



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa MS livello 3

Regione Toscana  
Comune di Pontremoli



Regione Toscana	Soggetto realizzatore	Data
DIREZIONE AMBIENTE ED ENERGIA Settore Sismica Ufficio Prevenzione Sismica	GRUPPO DI LAVORO: Dott. Geol. Borzacca Paolo Dott. Geol. Necchi Ghiri Andrea Dott. Geol. Giusti Francesco Dott. Geol. Vaselli Luca  Geognostica Apuana srl (Ditta incaricata esecuzione indagini)	Dicembre 2022

## **INDICE**

<b>1 - PREMESSA</b>	<i>pag. 3</i>
<b>2 – TESTI DI RIFERIMENTO TECNICO</b>	<i>pag. 5</i>
<b>3 – INTRODUZIONE</b>	<i>pag. 6</i>
<b>4 – PORZIONE DI TERRITORIO INTERESSATA DALLO STUDIO</b>	<i>pag. 9</i>
<b>5 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO</b>	<i>pag. 10</i>
<b>6 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO</b>	<i>pag. 14</i>
<b>7 – DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO</b>	<i>pag. 14</i>
<b>8 – INDAGINI EFFETTUATE NELL’AMBITO DELLO STUDIO</b>	<i>pag. 19</i>
<b>9 – RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO</b>	<i>pag. 20</i>
<b>6.1 – Sezione SR_1 - Monte San Genesio</b>	<i>pag. 20</i>
<b>6.2 – Sezione SR_2 – Il Monte</b>	<i>pag. 22</i>
<b>6.3 – Sezione SR_3 - Paradiso</b>	<i>pag. 24</i>
<b>6.4 – Sezione SR_4 - Castangiola</b>	<i>pag. 26</i>
<b>6.5 – Sezione SR_5 – La Costa</b>	<i>pag. 28</i>
<b>6.6 – Sezione SR_6 – Ponte Zambeccari</b>	<i>pag. 30</i>
<b>10 – ELABORATI CARTOGRAFICI</b>	<i>pag. 34</i>
<b>10.1 – La carta delle Indagini</b>	<i>pag. 34</i>
<b>10.2 – La Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica</b>	<i>pag. 36</i>
<b>10.3 – La Carta delle MICROZONE OMOGENEE in PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)</b>	<i>pag. 37</i>
<b>10.3.1 – Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali</b>	<i>pag. 40</i>
<b>10.3.2 – Zone di attenzione per le instabilità</b>	<i>pag. 66</i>
<b>11 – ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>	<i>pag. 72</i>
<b>11.1 – Imput sismologico</b>	<i>pag. 73</i>
<b>11.2 – Definizione delle sezioni geologico-tecniche di input</b>	<i>pag. 79</i>
<b>11.3 – Parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni</b>	<i>pag. 79</i>
<b>11.4 – Modellazione numerica</b>	<i>pag. 82</i>
<b>11.5 – Risultati dell’analisi di risposta sismica locale</b>	<i>pag. 90</i>
<b>11.6 – Rappresentazione su mappa ed estrapolazione dei risultati</b>	<i>pag. 98</i>
<b>11.7 – INDICAZIONI DELLA MS3 PER LA GESTIONE DELLA FASE PROGETTUALE</b>	<i>pag. 100</i>
<b>11.8 – GENERALITA’ SULLE INSTABILITA’ DI VERSANTE SISMOINDOTTE</b>	<i>pag. 111</i>
<b>12 – VERIFICHE ESEGUITE NELL’AREA INDAGATA</b>	<i>pag. 123</i>
<b>12.1 – Risultati delle verifiche di stabilità eseguite</b>	<i>pag. 128</i>
<b>13 – CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA</b>	<i>pag. 132</i>
<b>13.1 – ZONE STABILI</b>	<i>pag. 134</i>
<b>13.2 – ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA</b>	<i>pag. 135</i>
<b>13.3 – ZONE DI INSTABILITA’</b>	<i>pag. 142</i>
<b>14 – CONCLUSIONI</b>	<i>pag. 144</i>

## 1 – PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati delle indagini e degli studi di **Microzonazione Sismica di Livello 3 (MS3)** condotti sul territorio del Comune di Pontremoli (Provincia di Massa Carrara).

La Regione Toscana, al fine di dare attuazione all'Ordinanza CDPC n.344/16 disciplinante i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico previsti dall'art.11 della legge n.77 del 24/06/2009, tra cui gli studi di Microzonazione Sismica, con Delibera di **GRT n. 468 del 02/05/2018**, ha disposto la realizzazione di un'ulteriore campagna di studi ed indagini con l'obiettivo di pervenire, per i Comuni interessati, all'implementazione degli studi di MS già effettuati, portandosi dall'approccio qualitativo del I Livello alla quantificazione della risposta sismica locale propria dei Livelli II e III.

Il presente studio è stato eseguito a seguito della Delibera di GRT n.**1162 del 22 ottobre 2018** e l'approvazione dei finanziamenti del Decreto GRT n. 16262 del 04.10.2018.

Lo Studio di MS in oggetto è stato realizzato in accordo a quanto riportato negli **“Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (ICMS)** approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome; documentazione recepita ed adottata dalla Regione Toscana con Del. G.R.T. n. 261/2011.

Allo scopo di realizzare uno Studio di MS a livello regionale omogeneo ed efficace e modulato in funzione della pericolosità sismica e del contesto geologico s.l. del territorio, lo studio è stato impostato seguendo anche le nuove **Specifiche Tecniche Regionali (Edizione 6)** approvate dalla Regione con Del. G.R.T. n.1162/2018.

Con Del. GRT. n.468/2018 sono state inserite le procedure per la predisposizione degli studi di microzonazione sismica di livello 3. Per l'effettuazione delle analisi di risposta sismica locale 2D e la conseguente redazione delle cartografie, sono state predisposte dal settore regionale competente specifiche *“Linee Guida per la Valutazione dell'amplificazione sismica negli studi di microzonazione sismica di livello 3”* a cui si è fatto riferimento nell'ambito del presente studio.

Tale procedura prevede un approfondimento basato su metodologie analitiche di tipo quantitativo (Analisi di Risposta sismica locale e Analisi pseudostatiche) allo scopo di giungere ad una microzonazione del territorio. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della *“Carta di Microzonazione Sismica di livello 3”*.

Le cartografie di MS prodotte sono conformi a quanto previsto al par. 2.4 degli ICMS e sono state realizzate seguendo la procedura per la predisposizione degli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 adottata dalla Regione con Del. GRT. N.1162/2018.

Per l'archiviazione dei nuovi dati di base raccolti e di quelli derivanti dalle nuove indagini condotte è stato utilizzato il software **“Soft\_MS” v4.2.0** che ha permesso l'implementazione con modalità semiautomatiche di una banca dati strutturata mediante Database Access all'interno della quale sono state immagazzinate tutte le informazioni di natura alfanumerica relative alle indagini ed ai parametri ad esse collegate.

Tutti gli elaborati cartografici prodotti sono stati restituiti sia su supporto cartaceo che su supporto informatico previa informatizzazione mediante tecnologia GIS.

A tal fine sono state utilizzate le strutture di archiviazione dei dati alfanumerici e cartografici e le legende ed i layout previsti dagli “**Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica**” redatti dal DPC (**versione 4.2, dicembre 2020**).

Per quanto riguarda il sistema di coordinate di riferimento per tutte le cartografie e per i dati in formato digitali prodotti, è stato adottato il sistema “**WGS\_1984\_UTM\_Zona\_33N**”1 \***EPSG:32633**\*.

La predisposizione delle indagini geognostiche effettuate nell’ambito dello studio è stata svolta nel rispetto delle procedure al **par. 2.1 degli ICMS**, mentre per quanto riguarda le modalità di realizzazione delle indagini, acquisizione dati e presentazione dei risultati si è fatto riferimento a quanto contenuto al **par.3.4 degli ICMS** e nelle **Istruzioni Tecniche del Programma VEL**.

La pubblicazione di S. Foti – Politecnico di Torino; F. Santucci de Magistris – Università del Molise; F. Silvestri – Università di Napoli Federico II; C. Eva – Università di Genova (Supplemento rivista “Ingegneria Sismica”, Anno XXVIII – n.2 – 2011) è stata inoltre presa a riferimento per quanto riguarda gli aspetti legati agli standard di esecuzione e all’efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva e per gli aspetti non contemplati dagli I&C di MS.

Infine, si sottolinea come lo studio di MS di Livello 3 condotto sul territorio del Comune di Pontremoli sia stato svolto in stretta collaborazione con l’Ufficio Tecnico Regionale competente (Settore Sismica – Prevenzione Sismica) con il quale sin dalle prime fasi di impostazione dello studio è stato intrapreso un **percorso condiviso** nell’ambito del quale sono state concordate sia la tipologia ed ubicazione delle nuove indagini condotte sia le metodologie di elaborazione e di verifica adottate.



## **2 – TESTI DI RIFERIMENTO TECNICO**

**Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica** – GdL DPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

**Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana** – Programma VEL Toscana – Del. GRT. N. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.

**Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 4.2 – dicembre 2020

**Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)** – Conferenza delle Regioni e Provincia Autonome – Presidenza Consiglio dei Ministri (DPC) – Versione 1.0 – Giugno 2015

**Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ)** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 1.0 – Marzo 2017

**Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)** – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 2.1 – Gennaio 2018

**Microzonazione Sismica Regionale** – Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (aggiornamento 02/10/2018) – Approvata con Del. G.R.T. n.1162/2018

**Indicazioni sulla valutazione dell'amplificazione sismica in riferimento agli studi di microzonazione sismica di III livello in Regione Toscana** - a cura di Vittorio D'intinosante - Ufficio Prevenzione Sismica, Settore Sismica – Regione Toscana (Del. GRT. n.468/2018).

### 3- INTRODUZIONE

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di individuare ad una scala sufficientemente grande (scala comunale o sub comunale) l'esistenza di condizioni geologico-stratigrafiche, geomorfologiche e geotecniche locali in grado di:

- 1) modificare le caratteristiche del moto sismico atteso in situazioni ideali di bedrock rigido affiorante e privo di irregolarità morfologiche (pericolosità sismica di base);
- 2) produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture;
- 3) creare fenomeni di instabilità dei terreni.

Tali modificazioni sono note in letteratura come **effetti di sito** e la loro quantificazione rientra in quelli che sono i principali obiettivi degli studi di MS.

La MS rappresenta quindi un fondamentale strumento di conoscenza del territorio in rapporto alle possibili problematiche indotte dall'occorrenza di eventi sismici fornendo informazioni utili per le attività di pianificazione territoriale volte alla riduzione del rischio sismico.

L'individuazione di zone del territorio caratterizzate da un **comportamento sismico omogeneo** permette di giungere ad una valutazione della pericolosità sismica locale attraverso il riconoscimento di zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e zone suscettibili di instabilità.

Nello specifico attraverso questi studi è possibile, all'interno di un determinato territorio, individuare e caratterizzare:

**Zone Stabili:** zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base.

**Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica:** zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio.

**Zone suscettibili di instabilità:** zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, micro zonazione superficiale).

In relazione ai diversi contesti geologico-tecnici, alla pericolosità sismica di base ed in funzione dei diversi obiettivi degli studi di MS, possono essere effettuati n. 3 livelli di approfondimento:

**Livello 1:** livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della **carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)"**

**Livello 2:** livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della **“Carta di Microzonazione Sismica”**;

**Livello 3:** livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della **“Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti”**.

Uno studio di **Microzonazione Sismica di III Livello** prevede la disamina di tutti gli aspetti propri di una microzonazione sismica (stima dell'azione sismica e, quindi, dell'eventuale livello di amplificazione sismica e definizione delle aree di rispetto e/o suscettibilità per le aree instabili) mediante procedure avanzate finalizzate ad una parametrizzazione quantitativa.

In base a quanto riportato nell'Allegato A del **DPGR 5R/2020** è fatto obbligo per le Amministrazioni Comunali di dotarsi all'interno del Quadro Conoscitivo degli Strumenti Urbanistici di uno studio di MS di Livello 2 o 3 dal quale derivare cartografie di pericolosità sismica.

La sintesi di tutte le informazioni derivanti dagli studi di MS di livello 2 e 3, consente la valutazione delle condizioni di pericolosità sismica delle aree studiate, mediante l'attribuzione delle classi di pericolosità sismica, in funzione della variabilità del fattore di amplificazione sismica locale. Pertanto, nelle aree indagate, la redazione della carta di pericolosità sismica si basa non più sulla cartografia MOPS, ma sulla cartografia di microzonazione sismica di livello 2 o 3.

La sintesi di tutte le informazioni derivanti dagli studi di MS di livello 1, 2 o 3 ove presente, secondo quanto previsto dal par. B.6, consente infatti la valutazione delle condizioni di pericolosità sismica locale delle aree studiate all'interno del territorio urbanizzato secondo la seguente classificazione:

**Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):**

- aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie;
- terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche oppure notizie storiche o studi preesistenti;
- aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici;

**Pericolosità sismica locale elevata (S.3):**

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti; aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ )  $> 1.4$ ;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate “APF”, e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici;

**Pericolosità sismica locale media (S.2):**

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione ( $F_x$ )  $< 1.4$ ;
- zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi);
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3;

**Pericolosità sismica locale bassa (S.1):**

- zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

Il **Comune di Pontremoli** possiede uno **studio di MS di Livello 1** ed il presente studio consiste in un **approfondimento di Livello 3** mirato a definire l'entità delle modificazioni del moto sismico indotte dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali, dagli effetti topografici, dagli effetti 2D e da eventuali aggravii del moto dovuti a deformazioni permanenti.

La valutazione dell'amplificazione sismica è stata dedotta tramite la realizzazione di analisi di risposta sismica locale (tipicamente in ambiente bidimensionale) per le quali è stato definito un modello di input **sismologico** (selezione delle storie temporali), **geometrico** (determinazione dell'assetto geometrico sepolto e superficiale dei terreni interessati dallo studio) e **fisico-meccanico** (parametrizzazione in chiave dinamica dei sismostrati oggetto delle analisi di RSL).

#### 4 – PORZIONE DI TERRITORIO INTERESSATA DALLLO STUDIO

Per quanto riguarda l'identificazione delle aree di indagine, sulla base delle indicazioni riportate dalla Regione Toscana con Deliberazione di G.R.T. n.261/2011 e di quanto concordato preliminarmente con i tecnici del Comune di Pontremoli e del Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della Toscana, si ripropone l'area definita per gli studi di LIVELLO 1 e quindi il perimetro del centro abitato con le zone più prossime (a nord e a sud) oltre alle zone artigianale e industriale poste rispettivamente a sud-est, al confine con il limitrofo Comune di Filattiera e a sud nella zona di Novoleto.

A tale scelta, già dal Livello 1, si è giunti considerando vari aspetti legati sia all'estensione del territorio comunale, che avrebbe significato una vastissima campagna di nuove indagini, sia considerando le ipotesi di nuovo sviluppo urbano e di concentrazione residenziale che vede nel capoluogo e nelle aree produttive una giusta applicazione di questo strumento, e infine tenendo conto anche degli aspetti geomorfologici, geologici che potrebbero produrre fenomeni di amplificazione sismica locale.

Dal punto di vista cartografico il territorio del Comune di Pontremoli rientra nel Foglio 233 – Pontremoli della Carta 1:50000 dell'I.G.M.

Il presente studio è stato condotto utilizzando come cartografia di base le Sezioni scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale della Regione Toscana (anno 2010).

Dato che nelle aree in esame è possibile individuare situazioni di:

- i) forme acclivi di superficie (possibili effetti di amplificazione dovuti alla topografia)
- ii) forme articolate del substrato sismico sepolto (possibili effetti di amplificazione 2D)
- iii) presenza di aree soggette a instabilità (possibili aggravii delle amplificazioni),

è stato realizzato uno **studio di MS di Livello 3** in quanto l'utilizzo degli abachi propri del livello 2 non sono applicabili nel caso di modelli complessi come quelli oggetto di studio.

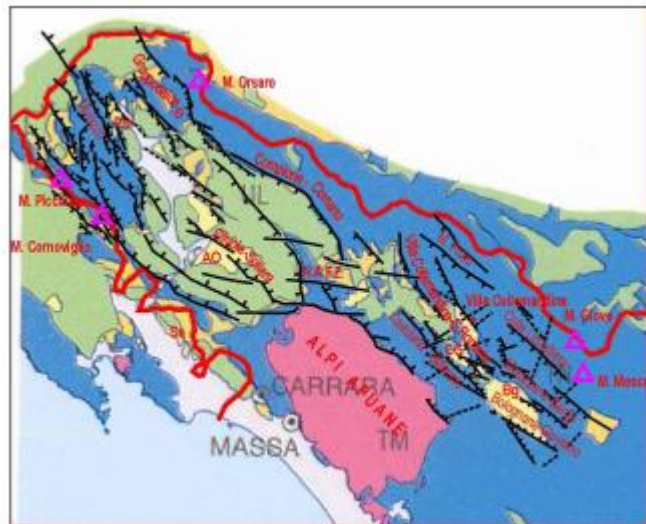
## 5 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO

### Quadro geologico e paleogeografico dell'area

Il territorio comunale di Pontremoli appartiene alla zona nord-est della catena orogenica dell'Appennino settentrionale, parte integrante della fascia di deformazione mediterranea sviluppatasi prevalentemente in tempi neogenici e costituita da una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche.

L'Appennino, infatti, è una catena a falde derivata dalla deformazione (iniziata in età terziaria) del paleomargine continentale della microplacca adriatica prospiciente l'oceano Ligure-Piemontese.

L'edificio strutturale così formato è stato tagliato, in seguito, da linee trasversali ad andamento antiappenninico, imputabili sia a fenomeni di trascorrenza in regime compressivo sia ai movimenti di traslazione che hanno portato le unità liguri ad accavallarsi sul Dominio Toscano come risulta dalla distribuzione areale delle varie unità geologiche.



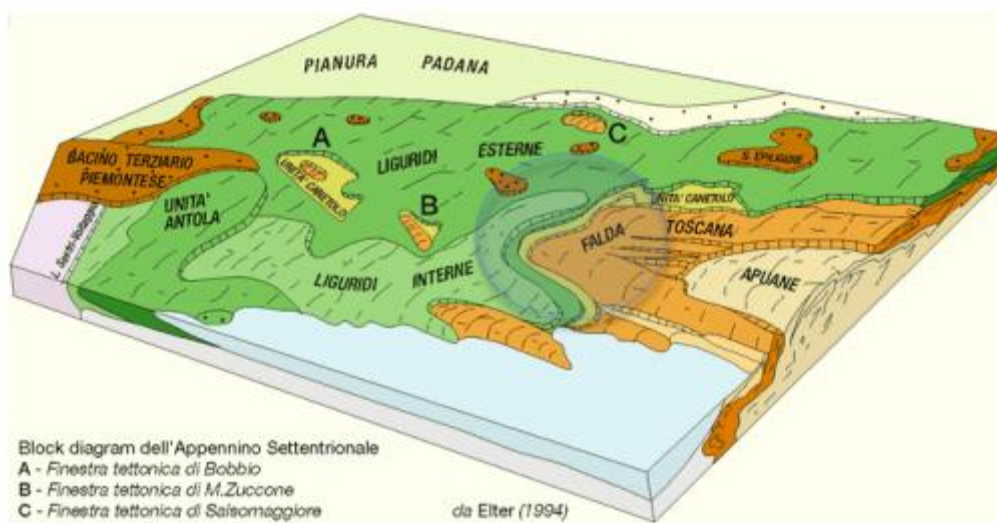
(da Mantovani ed alii, 2012)

La catena appenninica è caratterizzata quindi in questa zona, spostandoci da ovest verso est, dai seguenti domini paleogeografici:

1) **Dominio Ligure:** è rappresentato da varie unità tettoniche (Unità Tettonica di Ottone, Complesso di Casanova, Unità Tettonica della Media Val di Taro), i cui depositi comprendono relitti di basamento oceanico e la relativa copertura sedimentaria. Le unità liguri si suddividono in due grandi gruppi: il Ligure Interno ed il Ligure esterno. Le unità del primo gruppo hanno un carattere tipicamente oceanico, mentre le seconde passano da caratteri di transizione oceano-continente (unità occidentali) a caratteri puramente continentali (unità orientali).

2) **Dominio Subligure:** rappresentato dall'Unità di Canetolo, è una successione sedimentaria profondamente tettonizzata che, pur presentando molti problemi interpretativi, sembrerebbe essere sedimentata in una zona di transizione tra la crosta oceanica ligure e il margine passivo adriatico.

3) **Dominio Toscano:** è rappresentato da tre successioni differentemente deformate: il Dominio Toscano Interno (Falda Toscana non metamorfica) con termini non metamorfici di età variabile dal Trias superiore all'Oligocene superiore; il Dominio Toscano Esterno (Complesso Metamorfico Toscano: Autoctono Auctt. delle Alpi Apuane, metamorfiti del M. Pisano e della Montagnola Senese, ecc), con metamorfismo in facies scisti verdi, che oltre ad una copertura mesozoica e terziaria, comprende anche formazioni paleozoiche del suo basamento ercinico; l'Unità di Massa, frapposta tettonicamente alla Falda Toscana e l'Autoctono costituita da termini paleozoici e del Trias inferiore e medio, che dovrebbe rappresentare il substrato della falda Toscana. La successione mostra l'evoluzione del margine continentale passivo della placca Adria.



### Principali Unità geolitologiche

Nei settori vallivi e di pianura si rinvencono sedimenti quaternari riconducibili a depositi alluvionali attuali e terrazzati, depositi di conoide ed eluvio-colluviali del fiume Magra e dei suoi affluenti che sono andati a ricoprire le principali formazioni geolitologiche che di seguito verranno descritte nei relativi elementi caratteristici propri. Lungo i pendii sono rinvenibili depositi prodotti dai processi morfo-evolutivi del territorio che nel tempo hanno dato vita a vere e proprie coltri detritiche di ricoprimento a loro volta interessate localmente da più recenti movimenti geomorfologici (frane attive e quiescenti).

Di seguito si procede a fornire una descrizione delle principali caratteristiche geolitologiche di ogni formazione presente nell'area in esame:

## DEPOSITI QUATERNARI

**b:** “*Depositi alluvionali attuali e recenti*”; costituiti da ghiaie poligeniche grossolane sciolte in matrice sabbiosa, che definiscono l'alveo attuale dei corsi d'acqua e sono interessati dagli effetti della dinamica fluviale.

**bn:** “*Depositi alluvionali terrazzati*” – (Olocene); costituiti da ghiaie grossolane sciolte sabbie e limi di composizione poligenica con medio grado di addensamento, direttamente proporzionale alla profondità per effetto del carico litostatico. Costituiscono i terrazzi alluvionali e sono caratterizzati da livelli sovrapposti risultato di cicli di alluvionamento dei corsi d'acqua.

Dai dati di base reperiti presso l'amministrazione comunale di Pontremoli e dagli studi effettuati per il progetto VEL, si evince che lo spessore dei depositi alluvionali terrazzati (bn) varia da alcuni metri ad oltre la decina di metri. Nell'area del capoluogo questi depositi sono caratterizzati prevalentemente dalla presenza di ghiaie, ciottoli e blocchi.

**aa:** “*Depositi detritici*” – (Dep. Quaternari); coltri di ricoprimento e accumuli detritici provenienti dall'alterazione del substrato costituiti da materiali sciolti come clasti eterometrici a granulometria variabile immersi in una matrice sabbioso-limosa.

## DEPOSITI VILAFRANCHIANI

**OLP:** “*Conglomerati di Olivola*” – (Villafranchiano); sono sedimenti appartenenti alla successione fluvio-lacustre e sono costituiti da depositi ghiaiosi di varia natura, prevalentemente arenacea, arrotondati e poco cementati sostenuti da una matrice sabbiosa fine talvolta limosa di colore giallastro.

**AUL:** “*Argille, sabbie e Conglomerati di Aulla*” – (Villafranchiano); argille grigie, argille sabbiose e limose con sporadici livelli di sabbie e di ghiaie in matrice argilloso-sabbiosa.

Per quanto riguarda i depositi di Aulla (argille, sabbie e conglomerati di Aulla – AUL) e i conglomerati di Olivola (OLP), dalle stratigrafie raccolte si ipotizza che lo spessore di tali sedimenti vari da alcuni metri ad alcune decine di metri. I maggiori accumuli si hanno per i depositi fluvio-lacustri di Aulla nella parte nord del capoluogo.

Nelle zone collinari presenti sia ad ovest che ad est del capoluogo comunale e nel settore meridionale del territorio di studio, affiorano depositi pliocenici costituiti in gran parte da ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa talora cementate che costituiscono i Conglomerati di Olivola (OLP) (Villafranchiano Sup.).



## DOMINIO LIGURE ESTERNO

**OTO: “*Flysch di Ottone*”** – (Cretaceo sup. Campaniano-Maastrichtiano); Torbiditi calcareo-marnose grigio-scuri in strati da medi a molto spessi (talvolta a base calcarenitica), costituite da calcari marnosi e marne calcaree (prevalenti) a cui si intercalano marne siltose, argilliti e argilliti calcaree, arenarie fini e siltiti. Nella porzione inferiore e media della formazione sono intercalati lembi discontinui di paraconglomerati polimittici, brecce ed olistoliti con clasti di calcari silicei, di radiolariti o di ofioliti e più raramente di marne e graniti, matrice-sostenuti, di colore grigio scuri o grigio-verdi, con matrice scagliosa argillitico-siltosa (più frequente) o siltoso-arenitica; i clasti da subangolosi a subarrotondati, hanno un diametro da centimetrico a metrico (Argilliti di Monte Veri, **OTO1**).

## DOMINIO SUBLIGURE

**CGV: “*Calcari di Groppo del Vescovo*”** – (Eocene inf); appartenenti all’Unità di Canetolo questa formazione è costituita da torbiditi calcaree e calcareo marnose grigio chiare, in strati spessi a cui si intercalano calcilutiti marnose, areniti fini e argilliti marnose; la base calcarenitica e/o ruditica delle torbiditi è frequentemente ricca di bioclasti. Questa formazione è eteropica con la parte alta delle Argille e Calcari di Canetolo.

**ACC: “*Argille e Calcari di Canetolo*”** – (Paleocene sup – Eocene med); appartenente all’Unità di Canetolo questa formazione è costituita da argilliti grigio-scuri o nerastre intervallate da strati medi o sottili di torbiditi calcaree o calcareo-marnose grigio scuri talvolta con base calcarenitica. Gli interstrati si presentano a scaglie o fogliettati, mentre la parte calcarea mostra una tipica fratturazione concoide ed una colorazione ocra per effetto dell’alterazione.

## DOMINIO TOSCANO

**MMA: “*Marne di Marmoreto*”** – (Oligocene sup. Miocene inf); Marne e marne calcaree grigio verdi, a frattura scagliosa, a cui si intercalano strati sottili e medi di areniti e siltiti; a volte si intercalano anche argilliti varicolori.

**OMM: *Olistostroma di M. Modino*”** – (Oligocene sup. Miocene inf); depositi gravitativi di massa, costituiti da litofacies argillitico-calcaree, calcareo – marnose e calcaree del Cretacico inf.

**MAC: “*Macigno*”** – (Oligocene sup. Miocene inf.); arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche grigie o grigio-verdastre costituite da una serie di strati da medi a spessi a granulometria variabile intercalati da sottili straterelli argillitici o siltitici e verso l’alto da livelli pelitici e argillitici da sottili a spessi. Questa formazione rappresenta l’elemento principale della Falda Toscana non metamorfica presente nell’alto bacino del Magra.

## 6 – INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area cui sottende il capoluogo di Pontremoli, a cui il presente studio fa riferimento, è caratterizzata principalmente da due differenti contesti geomorfologici entro i quali si sviluppano rispettivamente il centro storico della città e la parte nuova tutt'oggi in espansione.

Il borgo antico si è sviluppato all'origine in un lembo di terra discendente dalla zona del Castello, posto su un rilievo collinare a nord, confinato ad est e ad ovest dal Fiume Magra e dal Torrente Verde rispettivamente, proseguendo successivamente lungo il lato sinistro del F. Magra dopo la sua confluenza con il T. Verde.

Questo primo contesto morfologico presenta caratteristiche sia di versante (il borgo si inerpica lungo le pendici meridionale e orientale fino a raggiungere il Castello) sia di zona d'alveo; l'area immediatamente precedente la confluenza tra i due corsi d'acqua e quella sulla sponda sinistra del Magra sono state completamente occupate dalla struttura urbana che risulta pertanto allungata a seguire la direzionalità dell'asta fluviale principale.

La parte nuova dell'abitato invece, si è sviluppata sopra una vasta piana alluvionale depositata prevalentemente dall'azione del T. Verde denominata appunto "*piana di Verdeno*" che costituisce, attraverso successivi ordini di terrazzamenti alluvionali, la zona di raccordo tra i rilievi collinari posti a ovest e il fondovalle solcato dai corsi d'acqua sopra menzionati.

Alla base dei versanti si sono sviluppate zone più o meno estese di detrito di falda o di versante che nel tempo hanno dato luogo a localizzati movimenti gravitativi la cui tipologia varia a seconda della situazione litologica presente in sito.

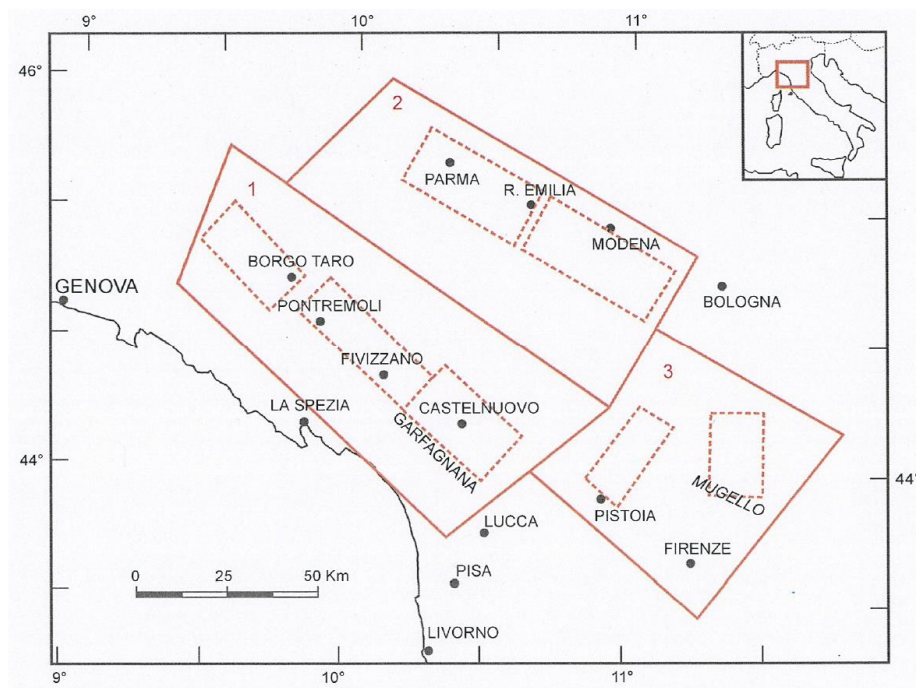
La diversa acclività dei versanti che bordano la zona di fondovalle, nonché le diverse forme dei rilievi presenti nell'area sono strettamente legate alle caratteristiche dei litotipi affioranti: forme dolci, con impluvi e displuvi ampi e arrotondati, oltre ai versanti poco acclivi, sono caratteristici di rocce prevalentemente argillitiche, mentre forme tortuose e versanti a maggior acclività sono tipiche di rocce lapidee.

## 7 – DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

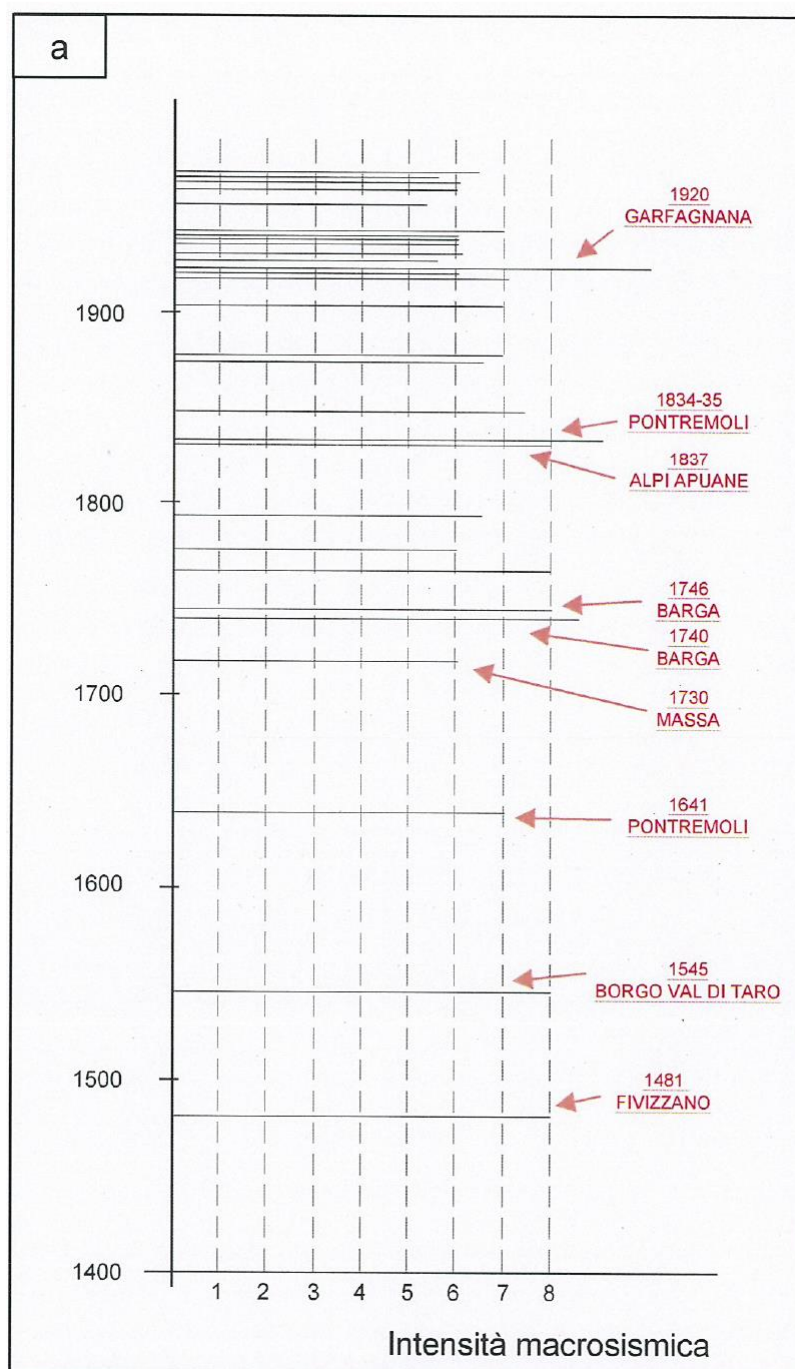
L'attività sismica dell'Appennino Nord-Occidentale può essere associata a tre aree principali:

- 1) Garfagnana – Lunigiana: situate sul bordo est della parte interna della catena, nelle quali la neotettonica ed il vulcanismo confermano l'esistenza di strutture prevalentemente tensionali;
- 2) Bordo appenninico e sottosuolo padano, corrispondente all'attuale fronte attivo della catena con caratteristiche compressive;
- 3) Pistoia – Mugello: la depressione del Mugello è ancora una struttura a carattere distensivo mentre l'allineamento sismico di Pistoia ha caratteri trascorrenti.

La distribuzione delle sorgenti sismiche è presentata nella figura seguente:



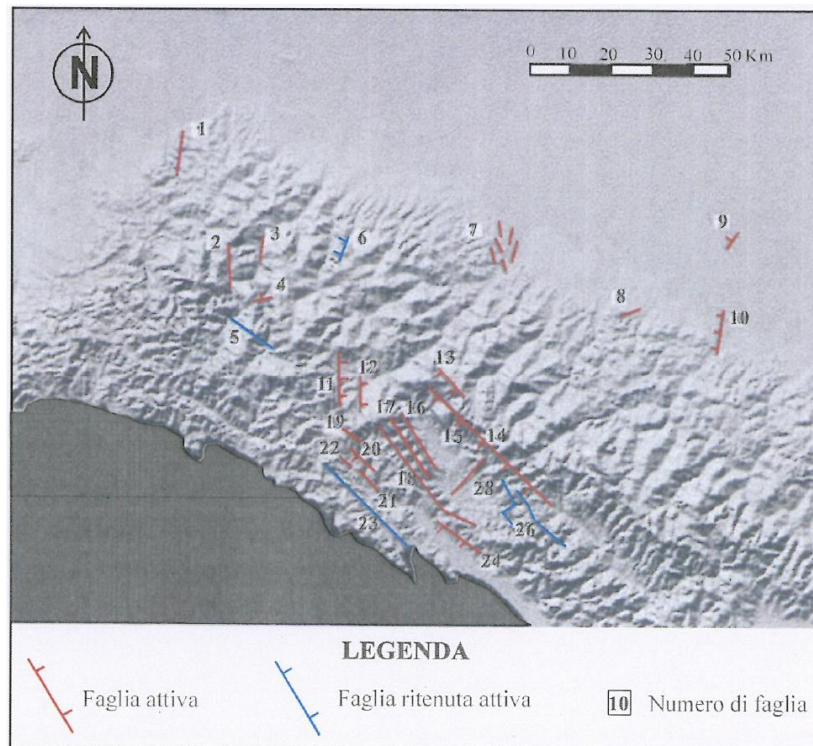
La Toscana settentrionale è un'area caratterizzata da una storia sismica importante, con una discreta frequenza di eventi sismici ad elevata intensità macrosismica.



In particolare, la Lunigiana è caratterizzata da elevata sismicità che si realizza attraverso faglie singole e/o sistemi di faglie, tutti prevalentemente con un andamento NW-SE come mostrato in Bellucci et al. (1990).

In particolare si hanno faglie plurichilometriche che nel loro insieme costituiscono un'unica grande struttura tettonica distensiva morfogenetica dall'inizio del Pliocene, comprendente due fosse tettoniche, quella della Val di Vara e quella della Val di Magra, con interposto l'Horst di Monte Picchiara – Monte Cornoviglio (Bernini, 1991; Del Tredici, 1996; Elter e Schwab, 1959; Federici, 1980; Raggi, 1985; Zanelli, 1993).

Tuttavia le due fosse presentano attività sismica differenziata durante il Pleistocene: l'attività più recente sembra maggiormente concentrata nella fossa tettonica della Val di Magra, dove alcune faglie, oltre a condizionare la deposizione, tagliano i depositi del Pleistocene medio-superiore con rigetti di alcune decine di metri; la maggior sismicità è presente proprio in quest'area (Cattaneo et al., 1987; Boschi et al., 1995).



Secondo l'O.P.C.M. n°3274 del 20 marzo 2003, il Comune di Pontremoli (MS) viene riclassificato come **ZONA 2**.

Gli epicentri degli scuotimenti più significativi, che in quest'area non superano in genere il grado VIII della Scala M.C.S. (Postpischl, 1985), sono localizzati in aree limitrofe; il sisma che colpì la Garfagnana-Lunigiana il 7 settembre 1920 (IX-X grado M.C.S.) fu comunque avvertito distintamente in questa zona (Boschi & alii, 1995), dove provocò vari danni agli edifici (VI grado M.C.S., secondo Patacca & alii, 1986). Nella tabella sono riportati alcuni dei terremoti principali che hanno interessato il territorio di Pontremoli.

**Storia sismica di Pontremoli**  
**[44.377, 9.882]**

Numero di eventi: 26

Effetti

In occasione del terremoto del:

Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
6	1545	06	09	15		BORGIO VAL DI TARO	5	7-8	5.33
7-8	1834	02	14	13	15	ALTA LUNIGIANA	101	8-9	5.64
6-7	1834	07	04	00	35	ALTA LUNIGIANA	21	6-7	5.14
4-5	1849	11	28	18	15	VAL DI TARO	6	6-7	5.03
NF	1857	02	01			PARMENSE	22	6-7	5.26
4	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1515	10	6.29
5	1903	07	27	03	46	LUNIGIANA	79	7-8	5.15
3	1909	01	13	00	45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
NF	1911	02	19	07	18	Romagna meridionale	185	7	5.38
5	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
NF	1915	01	13	06	52	AVEZZANO	1040	11	6.99
7	1920	09	07	05	55	Garfagnana	638	10	6.48
7	1921	05	07	06	15	PONTREMOLI	19	7	5.03
2	1921	11	29	12	04	BORGIO VAL DI TARO	10	5	4.81
4	1927	10	28	21	49	BEDONIA	51	6	5.13
4	1928	02	21	04	37	VARESE LIGURE	8	6	4.56
6	1934	06	13	09	06	BORGIO VAL DI TARO	29	6	5.22
NF	1937	12	10	18	04	APPENNINO MODENESE	28	7	5.42
3-4	1939	10	15	14	05	GARFAGNANA	62	7	5.20
4	1951	05	15	22	54	LODIGIANO	126	6	5.24
3	1957	08	27	11	54	ZOCCA	58	6	5.06
3	1963	07	19	05	45	MAR LIGURE	70	5	5.91
5	1972	10	25	21	56	PASSO CISA	198	5	4.95
4	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10
5	1995	10	10	06	54	LUNIGIANA	341	7	5.04
NF	1998	03	26	16	26	APPENNINO UMBRO-MARCH.	408	6-7	5.33

## 8 – INDAGINI EFFETTUATE NELL'AMBITO DELLO STUDIO

Lo studio di MS di Livello 3 si è configurato come implementazione di quello di Livello 1 sia dal punto di vista areale, mantenendo pressochè le stesse perimetrazioni, che dal punto di vista delle nuove indagini eseguite che hanno consentito di approfondire le conoscenze del sottosuolo anche nelle aree collinari.

Le nuove indagini effettuate per l'approfondimento dello studio di livello 3 sono consistite in **n.6 nuovi profili di sismica a rifrazione con onde P e SH (SR)** oltre a **n.6 prove penetrometriche dinamiche (DPSH)** e **n.5 prove penetrometriche statiche (CPT)**.

Per le nuove indagini di LIV3 è stata seguita una **numerazione nuova** rispetto a quella utilizzata nello Studio di Primo livello.

Nella seguente tabella riassuntiva si riportano le denominazioni delle nuove indagini eseguite:

<b>MS_3Liv_PONTREMOLI – STESE SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P e SH</b>		
<i>SIGLA</i>	<i>LOCALITA'</i>	<i>DATA</i>
<b>SR_1</b>	<i>Monte S. Genesio</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>SR_2</b>	<i>Il Monte</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>SR_3</b>	<i>Paradiso</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>SR_4</b>	<i>Castangiola</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>SR_5</b>	<i>La Costa</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>SR_6</b>	<i>Capoluogo –Ponte Zambeccari</i>	<i>Lug.2020</i>
<b>MS_3Liv_PONTREMOLI – – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPERPESANTI E PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (Tot.n.6+5)</b>		
<i>SIGLA</i>	<i>LOCALITA'</i>	<i>DATA</i>
<b>DIN1 e CPT1</b>	<i>Monte S. Genesio</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>DIN2 e CPT2</b>	<i>Il Monte</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>DIN3 e CPT3</b>	<i>Paradiso</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>DIN4 e CPT4</b>	<i>Castangiola</i>	<i>Lug.2019</i>
<b>DIN5-6 e CPT5</b>	<i>La Costa</i>	<i>Lug.2019</i>

TABELLA RIEPILOGATIVA INDAGINI CONDOTTE EX-NOVO PER LOD STUDIO DI MS DI LIVELLO 3



## 9 – RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO

L'approfondimento dello studio di Microzonazione di livello 3 integrato sulla scorta delle indagini sismiche e geotecniche precedentemente elencate ha permesso di ricostruire il profilo litologico e stratigrafico delle porzioni di versante esaminate, di definire spessori e natura dei vari orizzonti detritici e di delineare morfologia del substrato roccioso compatto in posto.

Le prove penetrometriche dinamiche e statiche, spinte fino al rifiuto strumentale, hanno permesso di determinare il grado di addensamento o consistenza dei terreni detritici e di stimare i parametri geotecnici necessari per le verifiche di stabilità in condizioni sismiche.

### 9.1 – Sezione SR\_1 - Monte San Genesio

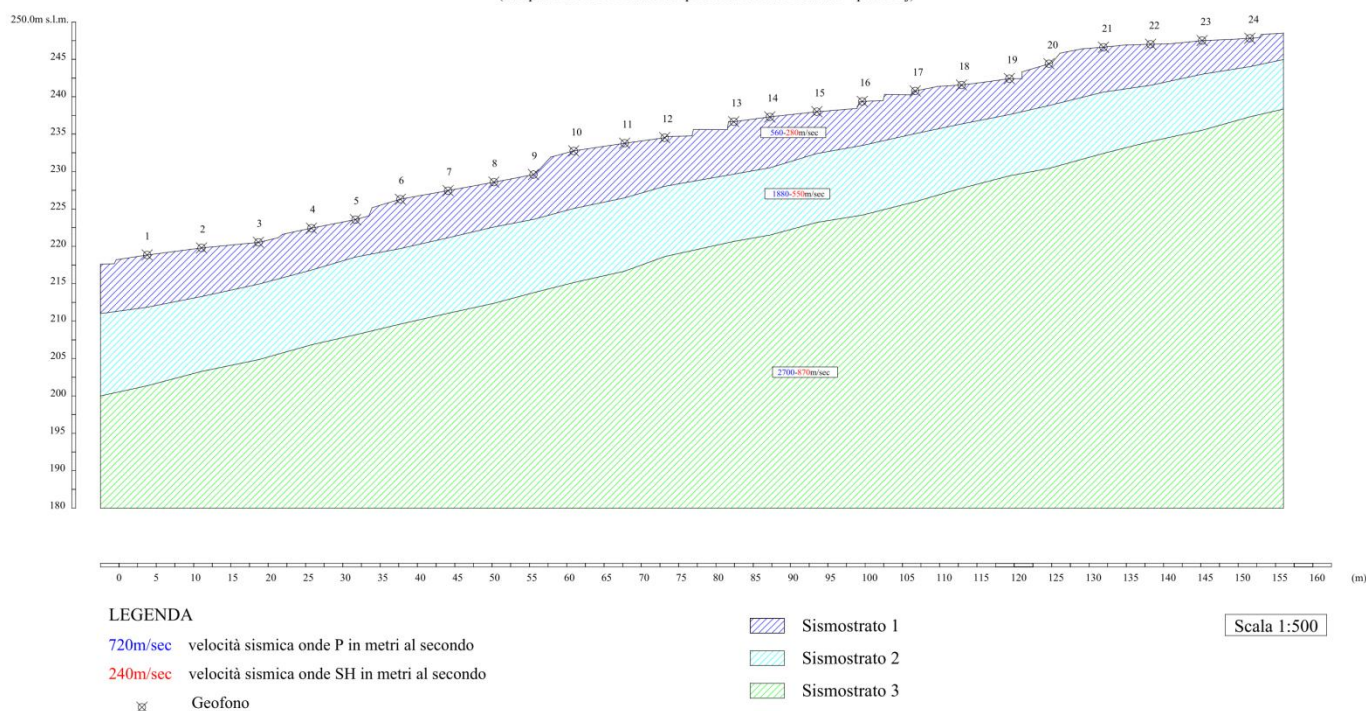
Per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo di questa tratto di versante si è fatto riferimento ad un profilo di sismica a rifrazione con onde P e SH (**SR1**), n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante (**DIN1**) ed una prova penetrometrica statica (**CPT1**), eseguite appositamente nell'ambito del presente studio.

Osservando la Sezione sismostratigrafica sotto riportata, si riconosce un primo orizzonte detritico che riveste il versante con spessori compresi tra 5-7 m; tale deposito è riferibile a sabbie limose prevalenti, con quantità subordinate di elementi lapidei grossolani. Da un punto di vista geotecnico è classificabile come terreno da sciolto a poco addensato ( $N_{spt} < 10$ ), con velocità delle onde SH basse ( **$V_s=280$  m/s**).

La genesi è di natura colluviale, anche se è probabile che tale orizzonte, per le sue scadenti caratteristiche fisico-meccaniche, possa essere stato interessato da dinamiche gravitative più o meno recenti. Non è stata rilevata la presenza di acqua in forma di falda idrica ma si ritiene che nella stagione di massima piovosità questa copertura detritica possa essere interessata da un deflusso al contatto con l'orizzonte sottostante.

Sezione sismostratigrafica interpretativa: Monte San Genesio

(I.T. par. B.1.2.1: "Modalità di presentazione dei risultati" - punto 2.j)





A profondità maggiori la prova penetrometrica dinamica ha registrato un incremento della resistenza, fino al rifiuto strumentale ottenuto alla profondità di 8.8 metri.

Questo andamento della resistenza può significare la transizione ad una successione di orizzonti detritici più grossolani, provenienti dalla diretta detritazione del substrato o, forse, a pacchi di strati molto alterati e/o fratturati ai quali s'intercalano livelli più fini siltitico - marnosi (Formazione del Flysch di Ottone OTO alterato e/o degradato).

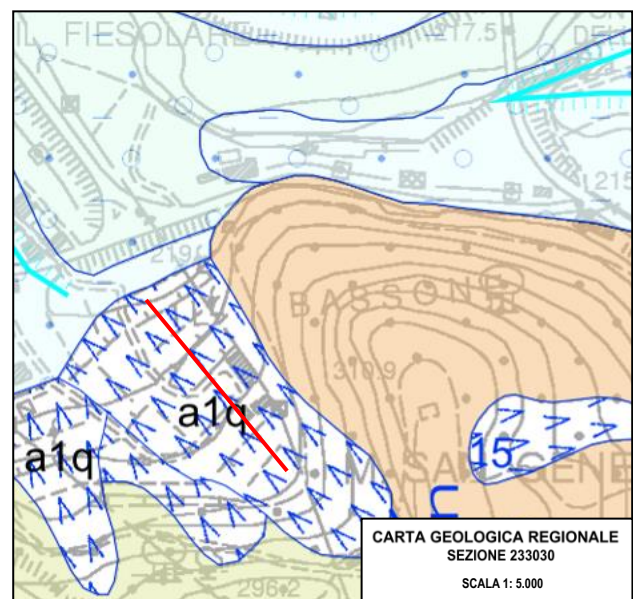
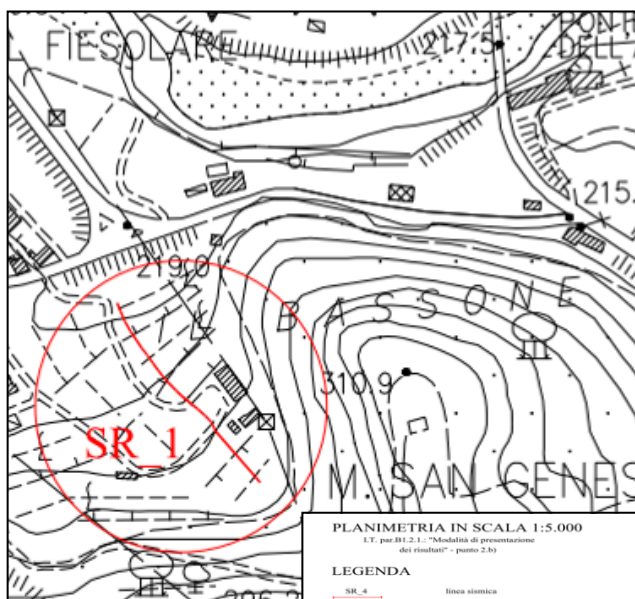
Per quanto sopra si ritiene che questo secondo orizzonte sia costituito da materiali con caratteristiche intermedie tra una roccia molto fratturata ed il detrito.

In ogni caso si esclude che tale orizzonte costituisca il substrato roccioso "saldo".

Da un punto di vista geotecnico è classificabile come terreno da moderatamente addensato ad addensato ( $N_{spt} > 10$ ), con velocità delle onde  **$V_s = 550$  m/s**.

Non si esclude che tale orizzonte possa essere stato parzialmente coinvolto in passato in dinamiche gravitative. Non è stata rilevata la presenza di acqua al suo interno.

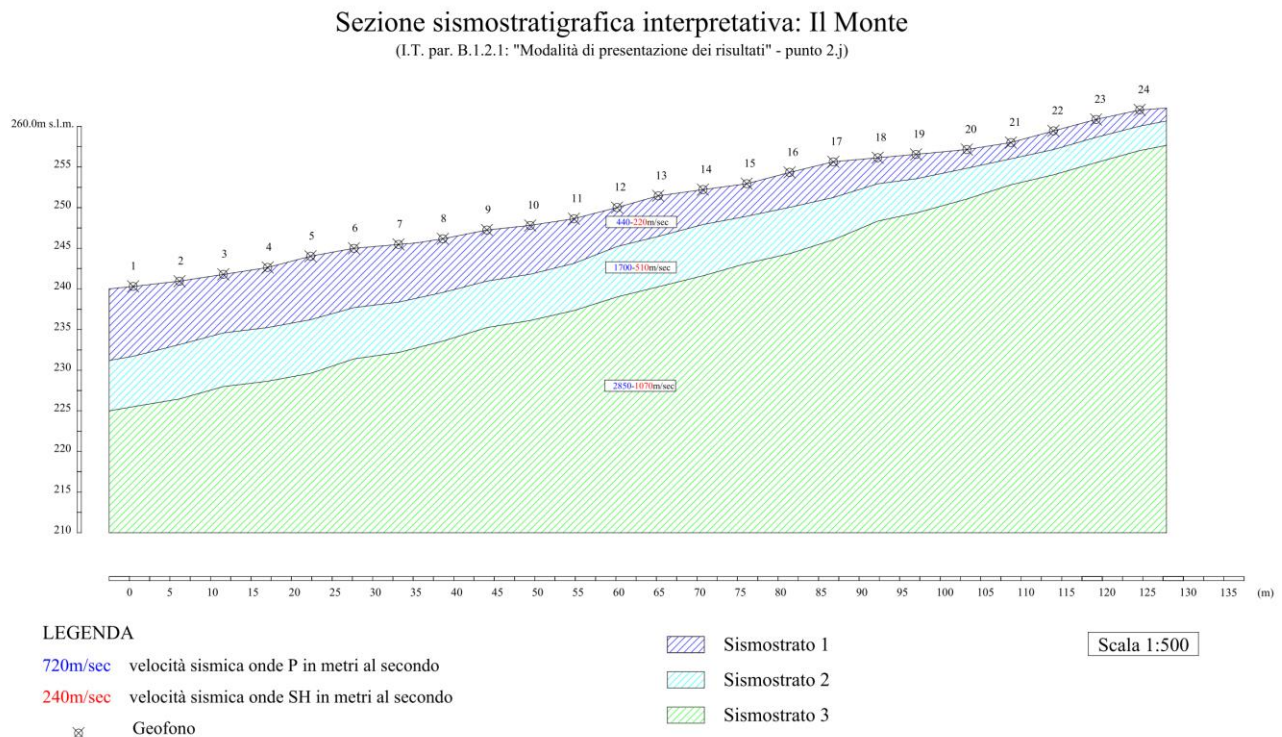
Infine, a profondità comprese tra 10 e 18 m, con valori crescenti verso valle, si attesta il substrato roccioso integro (OTO), con velocità tipiche dei materiali litoidi rigidi ( **$V_s > 800$  m/s**) che pertanto funge anche da bedrock sismico locale.



## 9.2 – Sezione SR\_2 "IL MONTE"

Per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo di questa tratto di versante si è fatto riferimento ad un profilo di sismica a rifrazione con onde P e SH (**SR2**), n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante (**DIN2**) ed una prova penetrometrica statica (**CPT2**), eseguite appositamente nell'ambito del presente studio.

I risultati del profilo di sismica a rifrazione con onde P e SH e le prove penetrometriche dinamiche e statiche hanno evidenziato due orizzonti di terreno detritico, di spessore complessivo superiore a 10 m, sovrapposti al substrato roccioso compatto (**Vs= 1070 m/s**).



Il primo orizzonte detritico riveste il versante con spessori compresi tra 5-7 m; tale deposito è riferibile a sabbie limose prevalenti, con quantità subordinate di elementi lapidei grossolani.

Da un punto di vista geotecnico è classificabile come terreno da sciolto a poco addensato ( $N_{spt} < 10$ ), con velocità delle onde SH basse (**Vs=210 m/s**).

La genesi è di natura colluviale, anche se è probabile che tale orizzonte, per le sue scadenti caratteristiche fisico-meccaniche, possa essere stato interessato da dinamiche gravitative più o meno recenti.

Non è stata rilevata la presenza di acqua in forma di falda idrica ma si ritiene che nella stagione di massima piovosità possa essere interessata da un deflusso al contatto con l'orizzonte sottostante.

A profondità maggiori la prova penetrometrica dinamica ha registrato un incremento della resistenza ( $N_{spt} > 10$ ), fino al rifiuto strumentale registrato alla profondità di 11,4 metri.

Questo andamento della resistenza può significare la transizione ad una successione di orizzonti detritici più grossolani, provenienti dalla diretta detrizione del substrato o, forse, a pacchi di strati molto alterati e/o fratturati ai quali s'intercalano livelli più fini siltitico - marnosi (Formazione delle Argille e Calcari di Canetolo alterata e/o degradata).

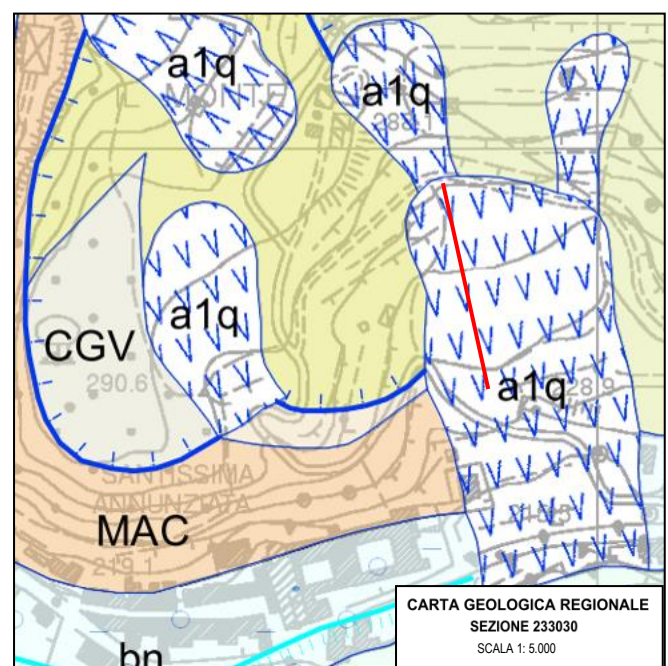
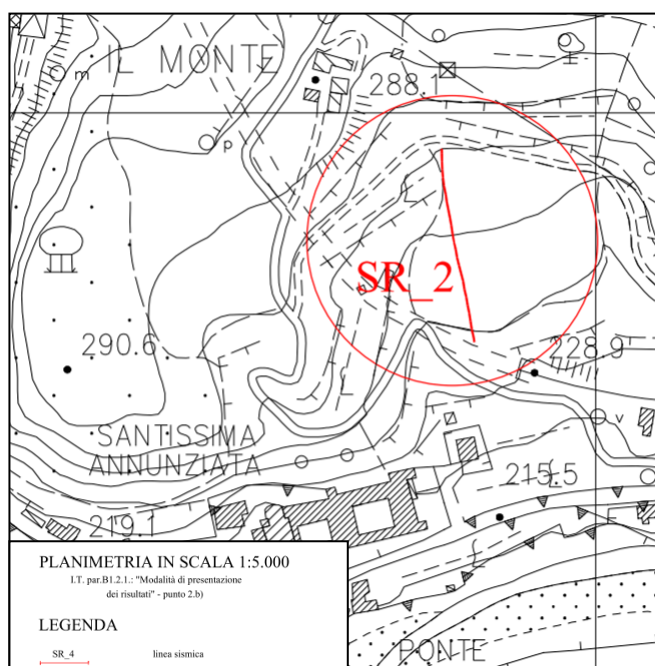
Per quanto sopra si ritiene che questo secondo orizzonte sia costituito da materiali con caratteristiche intermedie tra una roccia molto fratturata ed il detrito di roccia.

In ogni caso si esclude che tale orizzonte costituisca il substrato roccioso "saldo".

Da un punto di vista geotecnico è classificabile come terreno da moderatamente addensato ad addensato ( $N_{spt} > 10$ ), con velocità delle onde  **$V_s = 510$  m/s**.

Non si esclude che tale orizzonte possa essere stato parzialmente coinvolto in passato in dinamiche gravitative. Non è stata rilevata la presenza di acqua al suo interno.

Infine, a profondità comprese tra 5 e 15 m, con valori crescenti verso valle, si attesta il substrato roccioso integro (ACC), con velocità tipiche dei materiali litoidi rigidi ( $V_s > 800$  m/s) che pertanto funge anche da bedrock sismico locale.

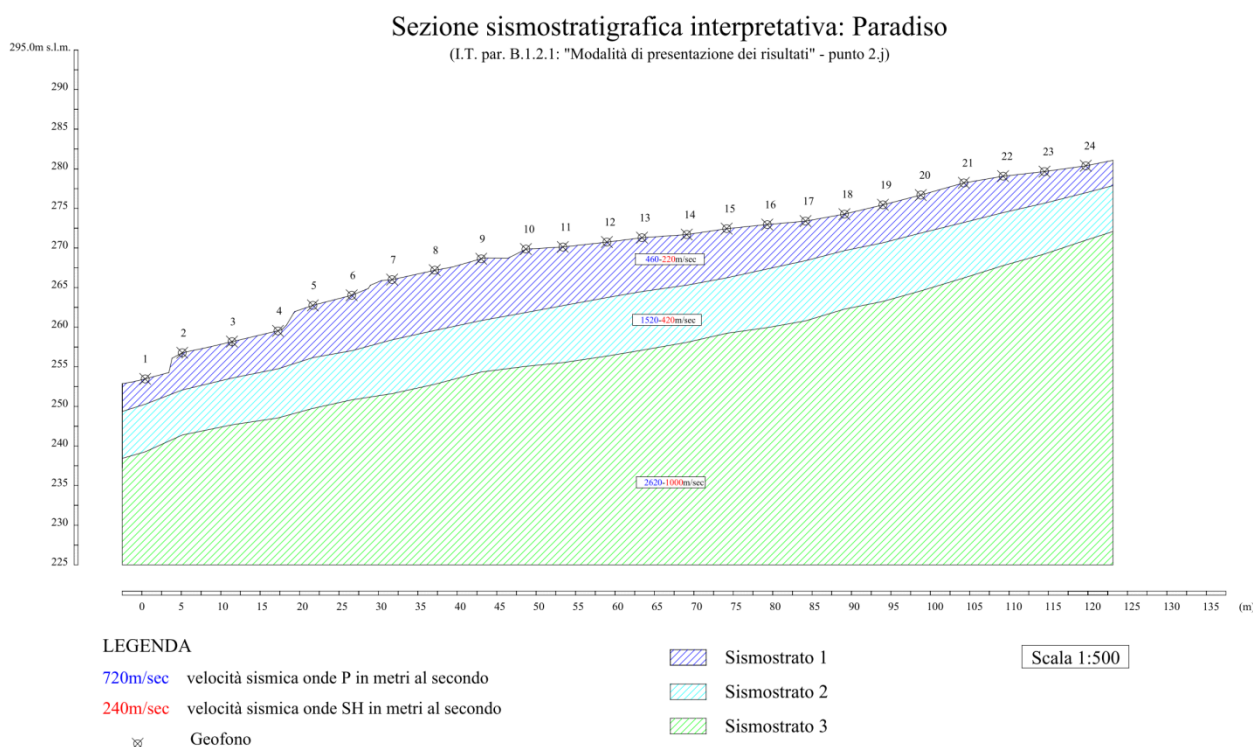




### 9.3 – Sezione SR\_3 "PARADISO"

Per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo di questa tratto di versante si è fatto riferimento ad un profilo di sismica a rifrazione con onde P e SH, n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante (**DIN3**) e n.1 prova penetrometrica statica (**CPT3**) eseguite appositamente nell'ambito del presente studio.

L'analisi dei risultati ha evidenziato due orizzonti di terreno detritico, di spessore complessivo compreso tra 10 e 15 m, sovrapposti al substrato roccioso compatto (**Vs= 1000 m/s**).



Il primo orizzonte detritico riveste il versante con spessori compresi tra 4 e 8 metri; tale deposito è riferibile a sabbie limose - argillose, con quantità subordinate di elementi lapidei grossolani.

Da un punto di vista geotecnico è classificabile come terreno sciolto ( $N_{spt} < 4$ ), con velocità delle onde SH basse (**Vs=220m/s**).

La genesi è di natura colluviale, anche se è probabile che tale orizzonte, per le sue scadenti caratteristiche fisico - meccaniche, sia stato interessato da dinamiche gravitative più o meno recenti.

E' stata rilevata la presenza di acqua in forma di falda idrica alla profondità di 3.9 m dal p.c. (mese di luglio 2019), quindi è plausibile ritenere che nella stagione di massima piovosità l'acqua possa permeare il terreno a quote ancora più superficiali.

A profondità maggiori le prove penetrometriche dinamiche hanno registrato un significativo incremento della resistenza, con un numero di colpi crescente con la profondità.

Questo andamento della resistenza può significare la transizione ad una successione di orizzonti detritici più grossolani, provenienti dalla diretta detrizione del substrato o, forse, a pacchi di strati disarticolati e molto alterati ai quali s'intercalano livelli argillitici più fini e fragili (ACC alterati).

Tale comportamento è tipico della formazione delle Argille e calcari di Canetolo che localmente costituisce il substrato geologico in posto.

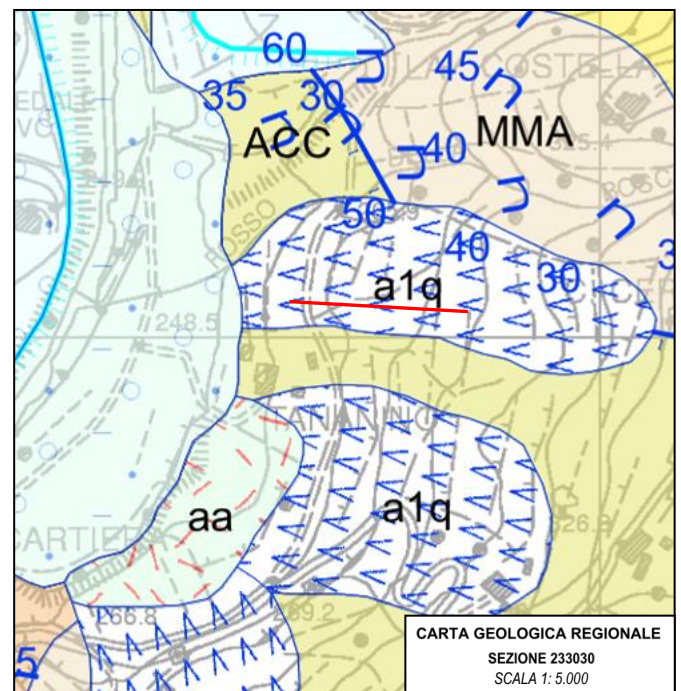
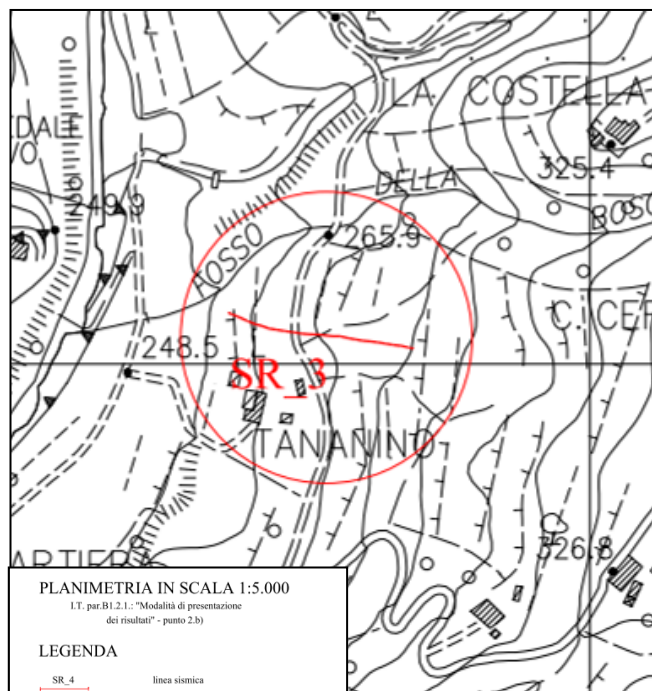
Per quanto sopra si ritiene che questo secondo orizzonte possa essere costituito da materiali con caratteristiche intermedie tra una roccia molto fratturata ed il detrito di roccia (ACC alterato).

In ogni caso si esclude che tale orizzonte costituisca il substrato roccioso "saldo".

Da un punto di vista geotecnico questo secondo livello è classificabile come terreno moderatamente addensato ( $N_{spt} > 10$ ), con velocità delle onde  **$V_s = 420$  m/s**.

Non si esclude che anche questo orizzonte possa essere stato parzialmente coinvolto in passato in dinamiche gravitative.

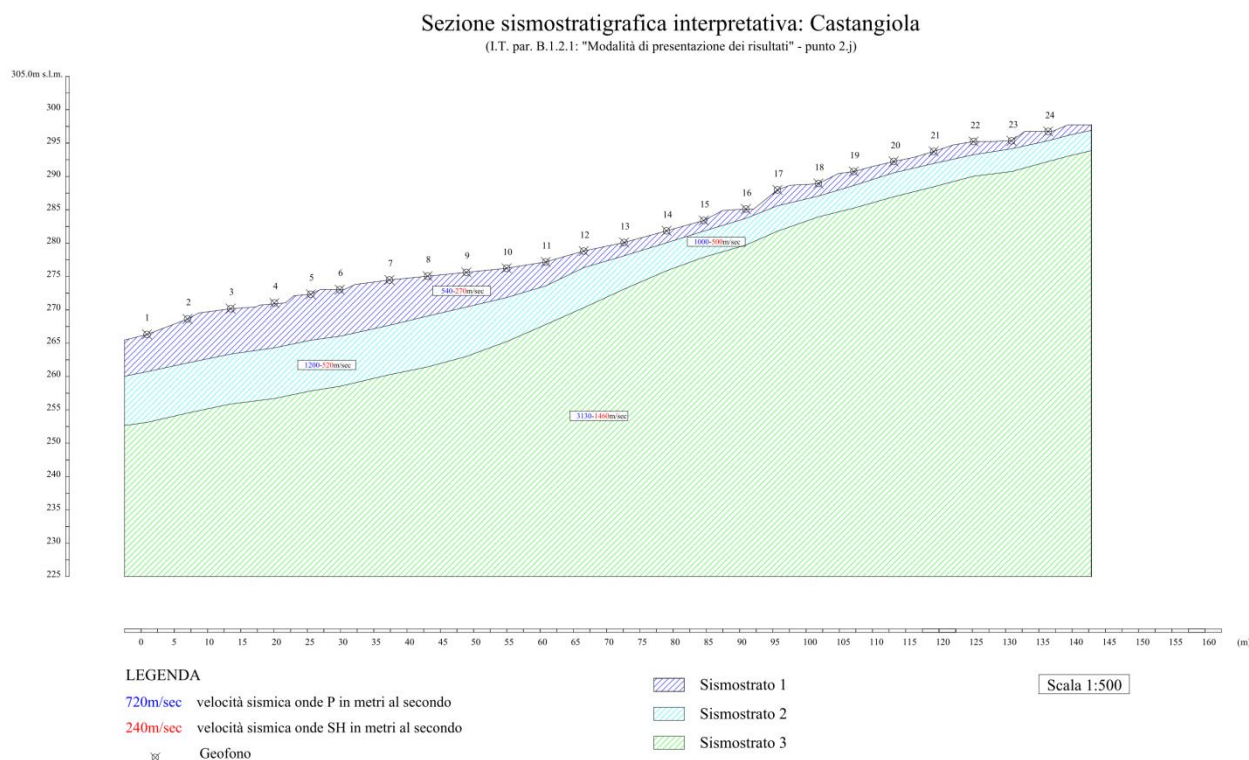
Infine, a profondità comprese tra 10 e 15 m, con valori crescenti verso valle, si attesta il substrato roccioso in posto (ACC), con velocità tipiche dei materiali litoidi rigidi ( $V_s > 800$  m/s), che pertanto funge anche da bedrock sismico locale.



#### 9.4 – Sezione SR\_4 "CASTANGIOLA"

Per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo di questo tratto di versante si è fatto riferimento ad un profilo di sismica a rifrazione con onde P e SH (**SR4**), n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante (**DIN4**) e n.1 prova penetrometrica statica (**CPT4**), eseguite appositamente nell'ambito del presente studio.

L'analisi dei risultati ha evidenziato due orizzonti di terreno detritico, di spessore complessivo compreso fino a 15 m, sovrapposti al substrato roccioso compatto in posto (**Vs= 1460 m/s**).



Il primo orizzonte detritico riveste il versante con spessori crescenti, passando da 2 m a monte fino a quasi 8 m verso valle; tale deposito è riferibile a sabbie limo-argillose, con quantità subordinate di elementi lapidei grossolani.

Da un punto di vista geotecnico è classificabile come terreno poco addensato ( $4 < N_{spt} < 10$ ), con velocità delle onde SH medio-basse (**Vs=270 m/s**).

La genesi è di natura colluviale, anche se è probabile che tale orizzonte, per le sue scadenti caratteristiche fisico - meccaniche, sia stato interessato da dinamiche gravitative anche recenti.

È stata rilevata la presenza di acqua in forma di falda idrica alla profondità di 5.0 m dal p.c. (mese di luglio 2019), quindi è plausibile ritenere che nella stagione di massima piovosità l'acqua possa permeare il terreno a quote più superficiali.

A profondità maggiori la prova penetrometrica dinamica ha registrato un significativo incremento della resistenza, fino al rifiuto strumentale mentre la prova sismica ha registrato velocità delle onde **Vs =500-520m/s**.



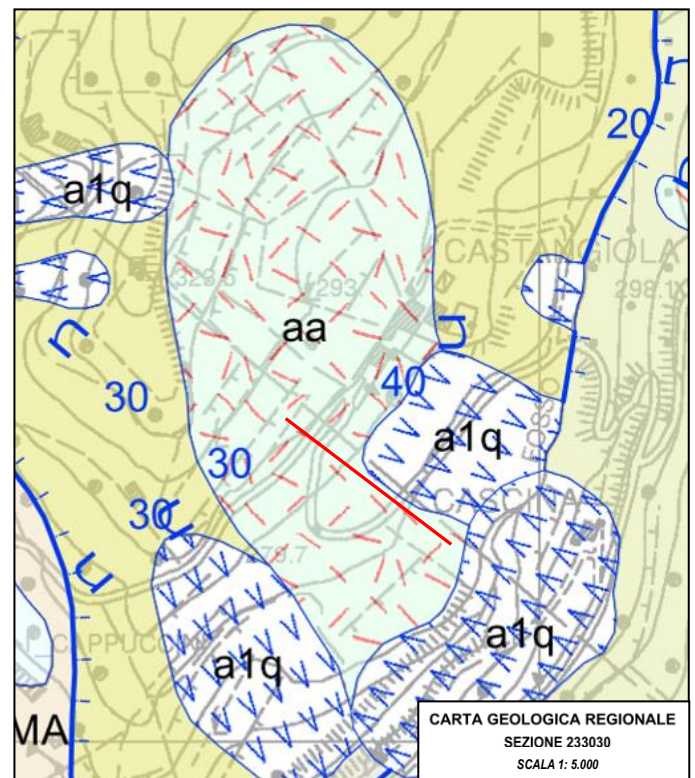
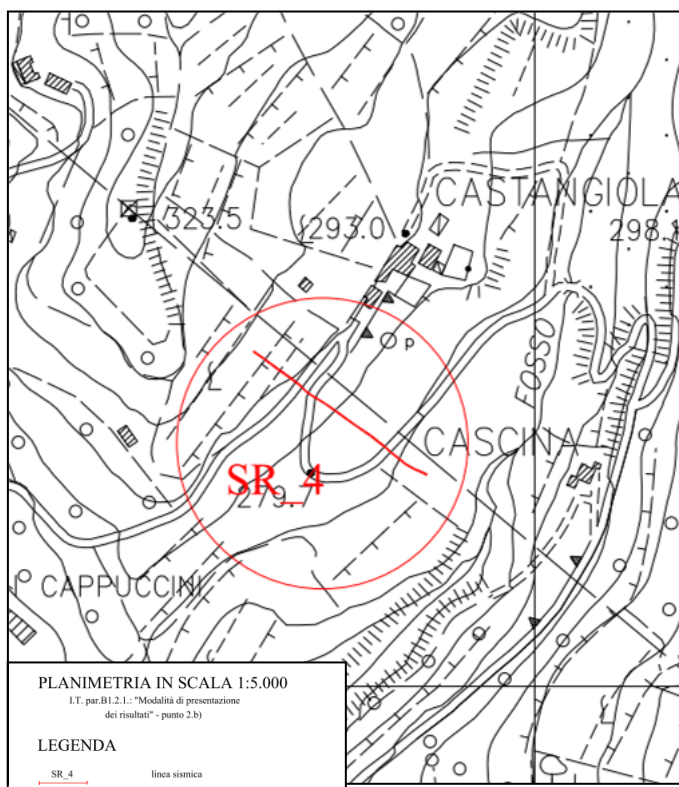
L'incremento della resistenza e della velocità può significare la transizione ad una successione di orizzonti detritici più grossolani, provenienti dalla diretta detrizione del substrato o, forse, da pacchi di strati disarticolati e molto alterati ai quali s'intercalano livelli argillitici più fini e fragili (ACC alterati).

Tale comportamento è tipico della formazione delle Argille e calcari di Canetolo che localmente costituisce il substrato geologico in posto.

Per quanto sopra si ritiene che questo secondo orizzonte sia costituito da materiali con caratteristiche intermedie tra una roccia molto fratturata ed il detrito di roccia (ACC alterato).

In ogni caso si esclude che tale orizzonte costituisca il substrato roccioso "saldo".

Infine, a profondità comprese tra 5 e 15 m, crescenti gradualmente verso valle, si attesta il substrato roccioso in posto (ACC), con velocità tipiche dei materiali litoidi rigidi ( $V_s > 800\text{m/s}$ ) che pertanto funge anche da bedrock sismico locale.



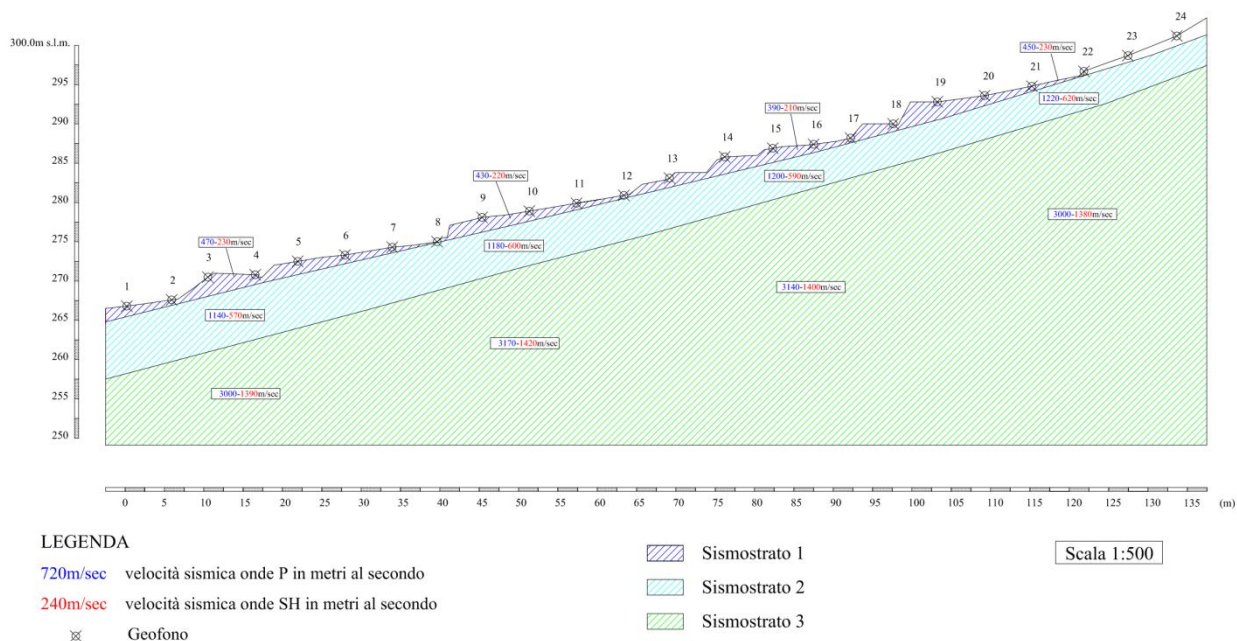
### 9.5 – Sezione SR\_5 "La Costa"

Per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo di questo tratto di versante si è fatto riferimento ad un profilo di sismica a rifrazione con onde P e SH (**SR5**) n.2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (**DIN5** e **DIN6**) e n.1 prova penetrometrica statica (**CPT5**), eseguite appositamente nell'ambito del presente studio.

Osservando la Sezione sismostratigrafica sotto riportata si riconosce un unico orizzonte di terreno detritico di basso spessore (**Vs=210-230m/s**) che ricopre il substrato roccioso alterato e degradato (**Vs=570-620m/s**) e quindi il substrato roccioso compatto (**Vs= 1380-1420m/s**) riferibile alla formazione del Flysch di M. Ottone (OTO).

Sezione sismostratigrafica interpretativa: La Costa

(I.T. par. B.1.2.1: "Modalità di presentazione dei risultati" - punto 2.j)



Il primo orizzonte detritico riveste il versante con spessori generalmente esigui (<2 m); tale deposito ha una genesi colluviale e successivamente è stato in gran parte rimaneggiato dall'opera di terrazzamento antropico.

E' costituito da sabbie limose prevalenti, con quantità subordinate di elementi lapidei grossolani.

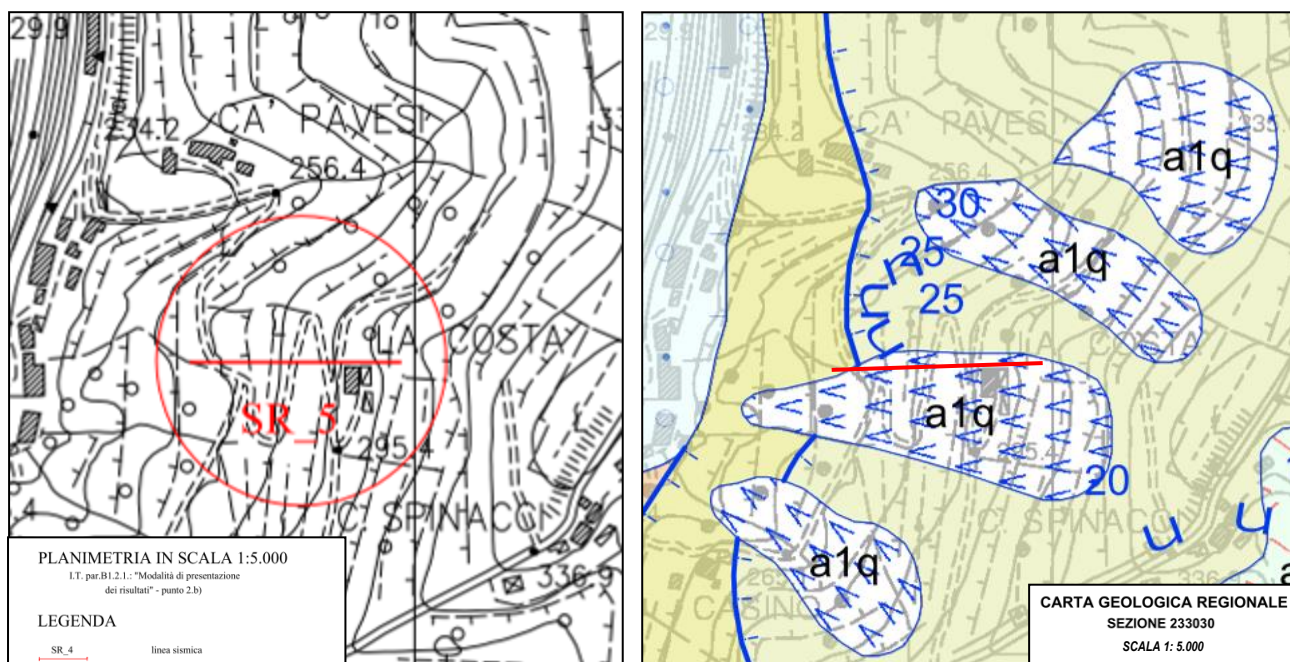
La velocità delle onde SH è piuttosto bassa (**Vs=210 - 230m/s**). Non è stata rilevata la presenza di acqua in forma di falda idrica ma si ritiene che nella stagione di massima piovosità possa generarsi un modesto deflusso idrico al contatto con l'orizzonte sottostante.

A maggiori profondità il profilo sismico ha evidenziato un sismostrato con valori delle velocità decisamente superiori (**Vs = 570 - 620 m/s**) attribuibile alla parte fratturata e degradata del substrato roccioso con caratteristiche intermedie tra una roccia molto fratturata ed il detrito di roccia.

In ogni caso si esclude che tale orizzonte costituisca il substrato roccioso "saldo".

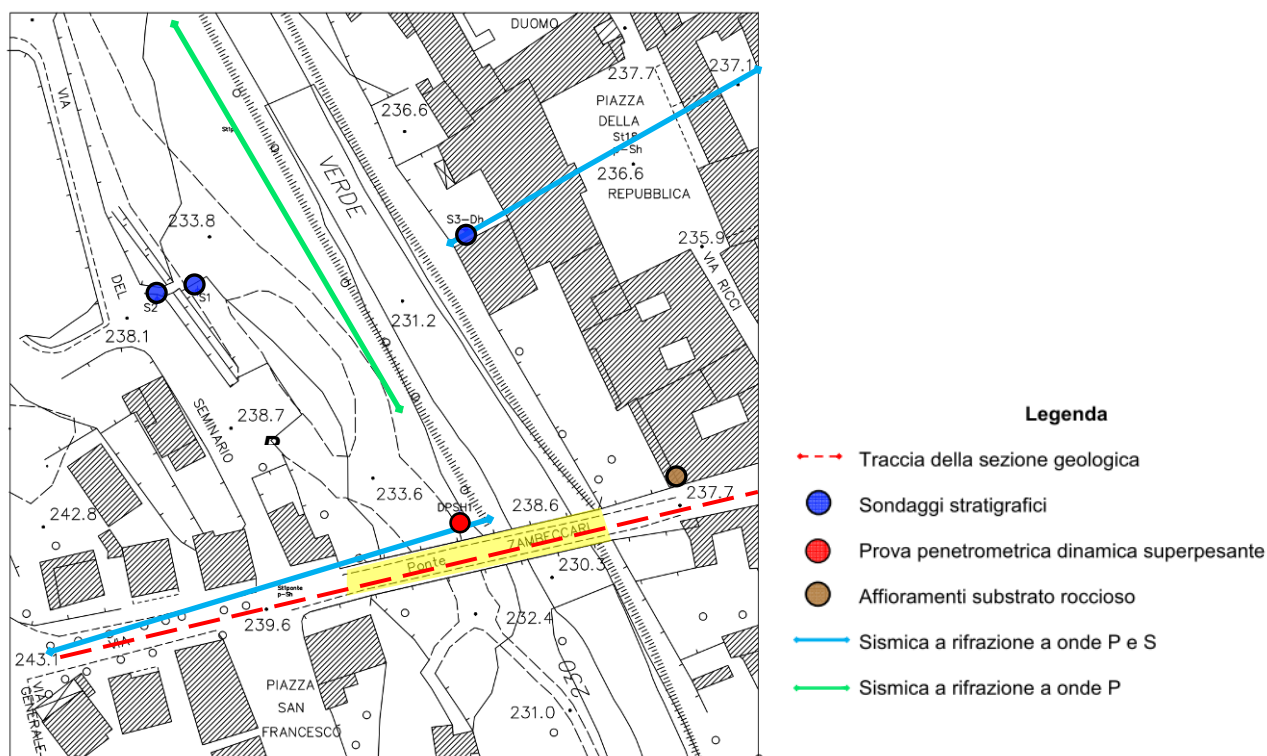


Infine, a profondità comprese tra 5 e 8 m, con valori crescenti verso valle, si attesta il substrato roccioso integro (OTO), con velocità tipiche dei materiali litoidi rigidi ( $V_s > 800\text{m/s}$ ) che pertanto funge anche da bedrock sismico locale.



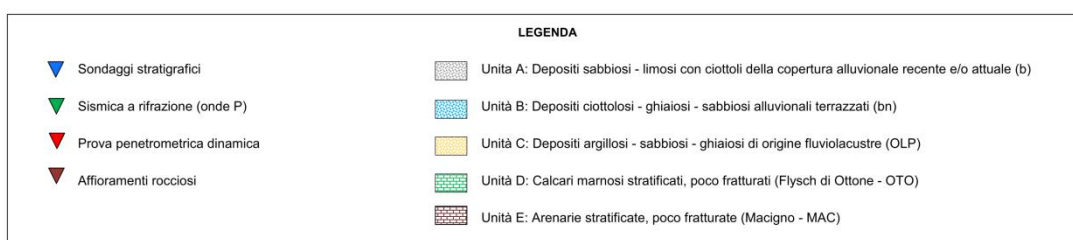
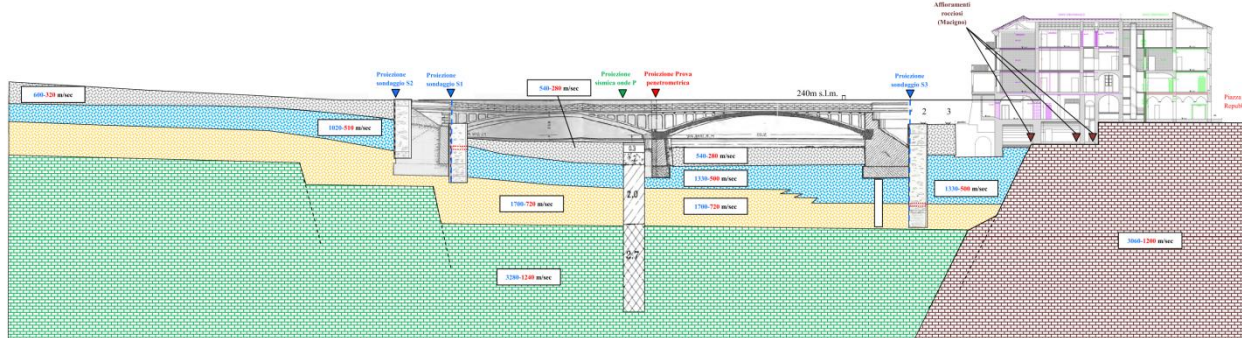
### 9.6 – Sezione SR\_6 "Ponte Zambeccari"

I risultati delle indagini geognostiche e delle prove geofisiche, unitamente alle informazioni desunte dalla letteratura geologica, hanno permesso di ricostruire il modello geologico - geotecnico del sottosuolo e di caratterizzare l'area in esame sotto il profilo sismico.



Il profilo stratigrafico rappresentato nella sezione geologica sotto riportata mostra una situazione geologica piuttosto complessa caratterizzata da una copertura quaternaria di depositi alluvionali e/o depositi fluviolacustri, che differiscono tra loro per età, natura sedimentologica e grado di addensamento.

Tale copertura ricopre le unità del substrato roccioso con spessori significativamente differenti lungo la sezione in esame. In sponda destra (lato Verdeno) i depositi di copertura hanno spessori mediamente superiori ai 10 m mentre in sponda sinistra (lato centro storico) il substrato roccioso è molto superficiale, arrivando ad affiorare diffusamente nei locali interrati degli edifici storici e nell'alveo del F. Magra.



I terreni della copertura e il substrato rocciosi sono stati differenziati in base alle caratteristiche di addensamento e alle proprietà geomeccaniche nelle seguenti unità geologiche - geotecniche, così brevemente descrivibili dall'alto verso il basso:

- ❑ **Unità A:** Sabbie limose con ciottoli di piccole e medie dimensioni, e grado di addensamento "*da poco a moderatamente addensato*"; costituisce il livello più superficiale della **copertura alluvionale quaternaria (b)**, eventualmente comprendente un orizzonte superficiale di terreno eterometrico ed eterogeneo di riporto;
- ❑ **Unità B:** Ciottoli e ghiaie anche grossolane, in prevalenza di natura arenacea (Macigno), immerse in una matrice sabbioso - limosa; costituisce il **deposito alluvionale terrazzato (bn)**, in parte reinciso dal corso d'acqua, con spessori medi locali compresi tra 4 - 5 m circa; il materiale ha grado di addensamento "*da addensato a molto addensato*";
- ❑ **Unità C:** Ghiaie poligeniche e ciottoli immersi in una argilla limosa - sabbiosa; costituisce il deposito fluviolacustre (OLP), di spessore variabile, caratterizzato da una grado di addensamento "*da addensato a molto addensato*";
- ❑ **Unità D:** Calcarei e calcari marnosi ascrivibili alla formazione del **Flysch di Ottone (OTO)**; costituisce il substrato roccioso, oltre che bedrock sismico del tratto di fondovalle alluvionale posto in sponda destra del Torrente Verde (Piana di Verdeno);
- ❑ **Unità E:** Arenarie stratificate, poco fratturate, separate da sottili interstrati pelitico- siltitici, ascrivibili alla formazione dell'**Arenaria Macigno (MAC)**; costituisce il substrato roccioso, oltre che bedrock sismico del tratto di fondovalle alluvionale posto in sponda destra del Torrente Verde.

Sotto il profilo litologico-tecnico la granulometria dominante dei terreni della copertura alluvionale quaternaria (Unità A e B) è rappresentata da ghiaie prevalentemente arenacee (Macigno), con presenza di frammenti di dimensioni > 60 mm (E1- Ciottoli e blocchi), presenza di frazione sabbiosa (t2) e possibilità di presenza di frazione interstiziale coesiva ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale (t3).

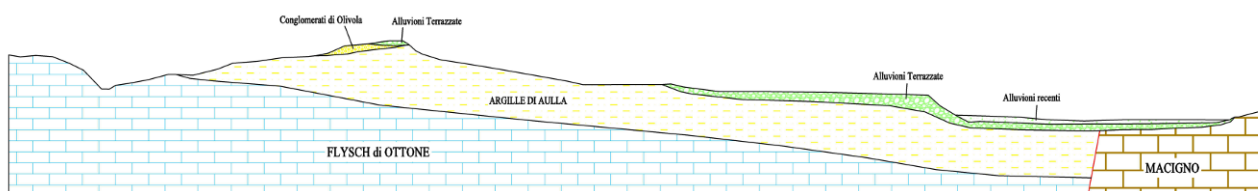
Questi depositi sono classificabili come terreni da poco/moderatamente addensati (Unità A) a addensati/molto addensati (Unità B) e di tipo incoerente poiché non possiedono resistenza al taglio in condizioni di confinamento nullo e la loro resistenza deriva esclusivamente dall'attrito interparticellare e dall'incastro tra le particelle.

Anche i depositi di origine fluviolacustre (Unità C), in ragione della natura conglomeratica del deposito (ghiaie poligeniche e ciottoli in matrice sabbiosa), possono essere considerati terreni a comportamento granulare ed hanno pertanto elevati angoli di attrito (Fi) e coesione efficace (c') pressoché nulla.

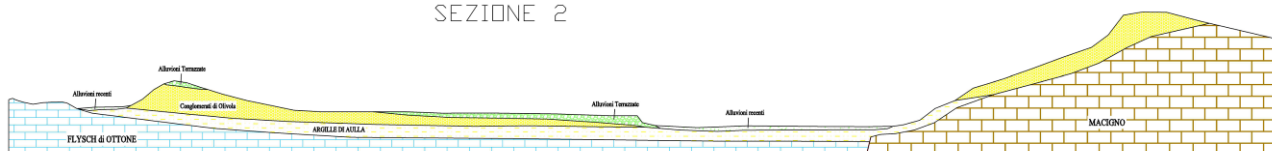
Sono state inoltre ricostruite le seguenti sezioni geologiche inerenti il tratto di fondovalle di Pontremoli capoluogo.

### SEZIONI GEOLOGICHE elaborate per l'AREA di PONTREMOLI CAPOLUOGO

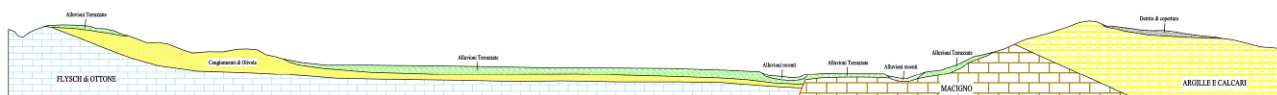
SEZIONE 1



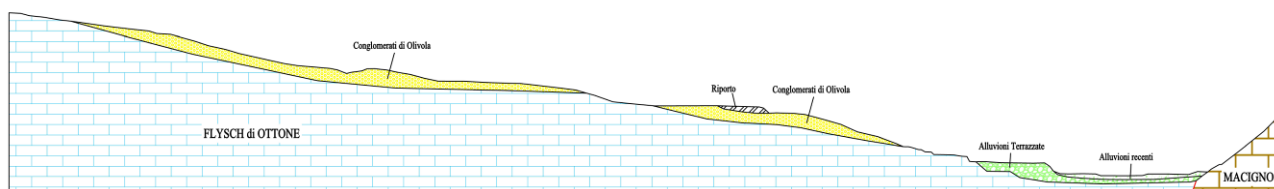
SEZIONE 2



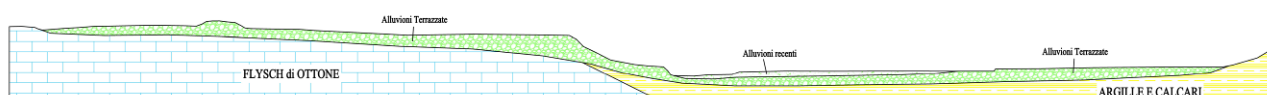
SEZIONE 3



SEZIONE 4



SEZIONE 5



## SEZIONE 6



## SEZIONE 7





## 10 – ELABORATI CARTOGRAFICI

Tutti gli elaborati cartografici prodotti nell'ambito dello studio di livello 1 sono stati aggiornati e modificati, e quindi di fatto realizzati ex-novo, nell'ambito del presente approfondimento di livello 3.

Per i layout sono state utilizzate le legende e le vestiture riportate negli “*Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica*” (versione 4.2, dicembre 2020).

La scala di rappresentazione scelta è stata quella **1:5.000**.

### 10.1– LA CARTA DELLE INDAGINI

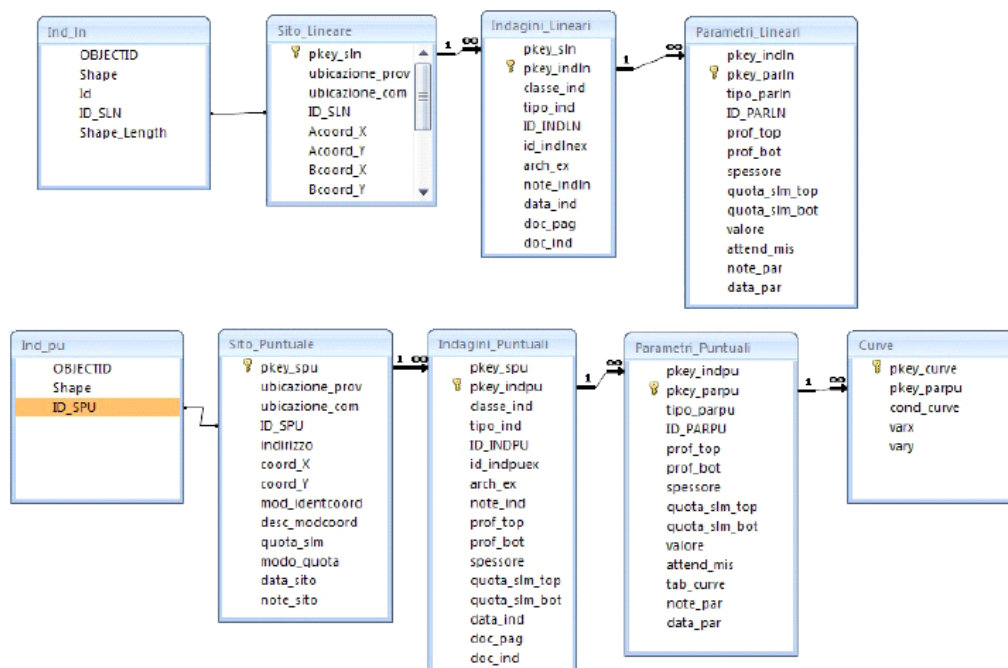
Nell'ambito dello studio di Ms di Livello 3, la **carta delle indagini** precedentemente elaborata per il livello 1 è stata **aggiornata** integrandola **con le indagini realizzate ex-novo**.

Le indagini sono state suddivise in **indagini di tipo puntuale** e di **tipo lineare** e graficamente rappresentate, rispettivamente, attraverso lo **shapefile puntuale “Ind\_pu”** e lo shapefile lineare “**Ind\_In”** .

Tutte le informazioni generali relative alle indagini ed i parametri acquisiti sono stati archiviati all'interno di un'apposita **banca dati** strutturata in tabelle progettate per archiviare i dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini (database realizzato in formato **.mdb**).

Per l'implementazione della banca dati è stato utilizzato il software “**Soft\_MS” v4.2.0**.

Le relazioni con gli shapefile “Ind\_pu” e “Ind\_In” sono state stabilite attraverso i campi ID\_SLN (Tabella Sito\_Lineare) e ID\_SPU (Tabella Sito\_Puntuale).



Di seguito si riporta la legenda della carta delle indagini prodotta.

## Tipo di indagine



Sondaggio a carotaggio continuo



Sondaggio a carotaggio continuo  
che intercetta il substrato



Prova penetrometrica in foro (SPT)



Prova sismica in foro tipo Downhole



Stazione microtremore a stazione singola



Stratigrafia zona MS (teorica)



MASW

























Profilo sismico a rifrazione

## 10.2 LA CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

La Carta Geologico-Tecnica (CGT) è stata rivista.

Di seguito si riporta la legenda della carta prodotta.

<p><b>Terreni di copertura</b></p> <p> Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) di origine da altro (zz)</p> <p> Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia (GP) di origine da argine/barre/canali (es)</p> <p> Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie (GW) di origine da terrazzo fluviale (tf)</p> <p> Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) di origine da falda detritica (fd)</p> <p> Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GM) di origine da deposito fluvio lacustre (fi)</p> <p> Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CL) di origine da deposito fluvio lacustre (fi)</p> <p><b>Substrato geologico rigido</b></p> <p> Alternanza di litotipi (AL)</p> <p> Alternanza di litotipi stratificato (ALS)</p> <p> Lapideo stratificato (LPS)</p> <p><b>Instabilità di versante</b></p> <p> Frana attiva con tipologia di movimento non definita (3015)</p> <p> Frana quiescente con tipologia di movimento non definita (3025)</p> <p><b>Forme di superficie e sepolte</b></p> <p> Falda detritica (4020)</p> <p> Orlo di scarpata morfologica (10-20 m) (5041)</p> <p> Orlo di terrazzo fluviale (10-20 m) (5051)</p>	<p><b>Elementi tettonico strutturali</b></p> <p> Faglia non attiva diretta, certa (7011)</p> <p> Faglia non attiva diretta, incerta (7012)</p> <p> Faglia non attiva inversa, certa (7021)</p> <p> Faglia non attiva inversa, incerta (7022)</p> <p><b>Elementi geologici ed idrogeologici</b></p> <p> Giacitura strati (11)</p> <p> Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (21)</p> <p> Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (22)</p> <p><b>Altri elementi lineari</b></p> <p> Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo (8001)</p>
--	---



### 10.3– LA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

Nella **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)** sono riportati tutti quegli elementi predisponenti alle amplificazioni e alle instabilità sismiche.

Nella Carta delle MOPS il territorio comunale viene suddiviso nelle seguenti microzone:

- **zone stabili;**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;**
- **zone di attenzione (ZA) per le instabilità.**

Sono inoltre riportate le **forme di superficie e sepolte**, le **tracce delle sezioni geo-litologiche** e l'**ubicazione delle misure di rumore ambientale**.

Per ciascuna zona (stabile, suscettibile di amplificazione locale o di attenzione per instabilità) è riportato il codice del tipo di area ("Tipo\_i" e "Tipo\_z").

In legenda per ogni microzona stabile o suscettibile di amplificazione locale è riportato, oltre che il simbolo e il codice, anche una descrizione sintetica della successione litostratigrafica tipo.

Sono inoltre riportate le **colonne litostratigrafiche sintetiche rappresentative di ciascuna delle microzone individuate**.

Le **Zone di Attenzione (ZA)** per le principali instabilità individuate corrispondono alle seguenti tipologie:

- ☐ **zone di attenzione per instabilità di versante (ZAFR)**

Queste zone corrispondono a quelle aree dove a seguito di un sisma **possono verificarsi fenomeni di deformazione permanente dei terreni**.

Allo scopo di conservare le informazioni sulla litostratigrafia della corrispondente microzona, per la rappresentazione delle ZA è stata utilizzata come simbologia un retino nero e colore di fondo della zona stabile suscettibile di amplificazione.

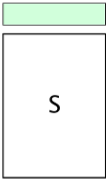
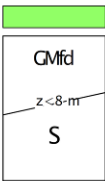
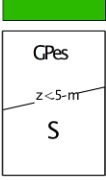
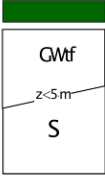
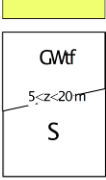
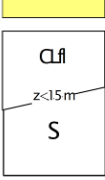
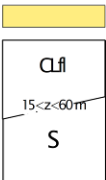
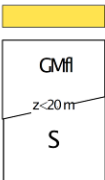
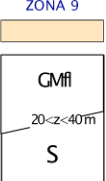
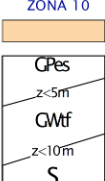
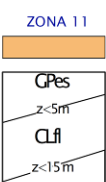
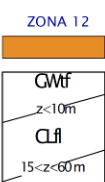
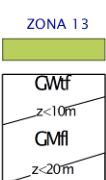
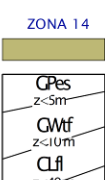
Per quanto riguarda l'**individuazione delle Zone di Attenzione per instabilità di versante (ZAFR)** si è fatto riferimento alle **informazioni riportate nella Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT\_MS)** ed a **dati pregressi o raccolti ex novo** durante questo terzo livello di approfondimento e **valutazioni sulla effettiva pericolosità dei movimenti franosi** riportati.

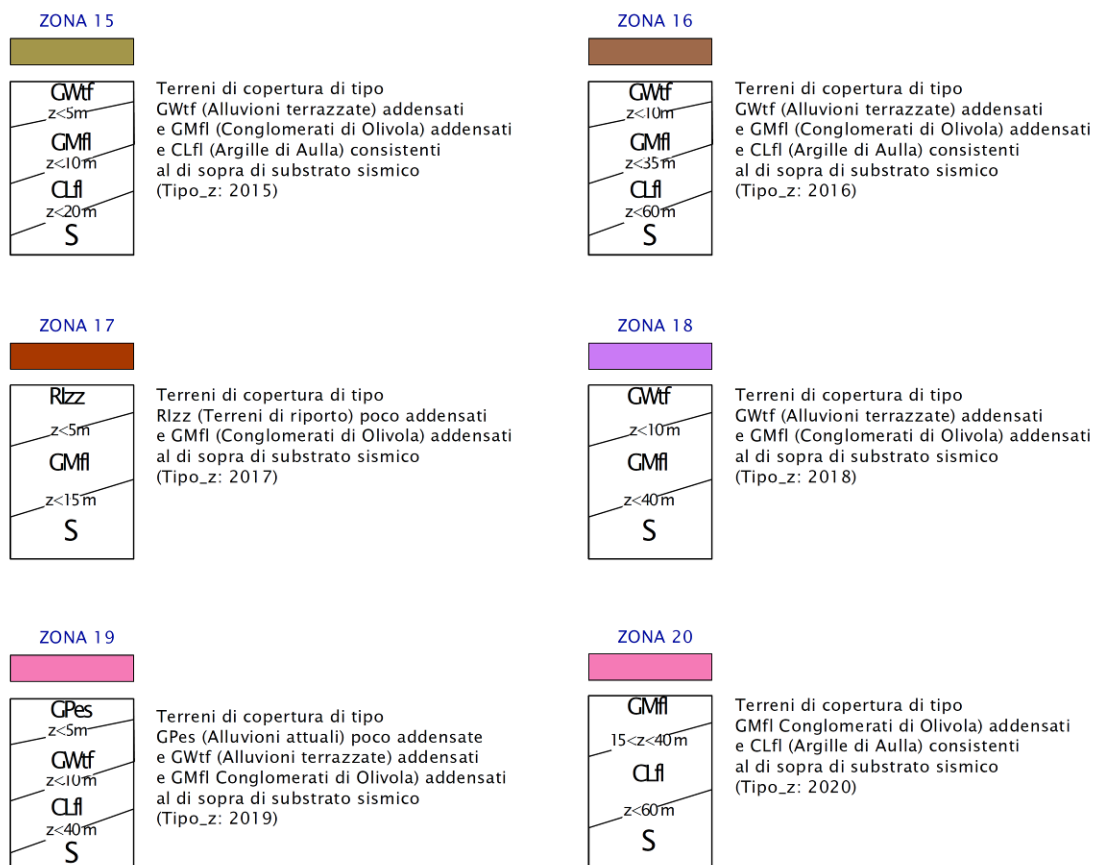
In particolare, come già proposto nello studio di MS di livello 1 redatto, anche in questo terzo livello di approfondimento si è scelto di inserire tutte le frane cartografate sul territorio come zone di instabilità di versante in condizioni dinamiche, nell'ipotesi in cui per tutte possano essere verificate le condizioni sismiche necessarie per l'attivazione del fenomeno franoso.

Di seguito si riporta la **legenda** della nuova **Carta delle MOPS** aggiornata a seguito dello studio svolto.

## Legenda

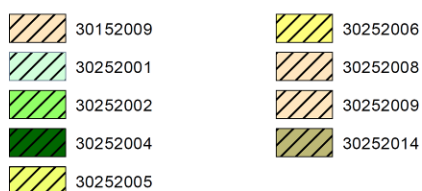
### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

<p><b>ZONA 1</b></p>  <p>Substrato sismico affiorante (S = LPS,AL,ALS) con morfologia inclinata <math>&gt; 15^\circ</math> (Tipo_z: 2001)</p>	<p><b>ZONA 2</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMfd (Detrito di versante) da poco a mediamente addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2002)</p>
<p><b>ZONA 3</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GPes (Alluvioni attuali) da poco a mediamente addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2003)</p>	<p><b>ZONA 4</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMwf (Alluvioni terrazzate) poco addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2004)</p>
<p><b>ZONA 5</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMwf (Alluvioni terrazzate) poco addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2005)</p>	<p><b>ZONA 6</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo CLfi (Argille di Aulla) consistenti al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2006)</p>
<p><b>ZONA 7</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo CLfi (Argille di Aulla) consistenti al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2007)</p>	<p><b>ZONA 8</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMfi (Conglomerati di Olivola) addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2008)</p>
<p><b>ZONA 9</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMfi (Conglomerati di Olivola) addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2009)</p>	<p><b>ZONA 10</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GPes (Alluvioni attuali) e GMwf (Alluvioni terrazzate) da poco addensati a mediamente addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2010)</p>
<p><b>ZONA 11</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GPes (Alluvioni attuali) poco addensati e CLfi (Argille di Aulla) consistenti al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2011)</p>	<p><b>ZONA 12</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMwf (Alluvioni terrazzate) addensati e CLfi (Argille di Aulla) consistenti al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2012)</p>
<p><b>ZONA 13</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GMwf (Alluvioni terrazzate) addensati e GMfi (Conglomerati di Olivola) addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2013)</p>	<p><b>ZONA 14</b></p>  <p>Terreni di copertura di tipo GPes (Alluvioni attuali) poco addensate e GMwf (Alluvioni terrazzate) addensati e CLfi (Argille di Aulla) consistenti al di sopra di substrato sismico (Tipo_z: 2014)</p>

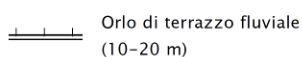
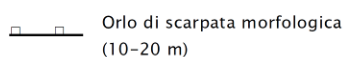


## Zone di attenzione (ZA) per le instabilità

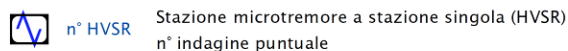
Zone di Attenzione per Instabilità di versante (ZA\_FR)



## Forme di superficie e sepolte



## Punti di misura del campo di vibrazioni ambientali (seismic noise)



n° HVSr

Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)  
n° indagine puntuale

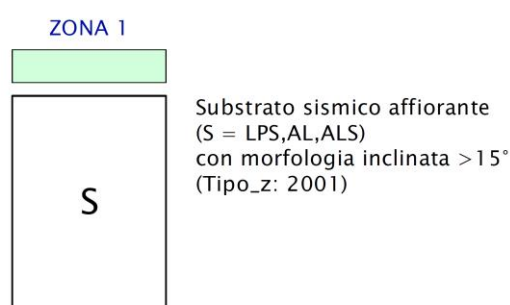
### 10.3.1 – ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono codificate in modo progressivo sulla base della successione litostratigrafica tipo (schema del codice **Tipo\_z = 20xy** con xy che va da **01** a **99**).

Appartengono a queste zone tutte le aree con:

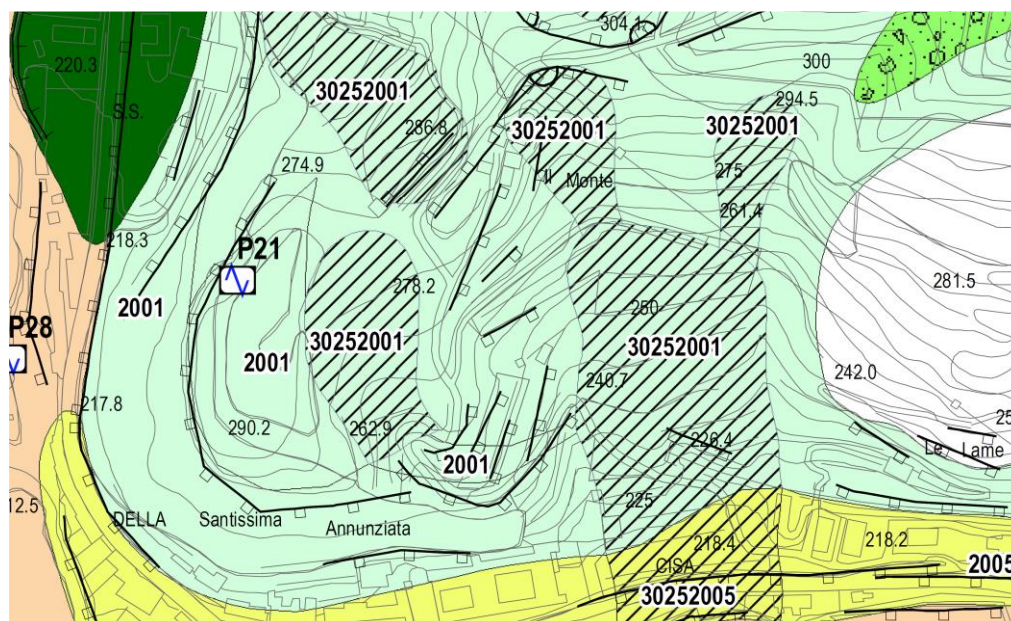
- substrato geologico rigido con pendenze  $>15^\circ$ .
- presenza di terreni di copertura
- substrato roccioso fratturato o alterato sopra il bedrock sismico

#### **Zona 1: SUBSTRATO SISMICO AFFIORANTE CON INCLINAZIONE $> 15^\circ$ (Tipo\_z:2001)**



Corrisponde alle aree dove è presente il substrato sismico affiorante o sub-affiorante, intendendo per sub-affiorante la presenza di una copertura detritica di **spessore inferiore a 3.0 metri**.

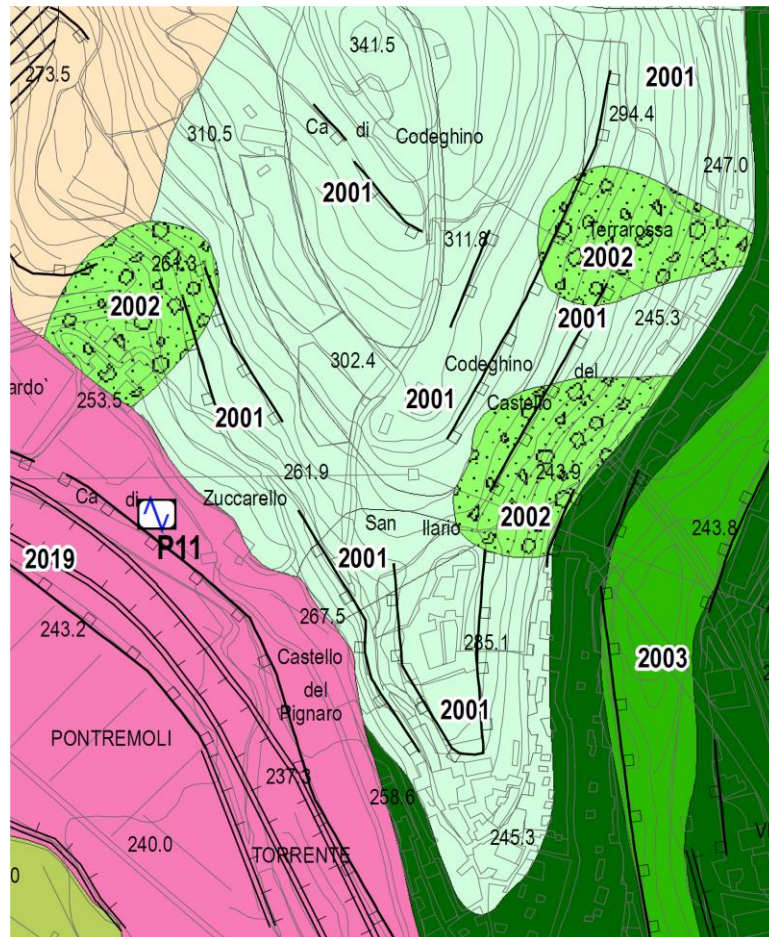
Questa sottozona è estesamente presente in sinistra idrografica del Torrente Magra con i substrati rocciosi dell'Arenaria Macigno, delle Argille e Calcari di Canetolo e del Flysch di Ottone.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da substrato rigido lapideo stratificato affiorante (Arenaria Macigno, Calcari di Groppo del Vescovo e Argille e Calcari) con inclinazione maggiore di  $15^\circ$  in corrispondenza della stretta della Santissima Annunziata.

Nella zona di Pontremoli capoluogo questa microzona si trova lungo la dorsale che separa la Valle del Torrente Verde dalla valle del Fiume Magra fino a giungere in corrispondenza del Castello del Piagnaro.

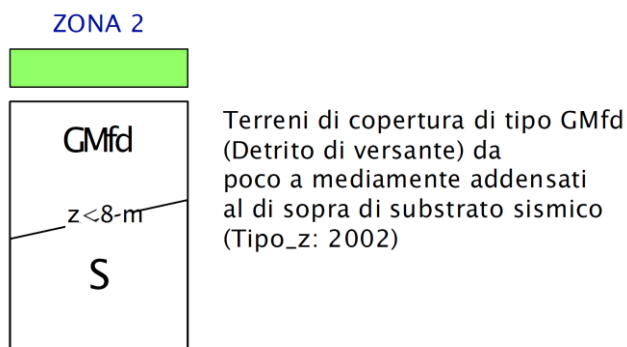
I substrati sismici presenti in quest'area risultano costituiti dalla formazione dell'Arenaria Macigno nella parte a sud e dalle Marne di Marmoreto nella parte a nord della carta sotto riportata.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da substrato rigido lapideo stratificato affiorante (Arenaria Macigno e Marne di Marmoreto) con inclinazione maggiore di 15° in corrispondenza del Castello del Piagnaro e dell'area a Nord.



**Zona 2:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GMfd** (Detrito di versante) di spessore inferiore a 8 metri da poco a mediamente addensati al di sopra del SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2002**)



Corrisponde alle zone dove i terreni di copertura, di spessore mediamente inferiore a 8 metri, si trovano direttamente a contatto con il substrato sismico.

Nella cartografia sopra al colore è riportato anche il figurato relativo alla falda detritica.

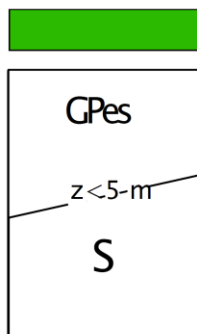
Questa microzona risulta poco rappresentata ed infatti tra il detrito di versante ed il substrato sismico si trovano spesso intercalati terreni di altra genesi.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da detrito di versante al di sopra del substrato sismico (Argille e Calcari di Canetolo) nella località di Castangiola.

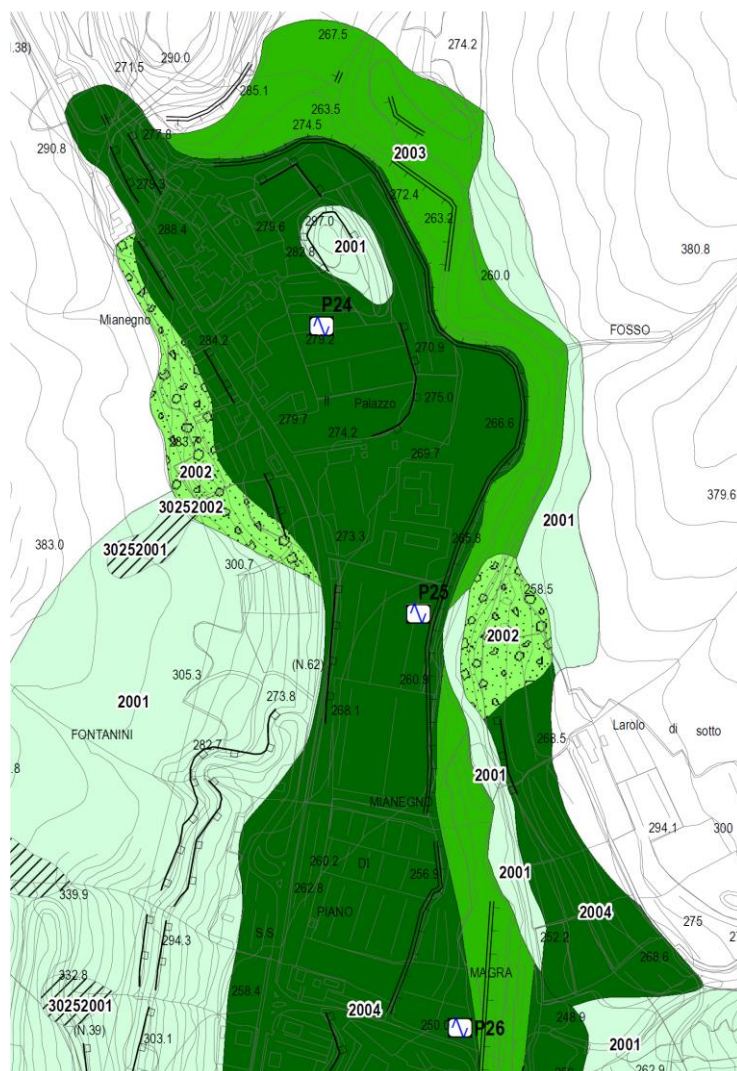
**Zona 3:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GPes** (Alluvioni attuali) di spessore inferiore a 5 metri da poco a mediamente addensati al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2003**)

### ZONA 3



Terreni di copertura di tipo GPes (Alluvioni attuali) da poco a mediamente addensati al di sopra di substrato sismico (Tipo\_z: 2003)

Corrisponde alle zone dove le Alluvioni attuali, di spessore inferiore a 5 metri, si trovano direttamente a contatto con il substrato sismico; queste zone si trovano principalmente lungo l'alveo del Fiume Magra.



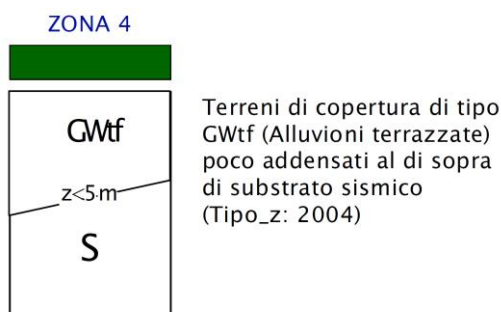
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da depositi alluvionali attuali al di sopra del substrato rigido all'interno dell'alveo del Fiume Magra nella zona a monte del Centro storico.



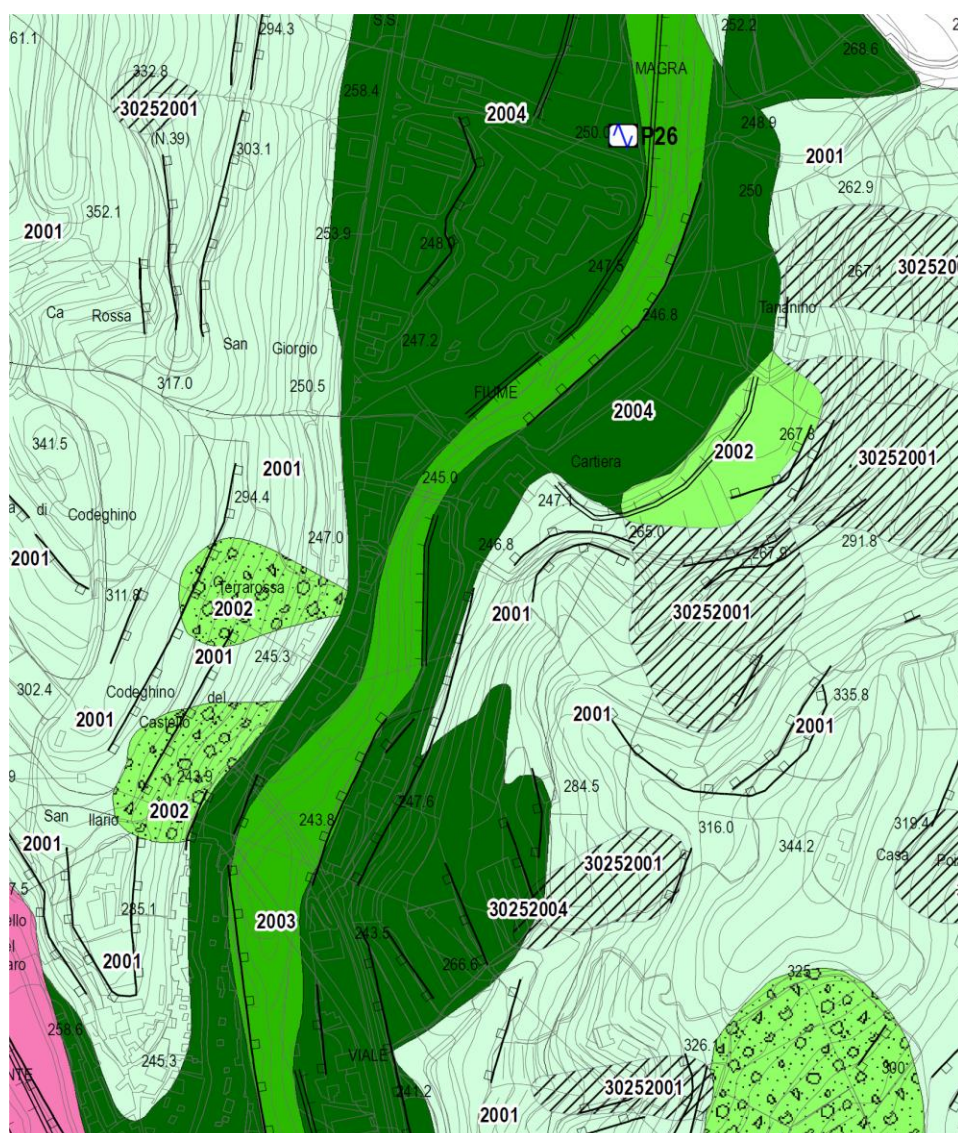




**Zona 4:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GWtf** (Alluvioni terrazzate) di spessore inferiore a 5 metri poco addensati al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2004**)

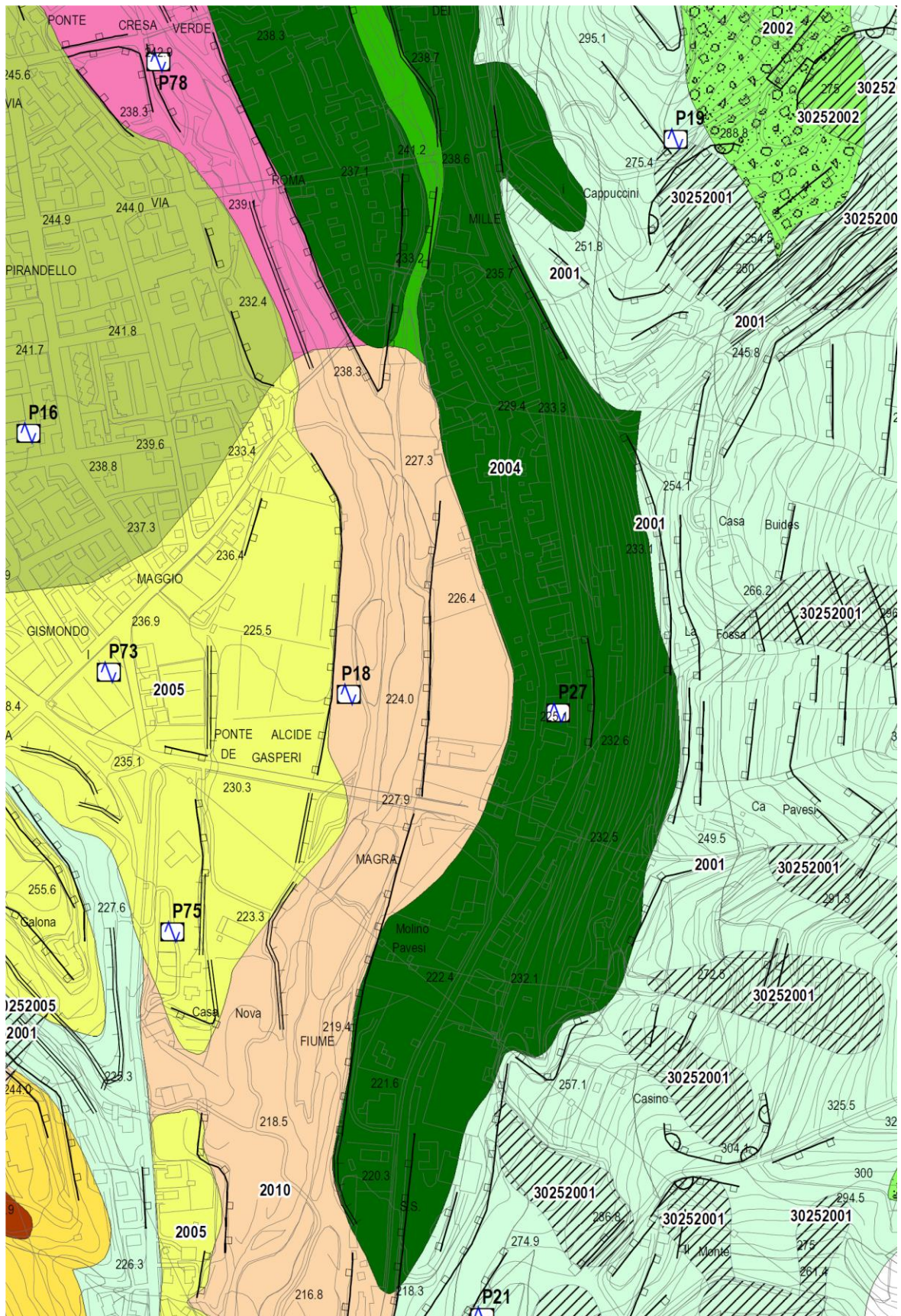


Corrisponde alle zone dove le Alluvioni terrazzate presentano spessori inferiori a 5 metri e sono direttamente a contatto con il substrato sismico; queste zone si trovano lateralmente all'alveo del Fiume Magra.



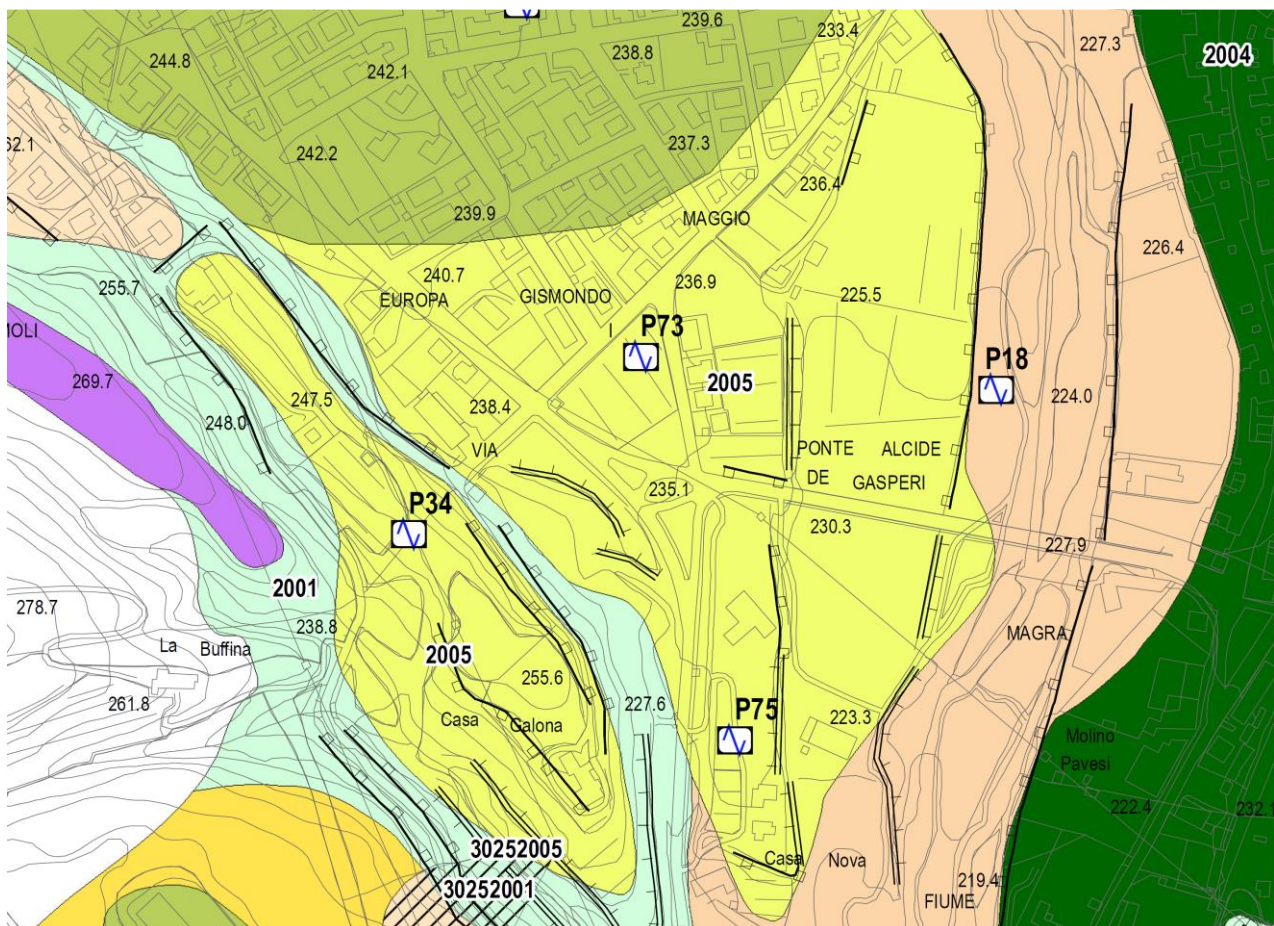
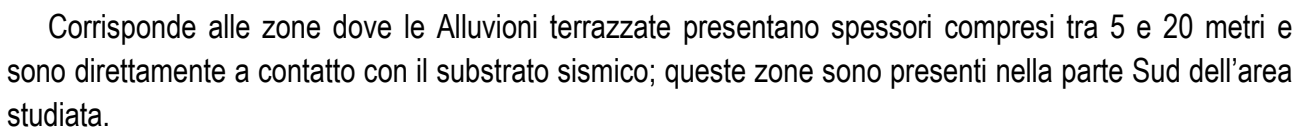
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da depositi alluvionali terrazzati di spessore inferiore a 5 metri direttamente al di sopra del substrato rigido lateralmente all'alveo del Fiume Magra.





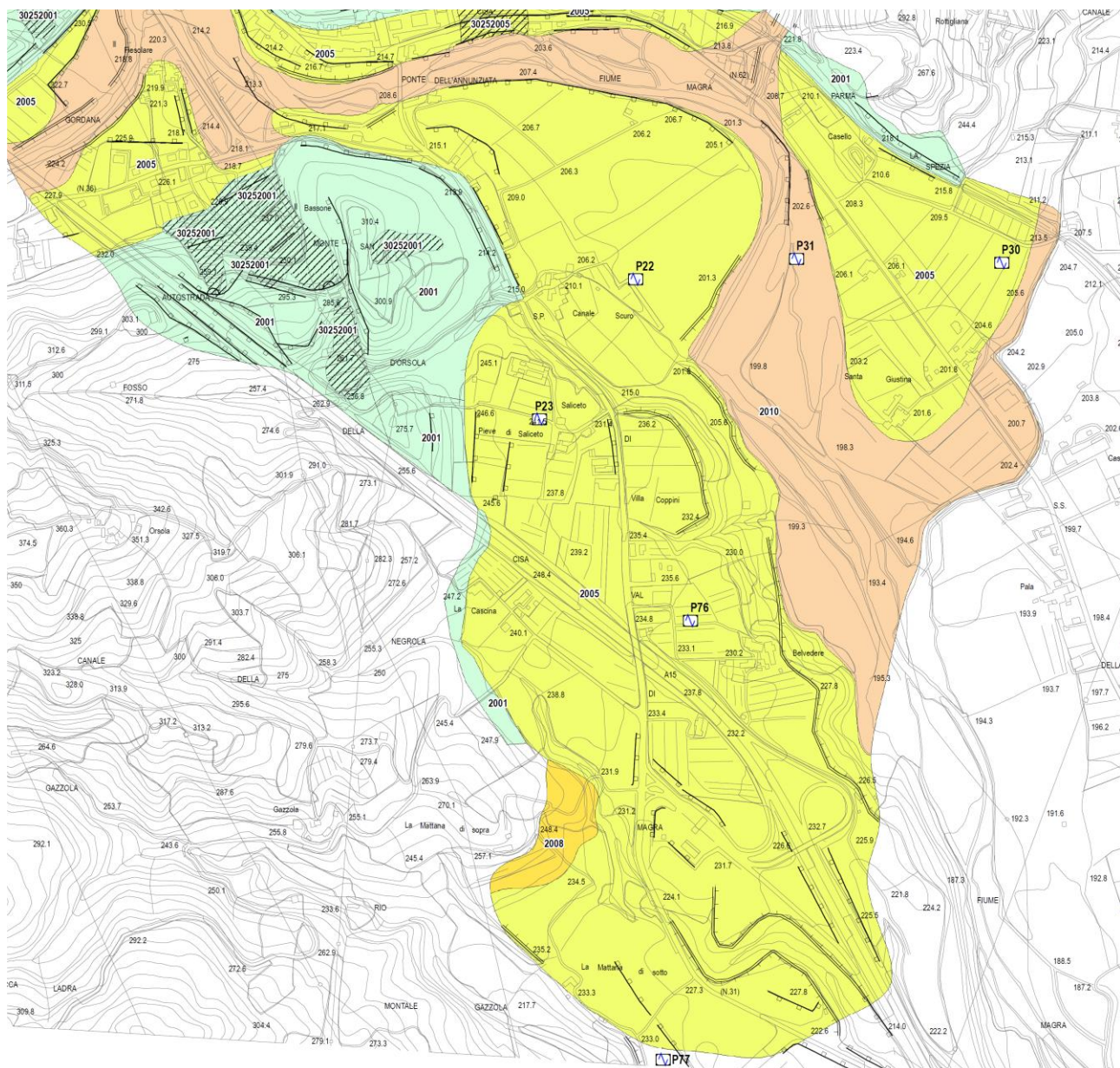
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da depositi alluvionali terrazzati di spessore inferiore a 5 metri direttamente al di sopra del substrato rigido lateralmente all'alveo del Fiume Magra.





47

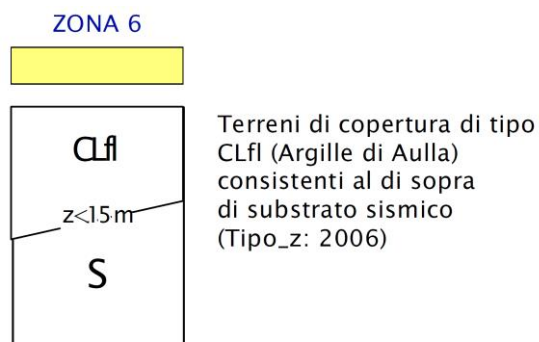




Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata da depositi alluvionali terrazzati di spessore compreso tra 5 e 20 metri direttamente al di sopra del substrato sismico in corrispondenza della piana alluvionale a sud del Ponte dell'Annunziata.

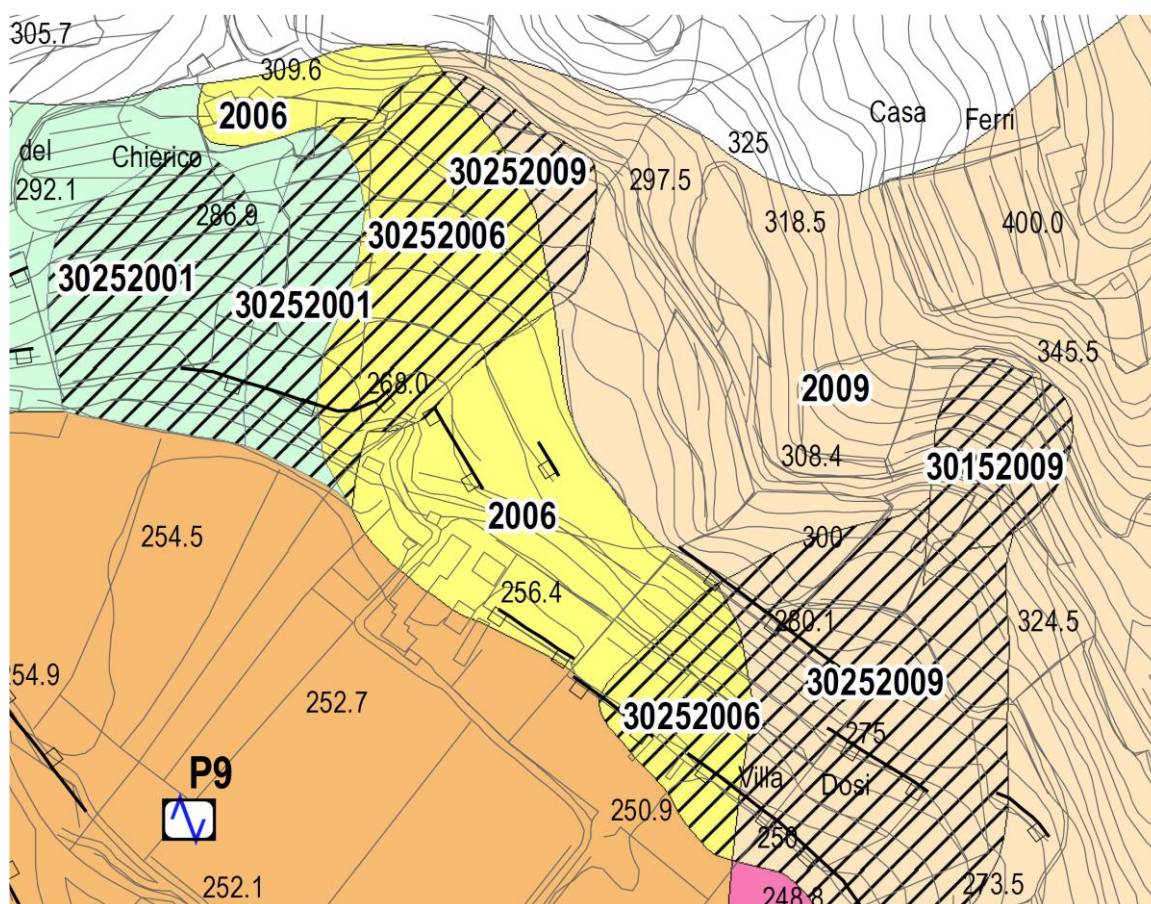


**Zona 6:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore inferiore a 15 metri consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2006**)



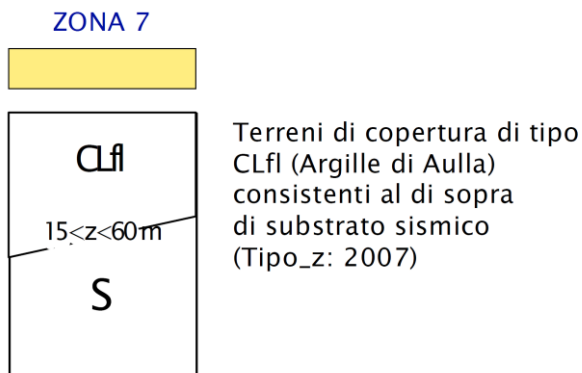
Corrisponde alle zone dove le Argille di Aulla presentano spessore inferiore a 15 metri e si trovano direttamente a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente nella parte più a nord dell'area indagata oltre Villa Dosi.



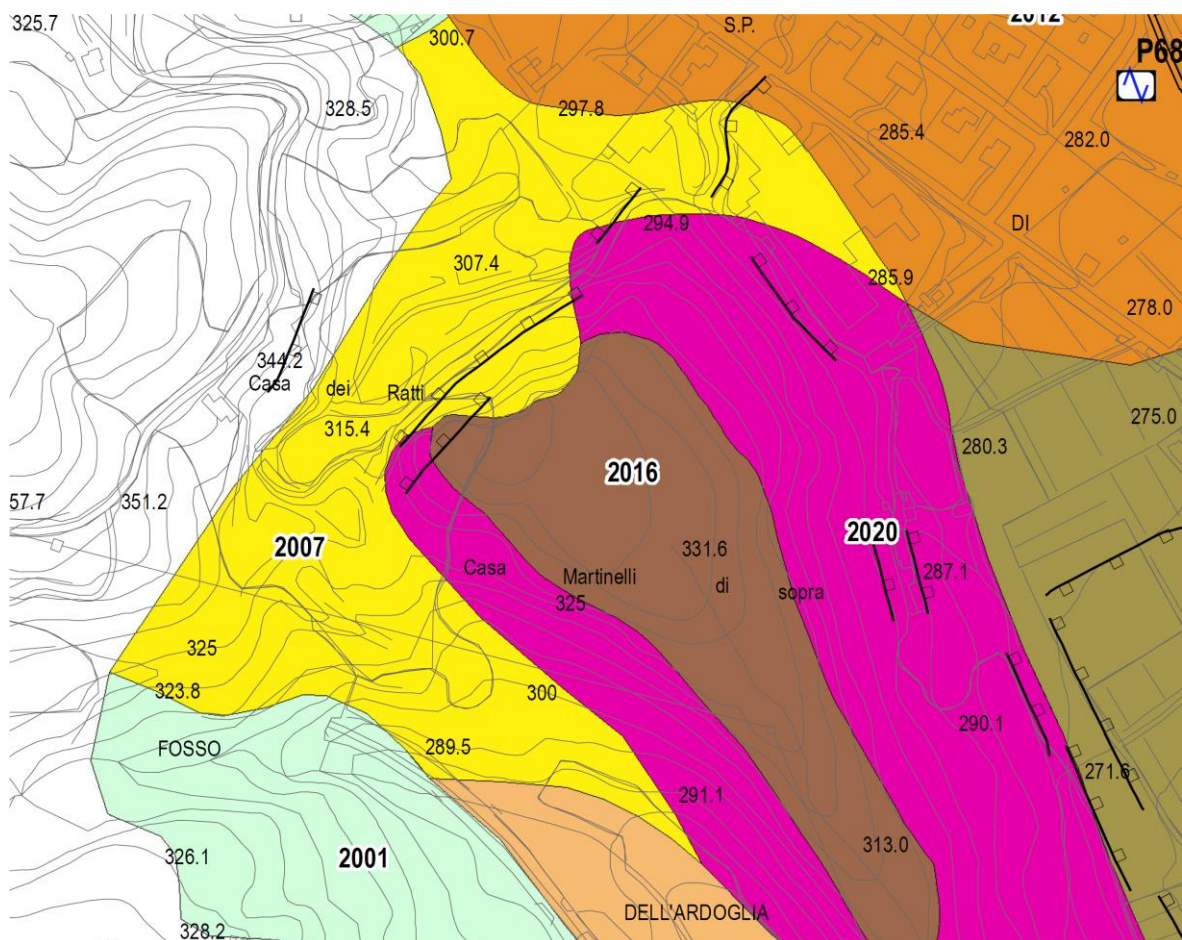
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Argille di Aulla, con spessori inferiori a 15 metri, direttamente a contatto con il substrato sismico.

**Zona 7:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **CLfI** (Argille di Aulla) di spessore compreso tra 15 e 60 metri consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2007**)



Corrisponde alle zone dove le Argille di Aulla presentano spessori compresi tra 15 e 60 metri e si trovano direttamente a contatto con il substrato sismico.

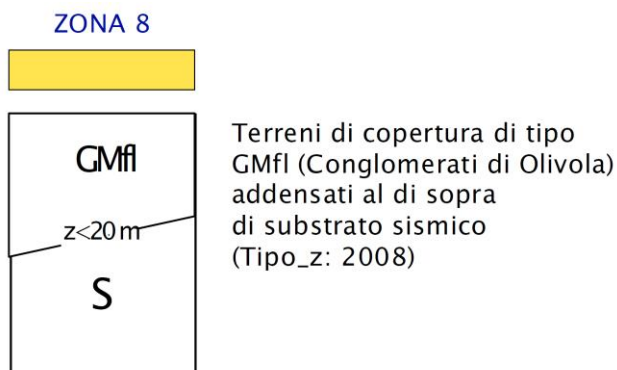
Questa zona si trova rappresentata unicamente nella parte più a nord-ovest dell'area indagata in prossimità della località denominata Casa dei Ratti.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Argille di Aulla, con spessori compresi tra 15 metri e 60 metri, direttamente a contatto con il substrato sismico.

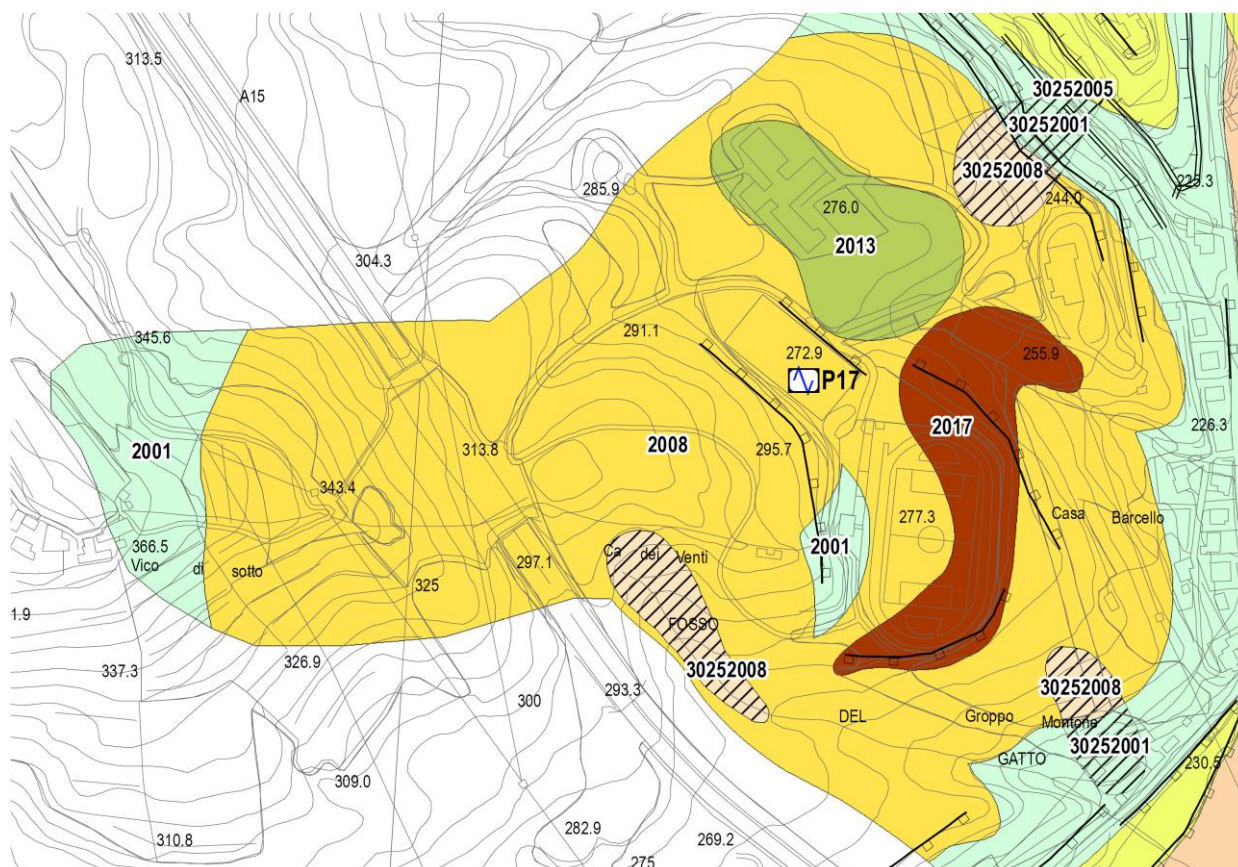


**Zona 8:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GMfl** (Conglomerati di Olivola) di spessore inferiore a 20 metri addensati al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2008**)



Corrisponde alle zone dove i Conglomerati di Olivola presentano spessori inferiori a 20 metri e si trovano direttamente a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata in corrispondenza dell'area di Cà dei Venti e di Casa Barcello.



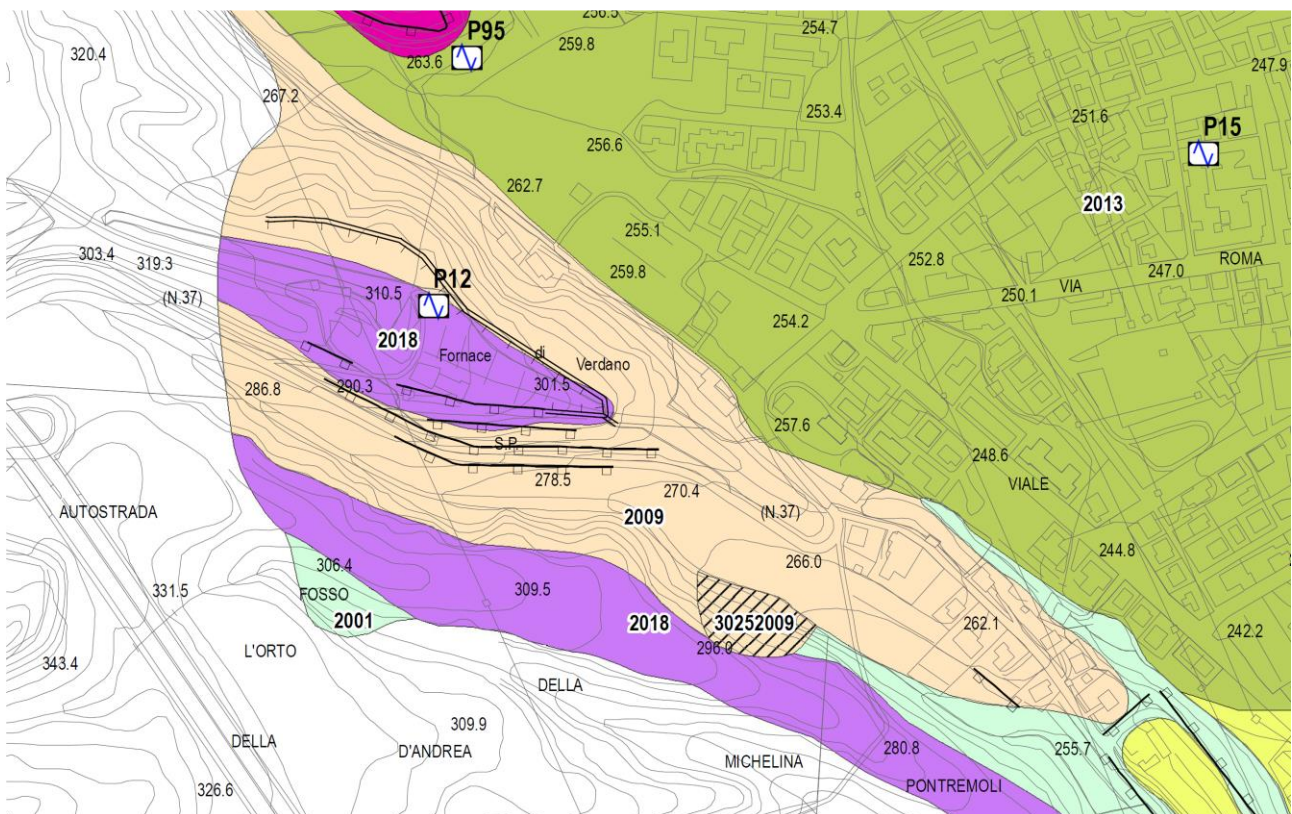
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento dei Conglomerati di Olivola, con spessori inferiori a 20 metri, direttamente a contatto con il substrato sismico, in corrispondenza dell'area di Cà dei Venti e di Casa Barcello.



GMfl  
 $20 < z < 40$  m  
S

Corrisponde alle zone dove i Conglomerati di Olivola presentano spessori compresi tra 20 e 40 metri e si trovano direttamente a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente in due zone: in corrispondenza del colle della Fornace di Verdano e nel versante a monte di Villa Dosi.

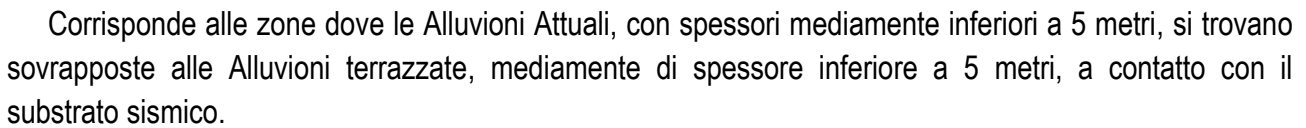


52

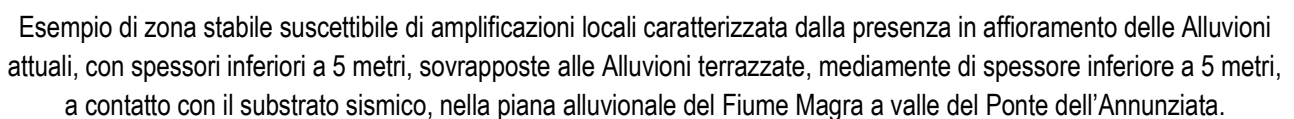




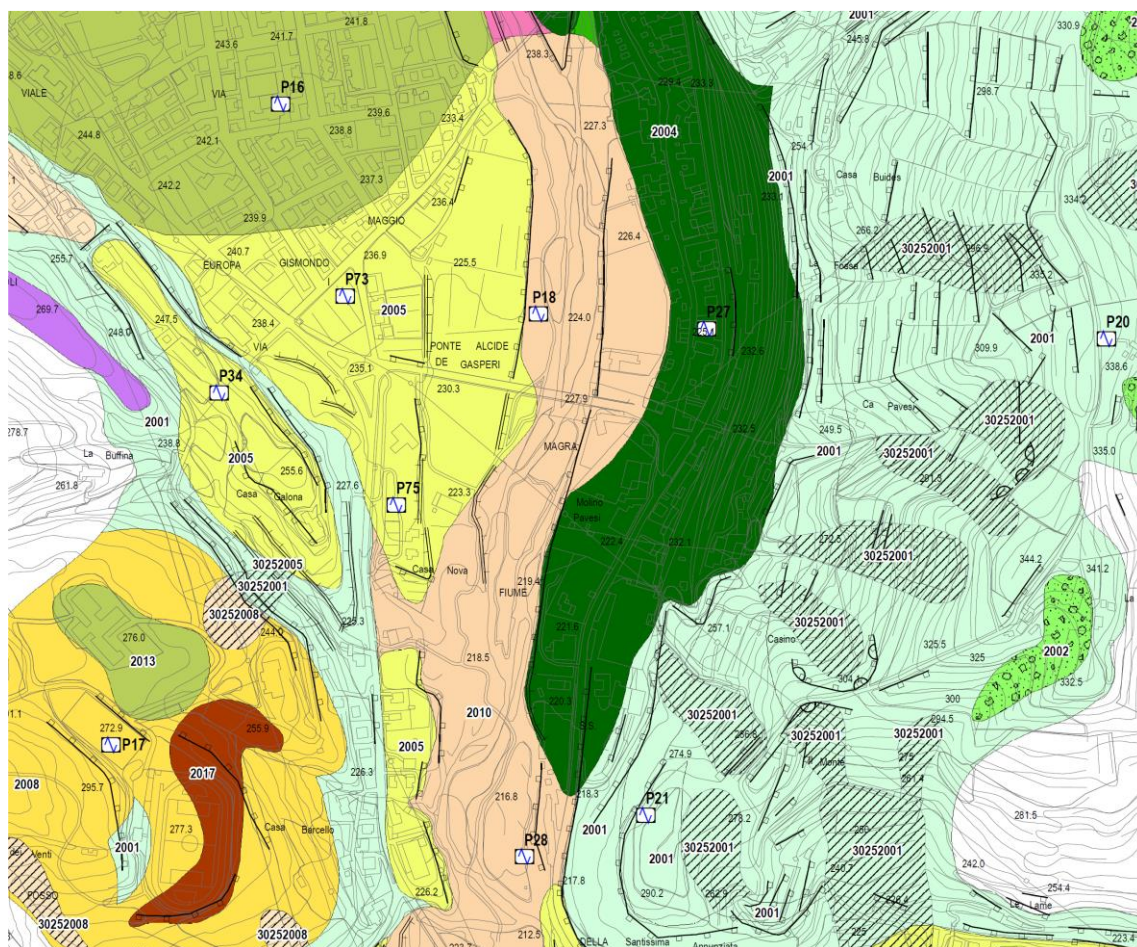




Questa zona si trova ampiamente rappresentata nella piana alluvionale del Fiume Magra a sud del Ponte dell'Annunziata e a sud del nucleo abitato di Pontremoli nella zona di espansione a valle del centro storico.



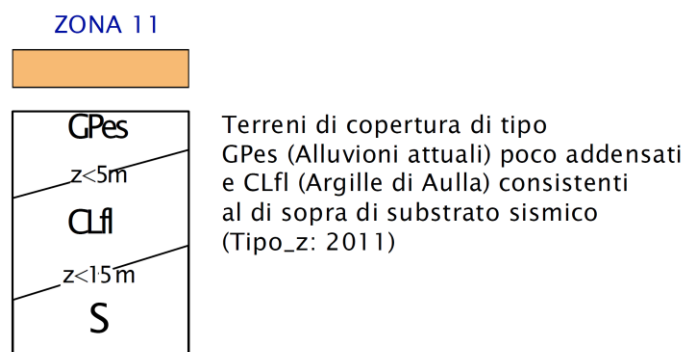




Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Alluvioni attuali, con spessori inferiori a 5 metri, sovrapposte alle Alluvioni terrazzate, mediamente di spessore inferiore a 5 metri, a contatto con il substrato sismico, nella piana alluvionale del Fiume Magra a sud del nucleo abitato di Pontremoli nella zona di espansione a valle del centro storico.

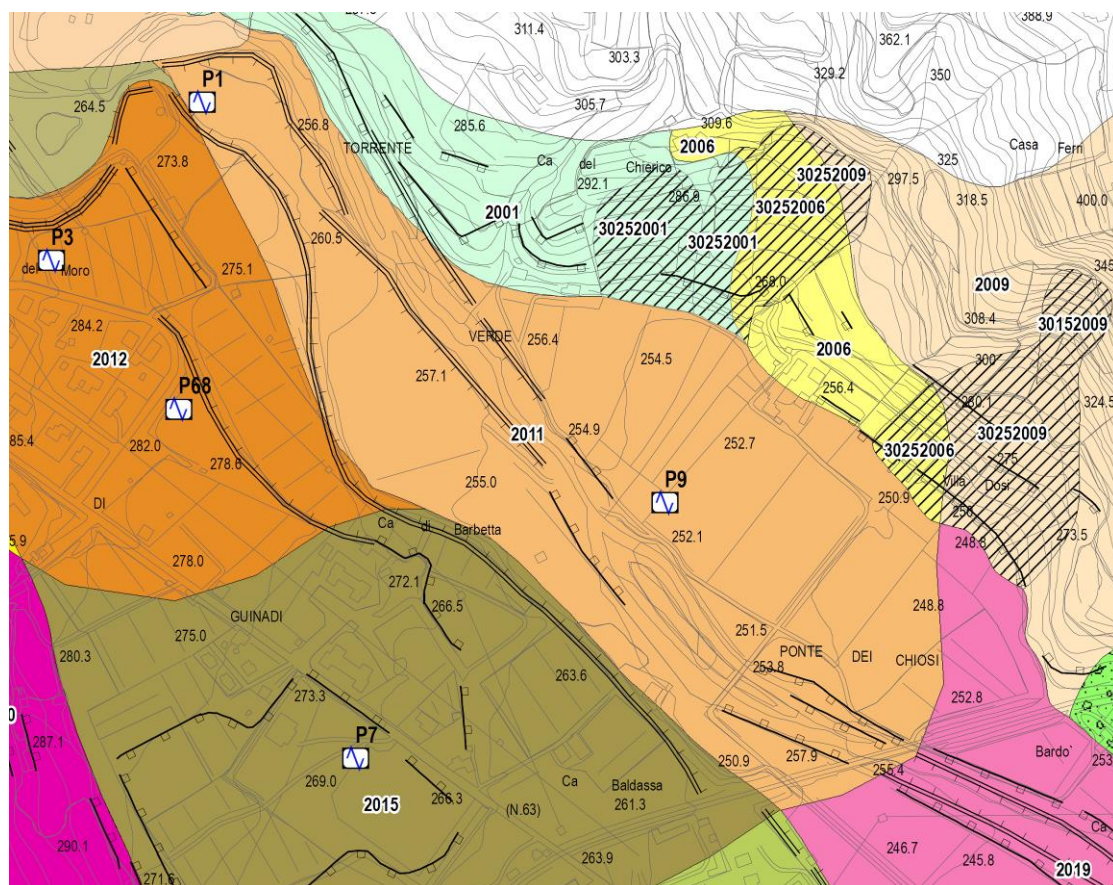


**Zona 11:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GPes** (Alluvioni attuali) di spessore inferiore a 5 metri poco addensati e **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore inferiore a 10 metri consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (Tipo\_z:2011)



Corrisponde alle zone dove le Alluvioni Attuali, con spessori mediamente inferiori a 5 metri, si trovano sovrapposte alle Argille di Aulla, mediamente di spessore inferiore a 10 metri, a contatto con il substrato sismico.

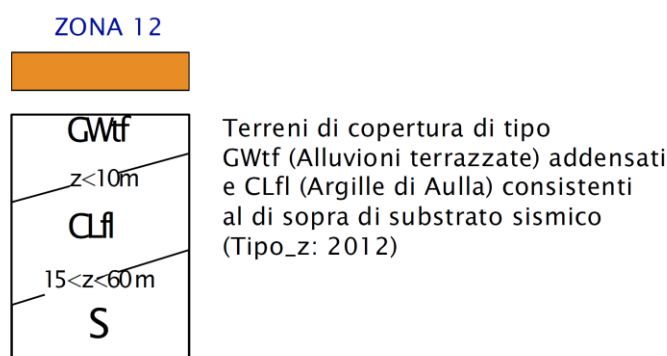
Questa zona si trova rappresentata nella piana alluvionale del Torrente Verde a nord del Ponte dei Chiosi.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Alluvioni attuali, con spessori inferiori a 5 metri, sovrapposte alle Argille di Aulla, mediamente di spessore inferiore a 10 metri, a contatto con il substrato sismico, nella piana alluvionale del Torrente Verde a nord del Ponte dei Chiosi.

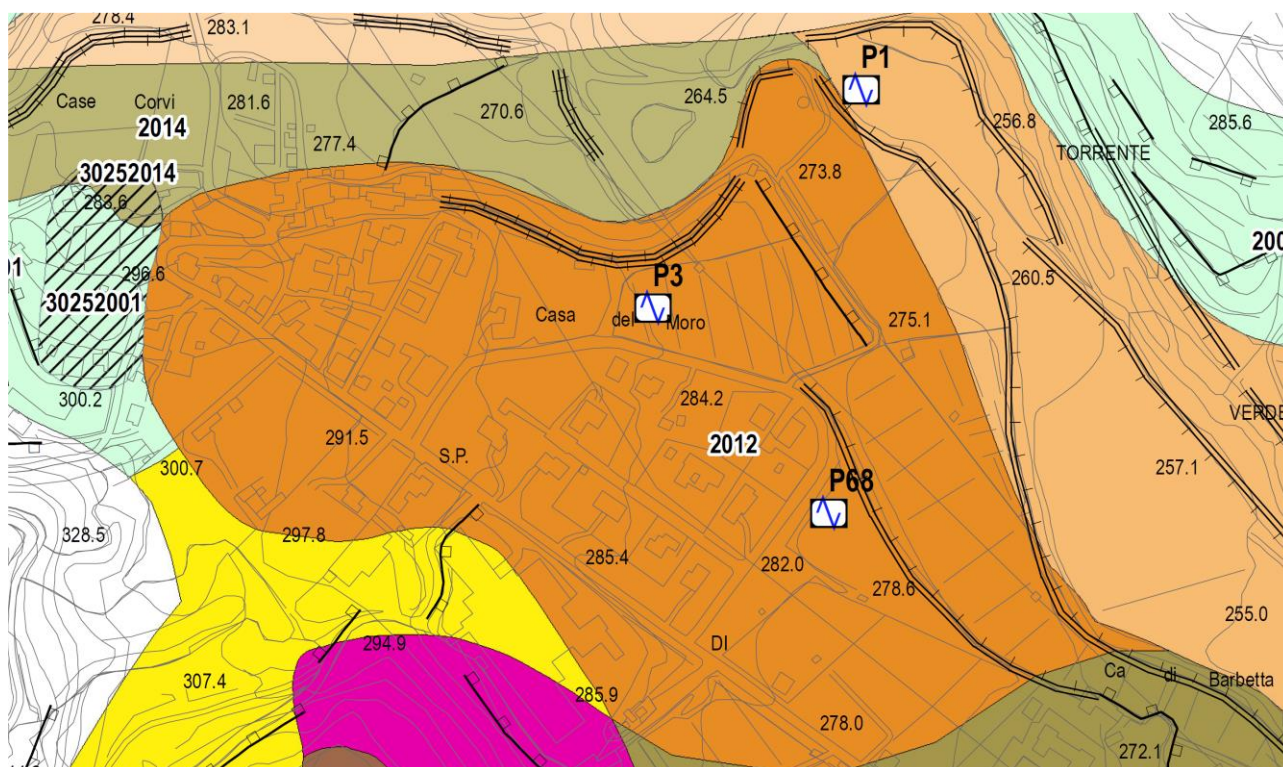


**Zona 12:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GWtf** (Alluvioni terrazzate) di spessore inferiore a 10 metri addensati e **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore compreso tra 5 e 50m consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (Tipo\_z:2012)



Corrisponde alle zone dove le Alluvioni terrazzate, con spessori mediamente inferiori a 10 metri, si trovano sovrapposte alle Argille di Aulla, mediamente di spessore compreso tra 5 e 50 metri, a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente ad ovest della piana alluvionale del Torrente Verde in corrispondenza dell'abitato di Casa del Moro.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle le Alluvioni terrazzate, con spessori mediamente inferiori a 10 metri, sovrapposte alle Argille di Aulla, mediamente di spessore compreso tra 5 e 50 metri, a contatto con il substrato sismico, nella piana alluvionale ad ovest del Torrente Verde in corrispondenza della località di Casa del Moro.

Diagram illustrating a soil profile with three layers:

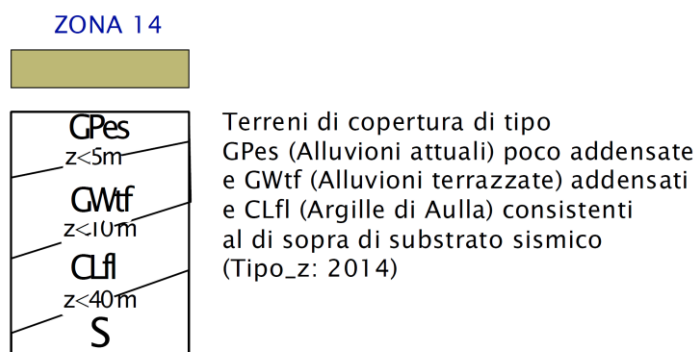
- Top layer: GWtf (z < 10m)
- Middle layer: GMfl (z < 20m)
- Bottom layer: S

Corrisponde alle zone dove le Alluvioni terrazzate, con spessori mediamente inferiori a 10 metri, si trovano sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 10 metri, a contatto con il substrato sismico.

58

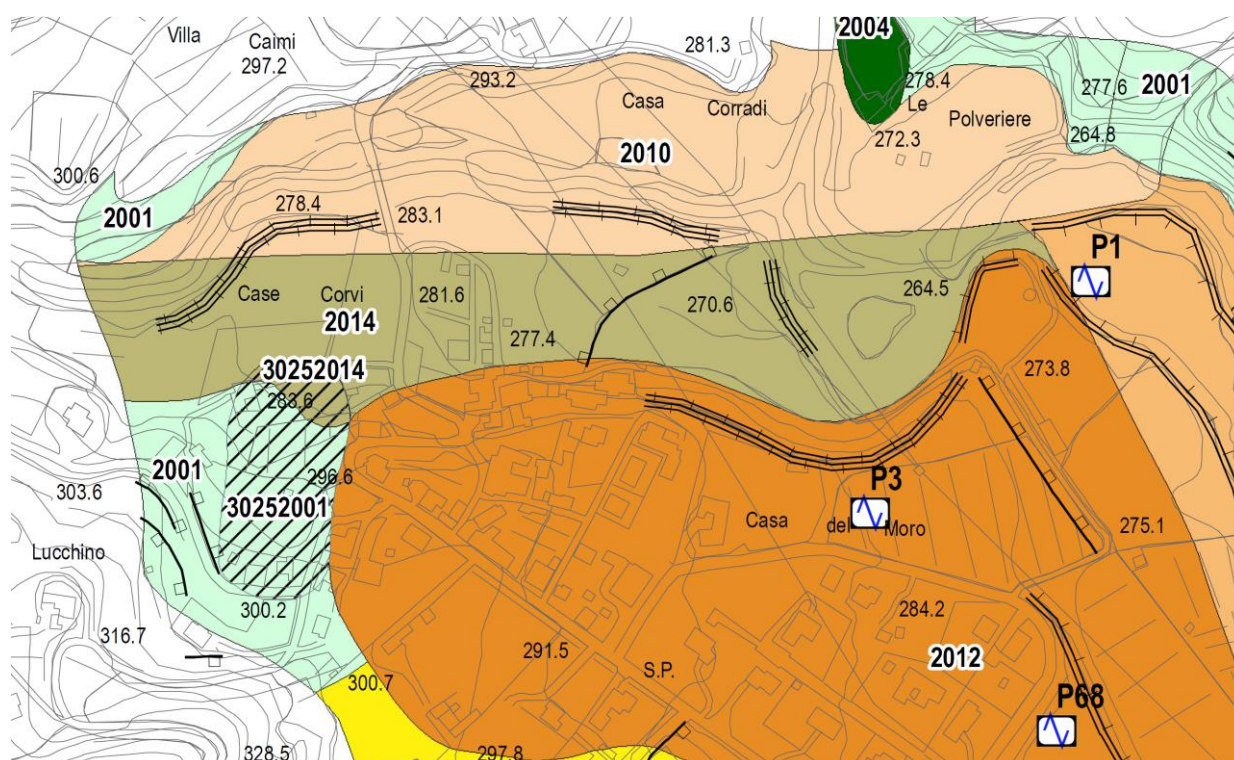


**Zona 14:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GPes** (Alluvioni attuali) di spessore inferiore a 5m poco addensate e **GWtf** (Alluvioni terrazzate) di spessore inferiore a 5 metri addensate e **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore inferiore a 30m consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (Tipo\_z:2014)



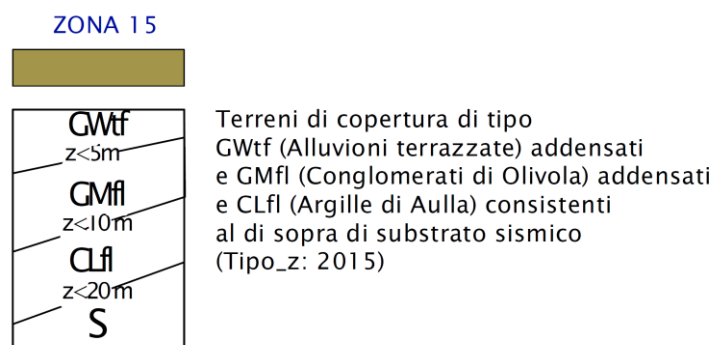
Corrisponde alle zone dove le Alluvioni attuali, con spessori mediamente inferiori a 5 metri, si trovano sovrapposte alle Alluvioni terrazzate, di spessore inferiore a 5 metri, e alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 30 metri a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente nella piana alluvionale in destra idrografica del Torrente Verde in corrispondenza della località di Casa Corvi.



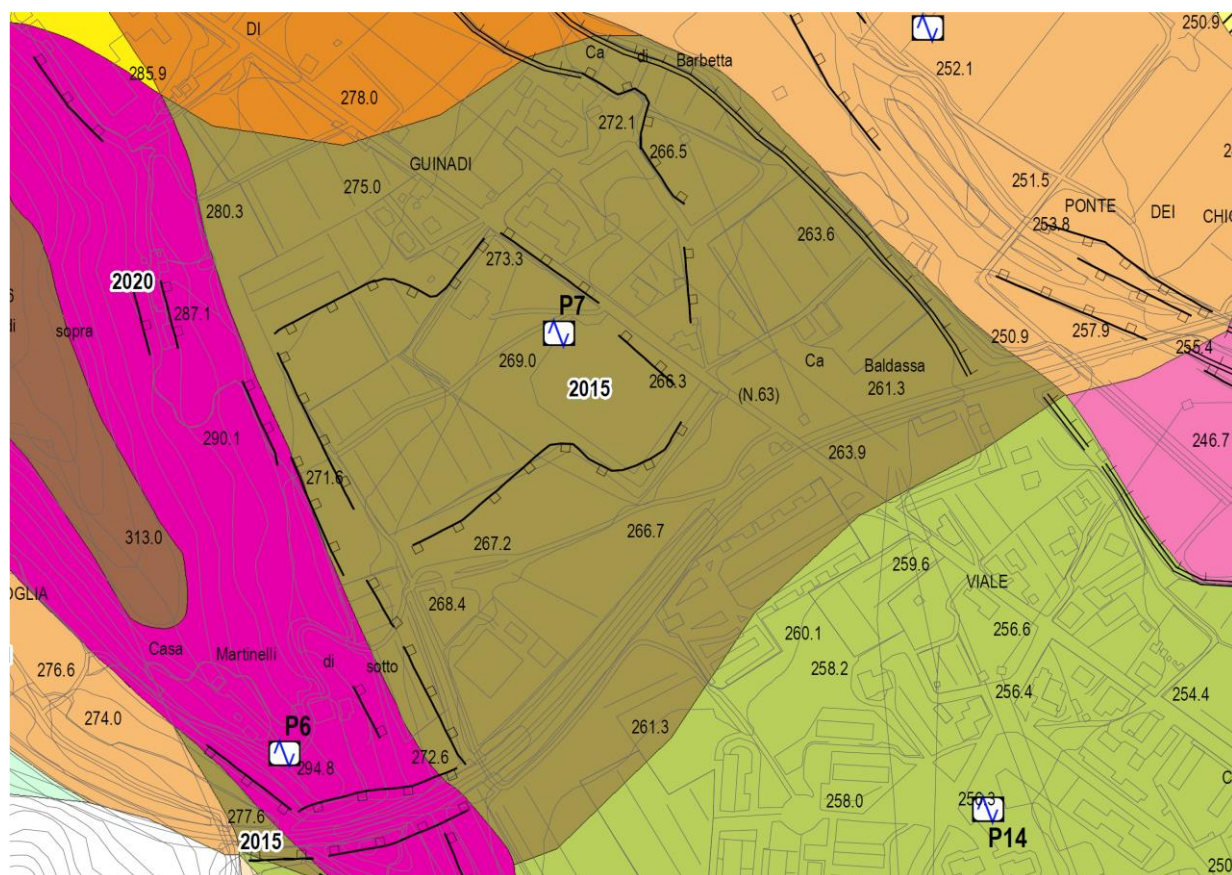
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Alluvioni recenti, con spessori inferiori a 5 metri, sovrapposte alle alluvioni terrazzate, di spessore inferiore a 5 metri, e alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 30 metri, a contatto con il substrato sismico, nella piana alluvionale in destra idrografica del Torrente Verde all'altezza dell'abitato di Casa Corvi.

**Zona 15:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GWtf** (Alluvioni terrazzate) di spessore inferiore a 5 metri addensati e **GMfl** (Conglomerati di Olivola) di spessore inferiore a 5 metri addensati e **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore inferiore a 10m consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2015**)



Corrisponde alle zone dove le Alluvioni terrazzate, con spessori inferiori a 5 metri, si trovano sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 5 metri, e alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 10 metri a contatto con il substrato sismico.

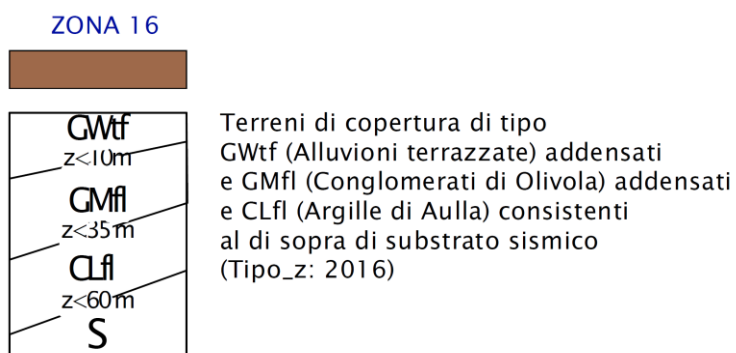
Questa zona si trova rappresentata nella piana alluvionale in destra idrografica del Torrente Verde in corrispondenza delle località di Guinadi e Ca Baldassa.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Alluvioni terrazzate, con spessori inferiori a 5 metri, sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 5 metri, e alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 10 metri, a contatto con il substrato sismico, nella piana alluvionale in destra idrografica del Torrente Verde all'altezza delle località di Guinadi e Ca Baldassa.

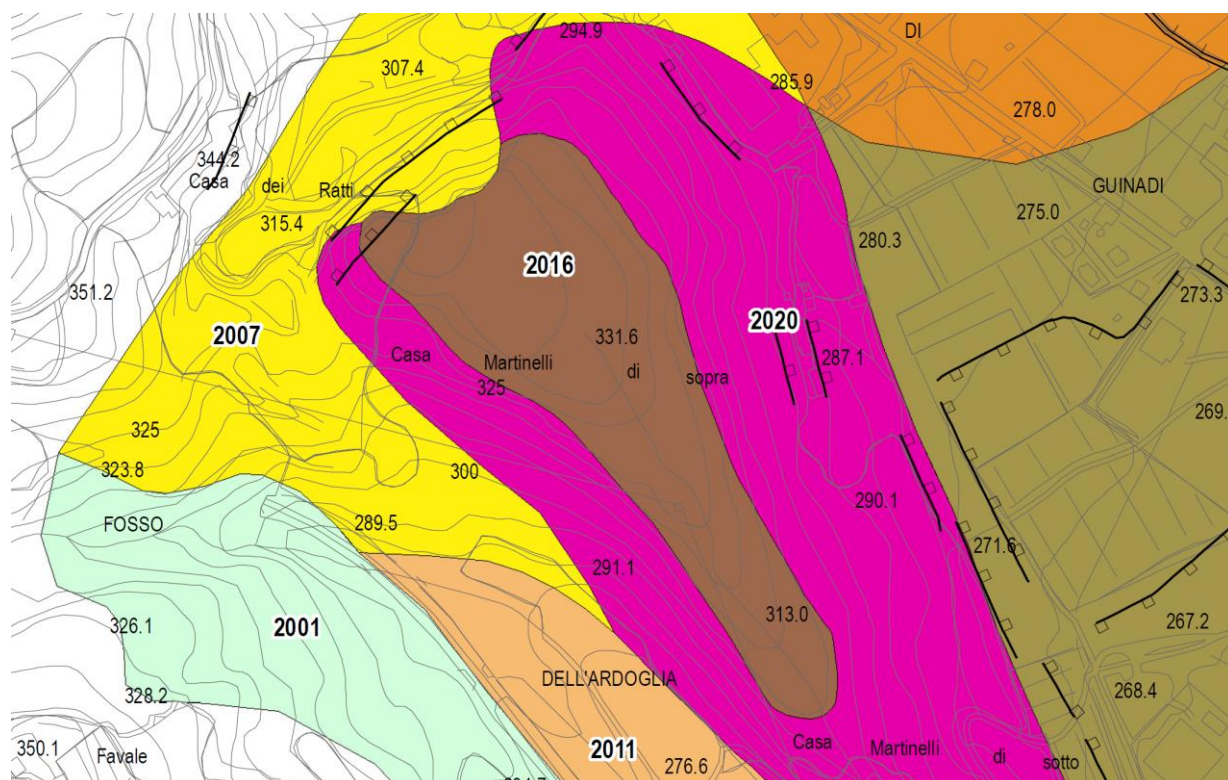


**Zona 16:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GWtf** (Alluvioni terrazzate) di spessore inferiore a 10 metri addensati e **GMfl** (Conglomerati di Olivola) di spessore inferiore a 25 metri addensati e **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore inferiore a 25m consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (**Tipo\_z:2016**)



Corrisponde alle zone dove le Alluvioni terrazzate, con spessori inferiori a 10 metri, si trovano sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 25 metri, e alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 25 metri a contatto con il substrato sismico.

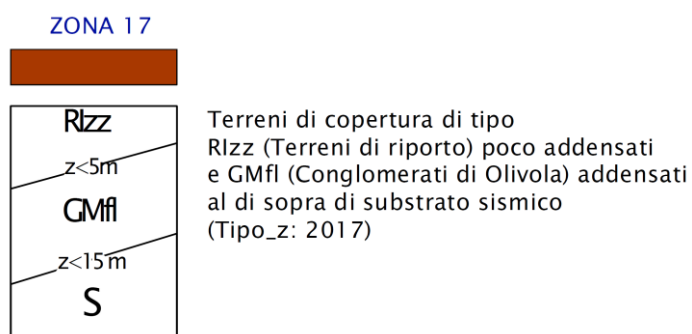
Questa zona si trova rappresentata unicamente lungo il crinale di Casa Martinelli di Sopra.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Alluvioni terrazzate, con spessori inferiori a 10 metri, sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 25 metri, e alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 25 metri, a contatto con il substrato sismico, in corrispondenza del crinale di Casa Martinelli di Sopra.

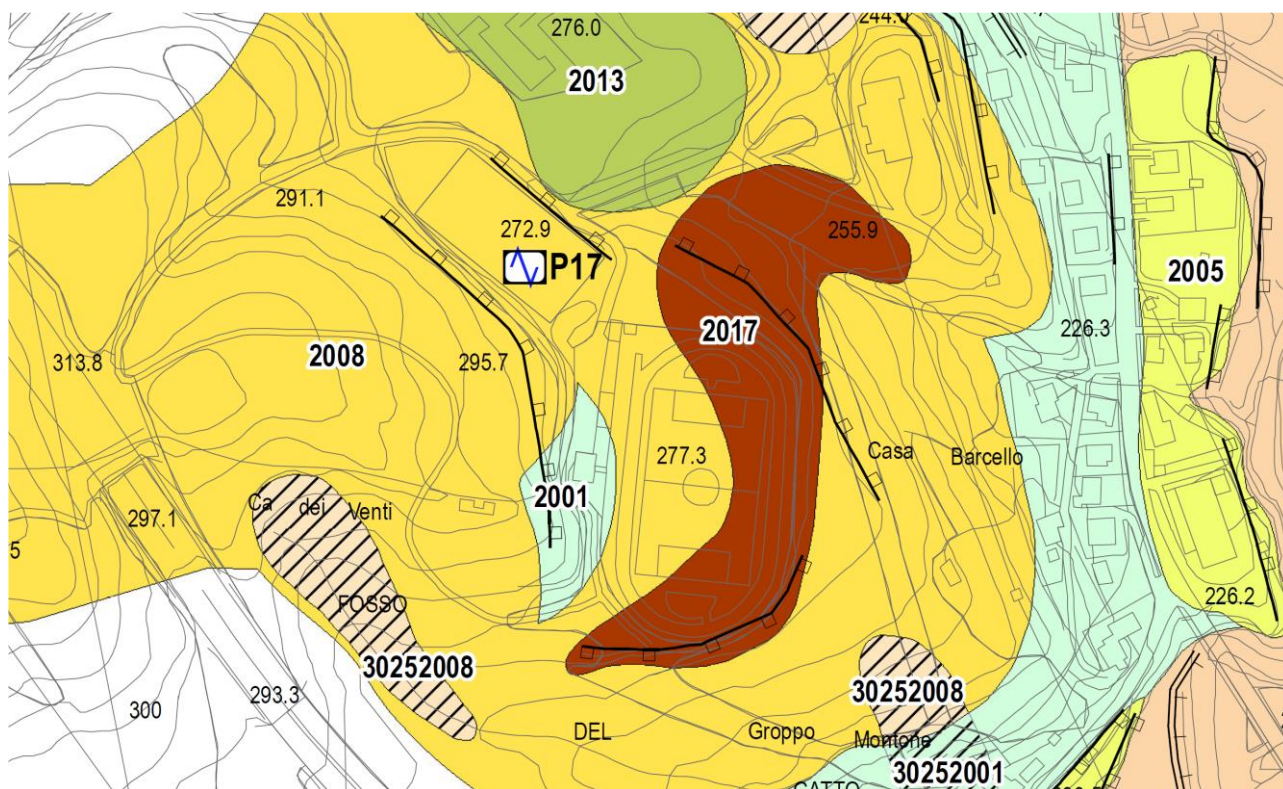


**Zona 17:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **Rlzz** (terreni di riporto) di spessore inferiore a 5 metri poco addensati e **GMfl** (Conglomerati di Olivola) di spessore inferiore a 10 metri addensati al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (Tipo\_z:2017)



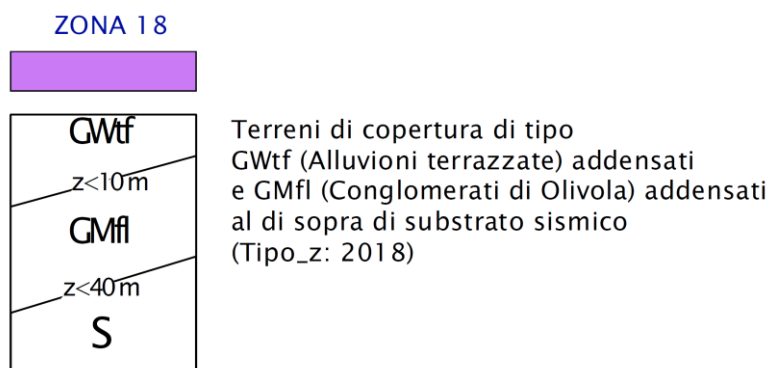
Corrisponde alle zone dove in superficie affiorano Terreni di Riporto di spessore inferiore a 5 metri, sovrapposti ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 10 metri, a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente in corrispondenza del Campo Sportivo di località Casa Barcello.



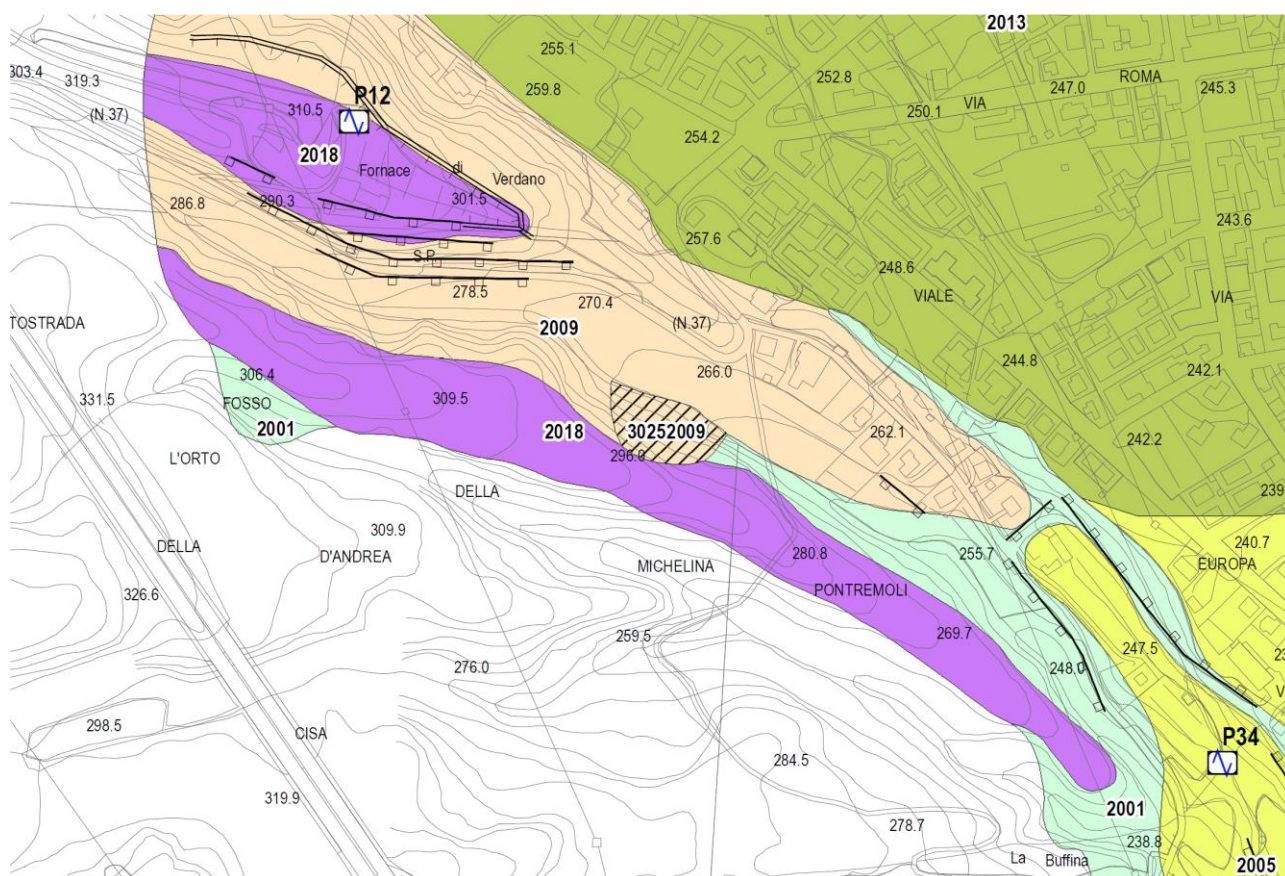
Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza di Terreno di riporto di spessore inferiore a 5 metri, sovrapposto ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 10 metri, a contatto con il substrato sismico, in corrispondenza del campo sportivo di Casa Barcello.

**Zona 18:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GWtf** (Alluvioni terrazzate) di spessore inferiore a 10 metri addensati e **GMfl** (Conglomerati di Olivola) di spessore inferiore a 30 metri addensati al di sopra di substrato sismico (**Tipo\_z:2018**)



Corrisponde alle zone dove le Alluvioni terrazzate, con spessori inferiori a 10 metri, si trovano sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 30 metri, a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente lungo il crinale di Fornace di Verdano e del crinale sottostante.

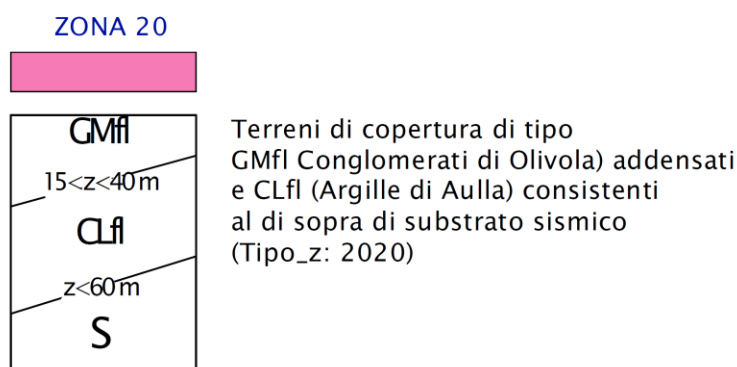


Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento delle Alluvioni terrazzate, con spessori inferiori a 10 metri, sovrapposte ai Conglomerati di Olivola, di spessore inferiore a 30 metri, a contatto con il substrato sismico, in corrispondenza del crinale di Fornace di Verdano e del crinale sottostante.



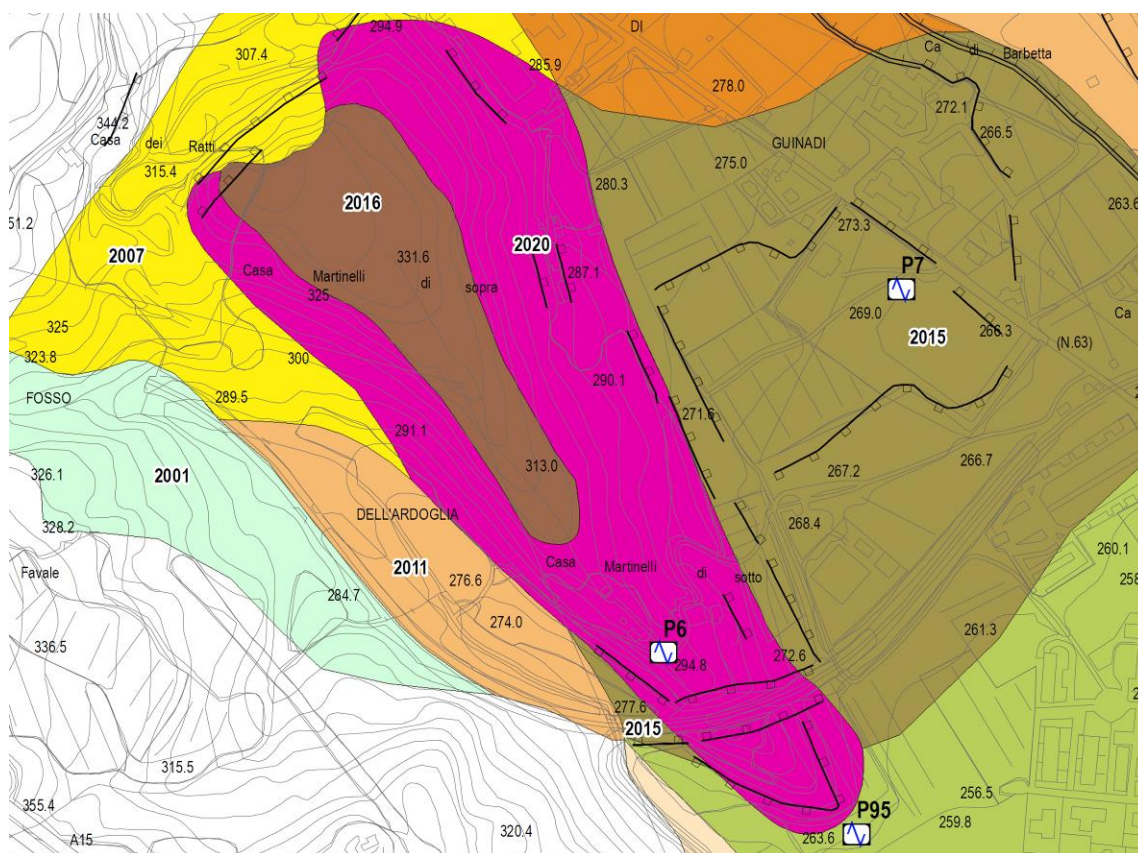


**Zona 20:** TERRENI DI COPERTURA di tipo **GMfl** (Conglomerati di Olivola) di spessore compreso tra 15 e 40m addensati e **CLfl** (Argille di Aulla) di spessore inferiore a 20 metri consistenti al di sopra di SUBSTRATO SISMICO (Tipo\_z:2020)



Corrisponde alle zone dove i Conglomerati di Olivola, con spessori compresi tra 15 e 40 metri, si trovano sovrapposti alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 20 metri, a contatto con il substrato sismico.

Questa zona si trova rappresentata unicamente lungo le pendici del rilievo morfologico di Casa Martinelli di Sopra ed in prossimità della località di Casa Martinelli di Sotto.



Esempio di zona stabile suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza in affioramento dei Conglomerati di Olivola, di spessore compreso tra 15 e 40 metri, sovrapposti alle Argille di Aulla, di spessore inferiore a 20 metri, a contatto con il substrato sismico, in corrispondenza delle pendici del rilievo di Casa Martinelli di Sopra e della località di Casa Martinelli di Sotto.












### 10.3.2 – ZONE DI ATTENZIONE PER LE INSTABILITA'

Le tipologie di instabilità individuate nel territorio comunale sono rappresentate unicamente da **instabilità di versante (Z<sub>FR</sub>)**.

Conseguentemente nella Carta delle MOPS sono state inserite le seguenti **Zone di Attenzione**.

## Zone di attenzione (ZA) per le instabilità

Zone di Attenzione per Instabilità di versante (Z<sub>FR</sub>)

	30152009		30252006
	30252001		30252008
	30252002		30252009
	30252004		30252014
	30252005		

Le **Zone di Attenzione per Instabilità di versante (Z<sub>FR</sub>)** sono state identificate con un codice numerico formato da 8 cifre delle quali le prime quattro descrivono la tipologia della zona suscettibile di instabilità e le ultime 4 la tipologia della zona stabile suscettibile di amplificazione corrispondente.

<b>Zone di Attenzione per Instabilità di versante Z<sub>FR</sub></b>	<b>1 – crollo o ribaltamento</b>	<b>2 – scorrimento</b>	<b>3 – colata</b>	<b>4 – complessa</b>	<b>5 – non definito</b>
1 – attiva (FR_A)	301120xy	301220xy	301320xy	301420xy	301520xy
2 – quiescente (FR_Q)	302120xy	302220xy	302320xy	302420xy	302520xy
3 – inattiva (FR_I)	303120xy	303220xy	303320xy	303420xy	303520xy
4 – non definita (FR_ND)	304120xy	304220xy	304320xy	304420xy	304520xy

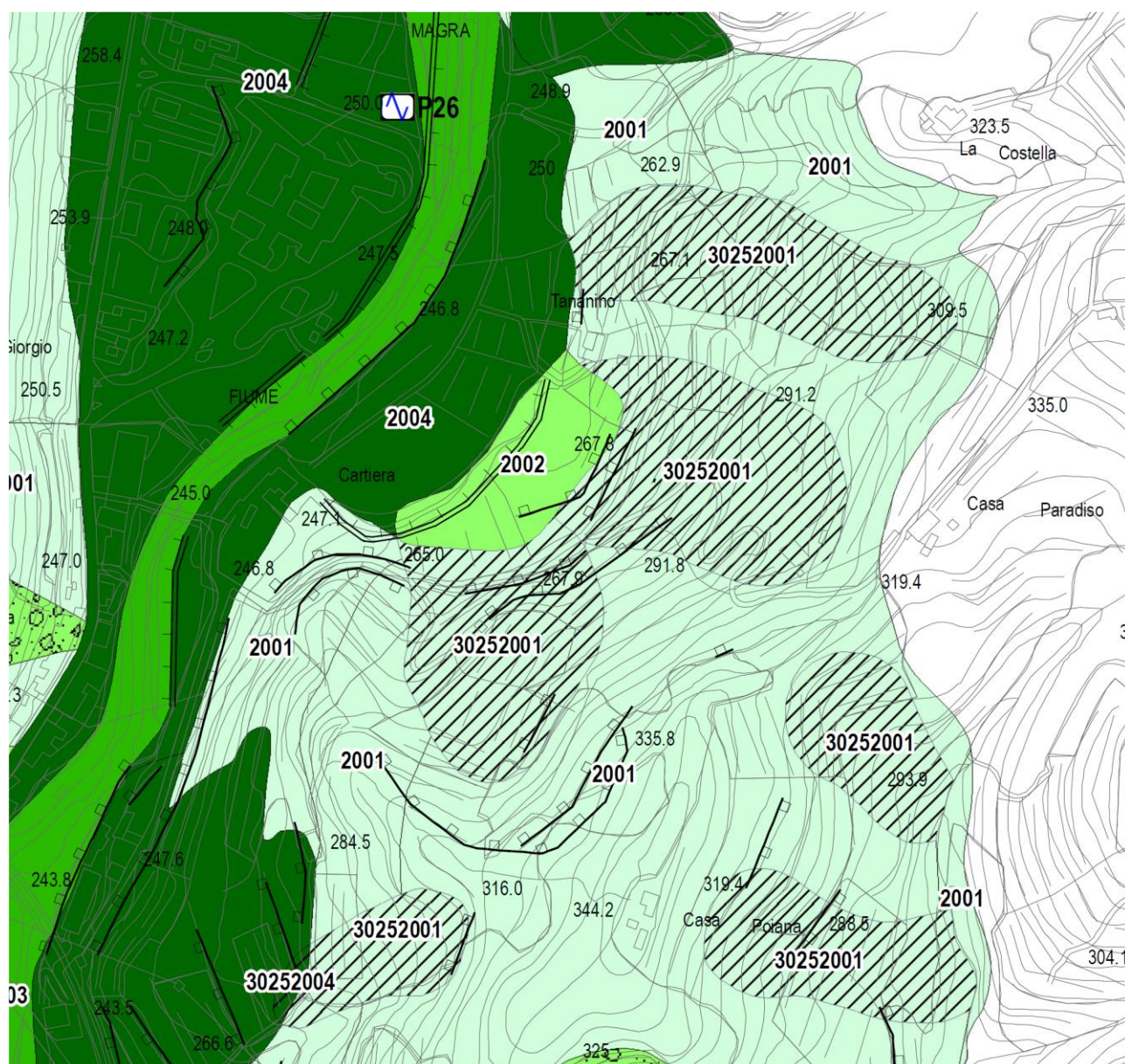
### **ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE**

Di seguito verranno forniti alcuni esempi relativi alle instabilità di versante maggiormente presenti.

#### **FRANE QUIESCENTI**

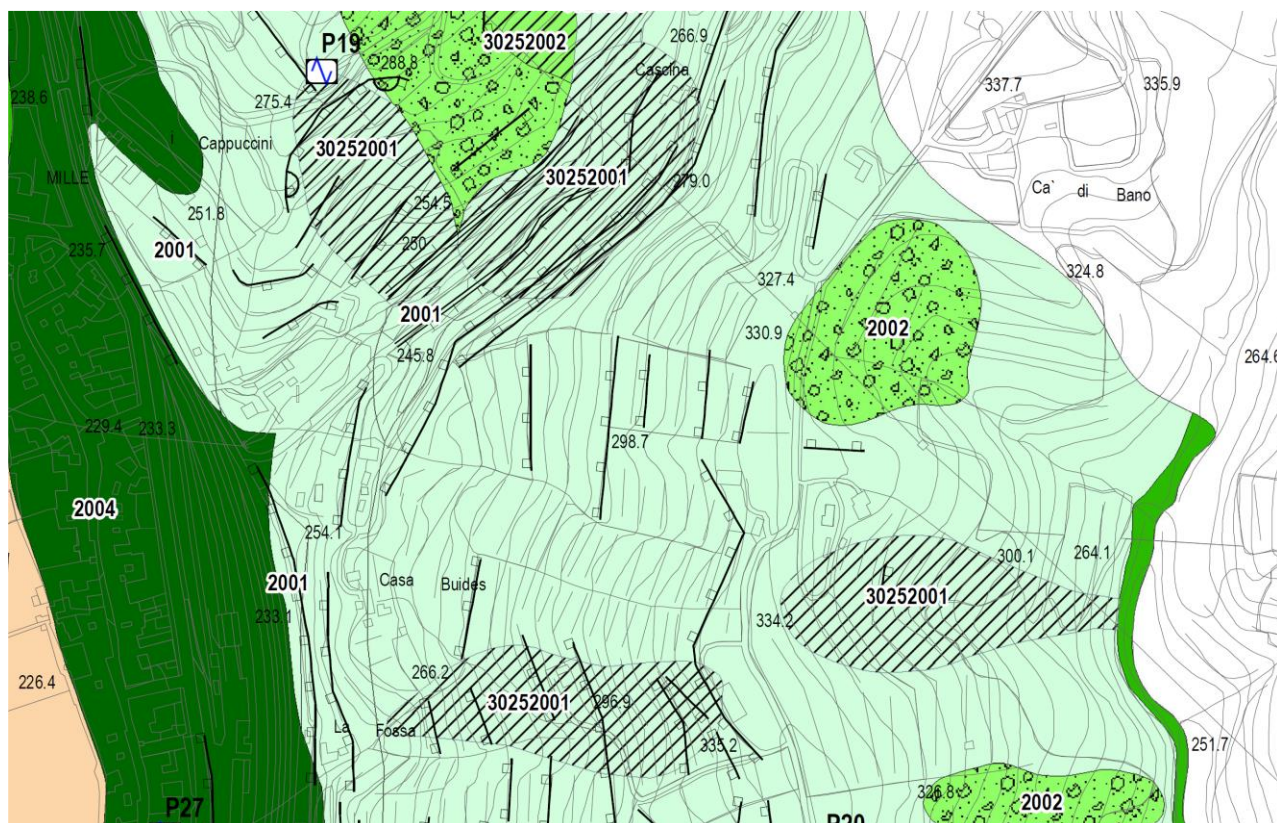
**Tipo i: 30252001** - *frane quiescenti con tipo di movimento non definito (3025)  
su substrato roccioso (2001)*

Questo tipo d'instabilità risulta ampiamente rappresentata lungo il versante in sinistra idrografica del Fiume Magra.

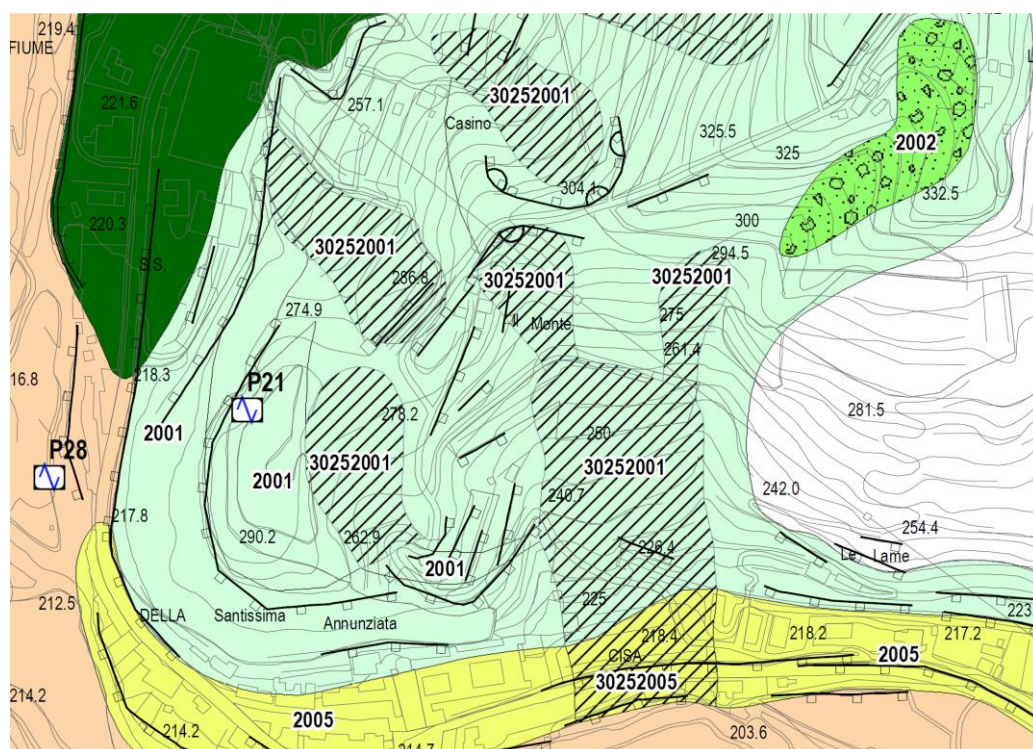


Esempio di frane quiescenti con tipo di movimento non definito (3025) su substrato roccioso affiorante con inclinazione maggiore di 15° (2001) lungo il versante in sinistra idrografica del Fiume Magra.





Esempio di frane quiescenti con tipo di movimento non definito (**3025**) su substrato roccioso affiorante con inclinazione maggiore di  $15^\circ$  (**2001**) lungo il versante in sinistra idrografica del Fiume Magra.



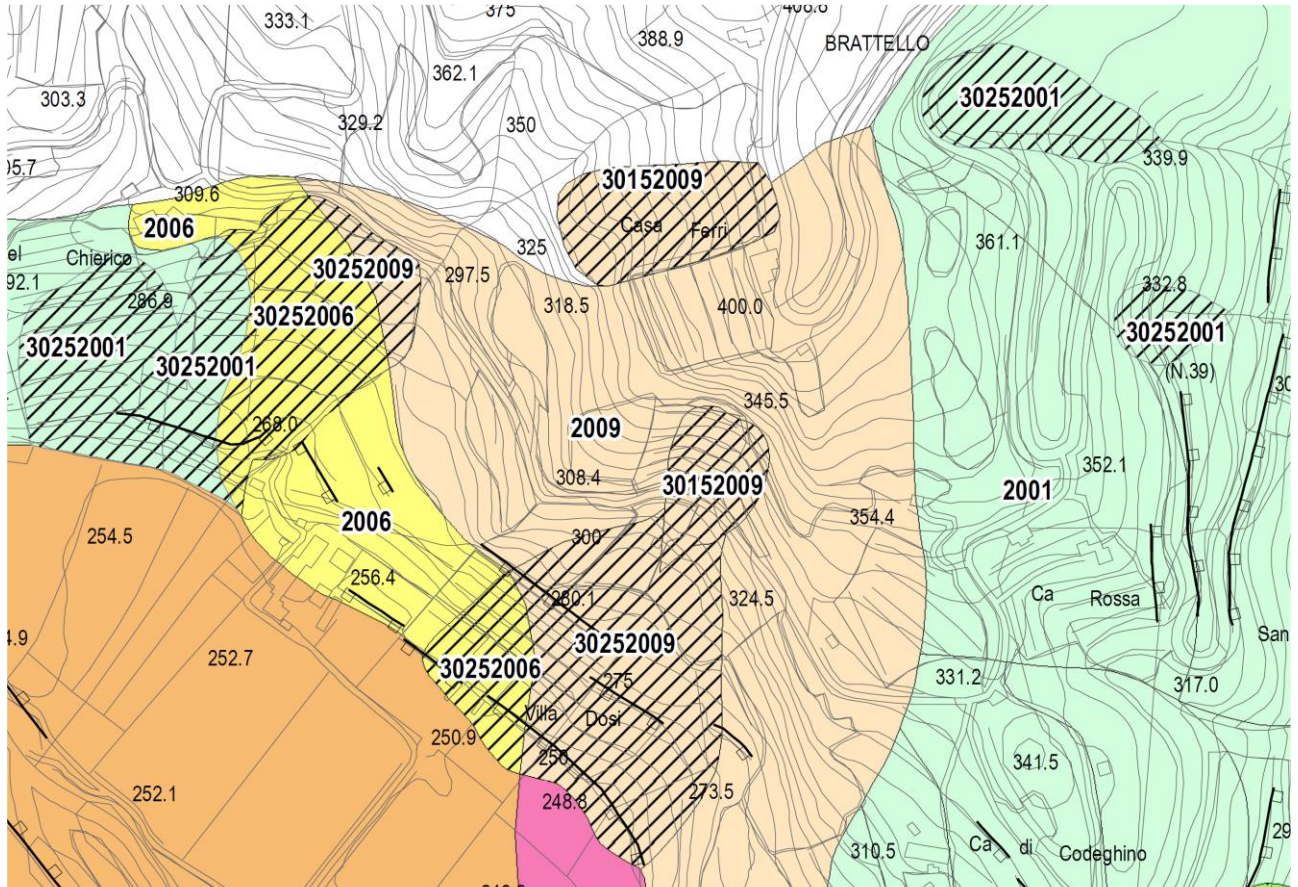
Esempio di frane quiescenti con tipo di movimento non definito (**3025**) su substrato roccioso affiorante con inclinazione maggiore di  $15^\circ$  (**2001**) lungo il versante in sinistra idrografica del Fiume Magra.



**FRANE QUIESCENTI**

**Tipo i: 30252006 - frane quiescenti con tipo di movimento non definito (3025)**  
**su Argille di Aulla di spessore inferiore a 15 metri (2006)**

Questo tipo d'instabilità risulta rappresentata unicamente nell'area a nord di Villa Dosi.



Esempio di frane quiescenti con tipo di movimento non definito (**3025**) su Argille di Aulla di spessore inferiore a 15 metri (**2006**) a nord dell'area di Villa Dosi.

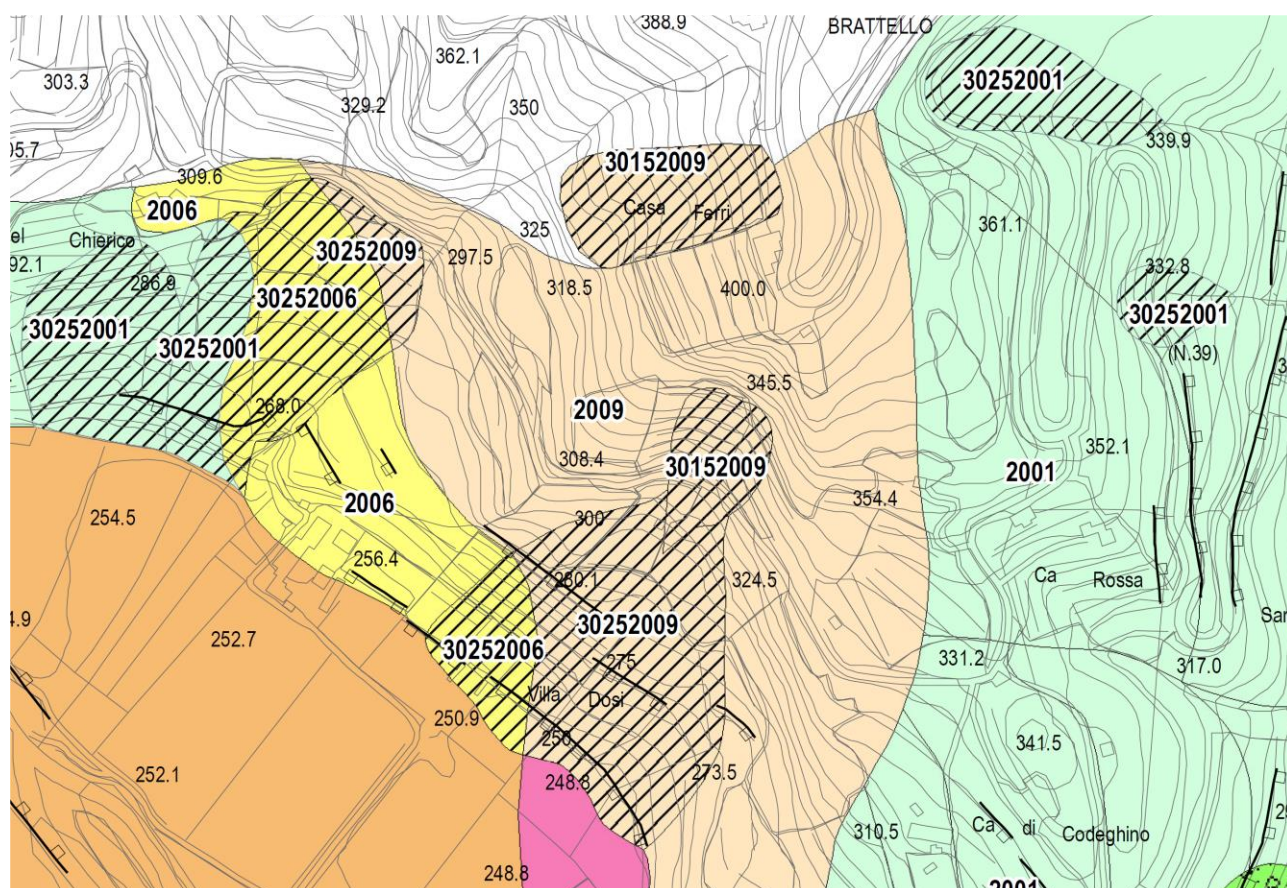


## **FRANE ATTIVE**

**Tipo i: 30152009** - frane attive con movimento indeterminato (**3015**)

su Argille di Aulla di spessore compreso tra 15 e 40 metri (**2009**)

Questo tipo d'instabilità risulta presente unicamente lungo il versante a monte di Villa Dosi.

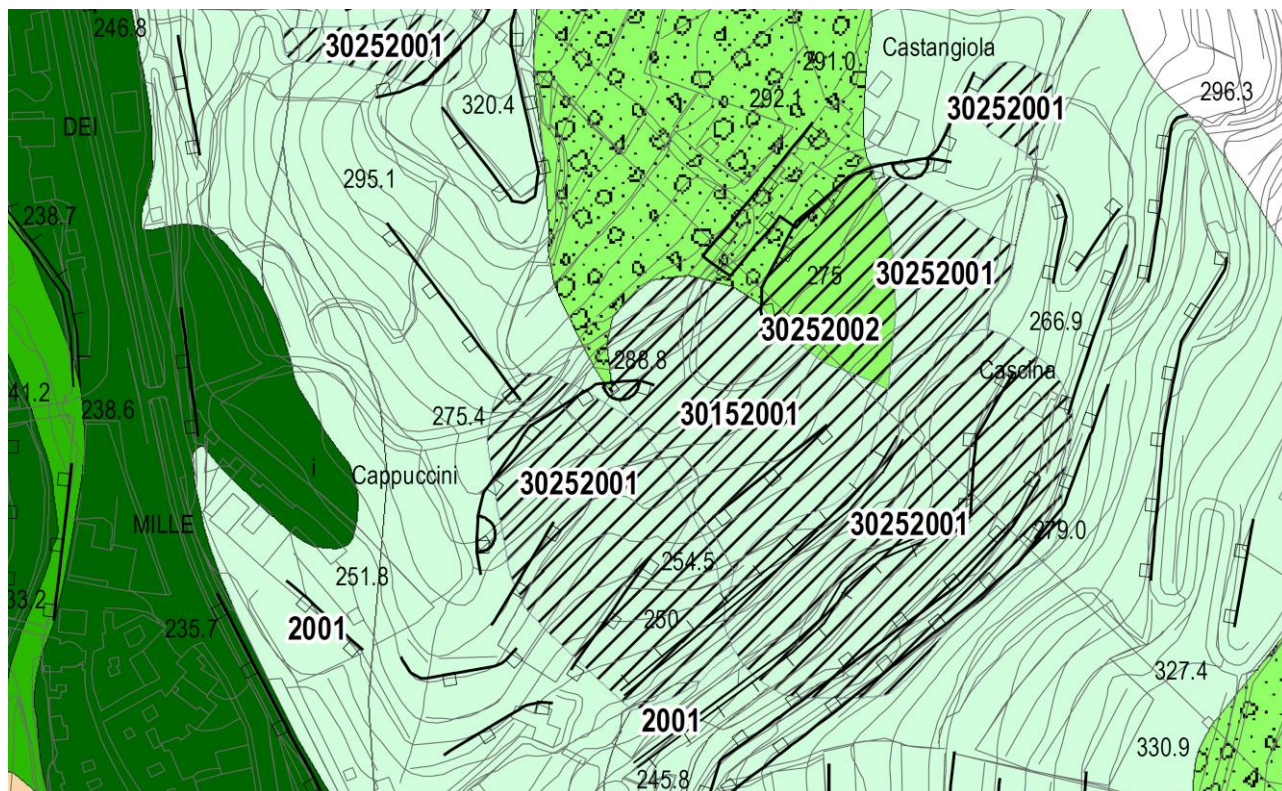


Esempio di frana attiva con movimento indeterminato (**3015**) su Argille di Aulla di spessore compreso tra 15 e 40 metri (**2006**) lungo il versante a monte di Villa Dosi.

**Tipo i: 30152001 - frane attive con movimento indeterminato (3015)**

*su Substrato roccioso con inclinazione maggiore di 15° (2001)*

Questo tipo d'instabilità risulta presente unicamente nella zona di Castangiola.



Esempio di frana attiva con movimento indeterminato (3015) su substrato roccioso con inclinazione maggiore di 15° (2001) lungo il versante nei pressi della zona di Castangiola.



## **11. – ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione (accelerogrammi) su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo A del §3.2.2 – NTC-18).

La possibile e assai frequente presenza in sito di locali condizioni sismostratigrafiche (esistenza di contrasti d'impedenza sismica nel profilo sismostratigrafico del sito) e/o geometrie superficiali e/o sepolte (aspetti bidimensionali) richiede quindi di valutare la risposta sismica locale attraverso opportune analisi numeriche, ovvero mediante l'utilizzo di codici di calcolo 1D/2D.

Come meglio descritto in seguito per l'area in esame è stato adottato l'approccio bidimensionale 2D in quanto dal modello geologico di riferimento ricostruito sono attesi effetti bidimensionali di amplificazione del moto sismico.

Nel caso in oggetto quindi la valutazione dell'**amplificazione sismica** è stata effettuata mediante la realizzazione di **analisi di risposta sismica locale in assetto bidimensionale**.

L'analisi di RSL in ambito 1D o 2D richiede la preliminare definizione di n.3 elementi imprescindibili che sono:

1. L'**input sismologico** (selezione delle storie temporali di input) composto da una settupla di accelerogrammi naturali, adeguatamente scelti sulla base della pericolosità sismica del sito;
2. Il **modello sismostratigrafico** ricavato tramite la determinazione dell'assetto geometrico sepolto e superficiale dei terreni interessati dallo studio di microzonazione sismica mediante apposite indagini di superficie e profonde;
3. Il **modello fisico-meccanico** (parametrizzazione in chiave dinamica dei sismostrati oggetto delle analisi di RSL) in grado di simulare, in maniera semplificata, il comportamento del terreno in oggetto.

### 11.1 - INPUT SISMOLOGICO

Per quanto attiene alla definizione delle serie temporali da utilizzare come input sismologico il Servizio Sismico Regionale consiglia l'utilizzo del software regionale **SCALCONA 3.0** (**SCAL**ing of **CO**mpatible **N**atural **A**ccelerograms).

Tale codice di calcolo è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana. (Zuccolo et al., 2011; Rota et al., 2012; Zuccolo et al., 2012; Zuccolo et al., 2014).

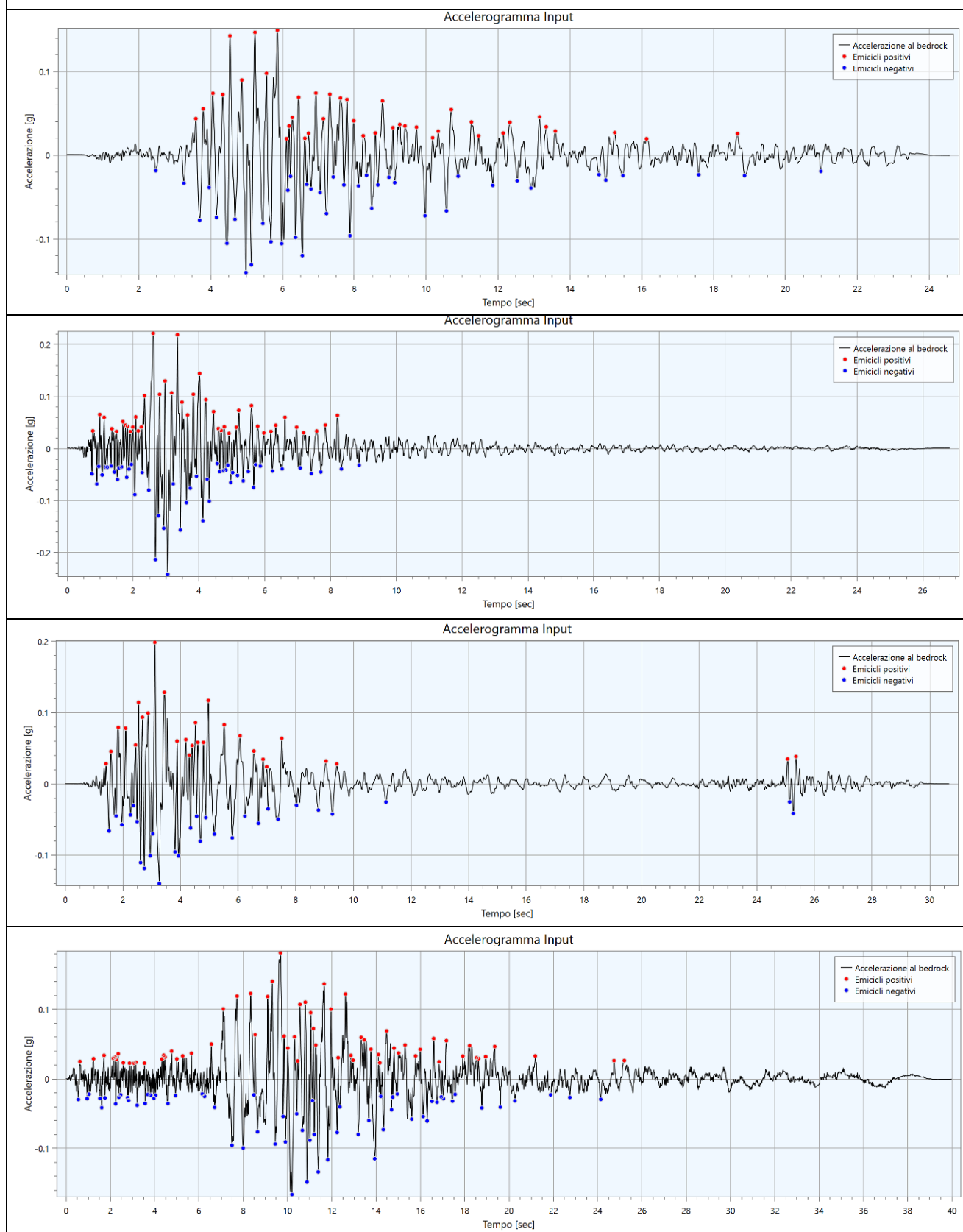
Le storie temporali utilizzate sono quelle di tipo naturale in quanto una delle finalità di uno studio di MS3 in Toscana prevede anche un possibile utilizzo dei risultati di output in fase progettuale.

Per questa finalità, infatti, è necessario rimanere aderenti ai dettami delle vigenti NTC per le quali la stima dell'azione sismica di progetto mediante un approccio rigoroso (RSL) deve prevedere l'utilizzo in fase di input di storie temporali naturali (oltreché segnali sintetici, il cui utilizzo allo stato attuale risulta molto limitato).

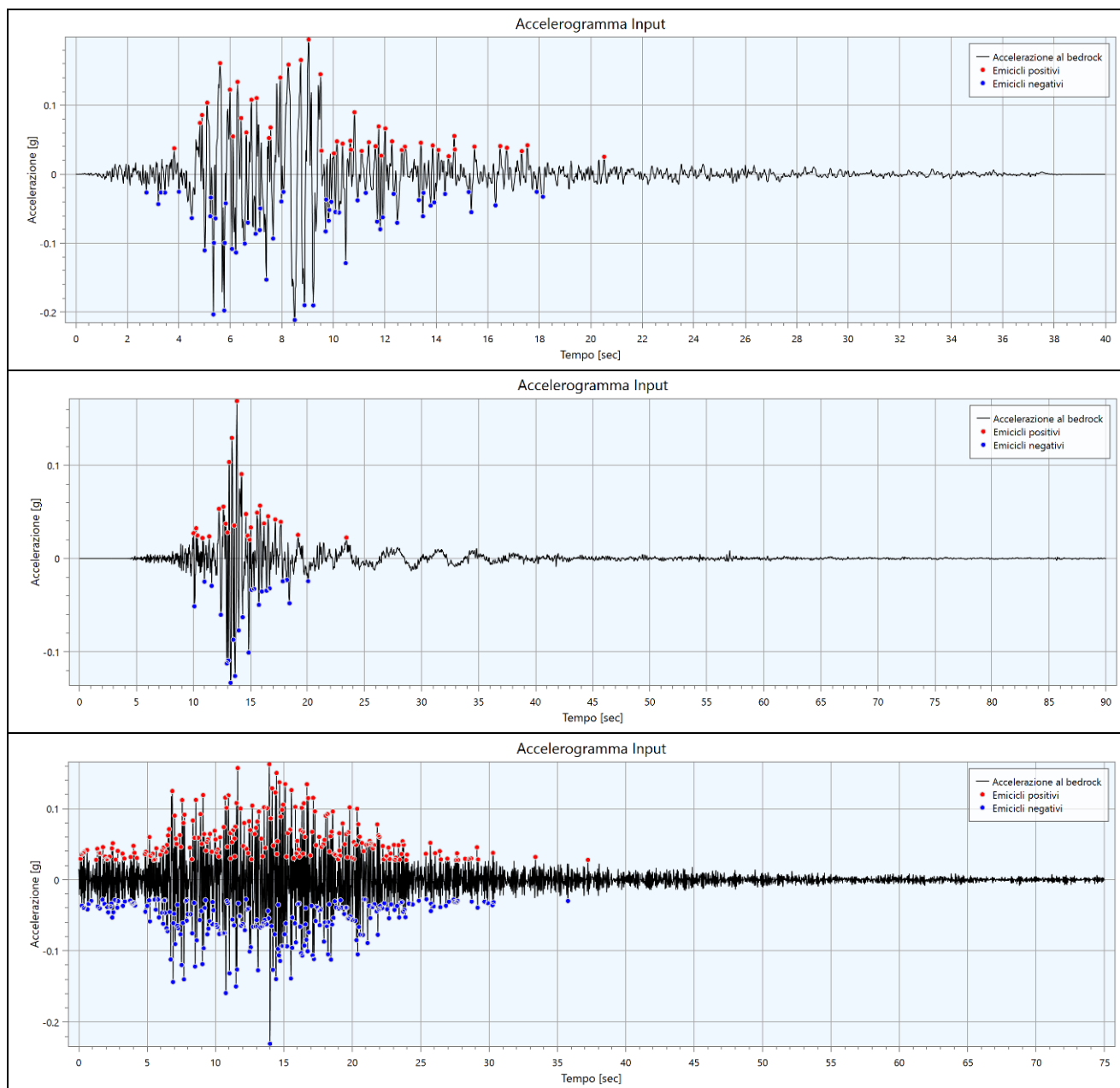
Il periodo di ritorno **ufficiale** per la realizzazione di studi di MS3 è di **475 anni** ed è quello utilizzato per le analisi di risposta sismica locale e per le analisi finalizzate alla parametrizzazione delle instabilità; sulla base di tali analisi sono stati computati i **fattori di amplificazione sismica**.

Nella seguente figura sono riportati gli **accelerogrammi di input** selezionati tramite **SCALCONA** per il Tempo di ritorno  $T_R = 475$  anni.

### SET DI 7 INPUT SISMICI NATURALI – Tempo di Ritorno = 475 anni







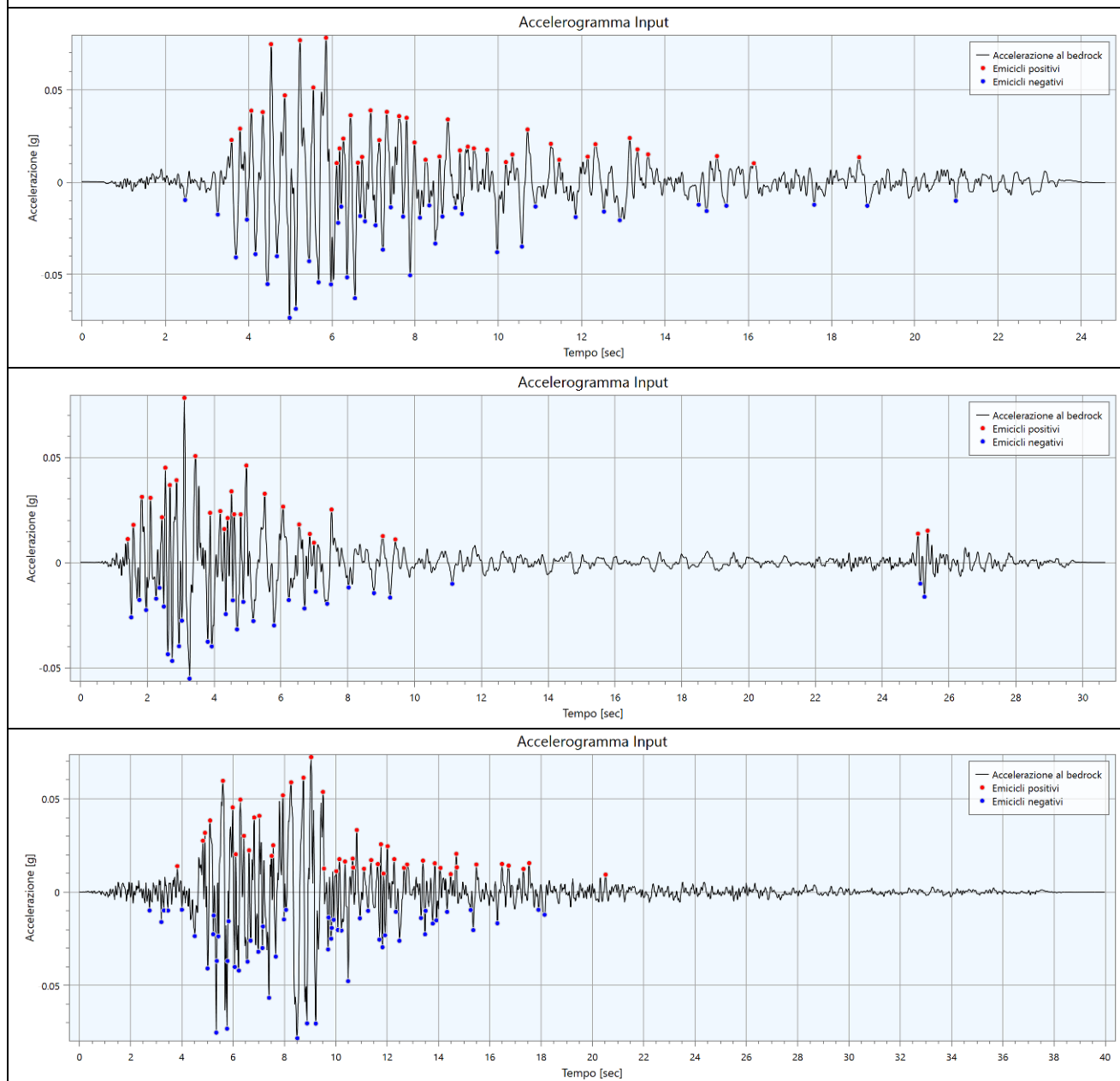
*Input sismologico in termini di storie temporali in accelerazione per il  $TR=475$ anni estratte da SCALCONA.*

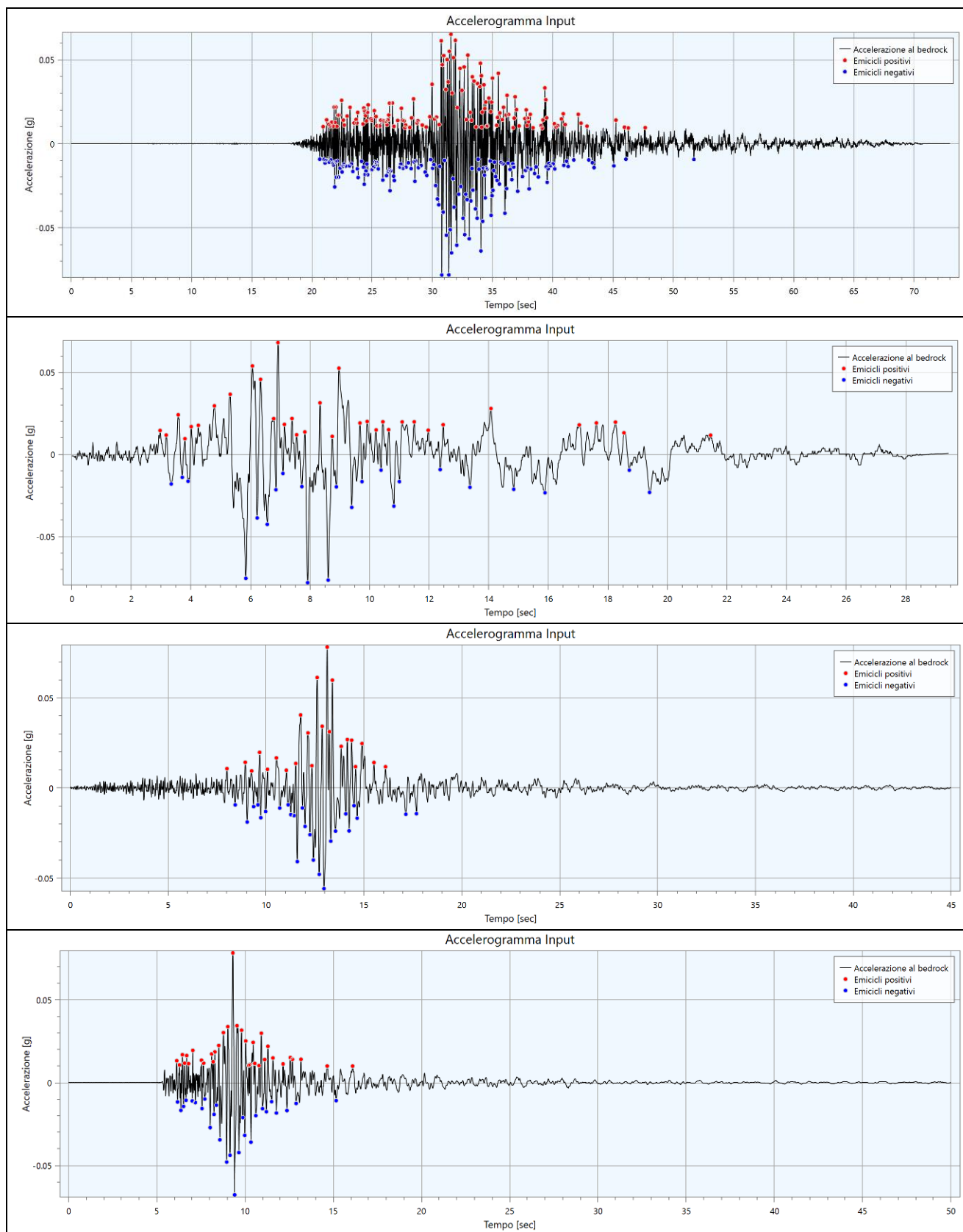
Così come indicato nelle Specifiche Tecniche Regionali le analisi di RSL sono state eseguite anche utilizzando una settupla di accelerogrammi naturali relativa ad un periodo di ritorno di **50 anni**.

I risultati di queste analisi sono stati utilizzati per giungere alla stima degli spettri caratteristici.

Nella seguente figura sono riportati gli **accelerogrammi di input** selezionati tramite **SCALCONA** per il Tempo di ritorno  $T_R = 50$  anni.

### SET DI 7 INPUT SISMICI NATURALI – Tempo di Ritorno = 50 anni



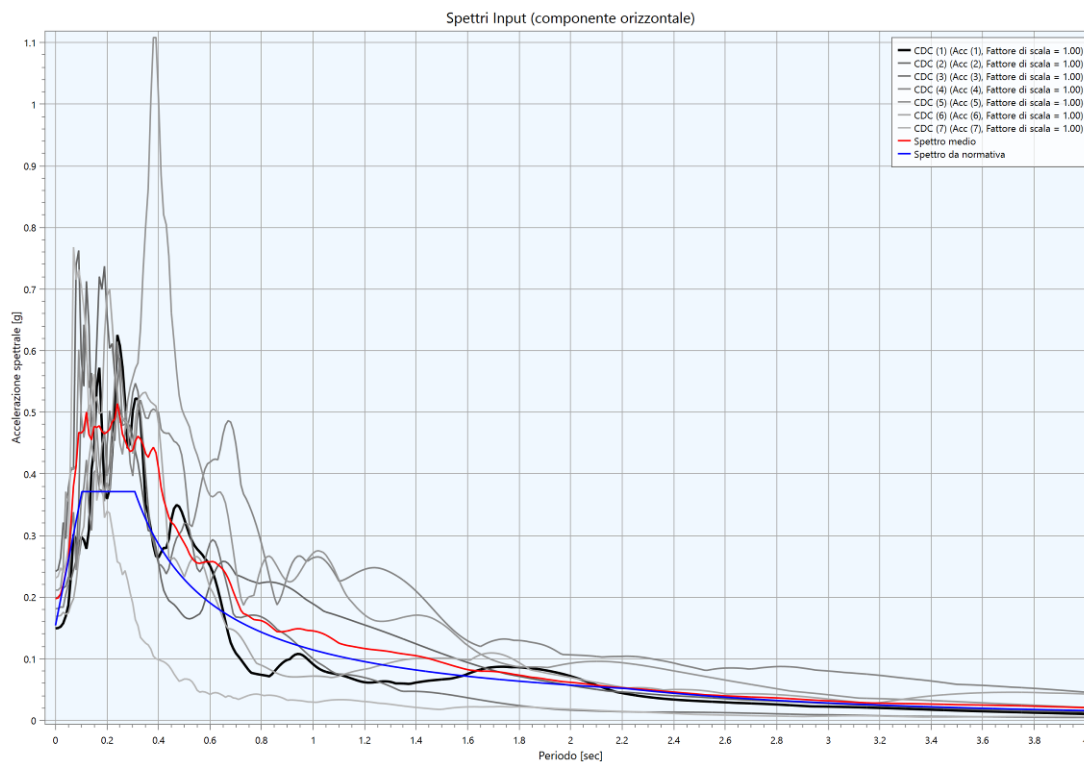


*Input sismologico in termini di storie temporali in accelerazione per il TR=50anni estratte da SCALCONA.*

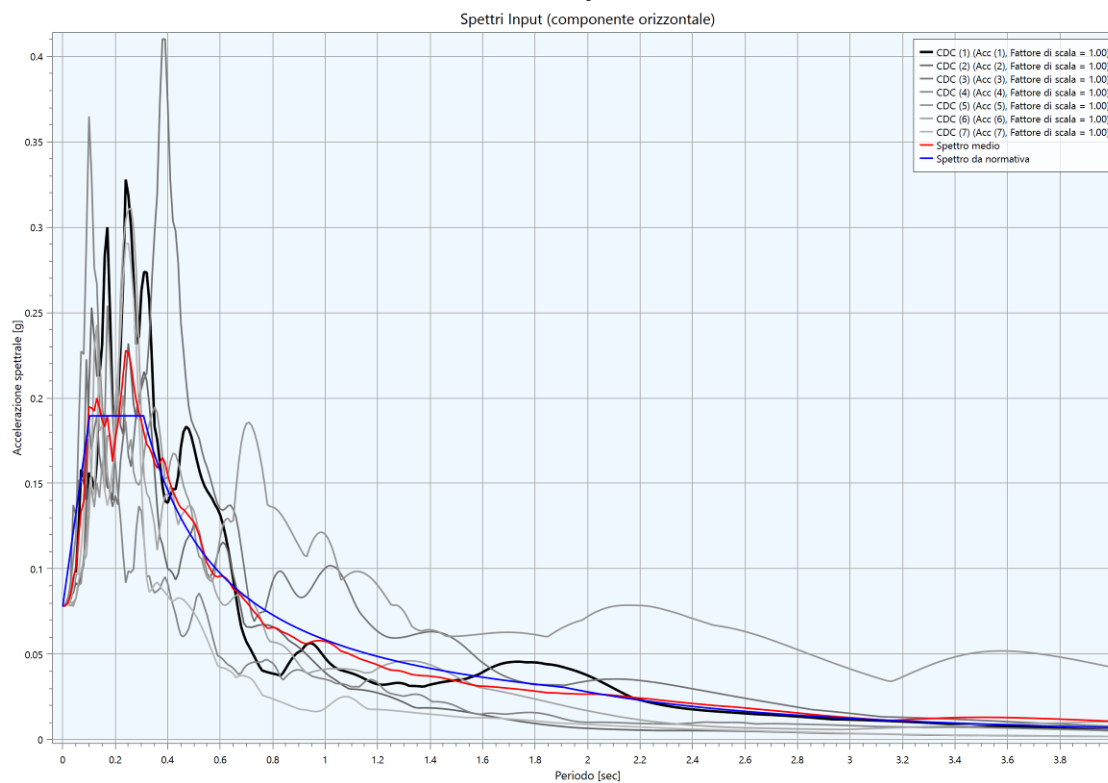


Nelle seguenti figure sono riportati gli **SPETTRI di INPUT**.

### SPETTRI DI INPUT per $T_R = 475$ anni



### SPETTRI DI INPUT per $T_R = 50$ anni



Spettri di risposta elastici relativi alla settupla di accelerogrammi per  $T_R=475$  anni e  $T_R=50$  anni. Con la curva rossa è indicato lo spettro medio; con curva blu è riportato lo spettro target del sito (cat. A-T1).

## 11.2 – DEFINIZIONE DELLE SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE DI IMPUT

Il **modello geometrico** da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale è stato ricavato dalle sezioni geologico-tecniche rappresentative del Modello Geologico di Riferimento definito a seguito dell'implementazione dello studio di MS1.

Come ricordato in precedenza, in considerazione dell'assetto sismostratigrafico desunto dalla definizione del Modello Geologico di Riferimento, per le analisi di RSL è stato scelto un assetto **bidimensionale** utilizzando un approccio di tipo **lineare-equivalente**.

Il numero di sezioni modellate ha consentito di ottenere una buona copertura in riferimento all'estensione dell'area di studio in grado di intercettare tutte le geometrie superficiali e/o sepolte che hanno la possibilità di influenzare la risposta sismica locale.

## 11.3 – PARAMETRIZZAZIONE IN CHIAVE DINAMICA DEI TERRENI

L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale prevede la parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni oggetto di studio.

Per ognuno dei sismostrati che sono stati modellati sono stati definiti i seguenti parametri:

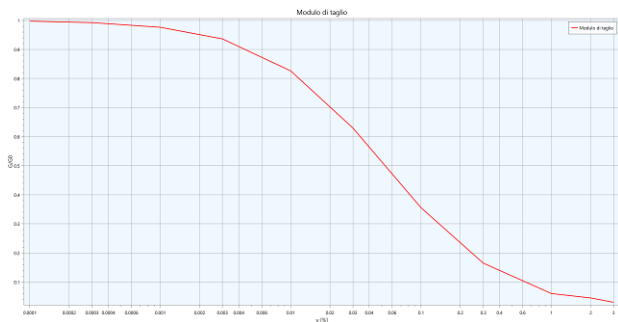
- Valori di  **$V_p$**  (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di  **$V_s$**  (velocità di propagazione delle onde di taglio). Il valore di  $V_s$  è servito anche per determinare la dimensione ottimale della **mesh** con cui sono state discretizzate le sezioni da modellare;
- **Pesi di volume** dei litotipi in oggetto;
- **Curve di decadimento** del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$  utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente.

Le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$ , utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente, sono state desunte principalmente dalla banca dati realizzata in ambito VEL su terreni analoghi affiancate da quelle desunte dalla bibliografia internazionale (vedasi tabella Modellazione numerica).

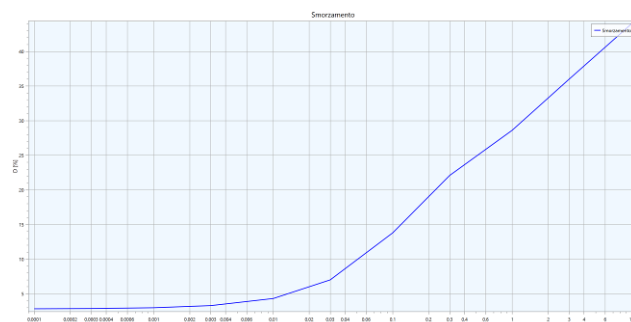
Di seguito si riportano le curve utilizzate.

Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$  per i litotipi presenti nell'area indagata

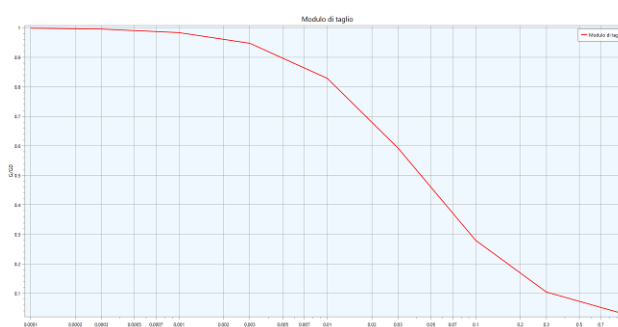
Terreno di riporto e alluvioni attuali  
Modello "bn – alluvioni prolungate"



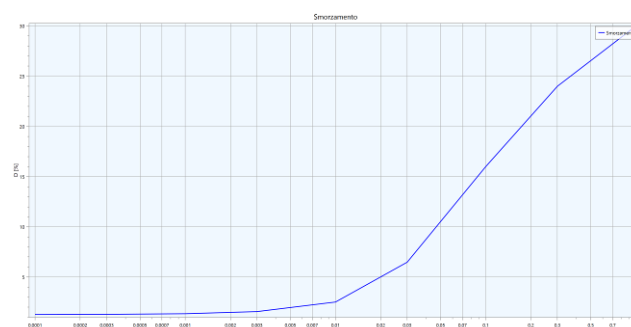
Terreno di riporto e alluvioni attuali  
Modello "bn – alluvioni prolungate"



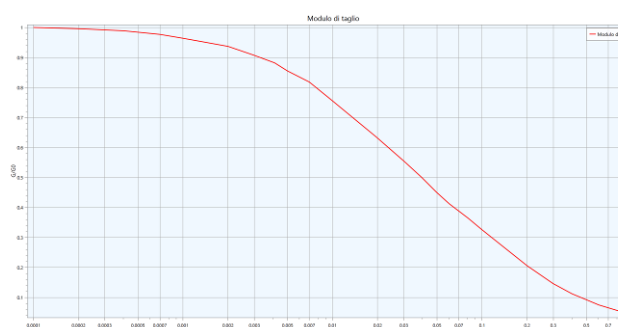
Detrito di copertura - Modello "Limi Lunigiana"



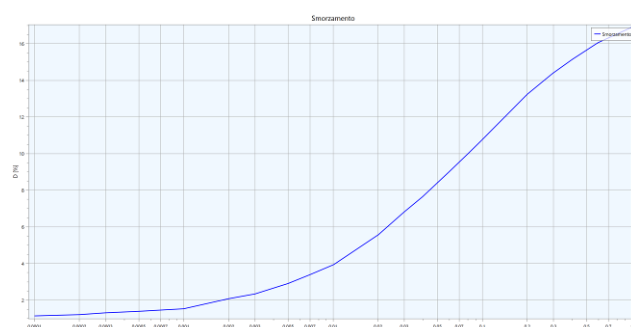
Detrito di copertura - Modello "Limi Lunigiana"



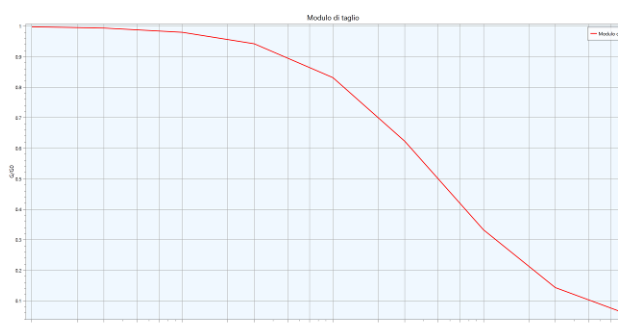
Alluvioni terrazzate e Conglomerati di Olivola  
Modello "Rollins\_ghiaie"



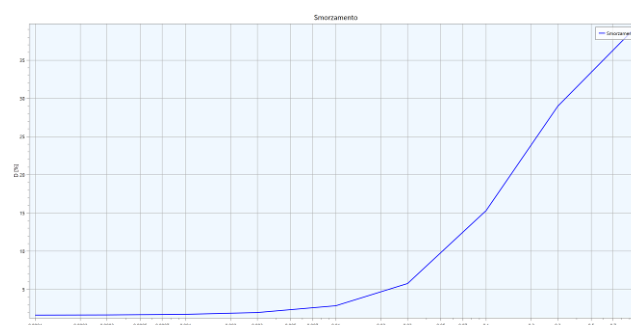
Alluvioni terrazzate e Conglomerati di Olivola  
Modello "Rollins\_ghiaie"



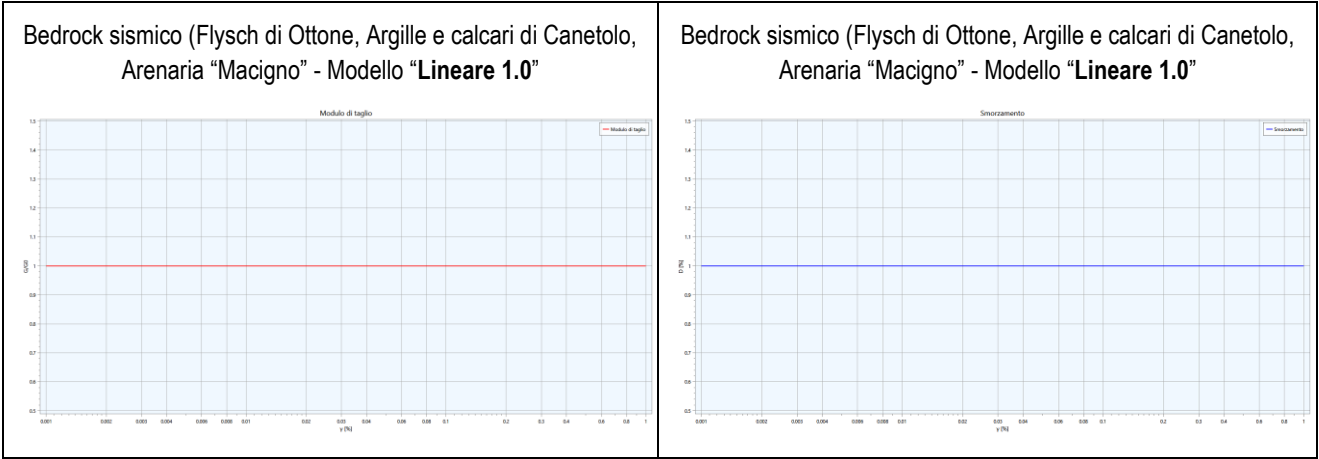
Argille di Aulla  
Modello "Argille, sabbie e conglomerati di Aulla"



Argille di Aulla  
Modello "Argille, sabbie e conglomerati di Aulla"







#### 11.4 - MODELLAZIONE NUMERICA

Un ulteriore parametro da definire in fase di settaggio dell'analisi RSL è il Rapporto di deformazione effettiva che si calcola con la seguente formula:

$$\frac{M - 1}{10}$$

dove **M** è la Magnitudo massima che si ottiene con il metodo di Disaggregazione della Pericolosità Sismica, il quale consente di stimare il valore di magnitudo di eventi attesi in una determinata area sulla base dell'analisi delle coppie di riferimento magnitudo – distanza.

Nel caso in esame è stato calcolato un valore del Rapporto deformazione effettiva pari a **0.55**.

Definiti i 7 moti di input sismico ed il Modello Sismostratigrafico di Riferimento per ciascuna delle n.9 sezioni si è provveduto ad elaborare l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) mediante il codice di calcolo **LSR 2D** della **STACEC srl**.

Lo schema di analisi adottato dal codice di calcolo LSR2D è quello lineare equivalente nel dominio del tempo e le equazioni del moto vengono assemblate mediante il metodo degli elementi finiti nell'ipotesi di materiale viscoelastico in tensioni totali.

L'approccio di tipo lineare equivalente simula il comportamento non lineare del terreno utilizzando le curve **G-γ** e **D-γ** associate ad ogni tipologia di terreno.

In particolare, il **modulo di taglio G** e il **fattore di smorzamento D** vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale indotta dalle sollecitazioni sismiche.

A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidezza e smorzamento con una prima analisi si determina un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale efficace.

Dalle curve G/G<sub>0</sub>-γ e D-γ si determinano nuovi valori di G e D e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di G, D e γ<sub>eff</sub> viene ritenuto arbitrariamente accettabile.

Il modello geologico ricostruito è stato discretizzato utilizzando **mesh** di elementi di forma triangolare le cui dimensioni massime sono state selezionate secondo la regola (Kuhlemeyer e Lysmer, 1973):

$$D_{max} = \lambda / k = (T V_s)/k$$

$\lambda$  = lunghezza d'onda

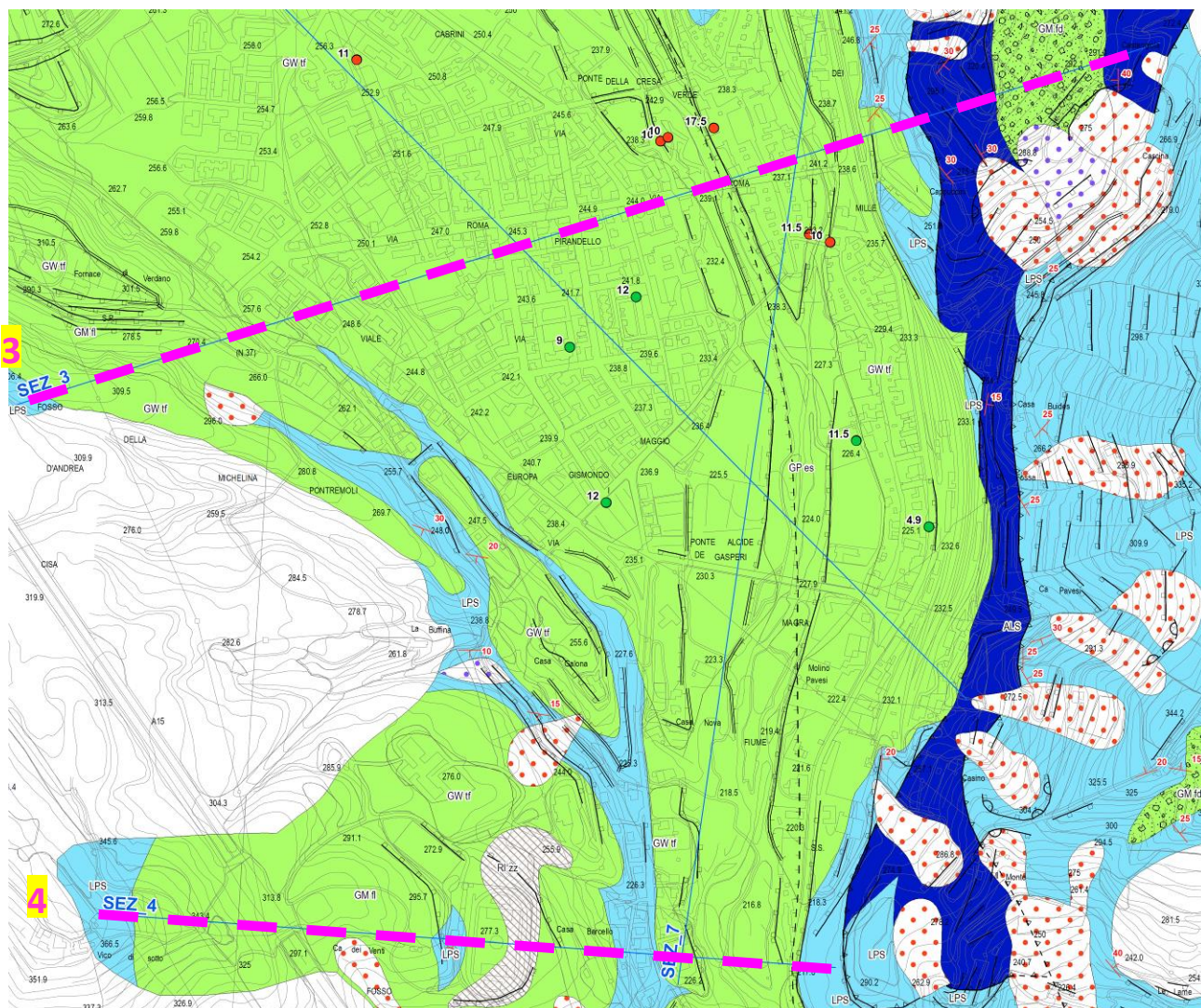
**V<sub>s</sub>** = è la velocità di propagazione delle onde di taglio dirette

**T** = è il periodo corrispondente alla più corta onda sismica propagabile e posto pari a 0.05s (frequenza massima propagata pari a 20Hz).

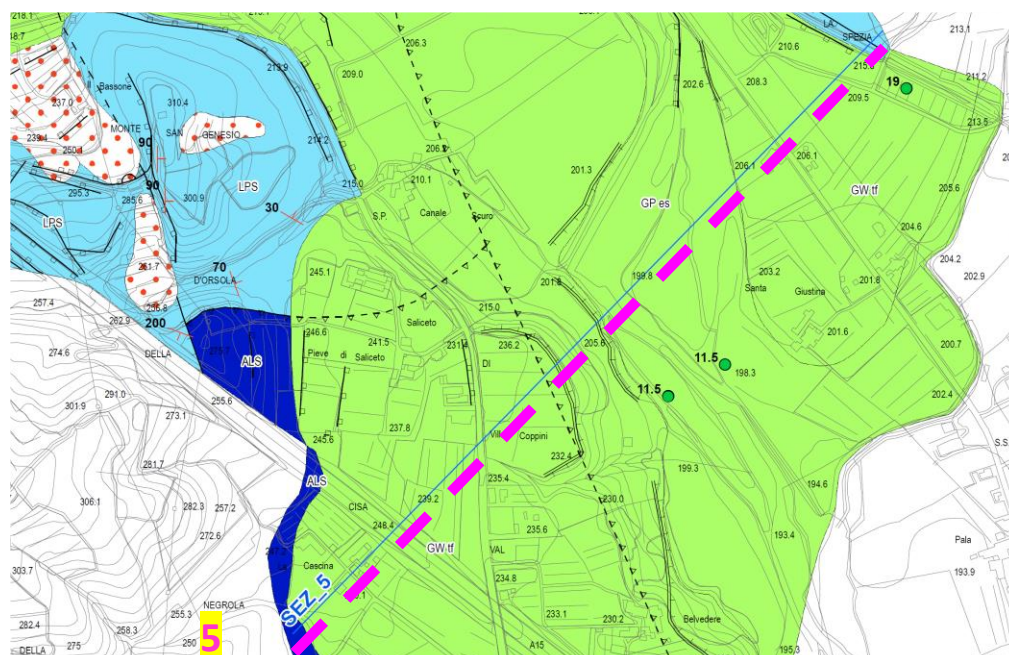
Tale periodo è quindi il minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output. Il coefficiente k è stato posto pari a 8 (Lanzo & Silvestri, 1999).







Ubicazione sulla Carta geologico-tecnica delle SEZIONI 3 e 4 sottoposte ad Analisi di RSL bidimensionale.



Ubicazione sulla Carta geologico-tecnica delle SEZIONE 5 sottoposta ad Analisi di RSL bidimensionale.
































Ubicazione sulla Carta geologico-tecnica delle SEZIONE 6 sottoposta ad Analisi di Risposta Sismica Locale Bidimensionale.

Di seguito si riporta il Modello Sismostratigrafico nel quale sono state suddivise le unità geotecniche individuate.

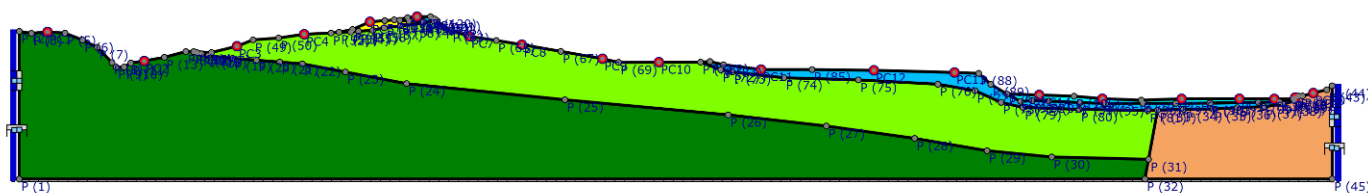
### MODELLO SISMOSTRATRIGRAFICO

<table> <tr> <th>Nome strato</th><th>Terreno di riporto</th></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td>Terreno di riporto</td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FF778899 </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td>1800.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td>bn - alluvioni (prolungat ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td>Loose sand ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td>200.00</td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td>0.33</td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>72.00</td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td>2.821</td></tr> </table>	Nome strato	Terreno di riporto	Descrizione strato	Terreno di riporto	Colore	#FF778899 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	bn - alluvioni (prolungat ...	Modello resistenza al taglio	Loose sand ...	Vs [m/s]	200.00	Poisson	0.33	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	72.00	Diniz [%]	2.821	<table> <tr> <th>Nome strato</th><th>Detrito di copertura</th></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td>Detrito di copertura</td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FFF5DEB3 </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td>1900.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td>Limi Lunigiana ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td>Loose sand ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td>270.00</td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td>0.33</td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>138.51</td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td>1.2753</td></tr> </table>	Nome strato	Detrito di copertura	Descrizione strato	Detrito di copertura	Colore	#FFF5DEB3 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1900.00	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	Limi Lunigiana ...	Modello resistenza al taglio	Loose sand ...	Vs [m/s]	270.00	Poisson	0.33	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	138.51	Diniz [%]	1.2753
Nome strato	Terreno di riporto																																												
Descrizione strato	Terreno di riporto																																												
Colore	#FF778899 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1800.00																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	bn - alluvioni (prolungat ...																																												
Modello resistenza al taglio	Loose sand ...																																												
Vs [m/s]	200.00																																												
Poisson	0.33																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	72.00																																												
Diniz [%]	2.821																																												
Nome strato	Detrito di copertura																																												
Descrizione strato	Detrito di copertura																																												
Colore	#FFF5DEB3 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1900.00																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	Limi Lunigiana ...																																												
Modello resistenza al taglio	Loose sand ...																																												
Vs [m/s]	270.00																																												
Poisson	0.33																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	138.51																																												
Diniz [%]	1.2753																																												
<table> <tr> <th>Nome strato</th><th>Depositi alluvionali rec...</th></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td>Depositi alluvionali rec...</td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FF00FFFF </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td>1900.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td>bn - alluvioni (prolungat ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td>Loose sand ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td>300.00</td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td>0.35</td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>171.00</td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td>2.821</td></tr> </table>	Nome strato	Depositi alluvionali rec...	Descrizione strato	Depositi alluvionali rec...	Colore	#FF00FFFF 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1900.00	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	bn - alluvioni (prolungat ...	Modello resistenza al taglio	Loose sand ...	Vs [m/s]	300.00	Poisson	0.35	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	171.00	Diniz [%]	2.821	<table> <tr> <th>Nome strato</th><th>Depositi alluvionali ter...</th></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td>Depositi alluvionali ter...</td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FF00BFFF </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td>2000.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td>rollins_ghiaie ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td>Loose sand ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td>420.00</td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td>0.35</td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>352.80</td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td>1.14</td></tr> </table>	Nome strato	Depositi alluvionali ter...	Descrizione strato	Depositi alluvionali ter...	Colore	#FF00BFFF 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	2000.00	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	rollins_ghiaie ...	Modello resistenza al taglio	Loose sand ...	Vs [m/s]	420.00	Poisson	0.35	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	352.80	Diniz [%]	1.14
Nome strato	Depositi alluvionali rec...																																												
Descrizione strato	Depositi alluvionali rec...																																												
Colore	#FF00FFFF 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	1900.00																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	bn - alluvioni (prolungat ...																																												
Modello resistenza al taglio	Loose sand ...																																												
Vs [m/s]	300.00																																												
Poisson	0.35																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	171.00																																												
Diniz [%]	2.821																																												
Nome strato	Depositi alluvionali ter...																																												
Descrizione strato	Depositi alluvionali ter...																																												
Colore	#FF00BFFF 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	2000.00																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	rollins_ghiaie ...																																												
Modello resistenza al taglio	Loose sand ...																																												
Vs [m/s]	420.00																																												
Poisson	0.35																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	352.80																																												
Diniz [%]	1.14																																												
<table> <tr> <th>Nome strato</th><th>Conglomerati di Olivola</th></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td>Conglomerati di Olivola</td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FFFFFFF0 </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td>2200.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td>rollins_ghiaie ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td>Loose sand ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td>720.00</td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td>0.39</td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>1140.48</td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td>1.14</td></tr> </table>	Nome strato	Conglomerati di Olivola	Descrizione strato	Conglomerati di Olivola	Colore	#FFFFFFF0 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	2200.00	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	rollins_ghiaie ...	Modello resistenza al taglio	Loose sand ...	Vs [m/s]	720.00	Poisson	0.39	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	1140.48	Diniz [%]	1.14	<table> <tr> <th>Nome strato</th><th>Argille di Aulla</th></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td>Argille di Aulla (AUA)</td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FF7FFF00 </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td>2200.00</td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td>Argille sabbie e conglom ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td>Loose sand ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td>450.00</td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td>0.35</td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td>445.50</td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td>1.6289</td></tr> </table>	Nome strato	Argille di Aulla	Descrizione strato	Argille di Aulla (AUA)	Colore	#FF7FFF00 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	2200.00	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	Argille sabbie e conglom ...	Modello resistenza al taglio	Loose sand ...	Vs [m/s]	450.00	Poisson	0.35	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	445.50	Diniz [%]	1.6289
Nome strato	Conglomerati di Olivola																																												
Descrizione strato	Conglomerati di Olivola																																												
Colore	#FFFFFFF0 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	2200.00																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	rollins_ghiaie ...																																												
Modello resistenza al taglio	Loose sand ...																																												
Vs [m/s]	720.00																																												
Poisson	0.39																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	1140.48																																												
Diniz [%]	1.14																																												
Nome strato	Argille di Aulla																																												
Descrizione strato	Argille di Aulla (AUA)																																												
Colore	#FF7FFF00 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	2200.00																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	Argille sabbie e conglom ...																																												
Modello resistenza al taglio	Loose sand ...																																												
Vs [m/s]	450.00																																												
Poisson	0.35																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	445.50																																												
Diniz [%]	1.6289																																												

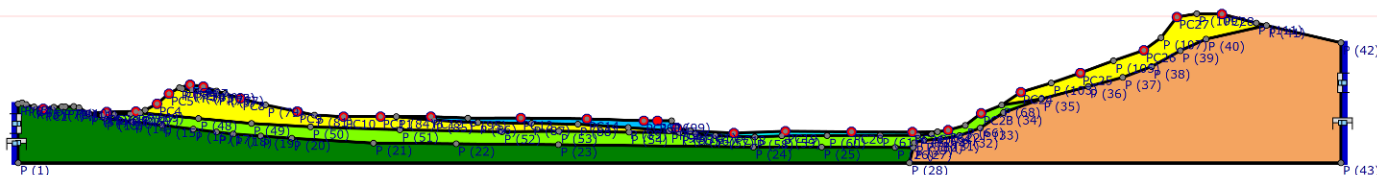


<table> <tr> <td>Nome strato</td><td><b>Flysch di Ottone</b></td></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td><b>Flysch di Ottone</b></td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FF008000 </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td><b>2500.00</b></td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td><b>Lineare 1.0</b> ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td><b>Loose sand</b> ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td><b>1240.00</b></td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td><b>0.42</b></td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td><b>3844.00</b></td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td><b>1.00</b></td></tr> </table>	Nome strato	<b>Flysch di Ottone</b>	Descrizione strato	<b>Flysch di Ottone</b>	Colore	#FF008000 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2500.00</b>	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	<b>Lineare 1.0</b> ...	Modello resistenza al taglio	<b>Loose sand</b> ...	Vs [m/s]	<b>1240.00</b>	Poisson	<b>0.42</b>	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>3844.00</b>	Diniz [%]	<b>1.00</b>	<table> <tr> <td>Nome strato</td><td><b>Argille e Calcari di Can...</b></td></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td><b>Argille e Calcari di Can...</b></td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FFDDA0DD </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td><b>2500.00</b></td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td><b>Lineare 1.0</b> ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td><b>Loose sand</b> ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td><b>1460.00</b></td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td><b>0.36</b></td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td><b>5329.00</b></td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td><b>1.00</b></td></tr> </table>	Nome strato	<b>Argille e Calcari di Can...</b>	Descrizione strato	<b>Argille e Calcari di Can...</b>	Colore	#FFDDA0DD 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2500.00</b>	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	<b>Lineare 1.0</b> ...	Modello resistenza al taglio	<b>Loose sand</b> ...	Vs [m/s]	<b>1460.00</b>	Poisson	<b>0.36</b>	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>5329.00</b>	Diniz [%]	<b>1.00</b>
Nome strato	<b>Flysch di Ottone</b>																																												
Descrizione strato	<b>Flysch di Ottone</b>																																												
Colore	#FF008000 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2500.00</b>																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	<b>Lineare 1.0</b> ...																																												
Modello resistenza al taglio	<b>Loose sand</b> ...																																												
Vs [m/s]	<b>1240.00</b>																																												
Poisson	<b>0.42</b>																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>3844.00</b>																																												
Diniz [%]	<b>1.00</b>																																												
Nome strato	<b>Argille e Calcari di Can...</b>																																												
Descrizione strato	<b>Argille e Calcari di Can...</b>																																												
Colore	#FFDDA0DD 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2500.00</b>																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	<b>Lineare 1.0</b> ...																																												
Modello resistenza al taglio	<b>Loose sand</b> ...																																												
Vs [m/s]	<b>1460.00</b>																																												
Poisson	<b>0.36</b>																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>5329.00</b>																																												
Diniz [%]	<b>1.00</b>																																												
<table> <tr> <td>Nome strato</td><td><b>Arenaria "Macigno"</b></td></tr> <tr> <td>Descrizione strato</td><td><b>Arenaria "Macigno"</b></td></tr> <tr> <td>Colore</td><td>#FFF4A460 </td></tr> <tr> <td><math>\rho</math> [Kg/m<sup>3</sup>]</td><td><b>2500.00</b></td></tr> <tr> <td colspan="2"><b>Analisi dinamica</b></td></tr> <tr> <td>Modello geotecnico</td><td><b>Lineare 1.0</b> ...</td></tr> <tr> <td>Modello resistenza al taglio</td><td><b>Loose sand</b> ...</td></tr> <tr> <td>Vs [m/s]</td><td><b>1200.00</b></td></tr> <tr> <td>Poisson</td><td><b>0.41</b></td></tr> <tr> <td>Giniz [N/mm<sup>2</sup>]</td><td><b>3600.00</b></td></tr> <tr> <td>Diniz [%]</td><td><b>1.00</b></td></tr> </table>	Nome strato	<b>Arenaria "Macigno"</b>	Descrizione strato	<b>Arenaria "Macigno"</b>	Colore	#FFF4A460 	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2500.00</b>	<b>Analisi dinamica</b>		Modello geotecnico	<b>Lineare 1.0</b> ...	Modello resistenza al taglio	<b>Loose sand</b> ...	Vs [m/s]	<b>1200.00</b>	Poisson	<b>0.41</b>	Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>3600.00</b>	Diniz [%]	<b>1.00</b>																							
Nome strato	<b>Arenaria "Macigno"</b>																																												
Descrizione strato	<b>Arenaria "Macigno"</b>																																												
Colore	#FFF4A460 																																												
$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	<b>2500.00</b>																																												
<b>Analisi dinamica</b>																																													
Modello geotecnico	<b>Lineare 1.0</b> ...																																												
Modello resistenza al taglio	<b>Loose sand</b> ...																																												
Vs [m/s]	<b>1200.00</b>																																												
Poisson	<b>0.41</b>																																												
Giniz [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>3600.00</b>																																												
Diniz [%]	<b>1.00</b>																																												

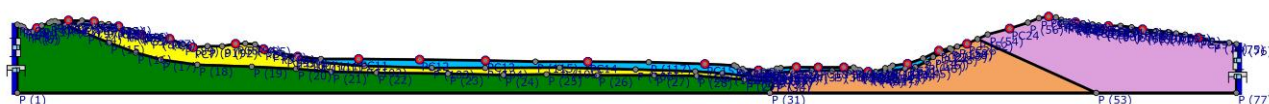
**SEZIONE 1-1' – Pontremoli Cà del Moro**



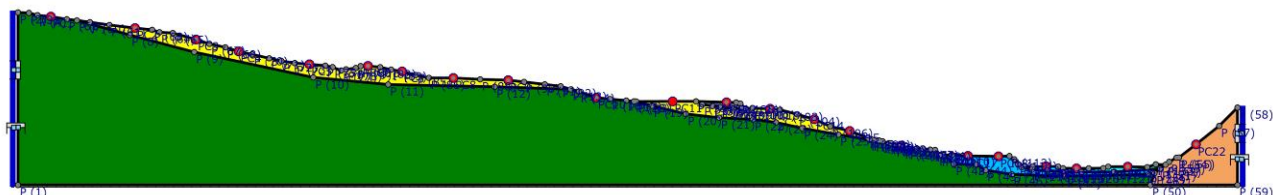
**SEZIONE 2-2' – Pontremoli Cà Martinelli di Sopra**



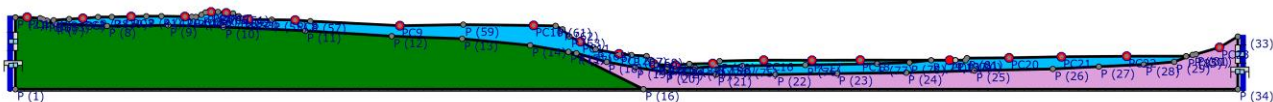
**SEZIONE 3-3' - Pontremoli Centro Storico**



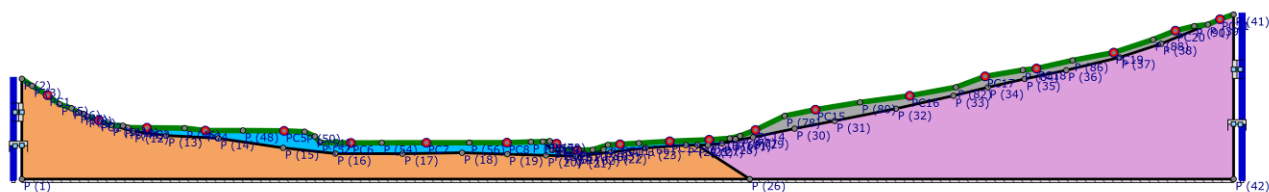
**SEZIONE 4-4' – Pontremoli Casa Bargello**



**SEZIONE 5-5' – Pontremoli Santa Giustina**



**SEZIONE 6-6' – Pontremoli Ospedale nuovo**



**MODELLO SISMICO**

<b>Strato</b>	<b>Vp [m/s]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Peso di volume [Kg/m³]</b>	<b>Modulo di taglio G</b>	<b>Rapporto di Poisson <math>\gamma</math></b>	<b>Curve dinamiche G(<math>\gamma</math>) e D(<math>\gamma</math>)</b>
Terreni di riporto ( <b>RIP</b> )	400	200	1800	72.00	0.33	<b>bn – alluvioni prolungate</b>
Detrito di versante ( <b>dt</b> )	540	270	1900	138.51	0.33	<b>Limi Lunigiana</b>
Alluvioni recenti ( <b>bn</b> )	620	300	1900	171.00	0.35	<b>bn – alluvioni prolungate</b>
Alluvioni terrazzate ( <b>bn</b> )	890	390	2000	304.20	0.38	<b>Rollins_ghiaie</b>
Conglomerati di Olivola ( <b>OLP</b> )	1680	720	2200	1140.48	0.39	<b>Rollins_ghiaie</b>
Argille di Aulla ( <b>AUL</b> )	940	450	2200	445.50	0.35	<b>Argille sabbie e conglomerati di Aulla</b>
Flysch di Ottone ( <b>OMT</b> )	3300	1240	2500	3844	0.42	<b>Lineare 1.0</b>
Argille e Calcari di Canetolo ( <b>ACC</b> )	3100	1460	2500	5329	0.36	<b>Lineare 1.0</b>
Arenaria "Macigno" ( <b>MAC</b> )	3100	1200	2500	3600	0.41	<b>Lineare 1.0</b>

*Caratteristiche sismo-meccaniche degli strati.*



## 11.6 - RISULTATI DELL'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Come ricordato in precedenza sono state effettuate due distinte serie di analisi: la prima utilizzando una settupla di storie temporali relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni e la seconda relativa al periodo di ritorno di 50 anni.

Dall'analisi per periodo di ritorno di 475 sono stati ricavati gli spettri di risposta elastici ed i fattori di amplificazione sulla base dei quali sono stati poi prodotti gli elaborati propri dello studio di Microzonazione di livello 3, oltre che per dare indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia.

Le analisi per periodo di ritorno di 50 anni sono state invece utilizzate **esclusivamente** per acquisire spettri medi caratteristici da utilizzare come indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia.

L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale consente l'acquisizione di molteplici parametri e strumenti di output.

Il parametro utilizzato per la rappresentazione dei livelli amplificativi è il **fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione** (di seguito denominato **FA**) misurato come rapporto tra l'integrale dello spettro di accelerazione in output ( $PSA_{out}$ ) e l'omologo integrale dello spettro di accelerazione in input ( $PSA_{in}$ ) per gli intervalli di integrazione 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s.

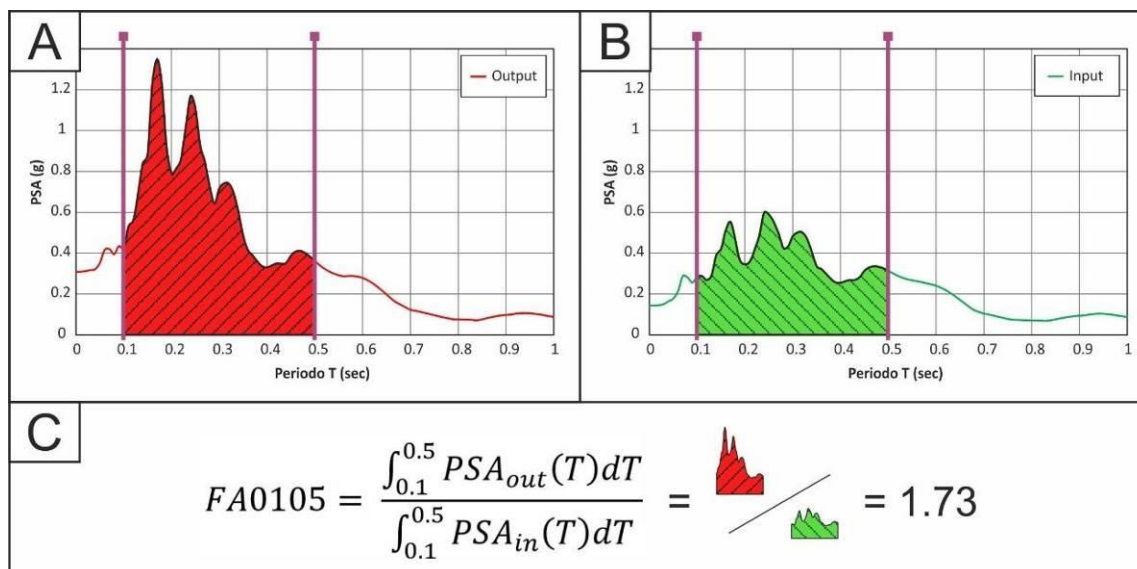
$$FA_{0105} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.1}^{0.5} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA_{0408} = \frac{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.4}^{0.8} PSA_{in}(T) dT}$$

$$FA_{0711} = \frac{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{out}(T) dT}{\int_{0.7}^{1.1} PSA_{in}(T) dT}$$

Nella seguente figura è riportata la metodologia necessaria per il calcolo dei predetti fattori (nell'esempio viene indicata la procedura per il calcolo di  $FA_{0105}$ , tenendo conto che per la stima degli altri fattori la procedura, variando il periodo di integrazione, è la medesima).

Si opera il calcolo dell'area sottesa dallo spettro di output (quadro A della figura) nell'intervallo di periodi richiesto (nel nostro caso 0.1sec-0.5sec) e la si mette a rapporto con l'area sottesa dallo spettro di input (quadro B della figura). Il valore risultante sarà corrispondente ad FA0105 (quadro C della figura).



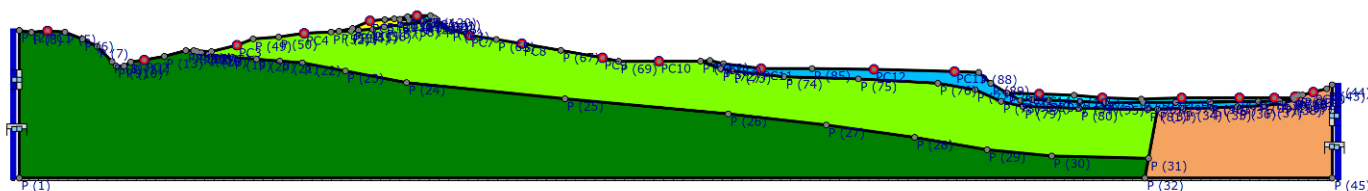
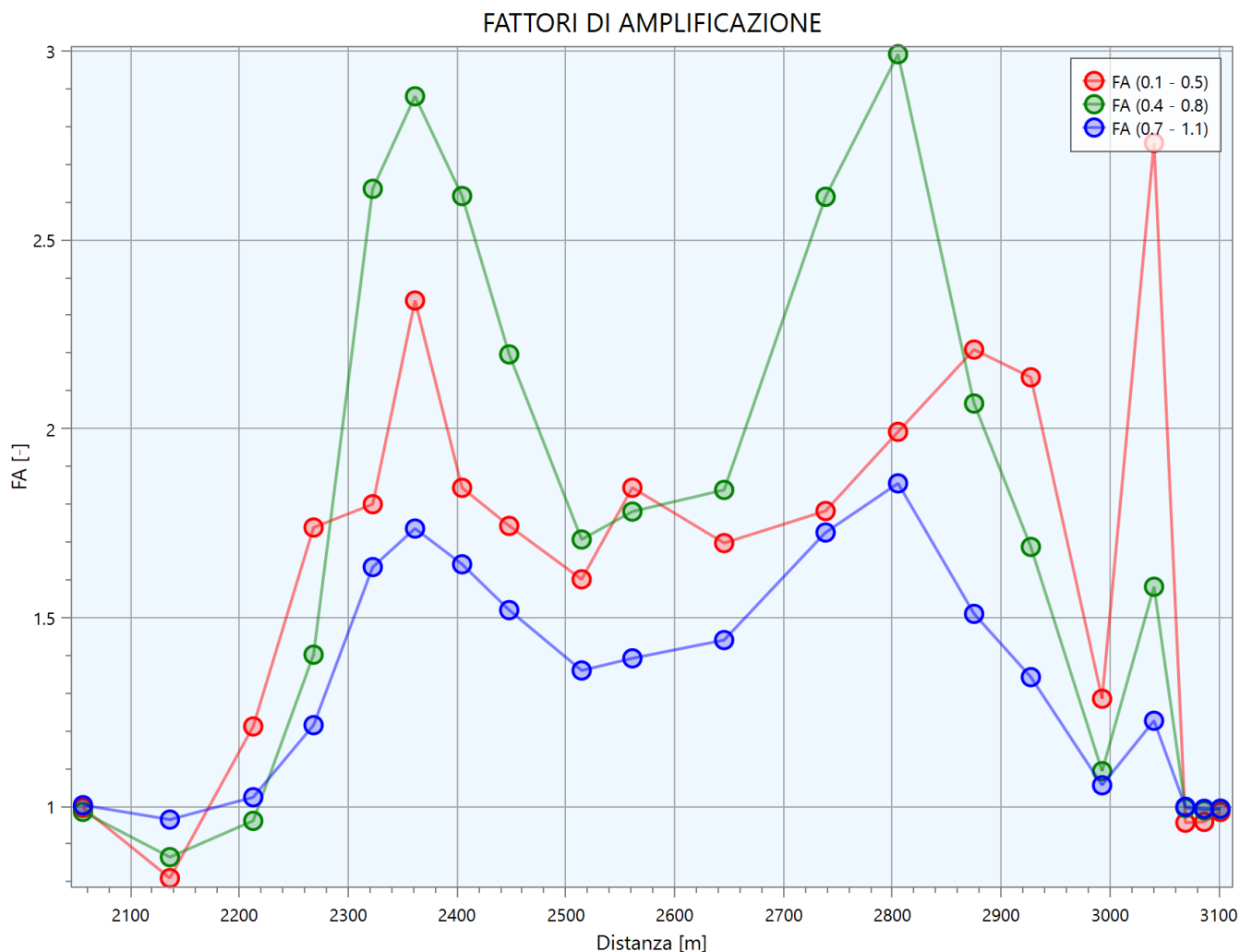
*Procedura per il calcolo del fattore di amplificazione FA0105.*

Il calcolo dei fattori di amplificazione sui singoli spettri di risposta (messi a confronto con il corrispondente spettro di input) è stato eseguito mediando successivamente i sette fattori determinati.

Nelle figure che seguono, per ogni sezione analizzata, si riporta la distribuzione ed i valori dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali.

## FATTORI DI AMPLIFICAZIONE – STATO LIMITE SLV

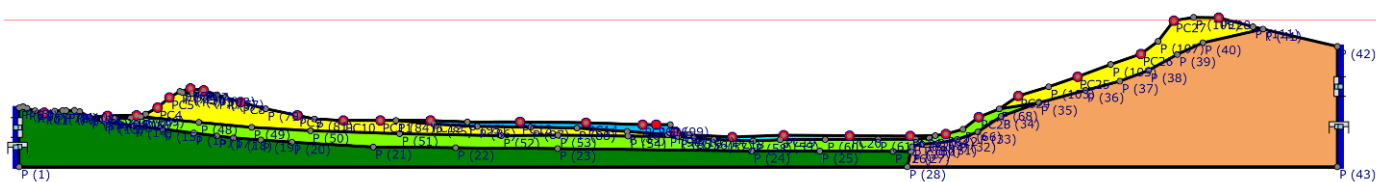
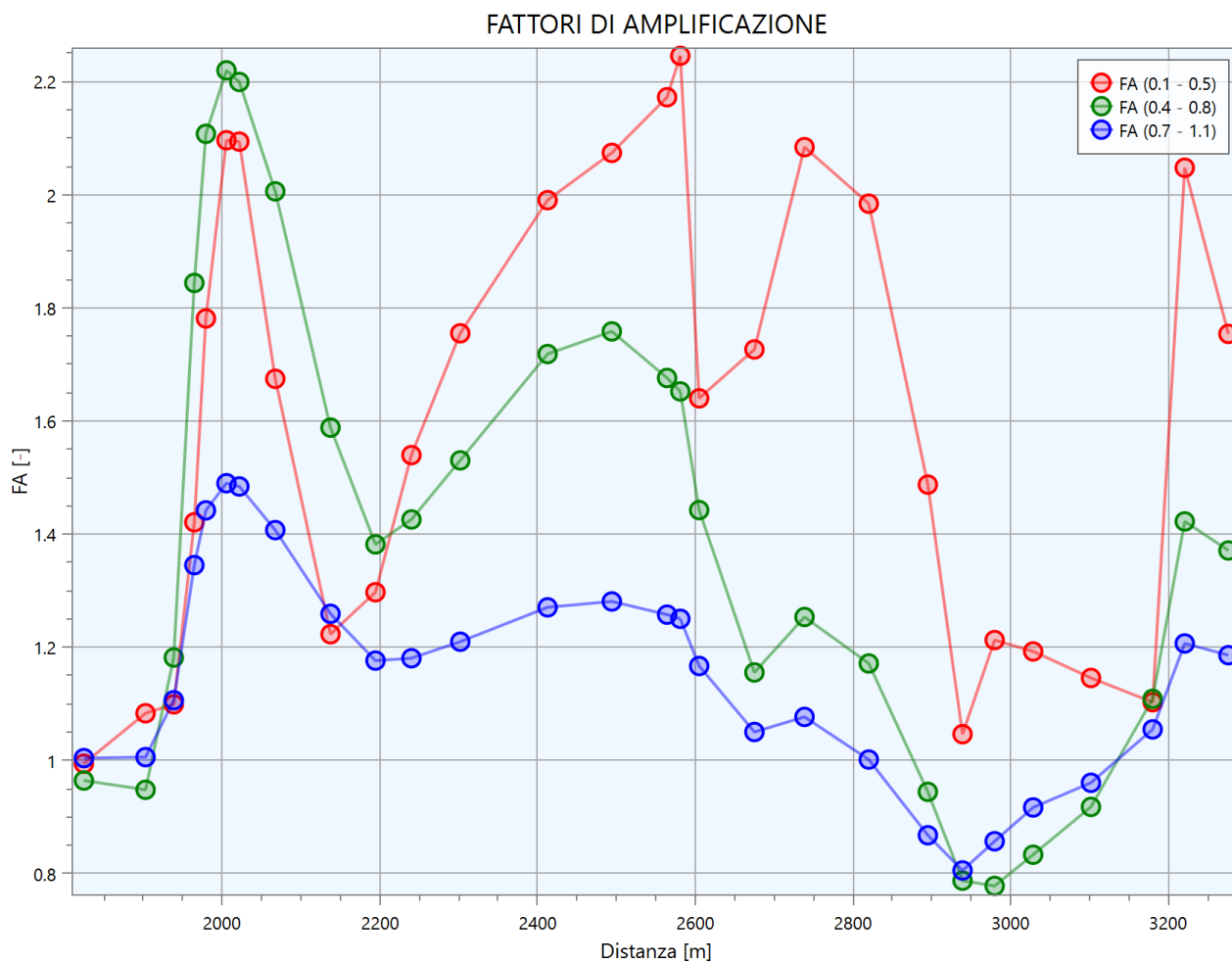
### SEZIONE 1-1' – PONTREMOLI - Cà del Moro



Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo la Sezione 1-1'  
PONTREMOLI – Cà del Moro

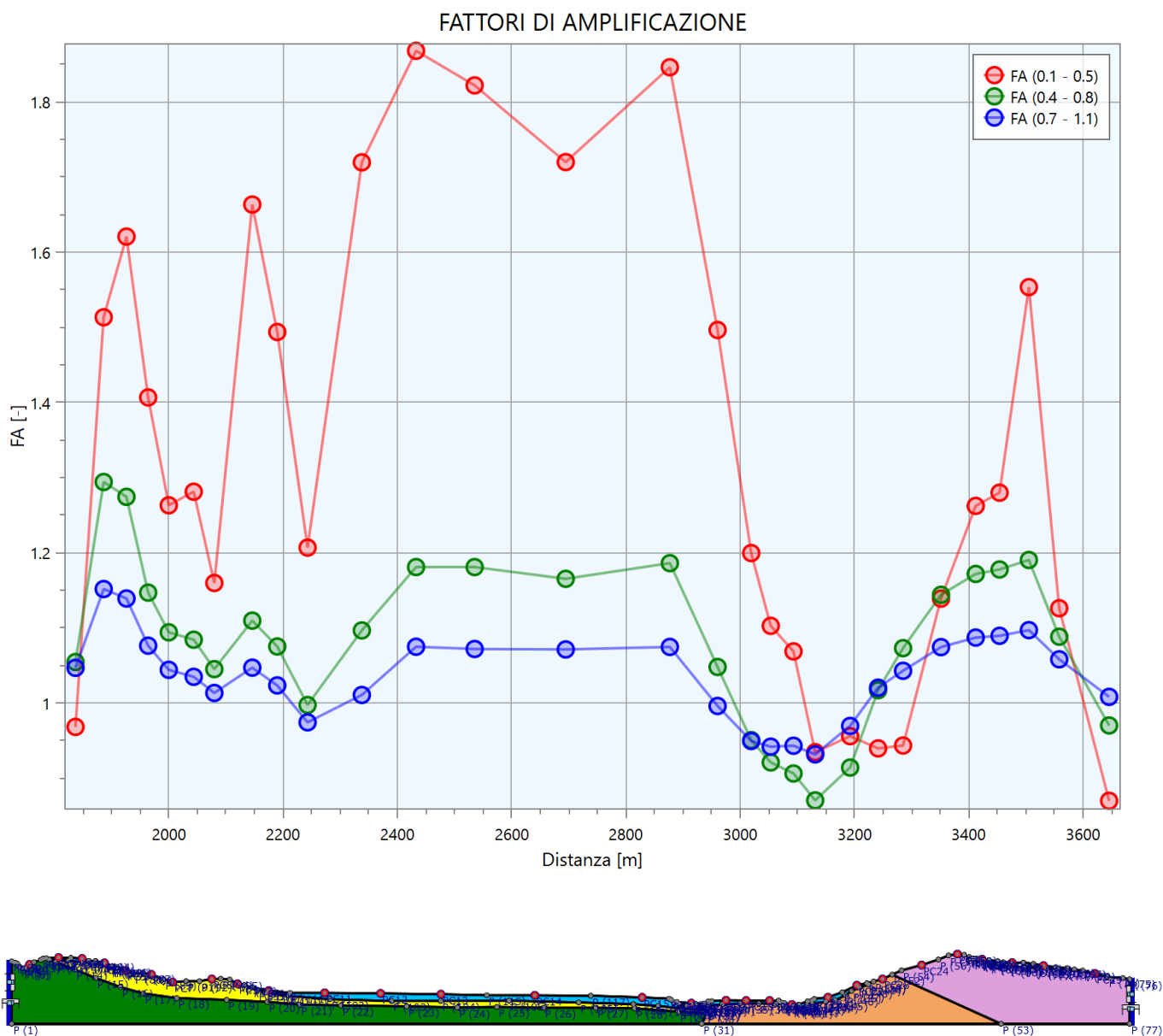


**SEZIONE 2-2' – PONTREMOLI - Cà Martinelli di Sopra**



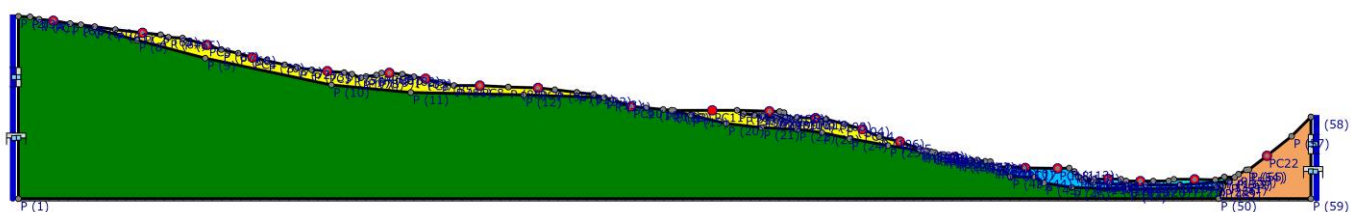
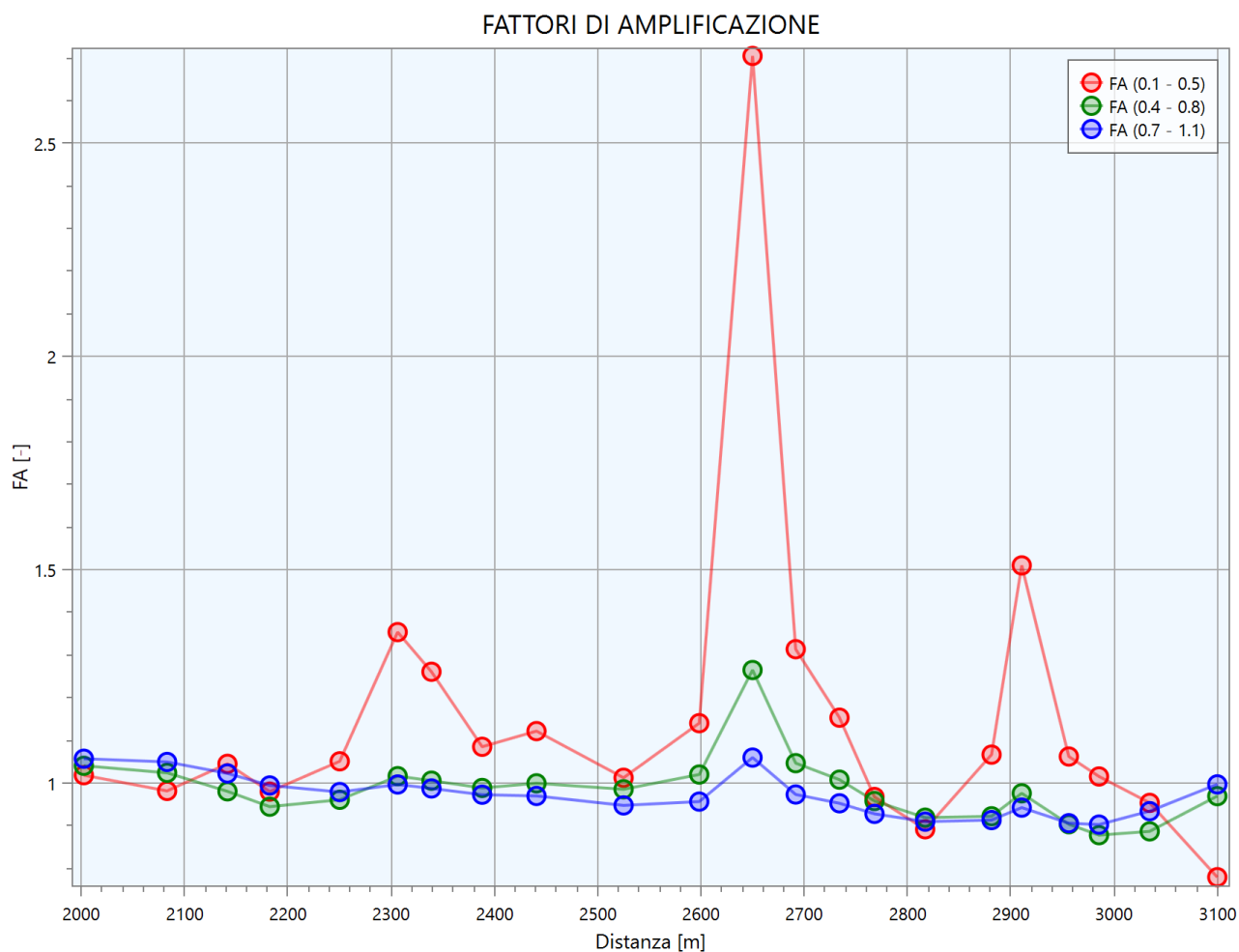
*Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo la Sezione 2-2'  
PONTREMOLI – Cà Martinelli di Sopra*

**SEZIONE 3-3' - PONTREMOLI - Centro Storico**



*Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo la Sezione 3-3'  
PONTREMOLI – Centro Storico.*

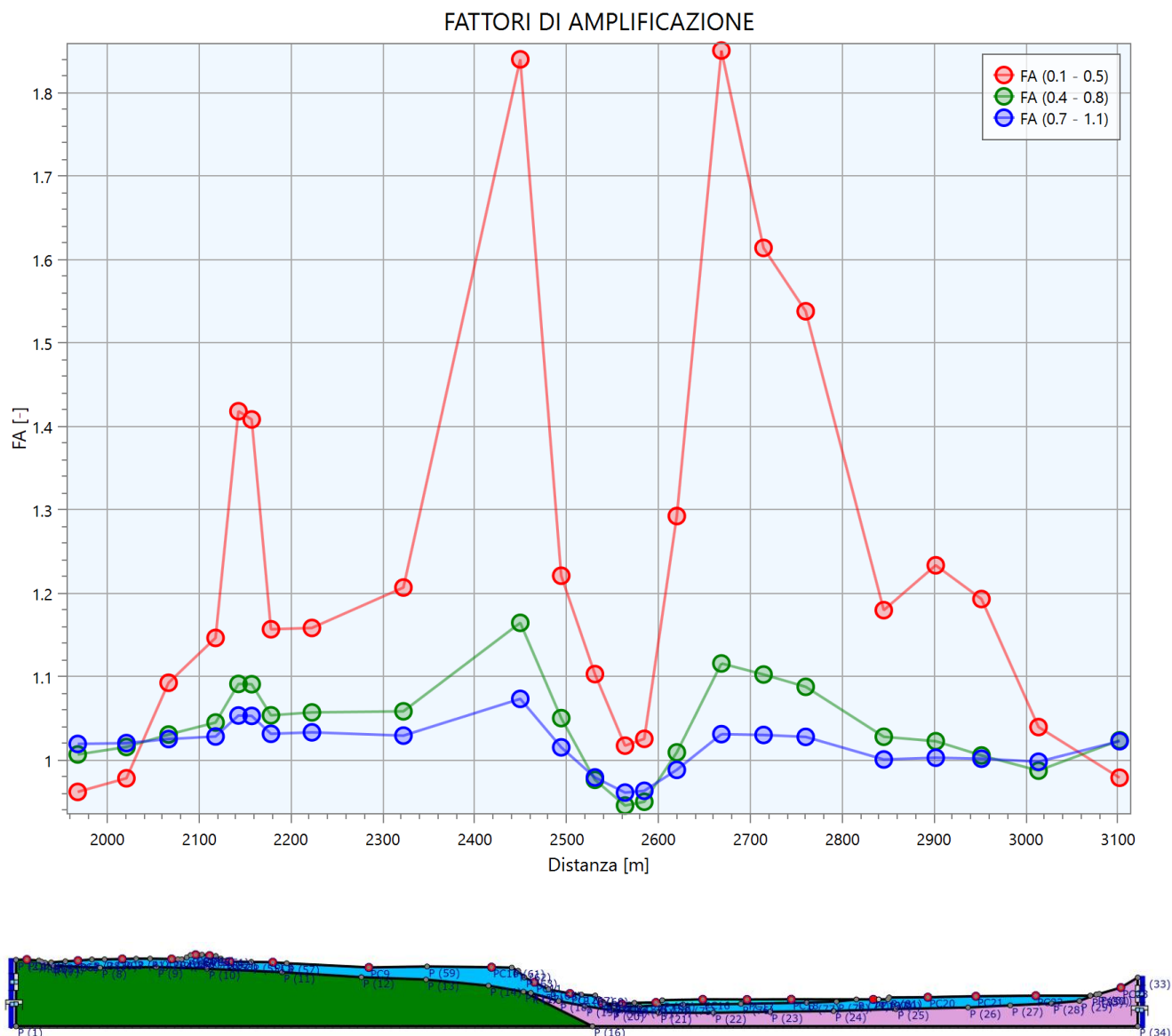
**SEZIONE 4-4' – PONTREMOLI - Casa Barcello**



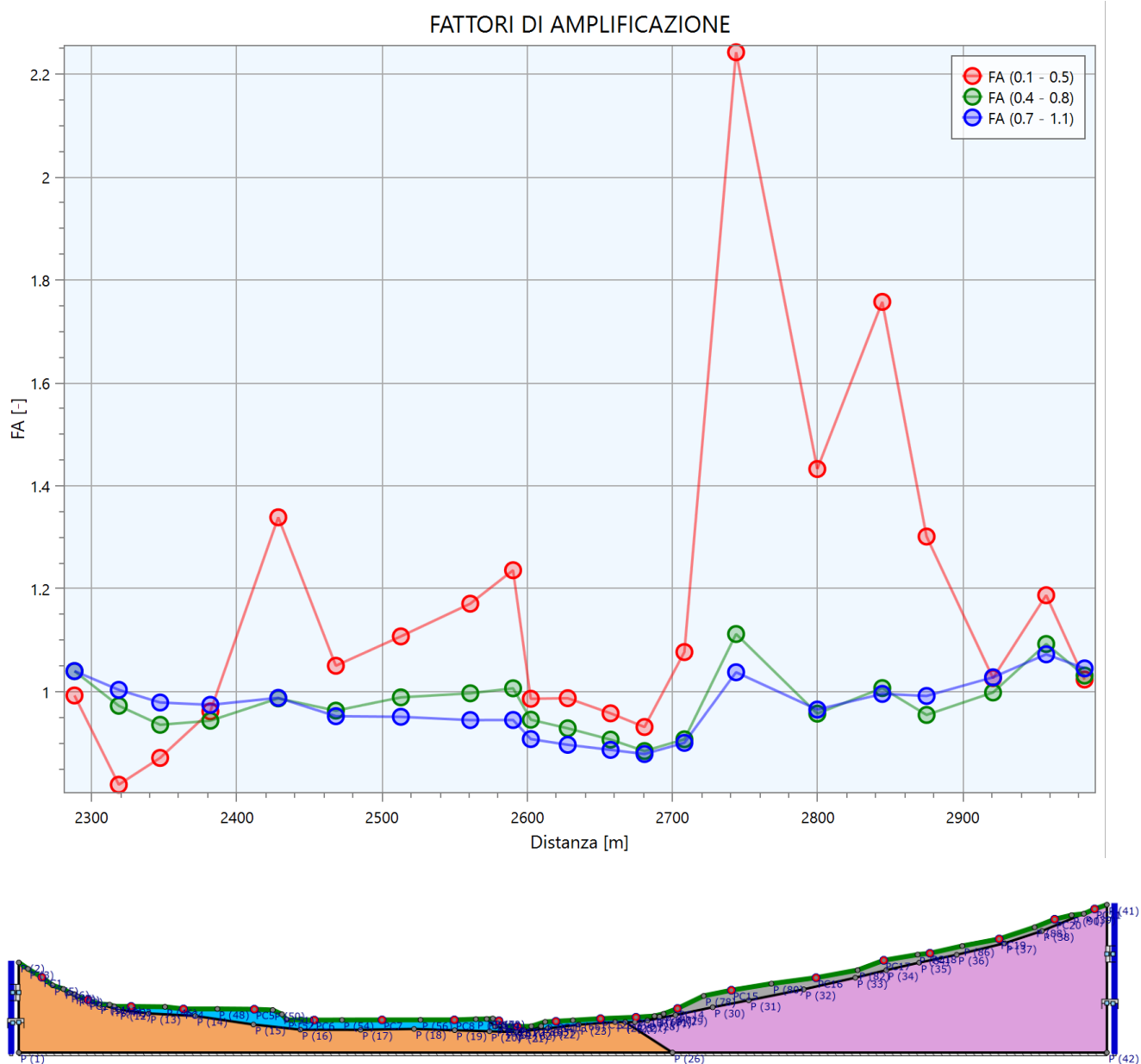
*Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo la Sezione 4-4'  
PONTREMOLI – Casa Barcello.*



**SEZIONE 5-5' – PONTREMOLI - Santa Giustina**



*Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo la Sezione 5-5' PONTREMOLI – Santa Giustina.*

**SEZIONE 6-6' – PONTREMOLI - Ospedale nuovo**

*Distribuzione dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali lungo la Sezione 6-6'*  
**PONTREMOLI – Ospedale Nuovo**

## **11.6 RAPPRESENTAZIONE SU MAPPA ED ESTRAPOLAZIONE DEI RISULTATI**

Ai fini dell'estensione areale del dato, nei settori dell'area di studio non coperti dalle sezioni geologico-tecniche e, quindi, sprovvisti dei dati di output delle analisi numeriche, si è ricorso ad estrapolazione areale.

Tale processo è stato effettuato mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-tecnica e della cartografia MOPS

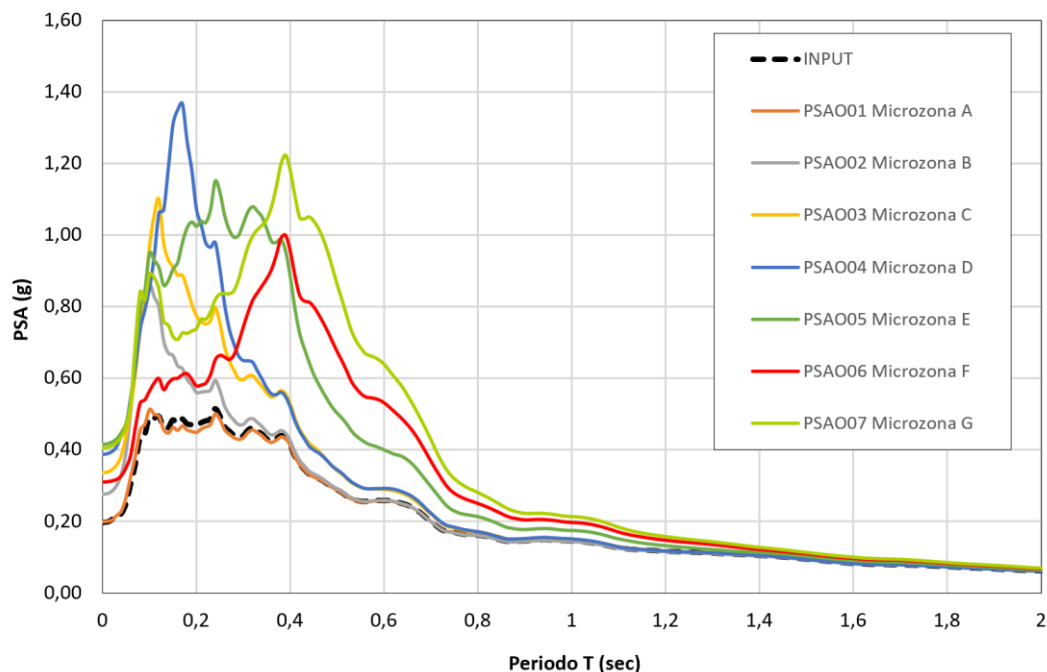
L'estrapolazione areale dei dati di amplificazione si è basata sul seguente modello logico:

- Rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con il relativo valore del fattore di amplificazione;
- Individuazione del contesto sismostratigrafico alla base di ogni valore di FA desunto;
- Identificazione sulle cartografie geologico-tecnica e MOPS di analoghe condizioni sismostratigrafiche su aree non coperte da analisi di risposta sismica locale tenendo conto delle indagini sismiche presenti;
- Raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative simili mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FA0105;
- Stima, in corrispondenza delle microzone individuate al punto precedente, dei fattori di amplificazione richiesti dagli Standard nazionali e regionali (FA0105, FA0408 ed FA0711);
- Rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS;
- **Calcolo degli spettri medi** per ogni microzona individuata nella MS3.



Per ognuna delle microzone individuate, sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici medi in termini di PSA, in formato .txt secondo le specifiche richieste.

MS3 Pontremoli (MS) - Spettri medi (Tr=475 anni)



*Spettri di risposta elastici medi in pseudoaccelerazione relativi alle microzone individuate.*

La seguente tabella riporta le corrispondenze definite tra il tipo\_z della carta delle MOPS ed i differenti gruppi di spettri di risposta elastici medi individuati dall'analisi di livello 3.

	TIPO_Z		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	2001	PSAO01	0,99	1,00	1,01
Microzona B	2002-2003-2004-2006-2008-2011SW – frane (tranne 2005-2014)	PSAO02	1,19	1,02	1,00
Microzona C	Frane 2005 – 2005 – 2010 – 2018 – 2019	PSAO03	1,54	1,18	1,06
Microzona D	2009 – 2012 – 2013	PSAO04	1,79	1,19	1,08
Microzona E	2011NE – Frane 2014 – 2014 – 2015 – 2017	PSAO05	2,12	1,65	1,27
Microzona F	2007-2020	PSAO06	1,67	2,08	1,47
Microzona G	2016	PSAO07	2,13	2,57	1,64

## 11.7 INDICAZIONI DELLA MS3 PER LA GESTIONE DELLA FASE PROGETTUALE

In ambito regionale toscano è in corso una revisione delle norme relative agli strumenti geologici a supporto della pianificazione urbanistica.

Tale revisione discende dalle novità introdotte nella recente **L.R. 65/2014** che introduce all'**art.104** alcuni elementi di novità nell'ambito della prevenzione e mitigazione dei rischi, tra cui quello sismico.

All'interno della revisione della norma, è stata prevista la **possibilità di utilizzo diretto dei risultati della microzonazione sismica di terzo livello per la progettazione di opere ordinarie**.

La realizzazione di studi di microzonazione sismica di terzo livello prevede, infatti, per la stima delle amplificazioni locali, la realizzazione di adeguate analisi di risposta sismica locale.

Il prodotto di **output** per tali analisi è costituito oltre che dai fattori di amplificazione, utilizzati per la quantificazione della minore o maggiore predisposizione dei terreni indagati all'amplificazione locale, anche da **spettri di risposta elastici** (caratterizzati da uno smorzamento del 5%).

In aree di studio in cui la MS3 restituisce microzone stabili con amplificazione con limitata estensione areale ed in cui è presente una dettagliata definizione dell'azione sismica sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, è possibile (in aggiunta a quanto previsto dagli ICMS) fornire per ogni microzona strumenti utili a rappresentare in quel determinato ambito areale l'**azione sismica di progetto**.

La metodologia verte sulla definizione di una procedura finalizzata alla definizione di spettri di risposta elastici, direttamente derivanti dagli studi di microzonazione sismica, da utilizzare nelle fasi progettuali successive a quella pianificatoria.

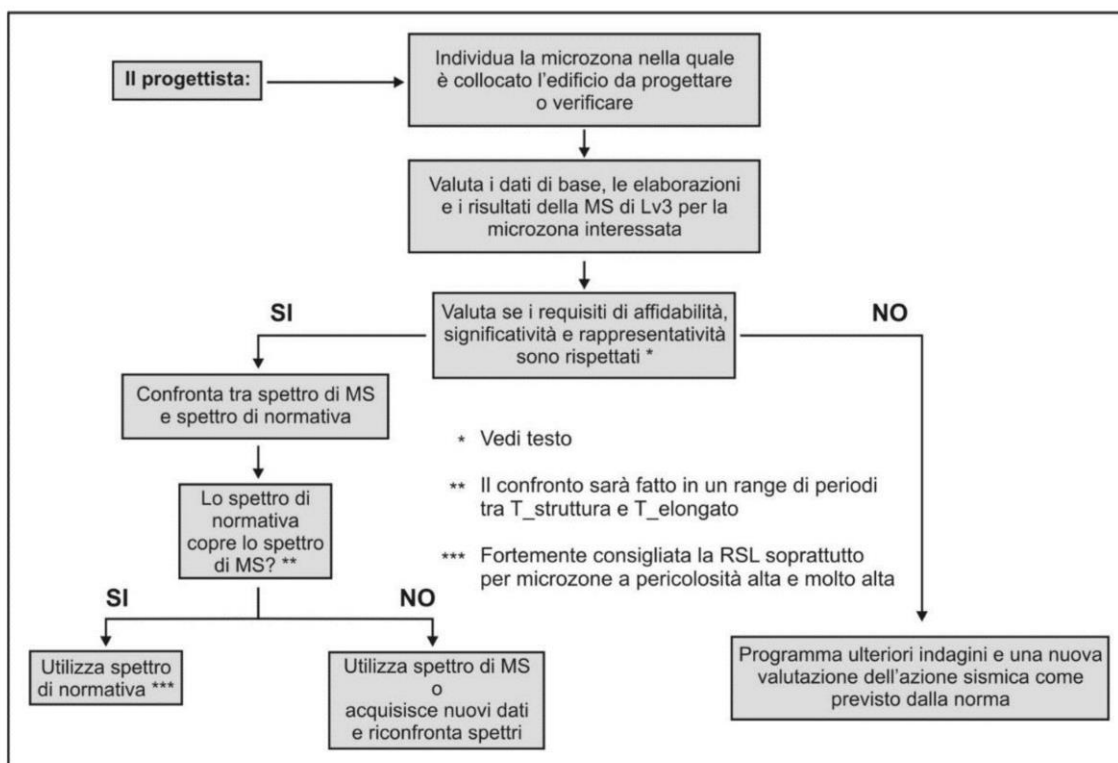
Nelle indicazioni fornite dal Servizio Sismico Regionale viene indicato che tale approccio possa essere consentito per **progetti caratterizzati al massimo da classe d'uso II** (opere ordinarie).

Per opere caratterizzate da classe d'uso superiore (opere strategiche e rilevanti) e ricadenti in aree definite a elevata pericolosità sismica sarà necessario **rendere obbligatoria** la stima dell'azione sismica di progetto mediante adeguate analisi di risposta sismica locale.

L'utilizzo degli spettri caratteristici dovrà essere vincolato alla verifica, a cura del professionista incaricato della stima dell'azione sismica di progetto, della conformità del modello di sottosuolo (in termini di affidabilità, significatività e rappresentatività delle analisi effettuate) in corrispondenza del sito di progetto con quello tipico della microzona, anche in riferimento alla quota di riferimento dell'opera in progetto (quota di imposta delle fondazioni).

L'uso degli spettri caratteristici dovrebbe essere, inoltre, subordinato al rispetto di un indice di qualità, opportunamente definito, che valuti la qualità degli studi di livello 3 in particolare in ragione della densità e qualità delle indagini geotecniche e geofisiche utilizzate per la definizione del modello di sottosuolo.

Un esempio di procedura di valutazione dell'opportunità di utilizzo degli spettri caratteristici può essere riassunta nel seguente diagramma di flusso.



*Diagramma di flusso della procedura per il possibile utilizzo degli spettri di risposta caratteristici (risultato della MS di livello 3) nella progettazione o verifica degli edifici.*

Se i valori dei periodi di ritorno di progetto corrispondono a quelli utilizzati per le analisi di livello 3 sarà possibile utilizzare direttamente i dati presenti nel file .txt.

In alternativa, per piccole variazioni del periodo di ritorno (ad esempio il passaggio dall'azione sismica propria dello SLD a quella per SLO), assumendo quindi lo stesso grado di non linearità nel comportamento dei terreni, si potranno utilizzare i parametri dipendenti presenti nella "header" del file testo (S, F0, TB, TC) combinandoli con i parametri indipendenti (ag, TD) propri della scelta progettuale.

La progettazione di opere ricadenti in classe d'uso I e II ai sensi delle NTC 2018, caratterizzate da uno stato limite corrispondente ad un medesimo periodo di ritorno dello spettro rappresentativo, può avvalersi direttamente di tale spettro, previa verifica della maggior cautela, stabilita in base al valore di accelerazione spettrale per il/i periodo/i di interesse dell'opera, rispetto a quanto ricavabile in termini di spettro di risposta elastico dall'applicazione delle categorie semplificate di sottosuolo.

Andrà comunque sempre verificata la reale corrispondenza delle condizioni geologico-tecniche del sito rispetto al contesto riportato nello studio di MS.

La normalizzazione di uno spettro di risposta permette la determinazione immediata di tutti i parametri (dipendenti ed indipendenti) che ne caratterizzano l'aspetto.



Nel caso in oggetto quindi, effettuate le analisi di risposta sismica locale ( $T_r=475$  anni e per  $T_r=50$  anni) è stato possibile, realizzata la carta di microzonazione sismica di terzo livello, pervenire alla definizione di spettri “*caratteristici*”, tramite i seguenti step:

- 1) Raggruppamento per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del Fattore di amplificazione scelto) di tutti gli spettri di risposta elastici di output ricadenti in essa, ricavandone lo **spettro medio**;
- 2) **Regolarizzazione** dello spettro medio con definizione sia di uno spettro di forma simile a quelli semplificati di normativa sia, di conseguenza, i suoi parametri dipendenti ( $S$ ,  $T_b$  e  $T_c$ ), mentre i parametri indipendenti sono fissati, come noto, dalla localizzazione del sito e dalle scelte progettuali alla base, in funzione della progettazione.

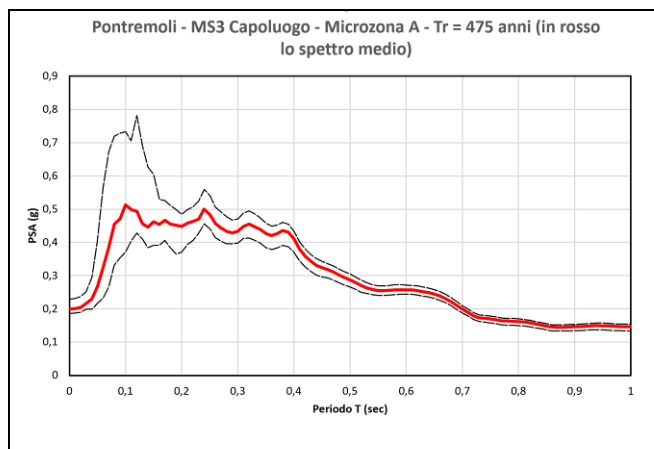
La regolarizzazione dello spettro è stata effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013).

Gli spettri si riferiscono a periodi di ritorno di **475 anni** e di **50 anni** e pertanto, con le limitazioni viste in precedenza, possono essere paragonati agli spettri semplificati di normativa relativi all'azione sismica per lo *Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)* e per lo *Stato Limite di Danno (SLD)* per un edificio “ordinario” ( $V_N$  nominale  $V_N = 50$  anni e Classe d'uso  $CU = II$ ).

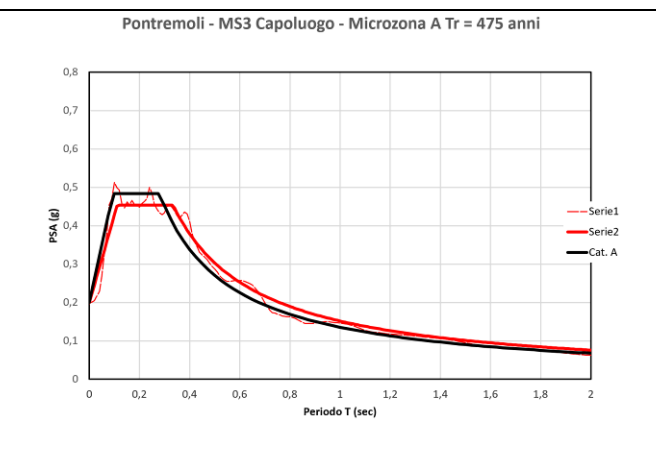
Di seguito si riportano gli **Spettri Caratteristici** e gli **Spettri Normalizzati** secondo la procedura descritta nel testo, relativi alle **sette microzone** individuate per il comune di Pontremoli per periodi di ritorno pari a 475 e 50 anni.

## MICROZONA A – $T_r = 475$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

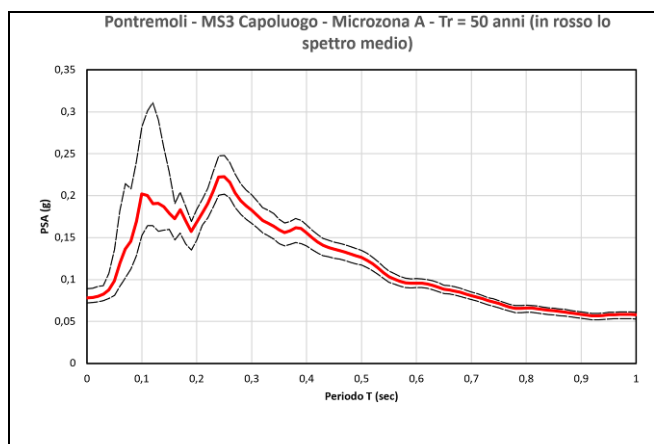


### SPETTRI NORMALIZZATI

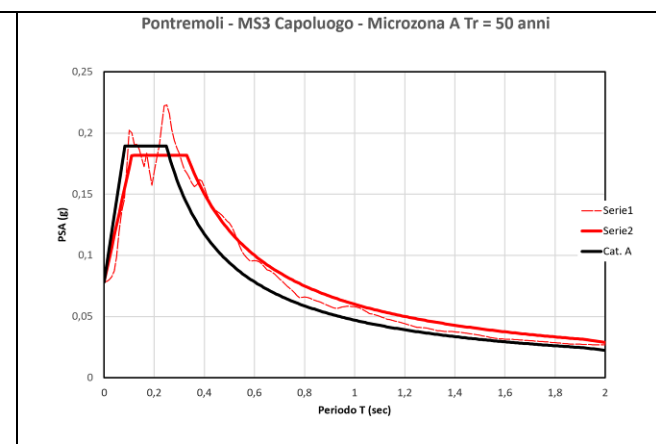


## MICROZONA A – $T_r = 50$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



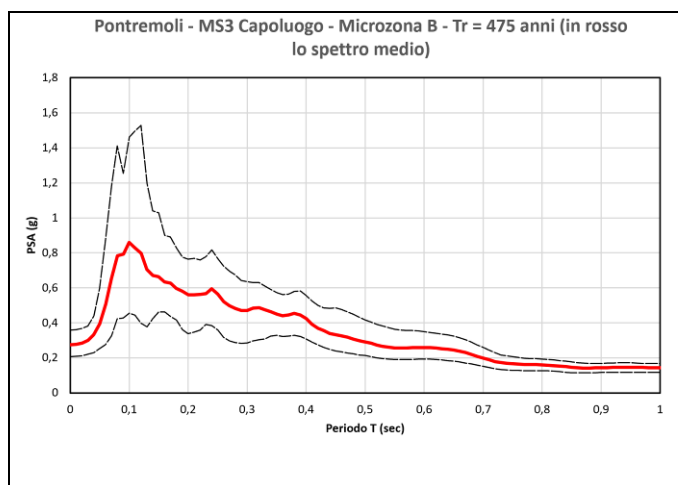
### SPETTRI NORMALIZZATI



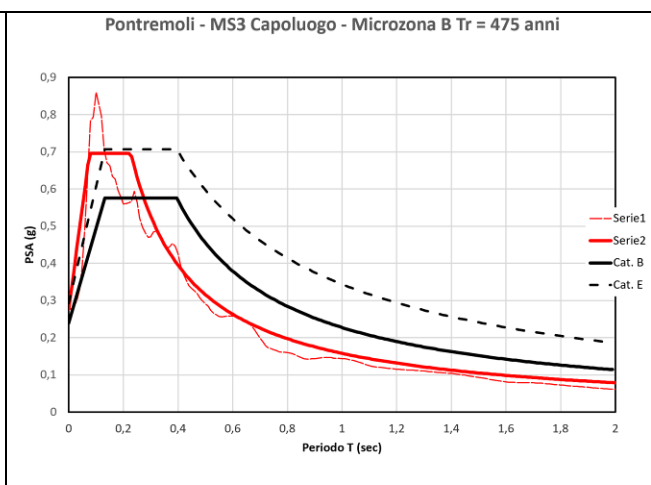
***Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona A.***

## MICROZONA B – $T_r = 475$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

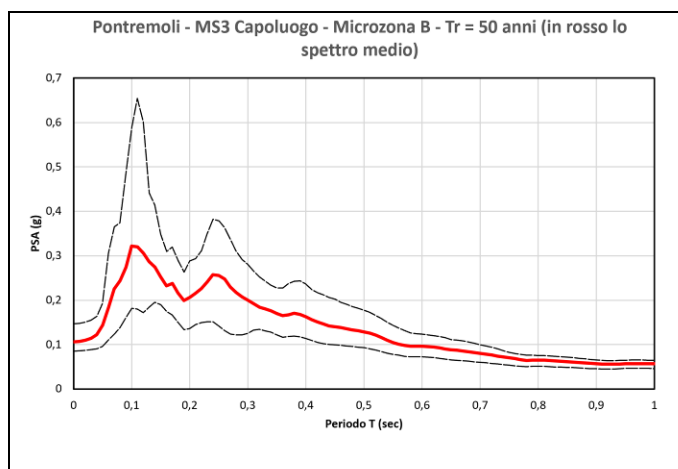


### SPETTRI NORMALIZZATI

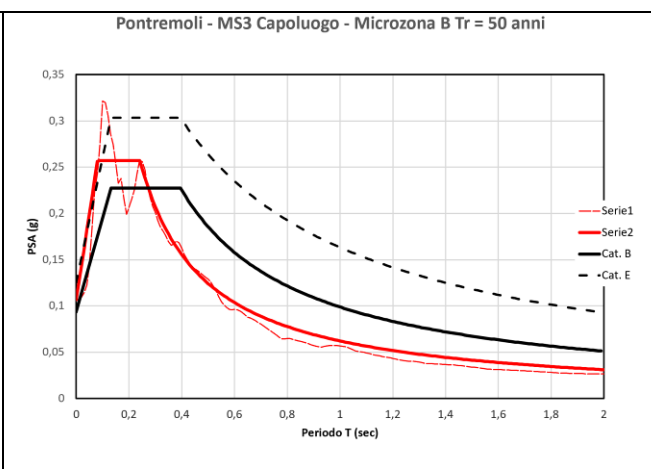


## MICROZONA B – $T_r = 50$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



### SPETTRI NORMALIZZATI

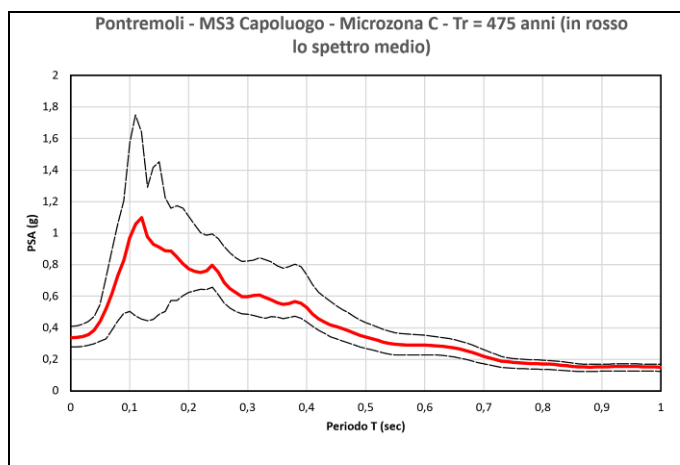


*Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona B.*

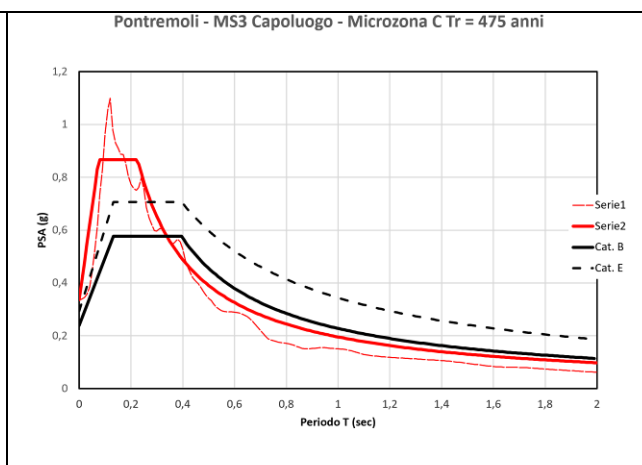


## MICROZONA C – $T_r = 475$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

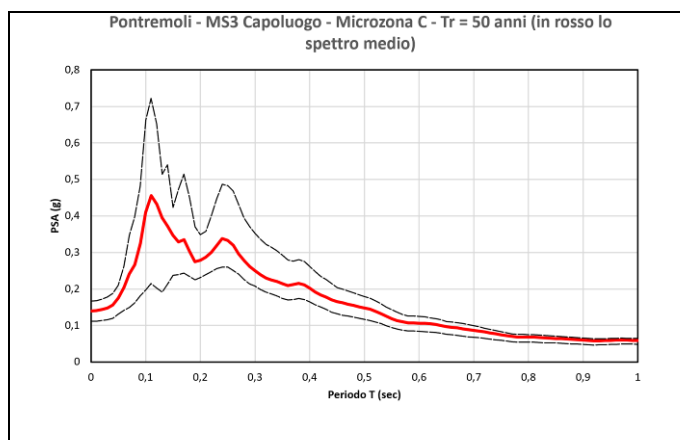


### SPETTRI NORMALIZZATI

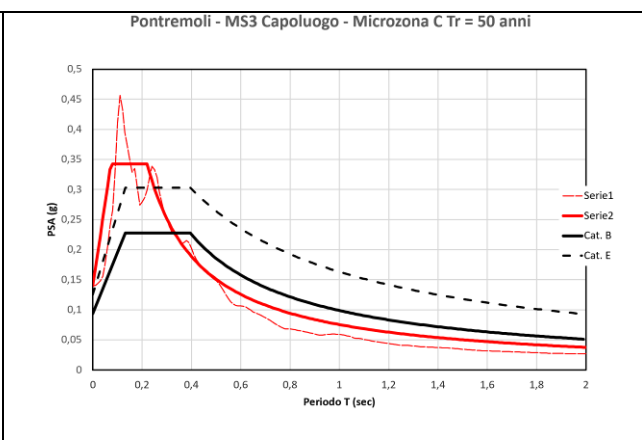


## MICROZONA C – $T_r = 50$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



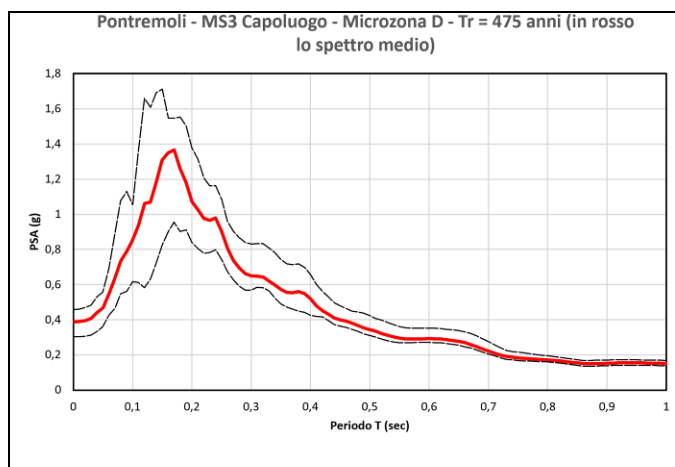
### SPETTRI NORMALIZZATI



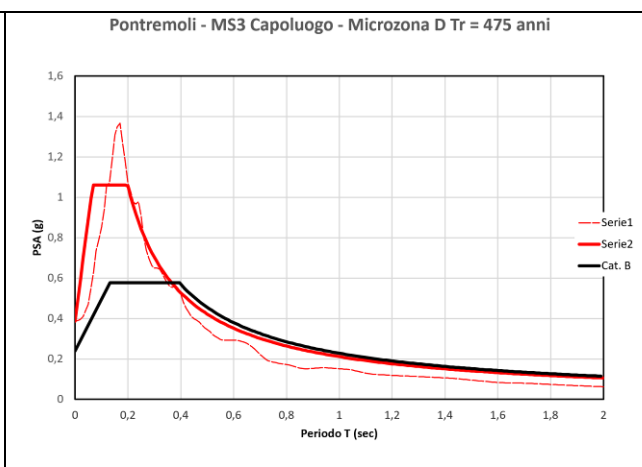
***Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona C.***

## MICROZONA D – $T_r = 475$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

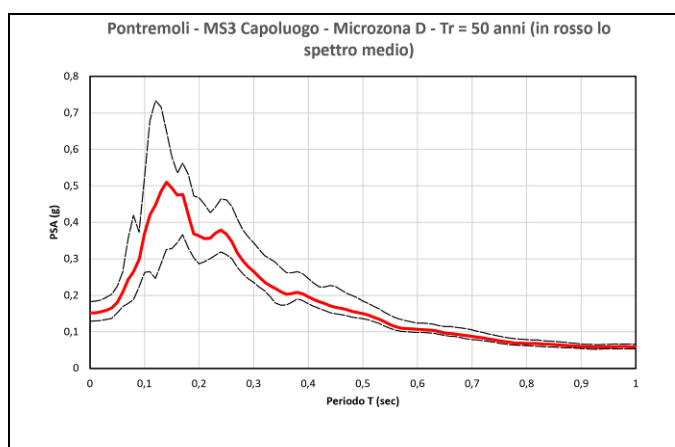


### SPETTRI NORMALIZZATI

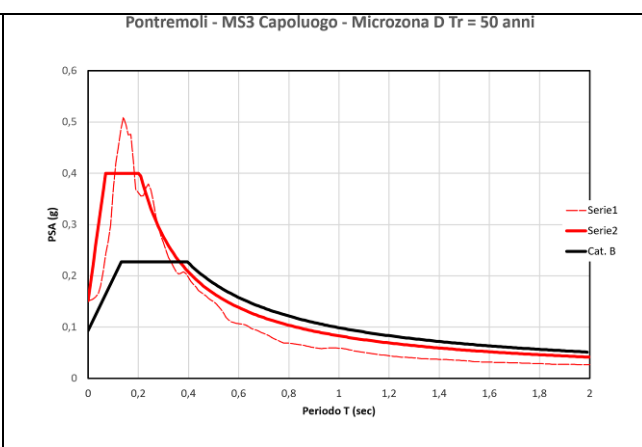


## MICROZONA D – $T_r = 50$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



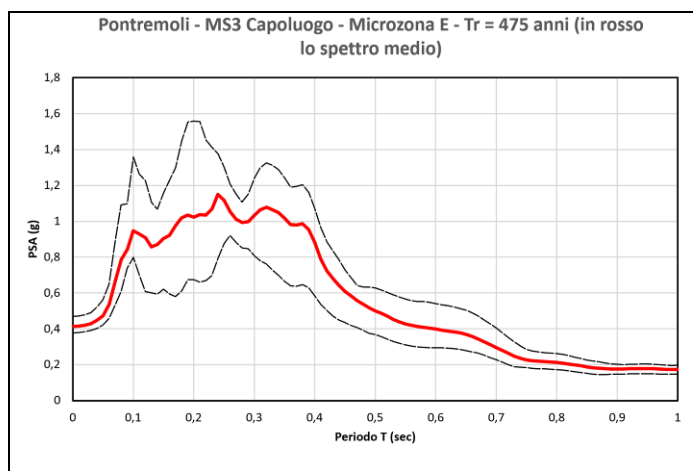
### SPETTRI NORMALIZZATI



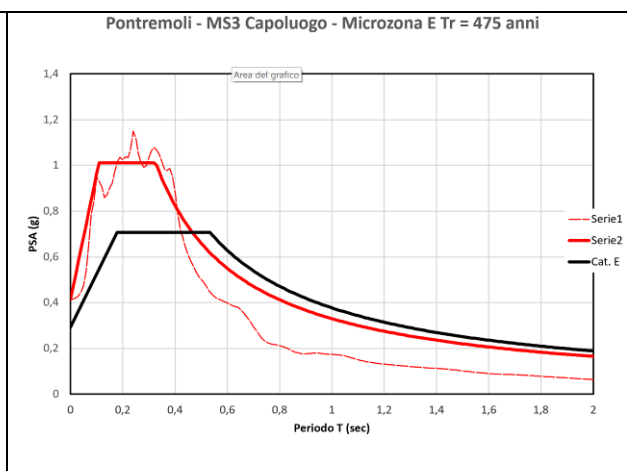
***Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona D.***

## MICROZONA E – $T_r = 475$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

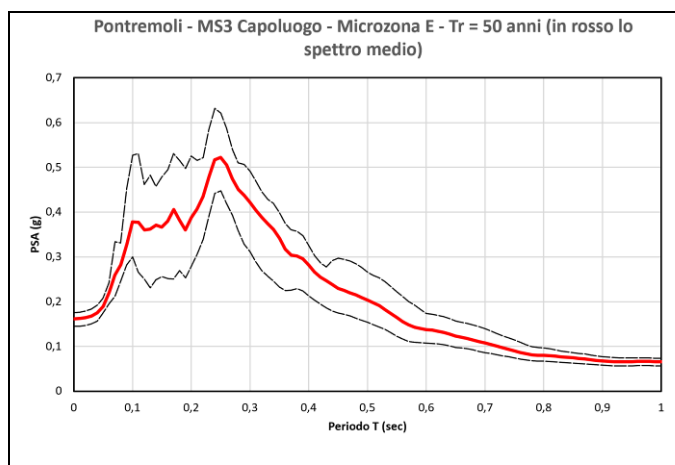


### SPETTRI NORMALIZZATI

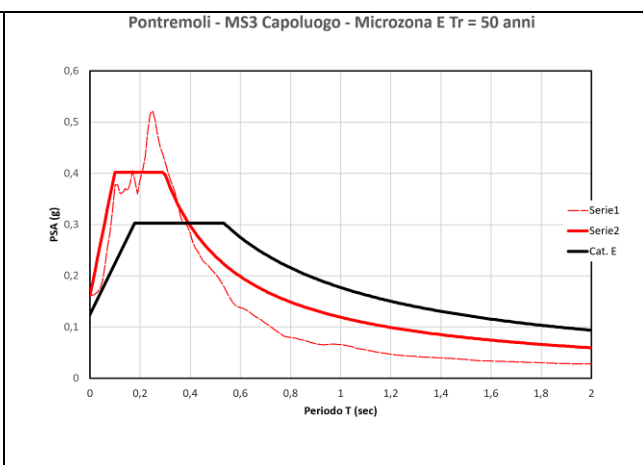


## MICROZONA E – $T_r = 50$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



### SPETTRI NORMALIZZATI

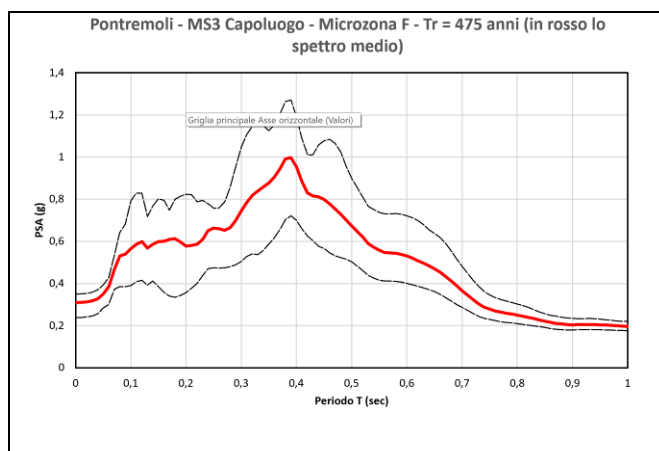


***Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona E.***

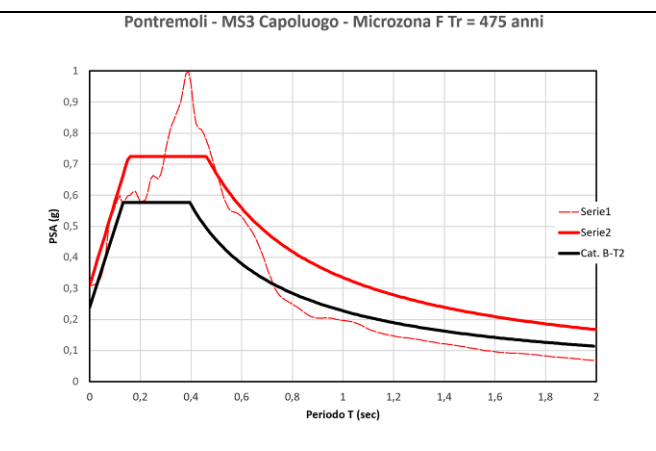


## MICROZONA F – Tr = 475 anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

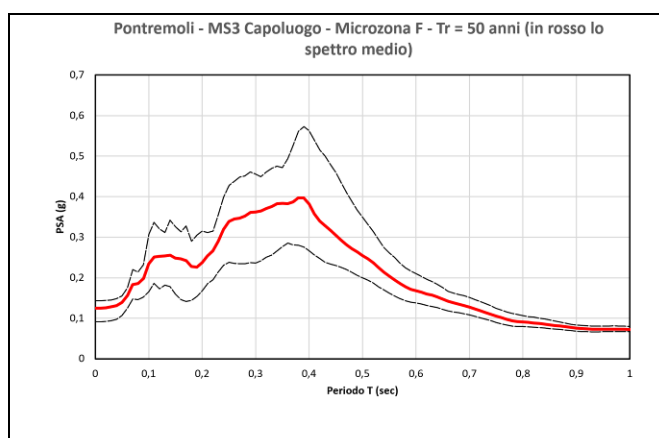


### SPETTRI NORMALIZZATI

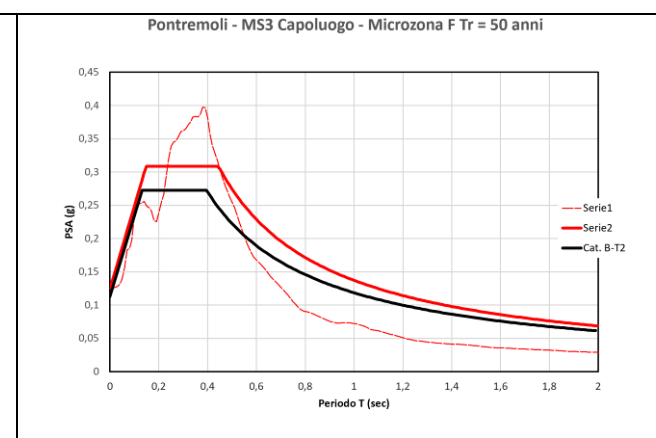


## MICROZONA F – Tr = 50 anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



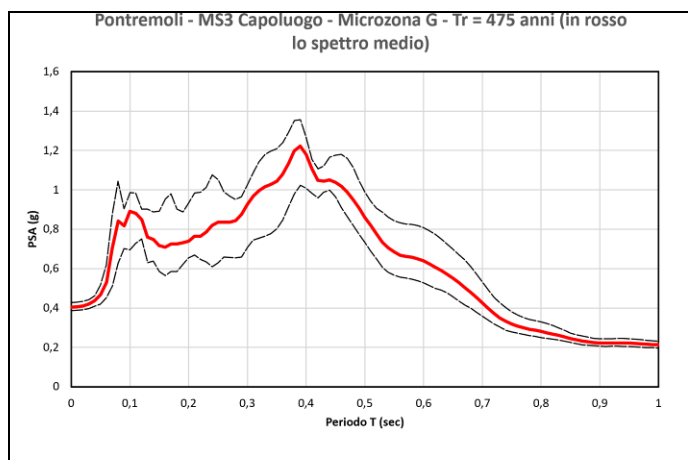
### SPETTRI NORMALIZZATI



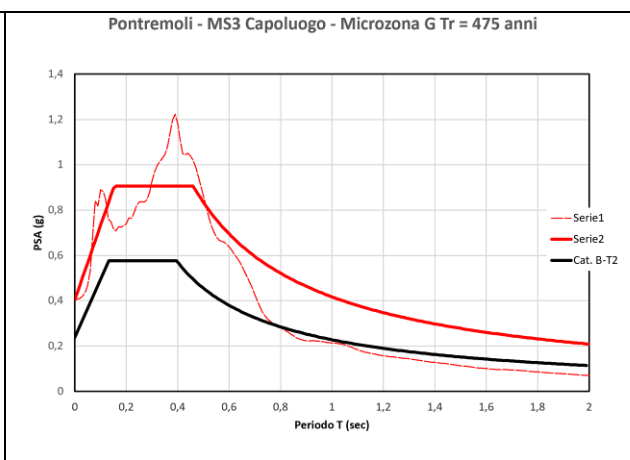
***Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona F.***

## MICROZONA G – $T_r = 475$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI

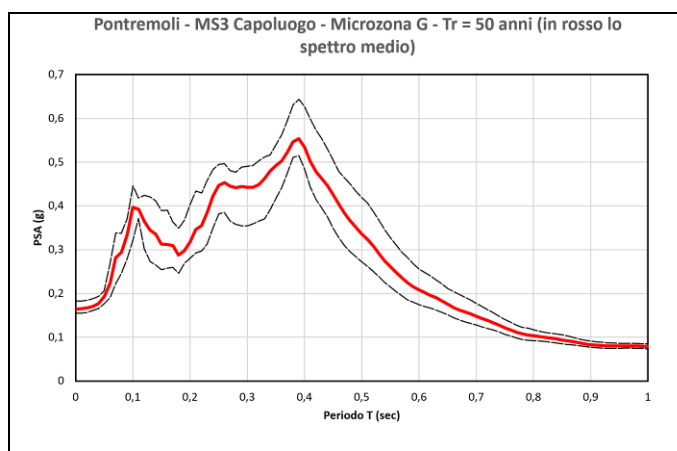


### SPETTRI NORMALIZZATI

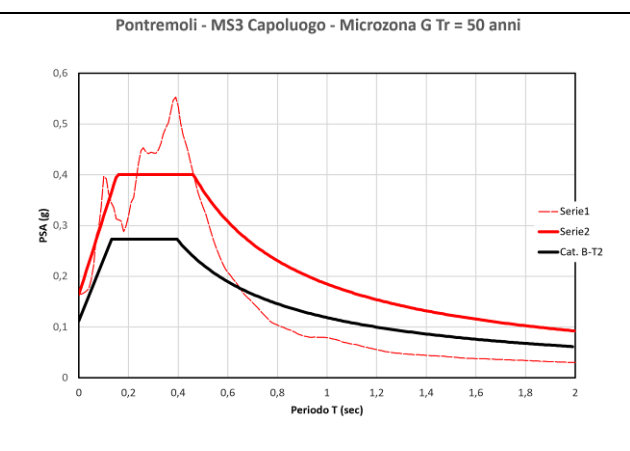


## MICROZONA G – $T_r = 50$ anni

### SPETTRI CARATTERISTICI



### SPETTRI NORMALIZZATI



***Spettri Caratteristici e Spettri Normalizzati per la Microzona G.***

Nella tabella che segue si riportano i parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici per i tempi di ritorno **Tr=475 anni** e **Tr=50 anni**, desunti a seguito del processo di normalizzazione per le sei microzone individuate nel presente studio per le aree indagate.

PONTREMOLI (MS)						
Microzonazione sismica di 3°livello - SLV (Tr=475 anni)						
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri						
ag = 0.199g						
Microzona	Località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	PONTREMOLI CAPOLUOGO	2.277	1.00	0.111	0.334	2.397
B		2.522	1.39	0.076	0.227	2.704
C		2.580	1.69	0.075	0.225	2.944
D		2.738	1.95	0.066	0.199	3.150
E		2.440	2.08	0.109	0.326	3.257
F		2.341	1.56	0.154	0.462	2.839
G		2.239	2.04	0.153	0.460	3.220

PONTREMOLI (MS)						
Microzonazione sismica di 3°livello - SLV (Tr=50 anni)						
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri						
ag = 0.078g						
Microzona	Località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	PONTREMOLI CAPOLUOGO	2.323	1.00	0.110	0.330	1.913
B		2.415	1.37	0.081	0.242	2.026
C		2.448	1.80	0.073	0.220	2.160
D		2.636	1.95	0.069	0.207	2.207
E		2.488	2.07	0.099	0.296	2.247
F		2.472	1.60	0.148	0.445	2.100
G		2.434	2.11	0.154	0.461	2.259

*Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr = 475 anni e Tr = 50 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione.*

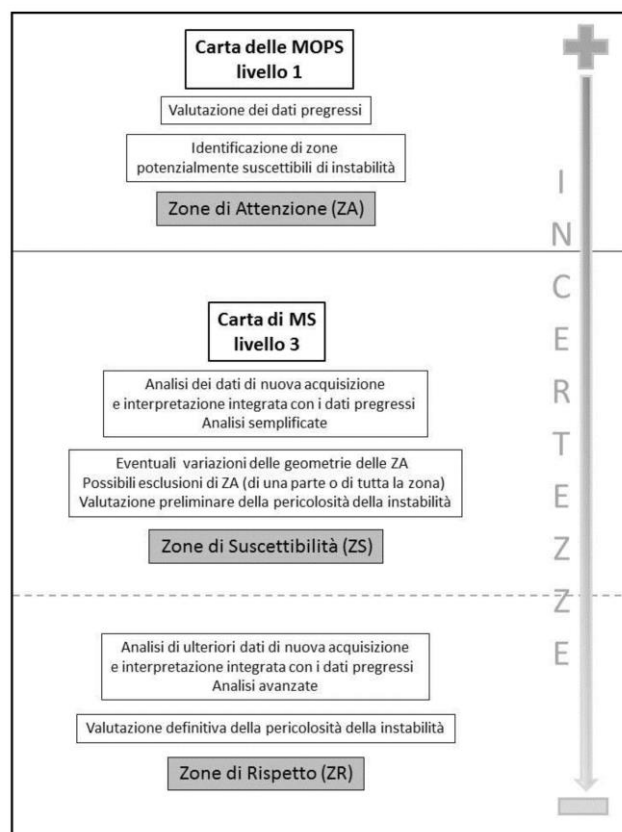


### 11.8 – GENERALITA' SULLE INSTABILITA' DI VERSANTE SISMOINDOTTE

È necessario premettere che gli studi di **Microzonazione Sismica** forniscono esclusivamente il quadro delle **INSTABILITÀ SISMOINDOTTE**, ossia le instabilità di versante che devono il loro movimento, oltre a caratteri predisponenti, alla **forzante sismica**.

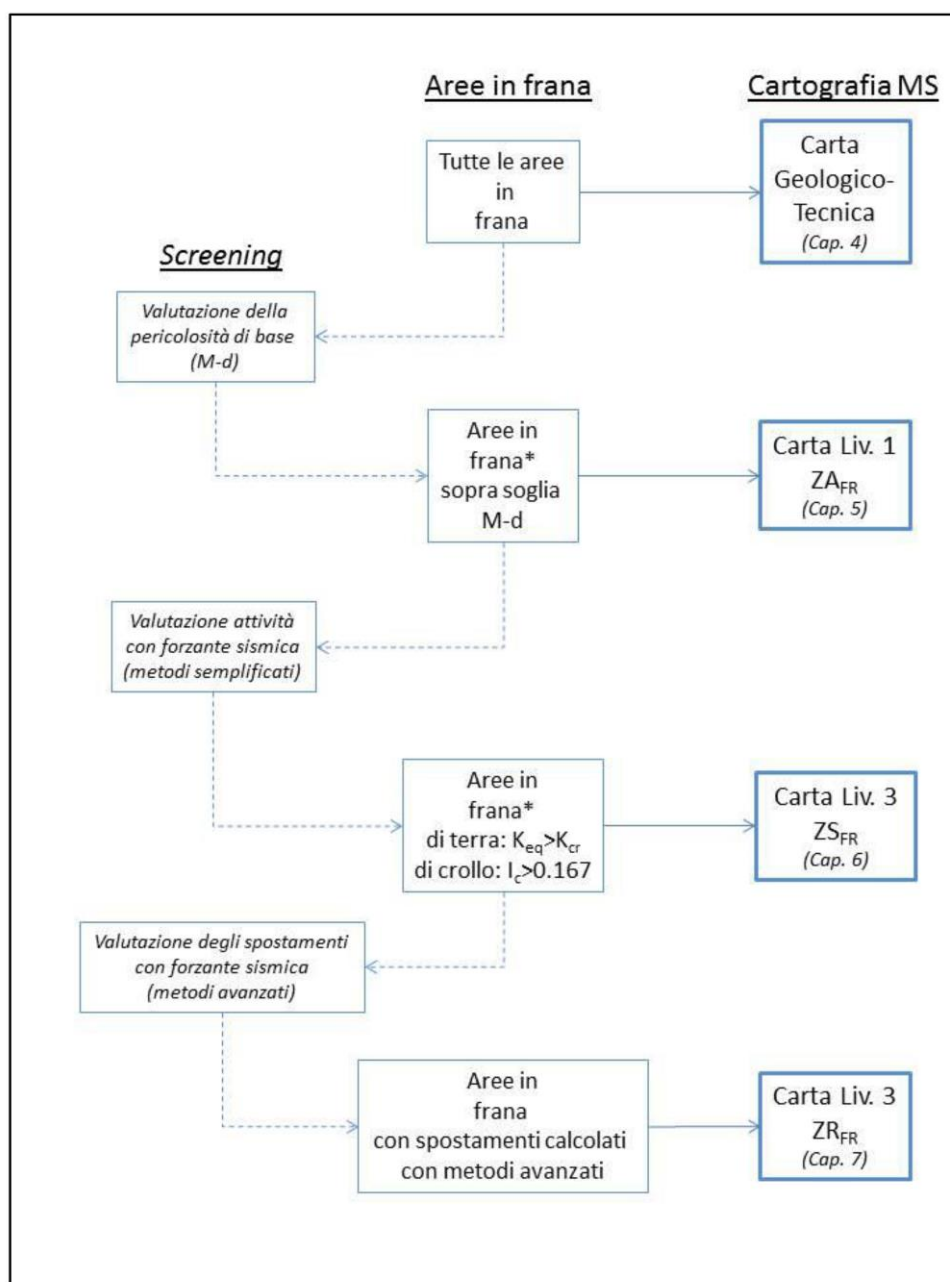
Negli Studi di MS le zone suscettibili di instabilità di versante sono di tre tipi così definiti:

- **Zone di Attenzione (ZA)**: sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni **predisponenti l'instabilità** in esame ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità **possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico**.
- **Zone di Suscettibilità (ZS)**: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte **semplificati** (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una **stima quantitativa della pericolosità**.
- **Zone di Rispetto (ZR)**: sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte **avanzati** (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile **quantificare in modo affidabile la pericolosità**.



Schema illustrativo del tipo di zona d'instabilità nelle Carte MOPS e MS. La raccolta dati e le analisi permettono di ridurre le incertezze dal Livello 1 al Livello 3.

Nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) Versione 2.1” vengono indicati gli “**Screening**” necessari per giungere all’individuazione delle varie Zone così come riportato nel seguente diagramma di flusso:



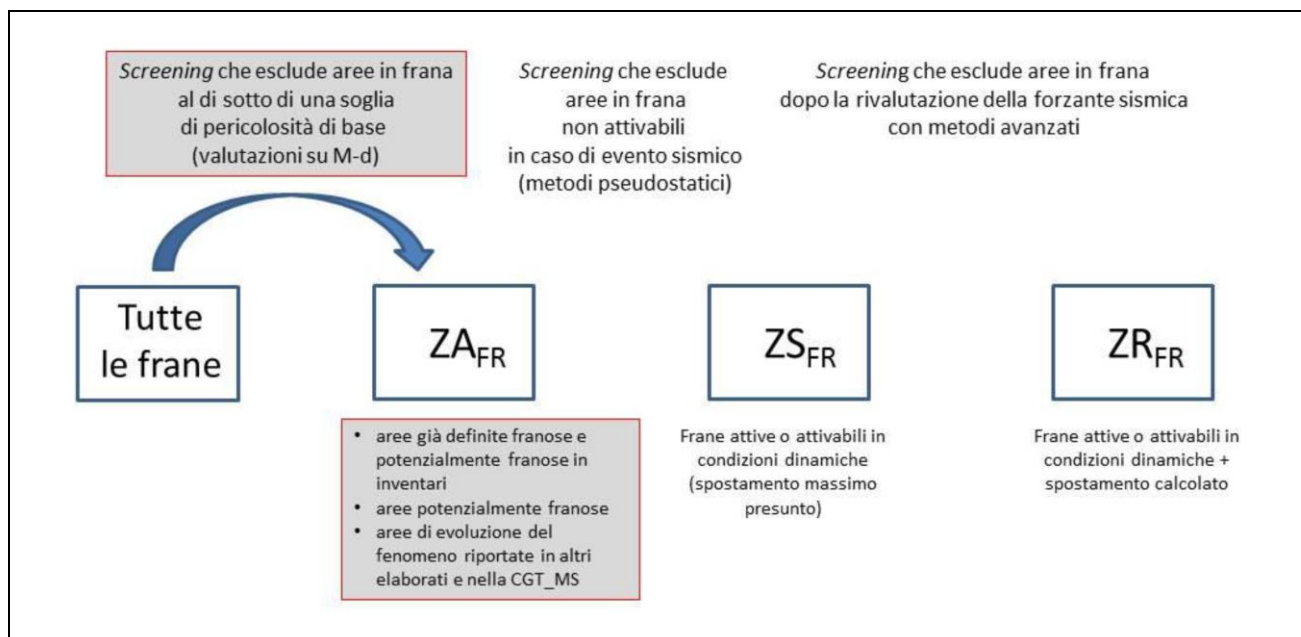
Schematizzazione della metodologia generale di individuazione delle **ZA<sub>FR</sub>**, **ZS<sub>FR</sub>** e **ZR<sub>FR</sub>** per le instabilità di versante (frane). **M-d**: Magnitudo-distanza dell’epicentro del terremoto; **K<sub>cr</sub>**: coefficiente sismico critico;

**K<sub>heq</sub>**: coefficiente sismico orizzontale equivalente; **I<sub>c</sub>**: indice di instabilità per frane di crollo.

### 11.8.1 – CARTA DELLE MOPS – LIVELLO 1 ( $ZA_{FR}$ – Zone di Attenzione per instabilità di versante)

#### Primo screening: valutazione della pericolosità sismica di base

Partendo dalla **Carta Geologico-Tecnica** in cui sono rappresentate tutte le aree in frana, il **primo screening** escluderà, considerando solo la **pericolosità sismica di base**, le aree che, pur essendo in frana, non saranno soggette a scuotimenti tali da provocarne l'attivazione.



Primo “Screening” per escludere le aree in frana al di sotto di una soglia di pericolosità di base (valutazioni su M-d)

Per l'identificazione della coppia **M-D di soglia** viene operata la disaggregazione della pericolosità sismica ovvero la definizione delle coppie M-D media e modale ( $H_{FR}$ ) per ciascun **baricentro comunale**.

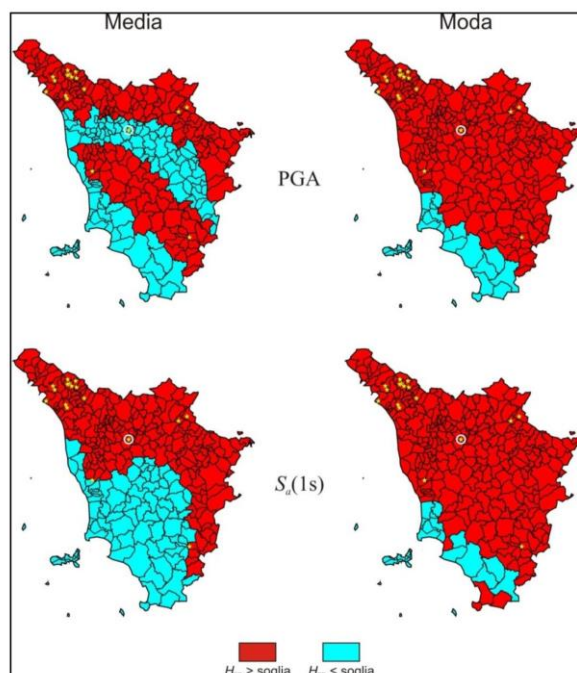
Confrontando i valori M-D (medi e modali) associati al baricentro comunale con i valori critici (**Mc-Dc**) derivati da **Keefer (1984)** per tutti i periodi di ritorno ed i periodi spettrali considerati possono presentarsi due casistiche:

- se il punto di coordinate M-D si trova al **di sotto** della curva “**upper bound**” (curva limite definita per “disrupted slides or falls”) determinata da Keefer (1984), il territorio comunale **può essere interessato da frane sismoindotte**;
- se il punto di coordinate M-D si trova al **di sopra** della curva di Keefer (1984), il territorio comunale è **potenzialmente esente** da fenomeni di instabilità di versante sismoindotti.

Infine è necessario raccogliere tutte le informazioni disponibili riguardanti la distribuzione sul territorio delle frane sismoindotte osservate storicamente ad esempio riferendosi al “**Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti (CEDIT, 2013)**” della banca dati dell'Università de La Sapienza di Roma (CEDIT 2013, <http://www.ceri.uniroma1.it/cn/gis.jsp>).

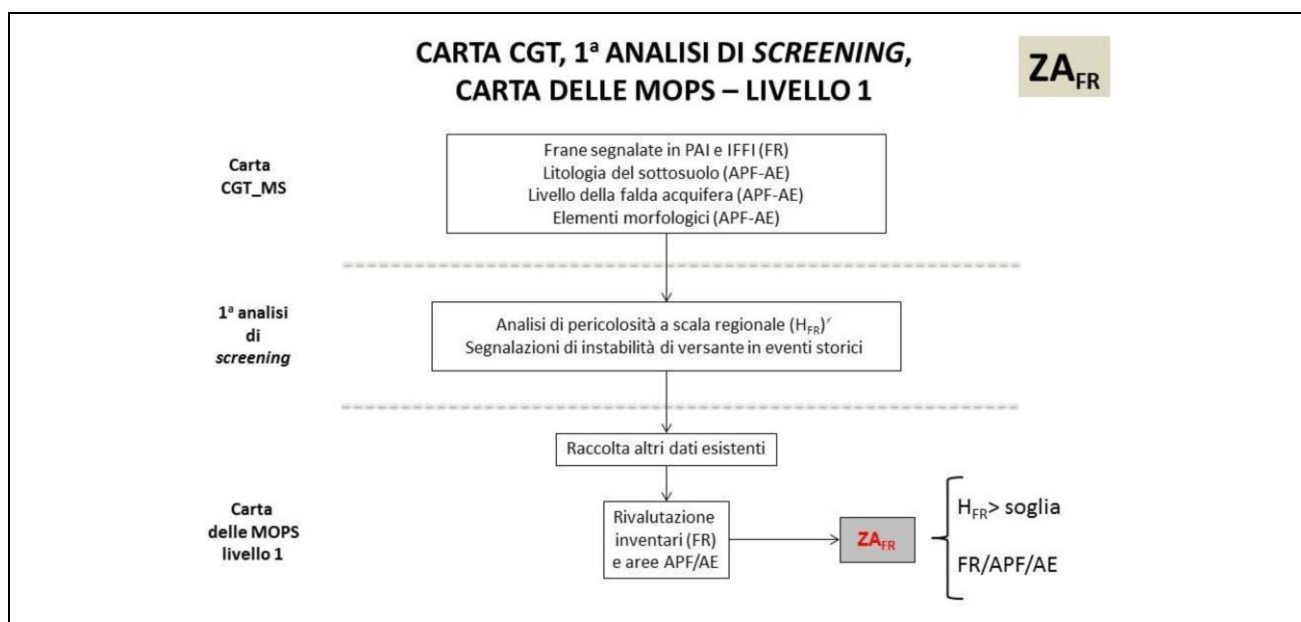
Nel caso in oggetto dalla consultazione già condotta in ambito dello Studio di MS1 era stata verificata l'assenza di riferimenti specifici sui fenomeni gravitativi mobilitati da eventi sismici.

Come visibile dalla figura sopra riportata il “Comune di PONTREMOLI” rientra tra quelli *il cui territorio comunale può essere interessato da frane sismoindotte*.



Mappe dei comuni toscani passibili di fenomeni franosi sismoindotti (comuni in rosso) così come derivate dal confronto delle coppie M-D medie e modali ottenute dalla disaggregazione della pericolosità sismica (in termini di PGA e accelerazione spettrale a 1s) per un periodo di ritorno di 475 anni con la curva limite di Keefer (1984). Le stelle in giallo indicano le frane sismoindotte occorse storicamente così come riportate nel CEDIT (2013)

Di conseguenza nella Carta delle **MOPS di Livello 1** tutte le frane presenti nella “**Carta geologico-tecnica**” sono state definite come “**Zone di Attenzione per instabilità di versante (Z<sub>FR</sub>)**”.



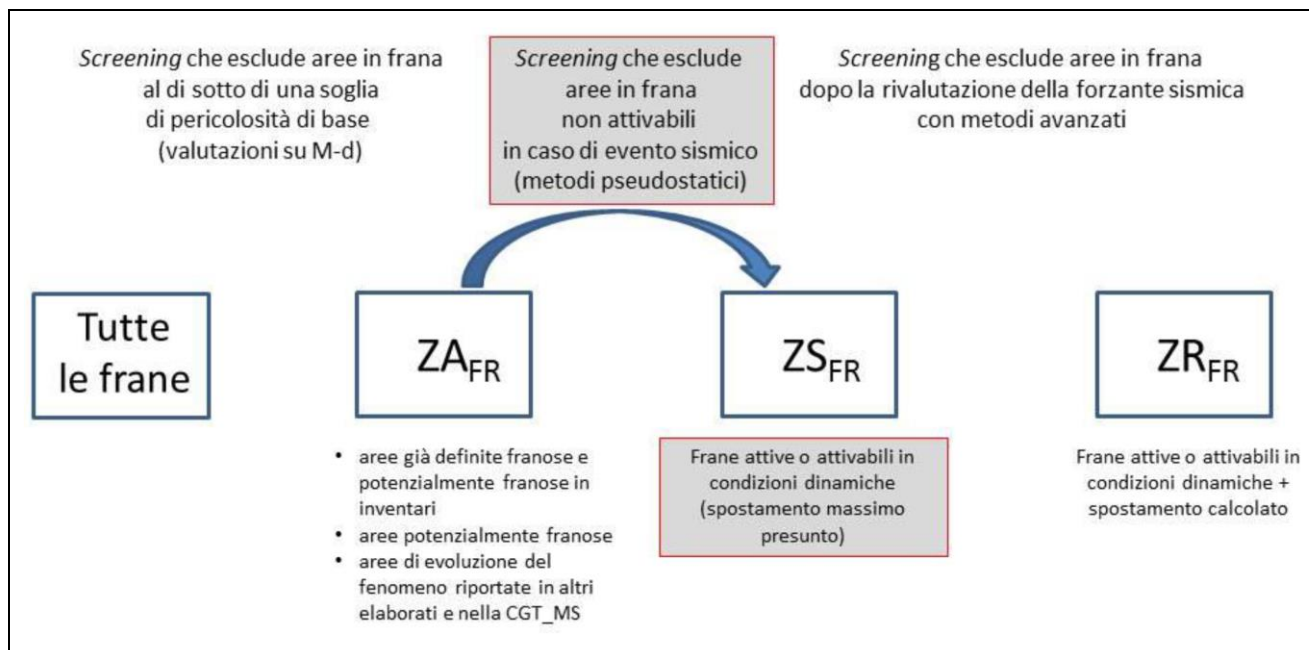
Schema di definizione delle **Z<sub>FR</sub>** nella “Carta delle **MOPS di Livello 1**”.



### 11.8.2 – CARTA DI MS, - LIVELLO 3 ( $ZS_{FR}$ – Zone di Suscettibilità per l'instabilità di versante)

#### Secondo screening: individuazione delle frane attivabili (con metodi pseudostatici)

Un **secondo screening** consentirà di escludere, attraverso l'applicazione di una **forzante sismica** e tenuto conto dei parametri geologici e geotecnici delle aree, alcune frane identificate nella prima fase e consentirà, attraverso l'acquisizione ex novo di dati sul terreno, di escludere parti di queste frane.



Secondo "Screening" per escludere le aree in frana non attivabili in caso di evento sismico (metodi pseudostatici)

La procedura che porta all'identificazione, tra le  $ZA_{FR}$  del livello 1, delle frane attive o attivabili con forzante sismica e quindi alla definizione delle  $ZS_{FR}$ , prevede uno screening articolato in due fasi.

Nella prima fase dovrà essere valutata l'**attività** della frana, distinguendo **frane attive** ( $FR_{att}$ ), **frane quiescenti** ( $FR_{quie}$ ) e **frane stabilizzate** ( $FR_{stabil}$ ).

Una volta attribuito lo stato di attività, le  $FR_{att}$  sono **direttamente** identificate come  $ZS_{FR}$ , mentre per le  $FR_{quie}$  e  $FR_{stabil}$  si procederà con la seconda fase che definirà la possibile attivazione in caso di terremoto.

La seconda fase della metodologia è diversificata per le **Frane di scivolamento** e per le **Frane di crollo in roccia**.

La scelta di adottare due procedure per i due tipi di frana è conseguente alle conoscenze tecniche scientifiche disponibili e alle indicazioni normative inerenti i due fenomeni che, anche dal punto di vista fisico, sono molto diversi.

La metodologia per le **Frane di scivolamento** si basa sul **confronto** di due coefficienti legati a un'**accelerazione critica** ( $a_c$ ) e all'**accelerazione massima in superficie** ( $a_{max}$ ).

La metodologia per le frane di crollo in roccia è invece basata su elementi geologici rilevati in situ (caratteristiche delle pareti in roccia), avendo definito a priori una soglia inferiore per l'accelerazione massima in superficie ( $a_{max}$ ).

Il risultato atteso da questo livello di approfondimento è l'individuazione di Zone di Suscettibilità per l'instabilità di versante ( $ZS_{FR}$ ).

Le **frane attive** e le **frane attivabili** in caso di **evento sismico**, individuate attraverso il secondo screening, costituiscono le  $ZS_{FR}$ .

Per queste frane, in questa fase di valutazione, non è ancora calcolato lo spostamento in caso di attivazione.

Le  $ZS_{FR}$  sono rappresentate nella Carta di MS di Livello 3.

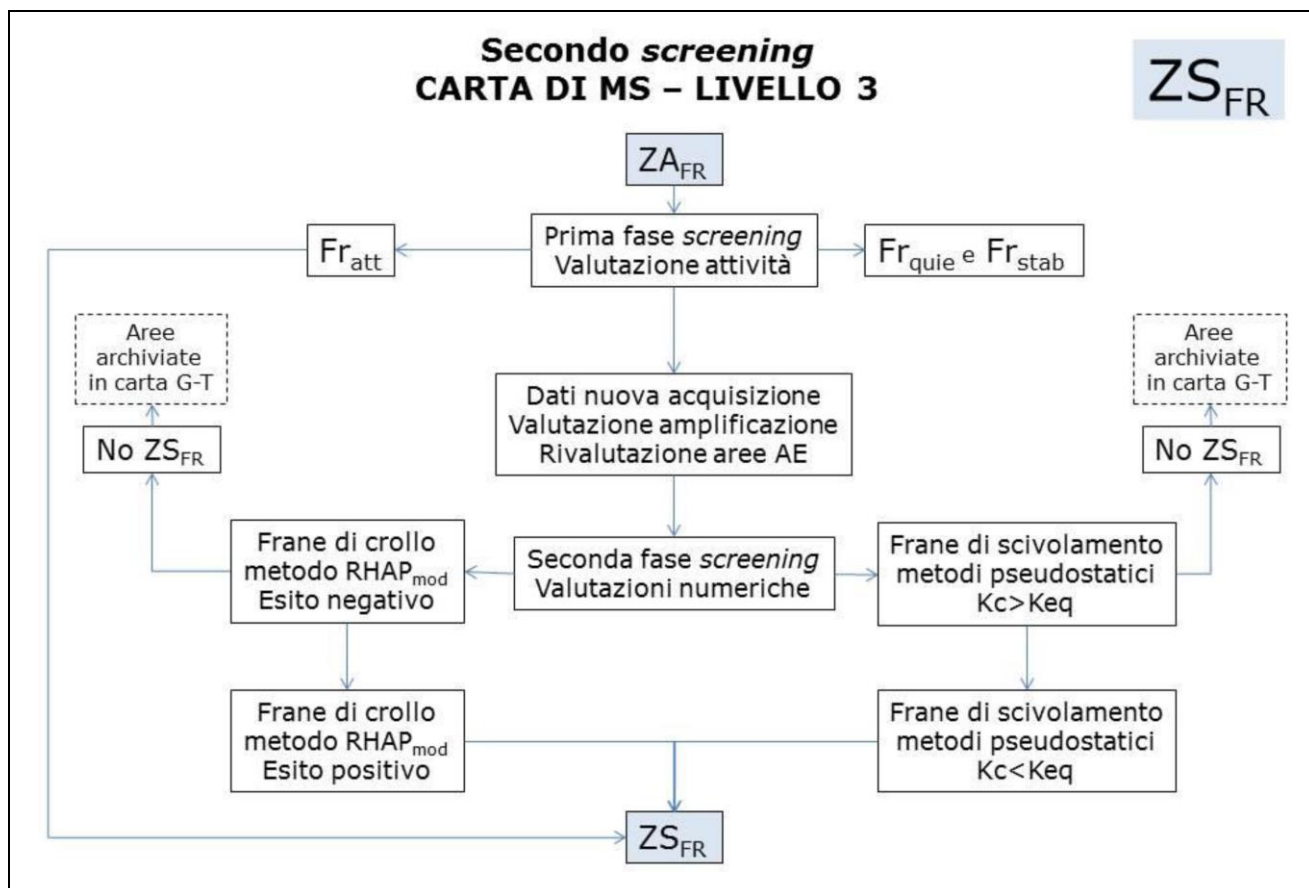


Diagramma di flusso che illustra la metodologia per definire le  $ZS_{FR}$  nella "Carta di MS di Livello 3".

Nell'area studiata non sono state rappresentate Frane di Crollo ma solamente **"Frane di scivolamento in terra"** per cui di seguito si tratterà unicamente di questo aspetto.

Come già ricordato il metodo di identificazione delle **ZS<sub>FR</sub>** prevede che nella prima fase della procedura di screening le **ZA<sub>FR</sub>** relative a **FR<sub>att</sub>** vengano **direttamente** identificate come **ZS<sub>FR</sub>**, mentre per le aree **ZA<sub>FR</sub>** relative a **FR<sub>quie</sub>** e **FR<sub>stabil</sub>** debbano essere calcolati con metodi numerici (analisi di amplificazioni litostratigrafiche e analisi pseudostatiche) i coefficienti **Kh<sub>eq</sub>** e **K<sub>c</sub>**.

La seconda fase della procedura di screening prevede la valutazione e il confronto tra **K<sub>c</sub>** e **Kh<sub>eq</sub>**.

Le **ZS<sub>FR</sub>** saranno costituite dalle aree in frana per le quali risulti **K<sub>c</sub> < Kh<sub>eq</sub>**.

La procedura prevede 3 passaggi:

- 1) calcolo del **coefficiente sismico critico** (**K<sub>c</sub>**) in condizioni di collasso incipiente, ovvero quando **FS=1.2** (analisi pseudostatica inversa);
- 2) calcolo dell'**accelerazione massima equivalente** (**a<sub>max,eq</sub>**) e del **coefficiente sismico orizzontale equivalente** (**Kh<sub>eq</sub>**) con un'analisi numerica (si sottolinea che non sono applicabili i risultati di abachi propri del livello 2, in quanto le aree in frana sono geologicamente complesse);
- 3) confronto tra **K<sub>c</sub>** e **Kh<sub>eq</sub>** e individuazione delle **ZS<sub>FR</sub>** (**K<sub>c</sub> < Kh<sub>eq</sub>**).

Le zone **ZA<sub>FR</sub>** per le quali **K<sub>c</sub> > Kh<sub>eq</sub>** non sono riportate nella carta di MS e il loro perimetro sarà conservato nella carta CGT\_MS.

Le zone **ZA<sub>FR</sub>** per le quali **K<sub>c</sub> < Kh<sub>eq</sub>** saranno invece definite come **ZS<sub>FR</sub>**.

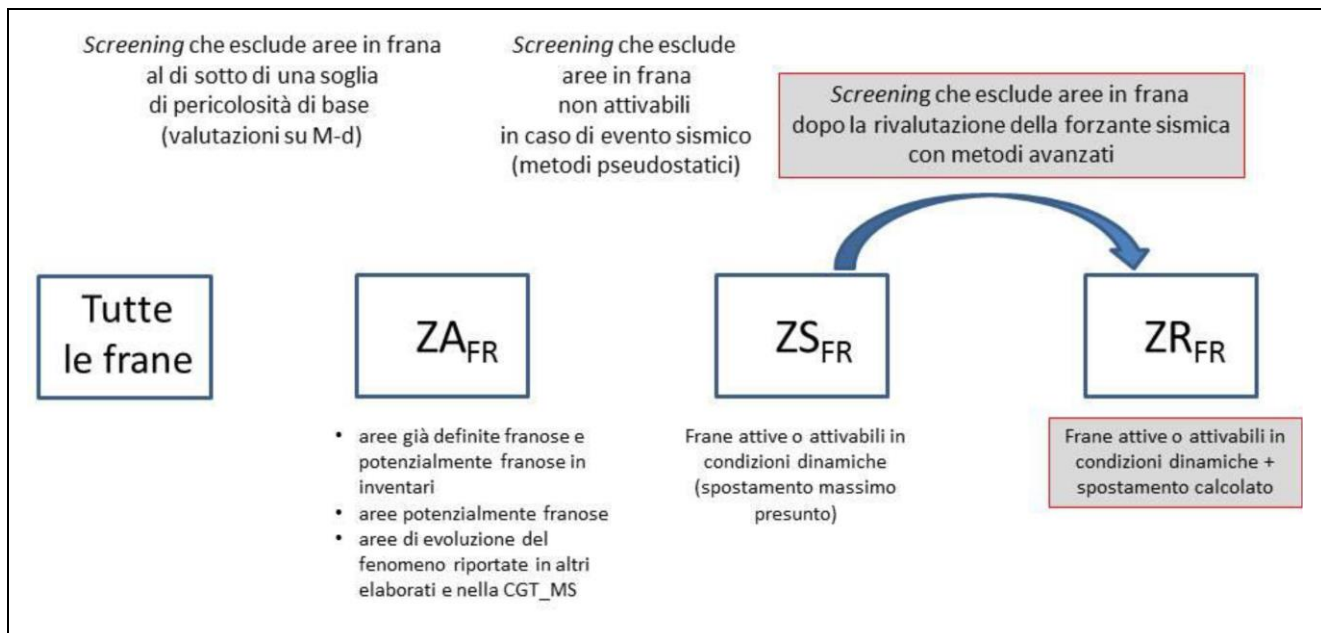
### 11.8.3 – CARTA DI MS, - LIVELLO 3 ( $ZR_{FR}$ – Zone di Rispetto per l'instabilità di versante)

#### Terzo screening: valutazione delle frane attivabili (metodi degli spostamenti)

Il **terzo e ultimo screening** permetterà di ridefinire il perimetro delle frane attivabili a seguito di un evento sismico, calcolando anche gli **spostamenti possibili**.

Nelle aree individuate come **Zone di Suscettibilità** ( $ZS_{FR}$ ) si procede ad acquisire nuovi dati e condurre **analisi dinamiche** a diverso grado di complessità in funzione dei dati e delle conoscenze disponibili, allo scopo di:

- rivalutare la possibile attivazione con metodi avanzati;
- rivalutare la dimensione delle aree in frana con possibile attivazione in caso di evento sismico;
- determinare l'entità dello **spostamento permanente** del pendio per le **frane di scivolamento** (FRT) e la **runout distance** per le **frane di crollo** (FRR).



#### Terzo "Screening" per la valutazione delle frane attivabili (metodo degli spostamenti)

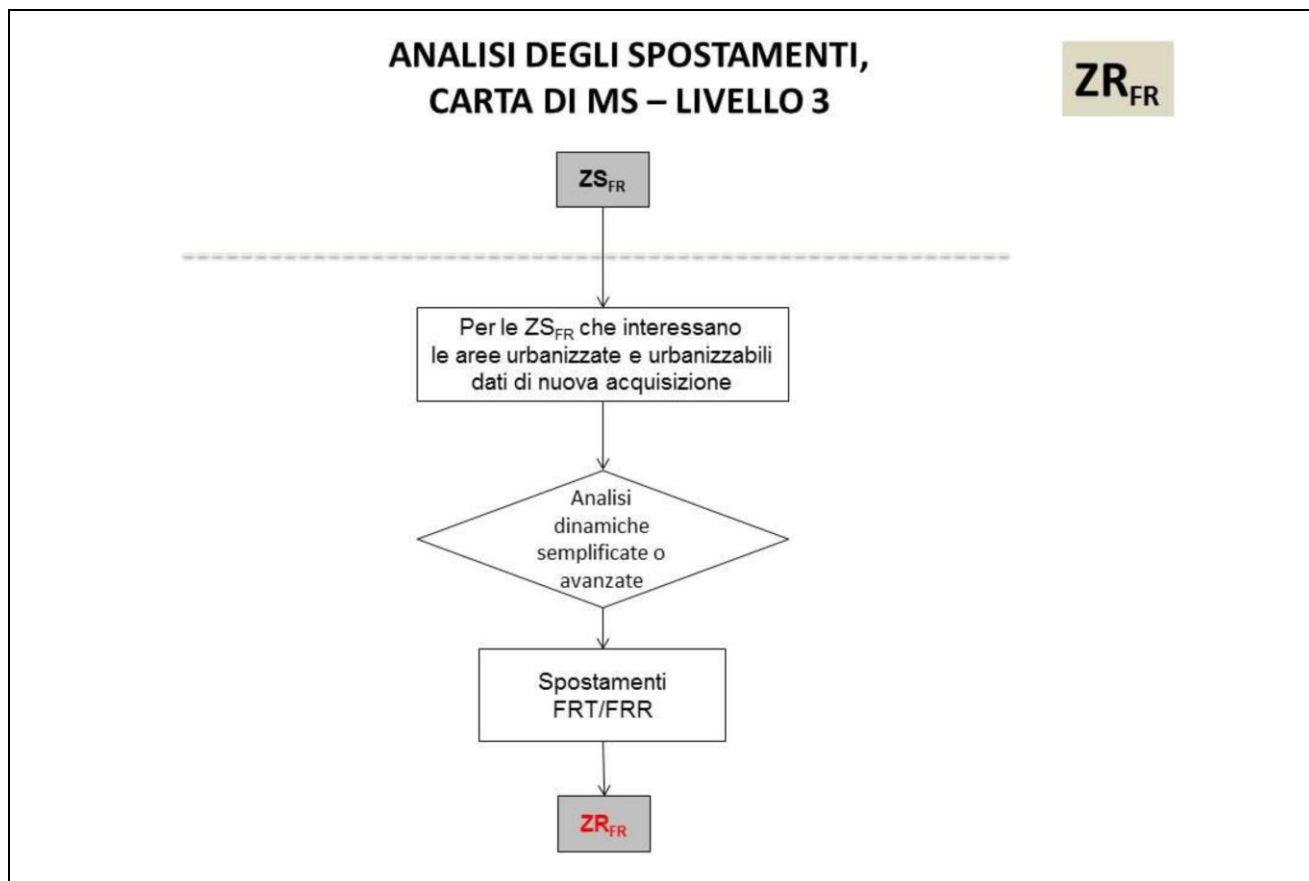
Nella porzione di frana per la quale è stata verificata, con metodi pseudostatici, la condizione d'instabilità viene condotta un'ulteriore analisi (con metodi semplificati o dinamici) volta a definire lo **spostamento permanente**.

L'**areale di frana ed il relativo spostamento** sarà la **Zona di Rispetto** ( $ZR_{FR}$ ).



### 11.8.3.1 – Analisi dinamiche semplificate per le frane di scivolamento

Le  $ZR_{FR}$  sono rappresentate nella Carta di MS di Livello 3 ottenute utilizzando il percorso indicato nella seguente figura.



*Diagramma di flusso, valido per le frane di scivolamento e di crollo in roccia, che illustra il percorso metodologico per la definizione delle  $ZR_{FR}$  nella “Carta di MS di Livello 3”.*

Nelle analisi previste dai metodi dinamici semplificati (metodo degli spostamenti con analisi del blocco rigido):

- l'azione sismica è definita da una funzione temporale (**accelerogramma**);
- gli effetti dell'azione sismica vengono valutati in termini di (**spostamenti cumulati**).

Questo approccio supera il limite intrinseco dei metodi pseudostatici che utilizzano sollecitazioni statiche e costanti nel tempo e tiene conto del fatto che la risposta del pendio dipende anche dalle **caratteristiche dell'accelerogramma**.

I metodi degli spostamenti sono una evoluzione del **Metodo di Newmark (1965)** e secondo quanto indicato nella bibliografia ufficiale (R.W. Jibson, 2011) l'analisi condotta col metodo del blocco rigido fornisce valori coerenti per frane di limitato spessore in terreni rigidi, quali frane superficiali in materiali coerenti, crolli superficiali in ammassi rocciosi degradati e scadenti.

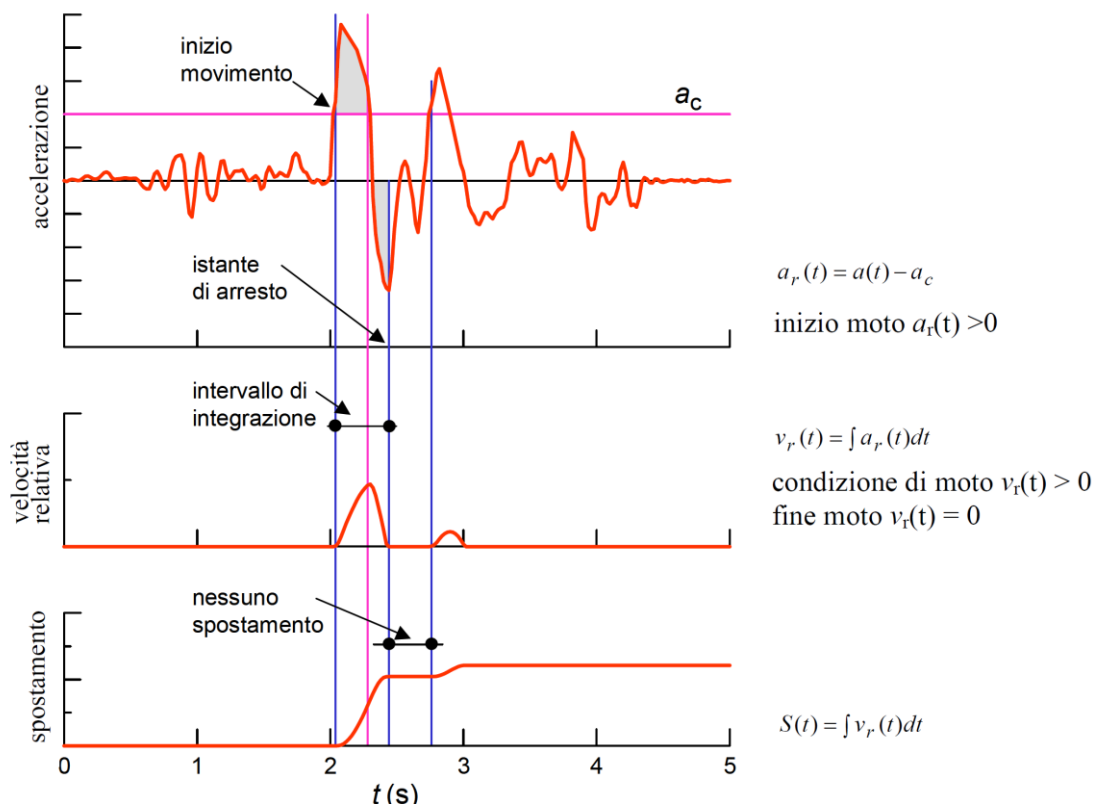
Le fasi che permettono la valutazione dello **spostamento cumulato (FRT)** sono le seguenti:

- valutazione, con metodi numerici di simulazione, della time history rappresentativa dell'input agente nella zona **ZS<sub>FR</sub>** analizzata;
- rivalutazione con altri dati, se necessario, del **K<sub>c</sub>**;
- calcolo dell'accelerazione critica ( $a_c = K_c \cdot g$ ) ovvero dell'accelerazione relativa ad una condizione di equilibrio limite ( $FS = 1.2$ );
- calcolo dello spostamento cumulato (FRT), tramite **doppia integrazione dell'accelerazione eccedente** (parte dell'accelerogramma che supera  $a_c$ ).

Nell'approccio originario di Newmark la valutazione dello spostamento permanente viene effettuata mediante **doppia integrazione** dell'equazione differenziale del moto relativo del corpo di frana rispetto alla formazione di base negli intervalli temporali in cui l'accelerazione,  $a(t)$ , assunta costante lungo la superficie di scorrimento, è **maggiore di quella critica**,  $a_c$ , assunta costante nel tempo, e in tutti gli istanti in cui la velocità relativa della massa potenzialmente instabile è **positiva**.

Lo spostamento permanente cumulato si ottiene per sommatoria degli spostamenti parziali calcolati nei singoli intervalli temporali.

Nella seguente figura si illustra schematicamente la storia temporale di un accelerogramma di progetto, della velocità relativa e degli spostamenti cumulati.



Calcolo degli spostamenti per doppia integrazione del moto relativo (Linee guida AGI, Capitolo 8).

#### 11.8.4 – Riepilogo per riportare le Zone d'Instabilità nella Carta delle MOPS e nella Carta di MS

Ricapitolando quanto riportando in precedenza in sintesi possiamo esporre quanto segue:

- una frana in un territorio sotto soglia di pericolosità di base (M-d) non è una Zona di Attenzione per le instabilità **ZA<sub>FR</sub>**, quindi non è rappresentata sulla Carta MOPS di Livello 1, ma resta rappresentata unicamente nella Carta Geologico-Tecnica di Livello 1 **CGT\_MS**;

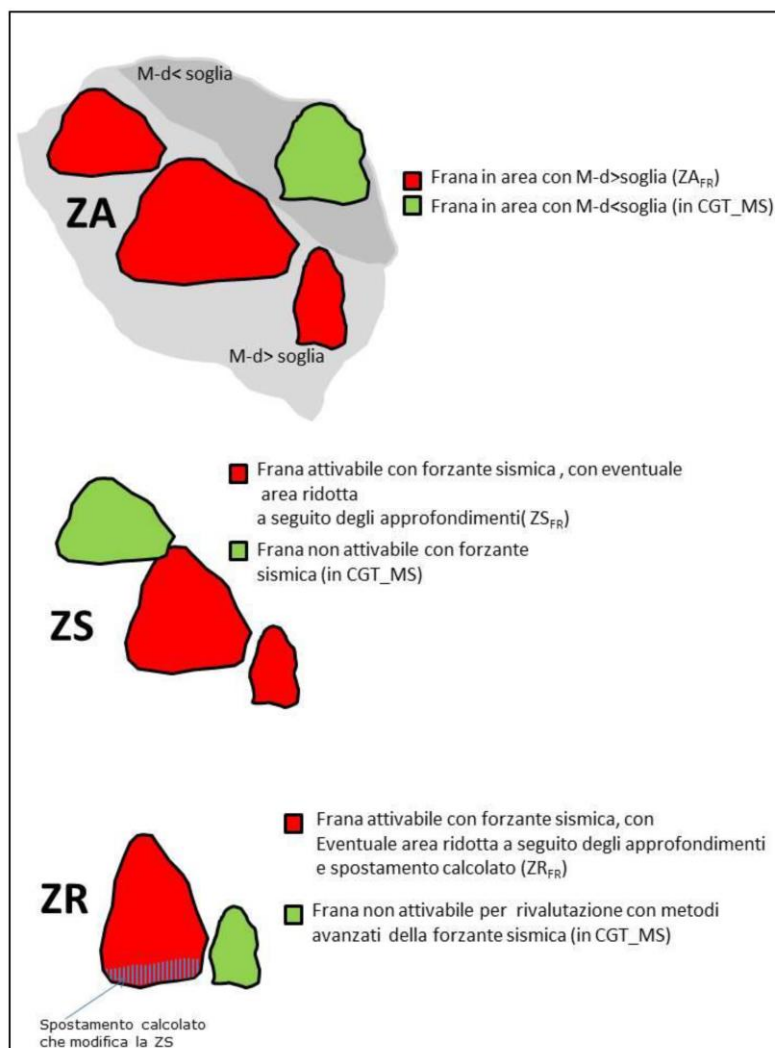
- una frana in un territorio sopra soglia di pericolosità di base (M-d) è una Zona di Attenzione per le instabilità **ZA<sub>FR</sub>** e, oltre a rimanere rappresentata sulla carta **CGT\_MS**, verrà rappresentata anche sulla **Carta MOPS** di Livello 1;

- una Zona di Attenzione per le instabilità **ZA<sub>FR</sub>** che non risulta attivabile con una forzante sismica a seguito degli approfondimenti di livello 3, non si trasforma in Zona di Suscettibilità **ZS<sub>FR</sub>**, non viene rappresentata nella Carta MS, e resta rappresentata solo nella Carta MOPS di Livello 1 e nella **CGT\_MS**;

- una Zona di Suscettibilità **ZS<sub>FR</sub>** o una porzione di **ZS<sub>FR</sub>**, si trasforma in una **Zona di Rispetto **ZR<sub>FR</sub>**** a seguito del calcolo degli spostamenti con metodi avanzati eventualmente modificando il perimetro della stessa Zona Suscettibile **ZS<sub>FR</sub>** di partenza;

- una frana definita attiva già nella documentazione pregressa (Carta Geologico-Tecnica **CGT\_MS**) può trasformarsi in una Zona di Suscettibilità **ZS<sub>FR</sub>** o una Zona di Rispetto **ZR<sub>FR</sub>**, in funzione del grado di approfondimento degli studi effettuati e viene rappresentata sia nella Carta delle MOPS di Livello 1 che nella Carta di MS.

Nella figura che segue viene proposto uno schema esemplificativo del percorso logico che dalle **Zone di Attenzione** (ZA) porta alla definizione delle **Zone di Suscettibilità** (ZS) ed infine alle **Zone di Rispetto** (ZR).



*Schema esemplificativo della metodologia generale di individuazione delle  $ZA_{FR}$ ,  $ZS_{FR}$  e  $ZR_{FR}$ .*

La **differenza** tra **Zona di Suscettibilità** e **Zona di Rispetto**, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR e "semplificati" in ZS), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, instabilità di versante, liquefazione, cedimenti differenziali).



## 12 – VERIFICHE ESEGUITE NELL'AREA INDAGATA

### Frane Attive

Come ricordato in precedenza le frane già definite **attive** nella documentazione pregressa (Carta Geologico-Tecnica CGT\_MS) sono state trasformate in Zona di Suscettibilità **ZS<sub>FR</sub>**.

Nell'area in oggetto è presente un'unica Frana attiva nel versante a monte di Villa Dosi.

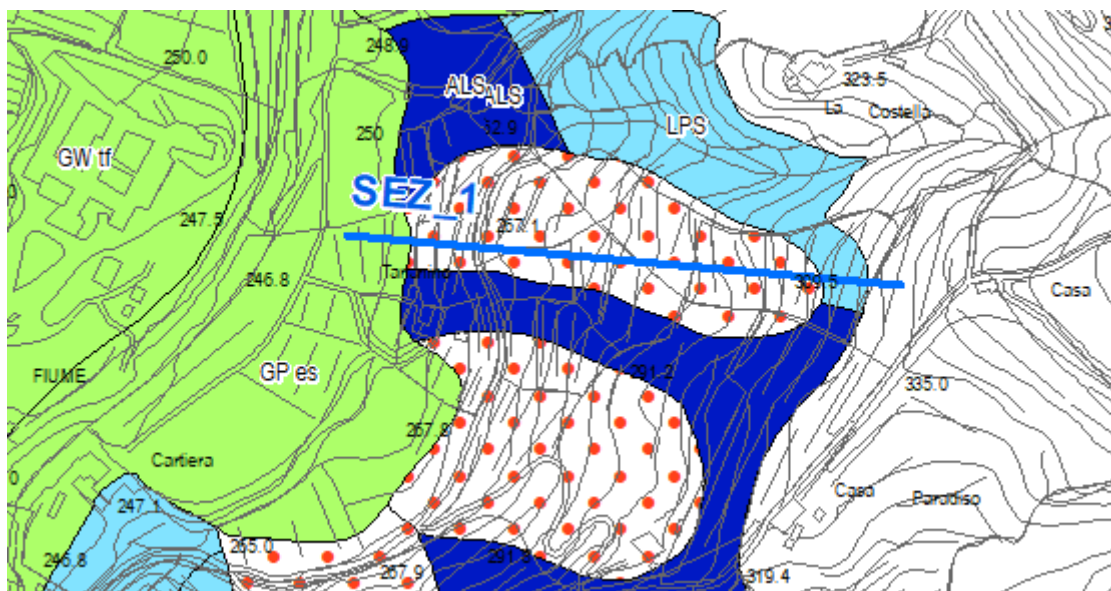
### Frane quiescenti

Operando secondo le indicazioni delle Linee Guida alcune Frane Quiescenti sono state sottoposte a metodo di analisi numerica per la determinazione del coefficiente **K<sub>c</sub>** (coefficiente sismico critico) che è stato poi confrontato con il **K<sub>h<sub>eq</sub></sub>** (coefficiente sismico orizzontale equivalente) ricavato dall'analisi di RSL2D.

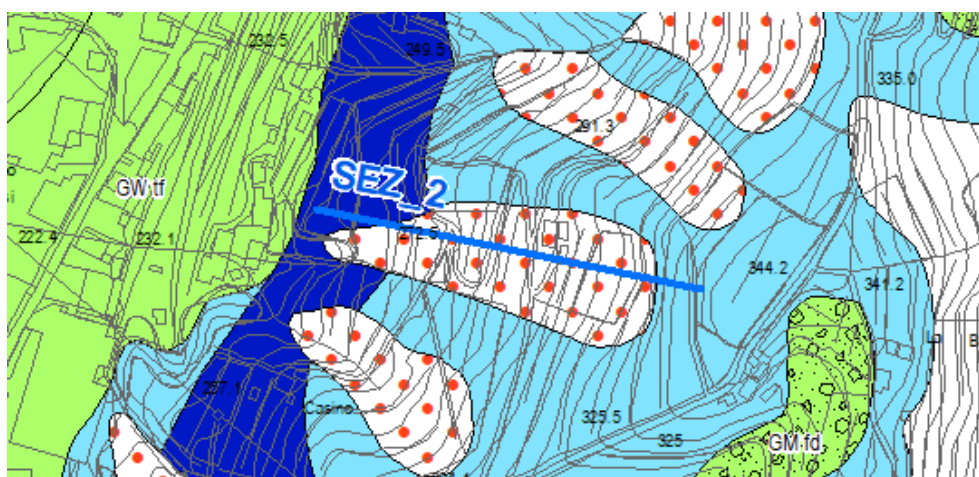
La determinazione del **K<sub>c</sub>** è stata condotta con **analisi pseudostatica** inversa riferita alla condizione di collasso incipiente ( $FS = 1.2$ ) deducendo così la relativa accelerazione critica **a<sub>c</sub> = K<sub>c</sub>g** come indicato nelle Linee Guida e Norme AGI (2005).

L'attenzione si è concentrata su n.4 corpi di frana; per ciascuno dei quali è stata elaborata una sezione geologico-tecnica lungo le sezioni di verifica riportate nel seguente estratto cartografico.

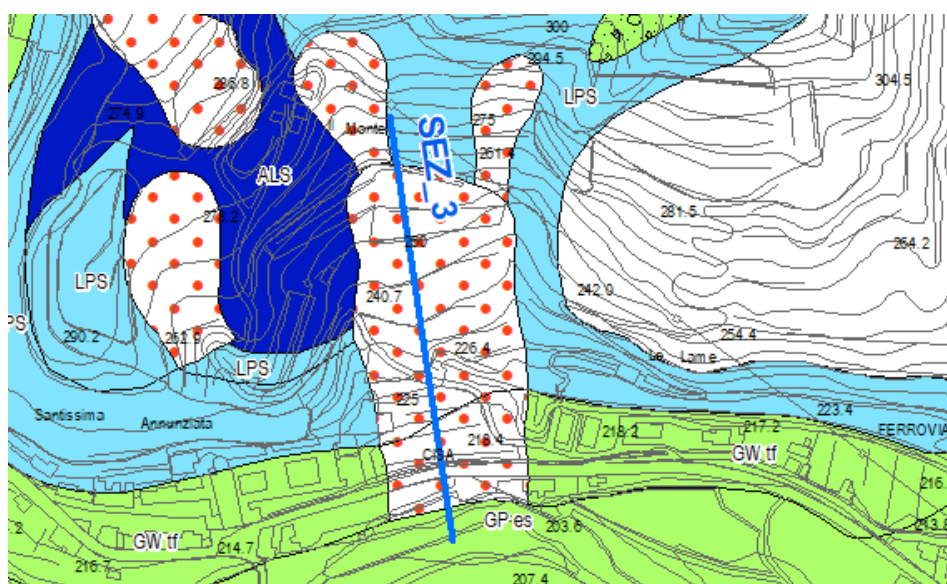
### CORPO DI FRANA QUIESCENTE IN LOCALITA' "PARADISO" – SEZIONE 1



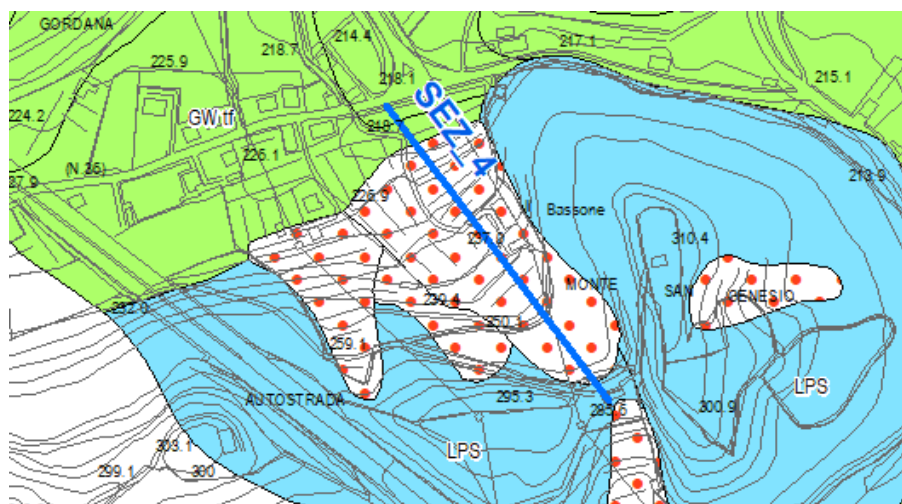
**CORPO DI FRANA QUIESCENTE IN Località “LA COSTA” – SEZIONE 2**



**CORPO DI FRANA QUIESCENTE IN Localita' “IL MONTE” – SEZIONE 3**



**CORPO DI FRANA QUIESCENTE IN LOCALITA' “MONTE SAN GENESIO” – SEZIONE 4**



**Normativa tecnica di riferimento**

Il tema della Stabilità dei Pendii naturali viene trattato dalle **NTC2018** al **§ 6.3** e più in dettaglio nella Circolare Applicativa del 21 Gennaio 2019 n.7.

Nelle NTC e nella Circolare Applicativa in merito ai **pendii naturali** viene indicato quanto segue:

*“Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi e il regime delle pressioni interstiziali.*

*Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.*

*Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.*

*Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.*

*La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile ( $\tau_f$ ) e la tensione di taglio agente ( $\tau$ ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematismo atteso o accertato, sia le azioni presi con il loro valore caratteristico.”*

*Nelle verifiche di sicurezza è necessario inoltre adottare valori cautelativi delle pressioni interstiziali.*

*Le verifiche devono essere eseguite anche per le combinazioni sismiche previste dalle NTC, secondo quanto disposto nel § 7.11 delle NTC stesse”.*

Le condizioni di saturazione adottate per gli strati superficiali del terreno sono state definite sulla base delle seguenti considerazioni:

- dalle indagini eseguite in sito è stata riscontrata la presenza di acqua all'interno dei terreni di copertura;
- il livello di falda è sempre stato rinvenuto a bassa profondità dal piano campagna e subisce escursioni importanti nel corso dell'anno ed a seguito di precipitazioni importanti;
- in tutte le sezioni di verifica è stata cautelativamente considerata la presenza della falda anche all'interno del substrato roccioso alterato e fratturato;
- il substrato roccioso compatto è stato invece considerato impermeabile e costituisce il livello di base della falda;

**Scelta dei parametri geotecnici da utilizzare nelle verifiche (tratti dalle prove in sito)**

In merito alla scelta dei parametri geotecnici dei terreni questi sono stati dedotti dalle prove penetrometriche statiche e dinamiche eseguite su ogni zona indagata.

In merito al substrato roccioso alterato e fratturato ed al substrato roccioso compatto i parametri geotecnici sono stati dedotti anche in funzione delle correlazioni con le velocità delle onde sismiche ottenute tramite le prospezioni di sismica a rifrazione con onde P e SH eseguite.

In accordo con quanto indicato nelle “*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da frane sismoindotte*” e a quanto indicato nelle Raccomandazioni AGI (2005) la scelta delle caratteristiche di resistenza dei materiali da utilizzare per le verifiche è ricaduta sui valori corrispondenti alle “**condizioni residue**” ( $c'=0$ ,  $\varphi'=\varphi'r$ ) per cui le verifiche sono state eseguite utilizzando questi valori.



**Analisi pseudostatica**

Nel § 7.11.3.5.2 delle NTC2018 vengono definite le modalità di esecuzione delle analisi di stabilità dei pendii, in condizioni sismiche, con **metodi pseudostatici**.

In questi metodi l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso ( $W$ ) del volume di terreno potenzialmente instabile.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le **componenti orizzontali** di tale forza possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W$$

$k_h$  = coefficiente sismico orizzontale

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

dove:

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito

$g$  = accelerazione di gravità

Nel caso in esame l'accelerazione massima  $a_{\max}$  è stata valutata attraverso le analisi di risposta sismica locale eseguite.

L'elaborazione degli spettri ha portato a classificare le **“zone instabili”** all'interno della **“Microzona B”** che risulta caratterizzata da un'accelerazione massima  $a_{\max} = 0.276$ .

Per il calcolo di  $\beta_s$  (coefficiente che tiene conto della duttilità del terreno) le NTC2018 propongono la seguente tabella:

**Tab. 7.11.I** – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Nel caso in oggetto considerando che nell'area in esame  $a_g(g)$  è compreso fra 0.1 e 0.2, si ricava che  $\beta_s = 0.24$  e quindi il valore del coefficiente sismico orizzontale vale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0.24 \times \frac{0.276}{g} = 0.066$$




Di conseguenza per l'area in oggetto avremmo un coefficiente sismico orizzontale  $k_h=0.066$ .

## 12.1 Risultati delle verifiche di stabilità eseguite

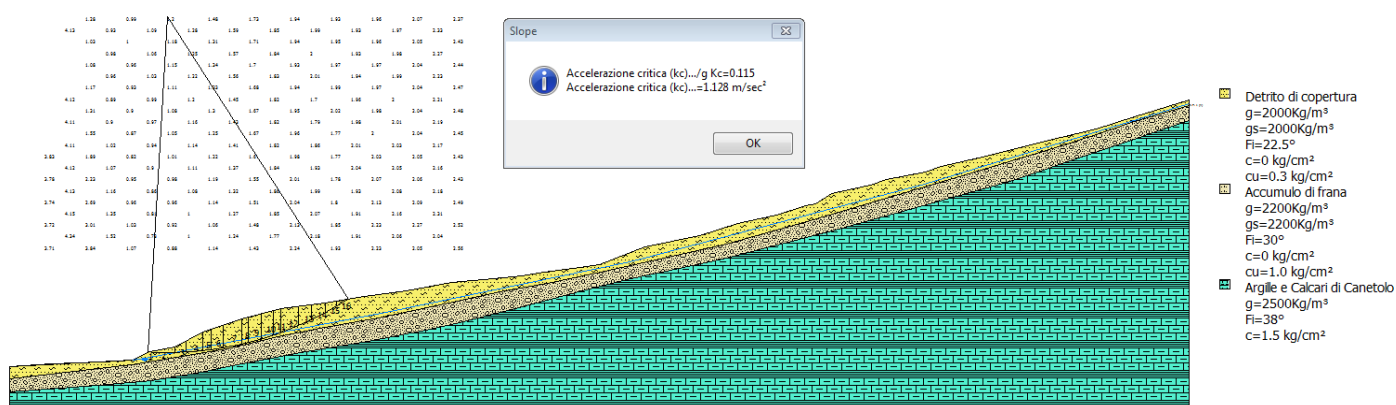
Per le verifiche di stabilità è stato impiegato il software **SLOPE** della **SoftwareHouse GeoStru** che utilizza un approccio basato sul **Metodo dell'Equilibrio Limite (LEM)**.

Tra i vari metodi dell'equilibrio limite dei concii è stato scelto quello di **Morgenstern e Price (1965)**, considerando gli orizzonti geotecnici come mezzi continui, omogenei ed equivalenti.

### SEZIONE 1-1': - Località PARADISO – Riferimento: Sezione sismica SR\_4 Paradiso

N° Strato	Peso di volume (kg/m³)	Peso di volume saturo (kg/m³)	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo di resistenza al taglio di picco (°)	Angolo di resistenza al taglio residuo (°)	Permeabilità	Texture	Descrizione terreni
1	2000	2000	0.0	0.3	26	22.5	Permeabile		Detrito di copertura
2	2200	2200	0.0	1.0	34	30	Permeabile		Accumulo di frana
3	2500		1.5		40	38	Impermeabile		Argille e calcari di Canetolo compatte (Substrato sismico)




### VERIFICA DI STABILITA' - SEZIONE 1-1' - LOCALITA' PARADISO

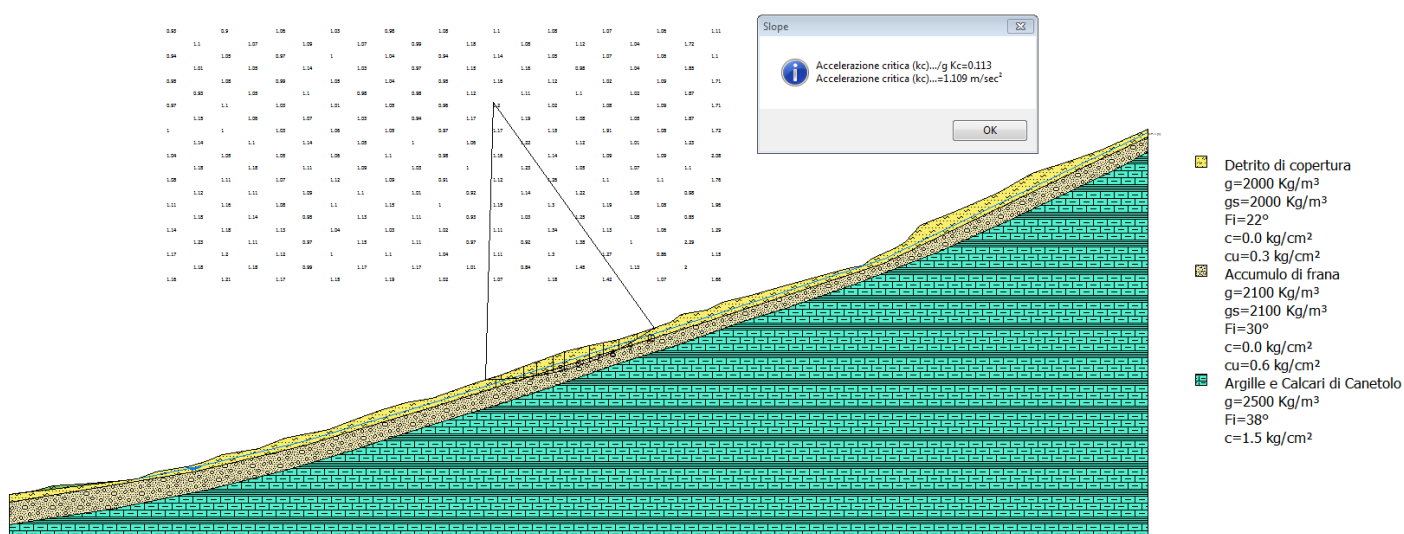


### CONDIZIONI DI VERIFICA SEZIONE 1-1' – Località: PARADISO

Frazione	PONTREMOLI
Località	PARADISO
Sezione	SEZ. 1-1'
Software utilizzato:	<b>SLOPE</b> della SoftwareHouse <b>GeoStru</b>
Metodo di calcolo:	Morgenstern e Price (1965)
$A_g(g)$	0.199
Coefficiente critico	$K_c=0.115$
Coefficiente sismico orizzontale	$K_h=0.066$
Verifica	$K_c > K_h$ per cui <b>NO ZS<sub>FR</sub></b>

**SEZIONE 2-2': - Località LA COSTA – Riferimento: Sezione sismica SR\_5 – La Costa**

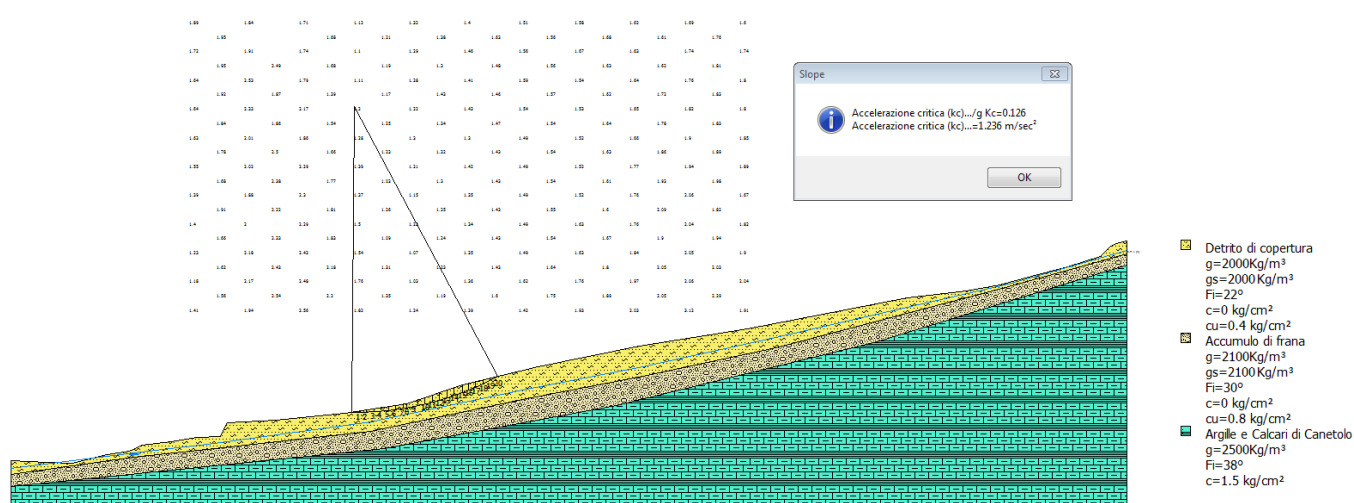
N° Strato	Peso di volume (kg/m³)	Peso di volume saturo (kg/m³)	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo di resistenza al taglio di picco (°)	Angolo di resistenza al taglio residuo (°)	Permeabilità	Texture	Descrizione terreni
1	2000	2000	0.0	0.3	26	22	Permeabile		Detrito di copertura
2	2200	2200	0.0	0.60	34	30	Permeabile		Accumulo di frana
3	2400	2500	1.5		40	38	Impermeabile		Argille e calcari di Canetolo compatte (Substrato sismico)

**VERIFICA DI STABILITA' - SEZIONE 2-2' - Località: LA COSTA****CONDIZIONI DI VERIFICA SEZIONE 2-2' – LA COSTA**

Frazione	PONTREMOLI
Località	LA COSTA
Sezione	SEZ. 2-2'
Software utilizzato:	<b>SLOPE</b> della SoftwareHouse <b>GeoStru</b>
Metodo di calcolo:	Morgenstern e Price (1965)
$A_g(g)$	0.199
Coefficiente critico	$K_c=0.113$
Coefficiente sismico orizzontale	$K_h=0.066$
Verifica	$K_c > K_h$ per cui <b>NO ZS<sub>FR</sub></b>

**SEZIONE 3-3': - Località IL MONTE – Riferimento: Sezione sismica SR\_2 – Il Monte**

N° Strato	Peso di volume (kg/m³)	Peso di volume saturo (kg/m³)	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo di resistenza al taglio di picco (°)	Angolo di resistenza al taglio residuo (°)	Permeabilità	Texture	Descrizione terreni
1	2000	2000	0.0	0.4	26	22	Permeabile		Detrito di copertura
2	2100	2100	0.0	0.60	34	30	Permeabile		Accumulo di frana
3	2400	2500	1.5		40	38	Impermeabile		Argille e calcari di Canetolo compatte (Substrato sismico)

**VERIFICA DI STABILITA' - SEZIONE 3-3' - IL MONTE****CONDIZIONI DI VERIFICA SEZIONE 3-3' – IL MONTE**

Frazione	PONTREMOLI
Località	IL MONTE
Sezione	SEZ. 3-3'
Software utilizzato:	<b>SLOPE</b> della SoftwareHouse <b>GeoStru</b>
Metodo di calcolo:	Morgenstern e Price (1965)
$A_g(g)$	0.199
Coefficiente critico	$K_c=0.126$
Coefficiente sismico orizzontale	$K_h=0.066$
Verifica	$K_c > K_h$ per cui <b>NO ZS<sub>FR</sub></b>

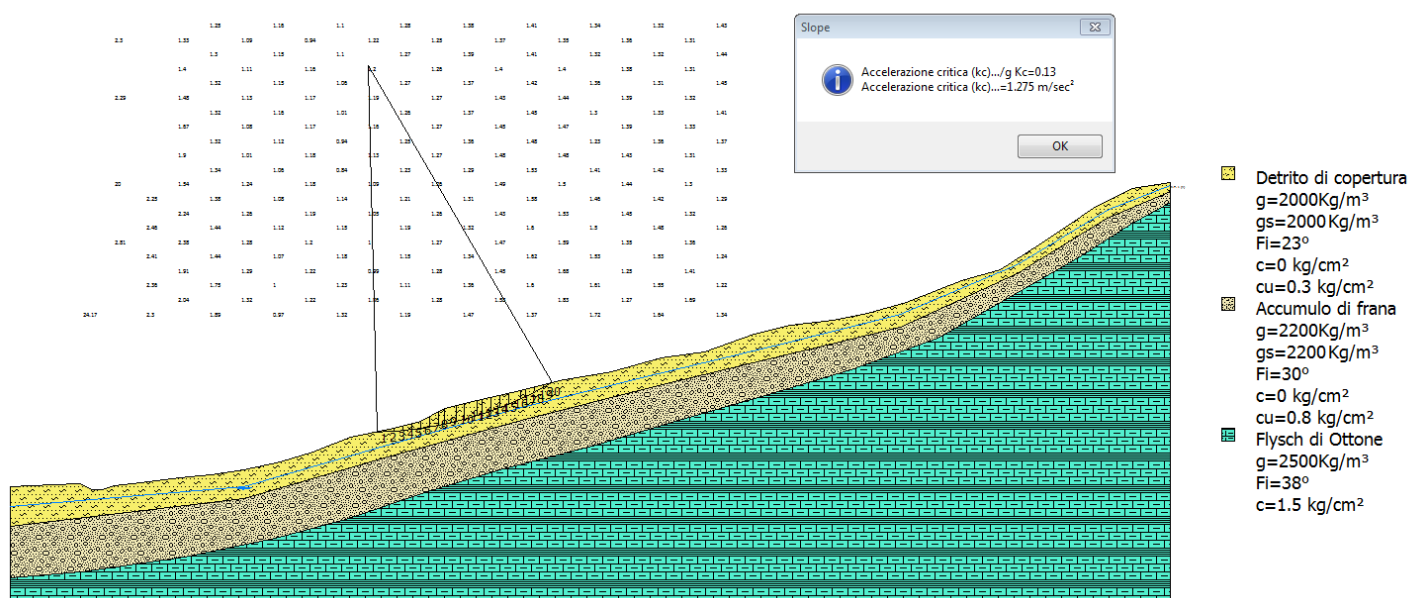


### SEZIONE 4-4': - Località MONTE SAN GENESIO

Riferimento: Sezione sismica SR\_1 – Monte San Genesio

N° Strato	Peso di volume (kg/m³)	Peso di volume saturo (kg/m³)	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo di resistenza al taglio di picco (°)	Angolo di resistenza al taglio residuo (°)	Permeabilità	Texture	Descrizione terreni
1	2000	2000	0.0	0.4	27	23	Permeabile		Detrito di copertura
2	2100	2100	0.0	0.80	34	30	Permeabile		Accumulo di frana
3	2400	2500	1.5		40	38	Impermeabile		Argille e calcari di Canetolo compatte (Substrato sismico)

### VERIFICA DI STABILITA' - SEZIONE 4-4' - Località: MONTE SAN GENESIO



### CONDIZIONI DI VERIFICA SEZIONE 4-4' – MONTE SAN GENESIO

Frazione	PONTREMOLI
Località	MONTE SAN GENESIO
Sezione	SEZ. 4-4'
Software utilizzato:	<b>SLOPE</b> della SoftwareHouse <b>GeoStru</b>
Metodo di calcolo:	Morgenstern e Price (1965)
$A_g(g)$	0.199
Coefficiente critico	$K_c=0.130$
Coefficiente sismico orizzontale	$K_h=0.066$
Verifica	$K_c > K_h$ per cui <b>NO ZS<sub>FR</sub></b>

### 13. – CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

A seguito del processo di analisi, estrapolazione ed accorpamento in **n.7** differenti tipologie di spettri di risposta elastici medi in termini di PSA (Microzone A-B-C-D-E-F) dei dati di output delle analisi **RSL2D** effettuate illustrato nei capitoli precedenti, sono stati assegnati i valori dei fattori di amplificazione FA per i diversi periodi di riferimento richiesti dagli Standard Nazionali a ciascuna microzona individuata sulla carta delle MOPS procedendo quindi all'elaborazione della Carta di Microzonazione di livello 3.

La seguente tabella riporta le corrispondenze definite tra il **tipo\_z** della carta delle MOPS ed i differenti gruppi di spettri di risposta elastici medi individuati dall'analisi di livello 3.

La seguente tabella riporta le corrispondenze definite tra il tipo\_z della carta delle MOPS ed i differenti gruppi di spettri di risposta elastici medi individuati dall'analisi di livello 3.

	TIPO_Z		FA0105	FA0408	FA0711
Microzona A	2001	PSA001	0,99	1,00	1,01
Microzona B	2002-2003-2004-2006-2008-2011SW – frane (tranne 2005-2014)	PSA002	1,19	1,02	1,00
Microzona C	Frane 2005 – 2005 – 2010 – 2018 – 2019	PSA003	1,54	1,18	1,06
Microzona D	2009 – 2012 – 2013	PSA004	1,79	1,19	1,08
Microzona E	2011NE – Frane 2014 – 2014 – 2015 – 2017	PSA005	2,12	1,65	1,27
Microzona F	2007-2020	PSA006	1,67	2,08	1,47
Microzona G	2016	PSA007	2,13	2,57	1,64

Dal punto di vista grafico il risultato finale dello studio è stata la predisposizione della “**Carta di Microzonazione**” che ha permesso di suddividere il territorio indagato in MICROZONE in funzione del valore del Fattore di amplificazione (FA) calcolato sullo spettro di pseudo-accelerazione secondo le classi indicate negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica versione 4.1.

I risultati in termini di FA (fattore di amplificazione), desunti dalle analisi 2D effettuate in corrispondenza delle 9 sezioni geologico-tecniche rappresentative del modello di sottosuolo sono stati estesi arealmente mediante l'ausilio combinato della cartografia geologico-technica e della cartografia MOPS.

Il modello logico su cui si è basata l'extrapolazione areale dei dati di amplificazione è stato il seguente:






- rappresentazione su mappa di tutti i punti di output delle modellazioni dinamiche effettuate, con i relativi valori di FA nei 3 intervalli di periodi;
- individuazione del modello geologico-technico alla base di ogni valore di FA desunto;
- identificazione sulle cartografie tematiche esistenti (in particolare geologico-techniche e MOPS) di analoghe condizioni geologico-techniche su aree in cui non sono disponibili analisi di risposta sismica per assenza di dati di base;
- raggruppamento di situazioni tipologiche ed amplificative similari mediante la discretizzazione dell'area in classi distinte da differenti intervalli di FA;
- rappresentazione della cartografia prodotta mediante software operante in ambiente GIS.

Sulla base di quanto illustrato precedentemente, si può discretizzare l'area di studio nelle seguenti classi per quanto riguarda la cartografia relativa all'intervallo di periodi 0.1-0.5 sec:

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Fattore di amplificazione di Housner

	FA < 1.1
	FA - 1.1 - 1.2
	FA - 1.5 - 1.6
	FA - 1.7 - 1.8
	FA - 2.1 - 2.2

### Zone di instabilità

Zone di suscettibilità (ZS) e zone di rispetto (ZR) per le instabilità di versante



Zone di suscettibilità per Instabilità di versante (ZS\_FR) – FA – 1.1–1.2

Legenda della **Carta di Microzonazione Sismica**.

### 13.1 – ZONE STABILI

Le zone stabili sono caratterizzate da un Fattore di Amplificazione prossimo a 1.0 e rientrano all'interno della classe (**FA<1.1**).

Nel caso in oggetto dalle analisi sviluppate attraverso le simulazioni numeriche sono state riscontrate delle deamplificazioni, per cui si è attribuito al punto di controllo il valore 0.99.

#### **ZONE STABILI**

*(Zone in cui affiora il substrato roccioso)*

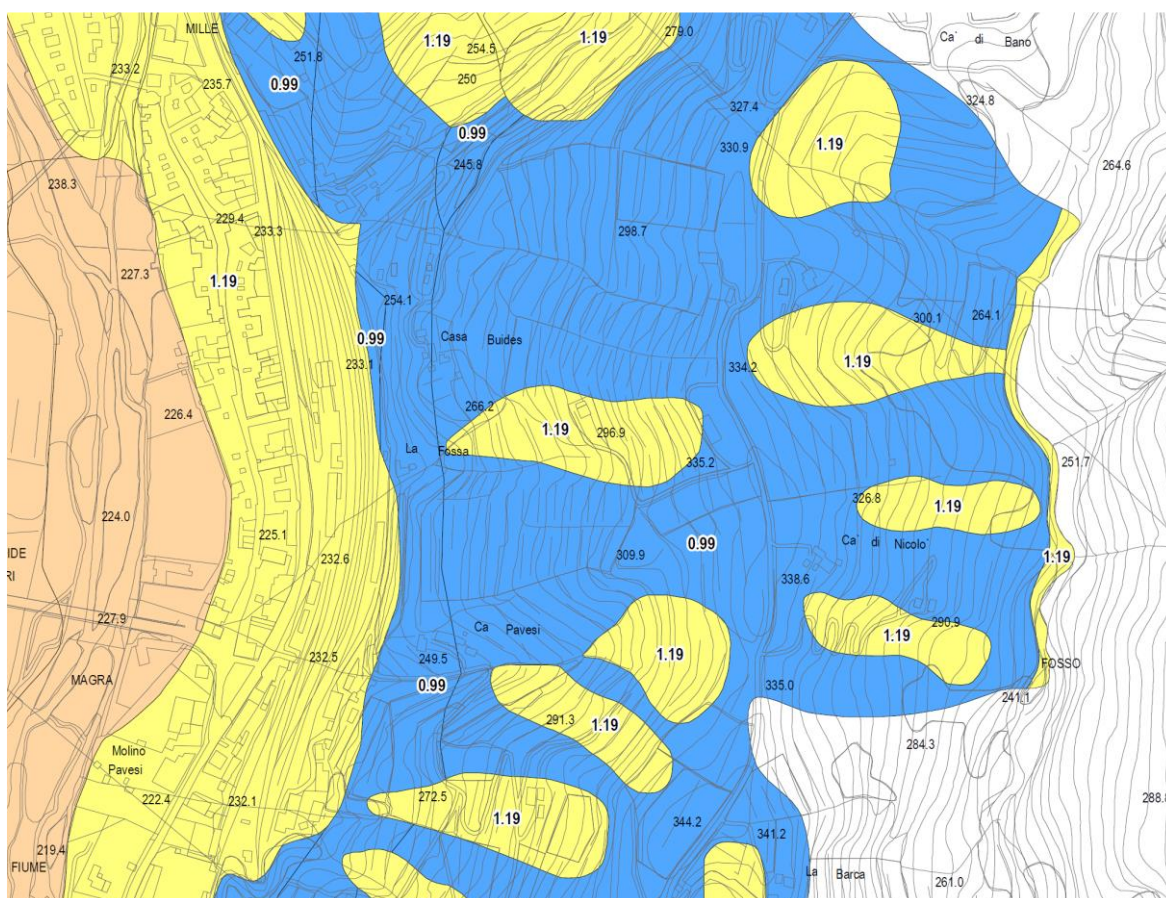


**FA < 1.1**

All'interno di queste zone rientra unicamente la **MICROZONA A** (tipo **z\_2001**) e si trovano in corrispondenza della **sommità dei crinali montuosi**.

Corrispondono alle **aree dove il substrato roccioso, con caratteristiche di bedrock sismico, risulta affiorante o sub-affiorante** (i.e. spessore max della copertura detritica di circa 1-2 m) **in contesti morfologici pianeggianti o poco inclinati** (i.e. pendii con inclinazione inferiore a circa 15°).

Nella cartografia a queste zone è stato associato un valore di **FA = 0.99**.



Esempio di zona stabile in cui il Fattore di Amplificazione risulta compreso tra **FA<1.1**.



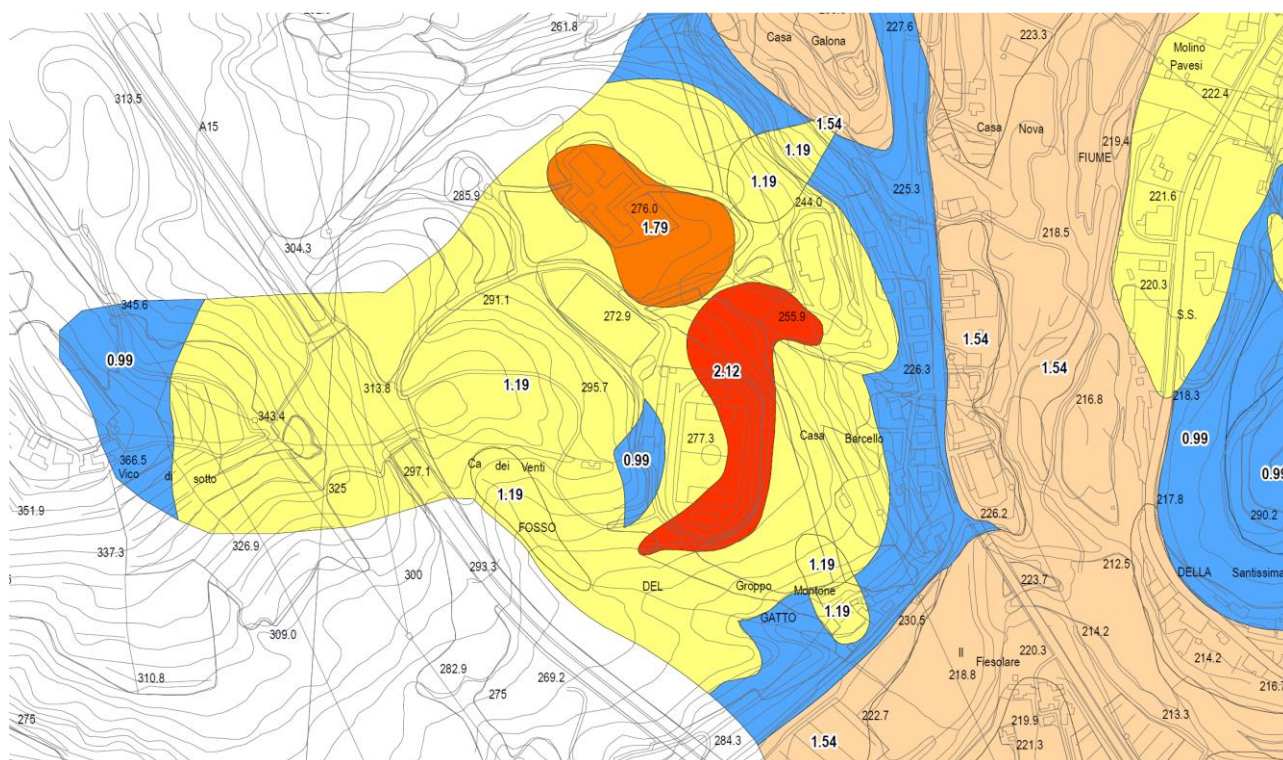
**13.2 - ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE PER EFFETTI STRATIGRAFICI****Fattore di amplificazione di Housner**

**FA - 1.1 - 1.2**

**ZONA FA 1.1-1.2:** queste zone sono caratterizzate da un Fattore di Amplificazione che rientra all'interno della classe ( $1.05 \leq FA < 1.25$ ).

All'interno di queste zone rientra la **MICROZONA B** (tipo **z\_2002-2003-2004-2006-2008-2011SW-frane**) escluse le frane sulle microzone 2005 e 2014.

Nella cartografia a queste zone è stato associato un valore di **FA = 1.19**.



Zona caratterizzata dalla presenza di un valore di **FA = 1.19**.

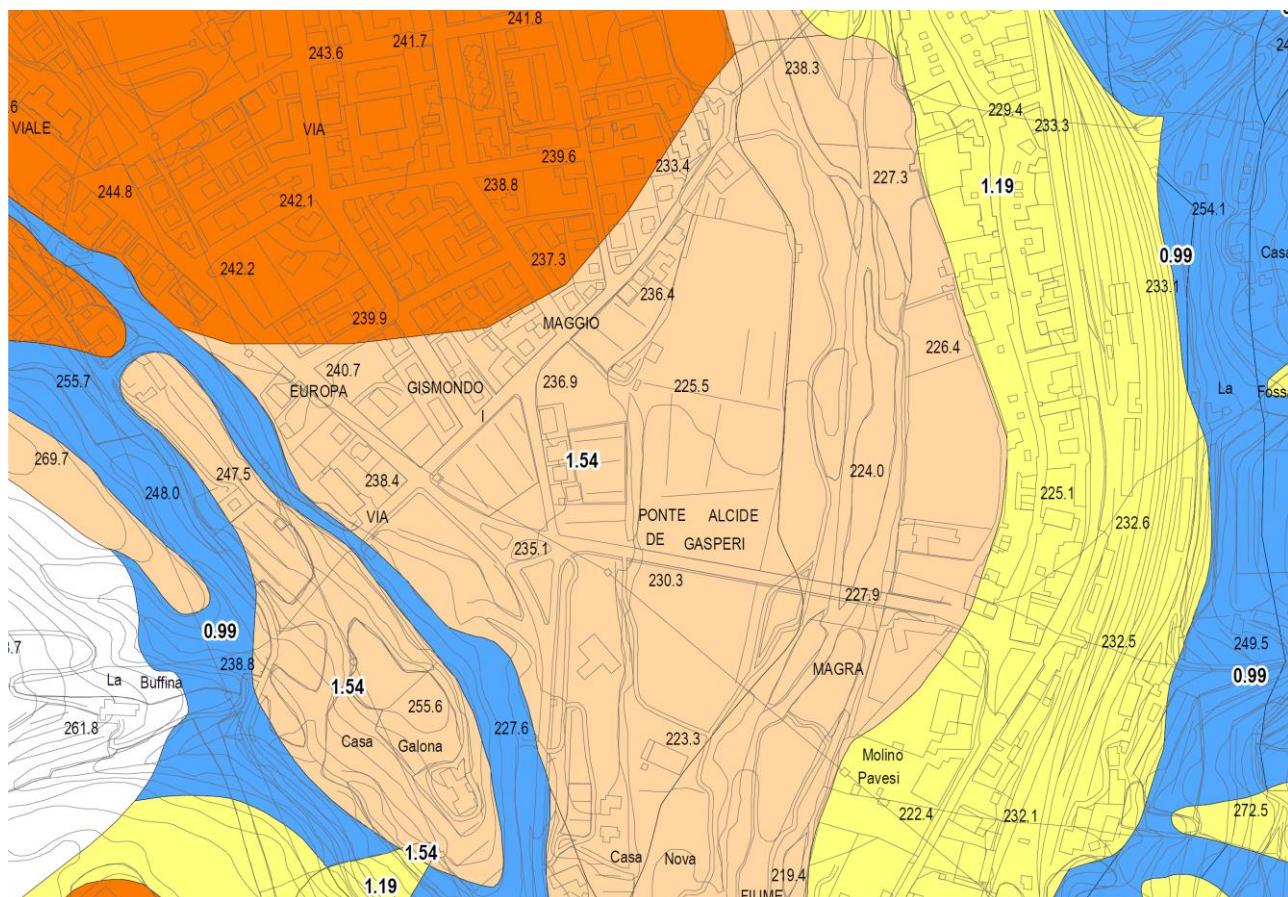
**ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA****Fattore di amplificazione di Housner****FA - 1.5 - 1.6**

**ZONA FA 1.5-1.6:** queste zone sono caratterizzate da un Fattore di Amplificazione che rientra all'interno della classe ( $1.45 \leq FA < 1.65$ ).

All'interno di queste zone rientra la **MICROZONA C** (tipo **z\_Frane 2005-2005-2010-2018-2019**).

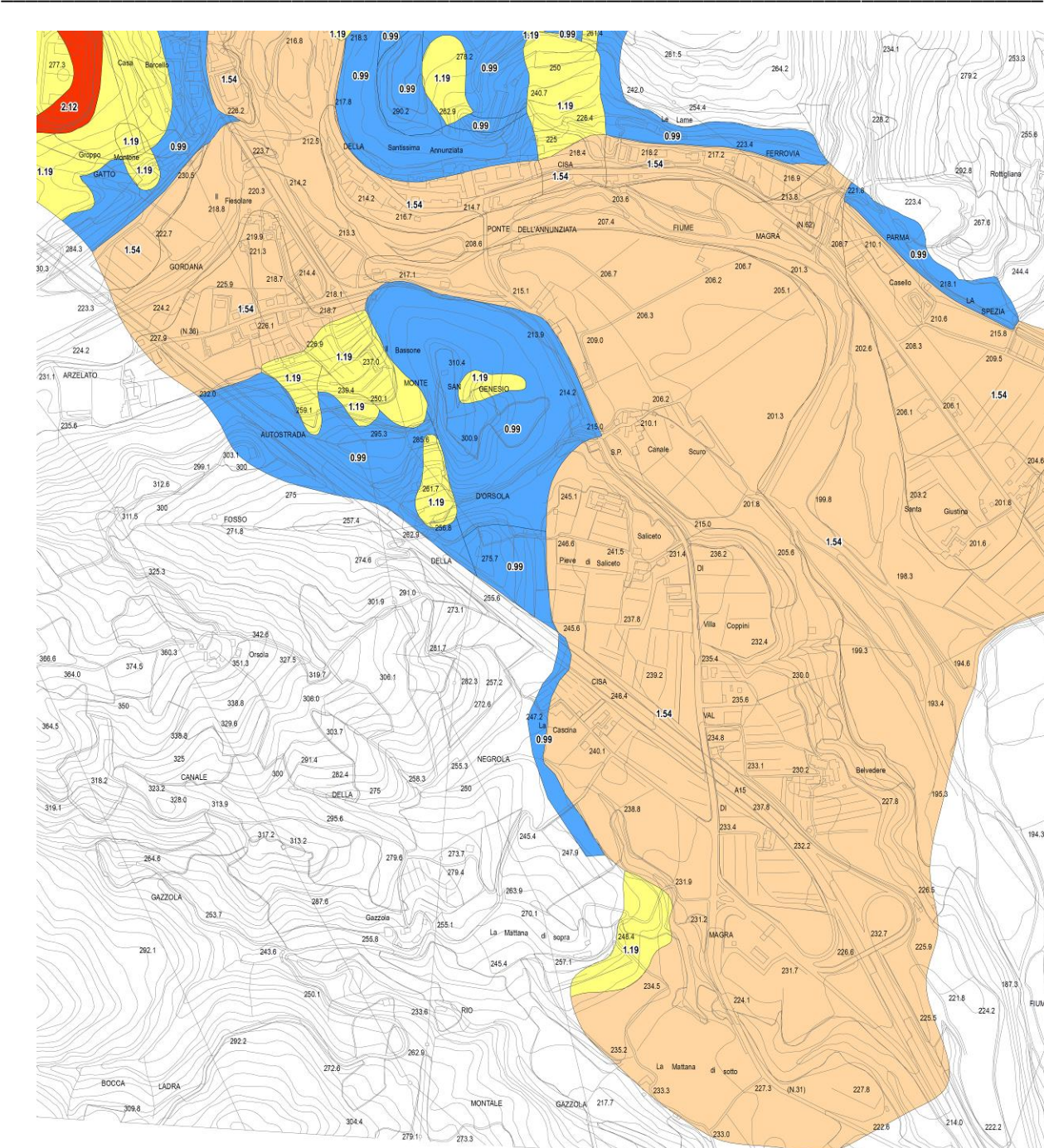
Nella cartografia a queste zone è stato associato un valore di **FA = 1.54**.

E' la zona più rappresentata a valle dell'abitato di Pontremoli.




Zone a cui è stato associato un valore di **FA = 1.54** nella piana di Pontremoli a valle del centro storico.







**ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA****Fattore di amplificazione di Housner**

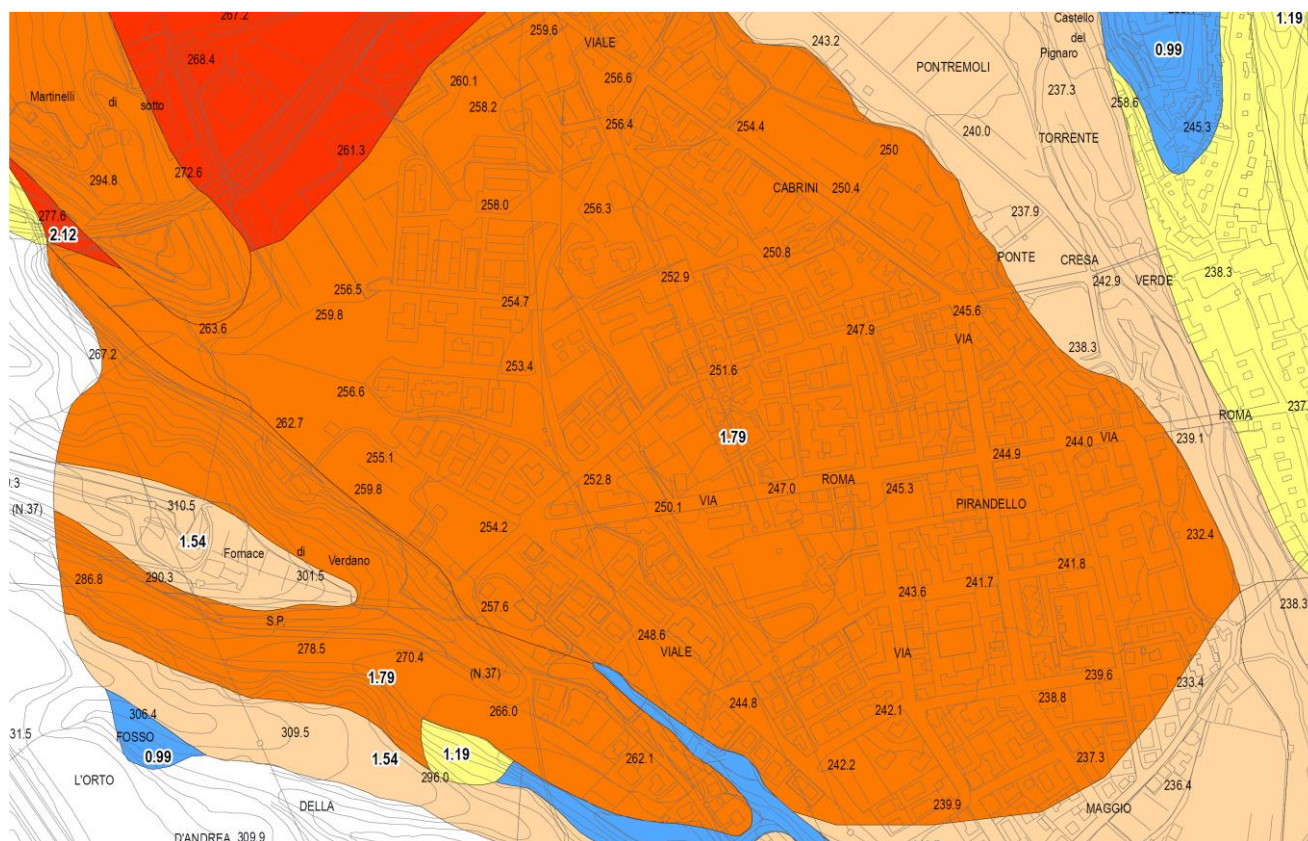
 **FA - 1.7 - 1.8**

**ZONA FA 1.7-1.8:** queste zone sono caratterizzate da un Fattore di Amplificazione che rientra all'interno della classe ( $1.65 \leq FA < 1.85$ ).

All'interno di queste zone rientrano la **MICROZONA D** e la **MICROZONA F**.

La **MICROZONA D** comprende i tipi **z\_2009-2012-2013**.

Nella cartografia a queste zone è stato associato un valore di **FA = 1.79**.

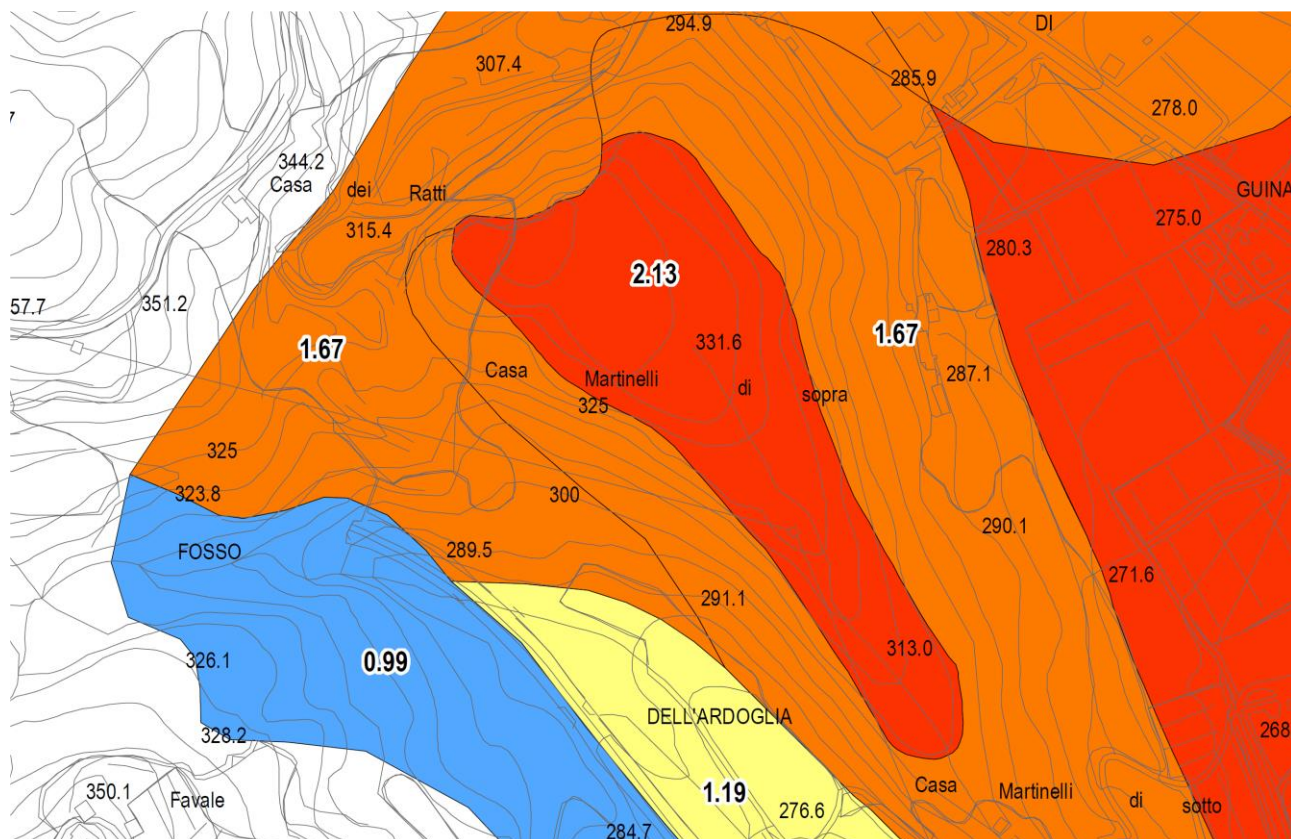


Zone a cui è stato associato un valore di **FA = 1.79** nella piana di Pontremoli in corrispondenza di Via Roma.



La **MICROZONA F** comprende i tipi **z\_2007-2020**.

Nella cartografia a queste zone è stato associato un valore di **FA = 1.67**.



Zone a cui è stato associato un valore di **FA = 1.67** nei versanti che bordano lato ovest la Piana del Torrente Verde.

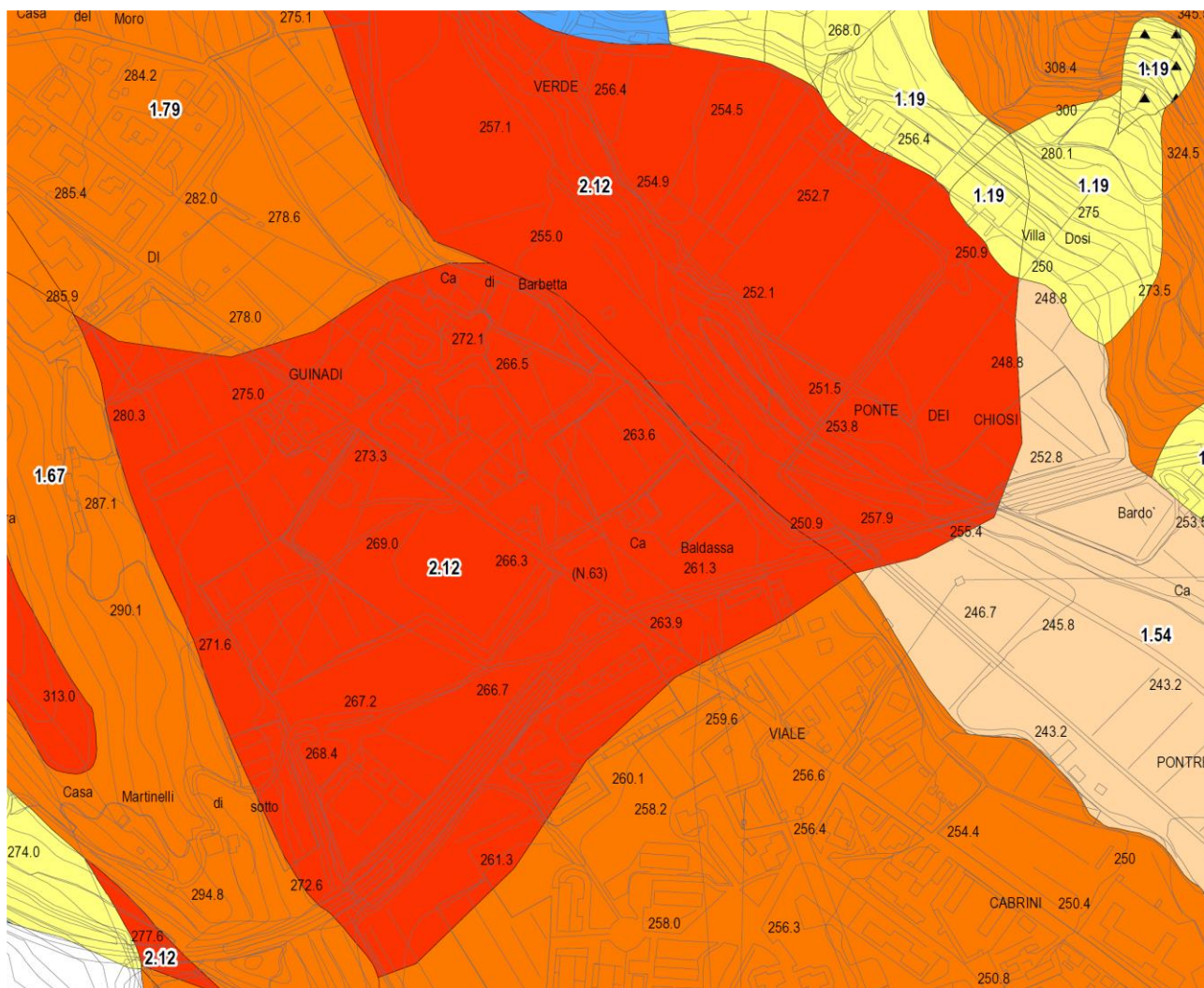
**ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA****Fattore di amplificazione di Housner****FA - 2.1 - 2.2**

**ZONA FA 2.1-2.2:** queste zone sono caratterizzate da un Fattore di Amplificazione che rientra all'interno della classe ( $2.05 \leq FA < 2.25$ ).

All'interno di queste zone rientra unicamente la **MICROZONA E** e la **MICROZONA G**.

La **MICROZONA E** comprende i tipi **z\_2011NE-Frane2014-2014-2015-2017**.

Nella cartografia a questa zona è stato associato un valore di **FA = 2.12**.

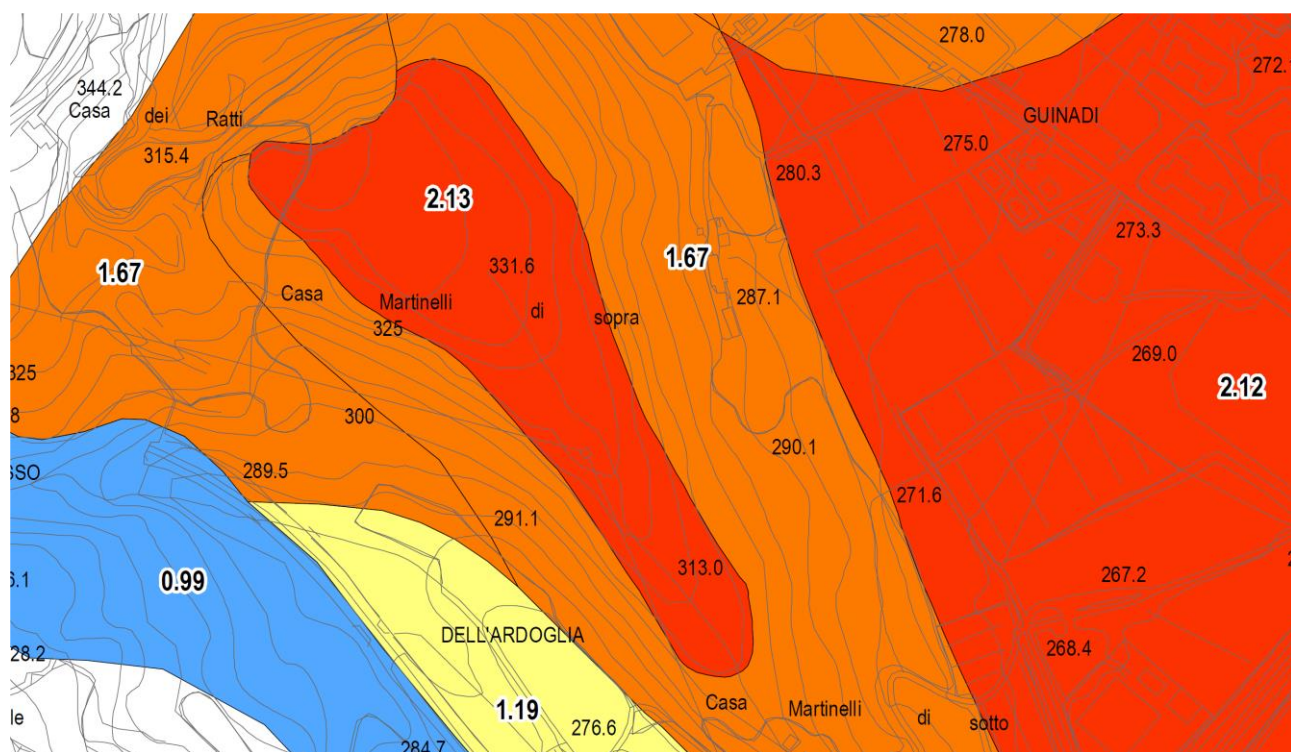


Zone a cui è stato associato un valore di **FA = 2.12** nella piana del Torrente Verde.



La **MICROZONA G** comprende unicamente il tipo **z\_2016** ed è rappresentata unicamente lungo il crinale di Casa Martinelli di Sopra.

Nella cartografia a questa zona è stato associato un valore di **FA = 2.13**.



Zona di Casa Martinelli di Sopra a cui è stato associato un valore di **FA = 2.13**.

### 13. 3 – ZONE DI INSTABILITA'

Le tipologie di instabilità individuate nel territorio comunale sono rappresentate unicamente da **Instabilità di versante ( $ZS_{FR}$ )**.

#### Zone di instabilità

#### Zone di suscettibilità (ZS) e zone di rispetto (ZR) per le instabilità di versante



Zone di suscettibilità per Instabilità di versante ( $ZS_{FR}$ ) – FA – 1.1-1.2

La **Zona di suscettibilità per Instabilità di versante ( $ZS_{FR}$ )** è stata attribuita unicamente all'unica Frana Attiva cartografata nell'areale indagato corrispondente al piccolo movimento gravitativo presente a monte di Villa Dosi.

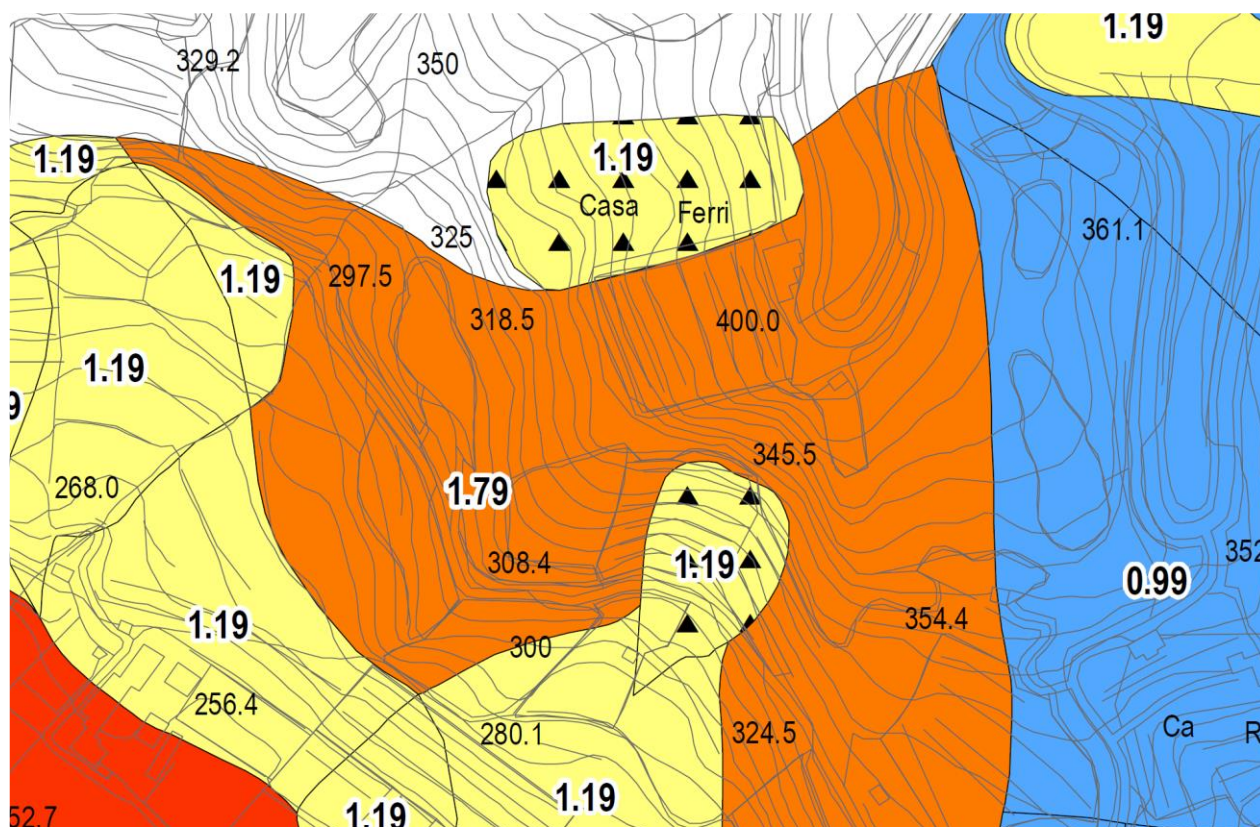
#### ZONE DI SUSCETTIBILITA' PER INSTABILITA' DI VERSANTE



Zone di suscettibilità per Instabilità di versante ( $ZS_{FR}$ ) – FA – 1.1-1.2

Queste zone presentano un Fattore di Amplificazione che rientra all'interno della classe **FA 1.1-1.2** ( $1.05 \leq FA < 1.25$ ) e appartengono alla **MICROZONA B** a cui è stato associato un valore di **FA = 1.19**.

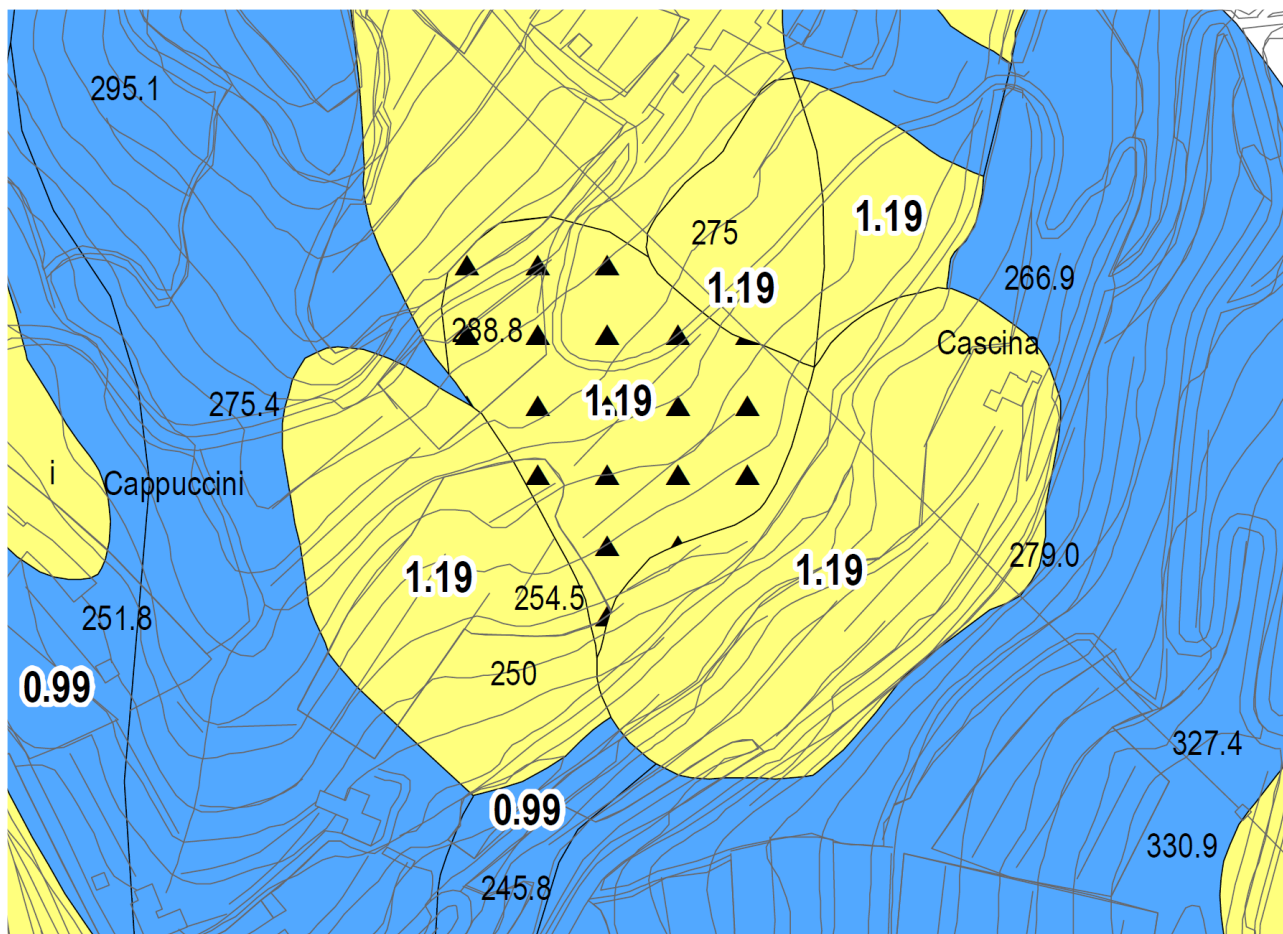
Come si nota nell'immagine sotto riportata nella cartografia è stato inserito un sovrasegno che non copre il colore del parametro di amplificazione.



Zona di **Suscettibilità per Instabilità di Versante** sul versante a monte di Villa Dosi.



Come si nota nell'immagine sotto riportata nella cartografia è stato inserito un sovrasegno che non copre il colore del parametro di amplificazione.



Zona di **Suscettibilità per Instabilità di Versante** sul versante nell'area di Castangiola.

## **14 – CONCLUSIONI**

Nell'ambito di questo studio è stata sostanzialmente mantenuta l'area indagata nello Studio di Livello 1 ampliandola solamente localmente nelle zone dove sono state tracciate le Sezioni sottoposte ad Analisi di Risposta Sismica Locale.

Per l'elaborazione del Modello Geologico di Riferimento i dati preesistenti sono stati integrati mediante la realizzazione di n.6 profili di sismica a rifrazione con onde P e SH, n.6 prove penetrometriche dinamiche superpesanti e n.5 prove penetrometriche statiche CPT.

Queste nuove indagini sono state in gran parte realizzate nelle aree collinari che bordano la Piana Alluvionale del Fiume Magra la quale nello Studio di Livello era praticamente priva di indagini geognostiche significative.

Lo studio ha permesso di definire l'entità delle modificazioni del moto sismico indotte dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali a seguito di effetti topografici, effetti 2D e di eventuali aggravii del moto dovuti a deformazioni permanenti.