

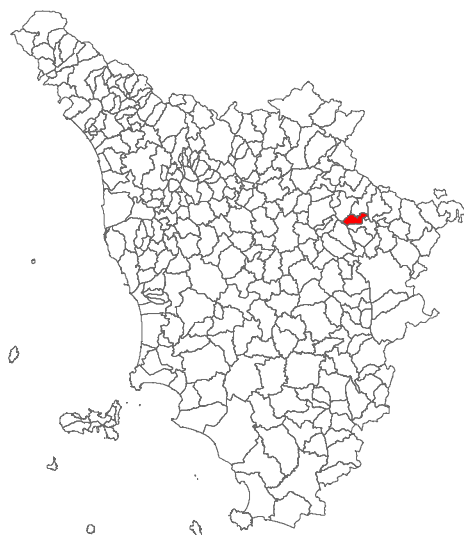
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)

Regione Toscana

Comune di Ortignano – Raggiolo (AR)



Regione	Soggetto realizzatore:	Data
Regione Toscana – Settore Sismica	Comune di Ortignano – Raggiolo /Servizio Assetto del Territorio/RUP:  Arch.Beba Fornaciari  Dott. Geol. Eros Aiello* Dott. Geol. Gabriele Grandini* Dott. Geol. Lucia Brocchi** Dott. Geol. Daniela Lari** Dott. Geol. Alessandro Piazzini* Dott. Geol. Cristian Pieroni* Dott. Geol. Francesco Puccetti*  * Geo Eco Progetti ** Geogamma	Ottobre 2022

---

## **INDICE**

<b>1 – INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2 - DESCRIZIONI DELLE FASI OPERATIVE.....</b>	<b>3</b>
2.1 Gli Accelerogrammi di INPUT.....	3
2.2 Modellazioni numeriche e analisi di risposta sismica locale.....	6
2.3 Parametrizzazione del modello geologico-tecnico.....	6
2.4 Risultati delle analisi di risposta sismica monodimensionale svolte.....	12
2.5 Rappresentazione su mappa ed estrapolazione.....	28
2.6 Indicazioni relative alla fase progettuale.....	30

---

---

## 1 – INTRODUZIONE

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Ortignano Raggiolo (AR), sono stati eseguiti Studi di Microzonazione Sismica (MS) di livello 3 per le aree urbane principali dell'intero Comune.

L'esecuzione degli "Studi di Microzonazione sismica di livello3 (MS3)", sono stati eseguiti secondo la Delibera GRT n. 468 del 02 maggio 2018 e l'approvazione dei finanziamenti del Decreto GRT n. 16262 del 04.10.2018.

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

Il Comune di Ortignano è classificato ai sensi della DGRT n.431 del 19.06.2006, in recepimento dell'OPCM n.3619 del 28.04.2006, in classe 2 e rientra nel Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana.

---

---

## 2 - DESCRIZIONI DELLE FASI OPERATIVE

### 2.1 Gli Accelerogrammi di INPUT

La fase iniziale, finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set composto da 7 accelerogrammi naturali sismocompatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettrocompatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2018.

L'input sismico 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, finalizzata alla "Definizione di input sismici sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della regione Toscana".

A tal proposito è stato utilizzato un codice appositamente sviluppato in ambiente Fortran90, chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) in grado di fornire, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

Gli accelerogrammi così ottenuti rientrano in una banca dati composta da eventi naturali da preferire all'utilizzo di accelerogrammi artificiali secondo la normativa e gli studi accademici svolti negli anni.

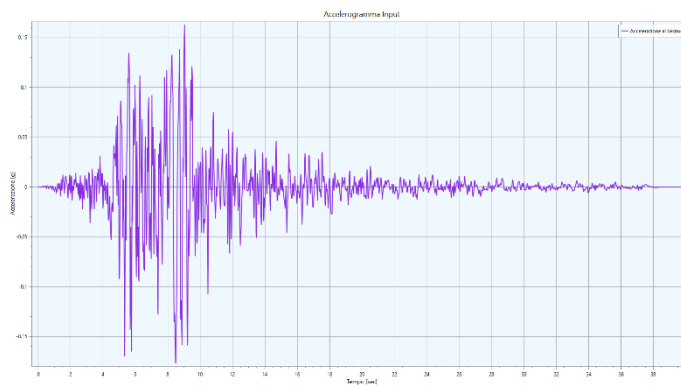
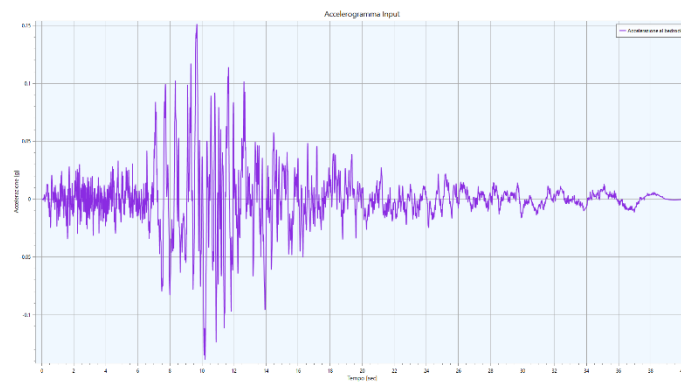
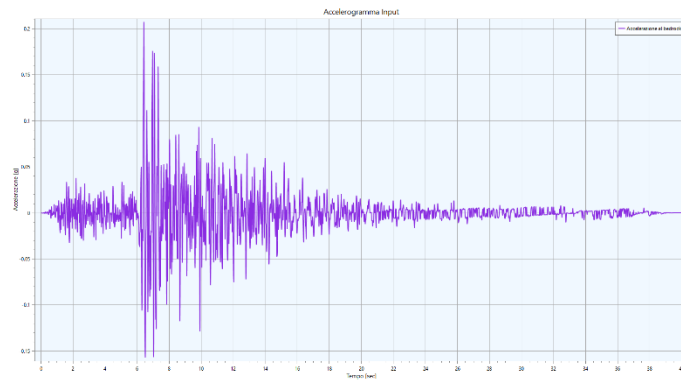
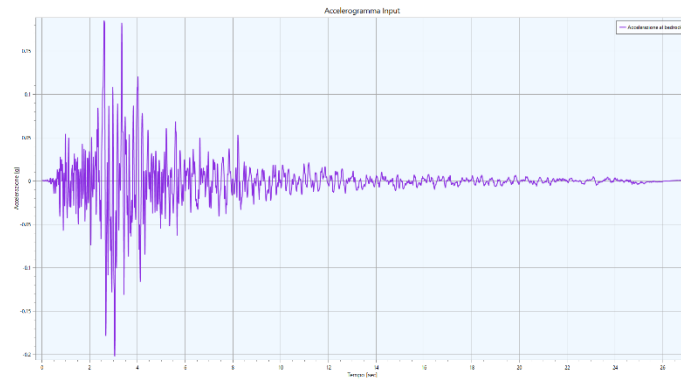
Ai fini della selezione degli accelerogrammi non è stata necessaria la suddivisione del territorio in più aree omogenee sismicamente in quanto l'estensione del Comune di Ortignano, oggetto di studio, ha permesso l'utilizzo di un solo set di accelerogrammi.

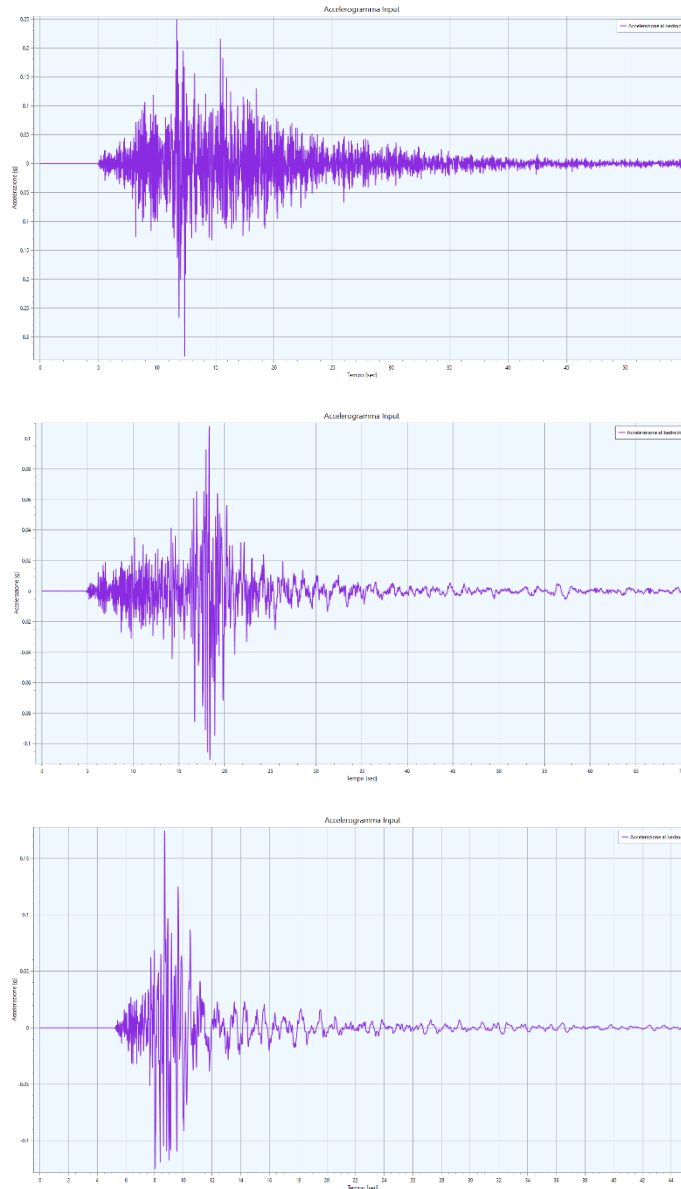
SCALCONA utilizza opportunamente i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 e succ. Circolare.

Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC18.

Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 oggetto del presente lavoro fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni (SLV) e di 50 anni (SLD).

Di seguito si riportano i 7 accelerogrammi utilizzati come input delle analisi svolte riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':





**Fig. 1** – Storie temporali dei 7 accelerogrammi utilizzati come input sismico relativo ad un tempo di ritorno pari a 475 anni.

% Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	Source	File_Name
5.74	12.57	1.73	% NGA-West2	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
5.99	54.21	3.35	% NGA-West2	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
6.93	83.53	2.79	% NGA-West2	RSN804_LOMAP_SSF115.AT2
6.69	38.07	1.17	% NGA-West2	RSN1091_NORTHR_VAS000.AT2
6.60	26.00	1.72	% KiK-net	OKYH070010061330.NS2
6.60	62.00	1.51	% KiK-net	SAGH050503201053.NS2
5.20	11.80	2.24	% ESM IT.AQP.	.HNN.D.20090409.005259.C.ACC.ASC

La tabella riporta le informazioni relative ai predetti accelerogrammi. Essi si riferiscono a registrazioni di eventi naturali registrati a stazioni poste sulla superficie terrestre, in corrispondenza di situazioni sismostratigrafiche inerenti alla CAT.A ai sensi dell'Eurocodice 8 e delle NTC2018.

## 2.2 Modellazioni numeriche e analisi di risposta sismica locale

Il modello geometrico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale 1D è stato rappresentato mediante colonne stratigrafiche desunte dalle MOPS utilizzate per la definizione del Modello Geologico di Riferimento della MS1.

L'Analisi di Risposta Sismica Locale per studi di MS3 è stata condotta in assetto monodimensionale utilizzando approcci di tipo lineare-equivalente utilizzando il software LSR2D prodotto dall'azienda STACEC (Software per il calcolo strutturale).

Il numero di colonne realizzate (n.18), ha consentito una buona copertura in riferimento all'estensione dell'area.

Nella trasposizione del modello geologico-tecnico delle colonne in modelli numerici 1D sono stati definiti (oltre che i valori dei parametri fisico-meccanici derivati dalla campagna di esplorazione del sottosuolo a corredo dello studio di MS):

- le geometrie dei litotipi investigati, come desunto dalla ricostruzione del modello geologico-tecnico;
- le condizioni di vincolo lungo i bordi dei modelli numerici.

Le formazioni oggetto di studio sono state discretizzate mediante elementi finiti triangolari le cui dimensioni massime sono state selezionate secondo la regola (Kuhlemeyer e Lysmer, 1973):

$$D_{max} = \lambda / k = (T V_s) / k \quad (1)$$

dove  $V_s$  è la velocità di propagazione delle onde di taglio (ricavata dalle indagini geofisiche dirette svolte nell'ambito dello studio di MS1) e  $T$  è il periodo corrispondente alla più corta onda sismica propagabile e posto pari a 0.05s (frequenza massima propagata pari a 20Hz).

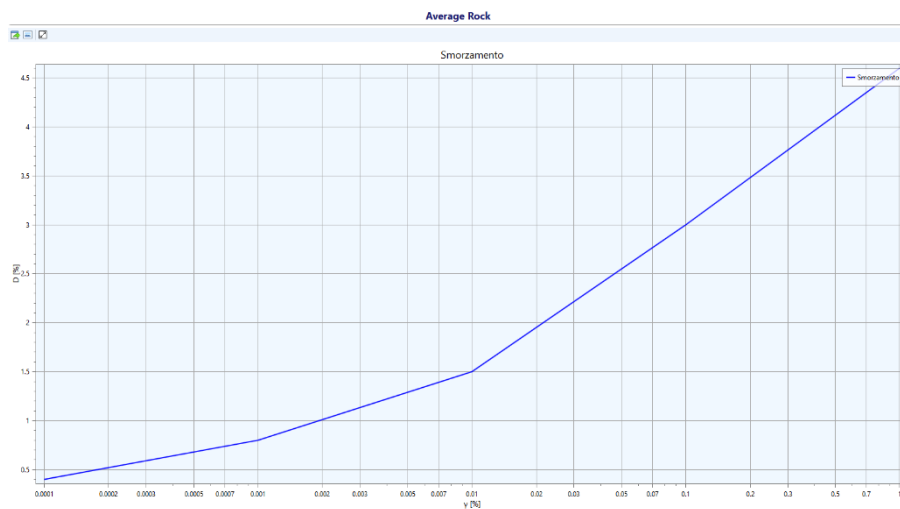
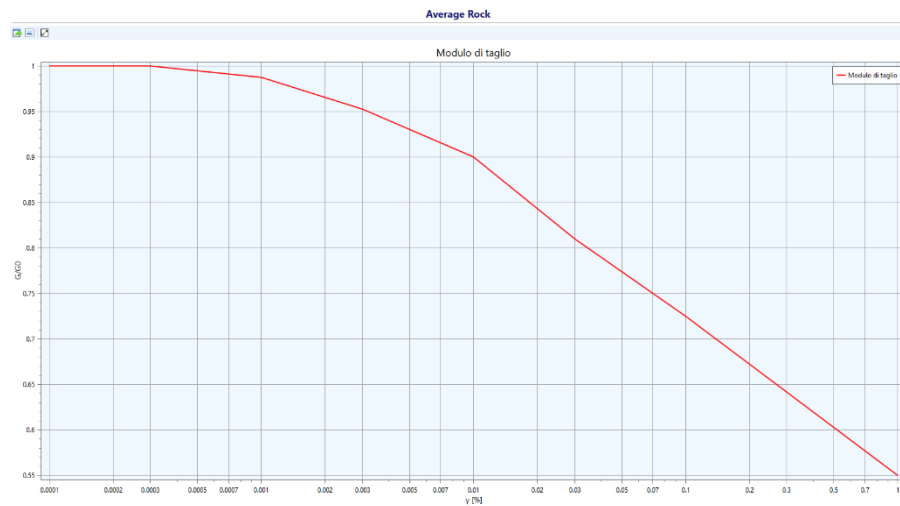
Tale periodo è quindi il minor periodo per cui si può ritenere attendibile il dato di output. Il coefficiente  $k$  è stato posto pari a 8 (Lanzo & Silvestri, 1999).

## 2.3 Parametrizzazione del modello geologico-tecnico

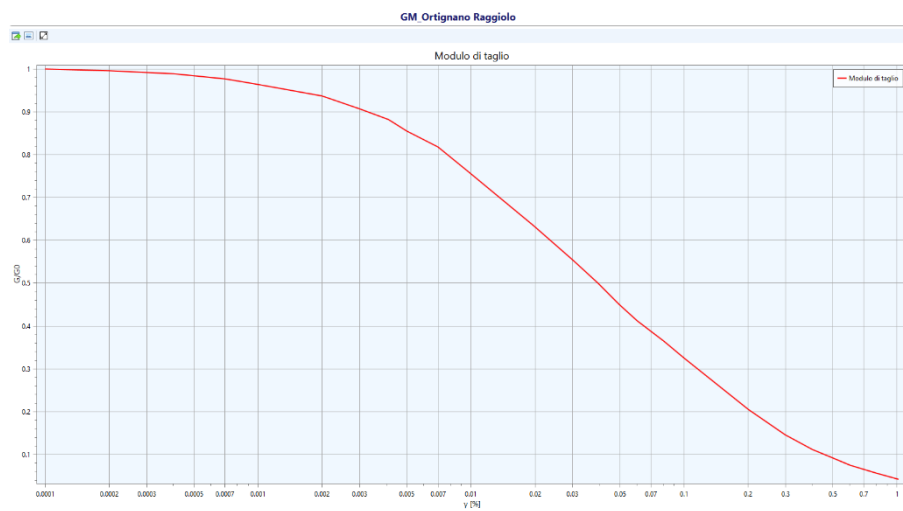
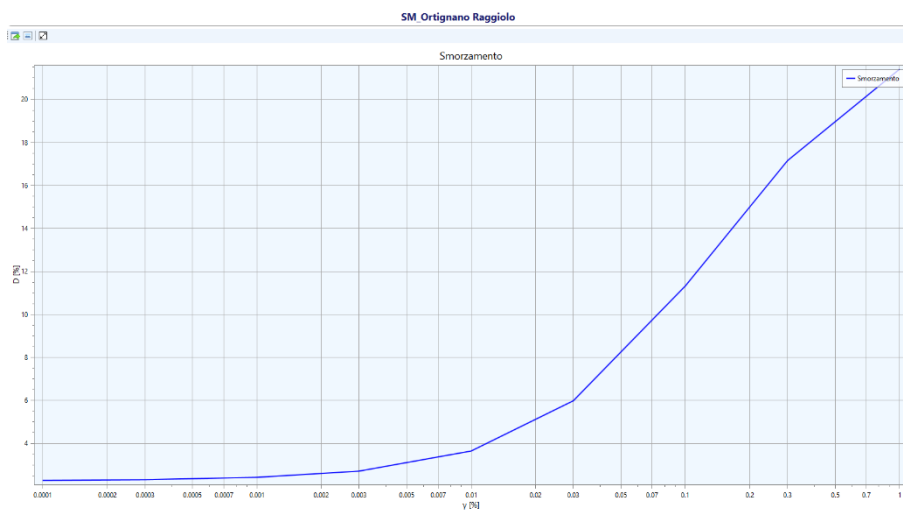
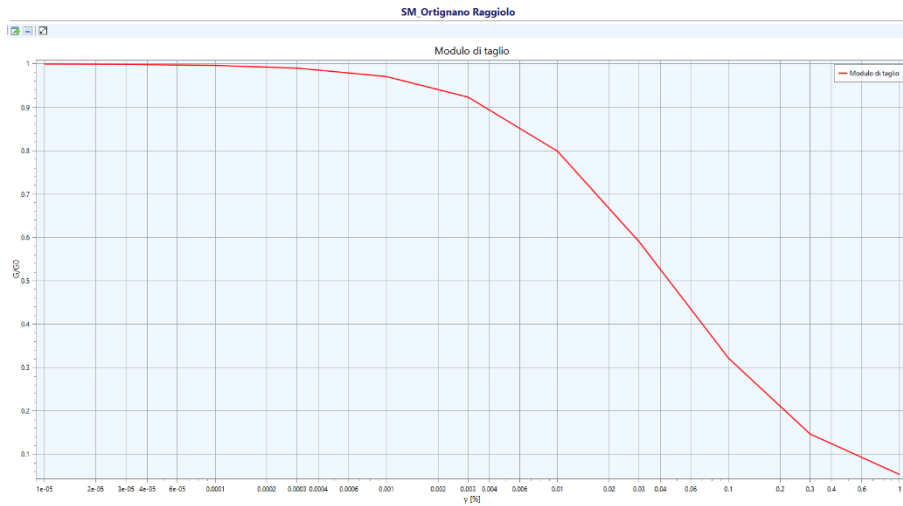
L'esecuzione di analisi di risposta sismica locale prevede la parametrizzazione in chiave dinamica dei terreni di studio. Avendo deciso di ricorrere all'utilizzo di codici di calcolo 1D operanti in ambito lineare-equivalente, è stato necessario ottenere, per ognuno dei sismostrati da modellare, i seguenti parametri:

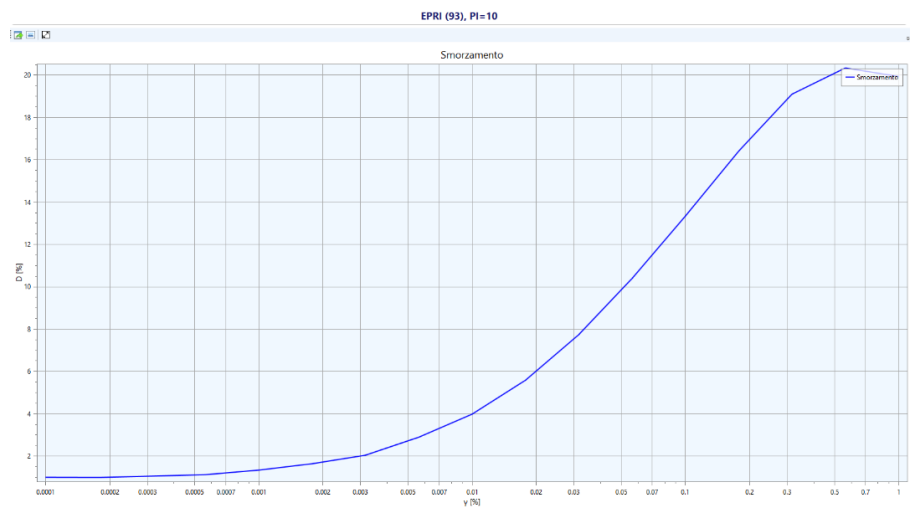
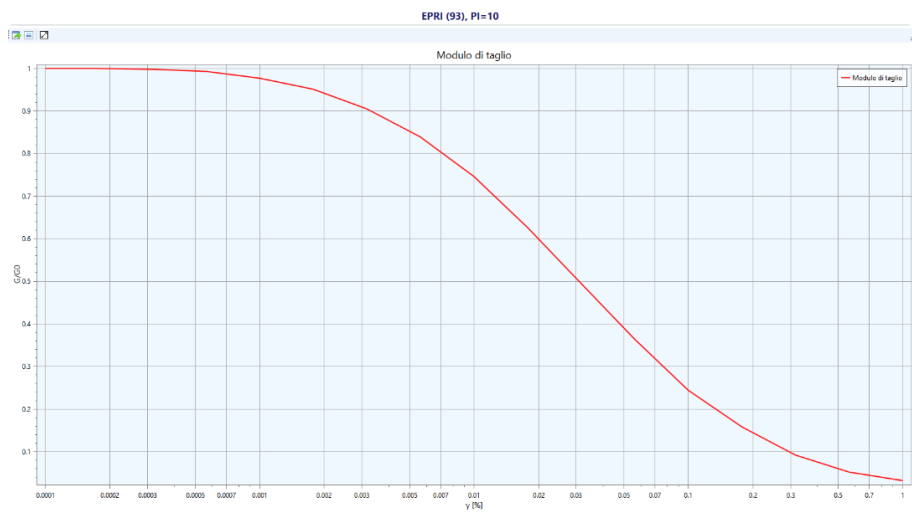
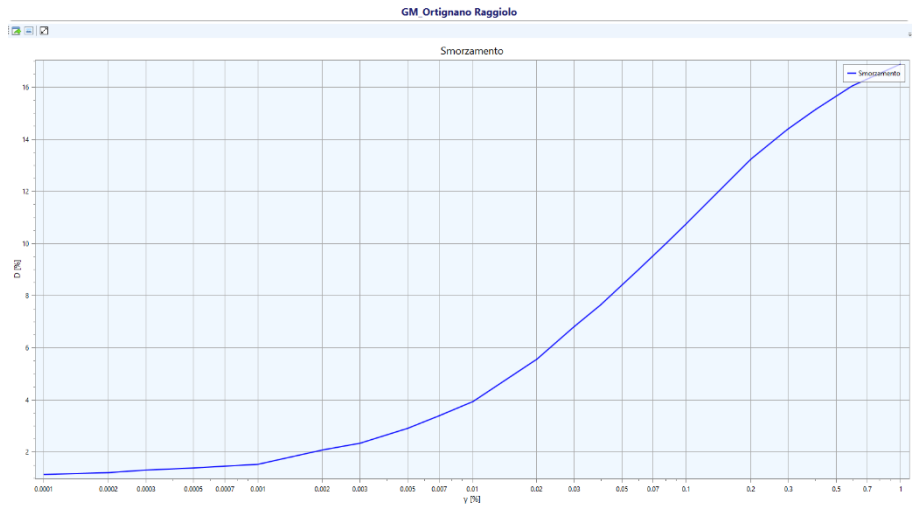
- Valori di  $V_p$  (velocità di propagazione delle onde di compressione) e di  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio). Il valore di  $V_s$  (come indicato nel precedente paragrafo) è servito anche per determinare la dimensione ottimale della mesh con cui è stata discretizzata la sezione da modellare;

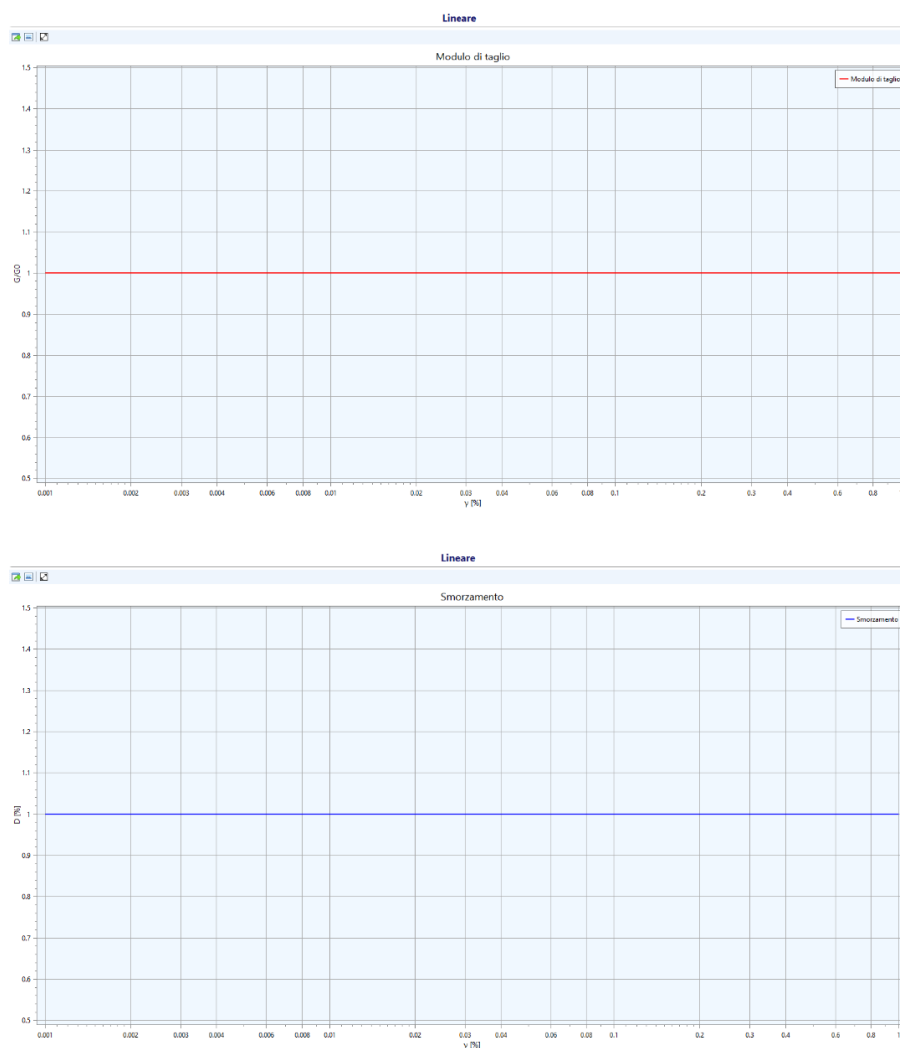
- Pesi di volume dei litotipi in oggetto;
- Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$  utilizzate per simulare il comportamento non lineare dei terreni mediante il legame costitutivo lineare equivalente.











**Fig. 2** - Curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato  $G(\gamma)$  e di incremento del rapporto di smorzamento  $D(\gamma)$ , utilizzate nella MS3 di Ortignano (AR)

Tali curve possono essere definite mediante prove geotecniche di laboratorio in campo dinamico; in alternativa è possibile, conoscendo le caratteristiche litologiche del sismostrato in oggetto, estrapolare tali curve da banche dati nazionali o internazionali quali ad esempio quelle fornite da progetto VEL realizzato dalla Regione Toscana.

Strato	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$V_s$ [m/s]	$\gamma$	Curva decadimento
Fa	2000	345	0.37	EPRI (93), PI=10
fq	1950	255	0.37	EPRI (93), PI=10
ALS	2100	360	0.33	Average Rock
SM	1900	255	0.45	SM_Ortignano Raggiolo
GM	2000	410	0.35	GM_Ortignano Raggiolo
SFLP	2150	665	0.32	Average Rock
LPS	2250	1395	0.30	lineare

dove:

- $S$  = spessore del singolo strato;
- $\rho$  = densità di massa del singolo strato;
- $V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- $\gamma$  = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

In fase di predisposizione del modello, sono stati inseriti un numero congruo di punti complessivi di output (punti di controllo) al fine di ottenere una completa analisi dei risultati necessari per la successiva fase di estrapolazione dei dati.

## 2.4 Risultati delle analisi di risposta sismica monodimensionale svolte

Sono state effettuate quindi successivamente due distinte analisi: la prima utilizzando una settupla di storie temporali relativa ad un periodo di ritorno di 475 anni e la seconda al periodo di ritorno di 50 anni.

La prima analisi è quella ufficiale dello studio di MS3, da cui sono stati estrapolati tutti i prodotti dello studio di Microzonazione (spettri di risposta elastici e Fattori di Amplificazione).

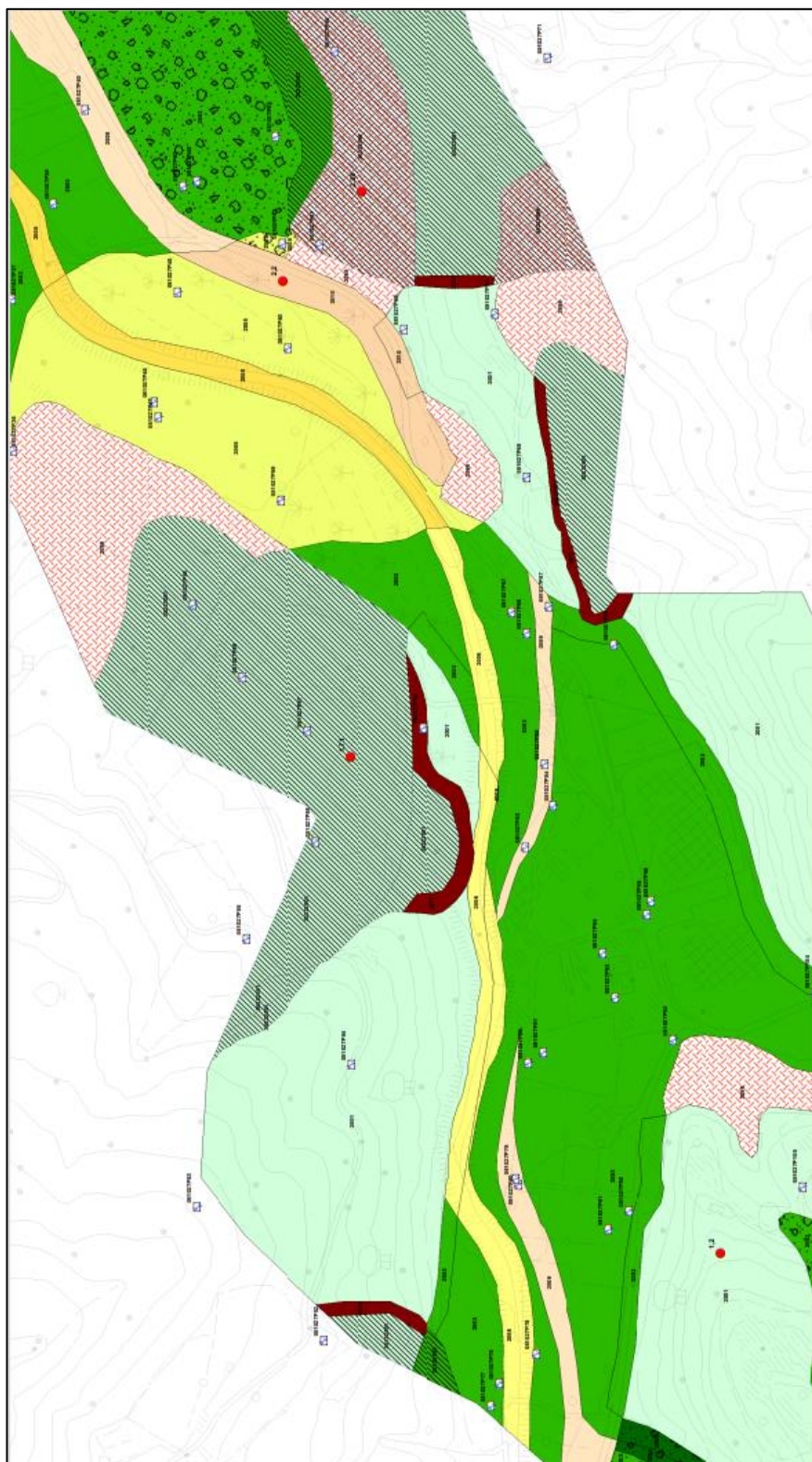
La seconda analisi è utilizzata esclusivamente per acquisire spettri medi caratteristici da utilizzare come indicazioni e strumenti per la progettazione edilizia.

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

In particolare di seguito si riportano le MOPS con indicato il valore dei 3 fattori di amplificazione previsti dai vigenti Standard Nazionali per il tempo di ritorno di 475 anni.

MOPS	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.4-0.8)	Fa (0.7-1.1)
<b>ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI</b>			
<b>2001</b>	1	1	1
<b>2002</b>	1.91	1.2	1.09
<b>2003_Ortignano</b>	1.44	1.07	1.03
<b>2003_Raggiolo</b>	1.07	1.01	1.01
<b>2004</b>	2.13	1.94	1.35
<b>2005</b>	1.73	1.16	1.07
<b>2006</b>	1.26	1.04	1.02
<b>2007</b>	2.03	1.91	1.35
<b>2008</b>	1.6	1.14	1.06
<b>2009</b>	2	1.21	1.09
<b>2010</b>	2.2	1.35	1.15
<b>2099</b>	1.2	1.04	1.02
<b>ZONE INSTABILI</b>			
<b>30122001</b>	1.71	1.12	1.05
<b>30222001</b>	2.12	1.35	1.15
<b>30122002</b>	2.26	2.01	1.38
<b>30222002</b>	2.54	2	1.39
<b>30222003</b>	2.61	1.47	1.19
<b>30122099</b>	1.94	1.22	1.09
<b>30222099</b>	2.32	1.3	1.13

## 2.5 Rappresentazione su mappa ed estrapolazione

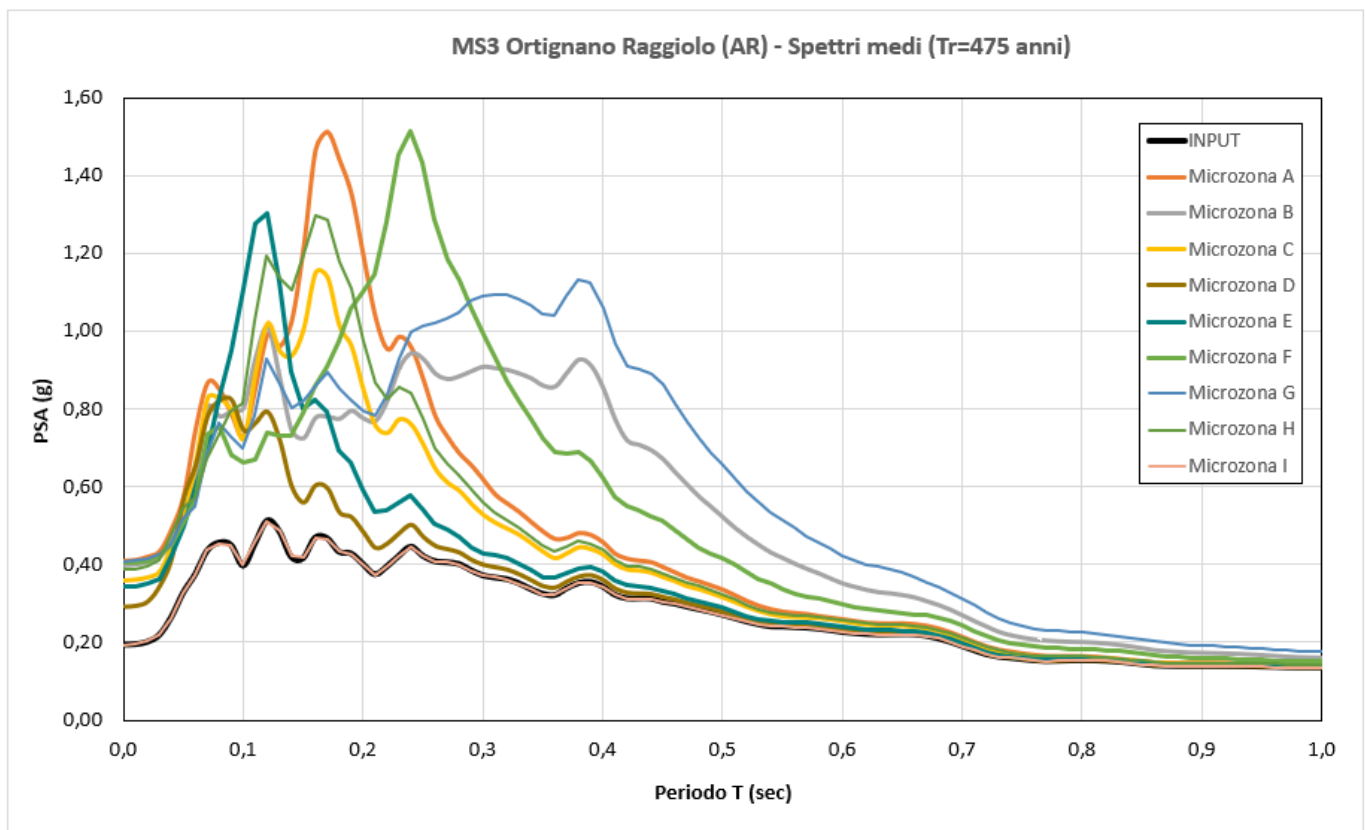


**Fig. 4** - Esempio di sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS individuate nello studio di MS1

L'estrapolazione areale dei dati di amplificazione si è basato 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 similari 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 intermini di PSA, in formato .txt secondo le specifiche richieste.



**Fig. 5** - Spettri di risposta elastici medi in pseudoaccelerazione relativi alle microzone stabili suscettibili di amplificazione locale individuate nell'ambito della MS3 del Comune di Ortignano (AR).

## 2.7 Indicazioni relative alla fase progettuale

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:

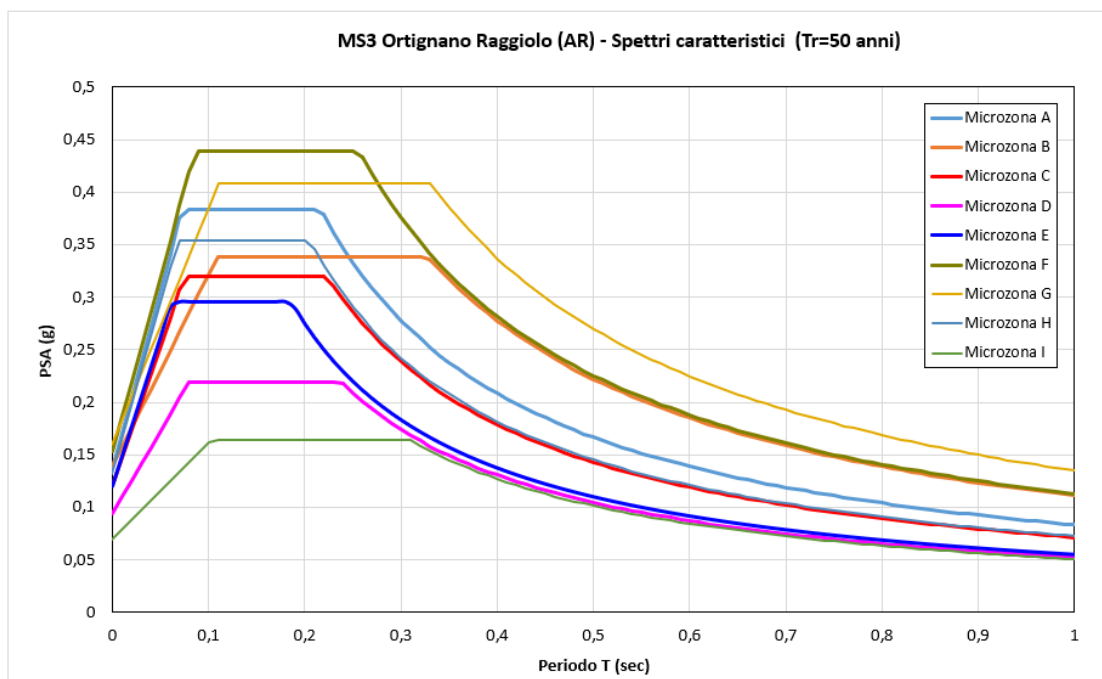
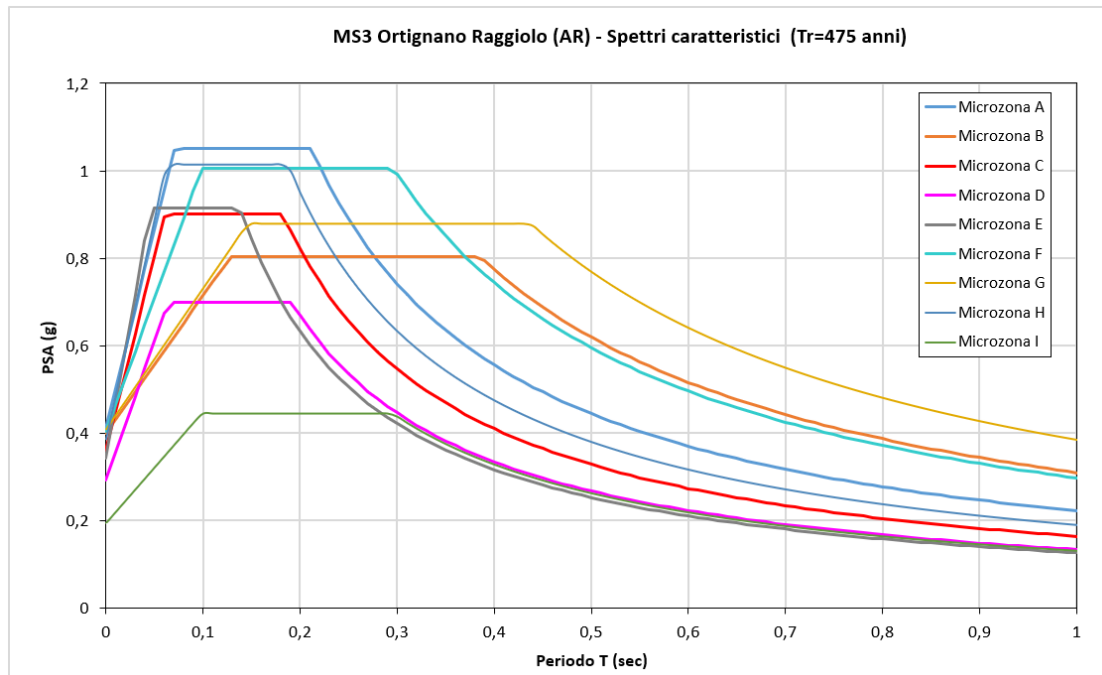
1) Raggruppamento per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del Fattore di amplificazione scelto) di tutti gli spettri di risposta elastici di output ricadenti in essa, ricavandone lo spettro medio (nella fig. 5 sono rappresentati gli spettri medi associati alle 9 microzone omogenee individuate nella MS3);

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<sub>b</sub>** e **T<sub>c</sub>**), 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 2008e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013).

Gli spettri si riferiscono a **periodi di ritorno di 475 anni e di 50 anni** e, pertanto, possono essere paragonati agli spettri semplificati di normativa relativi all'azione sismica per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**) per un edificio “ordinario” (Vita nominale **VN = 50 anni** e **Classed'uso CU = II**) e per lo Stato Limite di Esercizio (Stato limite di Danno, **SLD**), che nel caso specifico corrispondono ad un **T<sub>r</sub>=50 anni**. Tali spettri caratteristici normalizzati sono utilizzabili per rappresentare l'azione sismica allo SLE.

Di seguito, gli Spettri caratteristici normalizzati secondo la procedura descritta nel testo, relativi alle microzone individuate per il Comune di Ortignano per periodi di ritorno pari a 475 e 50 anni.



Regularizzati gli spettri è stato possibile produrre i parametri indipendenti e dipendenti desunti a seguito della regolarizzazione dello spettro medio.



Ortignano Raggiolo (AR)							Ortignano Raggiolo (AR)						
Microzonazione sismica di 3°livello - SLV (Tr=475 anni)							Microzonazione sismica di 3°livello - SLD (Tr=50 anni)						
Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri							Spettri caratteristici delle microzone sismiche - parametri						
ag = 0.164g							ag = 0.069g						
microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	microzona	località	F0 (-)	S (-)	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)
A	Ortignano Raggiolo	2,560	2,51	0,070	0,211	3,243	A	Ortignano Raggiolo	2,809	1,98	0,072	0,217	2,146
B		2,013	2,44	0,128	0,385	3,198	B		2,421	2,03	0,109	0,328	2,159
C		2,499	2,20	0,061	0,182	3,042	C		2,653	1,75	0,075	0,224	2,082
D		2,396	1,78	0,064	0,191	2,768	D		2,322	1,37	0,080	0,239	1,977
E		2,668	2,09	0,046	0,138	2,973	E		2,463	1,74	0,062	0,186	2,080
F		2,495	2,46	0,099	0,296	3,214	F		2,869	2,22	0,086	0,257	2,212
G		2,152	2,49	0,146	0,437	3,233	G		2,562	2,31	0,110	0,330	2,237
H		2,626	2,35	0,062	0,187	3,144	H		2,684	1,91	0,068	0,205	2,128
I		2,288	1,18	0,098	0,295	2,376	I		2,377	1,00	0,103	0,309	1,876

**Fig. 6** – Parametri dipendenti relativi agli spettri di risposta caratteristici (Tr=475 anni e Tr=50 anni), desunti a seguito del processo di normalizzazione

