



COGEO STUDIO GEOLOGICO

Dott. Cocetti Marcello - Dott. Cocetti Pier Luigi  
Via Giardini Sud n° 127 - 41026 Pavullo nel Frignano (MODENA)  
TEL. 0536/324537 - E-MAIL cogeo@fastwebnet.it



# Geologica Geologica e Sismica

(CONFORME AI PUNTI 6.1, 6.2, 6.3 DELL'ALLEGATO B.2.1 DEL BURERT N° 153)

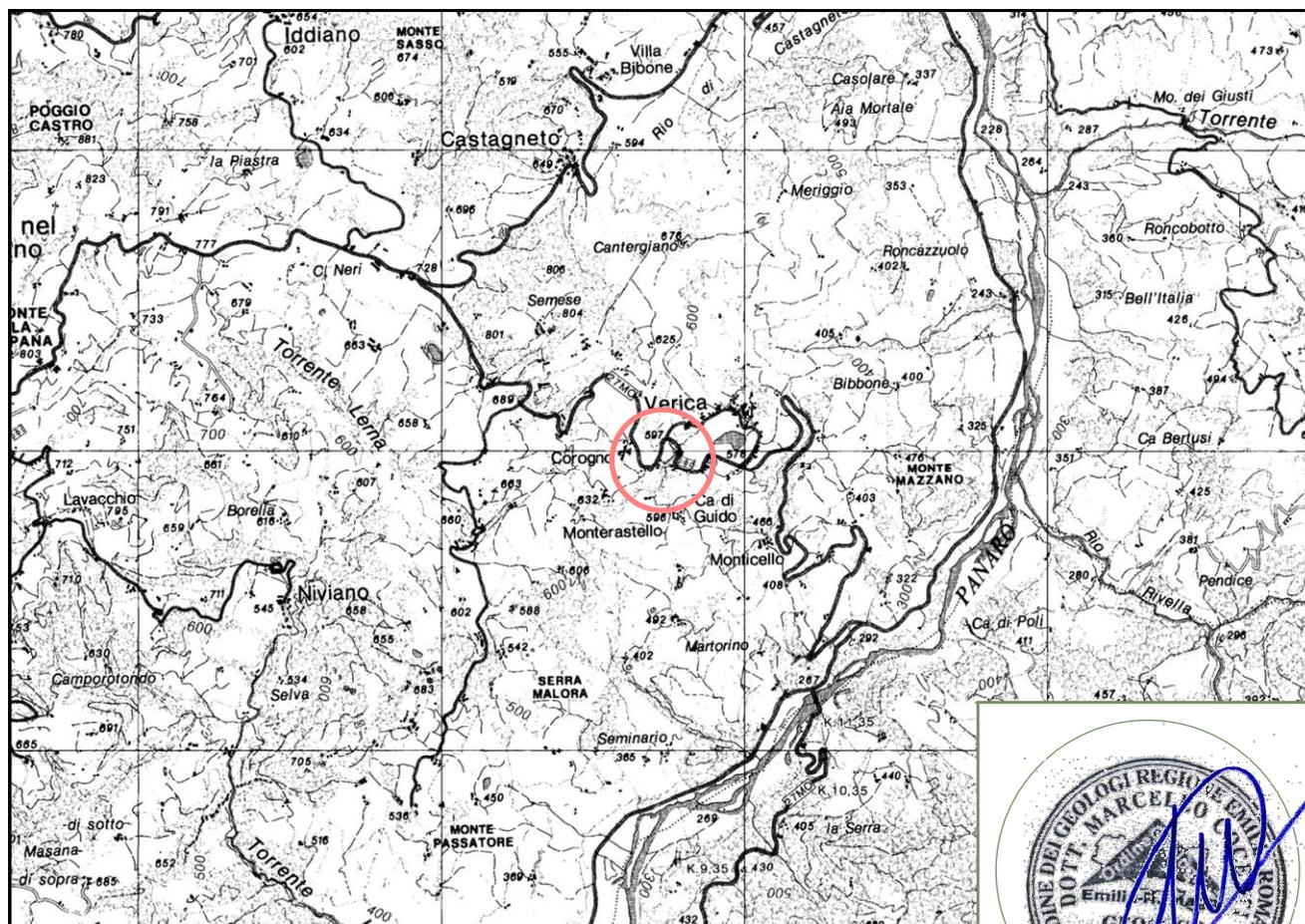
**OGGETTO** : **PROPOSTA DI INSERIMENTO NEL POC 2015/2020 DEL  
COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO**

**LOCALITÀ** : **LA STAZIONE—VERICA**

**COMUNE** : **PAVULLO NEL FRIGNANO**

**COMMITTENTE** : **FERRARI WILLIAMS**

**PROGETTO** : **SUCCI GEOM BRUNO**



UBICAZIONE DELL'INTERVENTO SCALA 1:50'000

1 Km

TAV. F236

COORDINATE UTM

Est: 651455

Nord: 909875



## INDICE

### 1. RELAZIONE GEOLOGICA

- 1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO
- 1.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO
- 1.3 IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA
- 1.4 PROCESSI EROSIVI E GRADO DI STABILITA'
- 1.5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

### 2. RELAZIONE SISMICA

- 2.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA (DM 14/01/2008)
  - 2.1.1 Classificazione del Suolo in base alle Vs30
- 2.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (DM 14/01/2008)
- 2.3 RISPOSTA SISMICA LOCALE ED AMPLIFICAZIONE SISMICA (III LIVELLO)

### 3. CONCLUSIONI

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Circ. 07/03/08 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.  
DM 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni)  
DAL RER 112/2007 (Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica)  
O.P.C.M. n° 3274 del 20 Marzo 2003 (Normativa antisismica)  
D.M.LL.PP. 11/03/1988  
D.M. 21/01/1981  
Circ. LL.PP. n° 21597/81  
Circ. R.E.R n° 12831  
R.D. 03/12/23 n° 3267 e succ. mod. e integr.  
T.L. 27/06/1985 n° 312

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

-La Geologia del versante Padano dell'Appennino Settentrionale  
Università degli Studi di Modena - Istituto di Geologia  
-Appennino Tosco-Emiliano. Guide Geologiche Regionali.  
A cura della Società Geologica Italiana  
-Schema Introduttivo alla Geologia delle Epiliguridi dell'Appennino Modenese e delle Aree Limitrofee  
Mem.Soc.Geol. It 39 (1987), 215-244, 21 ff.  
-Schema Introduttivo alla Geologia delle Liguridi dell'Appennino Modenese e delle Aree Limitrofee  
Mem.Soc.Geol. It 39 (1987), 91-125, 27 ff.  
-I Melange dell'Appennino Settentrionale dal T.Tresinaro al T.Sillaro.  
Mem.Soc.Geol. It 39 (1987), 187-214, 19 ff.



## **RIFERIMENTI CARTOGRAFICI**

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:25000.  
TAVOLA 236-NE

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:10000.  
SEZIONE 236070

CARTOGRAFIA CTR Scala 1:5000.  
ELEMENTO 236072

ESTRATTO CATASTALE Scala 1:2000. COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO.  
FOGLIO 93; MAPPALE 947.

CARTA GEOLOGICO-SCHEMATICA DELL'APPENNINO MODENESE E ZONE  
LIMITROFE. Scala 1:100000. Istituto di Geologia dell'Università di Modena

CARTA GEOLOGICA DELL'APPENNINO EMILIANO-ROMAGNOLO 1:10000.  
SEZIONE 236070

CARTA GEOLOGICA PROGETTO CARG a Scala 1:10000.  
SEZIONE 236070

CARTA DEL DISSESTO (PTCP).  
SEZIONE 236070

## **ALLEGATI**

- TAV. 1, 2 - Localizzazione del sito su cartografia CTR
- TAV. 3 - Morfometria del Versante a scala 1:5000
- TAV. 4 - Carta Geologica CARG a scala 1:10000
- TAV. 5 - Carta del Dissesto a scala 1:10000
- TAV. 6 - Carta del Rischio Sismico a scala 1:10000
- TAV. 7 - Carta Forestale a scala 1:10000
- TAV. 8 - Carta Microzonazione Sismica I° Livello - PSC
- TAV. 9a - Carta Microzonazione sismica II Livello PGA/PGAo (Fx) - PSC
- TAV. 9b - Carta Microzonazione sismica II Livello SI/SIo (Fy) - PSC
- TAV. 9c - Carta Microzonazione sismica II Livello SI/SIo (Fz) - PSC
- TAV. 10 - Estratto Catastale a scala 1:2000
- TAV. 11 - Planimetria dell'area con ubicazione prove (scala 1:1000)

**ALLEGATO A** - Registrosi Sismiche, Parametri Sismici, Spettri Elastici

**ALLEGATO B** - Grafici e Tabulati della Risposta Sismica Locale

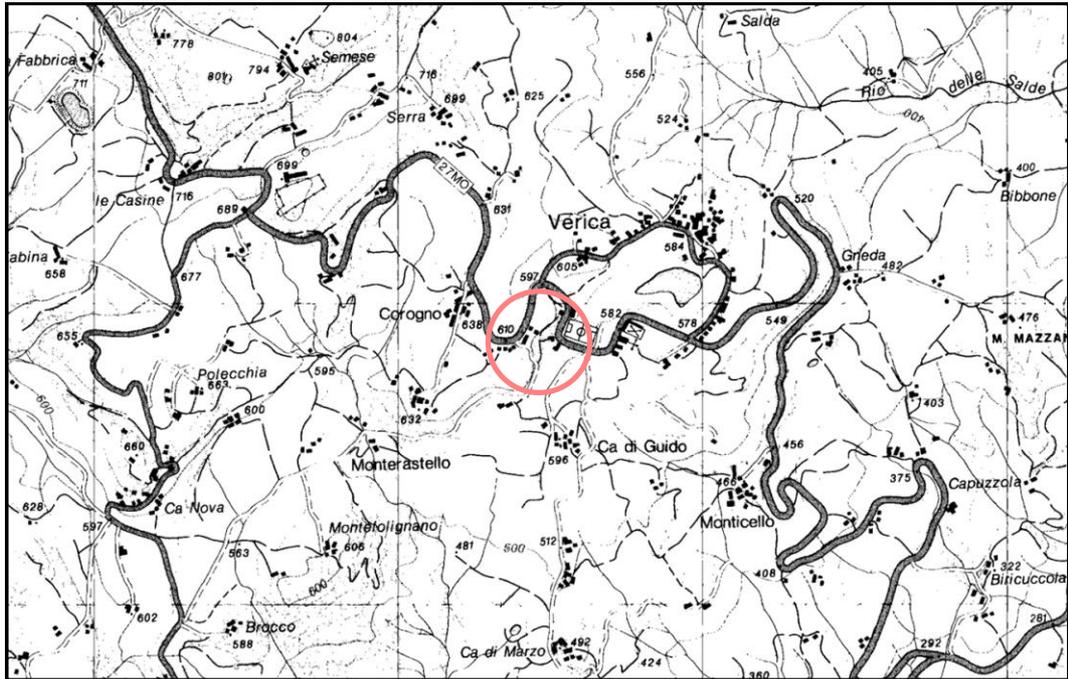


## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:25'000

TAVOLA 236ne

TAV. 1

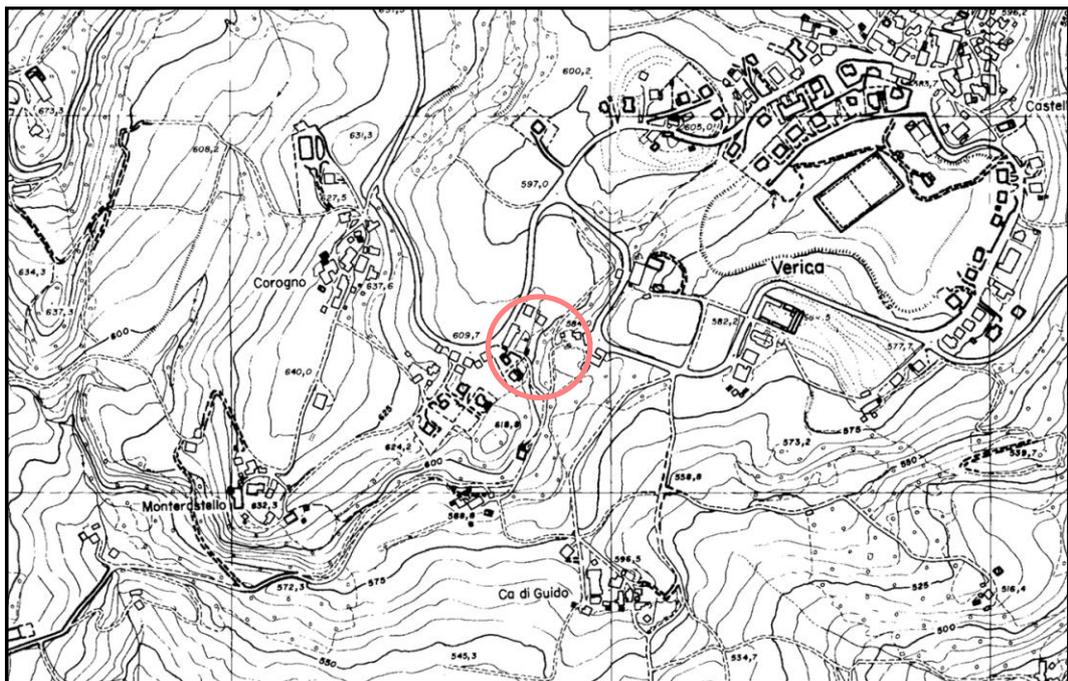


## CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:10'000

SEZIONE 236070

TAV. 2



UBICAZIONE DEL SITO

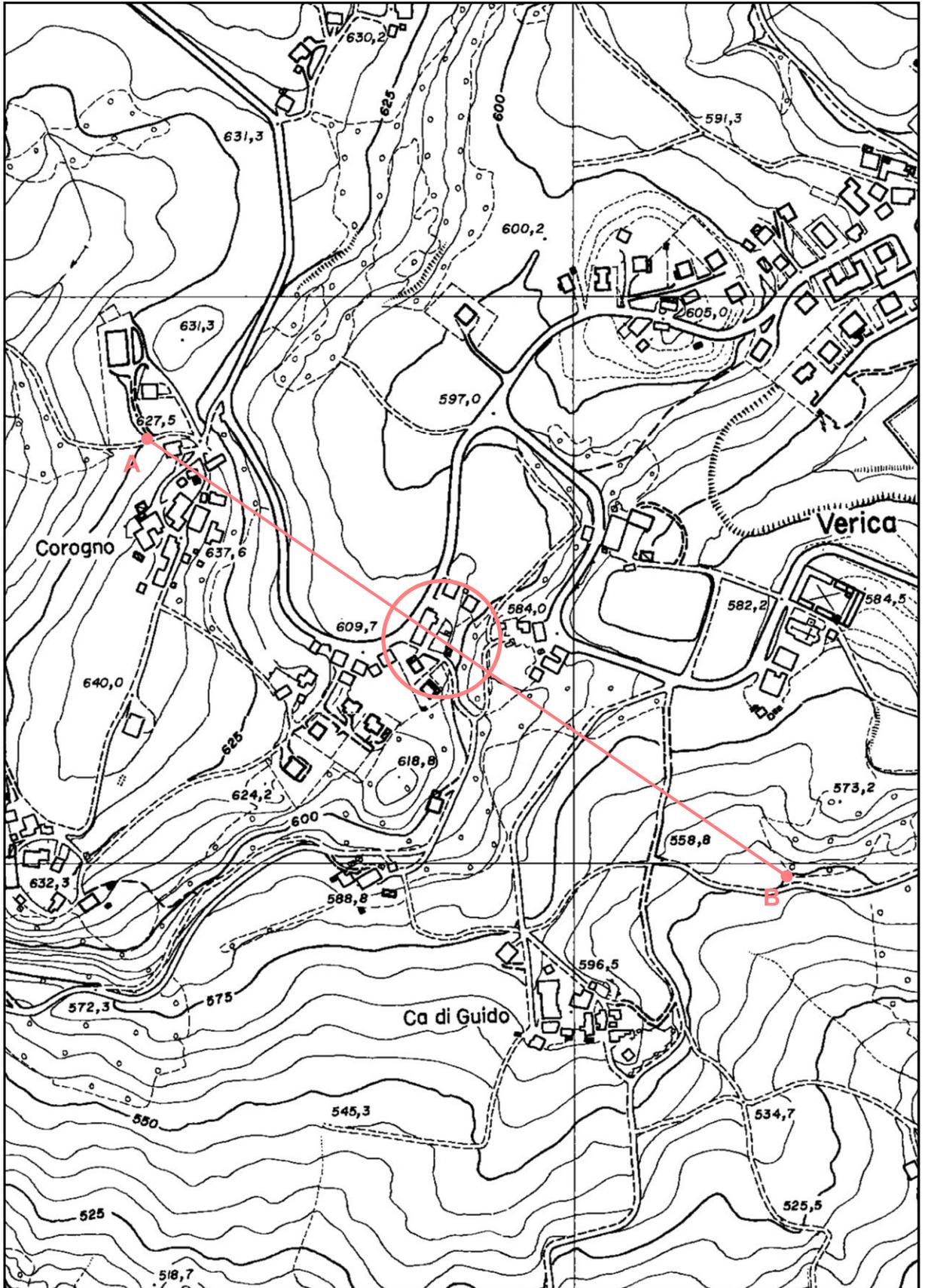


# CARTOGRAFIA C.T.R.

Scala 1:5'000

ELEMENTO 236072

TAV. 3

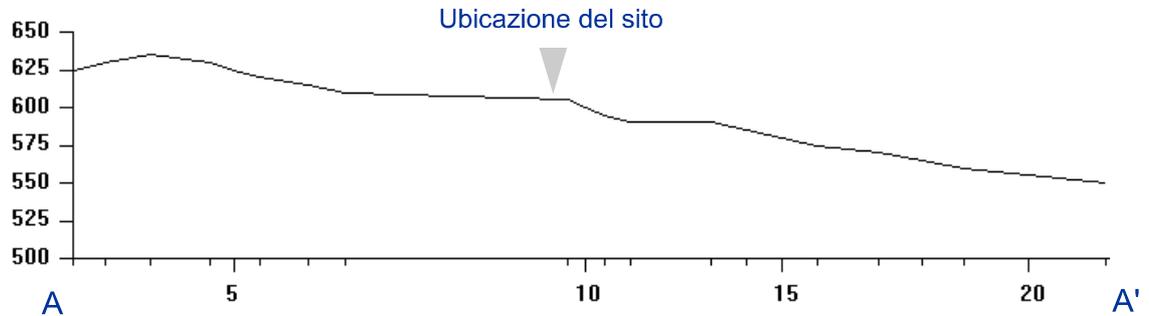




## SEZIONE TOPOGRAFICA A – A'

Scala 1: 5000

TAV. 3-b



## MORFOMETRIA DEL VERSANTE

RILEVATO DALLA CARTA TECNICA REGIONALE

Scala 1: 5000

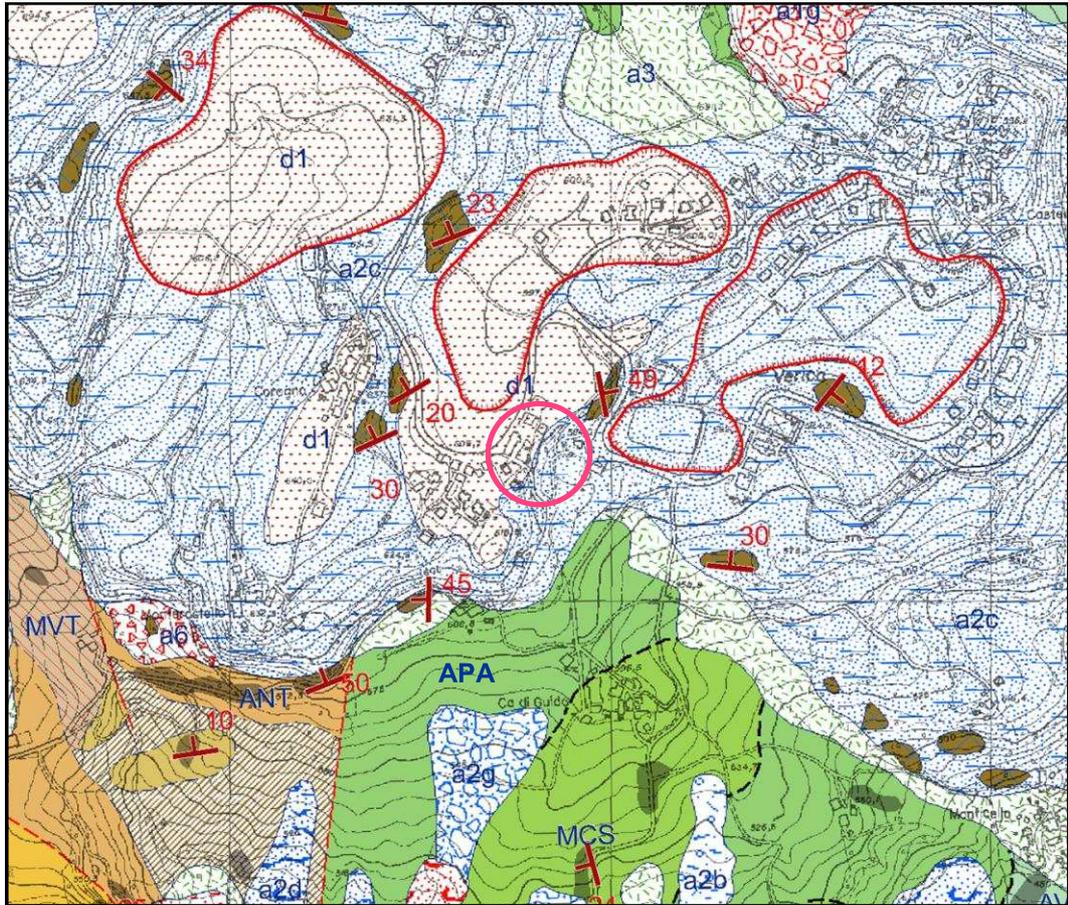
Pun.n°	Quota	D.Prog.	D.Parz.	Acc.%	Acc.°
002	0630	021.4	021.4	023.3	013.1
003	0635	050.5	029.1	017.2	009.8
004	0630	089.6	039.1	012.8	007.3
005	0625	106.3	016.7	029.9	016.6
006	0620	122.4	016.1	031.0	017.2
007	0615	155.0	032.6	015.3	008.7
008	0610	178.8	023.8	021.0	011.9
009	0605	325.9	147.1	003.4	001.9
010	0600	336.9	010.9	045.7	024.6
011	0595	349.8	012.9	038.7	021.2
012	0590	366.8	017.0	029.4	016.4
013	0590	420.5	053.8	000.0	000.0
014	0585	443.4	022.9	021.8	012.3
015	0580	466.9	023.5	021.3	012.0
016	0575	489.8	022.9	021.8	012.3
017	0570	530.6	040.8	012.2	007.0
018	0565	558.8	028.2	017.7	010.1
019	0560	586.7	027.9	017.9	010.2
020	0555	629.3	042.6	011.7	006.7
021	0550	680.1	050.8	009.8	005.6



## CARTA GEOLOGICA CARG

Scala 1:10'000

TAV. 4



DESCRIZIONE DELLE UNITA' GEOLOGICHE PRESENTI IN CARTA

### Depositi quaternari continentali

	a1 - Deposito di frana attiva di tipo indeterminato
	a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
	a1d - Deposito di frana attiva per colamento lento
	a1g - Deposito di frana attiva complessa
	a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
	a2c - Deposito di frana quiescente per espansione laterale
	a2d - Deposito di frana quiescente per colamento lento
	a2g - Deposito di frana quiescente complessa
	a2h - Deposito di frana quiescente per scivolamento in blocco
	a3 - Deposito di versante s.l.
	a4 - Deposito eluvio-colluviale
	d1 - Deposito eolico

### Successione epiligure

	CIG - Formazione di Cigarello
	CIG2 - Formazione di Cigarello - membro di Monte Luminasio
	CIG1 - Formazione di Cigarello - membro di Montalto Nuovo
	PAT - Formazione di Pantano
	PAT2 - Formazione di Pantano - membro di Montecuccolo
	PAT1 - Formazione di Pantano - membro di Sassoguidano

### Unità liguri

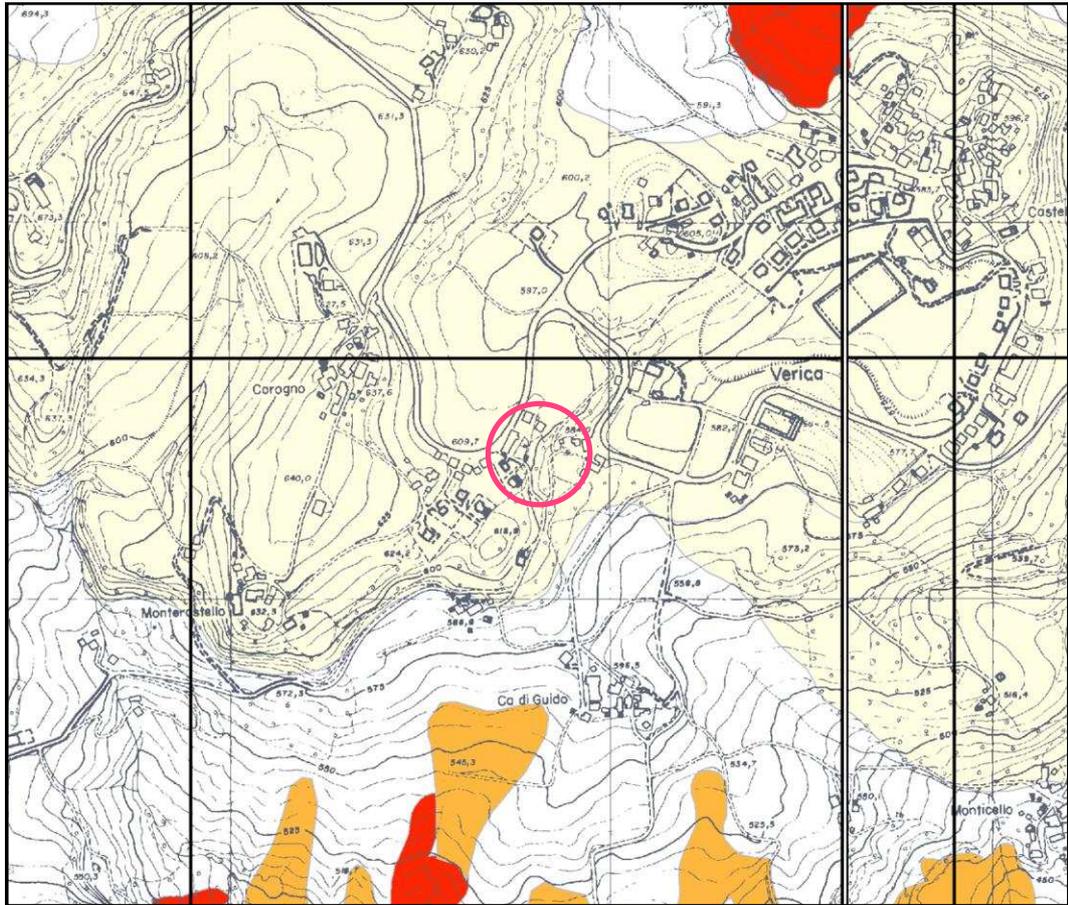
	AVI - Argille di Viano
	MCS - Flysch di Monte Cassio
	MOH - Formazione di Monghidoro
	MOV - Formazione di Monte Venere
	AVV - Argille Varicolori di Cassio
	SCB - Arenarie di Scabiazza



## CARTA DEL DISSESTO PTCP

Scala 1:10'000

TAV. 5



**PTCP Provincia di Modena**  
Carta del Dissesto

**Scala 1:10000**



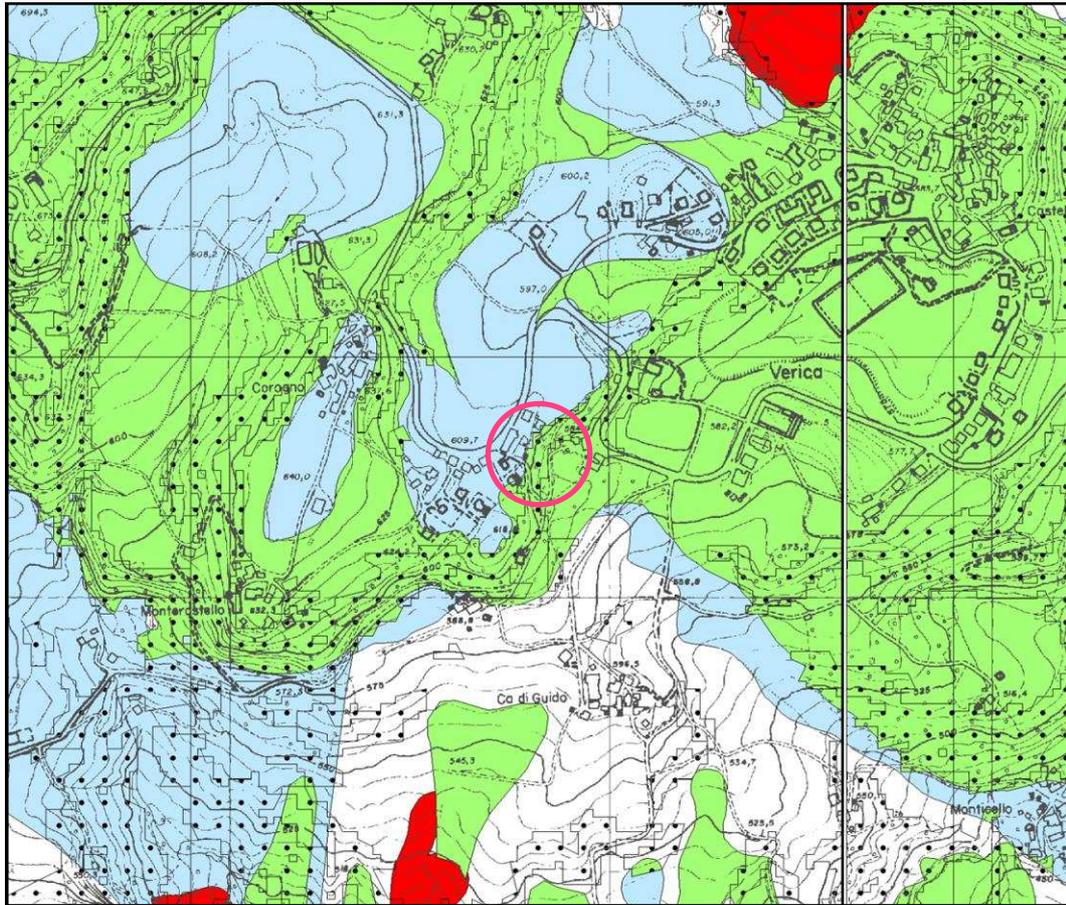
VOCI DI LEGENDA			
<b>Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità</b>			
		Aree interessate da frane attive	Art.15
		Aree interessate da frane quiescenti	
<b>Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità</b>			
		Aree potenzialmente instabili	Art.16
<b>Aree a rischio idrogeologico elevato e molto elevato</b>			
	<b>Codice scheda 2.1.1 NR</b>	Abitati da consolidare o da trasferire (perimetrazione approvata ai sensi dell'art.29 comma 2 del PTPR)	Art.17
		Aree a rischio idrogeologico molto elevato	Art.18A
		Aree a rischio da frana perimetrate e zonizzate a rischio molto elevato (R4) ed elevato (R3)	Art.18B



## CARTA DEL RISCHIO SISMICO

Scala 1:10'000

TAV. 6



 **PTCP Provincia di Modena**  
Aree Suscettibili di effetti locali

**Scala 1:10000**

0 100 200 300 400 500 mt

### Effetti attesi

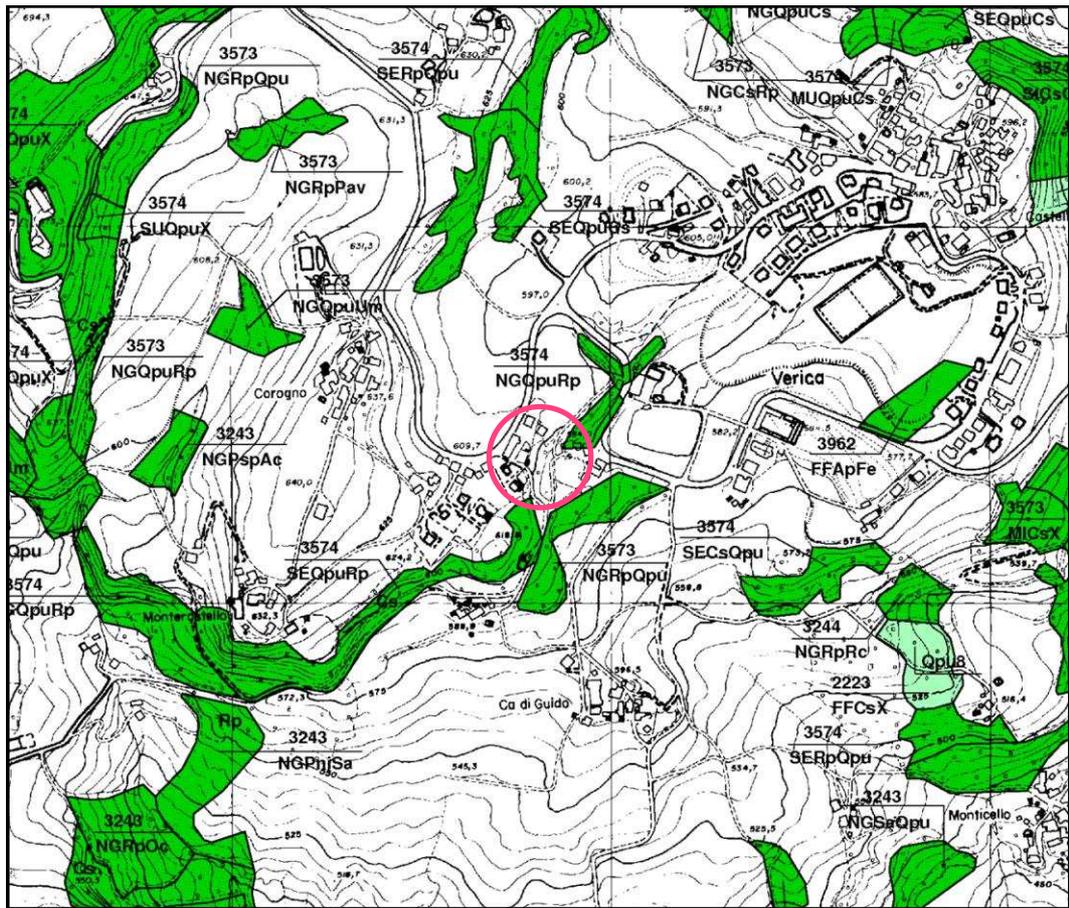
1	<p><b>Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b>  <i>studi</i>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi);  <i>microzonazione sismica</i>": approfondimenti di III livello.</p>
2	<p><b>Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b>  <i>studi</i>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità in condizioni dinamiche o pseudostatiche (nei casi in cui siano ammessi interventi);  <i>microzonazione sismica</i>": approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.</p>
3	<p><b>Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b>  <i>studi</i>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche;  <i>microzonazione sismica</i>": approfondimenti di III livello.</p>
4	<p><b>Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche</b>  <i>studi</i>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e topografico e del grado di stabilità del versante in condizioni dinamiche o pseudostatiche;  <i>microzonazione sismica</i>": approfondimenti di III livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche e nelle zone con accentuato contrasto di pendenza, lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia.</p>
5	<p><b>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche</b>  <i>studi</i>": valutazione del coefficiente di amplificazione litologico;  <i>microzonazione sismica</i>": approfondimenti di II livello.</p>



# CARTA FORESTALE PTCP

Scala 1:10'000

TAV. 7



 **PTCP Provincia di Modena**  
Carta Forestale

**Scala 1:10000**

0 100 200 300 400 500 mt

**LEGENDA**

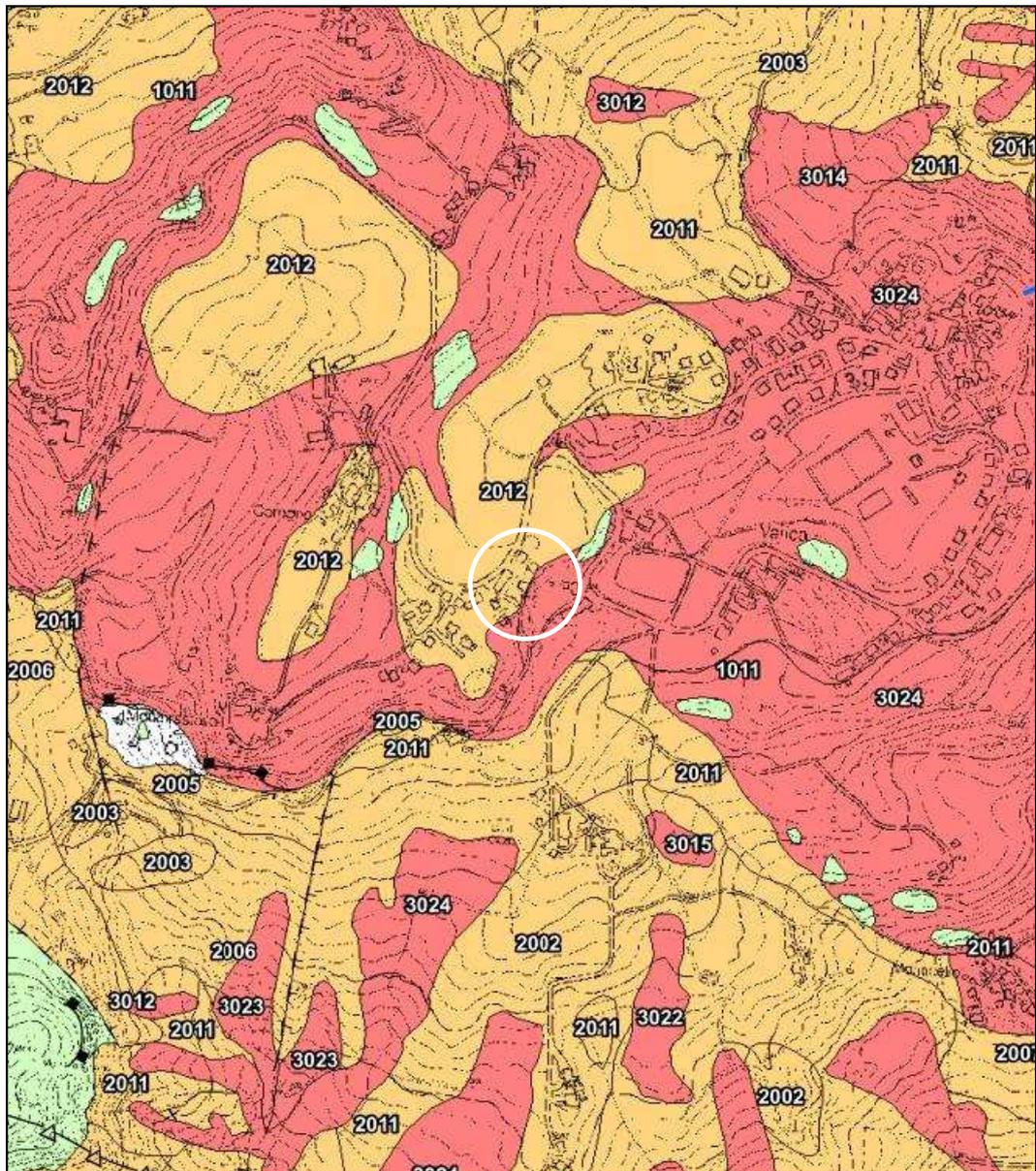
-  Area Forestale
-  Area Agricola: colture permanenti
-  Area Urbana: parco e/o giardino



## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA I LIVELLO - PSC

Scala 1:10'000

TAV. 8a1





## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA I LIVELLO - PSC

LEGENDA

TAV. 8a2

### Legenda

#### Zone stabili



#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



#### Zone suscettibili di instabilità



Limite comunale

#### Forme di superficie e sepolte



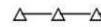
Falda detritica



Conoide alluvionale



Orlo di scarpata morfologica >20m



creste



Valle sepolta larga



Valle sepolta stretta



Picco isolato



Sinkhole, grotte, cavità isolate



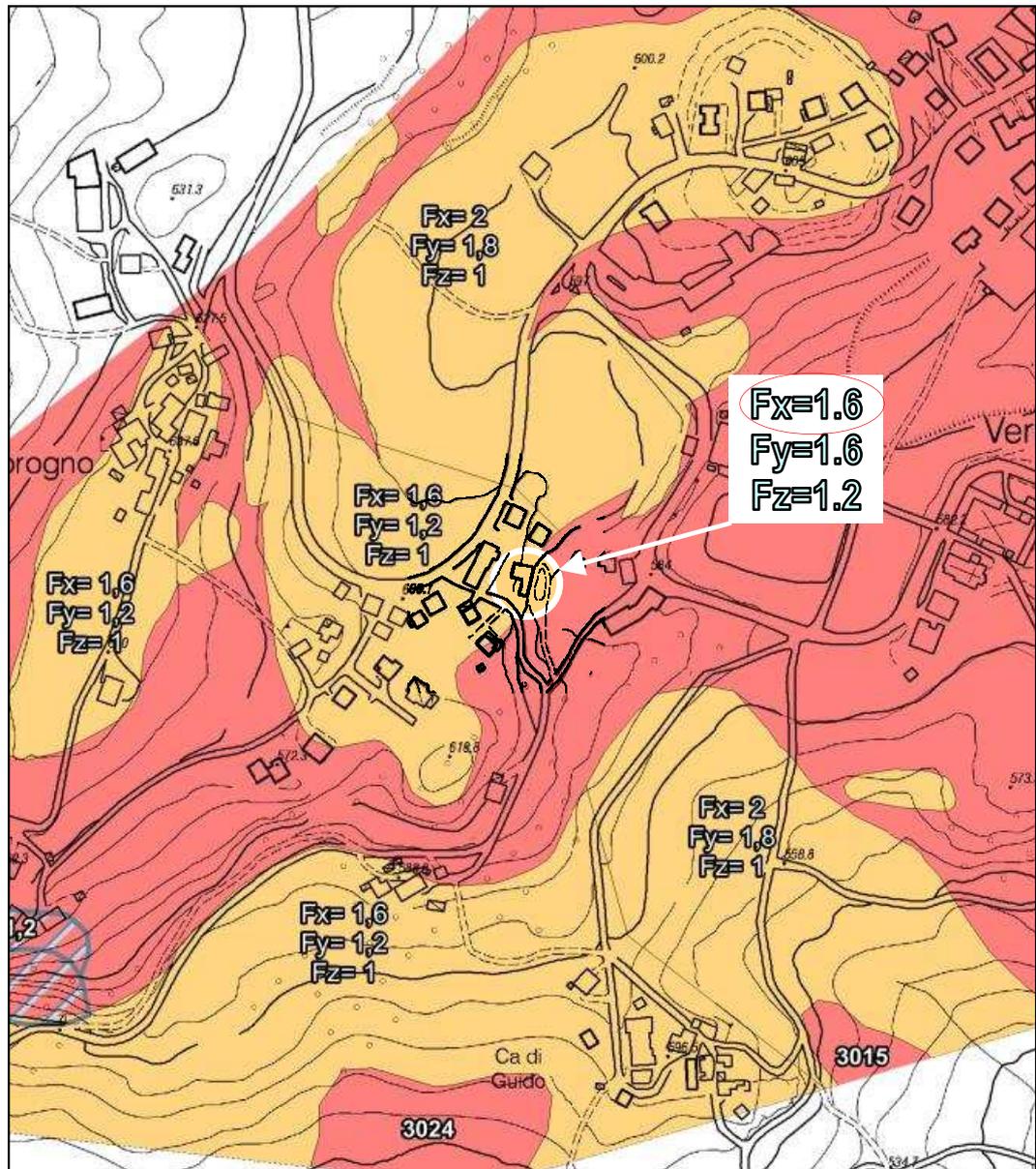
Traccia per gli approfondimenti  
delle amplificazioni topografiche



## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO PGA/PGA<sub>0</sub> - PSC

Scala 1:5000

TAV. 9a1





## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO PGA/PGA<sub>0</sub> - PSC

LEGENDA

TAV. 9a2

### Legenda

#### Zone stabili



Zone stabili

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ( $F_x = \text{PGA}/\text{PGA}_0$ )



$1 < F_x \leq 1,5$



$1,5 < F_x \leq 2$



$F_x > 2$

#### Zone suscettibili di instabilità



Instabilità di versante Cedimenti differenziali



Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche



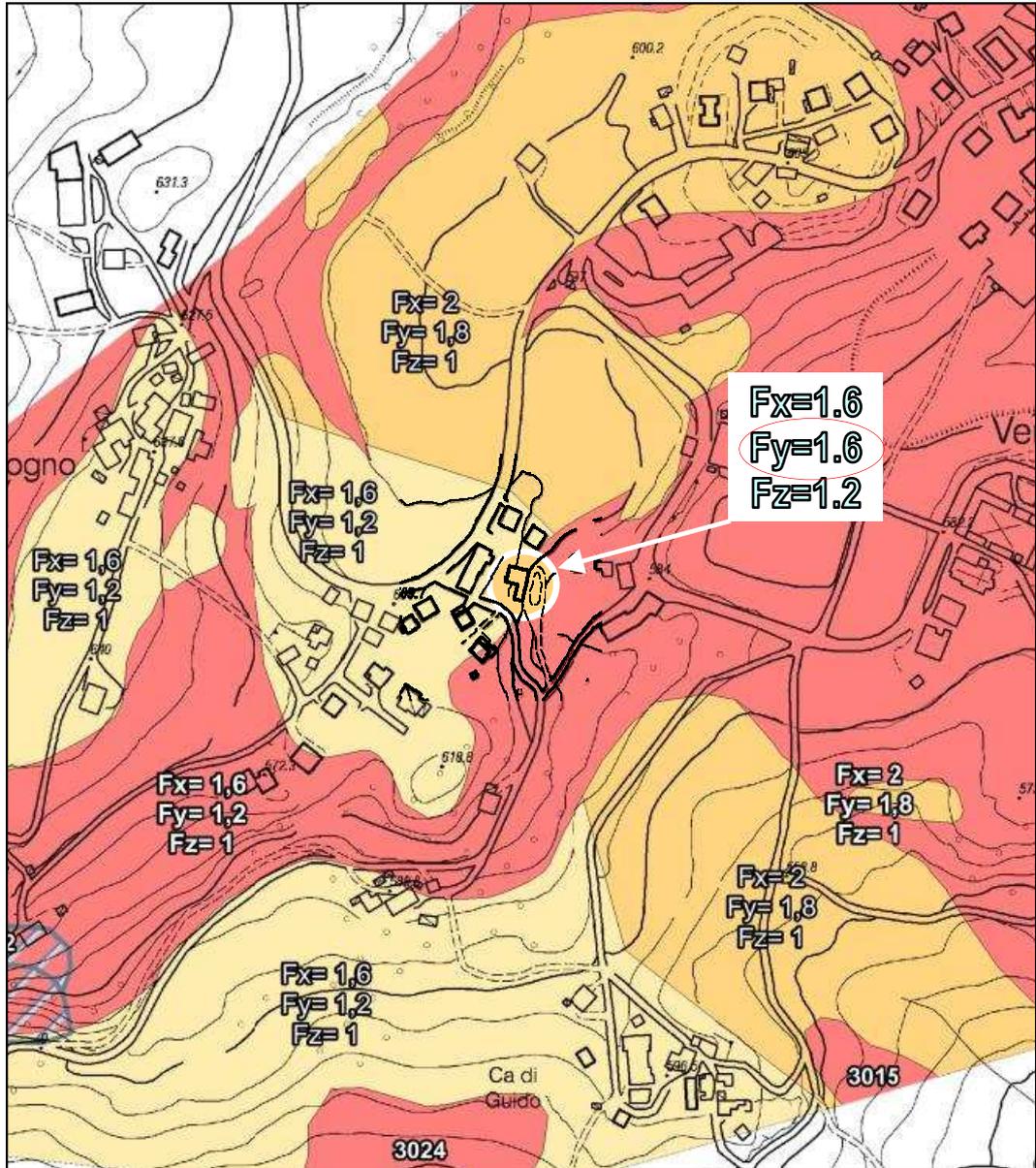
Area di amplificazione topografica



## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO SI/SI<sub>0</sub> - PSC

Scala 1:5000

TAV. 9b1





## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO SI/SI<sub>0</sub> - PSC

LEGENDA

TAV. 9b2

### Legenda

#### Zone stabili



Zone stabili

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ( $F_y = S_{I(0,1-0,5)} / S_{I0}$ )



$1 < F_y \leq 1,5$



$1,5 < F_y \leq 2$



$F_y > 2$

#### Zone suscettibili di instabilità



Instabilità di versante Cedimenti differenziali



Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche



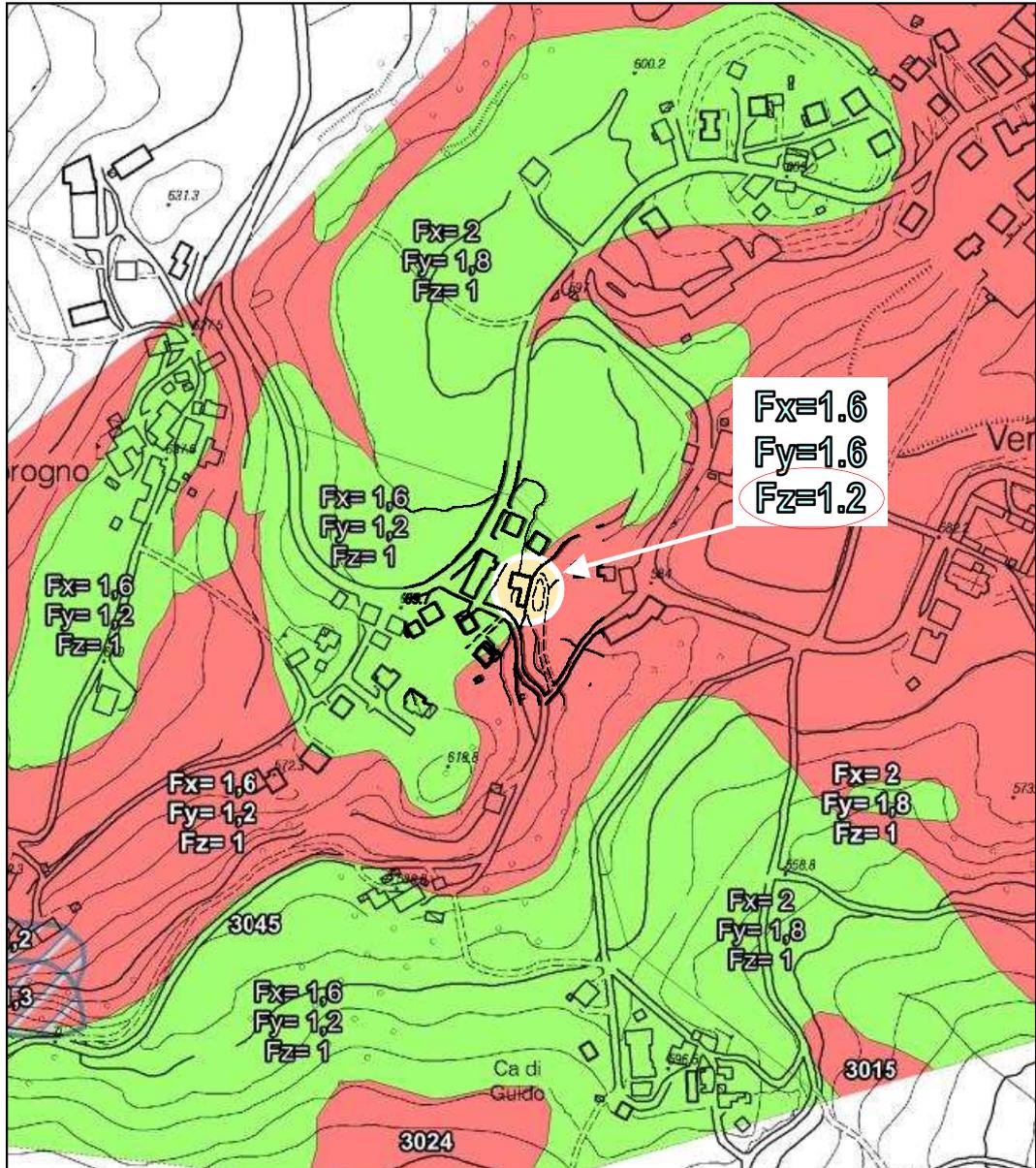
Area di amplificazione topografica



## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO SI/SI<sub>0</sub> - PSC

Scala 1:5000

TAV. 9c1





## CARTA MICROZONAZIONE SISMICA II LIVELLO SI/SI<sub>0</sub> - PSC

LEGENDA

TAV. 9c2

### Legenda

#### Zone stabili



Zone stabili

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ( $F_z = S_{I(0.5-1.0)} / S_{I_0}$ )



$1 < F_z \leq 1,5$



$1,5 < F_z \leq 2$



$F_z > 2$

#### Zone suscettibili di instabilità



Instabilità di versante Cedimenti differenziali



Traccia per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche



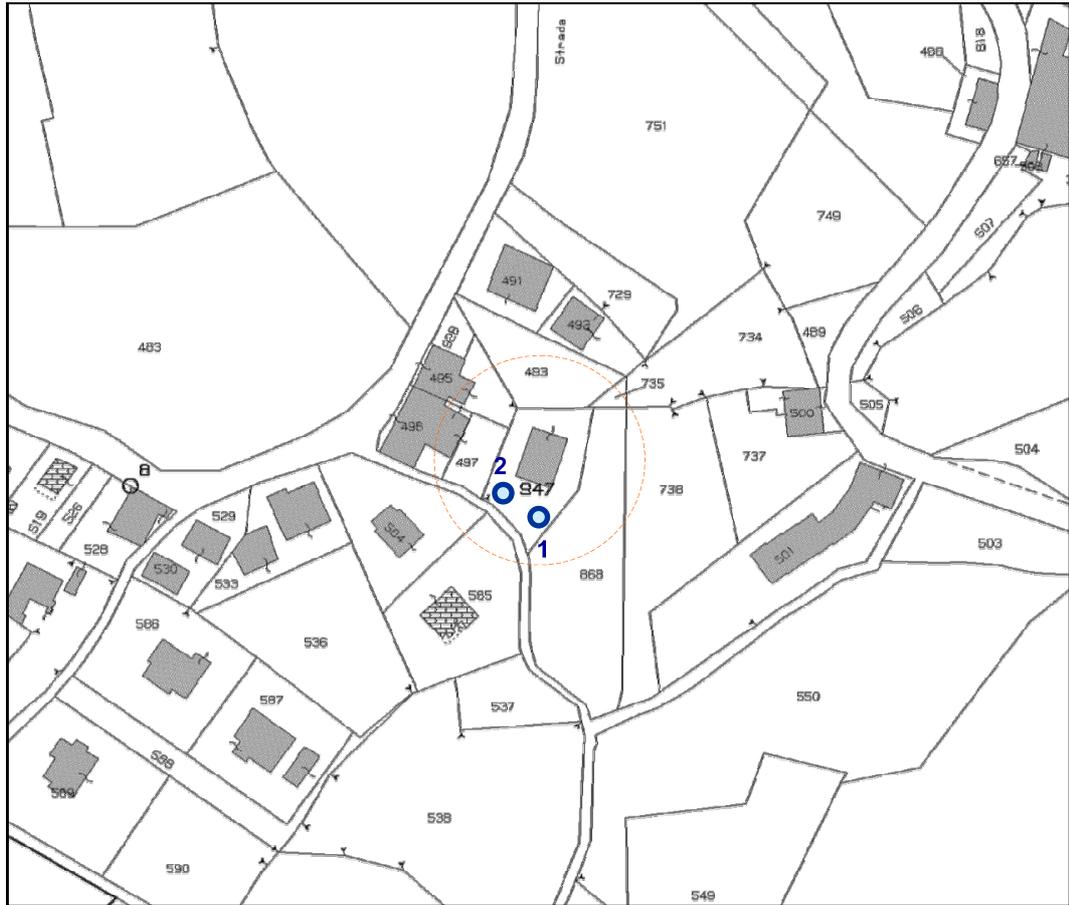
Area di amplificazione topografica



## ESTRATTO CATASTALE

Scala 1:2000

TAV. 10



COMUNE : PAVULLO

FOGLIO : 93

MAPPALI: 947

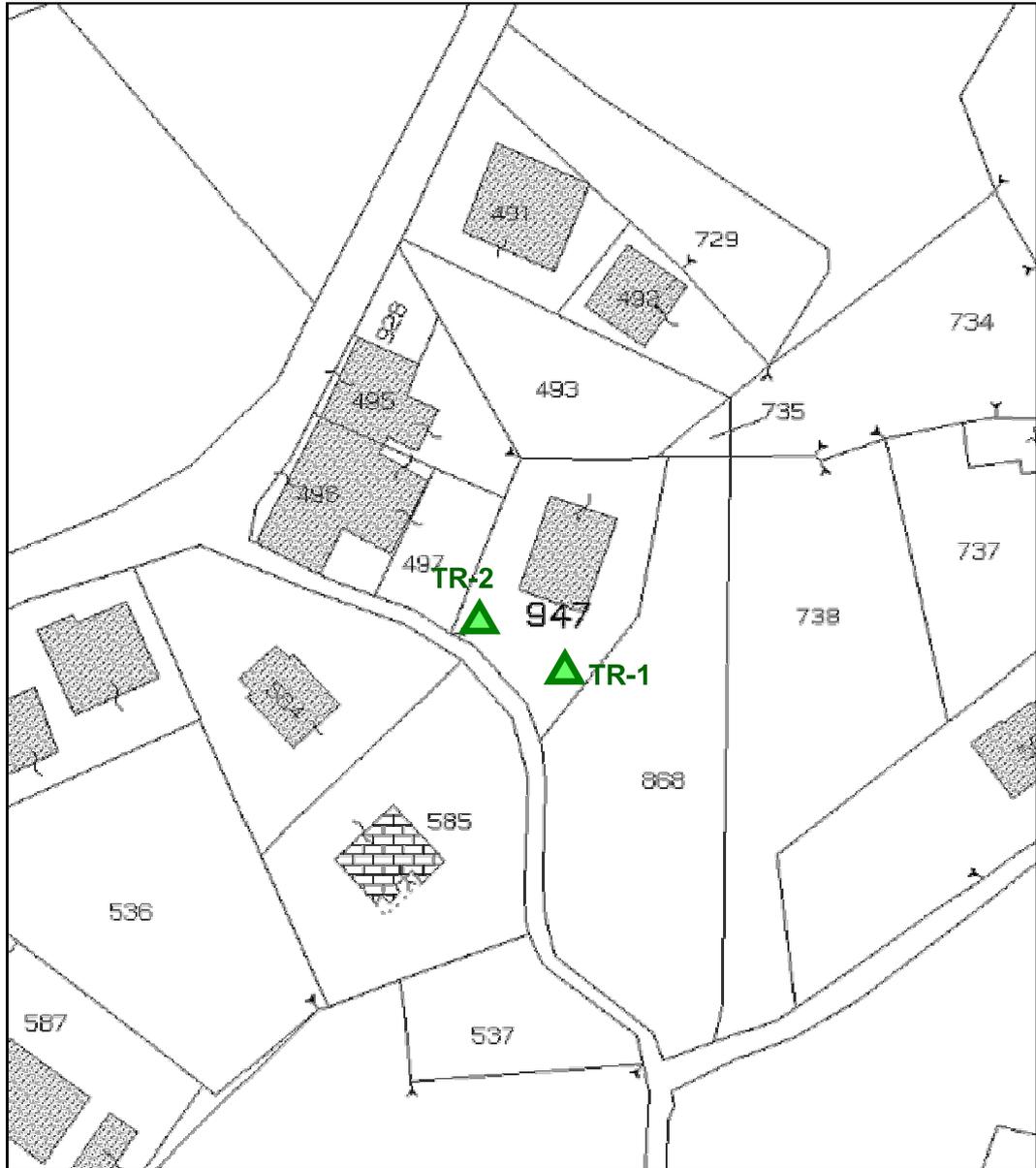
○ UBICAZIONE PROVE HVSR



## PLANIMETRIA DELL'AREA CON UBICAZIONE PROVE

Scala 1:1000

TAV. 11



### LEGENDA

 REGISTRAZIONE SISMICA A STAZIONE SINGOLA HVSR



# 1. RELAZIONE GEOLOGICA

## 1.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto dell'indagine si colloca ad una quota di circa 600 m s.l.m., in località *La Stazione* presso *Verica*, poco a Sud rispetto al centro abitato.

L'area di *Verica*, margine più orientale della *zolla pavullese*, presenta una morfologia con andamento digradante da Ovest ad Est.

Il litotipo calcareo arenaceo, disarticolato ad opera di movimenti di espansione laterale, presenta una serie di fratture e faglie con direzione principale Sud/Ovest – Nord/Est lungo le quali si sono impostati i fenomeni idrografici principali.

La morfologia di *Verica* è caratterizzata da una serie di depressioni dal fondo piatto a pianta circolare od ellissoide (*Doline*), originatesi in seguito a processi di dissoluzione dei calcari.

Il sito è ubicato su di una dorsale secondaria che si raccorda all'area di *Verica* e rimane in posizione sopraelevata.

Nell'area, oltre ai depositi di fondo dolina (g1) sono abbondanti anche i depositi eolici ed eluviali (d1). Nella carte tematiche questi depositi vengono descritti come “limi argillosi e limi debolmente sabbiosi, ocracei, localmente intensamente pedogenizzati” mentre i depositi fluvio-lacustri (f1), in questo caso localizzati sui fondi dolina, vengono descritti come “argille nere prevalenti con argille torbose e torbe”.

In generale le pendenze risultano accentuate soprattutto al passaggio fra i litotipi calcarei e quelli argillosi.

Dal punto di vista litologico la *zolla* di *Verica* è costituita da terreni epiliguri e in massima parte appartenenti al *Gruppo di Bismantova*: i versanti attorno e a valle della *zolla* di *Verica*, in direzione Sud nella carta di tavola 5, sono invece costituiti da quei terreni liguri che in passato venivano indistintamente denominati *Argille Scagliose* oppure caotico indifferenziato (*Arenarie di Scabiazza*, *Argille Varicolori* e *Argille a Palombini*) e da qualche scaglia isolata del flysch di *M. Cassio*.



## 1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico nell'area affiorano i terreni appartenenti alle Unità Epiliguri (Gruppo di Bismantova). Seguendo la *Carta Geologica CARG* (RER) si possono riconoscere nell'area i seguenti depositi e le seguenti unità:

### Depositi quaternari continentali

#### **a1g - Deposito di frana attiva complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

#### **a2c - Deposito di frana quiescente per espansione laterale**

Deposito di materiale roccioso fratturato sottoposto a movimenti di espansione laterale, causati generalmente da liquefazione o deformazione plastica del corpo sottostante.

#### **a2g - Deposito di frana quiescente complessa**

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

#### **a3 - Deposito di versante s.l.**

Deposito costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

#### **a6 - Detrito di falda**

Accumulo detritico costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, generalmente a quote elevate o molto elevate, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cm<sup>3</sup> e decine di m<sup>3</sup>, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica alterata e pedogenizzata, di origine gravitativa frequentemente alla base di scarpate e lungo i versanti più acclivi.

#### **d1 - Deposito eolico**

Sabbie fini, limi e limi argillosi in genere notevolmente pedogenizzati, su paleosuperfici.

### Successione Epiligure: Gruppo di Bismantova

#### **CIG - Formazione di Cigarello**

Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con A/P < 1 o litofacies mamose franche. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. Lo potenza varia da qualche decina di metri a circa 200 m. *Langhiano - Serravalliano*

#### **CIG2 - Formazione di Cigarello - membro di Monte Luminasio**

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati da sottili a molto spessi, prevalentemente tabulari. Rapporto A/P >1. Intercalazioni metriche e decametriche di peliti sabbiose. Corpi arenacei lenticolari intercalati a varie altezze stratigrafiche. Torbiditi di scarpata bacino. Potenza variabile da 0 a 100 m circa. *Langhiano - Serravalliano*

#### **CIG1 - Formazione di Cigarello - membro di Montalto Nuovo**

Alternanze di arenarie finissime bioturbate e siltiti o peliti mamoso-sabbiose in strati da sottilissimi a medi; verso l'alto arenarie bioturbate in strati metrici e peliti mamose. Potenza massima di poche decine di metri. Ambiente di piattaforma esterna. Passaggio sfumato su PAT. *Langhiano - Serravalliano*

#### **PAT - Formazione di Pantano**

Areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti mamose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione; sono presenti resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi. Alla base talora affiorano delle areniti glauconitiche. Localmente si intercalano strati arenacei risedimentati medi, mal strutturati, di colore nocciola. Verso l'alto affiorano livelli di marni siltose grigio-azzurre laminate. Il limite inferiore è netto, discordante, su CTG e su ANT. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. La potenza è fino a circa 500 m.

*Burdigaliano sup. - Langhiano inf.*



### 1.3 IDROGEOLOGIA

La permeabilità dei terreni in situ è molto alta ed è dovuta soprattutto alla fratturazione e alla dissoluzione del litotipo calcareo arenaceo qui dominante.

Nelle rocce dell'area si sono sviluppati fenomeni di carsismo che hanno originato una copertura superficiale con spessore variabile, ma che può raggiungere anche parecchi metri, caratterizzata da matrice limo argillosa, seguita in profondità da un substrato litoidale intensamente fratturato.

Le acque superficiali sono convogliate in una serie di fossi sottostanti, tributari diretti in sinistra idraulica del *Fiume Panaro*.

### 1.4 PROCESSI EROSIIVI E GRADO DI STABILITA'

I processi erosivi ad opera delle acque superficiali e il ruscellamento concentrato o diffuso sono contenuti in prossimità del paese che risulta addossato ad una dorsale, mentre sono più accentuati nelle vallecole e nelle parti più acclivi.

Processi chimici (fenomeni di dissoluzione) operano nel sottostante litotipo calcareo producendo abbondanti depositi residuali. In prossimità del sito non si hanno evidenti fenomeni di degradazione né di erosione concentrata e/o diffusa.

Nella *Carta delle frane e della stabilità dei terreni del bacino del Fiume Panaro* l'area esaminata e le circostanti sono classificate come: "Terreni sufficientemente stabili in corrispondenza dell'area oggetto dell'indagine".

Nella *Carta del Dissesto*, estratta dal PTCP, non vengono segnalati fenomeni di dissesto e/o instabilità nelle immediate vicinanze dell'area studiata.

Tuttavia quasi tutta l'area di *Verica* viene segnalata come "area potenzialmente instabile" soprattutto per la predisposizione del litotipo affiorante alla fratturazione, dissoluzione e successiva disarticolazione degli spezzoni litoidi ed alla loro tendenza alla espansione laterale e per la presenza di spessi depositi eolici o di



fondo dolina.

Infatti nella Carta Geologica CARG, a Sud/Est del sito vengono segnalate area classificate come “depositi di frana quiescente per espansione laterale (a2c)”, mentre nelle aree a Nord e a Nord/Ovest vengono cartografati estesi depositi di origine carsica.

In ogni caso dal rilievo sul campo non sono emersi fenomeni morfogenetici in atto, mentre il versante ha mostrato una buona stabilità dovuta alle sufficienti caratteristiche meccaniche del materiale e alle favorevoli disposizioni degli assetti strutturali.

In conclusione, le condizioni di stabilità, della zona in questione, si possono definire sufficienti.

## 1.5 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PARAMETRI NOMINALI

E' stato eseguito un sopralluogo per caratterizzare dal punto di vista geologico, geomorfologico e geofisico l'area.

Lo strato consistente è posto ad una profondità limitata nell'area in oggetto, variabile fra 2 e 3 m

Nell'area si hanno diffusi affioramenti arenacei appartenenti al Gruppo di Bismantova: si tratta di arenarie a stratificazione poco evidente e grossolana per cui non è stato possibile misurare con precisione alcun assetto.

Per ricavare la frequenza di sito, per calcolare la velocità delle onde S nel terreno, per classificare il sito secondo il DM 14/01/08 (metodo semplificato) ed, infine, per la RSL, sono state effettuate 2 registrazioni sismiche, a stazione singola (TR-1, TR-2).

La registrazione sismica a stazione singola (tecnica dei microtre-mori) permette inoltre di confrontare la frequenza di oscillazione del sito con quella della costruzione in progetto.



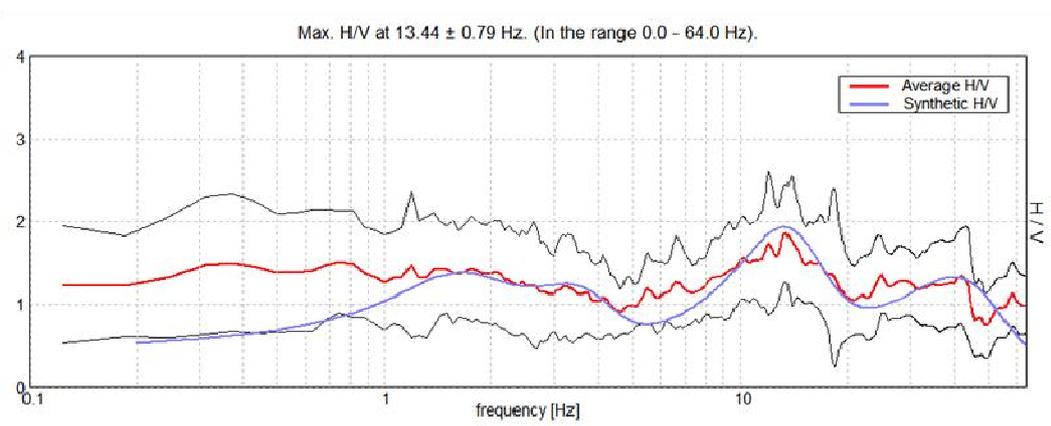
### 1.5.1 Registrazione Sismica

Le misure delle  $V_{s30}$  sono state ottenute dalla frequenza di oscillazione del sito misurata con tromografo Micromed.

La misura si basa sulla registrazione dei microtremori tramite i rapporti spettrali (H/V) fra le componenti orizzontali e verticali del moto (Noghooshi e Igarashi 1970). La frequenza fondamentale di risonanza ( $F_r$ ) dello strato relativa alle onde S è pari a:

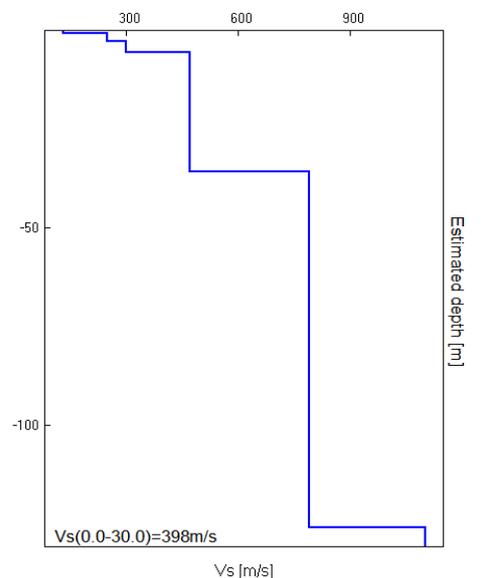
$$F_r = V_s / (4 \cdot h)$$

Di seguito si riporta il grafico H/V- Hz della registrazione sismica TR-1, con il confronto fra la curva H/V teorica (blu) e quella sperimentale (rosso):



Estendendo il ragionamento a tutti gli strati ed eseguendo l'inversione della velocità con ricostruzione teorica del grafico delle frequenze si ottiene la seguente interpretazione stratigrafica:

Thickness [m]	$V_s$ [m/s]
0.75	130
2.00	250
3.00	300
30.00	470
90.00	790
inf.	1100





## 1.5.2 Caratterizzazione Geologica Geotecnica e Stratigrafica

Dal punto di vista geologico e geotecnico le conoscenze sull'area in oggetto si possono così riassumere:

- il terreno affiorante risulta costituito da un primo strato di materiale a caratteristiche meccaniche modeste (terreno agrario + depositi di varia natura) con spessore variabile fra 2 e 3 m circa.
- Un secondo strato, sottostante allo strato precedente, costituito da materiale alterato e fratturato ( $V_s \sim 300$  m/s), mostra uno spessore che raggiunge circa 3 m; quindi solo a circa 6 m dal p.c. si ha il passaggio a materiale abbastanza rigido ( $V_s \sim 470$  m/s).
- Solo alla profondità di circa 35/36 m dal p.c. si raggiunge il bed-rock simico con  $V_s$  attorno a 800 m/s.

### "STRATIGRAFIA TIPO" DEL SITO DA TR-01

0.0—0.7	m	<i>Suolo Terreno Agrario</i>
0.7—2.7	m	<i>Depositi di varia natura (<math>V_s \sim 260</math> m/s)</i>
2.7—5.7	m	<i>Roccia alterata e fratturata-detrimento (<math>V_s \sim 300</math> m/s)</i>
5.7—36	m	<i>Arenarie e Calcari fratturati (<math>V_s \sim 470</math> m/s)</i>
> 36	m	<i>Arenarie e Calcari (<math>V_s \sim 800</math> m/s)</i>

STRATIGRAFIA TR-01		
LITOLOGIA	H	DESCRIZIONE
1	0.8	Depositi o detriti di versante ( $V_s \sim 260$ m/s)
2		
3	2.7	Arenarie e Marne molto alterate e fratturate appartenenti alla Formazione di Cigarellino ( $V_s \sim 300$ m/s)
4		
5		
6		
7	5.7	Arenarie e Marne appartenenti alla Formazione di Cigarellino ( $V_s \sim 470$ m/s)
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36	35.7	BedRock sismico ( $V_s \sim 800$ m/s)
37		
38		



## 2. RELAZIONE SISMICA (6.3)

### 2.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA

In base alla classificazione contenuta nell'ordinanza del PCM. n° 3274 del 20 Marzo 2003, il comune di *Pavullo nel Frignano* ricade nella Zona Sismica n° 3 con  $a_g = 0.15$  g.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)
	$[a_g/g]$	$[a_g/g]$
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Nelle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/2008) l'accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, non viene più riferita ai territori comunali ma ad una griglia di riferimento specifica.

Quindi per ottenere i parametri di riferimento bisogna introdurre la latitudine e la longitudine del luogo e il tempo di ritorno.

Ad esempio, per il sito in questione, con un  $T_r = 475$  anni si ottiene una  $a_g = 0.161$  g.

Il suolo viene ancora suddiviso in cinque classi principali (A, B, C, D, E) più due categorie aggiuntive S1 e S2 (vedi nota 1).

---

#### NOTA 1: Categorie del suolo di fondazione

A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.

B - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $NSPT > 50$ , o coesione non drenata  $C_u > 250$  kPa).

C - *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < NSPT < 50$ ,  $70 < C_u < 250$  kPa).

D - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s ( $NSPT < 15$ ,  $C_u < 70$  kPa).

E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di  $V_{s30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con  $V_{s30} > 800$  m/s.

In aggiunta a queste categorie, per le quali nel punto 3.2 vengono definite le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 100$  m/s ( $10 < C_u < 20$  kPa)

S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti

Nelle definizioni precedenti  $V_{s30}$  è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

---



La classificazione avviene in base alla velocità delle onde S nel terreno, entro i primi 30 m di profondità dal p.c. Se non si è in possesso della velocità delle onde S la normativa prevede ancora la correlazione fra la velocità delle onde S e il numero dei colpi dello Standard Penetration Test ( $N_{spt}$ ) oppure fra le Vs e le Cu.

### 2.1.1 Classificazione del suolo in base alle $V_{s30}$

Per il calcolo della  $V_{s30}$  equivalente, rappresentativa dell'intero pacco di strati di 30 m di spessore, si ricorre alla relazione:

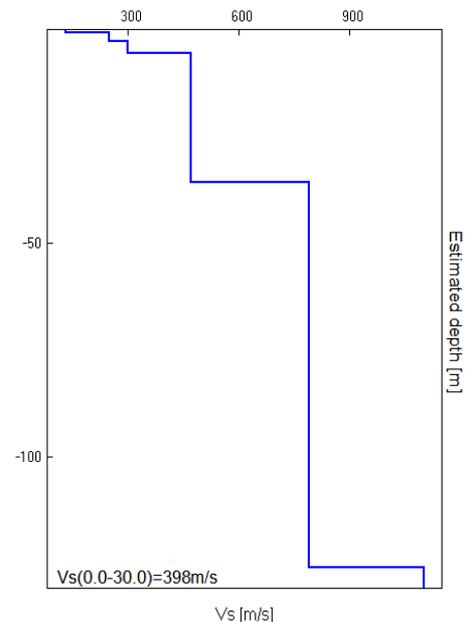
$$V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_{s30i})$$

Le misure delle  $V_{s30}$  sono state ottenute dalla frequenza di oscillazione del sito misurata con tromografo Micromed.

Per i dettagli si rimanda al paragrafo 1.5.2 e agli allegati.

Qui prenderemo in esame la registrazione sismica TR01:

Thickness [m]	Vs [m/s]
0.75	130
2.00	250
3.00	300
30.00	470
90.00	790
inf.	1100



Elaborando le velocità secondo la formula precedente si ottiene per una profondità  $h = 0$  m dal p.c. una

$V_{s30} = 398$  m/s. Anche l'altra registrazione sismica ha fornito velocità paragonabili, esaminate però le condizioni stratigrafiche, geomorfologiche e topografiche dell'area e soprattutto i risultati delle analisi di III° livello, si ritiene più opportuno, per il sito in questione, di adottare la classe di suolo C.



## 2.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (DM 14/01/2008)

Ai fini del DM 14/09/2005 e successive modifiche e dell'OPCM 3274 va definito lo spettro di risposta elastico, in accelerazione, per il sito in esame. Tale spettro indica, per ciascuna frequenza, la risposta allo scuotimento massimo (da terremoto) di un oscillatore elastico smorzato semplice (che rappresenta un edificio teorico 'tipo') con frequenza propria pari alla frequenza considerata.

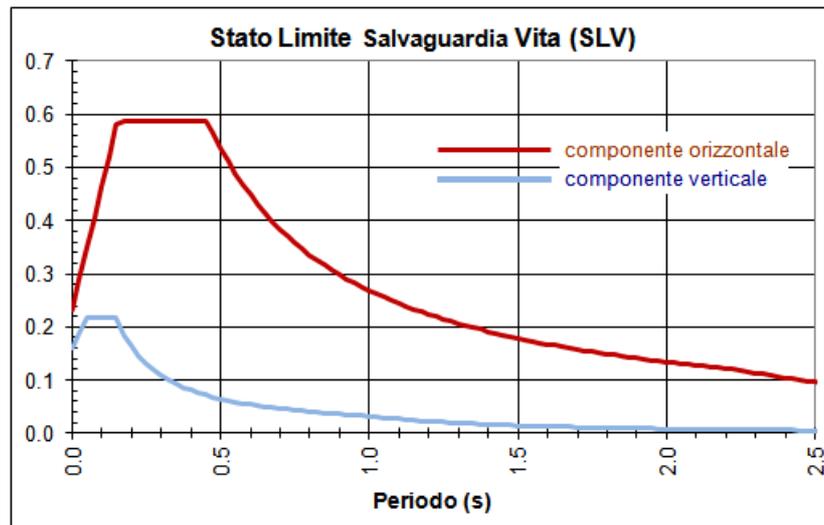
Secondo l'ultima versione del DM 14/01/2008 (§ 3.2.3.2.2) tale spettro va calcolato secondo le formule sottostanti che valgono per le componenti orizzontali del moto del suolo.

Forma dello spettro elastico di riferimento		§ 3.2.3.2.2
	Accelerazione. Componenti orizzontali.	
$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$	
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$	
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$	
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$	

$S = S_s \times S_T$	coeff. ampl. stratigrafica x coeff. ampl. topografica tab.3.2V-VI
$\eta = (10 / (5 + \xi))^{1/2}$	$\xi$ è lo smorzam. in % (normalmente 5%, diversamente si valuta in base alle caratteristiche dell'edificio)
$F_o$	fatt. amplif.spettrale max orizz. (> 2.2, allegato alla norma)
$T_c = C_c \times T_c^*$	( $C_c$ in tab.3.2V e $T_c^*$ in allegato alla norma)
$T_B = T_c / 3$	
$T_D = 4 a_g / g + 1.6$	

Con T si intende il periodo fondamentale di risonanza dell'edificio (espresso in secondi) e con  $a_g$  l'accelerazione massima di picco del sottosuolo (PGA) in caso di terremoto ( $m/s^2$ ).

Dalle correlazioni con le Nspt si ottiene un **suolo C**; per questo tipo di suolo, con un tempo di ritorno **Tr=475 anni**, una amplificazione topografica **St=1.0** e un coefficiente di smorzamento = 5%, si ottengono le seguenti forme spettrali:



Quindi dalla sintesi dei dati è possibile fornire per il sito in oggetto il seguente quadro:

- 1) La categoria del suolo di fondazione è la **C**.
- 2) L'accelerazione orizzontale di picco PGA (Peak Ground Acceleration) è di **0.59** con  $T_r=475$  anni (dove  $g$  = accelerazione di gravità =  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).
- 3) Il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_c$  e il coefficiente  $C_c$  sono quelli relativi alla categoria di suolo di fondazione **C** descritti nella tabella 3.2.5. del DM 14/01/2008.

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Per i dettagli si veda l' [ALLEGATO B](#) e il DM 14/01/2008.



### 2.3. RSL E AMPLIFICAZIONE SISMICA (III LIVELLO)

E' stata eseguita l'analisi di risposta sismica locale (RSL) per l'area prevista dal presente intervento (analisi di III livello) così come indicato nella DAL RER 112/2007.

Nell'analisi di II livello è sufficiente la conoscenza delle Vs e della profondità del bedrock sismico, per calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento (vedi tabelle e formule dell'Allegato A2 della direttiva regionale).

Questi fattori sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGAo) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SIo) per prefissati intervalli di periodi, dove PGAo e SIo sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti per ogni comune, ricavabili dal data base regionale (disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)) e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti.

Nell'analisi di secondo livello, per valutare gli effetti locali, è sufficiente conoscere il fattore di amplificazione (FA) da associare al sito in esame: esso dipende dalla velocità delle onde S ( $V_{s30}$  o  $V_{sH}$ ) e dalla profondità del bedrock (h), applicando i valori dettati dalla direttiva 112/2007, Allegato A2. In queste tabelle, in funzione della velocità di propagazione delle onde S e della profondità h, sono indicati i fattori di amplificazione (FA PGA ed FA SI).

Per il calcolo degli effetti locali, nelle indagini di III livello, si sono impiegati come segnali di riferimento i dati contenuti nel database regionale disponibile nel sito internet [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica). Sulla base di questi dati è stato possibile calcolare, gli accelerogrammi e lo spettri di risposta riferiti ad un periodo di ritorno di 475 anni e ad uno smorzamento  $\zeta = 5\%$ .

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software EERA, che è un software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali che, eseguendo una sequenza di analisi lineari complete, è in grado raggiungere valori di rigidezza G e di smorzamento D compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche og-



getto di studio.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, si compone di due fasi:

- 1) elaborazione del modello;
- 2) simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

La prima fase consiste nell'inserire i dati (accelerazione, intervalli di tempo), relativi ai segnali di riferimento selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" e forniti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale.

Si tratta di sismi che possono verificarsi nel territorio del comune oggetto di studio (in questo caso Lama Mocogno).

Questi tre segnali sono "scalati" rispetto al comune a cui si riferiscono, e sono rappresentati da tre differenti accelerogrammi di progetto:

- 1) impulsivo (codice 46);
- 2) con ampio contenuto in frequenze (codice 126);
- 3) con componente predominante alle alte frequenze (codice 354).

Dopo aver determinato gli input sismici, è necessaria la costruzione del modello del sottosuolo, rappresentato da strati (layer) a differente tessitura e diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

La stratigrafia che caratterizza il modello deriva dalla sintesi delle indagini eseguite in sito (2 registrazioni sismiche HVSR).

Per quanto riguarda l'attribuzione delle velocità delle onde di taglio (Vs) ai differenti layer costituenti la colonna litologica schematica, vengono utilizzati i risultati derivanti dalla tomografia .

La seconda fase (elaborazione degli effetti indotti dai sisma di progetto), consente di ottenere gli "spettri di risposta".

Nell'allegato B vengono riportati gli spettri di accelerazione (PGA), di velocità (PGV) e di spostamento per ognuno dei tre segnali scaricati dal sito della regione.

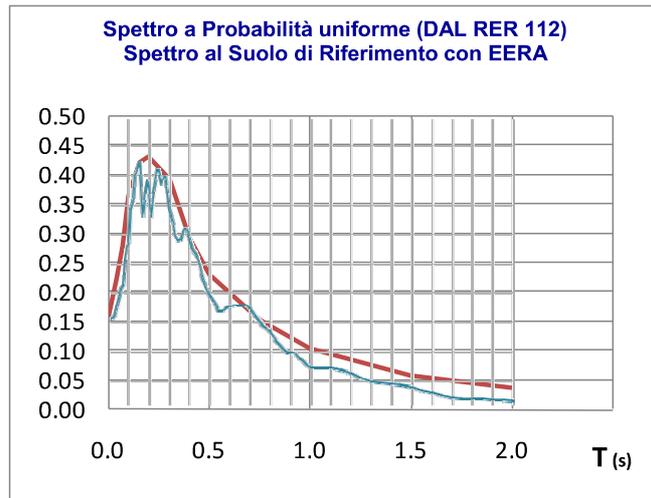
Con il programma EERA sono stati ricostruiti sia gli spettri riferiti al modello locale del terreno che gli spettri riferiti al bedrock sismico di riferimento (SUOLO A del DM 01/14/08).

Lo spettro calcolato al suolo di riferimento (somma dei 3 spettri in output ricavati dai segnali 46, 125, 354), è stato quindi confron-



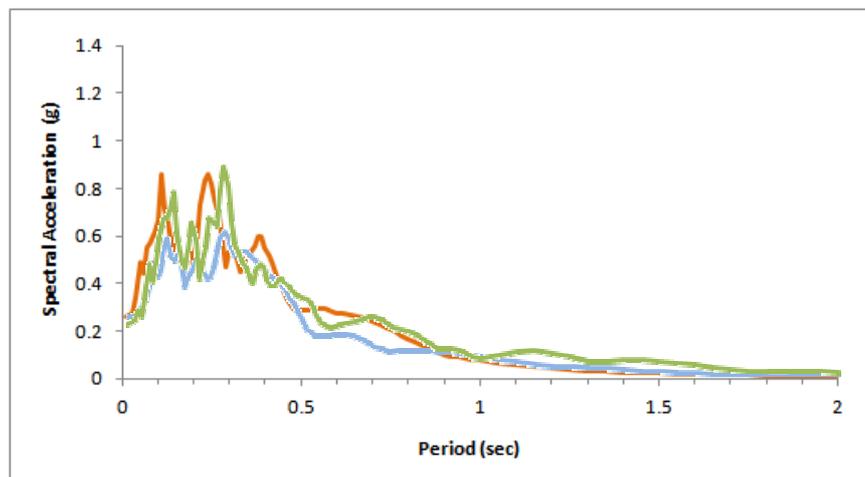
tato con lo spettro di risposta normalizzato al suolo di riferimento fornito dalla regione nell'allegato A4 del DAL RER 112/2007.

Dal confronto è emerso che lo spettro calcolato con EERA è praticamente sovrapponibile allo spettro di risposta in accelerazione ricavato utilizzando le tabelle dell'Allegato A4 del DAL RER 112/2007 per il Comune di Pavullo nel Frignano ( $a_{ref} = 0.159$ ).



Nel grafico riportato sotto la sovrapposizione fra i tre spettri di accelerazione ricavati dai tre segnali di riferimento forniti dal database della regione e riferiti al modello locale. In rosso il segnale impulsivo (46), in blu il segnale con alto contenuto in frequenze (126), in verde, infine, il segnale con componente predominante alle alte frequenze (354).

Spettri in accelerazione (46, 126, 354) per  $T_r=475$  anni

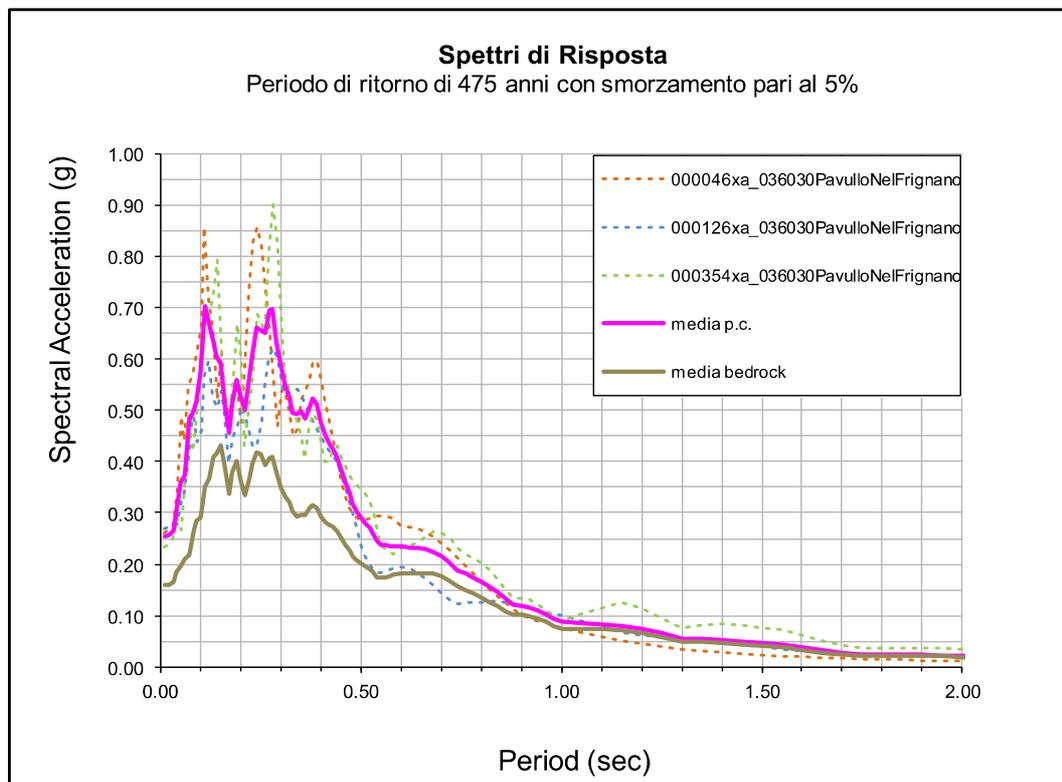


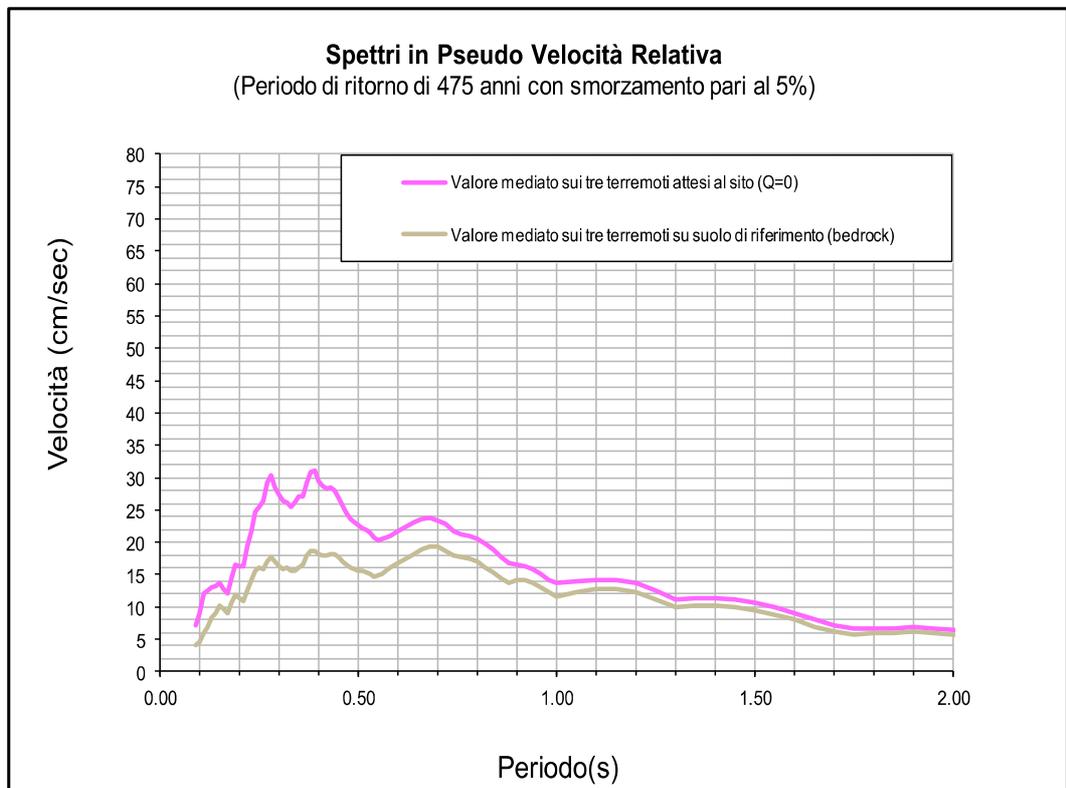
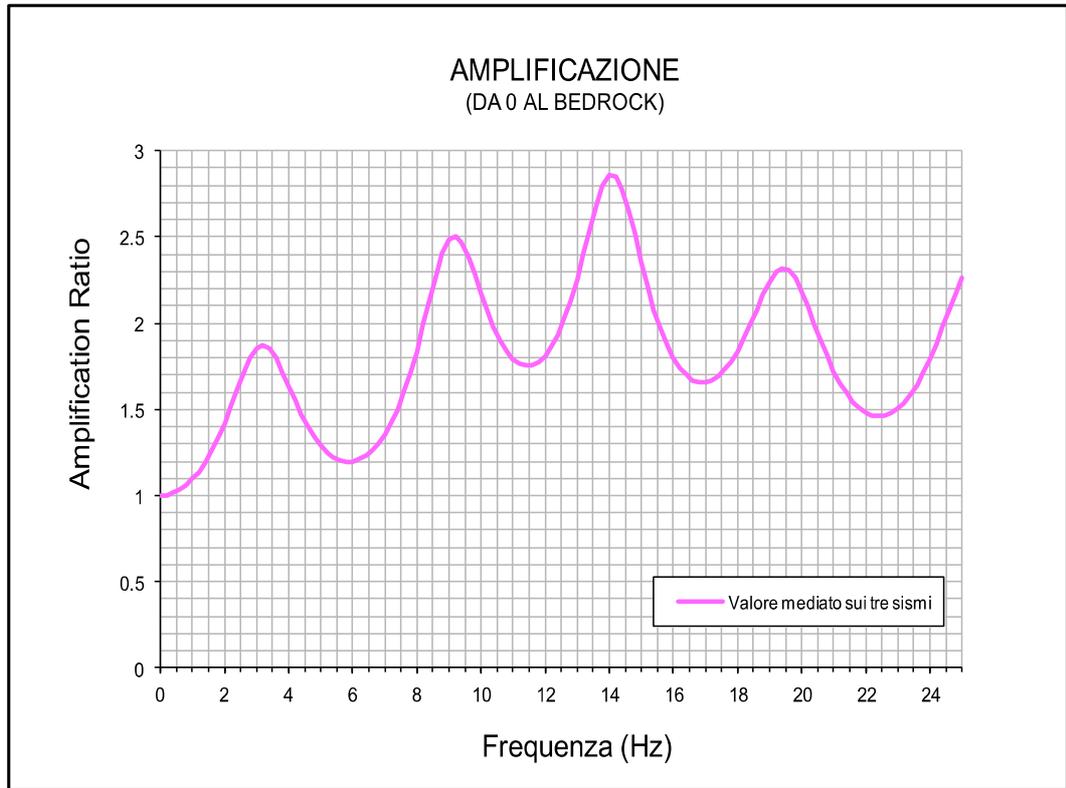


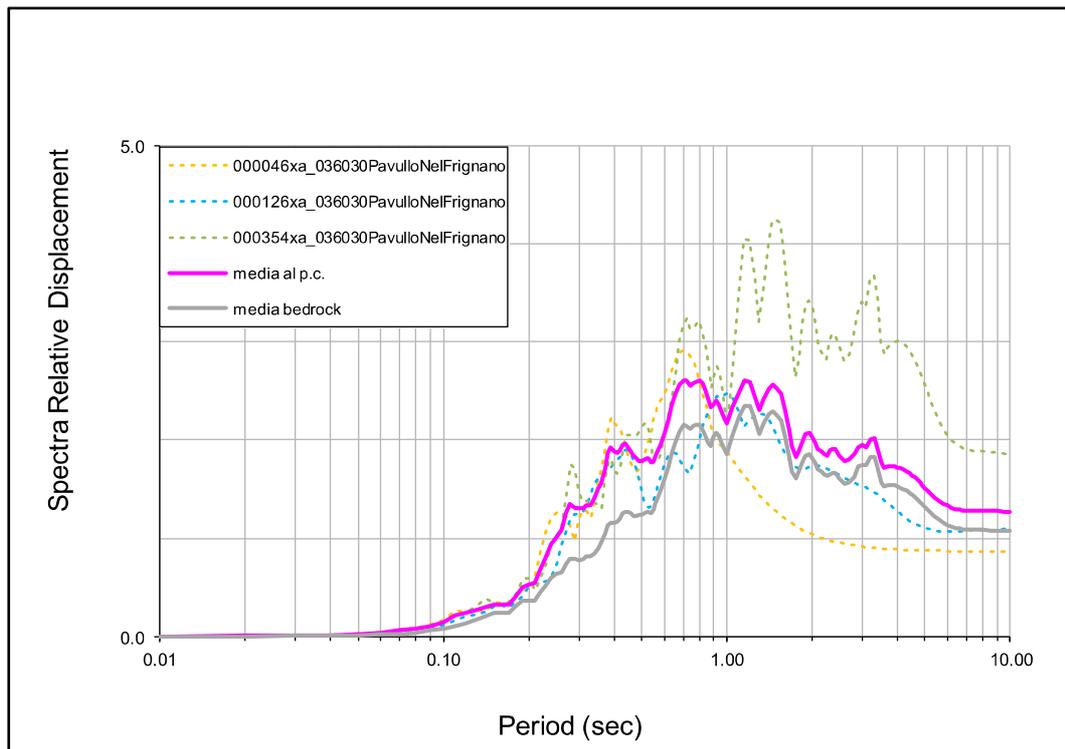
I dati in output (dati in accelerazione, spostamento e velocità e le frequenze di amplificazione) sono stati rielaborati e mediati all'interno di appositi fogli Excel.

Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

- Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input della regione, e la loro media.
- La funzione di amplificazione locale come rapporto tra l'ampiezza dello spettro al suolo e quello in corrispondenza del bedrock per un valore di smorzamento critico pari al 5%
- I grafico dello spettro di pseudo velocità relativa ottenuto sempre dalla media delle tre velocità ottenute dalle 3 elaborazioni separate.
- Il grafico dello spettro di spostamento relativo mediato sempre sui 3 output.
- i coefficienti di amplificazione sismica espressi come rapporto di Intensità di Housner ( $S_I/S_{I0}$ ) negli intervalli di tempo  $0.1 < T < 0.5$  s e  $0.5 < T < 1.0$  s, ricavati dallo spettro delle pseudo velocità.







Dagli spettri in accelerazione (primo grafico) si ottiene immediatamente il fattore di amplificazione PGA/PGAo e dagli spettri in Pseudo Velocità relativa (terzo grafico) integrando rispetto al tempo (da 0.1 a 0.5 s e da 0.5 a 1.0 s), si ottengono le amplificazione di Housner così come richiesto dalla delibera regionale.

F.A. PGA/PGAo = **1.60**

FA\_IS (0.1\_0.5) = **1.58**

FA\_IS (0.5\_1.0) = **1.24**

Si noti come il picco dello spettro di accelerazione, somma dei 3 spettri ottenuto da EERA (46+126+354), sia comunque sensibilmente maggiore rispetto allo spettro locale previsto dalle Norme Tecniche (DM 14/ 01/08, Suolo C, St=1.0, tempo di ritorno Tr = 475 anni). Le amplificazioni previste nel II° e nel III° livello di approfondimento sono invece paragonabili fra loro.



## 4. CONCLUSIONI

Per la seguente relazione integrativa sono state eseguite 2 registrazioni sismiche HVSR (Allegato A)

Seguendo le indicazioni del PSC, nel quale l'area viene indicata come "zona suscettibile di instabilità" Tav8 a pag.11, per il sito in oggetto sono stati eseguiti approfondimenti di III Livello, così come previsto dalla direttiva regionale DAL 112/2007, nei casi di "aree instabili o potenzialmente instabili".

Sono state calcolate le amplificazioni sismiche in termini di  $PGA/PGA_0$  e  $SI/SI_0$ , utilizzando i segnali di riferimento forniti dalla Regione e riferiti al Comune di Pavullo nel Frignano.

E' stato utilizzato il noto Software di calcolo EERA nel quale è stato possibile introdurre il modello stratigrafico—sismico del sito, le  $V_s$  per ogni strato e le curve dinamiche dei materiali; le amplificazioni così ottenute sono risultate paragonabili a quelle calcolate con le tabelle regionali del II livello, fornite nella direttiva regionale DAL RER 112/2007.

Le amplificazioni sismiche, ottenute con le procedure previste per il III livello, sono risultate le seguenti:

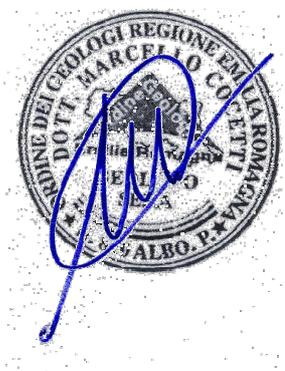
$$PGA/PGA_0 = 1.6;$$

$$SI/SI_{0(0.1-0.5)} = 1.6;$$

$$SI/SI_{0(0.5-1.0)} = 1.2.$$

Pavullo, 25 Febbraio

IL GEOLOGO

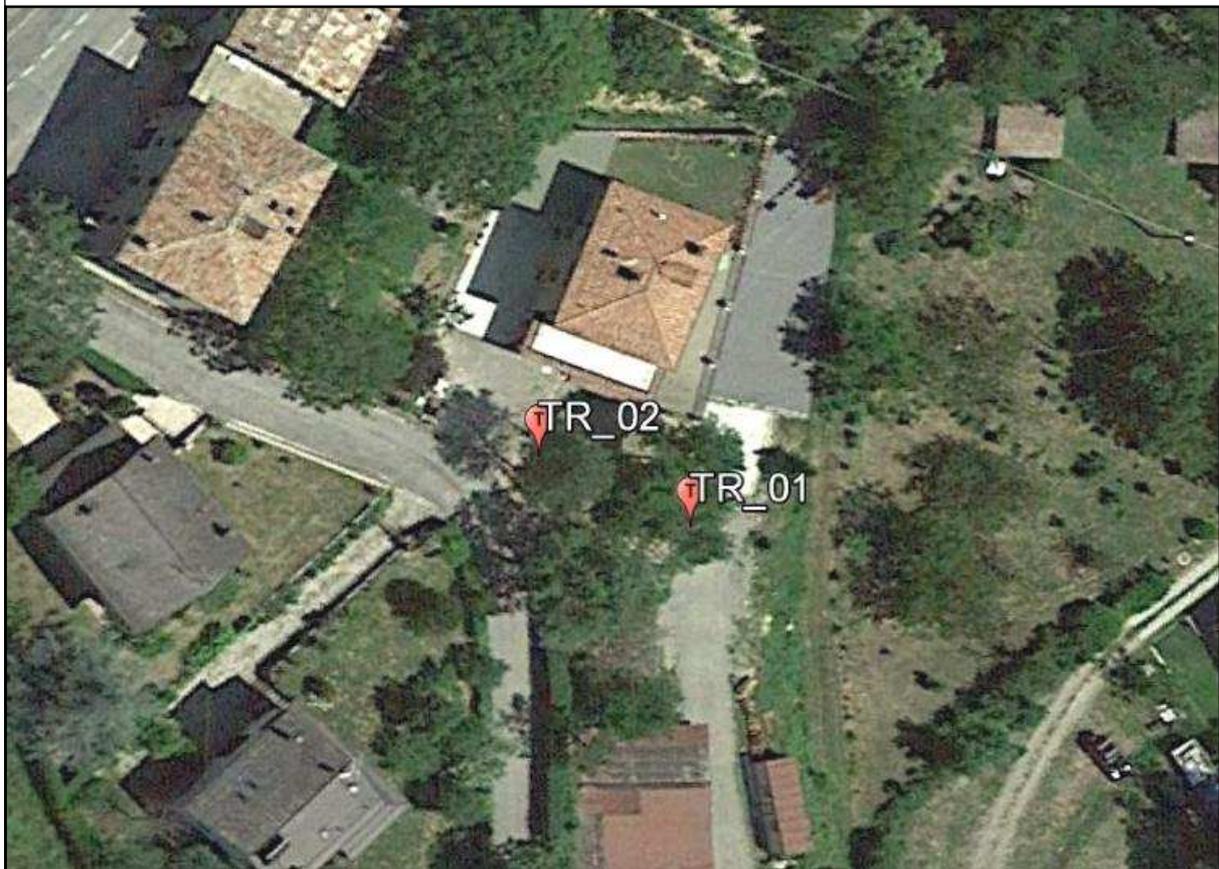




# ALLEGATO A

## REGISTRAZIONI SISMICHE - PARAMETRI SISMICI

UBICAZIONE REGISTRAZIONI SISMICHE



Registrazione sismica a stazione singola HVSR



16\_023

TR\_01

Instrument: TRS-0016/01-06

Start recording: 26/02/16 11:28:44      End recording: 26/02/16 11:48:45

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 93% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

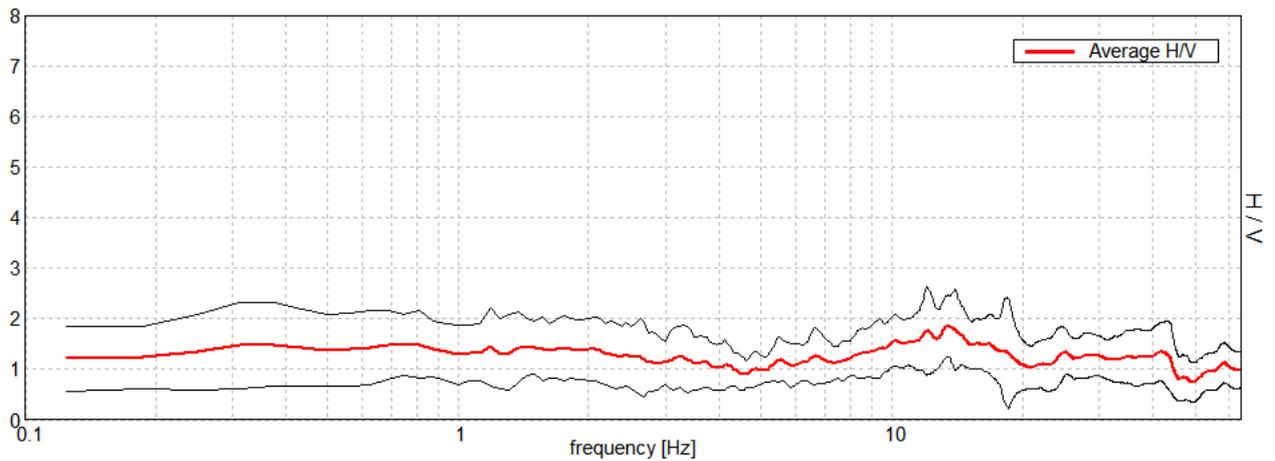
Window size: 16 s

Smoothing type: Triangular window

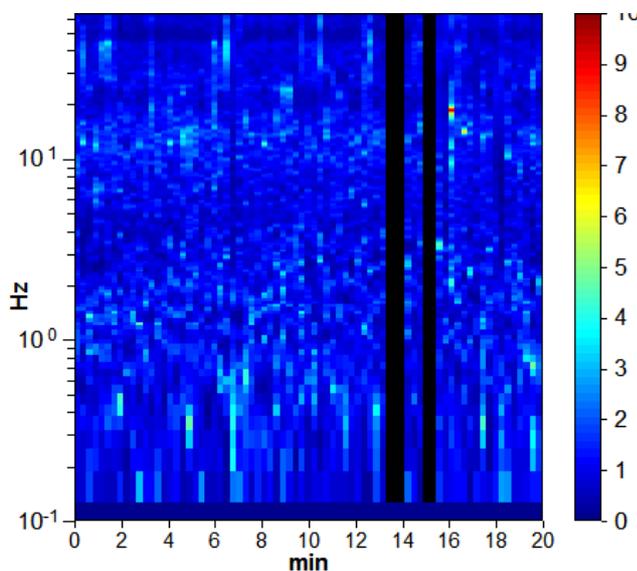
Smoothing: 4%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

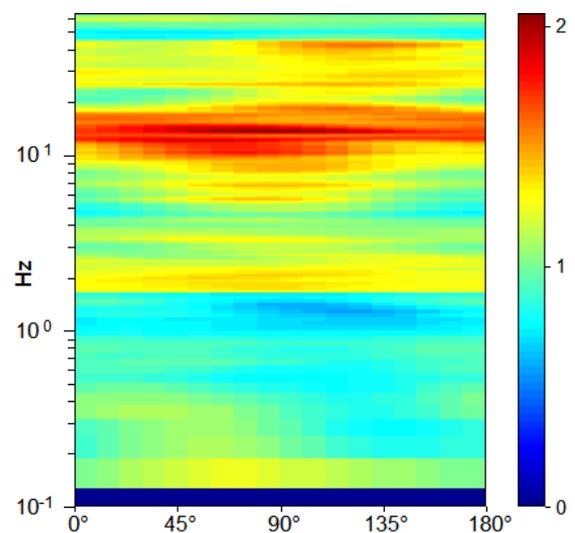
Max. H/V at 13.44 ± 0.82 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY

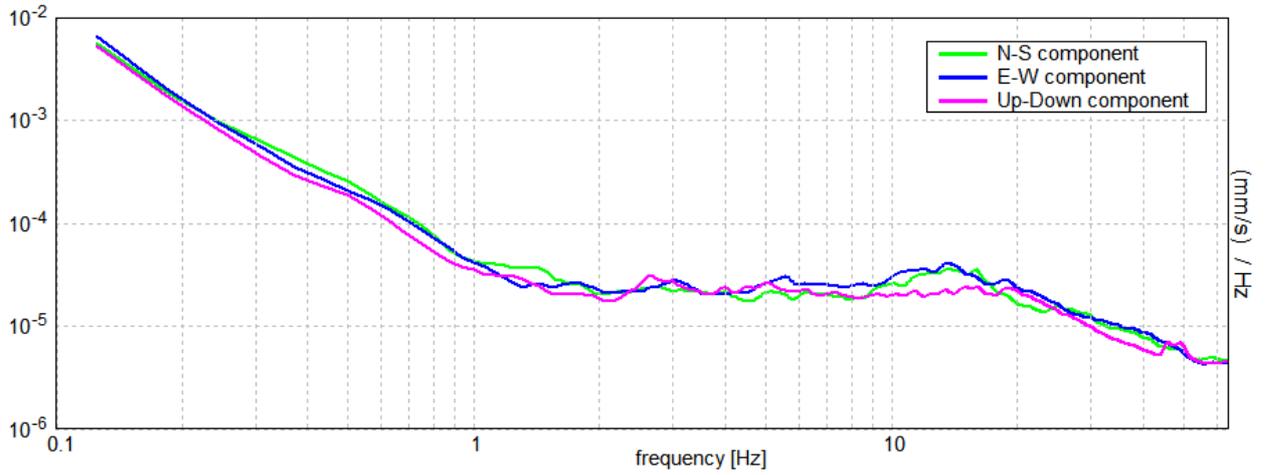


### DIRECTIONAL H/V



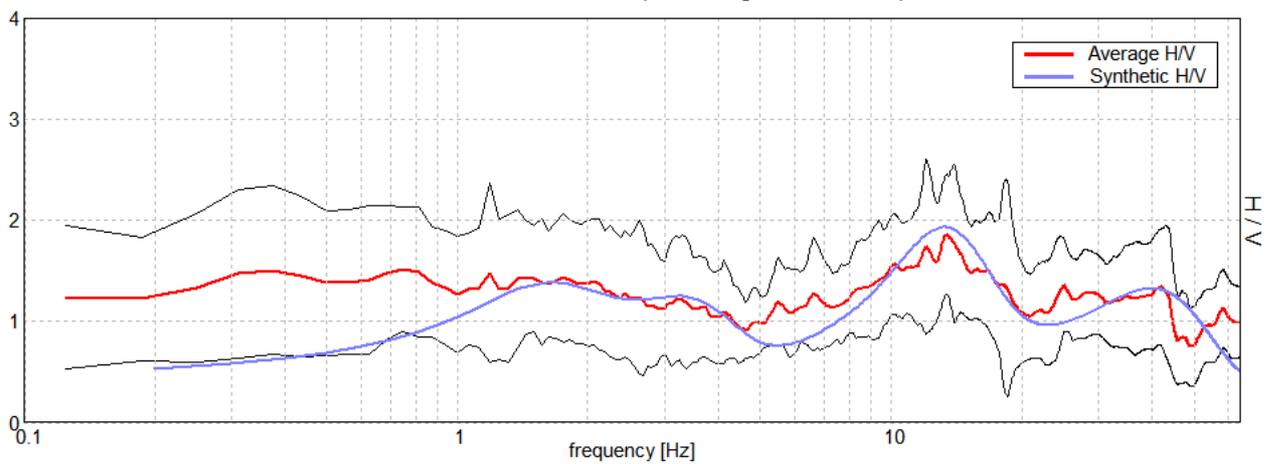


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

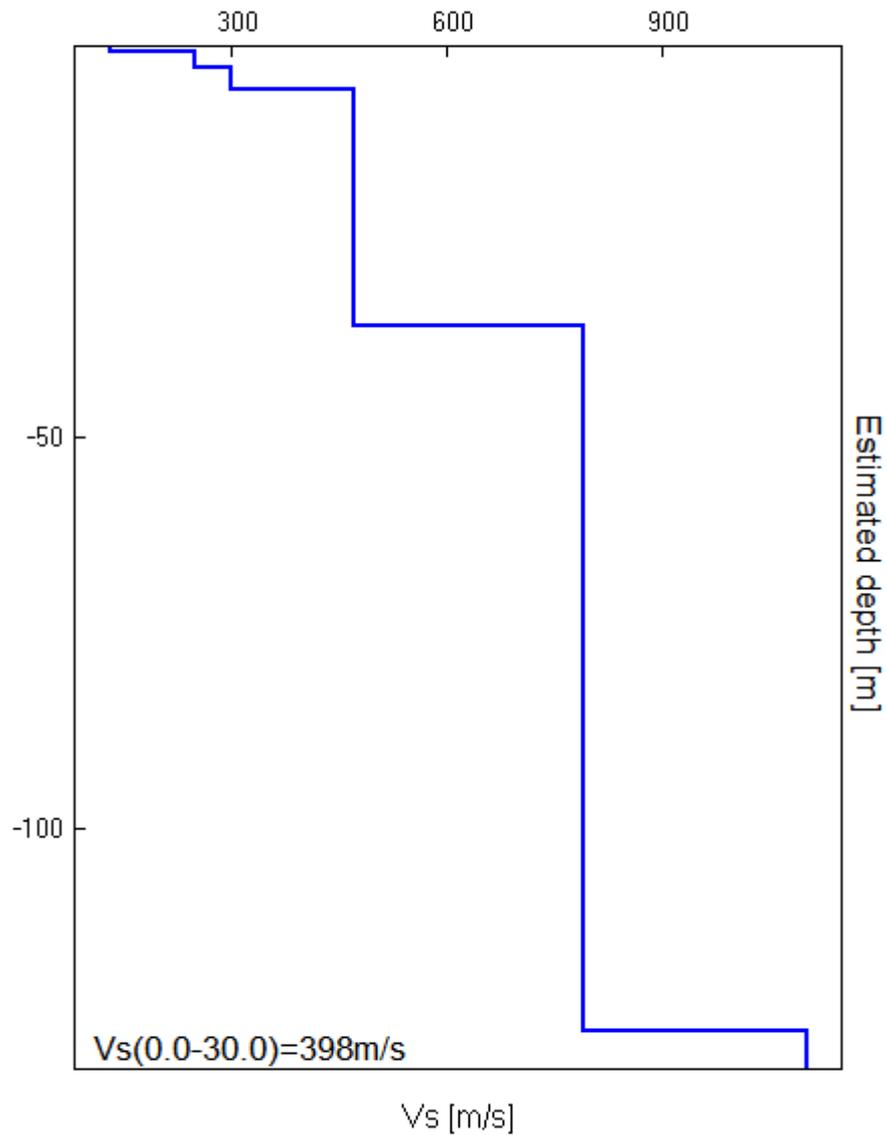
Max. H/V at  $13.44 \pm 0.79$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.75	0.75	130	0.35
2.75	2.00	250	0.35
5.75	3.00	300	0.35
35.75	30.00	470	0.35
125.75	90.00	790	0.35
inf.	inf.	1100	0.35

**Vs(0.0-30.0)=398m/s**





According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**

**Max. H/V at 13.44 ± 0.82 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	13.44 > 0.63	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	15050.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 324 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	4.625 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	45.0 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	1.86 > 2		<b>NO</b>
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.03055  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.41048 < 0.67188	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.3023 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



16\_023

TR\_02

Instrument: TRS-0016/01-06

Start recording: 26/02/16 11:57:37 End recording: 26/02/16 12:17:38

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS location: 010°53.8981 E, 44°19.4666 N (647.1 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 samples

Satellite no.: 04

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

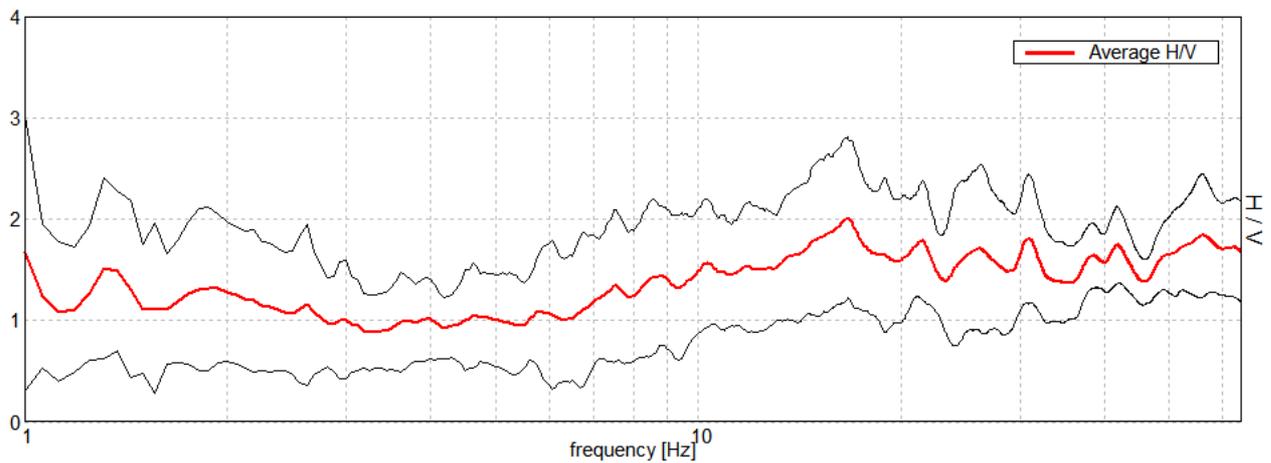
Window size: 16 s

Smoothing type: Triangular window

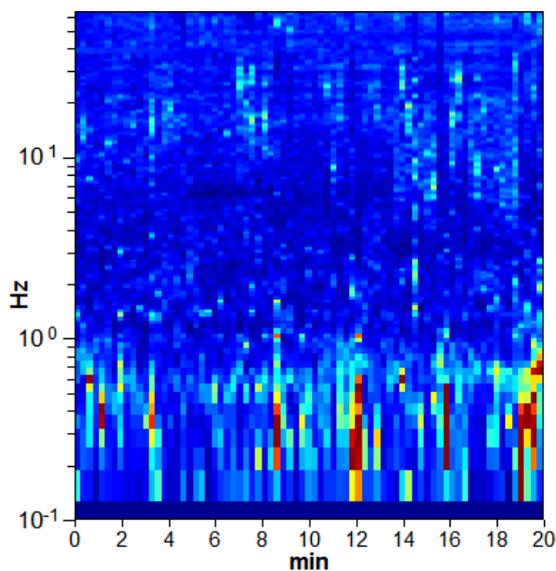
Smoothing: 4%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

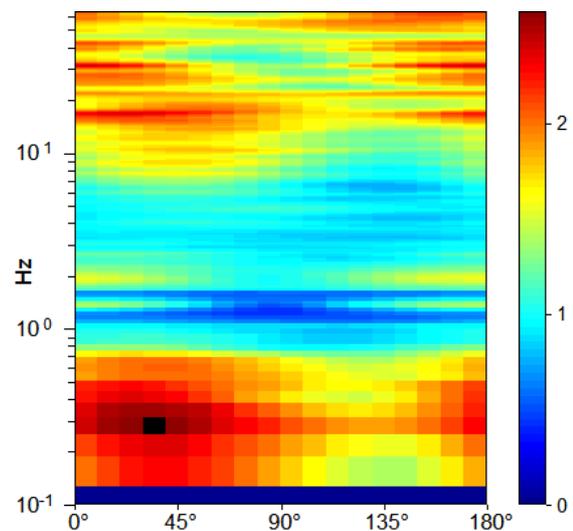
Max. H/V at  $16.63 \pm 0.51$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY

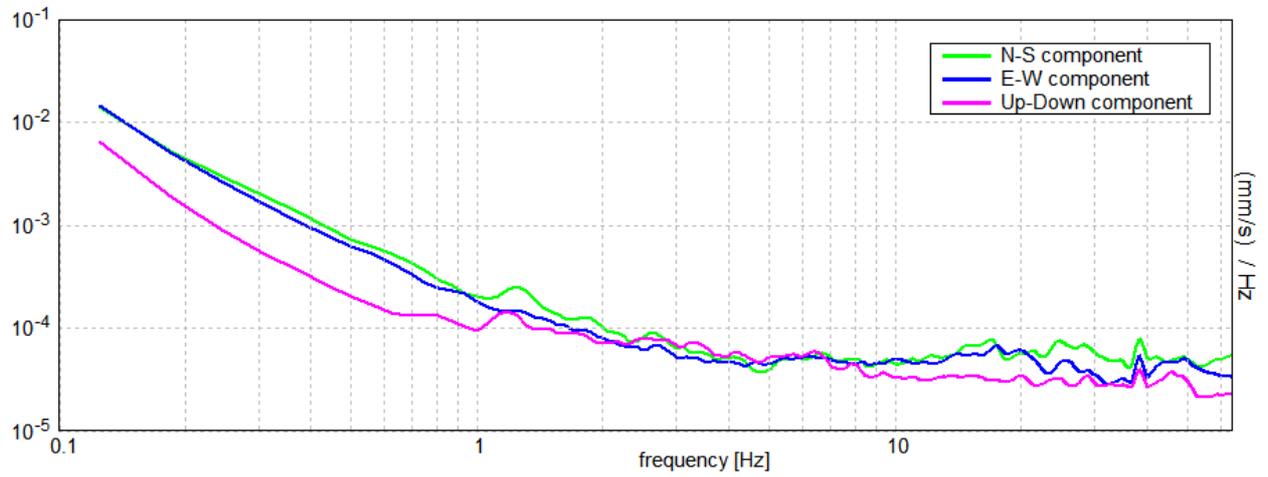


### DIRECTIONAL H/V



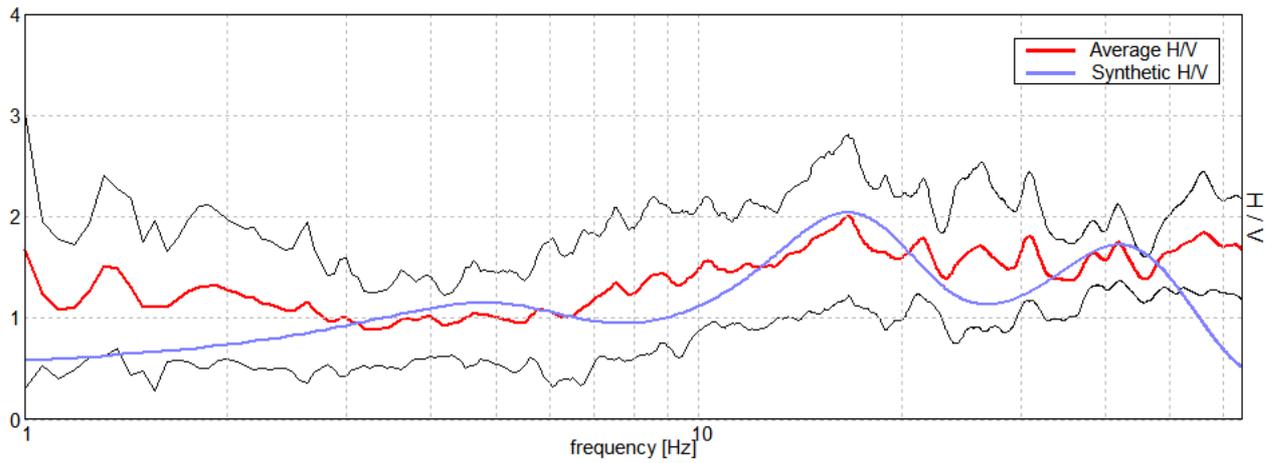


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

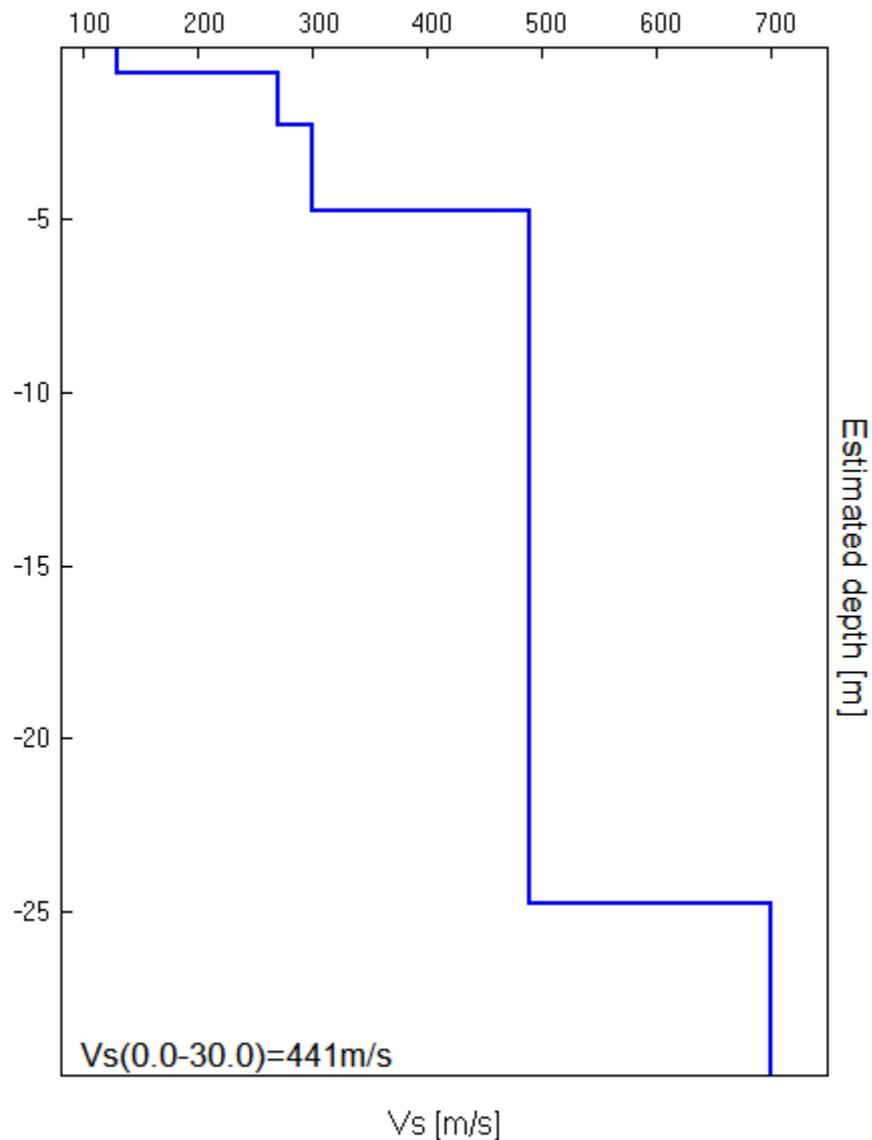
Max. H/V at  $16.63 \pm 0.51$  Hz. (In the range 1.0 - 64.0 Hz).





Bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.75	0.75	130	0.35
2.25	1.50	270	0.35
4.75	2.50	300	0.35
24.75	20.00	490	0.35
inf.	inf.	700	0.35

**Vs(0.0-30.0)=441m/s**





[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 16.63 ± 0.51 Hz (in the range 1.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	16.63 > 0.63	OK	
$n_c(f_0) > 200$	19950.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 400 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.313 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.01 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01528  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.2541 < 0.83125	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3984 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

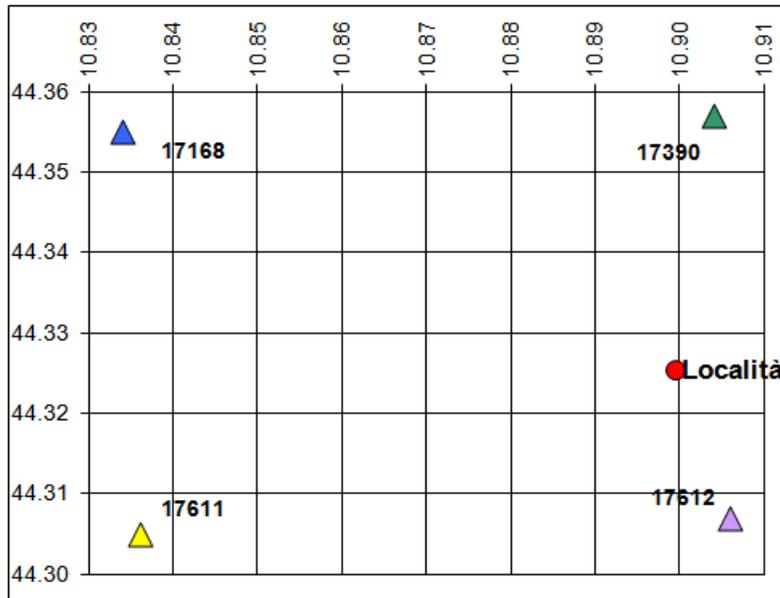
**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



Coordinate geografiche della località in esame				
	LON	LAT	Tolleranza	
	[°]	[°]	[°]	[km]
Località	10.8994	44.3255	0.0001	0.014

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo				
ID	LON	LAT	DIST [°]	[km]
17612	10.906	44.307	0.019	2.128
17611	10.836	44.305	0.050	5.542
17390	10.904	44.357	0.032	3.522
17389	10.834	44.355	0.055	6.153



#### CARATTERISTICHE TERRENO

Topografia		<b>T1</b>
Coeff. topografico	<b>S<sub>T</sub></b>	<b>1.0</b>
Categoria suolo		<b>C</b>

#### VITA DELLA STRUTTURA

Vita nominale	<b>V<sub>N</sub></b>	<b>50</b>	[anni]
Classe d'uso	<b>C<sub>U</sub></b>	<b>II</b>	
Vita di riferimento	<b>V<sub>R</sub></b>	<b>50</b>	[anni]

#### PARAMETRI SISMICI

	SL	P <sub>VR</sub>	T <sub>R</sub>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>C</sub> *
SLE	Operatività	81%	30	<b>0.056</b>	<b>2.50</b>	<b>0.25</b>
SLE	Danno	63%	50	<b>0.070</b>	<b>2.49</b>	<b>0.27</b>
SLU	Salv. Vita	10%	475	<b>0.159</b>	<b>2.52</b>	<b>0.29</b>
SLU	Collasso	5%	975	<b>0.200</b>	<b>2.53</b>	<b>0.30</b>

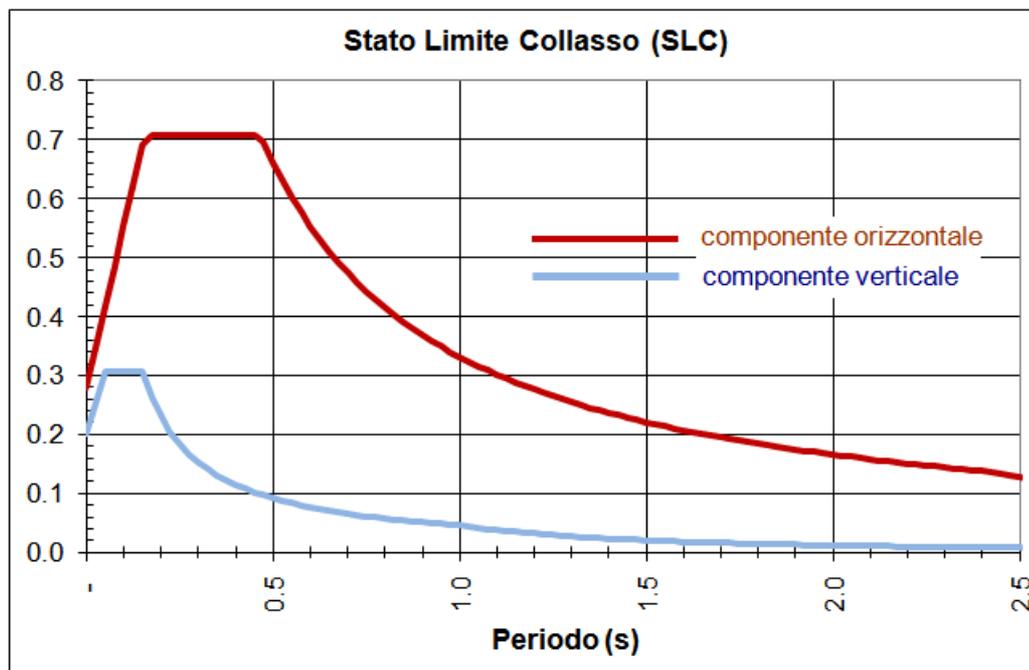
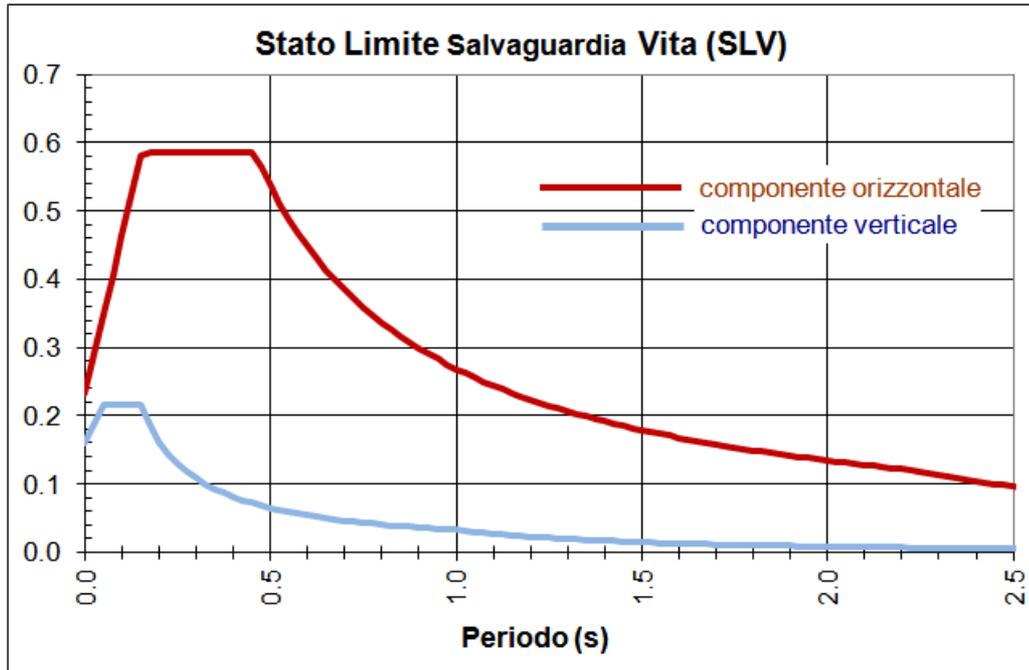
S	T <sub>b</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>	F <sub>V</sub>
1.500	0.138	0.415	1.825	0.800
1.500	0.144	0.433	1.879	0.889
1.459	0.153	0.458	2.237	1.359
1.396	0.156	0.469	2.401	1.528



## SPETTRI ELASTICI SLU

Tr = 475 anni (SLV)

Tr = 975 anni (SLC)





# **ALLEGATO B**

Grafici ed Tabulati della Risposta Sismica Locale (RSL)

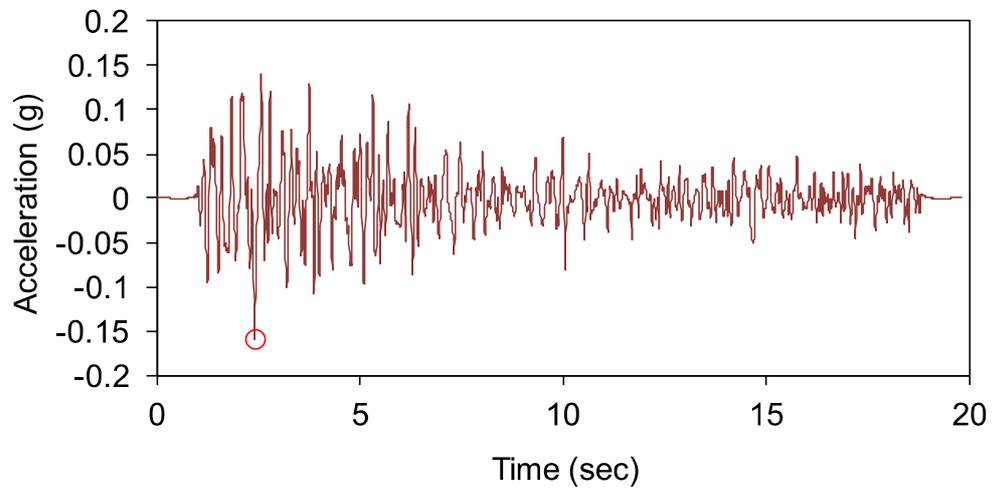
(Elaborazioni EERA)



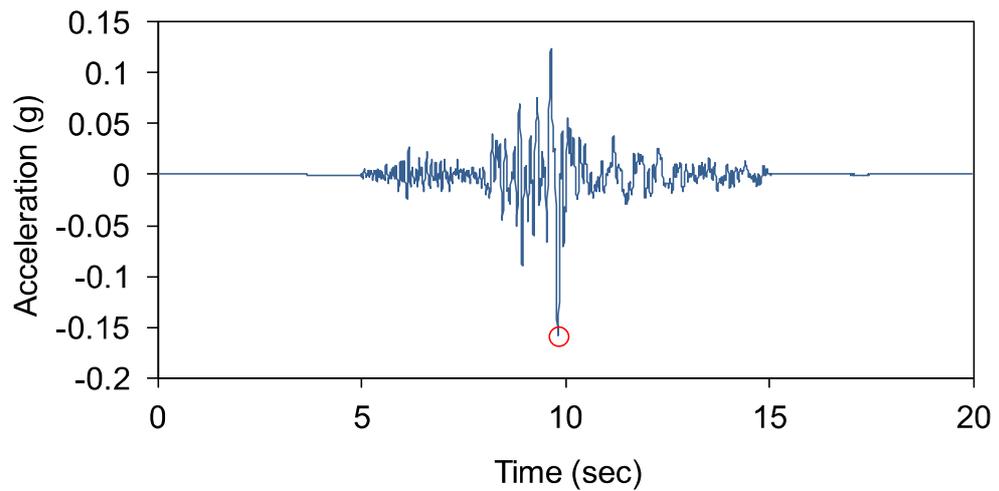
## ACCELEROGRAMMI DEI SEGNALI DI RIFERIMENTO

(Comune di Pavullo nel Frignano)

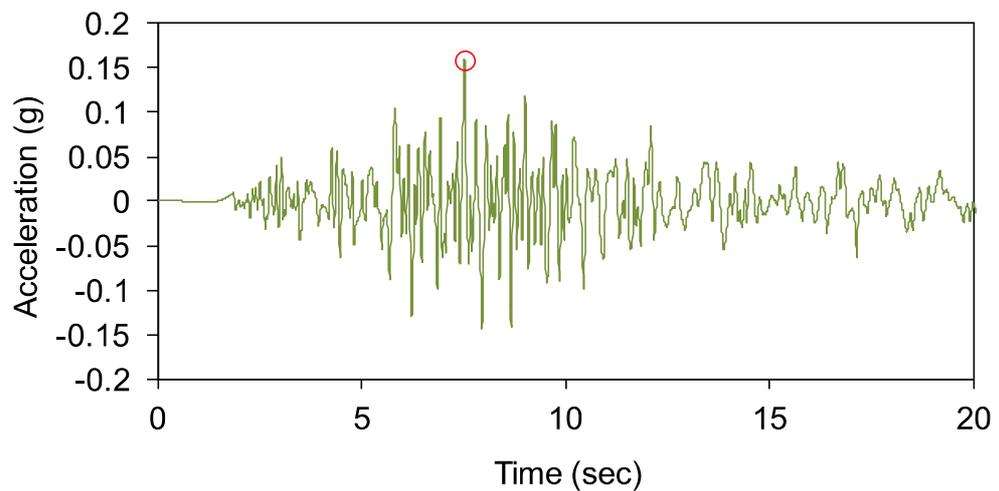
### SEGNALE 46 - (IMPULSIVO)



### SEGNALE 126 - (CON AMPIO CONTENUTO IN FREQUENZE)



### SEGNALE 354 - (CON COMPONENTE PREDOMINANTE AD ALTE FREQUENZE)





## PROFILO SISMICO DEL TERRENO (Località: Ambito NIL3)

### MODELLO TERRENO IN SITO - (RICAIVATO DALLE PROVE TR\_01 e TR\_02)

Fundamental period (s) = 0.33  
Average shear wave velocity (m/sec) = 436.29  
Total number of sublayers = 5

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion
Surface	1	1	1	0.75	31.01		18.00	130	
	2	1	1	2.00	121.05		19.00	250	
	3	1	1	3.00	183.49		20.00	300	
	4	4	1	30.00	472.87		21.00	470	
Bedrock	5	0			1399.61	1	22.00	790	Outcrop

### MODELLO SUOLO DI RIFERIMENTO - (BEDROCK SUPERFICIALE CON VS=800 m/s)

Fundamental period (s) = 0.00  
Average shear wave velocity (m/sec) = 800.00  
Total number of sublayers = 2

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion
Surface	1	4		0.1	1435.27		22.00	800	
Bedrock	2	0			1435.27	1	22.00	800	Outcrop

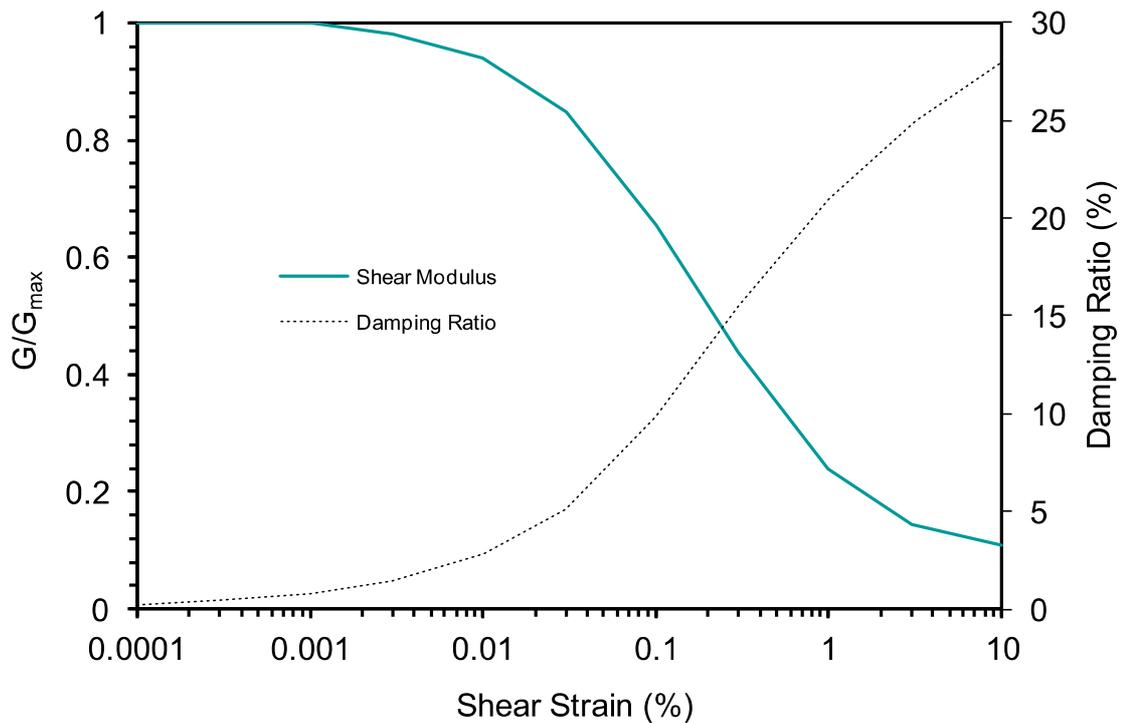


## CURVE DI DECADIMENTO DEI TERRENI

(Comportamento Plastico—Soli Material Type 1)

*Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) upper range and damping for clay (Idriss 1990)*

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.981	0.003	1.4
0.01	0.941	0.01	2.8
0.03	0.847	0.03	5.1
0.1	0.656	0.1	9.8
0.3	0.438	0.3	15.5
1	0.238	1	21
3	0.144	3.16	25
10	0.11	10	28



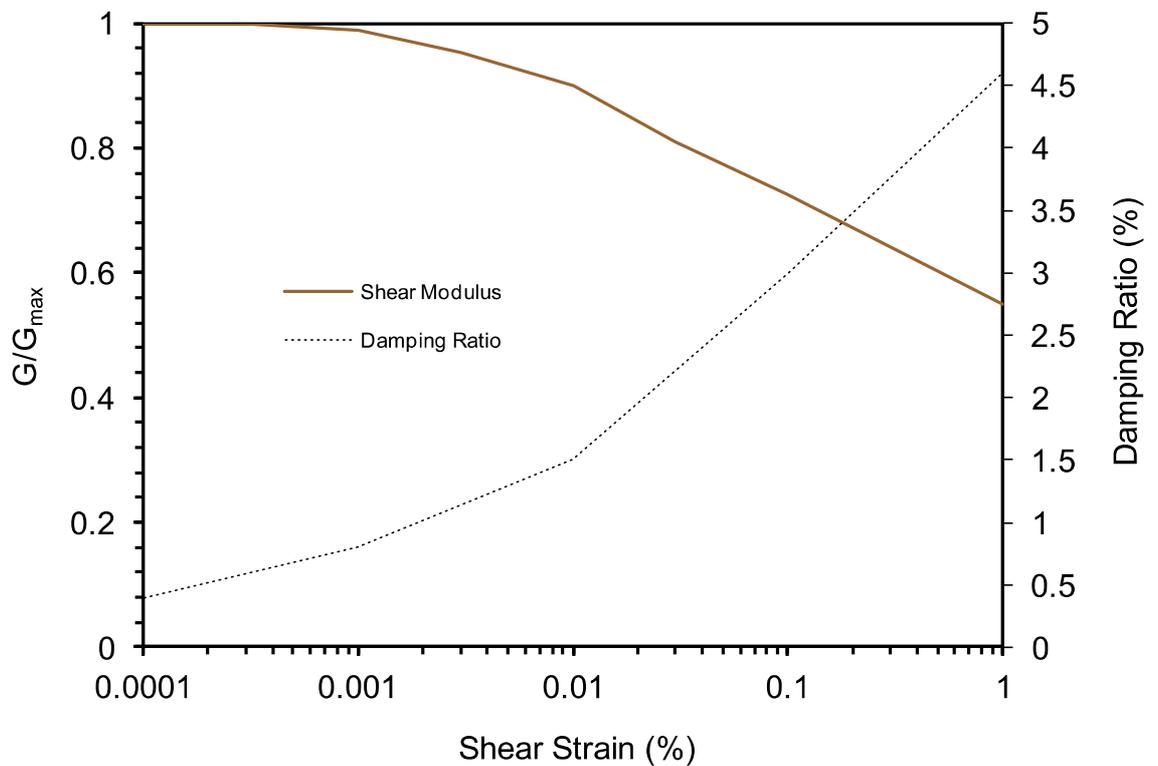


## CURVE DI DECADIMENTO DEI TERRENI

(Comportamento Rigido e Semirigido—Soil Material Type 4)

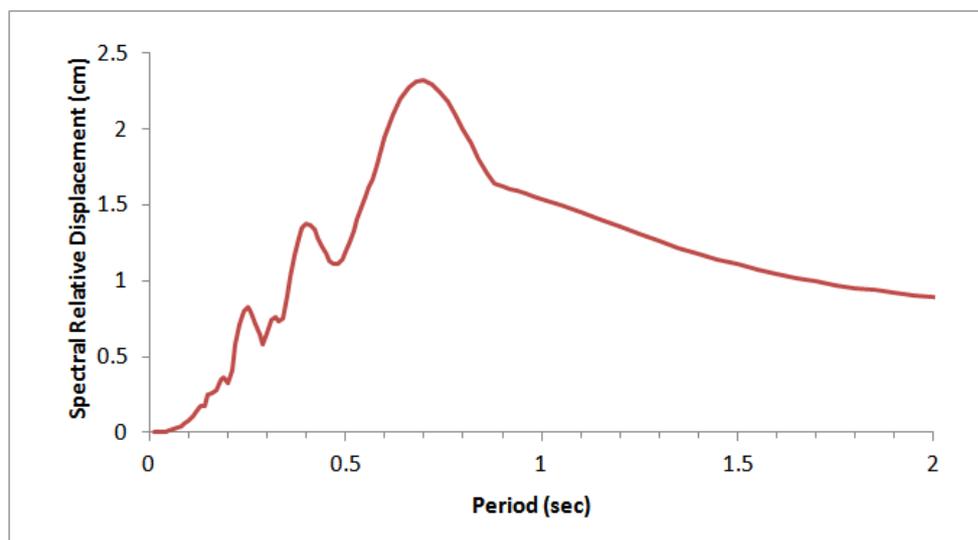
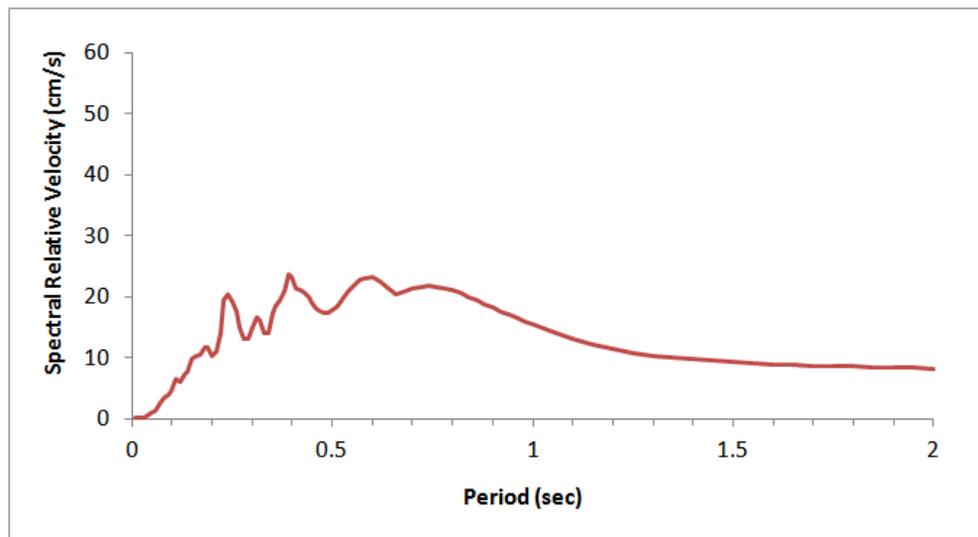
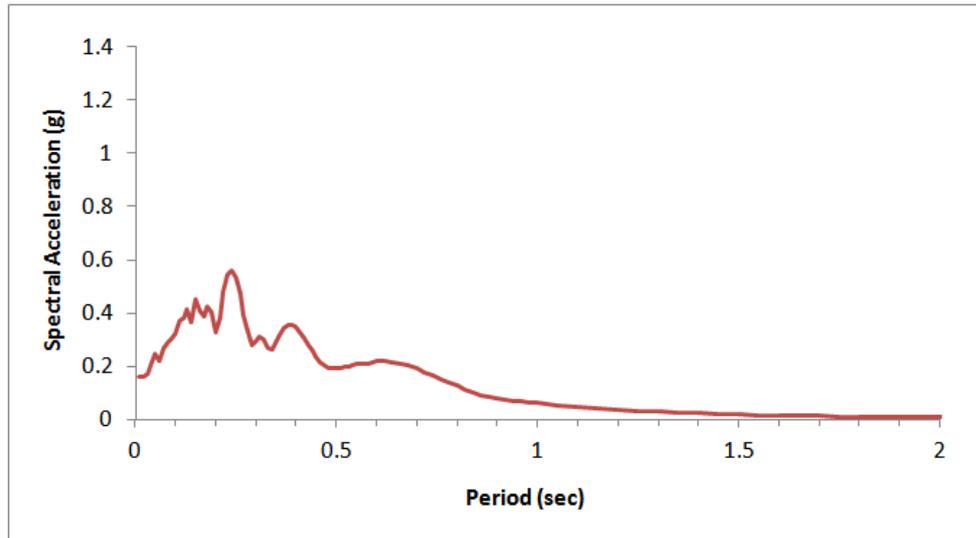
**Attenuation of rock average and damping in rock**

Strain (%)	$G/G_{max}$	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.4
0.0003	1	0.001	0.8
0.001	0.9875	0.01	1.5
0.003	0.9525	0.1	3
0.01	0.9	1	4.6
0.03	0.81		
0.1	0.725		
1	0.55		



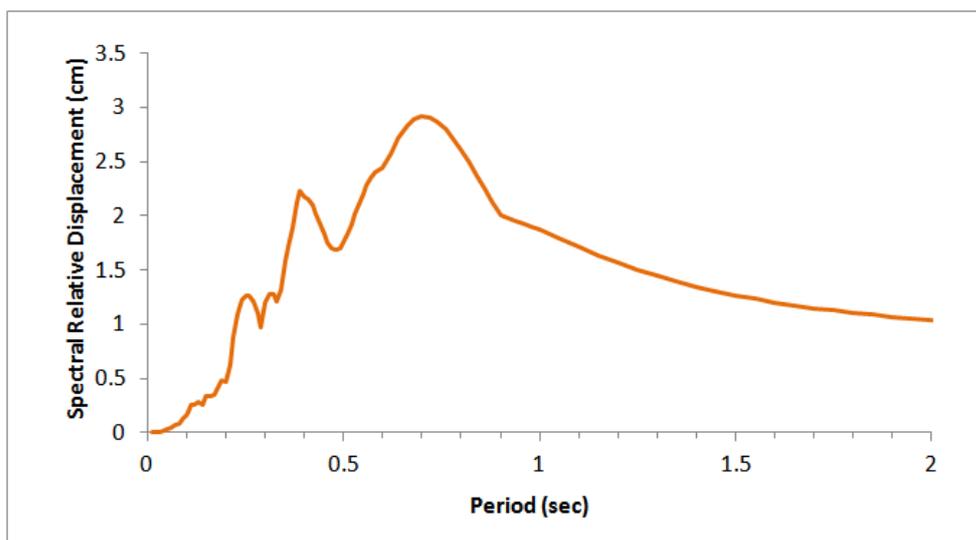
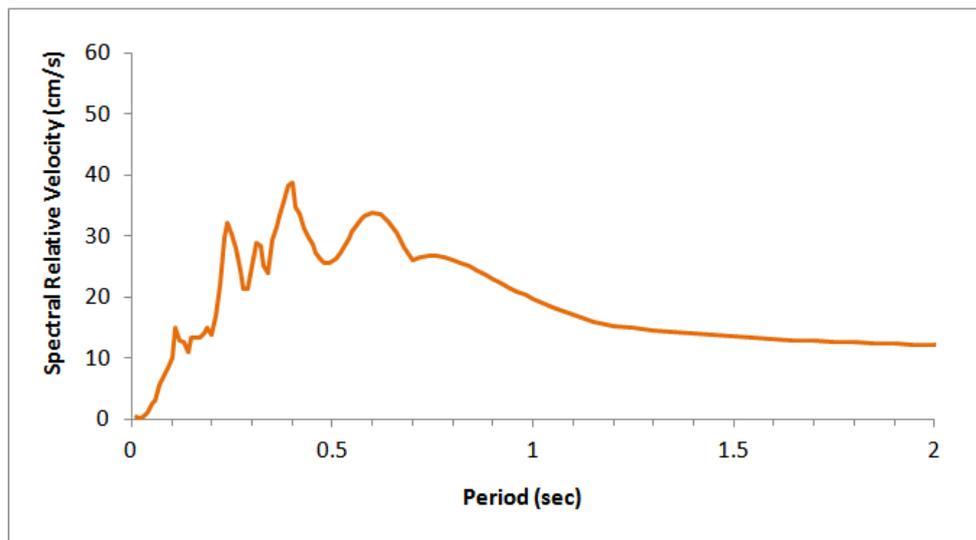
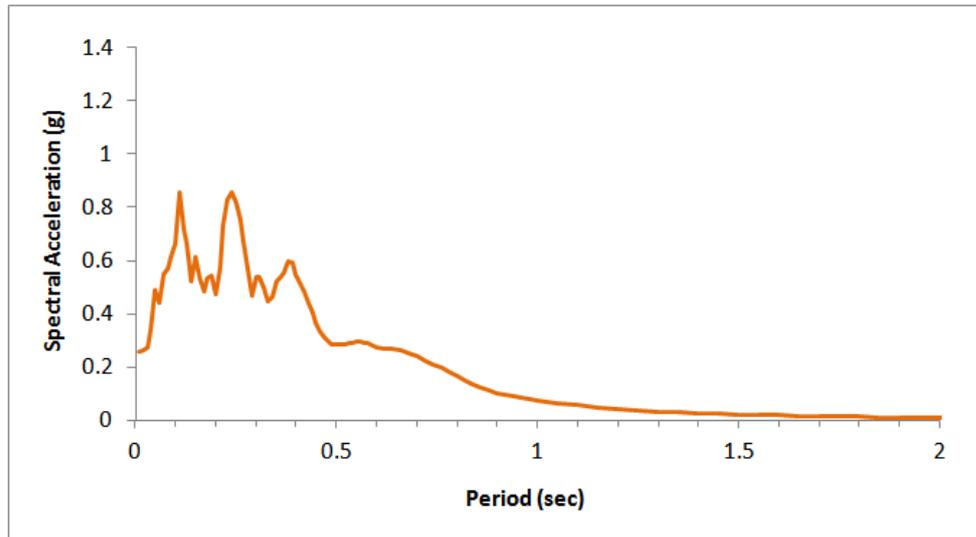


## SPETTRI DI RISPOSTA AL SUOLO DI RIFERIMENTO (Segnale 46)



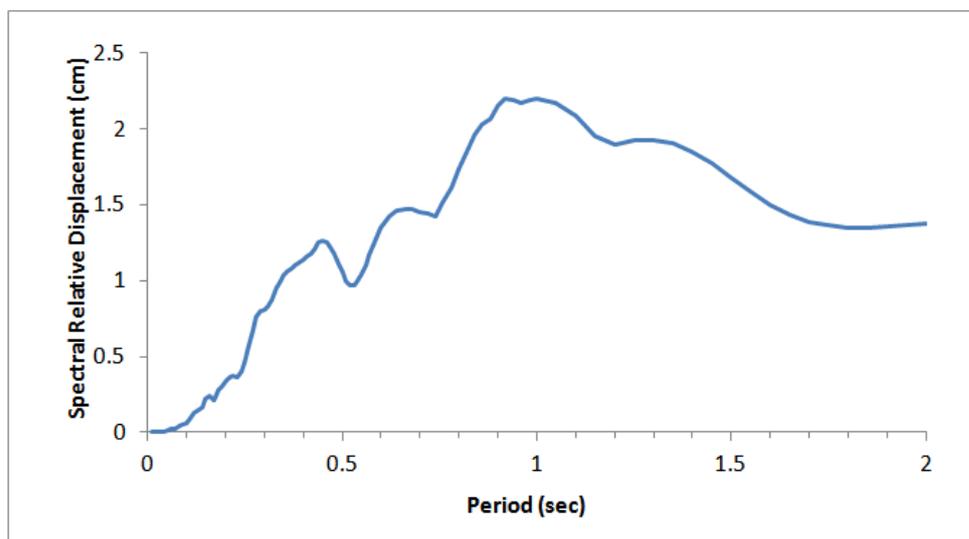
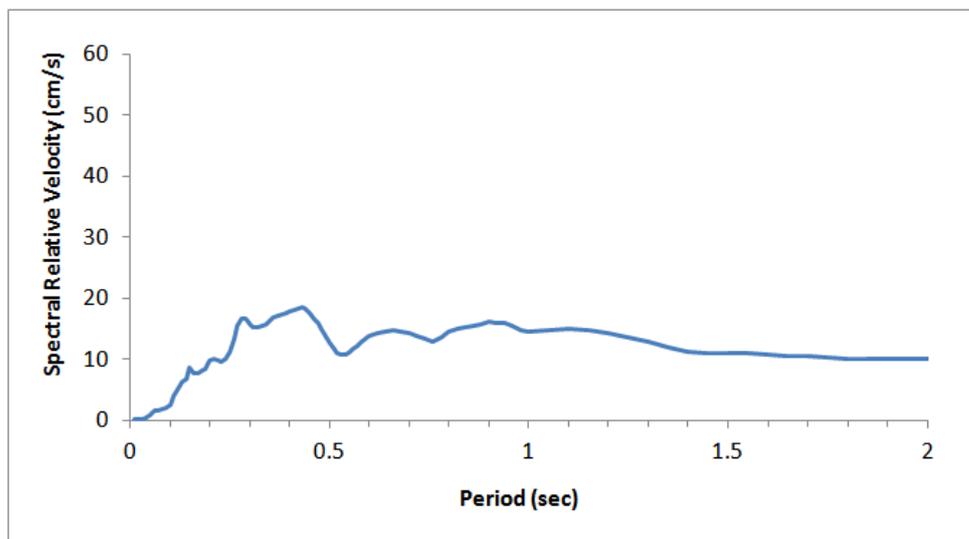
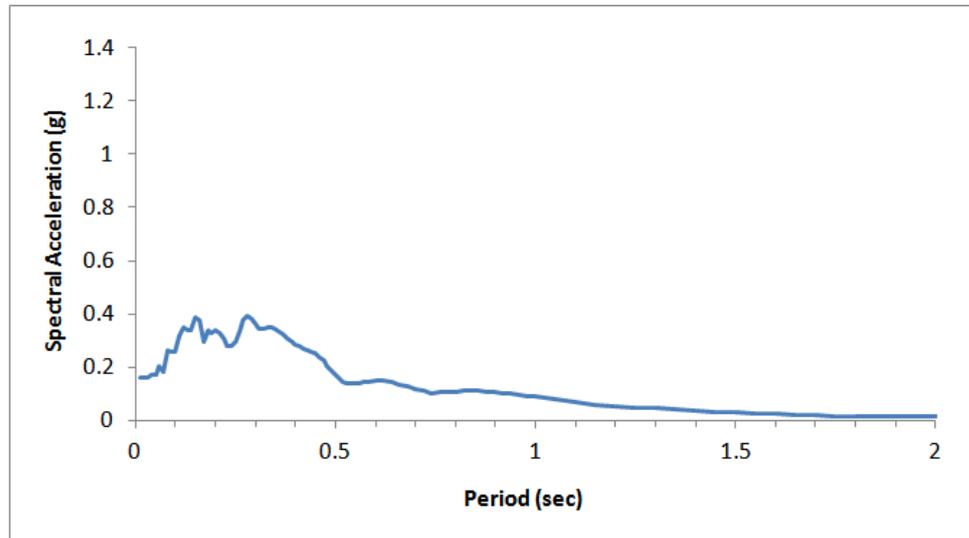


## SPETTRI DI RISPOSTA LOCALE (Segnale 46)



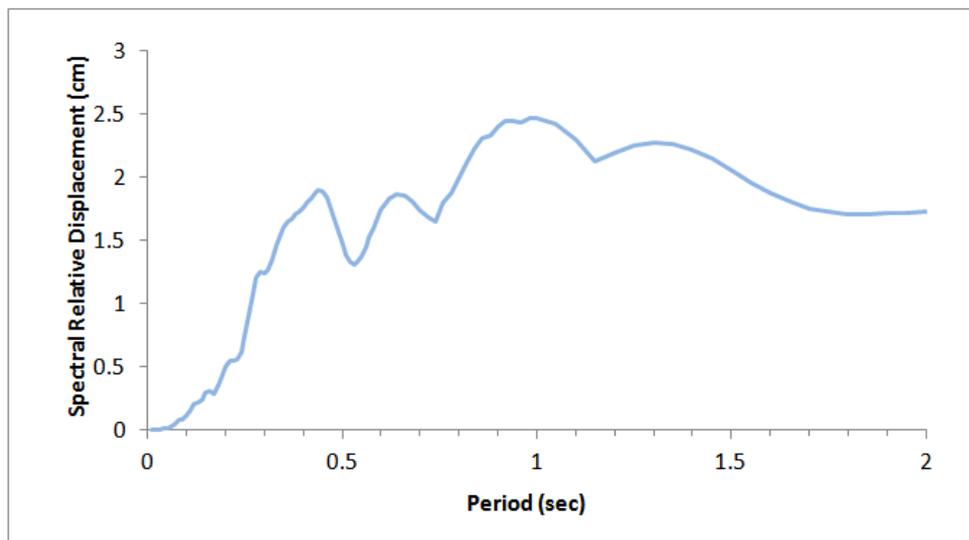
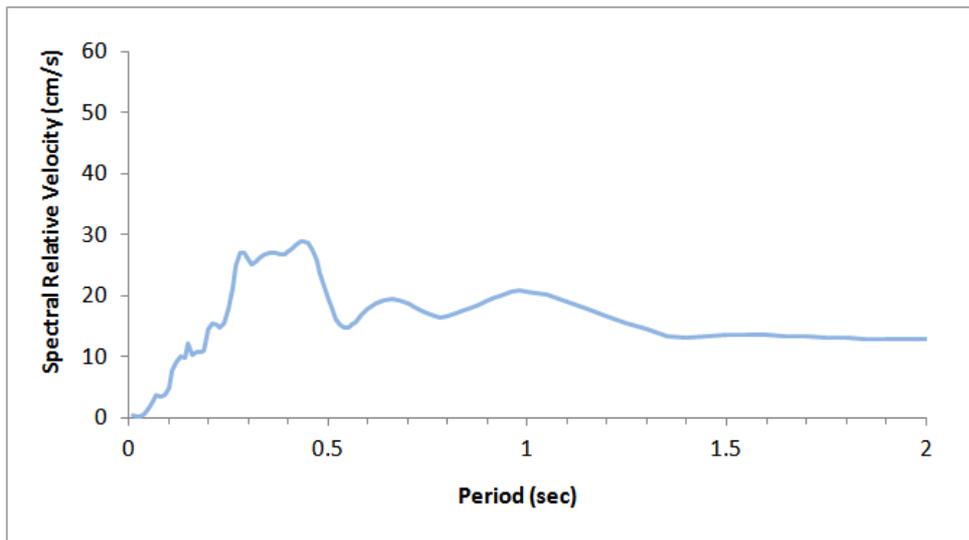
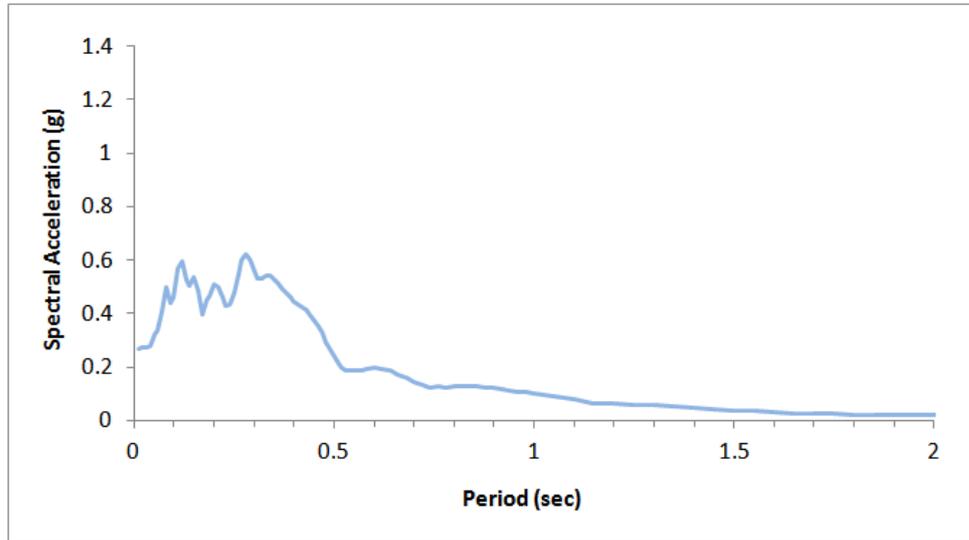


## SPETTRI DI RISPOSTA AL SUOLO DI RIFERIMENTO (Segnale 126)



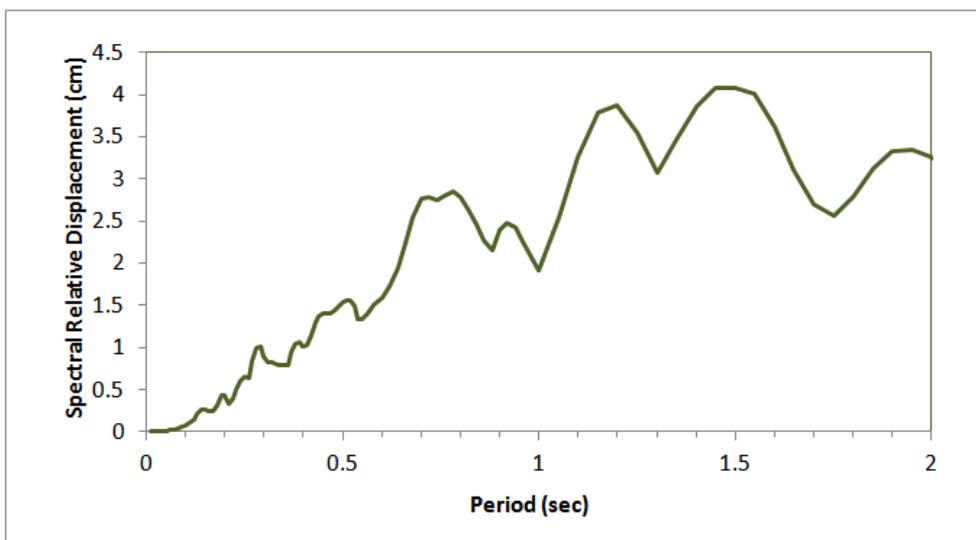
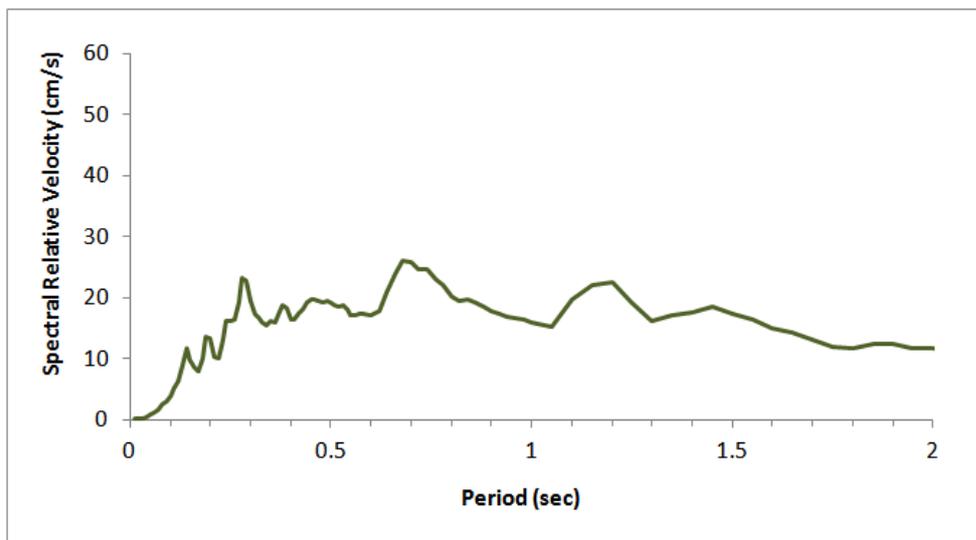
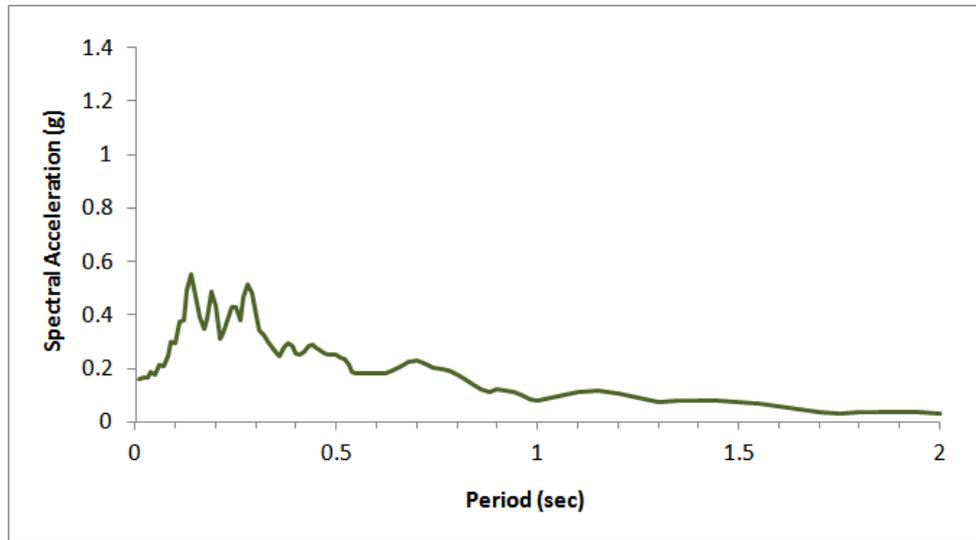


## SPETTRI DI RISPOSTA LOCALE (Segnale 126)





## SPETTRI DI RISPOSTA AL SUOLO DI RIFERIMENTO (Segnale 354)





## SPETTRI DI RISPOSTA LOCALE (Segnale 354)

