

REGIONE  
TOSCANA



# **STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 IN ALCUNI COMUNI DEL PROGETTO VEL**

**V. D'INTINOSANTE, M. BAGLIONE & P. FABBRONI**

*Settore Ufficio Tecnico del Genio civile di area vasta Firenze Prato Pistoia Arezzo.*

**Prevenzione sismica.**

*REGIONE TOSCANA*

---

"Le attività regionali per la microzonazione sismica in Toscana"  
giovedì 12 giugno 2014 - Firenze Via San Gallo n. 25/A Auditorium Sant'Apollonia

La Regione Toscana ha avviato a partire dal 1997, con il Programma di Valutazione Effetti Locali (denominato **Programma VEL**), un importante programma di studi ed indagini, finalizzato alla realizzazione di studi di Microzonazione Sismica di tipo analitico (attualmente definiti di Livello III) nelle aree regionali a maggior pericolosità sismica di base.

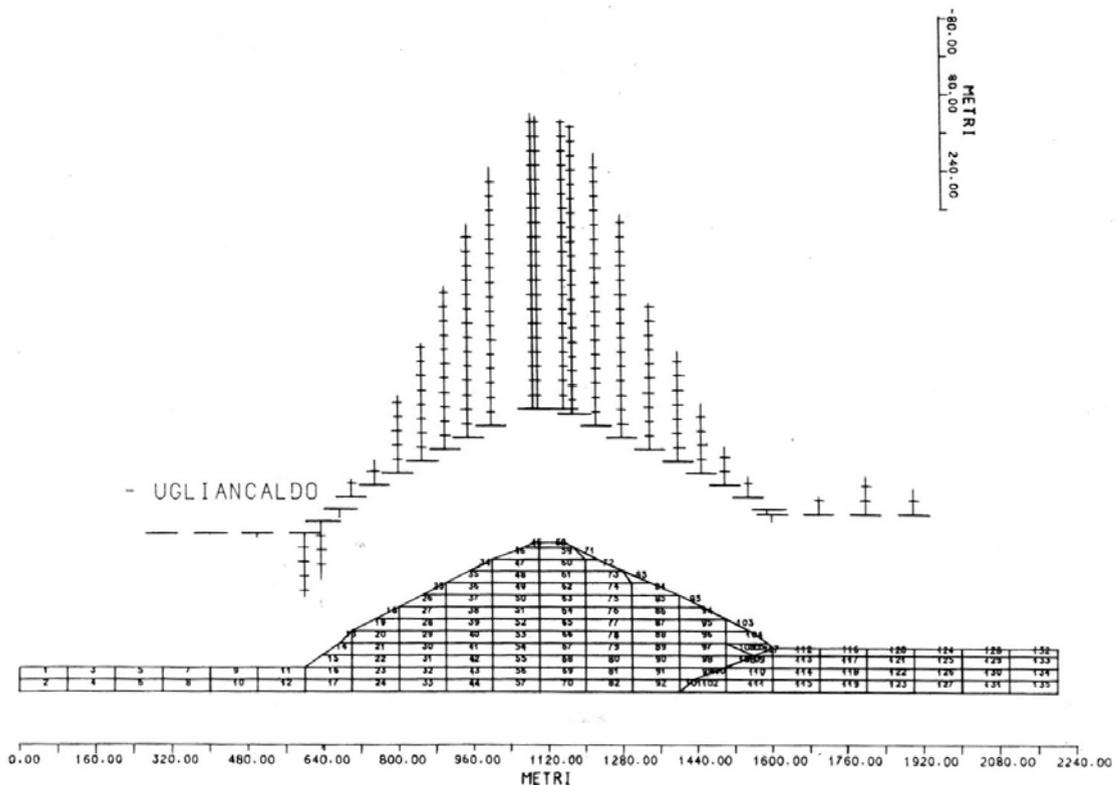


Figura 14 - Valori dell'amplificazione rispetto ai termini di distribuzione massima. Il grafico è riferito al sistema di coordinate in metri di superficie dell'edificio N°7.

**AA.VV. (1986) -  
Progetto terremoto  
in Garfagnana e  
Lunigiana**

La Regione Toscana ha avviato a partire dal 1997, con il Programma di Valutazione Effetti Locali (denominato **Programma VEL**), un importante programma di studi ed indagini, finalizzato alla realizzazione di studi di Microzonazione Sismica di tipo analitico (attualmente definiti di Livello III) nelle aree regionali a maggior pericolosità sismica di base.

Tali studi hanno subito negli ultimi anni una forte accelerazione grazie ai finanziamenti nazionali previsti con **l'OPCM 3907/2010** e s.m.e i. in attuazione dell'**articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77**.

In alcuni comuni, sia afferenti a questo progetto co-finanziato dallo Stato, sia già finanziati nell'ambito dei progetti regionali di prevenzione sismica, è stato possibile terminare gli studi avviati in ambito VEL attraverso la realizzazione di cartografie di Microzonazione Sismica di Livello III, secondo gli standard previsti dagli **"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"** (di seguito indicato con la sigla **ICMS**) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

<b>Comune</b>	<b>Località interessate</b>	<b>Soggetto realizzatore delle analisi di RSL</b>	<b>Soggetto realizzatore delle cartografie di MS di Livello III</b>
Villa Collemandina (LU)	Capoluogo e Corfino	Università di Pisa	Regione Toscana
Barberino di Mugello (FI)	Capoluogo e Galliano	Università di Firenze	Regione Toscana
Poppi (AR)	Capoluogo e Porrena	Regione Toscana	Regione Toscana
Sestino (AR)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
Scarperia (FI)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
San Godenzo (FI)	Capoluogo e Castagno d'Andrea	Regione Toscana	Regione Toscana
Palazzuolo sul Senio (FI)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana
Firenzuola (FI)	Capoluogo	Regione Toscana	Regione Toscana

*Elenco dei comuni già dotati di studi di Microzonazione Sismica di Livello III*

La realizzazione delle analisi di risposta sismica locale in assetto bidimensionale è stata affiancata dal supporto del CeRS-GEO dell'Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti e Pescara, con il quale è stato stipulato un apposito Accordo di Collaborazione Scientifica.

## Procedura di esecuzione delle analisi in oggetto

1. definizione dell'**input sismico**;
2. determinazione del **modello geologico-tecnico** di sottosuolo;
3. esecuzione delle **analisi di risposta sismica locale**;
4. rappresentazione su mappa di tutti i **punti di output** delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore del fattore di amplificazione;
5. individuazione delle caratteristiche **sismo-stratigrafiche** alla base di ogni valore del fattore di amplificazione desunto;
6. identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-tecniche e MOPS) di **analoghe condizioni geologico-tecniche** su aree in cui non sono disponibili analisi di risposta sismica per assenza di dati di base;
7. Confronto con omologhi valori del fattore di amplificazione da analisi monodimensionale e conseguente attribuzione del fattore nelle predette aree;
8. raggruppamento di **situazioni tipologiche ed amplificative simili** attraverso la discretizzazione dell'area in classi distinte. Tali classi sono identificate sulla base di differenti intervalli di **FHa**;
9. rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente **GIS**.

Il presente contributo intende illustrare alcuni dei risultati ottenuti puntando l'attenzione anche su alcune problematiche riscontrate nell'esecuzione degli studi.

### **CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI:**

Per la analisi 2D è stato utilizzato QUAKE/W  
della Geostudio (2012);

per le analisi 1D ci si è avvalsi del software STRATA  
(Kottke & Rathje, 2008).

**Nelle aree finora indagate non si sono riscontrate problematiche relative alla presenza di zone potenzialmente soggette a liquefazione dinamica dei terreni e di faglie attive e capaci.**

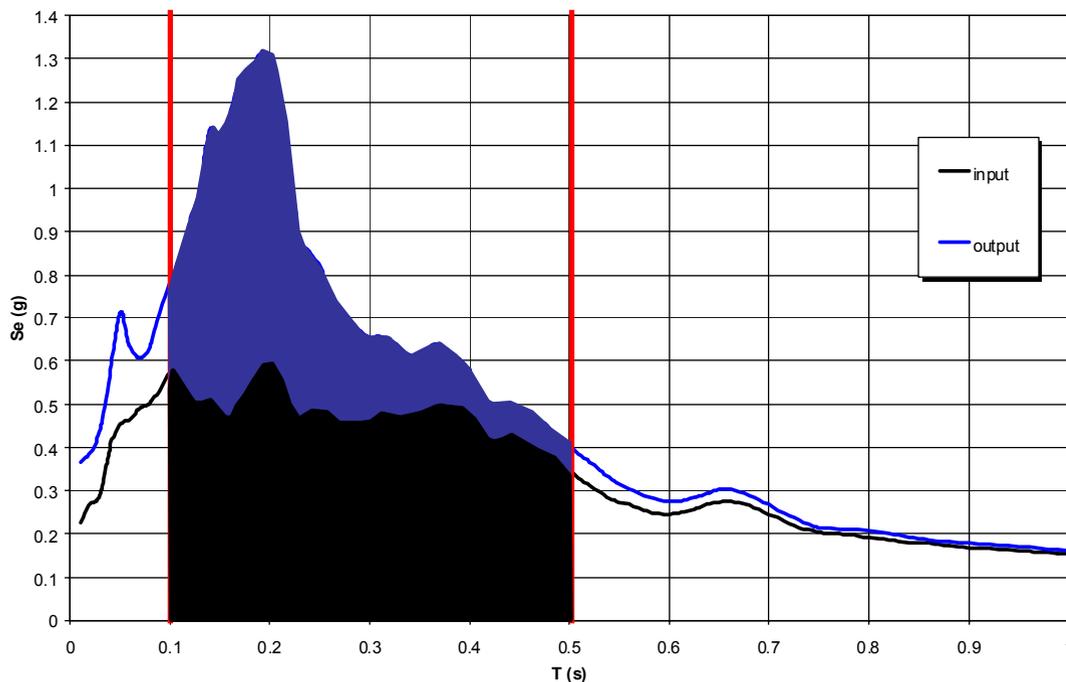
## IL MODELLO NUMERICO PER LE ANALISI 2D

Le scelte effettuate in termini di trasposizione del modello geologico-tecnico desunto in modello numerico, vertono su:

1. definizione della mesh;
2. frontiere laterali;
3. deconvoluzione dell'input sismico;
4. scelta del fattore di amplificazione.

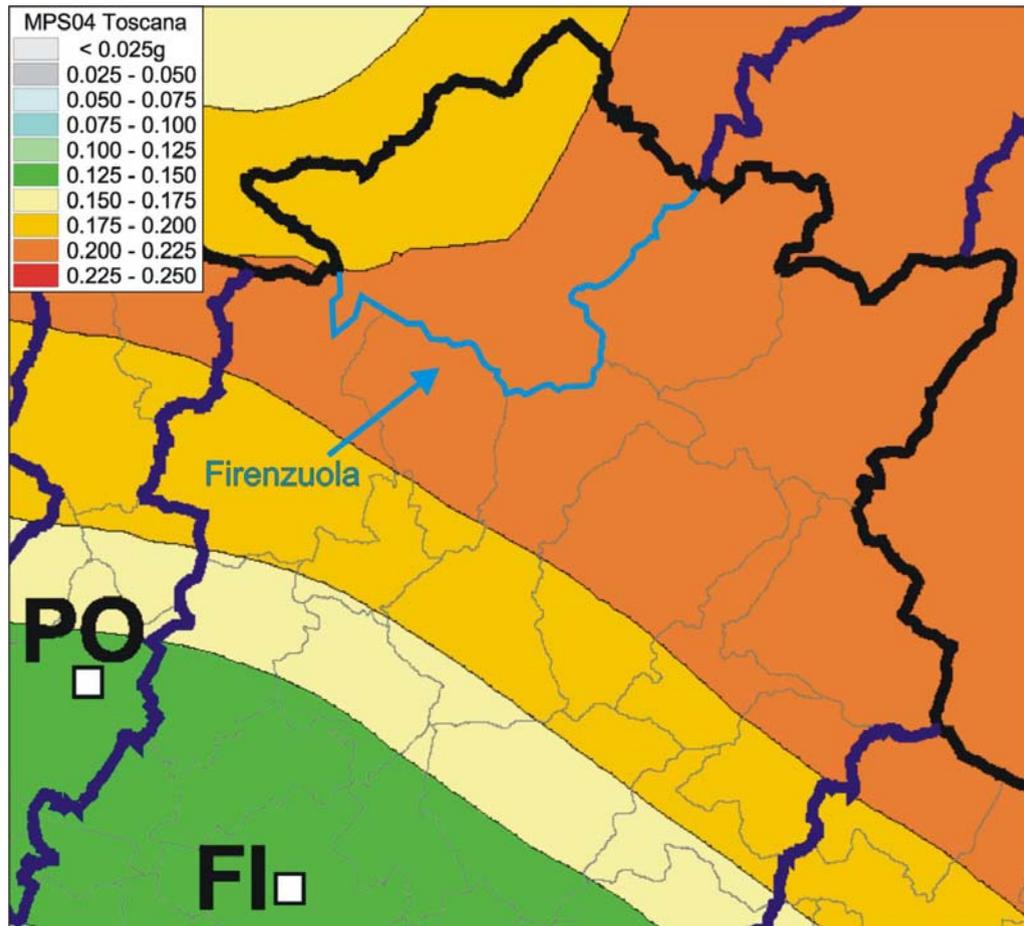
$$FHa_{(0,1 \div 0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FHa_{(0,5 \div 1,0)} = \frac{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{in}(T) dT}$$



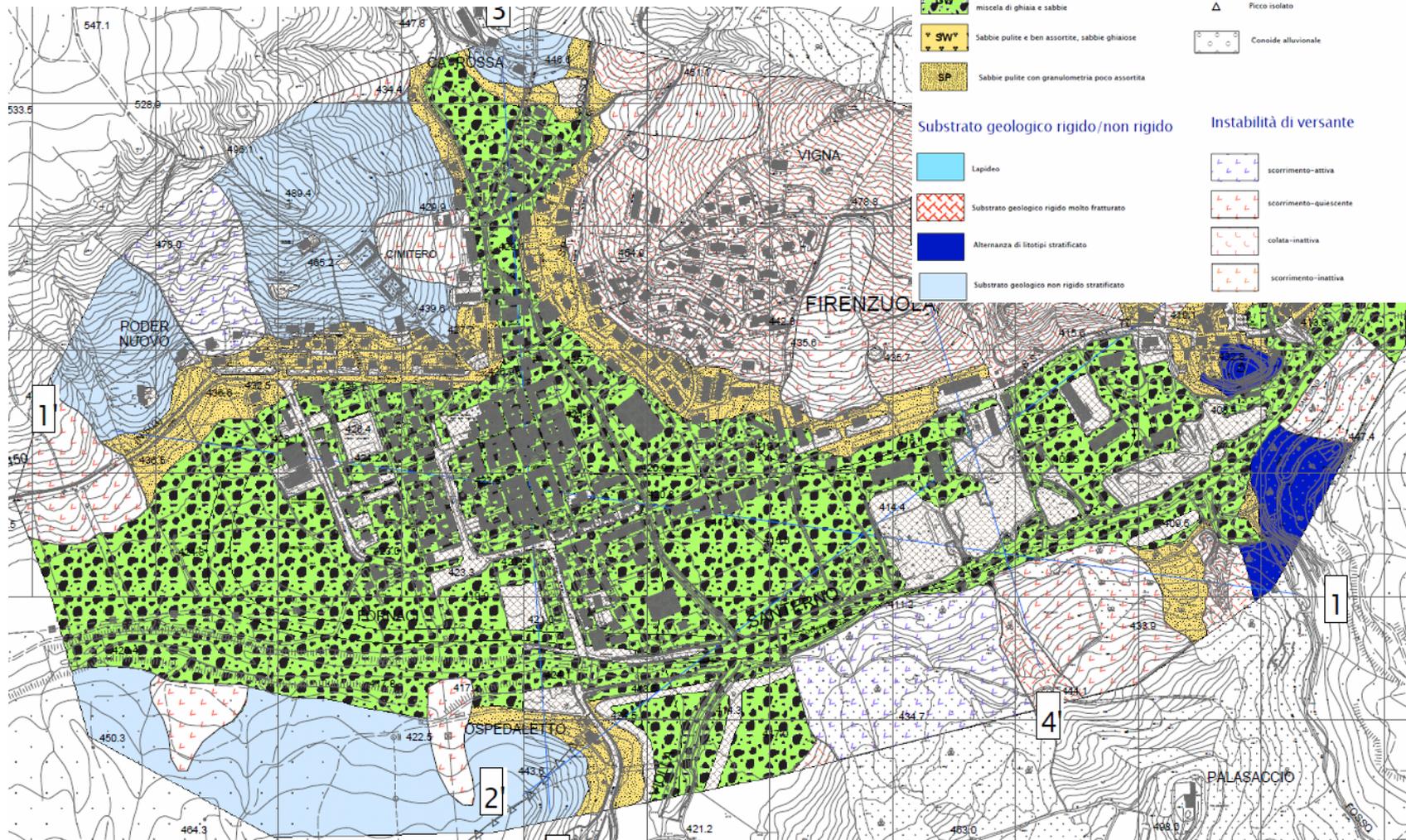
# **ALCUNI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III ESEGUITI**

**Firenzuola (FI)**



*Mapa di Pericolosità Sismica relativa all'area del Mugello realizzata dall'INGV nel 2004 (Allegato 1B dell'O.P.C.M. 3519/2006)*

# Carta geologico-tecnica di Firenzuola (FI)



## Legenda

### Terreni di copertura

-  Terreni contenenti resti di attività antropica
-  CL Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
-  GP Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
-  GP Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
-  SW'' Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
-  SP Sabbie pulite con granulometria poco assortita

### Substrato geologico rigido/non rigido

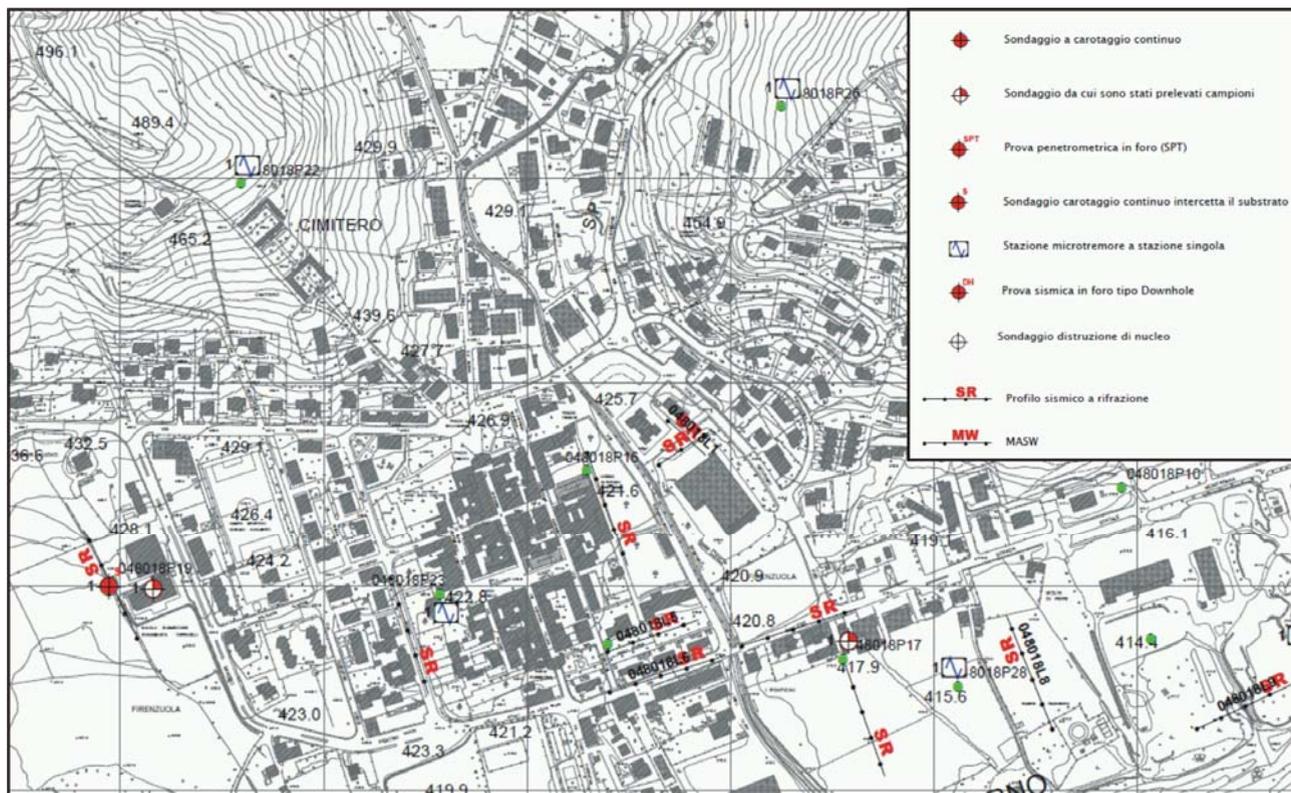
-  Lapideo
-  Substrato geologico rigido molto fratturato
-  Alternanza di litotipi stratificato
-  Substrato geologico non rigido stratificato

### Forme di superficie e sepolte

-  Orlo di scarpata morfologica (10-20m)
-  Orlo di scarpata morfologica (>20m)
-  Cresta
-  Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo
-  Ficcio isolato
-  Conoide alluvionale

### Instabilità di versante

-  scorrimento-attiva
-  scorrimento-quietescente
-  colata-inattiva
-  scorrimento-inattiva

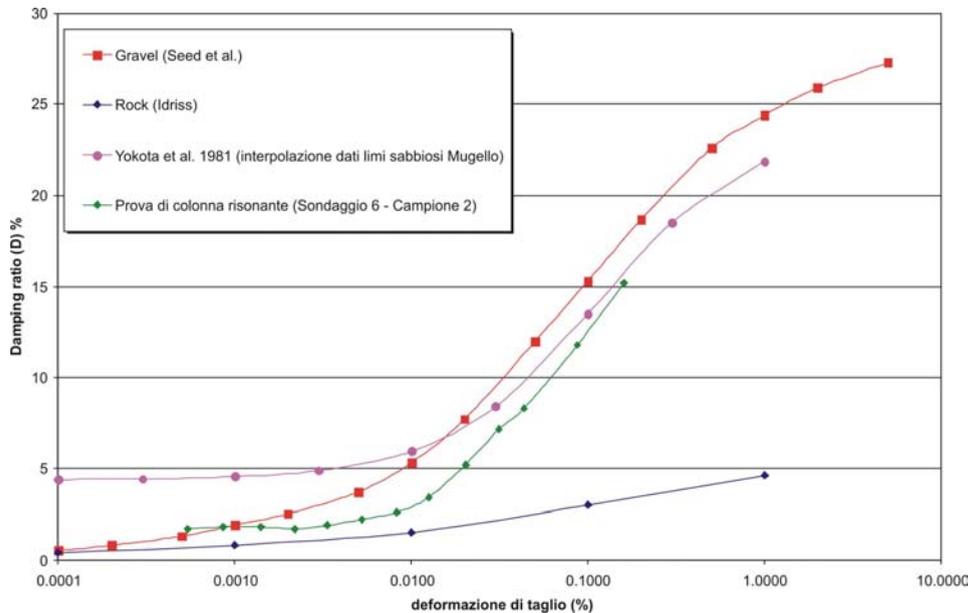
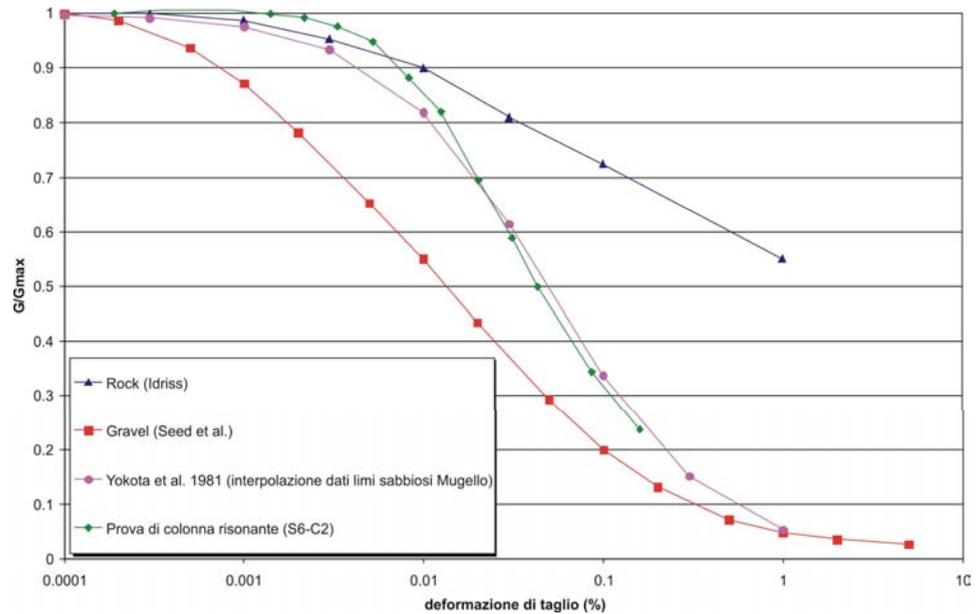


La ricostruzione del modello geologico-tecnico di sottosuolo è stata possibile mediante realizzazione di **10 stese sismiche a rifrazione** e **3 sondaggi geognostici** giunti (come nella filosofia VEL) al substrato geologico e sismico e da cui sono stati prelevati **6 campioni indisturbati**, utilizzati per la realizzazione di analisi di laboratorio in campo statico e dinamico. Ad essi è stata successivamente aggiunta una campagna di misure di rumore a stazione singola.

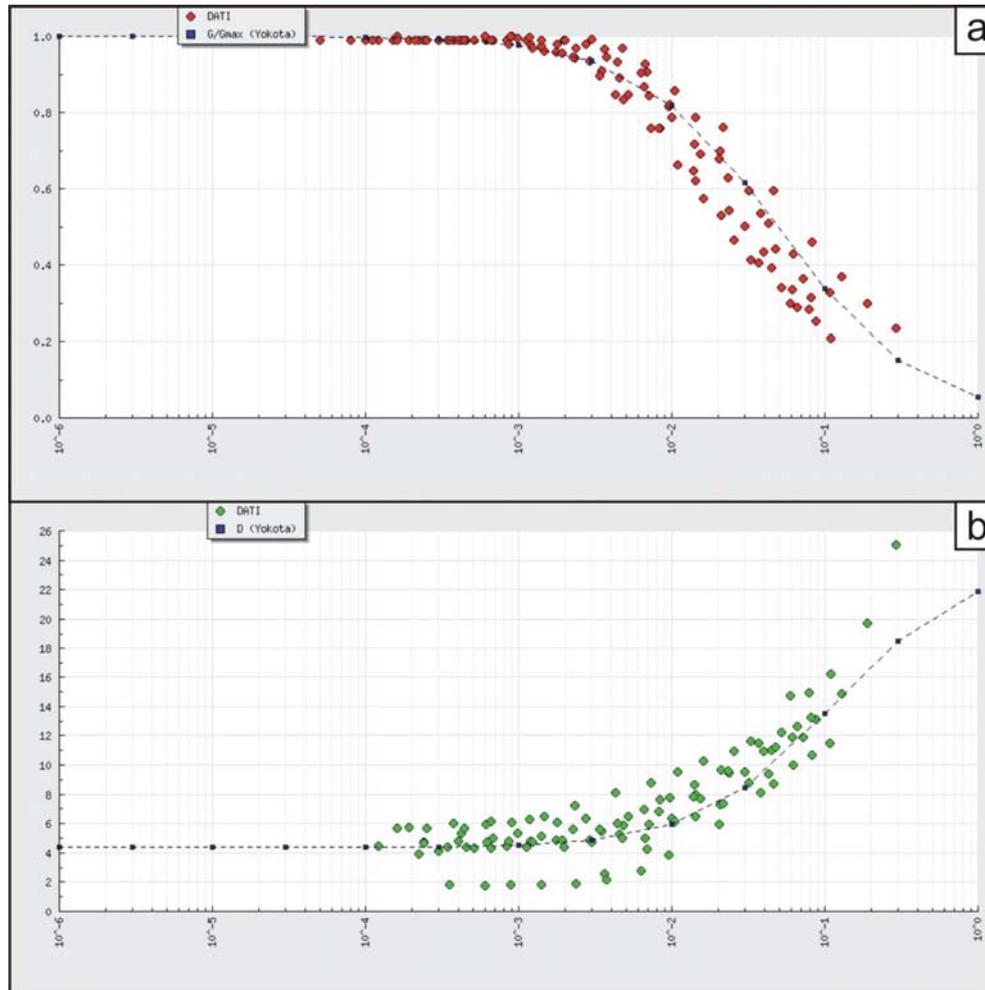
## *Dati sismostratigrafici utilizzati per le analisi di risposta sismica locale nel comune di Firenzuola*

Tipologia terreno	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Rapporto Poisson dinamico	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	ambito di applicazione
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_DH6	1100	215	5.116	0.48	20.00	sezione 1
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_DH7	1615	205	7.878	0.49	18.34	sezioni 1, 3
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_DH1	875	325	2.692	0.42	20.43	sezioni 1, 2
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_ST6	885	310	2.855	0.43	20.43	sezioni 1, 2
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_ST7	1150	335	3.433	0.45	20.43	sezioni 1, 4
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_ST10	1170	230	5.087	0.48	20.00	sezione 3
Depositi alluvionali terrazzati (b1)_ST4	1580	295	5.356	0.48	20.00	sezione 3
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies limosa_DH6	1450	180	8.056	0.49	19.16	sezione 1
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies limosa_DH7	1550	175	8.857	0.49	18.36	sezioni 1, 3
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies limosa_DH1	1500	150	10.000	0.49	18.36	sezioni 1, 2, 4
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies ghiaiosa_DH7	1500	405	3.704	0.46	20.00	sezione 1, 3
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies ghiaiosa_DH1	1500	290	5.172	0.48	20.00	sezioni 1,2, 4
Depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) - facies ghiaiosa_DH6	1560	495	3.152	0.44	20.00	sezioni 1
Argilliti con calcari (AVC)_DH6	2535	735	3.449	0.45	22.00	sezione 1
Argilliti con calcari (AVC)_DH7	2700	735	3.673	0.46	22.00	sezioni 1, 3
Argilliti con calcari (AVC)_ST4	2295	720	3.188	0.45	22.00	sezione 3
Argilliti con calcari (AVC)_ST10	2080	690	3.014	0.44	22.00	sezione 3
Brecce argillose poligeniche (BAP)_ST5	2445	950	2.574	0.41	23.00	sezione 1
Brecce argillose poligeniche (BAP)_DH1	2895	850	3.406	0.45	23.00	sezioni 1, 2
Brecce argillose poligeniche (BAP)_ST6	2690	750	3.587	0.46	22.00	sezioni 1, 2
Brecce argillose poligeniche (BAP)_ST7	2360	955	2.471	0.40	23.00	sezioni 1, 4
Marne di Marmoreto (MMA)_valore medio	2595	925	2.805	0.43	23.00	sezione 2

*Curve di degradazione del modulo di taglio "G" utilizzate nelle analisi di Firenzuola (FI)*



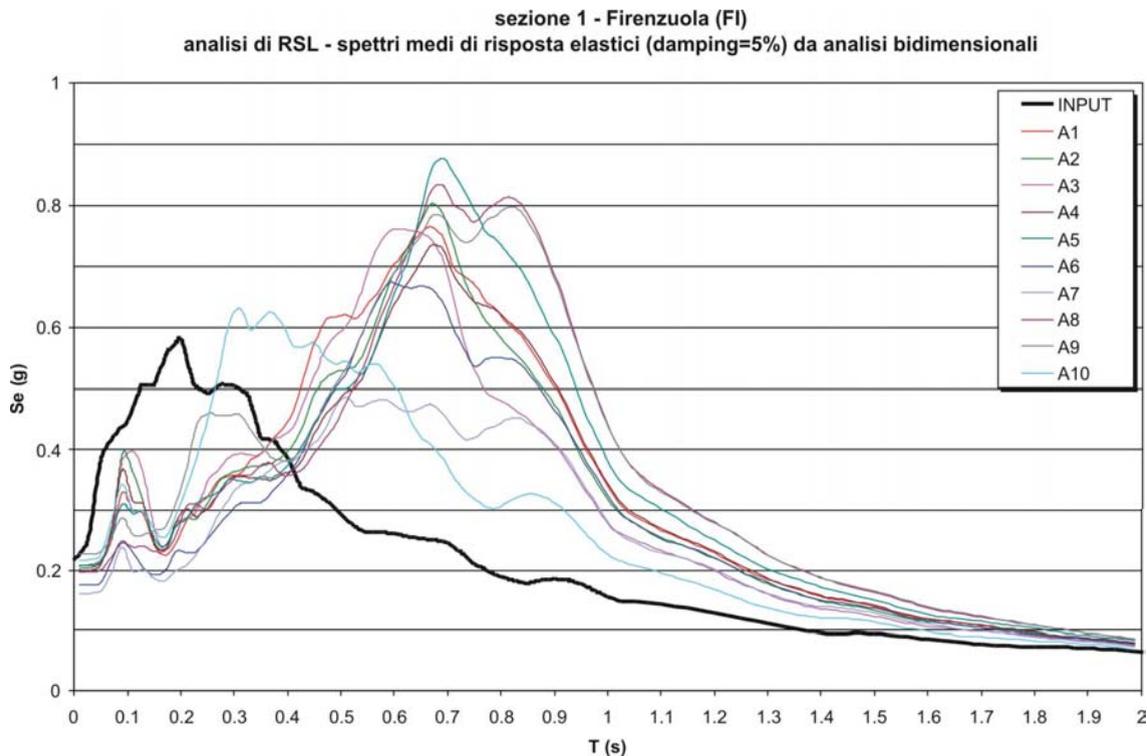
*Curve di smorzamento "D" utilizzate nelle analisi di Firenzuola (FI)*

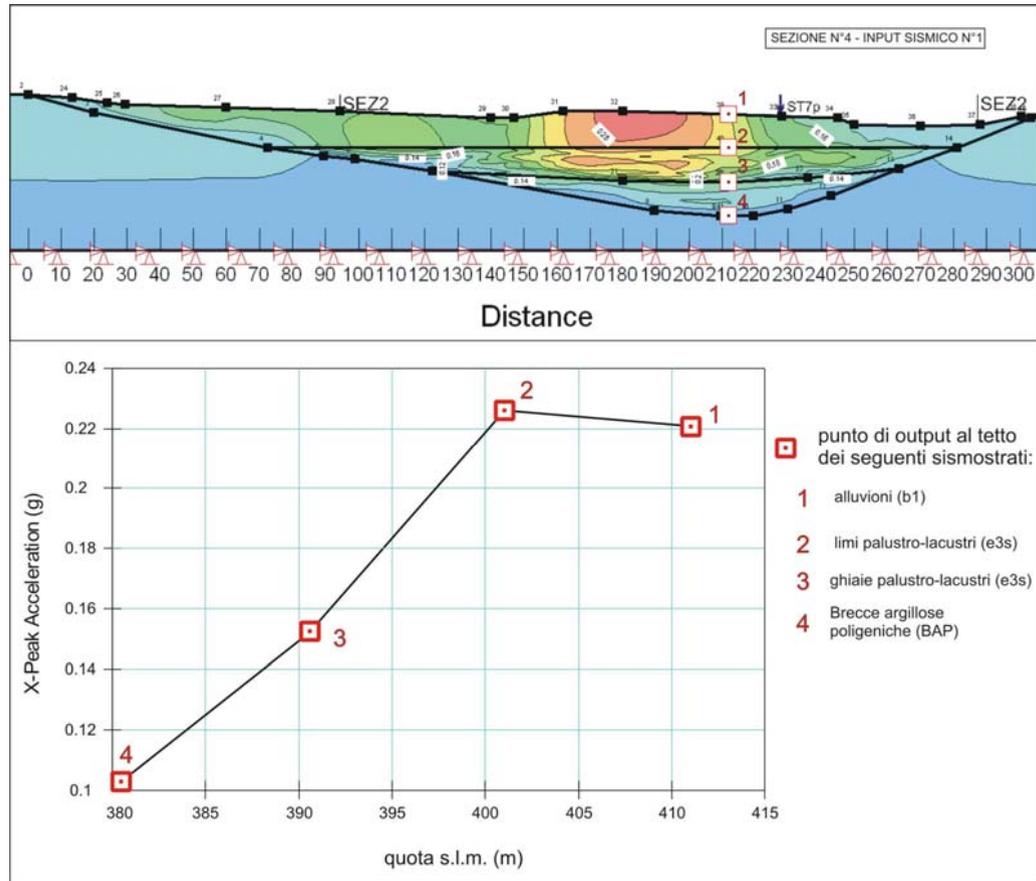


*Curve G/G<sub>0</sub> (a) e Damping (b) relative ad alcune prove geotecniche dinamiche su limi sabbiosi nell'area del Mugello ed interpolazione secondo il metodo di Yokota et al., 1981 (curva blu tratteggiata) utilizzata per i depositi lacustri-palustri di sottosuolo (e3s) in facies limosa*

Dall'osservazione dei risultati è possibile affermare che l'amplificazione nell'area del fondovalle risulta essere ampiamente condizionata dalla presenza, al di sotto dei depositi alluvionali (b e b1), del livello di depositi lacustri-palustri (e3s) in facies limosa, caratterizzato (al pari delle sovrastanti alluvioni) da scadenti proprietà fisico-meccaniche.

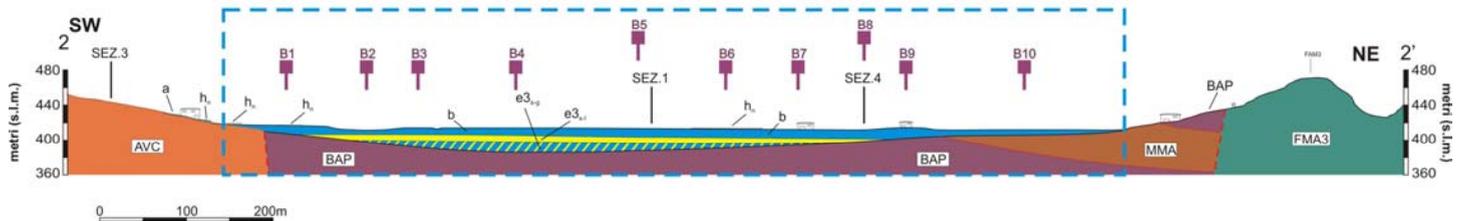
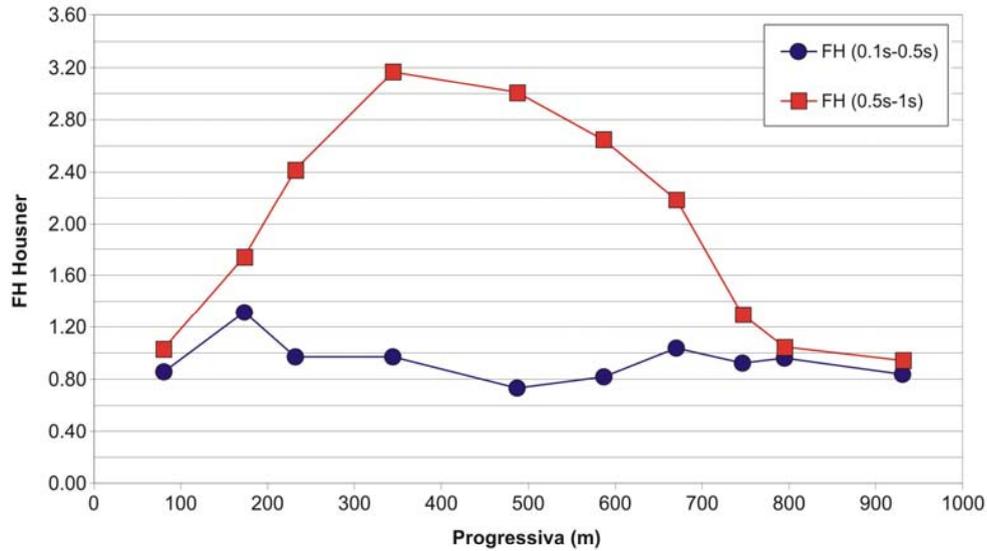
Tale assetto sismostratigrafico induce elevati livelli di amplificazione, ma caratterizzata sistematicamente da uno shifting verso periodi elevati e ciò si ripercuote su un costante valore modesto del valore di  $FH_{0.1-0.5}$ , a cui si contrappone un elevato valore di  $FH_{0.1-0.5}$ .





*Esempio di distribuzione delle PGA in corrispondenza della sezione 4 di Firenzuola (FI) e sua distribuzione verticale in corrispondenza del punto di output D5*

### Firenzuola (FI) sezione 2 - FH



 Area sottoposta ad analisi 2D

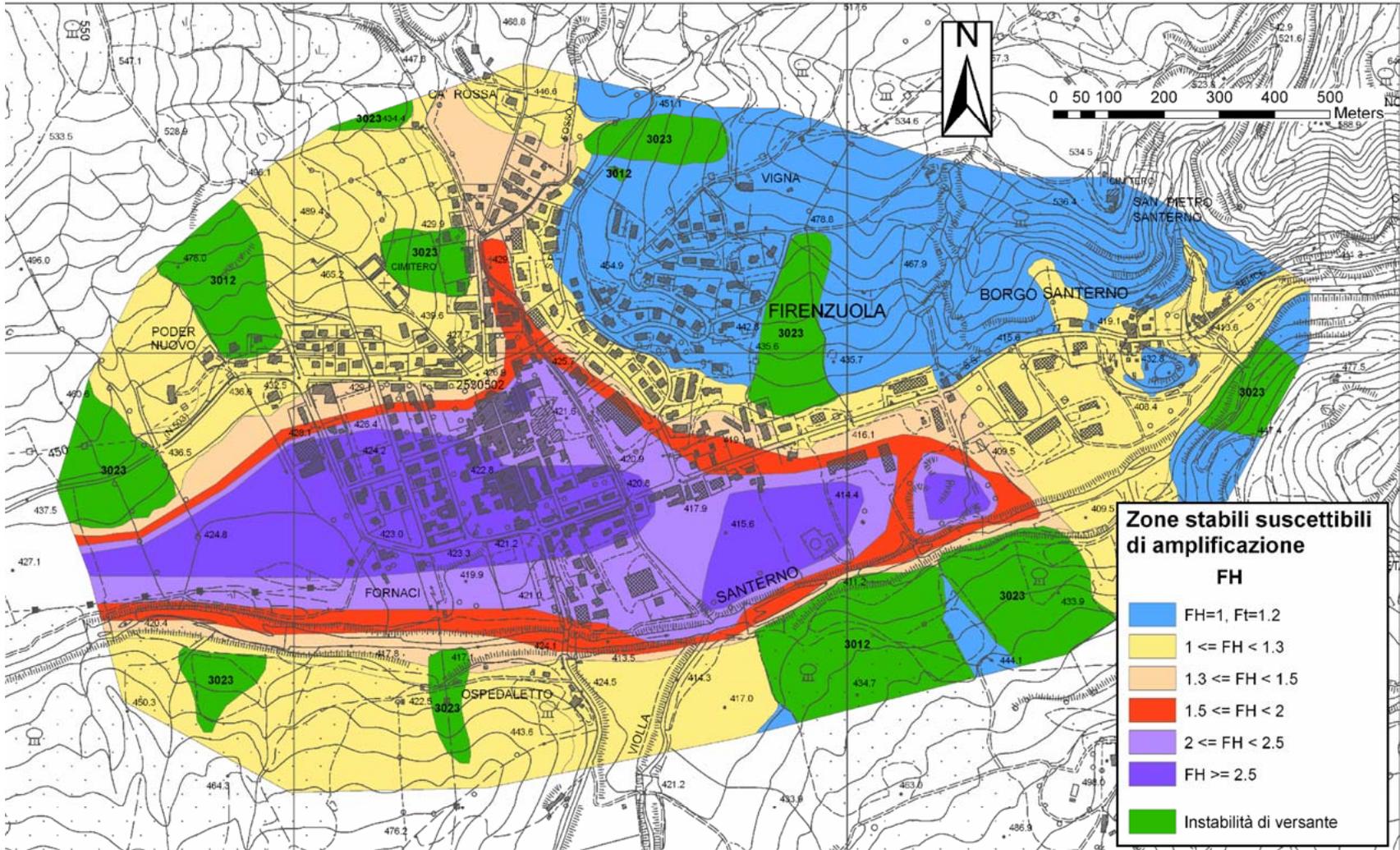
 FH<sub>2D</sub> (0.1s-0.5s)

 FH<sub>2D</sub> (0.5s-1s)

} Fattore di amplificazione di Housner da analisi bidimensionali

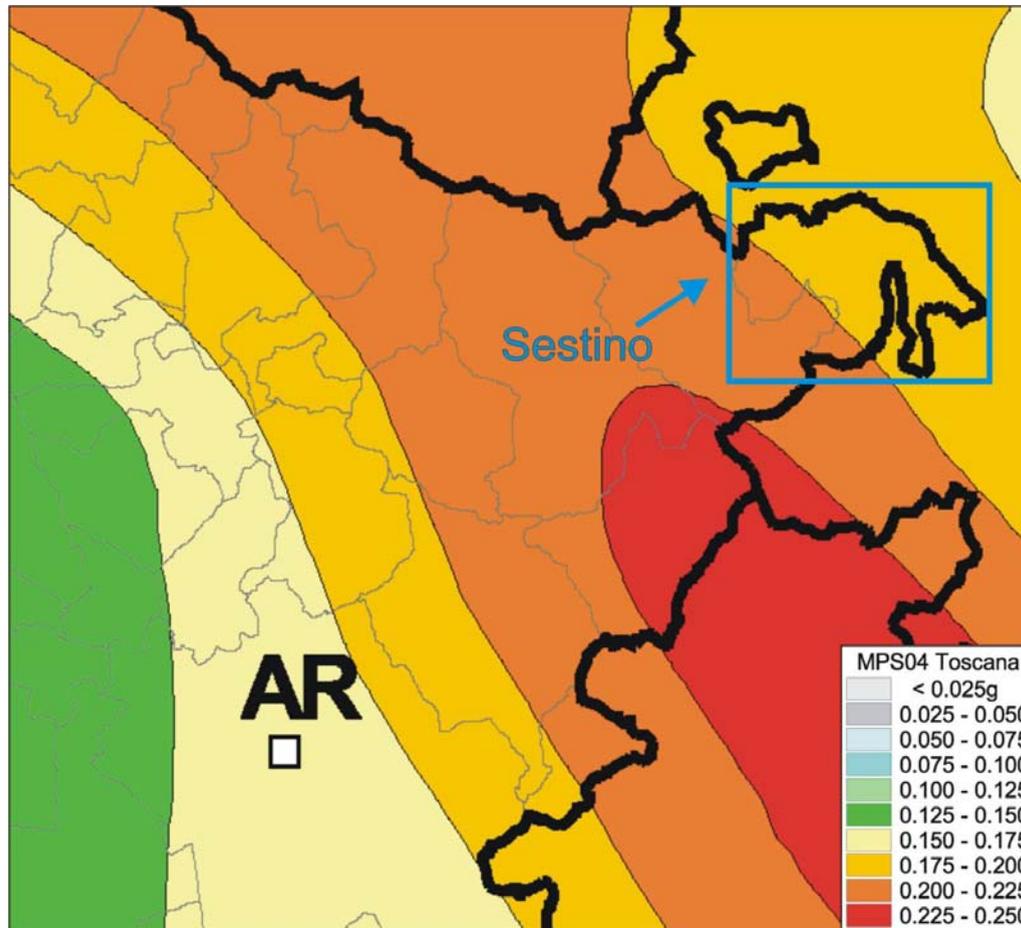
 B1

Punto di output delle modellazioni dinamiche



# **ALCUNI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III ESEGUITI**

**Sestino (AR)**



*Mapa di Pericolosità Sismica relativa all'area dell'Alto Aretino realizzata dall'INGV nel 2004 (Allegato 1B dell'O.P.C.M. 3519/2006)*

# **Carta geologica di Sestino (AR)**

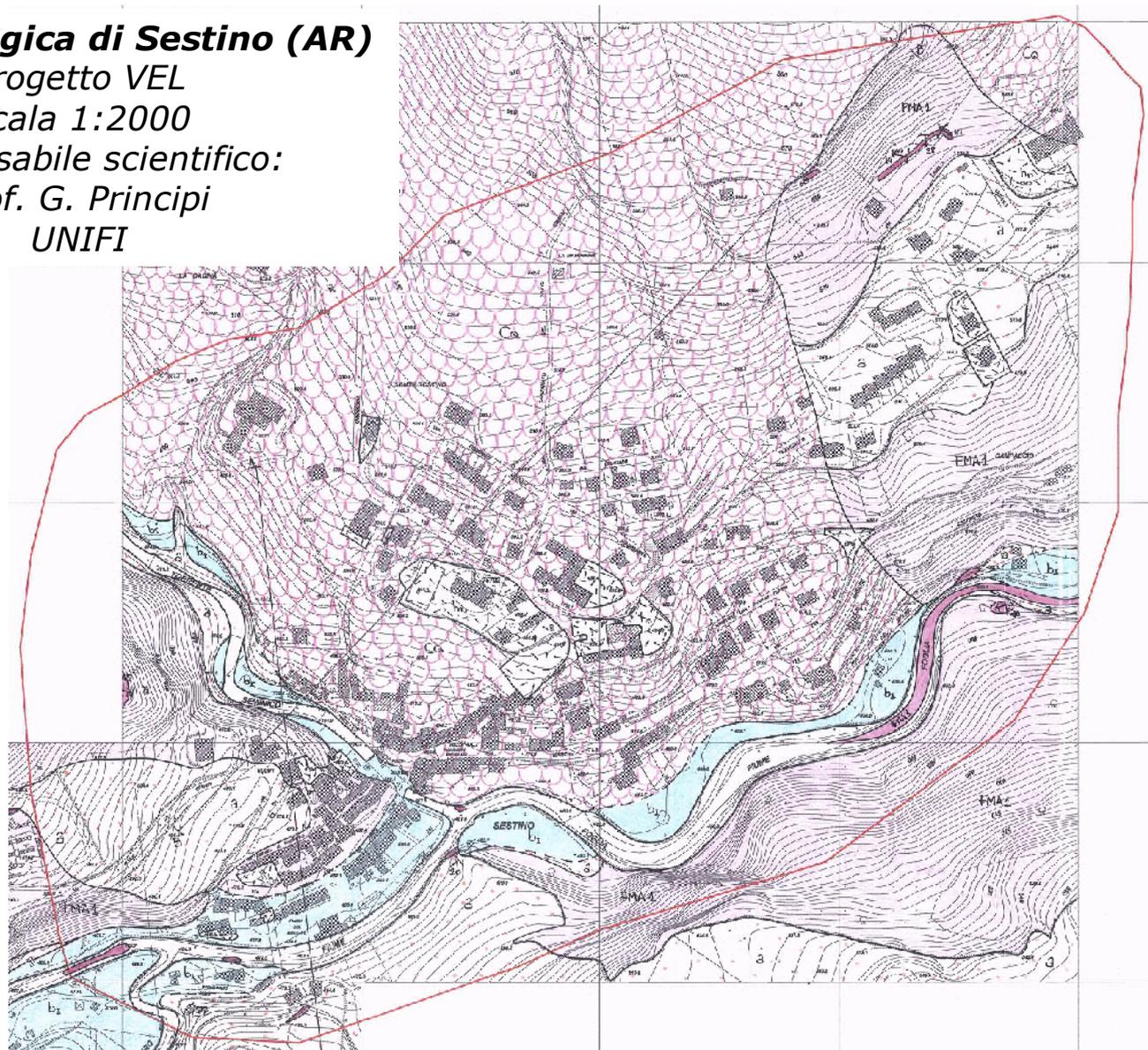
Progetto VEL

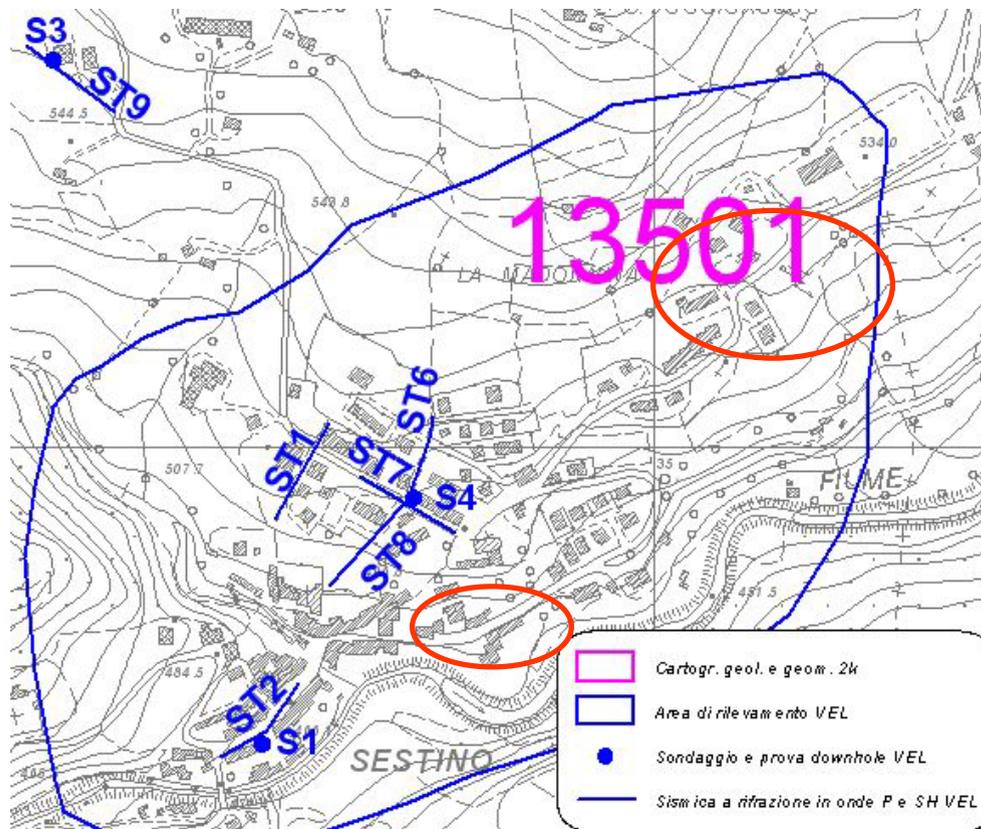
Scala 1:2000

Responsabile scientifico:

Prof. G. Principi

UNIFI

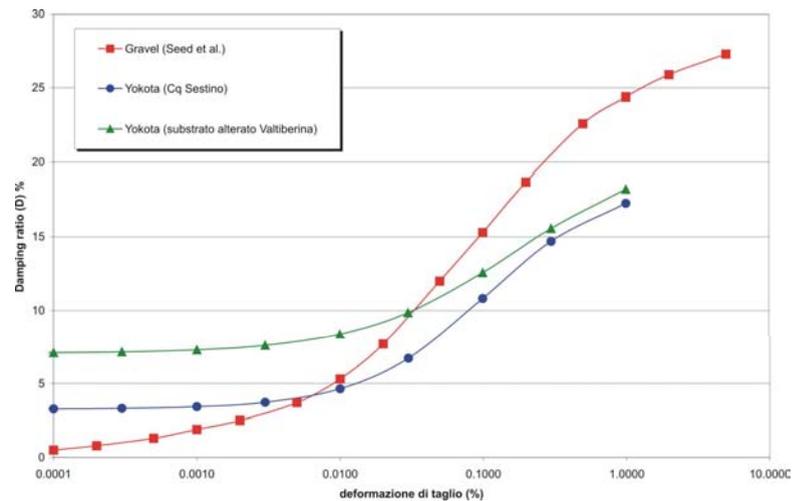
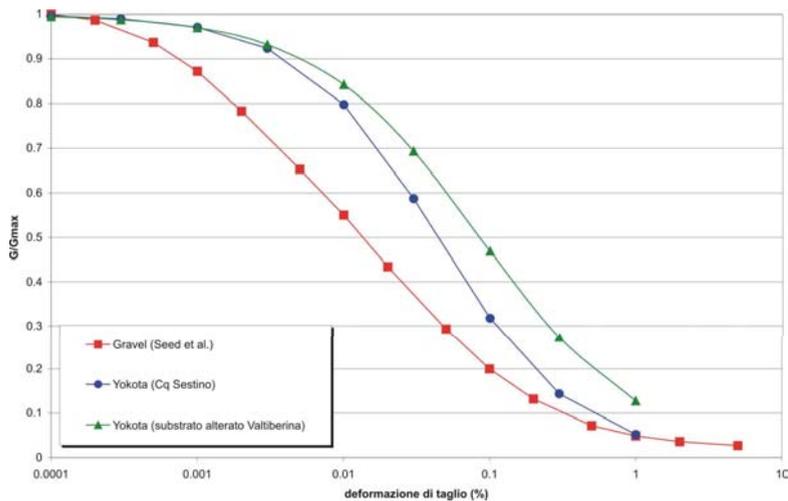




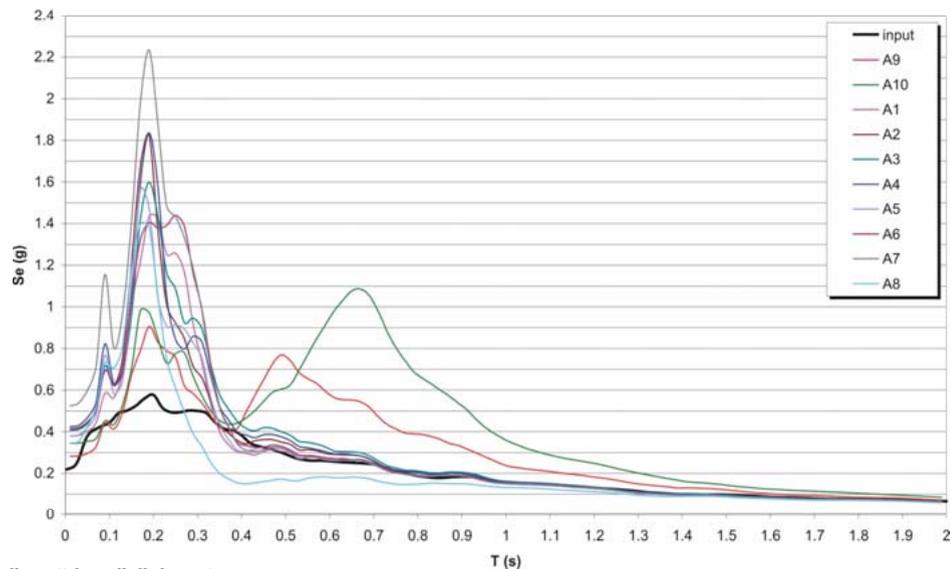
*Distribuzione delle indagini pregresse (Programma VEL) nel centro abitato di Sestino (AR)*

## Dati sismostratigrafici utilizzati per le analisi di risposta sismica locale nel centro abitato di Sestino (AR)

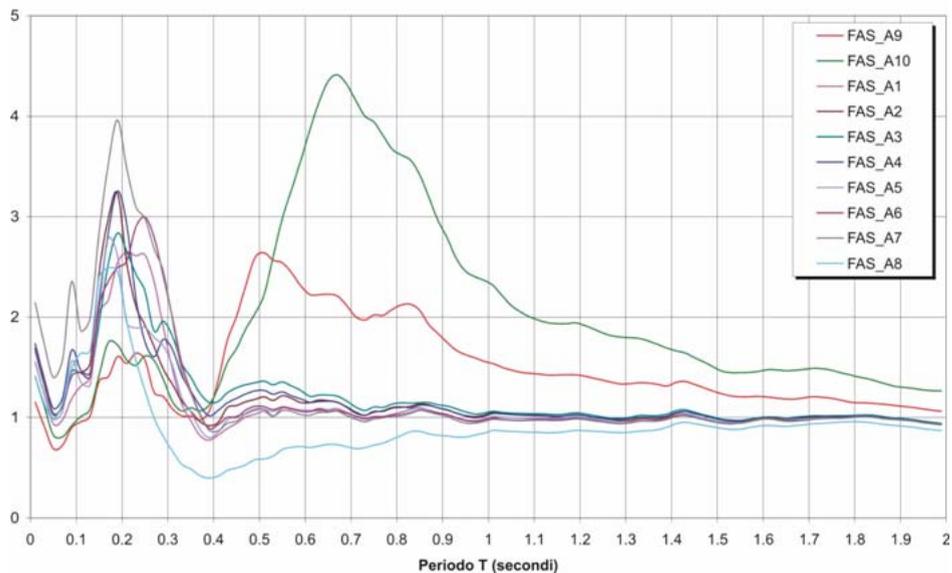
Tipologia terreno	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Rapporto Poisson dinamico	Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )
Detrito di versante (dt)	800	200	3.8	0.47	20.00
Depositi alluvionali (b)	518	283	4.0	0.29	19.80
Colata della Val Marecchia (Cq)	1394	308	2.7	0.47	20.22
FMA alterata	1897	602	4.0	0.44	20.90
FMA	2871	1291	5.7	0.37	25.00



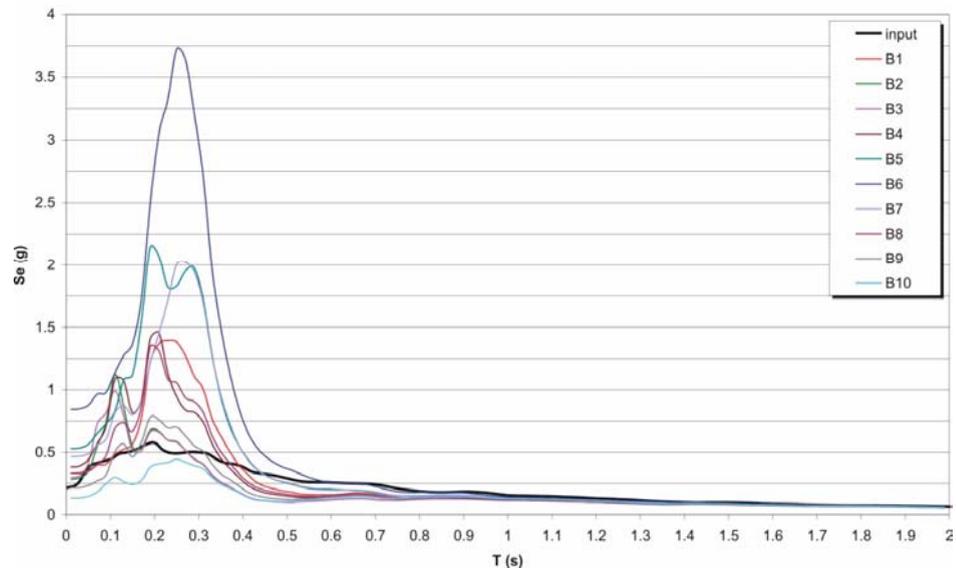
sezione A - Sestino (AR)  
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali



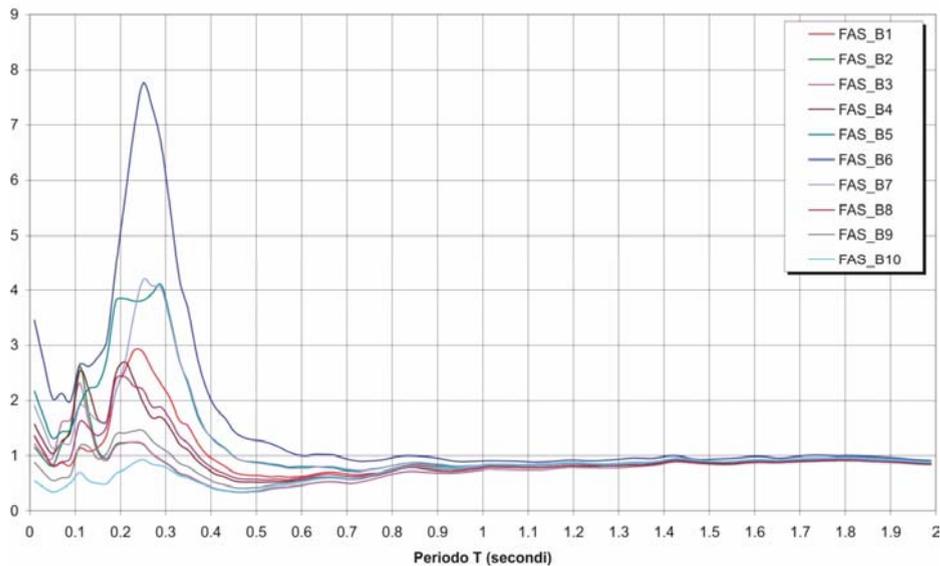
Sezione A-A' - Sestino (AR) Analisi di RSL - Funzioni di Amplificazione dagli spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali



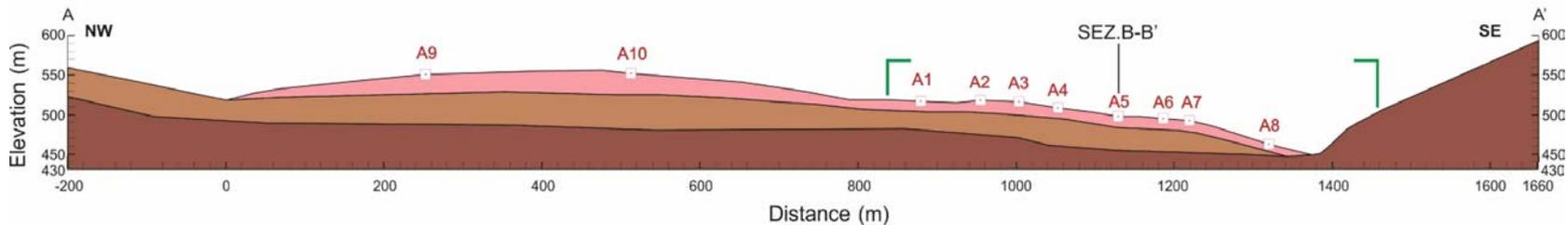
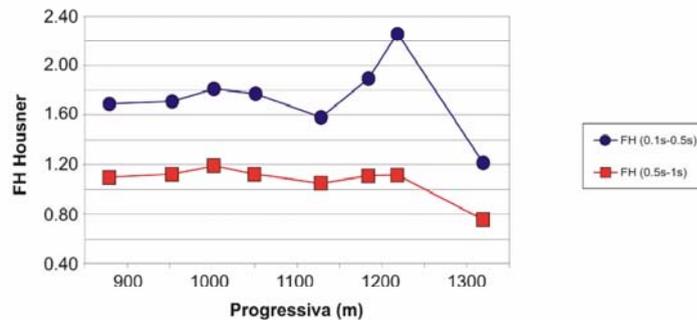
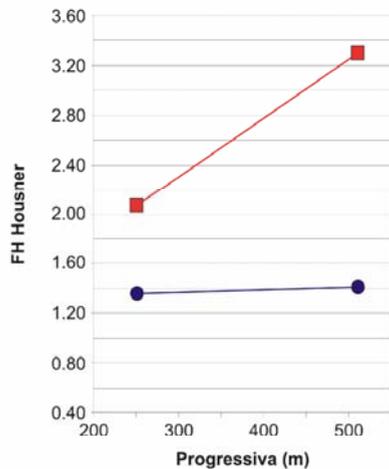
sezione B - Sestino (AR)  
analisi di RSL - spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali



Sezione B-B' - Sestino (AR) Analisi di RSL - Funzioni di Amplificazione dagli spettri medi di risposta elastici (damping=5%) da analisi bidimensionali



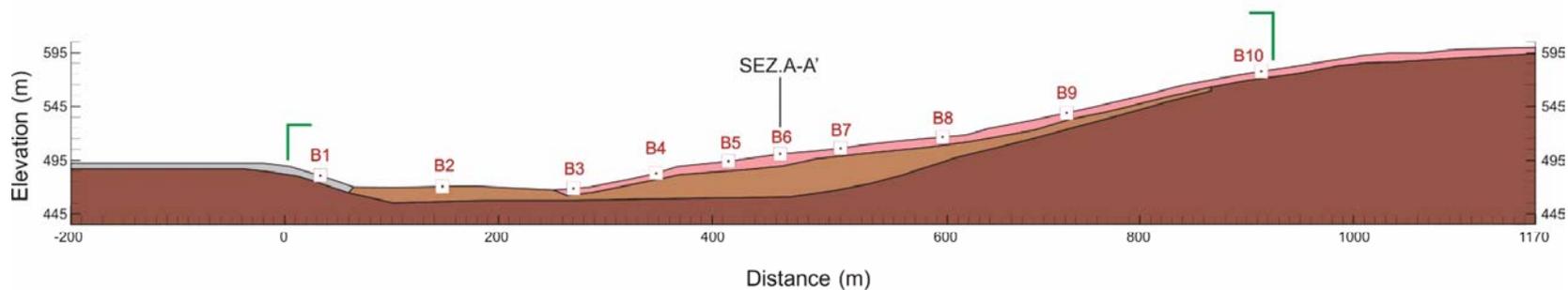
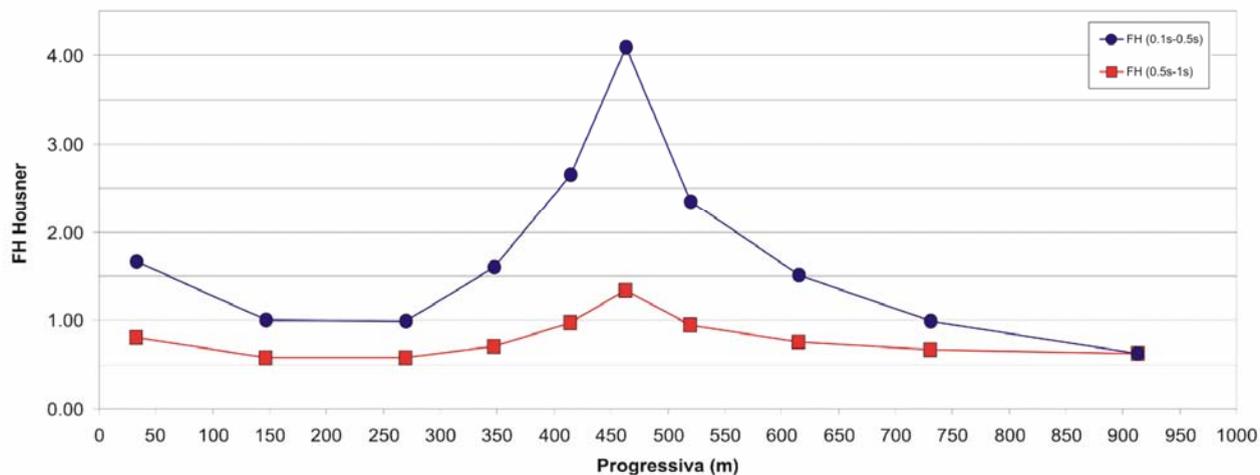
### Sestino (AR) sezione A-A' - FH



- Colata gravitativa della Val Marecchia (cq)
- Formazione Marnoso-Arenacea alterata (FMA)
- Formazione Marnoso-Arenacea (FMA)

- Punto di output delle modellazioni dinamiche
- Estensione area di studio

### Sestino (AR) sezione B-B' - FH



Detrito di versante (a)

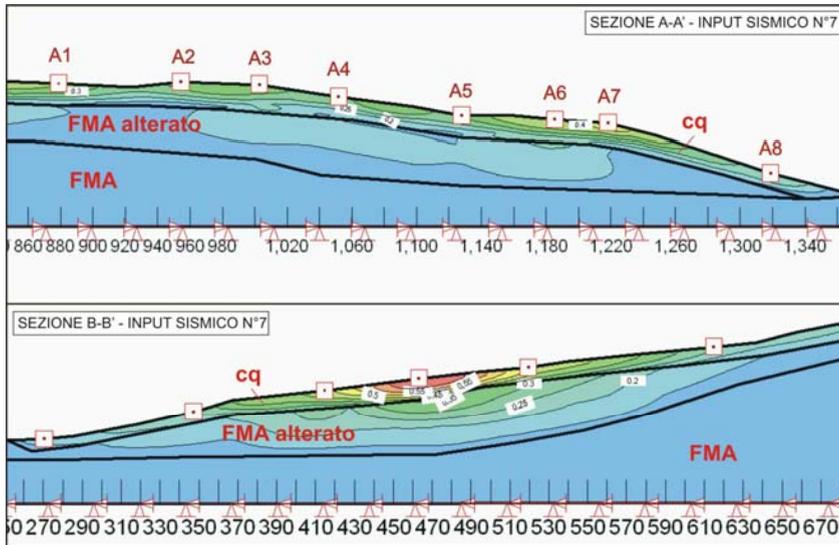
Colata gravitativa della Val Marecchia (cq)

Formazione Marnoso-Arenacea alterata (FMA)

Formazione Marnoso-Arenacea (FMA)

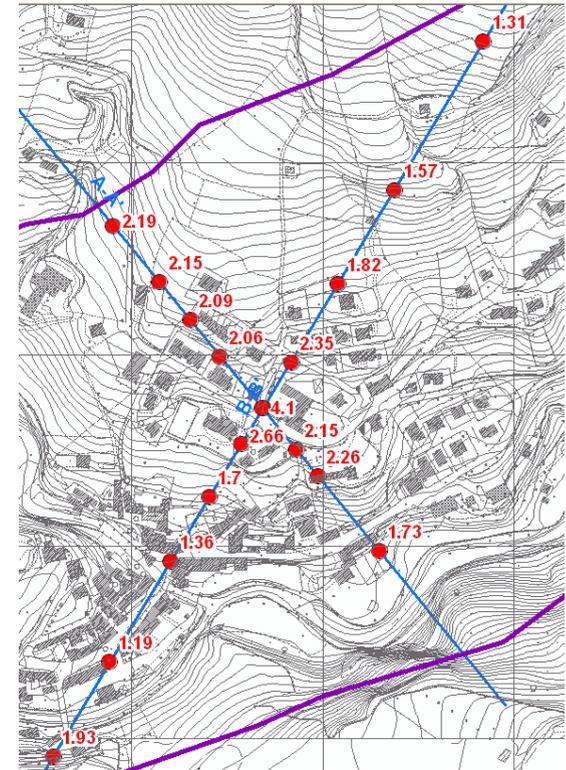
Punto di output delle  
modellazioni dinamiche

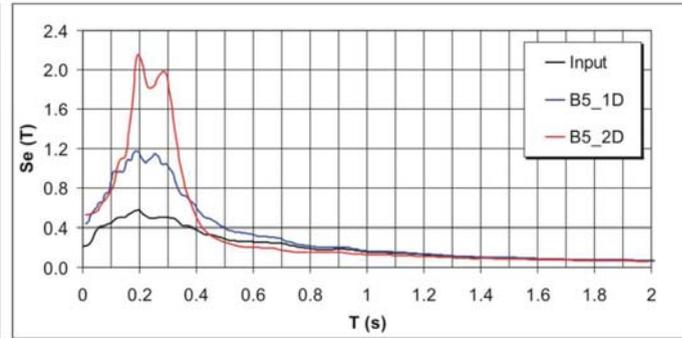
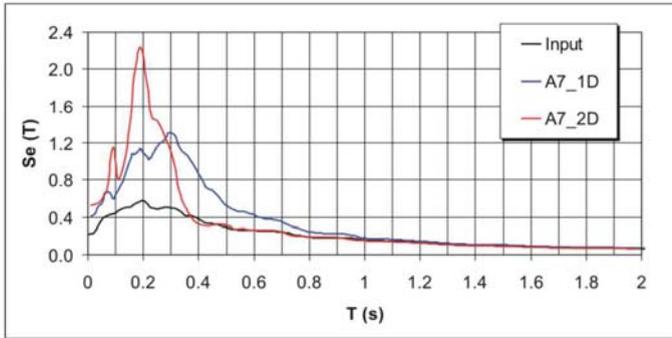
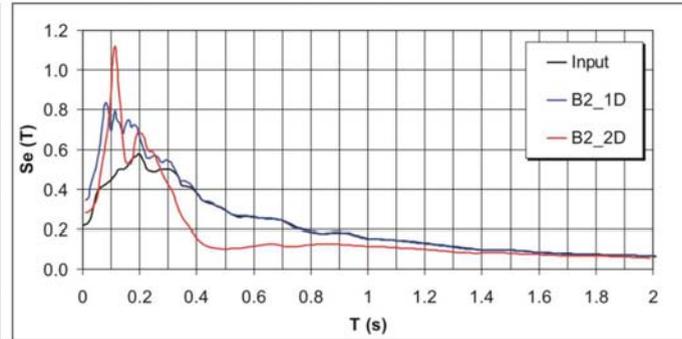
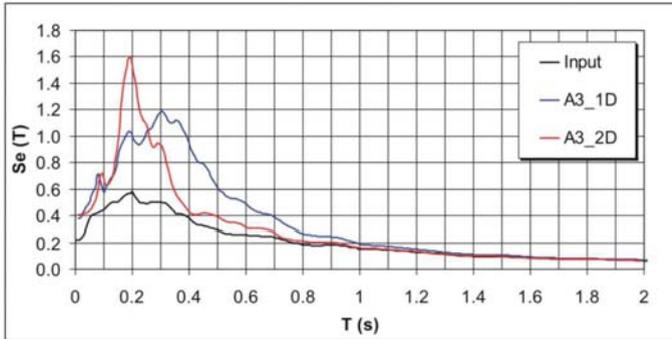
Estensione area di studio



*Distribuzione delle PGA (input sismico n.7) per le due sezioni analizzate*

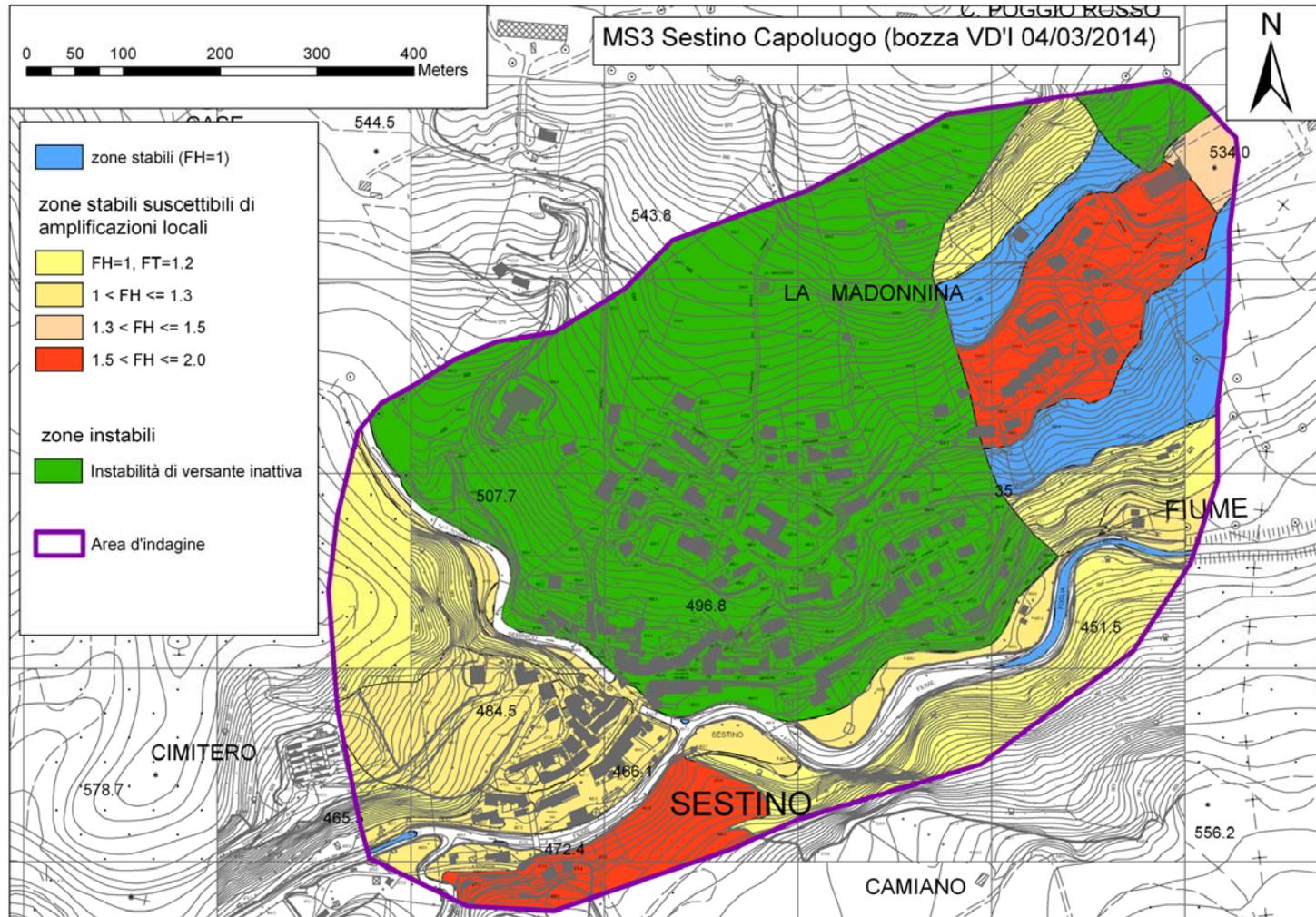
Distribuzione dei punti di output delle analisi a Sestino (AR)



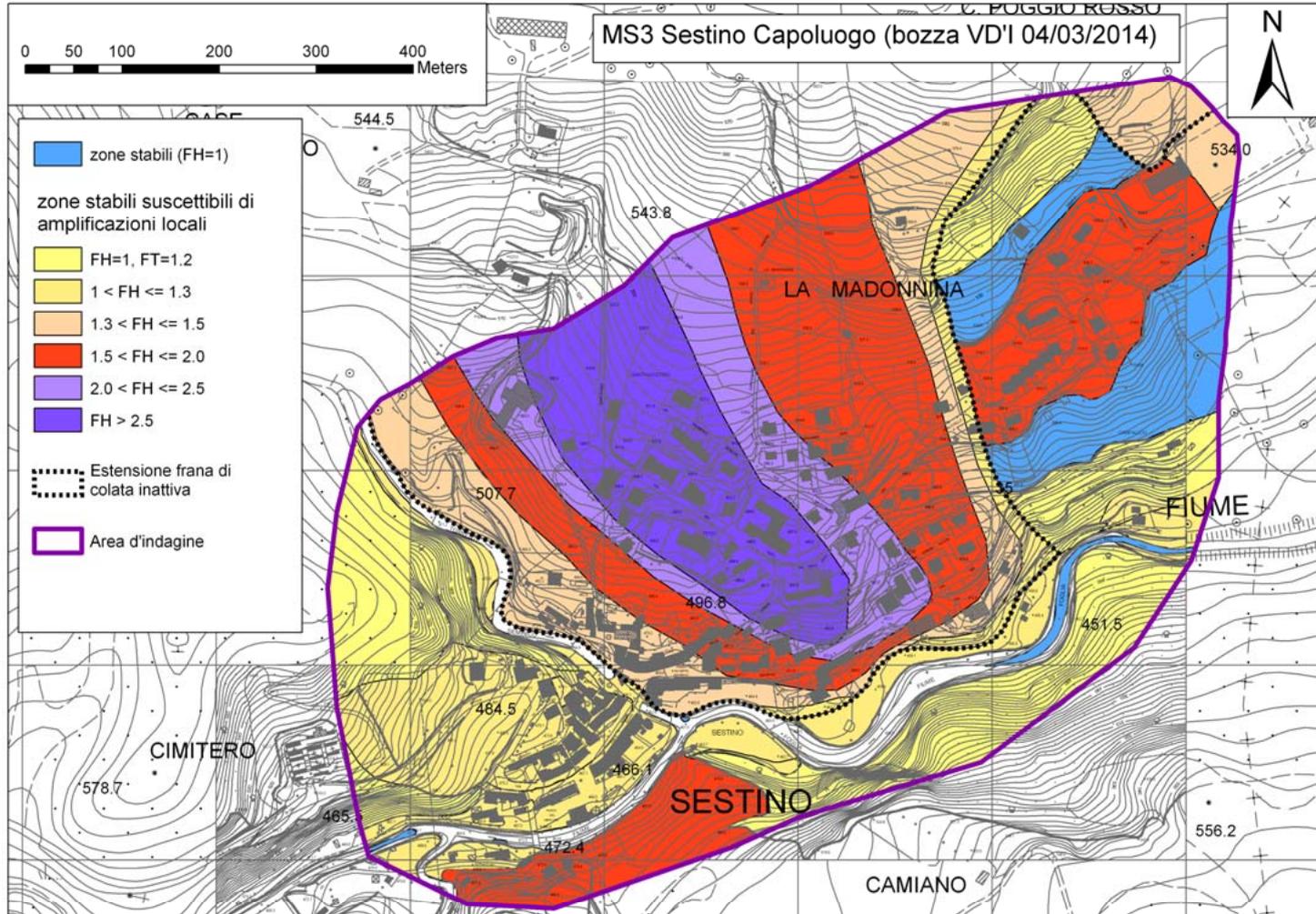


*Alcuni confronti tra spettri di output elastici 2D ed 1D per Sestino (AR)*

# Carta di microzonazione sismica di Livello III per il centro abitato di Sestino (versione senza indicazione di FHa nella frana inattiva)



# Carta di microzonazione sismica di Livello III per il centro abitato di Sestino (versione con indicazione di FHA nella frana inattiva)



**Commissione tecnica per la  
microzonazione sismica**  
(articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13  
novembre 2010, n. 3907)

**STANDARD  
DI RAPPRESENTAZIONE E  
ARCHIVIAZIONE INFORMATICA  
Microzonazione sismica**

**Versione 3.0**

**Roma, ottobre 2013**

Figura 1.1.4.2-2 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3): zone suscettibili di instabilità

Zone suscettibili di instabilità	
Vedi schema 1 sottostante	ZS <sub>FH</sub> Zona di Suscettibilità per frane in terra o di crollo
	ZR <sub>FH</sub> Zona di Rispetto per per frane in terra o di crollo
Vedi schema 2 sottostante	ZS <sub>LQ</sub> Zona di Suscettibilità per Liquefazione
	ZR <sub>LQ</sub> Zona di Rispetto per Liquefazione
	ZS <sub>FAC</sub> Zona di Suscettibilità per Faglie Attive e Capaci
	ZR <sub>FAC</sub> Zona di Rispetto per Faglie Attive e Capaci
	Cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole/dolina
	Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti

Schema1

ZS <sub>FH</sub>	Parametro di amplificazione <sup>13</sup>	0<FRT≤15 o 0<FRR≤1	15<FRT≤100 o 1<FRT≤3	FRT>100 o FRR>3
	1.0			
1.1 - 1.2				
1.3 - 1.4				
1.5 - 1.6				
1.7 - 1.8				
1.9 - 2.0				
2.1 - 2.2				
2.3 - 2.4				
≥2.5				



**DIREZIONE GENERALE DELLE POLITICHE AMBIENTALI, ENERGIA E  
CAMBIAMENTI CLIMATICI**

**Settore Ufficio Tecnico del Genio civile di area vasta  
Firenze, Arezzo, Prato, Pistoia.  
PREVENZIONE SISMICA.**

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

Il sito dell'Ufficio Prevenzione Sismica:

**<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/index.shtml>**

LA PERICOLOSITA' SISMICA DELLA REGIONE TOSCANA:

**<http://www.rete.toscana.it/sett/pta/sismica/01informazione/formazione/publicazioni/microzonazione/index.htm>**