



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna Comune di Terenzo



Regione



Regione Emilia-Romagna

Soggetto Realizzatore

Dott. Geol. Fabio Francesco Picinotti  
Via Silvio Pellico, 4  
43125 Parma (Pr)

Data

Maggio 2022

# MS3

Sommario

1. INTRODUZIONE.....	1
1.2 Fasi dello studio.....	3
2. INDAGINI ED ANALISI .....	4
2.1 Prove penetrometriche meccaniche CPT .....	5
2.2 Prove MASW + HVSR .....	7
3 ANALISI DI RISPOSTA SIMSICA LOCALE .....	9
3.1 Pericolosità sismica .....	9
3.1.1 Segnali di input .....	9
3.1.2 Modello geofisico del sottosuolo .....	10
3.1.2.1 Litologia .....	11
3.1.2.2 Determinazione del profilo di Vs e del bedrock sismico .....	11
3.1.2.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione.....	11
3.1.3 Codice di calcolo per la valutazione della RSL.....	13
3.1.4 Risultati della Modellazione numerica.....	13
3.1.5 RSL per Villa di Casola .....	19
3.1.6 RSL per Villa-Ariana-Case Battini .....	23
3.2 Stabilità di versante .....	27
3.2.1 Metodo di verifica.....	27
3.2.2 Frana di Villa di Casola .....	29
3.2.3 Frana di Villa-Ariana-Case Battini .....	32
4 ELABORATI CARTOGRAFICI.....	37
4.1 Carta delle indagini.....	38
4.2 Carta geologico-tecnica .....	39
4.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) .....	39
4.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	39
4.5 Carta delle velocità delle onde di taglio .....	40
4.6 Carte di microzonazione sismica .....	43
11. BIBLIOGRAFIA .....	46
12. ALLEGATI .....	47

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono illustrate le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Terenzo, che ha affidato l'incarico con Determinazione n° 63 del 30/10/2019 e data comunicazione il 24/08/2020.

L'approfondimento di terzo livello è stato finanziato con Ordinanza Presidenza Consiglio Ministri-Dipartimento della Protezione Civile 344 del 28 aprile 2016, Attuazione dell'articolo 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 in materia di contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico – sesta annualità. (G.U.n° 118 del 21.5.2016).

Più precisamente, oggetto dell'incarico è stata la redazione degli studi di Microzonazione Sismica, con approfondimenti di III Livello, con riferimento alle zone di Terenzo Villa-Ariana-Case Battini e Terenzo Villa di Casola, individuate dall'Amministrazione comunale come aree di particolare interesse pubblico e risultate instabili o potenzialmente instabili nel corso degli approfondimenti precedenti.

Detta attività è stata svolta in conformità alle leggi e disposizioni vigenti (cfr. in particolare, il sopracitato OCDPC e la DGR n. 573/2016) 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-vers. 4.2” pubblicati sul sito web del Dipartimento della Protezione Civile;
- Allegato A della deliberazione di Giunta regionale della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21/12/2015: “Art. 16 della L.R. n° 20 del 24/03/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n° 12”;
- “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica” – DGR n. 630 del 29/04/2019 per la stima dei fattori di amplificazione e per l'elaborazione delle relative mappe di amplificazione.

Nel Comune di Terenzo sono stati realizzati studi di microzonazione di primo e secondo livello (validazione del maggio 2019), a cura dello scrivente. Tali studi sono stati successivamente validati da parte del servizio regionale competente. Il presente lavoro, recepisce il lavoro svolto precedentemente e approfondisce l'analisi per una porzione di areale, secondo i criteri suddetti.

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

- n° 2 prove MASW che hanno consentito la definizione delle Vs e, conseguentemente, della profondità del bedrock sismico;
- n° 8 prove HVSr, al fine di determinare la frequenza fondamentale di risonanza del terreno;
- n° 2 prove penetrometriche statiche CPT al fine del riconoscimento stratigrafico e l'individuazione degli spessori dei livelli litologici interessati e conseguentemente il passaggio tra deposito di frana e substrato;
- n° 2 stendimenti di sismica a rifrazione.

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-vers. 4.2).

## 1.2 Fasi dello studio

Lo studio di microzonazione di terzo livello è consistito pertanto nelle seguenti fasi:

- individuazione delle zone di attenzione per instabilità e delle aree di approfondimento definite dall'amministrazione comunale;
- realizzazione di n° 2 stendimenti di sismica a rifrazione, n°2 prove MASW per la definizione delle  $V_{Seq}$  e n° 8 misurazioni di microtremore HVSR per la determinazione della frequenza caratteristica del terreno
- realizzazione di n° 2 prove penetrometriche statiche CPT;
- aggiornamento delle cartografie di secondo livello con dati delle nuove indagini e nuove codifiche:
  - Carta delle indagini
  - Carta Geologico tecnica
  - Carta delle frequenze naturali dei terreni;
  - Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ).
- valutazione della risposta sismica locale nei due siti di approfondimenti mediante l'utilizzo del programma Strata;
- calcolo dei fattori 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;
- calcolo dei fattori di amplificazione di sito  $FA_{PGA}$ ,  $FH_{0.1-0.5s}$ ,  $FH_{0.5-1.0s}$ ,  $FH_{0.5-1.5s}$ ,  $FA_{0.1-0.5s}$ ,  $FA_{0.4-0.8s}$ ,  $FA_{0.7-1.1s}$ ,  $FA_{0.5-1.5s}$ ;
- calcolo dei fattori di amplificazione in termini di  $H_{0.105}$ ,  $H_{0.408}$ ,  $H_{0.711}$ ,  $H_{0.515}$ ;
- verifiche di stabilità di pendio lungo due sezioni nelle due aree di approfondimento;
- redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 in termini di PGA, SA1, SA2, SA3, SA4, SI1, SI2, SI3,  $H_{MS}$ ,  $H_{0.408}$ ,  $H_{0.711}$  e  $H_{0.515}$ .

## 2. INDAGINI ED ANALISI

Al fine del presente studio sono state realizzate, ad integrazione di quelle già realizzate per lo studio di Livello II, le seguenti indagini (Tabella 1):

Area indagine	Indagine eseguita			
	CPT	MASW	HVSR	SR
Villa di Casola	1	1	3	1
Villa-Ariana-Case Battini	1	1	5	1

Tabella 1 – Indagini eseguite

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nelle seguenti figure (Figura 1 e Figura 2).

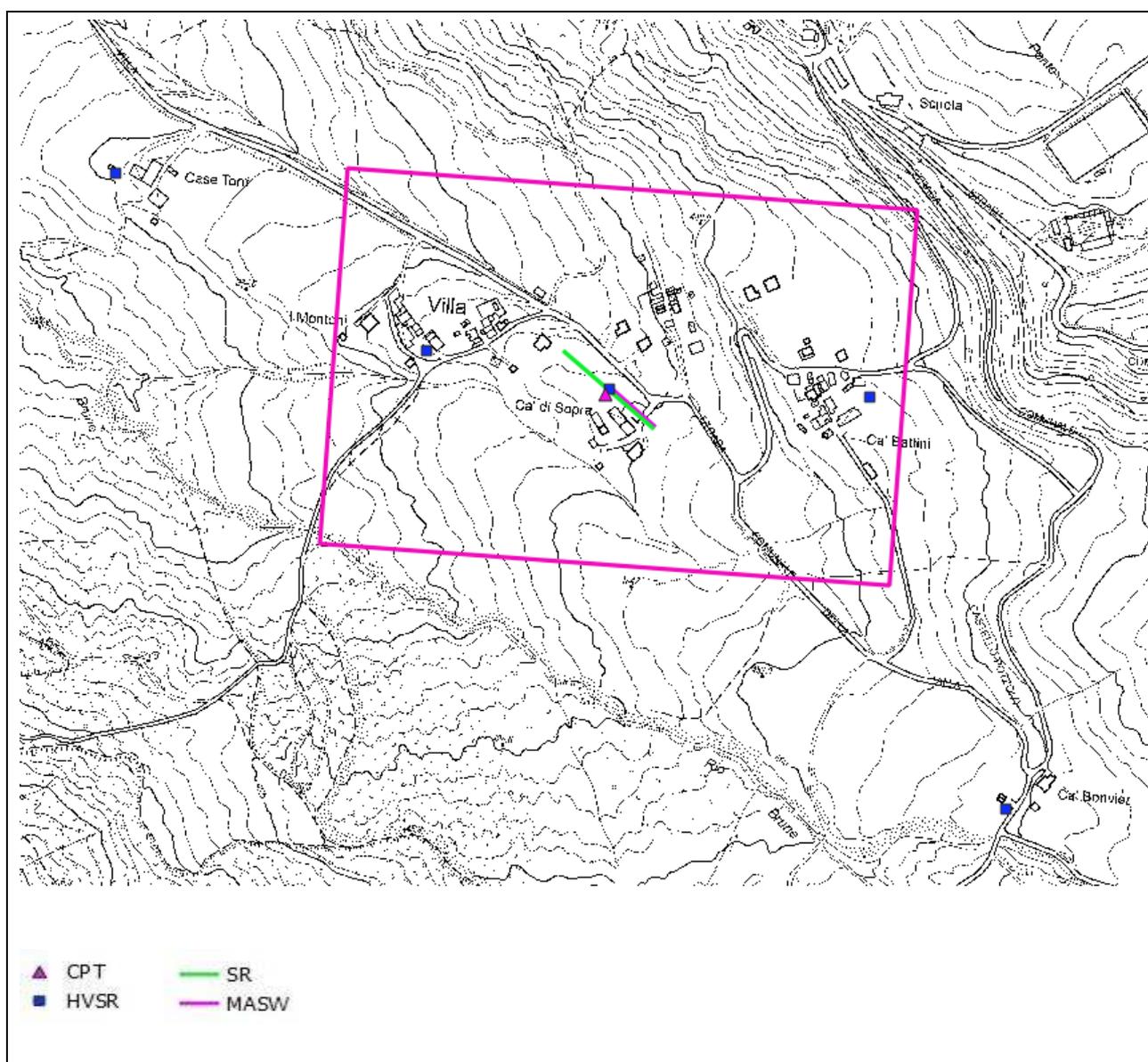


Figura 1- Ubicazione indagini presso area di approfondimento Villa-Ariana-Case Battini

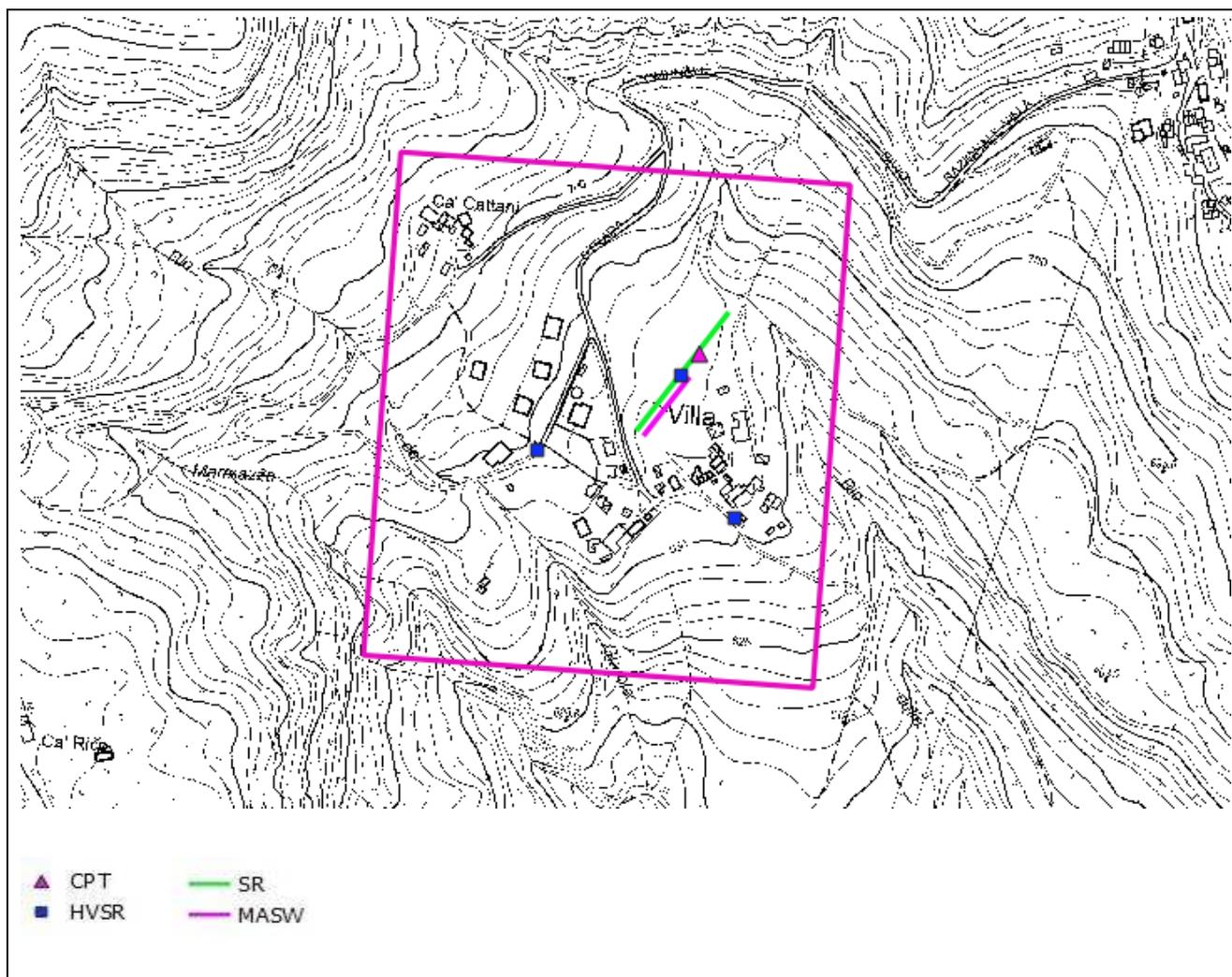


Figura 2 – Ubicazione indagini presso area di approfondimento Villa di Casola

L'ubicazione delle indagini eseguite è indicata anche nell'Elaborato 1 – Carta delle indagini.

## 2.1 Prove penetrometriche meccaniche CPT

Le prove penetrometriche statiche CPT sono state eseguite dal Dott. Marco Barbieri di Gossolengo (PC) con sonda Pagani semovente TG63-200 (20t) dotata di punta meccanica Begemann grazie alla quale è stata possibile l'acquisizione delle grandezze  $Q_c$  (resistenza di punta) e  $F_s$  (attrito laterale) ogni 20 cm di profondità mediante cella di carico, visualizzate su display della scheda elettronica di acquisizione.

Le dimensioni della punta sono standardizzate e più precisamente:

- diametro di base del cono  $\phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono  $B = 60^\circ$ .

Relativamente alle due prove CPT eseguite, sono riproposti nella Figura 3, a titolo esemplificativo, i grafici che rappresentano le variazioni della resistenza alla punta ( $Q_c$ ) e della resistenza laterale ( $f_s$ ) con la profondità.

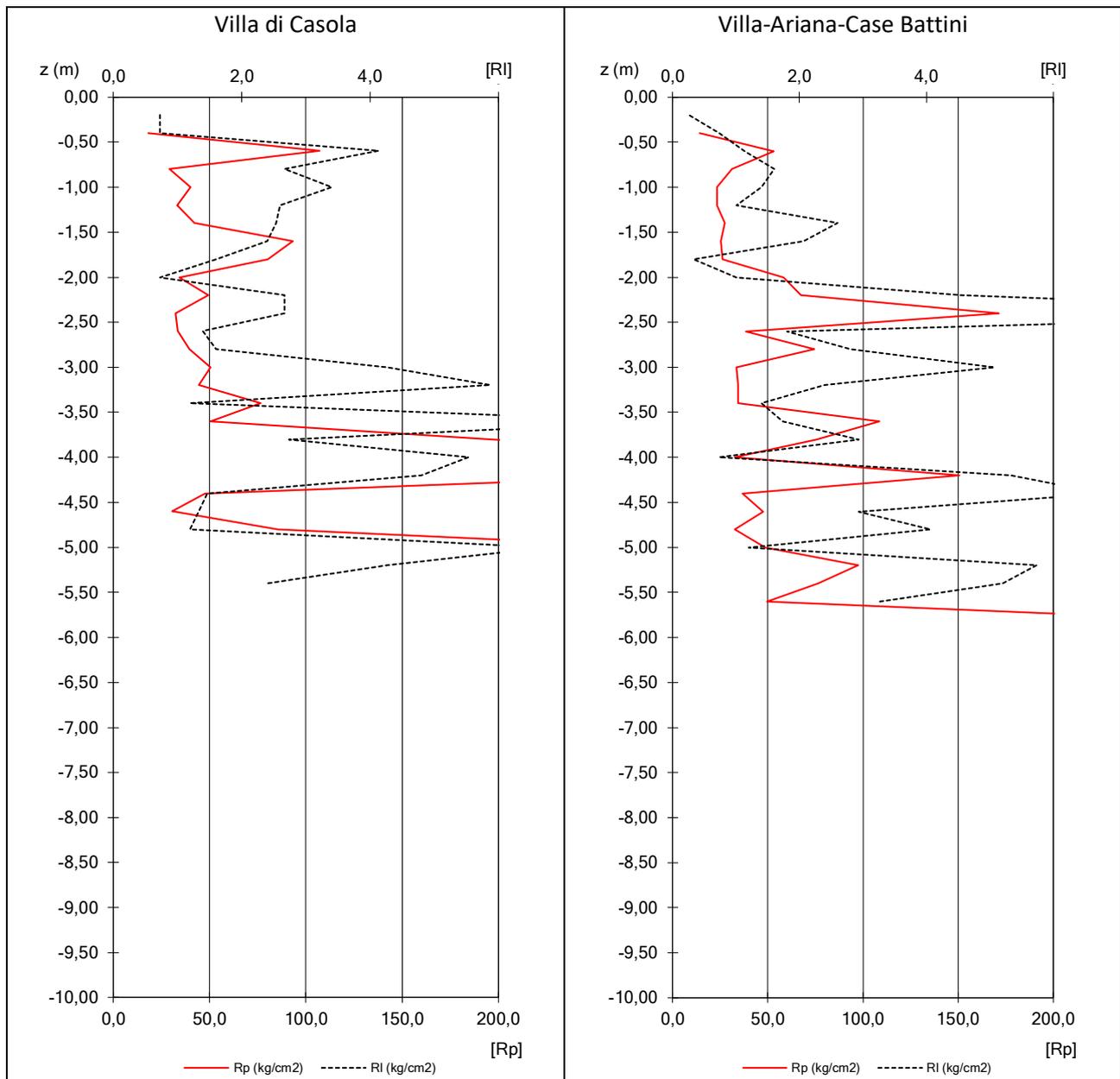


Figura 3 – Andamento della resistenza di punta e laterale delle prove CPT eseguita a La Villa di Casola (grafico di sinistra) e a Villa-Ariana-Case Battini (grafico di destra)

## 2.2 Prove MASW + HVSR

Per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni e per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  sono state realizzate n. 2 nuove prove MASW e n° 8 misure di microtremori atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V utile a definire eventuali risonanze di sito e a vincolare meglio il profilo di  $V_s$ .

La tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) consiste nell'analisi della dispersione delle onde di superficie al fine di definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio S (Park et al., 1999) (Figura 4).

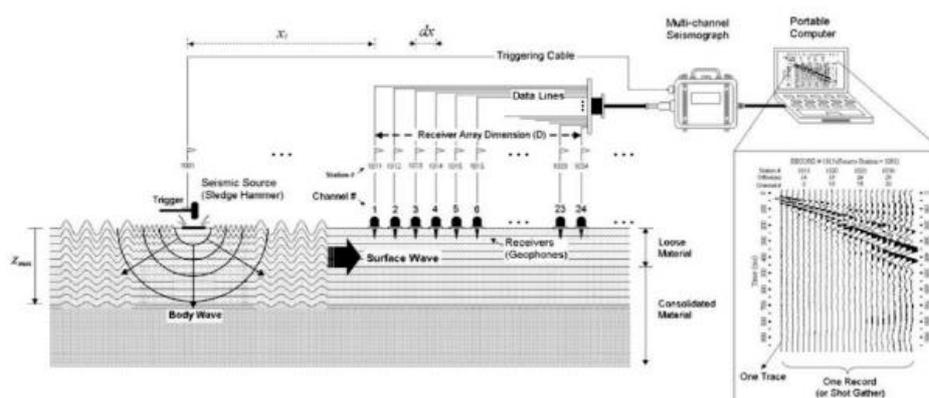


Figura 4 – Metodo MASW attivo

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo, eseguito nei siti in studio, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Si ottiene una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sui primi 30-50 m di profondità.

Quando si energizza il sito in un punto della sua superficie libera si generano diversi tipi di onde: se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera si originano onde appartenenti al piano verticale (onde P, onde Sv, onde di Rayleigh e onde rifratte), se la sorgente è parallela alla superficie libera si generano onde appartenenti al piano orizzontale (onde Sh e onde di Love).

La MASW classica/standard consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie e specificatamente delle onde di Rayleigh: queste ultime vengono generate da una sorgente ad impatto verticale. Due sono gli aspetti che rendono il contributo delle onde di Rayleigh prevalente sul contributo delle onde P e Sv. Il primo aspetto è che le onde di Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che allontanandosi dalla sorgente le onde di Rayleigh subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e Sv, in quanto si propagano secondo fronti d'onda

cilindrici e non sferici (come le altre onde) viaggiando con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase (Achenbach, 1999, Aki e Richards, 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del sottosuolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano la porzione più profonda del sottosuolo.

In queste indagini accanto all'acquisizione MASW in Rayleigh viene proposta anche l'analisi della dispersione delle onde di Love, da analizzare congiuntamente alle Rayleigh, per meglio definire il substrato e superare talune ambiguità interpretative che possono presentarsi sugli spettri di velocità riferiti solo alle onde di Rayleigh. Le acquisizioni in onde di Love non possono sostituire completamente quelle in onde di Rayleigh ma la chiarezza dei loro spettri di velocità risulta di estrema utilità allorché gli spettri delle onde di Rayleigh risultino di ardua interpretazione in relazione alla presenza di forti segnali scatterati e all'intrecciarsi di diversi modi. L'unica differenza tra le Rayleigh e le Love sta nel fatto che queste ultime si formano solo in caso di gradiente di velocità "positivo".

Sono inoltre state eseguite misure di microtremiti atte ad analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR) utile a definire eventuali risonanze di sito e, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo VS (Dal Moro, 2010; 2011). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle VS da parte di misure MASW non risulta sufficientemente affidabile.

L'acquisizione dei dati è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali (modello Echo 2002) collegato a 12 geofoni orizzontali aventi frequenza propria di 4.5 Hz e 12 geofoni verticali aventi frequenza propria di 4.5 Hz. Sono stati realizzati stendimenti sismici lineari di lunghezza pari a 55 m con spaziatura di 5 metri tra i 12 geofoni e tempo di acquisizione pari a 1 secondo.

Sono state eseguite due tipologie di acquisizioni:

- sorgente verticale e geofoni verticali (componente verticale delle onde di Rayleigh - ZVF);
- sorgente di taglio e geofoni orizzontali orientati con asse perpendicolari allo stendimento (onde di Love - THF).

L'energizzazione è stata effettuata in posizione esterna rispetto all'ultimo geofono con offset pari al doppio dell'interdistanza geofonica; per le onde di Rayleigh si è utilizzata una mazza battente di 8 kg ad impatto verticale su piastra metallica, per quelle di Love una mazza battente ad impatto di taglio su piastra in polipropilene.

### 3 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Nelle aree individuate dall'Amministrazione comunale come ragguardevoli di analisi di III livello ed individuate dallo studio di microzonazione di II livello come zone di attenzione per instabilità, sono state eseguite, dopo la definizione di un adeguato modello di terreno basato sulla valutazione dei risultati di tutte le indagini disponibili, analisi di risposta sismica locale.

#### 3.1 Pericolosità sismica

##### 3.1.1 Segnali di input

Come segnali di input sismico sono stati utilizzati quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015. Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce infatti 3 segnali (accelerogrammi) rappresentativi del moto sismico della regione. 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 banca dati. 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 Figura 5 e Figura 6. Gli accelerogrammi base sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con l'accelerazione di picco considerata per l'area di Villa di Casola e per l'area di Villa-Ariana-Case Battini rispettivamente pari a 0.161g e 0.163g.

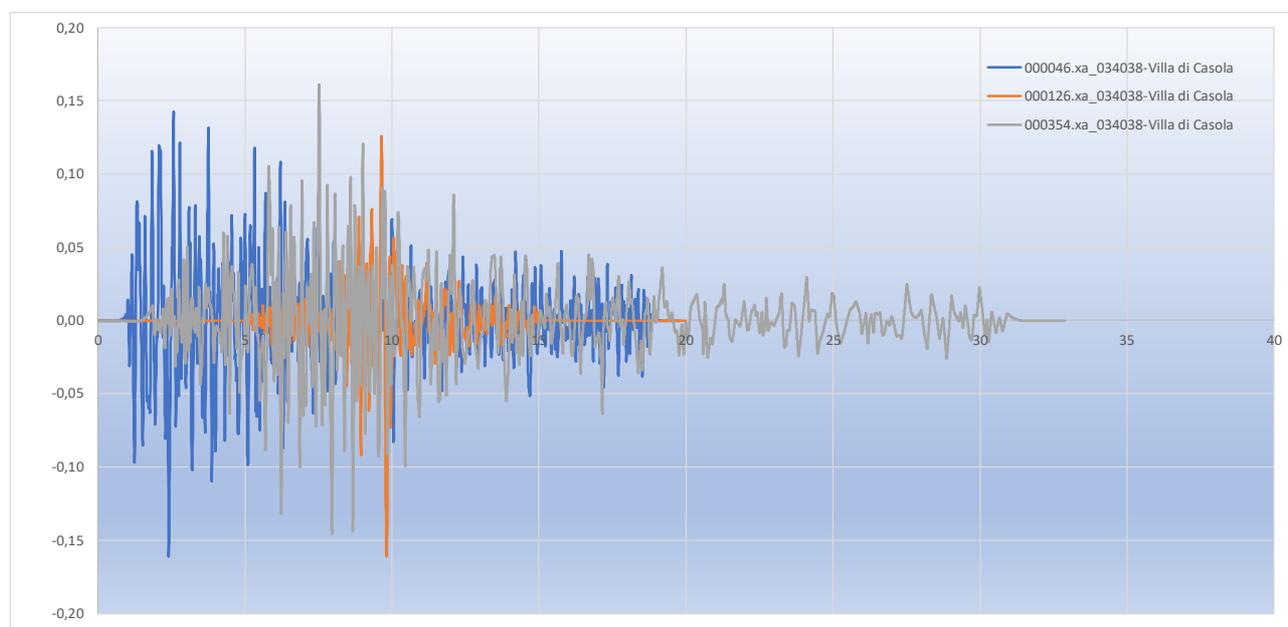


Figura 5 – Segnali di input utilizzati nelle analisi di RSL per area Villa di Casola

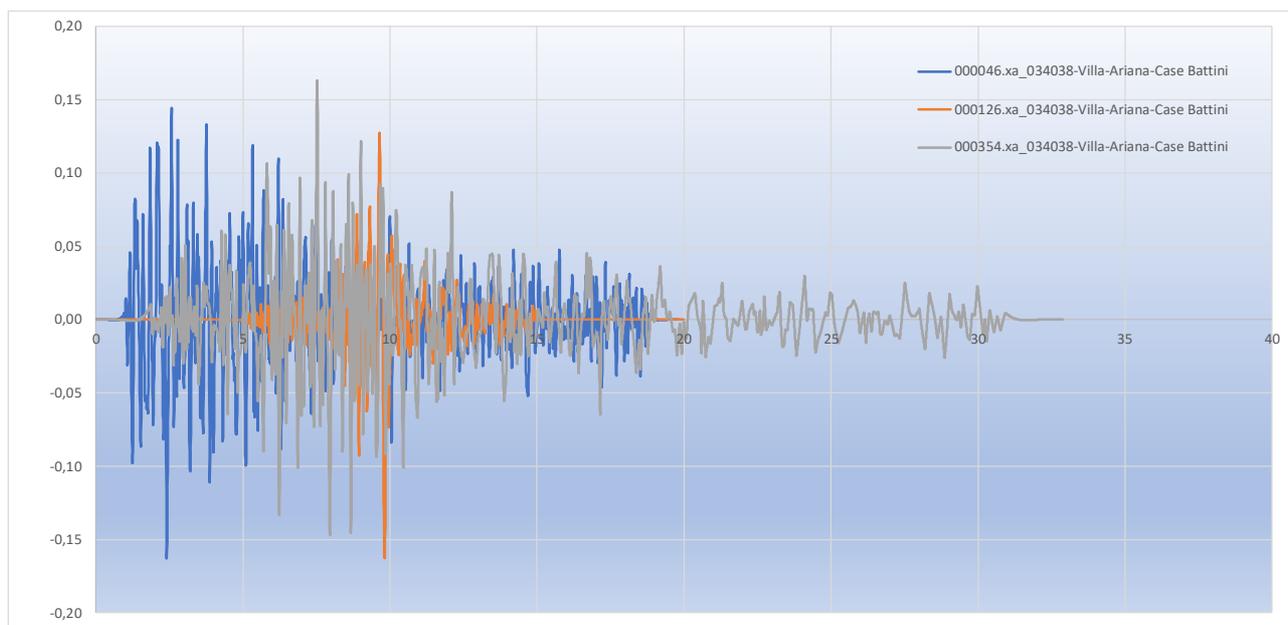


Figura 6 – Segnali di input utilizzati nelle analisi di RSL per area Villa-Ariana-Case Bacchini

Le piccole differenze dei segnali sono dovute alla minima differenza dell'accelerazione di picco con cui sono stati scalati gli accelerogrammi base pari a 0.161 nel caso di Villa di Casola e 0.163 nel caso di Villa-Ariana-Case Battini.

### 3.1.2 Modello geofisico del sottosuolo

Ogni studio di risposta sismica locale necessita di un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo; tale modello geofisico richiede la conoscenza di:

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

Il modello geofisico deve spingersi fino al bedrock sismico cioè lo strato con velocità  $V_s > 800$  m/s.

Per una corretta valutazione del moto atteso in superficie risulta pertanto necessario stimare, oltre alle proprietà meccaniche dei terreni, lo spessore dei terreni che amplificano, ovvero definire la profondità del tetto del bedrock sismico inteso come successione litostratigrafica caratterizzata da comportamento rigido.

### 3.1.2.1 Litologia

Il profilo litostratigrafico delle aree di studio è stato ricostruito, fino alle profondità di interesse (bedrock sismico), mediante i risultati di indagini geofisiche (MASW e HVSR ed SR), alle quali sono stati associati, quando disponibili, i dati di indagini dirette quali sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche.

### 3.1.2.2 Determinazione del profilo di Vs e del bedrock sismico

Il profilo di Vs è stato ricostruito facendo riferimento all'analisi congiunte dei dati provenienti dalle prove MASW e dalle analisi di microtremori (HVSR) specificatamente eseguite oppure dalle indagini (MASW e HVSR) precedentemente eseguite e disponibili. Le prove HVSR, oltre che a vincolare meglio il modello di riferimento, permettono di controllare se la frequenza caratteristica dei terreni registrata da queste prove corrisponda al picco della funzione di trasferimento ricavata dallo studio di risposta sismica locale.

### 3.1.2.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione

Sui terreni in studio non è stato possibile effettuare specifiche prove di laboratorio per determinare le curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione. Pertanto sono state utilizzate curve derivanti da studi pregressi su terreni analoghi a quelli in studio. Per i terreni appartenenti ai corpi di frana sono stati utilizzati i parametri ricavati sulla Frana di Spinello (FC), pubblicati da Madiati et al. e riportati nel volume "Microzonazione Sismica: uno strumento consolidato per la riduzione del rischio sismico", pubblicato dalla Regione Emilia Romagna.

Per il substrato alterato sono state utilizzate le curve di EPRI (implementate nel software Strata) per i terreni rocciosi, variabili in funzione del carico litostatico.

I grafici di G/G0 e D, per tutti i tipi di terreno utilizzati, diagrammati in funzione dello sforzo, sono riportati in Figura 7 e Figura 8.

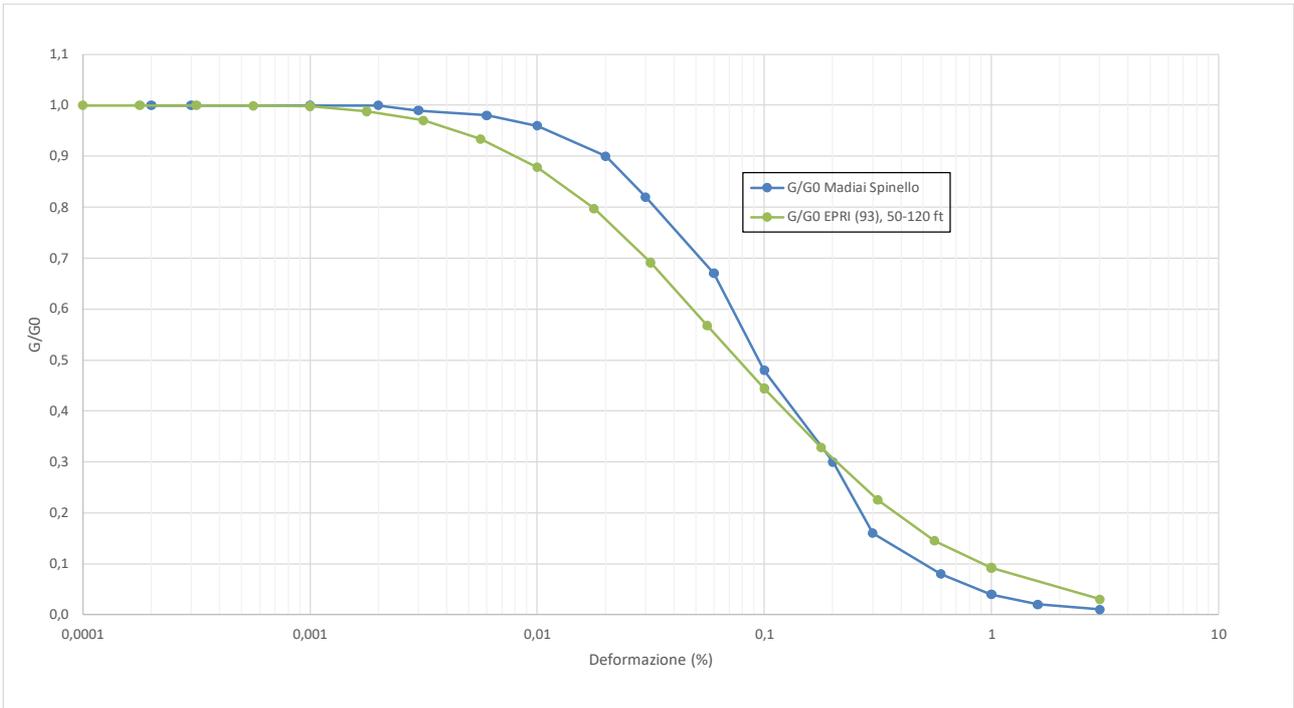


Figura 7– Curve di degradazione del modulo di taglio

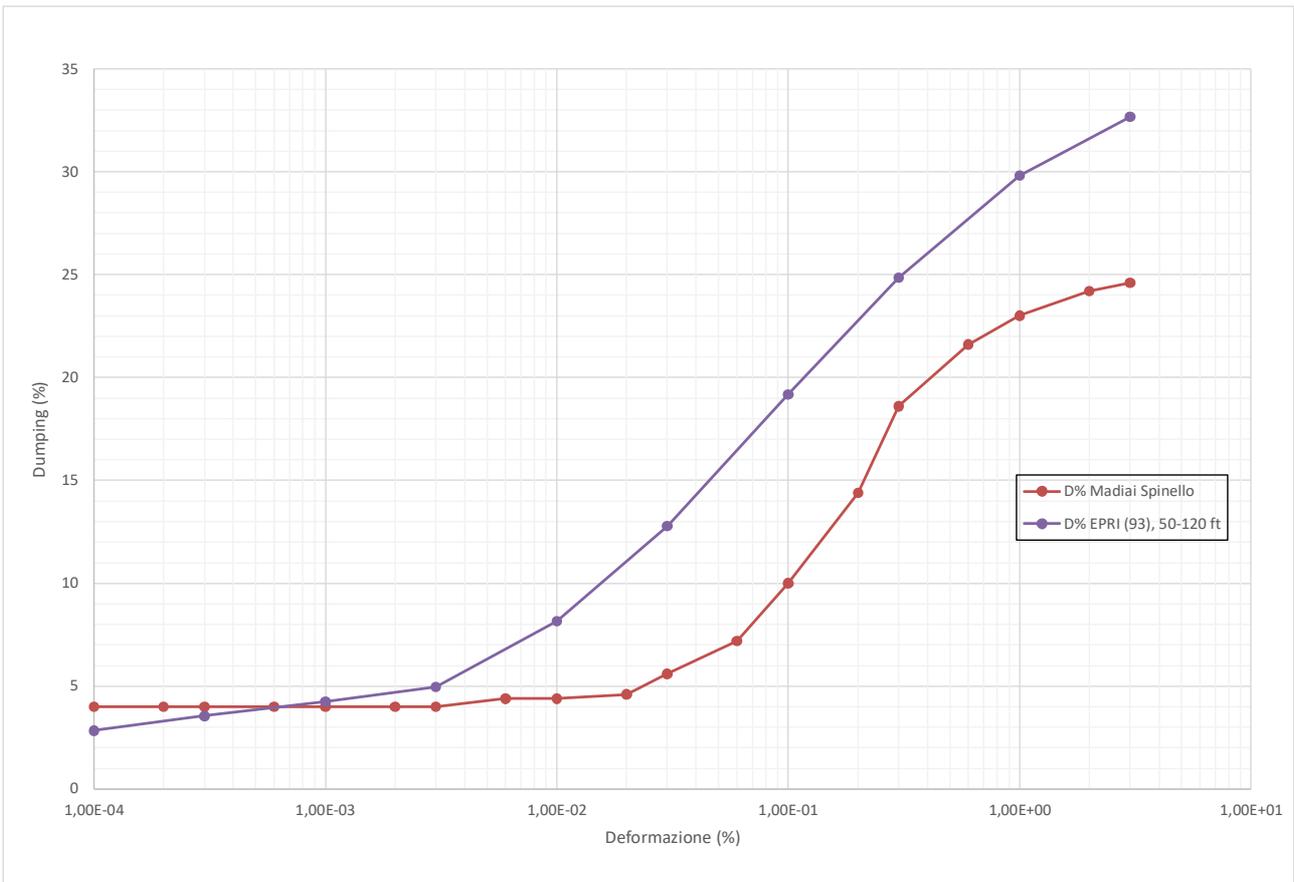


Figura 8 – Curve di smorzamento

### **3.1.3 Codice di calcolo per la valutazione della RSL**

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata sviluppato da A. Kottke e E. Ratheje. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer, 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;
- 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 rigidità e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

### **3.1.4 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 (Figura 9 - Figura 10 e Figura 11 - Figura 12);
- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula  $PSV(Ti)=Ti*PSA(Ti)/2\pi$ , 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 (Figura 13, Figura 14 );
- la curva di variazione dell'accelerazione con la profondità (Figura 15);
- 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 FH in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s, per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido).

I rapporti risultano pertanto:

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

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

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T)dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T)dt}$$

- il fattore di amplificazione di sito FA in termini di rapporto tra l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito e l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento, negli intervalli 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s e 0.5-1.5s
- parametro  $H_{SM}$  che esprime lo scuotimento atteso in valore assoluto dato dal valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per i periodi 0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s e 0.5-1.5s.

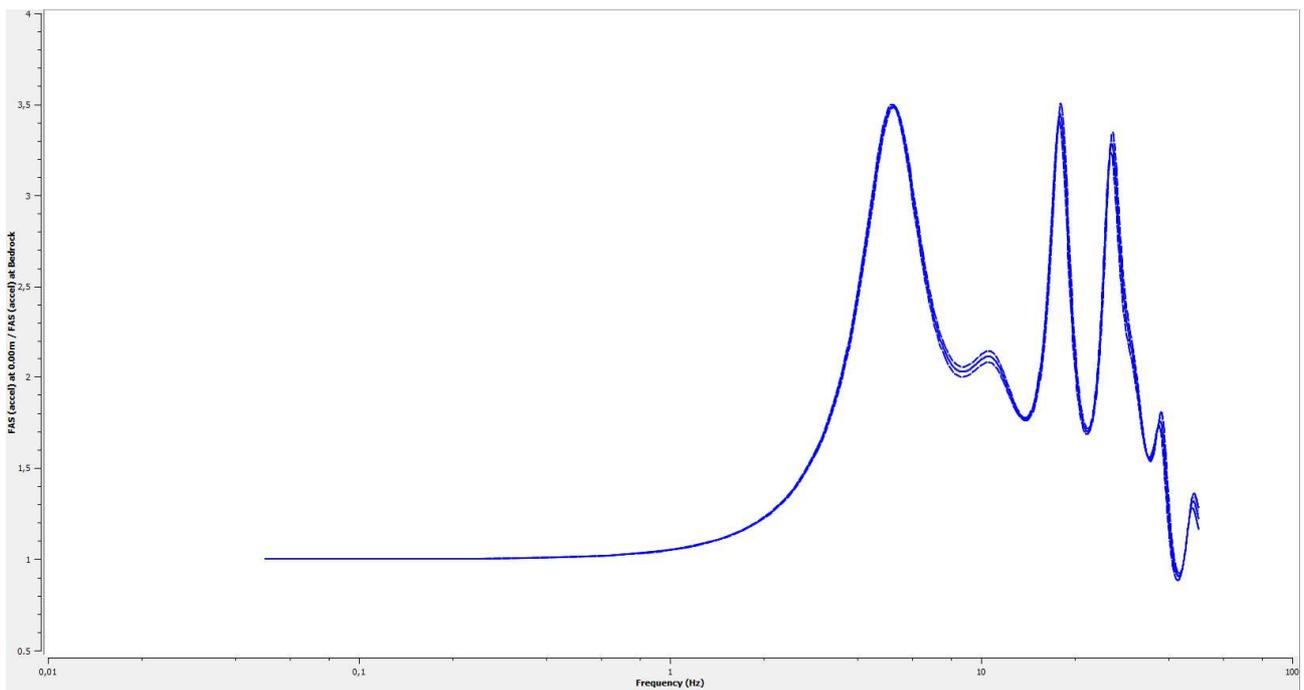


Figura 9 – Esempio di funzione di trasferimento (area Villa di Casola)

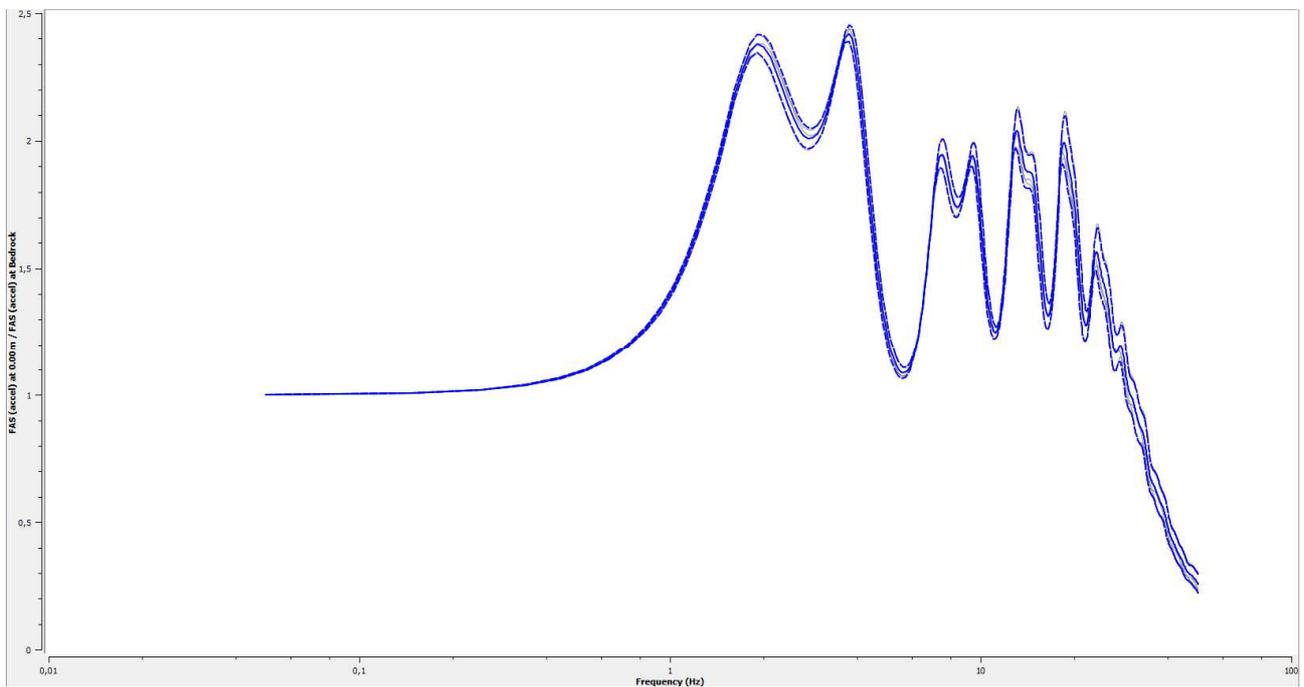


Figura 10 – Esempio di funzione di trasferimento (area Villa-Ariana-Case Battini)

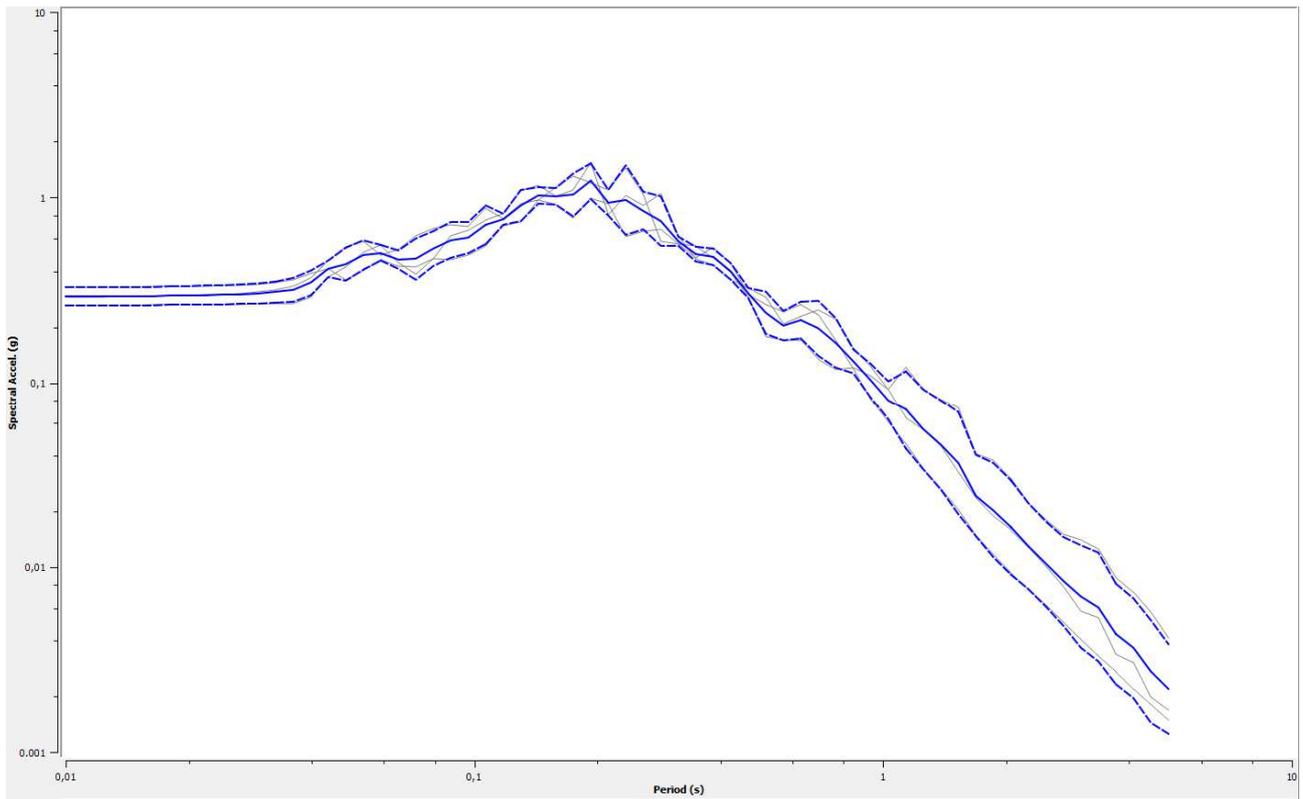


Figura 11 – Esempio dell'output di Strata dello spettro di risposta elastico in PSA (area Villa di Casola)

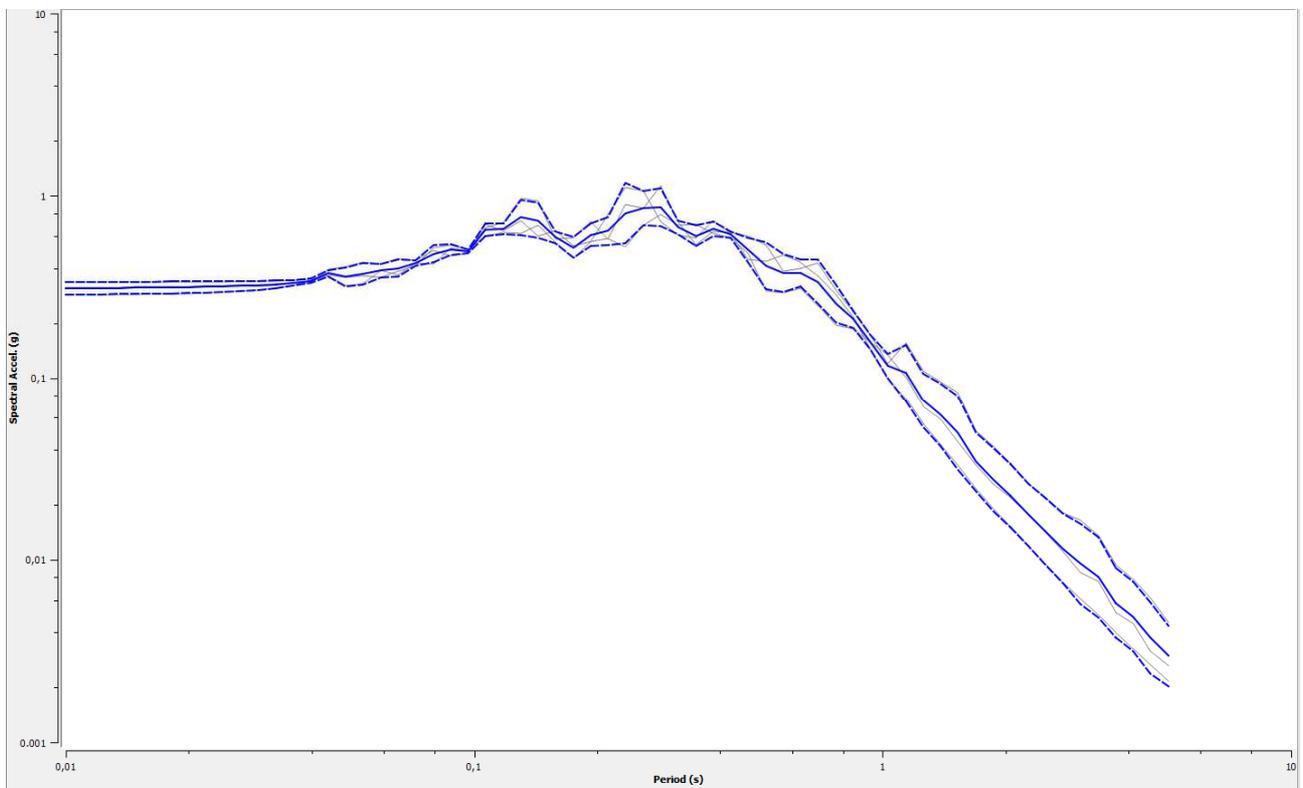


Figura 12 – Esempio dell'output di Strata dello spettro di risposta elastico in PSA (area Villa-Ariana-Case Battini)

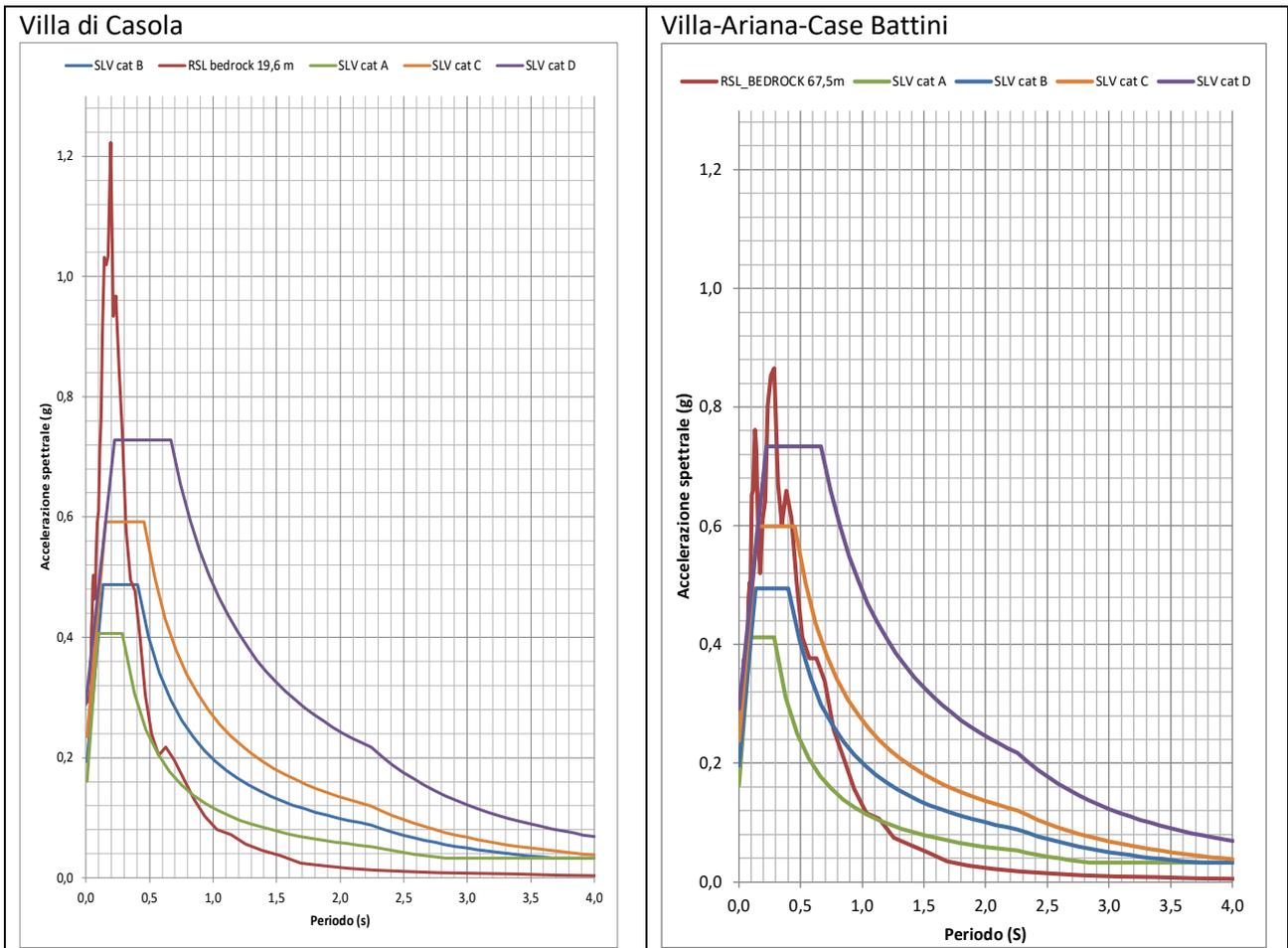


Figura 13 – Esempio del confronto tra spettro elastico in accelerazione e spettri semplificati delle NTC 2018

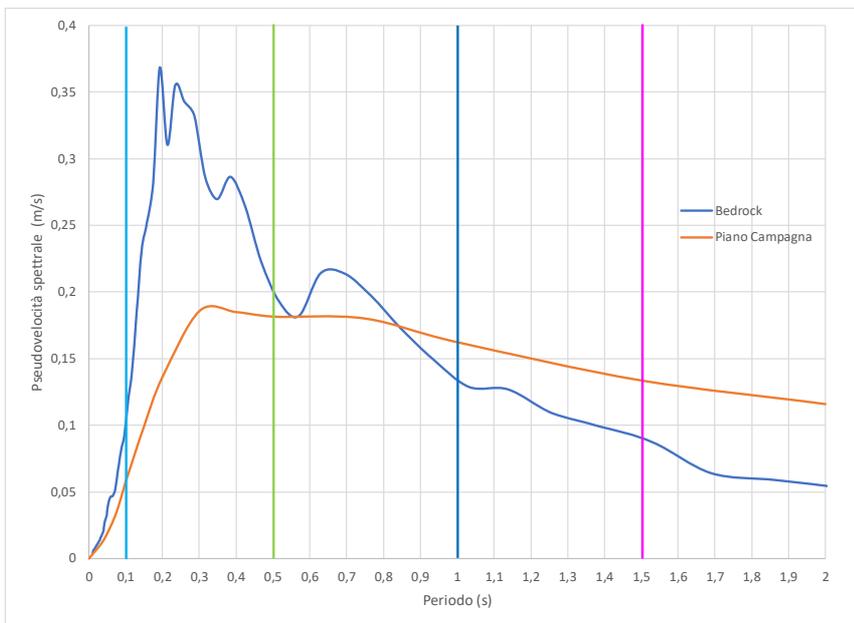


Figura 14 – Esempio confronto tra gli spettri elastici in velocità da cui si ricavano i fattori di amplificazione



### 3.1.5 RSL per Villa di Casola

Per il sito in questione sono stati utilizzati i dati stratigrafici desunti dalle prove geofisiche e dirette effettuate sul deposito di frana. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova MASW e dalla tomografia sismica, specificatamente eseguite. La tomografia sismica ha permesso di individuare una possibile superficie di distacco a circa 7.5 m di profondità e ha evidenziato la presenza di un livello mediamente compatto interpretabile come il substrato lapideo alterato; i valori di Vs sono coerenti con questa interpretazione. Il bedrock sismico individuato da Vs di circa 1000 m/s coincide con tutta probabilità con il substrato geologico del Flysch di Monte Cassio. I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litotipo	Peso di Volume (kN/m <sup>3</sup> )	Modello degradazione modulo di taglio	Modello Smorzamento
Corpo di Frana	18.5	Frana Spinello	Frana Spinello
Substrato alterato	19.0	EPRI (93) 50-120 ft	EPRI (93) 50-120 ft

Profondità (m)	Spessore (m)	Litotipo	Vs (m/s)
0.00	0.80	Frana	89.00
0.80	0.50	Frana	155.00
1.30	2.70	Frana	193.00
4.00	3.60	Frana	217.00
7.60	12.00	Substrato alterato	511.00
19.60	Half-space	<b>Bedrock</b>	<b>802.00</b>

In Figura 16 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui i più interessanti a livello ingegneristico sono quelli a circa 5 Hz e 18 Hz, legati ai salti di Vs tra il passaggio tra la coltre di frana e il substrato alterato e tra il primo passaggio all'interno dello strato alterato. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione a frequenze non di interesse ingegneristico. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposdenze per i primi due picchi.

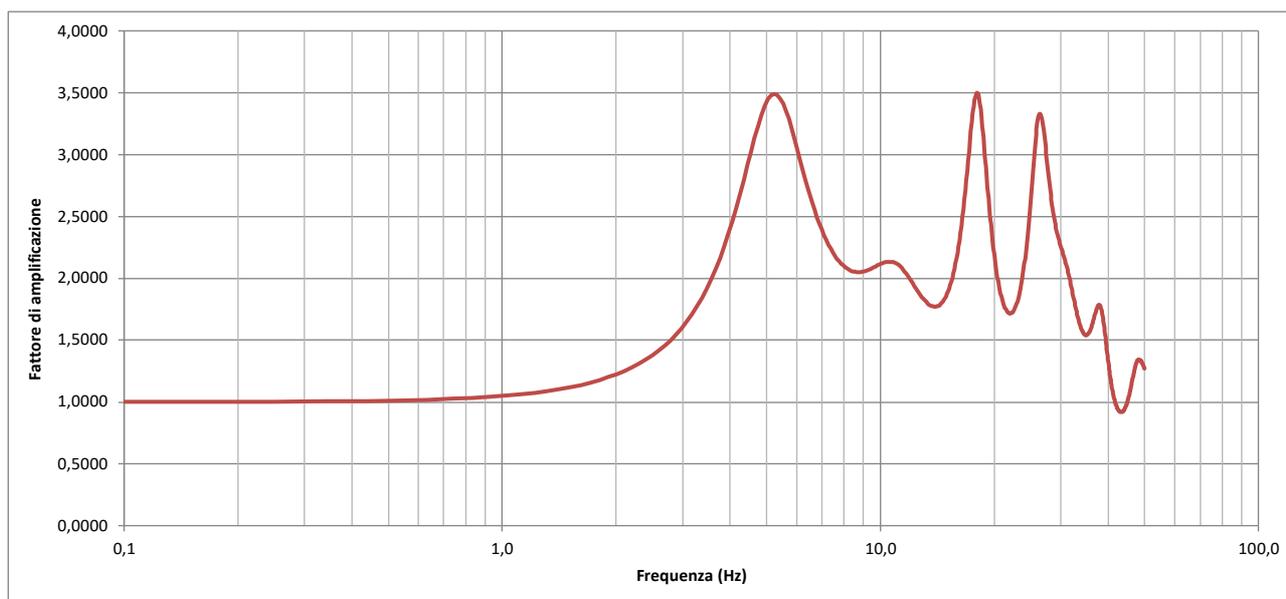


Figura 16 – Funzione di trasferimento – Strata Villa di Casola

In Figura 17 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{s_{eq}} = 296$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,30 s.

In Figura 18 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1 s, 0.5 s, 1 s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

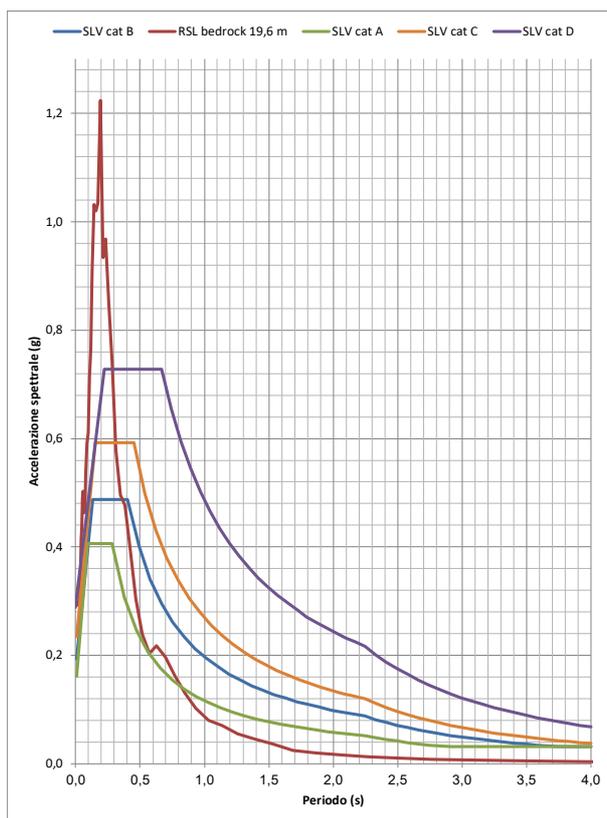


Figura 17 – Spettri di risposta in accelerazione – Villa di Casola

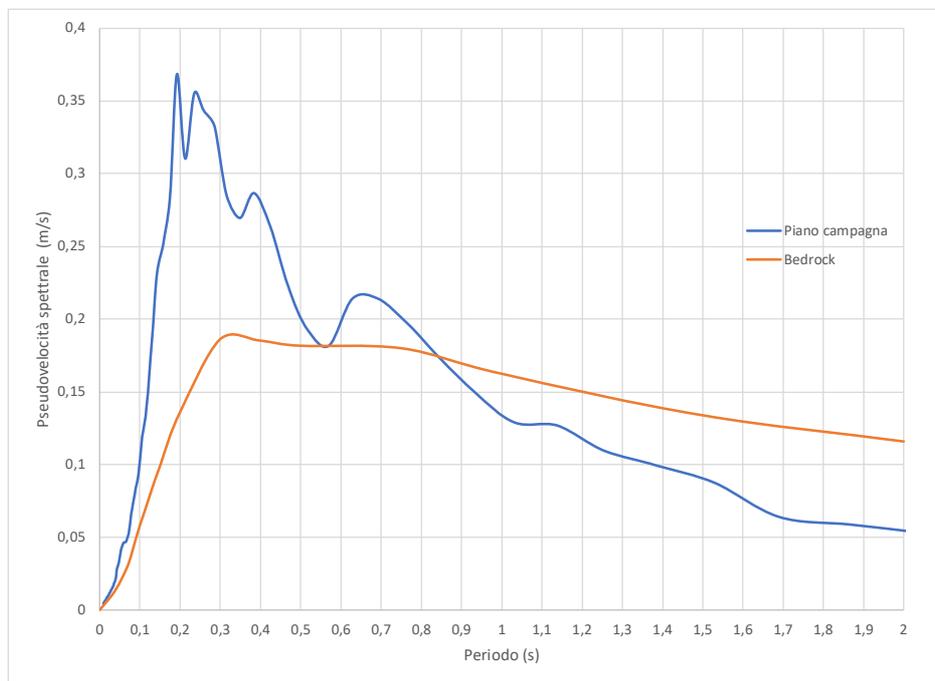


Figura 18 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Villa di Casola

Infine in Figura 19 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio dal substrato sismico ai depositi sovrastanti.

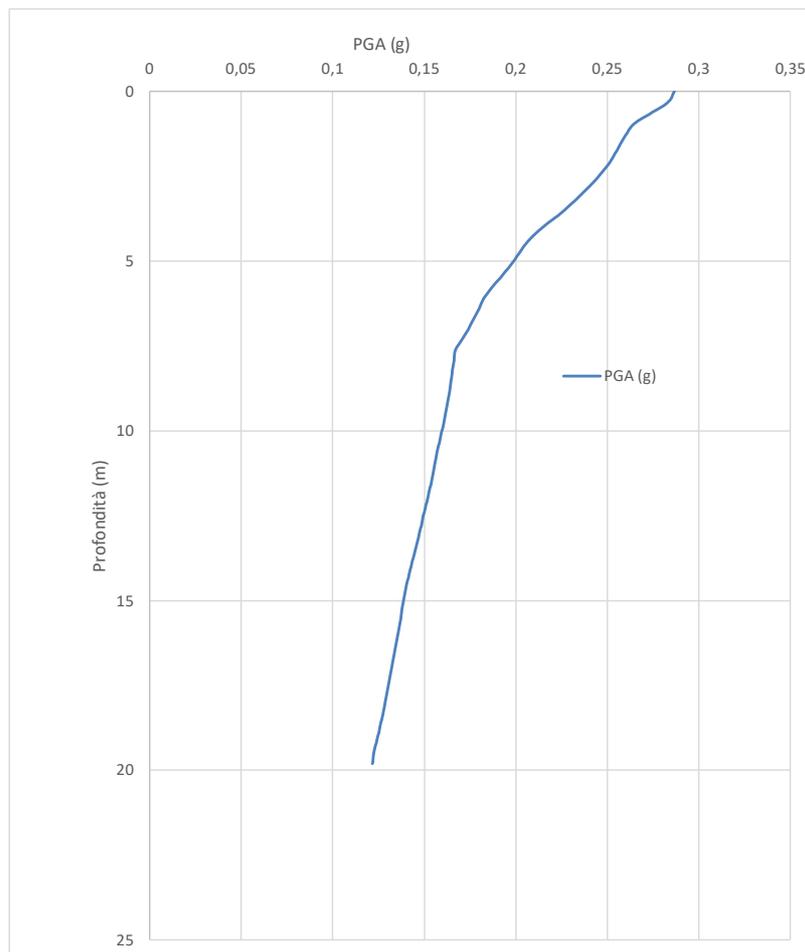


Figura 19 – Andamento di PGA in profondità – Villa di Casola

Per completezza 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 630/2019.

	RSL	DGR630/2019
$FA_{PGA}$	1.8	2.0
SA1 IS 0,1-0,5	1.9	2.0
SA2 IS 0,4-0,8	1.2	1.4
SA3 IS 0,7-1,1	1.0	1.1
SI1 IS 0,1-0,5	1.8	2.0
SI2 IS 0,5-1,0	1.0	1.2

\*Tabella Appennino,  $V_{SH}$  300 m/s, spessore 20 m; I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa

### 3.1.6 RSL per Villa-Ariana-Case Battini

Per questo sito sono stati utilizzati i dati stratigrafici desunti dalle prove geofisiche e dirette effettuate sul deposito di frana. Gli spessori degli strati e le velocità Vs sono stati desunti dalla prova MASW e dalla tomografia sismica, specificatamente eseguite. La tomografia sismica ha permesso di individuare una possibile superficie di distacco a circa 5.5 m di profondità e ha evidenziato la presenza di un livello mediamente compatto interpretabile come il substrato lapideo alterato; i valori di Vs sono coerenti con questa interpretazione. Il bedrock sismico individuato da Vs di circa 1000 m/s coincide con tutta probabilità con il substrato geologico del Flysch di Monte Cassio. I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litotipo	Peso di Volume (kN/m <sup>3</sup> )	Modello degradazione modulo di taglio	Modello Smorzamento
Corpo di Frana	18.5	Frana Spinello	Frana Spinello
Substrato alterato	19.0	EPRI (93) 50-120 ft	EPRI (93) 50-120 ft

Profondità (m)	Spessore (m)	Litotipo	Vs (m/s)
0.00	0.90	Frana	92.00
0.90	1.80	Frana	195.00
2.70	5.70	Frana	241.00
8.40	5.40	Substrato alterato	262.00
13.80	7.30	Substrato alterato	303.00
21.10	46.00	Substrato alterato	545.00
67.10	Half-space	<b>Bedrock</b>	<b>800.00</b>

In Figura 20 si riporta la funzione di trasferimento ricavata dallo Studio di RSL. Sono presenti diversi picchi di amplificazione di cui i più interessanti a livello ingegneristico sono quelli a circa 2 Hz e 4 Hz, legati ai salti di Vs tra il passaggio tra la coltre di frana e il substrato alterato e tra i passaggi all'interno dello strato alterato. Sono presenti infine altri picchi di amplificazione a frequenze non di interesse ingegneristico. Il confronto tra la funzione di trasferimento e l'andamento del rapporto H/V mostra buone risposnde per i primi due picchi.

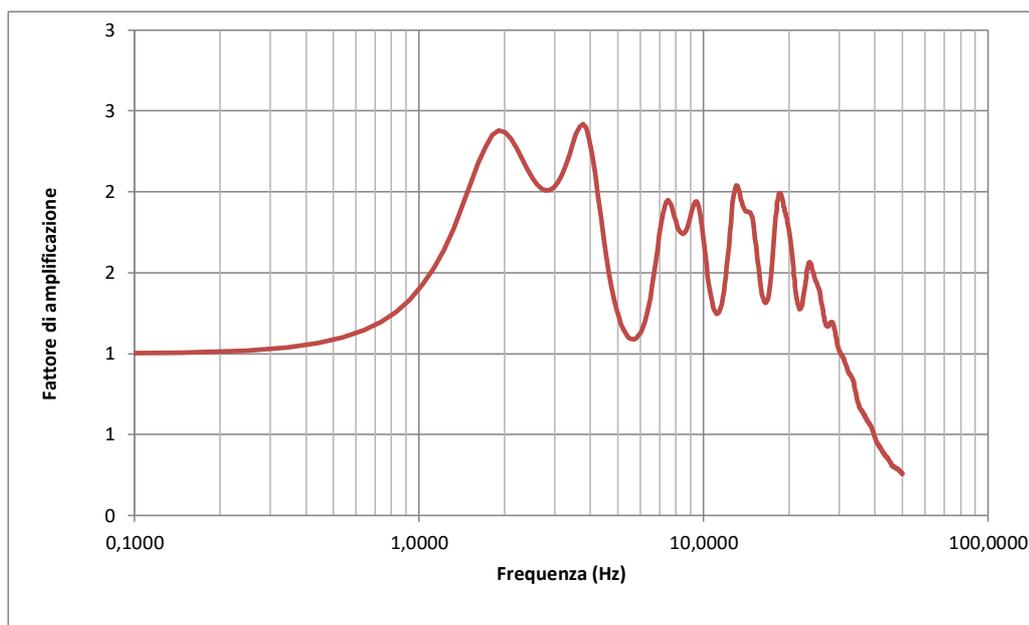


Figura 20 – Funzione di trasferimento – Strata Villa-Ariana-Case Battini

In Figura 21 sono riportati, per confronto, lo spettro di risposta di input e gli spettri di risposta ottenuti utilizzando il metodo semplificato delle categorie di sottosuolo presente nelle NTC. Seguendo il metodo semplificato previsto dalle NTC 2018 il terreno indagato è classificabile come di tipo C ( $V_{s_{eq}} = 289$  m/s). Si può pertanto notare come tale modello semplificato sottostimi l'accelerazione sismica per periodi inferiori a 0,30 s.

In Figura 22 si riporta il confronto tra gli spettri di pseudovelocità al bedrock e a piano campagna; gli intervalli tra i periodi di 0.1 s, 0.5 s, 1 s e 1.5 s sono quelli utilizzati per il calcolo dell'intensità di Housner.

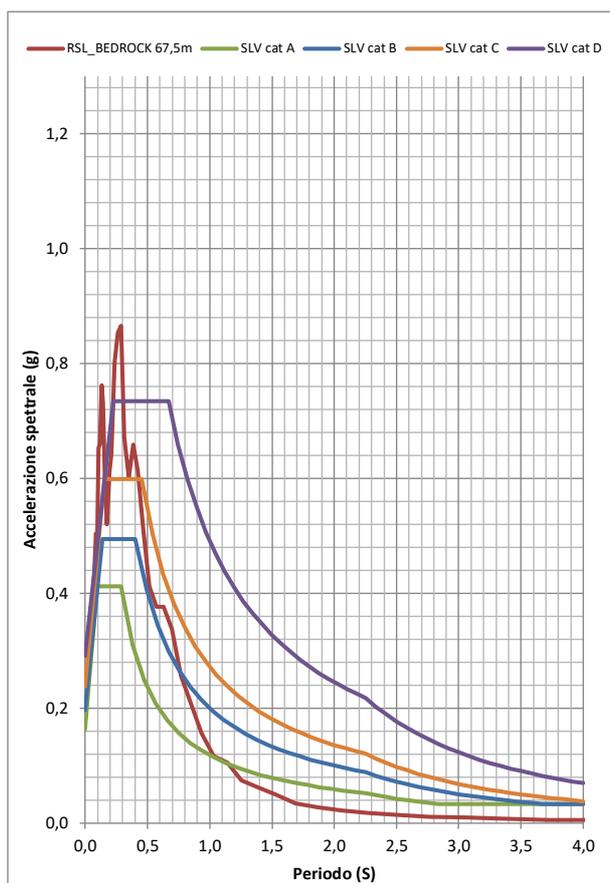


Figura 21 – Spettri di risposta in accelerazione – Villa-Ariana-Case Battini

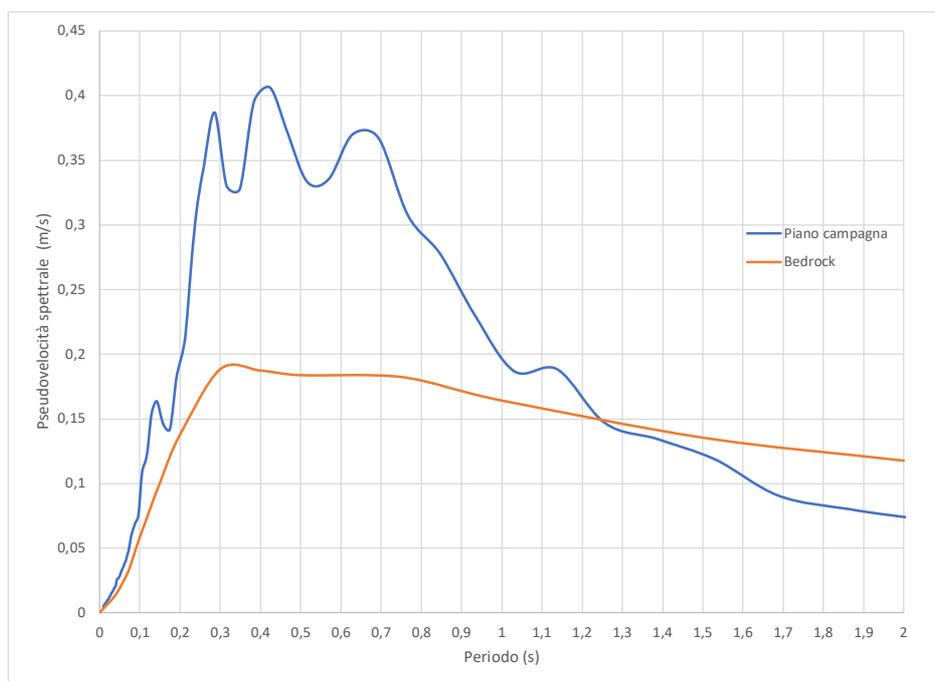


Figura 22 – Spettri di risposta in pseudovelocità – Villa-Ariana-Case Battini

Infine in Figura 23 è indicato l'andamento con la profondità del valore dell'accelerazione sismica al suolo. Come da previsione i valori minimi si hanno al bedrock e quelli massimi in superficie. Un netto incremento del gradiente di PGA si ha al passaggio dal substrato sismico ai depositi sovrastanti.

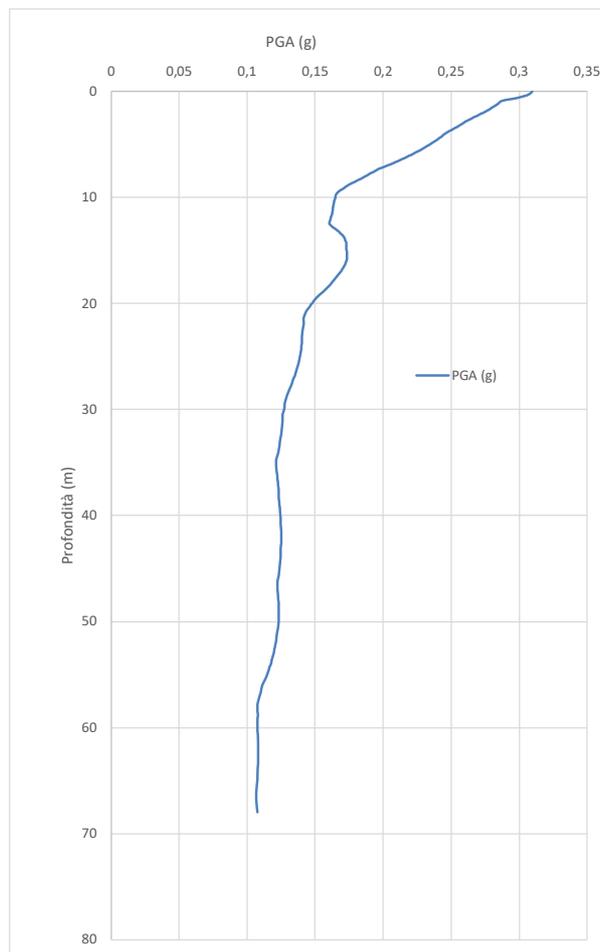


Figura 23 – Andamento di PGA in profondità – Villa-Ariana-Case Battini

Per completezza 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 630/2019.

	RSL	DGR630/2019
FA <sub>PGA</sub>	1.9	1.7
SA1 <sub>IS 0,1-0,5</sub>	1.8	1.8
SA2 <sub>IS 0,4-0,8</sub>	1.9	1.4
SA3 <sub>IS 0,7-1,1</sub>	1.5	1.1
SI1 <sub>IS 0,1-0,5</sub>	1.9	1.8
SI2 <sub>IS 0,5-1,0</sub>	1.7	1.2

\*Tabella Appennino, V<sub>SH</sub> 400 m/s, spessore 30 m; I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa

## 3.2 Stabilità di versante

### 3.2.1 Metodo di verifica

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

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo 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  $N_i$  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.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cdot \cos\alpha_i + T_i \cdot \sin\alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cdot \cos\alpha_i - N_i \cdot \sin\alpha_i &= K W_i - \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ . L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di Sarma la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

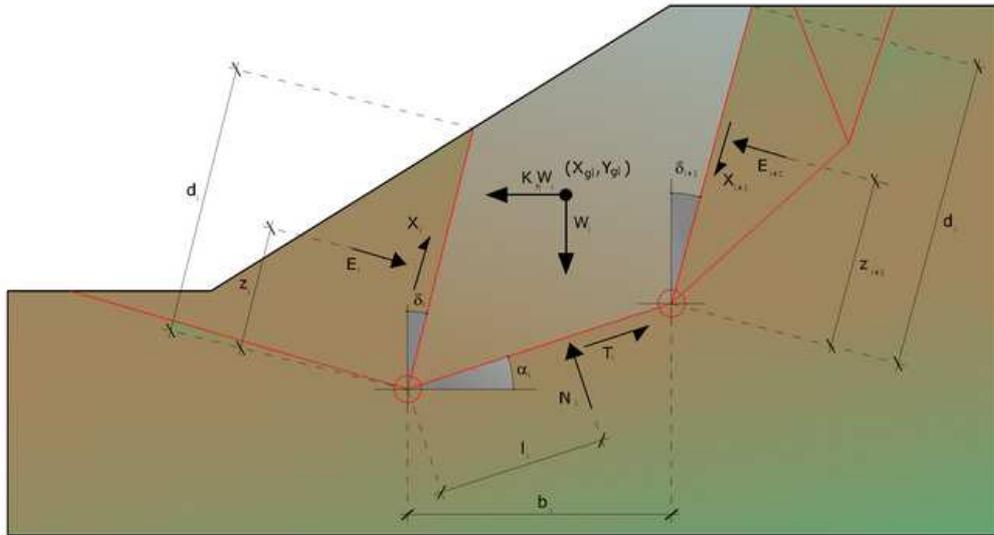


Figura 24 – Azioni sull'iesimo concio, metodo di Sarma

$$\sum \Delta X_i \cdot \tan(\psi_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K W_i$$

$$\sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \tan(\psi_i - \alpha_i) + (x_{mi} - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di **K** (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione **K** corrispondente al fattore di sicurezza **F = 1**, ossia l'accelerazione critica.

Si ha pertanto:

**K=Kc** Accelerazione critica se F=1

**F=Fs** Fattore di sicurezza in condizioni statiche se K=0

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura. E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\sum \Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita. La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo

alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $I$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### 3.2.2 Frana di Villa di Casola

La frana quiescente in località Villa di Casola è di tipo indeterminato ma probabilmente caratterizzata da una combinazione di scivolamenti e colamenti. Essa è impostata sulla formazione del Flysch di Monte Cassio, caratterizzata da alternanze di livelli pelitici e arenacei. La nicchia di distacco è situata nelle vicinanze della Strada Statale SSn.62 della Cisa e a breve distanza della linea di spartiacque. In Figura 25 è riportata la traccia della sezione utilizzata per l'analisi di stabilità.

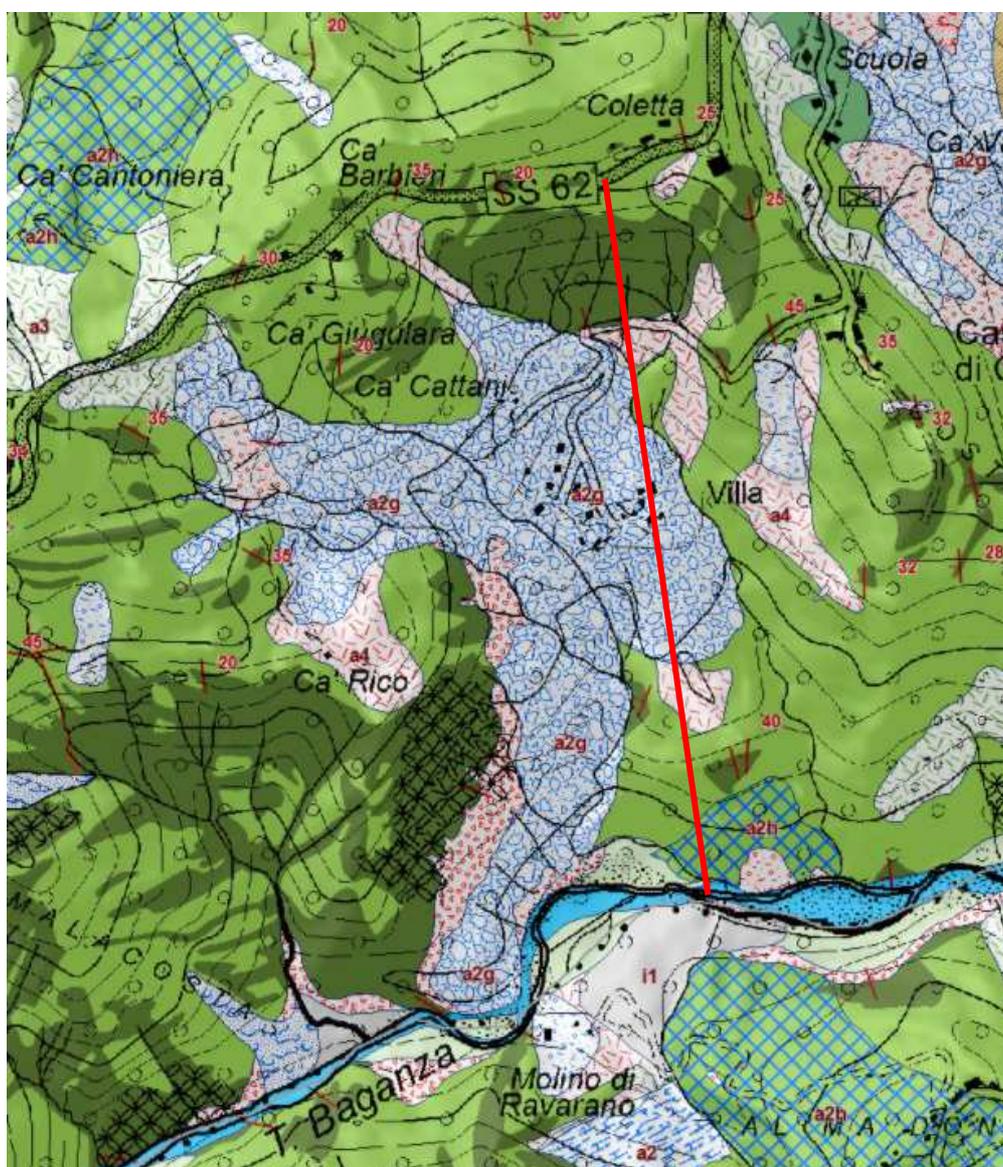


Figura 25 – Estratto della Carta geologica alla scala 1:10.000 con indicata la traccia della sezione

Le prove geofisiche MASW e Tomografia a rifrazione hanno permesso di discriminare almeno 3 livelli a diversa rigidità come si nota nella seguente Figura 26.

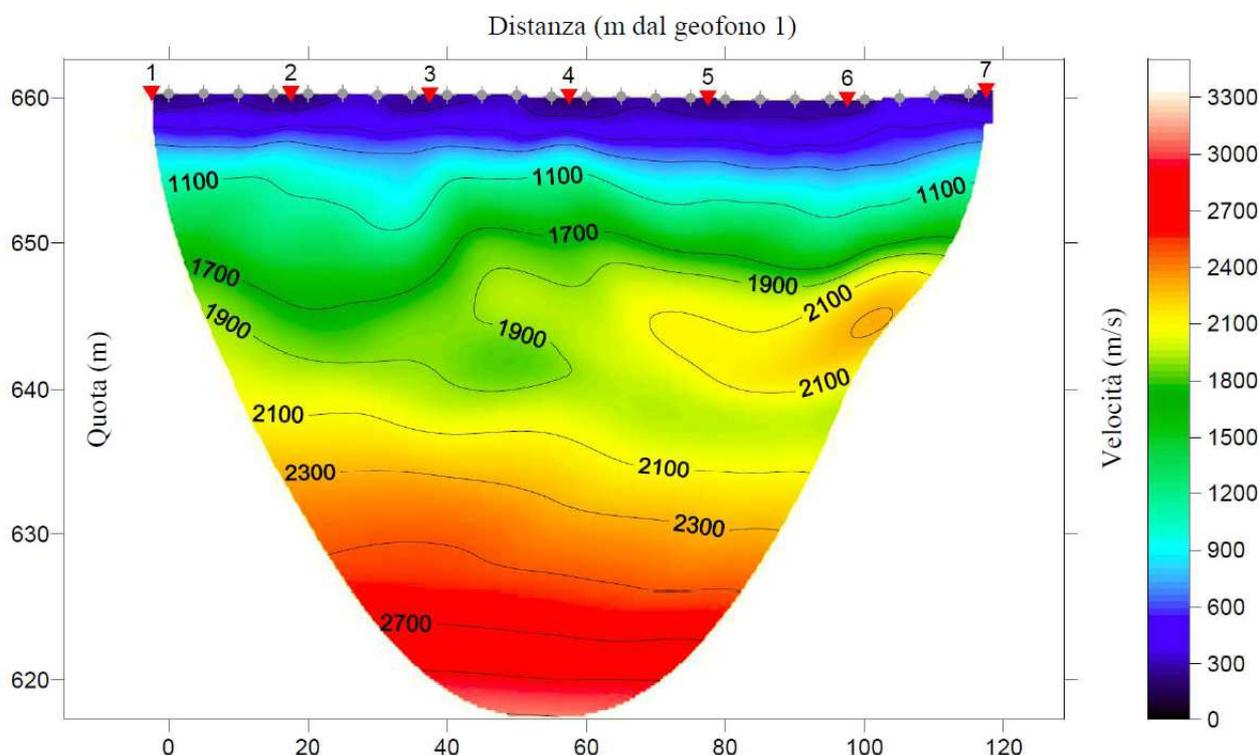


Figura 26 – Sezione tomografica relativa allo stendimento sismico

Sulla base delle velocità sismiche rilevate e in buon accordo con l'elaborazione Masw + HVSR è possibile individuare il seguente modello di sottosuolo:

- Unità superficiale a bassa velocità: velocità sismiche inferiori a 1100 m/sec e spessore medio di circa 7 metri. Dovrebbe trattarsi di depositi di natura gravitativa con caratteristiche geomeccaniche modeste;
- Unità superficiale a velocità medio-alta: velocità sismiche comprese tra 1100 e 2100 m/sec e spessore medio di circa 12-15 metri. Si interpreta come la porzione maggiormente alterata del substrato roccioso;
- Unità di fondo: velocità sismiche maggiori di 2100 m/sec. Dovrebbe trattarsi del substrato roccioso di natura pelitico arenacea.

Successivamente sono stati attribuiti ai 3 livelli individuati i parametri geotecnici necessari per l'analisi di stabilità del versante; tali parametri sono stati attribuiti sulla base delle indagini eseguite e sulla base di

indagini di laboratorio e prove in situ eseguite su litotipi analoghi in altre aree sede di dissesti e sulla stessa formazione geologica. In particolare per l'angolo di resistenza al taglio della coltre franosa sono state considerate condizioni a volume costante, intermedie tra lo stato di picco e lo stato residuo, tipiche di argille a media plasticità. Per il substrato alterato sono state considerate condizioni prossime ai valori di picco; infine per il substrato sono stati considerati valori di picco da fonti bibliografiche. Dopo aver verificato la coerenza di tali parametri con il profilo di Vs e di Vp misurato, sono state effettuate una serie di verifiche di stabilità. La superficie di distacco è stata imposta e considerata corrispondente al contatto tra l'unità a bassa velocità ( $V_p < 1100$  m/s) e quella a media velocità ( $V_p > 1100$  m/s); la superficie piezometrica è stata considerata coincidente con il piano campagna. Dal momento che sono disponibili pochi dati puntuali relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana si è proceduto, come controllo, alla 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  $F_s=1$ . Il dissesto in esame è classificato come quiescente e il relativo coefficiente di sicurezza non è noto, ma deve risultare  $F_s \geq 1$ ; si è quindi proceduto con successive verifiche aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.

Al termine della fase di analisi è stato possibile verificare la stabilità del versante, riassunta nella tabella successiva.

	$\phi'$	$c'$ (kpa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	FS statico	Kh	Fs sisma
Deposito gravitativo	12.5	7	19	1,26	0,07	0,83
Substrato alterato	30	10	20	-	-	-
Substrato	40	10	20	-	-	-

La verifica in condizioni statiche e dinamiche è riassunta nelle figure in allegato A.

Per calcolare lo spostamento del pendio in caso di sisma è stato utilizzato il metodo semplificato derivato dalla teoria del blocco rigido di Newmark così come indicato nella DGR n. 630 del 29 Aprile 2019 mediante le seguenti espressioni empiriche:

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

in cui  $\phi$  è l'angolo di resistenza al taglio sul piano di slittamento (nel caso in esame pari a 12.5°),  $\alpha$  è l'angolo di inclinazione della superficie di scorrimento (nel caso in esame pari a 10°) e  $S_0$  è lo spostamento del blocco rigido sul piano orizzontale valutabile con la relazione:

$$S_0 = \frac{37v_{\max}^2}{a_{\max}} e^{-9,4 \frac{a_c}{a_{\max}}}$$

con

$a_{\max}$ : accelerazione massima del moto alla base del pendio (in g)

$v_{\max}$ : velocità massima del moto alla base del pendio (m/s)

$a_c = K_c * g$  "accelerazione critica"

Il coefficiente  $K_c$  è il valore che assume il coefficiente sismico  $K_h$  quando il fattore di sicurezza FS è uguale a 1. Tale valore può essere ricavato attraverso successive analisi pseudostatiche inverse in cui si riduce il coefficiente sismico fino a raggiungere la condizione FS=1.

Nel caso del pendio in esame il fattore di sicurezza unitario è stato raggiunto considerando un valore di  $K_h$  pari a 0,037 g, come esposto nella figura in Allegato A, a cui corrisponde un'accelerazione critica  $a_c$  pari a 0,36 m/s<sup>2</sup>.

I valori di  $v_{\max}$  possono essere valutati sulla base dei valori di  $a_{\max}$ :

- per  $a_{\max} = 0.35g$        $v_{\max} = 40$  cm/s
- per  $a_{\max} = 0.25g$        $v_{\max} = 30$  cm/s
- per  $a_{\max} = 0.15g$        $v_{\max} = 15$  cm/s

Nel caso in esame, considerando un valore di  $a_{\max}$  pari a 0,292 g, è stato utilizzato un valore di  $v_{\max}$  pari a 35 cm/s; sulla base dei dati indicati e utilizzando la formula esposta precedentemente si ottiene un valore di spostamento S pari a 49 cm.

### 3.2.3 Frana di Villa-Ariana-Case Battini

La frana quiescente in località Villa-Ariana-Case Battini, come la precedente, è di tipo indeterminato, ma probabilmente caratterizzata da una combinazione di scivolamenti e colamenti. Essa è impostata sulla formazione di Formazione di Monte Venere, caratterizzata da alternanze di livelli pelitici e arenacei. La sezione considerata parte nelle vicinanze di Ca Battini e Ca' Castellani e giunge a valle fino in prossimità dell'Autostrada A 15. In Figura 27 è riportata la traccia della sezione utilizzata per l'analisi di stabilità.

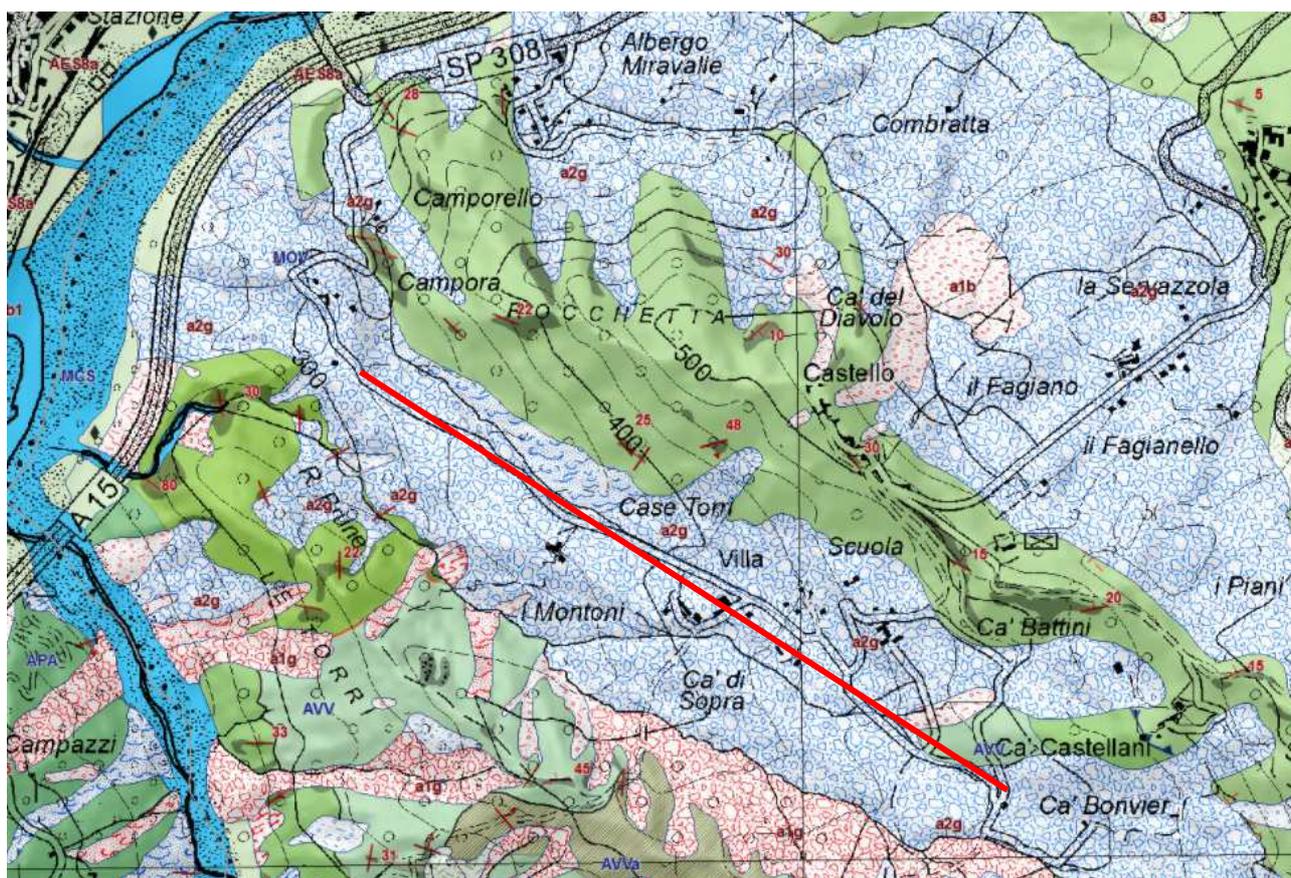


Figura 27 - Estratto della Carta geologica alla scala 1:10.000 con indicata la traccia della sezione

Le prove geofisiche MASW e Tomografia a rifrazione hanno permesso di discriminare almeno 3 livelli a diversa rigidità come si nota nella seguente Figura 28.

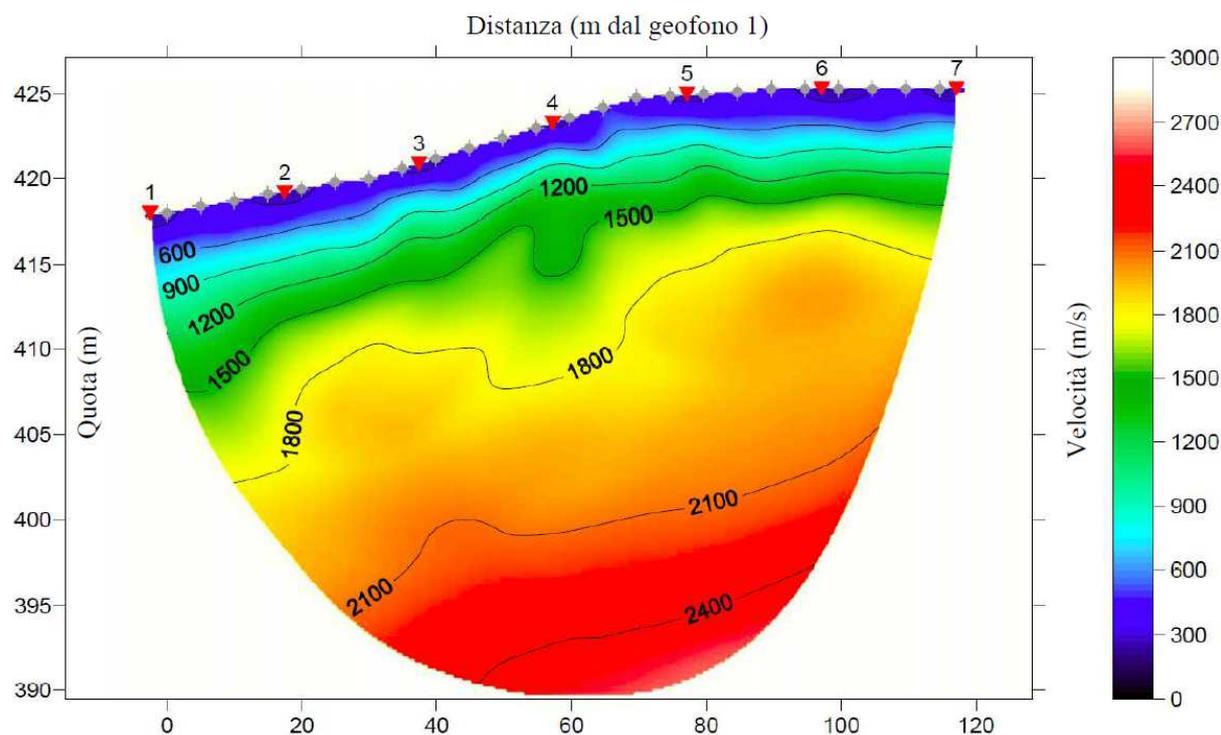


Figura 28 – Sezione tomografica relativa allo stendimento sismico

Sulla base delle velocità sismiche rilevate e in buon accordo con l'elaborazione Masw + HVSR è possibile individuare il seguente modello di sottosuolo:

- Unità superficiale a bassa velocità: velocità sismiche inferiori a 1200 m/sec e spessore medio di circa 5-7 metri. Trattasi di depositi di natura gravitativa con caratteristiche geomeccaniche relativamente modeste;
- Unità intermedia a velocità medio-bassa: velocità sismiche comprese tra 1.200 m/sec e 2.000 m/s e spessore di circa 10-13 m. L'unità comprende in superficie il materiale detritico di copertura meno compatto ed in profondità il materiale detritico più addensato rispetto all'orizzonte superficiale fino a passare ad un substrato roccioso fratturato e/o alterato;
- Unità di fondo: rinvenibile oltre i 18-20 con velocità sismiche maggiori di 2000 m/sec. Dovrebbe trattarsi del substrato roccioso di natura pelitico arenacea.

Successivamente sono stati attribuiti ai 3 livelli individuati i parametri geotecnici necessari per l'analisi di stabilità del versante; tali parametri sono stati attribuiti sulla base delle indagini effettuate e sulla base di indagini di laboratorio e prove in situ eseguite su litotipi analoghi in altre aree sede di dissesti e sulla stessa formazione geologica. In particolare per l'angolo di resistenza al taglio della coltre franosa sono state considerate condizioni a volume costante, intermedie tra lo stato di picco e lo stato residuo, tipiche di argille

a media plasticità. Per il substrato alterato sono state considerate condizioni prossime ai valori di picco; infine per il substrato sono stati considerati valori di picco da fonti bibliografiche. Dopo aver verificato la coerenza di tali parametri con il profilo di Vs e di Vp misurato, sono state effettuate una serie di verifiche di stabilità. La superficie di distacco è stata imposta e considerata corrispondente al contatto tra l'unità a bassa velocità ( $V_p < 1000$  m/s) e quella a media velocità ( $V_p > 1000$  m/s); la superficie piezometrica è stata considerata coincidente con il piano campagna. Dal momento che non sono disponibili pochi dati puntuali relativi ai parametri geotecnici dei materiali in frana si è proceduto, come controllo, alla 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  $F_s=1$ . Il dissesto in esame è classificato come quiescente e il relativo coefficiente di sicurezza non è noto, ma deve risultare  $F_s \geq 1$ ; si è quindi proceduto con successive verifiche aumentando progressivamente i parametri di resistenza al taglio ottenendo fattori di sicurezza crescenti.

Al termine della fase di analisi è stato possibile verificare la stabilità del versante, riassunta nella tabella successiva.

	$\phi'$	$c'$ (kpa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	FS statico	Kh	Fs sisma
Deposito gravitativo	13.5	8	19	1,67	0,07	0,99
Substrato alterato	30	10	20	-	-	-
Substrato	40	10	20	-	-	-

La verifica in condizioni statiche e dinamiche è riassunta nelle figure in allegato A.

Per calcolare lo spostamento del pendio in caso di sisma è stato utilizzato il metodo semplificato derivato dalla teoria del blocco rigido di Newmark così come indicato nella DGR n. del 630 del 29 Aprile 2019 mediante le seguenti espressioni empiriche:

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

in cui  $\phi$  è l'angolo di resistenza al taglio sul piano di slittamento (nel caso in esame pari a 12.5°),  $\alpha$  è l'angolo di inclinazione della superficie di scorrimento (nel caso in esame pari a 10°) e  $S_0$  è lo spostamento del blocco rigido sul piano orizzontale valutabile con la relazione:

$$S_0 = \frac{37V_{\max}^2}{a_{\max}} e^{-9.4 \frac{a_c}{a_{\max}}}$$

con

$a_{max}$ : accelerazione massima del moto alla base del pendio (in g)

$v_{max}$ : velocità massima del moto alla base del pendio (m/s)

$a_c = K_c * g$  "accelerazione critica"

Il coefficiente  $K_c$  è il valore che assume il coefficiente sismico  $K_h$  quando il fattore di sicurezza  $FS$  è uguale a 1. Tale valore può essere ricavato attraverso successive analisi pseudostatiche inverse in cui si riduce il coefficiente sismico fino a raggiungere la condizione  $FS=1$ .

Nel caso del pendio in esame il fattore di sicurezza unitario è stato raggiunto considerando un valore di  $K_h$  pari a 0,067 g, come esposto nella figura in Allegato A, a cui corrisponde un'accelerazione critica  $a_c$  pari a 0,66  $m/s^2$ .

I valori di  $v_{max}$  possono essere valutati sulla base dei valori di  $a_{max}$ :

- per  $a_{max} = 0.35g$        $v_{max} = 40 \text{ cm/s}$
- per  $a_{max} = 0.25g$        $v_{max} = 30 \text{ cm/s}$
- per  $a_{max} = 0.15g$        $v_{max} = 15 \text{ cm/s}$

Nel caso in esame, considerando un valore di  $a_{max}$  pari a 0,311 g, è stato utilizzato un valore di  $v_{max}$  pari a 35 cm/s; sulla base dei dati indicati e utilizzando la formula esposta precedentemente si ottiene un valore di spostamento  $S$  pari a 20 cm.

#### 4 ELABORATI CARTOGRAFICI

Lo studio di microzonazione di III Livello ha prodotto l'aggiornamento e la nuova redazione delle seguenti carte:

Elab.	Elaborato	Scala
1	Carta delle Indagini	1:10.000
2	Carta geologico-tecnica	1:10.000
3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
4	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
5	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
6	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
7	Carta di microzonazione sismica FA SI1	1:5.000
8	Carta di microzonazione sismica FA SI2	1:5.000
9	Carta di microzonazione sismica FA SI3	1:5.000
10	Carta di microzonazione sismica FA SA1	1:5.000
11	Carta di microzonazione sismica FA SA2	1:5.000
12	Carta di microzonazione sismica FA SA3	1:5.000
13	Carta di microzonazione sismica FA SA4	1:5.000
14	Carta di microzonazione sismica FA HMS	1:5.000
15	Carta di microzonazione sismica FA H0408	1:5.000
16	Carta di microzonazione sismica FA H0711	1:5.000
17	Carta di microzonazione sismica FA H0515	1:5.000

#### 4.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini sono riportate le ubicazioni di tutte le indagini geognostiche inserite nel database geognostico a corredo dello studio.

Tale cartografia costituisce un aggiornamento di quella già redatta per gli studi di microzonazione di 2° livello con le indagini eseguite per l'approfondimento di III livello.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia come riportato nella legenda riportata (Figura 29):

-  Prova petrometrica statica con punta meccanica CPT
-  Prova penetrometrica dinamica super pesante DS
-  Stazione microtremore a stazione singola HVSr
-  Sondaggio a carotaggio continuo S
-  Prova penetrometrica in foro SPT
-  Sondaggio a carotaggio continuo che individua il substrato SS
-  Trincea o pozzetto esplorativo T
-  Stratigrafia zona MS (teorica) SMS
  
-  **MW**  
MASW
-  **RM**  
Prova REfractionMicrotremors REMI
-  **SR**  
Verticale virtuale lungo profilo sismico a rifrazione SR

Figura 29 – Legenda della Carta delle Indagini

Nella seguente Tabella 2 sono riportati numero e tipologia di indagini presenti sul territorio studiato, acquisite mediante la ricerca eseguita presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale, riprese dal database del Servizio Geologico regionale o eseguite per lo specifico scopo del presente studio.

<b>TIPO PROVA</b>	<b>Presenti in DB II Livello</b>	<b>Eseguite per III Livello</b>	<b>Totale</b>
<i>Prova penetrometrica statica CPT</i>	9	2	11
<i>Prova penetrometrica dinamica</i>	46		46
<i>Sondaggi meccanici con escavatore</i>	19		19
<i>Sondaggi a carotaggio continuo</i>	15		15
<i>Stazione microtremore a stazione singola</i>	41	8	49
<i>Prova MASW</i>	28	2	30
<i>Sismica a rifrazione</i>	0	2	2

Tabella 2 – Indagini geognostiche di riferimento sul territorio comunale

#### 4.2 Carta geologico-tecnica

Le indagini eseguite per l'approfondimento di III Livello hanno confermato la validità delle assunzioni fatte per la redazione della Carta geologico tecnica eseguita per il secondo livello che rimane, pertanto, invariata e valida, aggiornata, però, nelle codifiche.

#### 4.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Come per la Carta precedente le indagini eseguite hanno confermato la piena validità delle distinzioni delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Per entrambe le aree di approfondimento di III Livello si intendono convalidate le due microzone 2023 e 2024 in cui si è supposto un forte passaggio litologico 5 e 10 m corrispondenti ai depositi di frana su substrato con una parte più superficiale fratturata ed alterata.

#### 4.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni

La Carta delle frequenze naturali dei terreni a scala 1:10.000 fu redatta nel 2019 dallo scrivente sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'archivio comunale, sia di nuova acquisizione. Si tratta di una carta derivata dalle indagini speditive di sismica passiva (HVSR sulle vibrazioni ambientali). In questa carta sono riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di F0 del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di eventuali

altri picchi significativi a più alta frequenza). Nel presente approfondimento di terzo livello la carta è stata aggiornata, per le due aree di approfondimento, mediante l'inserimento delle nuove prove HVSR realizzate sulle aree instabili.

Le nuove prove HVSR realizzate presentano le seguenti caratteristiche:

LOCALITA'	PROVA	MOPS (Codice)	PICCO PRINCIPALE FO	
			Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V
Villa di Casola	034038P137HVSR162	30242023	5.7	3.7
Villa di Casola	034038P138HVSR163	30242023	2.3	2.7
Villa di Casola	034038P139HVSR164	30242023	8.9	2.5
Villa-Ariana-Case Battini	034038P132HVSR157	30242024	3.2	2.1
Villa-Ariana-Case Battini	034038P133HVSR158	30242024	2.1	2.9
Villa-Ariana-Case Battini	034038P134HVSR159	30242024	24.9	4.1
Villa-Ariana-Case Battini	034038P135HVSR160	30242024	2.3	2.8
Villa-Ariana-Case Battini	034038P136HVSR161	30242024	0.5	8.2

#### 4.5 Carta delle velocità delle onde di taglio

Tale elaborato rappresenta l'aggiornamento dell'Elaborato del II Livello sulla base delle indagini geofisiche realizzate allo specifico scopo di integrare le informazioni disponibili dove carenti al fine dell'analisi di III Livello.

Così come già illustrato al cap. 2.2, sono state realizzate, nelle aree oggetto di approfondimento di III Livello, n. 2 prove MASW (una per ciascuna area).

E' stata, pertanto, redatta la Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ) dove sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata e indicando il corrispondente valore di  $V_{s,eq}$  dove:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;  
 $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per i depositi con profondità H del substrato minore di 30 m allora:

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

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*);

Per i depositi con profondità del substrato maggiore di 30 m, allora:

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

$h_i$  = 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).

Il valore di  $V_{S_{30}}$  è stato indicato per le indagini effettuate all'interno delle zone in cui il contrasto di velocità più significativo è stato assunto a profondità superiore ai 30 m, mentre, per tutte le zone, in cui è stato rinvenuto un forte salto delle onde di taglio a profondità inferiore a 30 m, è stata riportata la  $V_{S_H}$ .

Segue pertanto tabella dove sono indicati i valori di  $V_{S_H}$  per tutte le indagini disponibili: la lista delle indagini MASW a supporto dello studio di microzonazione di II livello, è stata integrata con le MASW eseguite sulle aree di approfondimento di III livello

MZS II LIVELLO					
ID	ID_INDPU	Vsh (m/s)	Prof. Bedrock (m)	Tipo deposito interessato	Località
MASW1	034038L1MASW1	527	-	Flysch di Solignano sottoposto a depositi di frana quiescente	Villa - Case Battini
MASW2	034038L2MASW2	282	15	Complesso di Case Boscaini	Corniana (cimitero)
MASW3	034038L3MASW3				Terenzo
MASW4	034038L4MASW4	366	25	Flysch di Monte Sporno	Molimo Secchione
MASW5	034038L5MASW5	599	45,9	Marne di Monte Piano sottoposte a depositi alluvionali appartenenti a AS8a	Braglia
MASW6	034038L6MASW6	495	39,5	Argille Azzurre sottoposte a depositi alluvionali del T. Sporzana appartenenti a AES8a	La Fornace - Ozzanello
MASW7	034038L7MASW7	420	24,2	Flysch di Farinid'Olmo	La Pianessa - Scanzo
MASW8	034038L8MASW8	499	50	Flysch di Monte Cassio	Casola Castello
MASW9	034038L9MASW9	442	21	Flysch di Monte Sporno	Terenzo
MASW10	034038L10MASW10	370	25	Complesso di Case Boscaini	Boschi di Bardone
MASW11	034038L11MASW11	548	14	Flysch di Monte Sporno	Molino secchione
MASW12	034038L12MASW12	380	19,3	Flysch di Monte Cassio	Cazzola
MASW13	034038L13MASW13	425	47,9	Complesso di Case Boscaini	Corniana
MASW14	034038L14MASW14	360	39,3	Complesso di Casanova	Cassio
MASW15	034038L15MASW15	202	8,0	Flysch di Monte Sporno	Lesignano Palmia
MASW16	034038L16MASW16	325	20,6	Flysch di Monte Sporno	Lughero
MASW17	034038L17MASW17	467	45,3	Formazione a colombacci sormontata da depositi di conoide torrentizia	Ponte T. Sporzana loc. Palmia
MASW18	034038L18MASW18	394	36,0	Flysch di Solignano	Selva Grossa
MASW19	034038L19MASW19	225	8,4	Flysch di Monte Cassio	Selva Bocchetto
MASW20	034038L20MASW20	405	50,0	Formazione di Vernasca	Palmia
MASW21	034038L21MASW21	238	23,6	Arenarie di Scabiazza	Scanzo
MASW22	034038L22MASW22	351	17,8	Argille Azzurre sottoposte a depositi alluvionali del T. Sporzana appartenenti a AES8a	Ponte T. Sporzana loc. Fornace-Ozzanello
MASW23	034038L23MASW23	487	18,0	Flysch di Monte Cassio	Il Monte
MASW24	034038L24MASW24	486	27,5	Flysch di Farinid'Olmo	La Lissa - Boschi di Bardone
MASW25	034038L25MASW25	259	18,0	Formazione di Ranzano sottoposta a depositi di detriti di versante o di frana quiescente	Bardone
MASW26	034038L26MASW26	475	30,0	Formazione di Ranzano	Goiano
MASW27	034038L27MASW27	417	31,9	Formazione di Monte Venere	Selva Castello
MASW28	034038L28MASW28	418	50,0	Flysch di Monte Sporno	Puilio
MZS III LIVELLO					
ID	ID_INDPU	Vsh (m/s)	Prof. Bedrock (m)	Tipo deposito interessato	Località
MASW30	034038L30MASW30	390	67,1	Formazione di Monte Venere sottoposto a depositi di frana quiescente	Villa-Ariana-Case Battini
MASW32	034038L32MASW32	296	19,6	Flysch di Monte Cassio sottoposto a depositi di frana quiescente	Villa di Casola

Tabella 3 – Valori di Vsh relative alle MASW disponibili

#### 4.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3, in scala 1:2.500, rappresentano gli elaborati grafici conclusivi del presente studio per le due aree di Villa-Ariana-Case Battini e Villa di Casola

Per tali aree sono state definite gli spettri di risposta per un periodo di 475 anni con smorzamento pari al 5% in termini di:

- rapporto di accelerazione massima orizzontale  $PGA/PGA_0$ ;
- rapporto di velocità al suolo come Intensità di Housner  $SI/SI_0$  per prefissati intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.5-1.0 s, 0.5-1.5s);
- rapporto di accelerazione al suolo  $A/A_0$  per prefissati intervalli di periodi (0.1-0.5s, 0.4-0.8s, 0.7-1.1s, 0.5-1.5s);
- valore di scuotimento atteso al sito  $H_{MS}$  calcolato tra 0.1 e 0.5 s e per gli intervalli di periodo 0.4-0.8s, 0.7-1.1s, 0.5-1.5s.

Sono pertanto state prodotte le mappe di amplificazioni in termini di PGA, FH1, FH2, FH3, FA1, FA2, FA3, FA4, HMS, H0408, H0711 e H0515 per i diversi intervalli di periodi.

Nelle figure seguenti (da Figura 30 a Figura 38) vengono riportate le legende utilizzate per accorpare i parametri di amplificazione delle Zone instabili per le Carte di microzonazione sismica, così come indicato negli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica.

#### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

  $Zs_{FR}$  -Zone suscettibili per instabilità di versante –  $Fa_{PGA}$  1.7–1.8

  $Zs_{FR}$  -Zone suscettibili per instabilità di versante –  $Fa_{PGA}$  1.9–2.0

Figura 30 – Legenda Carta di Microzonazione sismica III Livello FA PGA

#### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante FH0105  $(0,1s < T < 0,5s)$  1.8 – 1.9

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante FH0105  $(0,1s < T < 0,5s)$  1.7 – 1.8

Figura 31 – Legenda Carta di Microzonazione sismica FH1 (0.1-0.5 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FH0510 <sub>(0,5s&lt;T&lt;1,0s)</sub> 1.7 – 1.8
	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FH0510 <sub>(0,5s&lt;T&gt;1,0s)</sub> 1.0

Figura 32 - Legenda Carta di Microzonazione sismica FH2 (0.5-1.0 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FH0515 <sub>(0,5s&lt;T&lt;1,5s)</sub> 1.3 – 1.4
	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FH0515 <sub>(0,5s&lt;T&lt;1,5s)</sub> 1.0

Figura 33 - Legenda Carta di Microzonazione sismica FH3 (0.5-1.5 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0105 <sub>(0,1s&lt;T&lt;0,5)</sub> 1.7 – 1.8
	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0105 <sub>(0,1s&lt;T&lt;0,5)</sub> 1.9 – 2.0

Figura 34 - Legenda Carta di Microzonazione sismica FA1 (0.1-0.5 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0408 <sub>(0,4s&lt;T&lt;0,8)</sub> 1.1 – 1.2
	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0408 <sub>(0,4s&lt;T&lt;0,8)</sub> 1.9 – 2.0

Figura 35 - Legenda Carta di Microzonazione sismica FA2 (0.4-0.8 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0711 <sub>(0,7s&lt;T&lt;1,1s)</sub> 1.5 – 1.6
	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0711 <sub>(0,7s&lt;T&lt;1,1s)</sub> 1.0

Figura 36 - - Legenda Carta di Microzonazione sismica FA3 (0.7-1.1 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0515 <sub>(0,5s&lt;T&lt;1,5s)</sub> 1.5 – 1.6
	Zs <sub>FR</sub> Zone suscettibili per instabilità di versante FA0515 <sub>(0,5s&lt;T&lt;1,5s)</sub> 1.0

Figura 37 - Legenda Carta di Microzonazione sismica FA4 (0.5-1.5 s)

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante –  $H_{SM}$  (cm/s<sup>2</sup>) 600 – 700

Figura 38 - Legenda Carta di Microzonazione sismica  $H_{SM}$

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante – H (cm/s) 300–400  
(0,4s < T < 0,8s)

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante – H (cm/s) 200–300  
(0,4s < T < 0,8s)

Figura 39 - Legenda Carta di Microzonazione sismica H0408

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante – H (cm/s) 100–200  
(0,7s < T < 1,1s)

Figura 40 - Legenda Carta di Microzonazione sismica H0711

### Zone suscettibili di instabilità (livello 3)

  $Zs_{FR}$  Zone suscettibili per instabilità di versante – H (cm/s) 100–200  
(0,5s < T < 1,5s)

Figura 41 - Legenda Carta di Microzonazione sismica H0515

Per i due areali oggetto di studio sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tabella 4):

Località		FA PGA	FA SI1 (0,1-0,5s)	FA SI2 (0,5-1,0s)	FA SI3 (0,5-1,5s)	FA SA1 (0,1-0,5s)	FA SA2 (0,4-0,8s)	FA SA3 (0,7-1,1s)	FA SA4 (0,5-1,5s)	$H_{SM}$ (0,1-0,5s)	H (0,4-0,8s)	H (0,7-1,1s)	H (0,5-1,5s)
Aree INSTAB	Villa di Casola	1,82	1,72	1,04	1,00	1,87	1,18	1,00	1,00	664	232	117	110
	Villa-Ariana-Case Battini	1,91	1,86	1,70	1,41	1,79	1,94	1,50	1,53	643	389	184	177

Tabella 5 – Valori dei fattori amplificativi attribuiti agli areali di studio

Relativamente alle zone stabili suscettibili di amplificazione locali sono stati valutati, sulla base alle tabelle contenute nella DGR 630/2019, i fattori amplificativi HSM, H0408 e H0711 riferito alle zone dell'Appennino per le quali non vengono indicati i fattori amplificativi relativi al periodo  $0.5 \text{ s} \leq T \leq 1.5 \text{ s}$ .

I valori così stimati sono stati introdotti tra gli attributi dello shape STAB e rappresentati negli elaborati di consegna.

## 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

CETRARO FAUSTINO (2014): Modellazione del sottosuolo con la geofisica applicata alle onde di superficie; Epc Libri Editore

COMUNE DI SAN SECONDO PARMENSE: (2018), Studio di microzonazione sismica (secondo livello)

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)

GIANCARLO DAL MORO (2012): Onde di superficie in geofisica applicata; Dario Flaccovio Editore

KOTTKE, ALBERT R., AND RATHJE, ELLEN M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

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.

MARCELLINI A., MARTELLI L, TENTO 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 sismogenetica zs9-app. 2 al rapporto conclusivo. In: "GRUPPO DI LAVORO MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

NORI & DI MARCANTONIO (2014): Manuale di risposta sismica locale. epc editore

MOLIN D., STUCCHI M. E VALENSISE G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile

SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – (2005): Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000 – Fogli 199 e 200.

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

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 200130 "VARSI", alla scala 1:10.000. Servizio di Programmazione e Pianificazione Territoriale della Provincia di Parma

REGIONE EMILIA ROMAGNA. – ENI AGIP (1998): Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna.

REGIONE EMILIA ROMAGNA. – UNIVERSITA DI SIENA (2013): ASSETTO TETTONICO E POTENZIALITÀ SISMOGENETICA DELL' APPENNINO TOSCO-EMILIANO E DELLA VAL PADANA.

F. ROCCAFORTE, C. CUCINOTTA (2015): Stima dei Parametri Geotecnici in Geofisica Applicata; Dario Flaccovio Editore.

## 12. ALLEGATI

Elab	Tav.	Elaborato	Scala
1	1	Carta delle Indagini	1:10.000
	2	Carta delle Indagini	1:10.000
2	1	Carta geologico-tecnica	1:10.000
	2	Carta geologico-tecnica	1:10.000
3	1	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
	2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:10.000
4	1	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
	2	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	1:10.000
5	1	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
	2	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
	3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
	4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
	5	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	1:5.000
6	1	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
	2	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
	3	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
	5	Carta di microzonazione sismica FA PGA	1:5.000
7	1	Carta di microzonazione sismica FH1	1:5.000
	2	Carta di microzonazione sismica FH1	1:5.000
	3	Carta di microzonazione sismica FH1	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FH1	1:5.000
	5	Carta di microzonazione sismica FH1	1:5.000
8	1	Carta di microzonazione sismica FH2	1:5.000
	2	Carta di microzonazione sismica FH2	1:5.000
	3	Carta di microzonazione sismica FH2	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FH2	1:5.000
	5	Carta di microzonazione sismica FH2	1:5.000
9	3	Carta di microzonazione sismica FH3	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FH3	1:5.000

10	3	Carta di microzonazione sismica FA1	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA1	1:5.000
11	3	Carta di microzonazione sismica FA2	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA2	1:5.000
12	3	Carta di microzonazione sismica FA3	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA3	1:5.000
13	3	Carta di microzonazione sismica FA4	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA4	1:5.000
14	1	Carta di microzonazione sismica FA HMS	1:5.000
	2	Carta di microzonazione sismica FA HMS	1:5.000
	3	Carta di microzonazione sismica FA HMS	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA HMS	1:5.000
	5	Carta di microzonazione sismica FA HMS	1:5.000
15	3	Carta di microzonazione sismica FA H0408	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA H0408	1:5.000
16	3	Carta di microzonazione sismica FA H0711	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA H0711	1:5.000
17	3	Carta di microzonazione sismica FA H0515	1:5.000
	4	Carta di microzonazione sismica FA H0515	1:5.000
18		QU_MS3	-
19		Prove penetrometriche	-
20		Prove MASW+HVSR+SR	-
21		Verifiche di stabilità	-

**N.B. DEGLI ELABORATI 9, 10, 11, 12, 13, 15,16, 17 NON SONO STATE PRODOTTE LE TAV. 1, 2 E 5 IN QUANTO ESSE NON RICOMPREDONO LE AREE DI APPROFONDIMENTO DI TERZO LIVELLO E PERTANTO LE AREE IN ESSE RICOMPRESE RISULTANO NON TEMATIZZATE POICHE' IL VALORE DEL PARAMETRO SPECIFICO NON E' STATO DEFINITO NEL PRECEDENTE STUDIO DI II LIVELLO.**