

TECNOLOGIE INNOVATIVE DI ISOLAMENTO SISMICO:  
un cambio di mentalità per la sicurezza non più rinviabile

“Dal modello geologico alla risposta sismica locale- esempio applicativo”



Geol. Daniele Mercuri [ORG Marche]



# NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

## D.M. del 17 gennaio 2018

### **CAPITOLO 6. PROGETTAZIONE GEOTECNICA**

#### 6.2. ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

Il progetto delle opere e degli interventi si articola nelle seguenti fasi:

- 1.caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- 2.scelta del tipo di opera o di intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
- 3.caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce presenti nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo (cfr. § 3.2.2);
- 4.definizione delle fasi e delle modalità costruttive;
- 5.verifiche della sicurezza e delle prestazioni;
- 6.programmazione delle attività di controllo e monitoraggio.

# NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

## D.M. del 17 gennaio 2018

### 6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal **modello geologico di riferimento**.

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del **modello geologico**.

Esso deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.

Metodi e risultati delle indagini devono essere esaurientemente esposti e commentati in una relazione geologica.



Circolare 2 febbraio 2009 contenente le Istruzioni sulle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008

## C6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

I caratteri geologici del sito, illustrati nella Relazione Geologica (§ 6.2.1 NTC), costituiscono un importante riferimento per **l'impostazione** del progetto, soprattutto per le opere infrastrutturali ad elevato sviluppo lineare o che comunque investano aree di notevoli dimensioni.

### C6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Lo studio geologico deve definire, con preciso riferimento al progetto, i lineamenti geomorfologici della zona nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva, la successione litostratigrafica locale, con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità; inoltre, deve illustrare i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.

# NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

## D.M. del 17 gennaio 2018

### **CAPITOLO 7. PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE**

#### 7.11.2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AI FINI SISMICI

Le indagini geotecniche devono essere predisposte dal progettista in presenza di un quadro geologico adeguatamente definito, che comprenda i principali caratteri tettonici e litologici, nonché l'eventuale preesistenza di fenomeni di instabilità del territorio. Le indagini devono comprendere l'accertamento degli elementi che, unitamente agli effetti topografici, influenzano la propagazione delle onde sismiche, quali le condizioni stratigrafiche e la presenza di un substrato rigido o di una formazione ad esso assimilabile.

La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e la scelta dei più appropriati mezzi e procedure d'indagine devono essere effettuate tenendo conto della tipologia del sistema geotecnico e del metodo di analisi adottato nelle verifiche.

Nel caso di opere per le quali si preveda l'impiego di metodi d'analisi avanzata, è opportuna anche l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche di laboratorio, quando sia tecnicamente possibile il prelievo di campioni indisturbati. In ogni caso, la caratterizzazione geotecnica dei terreni deve consentire almeno la classificazione del sottosuolo secondo i criteri esposti nel § 3.2.2.

Nella caratterizzazione geotecnica è necessario valutare la dipendenza della rigidezza e dello smorzamento dal livello deformativo.

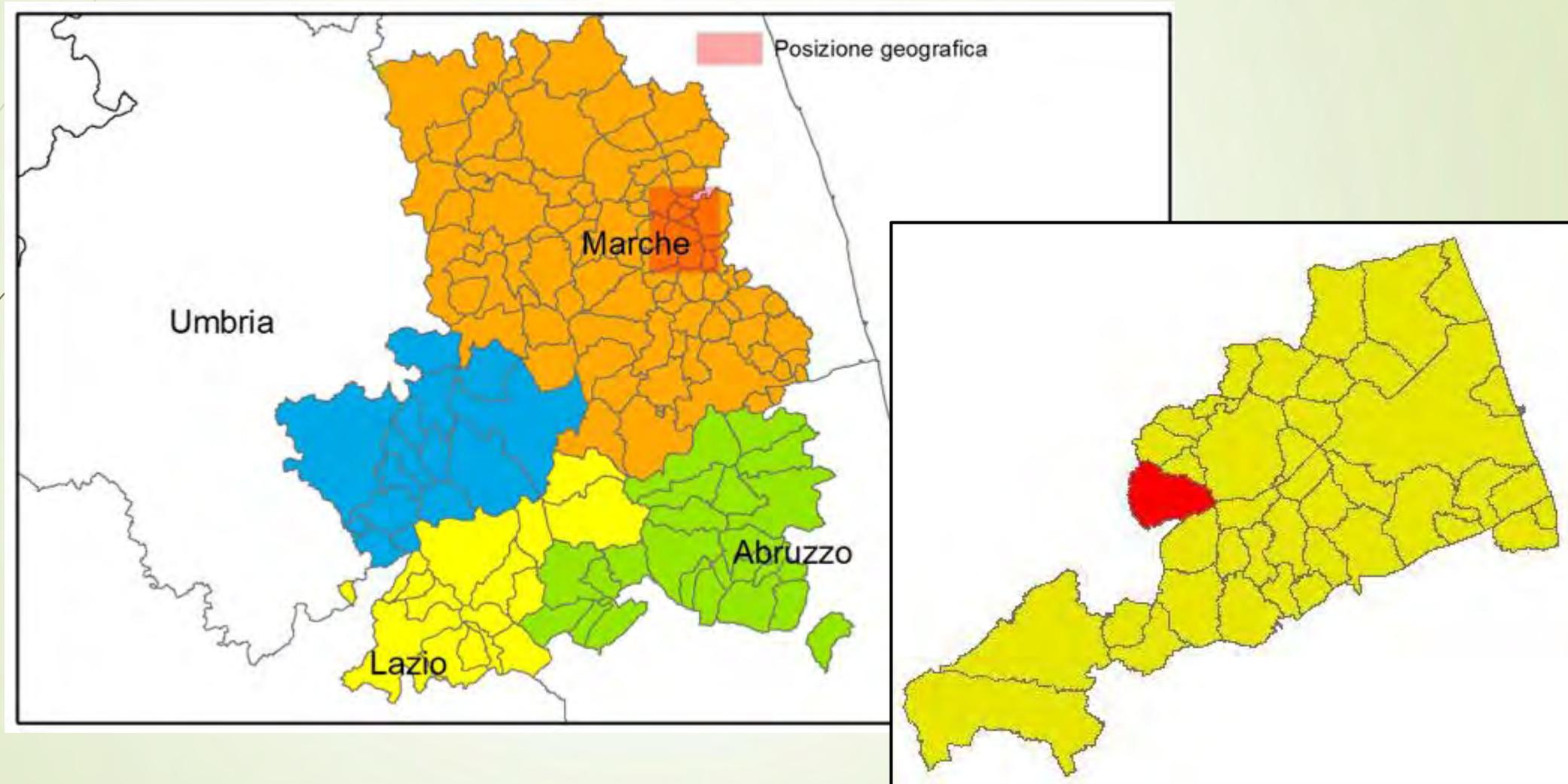


# Anali di risposta sismica locale: un caso di studio

ESEMPIO APPLICATIVO:

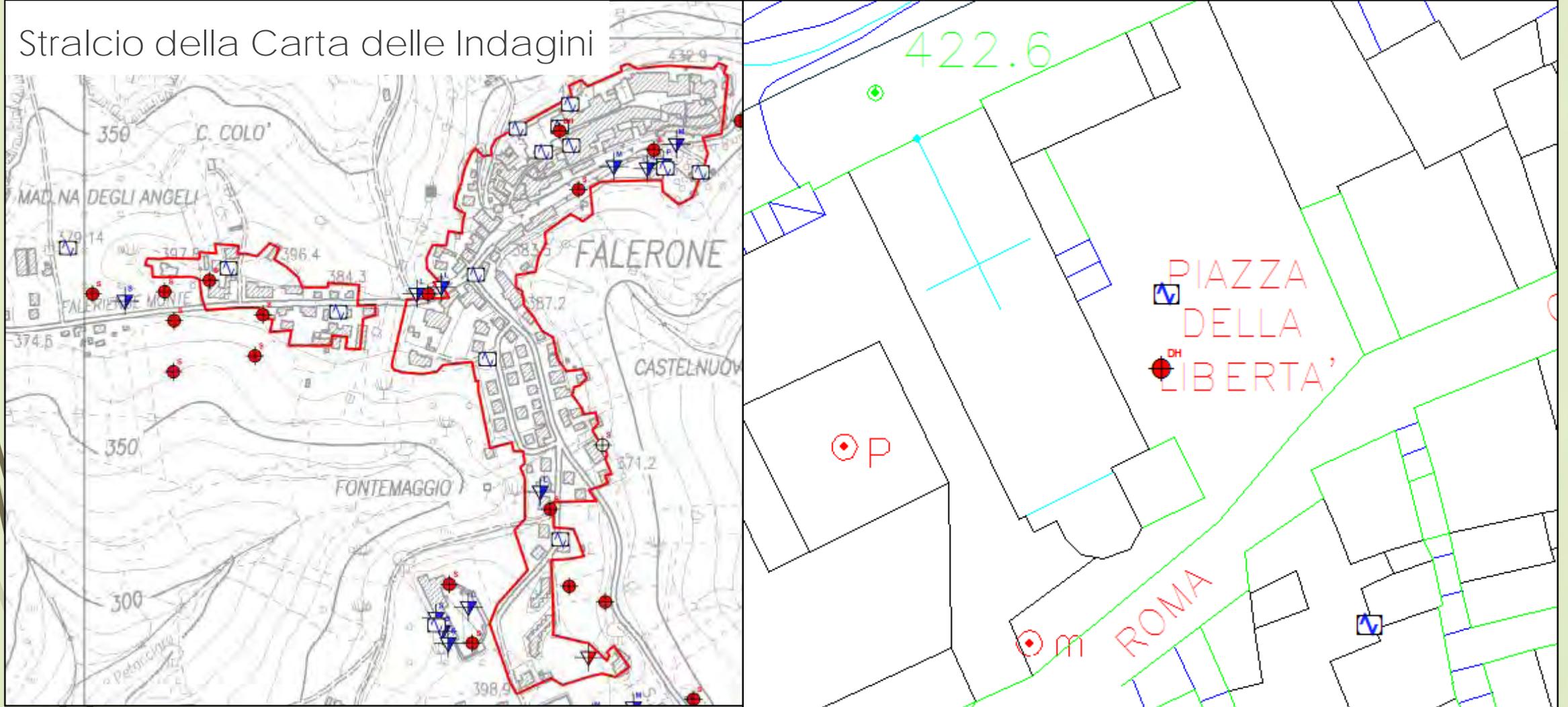
Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Falerone ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065 (FM)

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Falerone ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065 (FM)



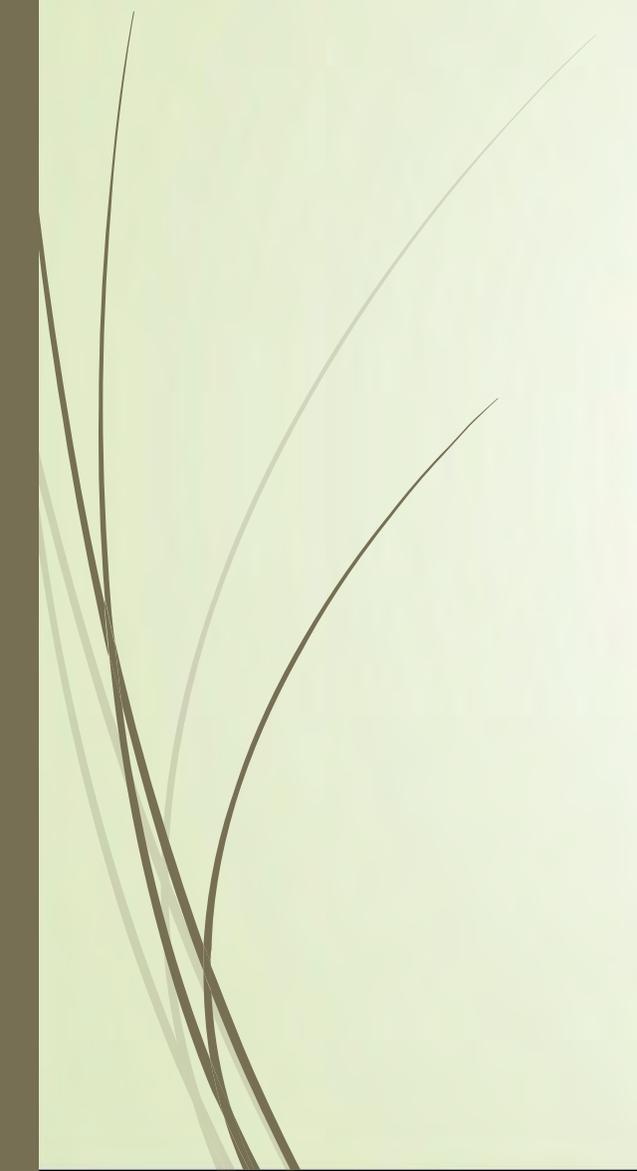
Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Falerone ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065 (FM)

Stralcio della Carta delle Indagini



Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Falerone ai sensi dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n.24 registrata il 15 maggio 2017 al n. 1065 (FM)



- 
- 
- ▶ Finalità dello studio:
    - ▶ Definizione del modello geologico
    - ▶ Caratterizzazione del modello sismico
    - ▶ Individuazione scenari di pericolosità geologica e pericolosità sismica locale



# Definizione del modello geologico

## ► STUDIO GEOLOGICO

- Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico esteso ad una zona significativamente più ampia rispetto a quella d'intervento.
- Compatibilità con il PAI

## ► MODELLAZIONE GEOLOGICA

- Piano delle indagini in funzione degli obiettivi del progetto e del tipo dell'opera.
- Ubicazione e descrizione delle indagini effettuate
- Modello geologico di sintesi utile per la modellazione geotecnica
  - Definizione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e della pericolosità geologica del territorio.

# Stralcio Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione sismica (CGT)

Scala 1/5.000

Vs compresse tra 310 m/s e 510 m/s

Vs compresse tra 380 m/s e 600 m/s

## Legenda

### Terreni di copertura

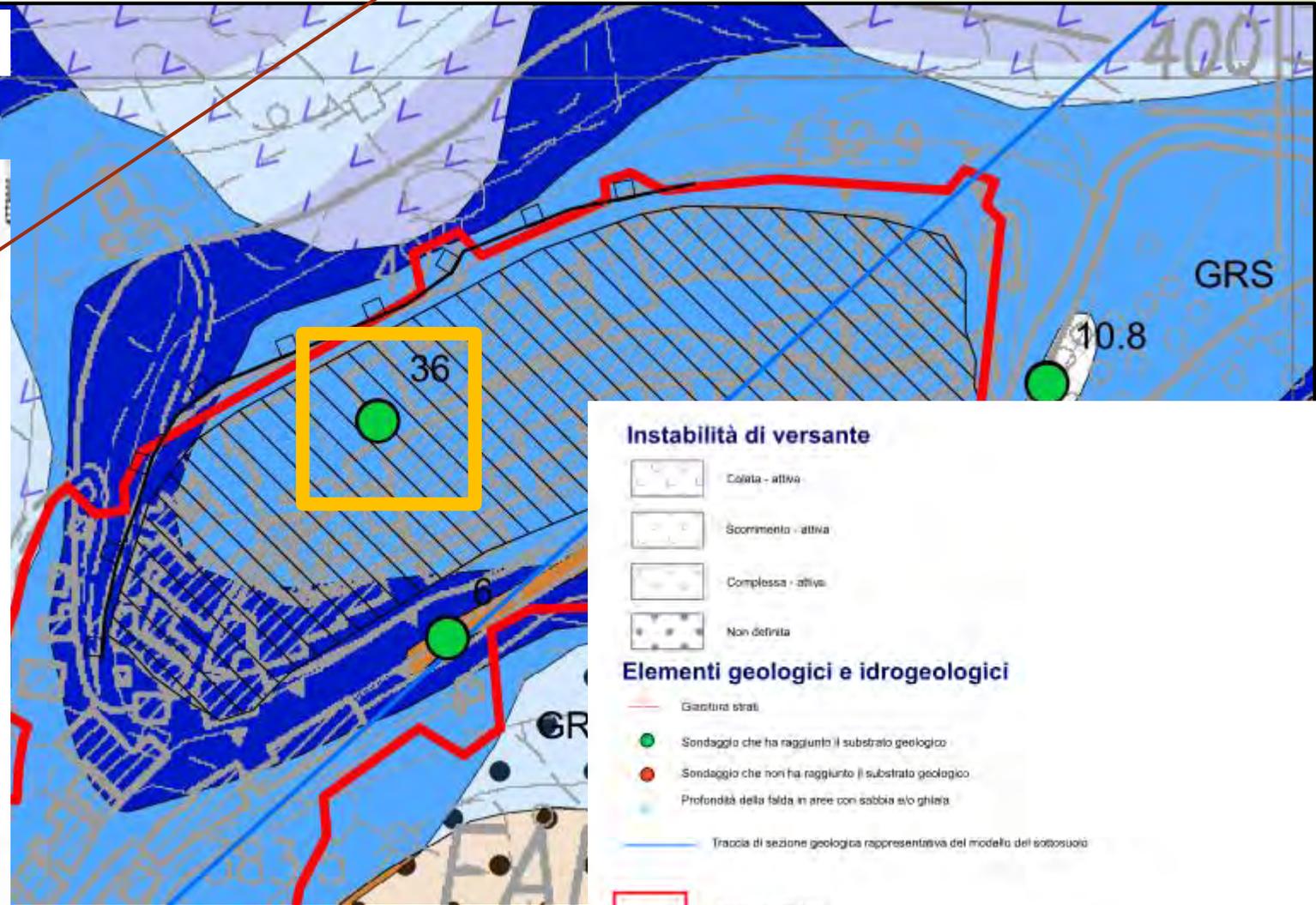
- RI** Terreni contenenti resti di attività antropica.
- ML<sub>ca</sub>** Limi inorganici: farina di roccia, sabbie fini limose o argilose, limi argillosi di bassa plasticità. Depositi di conoidi alluvionali.
- SM<sub>ca</sub>** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Depositi di conoidi alluvionali.
- ML<sub>ec</sub>** Limi inorganici: farina di roccia, sabbie fini limose o argilose, limi argillosi di bassa plasticità. Depositi eluvio-colluviali.
- SM<sub>ec</sub>** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Depositi eluvio-colluviali.
- SM<sub>ll</sub>** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo. Alluvioni recenti e terrazze.
- GW<sub>tr</sub>** Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie. Alluvioni recenti e terrazze.

### Substrato geologico

- GRS** Granulare cementato, stratificato. Litofacies arenaceo-conglomeratica (FAA4b) e arenacea (FAA4c).
- GDS** Coesive sovracconsolidato, stratificato. Litofacies pellica (FAA).
- ALS** Alternanza di litipi, stratificato. Litofacies pellica-arenacea (FAA4e) e arenaceo-pellica (FAA4d).

### Forme di superficie e sepolte

- Conoidi alluvionali
- Area con cavità sepolte



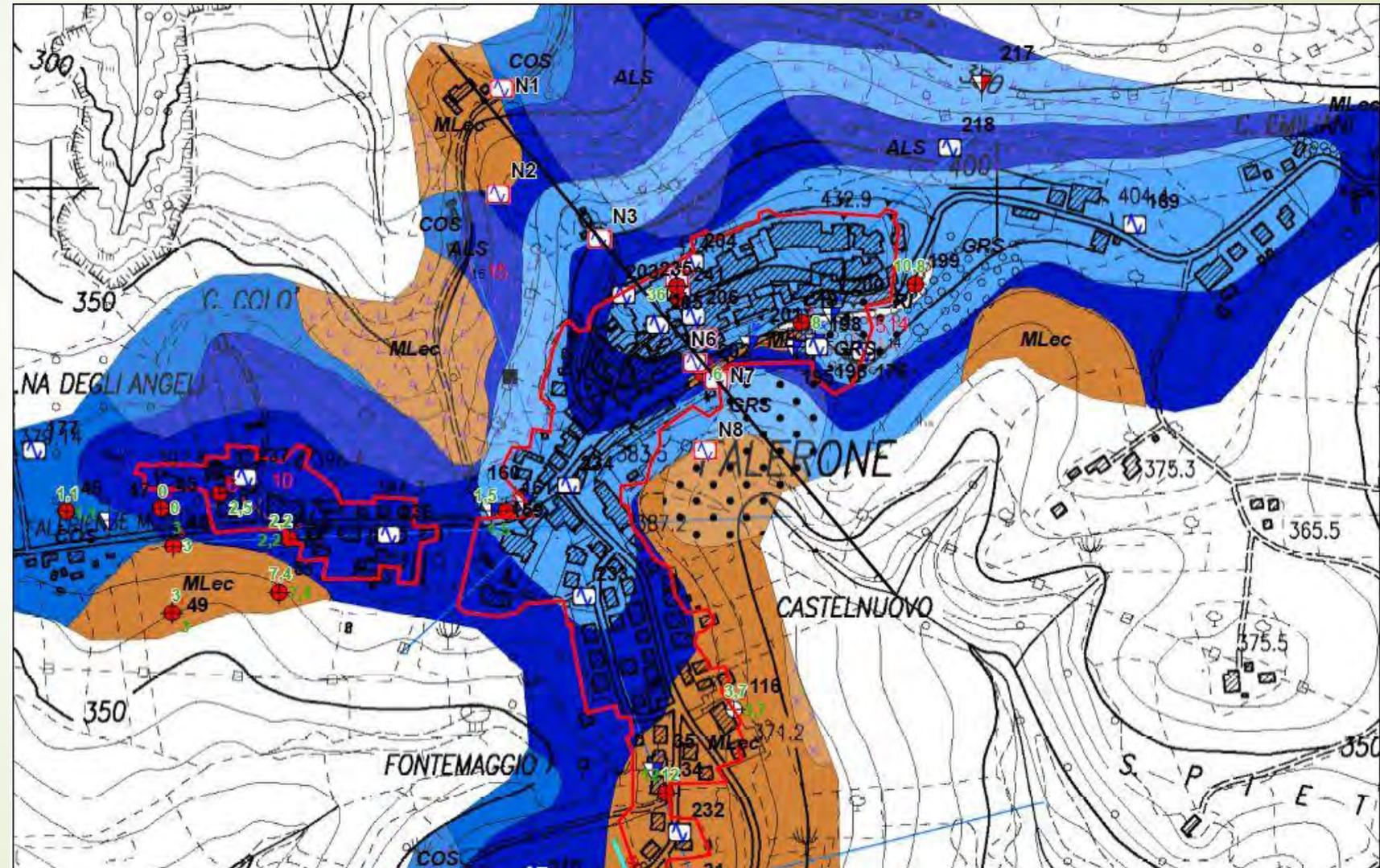
### Instabilità di versante

- Colata - attiva
- Scorrimento - attiva
- Complessa - attiva
- Non definita

### Elementi geologici e idrogeologici

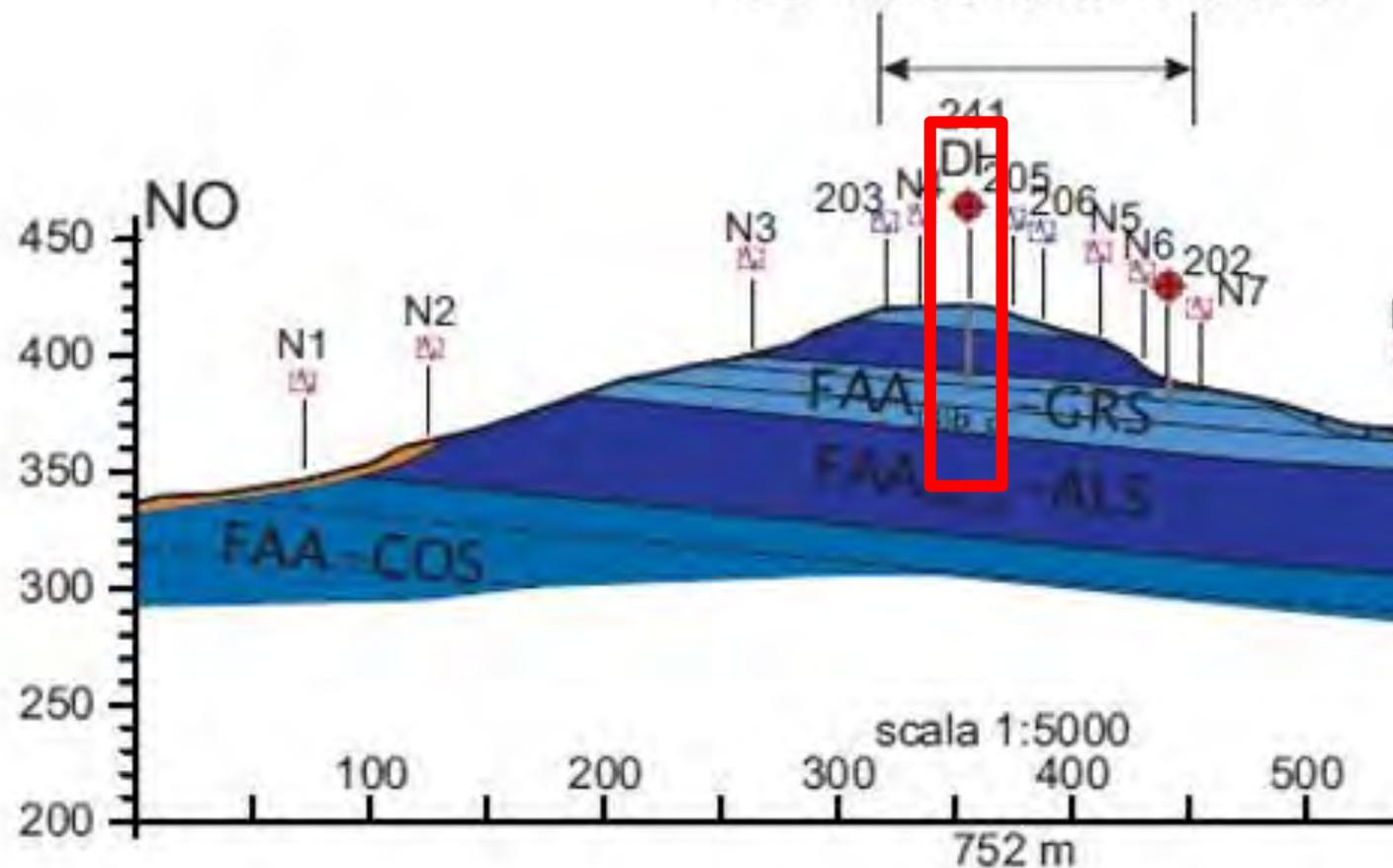
- Giacitura strati
- Sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico
- Sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico
- Profondità della falda in aree con sabbia e/o ghiaie
- Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo
- Perimetro area MS3

# Stralcio Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione sismica (CGT) Scala 1/5.000



# Sezione geologica

## Centro abitato Falerone

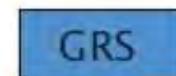


### Terreni di copertura



Depositi eluvio-colluviali (ec) costituiti da limi inorganici, sabbie fini, limi micacei o diatomicei di bassa plasticità. Velocità  $V_s$  150-220 m/s circa da MASW L8

### Substrato geologico



F.ne delle Argille Azzurre (FAA) - litofacies arenacea ( $FAA_{(4)B}$ ) e arenaceo-conglomeratica ( $FAA_{(4)A}$ ). Velocità  $V_s$  tra 390 e 600 m/s da DH



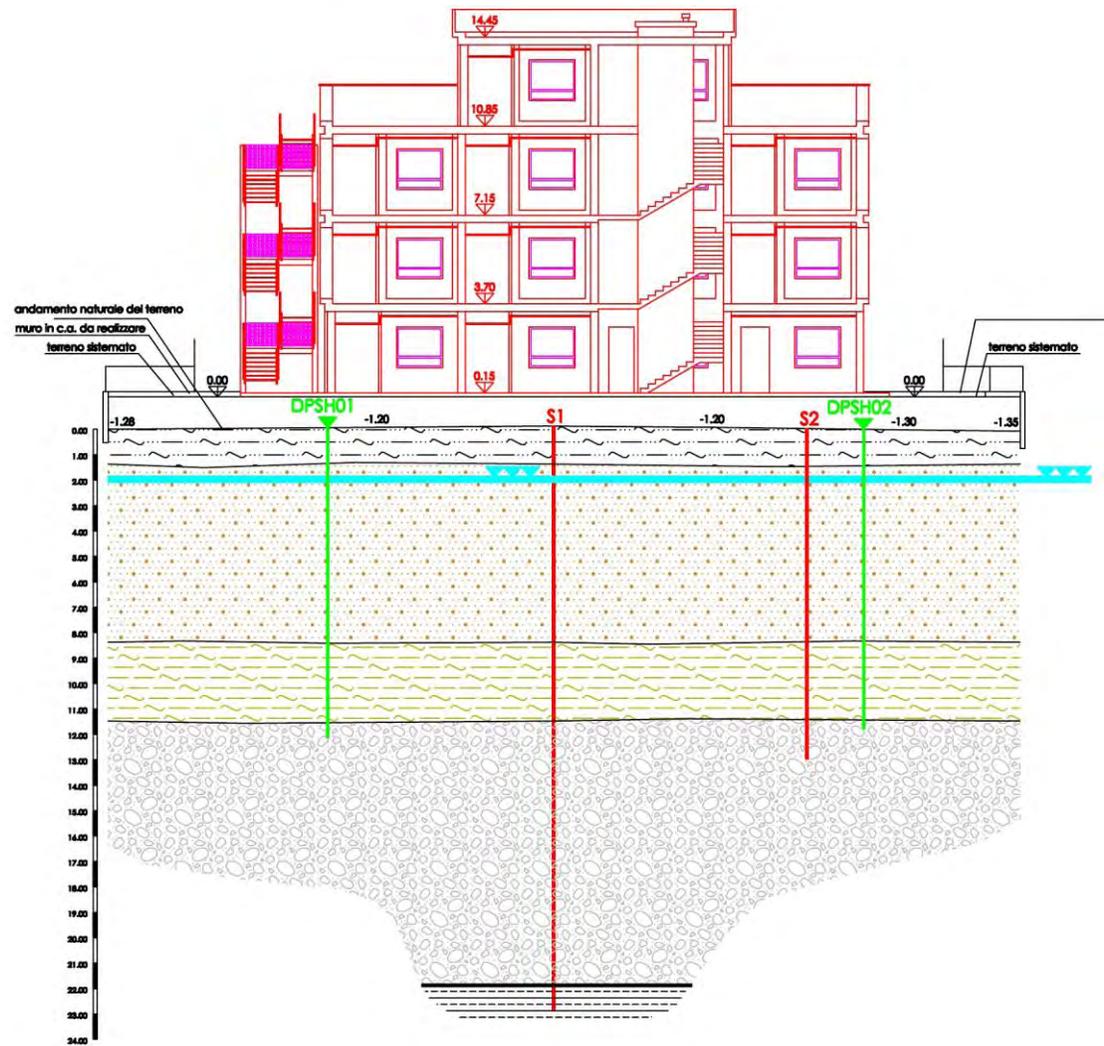
F.ne delle Argille Azzurre (FAA) - alternanza di litotipi caratterizzata dalle litofacies pelitico-arenacea ( $FAA_{(4)C}$ ) e arenaceo-pelitica ( $FAA_{(4)D}$ ). Velocità  $V_s$  di circa 500 m/s da DH



F.ne delle Argille Azzurre (FAA) - litofacies pelitica data da argille marnose grigio azzurre con intercalazioni di lamine sabbiose. Velocità  $V_s$  tra 550 e 650 m/s da MASW 8

# SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE – Scala 1/200

## SEZIONE X-X



legenda

scala 1/200

### TERRENI DELLA COPERTURA depositi alluvionali

-  Limi sabbiosi
-  Sabbie e ghiaie (depositi poco addensati)
-  Limi argillosi e sabbiosi
-  Ghiaie e sabbie (depositi ben addensati)

### SUBSTRATO GEOLOGICO formazione plio-pleistocenica

-  Argille marnose grigio-azzurre

 Livello della falda



# AUTORITA' DI BACINO REGIONE MARCHE

Stralcio cartografia PAI

PAI-PS2006

ESONDAZIONI-PAI

- R1
- R3

ESONDAZIONI-PS2006

- CODICE\_PS

FRANE

- R1
- R3

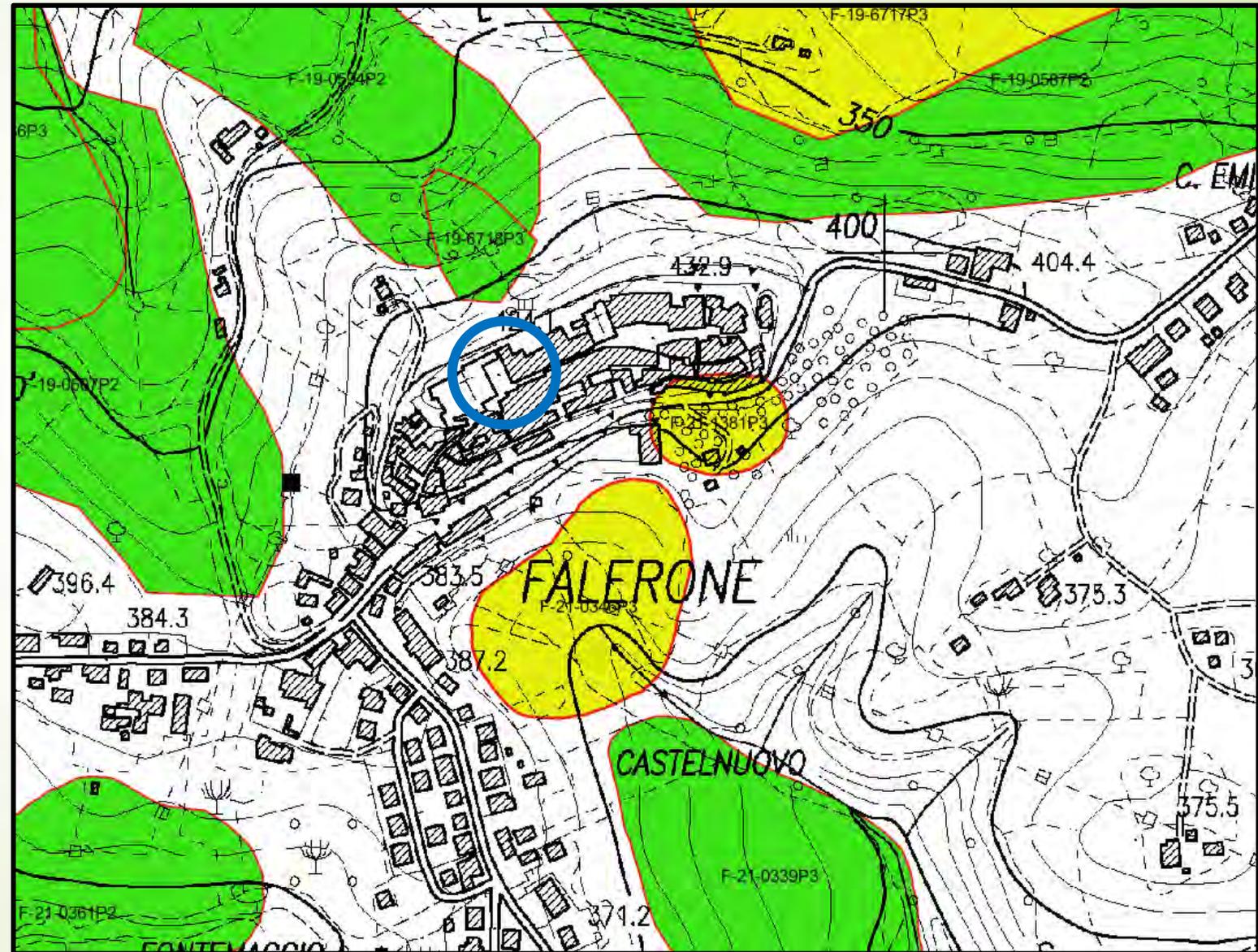
VALANGHE

- R4

BASE CARTOGRAFICA  
CTR\_Marche

LOTTO IN OGGETTO

- R2
- R4
- R2
- R4





- INDAGINI EFFETTUATE

- N.2 sondaggio geognostico [S<sub>109005P241</sub>: 36,50 m - S<sub>109005P202</sub>: 11,50 m ]

- Sondaggio S<sub>109005P241</sub>

- N.1 prove SPT in foro m [3,0 m di profondità: rifiuto (26+50) infissione 15+4 cm]

- Prelievo campioni

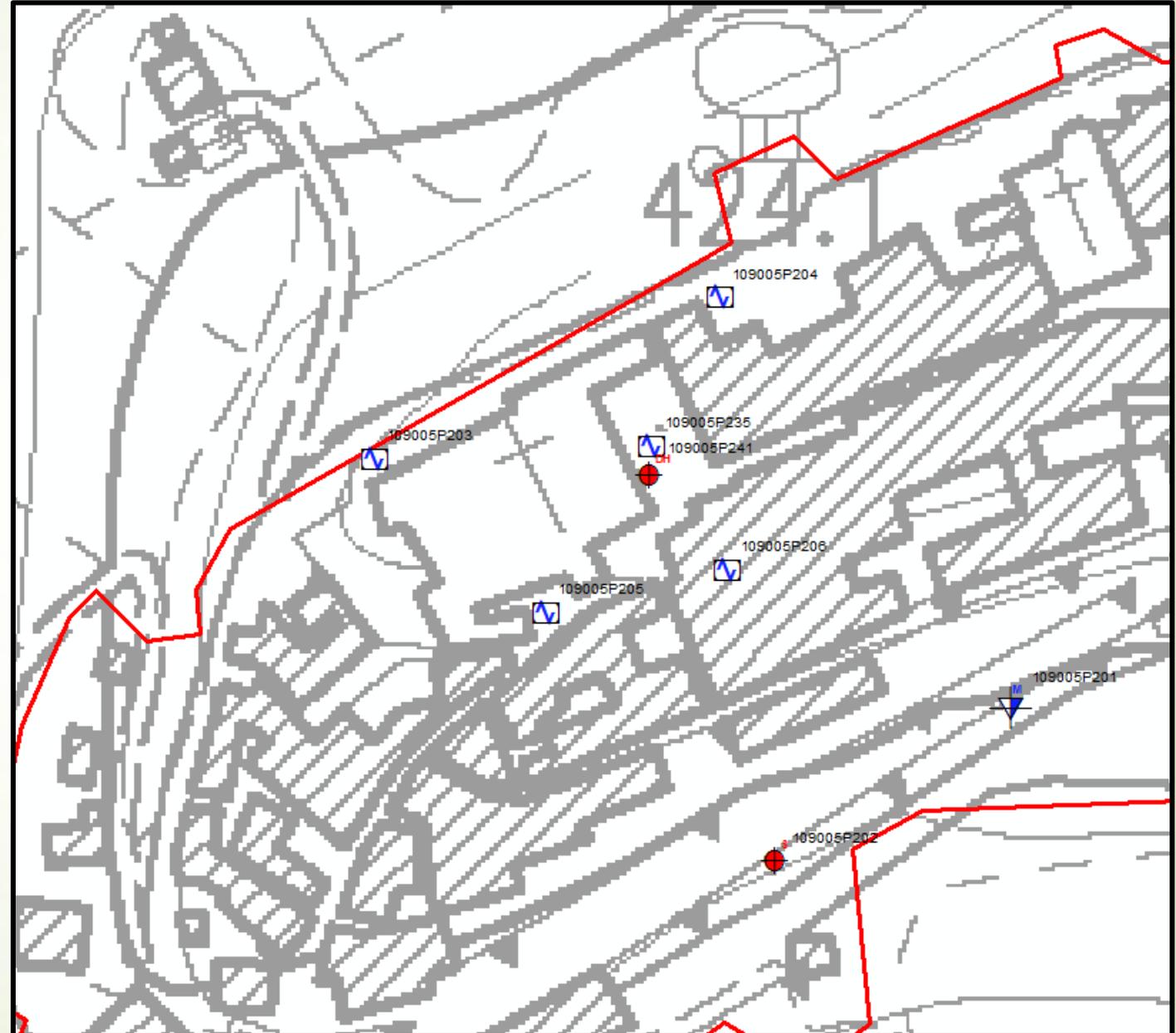
- N.1 prova Down Hole [in corrispondenza di S<sub>109005P241</sub>]

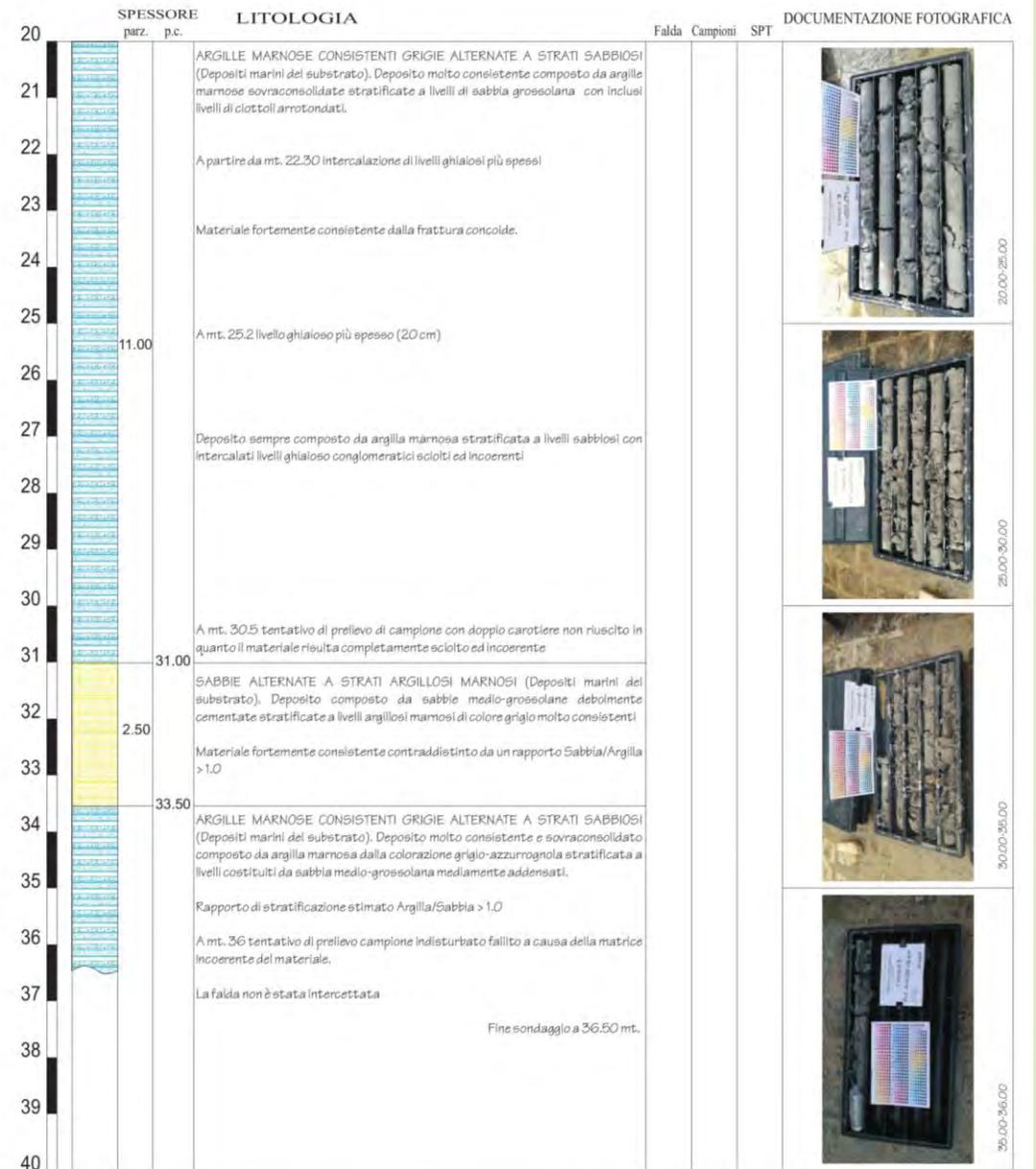
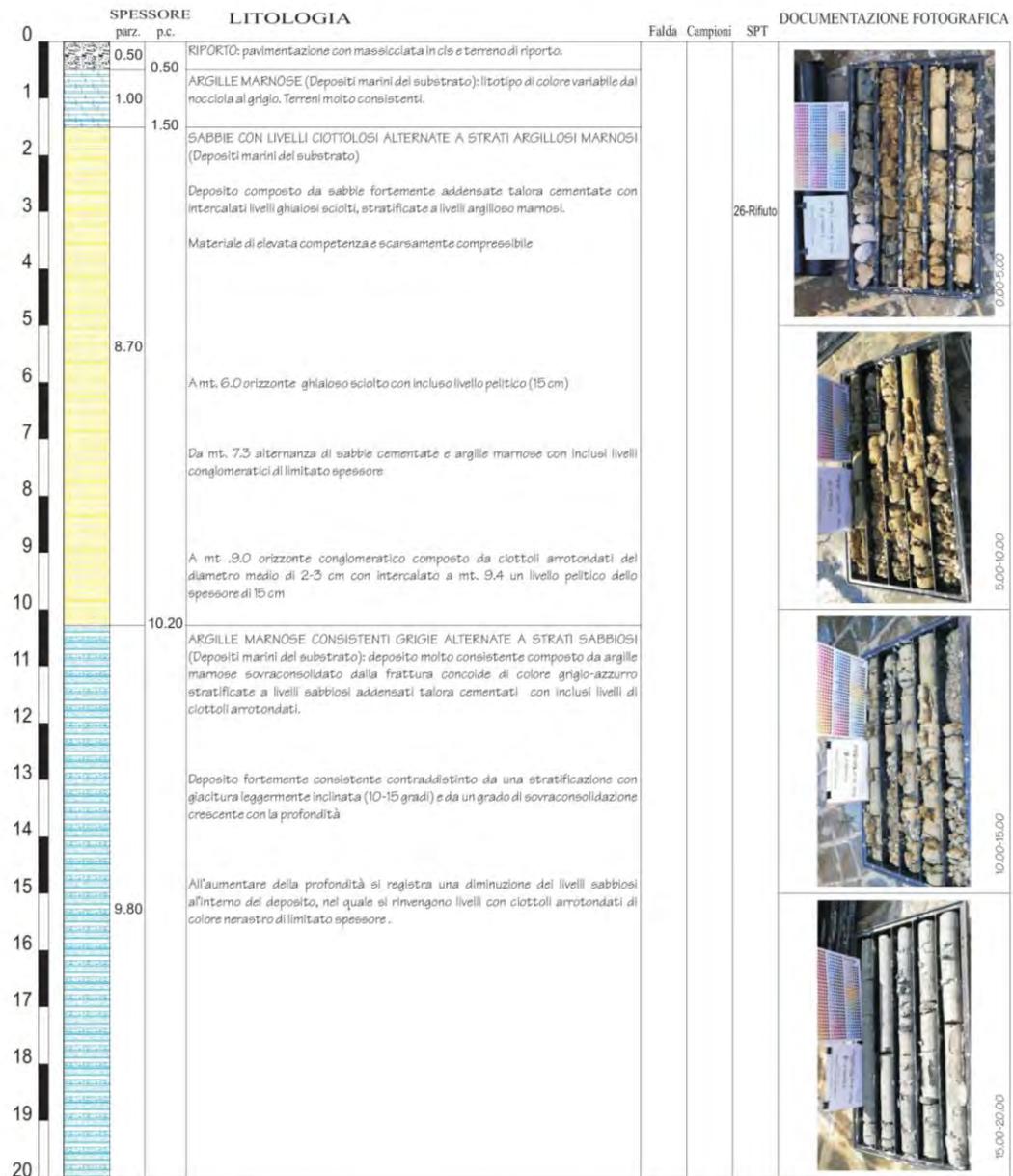
- N.5 sismica passiva a stazione singola – misura del microtremore [prova HVSR]

- N.1 prova penetrometrica dinamica DPM\_2

# PLANIMETRIA INDAGINI

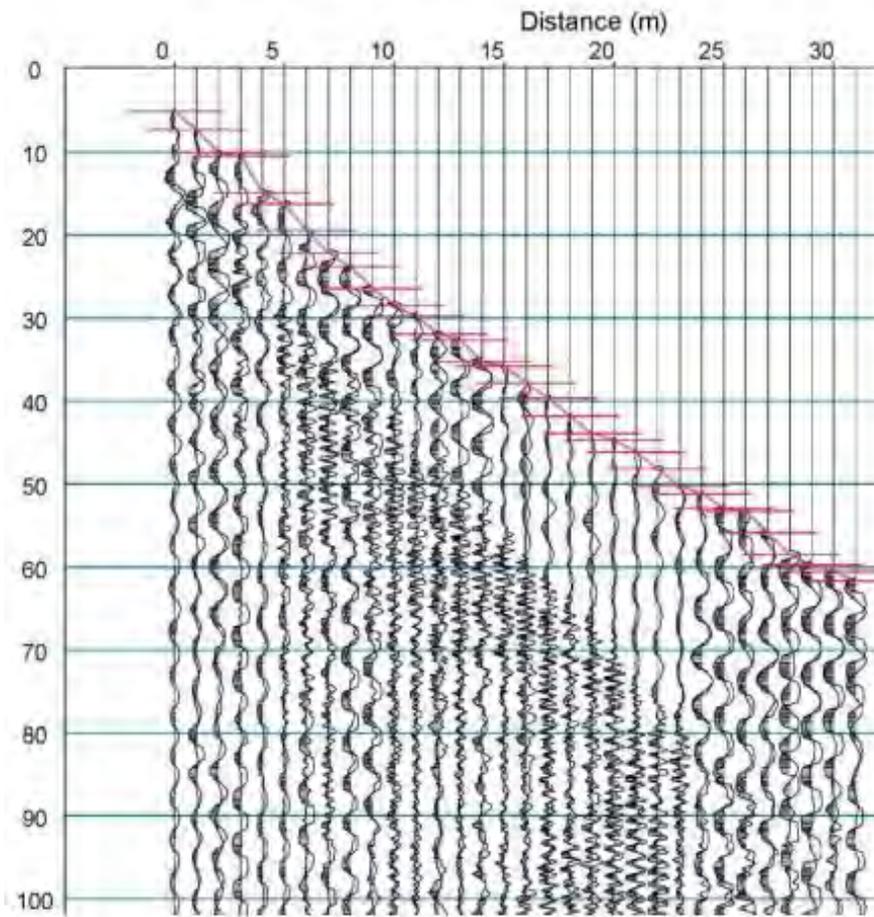
-  Prova penetrometrica dinamica leggera
-  Prova penetrometrica dinamica media
-  Prova penetrometrica dinamica pesante
-  Prova penetrometrica dinamica super pesante
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Sondaggio a distruzione di nucleo
-  Sondaggio a distruzione di nucleo che intercetta il substrato
-  Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
-  Trincea o pozzetto esplorativo
-  Prova sismica in foro tipo Down Hole (DH)







## Sismogrammi onde S



## Sismogrammi onde P

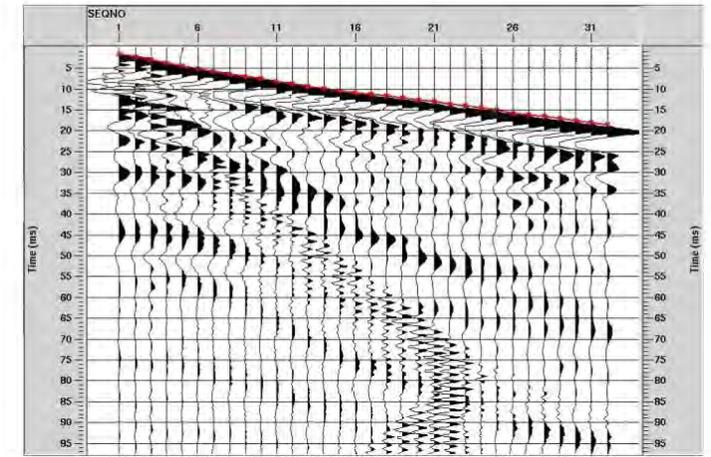
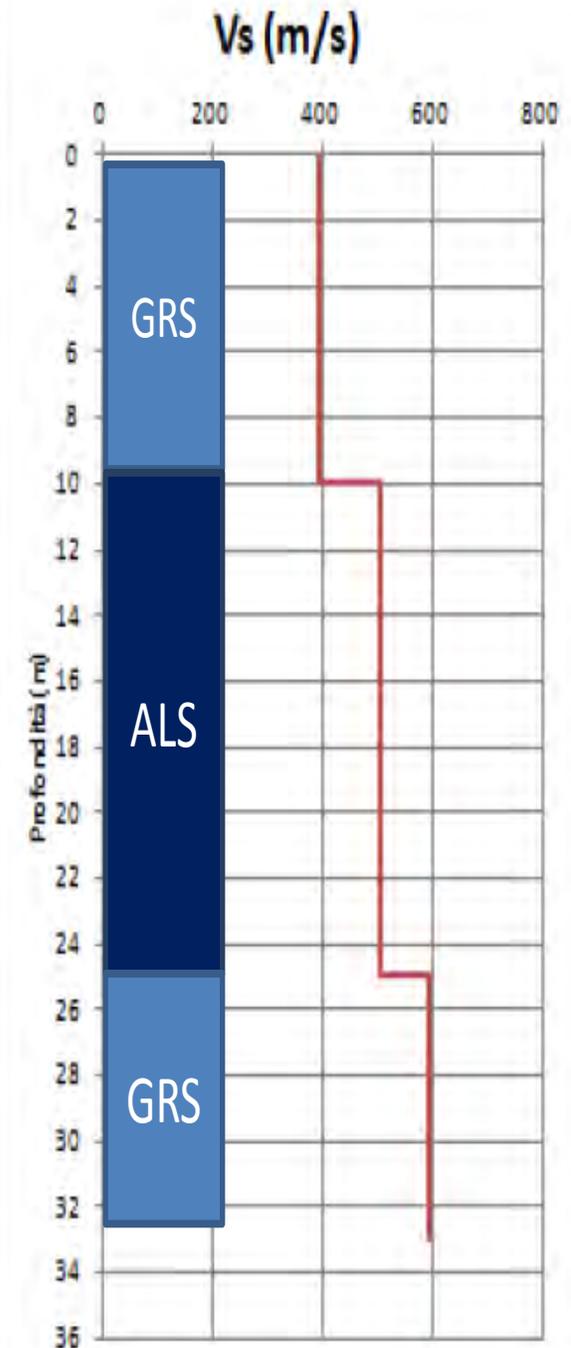
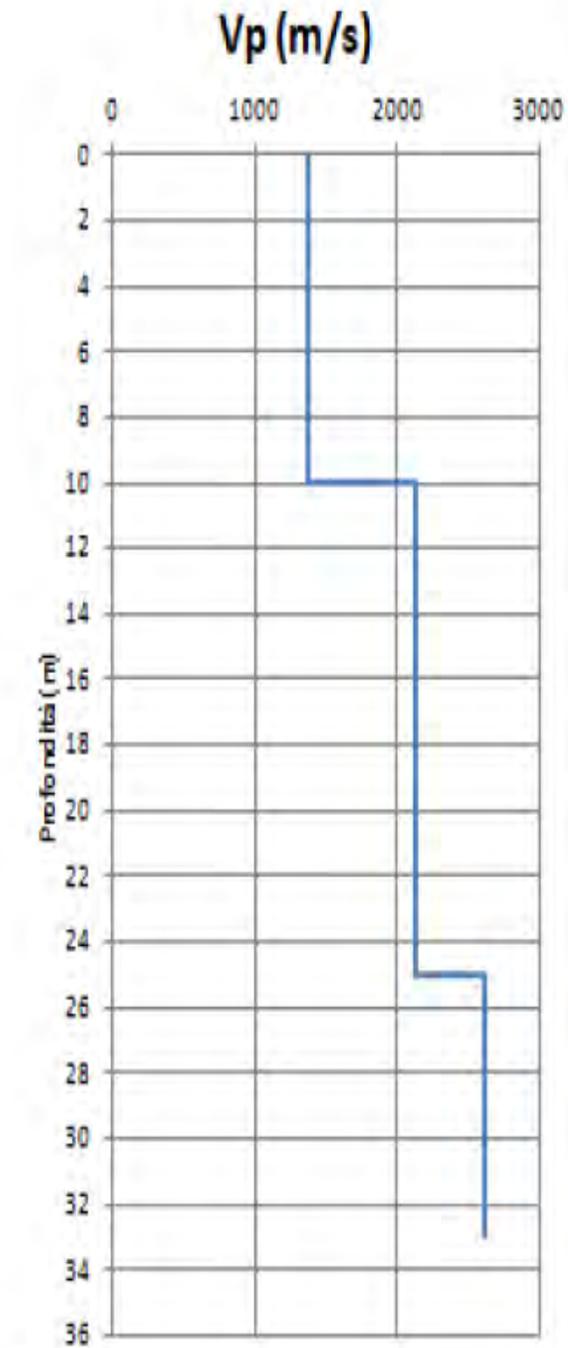
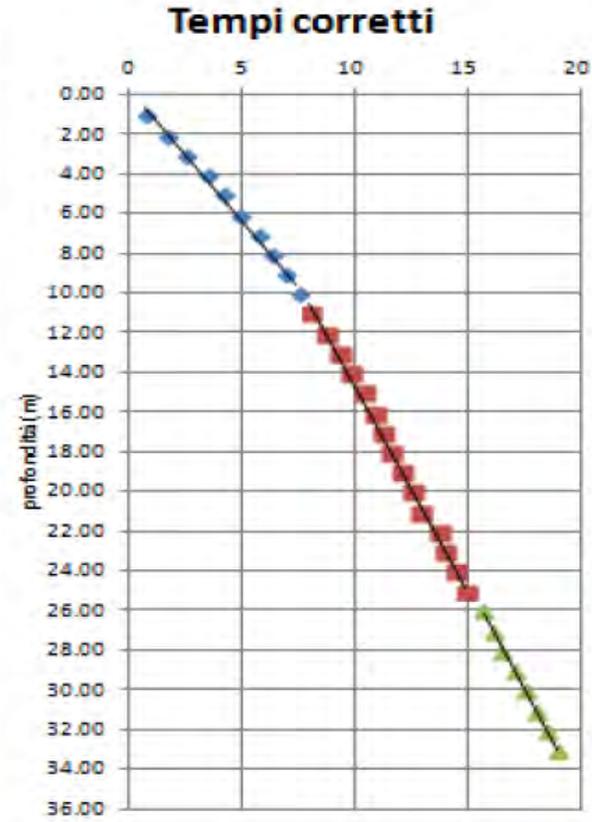
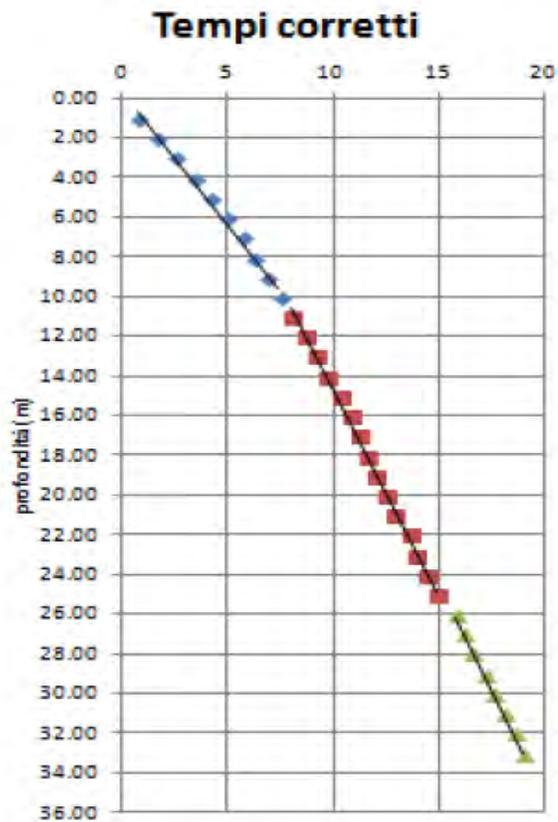


Foto - Sito di durante l'esecuzione della prova

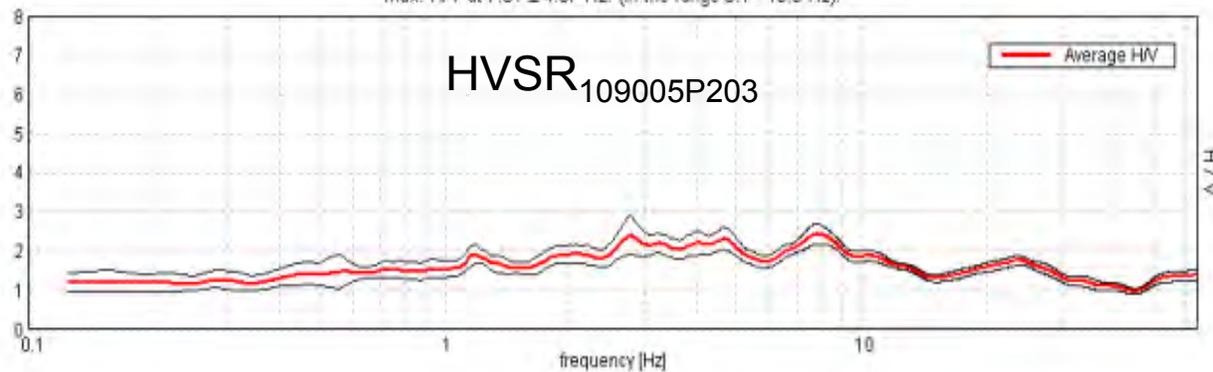
Profondità [m]	Vp [m/s]
0.0 - 10.0	1364
10.0 - 25.0	2125
25.0 - 33.0	2608
Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 10.0	392
10.0 - 25.0	501
25.0 - 33.0	594



## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at  $7.81 \pm 4.07$  Hz. (In the range 0.1 - 10.0 Hz).

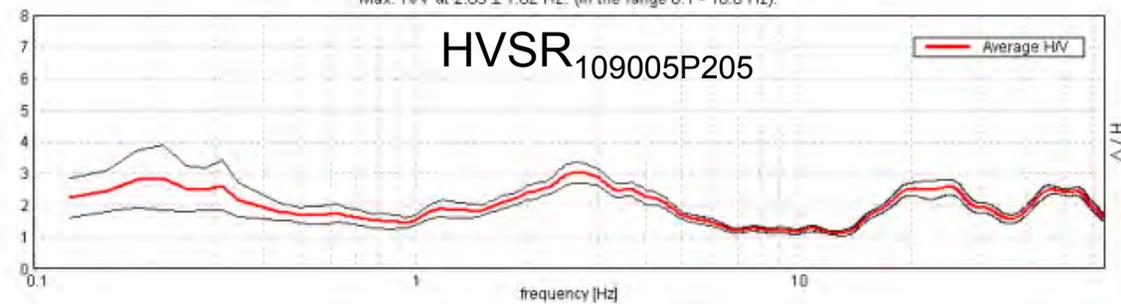
### HVSR<sub>109005P203</sub>



## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at  $2.63 \pm 1.02$  Hz. (In the range 0.1 - 10.0 Hz).

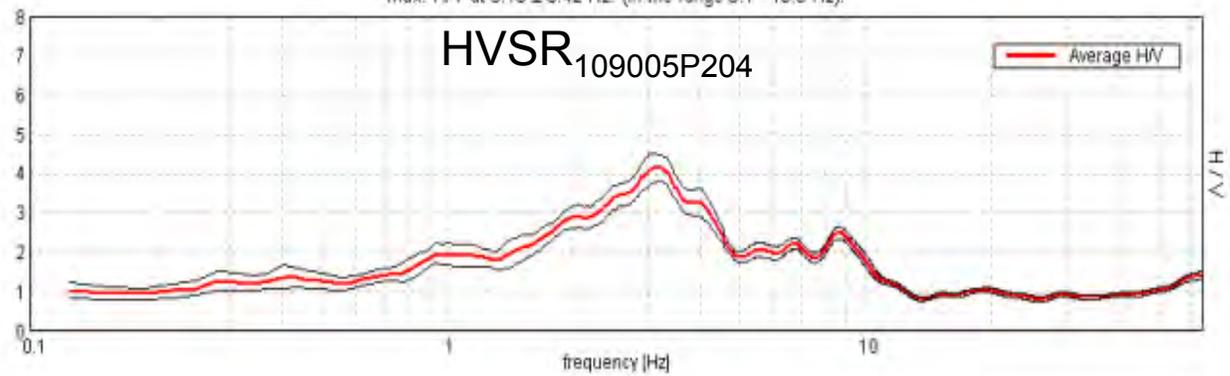
### HVSR<sub>109005P205</sub>



## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at  $3.16 \pm 0.42$  Hz. (In the range 0.1 - 10.0 Hz).

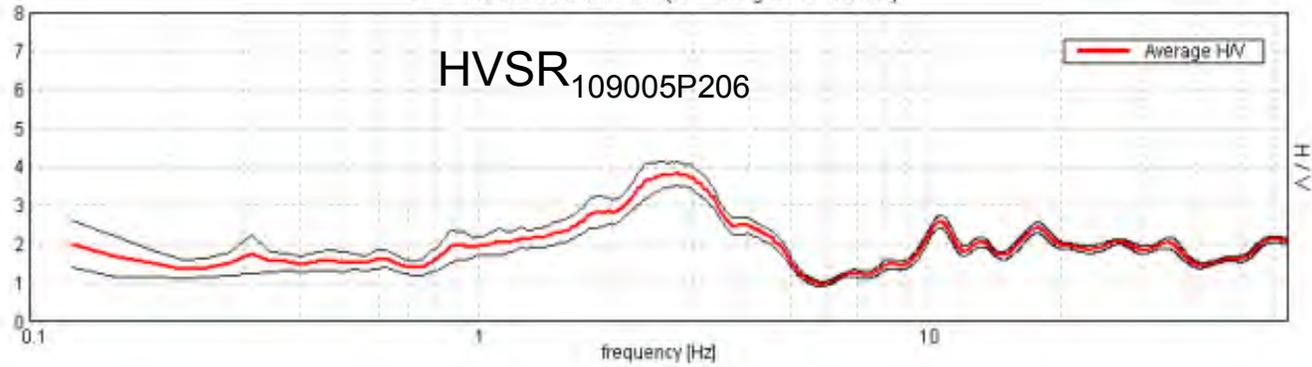
### HVSR<sub>109005P204</sub>



# HVSR

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

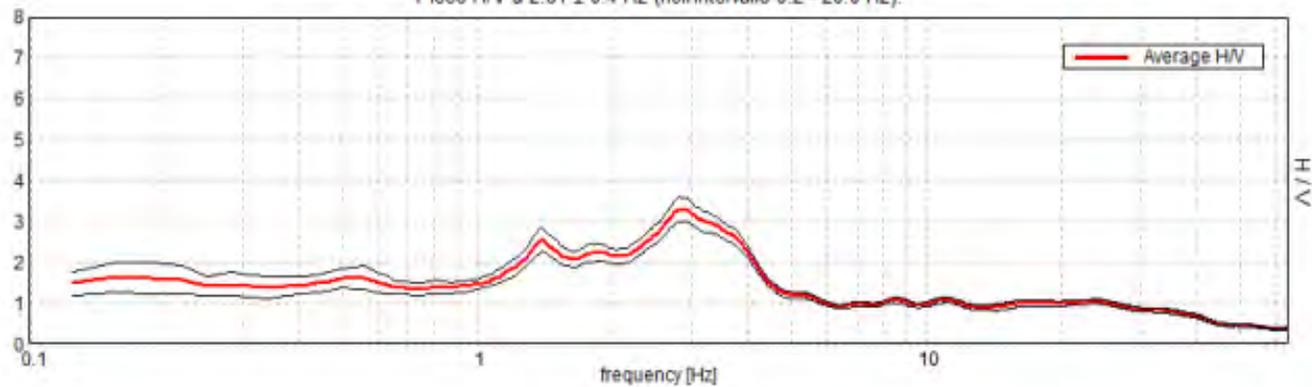
Max. H/V at  $2.78 \pm 0.25$  Hz. (In the range 0.1 - 10.0 Hz).



HVSR	f0 [Hz]
109005P203	7,81
109005P204	3,16
109005P205	2,63
109005P206	2,78
109005P235	2,81

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

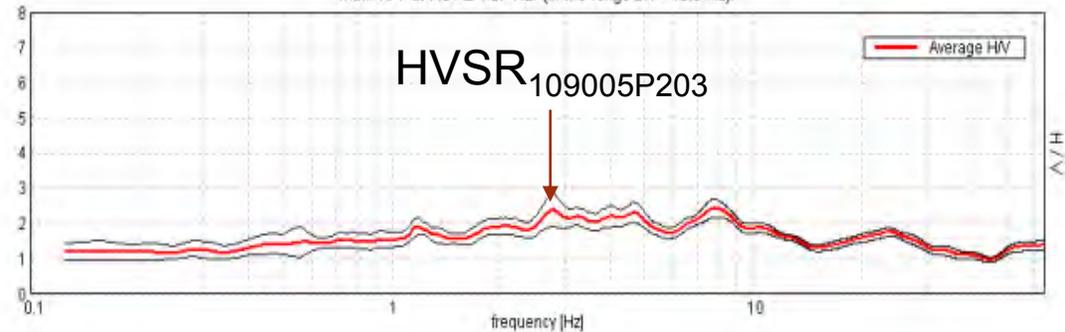
Picco H/V a  $2.81 \pm 0.4$  Hz (nell'intervallo 0.2 - 20.0 Hz).



HVSR<sub>109005P235</sub>

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at  $7.81 \pm 4.07$  Hz. (In the range 0.1 - 10.0 Hz).





# Definizione del modello sismico

## CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

- Sismicità storica

## PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

- Dati della disaggregazione

## AZIONE SISMICA

- Approccio semplificato: definizione categoria del sottosuolo e categoria topografica
- Studio della Risposta Sismica Locale [RSL]

## STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

- Verifica numerica o evidenziazione dei motivi per i quali si omette la verifica

## Sismicità storica nel Comune di Falerone

**DATABASE MACROSISMICO ITALIANO.**  
Versione aggiornata è **DBMI15**

### CPTI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015



Fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
NF	1906 02 05 16 34	Valnerina	55	5	4,41
4	1908 11 16 16 28	Fermo	6	4	3,7
6-7	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5,67
2	1971 02 11 18 49 21.00	Valle del Chiascio	71	6	4,61
4	1971 10 04 16 43 32.60	Valnerina	43	5-6	4,51
4	1979 09 19 21 35 37.00	Valnerina	694	8-9	5,83
4	1989 09 11 02 46 23.93	Marche meridionali	60	5	4,04
3	1993 06 05 19 16 17.02	Valle del Topino	326	6	4,72
4-5	1995 12 30 15 22 08.73	Fermano	106	5	4,19
5	1996 01 01 12 21 41.54	Maceratese	91	5-6	4,2
3-4	1996 01 22 18 37 44.36	Fermano	76	5	3,96
4-5	1996 01 22 23 14 00.09	Maceratese	45	5	3,66
5-6	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5,66
6	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5,97
5-6	1997 10 06 23 24 53.29	Appennino umbro-marchigiano	437		5,47
5	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5,62
4	1997 11 09 19 07 33.27	Valnerina	180		4,87
4	1998 03 21 16 45 09.21	Appennino umbro-marchigiano	141		5
5-6	1998 03 26 16 26 17.03	Appennino umbro-marchigiano	409		5,26
2-3	2000 09 02 05 17 02.41	Appennino umbro-marchigiano	115	5	4,4
3-4	2000 10 24 07 52 23.70	Monti Sibillini	65	5	4,11
NF	2003 05 25 17 15 13.95	Ascolano	88	4-5	3,81
NF	2004 12 09 02 44 25.29	Teramano	213	5	4,09
3	2005 04 12 00 31 51.61	Maceratese	131	4	3,74
3	2005 12 15 13 28 39.59	Val Nerina	350	5	4,14
4-5	2006 04 10 19 03 36.67	Maceratese	211	5	4,06
3	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4,21

Dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV (consultabile al seguente link: <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>), che fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014, è stato possibile individuare la seguente storia sismica del comune di Falerone (aggiornata all'anno 2014)

# SISMICITA' RECENTE DELL'AREA DI STUDIO

Eventi sismici con magnitudo superiore a 4.0 avvenuti dal 2006

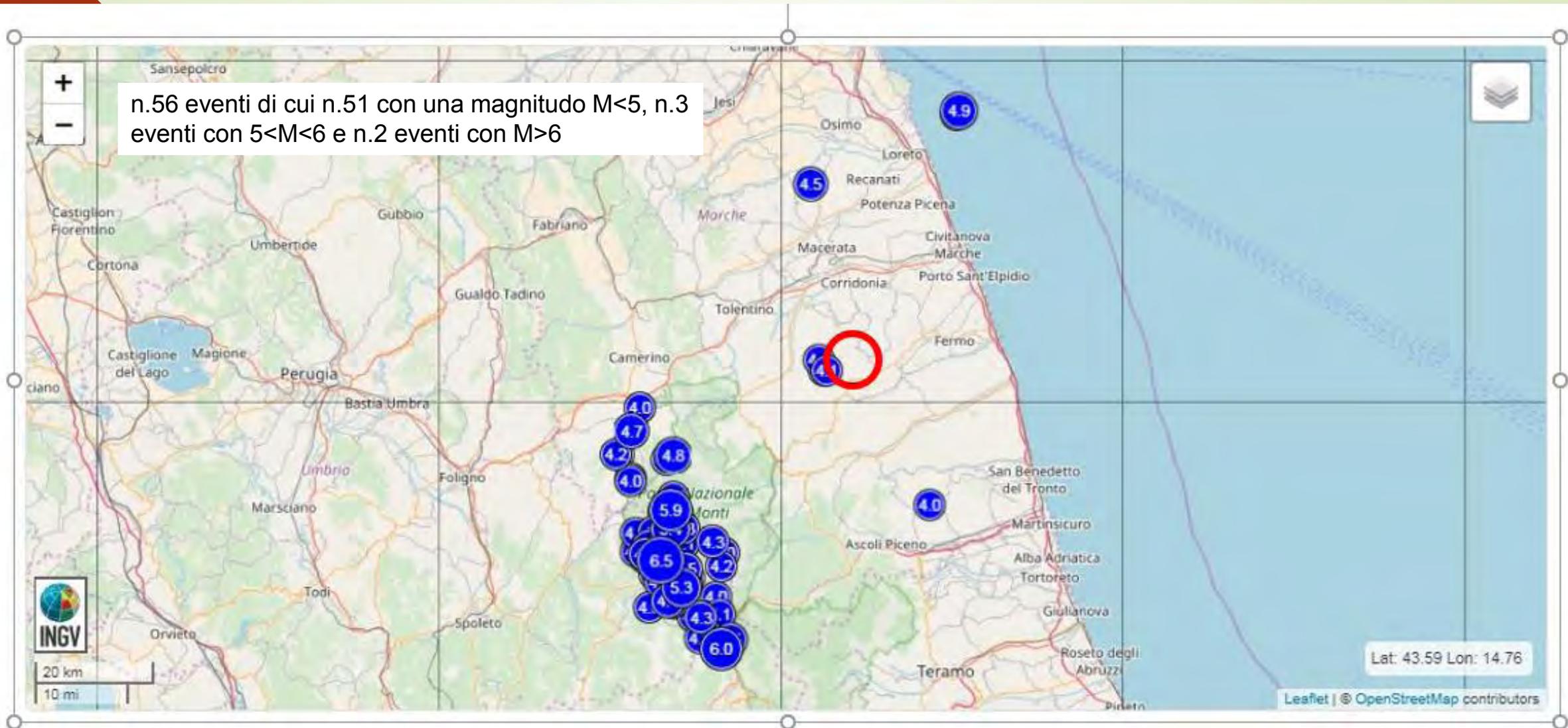


Figura 4 Localizzazione epicentri. In rosso area esaminata

# Eventi sismici con epicentro compreso all'interno del territorio comunale di Falerone o posti nelle immediate vicinanze

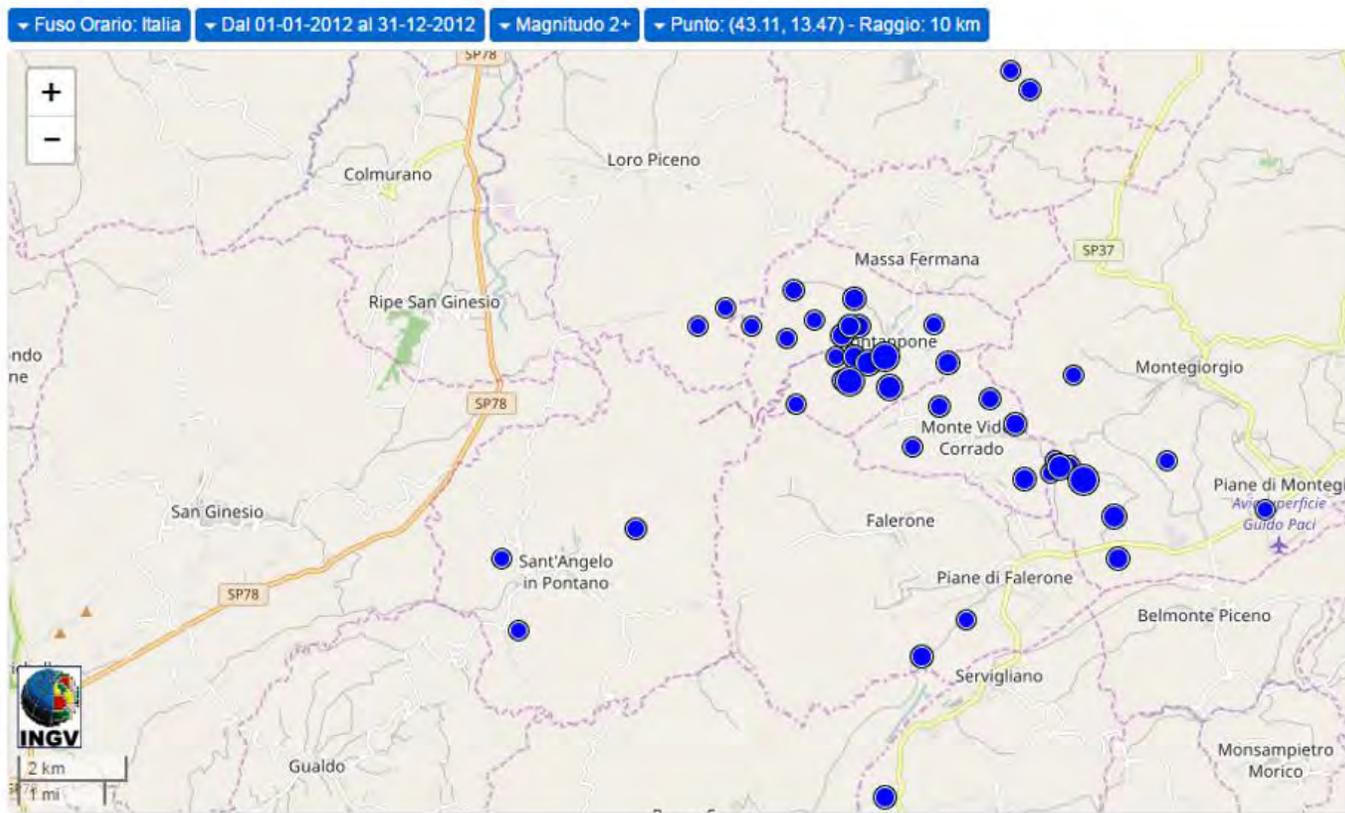


Figura 6 Mappa con indicate le località degli epicentri dei terremoti del 2012

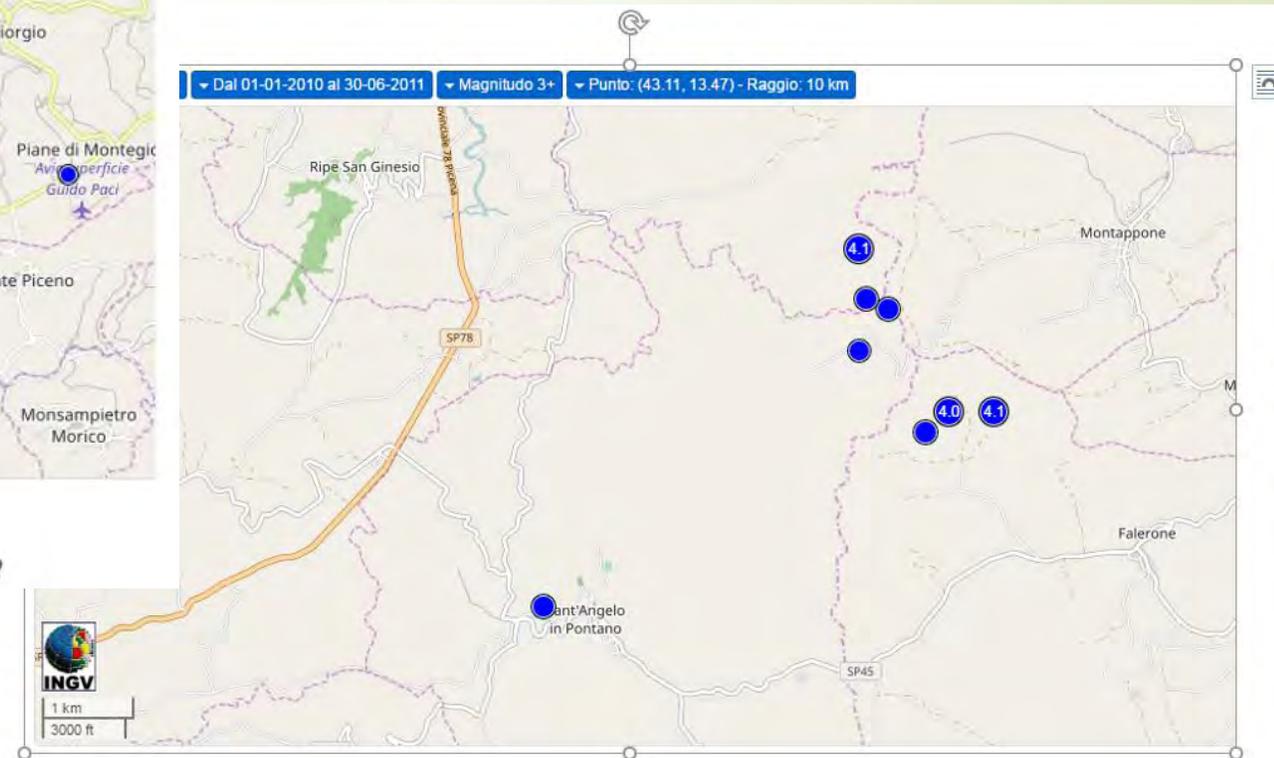


Figura 5 Mappa con indicati epicentro dei terremoti di ML maggiore di 3 registrati nel 2010



## TERREMOTO DEL 2016

In base ai dati forniti dall'Ufficio Tecnico comunale sono state presentate 720 richieste di sopralluogo. Il numero di edifici dichiarati inagibili sulla base delle schede FAST e AEDES presentate è pari a 505. Gli edifici messi in sicurezza sono 29, alcuni di proprietà pubblica altri di proprietà parzialmente pubblica e chiese.

Dopo il mainshock del 30 ottobre (M 6,5) è stato constatato un aggravio del danno al patrimonio edilizio esistente già profondamente colpito dopo la prima scossa del 24 agosto.

## Definizione della pericolosità sismica

OPCM n.3274 del 20/03/2003.

Il territorio comunale di Falerone è stato classificato nella Zona Sismica 2: “Zona con pericolosità sismica media, dove possono verificarsi forti terremoti”.

OPCM n.3519/2006.

Comune di Falerone: valore  $A(g)$  è compreso fra 0,175 g e 0,200 g (Zona sismica 2).

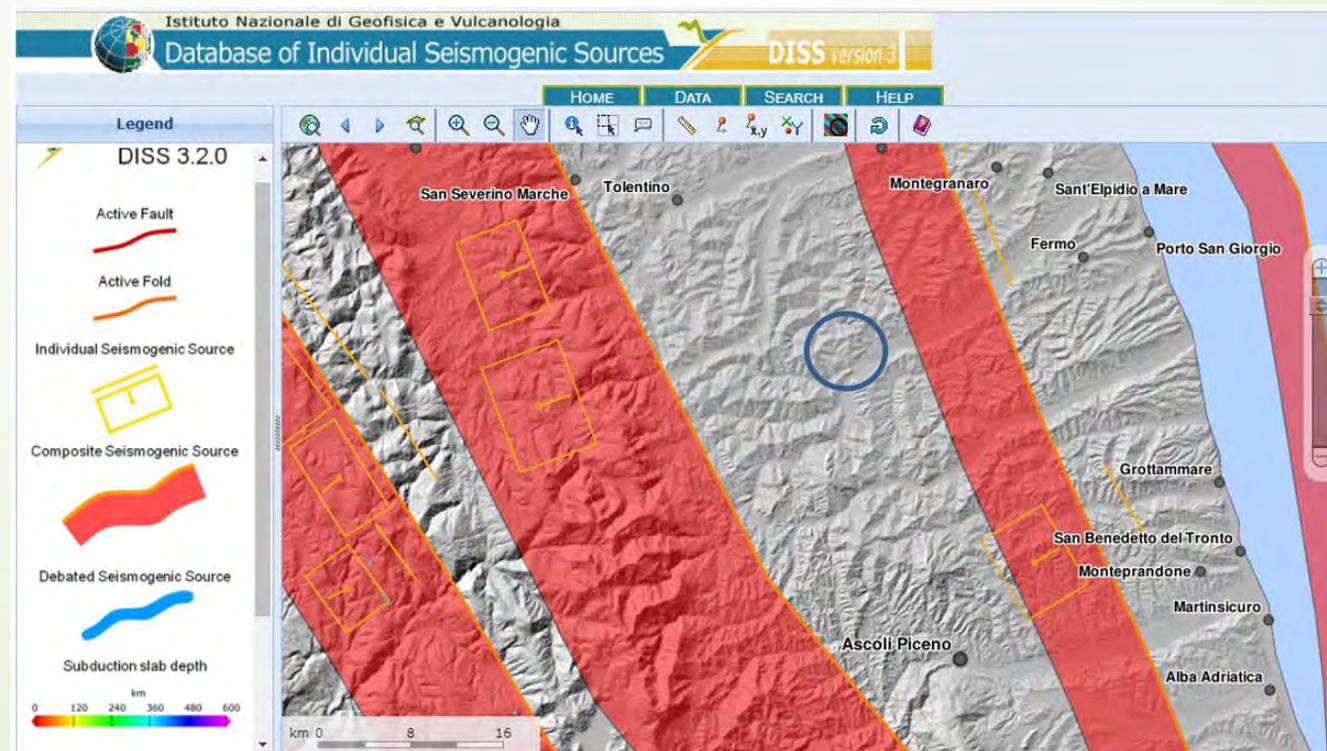
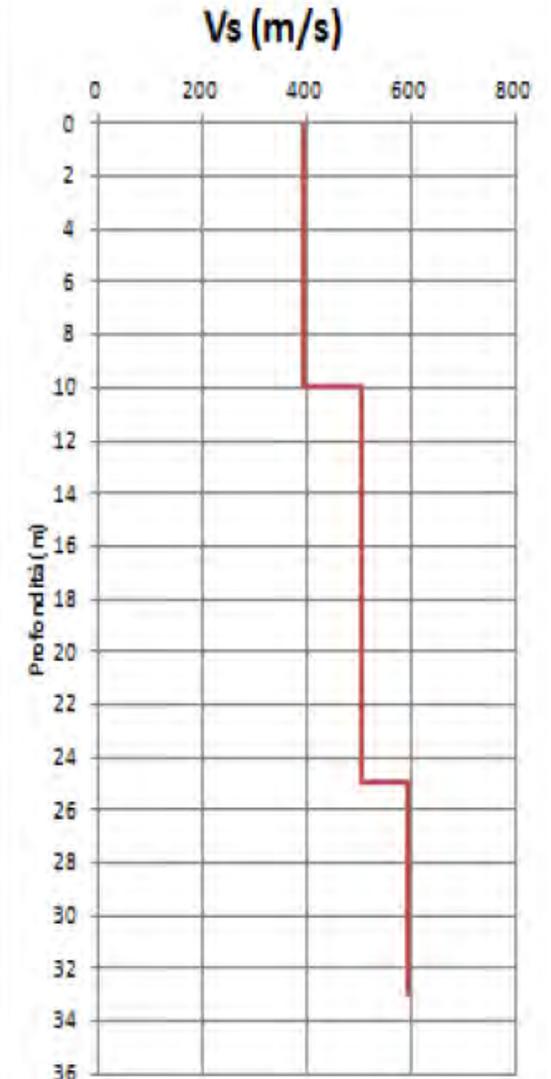
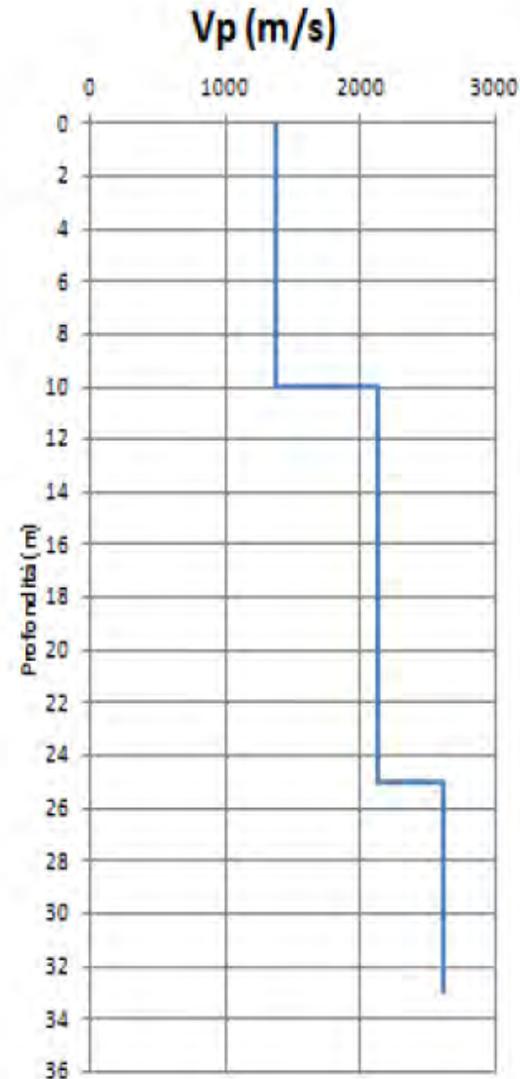


Figura 7 Mappa delle Faglie sismogenetiche individuate dall'INGV nel progetto DISS versione 3

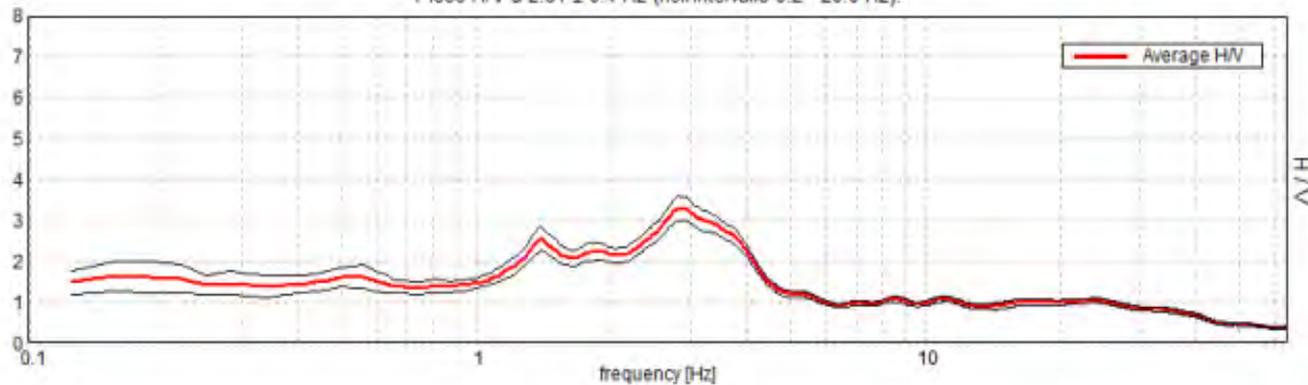
## Valutazione dell'azione sismica (effetti di sito)

Profondità [m]	Vp [m/s]
0.0 - 10.0	1364
10.0 - 25.0	2125
25.0 - 33.0	2608
Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 10.0	392
10.0 - 25.0	501
25.0 - 33.0	594



### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Picco H/V a  $2.81 \pm 0.4$  Hz (nell'intervallo 0.2 - 20.0 Hz).



## Valutazione degli effetti di sito

Profondità [m]	Vp [m/s]
0.0 - 10.0	1364
10.0 - 25.0	2125
25.0 - 33.0	2608
Profondità [m]	Vs [m/s]
0.0 - 10.0	392
10.0 - 25.0	501
25.0 - 33.0	594

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

## Down-Hole

$V_{s30} = 470$  m/s

Categoria di sottosuolo: **B**

Definizione dell'azione sismica di progetto:

### 3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

#### Categorie di sottosuolo

Per definire **l'azione sismica di progetto**, si valuta l'effetto della **risposta sismica locale (RSL)**<sup>o</sup> mediante specifiche analisi (v. Risposta sismica e stabilità del sito e C7.11.3.1). *In assenza* di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica *si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento* (Tab. 3.2.II e 3.2.III) e sulle **condizioni topografiche**.

**Analisi 1D** per la valutazione della **risposta sismica locale (RSL)**

# Risposta sismica locale

## 1 Stima dell'accelerazione di base $a_g$

## Definizione dell'input sismico

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

Elaborazioni grafiche:  Grafici spettri di risposta  Reticolo di riferimento  Controllo sul reticolo

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ :  info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$ :  info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ :  info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$ :  info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$ :  info
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$ :  info

Stati limite ultimi - SLU

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$ :  info
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$ :  info

Strategia di progettazione

per costruzioni ordinarie

delta

FASE 1    **FASE 2**    FASE 3

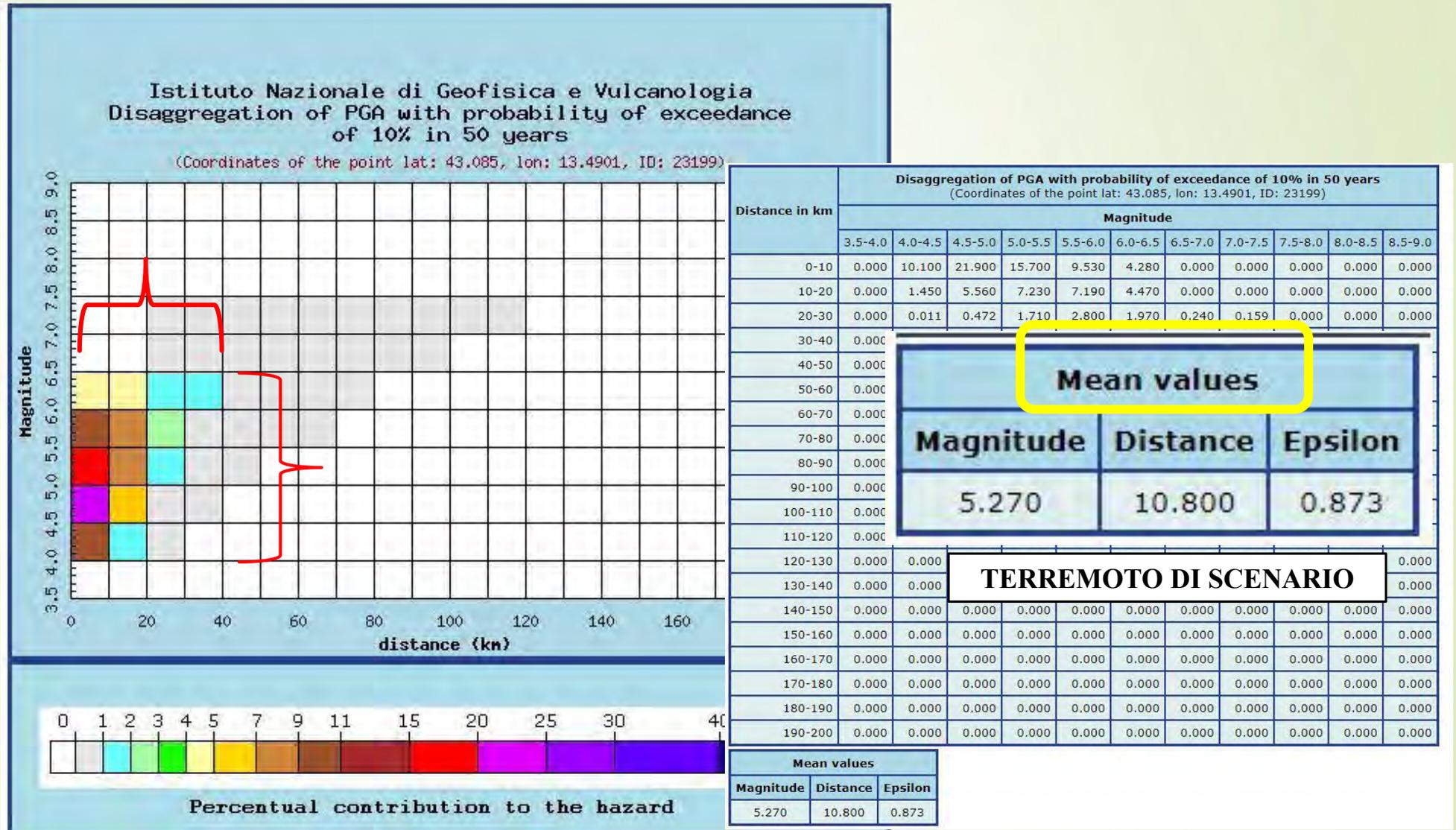
### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,056	2,469	0,275
SLD	50	0,070	2,444	0,292
SLV	475	0,175	2,443	0,339
SLC	975	0,226	2,478	0,345

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

# Risposta sismica locale

## 2 Dati disaggregazione della pericolosità sismica - INGV



## Risposta sismica locale

### 2 Dati disaggregazione della pericolosità sismica - INGV

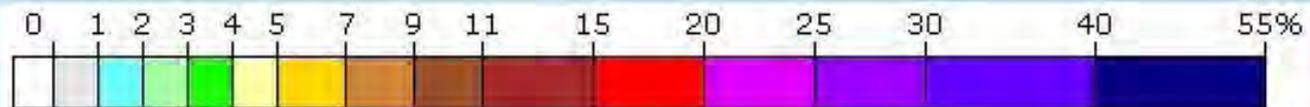
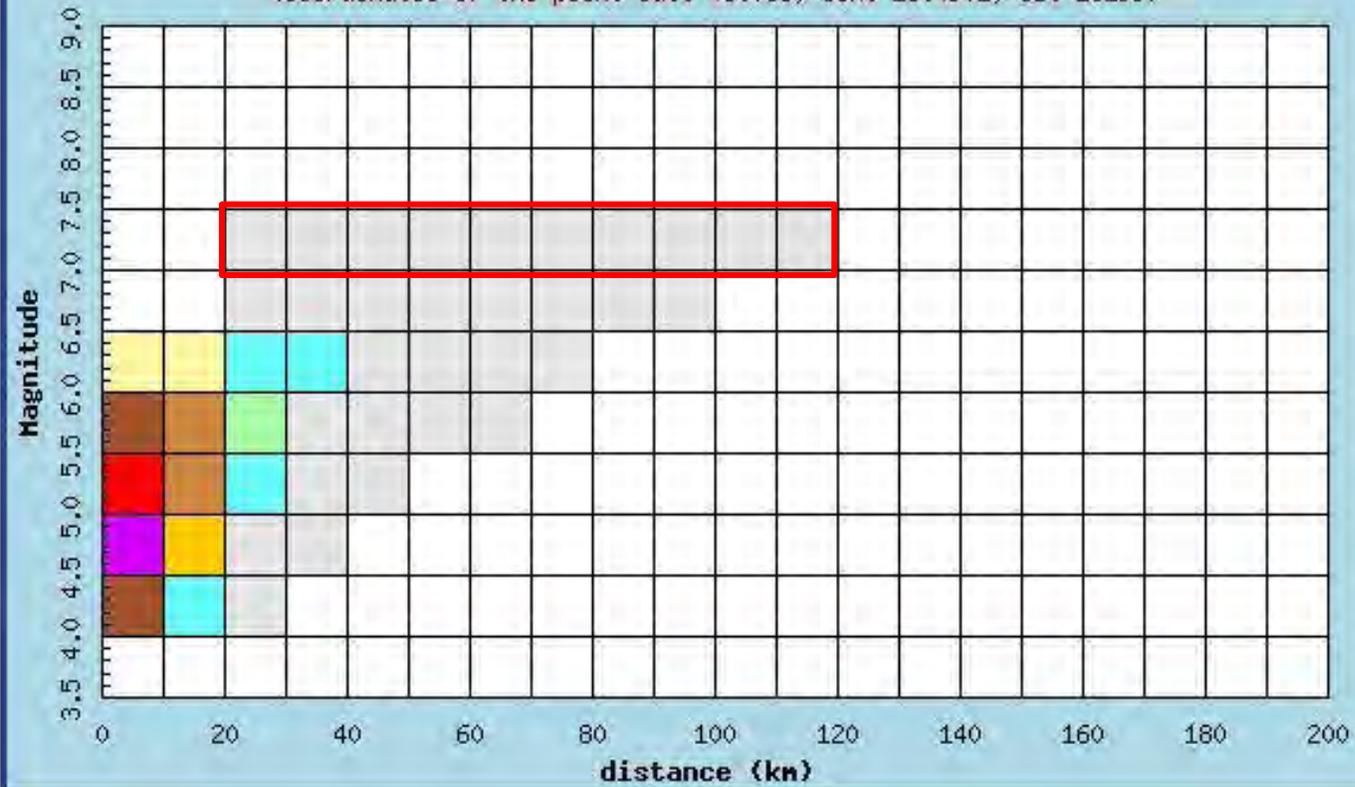
Distance in km	Disaggregation of PGA with probability of exceedance of 10% in 50 years (Coordinates of the point lat: 43.085, lon: 13.4901, ID: 23199)										
	Magnitude										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	10.100	21.900	15.700	9.530	4.280	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.450	5.560	7.230	7.190	4.470	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.011	0.472	1.710	2.800	1.970	0.240	0.159	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.003	0.228	0.997	1.010	0.569	0.428	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.007	0.202	0.376	0.322	0.289	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.096	0.167	0.182	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.078	0.111	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.063	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.027	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mean values		
Magnitude	Distance	Epsilon
5.270	10.800	0.873

**1,27%** per terremoti di magnitudo 7.0 -7.5  
e range di distanza tra 20 – 110 Km

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Disaggregation of PGA with probability of exceedance  
of 10% in 50 years

(Coordinates of the point lat: 43.085, lon: 13.4901, ID: 23199)



Percentual contribution to the hazard



## Stabilità nei confronti della liquefazione

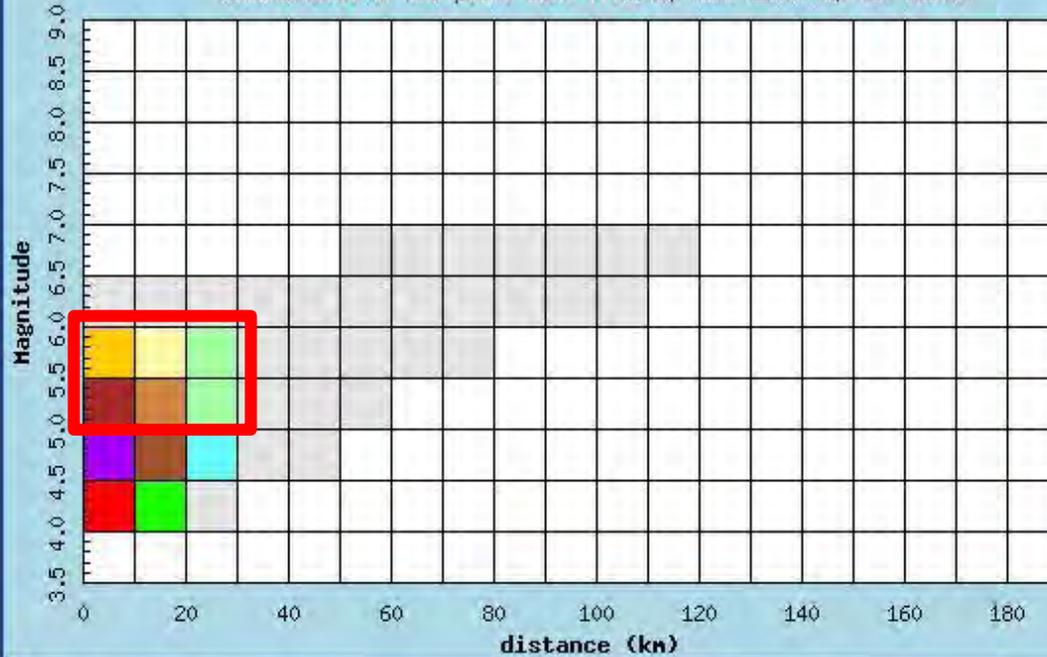
### NTC 2008 § 7.11.3.4

- ▶ *‘La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:*
  1. *Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;*
  2. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;*
  3. *profondità medio stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
  4. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
  5. *Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .*

*Quando le condizioni 1 e 2 non risultano soddisfatte, le indagini devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3,4 e 5'*

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
 Disaggregation of PGA with probability of exceedance  
 of 10% in 50 years

(Coordinates of the point lat: 44.8649, lon: 11.3048, ID: 15176)



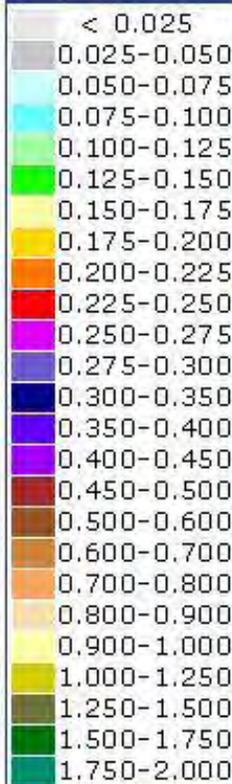
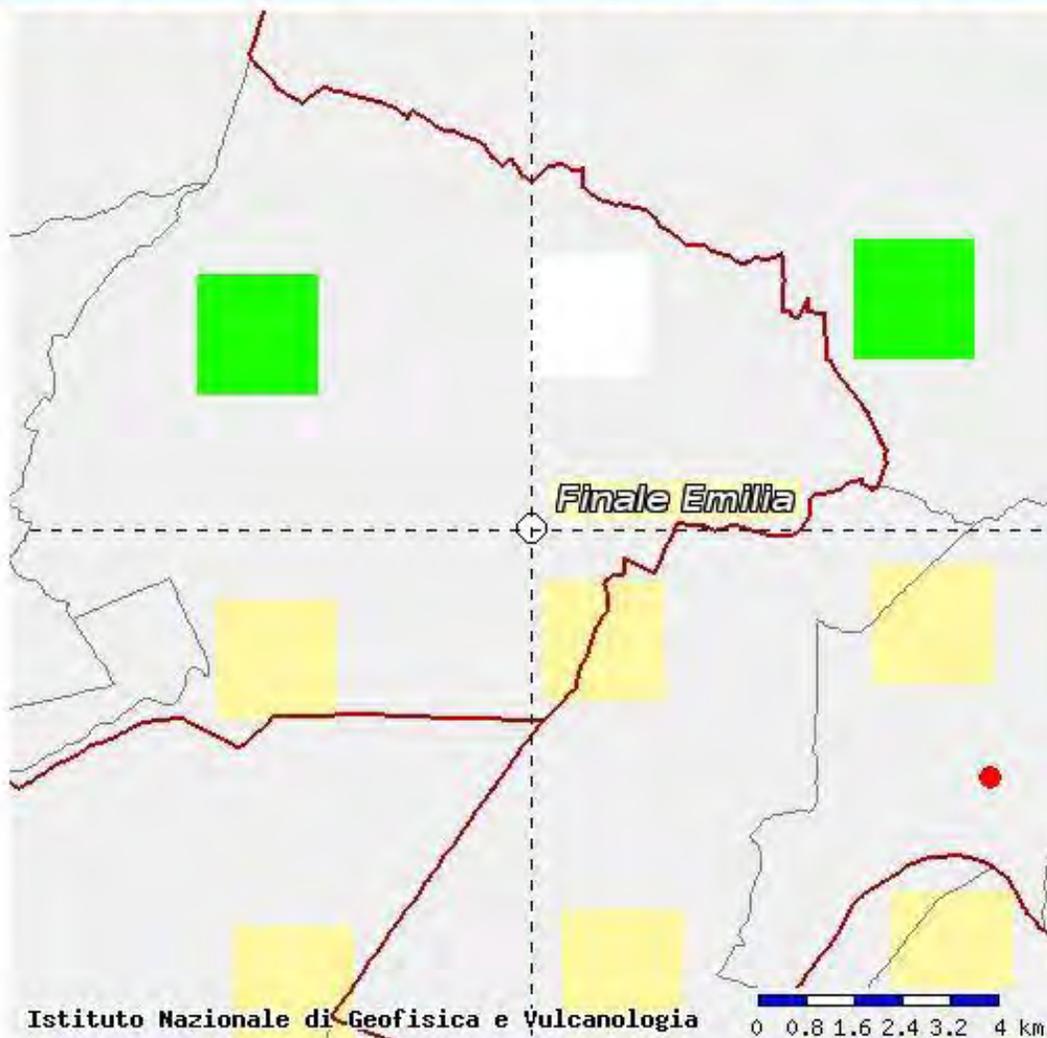
Percentual contribution to the hazard

Distance in km	Disaggregation of PGA with probability of exceedance of 10% in 50 years (Coordinates of the point lat: 44.8661, lon: 11.3753, ID: 15177)										
	Magnitude										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	17.100	28.400	13.800	5.840	0.636	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.610	8.880	7.130	4.610	0.639	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.346	1.680	2.230	2.110	0.362	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.170	0.660	0.898	0.180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.106	0.297	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.005	0.091	0.041	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.041	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.026	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Mean values		
Magnitude	Distance	Epsilon
4.950	9.390	0.528

Terremoti con M > 5.0 = 39,83 %

# Interactive Seismic Hazard Maps



## Instruments

- Back to the start map
- Redraw map
- Zoom In
- Zoom Out
- Recenter on the point
- Graph on the grid point
- Disaggregation graph

## Navigation

Scale: (Allowed range: 50.000 - 7.909.000)

Scale:

## Coordinates of the map center

Latitude:

Longitude:

## Search Municipality

The name

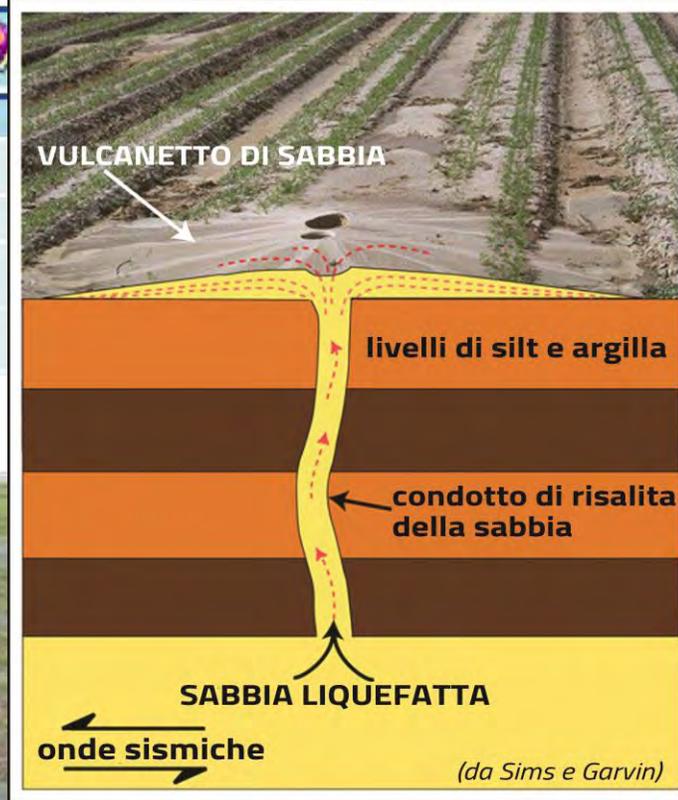
contains:

## Highlight Municipality

Finale Emilia

## Map selection

- |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Show the grid points with the value of: | Shaking parameter: <input type="text" value="PGA"/> | Probability in 50 years: <input type="text" value="10%"/> | Percentile: <input type="text" value="50"/> | Spectral Period (sec): <input type="text"/> |
| <input type="checkbox"/> Redraw map   |   |   |   |   |



## Risposta sismica locale

Riepilogo dei dati necessari per l'estrazione degli input sismici compatibili con le caratteristiche del sito in esame e per la tipologia d'intervento.

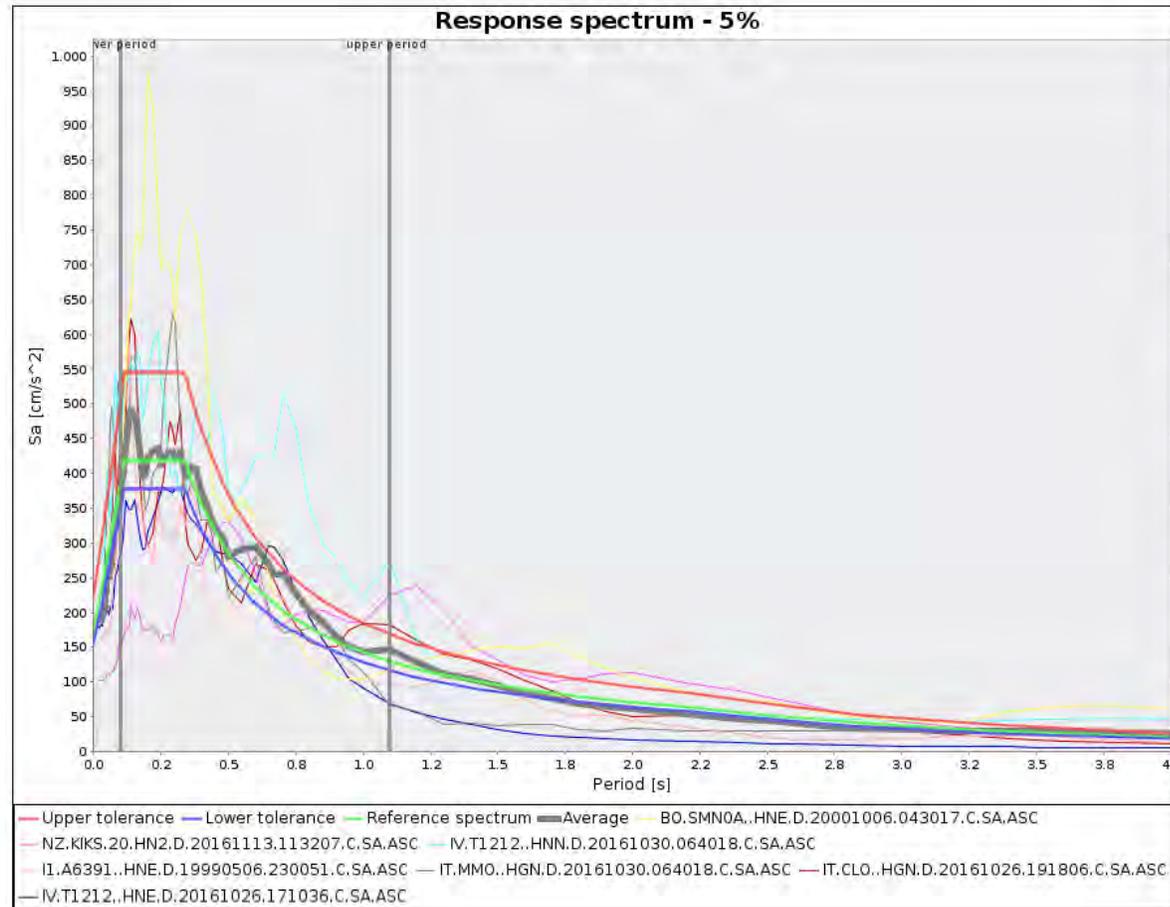
<u>Coordinate del sito (sistema di riferimento ED50)</u>	Latitudine	43,10837
	Longitudine	13,47276
<u>Scelta della strategia di progettazione</u>	Vita Nominale (Vn)	50
	Coefficiente d'uso (Cu)	1
	Stati limite di riferimento	SLD e SLV
<u>Accelerazione orizzontale massima al sito (<math>a_g</math>)</u>	SLV	0.175
	SLD	0.070
<u>Dati di disaggregazione SLD</u>	Magnitudo (M) compresa tra	4.0-6.5
	Distanza (R) compresa tra	0-60
<u>Dati di disaggregazione SLV</u>	Magnitudo (M) compresa tra	4.0-6.5
	Distanza (R) compresa tra	0-40

# Risposta sismica locale

Estrazione degli accelerogrammi di input [forniti dal Centro di MS].

## MARCHE2 - FALERONE (475yrs)

Mon Jul 03 13:41:03 CEST 2017



### Target spectrum

Latitude: 43.10784  
Longitude: 13.47391  
Site classification: A  
Topography: 1  
Nominal life [years]: 50  
Building functional type (Cu): 1.0  
Limit state probability : 0.1

### Preliminary record search

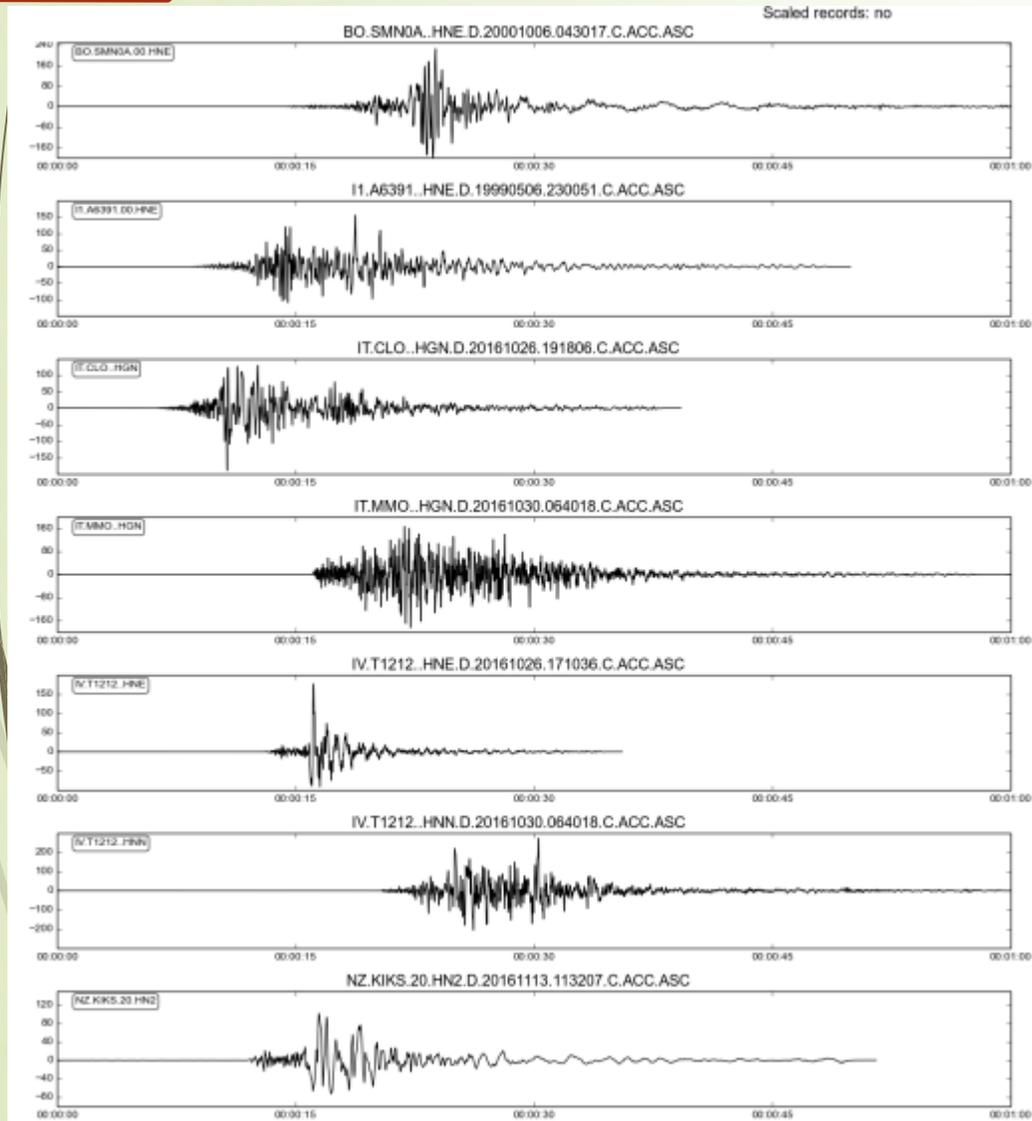
Station site classification: A,A\*  
Magnitude min: 4.7  
Magnitude max: 6.1  
Types of magnitude considered: WL  
Epicentral distance min [km]: 5.0  
Epicentral distance max [km]: 45.0  
Include late trigger events: no  
Include analog recordings: yes

### Analysis options

Period range min [s]: 0.1  
Period range max [s]: 1.1  
Tolerance below average [percent]: 10.0  
Tolerance above average [percent]: 30.0  
Scaled records: no

# Risposta sismica locale

Estrazione degli accelerogrammi di input [forniti dal Centro di MS].





Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida

**36° convegno nazionale**  
TRIESTE, 14-16 NOVEMBRE 2017

**PROCEDURA DI SELEZIONE DI 7 ACCELEROGRAMMI  
SPETTRO-COMPATIBILI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO III  
DI 138 COMUNI IN ITALIA CENTRALE**

**C. Felicetta, L. Luzi, F. Pacor, R. Puglia, G. Lanzano, M. D'Amico**  
*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Milano*

**Introduzione.** Dall'agosto 2016 l'Appennino centrale italiano è stato interessato da una sequenza sismica caratterizzata da 9 terremoti di magnitudo momento superiore a 5.0. La scossa più forte si è verificata il 30 ottobre 2016 (6:40:18, Mw 6.5) nell'area di Norcia, dove sono stati registrati picchi di accelerazione del moto del suolo superiori a 300 Gal.

Risposta sismica locale

Estrazione degli accelerogrammi di input [naturali].

Coordinate sito

Parametri progettuali

Analisi disaggregazione

The screenshot shows the REXEL v 3.5 software interface. The main window is titled "REXEL v 3.5" and "Computer aided code-based real record selection for seismic analysis of structures". It includes a menu bar (File, Database, Output, About, References) and a logo for "reluis".

**1. Target Spectrum**

- Italian Building Code 2008
- ag [g]: 0.17
- Longitude [°]: 13.736617
- Latitude [°]: 43.290805
- Map button
- Site class EC8: B
- Topographic category: T1
- Nominal life: 50 yea...
- Functional type: II
- Limit state: SLV (...)
- Horizontal  Vertical
- Disaggregation for (Italian sites): Sa(0s)...
- Conditional hazard for (Italian sites): PGVIS...
- Build code spectrum button
- User-defined spectrum button
- Look at disaggregation button
- Look at conditional hazard button

**2. Preliminary database search**

- Based on: M, R
- M minimum: 4
- M maximum: 6.5
- R minimum [km]: 0
- R maximum [km]: 30
- T [s]: 1
- Epsilon minimum: -3
- Epsilon maximum: 3
- Database: Italian Accelerometric Archive
- Site class: Same as target spectrum
- Check database button
- Preliminary plot button
- records: 2x 194
- events: 89

**3. Spectrum matching**

- Lower tolerance [%]: 10
- Upper tolerance [%]: 30
- T1 [s]: 0.10
- T2 [s]: 2
- Plot spectral bounds button

**4. Analysis options**

- Scaled records  (PGA-normalized records' search)
- I'm feeling lucky  (Returns only the first combination found)
- Set size:
  - Individual record
  - 7 records
  - 30 records
- 1 component button
- 2 components button
- 3 components button
- NEW SEARCH button
- EXIT button

**Acceleration elastic response spectrum**

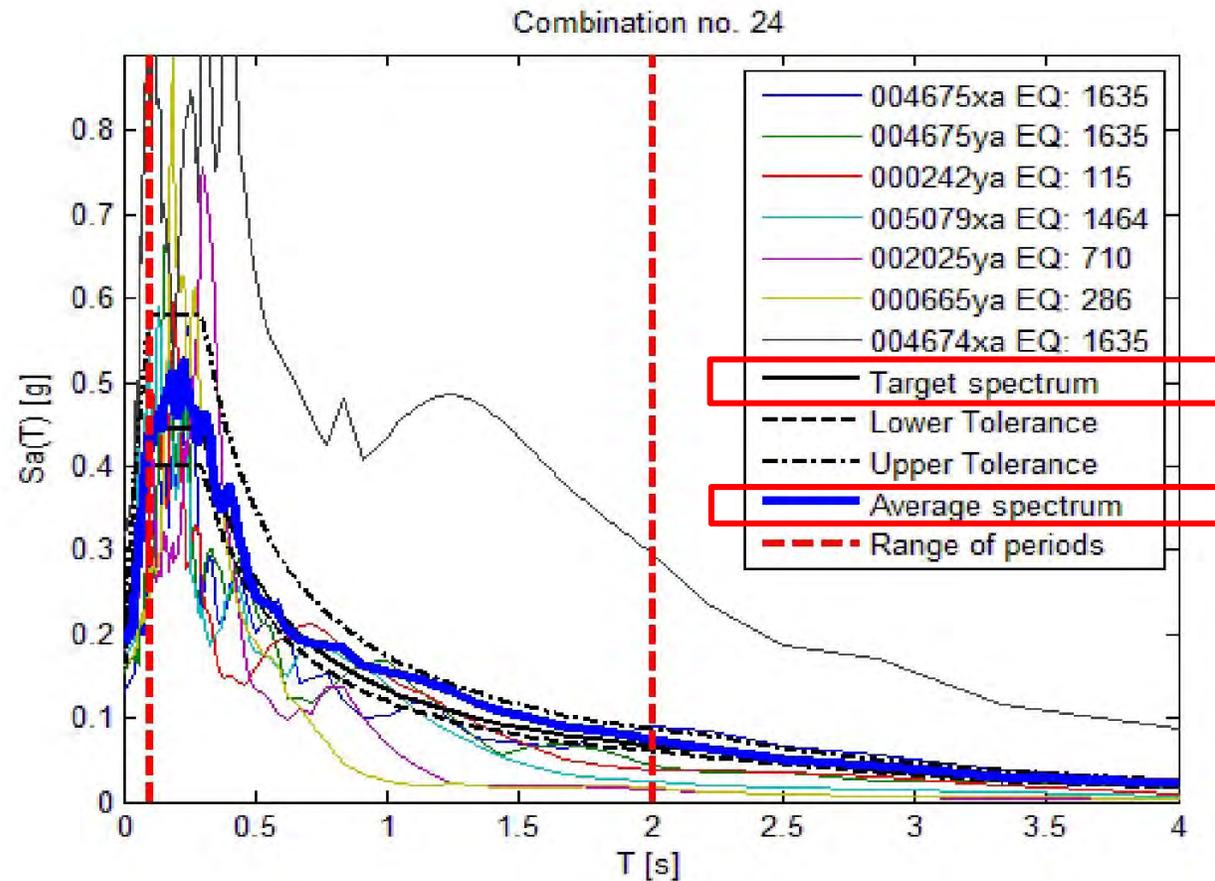
The graph shows the acceleration elastic response spectrum  $S_a(T)$  [g] versus period  $T$  [s]. The x-axis ranges from 0 to 4 seconds, and the y-axis ranges from 0 to 0.8 g. The plot includes a solid blue line for the Target Spectrum, dashed black lines for Lower Tolerance and Upper Tolerance, and a red dashed vertical line indicating the Range of periods. The spectrum shows a peak around 0.2 seconds and then decays towards zero as the period increases.

# Risposta sismica locale

## Scelta degli Accelerogrammi di input [naturali].

**ELENCO DEGLI EVENTI SISMICI SELEZIONATI**

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Z [m/s <sup>2</sup> ]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	PGV_Z [m/s]	ID_X	ID_Y	ID_Z	EC8 Site class
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	13	1,2916	1,5325	1,126	0,1611	0,101	0,0544	4,8619	7,669	12,0775	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	13	1,2916	1,5325	1,126	0,1611	0,101	0,0544	4,8619	7,669	12,0775	A
242	115	ST225	Valnerina	19/09/1979	5,8	normal	5	1,5095	2,0121	1,6011	0,0758	0,1401	0,0578	14,576	4,3377	9,137	A
5079	1464	ST2552	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5,4	strike slip	6	1,702	1,332	0,6144	0,1091	0,0506	0,0268	5,3469	5,526	10,6862	A
2025	710	ST1357	Kremidia (aftershock)	25/10/1984	5 ?		16	1,7272	1,7658	0,9532	0,0919	0,084	0,0295	8,7607	9,5544	22,7694	A
665	286	ST238	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	21	1,8296	1,5949	0,7392	0,1007	0,0808	0,0352	7,8592	13,3847	12,633	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	5	3,1176	3,3109	2,6815	0,6122	0,2377	0,1432	4,0709	9,8457	7,7805	A
mean:					5,95714		11,28571429	1,7813	1,868671429	1,263057143	0,18741429	0,1136	0,05732857	7,1911	8,28378571	12,4516	



# Risposta sismica locale

## Estrazione degli accelerogrammi di input [naturali].



Istituto Nazionale  
di Geofisica  
e Vulcanologia

Homepage Waveforms Station

REXELite Record Selecti

Session title

Target spectrum

Latitude [degrees]

Site classification (EC8)

Topography

Nominal life [years]

Building functional type

Limit state probability

Ground motion components

Preliminary record search

Station site classification criteria

Magnitude

Type of magnitude to consider

Epicentral distance [km]

Include...

Focal mechanism

Spectrum matching parameters and analysis options

Period range [s]

Tolerance [%]

Scaled records

Waveform to exclude

Accept parameters...

Session title

Falerone

Target spectrum

Latitude [degrees]

43.10837

Longitude

13.47276

Site classification (EC8)

A

Topography

T3 - ridges with crest width significantly less than the base and average slope angle between 15° and

Nominal life [years]

50 years - ordinary structures

Building functional type

2 - ordinary structures (Cu=1.0)

Limit state probability

Life safety (P=10%)

Ground motion components

One horizontal component

Preliminary record search

Station site classification criteria

A  A\*  B  B\*  C  C\*  D  D\*  E  E\*

Magnitude

min

4.0

max

6.5

Type of magnitude to consider

Mw or Ml indifferently

Epicentral distance [km]

min

0

max

40

Include...

late trigger events

No

analog records

Yes

Focal mechanism

Any mechanism

Spectrum matching parameters and analysis options

Period range [s]

lower

0.15

upper

2

Tolerance [%]

lower

10

upper

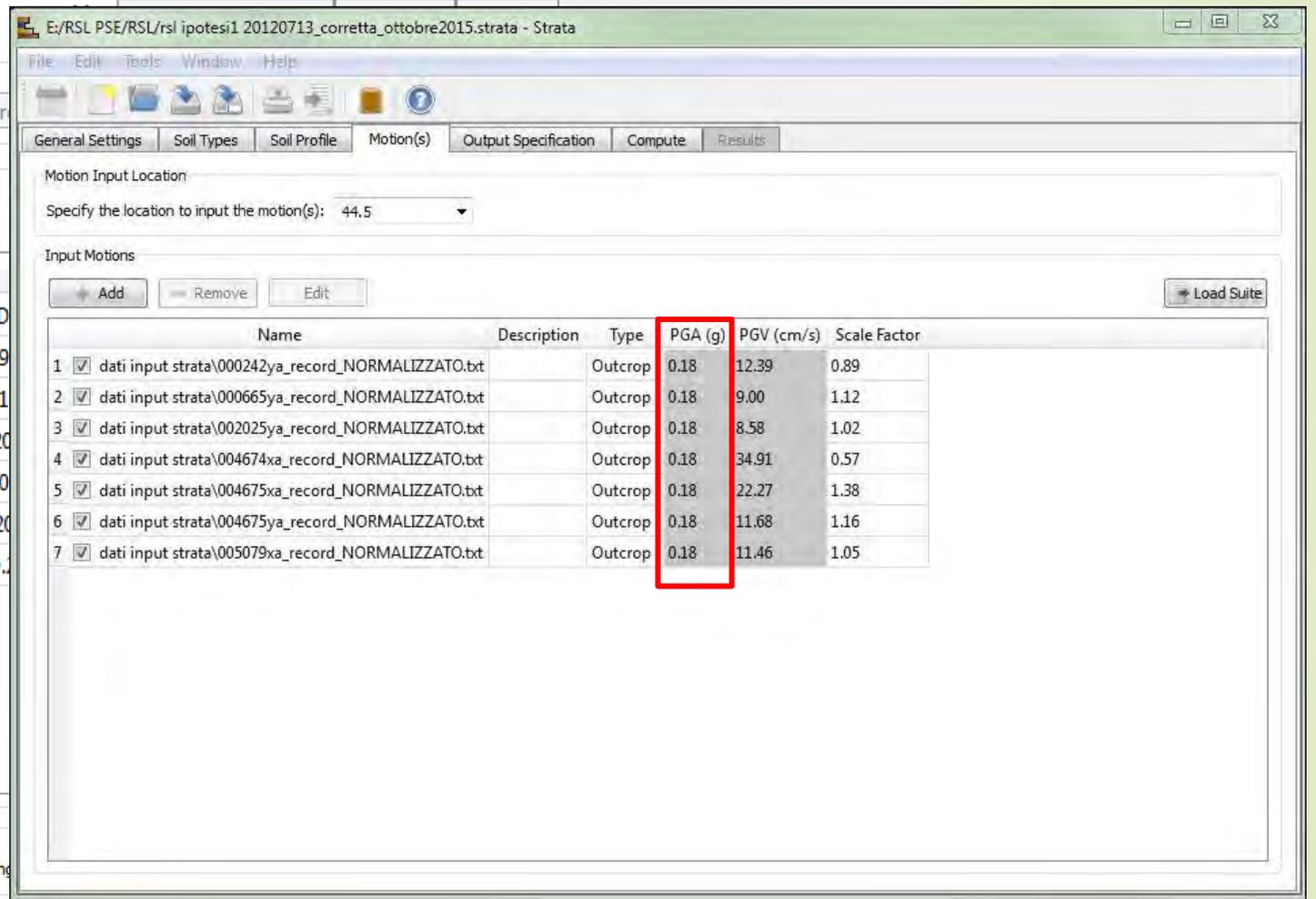
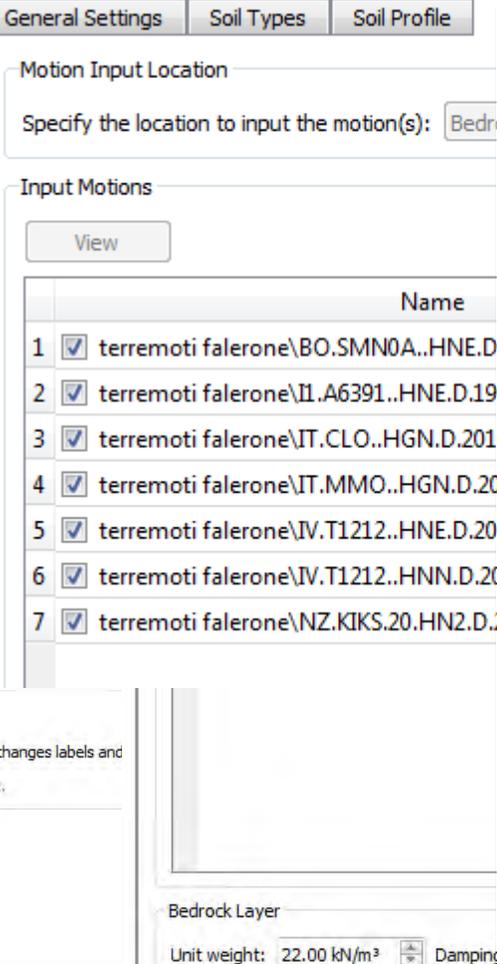
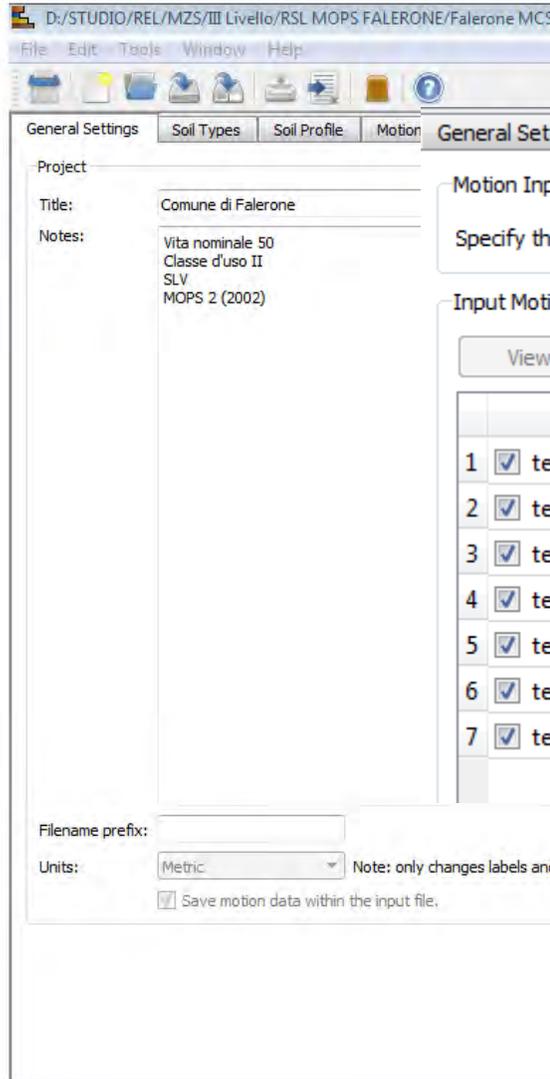
30

Scaled records

No

# Risposta sismica locale

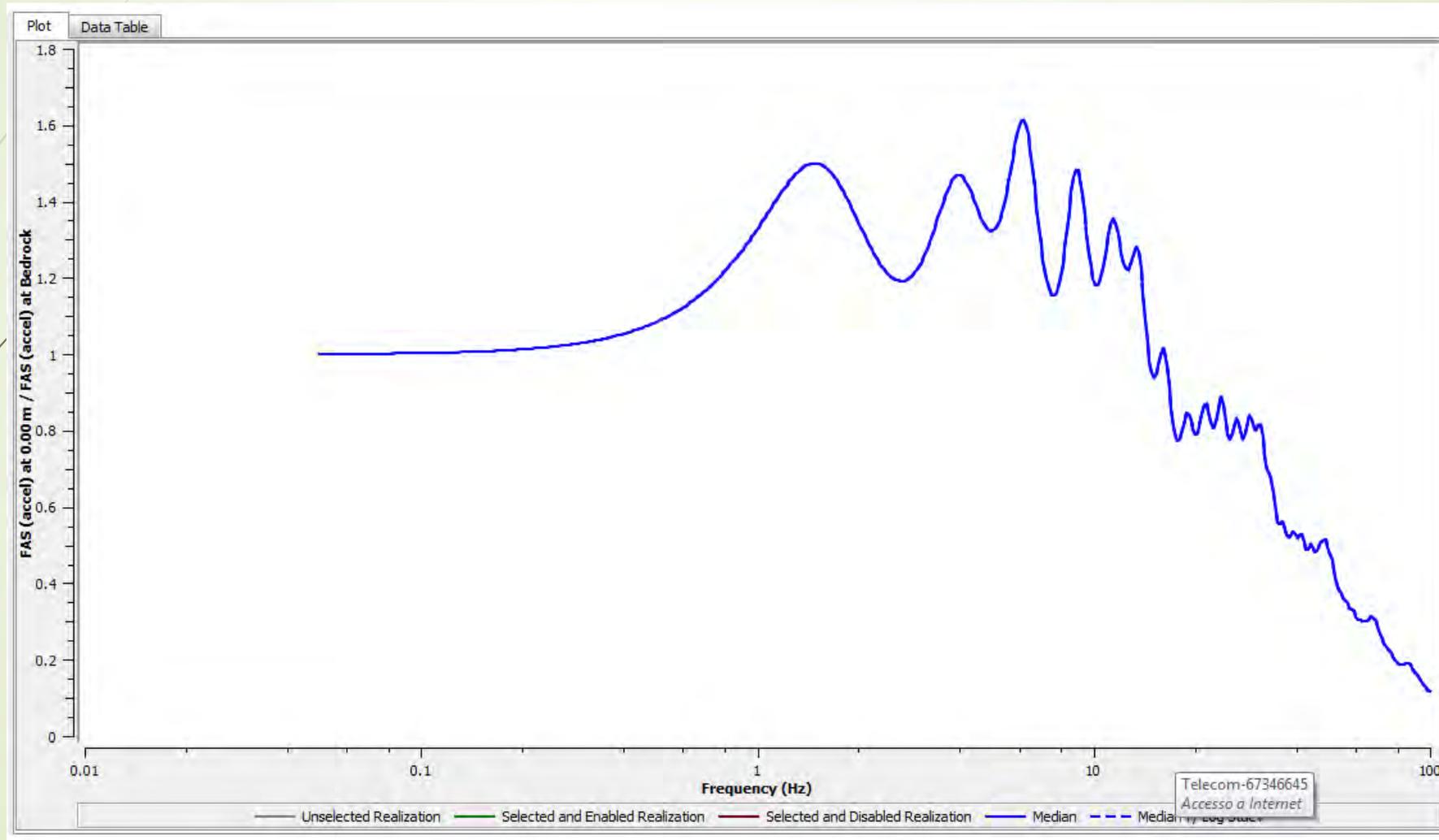
## Analisi 1D – condizioni elastiche



# Risposta sismica locale

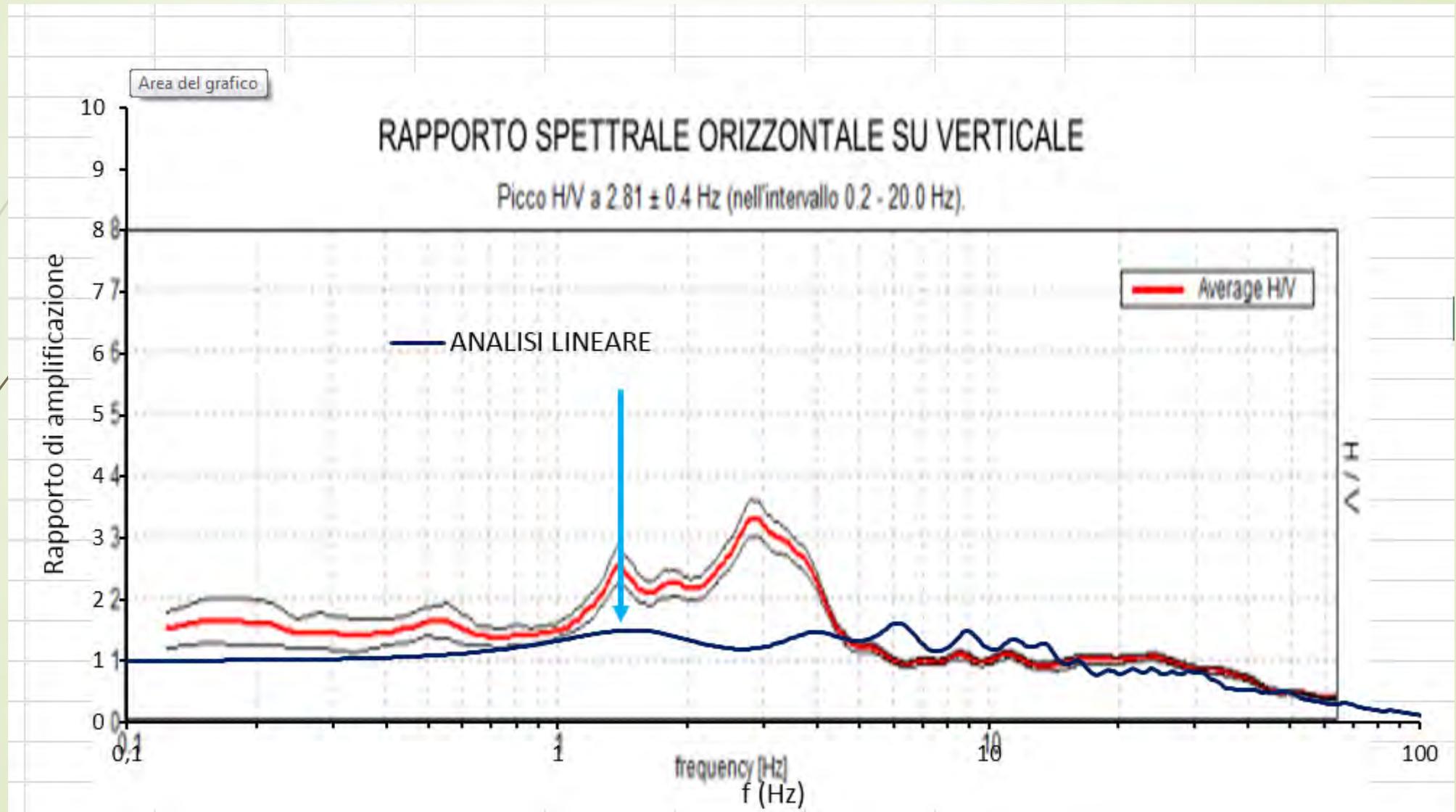
## Analisi 1D – condizioni elastiche

RISULTATO ANALISI: Curva Funzione Trasferimento

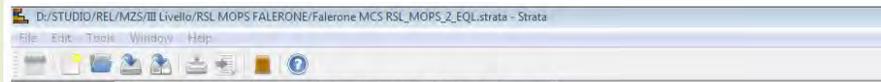


Risposta sismica locale  
Analisi 1D – condizioni elastiche

RISULTATO ANALISI: Curva Funzione Trasferimento



# Risposta sismica locale Analisi 1D – condizioni EQL



## Soil Types

	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	MLec	19.50	MLec_IP da 20 a 36	MLec_IP da 20 a 36	
2	SMec	19.00	SMec	SMec	
3	SMtf	19.00	SMtf	SMtf	
4	GWtf	18.50	GWtf	GWtf	
5	GRS	20.00	GRS	GRS	
6	COS	20.50	ALS-COS	ALS-COS	
7	ALS	20.50	ALS-COS	ALS-COS	

## Input Motions

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\BO.SMN0A..HNE.D.20001006.043017.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.23	20.96	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\II.A6391..HNE.D.19990506.230051.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.16	11.00	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.19	12.81	1.00
4	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.19	11.41	1.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\IV.T1212..HNE.D.20161026.171036.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.18	12.26	1.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\IV.T1212..HNN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.28	24.65	1.00
7	<input checked="" type="checkbox"/> terremoti falerone\NZ.KIKS.20.HN2.D.20161113.113207.C.ACC.ASC		Outcrop (2A)	0.10	14.82	1.00

Number of realizations:   
 Vary the nonlinear properties  
--shear modulus reduction curve  
--damping ratio curve

## Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	10.00	GRS	392.00
2	10.00	15.00	ALS	501.00
3	25.00	45.00	GRS	594.00
4	70.00	5.00	ALS	620.00
5	75.00	40.00	COS	680.00
6	115.00	Half-Space	Bedrock	850.00

Risposta sismica locale  
Analisi 1D – condizioni EQL

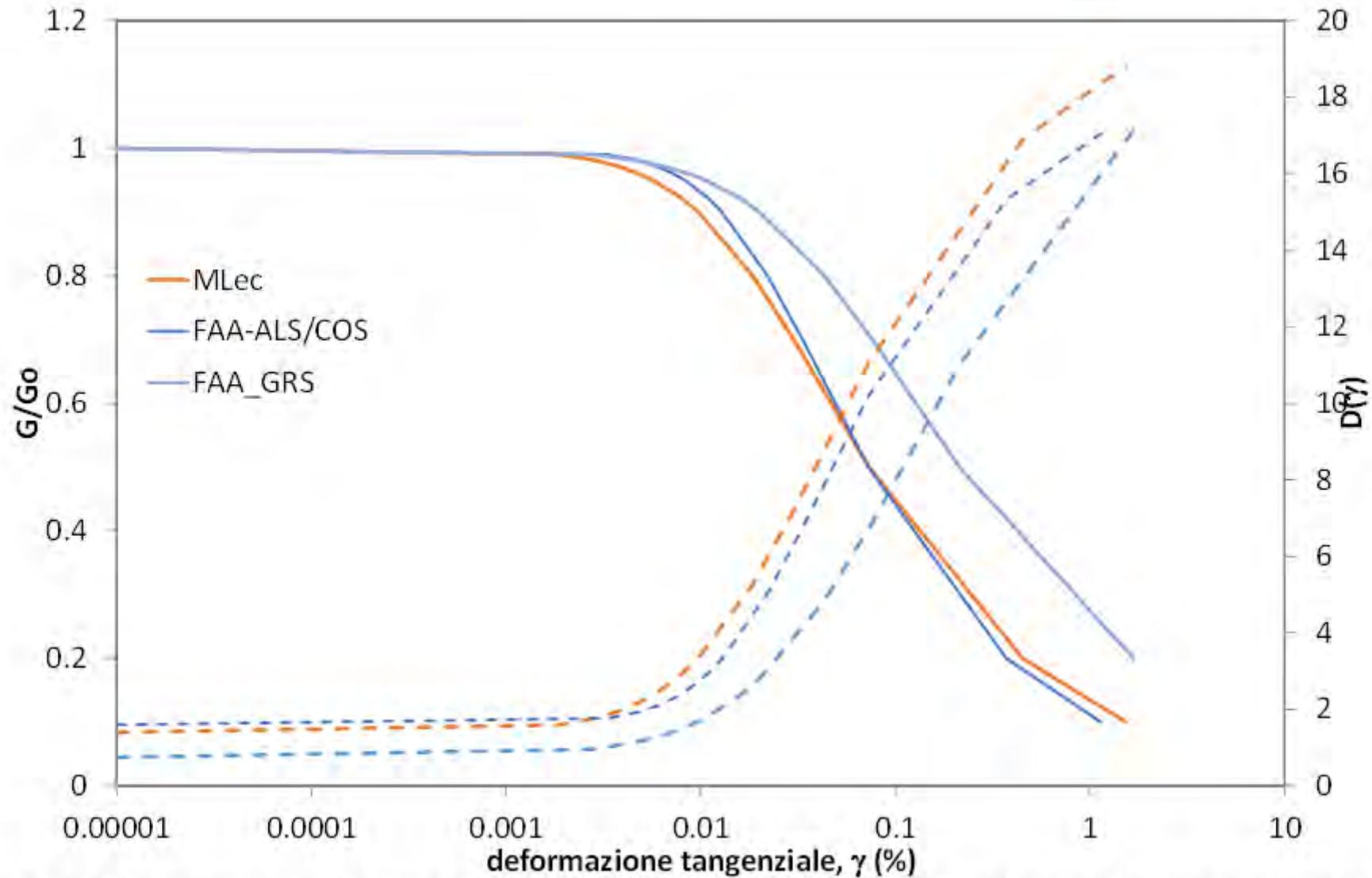
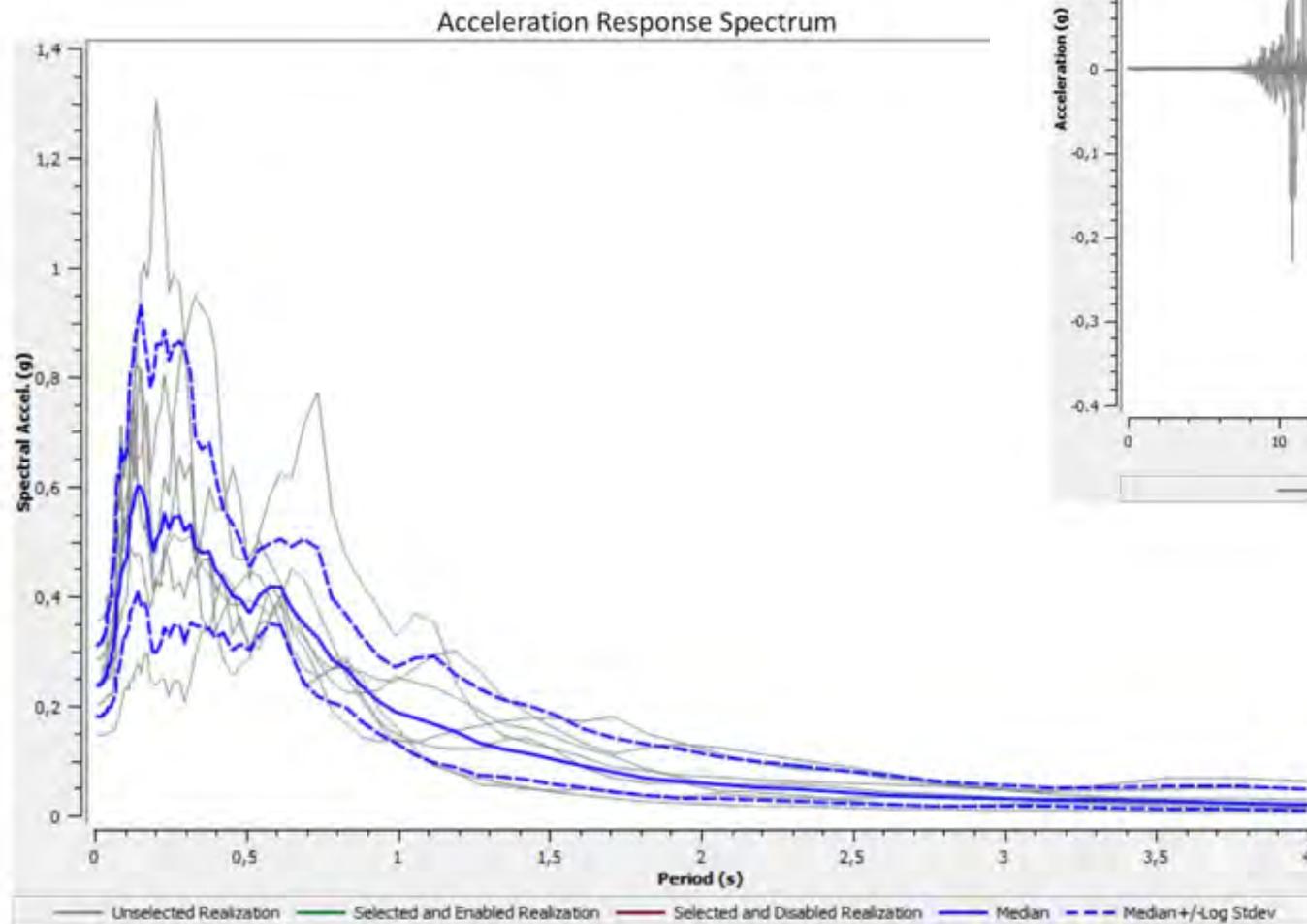
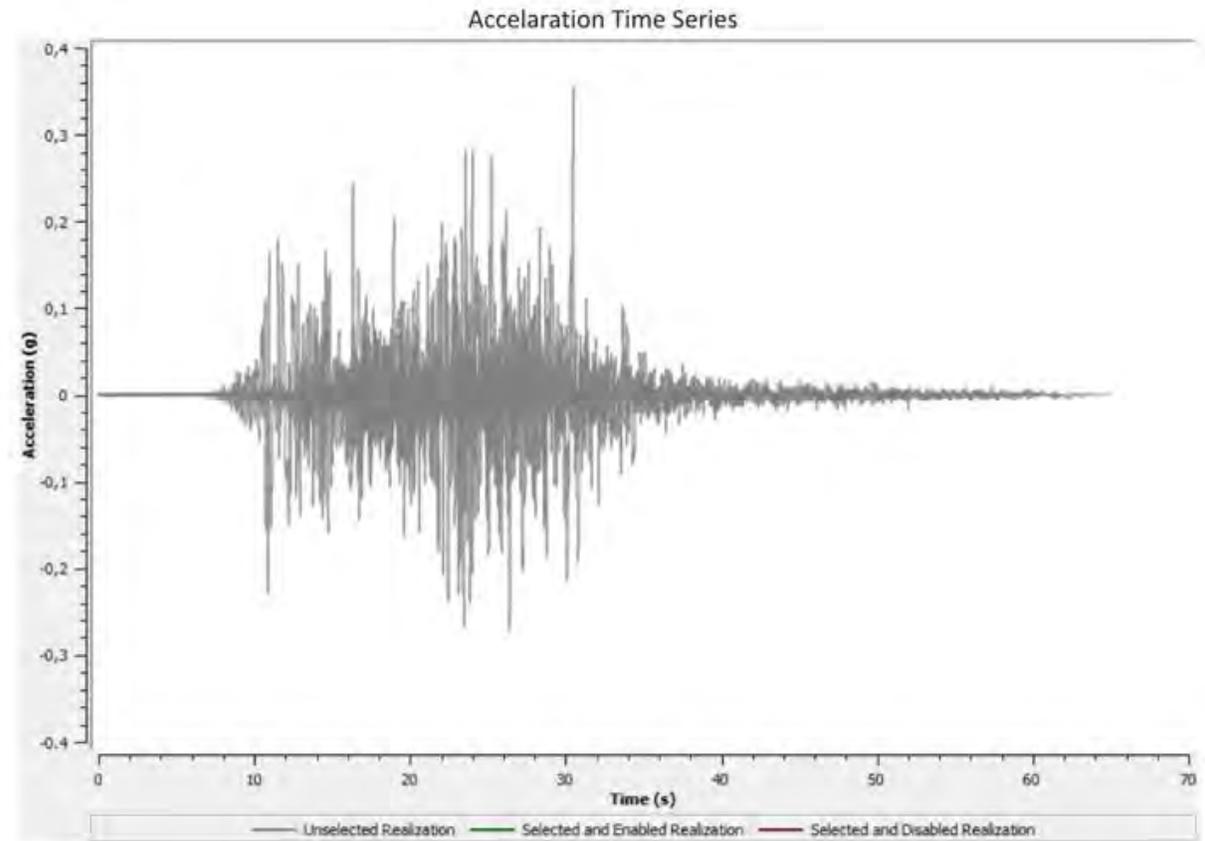


Figura 17 – Curve del decadimento del modulo di taglio e dell'andamento del fattore di smorzamento con il livello di deformazione

# Risposta sismica locale Analisi 1D – Risultati.



spettro di risposta in accelerazione



accelerogramma

# Risposta sismica locale

## Analisi 1D – Risultati.

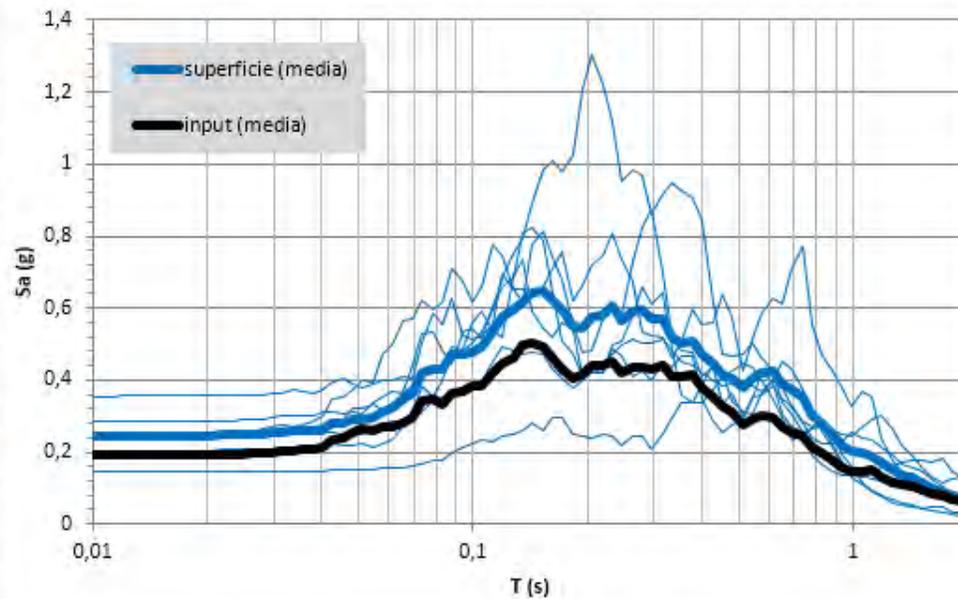
### Calcolo del Fattore di Amplificazione

FA 0.1-0.5	FA 0.4-0.8	FA 0.7-1.1
1,30	1,38	1,40

I valori di FA sono calcolati come media logaritmica dei valori di FA relativi ai 7 accelerogrammi utilizzati

$$m_{ln} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \ln(FA_i)$$

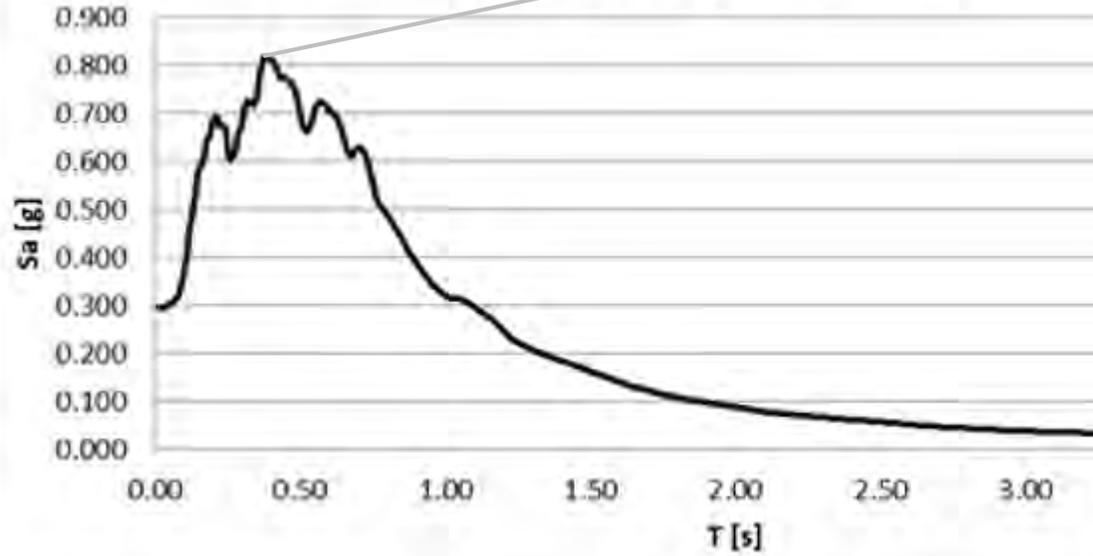
$$FA_{ref} = e^{m_{ln}}$$



Risposta sismica locale  
RSL 2D

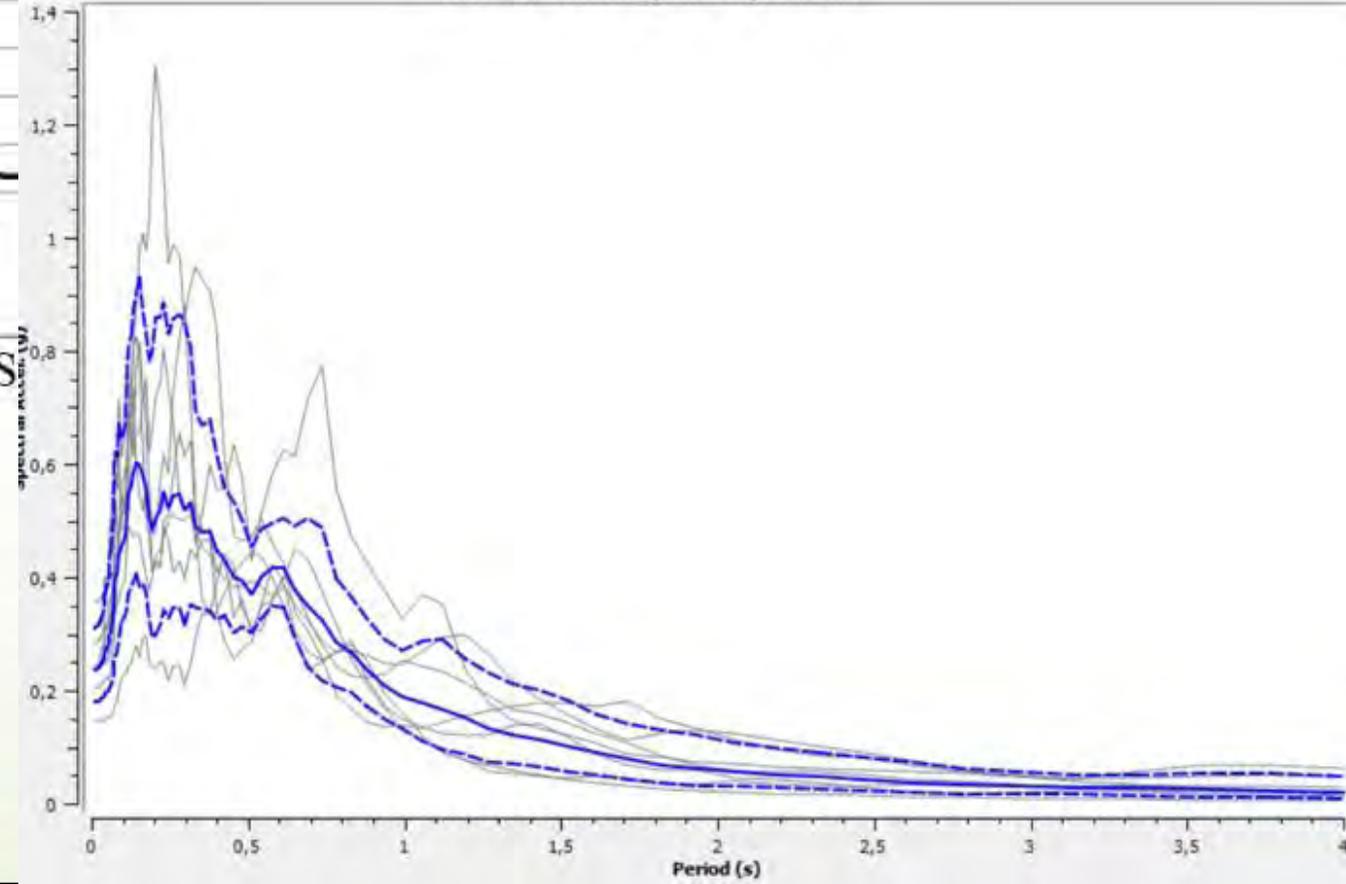
Picco: 0,819g  
 $T=0,357$  s ( $\rightarrow 2,80$  Hz)

**MOPS 2002 Centro Storico**

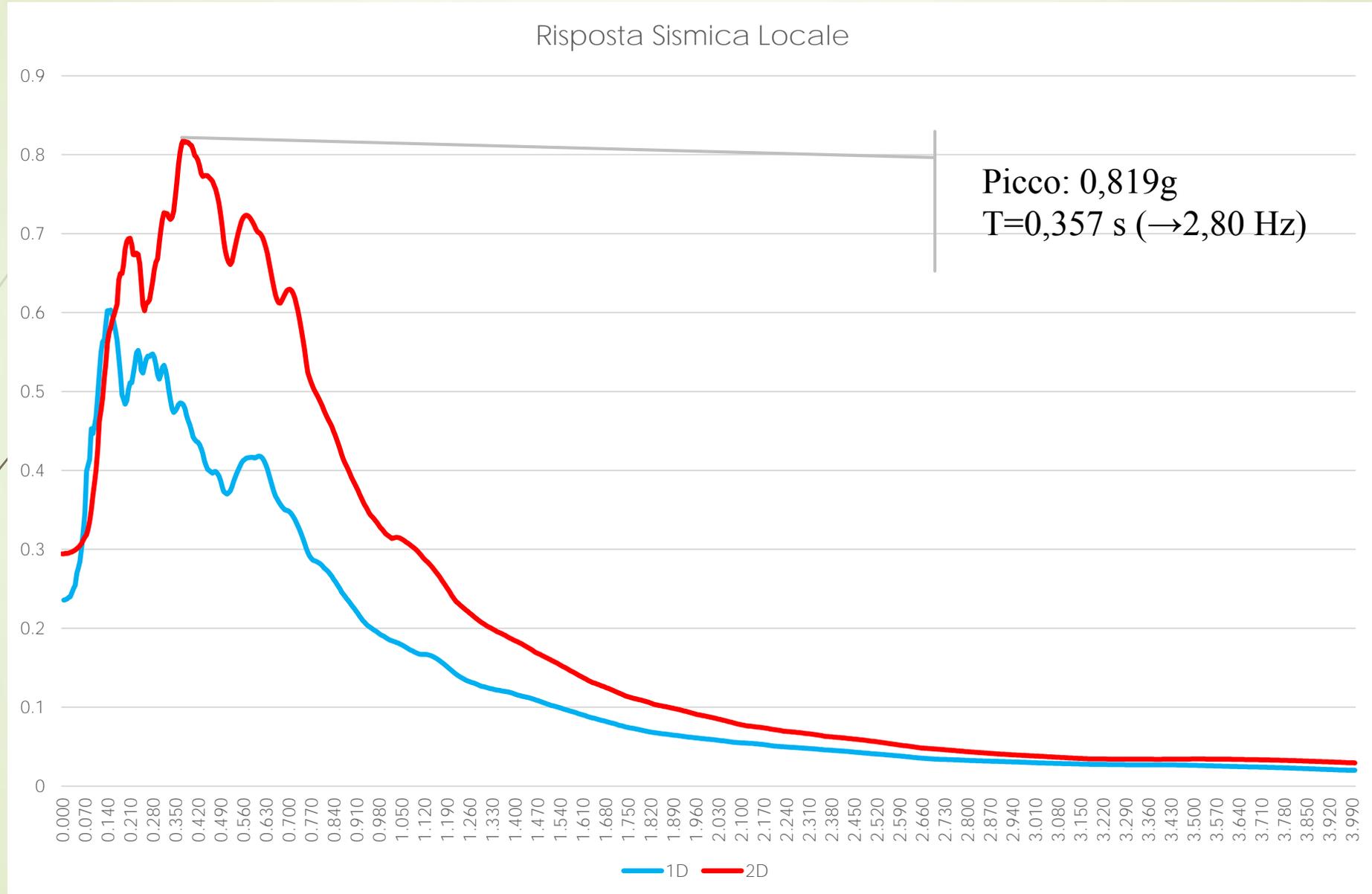


Acceleration Response Spectrum

Figura 12 : Spettro medio MOPS 2002 Centro S



# Risposta sismica locale RSL 2D



# Risposta sismica locale – FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

RSL 1D

<b>FALERONE</b>			
<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1 - 0,5</b>	<b>FA 0,4 - 0,8</b>	<b>FA 0,7 - 1,1</b>
2001	1,55	1,42	1,22
2002	1,30	1,38	1,40

RSL 2D

<b>FALERONE</b>			
<b>MOPS</b>	<b>FA 0,1 - 0,5</b>	<b>FA 0,4 - 0,8</b>	<b>FA 0,7 - 1,1</b>
2001	1,55	1,42	1,22
2002	1,30	<u>1,93*</u>	<u>2,08*</u>
2002 centro storico	<u>1,66*</u>	<u>2,31*</u>	<u>2,26*</u>



# Ringraziamenti:

Geol.Fabio Del Moro  
Geol.Massimo Basili

Geol.Gabriele Cutini  
Geol.Diana Talamonti



Grazie per l'attenzione .....