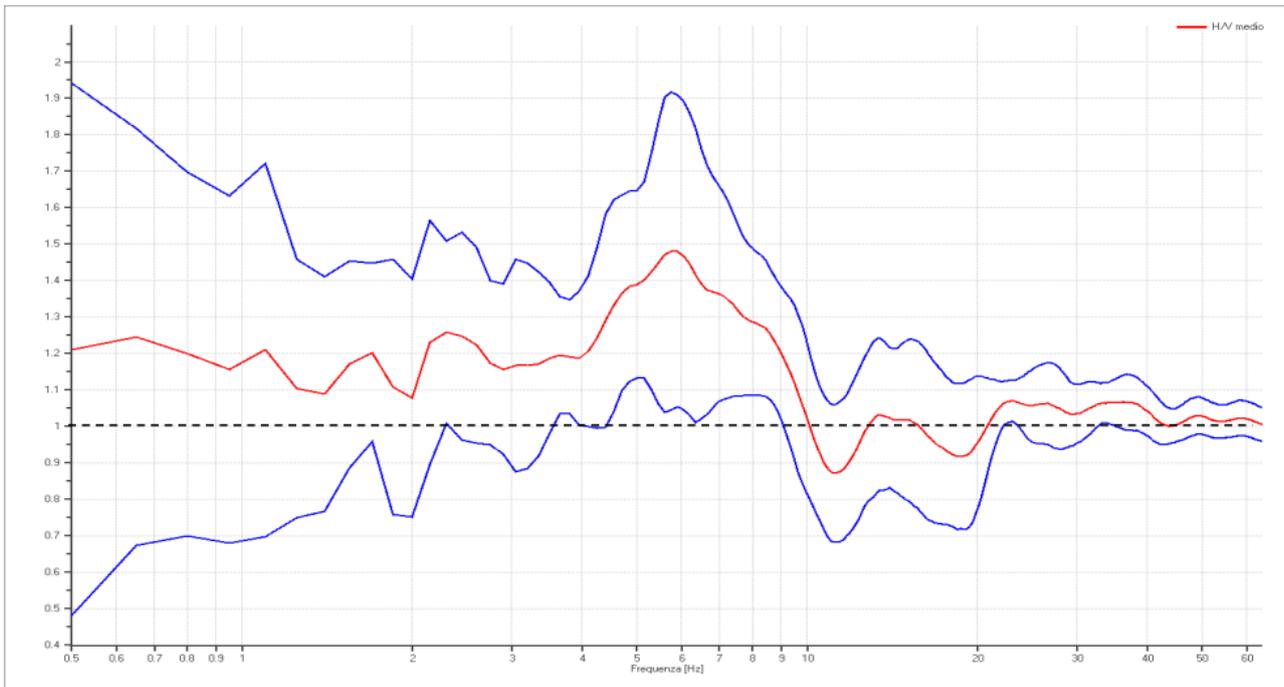
**Fig. 14 - Esempio di dromocrone sperimentali (solo tratteggio) e sintetiche (tratteggio e x)**

Una stima qualitativa sull'accuratezza del modello, oltre a un controllo visivo sul grafico delle dromocrone, è fornito numericamente dal software di elaborazione sotto forma di *errore percentuale*, rappresentativo dello scarto tra le dromocrone sintetiche e quelle sperimentali.

I modelli ottenuti risultano affidabili con errore percentuale inferiore al 2,5 % per le onde P e inferiore al 1,1 % per le onde SH.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata anche tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

A riguardo, nell'Elaborato 9 - Prove tomografiche, per ciascuna prova è riportato il grafico rapporto spettrale H/V naturale con curva H/V sintetica, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Fig. 15).



**Fig. 15 - Esempio di curva H/V naturale con curva H/V sintetica**

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all’analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime “robuste” del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Quindi, per ogni singola acquisizione è stato valutato l’andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l’individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (*EasyHVSR di Geostru*), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, essi risultano spesso non soddisfatti per i motivi già anticipati nel capitolo 5 (le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che, nelle curve

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	33 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

H/V, siano generalmente presenti più picchi, con contrasti d'impedenza bassi e simili tra loro).

Una considerazione a parte meritano le interpretazioni e incertezze connesse con il modello geologico del sottosuolo, in particolare, nelle zone in cui sono stati cartografati dei movimenti gravitativi.

In tali zone, infatti, è necessario identificare, oltre alla geometria del pendio, la profondità del substrato, la stratigrafia, il regime delle pressioni interstiziali, le proprietà geotecniche dei terreni costituenti i vari strati, l'entità e la posizione di eventuali carichi esterni, il cinematisimo della frana e la forma della superficie di potenziale scorrimento.

Allo scopo dovrebbero essere condotte anche indagini geotecniche in sito e di laboratorio ed essere installati strumenti per il monitoraggio delle pressioni interstiziali e degli spostamenti.

Trattasi di attività che hanno un costo molto elevato se paragonato all'importo del presente incarico e alla quantità dei dati che si possono ottenere , nel contesto territoriale indagato (si consideri, ad esempio, come l'onerosa campagna effettuata dal Servizio Tecnico di Bacino abbia consentito di conoscere solo in minima parte il dissesto sul quale è ubicato gran parte dell'abitato di Varsì).

Conseguentemente, in questo studio, ci si è dovuti basare solo su dati geotecnici pregressi, accettando le incertezze che ciò ha comportato.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	34 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, di concerto con gli Uffici Tecnici Comunali, sono stati definiti i limiti degli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica. Infatti, si è reso necessario individuare preliminarmente, oltre alle porzioni di territorio già urbanizzate, quelle che saranno presumibilmente interessate da nuove edificazioni, nuove infrastrutture o sostanziali trasformazioni urbanistiche, su cui incentrare gli studi.

Una volta eseguita tale operazione, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita la nuova campagna di indagini sismiche (MASW, tomografie in onde P e onde S e prove HVSR).

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;
- **Carta geologico-tecnica:** tale carta è stata derivata dalla Carta lito-morfologica redatta per il vecchio studio di microzonazione sismica, rieditandola alla luce dei nuovi Standard di rappresentazione e archiviazione informatica e della Nuova Carta del Dissesto della Provincia di Parma. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** tale carta riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità e zone suscettibili di amplificazioni locali, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	35 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, nel corso della quale è stato redatto un solo elaborato:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S:** carta in cui sono ubicati tutti i punti di misura di  $V_s$  con indicazione, per ogni punto misura, del valore di  $V_{sH}$  o di  $V_{s30}$ .

Infine, è stata effettuata l'analisi con approfondimenti di terzo livello che ha consentito di definire, sulla base di analisi di risposta sismica locale, degli spettri elastici di risposta in superficie (*output*), rappresentativi delle singole zone, di valutare il grado di pericolosità delle aree instabili e potenzialmente tali e di effettuare una zonazione più affidabile delle amplificazioni locali.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta di microzonazione sismica  $FA_{PGA}$  (scala 1:5.000);
- Carta di microzonazione sismica  $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$  (scala 1:10.000);
- Carta di microzonazione sismica -  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$  (scala 1:10.000).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	36 di 99

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

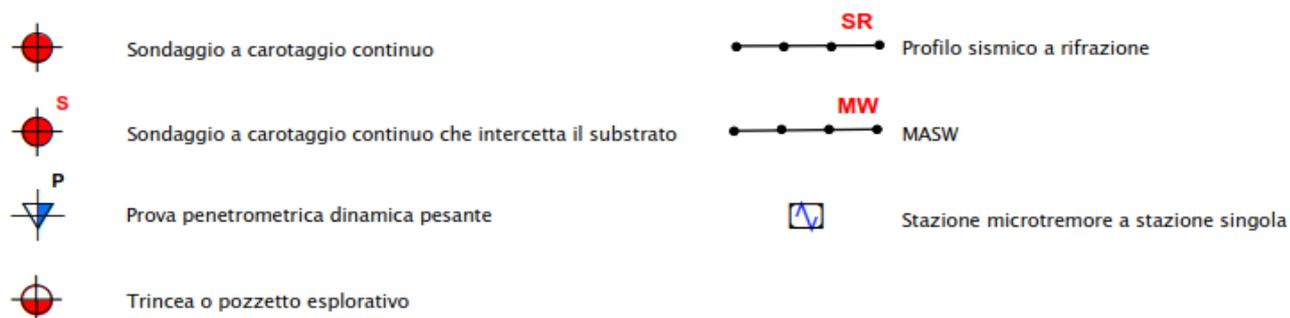
### 8.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (per i cui report si faccia riferimento agli elaborati 7, 8 e 9) e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche reperite presso il Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po – Sede di Parma oltre che presso l'Ufficio Tecnico Comunale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo (distinguendo se intercetta o meno il substrato)
- trincea o pozzetto esplorativo
- prova penetrometrica dinamica pesante
- profilo sismico a rifrazione
- MASW
- stazione microtremore a stazione singola

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 16.



**Fig. 16 – Legenda delle Carte delle indagini**

Nella carta sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

Nei successivi paragrafi vengono specificati numero e tipologia di indagini con riferimento ai due abitati oggetto di studio.

#### 8.1.1 Abitato di Varsì

Complessivamente, sommando i dati presenti negli studi di primo e secondo livello, quelli reperiti presso il Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po – Sede di Parma oltre che presso l'Ufficio Tecnico Comunale, sono state acquisite le seguenti indagini:

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	37 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- N° 9 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 9 prove penetrometriche dinamiche pesanti,
- N° 2 trincee o pozzetti esplorativi,
- N° 1 MASW,
- N° 12 stazioni microtremore a stazione singola,
- N° 5 profili sismici a rifrazione.

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- N° 3 MASW,
- N° 7 stazioni microtremore a stazione singola
- N° 1 profili sismici a rifrazione.

### **8.1.2 Abitato di Pessola**

A Pessola, consultando gli studi di primo e secondo livello, quelli reperiti presso il Servizio Tecnico dei Bacini degli Affluenti del Po – Sede di Parma oltre che presso l’Ufficio Tecnico Comunale, sono state acquisite solo:

- N° 3 stazioni microtremore a stazione singola,

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- N° 1 MASW,
- N° 3 stazioni microtremore a stazione singola
- N° 1 profili sismici a rifrazione.

## **8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica**

Nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1), che sarà descritta nel successivo paragrafo 8.4.

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- “Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna”. Sezione 198110 “Varsi” e 198150 “Pessola”, alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	38 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- “Nuova Carta del dissesto della Provincia di Parma”. Sezione 198110 “Varsi” e 198150 “Pessola”, alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma

- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (8.1).

Sulla base di tali fonti informative, le unità geologico-litotecniche sono state distinte tra terreni di copertura (cartografati quando presentano uno spessore minimo di 3 m) e substrato geologico che, nelle zone di studio, risulta sempre non rigido (caratterizzato da  $V_s \leq 800$  m/s) e stratificato.

Esse sono state identificate da un codice unico nel caso del substrato (come detto sopra, sempre, non rigido e stratificato), mentre, nel caso delle coperture, identifica sia le caratteristiche tessiturali che l’ambiente genetico-deposizionale.

A parte sono raffigurate le aree interessate da instabilità di versante, con retini che ne indicano la tipologia e lo stato di attività.

Nella Carta geologico tecnica sono stati indicati anche gli elementi tettonico-strutturali.

Altri elementi geologici rappresentati sono i sondaggi distinti a seconda che raggiungano o meno il substrato rigido, con indicazione della loro profondità.

La scala di rilevamento e di rappresentazione è 1:5.000.

Nei successivi paragrafi viene sinteticamente descritto l’assetto geologico e geomorfologico che caratterizza i 2 abitati oggetto di studio.

### **8.2.1 Abitato di Varsi**

Il Capoluogo è ubicato sul versante in sponda destra del torrente Ceno, a quote comprese tra i 450 e i 525 m s.l.m.

Esso ricade quasi interamente su un vasto corpo franoso, classificato come frana complessa quiescente, all’interno del quale è stato distinto uno scorrimento, sempre quiescente, che interessa il settore settentrionale dell’abitato.

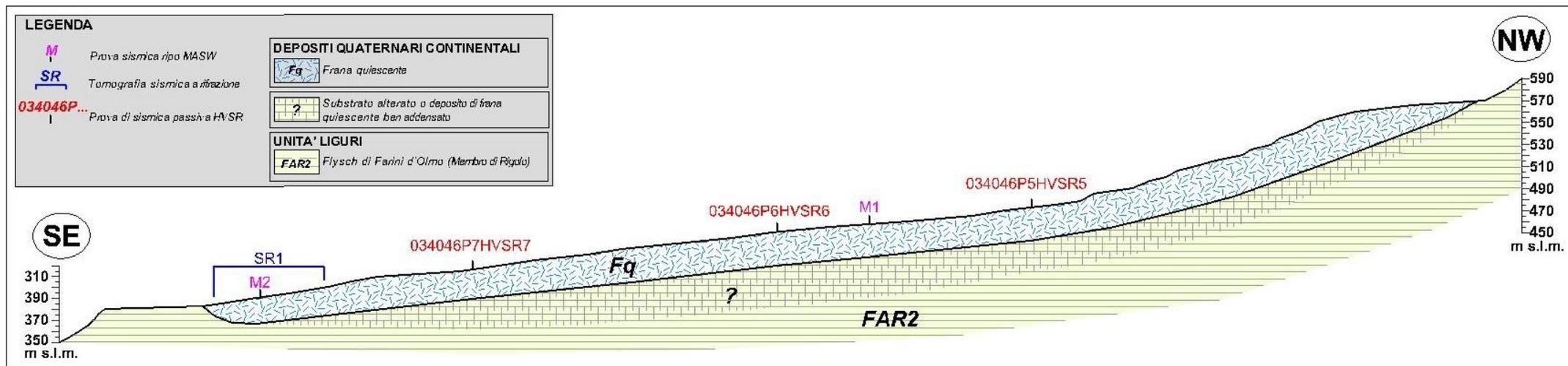
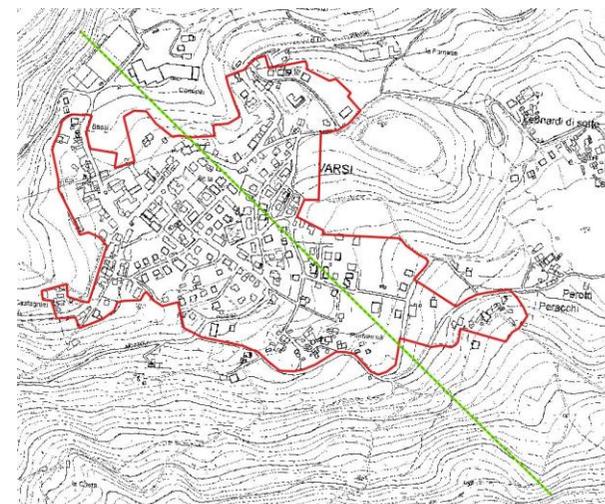
Lo spessore di depositi gravitativi affioranti, desunti prevalentemente dalle indagini geofisiche pregresse e di nuova esecuzione, è, in generale, nell’ordine dei 30 m, ma, all’estremità nord-occidentale dell’abitato, si riduce rapidamente, fino ad azzerarsi.

Le stesse indagini evidenziano il passaggio al substrato a profondità di 50÷60 m.

Nella fascia interposta tra questi 2 livelli, si rinvencono dei terreni a tessitura mista, mescolati tra loro e ben addensati: tuttavia, lo stato attuale delle conoscenze non consente di affermare se siano stati generati da un movimento gravitativo più antico, o si tratti di un potente spessore di substrato alterato.

La sezione riportata nella successiva Fig. 17, raffigura quanto sopradescritto:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	39 di 99



**Fig. 17 - Sezione geologica a Varsì**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	40 di 99

Il substrato, costituito, quasi esclusivamente dal Membro di Rigolo, sottunità dell'unità torbiditica Flysch di Farini d'Olmo (FAR), risulta sempre non rigido e stratificato.

Le giaciture degli strati indicano, una generale immersione verso W-SW, con angoli di 30° ÷ 40°.

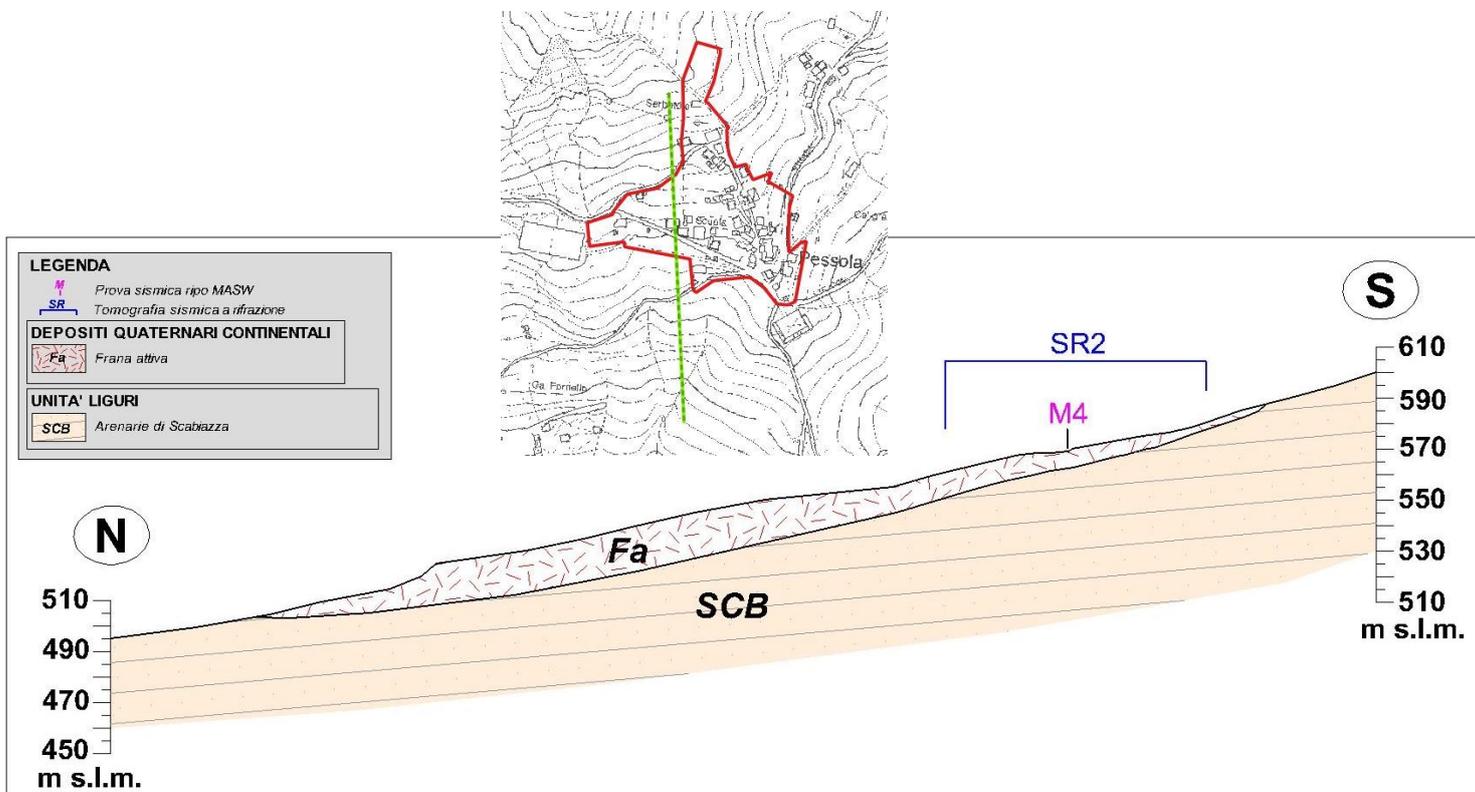
**8.2.2 Abitato di Pessola**

L'abitato di Pessola è ubicato sul versante in sponda destra del torrente omonimo, a quote comprese tra i 765 e gli 830 m s.l.m.

Esso è stato, in buona parte realizzato, su una porzione di territorio in cui il substrato geologico, non rigido e stratificato, appartenente alla formazione delle Arenarie di Scabiazza, risulta affiorante o sub-affiorante (con terreni di copertura di spessore inferiore a 3 m).

Fa eccezione una parte del settore occidentale che ricade all'interno di un'area instabile, classificata colata attiva.

Come raffigurato nella sezione riportata nella successiva Fig. 18, lo spessore dei depositi continentali di frana, desunti dalle nuove indagini (cfr. rifrazione sismica e MASW) e da considerazioni di carattere geomorfologico, in corrispondenza dell'abitato è di circa 10 m; mentre, aumenta, fino a raggiungere, quasi, 20 m nella zona d'accumulo.



**Fig. 18 - Sezione geologica a Pessola**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	41 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia pregressi, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, sempre a scala 1:5.000.

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura (26), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore  $F_0$  del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo ( $F_1$ ).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 30 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$  Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$  Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$  Hz
- $F_0 > 8$  Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un alto contrasto di impedenza ( $H/V > 3$ ) o da un basso contrasto di impedenza (ampiezza  $H/V \leq 3$ ).

Nei successivi paragrafi vengono descritti e commentati i risultati a cui si è pervenuti nei due abitati oggetto di studio.

#### 8.3.1 Abitato di Varsi

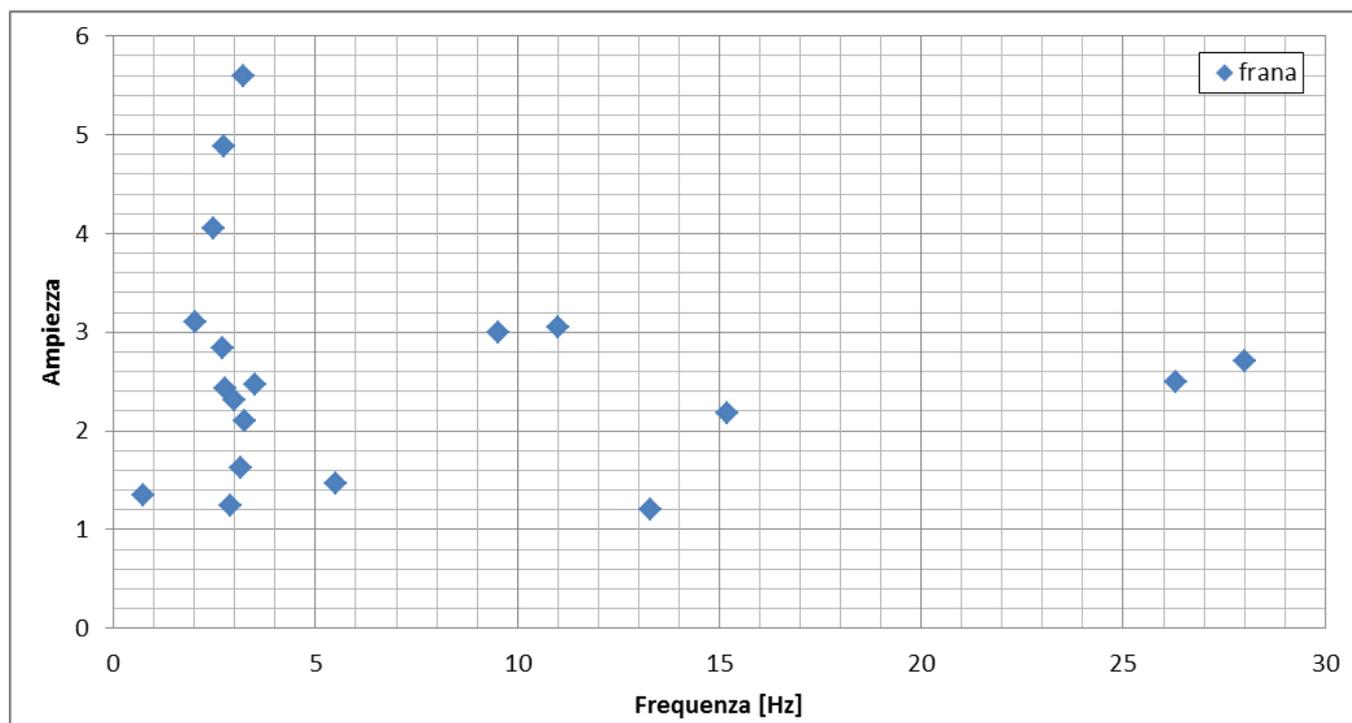
Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tomografiche eseguite a Varsi, tutte all'interno del vasto corpo franoso che caratterizza l'abitato, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e frequenze dei picchi secondari:

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	42 di 99

prova	picco principale F0		picco secondario F1
	frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz
034046P1HVSR1	3,5	2,47	
034046P2HVSR2	9,53	3	2,4
034046P3HVSR3	3	2,31	
034046P4HVSR4	2,47	4,05	
034046P5HVSR5	2,75	2,43	1
034046P6HVSR6	2,72	4,88	
034046P7HVSR7	2,03	3,1	25
034046P8HVSR8	3,22	5,6	
034046P9HVSR9	2,69	2,84	21
034046P30HVSR72	28	2,7	11
034046P31HVSR73	11	3,05	28
034046P36HVSR94	3,25	2,1	
034046P40HVSR98	13,3	1,2	
034046P41HVSR99	3,15	1,62	
034046P42HVSR100	2,9	1,24	
034046P43HVSR101	5,5	1,46	
034046P44HVSR102	15,2	2,18	
034046P45HVSR103	0,75	1,35	
034046P46HVSR104	26,3	2,5	

**Tab. 3 - Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche a Varsì**

I dati relativi ai picchi principali sono stati rappresentati nel grafico di Fig. 19.



**Fig. 19 – Picchi principali a Varsì**

Sulla base dell’esame di Tab. 3 e di Fig. 19, si osserva una concentrazione di picchi attorno ai 2,5÷3 Hz, con ampiezze variabili. A tali frequenze è associabile un riflettore situato a circa 30 m di profondità, coincidente con il passaggio tra i depositi di frana affioranti e quelli più addenstati sottostanti (cfr. paragrafo 8.2.1).

Le altre prove, con eccezione della 034046P45HVSR103, forniscono picchi H/V con frequenze superiori associabili a contrasti di impedenza all’interno del corpo franoso.

**8.3.2 Abitato di Pessola**

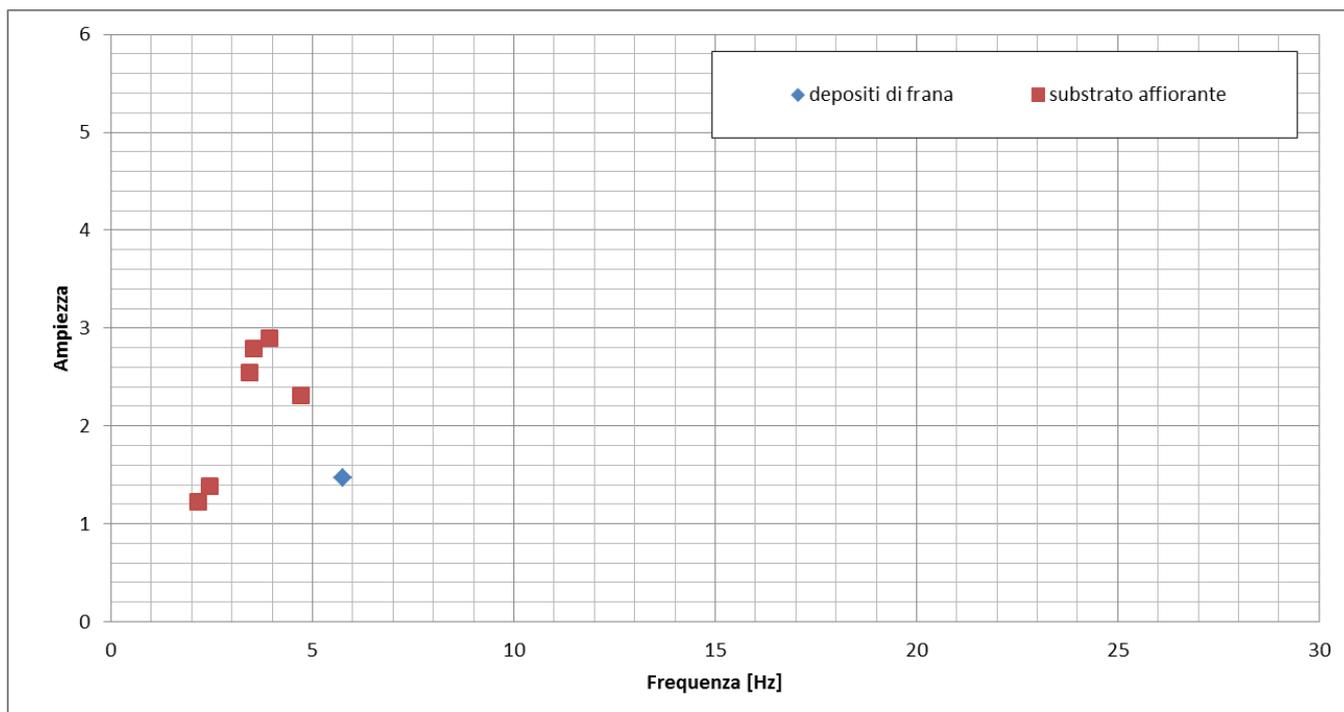
Analogamente a quanto fatto per Varsì, di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tromografiche eseguite a Pessola, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali, ampiezza di quelli secondari, oltre alle caratteristiche geologiche:

prova	caratteristiche geologiche	picco principale F0		picco secondario F1
		frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz
034046P38HVSR105	substrato subaffiorante	2,15	1,22	
034046P39HVSR106	substrato subaffiorante	2,45	1,38	
034046P10HVSR10	substrato subaffiorante	4,72	2,31	
034046P11HVSR11	substrato subaffiorante	3,94	2,9	8,8

prova	caratteristiche geologiche	picco principale F0		picco secondario F1
		frequenza Hz	ampiezza H/V	frequenza Hz
034046P12HVSR12	substrato subaffiorante	3,53	2,79	
034046P13HVSR13	substrato subaffiorante	3,44	2,55	19
034046P37HVSR95	depositi di frana	5,75	1,47	

**Tab. 4 - Riepilogo dei risultati delle prove tomografiche a Pessola**

I dati relativi ai picchi principali sono stati rappresentati nel grafico di Fig. 20.



**Fig. 20 - Picchi principali a Pessola**

Sulla base dell'esame di Tab. 4 e di Fig. 20, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- a Pessola, si registrano sempre picchi con bassi contrasti di impedenza ( $H/V < 3$ );
- dove il substrato è sub-affiorante sono presenti picchi a frequenze comprese tra 2 e 5 Hz, correlabili con superfici di discontinuità, presenti ad alcune decine di metri da p.c., di individuazione non chiara (con le informazioni geologiche disponibili, considerati il possibile spessore di alterazione e la variabilità litologica delle Arenarie di Scabiazza);

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- l'unica prova realizzata all'interno del corpo franoso, la 034046P37HVSR95 presenta un picco con frequenza di a 5,75 Hz, cui associabile un riflettore situato poco oltre i 10 m di profondità, coincidente con il passaggio tra i depositi di frana e il substrato.

#### 8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresentano il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

1. **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.
3. **zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Varsì, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili. Invece, come si può osservare nella legenda riportata in Fig. 21, sono state individuate:

- n° 1 tipologie di Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
  - Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore inferiore a 3,00 m. Si rinviene diffusamente a Pessola, mentre, interessa solo una piccola porzione al limite nord-occidentale dell'abitato a Varsì
- n° 4 tipologie di Zone di attenzione per instabilità
  - ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 2, cartografata in corrispondenza del settore occidentale del Capoluogo, è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore di circa 20 metri di depositi di frana, del tipo complessa-quiescente, poggianti sul substrato sismico.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	46 di 99

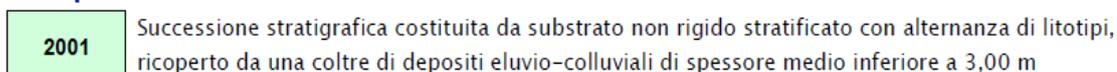
<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 3, caratterizza il settore più settentrionale del territorio urbanizzato di Varsi, presenta una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio di 30 metri di depositi di frana, del tipo scorrimento-quiescente, poggianti sul substrato sismico.
- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 4, è la zona che domina nel Capoluogo, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore medio di 30 metri di depositi di frana, del tipo complessa-quiescentepoggianti sul substrato sismico.
- ZA\_FR – Zona di attenzione per instabilità di versante – Zona 5, si rinviene in corrispondenza della colata che interessa l'abitato di Pessola ed è caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da uno spessore inferiore a 10 metri di depositi di frana, del tipo, appunto colata-attiva, poggianti sul substrato sismico.

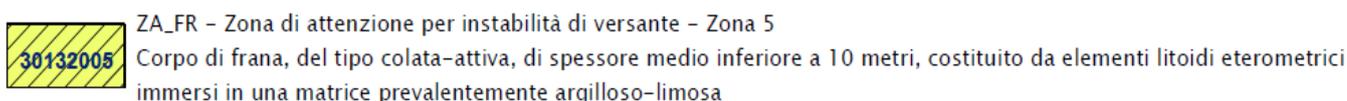
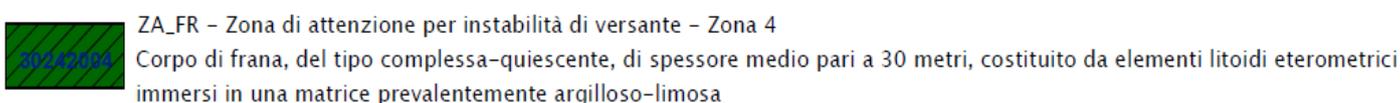
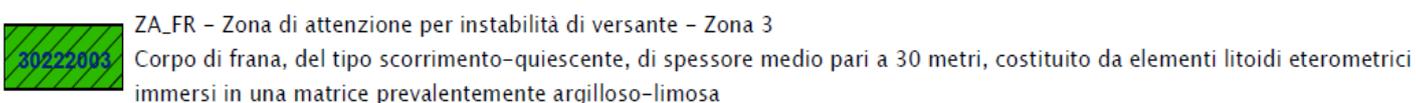
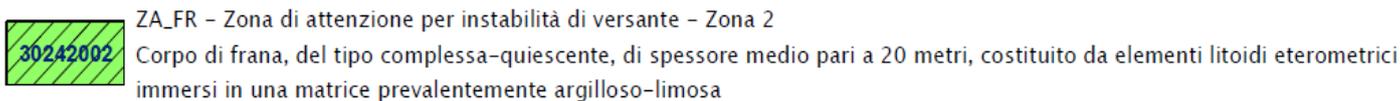
## Legenda



### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



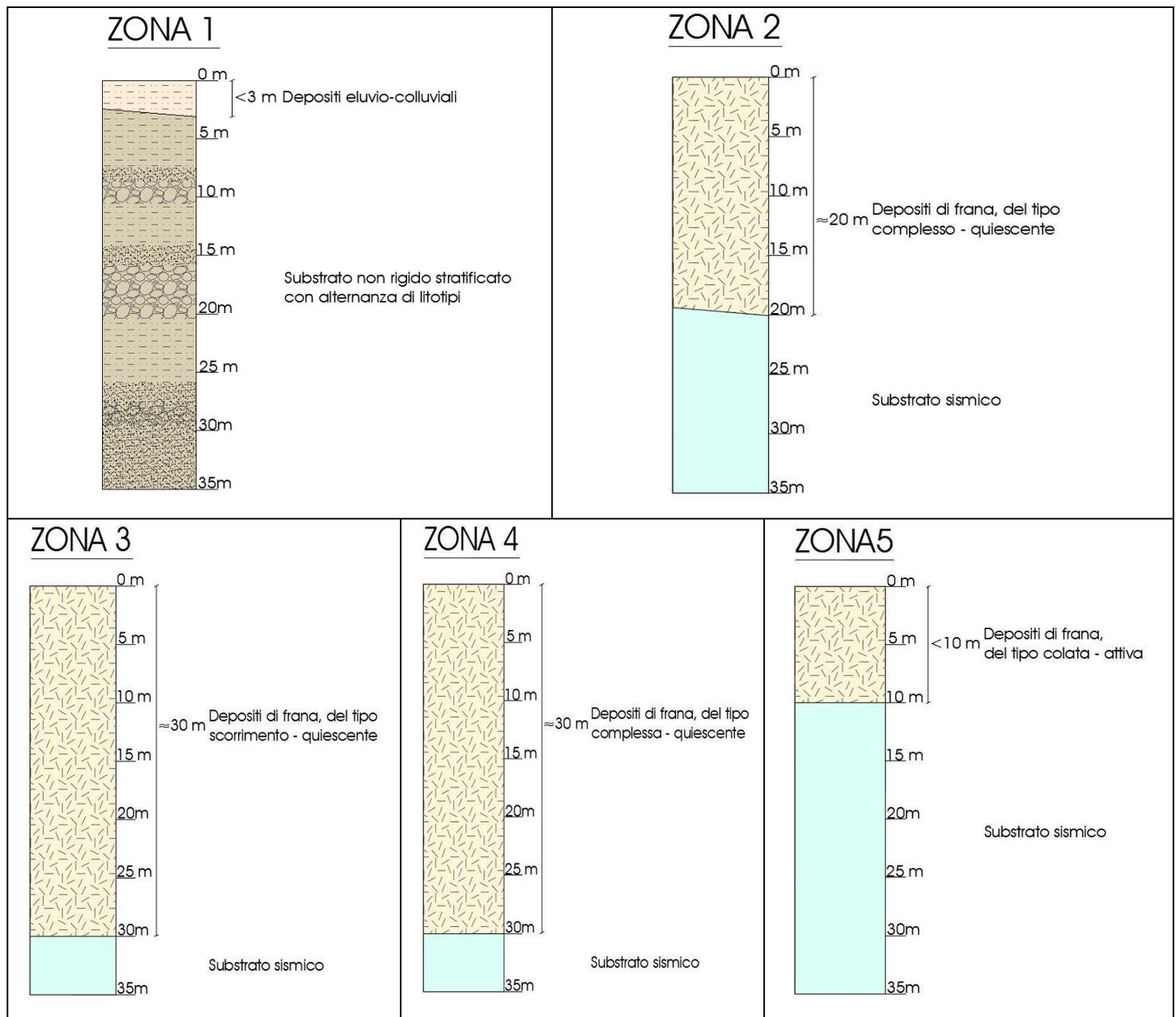
### Zone di attenzione per instabilità



**Fig. 21 – Legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica**

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	47 di 99

In Fig. 22 sono rappresentati i profili stratigrafici caratteristici delle 5 microzone sopradescritte.



**Fig. 22 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative della microzone**

### 8.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, è stata redatta per le 2 aree oggetto di studio la Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	48 di 99

In tale elaborato sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tomografica o MASW e indicando il corrispondente valore di  $V_{S30}$  o di  $V_{SH}$  (in m/s), dove:

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$H$  = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*)

$V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino al *bedrock*);

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

$h_i$  = spessore (in metri) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m);

$V_{S_i}$  = velocità (in m/s) dello strato  $i$ -esimo (fino alla profondità di 30 m).

A riguardo, va chiarito che, si è indicato  $V_{SH}$  quando la profondità ( $H$ , anch'essa rappresentata nelle carte) da p.c. del contrasto di velocità più significativo individuato dalla prove è risultata compresa tra 3 e 50 m, mentre, per profondità inferiori a 3 m o superiori a 50 m è stato riportato il valore di  $V_{S30}$ .

Nei successivi paragrafi vengono riportati i risultati a cui si è pervenuti nei due abitati oggetto di studio.

### 8.5.1 Abitato di Varsi

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa delle misure di velocità delle onde di taglio S a Varsi.

Indagine	Tipo indagine	VSH	H	VS30	MOPS
034046P1HVSR1	HVSR	280	10,6		ZA_FR
034046P2HVSR2	HVSR	372	30		ZA_FR
034046P3HVSR3	HVSR	333	20,65		ZA_FR
034046P4HVSR4	HVSR	294	14,58		ZA_FR
034046P5HVSR5	HVSR			351	ZA_FR
034046P6HVSR6	HVSR	323	31,12		ZA_FR

Indagine	Tipo indagine	VSH	H	VS30	MOPS
034046P7HVSR7	HVSR			311	ZA_FR
034046P8HVSR8	HVSR	354	28,2		ZA_FR
034046P9HVSR9	HVSR	293	10,95		ZA_FR
034046P30HVSR72	HVSR	194	6,2		ZA_FR
034046P31HVSR73	HVSR	236	5,1		ZA_FR
034046L9MASW9	MASW	430	33		ZA_FR
034046L11MASW11	MASW	256	10,1		ZA_FR
034046L12MASW12	MASW	360	23,2		ZA_FR
034046L13MASW13	MASW	118	10,05		ZA_FR

**Tab. 5 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Varsì**

Dall'esame di Tab. 5, si osserva che, a Varsì, tranne in 2 prove, sono sempre stati determinati dei valori di  $V_{sH}$ . Questi risultano mediamente pari a circa 300 m/s, anche se contraddistinti da una forte variabilità (il valore massimo è di 430 m/s mentre il minimo è di 118 m/s).

### 8.5.2 Abitato di Pessola

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa delle misure di velocità delle onde di taglio S a Pessola.

Indagine	Tipo indagine	VSH	H	MOPS
034046P10HVSR10	HVSR	232	15,7	2001
034046P11HVSR11	HVSR	194	6,9	2001
034046P12HVSR12	HVSR	316	23,9	2001
034046P13HVSR13	HVSR	294	21	2001
034046L14MASW14	MASW	175	4,65	ZA_FR

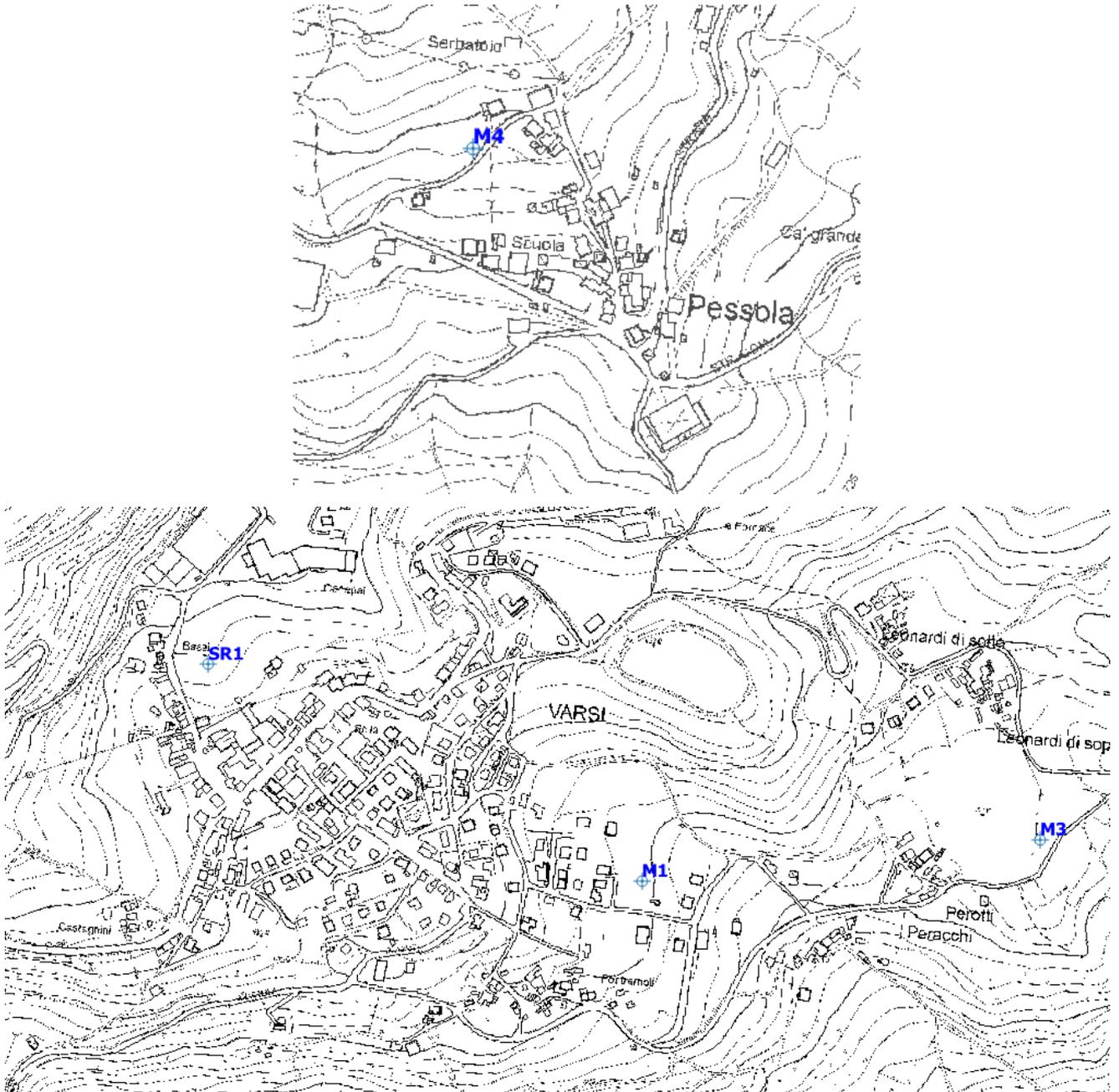
**Tab. 6 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S a Pessola**

Dall'esame Tab. 6, si osserva che a Pessola sono sempre stati determinati dei valori di  $V_{sH}$ . Questi, in corrispondenza della MOPS 2001, risultano mediamente pari a circa 260 m/s, anche se contraddistinti da una discreta variabilità (il valore massimo è di 316 m/s, mentre il minimo è di 194 m/s). L'unica prova fatta sulla frana ha dato, invece, un valore di  $V_{sH}$  di 175 m/s.

## 9. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

### 9.1 Area considerata

Gli approfondimenti di terzo livello sono stati eseguiti in corrispondenza delle aree di cui si dispone di sufficienti dati stratigrafici e di Vs, necessari per definire il modello geofisico del sottosuolo (cfr Fig. 23).



**Fig. 23 - Ubicazione dei siti per cui sono state realizzati approfondimenti di 3° livello**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	51 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 9.2 Risposta sismica locale

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale. Nei successivi paragrafi, saranno, poi, illustrati i risultati della RSL per ciascun punto indagato.

### 9.2.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DAL 112/2007 della Regione Emilia Romagna.

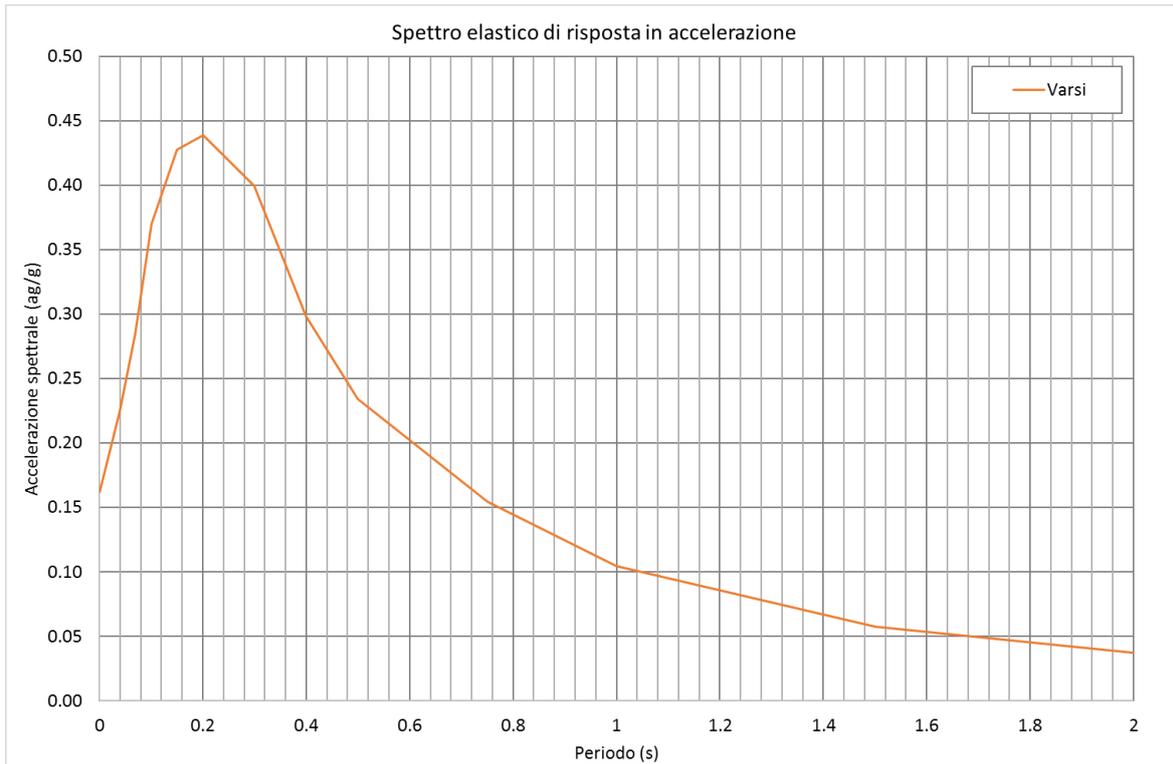
In particolare l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- i valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni comune dell'Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.

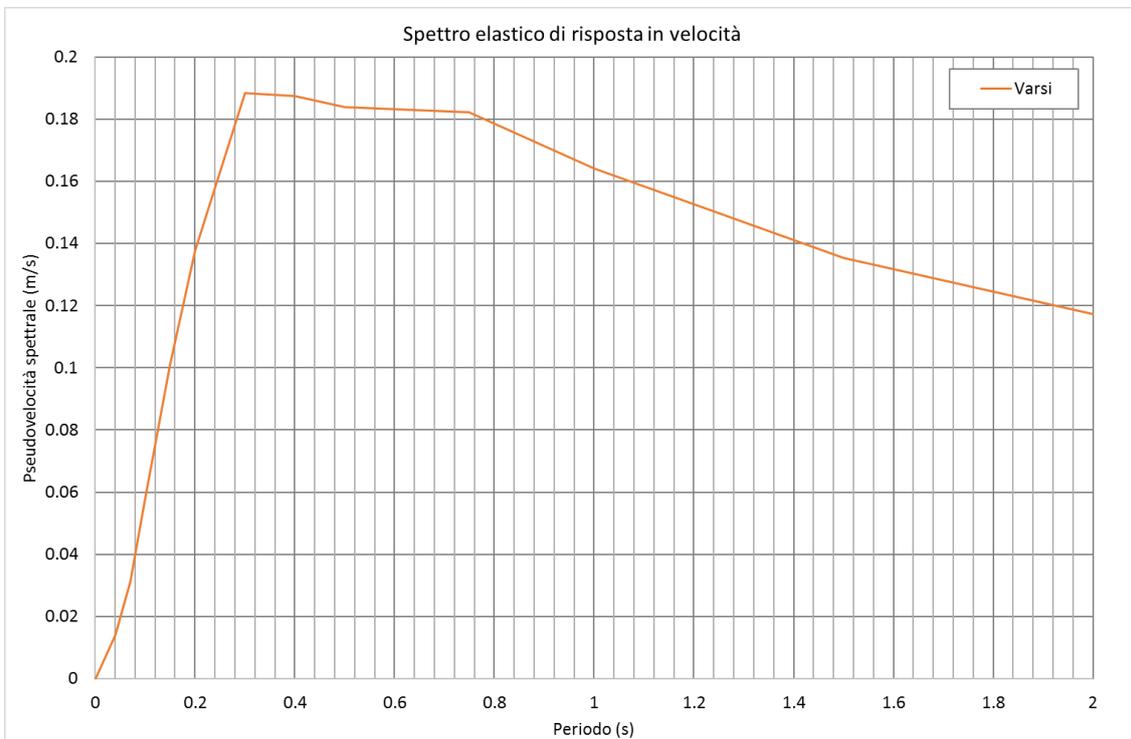
Per il Comune di Varsi il parametro  $a_{refg}$  risulta 0.162

Di conseguenza, lo spettro elastico di risposta in accelerazione (Fig. 24) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, ed il conseguente spettro di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di Housner, (Fig. 25), sono i seguenti:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	52 di 99



**Fig. 24 - Spettro di risposta elastico in accelerazione su suolo A (475Y)**



**Fig. 25 - Spettro di risposta elastico in velocità su suolo rigido (475Y)**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

### 9.2.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DAL 112/2007<sup>2</sup>, anche quelli forniti dal software *SEISM-HOME*<sup>3</sup> di *Eucentre*.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Fig. 24, mentre, nel caso di *SEISM\_HOME*, il confronto è stato effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune; *SEISM-HOME*, invece, fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008.

Nel complesso, quindi, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale. Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER.

<b>Segnali RER</b>	<b>Segnali Seism-Home</b>
000046xa_034028Varsi.xy	TR475_ID15821_1 - 7 - tratti dai segnali:
000126xa_034028Varsi.xy	000764xa.cor
000354xa_034028Varsi.xy	000182xa.cor
	000234ya.txt
	0455y.txt
	1033y.txt
	SAG0010503201053.NS
	20090406_013239ITDPC_MTR_NSC.DAT

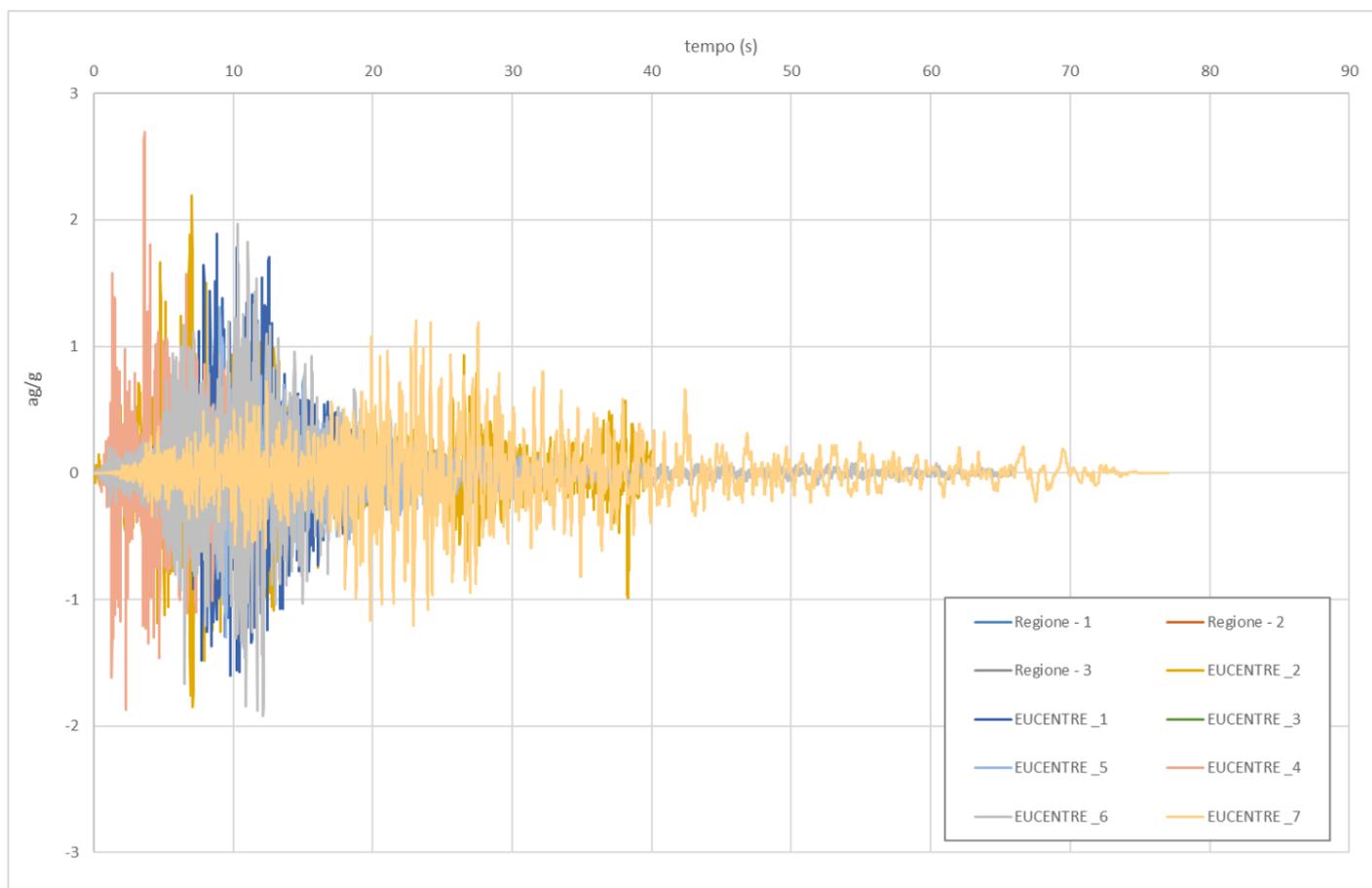
**Tab. 7 - Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL**

In Fig. 26 sono stati riportati gli accelerogrammi in input utilizzati per tutti i siti studiati.

<sup>2</sup> disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)

<sup>3</sup> Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	54 di 99



**Fig. 26 - Accelerogrammi in input**

### 9.2.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione e densità in situ,

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s, difficilmente raggiungibile nelle zone in questione.

In effetti, tale problematica è stata affrontata nell'allegato A2 alla DGR 2193/2015. Nelle zone collinari e montane per il calcolo dei fattori di amplificazione si applicano tabelle distinte, a seconda che il substrato rigido identificato raggiunga o meno il valore di 800 m/s. Ciò ha consentito di superare il concetto di bedrock, differenziando invece tra

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	55 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

substrato rigido e substrato non rigido. Come verrà illustrato in seguito tale modifica risulta fondamentale nei siti oggetto di studio.

### 9.2.3.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati, principalmente, i dati delle stratigrafie dei sondaggi realizzati in ciascun sito. Quando i sondaggi non corrispondono esattamente alle condizioni rilevate con le indagini sismiche, perché la loro posizione non corrisponde col punto di valutazione della RSL, o perché i sondaggi non appaiono significativi, si è preferito effettuare una valutazione sulla base dei dati sismici.

### 9.2.3.2 Determinazione della Vs e del *bedrock* sismico

La determinazione della Vs in funzione della profondità è stata effettuata mediante prove MASW o Tomografie sismiche. Le prove HVSR sono state utilizzate per verificare che la frequenza caratteristica dei terreni registrata da queste prove corrisponda al picco della funzione di trasferimento ricavata dalla modellazione della risposta sismica locale.

### 9.2.3.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G<sub>0</sub>) in funzione della deformazione

La mancanza di campioni sui terreni studiati non ha consentito di utilizzare curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G<sub>0</sub>) in funzione della deformazione ricavate appositamente nelle aree di studio. Pertanto sono state utilizzate curve derivanti da dati bibliografici riferite a terreni il più possibile simili a quelli analizzati.

Per i terreni superficiali, prevalentemente di frana, si è fatto riferimento ai dati pubblicati da Madiai<sup>4</sup>, relativamente alla frana di Spinello.

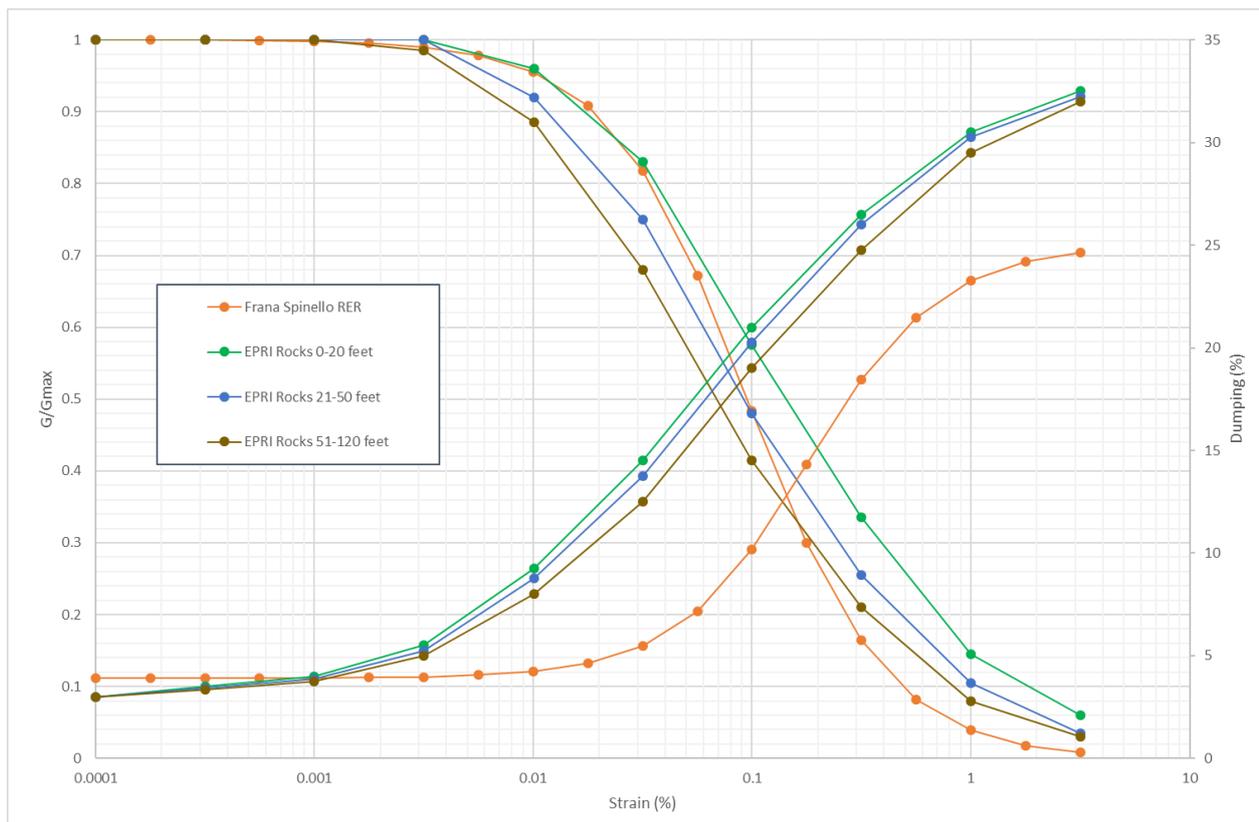
Per il substrato alterato sono state utilizzate le curve di EPRI<sup>5</sup> per i terreni rocciosi, variabili in funzione del carico litostatico.

I grafici di G/G<sub>0</sub> e D, per tutti i tipi di terreno utilizzati, diagrammati in funzione dello sforzo, sono riportati in Fig. 27.

<sup>4</sup> Madiai C., Facciorusso J. Vannucchi G. Martelli L. (2012) – in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna . RER 2012.

<sup>5</sup> EPRI (1993) – Guidelines for determining design basis ground motions TR-102293s-V1-V5

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	56 di 99



**Fig. 27 - Grafico delle curve  $G/G_0$  e  $D$  per tutti i tipi di terreni utilizzati**

**9.2.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL**

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata<sup>6</sup> sviluppato da A. Kottke e E. Rathje<sup>7</sup>. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer<sup>8</sup>, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel bedrock verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;

<sup>6</sup> Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.  
<sup>7</sup> Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California  
<sup>8</sup> Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	57 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- Le superfici del bedrock e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidezza e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

### **9.2.5 Risultati della modellazione numerica**

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire, per ciascun sito indagato:

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal bedrock alla superficie;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula  $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$ , lo spettro di risposta elastico in pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;
- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione ( $FA_{PGA}$ ), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- Il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità ( $FA_{IS}$ ) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido (cfr. Fig. 25). In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(\tau) d\tau}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(\tau) d\tau}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(\tau) d\tau}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(\tau) d\tau}$$

A completamento di questa fase di studio, viene proposta una tabella riepilogativa in cui i fattori di amplificazione calcolati con la risposta sismica locale sono messi a confronto con quelli ricavati con gli abachi di cui all'allegato 2 della DGR 2193/2015 o secondo le indicazioni delle N.T.C. 2008.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	58 di 99

### 9.2.6 RSL per il sito di Varsì SR1

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi ai diversi sondaggi che interessano il deposito di frana. Gli spessori degli strati e le velocità  $V_s$  sono state desunte dalla prova MASW M2 (in database denominata L12MASW12) e dalla Tomografia sismica SR1 (in database denominata L15SR15), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova P2HVSR2.

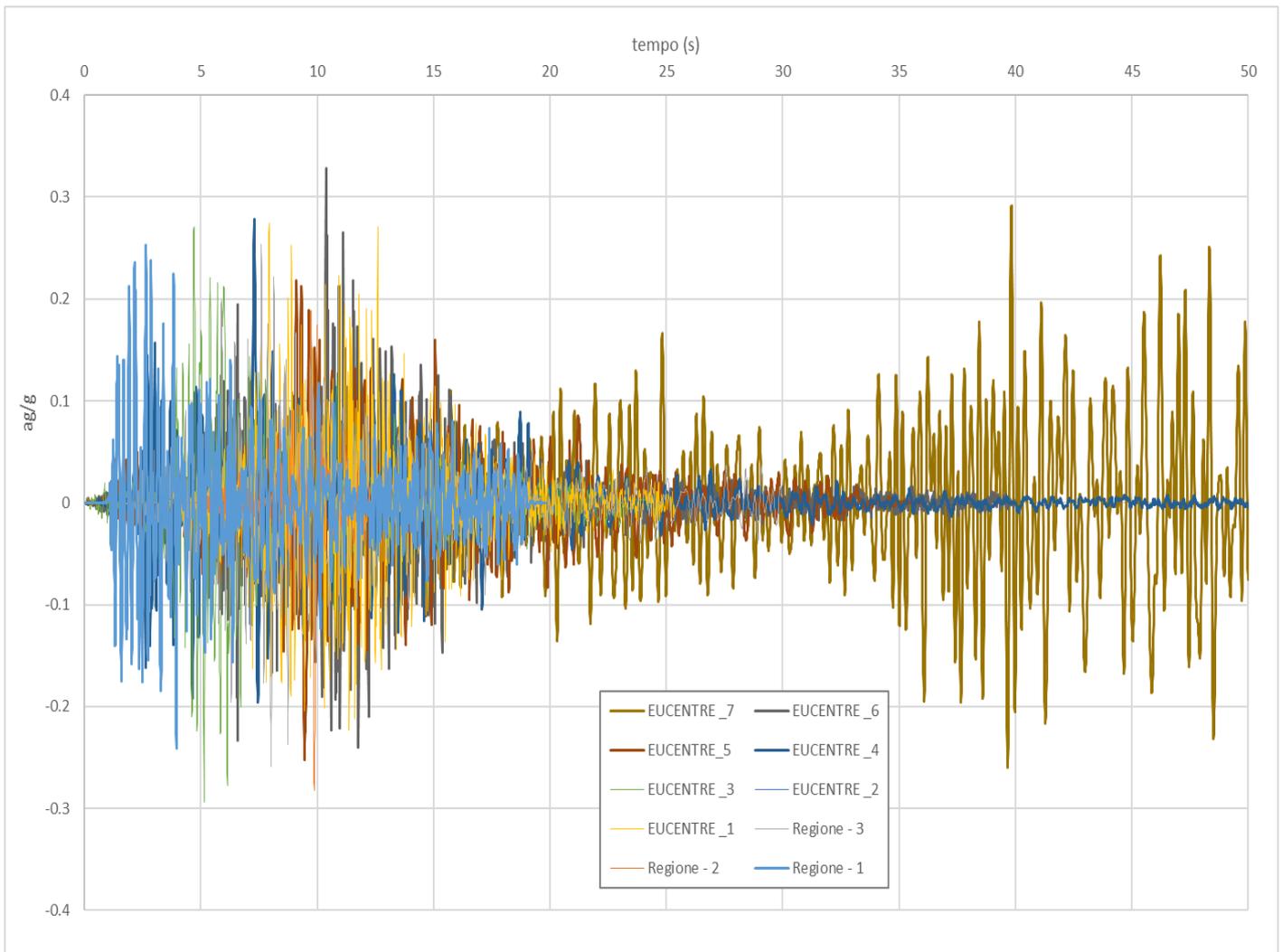
I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types				
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model
1	Frana	18.50	Frana RER	Frana RER
2	Substrato alterato	19.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI Rocks 21-50 feet

**Fig. 28 – Tipi di suolo del modello geofisico**

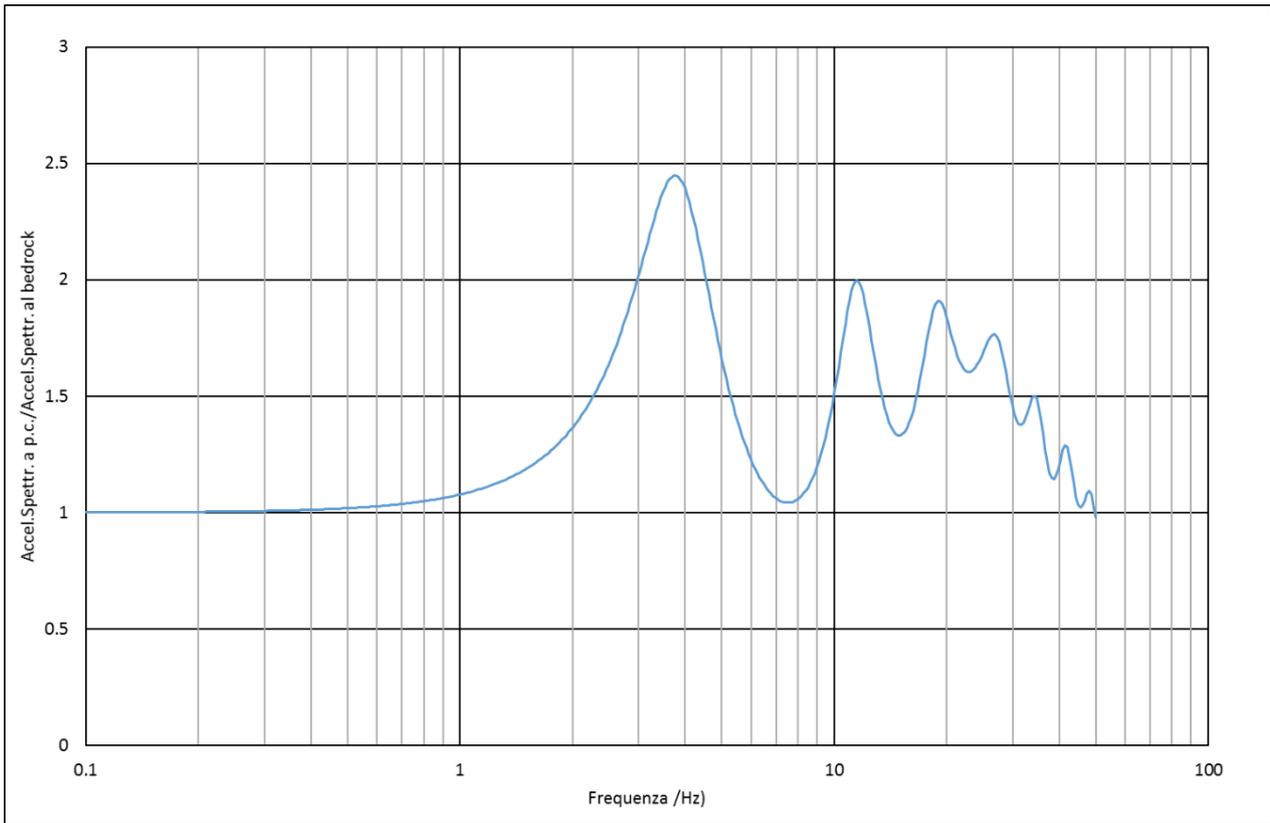
Site Profile				
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	$V_s$ (m/s)
1	0.00	1.00	Frana	160.00
2	1.00	2.20	Frana	300.00
3	3.20	20.00	Frana	390.00
4	23.20	7.00	Substrato alterato	730.00
5	30.20	Half-Space	Bedrock	910.00

**Fig. 29 – Modello geofisico**

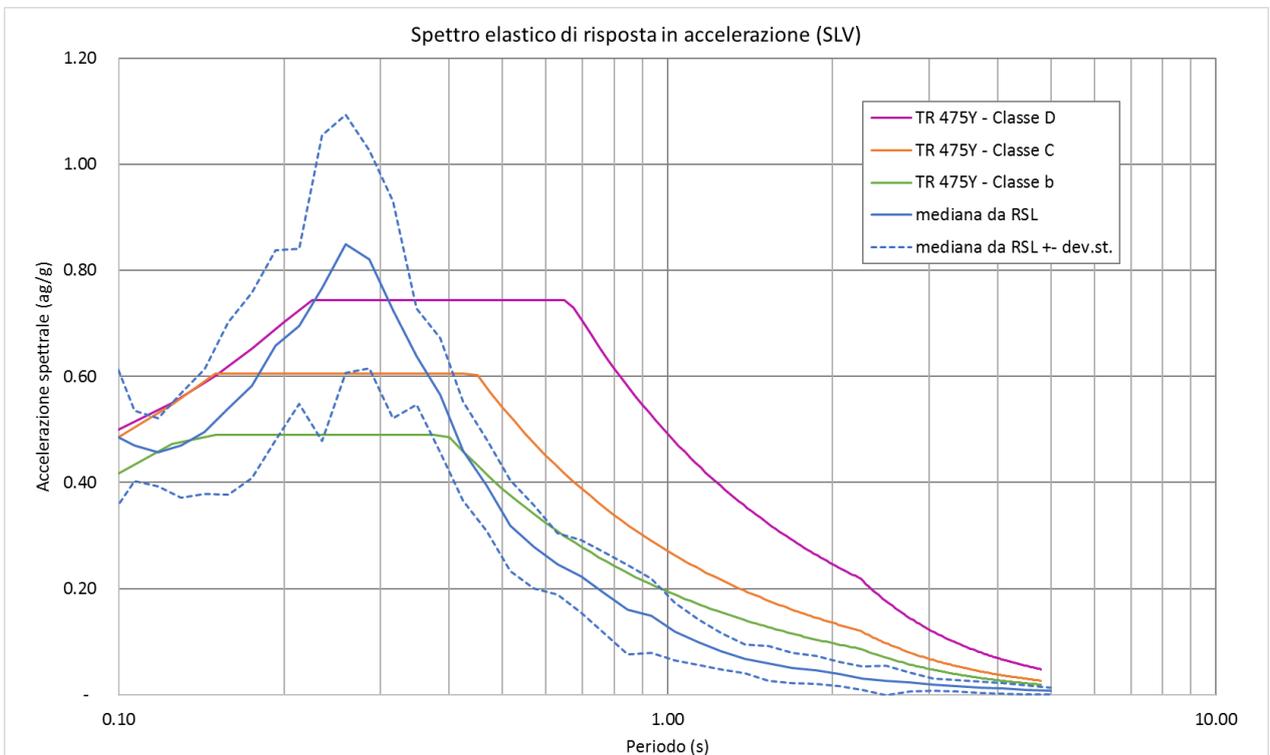


**Fig. 30 - Output accelerogrammi**

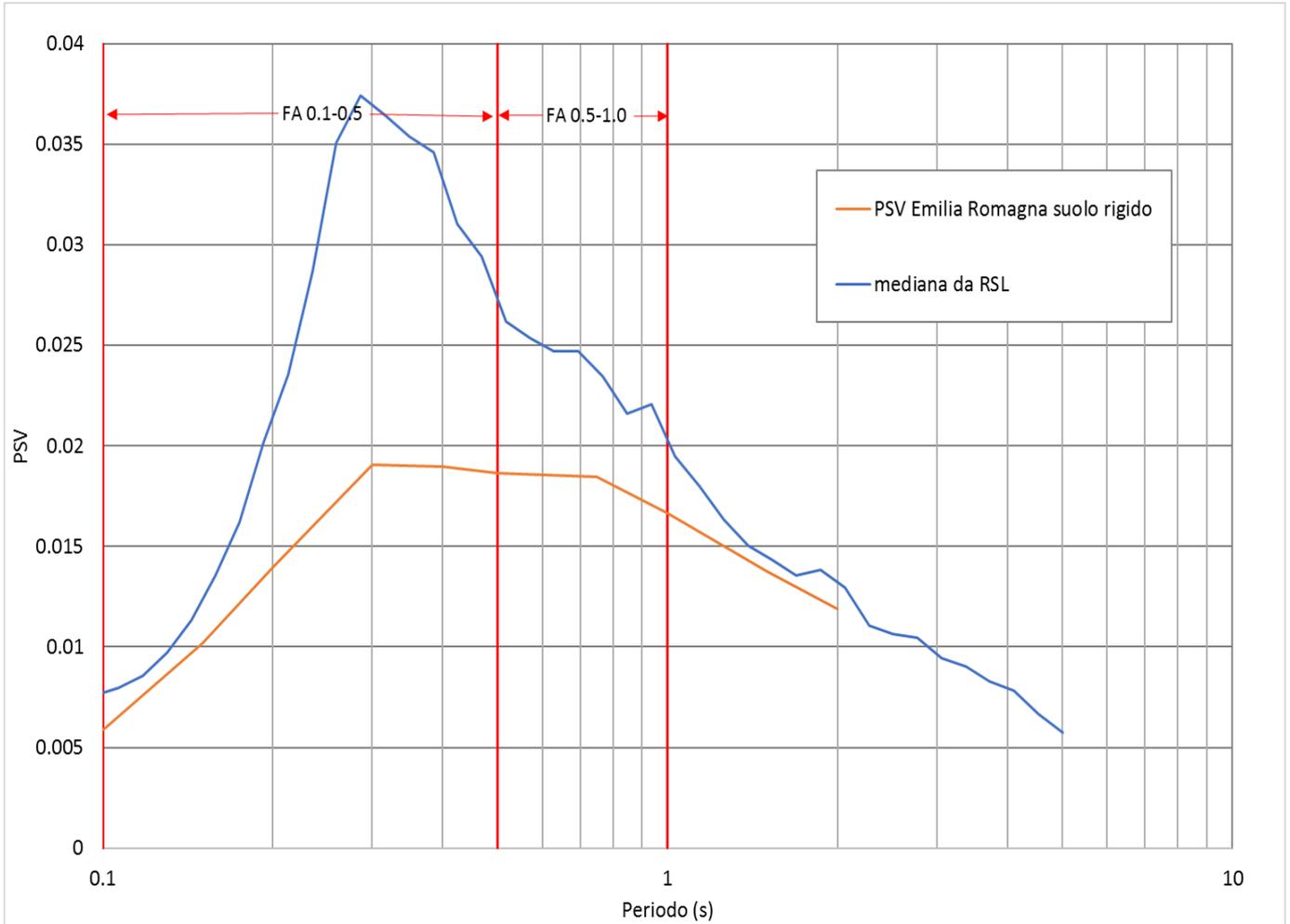
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	60 di 99



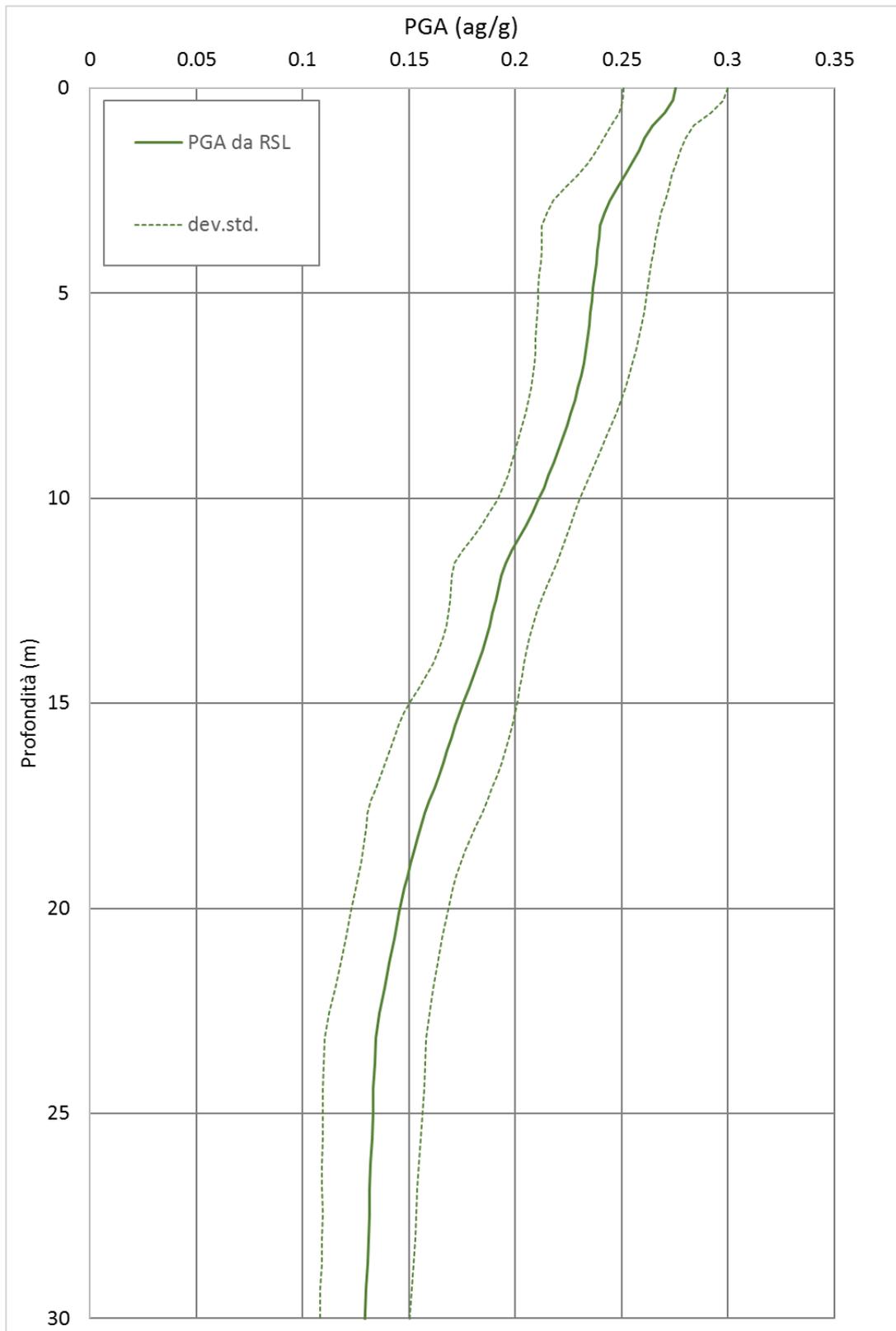
**Fig. 31 - Funzione di trasferimento**



**Fig. 32 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 33 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 34 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI VARSÌ Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.65	1.8*	1.20
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.63	1.9*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.28	1.2*	

**Tab. 8 - fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, VsH 360 m/s, spessore 23

### 9.2.7 RSL per il sito di Varsi M1

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi ai diversi sondaggi che interessano il deposito di frana. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M1 (in database denominata L11MASW11), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR H4 (in database denominata P40HVSR98).

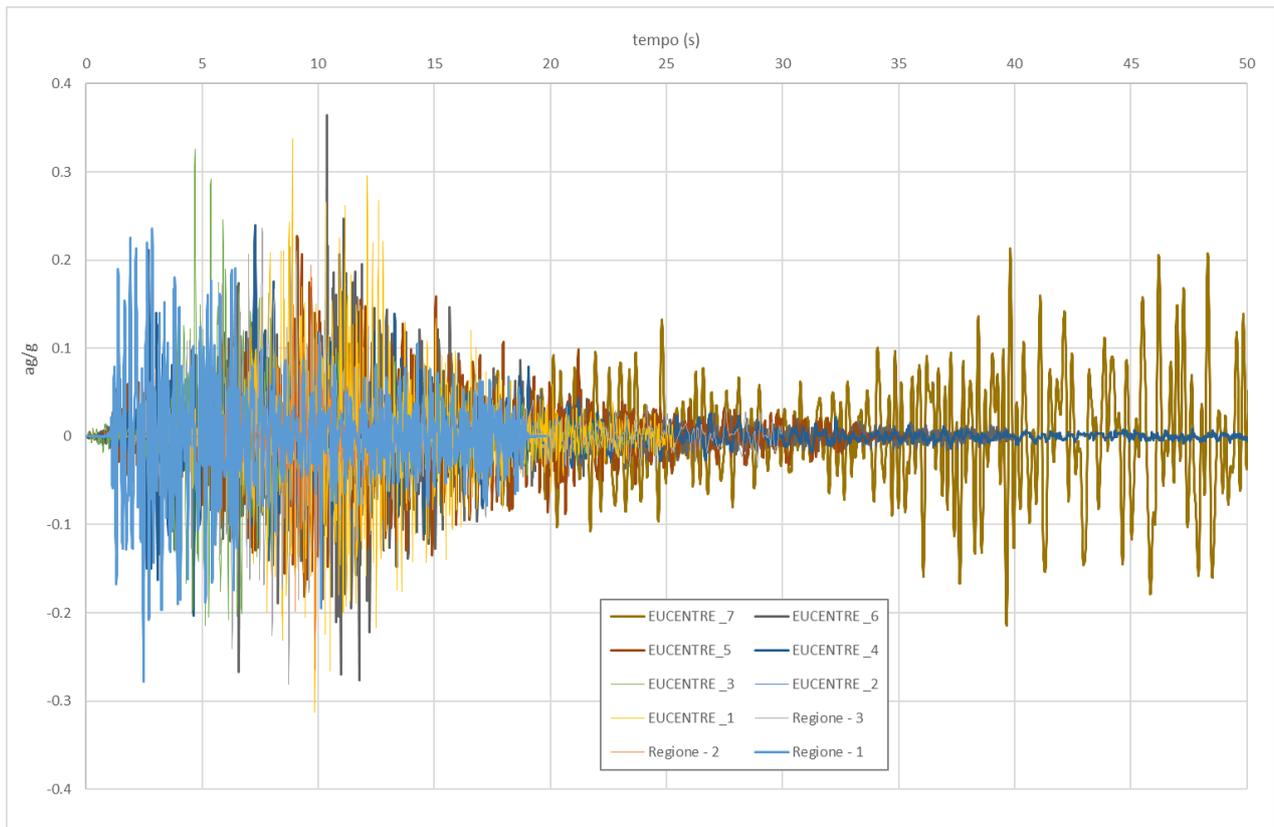
I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model
1	Frana	18.50	Frana RER	Frana RER
2	Substrato alterato	19.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI Rocks 21-50 feet

**Fig. 35 - Tipi di suolo del modello geofisico**

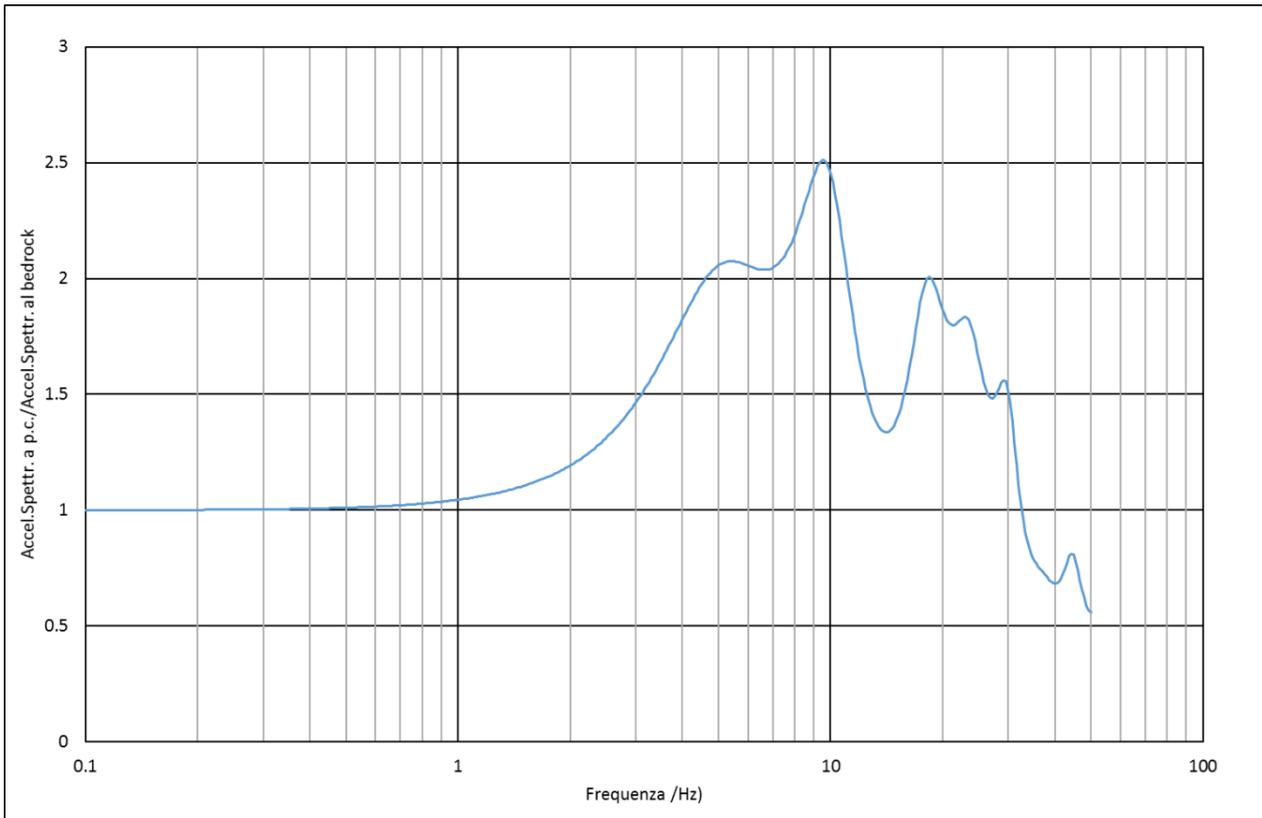
	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	1.60	Frana	150.00
2	1.60	4.10	Frana	250.00
3	5.70	4.10	Frana	360.00
4	9.80	19.90	Substrato alterato	603.00
5	29.70	Half-Space	Bedrock	800.00

**Fig. 36 - Modello geofisico**

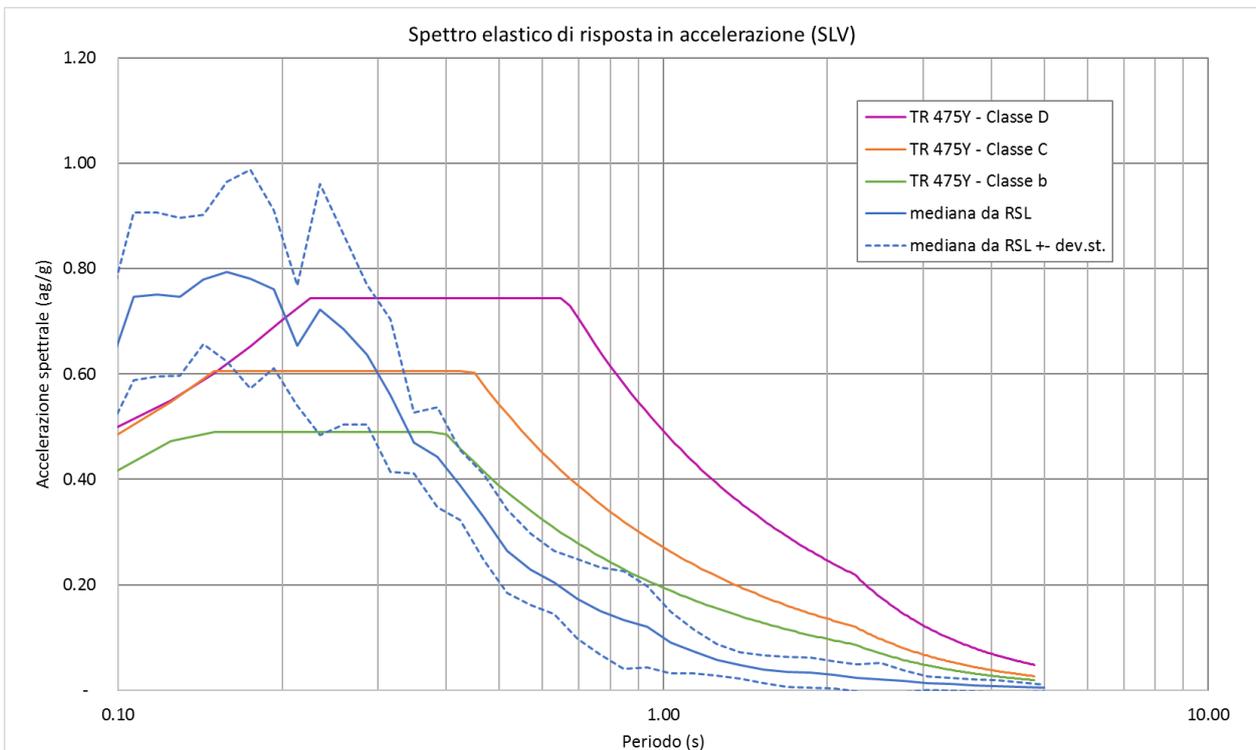


**Fig. 37 - Output accelerogrammi**

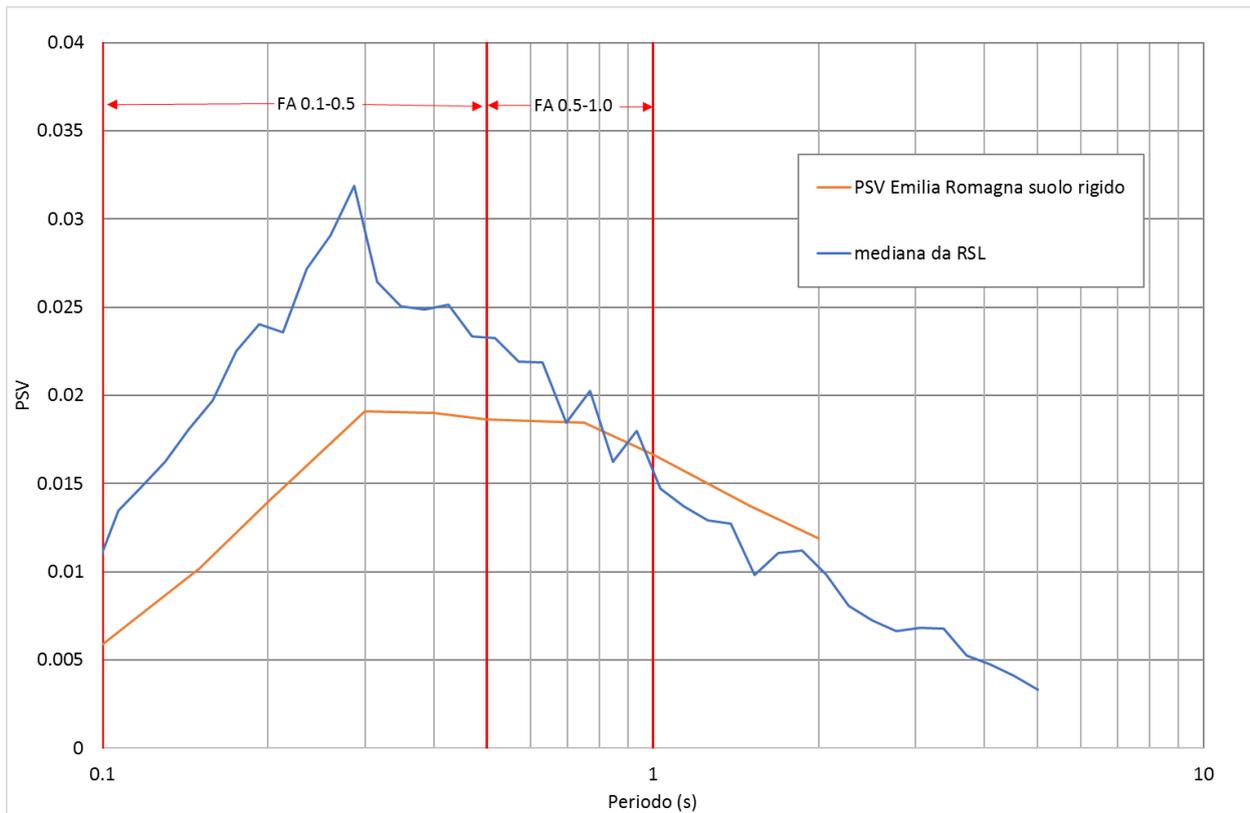
	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	65 di 99



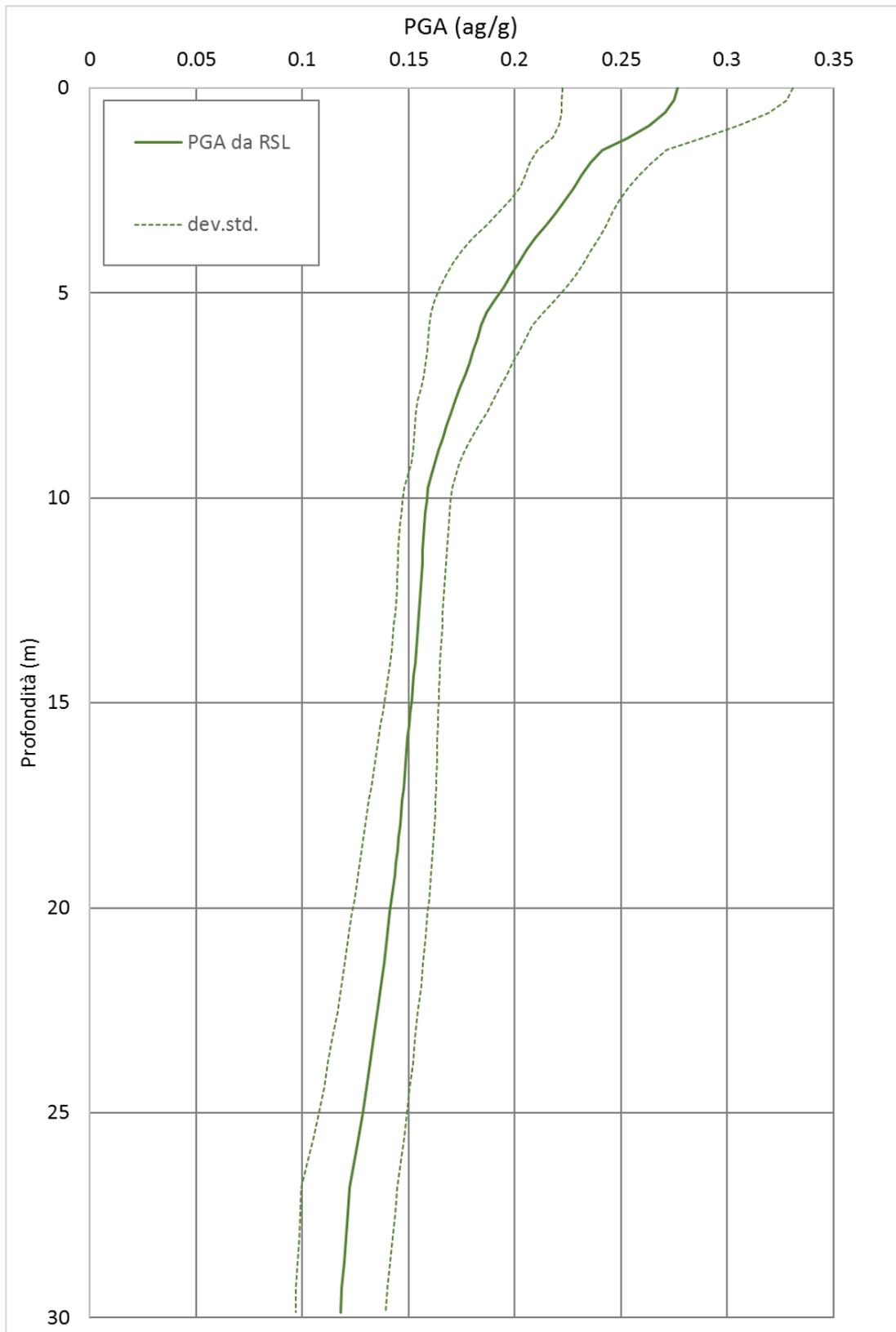
**Fig. 38 - Funzione di trasferimento**



**Fig. 39 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 40 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 41 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.71	1.7* - 2.0**	1.2
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.52	1.8* - 1.9**	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.03	1.2* - 1.4**	

**Tab. 9 - fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, VsH 414 m/s, spessore 30
- \*\* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 257 m/s, spessore 10

### 9.2.8 RSL per il sito di Varsì M3

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P32SS74 diversi sondaggi che interessano il deposito di frana. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M3 (in database denominata L13MASW13), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR H5 (in database denominata P41HVSR99).

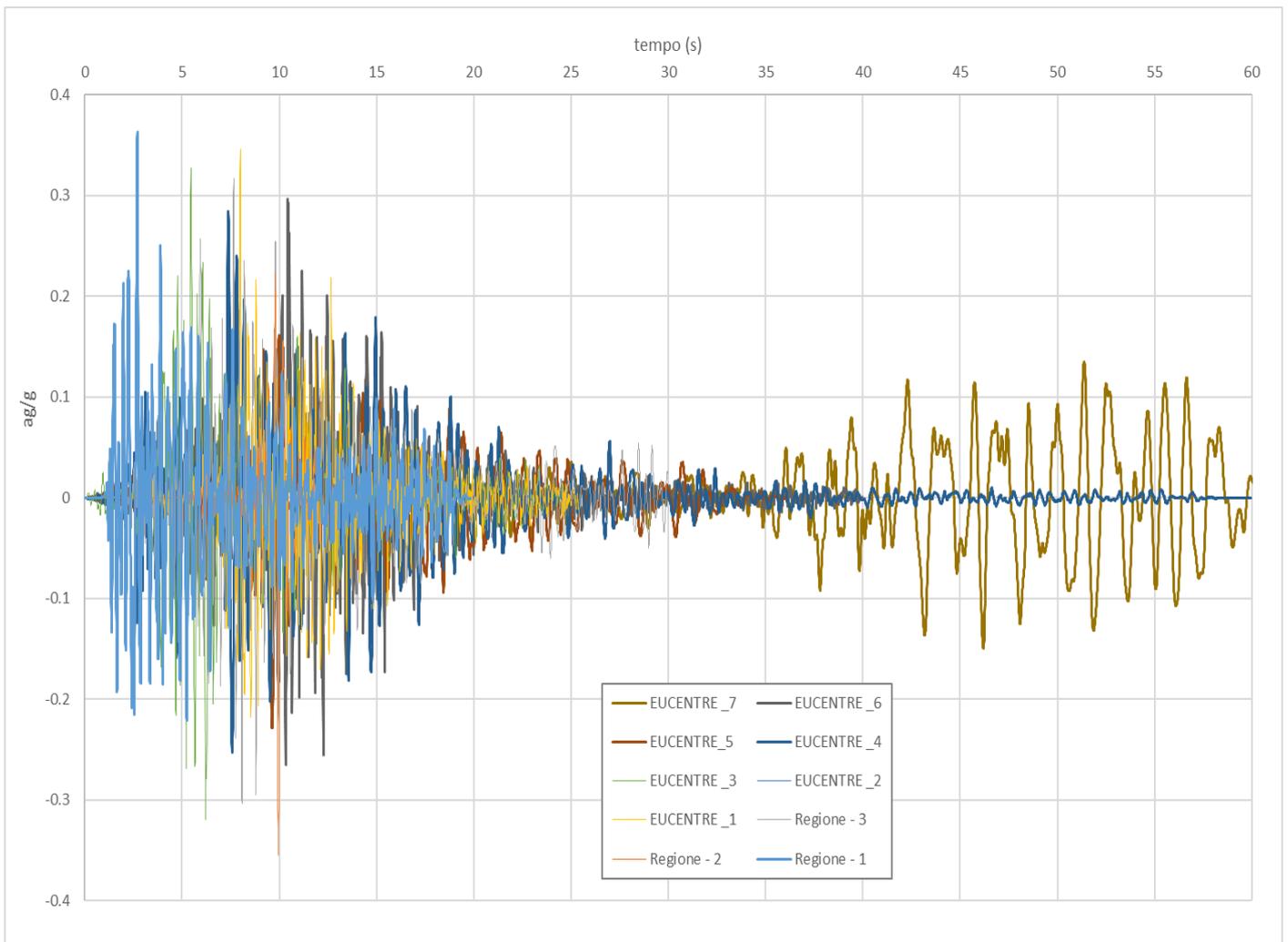
I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model
1	Frana	18.50	Frana RER	Frana RER
2	Substrato alterato	19.00	EPRI Rocks 21-50 feet	EPRI Rocks 21-50 feet

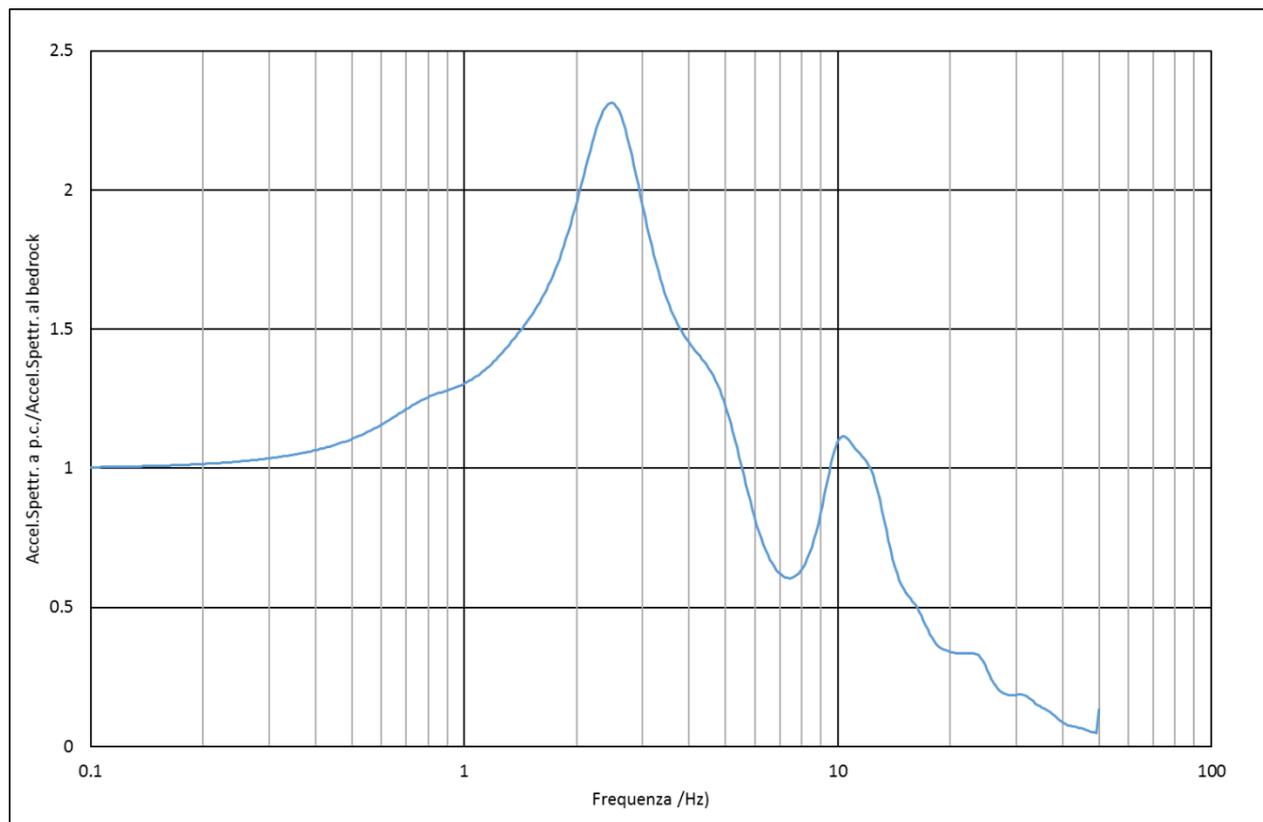
**Fig. 42 - Tipi di suolo del modello geofisico**

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	6.00	Frana	125.00
2	6.00	4.55	Frana	220.00
3	10.55	10.55	Frana	331.00
4	21.10	6.90	Frana	402.00
5	28.00	Half-Space	Bedrock	661.00

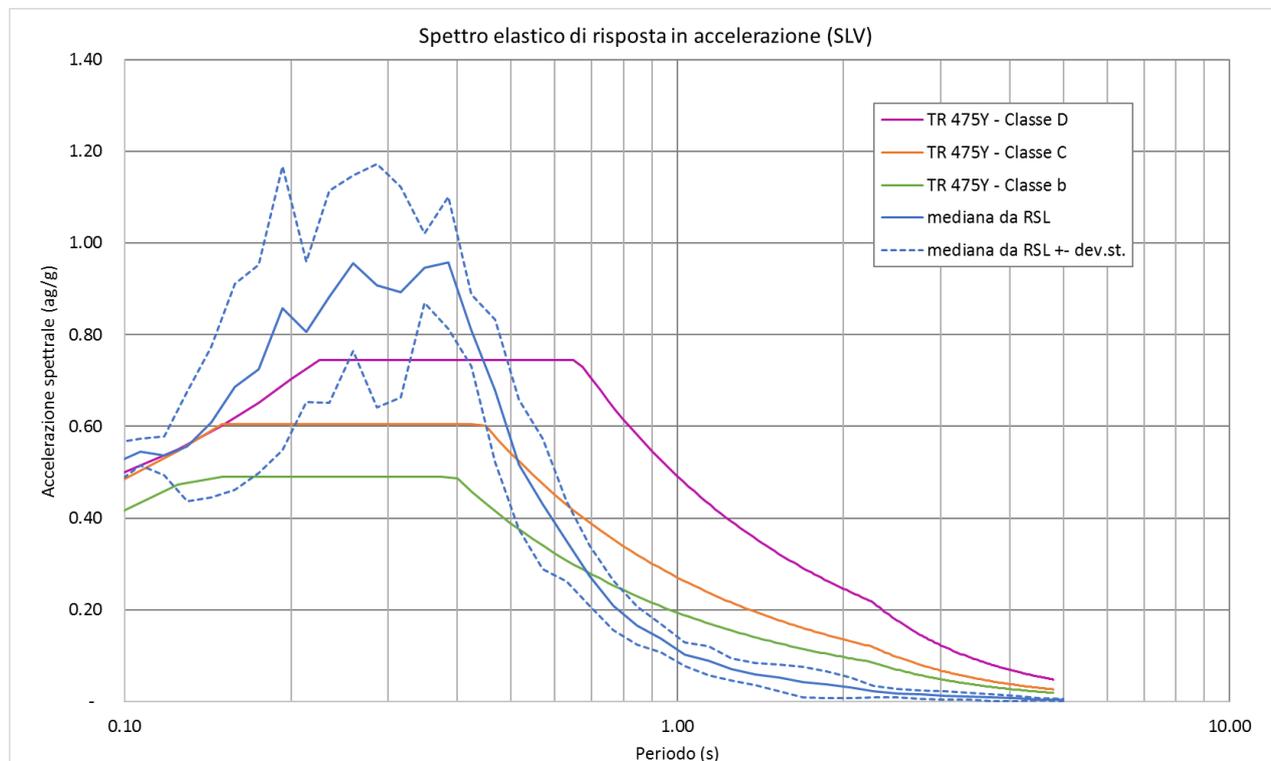
**Fig. 43 - Modello geofisico**



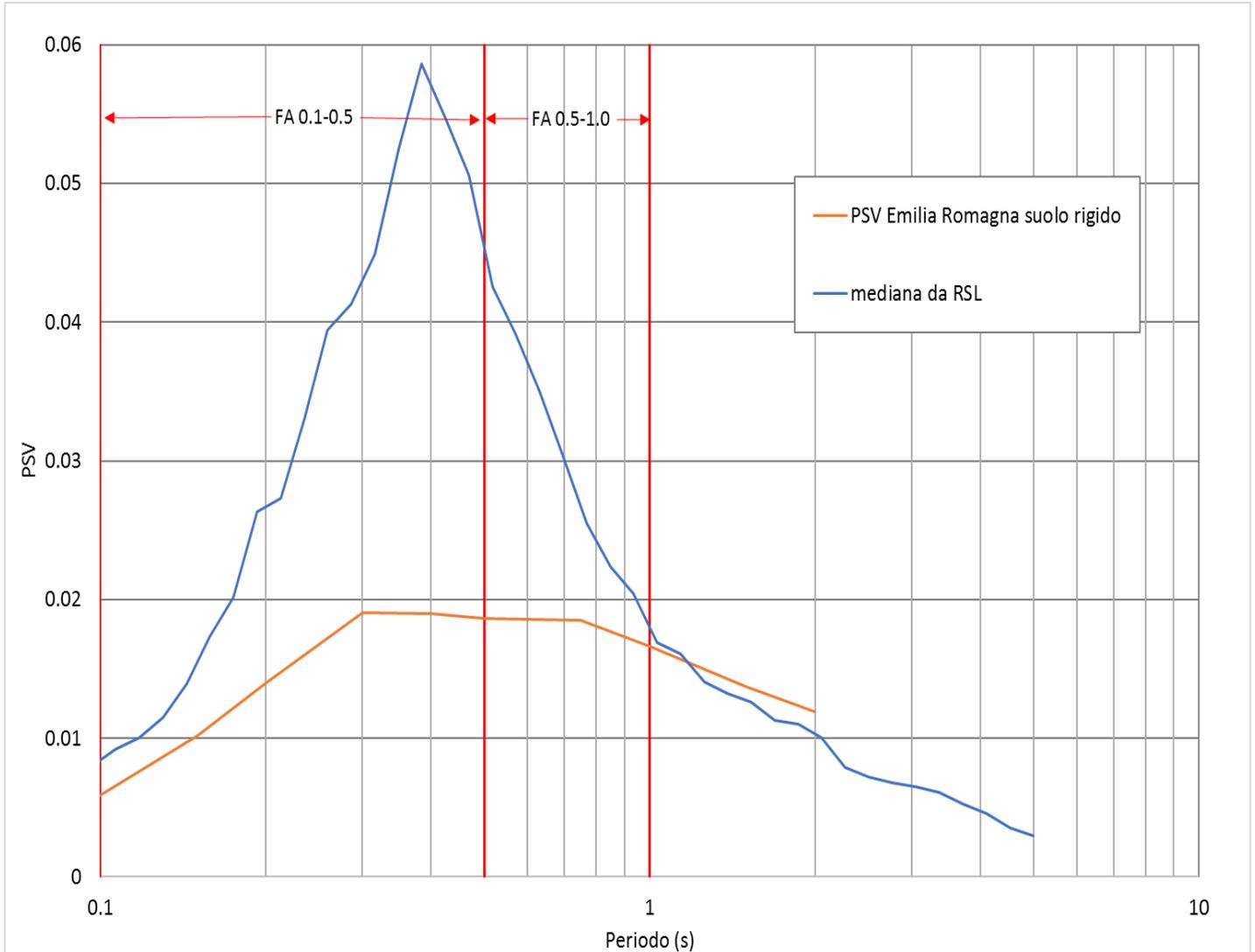
**Fig. 44 - Output accelerogrammi**



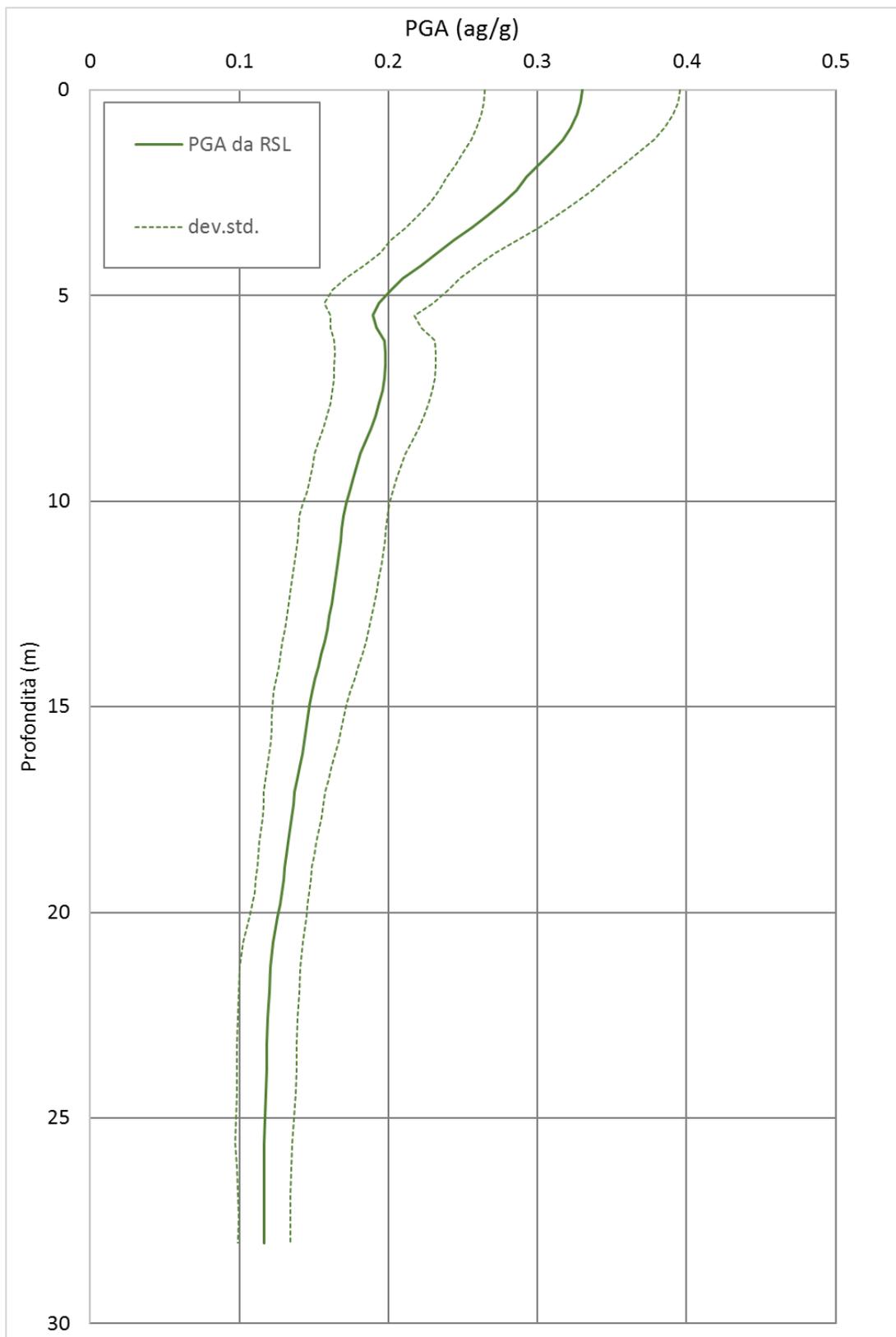
**Fig. 45 - Funzione di trasferimento**



**Fig. 46 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 47 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 48 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	2.04	1.9*	1.46
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	2.31	2.4*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.44	2.3*	

**Tab. 10 – fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock > 800 m/s, VsH 240 m/s, spessore 28

### 9.2.9 RSL per il sito di Pessola

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici relativi al sondaggio P32SS74 diversi sondaggi che interessano il deposito di frana. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono state desunte dalla prova MASW M4 (in database denominata L14MASW14) e dalla Tomografia sismica SR2 (in database denominata L16SR16), mentre per la funzione di trasferimento si è fatto riferimento al confronto con la prova HVSR H1 (in database denominata P37HVSR95).

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

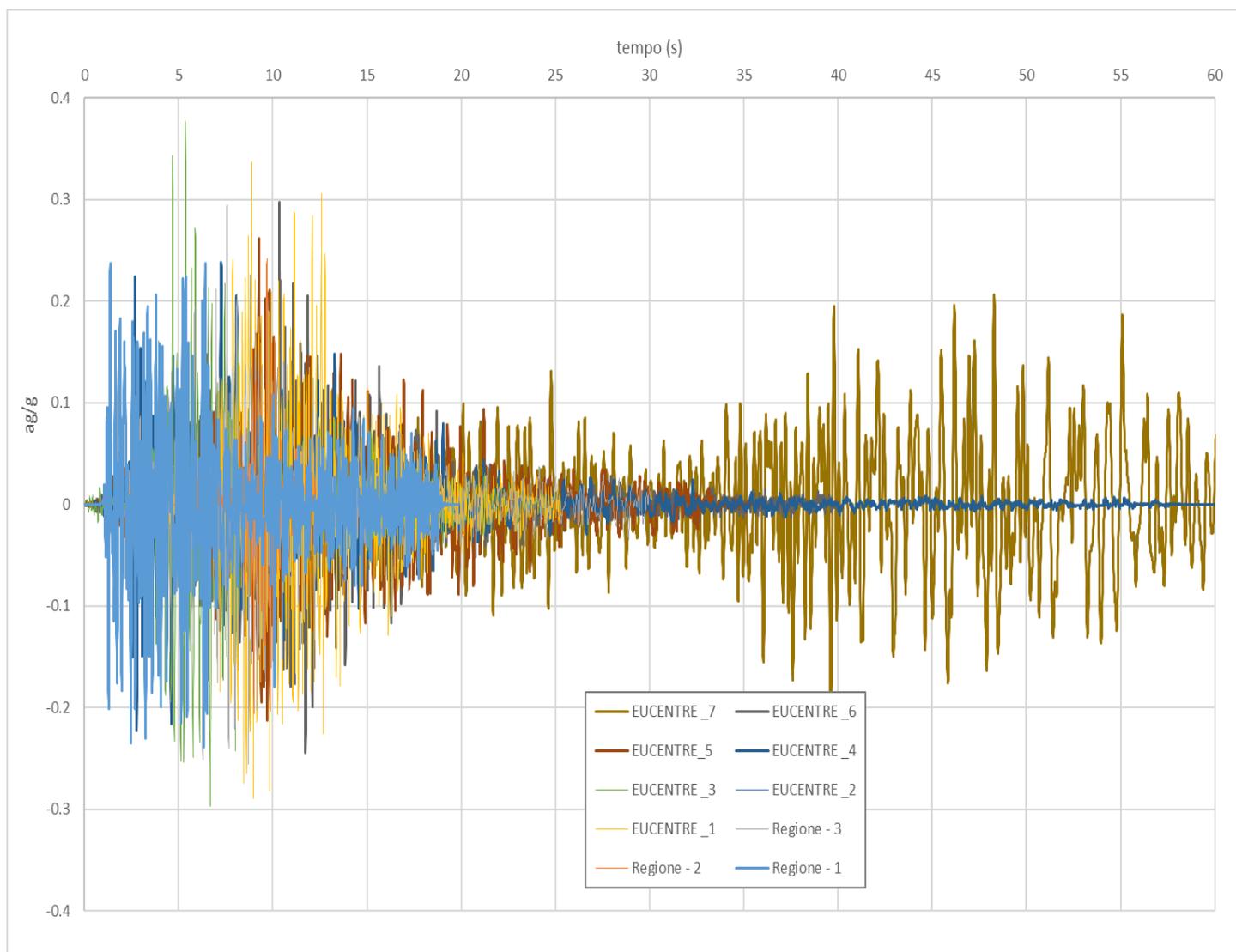
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model
1	Frana	18.50	Frana RER	Frana RER
2	Substrato alterato	19.00	EPRI Rocks 0-20 feet	EPRI Rocks 0-20 feet

**Fig. 49 – Tipi di suolo del modello geofisico**

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	Frana	170.00
2	3.00	3.70	Frana	180.00
3	6.70	3.20	Substrato alterato	500.00
4	9.90	Half-Space	Bedrock	640.00

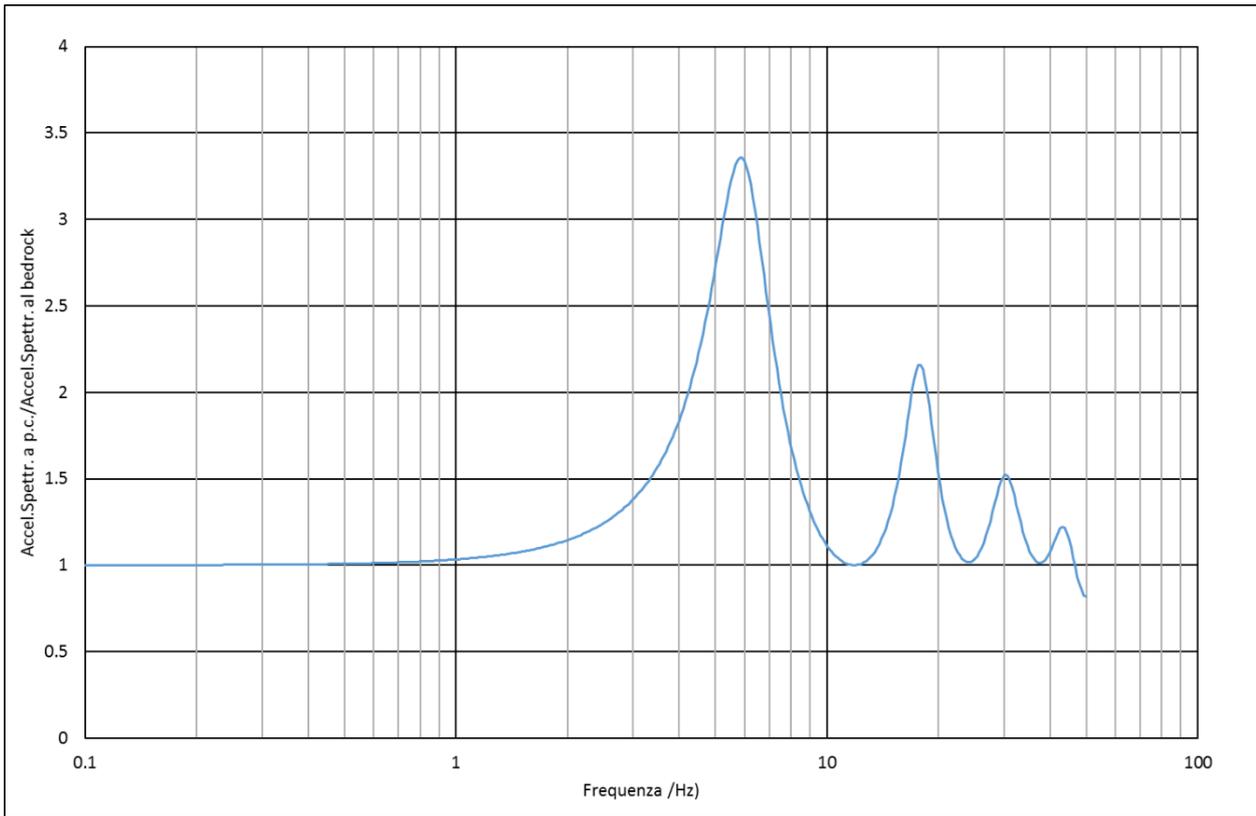
**Fig. 50 – Modello geofisico**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	74 di 99

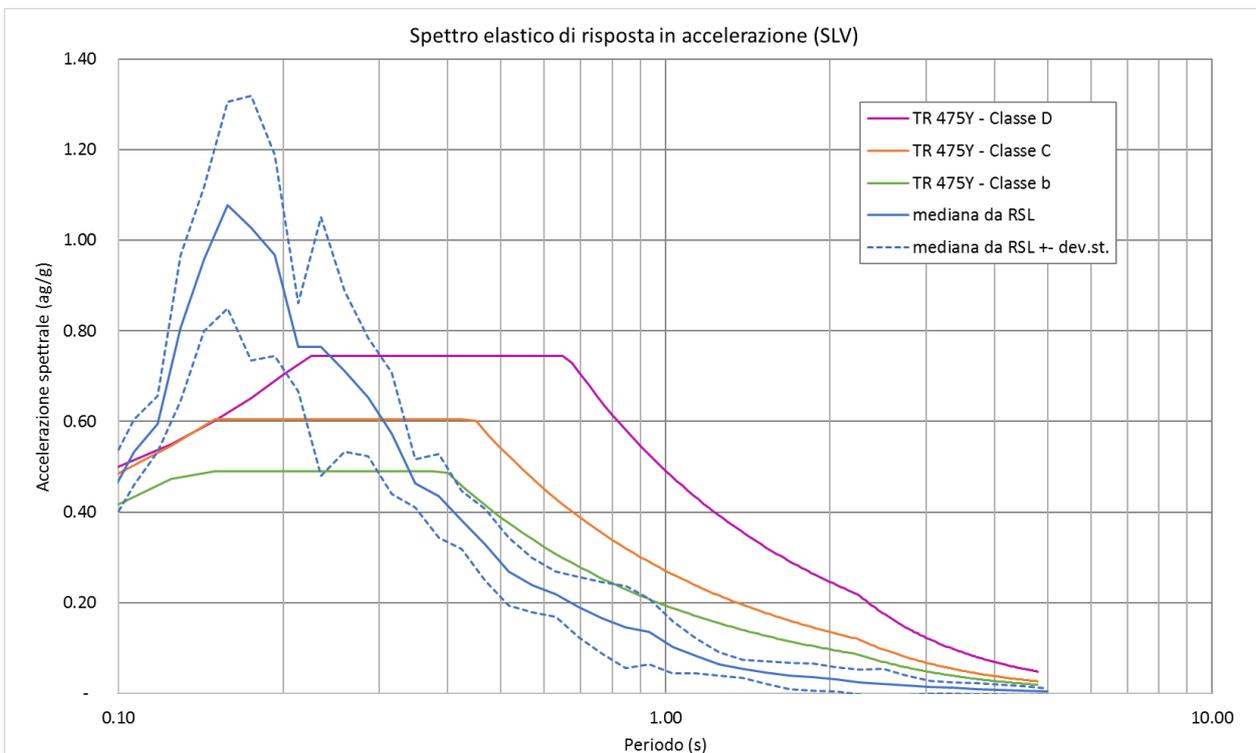


**Fig. 51 - Output accelerogrammi**

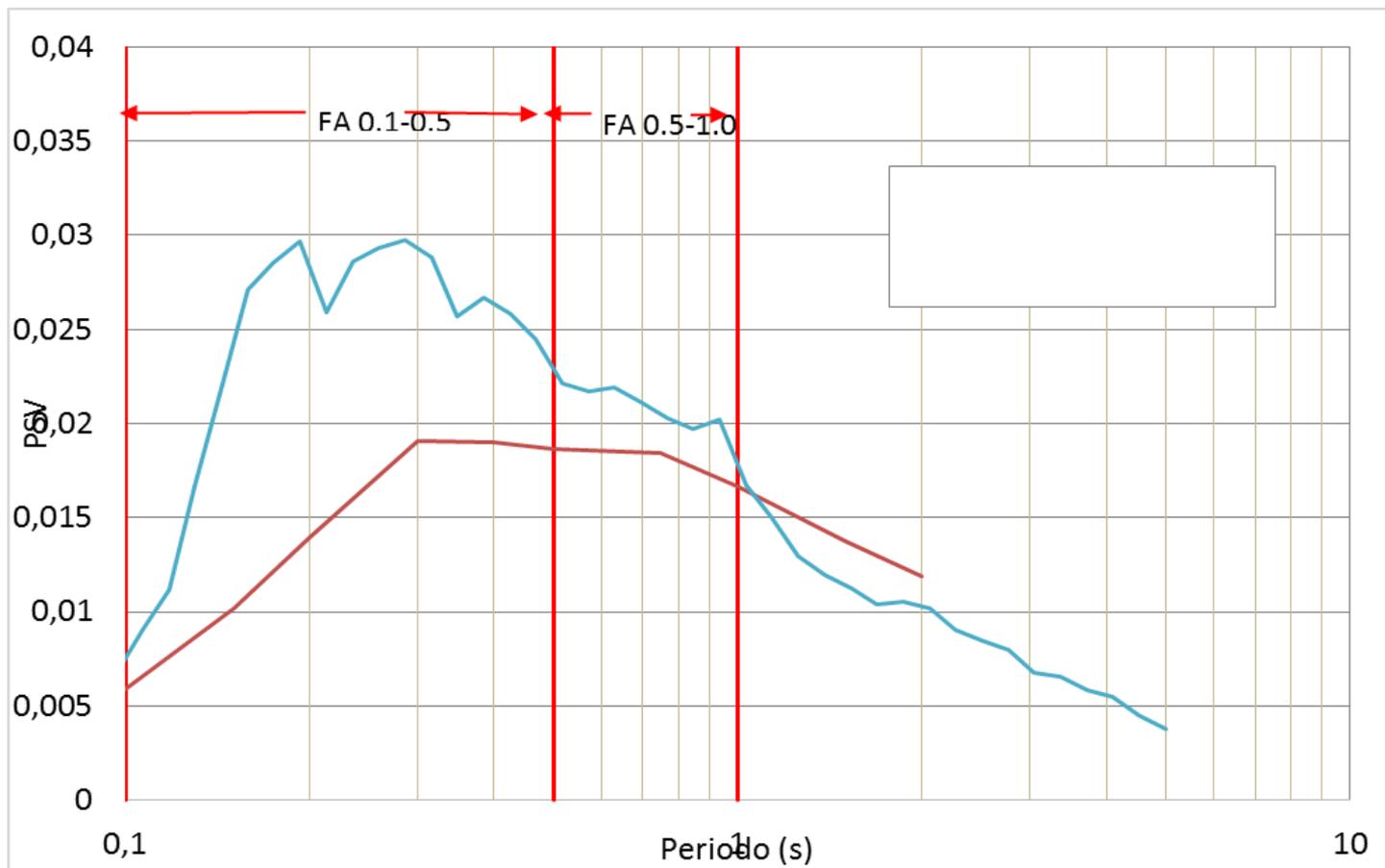
 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	75 di 99



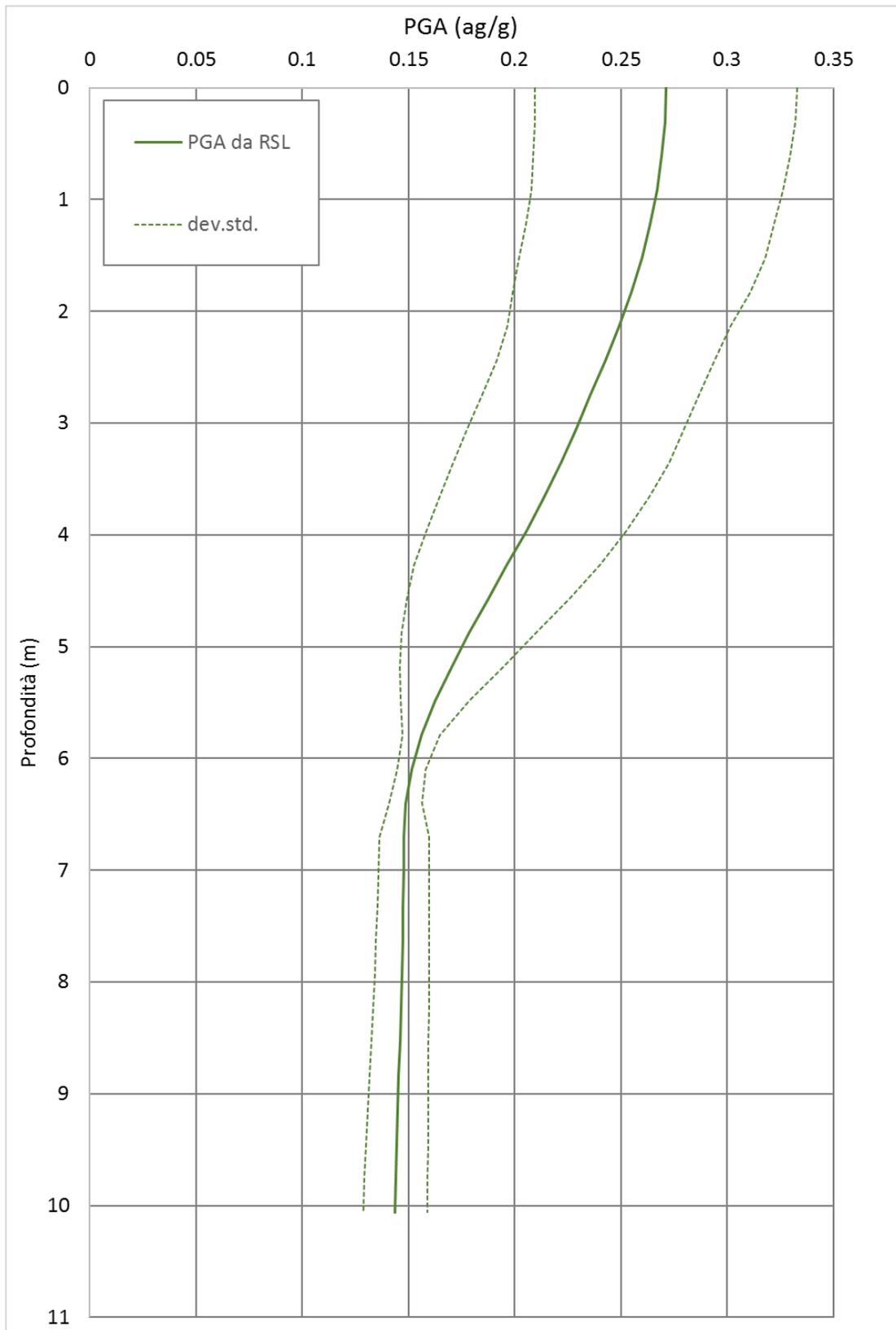
**Fig. 52 - Funzione di trasferimento**



**Fig. 53 - Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione**



**Fig. 54 - Confronto tra gli spettri elastici in velocità**



**Fig. 55 - Variazione dell'accelerazione con la profondità**

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

	RSL	DGR 2193/2015	NTC 2008
$FA_{PGA}$	1.68	2.00*	1.46
$FA_{IS\ 0.1-0.5}$	1.60	1.70*	
$FA_{IS\ 0.5-1.0}$	1.13	1.40*	

**Tab. 11 – fattori di amplificazione**

- \* Tabella appennino, bedrock << 800 m/s, VsH 175 m/s, spessore 6.70

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	79 di 99

### 9.3 Stabilità di versante

#### 9.3.1 Metodo di verifica

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità è stata condotta mediante il programma di calcolo SLOPE della GEOSTRU. In particolare, in questa sede si è fatto riferimento al metodo di *Jambu*, che prevede l'utilizzo di superfici di scivolamento di forma qualsiasi.

Il metodo di *Jambu* è un semplice, ma accurato, metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n* strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale *N<sub>j</sub>* agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

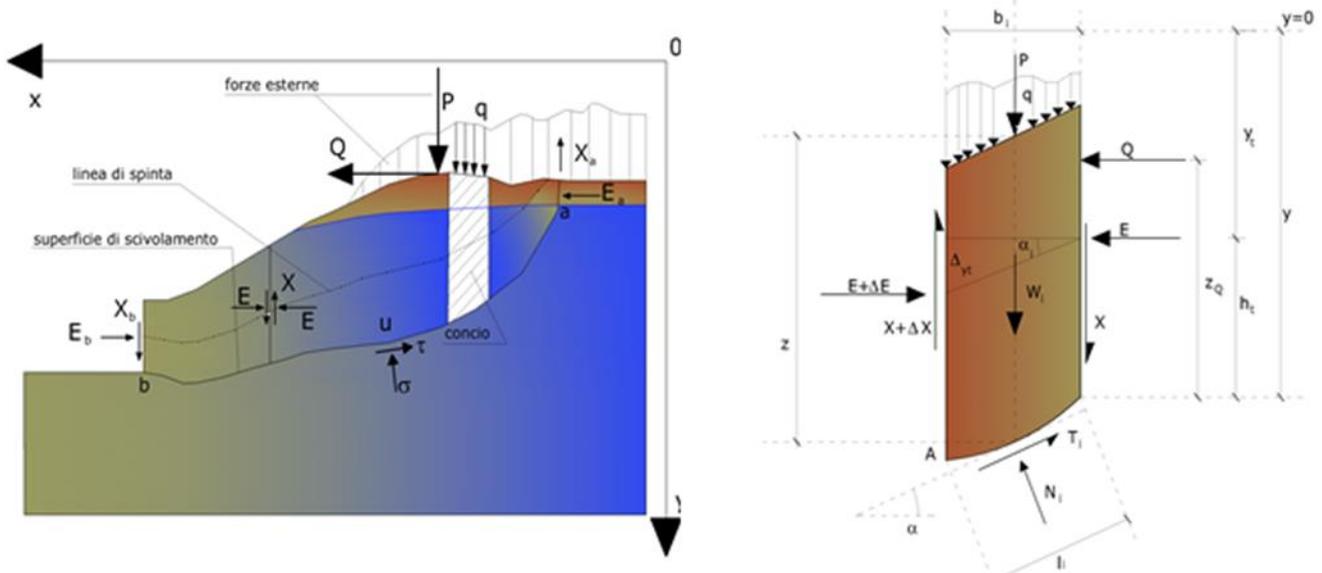
- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Il fattore di sicurezza risulta calcolato dalla seguente formula

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

In cui i diversi parametri assumono i significati descritti in Fig. 56

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	80 di 99

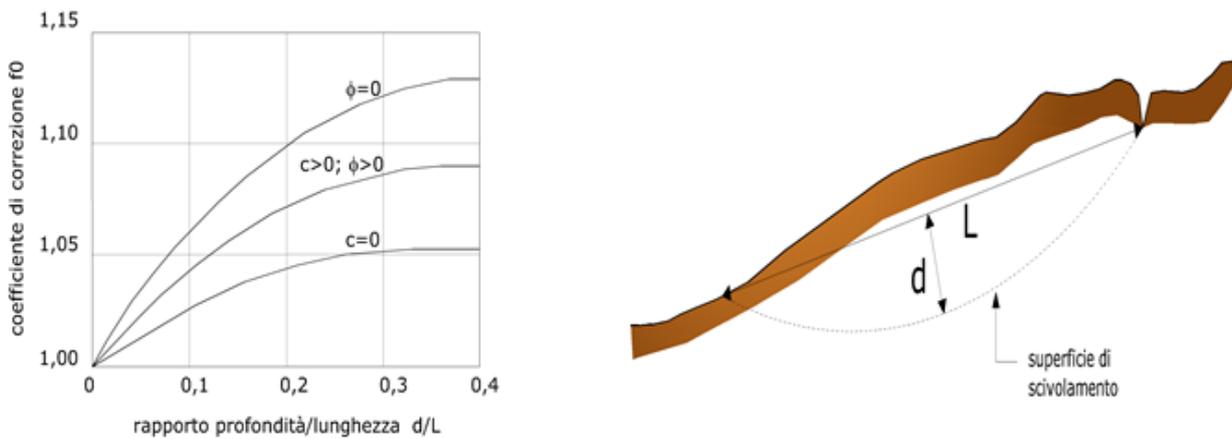


**Fig. 56 - Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso**

Janbu, inoltre, propone un metodo per la correzione del fattore di sicurezza che tiene conto della forma della frana e dei parametri geotecnici:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici (Fig. 57). Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



**Fig. 57 - Correzione del fattore di sicurezza in funzione della forma della frana e dei parametri geotecnici**

La stabilità nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico considerando un incremento della spinta a tergo del blocco dovuta

all'accelerazione (verticale ed orizzontale) provocata dal sisma stesso. Tali valori dell'accelerazione provocata dal sisma sono valutati come una frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  e i coefficienti moltiplicatori di  $g$  ( $K_x$  e  $K_y$ ) variano con le caratteristiche sismiche della zona. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono quindi considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

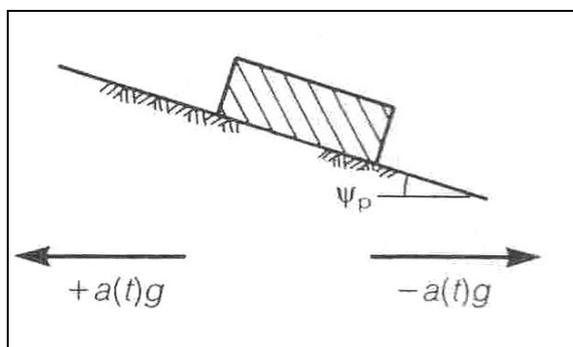
$$F_V = K_y W$$

Essendo  $F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro di ogni concio,  $W$  il peso del concio e  $K_x$  e  $K_y$  i coefficienti sismici orizzontale e verticale già introdotti in precedenza.

Gli effetti dello spostamento indotto dal sisma sono stati calcolati con il metodo di *Newmark*.

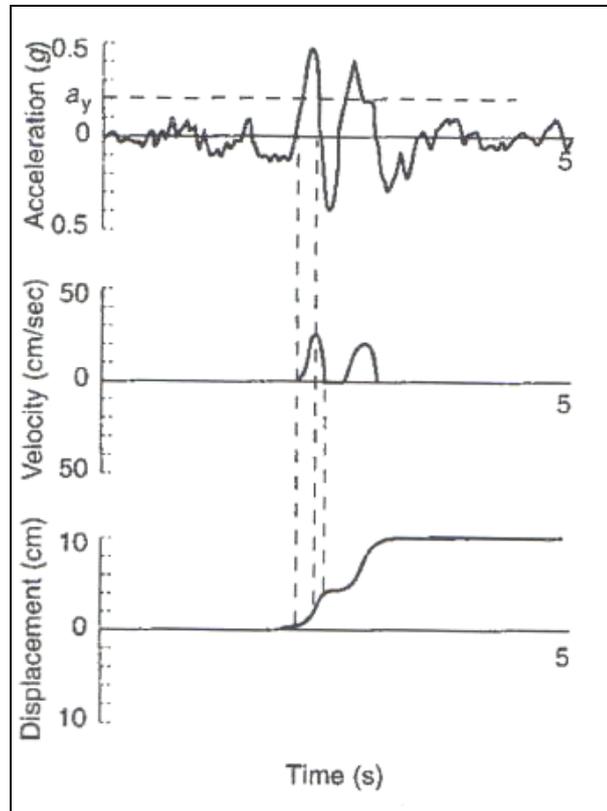
L'analisi alla *Newmark* è un metodo di analisi numerica utile alla definizione dello spostamento di una frana potenziale, considerata come un blocco rigido disposto su un pendio, imponendo le forze dinamiche (sisma) agenti sul blocco stesso. In sostanza il metodo valuta lo spostamento di un blocco di massa pari a quella del corpo in frana, sottoposto alla accelerazione indotta dal sisma (cfr. Fig. 58).

Una volta definita la superficie di scorrimento il programma utilizzato (QSIM della GEOSTRU) definisce l'accelerazione critica che determina il movimento del blocco equivalente al volume della frana e successivamente confronta tale valore con l'accelerogramma del sito per valutare per quanto tempo il blocco rimane in condizioni di accelerazione superiori a quella critica (cfr. Fig. 59).



**Fig. 58 - Schematizzazione del metodo di *Newmark***

Il calcolo degli spostamenti permanenti avviene attraverso la doppia integrazione (accelerazione >> velocità >> spostamento) delle porzioni dell'accelerogramma che supera il valore di accelerazione critica (al di sopra del quale si ha instabilità).

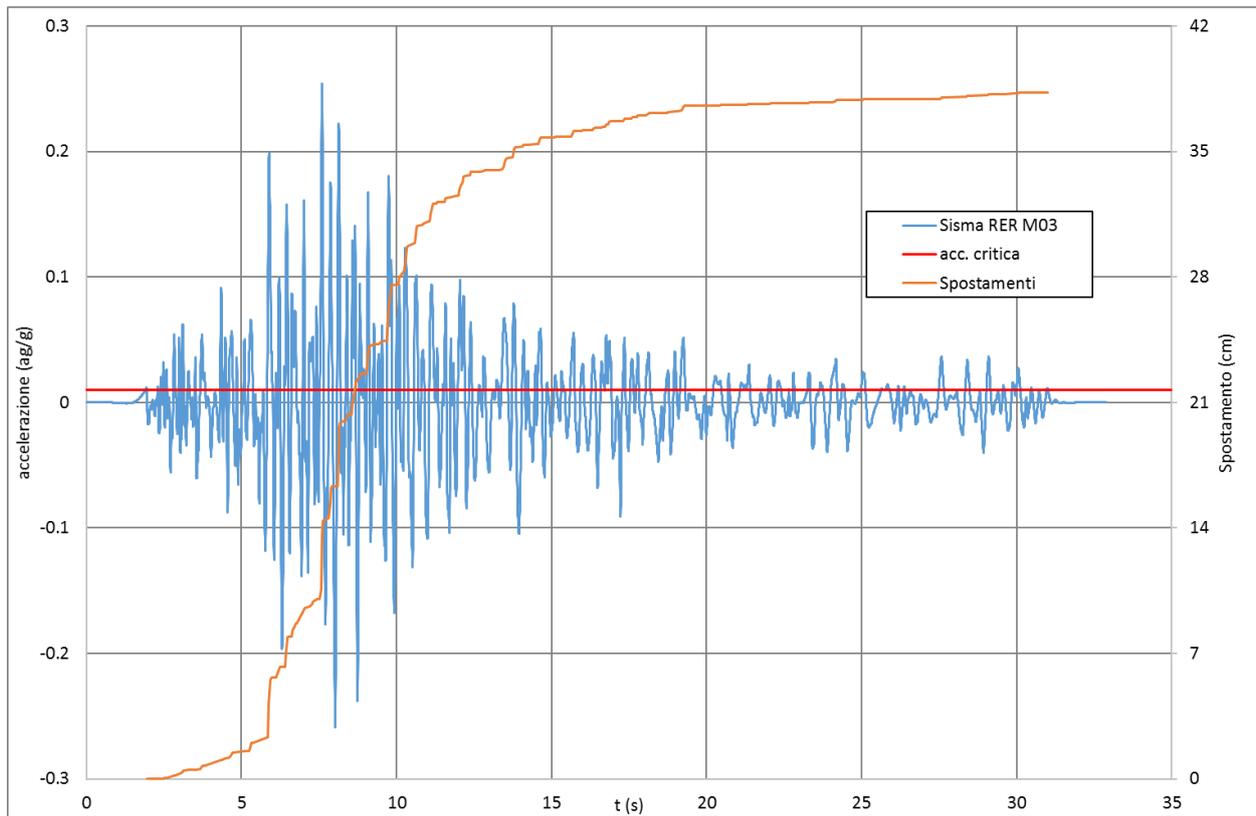


**Fig. 59 - Esempificazione della metodologia di *Newmark*, con doppia integrazione dell'accelerogramma**

In pratica il programma calcola lo spostamento massimo per ciascun accelerogramma considerato di riferimento, per la porzione di pendio di cui il metodo pseudostatico ha definito il fattore di sicurezza minimo.

A titolo esemplificativo in Fig. 60 si riporta il risultato di una verifica effettuata per la frana di Varsì ipotizzando un fattore di sicurezza  $F_s=1$

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	83 di 99



**Fig. 60 – Risultati della verifica dello spostamento della frana di Varsi per con  $F_s=1$  per il sisma RER M03**

**9.3.2 Le ipotesi verificate**

Le verifiche sono state effettuate sulle zone di attenzione per instabilità di versante identificate nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Lo spessore dei corpi di frana e la posizione della superficie di scorrimento sono quelle descritte nel paragrafo 8.2. Si rimanda, invece al capitolo 6 per la descrizione delle incertezze relative a tali determinazioni.

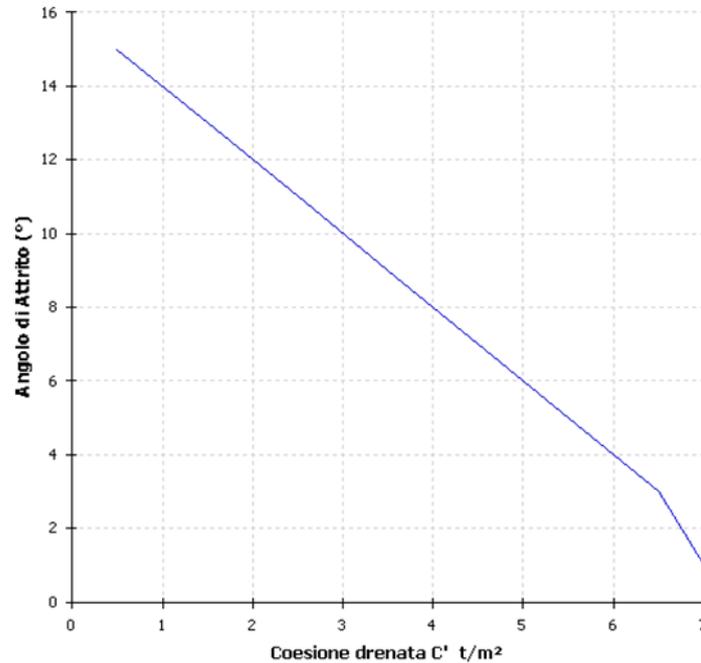
Il numero e le dimensioni degli ammassi franosi non hanno consentito, anche in relazione ai fondi disponibili, di effettuare le indagini che l’Allegato 3 punto C) della DGR 2193/2015 indica come opportune per la verifica di stabilità in condizioni sismiche. In particolare non sono disponibili dati affidabili relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana.

Per questo motivo si è preferito procedere con una metodologia di verifica mediante *back analysis*: definita la superficie di scorrimento della frana si è effettuata una verifica in condizioni non sismiche che ha fornito le coppie dei parametri geotecnici  $\phi'$  e  $c'$  che determinano un coefficiente di sicurezza  $F_s=1$  (cfr. Fig. 61).

Considerato che si tratta, perlopiù, di frane quiescenti, il cui coefficiente di sicurezza non è noto, ma che deve risultare  $F_s \geq 1$ , si è quindi proceduto con successive verifiche,

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	84 di 99

aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.



**Fig. 61 – Esempio di *back analysis* per la frana di Varsì**

Per ciascuna di queste verifiche è stata quindi calcolata l’accelerazione critica e successivamente è stata effettuata l’analisi dinamica.

La verifica dinamica è stata effettuata per i tre accelerogrammi forniti dalla regione Emilia Romagna, già descritti nel paragrafo 9.2.2, opportunamente scalati mediante i metodi della risposta sismica locale (accelerogrammi di output di Strata cfr. Cap. 9.2).

In questo modo, per ciascuna frana, si è ottenuta una tabella in cui vengono riportati gli spostamenti calcolati in funzione del coefficiente di sicurezza crescente (cfr. Tab. 12)

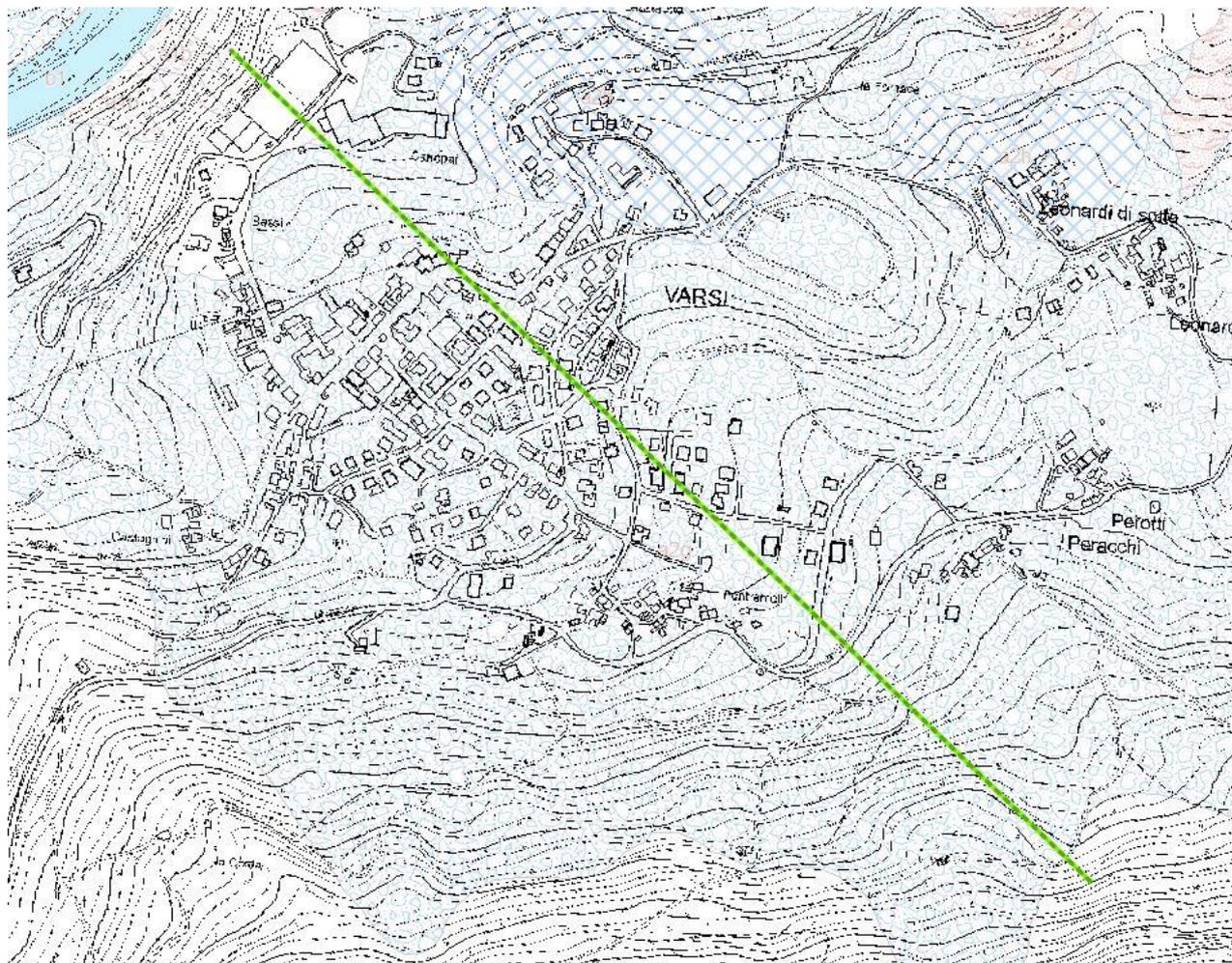
c <sub>u</sub>	F <sub>s</sub>	Ac	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm <sup>2</sup>	-	a <sub>g</sub> /g	cm	cm	cm
0.75	1	0.01	25.42	4.49	38.26
0.8	1.08	0.02	11.08	1.87	16.22
0.85	1.15	0.03	6.41	1.04	9.15
0.9	1.22	0.04	4.17	0.66	5.79
0.96	1.3	0.06	2.88	0.45	3.88
1.03	1.4	0.07	1.53	0.23	1.96

**Tab. 12 – Tabella riassuntiva delle verifiche effettuate per la frana di Varsì**

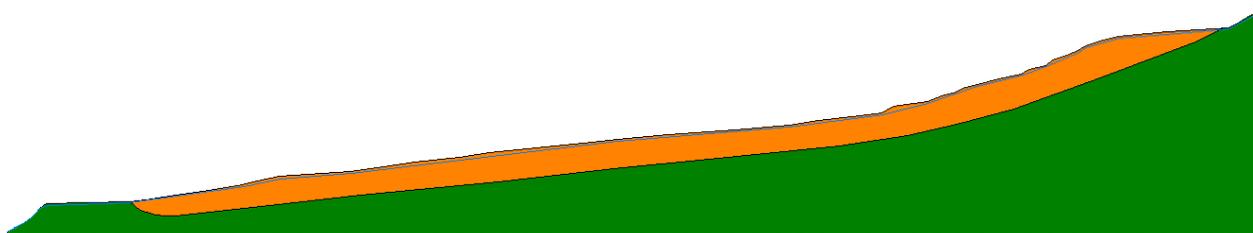
Nella Carta di microzonazione sismica che saranno descritte nel paragrafo 9.4 il valore di spostamento riportato di III livello è quello massimo registrato con  $F_s=1$ .

Di seguito si riportano in modo sintetico i risultati delle verifiche eseguite per le diverse aree di frana analizzate.

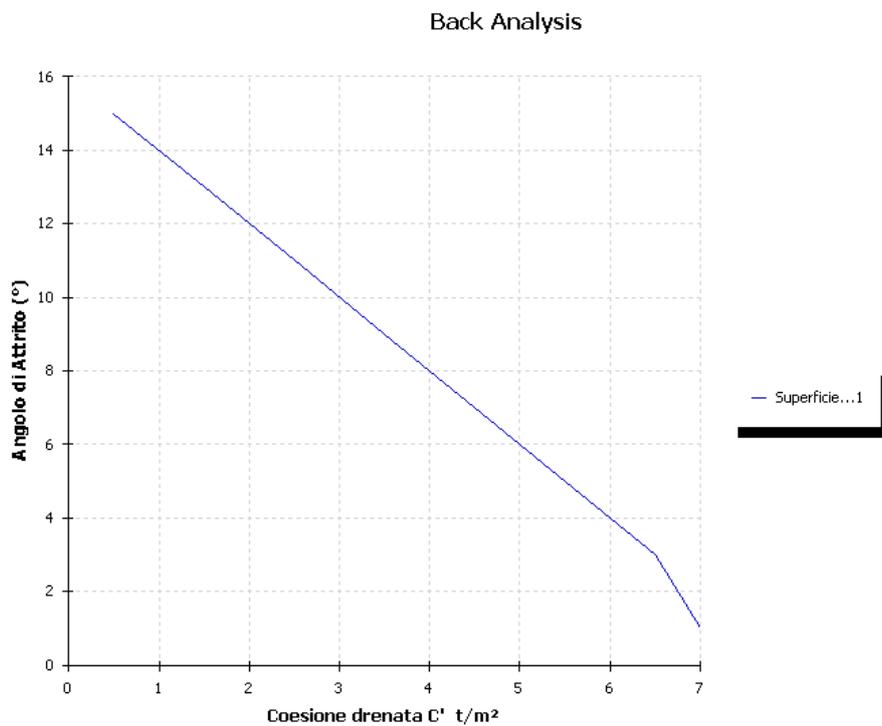
### 9.3.3 Frana di Varsì



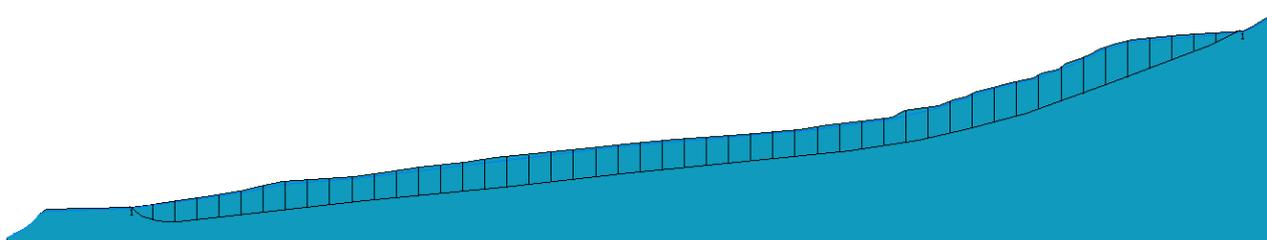
**Fig. 62 - Ubicazione della sezione analizzata**



**Fig. 63 - Sezione analizzata**



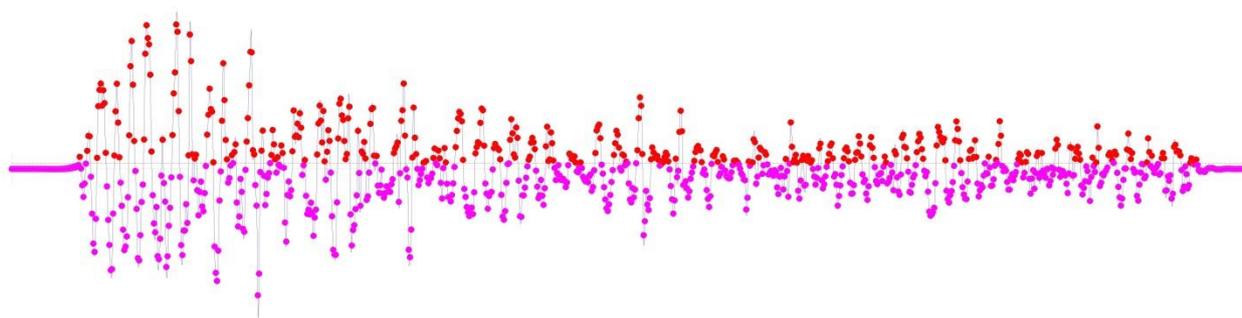
**Fig. 64 - Back Analysis: grafico angolo di attrito - coesione drenata**



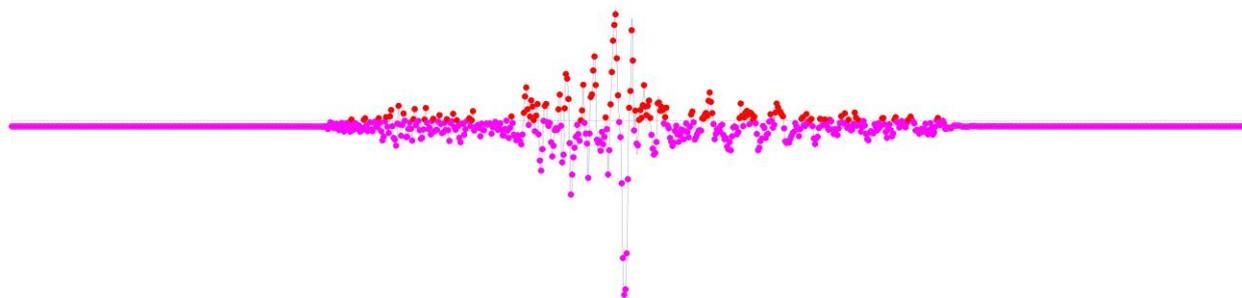
**Fig. 65 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo di frana**

Sisma M1 da Regione Emilia-Romagna

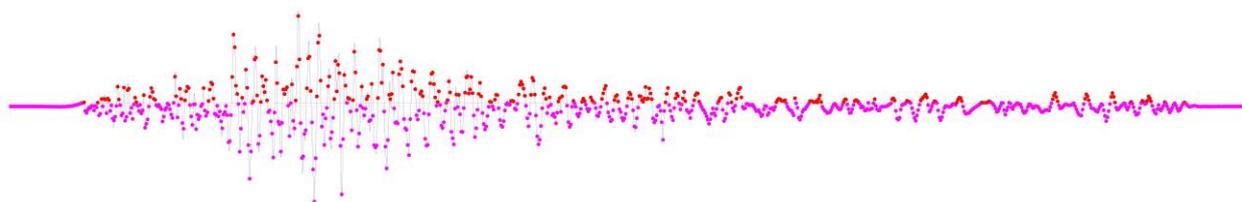
 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	87 di 99



Sisma M2 da Regione Emilia-Romagna



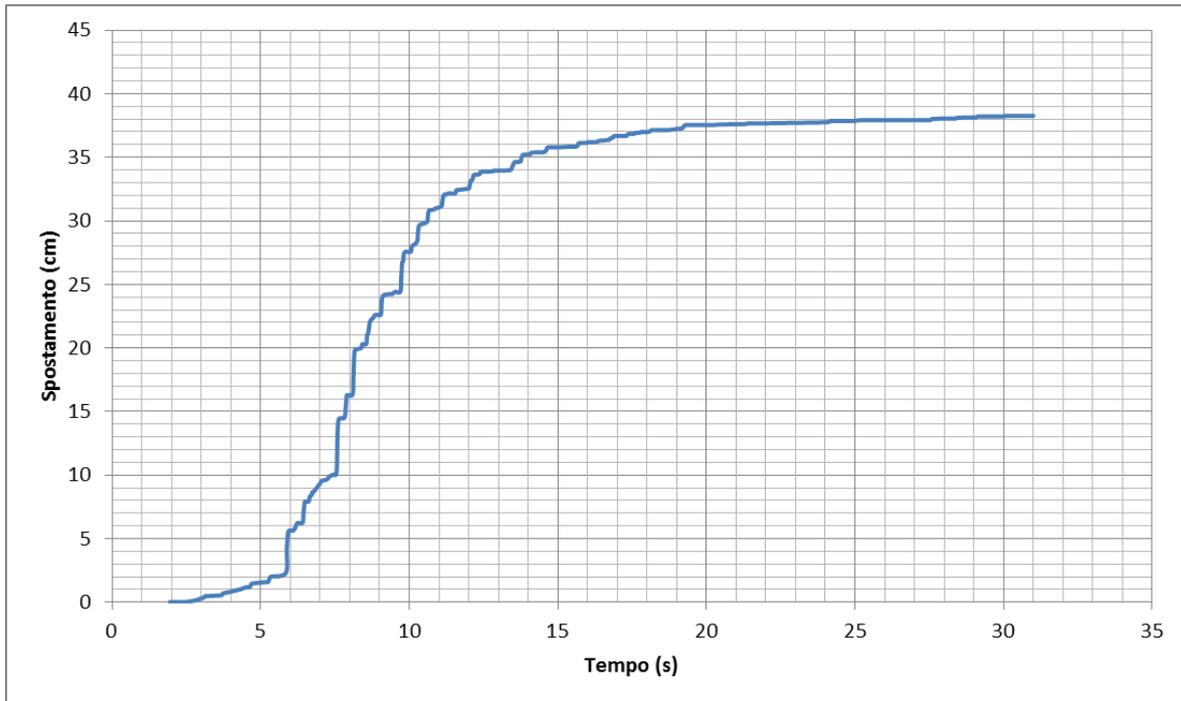
Sisma M3 da Regione Emilia-Romagna



**Fig. 66 – Analisi dinamica: accelerogrammi (in rosso i punti con accelerazione superiore all’accelerazione critica che determinano spostamento)**

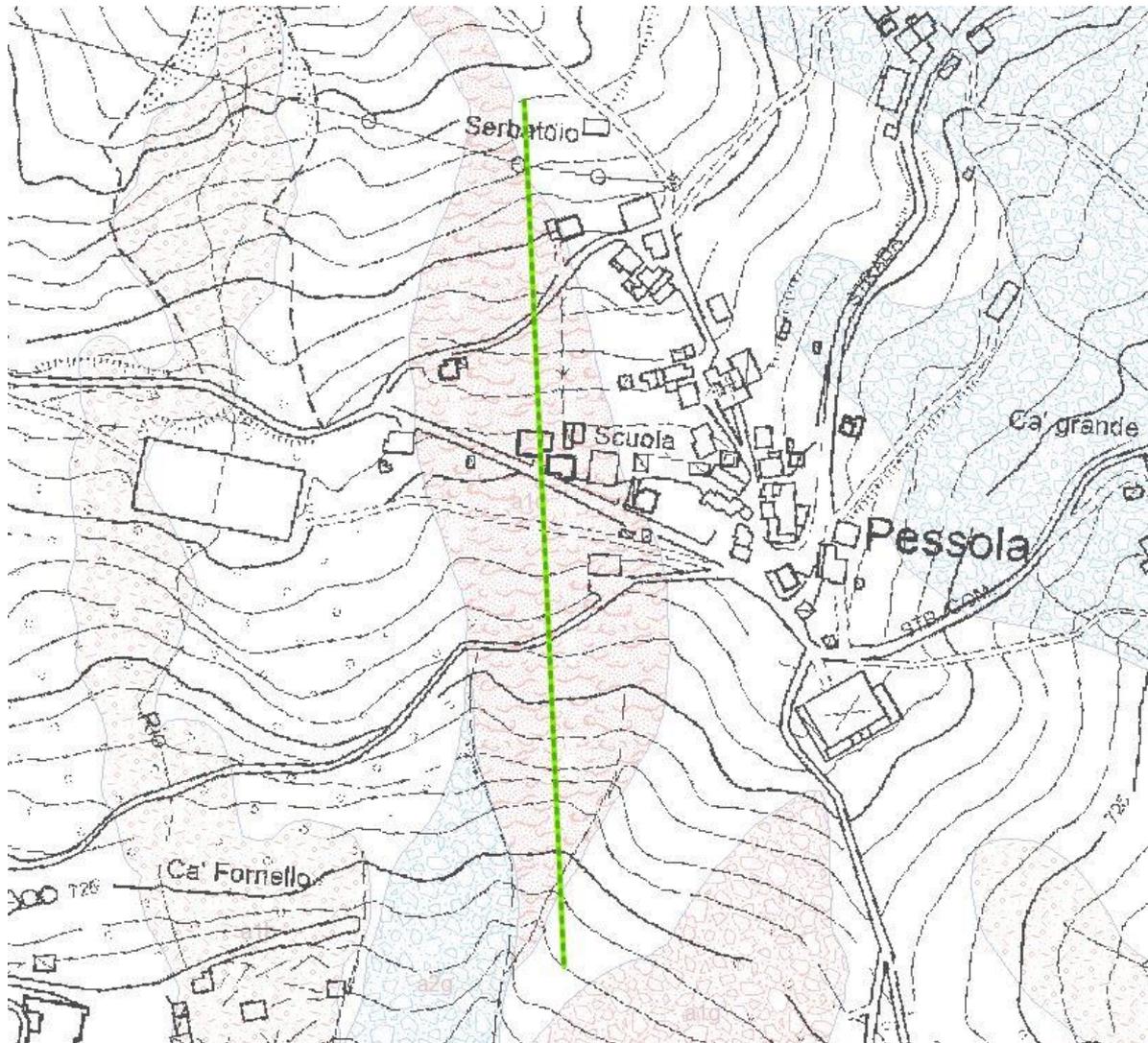
c <sub>u</sub>	F <sub>s</sub>	A <sub>c</sub>	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm <sup>2</sup>	-	a <sub>g</sub> /g	cm	cm	cm
0.75	1	0.01	25.42	4.49	38.26
0.8	1.08	0.02	11.08	1.87	16.22
0.85	1.15	0.03	6.41	1.04	9.15
0.9	1.22	0.04	4.17	0.66	5.79
0.96	1.3	0.06	2.88	0.45	3.88
1.03	1.4	0.07	1.53	0.23	1.96

**Tab. 13 – Analisi dinamica: tabella riassuntiva**

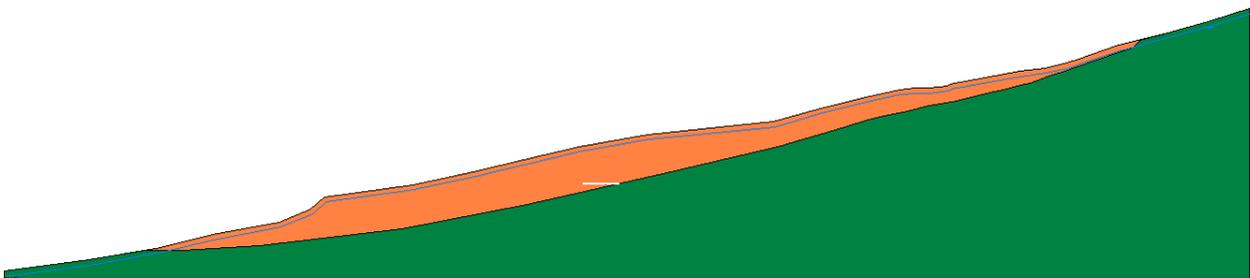


**Fig. 67 – Analisi dinamica: grafico tempo – spostamento per il caso più critico**

**9.3.4 Frana di Pessola**



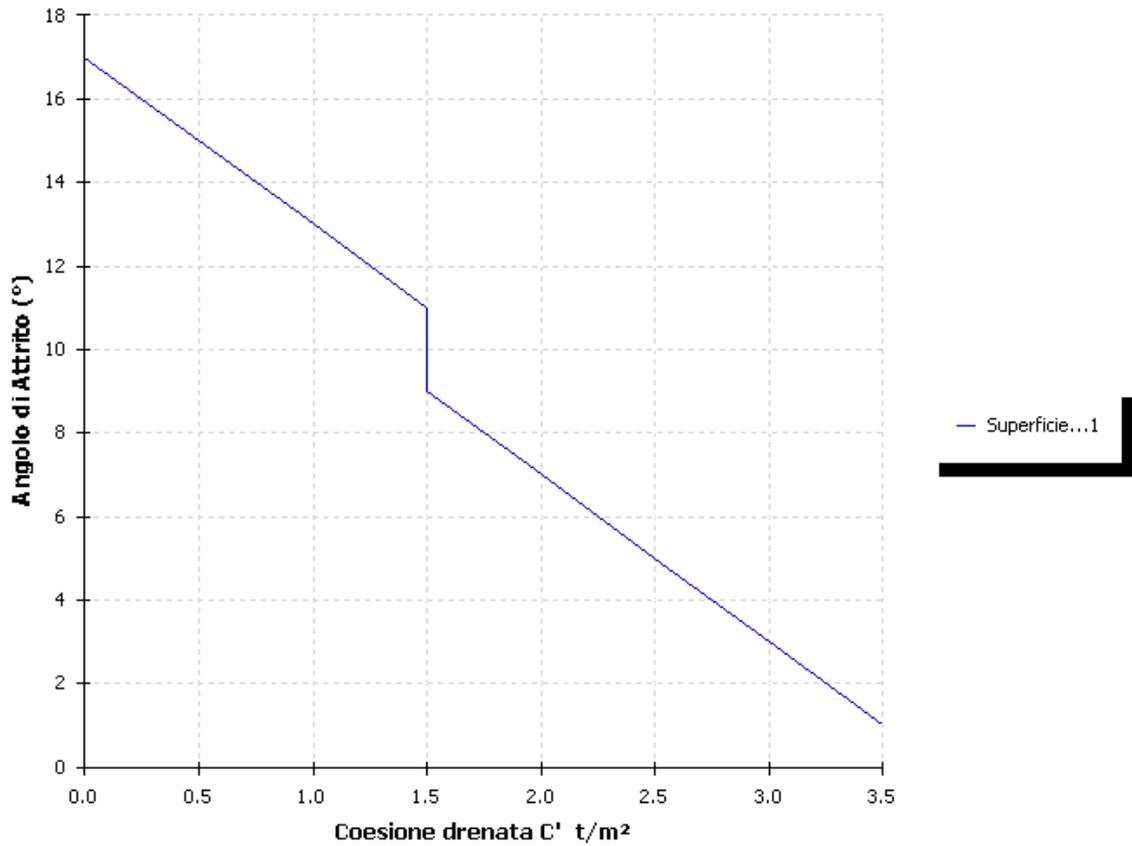
**Fig. 68 - Ubicazione della sezione analizzata**



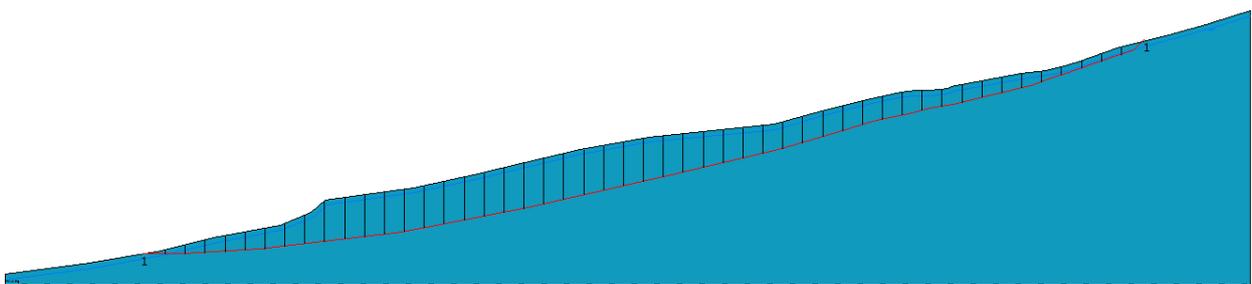
**Fig. 69 - Sezione analizzata**

 <b>EN GEO S.r.l.</b> ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	90 di 99

Back Analysis



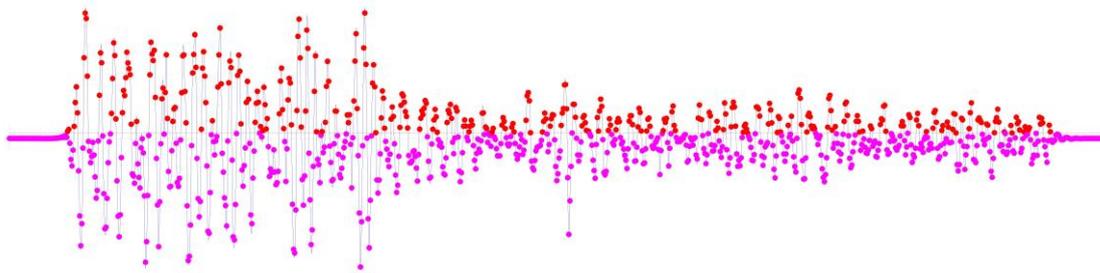
**Fig. 70 - Back Analysis: grafico angolo di attrito - coesione drenata**



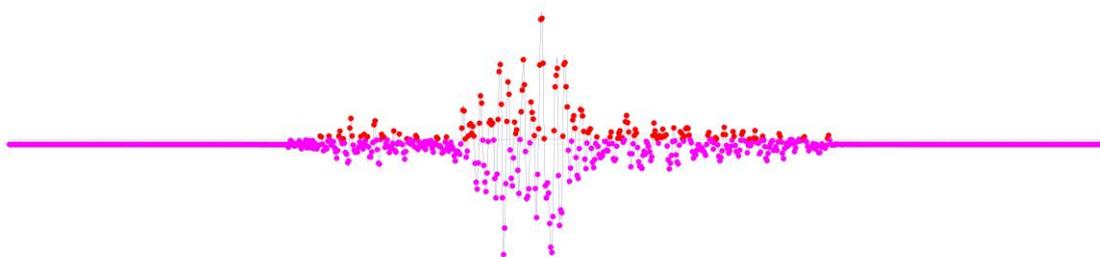
**Fig. 71 - Sezione analizzata con suddivisione in conci del corpo di frana**

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	91 di 99

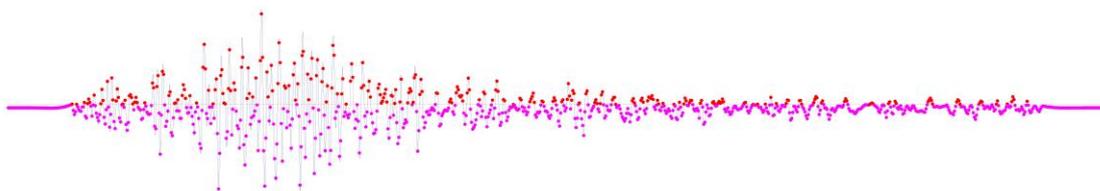
Sisma M1 da Regione Emilia-Romagna



Sisma M2 da Regione Emilia-Romagna



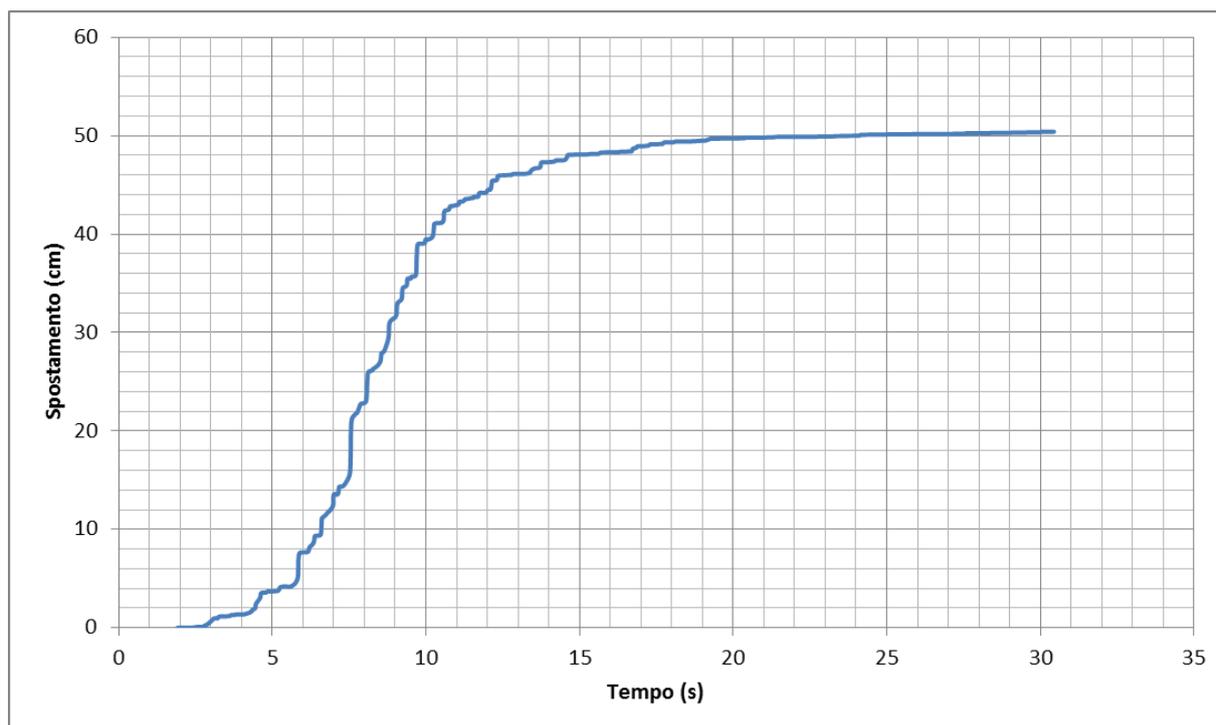
Sisma M3 da Regione Emilia-Romagna



**Fig. 72 - Analisi dinamica: accelerogrammi (in rosso i punti con accelerazione superiore all'accelerazione critica che determinano spostamento)**

Cu	Fs	Ac	Sisma (RER)		
			M1	M2	M3
Kg/cm <sup>2</sup>	-	a <sub>g</sub> /g	cm	cm	cm
0.33	1	0.01	33.67	8.67	50.4
0.35	1.04	0.015	21.14	5.41	31.39
0.37	1.11	0.03	9.75	3.8	12.75
0.4	1.17	0.04	5.70	1.47	8.29
0.42	1.23	0.05	3.97	1.04	5.72
0.435	1.3	0.06	2.87	0.76	4.09
0.45	1.36	0.07	2.13	0.57	3.00
0.48	1.43	0.08	1.60	0.43	2.22

**Tab. 14 - Analisi dinamica: tabella riassuntiva**



**Fig. 73 - Analisi dinamica: grafico tempo - spostamento per il caso più critico**

#### 9.4 Carte di microzonazione sismica

Gli ultimi elaborati grafici del presente studio sono le Carte di microzonazione sismica, anch'esse redatte alla scala 1:5.000, in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate e le zone suscettibili di instabilità, per i due settori di territorio in esame.

L'amplificazione è stata calcolata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ( $PGA/PGA_0$ ) sia di rapporto di Intensità di *Housner* ( $SI/SI_0$ ) per prefissati intervalli di periodi.

In generale, sono stati attribuiti a ciascuna microzona omogenea i fattori desunti con l'analisi approfondita di terzo livello descritta nel paragrafo 9.2, inserendo all'interno del database i vari spettri rappresentativi, in accelerazione e in velocità.

Solo per la Zona 1 (Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore inferiore a 3,00 m), a Pessola, la stima per dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi).

In questo caso, la scelta dell'abaco è stata effettuata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo (substrato marino non rigido affiorante), mentre, per il calcolo dei singoli fattori di amplificazione si è assunto cautelativamente, alla luce dei valori desunti dalle indagini e riportati nel paragrafo 8.5, un valore  $V_{s30}$  pari a 350 m/s.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	93 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

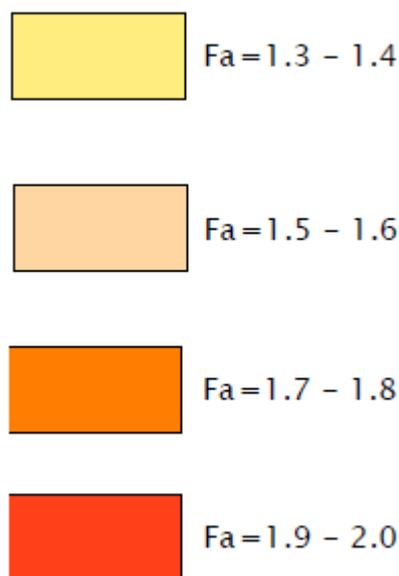
Quanto alle Zone 3 e 4 sono stati attribuiti gli stessi fattori di amplificazione, determinati con l'analisi di RSL per il sito di Varsi M1, in considerazione del fatto che presentano analoga successione stratigrafica, se non si tiene in considerazione la tipologia di movimento gravitativo che caratterizza i primi 20-30 m di sottosuolo.

Conseguentemente, agli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tab. 15):

	VARSÌ				PESSOLA	
	Zona 1 <sup>9</sup>	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 1	Zona 5
<b>F.A. P.G.A.</b>	1,65	1,65	1,71	1,71	1,9	1,68
<b>F.A. Is (0.1s &lt; T<sub>0</sub> &lt; 0.5s)</b>	1,63	1,63	1,52	1,52	1,9	1,60
<b>F.A. Is (0.5s &lt; T<sub>0</sub> &lt; 1.0s)</b>	1,28	1,28	1,03	1,03	1,5	1,13

**Tab. 15 - Valori dei fattori di amplificazione sismica**

I fattori di amplificazione sopraindicati sono stati rappresentati nelle Carte di microzonazione sismica, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.



**Fig. 74 - Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

Nelle stesse carte sono state raffigurate anche le zone suscettibili di instabilità di versante indicando il parametro che quantifica tali fenomeni: ovvero, il massimo

<sup>9</sup> Alla zona 1 di Varsi, in considerazione del fatto che non sono disponibili dati e che presenta un'estensione estremamente modesta rispetto all'adiacente zona 2, sono stati attribuiti gli stessi fattori di amplificazione di quest'ultima.

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	94 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

movimento (FRT, in centimetri). Questo è stato assunto, cautelativamente, uguale al massimo tra i valori calcolati come descritto nel paragrafo 9.3 (quindi, considerando un fattore di sicurezza uguale a 1 e il sismogramma RER M3).

Conseguentemente, sempre con riferimento agli SRAI, tutte zone suscettibili di instabilità risultano caratterizzate da  $15 < FRT \leq 100 \text{cm}$

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	95 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## **10. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

In Comune di Varsi, non è stato possibile effettuare un'analisi della distribuzione dei danni degli eventi sismici avvenuti in passato, in quanto, relativamente a tale tematica, non sono stati trovati documenti specifici.

A riguardo, non è stata utile neppure la consultazione di DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano, poiché, in esso, l'unica località considerata ricadente all'interno del territorio comunale è il Capoluogo.

 <b>ENGEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	96 di 99

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011). TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tinto A. (201). UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato.
- Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.
- Gruppo di lavoro MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.  
[http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)
- Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Madaia C., Facciorusso J. Vannucchi G. Martelli L. (2012) – in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna . RER 2012.
- Marcellini A., Martelli L, Tinto A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- Meletti C. e Valensise G. (2004). ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	97 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. SEZIONE 198110 "VARSÌ" E 198150 "PESSOLA", alla scala 1:10.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze
- GUIDELINES FOR DETERMINATING DESIGN BASIS GROUND MOTION STR-102293s-V1-V5 EPRI (1993) –
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- NUOVA CARTA DEL DISSESTO DELLA PROVINCIA DI PARMA. SEZIONE 198110 "VARSÌ" E 198150 "PESSOLA", alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma
- TREASURE ISLAND GEOTECHNICAL ARRAY – CASE STUDY FOR SITE RESPONSE ANALYSIS. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

 <b>EN GEO</b> S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	98 di 99

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
<b>COMUNE DI VARSÌ</b> Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento

## 12. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

Elaborato 1	Carta delle indagini	scala 1:5.000
Elaborato 2	Carta geologico tecnica	scala 1:5.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	scala 1:5.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta di microzonazione sismica - $FA_{PGA}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,1-0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c	Carta di microzonazione sismica - $FA_{IS\ 0,5-1,0\ s}$	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati:

Elaborato 7	Prove MASW
Elaborato 8	Tomografie sismiche in onde P e onde S
Elaborato 9	Prove tomografiche

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Settembre 2016	1	99 di 99