

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### 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 generale

1. INTRODUZIONE.....	2
1.1 METODOLOGIA.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1 SISMICITA' DELL'AREA.....	5
2.2 RISCHIO SISMICO.....	8
2.3 MODELLAZIONE SISMICA.....	13
2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....	16
2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO.....	22
2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'.....	40
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	42
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	42
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....	44
3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....	47
3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	49
3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....	53
3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....	54
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	55
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	64
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	65
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	66
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	67
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	79
8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....	79
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	81
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	86
8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	88
8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	96
8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE.....	105
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	127
10. BIBLIOGRAFIA.....	128
11. ALLEGATI.....	129

# RELAZIONE ILLUSTRATIVA

## 1. INTRODUZIONE

La Regione Toscana (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica) con proprio Decreto Dirigenziale di G.R.T. n. 16262 del 4 ottobre 2018, ha inserito il Comune di Ortignano Raggiolo nella graduatoria relativa alla erogazione di finanziamenti previsti per la redazione di **indagini e studi di microzonazione sismica sui centri urbani** (studi di MS di livello 2 e 3) comunali di cui alla Del. G.R.T. n. 468 del 02.05.2018.

Il presente studio è finanziato ai sensi dell'Ordinanza O.C.D.P.C. n. 344/2016 – art. 2, comma 1 lett. a, che disciplina a livello nazionale i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico già previsti all'art. 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009.

Con la delibera di cui sopra, la Regione Toscana ha definito le modalità di finanziamento degli studi Microzonazione Sismica.

Il Comune di Ortignano Raggiolo individuava nella Geo Eco Progetti il “soggetto realizzatore” delle indagini in questione da svolgersi nelle more e modalità previste dalle precipe specifiche tecniche regionali approvate con la citata Del. G.R.T. n. 144 del 23.02.2015 “*Approvazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*” e con esplicito riferimento agli “*Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica*” (in seguito denominati ICMS) – GdLDPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

### 1.1 METODOLOGIA

La Regione Toscana, con propria Del. G.R.T. n. 144/2015, ha definito il “programma minimo” di tali studi dettagliando:

- *indicazione delle aree di indagine,*
- *indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine da realizzare,*
- *indicazione della documentazione tecnica da produrre.*

In merito ai tre citati punti si dettaglia quanto segue:

#### 1) Indicazione delle aree di indagine

Secondo quanto indicato dalle istruzioni tecniche in materia le suddette attività devono essere concentrate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il Comune individua secondo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle ITR (Istruzioni Tecniche Regionali) del Programma VEL e perimetra secondo i criteri definiti dagli ICMS.

L'Amministrazione Comunale di Ortignano Raggiolo, di compendio con la Struttura Regionale deputata alla Prevenzione Sismica (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), ha individuato le seguenti aree:

- abitato di Ortignano,
- abitato di Raggiolo,
- abitato di San Piero in Frassino,
- frazione di Villa,
- frazione di Badia Tega.

Al fine di una migliore rappresentazione delle strutture geologiche e delle fenomenologie geomorfologiche, i tematismi cartografici allestiti sono inoltre stati estesi a quelle porzioni di territorio, in adiacenza ai centri urbani, per cui fosse disponibile cartografia C.T.R. in scala 1:2.000, ricorrendo talvolta a “mosaici cartografici” con cartografia C.T.R. in scala 1:10.000, in settori ove non fosse disponibile cartografia in scala 1:2.000.

## 2) Indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine

Relativamente alle cartografie geologiche e geomorfologiche in prima fase si è fatto riferimento alle cartografie originali realizzate nell’ambito del supporto geologico tecnico al vigente Strumento Urbanistico del Comune di Ortignano Raggiolo. Tali cartografie sono state rivisitate mediante le recenti indicazioni della cartografia regionale CARG e con appositi rilievi di campagna geologici e geomorfologici di dettaglio.

Si è provveduto inoltre ad acquisire tutte le indagini geognostiche e geofisiche esistenti sulle porzioni di territorio in esame reperibile presso gli archivi regionale, provinciale e comunale.

Il Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica ha, inoltre, fornito l’indicazione di minima, in funzione del quadro conoscitivo esistente, circa la realizzazione delle seguenti indagini geofisiche minime obbligatorie:

### **CAMPAGNA DI INDAGINE PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISIMICA DI LIVELLO 1 – OTTOBRE / DICEMBRE 2014**

- n. 6 indagini sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a frazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 168 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell’eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

### **CAMPAGNA DI INDAGINI PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISIMICA DI LIVELLO 2 e 3 – GIUGNO 2022**

- n. 3 indagini di sismica attiva in onde P e Sh, per la determinazione dei profili sismostratigrafici.

## 3) Indicazione della documentazione tecnica da produrre

La delibera prevede che lo studio di microzonazione sismica restituisca i seguenti elaborati tecnici per ciascuna delle frazioni indagate:

- carta delle indagini
- carta geologico-tecnica con relative sezioni
- carta delle frequenze
- carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.) con relative sezioni
- carta di microzonazione sismica

e a compendio delle varie cartografie allestite la presente relazione tecnica illustrativa.

Per le frazioni come sopra dettagliate sono pertanto stati realizzati tutti i tematismi sotto dettagliati su base cartografica C.T.R. in scala 1:5.000 (scala adottata per la restituzione grafica dei tematismi rilevati in scala 1:2.000 di dettaglio).

Vengono di seguito riportati gli elaborati e i tematismi appositamente realizzati per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 3 (per gli abitati di Ortignano e San Piero in Frassino) e di livello 2 (per gli abitati di Raggiolo, Ortignano alto, Villa e Badia Tega).

N° Tavola	Titolo	Scala	Data di emissione
	Relazione Illustrativa		ottobre 2022
	Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)		ottobre 2022
<b>G.01</b>	Carta delle indagini	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.02</b>	Carta geologico – tecnica	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.03</b>	Carta delle frequenze	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.04</b>	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.05</b>	<b>Ortignano, San Piero in Frassino</b> - Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.06</b>	<b>Raggiolo, Badia Tega, Villa</b> – Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.07</b>	Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops	1:2.000	ottobre 2022
	<b>Data base “cartella indagini”</b> contenente certificazioni indagini stratigrafiche, geotecniche e sismiche strutturata come da istruzioni “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per Microzonazione Sismica – Versione 4.2” (in formato digitale)		01/10/22
<b>Microzonazione sismica di livello 1 – Relazioni indagini geofisiche di superficie mediante sismica a rifrazione e tomografia sismica (onde P e Sh) e Relazione indagini geofisiche con misure di rumore ambientale a stazioni singole di registrazione analisi hvsr– Trigeo s.n.c.</b>			novembre - dicembre 2014
<b>Microzonazione sismica di livello 2 e 3 – Relazione indagini geofisiche – Dott. Pieroni e Dott. Puccetti</b>			giugno 2022

Occorre sottolineare che la cartografia realizzata nel presente studio di “microzonazione sismica” costituisce implementazione e adeguamento del quadro conoscitivo del supporto geologico – tecnico agli strumenti urbanistici del Comune di Ortignano Raggiolo, ai sensi dell'ex Regolamento Regionale n. 53/R e del Regolamento Regionale n. 5/R, e risulta di fondamentale importanza per improntare future eventuali scelte secondo il principio dello sviluppo sostenibile.

A questo scopo è importante evidenziare che tutta la cartografia tematica elaborata è georeferenziata nel sistema di riferimento Gauss Boaga, e perciò coerente con la topografia della Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 / 1:2.000 ed è presentata anche nel sistema WGS84UTM33N.

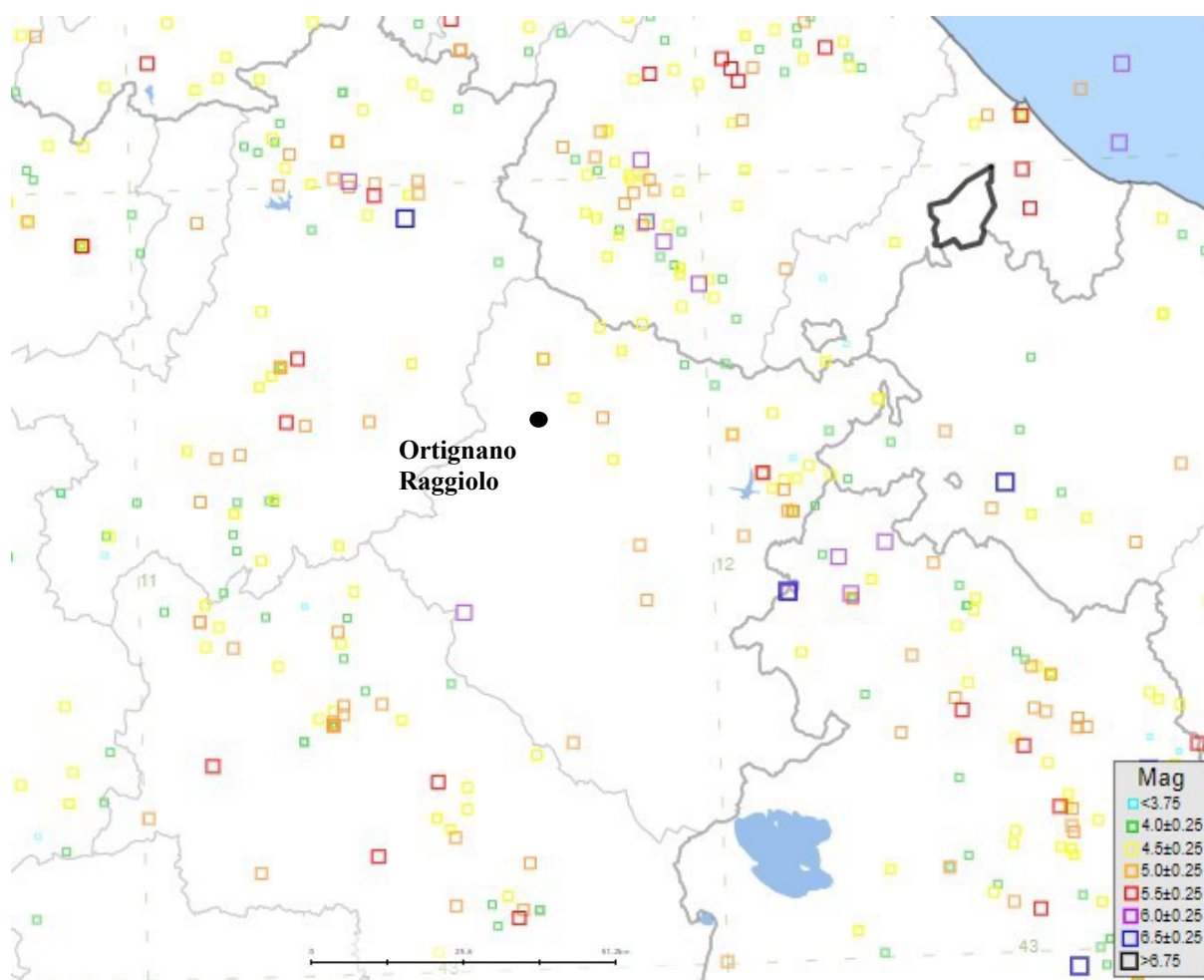
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all’interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell’art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia “shape” che “pdf”.

Le note illustrative, relative alle tavole elencate, sono contenute nel presente fascicolo **"Relazione Illustrativa"**.

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità storica del Comune di Ortignano Raggiolo è stata ricostruita con la consultazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>; Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.



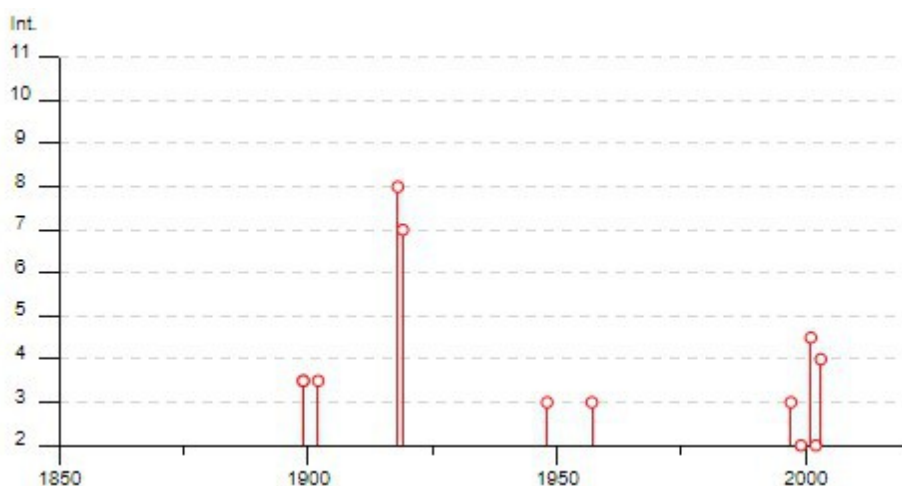
*Localizzazione degli eventi macrosismici a livello regionale nel territorio circostante il Comune di Ortignano Raggiolo (Periodo 1905 – 2020)*

In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Ortignano Raggiolo sono riconducibili a n. 20 eventi sismici, verificatisi dal 1899 al 2005, con vario grado di intensità sismica. (cfr. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	<a href="#">🔗</a>	1899	06	26	23	17	2 Valle del Bisenzio	138	7	5.02
3-4	<a href="#">🔗</a>	1899	07	08	22	56	5 Bagno di Romagna	37	4	4.02
3-4	<a href="#">🔗</a>	1902	06	27	16	48	Casentino	13	6	4.46
8	<a href="#">🔗</a>	1918	11	10	15	12	2 Appennino forlivese	187	9	5.96
7	<a href="#">🔗</a>	1919	06	29	15	06	1 Mugello	565	10	6.38
3	<a href="#">🔗</a>	1948	06	13	06	33	3 Alta Valtiberina	142	7	5.04
3	<a href="#">🔗</a>	1957	04	30	06	05	0 Alta Valtiberina	57	5	4.23
NF	<a href="#">🔗</a>	1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
3	<a href="#">🔗</a>	1997	10	02	19	38	0 Alta Valtiberina	55		4.42
NF	<a href="#">🔗</a>	1997	10	14	15	23	1 Valnerina	786		5.62
NF	<a href="#">🔗</a>	1998	04	05	15	52	2 Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
2	<a href="#">🔗</a>	1999	01	25	22	45	5 Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	<a href="#">🔗</a>	2000	05	08	12	29	5 Faentino	126	5	4.67
NF	<a href="#">🔗</a>	2000	05	10	16	52	1 Faentino	151	5-6	4.82
4-5	<a href="#">🔗</a>	2001	11	26	00	56	5 Casentino	211	5-6	4.63
2	<a href="#">🔗</a>	2002	02	21	14	36	Casentino	43	5	4.09
4	<a href="#">🔗</a>	2003	01	26	20	15	0 Appennino forlivese	63	5-6	4.50
NF	<a href="#">🔗</a>	2003	01	29	23	50	1 Appennino forlivese	71	4-5	4.06
NF	<a href="#">🔗</a>	2003	12	07	10	20	3 Forlivese	165	5	4.18
NF	<a href="#">🔗</a>	2005	07	15	15	17	1 Forlivese	173	4-5	4.29

*Eventi macrosismici riportati nel DBMI15*

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 8 MCS nel terremoto avvenuto nell'Appennino Forlivese nel Mugello nel 1918 ( $M_w = 5,96$ ) e il grado 7 MCS nel terremoto avvenuto nel Mugello nel 1919 ( $M_w = 6,38$ ).



*Distribuzione temporale ed intensità degli eventi macrosismici nel periodo 1850-2020*

Analizzando il catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS - Database of Individual Seismogenic Sources – 2021 - DOI:10.13127/diss3.3.0) si osserva che il territorio del Comune di Ortignano Raggiolo si colloca



all'interno dell'area sismogenetica composita codificata come ITCS037 “Mugello-Città di Castello-Leonessa”, caratterizzata dai seguenti parametri:

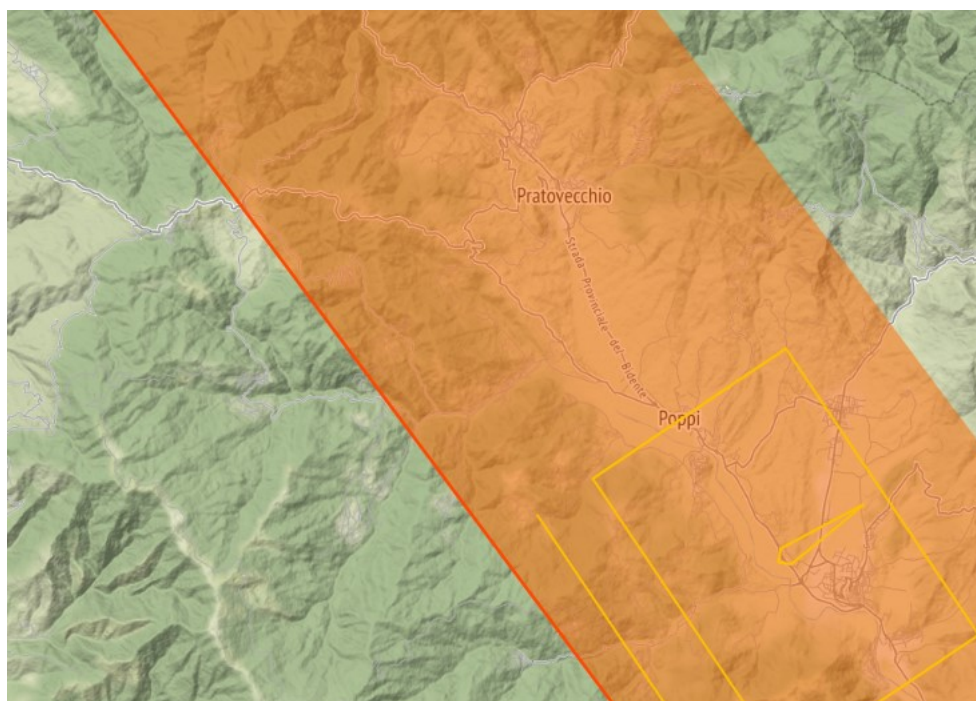
Strike (angolo rispetto al nord):	280° - 330°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	25° - 40°
Profondità min - max:	0,5 – 8 km
Magnitudo massima (Mw):	6,2

Questa struttura composita corre per oltre 200 km lungo la dorsale dell'Appennino settentrionale, dai settori dell'Appennino Pratese (a nord-ovest) verso l'alta valle del Fiume Nera (a sud-est), e costituisce il nucleo della cintura estensionale dell'“Etrurian Fault System”. Questa sorgente è un complesso di faglie superficiali a basso angolo che segna il confine estensionale occidentale dell'Appennino settentrionale.

Cataloghi storici e strumentali mostrano terremoti (magnitudo  $4.5 < M_w 5.0$ ) potenzialmente dannosi all'interno dell'area, in particolare nei settori nord-occidentale e sud-orientale. Inoltre, si sono verificati i principali terremoti dannosi e distruttivi (da nord-ovest a sud-est): 13 giugno 1542 (Mw 5.9, Mugello), 29 giugno 1919 (Mw 6.2, Mugello), 26 aprile 1917 (Mw 5.8, Monterchi-Citerna), 25 dicembre 1352 (Mw 6.0, Monterchi), 26 aprile 1458 (Mw 5.9, Città di Castello), 13 gennaio 1832 (Mw 5.8, Foligno), 15 set 1878 (Mw 5.5, Montefalco), e 5 giugno 1767 (Mw 5.4, Spoletino).

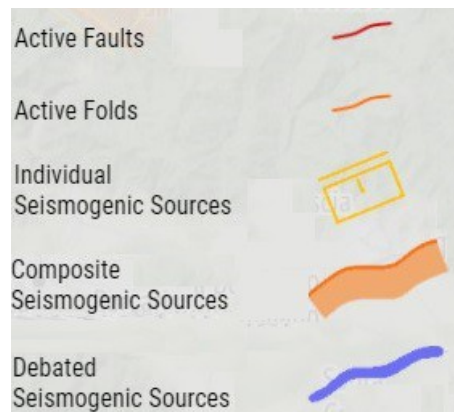
Relativamente alle Sorgenti Sismogenetiche Individuali (Individual Seismogenic Sources), all'interno della suddetta area sismogenetica composita ITCS037 “Mugello-Città di Castello-Leonessa”, a circa 3 km a sud del territorio di interesse si rileva la struttura codificata come ITIS076 “Poppi” con le caratteristiche principali di cui alla tabella seguente:

Strike (angolo rispetto al nord):	326°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	30°
Profondità min - max:	1,0 – 4,5 km
Magnitudo massima (Mw):	5,8



*Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0*





*Potenziati sorgenti sismiche per terremoti con  $M > 5.5$*

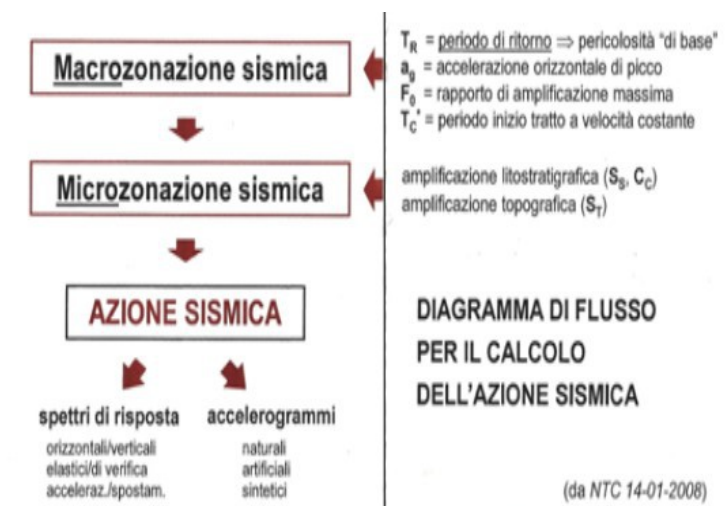
## 2.2 RISCHIO SISMICO

Il rischio sismico nella accezione corrente rappresenta il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma. In maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate. La pericolosità sismica può essere direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la vulnerabilità definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma. Il parametro relativo alla quantificazione economica delle realtà danneggiate è di difficilissima valutazione poiché comprende, oltre a edifici, strutture produttive ed infrastrutture, anche vite umane e beni artistici e culturali.

La *valutazione del rischio sismico*, in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la **macrozonazione sismica**, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la **microzonazione sismica**. Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, etc.).

La microzonazione sismica mira ad individuare gli strumenti necessari a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona di dimensioni urbane, tramite opportuni criteri d'uso del territorio.



Le indagini per la *valutazione del rischio sismico* sono, pertanto, suddivise in due fasi.

### **Macrozonazione sismica**

Fornisce un quadro generale del potenziale sismico e quindi della pericolosità sismica di una regione, con l'individuazione delle aree sismiche e di quelle non soggette a sisma.

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 si sono individuate 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle (Categorie) individuate dalla L.n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione. In quest'ultima zona le regioni possono imporre l'obbligo della progettazione antisismica e stabilire norme e criteri specifici.

Sulla scorta di questa nuova classificazione il territorio del Comune di Ortignano Raggiolo è inserito in Zona 2.

La OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 disciplina i criteri alla base degli studi per la definizione della pericolosità sismica utili alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, ma definisce anche con:

- la lett. g) la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche che dovranno prevedere:
- la discretizzazione dell'elaborato di riferimento rispetto ai confini dei comuni. E' opportuno a tale proposito che il passaggio fra zone sismiche territorialmente contigue sia definito in termini graduali, sia all'interno di ciascuna regione che al confine di regioni diverse.
- la definizione di eventuali sottozone nell'ambito di uno stesso comune e secondo quanto previsto alla lett. a) per descrivere meglio l'azione sismica, soprattutto in relazione alle esigenze di valutazione e di recupero degli edifici esistenti.
- la lett. c) - sulla base della valutazione di  $a_g$  l'assegnazione di un territorio ad una delle zone sismiche potrà avvenire, secondo la tab. di cui alla lett. a), con la tolleranza di 0,025  $a_g$ .

La Regione Toscana con D.G.R. n. 431 del 19.06.2006 ha proposto la riclassificazione sismica regionale, mantenendo in via preliminare un atteggiamento di cautela soprattutto nelle situazioni che potevano comportare una declassificazione dei comuni dalla zona a media sismicità alla zona a bassa sismica (da zona 2 a zona 3).

A tal proposito ha ritenuto opportuno, nel processo di declassificazione dei comuni, mantenere lo stesso livello di protezione assicurato dalle azioni sismiche della zona 2, provvedendo di conseguenza all'individuazione di una zona 3S. Il territorio comunale di Ortignano Raggiolo rimane comunque inserito in zona 2.

A distanza di sei anni dall'entrata in vigore della precedente classificazione sismica, la Regione Toscana ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. La nuova mappa sismica è stata approvata con la delibera n. 878 dell'8 ottobre 2012. L'aggiornamento della classificazione sismica, redatto ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio *sito-dipendente* introdotto dalle vigenti Norme. I territori comunali di Pratovecchio e Stia rimangono in **zona sismica 2** anche in questa recente classificazione regionale.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni $[a_g]$	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) $[a_g]$	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982

### **Microzonazione sismica**

Individua le risposte sismiche locali nell'ambito di una zona dell'ordine di grandezza di un comune o di una città metropolitana, fornendo informazioni di dettaglio relative agli effetti locali, ottimizzando quindi i dati rilevati tramite la macrozonazione.

Compito precipuo della microzonazione è quello di individuare terreni dinamicamente instabili e stimare le accelerazioni che si possono verificare in terreni dinamicamente stabili, poiché condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche particolari possono determinare variazioni nella risposta sismica locale e di conseguenza sulla pericolosità del sito.

### **NTC**

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) e successivamente del D.M. 17 gennaio 2018 – Nuove norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ ), viene definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base  $a_g$ , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, derivava direttamente dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Pertanto, la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (tabella 1, allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2, allegato B del D.M. 14 gennaio 2008); tale considerazione riguarda anche le isole dell'arcipelago toscano. La Toscana è interessata da 936 nodi.

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri  $a_g$  (espresso in  $g/10$ ),  $F_0$  (adimensionale) e  $T^*c$  (espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica.

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, sarà possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame. Qualora il tempo di ritorno richiesto sia differente da uno dei 9 tempi di ritorno forniti in tabella, sarà possibile ricavare il valore del parametro di interesse mediante interpolazione tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno (dei nove forniti per ognuno dei nodi del reticolo di riferimento) che comprendono il tempo di ritorno necessario.

A tale proposito sono state predisposte dal Servizio Sismico della Regione Toscana, le mappe di pericolosità relative alla distribuzione dei nodi della griglia per ciascuna delle dieci province.

Per ogni territorio comunale è riportata inoltre la classificazione sismica (Del. GRT n. 431 del 19 giugno 2006) sia in mappa che in forma tabellare. Infine, sempre in tabella, è illustrato a titolo indicativo anche il valore di accelerazione ( $a_{g475}$ ), calcolato in corrispondenza della sede comunale.

Si ricorda che i valori di accelerazione vanno divisi per 10. Pertanto, i valori di accelerazione del settore nord del territorio comunale (Capoluogo) sono compresi tra 0,125 e 0,150 g, mentre ai restanti settori vengono attribuiti valori di accelerazione compresi tra 0,100 e 0,125 g.

L'attività di valutazione su un territorio (alla scala comunale) delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali viene chiamata **microzonazione sismica (MS)**.

Tale attività rientra in un quadro più generale nei programmi di prevenzione e di mitigazione degli effetti di un terremoto, in cui è necessario individuare in via preliminare con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre a studi particolareggiati.

Si definiscono “**condizioni locali di sito**”:

- la geologia e la geomorfologia locale;

- condizioni geotecniche e stratigrafiche locali;
- prossimità ad una faglia sismicamente attiva.

Le condizioni locali di sito sono responsabili degli effetti locali di sito che possono schematicamente essere così riassunti:

- modifica delle caratteristiche dello scuotimento rispetto a quanto definito in termini di pericolosità di base;
- fenomeni di instabilità del terreno.

Per ciò che attiene alla modifica del moto sismico, si tratta di definire la **pericolosità sismica locale**. Ciò comporta in generale un'amplificazione del moto sismico, la cui causa è riconducibile a motivi stratigrafici (presenza di depositi soffici poggianti su substrato roccioso), topografici (amplificazione del moto sismico lungo pendii o alla sommità di scarpate o pendii) oppure riferibile alla presenza di particolari geometrie sepolte, in grado di modificare le caratteristiche del moto sismico sia in termini di intensità sia per quanto concerne il contenuto spettrale.

Per quanto concerne i fenomeni di instabilità dei terreni e delle rocce gli aspetti rilevanti sono quelli che riguardano:

- liquefazione e/o densificazione dei depositi sabbiosi;
- eccessivi cedimenti e deformazioni permanenti del suolo;
- instabilità di pendio in terreni e roccia;
- attività di faglia.

Danni consistenti possono ricorrere quando la frequenza di risonanza di un terreno raggiunta durante un evento sismico corrisponde a quella propria dell'edificio (fenomeno della doppia risonanza).

La pericolosità di base è di norma definita mediante approccio di tipo probabilistico. In generale, per la determinazione della pericolosità di base è necessario definire:

- la sismicità storica;
- le zone sismogenetiche;
- le relazioni di attenuazione;
- le leggi di ricorrenza.

A tal fine è necessario raccogliere e interpretare dati e informazioni riguardanti la sismicità regionale, la sismo-tettonica, dati e registrazioni ottenuti da reti sismiche nazionali e locali.

Per quanto riguarda la stima della pericolosità sismica locale, essa è da ricondurre ad una serie di caratteri geologico-tecnici di un'area più o meno ampia che viene presa in esame. Tali caratteri geologico tecnici come è noto riguardano: la morfologia di superficie, la morfologia sepolta, le litologie, le caratteristiche fisico meccaniche, le condizioni idrogeologiche s.l. Queste condizioni infatti oltre ad essere causa di possibile amplificazione degli effetti sismici possono provocare i cosiddetti fenomeni indotti, quali: attivazione e rimobilizzazione di fenomeni gravitativi, liquefazione in terreni granulari saturi, deformazioni permanenti in terreni di fondazione.

La **valutazione degli effetti locali** di amplificazione del moto sismico e quindi la pericolosità sismica locale sono di norma valutati attraverso analisi di risposta sismica locale dei depositi di terreno.

A riguardo la normativa di riferimento (D.M. 14.09.2008) consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose.

Uno degli aspetti più importanti di queste normative è quello di definire e di valutare l'amplificazione sismica dei terreni sulla base della definizione del parametro  $V_s$ , cioè della velocità delle onde di taglio.

## 2.3 MODELLAZIONE SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### **VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Nelle NTC il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \quad (2.1)$$

dove:

$V_R$  = *periodo di riferimento*

$V_N$  = *vita nominale*

$C_U$  = *coefficiente d'uso*

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

$V_N \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.

$V_N \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

$V_N \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

In esempio  $V_N = 50$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $CU = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $CU = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $CU = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $CU = 2.0$ ;

In esempio viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso  $CU = 1$ .

Una volta ottenuti VN e CU, è possibile calcolare il periodo di riferimento VR, che ad esempio vale:

$$VR = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

### **STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO**

Le NTC prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.



Gli stati limite ultimi sono:

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV. Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento PVR*, ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/TR$  (TR = periodo di ritorno).

*Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR*

Stati limite			PVR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC08:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

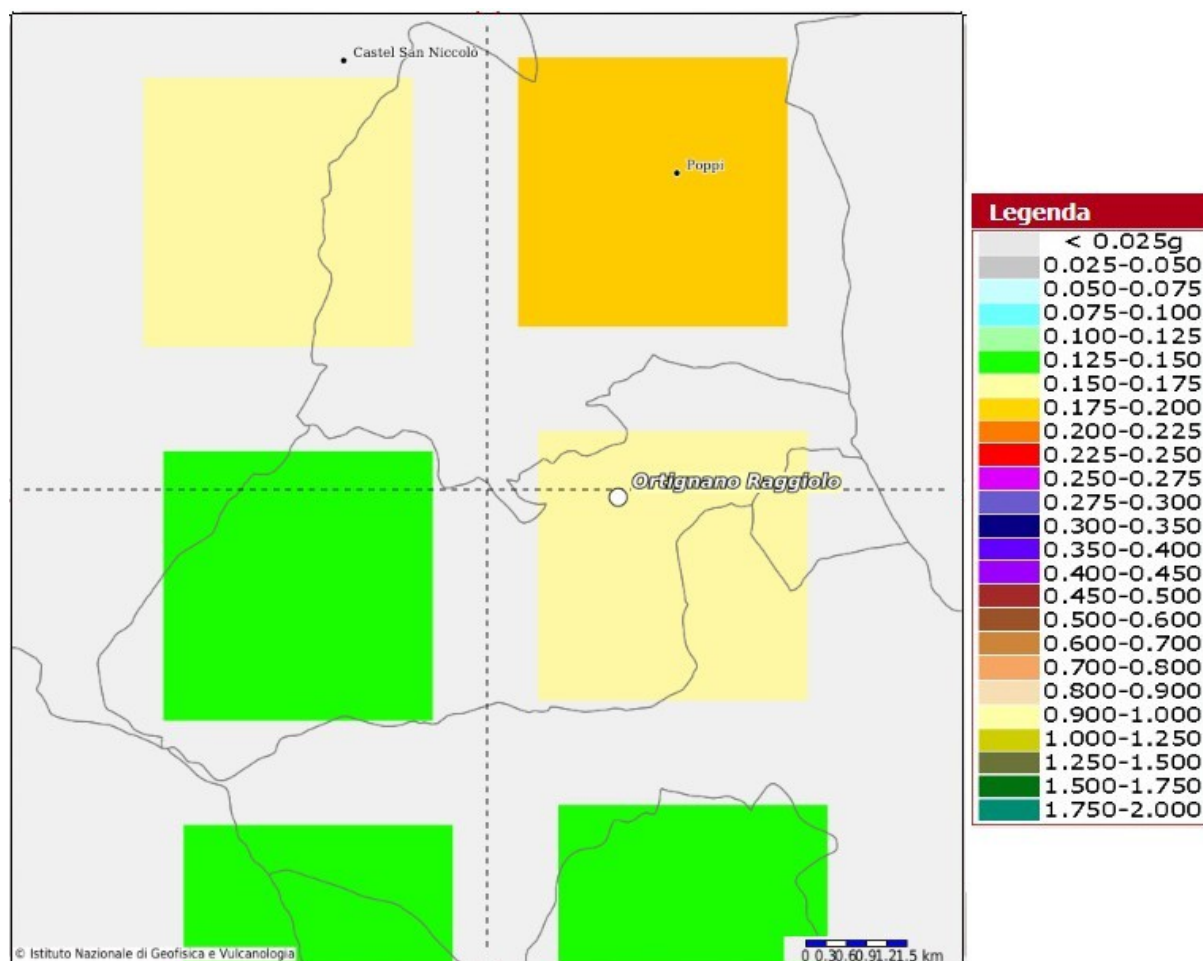
Poiché in esempio è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

*Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR*

Stati limite			TR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	30
	Stato limite di danno	SLD	50
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	475
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	975

## 2.4 PERICOLOSITA' SISMICA

In termini generali la pericolosità sismica dell'area di intervento è valutabile facendo riferimento agli studi condotti dal “Gruppo di Lavoro MPS, 2004” nell’ambito della “Convenzione - Progetto “S1” DPC - INGV 2004-2006” i cui risultati sono stati promulgati mediante l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006 (cfr. Mappa MPS04-S1).

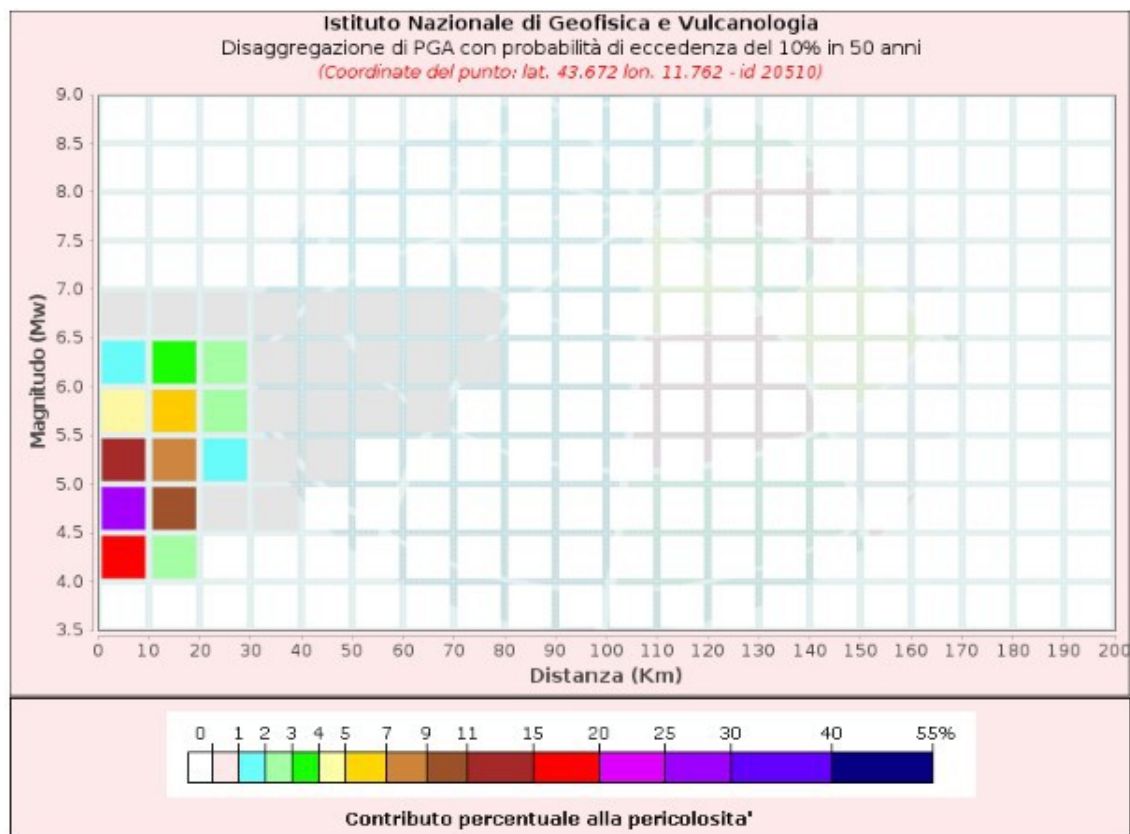


*Mappa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s; cat.A) – da INGV*

Per valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di sito viene operata la disaggregazione della pericolosità sismica. La disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) come l’evento di magnitudo M a distanza R dal sito di interesse, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica dello stesso.

Dalla mappa di pericolosità sismica viene effettuata un’analisi della disaggregazione dei valori di  $a(g)$  e per ogni nodo della griglia di calcolo è possibile valutare il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza.

Questa informazione è riportata sia in forma grafica che in forma tabellare.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.672 lon. 11.762 - id 20510)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	15.4000	25.2000	12.6000	4.5400	1.9900	0.2180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	2.9400	9.1400	8.7600	5.7600	3.6400	0.4960	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.3880	1.8400	2.3200	2.0400	0.2370	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0007	0.2610	0.8530	0.7530	0.0393	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	0.1800	0.3020	0.0131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0132	0.1080	0.0051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0261	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici.

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.08	10.4	1.2

La Magnitudo media riferibile all'area di intervento è pari a 5,08.

Dove  $\epsilon$  rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

### **DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

$a_g$ , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

$F_0$  e  $T_c^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti nella seguente tabella, contenuta nell'Allegato B delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240

13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

*Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.*

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

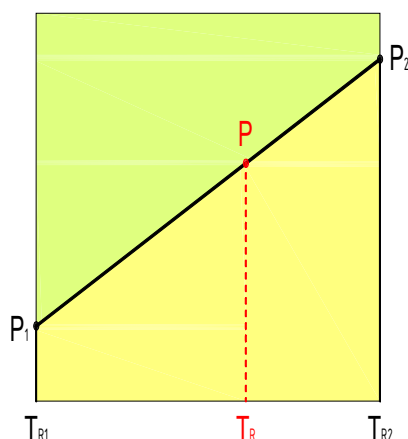
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse (ag, Fo,  $TC^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $T_{R1}, 2$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

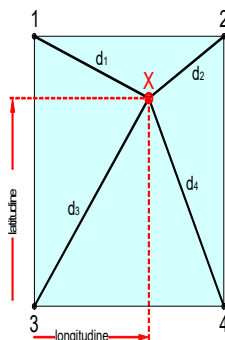
nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse (ag, Fo,  $TC^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.





*Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura che segue.



*Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

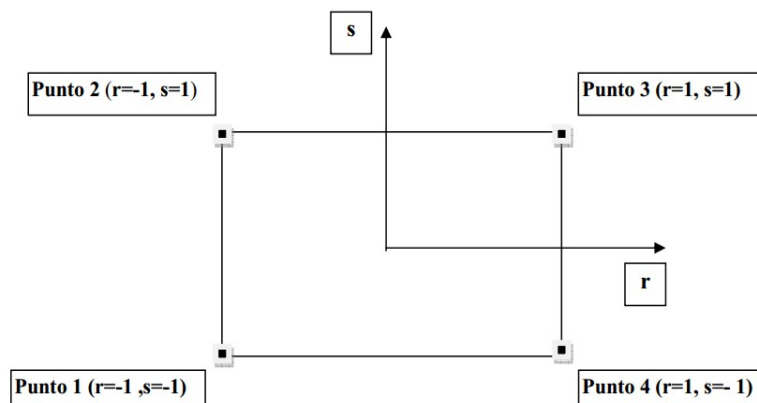
Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(lat\beta) \cdot \sin(lata) + \cos(lat\beta) \cdot \cos(lata) \cdot \cos(lon\alpha - lon\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $lata$ ,  $lon\alpha$ ,  $lat\beta$  e  $lon\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



### *Applicazione dell'interpolazione bilineare.*

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r)(1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r)(1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r)(1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r)(1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x,y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i x_i = [(1-r)(1-s)x_1 + (1-r)(1+s)x_2 + (1+r)(1+s)x_3 + (1+r)(1-s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i y_i = [(1-r)(1-s)y_1 + (1-r)(1+s)y_2 + (1+r)(1+s)y_3 + (1+r)(1-s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

### **PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO**

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### **COEFFICIENTI SISMICI**

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR)$$

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR non può essere inferiore a 35 anni.

### **STABILITA' DEI PENDII DI FONDAZIONE**



Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

Con

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

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella seguente tabella.

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

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$a_{max} = SS \cdot ST \cdot a_g$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0,90 \leq S_s \leq 1,80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

ST (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1:  $ST = 1,0$ ; T2:  $ST = 1,20$ ; T3:  $ST = 1,2$ ; T4:  $ST = 1,40$ .

## 2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO

### Ortignano

#### PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Vita nominale ( $V_n$ ): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso ( $C_u$ ): 1  
 Periodo di riferimento ( $V_r$ ): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto  
 Latitudine (WGS84): 43.6816368 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.7529297 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.6825943 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.7539005 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20509	43.671080	11.693060	5057.56
2	20510	43.672120	11.762150	1340.31

3	20288	43.722110	11.760750	4428.42
4	20287	43.721070	11.691580	6588.07

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.521	0.259
SLD	50	0.064	2.536	0.273
	72	0.074	2.532	0.280
	101	0.084	2.538	0.286
	140	0.094	2.533	0.291
	201	0.110	2.475	0.296
SLV	475	0.148	2.441	0.309
SLC	975	0.188	2.428	0.316
	2475	0.249	2.448	0.322

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.262
SLD	50	0.069	2.496	0.274
	72	0.079	2.512	0.280
	101	0.091	2.493	0.286
	140	0.106	2.436	0.287
	201	0.121	2.431	0.293
SLV	475	0.162	2.418	0.299
SLC	975	0.206	2.403	0.312
	2475	0.271	2.455	0.320

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.491	0.263
SLD	50	0.074	2.467	0.273
	72	0.088	2.415	0.277
	101	0.102	2.416	0.279
	140	0.116	2.402	0.285
	201	0.133	2.401	0.287
SLV	475	0.182	2.376	0.294
SLC	975	0.231	2.377	0.309
	2475	0.307	2.432	0.319

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.504	0.261
SLD	50	0.069	2.491	0.273
	72	0.080	2.507	0.280
	101	0.093	2.460	0.284
	140	0.108	2.416	0.286
	201	0.123	2.411	0.291
SLV	475	0.167	2.385	0.297
SLC	975	0.212	2.382	0.300
	2475	0.280	2.423	0.318

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.261
SLD	50	0.069	2.496	0.273
SLV	475	0.164	2.410	0.299
SLC	975	0.208	2.400	0.310

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.017	0.047	0.070
kv	0.007	0.008	0.024	0.035
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.659	0.815	1.930	2.450
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.039	0.075	--
kv	--	0.020	0.037	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.659	0.815	1.930	2.450
Beta	--	0.470	0.380	--

### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.039	0.075	--
kv	--	0.020	0.037	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.659	0.815	1.930	2.450
Beta	--	0.470	0.380	--

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

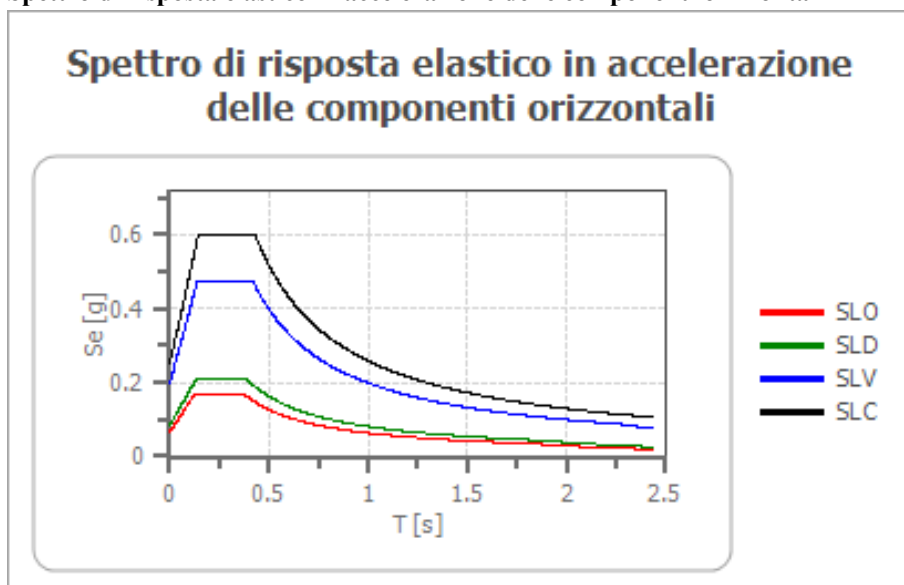
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.052	0.065	0.153	0.194
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.659	0.815	1.930	2.450
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sc(0) [g]	Sc(TB) [g]
SLO	1.0	0.056	2.505	0.261	1.200	1.440	1.000	1.200	1.000	0.125	0.376	1.824	0.067	0.168
SLD	1.0	0.069	2.496	0.273	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.130	0.391	1.877	0.083	0.207
SLV	1.0	0.164	2.410	0.299	1.200	1.400	1.000	1.200	1.000	0.140	0.419	2.256	0.197	0.474

SLC	1.0	0.208	2.400	0.310	1.200	1.390	1.000	1.200	1.000	0.144	0.431	2.433	0.250	0.600
-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

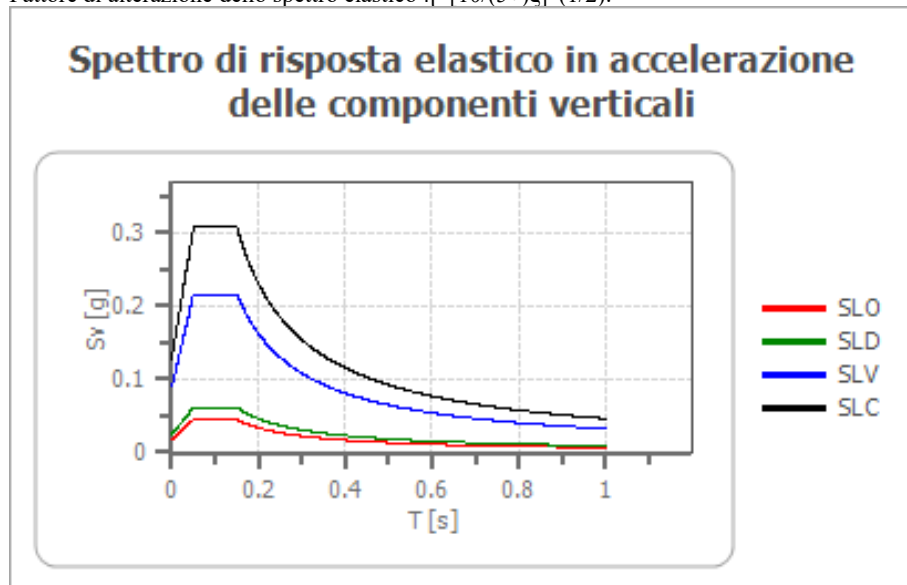
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.056	2.505	0.261	1	1.440	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.018	0.045
SLD	1.0	0.069	2.496	0.273	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.025	0.061
SLV	1.0	0.164	2.410	0.299	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.090	0.216
SLC	1.0	0.208	2.400	0.310	1	1.390	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.128	0.308

### Ortignano alto

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43.6800079 [°]

Longitudine (WGS84): 11.7472925 [°]

Latitudine (ED50): 43.6809616 [°]

Longitudine (ED50): 11.7482624 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20509	43.671080	11.693060	4573.50
2	20510	43.672120	11.762150	1488.08
3	20288	43.722110	11.760750	4684.12
4	20287	43.721070	11.691580	6375.83

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

**Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.521	0.259
SLD	50	0.064	2.536	0.273
	72	0.074	2.532	0.280
	101	0.084	2.538	0.286
	140	0.094	2.533	0.291
	201	0.110	2.475	0.296
SLV	475	0.148	2.441	0.309
SLC	975	0.188	2.428	0.316
	2475	0.249	2.448	0.322

**Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.262
SLD	50	0.069	2.496	0.274
	72	0.079	2.512	0.280
	101	0.091	2.493	0.286
	140	0.106	2.436	0.287
	201	0.121	2.431	0.293
SLV	475	0.162	2.418	0.299
SLC	975	0.206	2.403	0.312
	2475	0.271	2.455	0.320

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.491	0.263
SLD	50	0.074	2.467	0.273
	72	0.088	2.415	0.277
	101	0.102	2.416	0.279
	140	0.116	2.402	0.285
	201	0.133	2.401	0.287
SLV	475	0.182	2.376	0.294
SLC	975	0.231	2.377	0.309
	2475	0.307	2.432	0.319

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.504	0.261
SLD	50	0.069	2.491	0.273
	72	0.080	2.507	0.280
	101	0.093	2.460	0.284
	140	0.108	2.416	0.286
	201	0.123	2.411	0.291
SLV	475	0.167	2.385	0.297
SLC	975	0.212	2.382	0.300
	2475	0.280	2.423	0.318

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.261
SLD	50	0.069	2.497	0.273
SLV	475	0.164	2.411	0.300
SLC	975	0.208	2.400	0.310

**PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO**

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
 Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2 – Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.020	0.057	0.084
kv	0.008	0.010	0.028	0.042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.790	0.977	2.312	2.934
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.047	0.090	--
kv	--	0.023	0.045	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.790	0.977	2.312	2.934
Beta	--	0.470	0.380	--

### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.047	0.090	--
kv	--	0.023	0.045	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.790	0.977	2.312	2.934
Beta	--	0.470	0.380	--

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

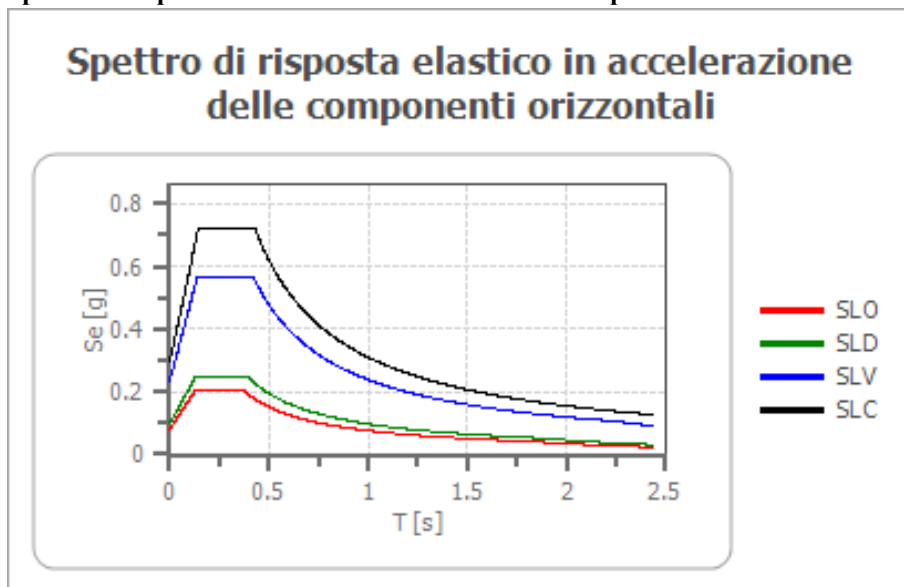
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.062	0.077	0.183	0.232
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.790	0.977	2.312	2.934
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.056	2.505	0.261	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.125	0.376	1.824	0.081	0.202
SLD	1.0	0.069	2.497	0.273	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.130	0.391	1.877	0.100	0.249
SLV	1.0	0.164	2.411	0.300	1.200	1.400	1.200	1.440	1.000	0.140	0.420	2.255	0.236	0.568
SLC	1.0	0.208	2.400	0.310	1.200	1.390	1.200	1.440	1.000	0.144	0.431	2.431	0.299	0.718

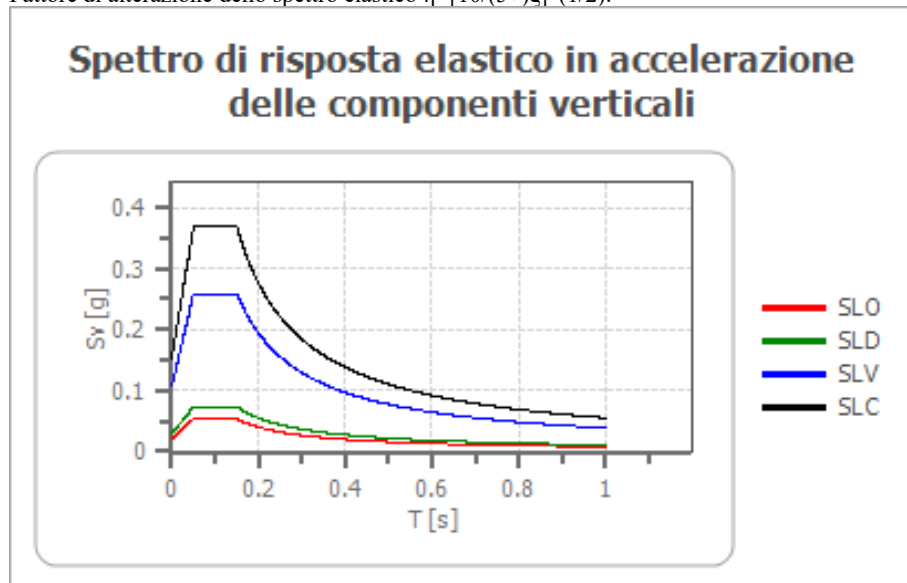
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.056	2.505	0.261	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.021	0.054
SLD	1.0	0.069	2.497	0.273	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.029	0.074
SLV	1.0	0.164	2.411	0.300	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.107	0.259
SLC	1.0	0.208	2.400	0.310	1	1.390	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.153	0.368

## Raggiolo

### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43.6765404 [°]

Longitudine (WGS84): 11.7101974 [°]

Latitudine (ED50): 43.6774940 [°]

Longitudine (ED50): 11.7111683 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20509	43.671080	11.693060	1621.68
2	20510	43.672120	11.762150	4143.52
3	20288	43.722110	11.760750	6363.79
4	20287	43.721070	11.691580	5094.69

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.521	0.259



SLD	50	0.064	2.536	0.273
	72	0.074	2.532	0.280
	101	0.084	2.538	0.286
	140	0.094	2.533	0.291
	201	0.110	2.475	0.296
SLV	475	0.148	2.441	0.309
SLC	975	0.188	2.428	0.316
	2475	0.249	2.448	0.322

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.262
SLD	50	0.069	2.496	0.274
	72	0.079	2.512	0.280
	101	0.091	2.493	0.286
	140	0.106	2.436	0.287
	201	0.121	2.431	0.293
SLV	475	0.162	2.418	0.299
SLC	975	0.206	2.403	0.312
	2475	0.271	2.455	0.320

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.491	0.263
SLD	50	0.074	2.467	0.273
	72	0.088	2.415	0.277
	101	0.102	2.416	0.279
	140	0.116	2.402	0.285
	201	0.133	2.401	0.287
SLV	475	0.182	2.376	0.294
SLC	975	0.231	2.377	0.309
	2475	0.307	2.432	0.319

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.504	0.261
SLD	50	0.069	2.491	0.273
	72	0.080	2.507	0.280
	101	0.093	2.460	0.284
	140	0.108	2.416	0.286
	201	0.123	2.411	0.291
SLV	475	0.167	2.385	0.297
SLC	975	0.212	2.382	0.300
	2475	0.280	2.423	0.318

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.055	2.511	0.260
SLD	50	0.067	2.512	0.273
SLV	475	0.159	2.419	0.303
SLC	975	0.201	2.409	0.311

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000  
Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T2 – Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

## Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
--------------	-----	-----	-----	-----

kh	0.016	0.019	0.055	0.081
kv	0.008	0.010	0.027	0.041
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.774	0.952	2.239	2.838
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.046	0.087	--
kv	--	0.023	0.043	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.774	0.952	2.239	2.838
Beta	--	0.470	0.380	--

### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.046	0.087	--
kv	--	0.023	0.043	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.774	0.952	2.239	2.838
Beta	--	0.470	0.380	--

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

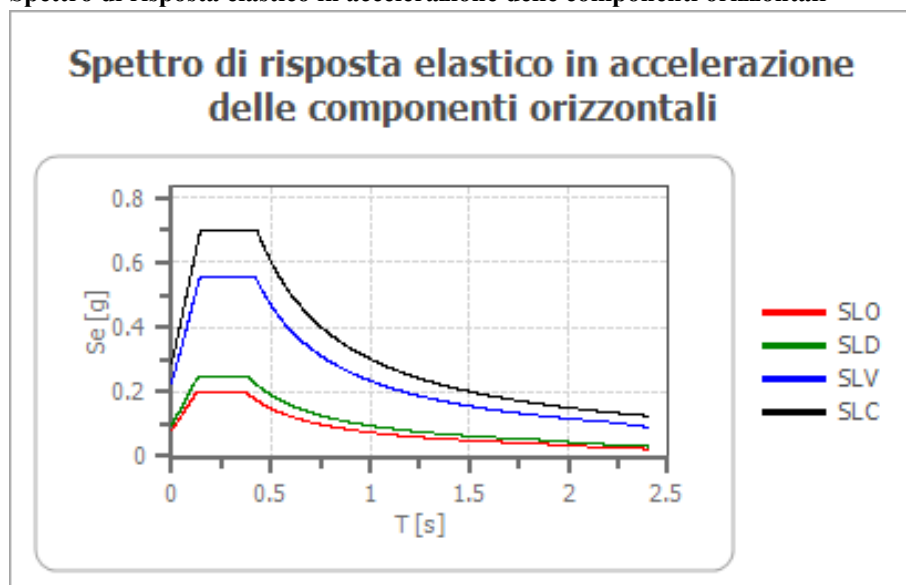
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.061	0.075	0.177	0.225
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.774	0.952	2.239	2.838
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.055	2.511	0.260	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.125	0.375	1.819	0.079	0.198
SLD	1.0	0.067	2.512	0.273	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.130	0.391	1.870	0.097	0.244
SLV	1.0	0.159	2.419	0.303	1.200	1.400	1.200	1.440	1.000	0.141	0.424	2.234	0.228	0.552
SLC	1.0	0.201	2.409	0.311	1.200	1.390	1.200	1.440	1.000	0.144	0.433	2.404	0.289	0.697

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

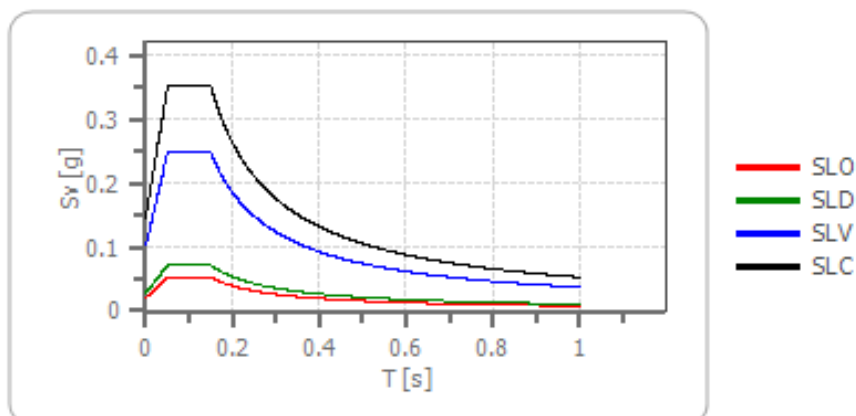
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico η=[10/(5+ξ)]^(1/2):

1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.055	2.511	0.260	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.021	0.052
SLD	1.0	0.067	2.512	0.273	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.071
SLV	1.0	0.159	2.419	0.303	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.102	0.247
SLC	1.0	0.201	2.409	0.311	1	1.390	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.146	0.352

### San Piero in Frassino

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	II	
Coefficiente d'uso (Cu):	1	
Periodo di riferimento (Vr):	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975	[anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	43.6887131	[°]
Longitudine (WGS84):	11.7646942	[°]
Latitudine (ED50):	43.6896667	[°]
Longitudine (ED50):	11.7656641	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20510	43.672120	11.762150	1971.61
2	20511	43.673120	11.831240	5585.13
3	20289	43.723110	11.829880	6361.75
4	20288	43.722110	11.760750	3628.94

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.262
SLD	50	0.069	2.496	0.274

	72	0.079	2.512	0.280
	101	0.091	2.493	0.286
	140	0.106	2.436	0.287
	201	0.121	2.431	0.293
SLV	475	0.162	2.418	0.299
SLC	975	0.206	2.403	0.312
	2475	0.271	2.455	0.320

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.489	0.263
SLD	50	0.074	2.467	0.273
	72	0.087	2.448	0.279
	101	0.102	2.406	0.280
	140	0.115	2.412	0.286
	201	0.131	2.419	0.289
SLV	475	0.181	2.374	0.295
SLC	975	0.228	2.385	0.298
	2475	0.302	2.425	0.317

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.062	2.465	0.264
SLD	50	0.079	2.427	0.272
	72	0.094	2.408	0.275
	101	0.108	2.401	0.279
	140	0.123	2.407	0.282
	201	0.142	2.400	0.286
SLV	475	0.195	2.379	0.291
SLC	975	0.246	2.383	0.306
	2475	0.328	2.434	0.320

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.491	0.263
SLD	50	0.074	2.467	0.273
	72	0.088	2.415	0.277
	101	0.102	2.416	0.279
	140	0.116	2.402	0.285
	201	0.133	2.401	0.287
SLV	475	0.182	2.376	0.294
SLC	975	0.231	2.377	0.309
	2475	0.307	2.432	0.319

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.493	0.263
SLD	50	0.072	2.474	0.273
SLV	475	0.175	2.395	0.296
SLC	975	0.221	2.391	0.308

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T1 – Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

## Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.019	0.023	0.065	0.088

kv	0.009	0.012	0.032	0.044
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.909	1.137	2.636	3.082
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.054	0.102	--
kv	--	0.027	0.051	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.909	1.137	2.636	3.082
Beta	--	0.470	0.380	--

### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.054	0.102	--
kv	--	0.027	0.051	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.909	1.137	2.636	3.082
Beta	--	0.470	0.380	--

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

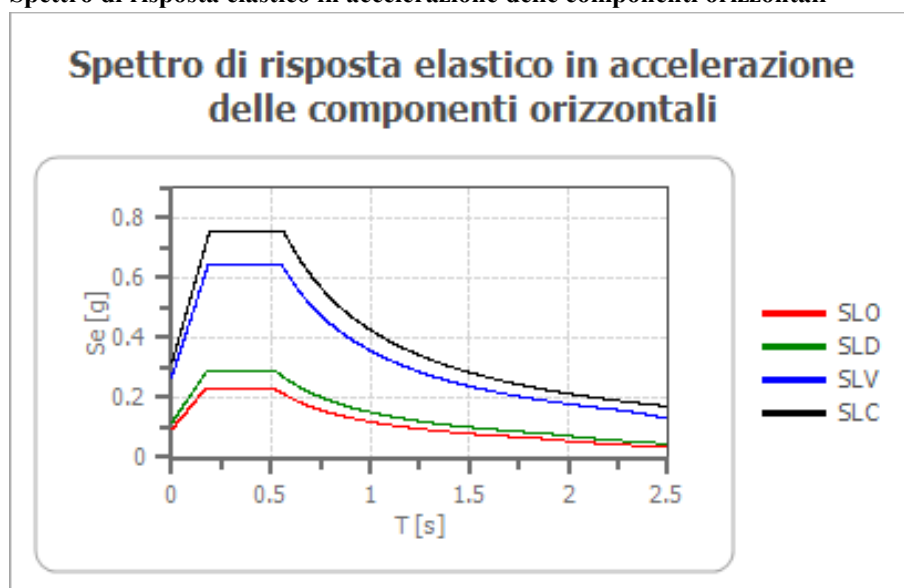
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.072	0.090	0.209	0.244
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.909	1.137	2.636	3.082
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.058	2.493	0.263	1.600	1.960	1.000	1.600	1.000	0.172	0.515	1.832	0.093	0.231
SLD	1.0	0.072	2.474	0.273	1.600	1.930	1.000	1.600	1.000	0.176	0.527	1.890	0.116	0.287
SLV	1.0	0.175	2.395	0.296	1.540	1.870	1.000	1.540	1.000	0.185	0.554	2.298	0.269	0.644
SLC	1.0	0.221	2.391	0.308	1.420	1.840	1.000	1.420	1.000	0.189	0.567	2.485	0.314	0.751

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

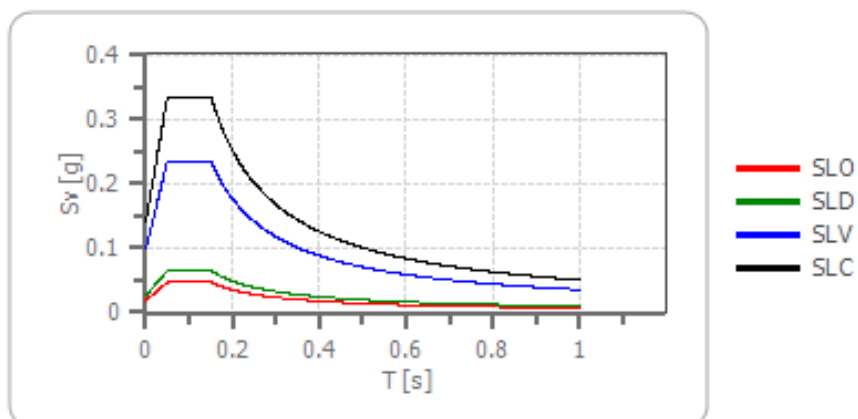
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.058	2.493	0.263	1	1.960	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.019	0.047
SLD	1.0	0.072	2.474	0.273	1	1.930	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.026	0.065
SLV	1.0	0.175	2.395	0.296	1	1.870	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.098	0.236
SLC	1.0	0.221	2.391	0.308	1	1.840	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.141	0.336

### Badia Tega

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	II	
Coefficiente d'uso (Cu):	1	
Periodo di riferimento (Vr):	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975	[anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	43.6628571	[°]
Longitudine (WGS84):	11.7438431	[°]
Latitudine (ED50):	43.6638145	[°]
Longitudine (ED50):	11.7448130	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	20509	43.671080	11.693060	4240.38
2	20510	43.672120	11.762150	1672.60
3	20732	43.622130	11.763580	4874.83
4	20731	43.621090	11.694530	6240.21

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.053	2.521	0.259
SLD	50	0.064	2.536	0.273

	72	0.074	2.532	0.280
	101	0.084	2.538	0.286
	140	0.094	2.533	0.291
	201	0.110	2.475	0.296
SLV	475	0.148	2.441	0.309
SLC	975	0.188	2.428	0.316
	2475	0.249	2.448	0.322

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.262
SLD	50	0.069	2.496	0.274
	72	0.079	2.512	0.280
	101	0.091	2.493	0.286
	140	0.106	2.436	0.287
	201	0.121	2.431	0.293
SLV	475	0.162	2.418	0.299
SLC	975	0.206	2.403	0.312
	2475	0.271	2.455	0.320

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.054	2.518	0.260
SLD	50	0.065	2.529	0.273
	72	0.075	2.530	0.280
	101	0.085	2.533	0.287
	140	0.095	2.532	0.291
	201	0.112	2.461	0.296
SLV	475	0.150	2.444	0.308
SLC	975	0.190	2.421	0.315
	2475	0.250	2.457	323

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.051	2.536	0.258
SLD	50	0.061	2.574	0.274
	72	0.070	2.559	0.281
	101	0.078	2.578	0.287
	140	0.088	2.566	0.294
	201	0.101	2.522	0.299
SLV	475	0.139	2.450	0.309
SLC	975	0.176	2.424	0.316
	2475	0.233	2.431	0.324

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.054	2.515	0.260
SLD	50	0.066	2.520	0.274
SLV	475	0.154	2.431	0.304
SLC	975	0.196	2.414	0.314

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000  
Categoria sottosuolo: E  
Categoria topografica: T2 – Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

## Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.021	0.026	0.071	0.083

kv	0.010	0.013	0.035	0.042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.022	1.250	2.885	3.408
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

#### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.060	0.112	--
kv	--	0.030	0.056	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.022	1.250	2.885	3.408
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.060	0.112	--
kv	--	0.030	0.056	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.022	1.250	2.885	3.408
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

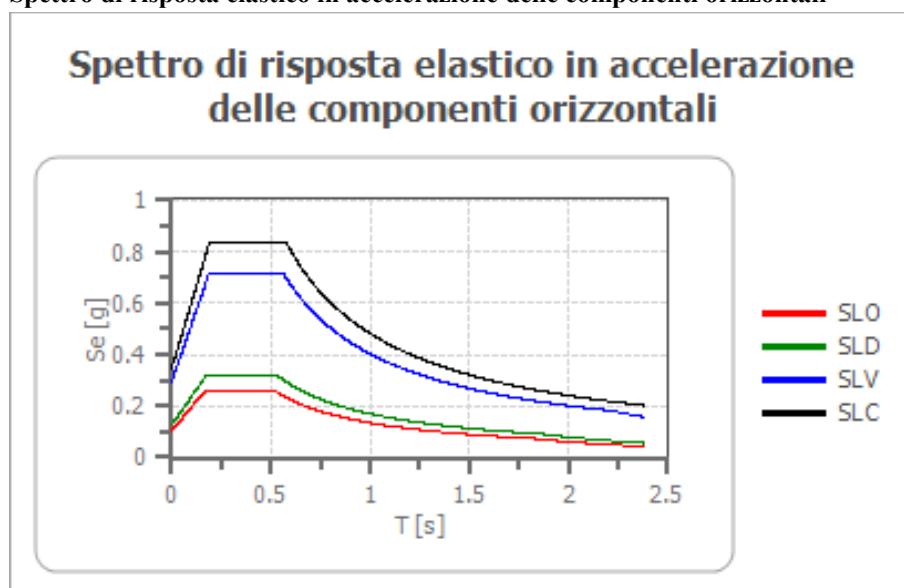
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.081	0.099	0.228	0.270
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.022	1.250	2.885	3.408
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.054	2.515	0.260	1.600	1.970	1.200	1.920	1.000	0.171	0.513	1.817	0.104	0.262
SLD	1.0	0.066	2.520	0.274	1.600	1.930	1.200	1.920	1.000	0.176	0.528	1.866	0.127	0.321
SLV	1.0	0.154	2.431	0.304	1.590	1.850	1.200	1.908	1.000	0.187	0.562	2.217	0.294	0.715
SLC	1.0	0.196	2.414	0.314	1.480	1.830	1.200	1.776	1.000	0.191	0.574	2.383	0.348	0.839

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

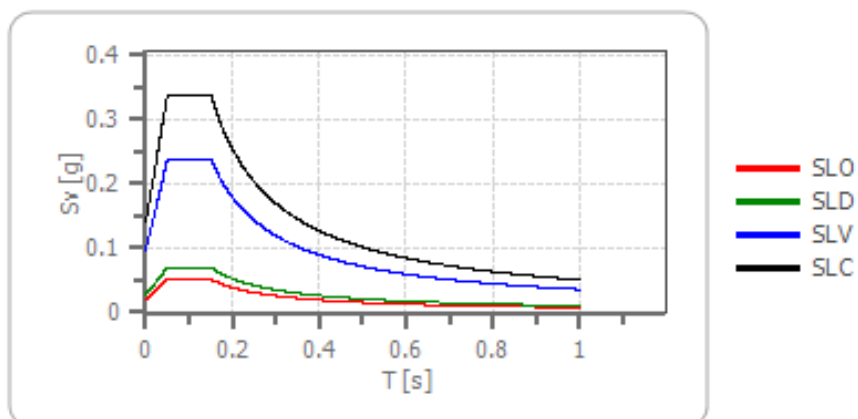
5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000



## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB	TC	TD	Se(0)	Se(TB)
		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]	[g]	[g]
SLO	1.0	0.054	2.515	0.260	1	1.970	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.020	0.052
SLD	1.0	0.066	2.520	0.274	1	1.930	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.070
SLV	1.0	0.154	2.431	0.304	1	1.850	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.098	0.238
SLC	1.0	0.196	2.414	0.314	1	1.830	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.140	0.338

### Villa

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	II	
Coefficiente d'uso (Cu):	1	
Periodo di riferimento (Vr):	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975	[anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	43.6720161	[°]
Longitudine (WGS84):	11.7494545	[°]
Latitudine (ED50):	43.6729698	[°]
Longitudine (ED50):	11.7504244	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)	Distanza
		[°]	[°]	[m]
1	20509	43.671080	11.693060	4618.45
2	20510	43.672120	11.762150	947.83
3	20288	43.722110	11.760750	5526.64
4	20287	43.721070	11.691580	7140.31

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr	ag	F0	Tc*
	[anni]	[g]	[-]	[s]
SLO	30	0.053	2.521	0.259
SLD	50	0.064	2.536	0.273

	72	0.074	2.532	0.280
	101	0.084	2.538	0.286
	140	0.094	2.533	0.291
	201	0.110	2.475	0.296
SLV	475	0.148	2.441	0.309
SLC	975	0.188	2.428	0.316
	2475	0.249	2.448	0.322

## Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.505	0.262
SLD	50	0.069	2.496	0.274
	72	0.079	2.512	0.280
	101	0.091	2.493	0.286
	140	0.106	2.436	0.287
	201	0.121	2.431	0.293
SLV	475	0.162	2.418	0.299
SLC	975	0.206	2.403	0.312
	2475	0.271	2.455	0.320

## Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.059	2.491	0.263
SLD	50	0.074	2.467	0.273
	72	0.088	2.415	0.277
	101	0.102	2.416	0.279
	140	0.116	2.402	0.285
	201	0.133	2.401	0.287
SLV	475	0.182	2.376	0.294
SLC	975	0.231	2.377	0.309
	2475	0.307	2.432	0.319

## Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.504	0.261
SLD	50	0.069	2.491	0.273
	72	0.080	2.507	0.280
	101	0.093	2.460	0.284
	140	0.108	2.416	0.286
	201	0.123	2.411	0.291
SLV	475	0.167	2.385	0.297
SLC	975	0.212	2.382	0.300
	2475	0.280	2.423	0.318

## Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.056	2.506	0.261
SLD	50	0.069	2.497	0.273
SLV	475	0.163	2.413	0.300
SLC	975	0.207	2.401	0.311

## PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000  
Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T2-Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

## Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.020	0.056	0.083

kv	0.008	0.010	0.028	0.042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.789	0.975	2.301	2.921
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

#### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.047	0.089	--
kv	--	0.023	0.045	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.789	0.975	2.301	2.921
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.047	0.089	--
kv	--	0.023	0.045	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.789	0.975	2.301	2.921
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

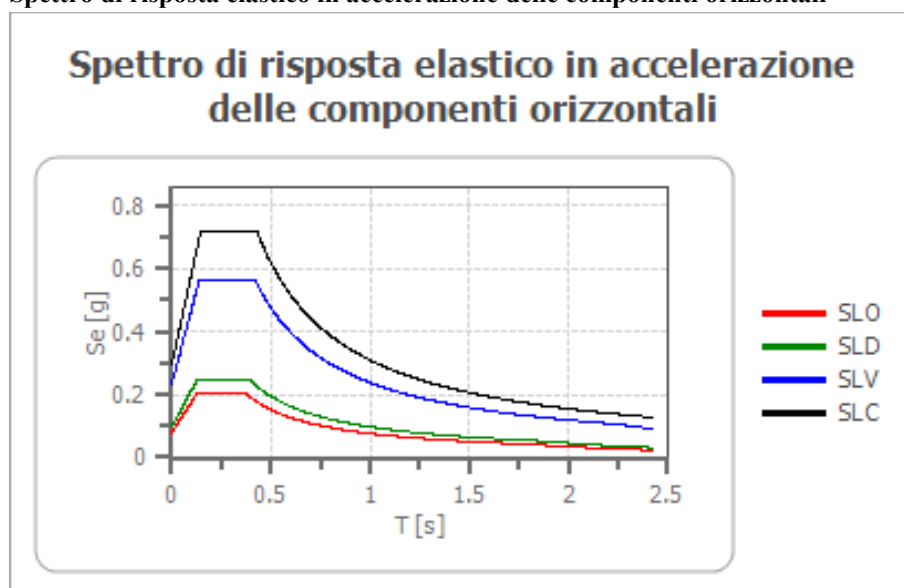
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.062	0.077	0.182	0.231
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.789	0.975	2.301	2.921
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.056	2.506	0.261	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.125	0.376	1.823	0.080	0.202
SLD	1.0	0.069	2.497	0.273	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.130	0.391	1.876	0.099	0.248
SLV	1.0	0.163	2.413	0.300	1.200	1.400	1.200	1.440	1.000	0.140	0.420	2.252	0.235	0.566
SLC	1.0	0.207	2.401	0.311	1.200	1.390	1.200	1.440	1.000	0.144	0.432	2.427	0.298	0.715

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

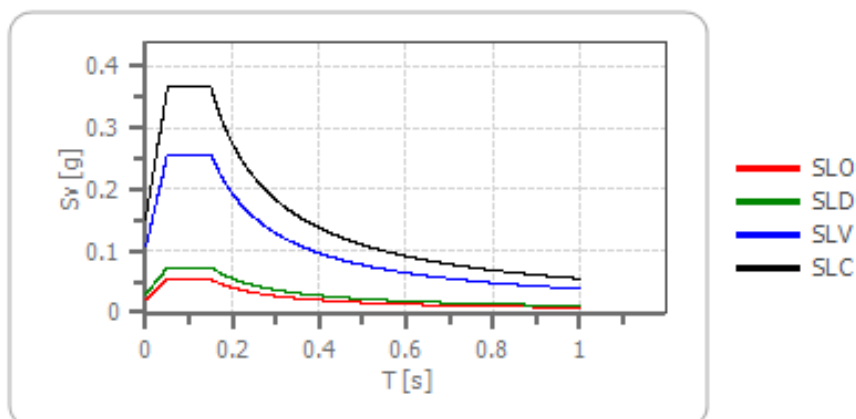
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.056	2.506	0.261	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.021	0.054
SLD	1.0	0.069	2.497	0.273	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.029	0.073
SLV	1.0	0.163	2.413	0.300	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.107	0.257
SLC	1.0	0.207	2.401	0.311	1	1.390	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.152	0.366

## 2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'

I siti in cui si possa prevedere la realizzazione di edifici e/o manufatti dovranno risultare stabili per quanto concerne fenomeni di liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni non coesivi saturi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

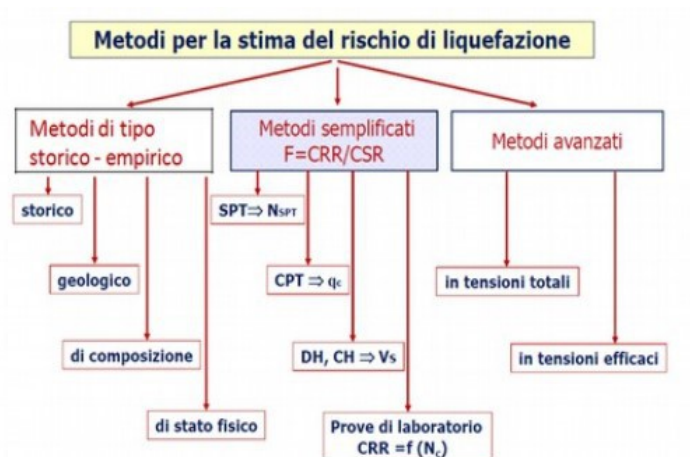
Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni, incrementi indotti nei pali.

Secondo le NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Relativamente ai terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione presenti nel territorio comunale di Ortignano Raggiolo, le zone di Raggiolo, Ortignano alto, Badia Tega e Villa sono ubicate in area montana per cui le indagini raccolte nell'ambito degli studi di microzonazione di livello 1, escludono il verificarsi del fenomeno di liquefazione per la mancanza del requisito litologico, in quanto i depositi presenti mostrano granulometrie non soggette a liquefazione.

Nell'area di San Piero in Frassino e in quella di Ortignano, le caratteristiche granulometriche evidenziate dai sondaggi consistono in materiali ben classati con predominanza di ghiaie e ciottoli, da cui si presume che i terreni analizzati abbiano scarsa suscettibilità alla liquefazione.

Tutti i depositi di natura alluvionale presentano una natura granulometrica simile a quella rilevata nei sondaggi geognostici, e per questo si presume una bassa suscettibilità alla liquefazione.

Sebbene le analisi dei dati esistenti denotano la presenza di materiali con un'ampia distribuzione granulometrica e presenza di materiali a granulometria grossolana e/o di buone percentuali di frazioni fini; tuttavia non si può escludere che localmente in aree non interessate dalle indagini che costituiscono il quadro conoscitivo del presente lavoro sussistano condizioni predisponenti al fenomeno.

Pertanto, in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o in loro assenza in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovrà comunque essere verificata la stabilità nei confronti della liquefazione secondo il paragrafo 7.11.3.4 delle NTC18.

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Le aree di studio sono inserite nel territorio del Comune di Ortignano Raggiolo (Provincia di Arezzo), che si sviluppa su di una superficie di 36,3 kmq.

Il territorio del Comune di Ortignano Raggiolo si colloca nella porzione nord-occidentale della Provincia di Arezzo, e confina a nord-ovest con il Comune di Castel San Niccolò, a nord/nord-est (e per una limitato settore anche nella porzione di sud-est) con il Comune di Poppi, ad est con il Comune di Bibbiena, a sud con il Comune di Castel Focognano e, infine, a sud-ovest con il Comune di Loro Ciuffenna.



*Ubicazione del Comune di Ortignano Raggiolo all'interno della Provincia di Arezzo*

Per quanto riguarda le viabilità di collegamento, il territorio comunale è collegato al Capoluogo di Arezzo mediante la S.R. n. 71 Umbro-Casentinese-Romagnola, che viene raggiunta mediante la S.P. n. 64 Ortignano Raggiolo, che rappresenta la più importante rete viaria del Comune e che risponde attualmente bene alle necessità di questo territorio.

Nell'interezza, le caratteristiche di utilizzo del suolo sono prevalentemente di tipo agricolo o boschivo ad esclusione del settore di fondovalle, presso l'abitato di Ortignano, dove nella pianura alluvionale si è sviluppata l'attività industriale con la realizzazione di alcune lottizzazioni artigianali.

Altimetricamente si presenta un dislivello di circa 1.205 metri compresi tra un minimo di ca. 320 m s.l.m. nei pressi del confine orientale del Comune, lungo il corso del Fiume Arno, in corrispondenza della confluenza del Torrente Teggina, poco a sud della località Podere Toppoli, ed un massimo di circa 1.525 m s.l.m. presso i rilievi del Pratomagno.

Dal punto di vista morfologico si tratta, quindi, di un paesaggio prevalentemente da collinare a montano con andamento relativamente omogeneo in cui le sommità dei rilievi sono distribuite in corrispondenza della dorsale del Pratomagno con un range medio di quote compreso fra 900 e 1.500 m s.l.m.. Queste spostandosi verso est passano ad un paesaggio prevalentemente collinare ed alto-collinare con rilievi talora anche con buona acclività

a quote comprese fra 500 e 700 m s.l.m., che discendono fino al fondo valle caratterizzato dal corso del Fiume Arno.

In particolare il territorio comunale di Ortignano Raggiolo fa parte dell'unità geografica del bacino del Casentino, compreso tra il fondo valle del Fiume Arno e i rilievi della catena del Pratomagno che ne definiscono il territorio nella porzione occidentale.

Il paesaggio presenta una forte variabilità dei caratteri morfologici strettamente legati alla natura dei terreni.

In linea generale si possono distinguere tre grandi unità morfologico/paesaggistiche, molto diverse tra loro, anche se ciascuna con caratteri omogenei.

La prima comprende le aree di pianura alluvionale, mentre le altre corrispondono a due grandi fasce, rispettivamente collinare e montuosa.

La tipologia principale di paesaggio è quella medio/alto collinare e quella montana, più aspra, a cui la precedente fa da transizione. In questi settori vi si distinguono areali prevalentemente caratterizzati da morfologia collinare relativamente aspra con modesti rilievi che raggiungono quote comprese tra i 500-700 m s.l.m., con versanti a notevole acclività alternati a dorsali a pendici ripide, non particolarmente larghe e ondulate e, spostandosi verso est paesaggi dove spiccano i rilievi montuosi che possono raggiungere quote attorno ai 1.200 - 1.650 m s.l.m..

Per quanto riguarda l'ambiente di piana alluvionale, questo è principalmente diffuso in corrispondenza del corso d'acqua maggiore, il Fiume Arno, e dei suoi affluenti principali, tra cui si ricorda il Torrente Teggina.

L'assetto morfologico è strettamente connesso con la natura geologica dei terreni affioranti e in stretta correlazione con la costituzione geologica e le caratteristiche pedologiche dell'area.

Questa zona è caratterizzata principalmente da terreni con litologie arenacee, calcareo marnose e calcarenitiche con intercalazioni siltitico-marnose e argillitiche in vario rapporto di prevalenza tra loro. Le sequenze prevalentemente arenacee, calcaree e calcarenitiche presentano delle chiare connotazioni di resistenza e competenza, decisamente superiori rispetto alle siltitico-marnose e argillitiche, riuscendo a mantenere acclività più elevate e determinando una maggiore energia del rilievo.

Inoltre la presenza di suoli diversi, come evidenziato dalla costituzione geologica, determina variazioni anche nella concentrazione ed intensità dell'erosione e si riflette in parte sul tipo di vegetazione presente ed in parte sulla possibilità di uso agricolo.

Le pendenze che caratterizzano mediamente queste aree sono quasi sempre medio-elevate, comprese tra il 20-30%.

Il fondovalle del Fiume Arno e dei suoi affluenti maggiori, è caratterizzato da pianure alluvionali relativamente strette, formate in gran parte da terrazzi fluviali. Si tratta di aree antropizzate, in ciò favorite dalla morfologia pianeggiante e dalla presenza dei corsi d'acqua che, fin dall'antichità, hanno rappresentato le principali direttrici di traffico.

Subito a monte delle aree alluvionali si ha una fascia a morfologia prevalentemente collinare, con forme tondeggianti e pendenze contenute, in cui si è sviluppato un reticolo idrografico ramificato, afferente al Fiume Arno e ai suoi principali affluenti.

Infine le porzioni occidentali, settentrionali e meridionali del territorio comunale sono costituite da forme morfologiche con pendenze più accentate poste in corrispondenza dei settori di maggior rilievo del montuoso,

caratterizzato da vegetazione a bosco ceduo e da un substrato geologico costituito principalmente da rocce di natura arenacea.

Riguardo l'aspetto idrografico, come detto, il principale corso d'acqua è il Fiume Arno che defluisce con andamento circa nord-sud, definendo il confine orientale del territorio comunale.

Altro corso d'acqua di rilievo è il Torrente Teggina, affluente di destra idraulica del Fiume Arno, che nasce nei rilievi del Pratomagno e scorre con andamento quasi ovest/est interessando l'intero territorio comunale, andando poi a confluire nel corso del Fiume Arno. Sulle sue sponde sorgono gli abitati di Raggiolo, Ortignano e San Piero a Frassino.

Il regime dei corsi d'acqua che interessano l'ambito comunale risulta di tipo torrentizio. Si hanno notevoli portate durante la stagione piovosa ed in occasione di intense precipitazioni, mentre durante la stagione estiva le portate si riducono notevolmente fino a mostrare in taluni casi condizioni di completa assenza d'acqua.

### **3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE**

Il territorio comunale di Ortignano Raggiolo risulta caratterizzato dalla presenza di terreni appartenenti a unità diverse che sono stati coinvolti in movimenti di sovrascorrimento legati alla orogenesi appenninica.

Da un punto di vista geologico appartiene alla fascia centrale della catena orogenetica dell'Appennino settentrionale, parte integrante della fascia di deformazione perimediterranea sviluppatesi prevalentemente in tempi neogenici e costituita da una struttura complessa di falde e thrust formatasi in relazione a più fasi tettoniche. Queste sono legate agli eventi verificatisi a partire dal Cretaceo superiore in seguito alla completa chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese ed alla successiva collisione continentale tra la placca europea e quella adriatica.

In tale contesto si distinguono una fase oceanica ed una fase ensialica. La fase oceanica inizia al limite tra il Cretaceo inferiore ed il Cretaceo superiore, e termina nell'Eocene medio con la completa chiusura dell'Oceano Ligure-Piemontese. Durante questa fase si forma un prisma d'accrescimento costruito dall'impilamento per sottoscorrimento verso W delle coperture oceaniche e di parte del loro basamento, che andranno così a costituire le cosiddette Unità Liguri. Segue, nell'Eocene medio-superiore la collisione tra il margine continentale europeo (Sardo-corso) e quello adriatico che dà inizio alla fase intracontinentale dell'orogenesi appenninica. In questa fase si ha lo sviluppo di una tettonica a thrust e falde con sottoscorrimento verso W dell'Unità Toscane, prima, e di quelle Umbro-marchigiane poi, sotto le unità precedentemente impilate. Fenomeni gravitativi e di retroscorrimento, anche importanti, accompagnano in superficie questa strutturazione crostale. In questa fase il fronte compressivo, che migra verso E, è seguito, a partire dal Miocene medio, da un fronte distensivo, legato alla distensione crostale che ha portato all'apertura del Bacino Tirrenico. Attualmente i due regimi tettonici diversi coesistono in due fasce contigue della catena: nel versante tirrenico è attivo il regime distensivo, in quello adriatico quello compressivo.

Da un punto di vista regionale questa complessa storia tettonica ha portato prima (Cretaceo superiore-Eocene) allo sradicamento delle Unità Liguri dal loro substrato oceanico e al loro impilamento su loro stesse secondo un ordine tettonico-geometrico che vede in alto le unità più interne e in basso le più esterne, tra cui ricordiamo l'Unità di Monte Morello. Tutto questo complesso di Unità Liguri sovrasta tettonicamente l'Unità di Canetolo



(Eocene-Oligocene) attribuita a una zona di transizione con il margine continentale adriatico. Successivamente, dopo la messa in posto della Falda Toscana (Dominio Toscano interno), avvenuta nel Miocene medio-superiore, sopra la più esterna Unità Cervarola-Falterona, le Unità Liguri si sono rimosse, per mettersi in posto prima sopra la Falda Toscana, e poi sopra l'Unità di M. Cervarola già sovrascorsa verso E (Tortoniano) sulla Marnoso arenacea del Dominio Umbro-Marchigiano.

Successivamente alla loro prima messa in posto, i principali accavallamenti sono stati rimobilizzati e riattivati secondo sovrascorrimenti minori interni alle varie unità, dando localmente geometrie molto complesse con sovrascorrimenti precedentemente tagliati e ripiegati da quelli successivi. Tali fasi compressive sono riferibili principalmente al Messiniano, al Pliocene inferiore e nei settori più esterni al Pliocene superiore.

Nel frattempo erano cominciati nelle aree più occidentali i movimenti disgiuntivi che hanno portato, attraverso una serie di faglie normali principali immergenti verso W, allo smembramento della catena a falde, precedentemente costituita, con lo sviluppo di depressioni tettoniche a semi graben (bacini intermontani) sempre più giovani da W verso E, tra cui ricordiamo il bacino del Valdarno superiore, sviluppatosi a partire dal Pliocene superiore, e i bacini di Firenze-Pistoia, del Mugello e del Casentino, attivi dal Pleistocene inferiore.

Infatti, alla fine del Miocene, dopo che le spinte orogenetiche che avevano costituito la catena appenninica si erano attenuate o spente, si instaurò una tettonica distensiva caratterizzata da grandi faglie normali orientate in direzione NW-SE e NNW-SSE, che crearono numerosi bacini strutturali, allungati appunto in tali direzioni.

In alcuni di tali bacini si crearono degli ambienti fluvio-lacustri, con deposizione dei relativi sedimenti.

Questi bacini estensionali sono stati interessati anche da vari eventi compressivi, che si sarebbero alternati alla prevalente tettonica estensionale. Vi sono ancora indeterminazioni nel definire queste pulsazioni, se siano da mettere in relazione con generali shock compressivi dell'intera catena appenninica, oppure se siano legate a costipamento laterale causato da repentini approfondimenti dei bacini in concomitanza con pulsazioni estensive maggiormente pronunciate legate alle maggiori compressioni nella zona esterna della catena.

Dal punto di vista geologico, stratigrafico e strutturale il territorio si può dividere quindi, in maniera schematica, in una zona occidentale e centrale con la presenza di terreni appartenenti alle formazioni torbiditiche arenacee del Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola) e in una zona orientale dove alle precedenti si sostituiscono i termini flyschoidi da calcareo marnosi ad argillitico marnosi e calcarenitici appartenenti al Dominio Ligure (Unità di Monte Morello).

Le rocce più antiche affioranti nell'area in esame sono quelle appartenenti alle unità del Dominio Ligure, in particolare alle formazioni cretacico-eoceniche del Dominio Ligure Esterno (Unità di Monte Morello), che giacciono in discordanza sui depositi torbiditici oligo-miocenici del Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola), a seguito del sovrascorrimento e sovrapposizione in età miocenica (medio-superiore) delle Unità Liguri sui terreni appartenenti al Dominio Toscano.

In particolare, nel settore di interesse le formazioni cretacico-eoceniche dell'Unità di Monte Morello sono composte principalmente dalla Formazione di Sillano, costituita dall'alternanza di prevalenti argilliti, calcilutiti, marne calcaree e argillitiche e livelli arenacei e calcarenitici, e dalla Formazione di Monte Morello, flysch carbonatico costituito da prevalenti calcari marnosi, calcari micritici, marne e subordinati livelli argillitici.

Per quanto riguarda le formazioni torbiditiche oligo-mioceniche del Dominio Toscano, affiorano alcune litofacies della formazione delle Arenarie del M. Falterona.

La sequenza stratigrafica torbiditica del Dominio Toscano presenta l'alternarsi di depositi torbiditici prevalentemente arenaceo pelitici e di depositi emipelagici formati da marne e peliti talora silicizzate alternate a sottili livelli arenitici.

In particolare i rapporti stratigrafici di queste formazioni sono definiti dalla sequenza basale marnoso-argilloso-calcareo, essenzialmente paleogenica, alla quale fa seguito una formazione torbiditica, prevalentemente arenacea grossolana che passa verso l'alto con gradualità ad un'altra formazione torbiditica caratterizzata da strati arenaceo-siltitici sottili con abbondante porzione siltoso-marnosa. La successione è chiusa da sedimenti essenzialmente marnosi.

Nel complesso le Unità del Dominio Toscano sono riducibili ad una sequenza completa di cuneo clastico di avanssola, poi tettonicamente sradicata a livello delle argilliti basali.

In vari settori alle suddette formazioni si sovrappongono i terreni recenti di copertura costituiti dai depositi eluvio-colluviali, dai depositi detritici di versante, dalle alluvioni recenti e dai depositi alluvionali attuali.

In particolare il settore in esame è caratterizzato principalmente dalla presenza di depositi eluvio-colluviali, costituiti da materiale con elementi eterometrici prevalentemente fini in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti da trasporto per ruscellamento e di depositi detritici di versante e di frana, costituiti da accumuli di materiale litoide eterometrico.

Inoltre nei settori vallivi si riscontrano i depositi alluvionali recenti e attuali, costituiti da ciottolami in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto a matrice sostenuta, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati. I depositi alluvionali sono presenti in maniera diffusa lungo i corsi d'acqua principali.

In corrispondenza dei settori urbanizzati si ha la presenza di terreni antropici di riporto.

Strutturalmente, il motivo dominante dell'area è quindi l'accavallamento tra l'Unità Tettonica Ligure e l'Unità Tettonica Toscana, che si esplica attraverso alcune strutture tettoniche, con direzione circa appenninica, ben seguibili dai settori meridionali (in particolare SE) fino a quelli settentrionali nella porzione centro-orientale del territorio comunale.

Naturalmente gli accavallamenti non si esplicano solamente in un piano di faglia ma attraverso una serie di strutture, più o meno parallele tra loro, che presentano medesime caratteristiche.

Da un punto di vista tettonico-strutturale, il quadro che caratterizza quest'area mostra una storia complessa e coerente con gli eventi tettonici che hanno strutturato l'edificio a falde dell'Appennino Settentrionale.

Infatti le formazioni affioranti nel territorio in esame appartengono a diverse Unità tettoniche giustapposte o sovrapposte secondo una dinamica orientata principalmente E-NE.

Nel complesso, tettonicamente la zona ha subito due fasi tettoniche distinte, una compressiva, più antica, che ha prodotto numerose faglie inverse, ed una fase più recente, a carattere distensivo, che ha creato nuovi elementi strutturali, talora ad andamento anti-appenninico ed ha riattivato come normali alcune delle precedenti strutture a carattere inverso.

Per quanto riguarda la tettonica rigida sono presenti strutture di taglio ad andamento sia appenninico che antiappenninico.

Si nota la prevalenza di due principali famiglie di lineazioni orientate rispettivamente WNW-ESE e SSW-NNE.

Le strutture appartenenti alla prima famiglia sono di direzione appenninica e sono riconducibili ad eventi tettonici sia in regime compressivo (faglie inverse e sovrascorrimenti), che a successivi regimi distensivi che

hanno portato alla formazione di nuove strutture a carattere normale e la riattivazione in senso diretto di precedenti strutture inverse.

Per quanto riguarda le strutture appartenenti alla seconda famiglia queste sono definite di tipo antiappenninico e sono rappresentate principalmente da faglie normali che risultano geneticamente legate alle vicende distensive neogeniche.

I terreni oggetto di studio appartengono pertanto, per la quasi totalità, ad eccezione dei depositi di copertura, alle formazioni del substrato cretaceo-cenozoico e le suddivisioni litostratigrafiche o allostratigrafiche che sono proposte in letteratura permettono di avere un quadro completo ed esaustivo dei caratteri litologici e sedimentologici, nonché del significato paleo-ambientale della successione in esame.

### **3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI**

In dettaglio, nell'area del Comune di Ortignano Raggiolo, si ritrova, dall'alto verso il basso stratigrafico e con nomenclatura congruente con il Progetto CARG (Cartografia Geologica Regione Toscana) e con il Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana:

#### **DEPOSITI ANTROPICI**

Sono terreni di origine antropica (h) individuati nelle aree urbane dei centri abitati.

#### **DEPOSITI QUATERNARI**

- coltri detritiche di frana (cf) (*Olocene*)
- depositi di versante (dt) (*Olocene*)
- depositi alluvionali attivi (ba) (*Olocene*)
- depositi alluvionali inattivi (bi) (*Olocene*)
- depositi eluvio-colluviali (d) (*Olocene*)

I depositi alluvionali attivi (ba) sono i depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione, attraverso processi fluviali ordinari, costituiti da sabbie, limi e ghiaie e da depositi prevalentemente limoso sabbiosi nel caso delle piane alluvionali minori.

I depositi alluvionali inattivi (bi), recenti, terrazzati o non terrazzati, sono riconducibili a depositi di piana alluvionale, costituiti prevalentemente da ciottolati in matrice limoso-sabbiosa, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati.

Le coltri detritiche di frana (cf) e i depositi detritici di versante (dt) sono costituiti da elementi eterometrici prevalentemente grossolani, dispersi in matrice sabbiosa e sabbioso limosa e si trovano accumulati per gravità lungo i versanti o ai piedi di scarpate. Nella prima categoria si inseriscono tutte quelle masse detritiche che presentano caratteristiche di caoticità e disarticolazione, ancora ben riconoscibili sul terreno e dove gli accumuli dovuti a frane recenti interessano aree sulle quali è possibile una ripresa del movimento per la presenza di materiali sciolti, per l'assenza della vegetazione e per la sovente presenza di pendenze elevate. Nella seconda sono inseriti gli accumuli che non derivano da movimenti franosi a grande scala, come per esempio gli accumuli di versante, presenti in zone dove le pendenze e la litologia affiorante danno luogo a locali crolli. Tale gruppo è rappresentato anche dai detriti superficiali, accumulati alla base delle pendici per effetto del ruscellamento

diffuso, favorito dal denudamento, in genere dovuto ad attività antropica (pratiche agricole o aree recentemente disboscate).

I depositi eluvio-colluviali (d) sono costituiti da elementi eterometrici a granulometria minore del detrito di versante, in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità.

Il substrato litoide del territorio intercomunale è costituito dalle formazioni litoidi riconducibili ai seguenti domini e successioni:

- Dominio Ligure Esterno (Unità di Monte Morello);
- Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola).

### **DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' DI MONTE MORELLO**

#### **- Formazione di Monte Morello (MLL) (*Paleocene Superiore – Eocene Medio*)**

Si tratta di una formazione torbiditica costituita dall'alternanza dei seguenti litotipi:

- Calcari marnosi compatti, bianchi o giallognoli a frattura concoide in strati di spessore variabile da pochi centimetri a qualche metro.
- Marne calcaree e marne granulari gialle o grigie con caratteristica sfaldatura "a saponetta" anch'esse in strati di spessore variabile da una decina di centimetri ad oltre dieci metri.
- Calcareni fini grigio chiare, marroni se alterate, in strati di spessore inferiore al mezzo metro. Localmente, associate a queste, si rinvencono calciruditi, anche grossolane di color grigio chiaro.
- Arenarie grigie, marroni per alterazione, di solito in strati di spessore dai dieci ai quindici centimetri, ricche di calcare (più del 50%) e quarzo. In genere sono associate alle argilliti ed hanno le stesse strutture sedimentarie delle calcareniti.
- Argilliti grigio-scure a sfaldatura lamellare o scagliosa. Solitamente si presentano in strati piuttosto sottili alternate ai calcari; localmente possono raggiungere spessori di qualche metro.

Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Localmente sono presenti liste di selce nera.

In generale i calcari marnosi e le marne calcaree costituiscono circa l'80% dell'intera formazione e inoltre è possibile definire che le intercalazioni di materiale arenaceo e /o argillitico diminuiscono di spessore salendo nella sequenza; comunque da zona a zona si possono notare differenti anche se lievi ma interessanti.

Il passaggio alla sottostante Formazione di Sillano avviene in modo brusco con la comparsa di argilliti nere e brune. La natura di tale passaggio è incerta: in vari casi potrebbe essere stratigrafica ma in altri la netta discordanza angolare tra le due formazioni e la presenza di un certo grado di tettonizzazione nella Formazione di Sillano farebbe supporre una natura tettonica.

#### **- Formazione di Sillano (SIL) (*Cretaceo Superiore – Paleocene*)**

Argilliti e siltiti fogliettate, scure (grigie o nerastre) o variegata (rosse, marroni e verdastre), alternate o con intercalazioni di strati calcilutitici, talora silicee, marnosi, calcarenitici e calcareo-marnosi torbiditici a grana fine, talora litografici, da sottili a molto spessi, di colore nocciola o giallastri all'alterazione, grigio chiari al taglio, talvolta con patina verdastra. Frequenti strati gradati calcarenitici (tipo "Pietraforte") da medio-fini a

grossolane grigio-scuri, marroni all'alterazione. I livelli calcarei si presentano spesso con fatturazione ad incudine.

Nella facies più comune le argilliti sono prevalenti e inglobano strati, in genere sottili, degli altri tipi litologici.

All'interno della Formazione di Sillano si rinviene una litofacies calcarea (SILa) costituita da livelli calcilutitici e argillitici color grigio e livelli di brecciole con clasti di calcari micritici, argillitici e di rocce verdi.

Altre facies abbastanza diffuse sono formate da una maggiore quantità di arenarie, fittamente interstratificate con argilliti grigie con o senza rare intercalazioni di calcari marnosi e marne.

Può, inoltre, presentare variazioni laterali di litologia con aumento della componente argillitica, oppure aumento, fino alla prevalenza, della componente arenacea (con passaggio alla "Pietraforte").

Localmente sono presenti impregnazioni nerastre di ossidi di manganese.

La Formazione di Sillano rappresenta la base della Formazione di Monte Morello; data però la condizione tettonica generale, in certe aree può risultare ridotta in spessore o non essere presente al di sotto di quest'ultima. Il passaggio alla superiore Formazione di Monte Morello può presentarsi sia brusco oppure graduale mediante alternanza.

La porzione basale è solitamente caoticizzata ed i termini litoidi si ritrovano spezzettati e immersi in una massa argillitica.

Data la natura prevalentemente argillitica di questa formazione, la deformazione tettonica è spesso assai intensa, rendendo talvolta mal calcolabile lo spessore originario, anche a causa di probabili raddoppi tettonici interni.

## **DOMINIO TOSCANO – UNITA' DI M. CERVAROLA**

- Arenarie del Falterona; Membro di Camaldoli (FAL2) (*Aquitaniense – Burdigaliano*)

Arenarie grigio chiare e grigio verdi in strati dello spessore di 0.5-2 metri e peliti subordinate.  $2 < A/P < 10$ .

Le arenarie sono sempre molto grossolane e con quasi totale assenza di componenti carbonatici (né clasti, né cemento); si presentano in pacchi di 7-10 strati di arenaria con assenza di pelite, alternati a livelli dello spessore di un paio di metri di siltiti e argilliti scure con poche marne.

Sono presenti livelli calcarenitici e marnosi in strati da medi a spessi.

- Arenarie del Falterona; Membro di Montalto (FAL3) (*Aquitaniense – Burdigaliano*)

Arenarie, marne, argilliti e siltiti con  $1/4 < A/P < 2$ . Stratificazione da molto sottile a molto spessa, talora in banchi. Si alternano pacchi decametrici di strati sottili con peliti prevalenti a banchi o strati molto spessi ravvicinati. Sono presenti, specialmente verso la base, numerosi livelli calcarenitici, in strati da medi a molto spessi; mentre nella parte alta del membro sono prevalenti le peliti con rari banchi arenacei. Sono presenti numerosi livelli torbiditici calcarei slump. All'interno è stato riconosciuto un livello guida calcarenitico di spessore metrico (Livello Arno-ar).

## **3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE**

L'indagine geomorfologica si propone, attraverso un'analisi delle forme del paesaggio, di individuare i processi morfogenetici che agiscono nell'area e che nel loro insieme costituiscono la dinamica morfologica.

Senza dubbio questa caratterizzazione fornisce un'ampia gamma di informazioni (dagli aspetti puramente fisici all'assetto delle forme naturali ed antropiche), ma nell'ambito della pianificazione territoriale lo scopo da perseguire è quello di valutare i processi di maggiore rilievo e la loro influenza sull'ambiente.

E' importante sottolineare che dalla lettura geomorfologia del territorio si devono ricavare non solo le informazioni sulle situazioni di degrado in atto, ma anche le correlazioni fra i vari elementi del paesaggio, che consentono di prevedere le dinamiche evolutive dell'ambiente.

La potenzialità previsionale geomorfologica deve venire usata e sviluppata nel modo più opportuno per ottenere una migliore gestione del territorio.

Lo studio geomorfologico del territorio, infatti, fornisce una grande quantità di informazioni utili per valutare lo stato della dinamica morfologica dell'area e per prevedere la sua evoluzione nel periodo immediatamente successivo allo studio stesso.

Le notazioni geomorfologiche sono state rilevate in base ad osservazioni stereoscopiche di aerofotogrammi diacronici relativi a differenti voli eseguiti in periodi successivi a partire dal 1982, congiuntamente all'analisi critica dei documenti presenti per l'area di interesse, la comparazione tra dati provenienti da diverse fonti e in base alla verifica puntuale mediante il rilevamento sul campo.

I documenti presi in esame consistono nelle cartografie del piano strutturale vigente al momento dei rilievi, i dati geomorfologici forniti dal Servizio Geologico – ISPRA, la banca dati frane ed i dati geomorfologici della Regione Toscana (BD\_Frane, BD\_Geom), la banca dati frane ISPRA (Progetto IFFI) e i dati relativi al “Censimento delle aree in dissesto da frana” allestita dalla Autorità di Bacino del F. Arno.

Le notazioni ricavate dalla fotointerpretazione e dall'analisi critica dei dati bibliografici sono state verificate in campagna ed integrate a mezzo rilevamento geomorfologico.

Prima di passare all'analisi dei processi morfogenetici ed alle relative forme, è opportuno specificare la distinzione che è stata adottata in cartografia per quanto riguarda le forme attive e quiescenti e le forme inattive. E' da sottolineare che la chiave interpretativa adottata è stata scelta in base agli obiettivi da raggiungere, ossia ottenere uno strumento valido per valutare lo stato del territorio ed individuare dove intervenire per risanare o prevenire eventuali dissesti e dove, invece, prevedere nuove espansioni urbanistiche.

Per **fenomeni attivi** si intendono quelli in continua evoluzione, le cui dinamiche e modificazioni possono essere registrate in breve intervallo temporale; si tratta quindi di fenomeni che non hanno raggiunto condizioni di equilibrio. Questi possono alternare periodi di massima dinamica a periodi di inattività temporanea generalmente legati al ciclo stagionale. Si citano ad esempio l'azione erosiva delle acque incanalate, oppure fenomeni legati alla dinamica gravitativa sui versanti del tipo "soliflusso", che mostrano diversa velocità nei vari periodi dell'anno.

Le **forme "quiescenti"** sono quelle la cui evoluzione non è legata al ciclo stagionale, ma si sviluppa secondo tempi di ricorrenza più lunghi. Infatti tali fenomenologie, pur non avendo raggiunto una situazione di equilibrio o stabilità, possono rimanere temporaneamente inattive anche per lunghi periodi come nel caso delle “paleofrane con tracce di instabilità”. Gran parte di tali frane non ha subito sostanziali evoluzioni negli ultimi anni, ma è facilmente prevedibile che riverificandosi eventi meteorici con precipitazioni superiori alla media, si possano verificare riprese nell'attività dinamica di tali dissesti. Tali forme, durante il periodo di inattività, mostrano comunque indicatori tali da far ritenere una più o meno prossima ripresa del movimento.

Le **forme "inattive"** comprendono quelle fenomenologie che hanno raggiunto uno stato di equilibrio tale da far ritenere improbabili nuove evoluzioni in senso dinamico. Per tali forme non è quindi più attivo il processo morfogenetico che le ha innescate, né esistono indizi tali da far prevedere una successiva dinamica evolutiva, se non in seguito all'insorgere di nuovi fattori scatenanti.

Sulla carta geologico tecnica sono stati riportati tutti quei fenomeni geomorfologici che possono avere una particolare importanza ai fini dell'analisi della stabilità delle aree in esame e della valutazione degli effetti della risposta sismica locale.

In particolare sono state individuate:

- *forme, processi e depositi gravitativi di versante;*
- *forme, processi e depositi per acque correnti superficiali;*
- *forme, processi e depositi antropici e manufatti.*

Le principali forme di pendio comprendono le superfici e le scarpate di origine strutturale o litologica, le scarpate di degradazione, i ruscellamenti diffusi, i movimenti franosi, distinti ove possibile nelle varie parti che li compongono (nicchia di distacco, corpo della frana e zona di accumulo) ed i movimenti di massa generalizzati.

Si procede ad una breve descrizione sistematica.

#### **Forme, processi e depositi gravitativi di versante**

##### **Movimenti franosi**

Sono stati suddivisi nelle parti che li compongono: nicchia di distacco/coronamento di frana/scarpata di frana, corpo della frana, zona d'accumulo. La nicchia di distacco o corona di frana, di facile individuazione in carta perché caratterizzata quasi sempre da una forma arcuata, separa a monte del fenomeno la massa in frana da quella stabile con esposizione del substrato; il corpo della frana è costituito dall'insieme dei terreni mobilizzati sottostanti la zona di distacco fino alla zona d'accumulo; la zona d'accumulo presenta struttura caotica e forma variabile a seconda della tipologia del processo e delle caratteristiche litologiche dei terreni coinvolti.

Per quanto concerne la dinamica vengono distinte:

- frane attive;
- frane quiescenti che evidenziano fenomeni gravitativi avvenuti in tempi passati e che mostrano chiari segni di instabilità quali contropendenze e rotture di pendio;
- frane antiche stabilizzate avvenute in tempi passati, riconoscibili per la loro morfologia, ma tali da poter essere considerate al momento non attive. L'equilibrio così raggiunto può essere turbato, specie in funzione dei terreni presenti, da interventi antropici di modifica dei profili.

##### **Aree molto instabili per franosità diffusa**

Sono zone in cui è stata rilevata la presenza di più fenomeni franosi di svariata dimensione e tipologia; si è pertanto provveduto alla delimitazione del settore comprendente tutti i fenomeni in atto.

##### **Movimenti di massa generalizzati e/o soliflussi**

Sono stati individuati su tratti di versante con evidenti indizi di instabilità (dossi, contropendenze, lacerazioni, ecc.) talvolta singolarmente cartografabili, ma in altri casi interessanti anche vaste porzioni di versante. Mobilizzano, generalmente, limitati spessori di coltre alteritica e/o livelli di terreno coltivo. Talora sono innescati o favoriti da intensa attività antropica.

#### **Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali**

##### **Ruscellamento diffuso**

Forme dovute ad erosione idrica superficiale in rigagnoli o foliare, periodicamente obliterate da pratiche agricole; si innescano nella parte superiore e mediana degli stessi e provocano un progressivo assottigliamento

del suolo. A seconda dell'intensità e della diffusione areale caratterizzano "aree soggette ad erosione profonda" o settori "soggetti ad erosione superficiale".

#### **Erosione lineare o incanalata e/o alveo con tendenza all'approfondimento**

Incisioni vallive con versanti ripidi e simmetrici, generalmente prive di depositi alluvio-colluviali, sede di deflusso di acque sia permanente che temporaneo che mostrano incisioni in continuo approfondimento.

#### **Orli di terrazzo o ripe d'erosione**

Brusche rotture di pendio al margine di superfici terrazzate; indicano fenomeni erosivi fluviali in terreni alluvionali più antichi.

#### **Erosioni laterali di sponda**

Attività erosive esercitate dai corsi d'acqua sulle sponde, in particolare in corrispondenza delle anse; tali processi possono causare, a lungo andare, crolli di entità cospicua in aree ritenute ad alta stabilità perché pianeggianti.

#### **Forme, processi e depositi antropici e manufatti**

##### **Le forme ed i processi antropici**

Si tratta di forme dovute all'azione dell'uomo sul territorio, quindi rientrano in questa categoria un'ampia gamma di interventi: cave attive o inattive, dighe, rilevati e laghetti artificiali e in generale tutte le aree che per una qualsiasi ragione sono state manipolate dall'uomo.

Nel complesso, da un punto di vista geomorfologico l'areale di interesse è talora interessato sia da forme e processi di erosione idrica e del pendio, sia da forme e processi dovuti a gravità, nonché da forme di origine artificiale (antropica).

Per quanto riguarda la prima tipologia sono presenti forme di denudazione ed erosione (orlo di scarpata fluviale o di terrazzo, orlo rimodellato di scarpata o debole rottura di pendio aree soggette ad erosione superficiale). Tra le forme e i processi dovuti a gravità si ha la presenza di forme di denudazione (frane di limitata estensione e aree instabili per soliflusso generalizzato). Infine si hanno forme antropiche (artificiali) costituite da orli di scarpata di origine antropica, argini artificiali, rilevati stradali, cave attive e inattive e corpi d'acqua.

Dall'analisi generale del territorio di Ortignano Raggiolo emerge come questo sia, come già accennato, caratterizzato dalla presenza di zone molto acclivi accanto ad altre dalla morfologia decisamente più dolce; queste differenze, così come le diverse forme prodotte dagli agenti esogeni ed endogeni, sono in relazione alla diversa natura del substrato geologico.

Sono presenti numerose frane attive, quiescenti e naturalmente stabilizzate distribuite in tutta l'area di studio.

Le scarpate morfologiche naturali ed antropiche presenti in tutta l'area oggetto dello studio hanno un'altezza variabile da meno di 10 metri a oltre 20 metri e si impostano su terreni granulari cementati e lapidei. Queste scarpate sono da considerarsi soggette a erosione da parte degli agenti atmosferici.

In questo contesto tutto il territorio comunale di Ortignano Raggiolo è caratterizzato da processi geomorfologici, che segnano profondamente il territorio a partire dall'erosione, più o meno intensa (erosione superficiale, profonda e a calanchi) a vere e proprie frane (frane, frane antiche, frane quiescenti), che arrivano ad occupare aree molto vaste.

In particolare, ai fini del presente studio, si osserva la diffusa presenza di corpi di frana, dal diverso stato di attività, interferenti con alcuni dei centri urbani oggetto di studio.



### 3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE

Per quanto riguarda il sistema idrografico, il reticolo dell'area risulta abbondante data la permeabilità medio-bassa dei terreni affioranti, dovuta alla forte alterazione che comporta la produzione anche di materiale fine.

Le acque meteoriche, principale fonte di alimentazioni dei fossi e dei torrenti, vengono regimate lungo i fianchi dei versanti da canalette di drenaggio che scendendo verso valle convogliano nelle aste fluviali di grado superiore fino raggiungere l'asta principale il Fiume Arno, che corre con andamento circa nord/sud tagliando longitudinalmente in due il territorio comunale.

In particolare il reticolo idrografico che caratterizza il territorio comunale mostra un andamento dei corsi d'acqua verso il corso del Fiume Arno, con una direzione principalmente circa antiappenninica (NE – SW) per gli impluvi posti in sinistra idraulica dell'Arno e secondariamente circa appenninica (NW – SE).

Il reticolo può essere definito di tipo sub-rettangolare, con aste impostate lungo linee di frattura o di dislocazione. Infine, si osserva un aumento della densità del drenaggio nelle aree in cui si rileva la presenza di terreni prevalentemente argillitici, rispetto a tipi litologici a prevalente composizione calcareo / calcarenitica o di natura arenacea con intensa fratturazione.

L'intero reticolo idrografico ha carattere prevalentemente stagionale.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti nel territorio comunale di Ortignano Raggiolo, si può definire che il sistema idrogeologico risulta chiaramente alimentato dai rilievi circostanti la pianura alluvionale. I dati disponibili indicano come la falda alimenti il Fiume Arno. Si può ritenere che tale stato di cose non si modifichi sostanzialmente se non in particolari ed eccezionali episodi di piena del fiume.

Si fornisce di seguito una descrizione sintetica delle diverse situazioni riscontrabili all'interno del territorio comunale.

#### *Falda libera all'interno delle alluvioni del Fiume Arno e dei corsi minori*

Si tratta della risorsa più importante che gode di una situazione idrogeologica particolarmente favorevole in corrispondenza delle aree di fondovalle. La risorsa principale a disposizione del territorio è rappresentata dai depositi alluvionali del Fiume Arno. L'assetto idrogeologico di questi settori è favorevole in quanto le litologie che affiorano sui margini collinari dei settori vallivi contribuiscono alla ricarica della falda libera del fondo valle. Questa falda è sfruttata sia a scopo idropotabile sia per scopi diversi con una presenza di pozzi privati. Circa la profondità della falda, questa tende ad aumentare progressivamente dai settori contermini ai rilievi collinari presenti al margine della piana verso il corso dell'Arno, passando da 2–3 m di profondità (si rilevano valori più bassi nelle vallecole minori) fino a 7–8 m, con massimi di 10 m in prossimità dell'argine del fiume. Lo spessore dell'acquifero può essere stimato intorno ai 10 metri.

#### *Falde all'interno delle formazioni litoidi*

Si tratta di livelli acquiferi presenti all'interno dell'ammasso roccioso in corrispondenza delle linee di filtrazione idrica confinate nelle fasce di fratturazione della formazione litoide. Talora queste sono frapposte a livelli a minor permeabilità che rendono la falda acquifera di carattere artesiano. La presenza della risorsa idrica è connessa a condizioni di fratturazione e di alimentazione definibili a grande scala e non risolvibili nel ristretto intorno dell'area di captazione e/o di ricerca.

### 3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI

Le variazioni altimetriche e topografiche sono utili per la definizione delle zone MOPS delle cartografie di Microzonazione, in quanto il progressivo aumento delle pendenze, a parità di condizioni litotecniche e giaciture, si ha un aumento del grado di instabilità di una pendice.

Una maggiore inclinazione del versante favorisce inoltre l'erosione superficiale, con trasporto a valle del materiale detritico asportato da parte delle acque di corrivazione; per contro una inclinazione minore della pendice favorisce i processi chimico-fisici di alterazione del substrato roccioso con formazione di suolo, data la maggiore permanenza delle acque di ristagno.

In particolare sono state definite le seguenti soglie:

- fino al 15 % non si hanno in genere controindicazioni in termini di stabilità dei versanti, anche se tali zone rappresentano una percentuale minima del territorio in aree collinari e montuose;
- dal 15 % al 25 % si possono verificare stati di instabilità dinamica in litologie costituite da sabbie sciolte, argille e limi soffici e detriti, se in presenza di falda superficiale;
- dal 25 % al 35 % possono verificarsi dissesti nelle litologie sopra elencate anche non in presenza di acqua;
- oltre il 35 % questa classe caratterizza versanti molto acclivi nei quali possono verificarsi crolli o distacchi se in presenza di rocce poco cementate, alterate o fessurate sia per fenomeni fisici (gelo-disgelo), che tettonici.

#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per effettuare gli studi di Microzonazione si è provveduto alla raccolta e all'archiviazione organizzata di dati pregressi, quali le indagini eseguite dalla ditta Trigeo s.n.c. di Soci (AR) nel periodo settembre-dicembre 2014 nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, e alla realizzazione, a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3, di una specifica e inedita campagna di indagini, eseguita da Dott. Pieroni e Dott. Puccetti nel giugno 2022.

Le Carte delle indagini mostrano nel dettaglio, per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti "bibliografiche" e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche all'uopo realizzate su indicazione del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica come supporto al presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3.

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica".

La raccolta dei dati esistenti si è basata sull'acquisizione, laddove reperibili, di stratigrafie relative a pozzi e sondaggi, di certificati di prove penetrometriche dinamiche e statiche, di indagini geofisiche (prove di sismica a rifrazione, prove down-hole, Masw e Hvsr).

Si citano di seguito le fonti di reperimento dei dati raccolti nel citato "data base" (per i dati di base da bibliografia):

- Studi geologici e geomorfologici di dettaglio, commissionati dalla Amministrazione Comunale, a supporto alla progettazione di opere di opere pubbliche e/o interventi infrastrutturali;
- Data base della Regione Toscana delle indagini di sottosuolo;
- Data base ISPRA relativamente a stratigrafie di pozzi idrici profondi;
- Archivi comunali in merito alle pratiche urbanistiche, edilizie e lavori pubblici;
- Indagini contenute negli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare, per quanto riguarda le indagini geofisiche sono state ricavate le risultanze del seguente numero di prove, appositamente eseguite o contenute negli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 28 indagini di sismica attiva in onde P e Sh, per la determinazione dei profili sismostratigrafici;
- n. 1 indagine di sismica attiva MASW, per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;
- n. 167 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell'eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3* è stato necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche, ad integrazione della campagna di indagine realizzata durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, la cui distribuzione all'interno delle frazioni ed ubicazione in

relazione alle problematiche da indagare è stata concordata con i funzionari del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica.

Questa campagna è consistita nell'esecuzione di:

- n. 3 indagini di sismica attiva in onde P e Sh, per la determinazione dei profili sismostratigrafici.

Si fornisce il dettaglio delle indagini geofisiche appositamente eseguite con la loro distribuzione nelle varie frazioni, eseguite con specifico riferimento agli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3.

Raggiolo:

- n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh.

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Raggiolo	L32		X			

San Piero in Frassino:

- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh.

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
San Piero in Frassino	L30		X			
	L31		X			

Inoltre sono state collezionate, sulla scorta delle specifiche indagini geofisiche eseguite a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e ricavate dall'archivio dei dati di base a disposizione dell'amministrazione Comunale, le seguenti indagini per ciascuna località.

Ortignano:

- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh: indagine sigla P170;
- n. 3 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh: indagini sigle L2, L5 e L6;
- n. 50 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSR): indagini sigle P45, P52, P53, P54, P55, P56, P57, P58, P65, P66, P67, P68, P75, P76, P77, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P85, P86, P87, P88, P89, P90, P91, P92, P93, P94, P95, P96, P97, P98, P99, P100, P101, P102, P103, P104, P105, P106, P107, P108, P109, P110, P111, P112.

San Piero in Frassino:

- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh: indagine sigla P169;
- n. 4 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh: indagini sigle L1, L3, L4, L28;
- n. 1 prova Masw: indagini sigle L29;
- n. 62 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSR): indagini sigle P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39, P40, P41, P42, P43, P44, P46, P47, P48, P49, P50, P51, P59, P60, P61, P62, P63, P64, P69, P70, P71, P72, P73, P74.

Raggiolo:

- n. 11 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh: indagini sigle L7, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16 e L17;
- n. 26 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr): P113, P114, P115, P116, P117, P118, P119, P120, P121, P122, P123, P124, P125, P126, P127, P128, P129, P130, P131, P132, P133, P134, P135, P136, P137 e P138.

Badia Tega:

- n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh: indagini sigla L8;
- n. 15 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr): indagini sigle P154, P155, P156, P157, P158, P159, P160, P161, P162, P163, P164, P165, P166, P167 e P168.

Villa:

- n. 10 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh: indagini sigle L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26 e L27;
- n. 15 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr): indagini sigle P139, P140, P141, P142, P143, P144, P145, P146, P147, P148, P149, P150, P151, P152 e P153.

L'ubicazione di tali indagini all'interno delle frazioni, in relazione alle problematiche da indagare, è mostrata nelle sopra citate cartografie, mentre per le risultanze si rimanda agli elaborati ed allegati contenuti nella relazione sulle indagini geofisiche svolte nel novero delle attività correlate al presente studio con le relative certificazioni e/o elaborazioni rappresentative.

Di seguito si riporta una tabella con i risultati delle prove HVSr ricavate dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e dai dati di base collezionati.

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
Ortignano	P45	14,5		4,4	
	P52	6,7		3,1	
	P53	6,8		3,3	
	P54	4,9		3,4	
	P55	7		2,9	
	P56	19,9		3,1	
	P57	19,9		3,4	
	P58	Nessun picco			
	P65	Nessun picco			
	P66	Nessun picco			
	P67	Nessun picco			
	P68	9		3,3	
	P75	Nessun picco			
	P76	6,1		2,9	
	P77	18,5		3,1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
	P78	15,8		3,2	
	P79	23,7		5,5	
	P80	19,8		5,3	
	P81	13,9		3,1	
	P82	12,3		4,4	
	P83	9		4,1	
	P84	7,9		3,8	
	P85	6,7		3,8	
	P86	10,9		4,2	
	P87	11		4,1	
	P88	16,4		4,3	
	P89	Nessun picco			
	P90	19,7		5,2	
	P91	24,9		5,4	
	P92	Nessun picco			
	P93	13,3		4,1	
	P94				
	P95	Nessun picco			
	P96	13		3,3	
	P97	4		3,5	
	P98	14		4	
	P99	14,5		4,5	
	P100	Nessun picco			
	P101	Nessun picco			
	P102	11,4		4,1	
	P103	19,8		4,2	
	P104	18		3,9	
	P105	Nessun picco			
	P106	6,3		3,2	
	P107	15,9		3,3	
	P108	6		3,2	
	P109	16,8		3,1	
	P110	9,5		4,5	
	P111	Nessun picco			
	P112	12,8		2,99	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
San Piero in Frassino	P1	Nessun picco			
	P3	Nessun picco			
	P3	18,5		4,4	
	P4	5,2		2,5	
	P5	4		3,4	
	P6	8		4	
	P7	24,1		5,2	
	P8	Nessun picco			
	P9	17,7		5,4	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
	P10	17,2		4,5	
	P11	11,3		3,9	
	P12	19,5		3,3	
	P13	Nessun picco			
	P14	6,3		3,1	
	P15	9,3		4,3	
	P16	12,4		4,1	
	P17	15,4		5	
	P18	19,9		6,8	
	P19	Nessun picco			
	P20	Nessun picco			
	P21				
	P22	5,2		3,2	
	P23	18,8		5,2	
	P24	12,2		5,4	
	P25	13,8		5,1	
	P26	Nessun picco			
	P27	Nessun picco			
	P28	6,8		4,3	
	P29	13,7		3,4	
	P30	11,3		4,2	
	P31	11,4		4,9	
	P32	Nessun picco			
	P33	Nessun picco			
	P34	14,1		3,9	
	P35	16,2		4	
	P36	13,1		4,1	
	P37	Nessun picco			
	P38	10,4		5,3	
	P39	5,8		2,4	
	P40	17,6		5,6	
	P41	23,2		5,6	
	P42	Nessun picco			
	P43	15,3		4,9	
	P44	12,8		4,8	
	P46	6,4		2,1	
	P47	18,1		3,8	
	P48	7,6		3,9	
	P49	7,9		3,4	
	P50	Nessun picco			
	P51	Nessun picco			
	P59	8,8		4	
	P60	6,9		3,1	
	P61	Nessun picco			
	P62	15,9		3,3	
	P63	17,7		3,5	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
	P64	3,9		3,6	
	P69	7,5		3,2	
	P70	12,5		3,3	
	P71	13,2		3,5	
	P72	17,9		4,1	
	P73	18,7		4,2	
	P74	17,1		4,4	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
Raggiolo	P113	13,7		2,8	
	P114	6,8		2,2	
	P115	6,9		2,3	
	P116	17,4		4,1	
	P117	7,7		3,4	
	P118	Nessun picco			
	P119	12,9		3,4	
	P120	9,6		3,4	
	P121	8,8		3,8	
	P122	14,8		3,9	
	P123	8,7		3,8	
	P124	17,8		3,9	
	P125	9,9		4,2	
	P126	Nessun picco			
	P127	17,4		2,3	
	P128	7,4		3,4	
	P129	11,5		4,1	
	P130				
	P131	Nessun picco			
	P132	20,5		3,1	
	P133	5		2,9	
	P134	3,9		3,2	
	P135	15,8		4,4	
	P136	11,1		4,3	
	P137	Nessun picco			
	P138	Nessun picco			

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
Villa	P139				
	P140				
	P141				
	P142				
	P143				
	P144				
	P145				
	P146				



Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
	P147				
	P148				
	P149				
	P150				
	P151				
	P152				
	P153				

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2
Badia Tega	P154				
	P155				
	P156				
	P157				
	P158				
	P159				
	P160				
	P161				
	P162				
	P163				
	P164				
	P165				
	P166				
	P167				
	P168				

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (cfr. relazioni sulle indagini HVSR svolte):

Classe A: registrazione affidabile ed interpretabile che può essere utilizzata anche da sola;

Classe B: registrazione sospetta da utilizzare con cautela ed in presenza di altre misure ottenute nelle vicinanze;

Classe C: registrazione scadente e di difficile interpretazione.

Per ciascuna delle frazioni indagate, nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni centro urbano studiato, si fornisce indicazione della Classe di qualità ottenuta applicando la “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS, i cui criteri e dati di input sono riassunti nella sotto riportata tabella 1 e i cui “range” di accettabilità sono indicati nel seguente abaco per le classi A, B e C.

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
<b>A</b>	<b>≥ 75 %</b>	Carta di livello 1 di ottima qualità
<b>B</b>	<b>50 % - 74 %</b>	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri

<b>C</b>	<b>25 % - 49 %</b>	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
<b>D</b>	<b>≤ 25 %</b>	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana

Parametro	Peso Parametro	Indicatore (peso=0.33)	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico - tecnica	1	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
		Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
		Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione	0.50	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche	0.50	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio	0.25	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito	0.75	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

Relativamente alle notazioni litotecniche e geotecniche, sulla scorta dei risultati degli studi geologici e geologico tecnici dell'attuale Piano Regolatore è possibile distinguere i terreni presenti nel territorio da un punto di vista litotecnico. Infatti i terreni che possono manifestare comportamento meccanico omogeneo vengono accorpati in “unità litotecniche” distinte. Per cui vengono raggruppati nella stessa unità litotecnica quei litotipi che presentano caratteristiche tecniche simili, indipendentemente dalla formazione geologica a cui appartengono, dalla posizione stratigrafica, dai relativi rapporti geometrici, seguendo quindi solamente il criterio del comportamento meccanico omogeneo.

Relativamente alla caratterizzazione geotecnica e litotecnica dei terreni, con riferimento alla descrizione geologica relativa a ciascuna formazione, individuata e distinta nelle zone di studio, è stata definita la classe di appartenenza ad “unità litologico-tecnica – U.L.T.” secondo le indicazioni formulate dal Programma VEL.

Le "unità litologico tecniche", cui si fa riferimento per le formazioni geologiche riscontrate nelle aree indagate, sono state distinte in gruppi principali in base alle diverse successioni di terreni che li caratterizzano uniformandosi alla “*Legenda per la definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.)*” del programma regionale

VEL “Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana”.

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie “unità litologico-tecniche” con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

#### **Unità litologico tecnica A**

Si tratta di materiali lapidei stratificati costituiti da unico litotipi non stratificato. Questo raggruppamento comprende una unità litologico tecnica cartografata secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica A:** rocce non stratificate o con bancate di spessore superiore a 3 mt. E' riconducibile a tale unità la formazione geologica delle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montefalco (FAL1).

#### **Unità litologico tecnica B**

Si tratta di materiali lapidei stratificati o costituiti da alternanze di diversi litotipi con rapporto lapideo/pelite variabile. Questo raggruppamento comprende unità litologico tecniche cartografate secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica B4:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale pelitico compreso tra 25% e 75%. Sono riconducibili a tale unità la Formazione di Monte Morello (MLL), le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2) e le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

- **Unità litologico-tecnica B5:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo < 75%. Ne fa parte la Formazione di Sillano (SIL).

#### **Unità litologico tecnica E**

Vi sono compresi i terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto costituiti da materiali granulari non cementati o con lieve grado di cementazione. Per le varie granulometria può essere valutato lo stato di addensamento mediante prove manuali. Le sabbie, le brecce ed i conglomerati con grado di cementazione medio basso ricadono nella unità “C”. Il limite fra le unità litologiche “C” ed “E” può essere considerato convenzionalmente corrispondente ad un numero di colpi della prova Spt uguale a 50.

- **Unità litologico-tecnica E:** materiali granulari non cementati. Si tratta di materiali granulari eterogenei ed eterometrici. Ne fanno parte i detriti appartenenti ai corpi di frana e ai depositi di versante (dt).

- **Unità litologico-tecnica E2:** ghiaie (elementi lapidei compresi mediamente tra 2 - 60 mm). Si tratta di materiali granulari generalmente grossolani. Ne fanno parte i depositi alluvionali attivi (ba).

- **Unità litologico-tecnica E3:** sabbie (granuli di dimensioni comprese tra 2 mm e 0.06 mm). Si tratta di materiali granulari a prevalente composizione sabbiosa. Ne fanno parte i depositi eluvio-colluviali (d) e i depositi alluvionali inattivi (bi).

I depositi antropici (h), data la loro eterogeneità granulometrica non sono stati attribuiti a una specifica Unità litologica tecnica.

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Viene definito come modello del sottosuolo “una rappresentazione tridimensionale approssimata di una porzione di sottosuolo, nella quale devono essere distinguibili gli elementi qualitativi e quantitativi necessari per il suo impiego nelle valutazioni funzionali alla specifica applicazione. Metodologicamente è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative, riconducibili a specifiche aree disciplinari: geologia, geofisica e geotecnica”.

In sintesi, il processo è indirizzato e finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri necessari a fornire una ricostruzione di Unità Omogenee, cioè quelle unità caratterizzate da valori simili dei parametri rilevanti ai fini dello studio. Il processo prevede di passare da unità strettamente litologiche a unità caratterizzate da parametri geotecnici e geofisici simili.

In particolare, si devono definire per le diverse unità:

- le geometrie e i limiti superiori, laterali e inferiori; in particolare, è importante stabilire il rapporto stratigrafico tra i terreni di copertura e il substrato geologico, per definire l'andamento morfologico del tetto del substrato geologico sepolto;
- l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni fortemente sovracconsolidate e/o cementate;
- le proprietà fisiche e meccaniche, sebbene secondo le loro intrinseche variazioni e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

Il processo di costruzione del modello del sottosuolo è partito, quindi, dalla ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico e strutturale dell'area indagata, effettuato sia mediante cartografie già a disposizione e redatte in passato, come la Carta Geologica Regionale (1:10.000), la Carta Geologica del P.R.G., ecc..., sia attraverso un'inedita revisione con rilievi di campagna.

Tutta l'informazione geologica acquisita, coadiuvata dai dati geotecnici e geofisici, è stata tradotta in un modello, sintetizzato nelle Carte Geologico Tecniche, fornite in scala 1:5.000, riguardanti i settori del territorio del Comune di Rufina scelti per gli studi di Microzonazione Sismica.

L'insieme dei dati geologici finalizzati a definire modelli del sottosuolo, particolarmente inerenti alla Microzonazione Sismica, hanno consentito di:

- distinguere il substrato geologico dai terreni di copertura;
- definire le loro geometrie;
- individuare, nei terreni di copertura, le aree soggette a fenomeni di instabilità dei versanti;
- individuare le criticità geomorfologiche.

Ai dati di superficie sono stati aggiunti i dati prelevati in profondità con le indagini geognostiche:

- successioni litostratigrafiche;
- contatto terreni di copertura – substrato geologico.

Inoltre, come riportato al precedente capitolo sono stati trattati i dati e gli aspetti di carattere geotecnico e geofisico delle varie UO riconosciute.

## 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La finalità delle indagini geotecniche negli studi di Microzonazione Sismica è pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato del sito e dei terreni presenti nell'area in funzione di un evento sismico attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in sito mediante indagini geognostiche, prove geotecniche in sito e di laboratorio e di indagini geofisiche, che devono contribuire a definire tutte le caratteristiche morfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, e che, soprattutto, devono identificare il comportamento dinamico dei vari terreni presenti nel sito, assegnando dei valori ai parametri dinamici indispensabili per la valutazione della risposta del sito mediante modelli analitici e numerici.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato sia al problema nonché ai modelli di calcolo di analisi numerica.

Pertanto, ad esempio, nel caso di indagini di specifico interesse di un particolare tipo di intervento (edilizio, infrastrutturale, ecc...) dovranno essere eseguite a supporto specifiche indagini per la valutazione della velocità delle onde sismiche, indagini per la caratterizzazione dinamica dei terreni finalizzate alla definizione dell'analisi di risposta sismica locale, indagini in sito per la valutazione del potenziale di liquefazione, indagini finalizzate alla determinazione dei parametri residui in caso di analisi di stabilità di pendii.

Le incertezze del modello geologico (e geologico-tecnico) ricostruito sono principalmente legate alla mancanza di indagini geognostiche spinte a profondità tali da avere una maggior conoscenza della successione stratigrafica del substrato geologico al fine di evidenziare eventuali variazioni di litofacies in corrispondenza dei contrasti di impedenza riconosciuti dalle indagini HVSR effettuate.

Inoltre dovranno essere implementate le conoscenze relative ai parametri geotecnici desunti da indagini in situ e di laboratorio.

Oltre alle prove geotecniche e indagini in situ dovranno essere realizzate prove geofisiche finalizzate sia alla ricostruzione sismostratigrafica del territorio (i.e. mediante l'esecuzione di indagini di sismica a rifrazione in onde P) sia alla determinazione dei valori di Vs (i.e. indagini Down-Hole, Masw, ecc...).

Le indagini geotecniche di cui si è accennato in precedenza (prove CPT, analisi granulometriche, limiti di Atterberg, ecc...) dovranno chiarire e garantire l'eventuale assenza di fenomeni di liquefazione con tipologia permanente di deformazione in caso di sisma.

## **7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI**

Per una completa ed esaustiva trattazione delle indagini geofisiche svolte, della loro elaborazione e dei risultati conseguiti si rimanda alle allegate relazioni contenenti le indagini geofisiche svolte, nel novero del presente studio, per la caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione della cartografia MOPS di Livello 1 e della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3.

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) svolti per il Comune di Ortignano Raggiolo sono stati condotti secondo le indicazioni formulate dal Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica nel rispetto degli “Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica Nazionale” (di seguito ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) e delle specifiche tecniche regionali per la microzonazione sismica approvate con Deliberazione di G.R.T. n. 144/2015.

Nei citati ICMS vengono definite le procedure, le metodologie di analisi al fine di individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- Le **Zone Stabili**, sono 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;
- Le **Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Sismica**, sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le **Zone di Attenzione per Instabilità**, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali e sovrapposizione di differenti fenomeni di instabilità).

Per la definizione delle zone e della loro perimetrazione si rimanda a quanto definito al par. 1.1.3 e 1.1.4 degli standard ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020).

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale, orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti, definire gli interventi ammissibili in una determinata area, programmare le indagini e i livelli di approfondimento, stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate.

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, con complessità e impegno economico crescente.

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

- il **livello 1** è un 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)”;
- il **livello 2** è un 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";

- il **livello 3** rappresenta il 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".

**Per la Microzonazione Sismica del Comune di Ortignano Raggiolo sono stati eseguiti sia gli studi di Livello 1 (per la totalità dei centri abitati indagati) che gli studi di Livello 2 (per gli abitati di Raggiolo, Badia Tega e Villa) o Livello 3 (per gli abitati di Ortignano e San Piero in Frassino).**

Ciascuno dei livelli di approfondimento prevede una serie di adempimenti come sotto elencati e dettagliati nella tabella riassuntiva al fine della definizione del quadro conoscitivo minimo che debba essere raggiunto per ogni livello sulla scorta delle indicazioni contenute negli ICMS:

- la realizzazione di opportune indagini geologiche, geofisiche e geotecniche al fine di definire il quadro conoscitivo;
- l'effettuazione di opportune analisi ed elaborazioni;
- la predisposizione di risultati finali.

**INDAGINI  
MINIME**

Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;  
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;  
Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 1;  
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.

**ANALISI ED  
ELABORAZIONI**

Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili;  
Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici.

**PRODOTTI  
FINALI**

Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione);  
Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Relazione tecnica illustrativa della carta MOPS;  
Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.

*Sintesi del quadro conoscitivo del livello 1*

**INDAGINI  
MINIME**

Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;  
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;  
Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 2;  
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.  
Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e Sh

**ANALISI ED  
ELABORAZIONI**

Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili;  
Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici.

**PRODOTTI  
FINALI**

Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione);  
Carta di Microzonazione Sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000, rappresentative dei parametri di FA, in termini di pseudoaccelerazione, corrispondenti ai periodi 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s;



Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) con eventuali modifiche;  
almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Relazione tecnica illustrativa della Carta MOPS e di Microzonazione Sismica.

*Sintesi del quadro conoscitivo del livello 2*

**INDAGINI  
MINIME**

Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;  
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;  
Nuove indagini: Programmazione ed esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 3;  
Misura passiva del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.  
Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e Sh.  
Indagini di sismica a rifrazione in onde P e Sh eseguite in foro di sondaggio (prove down-hole e cross-hole).  
Analisi dinamiche di laboratorio.

**ANALISI ED  
ELABORAZIONI**

Analisi numeriche di risposta sismica locale almeno 1D e/o 2D per amplificazioni sismiche e/o deformazioni permanenti.

**PRODOTTI  
FINALI**

Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione), implementata rispetto a quella del livello 1 e/o 2 con le nuove indagini;  
Carta di Microzonazione Sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000, rappresentative dei parametri di FA, in termini di pseudoaccelerazione, corrispondenti al periodo 0.1-0.5 s, considerato l'intervallo di riferimento statisticamente più probabile;  
Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) con eventuali modifiche;  
almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Relazione tecnica illustrativa della Carta MOPS e di Microzonazione Sismica.

*Sintesi del quadro conoscitivo del livello 3*

Il **Livello 1** può quindi essere caratterizzato essenzialmente 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.

Le finalità degli studi di MS di livello 1 sono:

- individuare qualitativamente le aree che necessitano di approfondimenti;
- definire le tipologie di effetti attesi;
- individuare il modello geologico di sottosuolo preliminare.

Il principale elaborato previsto in questo livello è la **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)**. Questa carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: "qualche metro", "una decina di metri", "alcune decine di metri", "oltre i 100 metri"), una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: "alto" o "basso"). Di particolare importanza sarà l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte

potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali.

Pertanto, per acquisire tali informazioni di tipo semiquantitativo al fine di consentire la predisposizione della cartografia delle *Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* si è provveduto alla acquisizione, oltre alle informazioni già previste al par. 1.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020), dei risultati di indagini geofisiche utili alla ricostruzione geometrica dei corpi sepolti (sismica a rifrazione, ERT, gravimetria, ecc.) e alla individuazione di eventuali contrasti di impedenza sismica e possibili fenomeni di risonanza (campagne di misura delle frequenze naturali di sito da vibrazioni ambientali o da terremoti).

Per meglio rappresentare queste caratteristiche la carta dovrà essere corredata da sezioni geolitologiche rappresentative della situazione lito-stratigrafica e strutturale presente.

Attraverso questo livello, quindi, sarà possibile:

- la definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo;
- l'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento;
- definire il livello di approfondimento richiesto nelle aree che necessitano di approfondimenti;
- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi.

Per la indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione delle **cartografie delle indagini e delle cartografie delle Microzonazione Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2 e 1.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

Negli studi di **Livello 2** viene introdotto l'elemento quantitativo associato all'area omogenea, utilizzando metodologie di analisi numerica semplificate (abachi a scala regionale, modellizzazione 1D, leggi empiriche), anche mediante l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini.

Questa analisi approfondita ha lo scopo di creare la "Mappa di microzonazione sismica".

Il Livello 2, sviluppato per gli studi di pianificazione urbanistica allorquando le condizioni geologiche e geomorfologiche consentono l'applicazione di metodi semplificati, ha come scopo quello di:

- ricavare le regole e i requisiti volti a ridurre il rischio sismico per le aree urbane e le nuove aree di previsione;
- individuare le aree ad alto rischio che richiedono particolari dettagli;
- definire le priorità di intervento per edifici strategici e rilevanti;
- prevedere gli scenari di danno.

Questo secondo livello prevede l'uso di parametri che quantificano la variazione del movimento sismico sulla superficie e che possono essere determinati con metodi semplificati, mediante l'uso di specifici "abachi", che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici sulla superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche per le quali sono applicabili.

Gli abachi per la caratterizzazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione attesi sono tabelle in cui un insieme di valori assunti da parametri considerati diagnostici e ad un particolare livello di rischio sismico sono

associati univocamente ai valori previsti dell'amplificazione del movimento sismico (FA o "Amplificazione del fattore" ") rispetto a un motivo di riferimento.

Gli abachi sono stati preparati nell'ambito di uno studio commissionato all'Università DST di Siena (Prof. Albarello) e successivamente approvato dalla Risoluzione regionale.

Per ottenere i fattori di amplificazione dagli abachi litostratigrafici è necessario determinare due parametri:

- il valore delle Vs equivalenti (velocità delle onde di taglio sismiche fornite dalla media ponderata della velocità delle onde sismiche fino al raggiungimento del "substrato", caratterizzato da velocità superiori a 800 m/s);
- il valore della frequenza fondamentale del terreno.

Il parametro utilizzato per la rappresentazione dei livelli di amplificazione è il fattore di amplificazione di Housner (di seguito denominato FHa) misurato come rapporto tra l'integrale dello spettro di accelerazione di uscita (PSAout) e la controparte integrale dello spettro di accelerazione di ingresso (PSAin). Questo fattore di amplificazione viene calcolato per periodi di riferimento specifici: brevi periodi -  $0,1 < T < 0,5$  s; lunghi periodi -  $0,4 < T < 0,8$  s e  $0,7 < T < 1,1$  s.

Di seguito vengono presentati gli abachi usati per gli studi di Microzonazione di Livello 2, con riferimento alla macroarea Toscana Appenninica di cui il Comune di Ortignano Raggiolo fa parte

### Toscana Appenninica (Substrato sismico $\leq 30$ m)

Valore di  $a_g$  ( $T_r=475$  anni)  $< 0.15g$

FA $0.1 < T < 0.5$ s										
	f0 (Hz)									
	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	75° perc.
(s/m) IPA	<200	1.3	1.9	2.2	2.2	2.0	1.9	1.8	1.5	1.8
	300	1.3	1.9	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.9
	500	1.3	1.7	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.6
	700				1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4
	$\geq 800$								1.2	1.2

FA $0.4 < T < 0.8$ s										
	f0 (Hz)									
	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	75° perc.
(s/m) IPA	<200	2.1	2.3	2.0	1.4	1.2	1.2	1.2	1.0	1.8
	300	2.2	2.2	1.8	1.4	1.2	1.2	1.2	1.1	1.9
	500	2.0	1.9	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3
	700				1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	$\geq 800$								1.0	1.0

FA $0.7 < T < 1.1$ s										
	f0 (Hz)									
	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	75° perc.
(s/m) IPA	<200	2.2	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	1.4
	300	2.2	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500	2.0	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	700				1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
	$\geq 800$								1.0	1.0

## Toscana Appenninica (Substrato sismico ≤ 30m)

Valore di  $a_g$  ( $T_r=475$  anni)  $\geq 0.15g$

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
V(m) pSA	<200	0.8	1.3	1.9	2.2	2.1	2.0	1.8	1.8	1.4	1.8
	300	0.6	1.3	1.9	2.0	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.9
	500		1.0	1.9	1.8	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.7
	700				1.8	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4
	≥800									1.2	1.2

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
f (m) pSA	<200	1.2	2.1	2.2	1.9	1.4	1.2	1.2	1.1	1.0	1.7
	300	1.0	2.2	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.8
	500		2.0	1.9	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.3
	700				1.5	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	≥800									1.0	1.0

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
Wall (m)	<200	1.9	2.3	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	300	1.8	2.2	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500		2.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	700				1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800									1.0	1.0

## Toscana Appenninica (Substrato sismico > 30m)

Valore di  $a_g$  ( $T_r=475$  anni) < 0.15g

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)										75 <sup>o</sup> perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8		
f(m) GSA	<200	0.8	1.0								1.0	
	300	1.1	1.5	1.9	2.0	2.1	1.9	2.1	2.2	2.1	1.7	
	500	1.2	1.4	1.8	2.0	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	
	700	1.2	1.2	1.6	1.8	1.8	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	
	≥800	1.3	1.3		1.5		1.3			1.4	1.4	

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
f0(m) RMS	<200	1.3	1.5								1.2
	300	1.4	2.1	2.3	2.0	2.2	2.0	2.0	2.1	1.8	2.1
	500	1.3	1.8	2.0	1.7	1.6	1.8	1.8	1.7	1.7	1.8
	700	1.2	1.5	1.7	1.6	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.5
	≥800	1.4	1.3		1.4		1.1			1.3	1.3

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
f (m) pSA	<200	1.5	2.6								2.4
	300	1.6	2.2	1.7	1.8	1.8	1.7	1.5	1.7	1.9	2.1
	500	1.4	1.9	1.5	1.3	1.4	1.5	1.4	1.3	1.4	1.6
	700	1.3	1.7	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.2	1.3
	≥800	1.7	2.2		1.1		1.0			1.2	1.3

## Toscana Appenninica (Substrato sismico > 30m)

Valore di  $a_g$  ( $T_r=475$  anni)  $\geq 0.15g$

FA 0.1 < T < 0.5 s											
		$f_0$ (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	75° perc.
$(v/m)$ (m/s)	<200	0.7	1.0								0.8
	300	1.1	1.5	1.9	2.1	2.1	1.8	2.0	2.0	2.2	1.6
	500	1.2	1.4	1.8	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7
	700	1.2	1.2	1.6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
	$\geq 800$	1.1	1.2		1.5	1.3	1.3			1.4	1.4

FA 0.4 < T < 0.8 s											
		$f_0$ (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	75° perc.
$(v/m)$ (m/s)	<200	1.1	1.4								1.2
	300	1.4	2.1	2.2	2.1	2.2	2.0	2.1	2.1	1.8	2.1
	500	1.3	1.9	2.0	1.7	1.6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.8
	700	1.2	1.5	1.7	1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
	$\geq 800$	1.3	1.5		1.4	1.1	1.1			1.3	1.4

FA 0.7 < T < 1.1 s											
		$f_0$ (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	$\geq 8$	75° perc.
$(v/m)$ (m/s)	<200	1.4	2.6								1.4
	300	1.6	2.3	1.7	1.9	1.8	1.7	1.5	1.9	1.9	2.1
	500	1.4	2.0	1.5	1.3	1.5	1.6	1.3	1.3	1.3	1.7
	700	1.3	1.7	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.2	1.3
	$\geq 800$	1.6	2.2		1.1	1.0	1.0			1.2	1.3

## CLASSI

Velocità (m/s)	$V_s < 200$	
	300	$200 \leq V_s < 400$
	500	$400 \leq V_s < 600$
	700	$600 \leq V_s < 800$
	$V_s \geq 800$	

frequenza (Hz)	$f_0 < 1$	
	1.5	$1 \leq f_0 < 2$
	2.5	$2 \leq f_0 < 3$
	3.5	$3 \leq f_0 < 4$
	4.5	$4 \leq f_0 < 5$
	5.5	$5 \leq f_0 < 6$
	6.5	$6 \leq f_0 < 7$
	7.5	$7 \leq f_0 < 8$
	$\geq 8$	

L'obiettivo fondamentale della procedura è, quindi, quello di fornire delle stime statisticamente valide e ragionevolmente conservative del fattore di amplificazione atteso, nelle varie situazioni litostratigrafiche e in particolare nelle aree a maggior rischio sismico. Queste stime devono poter essere fornite a partire da un numero limitato di osservazioni, relativamente facili da determinare sperimentalmente e comunque rappresentative delle varie possibili situazioni presenti.

Il livello 2 degli studi di Microzonazione Sismica consiste, quindi, nel raggiungere una parametrizzazione dell'amplificazione sismica locale:

- in contesti geologici "semplici" (ad esempio se il modello geologico del sito è caratterizzato dall'assenza di elementi in grado di innescare fenomeni di amplificazione 2D-3D);
- mediante "approcci semplificati" (applicazione di programmi per la stima dell'amplificazione sismica locale);
- senza intervenire sulle aree considerate instabili nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, poiché tali studi sono previsti per il terzo livello;
- senza intervenire sulle aree considerate nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 come stabili, poiché per queste aree il fattore di amplificazione atteso è pari a 1.

I criteri principali per il passaggio da uno studio di microzonazione sismica di livello 1 a uno studio di microzonazione sismica di livello 2 sono legati alla valutazione dell'idoneità al passaggio e si basano sulle seguenti verifiche e controlli:

- Verifica della congruenza tra le sezioni geologico-tecniche che definiscono il modello geologico 2D dell'area e la cartografia MOPS che rappresenta in realtà una ricostruzione 3D dello stesso modello geologico.
- Verifica della congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e i risultati delle indagini (nel caso in cui non vi siano idonei rilievi sarà necessario effettuare ulteriori indagini al fine di completare la ricostruzione in termini sismostratigrafici del modello geologico).
- Controllo dell'estrapolazione di area del modello geologico tecnico 2D riportato nelle sezioni geologico tecniche.

La procedura per la realizzazione degli studi di costruzione della Microzonazione Sismica di Livello 2 segue i seguenti steps:

- Prima fase

1. Identificazione delle tipologie lito-stratigrafiche
2. Parametrizzazione delle unità lito-stratigrafiche
3. Inserire la selezione del movimento

- Seconda fase

1. Generazione casuale di profili Vs e curve di degrado
2. Selezione dei profili V e curve di degrado compatibili con le osservazioni
3. Costruzione di funzioni di amplificazione e fattori di amplificazione (FA) per singole tipologie lito-stratigrafiche e gruppi di accelerogrammi

- Terza fase

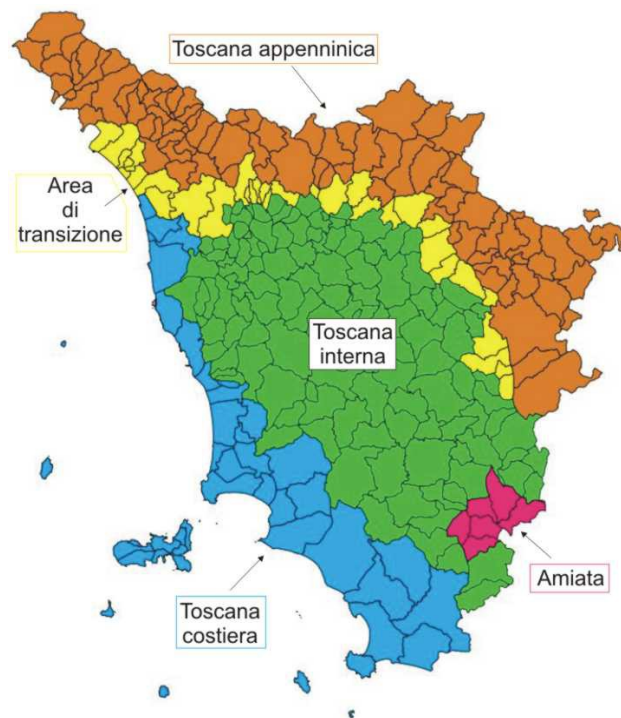
1. Caratterizzazione statistica della distribuzione di valori FA per singole tipologie litografiche e gruppi di accelerogrammi
2. Identificazione dei parametri sperimentali che caratterizzano le varie situazioni lito-stratigrafiche

- Quarta fase

1. Costruzione degli abachi
2. Convalida degli abachi

Per l'utilizzo degli abachi, di seguito sono illustrate le fasi che il professionista incaricato di redigere lo studio di microzonazione sismica di livello 2 deve seguire:

- Verifica dell'ammissibilità: verificare che il comune in esame sia incluso nell'elenco dei comuni ammessi agli studi di microzonazione sismica di secondo livello e per i quali è consentito l'uso di abachi.
- Determinazione della macroarea alla quale appartiene il comune. Nella seguente mappa è possibile visualizzare le diverse macroaree in cui è stato diviso il territorio della Regione Toscana: Toscana appenninica, Toscana interna, Toscana costiera, Area di transizione, Amiata.



- Stima del valore di accelerazione di base: una volta definita la macroarea, è necessario stimare il valore di accelerazione di base per un tempo di ritorno di 475 anni per il centro abitato oggetto di analisi di secondo livello. I valori di soglia sono 0,15 g per le macroaree dell'Appennino toscano e dell'area di transizione e 0,125 g per la Toscana interna. Questa operazione consente di definire il tipo di abaco più adatto al contesto macrosismico dell'area di interesse.
- Verifica dell'idoneità: una volta identificato il sito di misurazione, deve essere verificato che sia adatto per l'applicazione degli abachi litostratigrafici di secondo livello.
- Stima della profondità del substrato: per ciascun sito di misurazione FH<sub>a</sub>, deve essere stimata se la profondità del substrato sismico è inferiore o superiore a 30,0 m. Questa informazione è essenziale per scegliere l'abaco più adatto per il contesto sismostratigrafico.
- Determinazione dei valori di FH<sub>a</sub>: per ogni sito deve essere definito il valore della frequenza fondamentale e il valore di Vs30 o Vsh; in modo da poter dedurre i valori di FH<sub>a</sub> (0,1-0,5s), FH<sub>a</sub> (0,4-0,8s) e di FH<sub>a</sub> (0,7-1,1s).
- Estensione areale del modello: una volta definiti i fattori di amplificazione, l'estensione areale deve tenere conto del modello geologico desunto dallo studio di microzonazione sismica di livello 1, opportunamente integrato in questa fase.

È la facoltà del tecnico che esegue lo studio di non utilizzare i risultati dei programmi regionali, ma di effettuare in alternativa specifiche analisi di risposta sismica locale (RSL) in una configurazione monodimensionale, volte a determinare il fattori di amplificazione FH<sub>a</sub> nell'intervallo 0,1-0,5 secondi, 0,4-0,8 secondi e 0,7-1,1 secondi.

Il risultato fondamentale del secondo livello è la **Carta di Microzonazione Sismica** ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Nella carta vengono individuate le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone suscettibili di instabilità.

Per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, le amplificazioni vengono quantificate, come descritto precedentemente, per mezzo di abachi che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche. Detti abachi vengono predisposti dalle regioni, sulla base di criteri generali comuni, tenendo conto delle peculiarità sismotettoniche e geologiche dei rispettivi territori.

Sulla scorta dei fattori di amplificazione locale ricavati per ogni singola zona stabile suscettibile di amplificazioni locali derivante dalla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) di Livello 1, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali vengono raggruppate in base al valore del fattore di amplificazione di riferimento.

Inoltre, nella Carta di Microzonazione Sismica vengono inserite le zone suscettibili di instabilità, con particolare riferimento alle zone di attenzione per instabilità di versante, alle zone di attenzione per liquefazione e alle zone di attenzione per cedimenti differenziali.

Negli studi di **Livello 3** viene eseguito uno studio parametrico rigoroso che 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.

Nell'ambito di studi di Microzonazione Sismica di Terzo Livello la base di riferimento è la valutazione dell'amplificazione sismica che dovrà prevedere la realizzazione di analisi di risposta sismica locale (tipicamente in assetto bidimensionale) per le quali bisogna definire un modello di input sia sismologico (selezione delle storie temporali di input), geometrico (determinazione dell'assetto geometrico sepolto e superficiale dei terreni interessati dallo studio di microzonazione sismica) e fisico-meccanico (parametrizzazione in chiave dinamica dei sismostrati oggetto delle analisi di RSL).

Il Livello 3 rappresenta, quindi, 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".

L'obiettivo è valutare e individuare a scala subcomunale (frazioni e centri), aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale in corrispondenza di un terremoto atteso.

Per ogni centro urbano individuato, è previsto l'avvio di una serie di attività e di indagini per conoscere le caratteristiche geologiche, geotecniche, geofisiche e strutturali dei terreni in funzione dei possibili effetti di amplificazione e di instabilità connessi con un evento sismico.

I dati geologici, geotecnici e geofisici ad oggi acquisiti, hanno permesso di:

- verificare e approfondire le conoscenze geologiche del sottosuolo (con cartografie, sezioni geologiche, logs stratigrafici, sezioni sismostratigrafiche);
- caratterizzare per i siti investigati le unità geologiche in termini di velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_{sh}$ ) e il coefficiente di Poisson dinamico;



- determinare per le unità geologiche campionabili i parametri geotecnici dinamici (curva di decadimento del modulo di taglio, l'incremento dello smorzamento a crescere della deformazione, il coefficiente di Poisson dinamico).

Il programma delle attività è improntato su una filosofia operativa di tipo multidisciplinare ed analitica, assimilabile al livello 3 come meglio definito dagli I&C di Microzonazione Sismica, che prede come riferimento i criteri e le metodologie operative definite ed illustrate nelle Istruzioni Tecniche Regionali e si articola nelle seguenti fasi:

FASE 0. Individuazione delle aree oggetto di indagine Per ognuno dei Comuni sono definite le aree oggetto delle indagini sulla base di alcuni criteri morfologici, geologici e antropici di interesse ai fini della valutazione degli effetti locali;

FASE 1. Redazione e aggiornamento delle Istruzioni tecniche regionali per fissare i criteri e standard previsti per eseguire i rilievi superficiali e le indagini geofisiche e geotecniche di esplorazione del sottosuolo;

FASE 2. Realizzazione di cartografia geologica e geomorfologica in scala 1:2.000 o 1:5.000 ed individuazione della sezione geologica significativa, al fine di acquisire strumenti cartografici di dettaglio alla scala del centro urbano, in relazione soprattutto alla ricostruzione delle geometrie delle unità geologiche presenti, con particolare riferimento agli spessori delle coperture.

FASE 3. Campagna di indagini di sismica a rifrazione in onde P e SH, in grado di fornire una parametrizzazione geometrica e fisico-meccanica, in assetto bidimensionale, per estendere nel sottosuolo le conoscenze di superficie, nei limiti della metodologia e connessi alla logistica delle aree indagate;

FASE 4. Approfondimento delle indagini: Sulla base dei risultati delle indagini sismiche di superficie, vengono realizzate indagini di dettaglio, quali sondaggi geognostici (con prelievo di campioni per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio in campo statico e dinamico) e prove Down-hole, per una migliore e puntuale definizione del profilo sismostratigrafico;

FASE 5. Definizione del modello geologico-tecnico, dell'input sismico ed esecuzione dell'analisi di amplificazione: a seguito della realizzazione di sez. litostratigrafiche e della parallela definizione di un input sismico significativo (eseguito su base deterministica, probabilistica o energetica) vengono realizzate analisi numeriche in campo mono e bidimensionale, per fornire una stima quantitativa della risposta sismica locale;

FASE 6. Definizione dei parametri (spettri di risposta e fattori di amplificazione) da fornire ai comuni per la progettazione di nuovi edifici e per gli interventi di adeguamento e miglioramento sugli edifici esistenti;

FASE 7. Realizzazione di un banca dati geografica (GIS) dei dati acquisiti mediante le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche: Lo scopo principale è poter gestire un quantitativo ingente di informazioni provenienti da diverse discipline e integrare tali dati in modo oggettivo e dinamico, in modo da poterli modificare e aggiornare nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica, l'estrazione dei dati sulla base di specifiche richieste dell'utente (comuni e singoli professionisti) o l'analisi con diversi metodi.

FASE 8 - Redazione di cartografie di microzonazione sismica da fornire agli Enti Locali ed ai professionisti al fine di integrare lo strumento conoscitivo del territorio e costituire la base conoscitiva da utilizzare anche ai fini urbanistici.

L'analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di 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 sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, 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.

Il codice, scritto in Fortran90, è chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) ed è 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.

Nel caso on esame, ai fini della selezione degli accelerogrammi non è stata necessaria la suddivisione del territorio in più aree omogenee sismicamente in quanto l'estensione ridotta del Comune di 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 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

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).

Per una verifica dei 7 accelerogrammi utilizzati come input delle analisi svolte riferiti ad una condizione detta di "outcrop" e per una completa trattazione delle analisi e delle elaborazioni relative al livello 3 di indagine si rimanda alla specifica **Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)**.

Il risultato fondamentale del terzo livello è la **Carta di Microzonazione Sismica** ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Nella carta vengono individuate le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone suscettibili di instabilità.

Per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, le amplificazioni vengono quantificate, come descritto precedentemente, per mezzo di abachi che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche. Detti abachi vengono predisposti dalle regioni, sulla base di criteri generali comuni, tenendo conto delle peculiarità sismotettoniche e geologiche dei rispettivi territori.

Sulla scorta dei fattori di amplificazione locale ricavati per ogni singola zona stabile suscettibile di amplificazioni locali derivante dalla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) di Livello

1, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali vengono raggruppate in base al valore del fattore di amplificazione di riferimento.

Inoltre, nella Carta di Microzonazione Sismica vengono inserite le zone suscettibili di instabilità, con particolare riferimento alle zone di attenzione per instabilità di versante, alle zone di attenzione per liquefazione e alle zone di attenzione per cedimenti differenziali.

Per la indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione della **cartografie di Microzonazione Sismica** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 e 1.1.4 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

## **8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE**

Gli studi di MS si sono concentrati sulla quasi totalità del territorio comunale ad eccezione di quelle porzioni perimetrali o morfologicamente più acclivi laddove non presenti aree edificate.

Infatti l'area di indagine coincide necessariamente con le zone del territorio comunale occupate da insediamenti abitativi, industriali e/o elementi antropici di interesse e sono state, pertanto, sottoposte a studi e indagini specifiche finalizzate alla redazione delle carte di dettaglio con rilievo in scala 1:2.000 e restituzione grafica ed “editing” in scala 1:5.000 (carta delle indagini, carta delle frequenze, carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, carta di Microzonazione Sismica) previste per gli studi di microzonazione sismica di 1°, 2° e 3° Livello.

## **8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE**

La Carta delle indagini (Tavola G.01) mostrano, nel dettaglio per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti “bibliografiche” e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche appositamente realizzate nel novero dello svolgimento delle attività di cui al presente studio di microzonazione sismica di 2° e 3° livello (cfr. certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica” (versione 4.2 del dicembre 2020).

Nella Carta delle frequenze (Tavola G.02) vengono fornite le informazioni ottenute (frequenza e ampiezza del picco di risonanza, classe di appartenenza) dall'interpretazione delle misure di rumore sismico eseguite nelle aree urbanizzate del comune di assoggettate alla presente indagine.

Per ogni misura è stata ottenuta la curva del rapporto H/V del segnale sismico acquisito, sulla quale sono stati eventualmente individuati picchi di risonanza per un certo valore di frequenza.

Tale cartografia riassume e fornisce indicazioni qualitative sulla classe di frequenza fondamentale allo scopo di distinguere:

- aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (ad esempio nessun massimo relativo significativo di  $f_0$  nell'intervallo 0,1-20 Hz);
- aree caratterizzata da presenza di fenomeni di risonanza, distinguendo fra:

- spessori attesi > di 100 m (indicativamente con  $f_0 < 1$  Hz),
- spessori compresi fra 100 e 50 m (indicativamente con  $1\text{ Hz} < f_0 < 2$  Hz),
- spessori compresi fra 50 e 30 m (indicativamente con  $2\text{ Hz} < f_0 < 3$  Hz),
- spessori compresi fra 30 e 20 m (indicativamente con  $3\text{ Hz} < f_0 < 5$  Hz),
- spessori compresi fra 20 e 10 m (indicativamente con  $5\text{ Hz} < f_0 < 8$  Hz),
- spessori compresi fra 10 e 5 m (indicativamente con  $8\text{ Hz} < f_0 < 20$  Hz),
- spessori minori di 5 m (indicativamente con  $f_0 > 20$  Hz).

Il range significativo a cui fare riferimento per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica di un sito è circa 1-10 Hz. Picchi con frequenze di circa 1-2 Hz sono rappresentativi mediamente di contrasti di impedenza sismica collocati a profondità dell'ordine di qualche centinaia di metri. Frequenze di risonanza, invece, comprese nell'intervallo 8-12 Hz sono rappresentative di limiti stratigrafici, esistenti tra coperture detritiche e substrato roccioso, la cui profondità è dell'ordine di qualche metro (mediamente compresa tra 0 e 10 m).

Per la rappresentazione dei risultati, sono stati considerati i seguenti intervalli di frequenza (Hz):

- nessuna risonanza
- 0,1 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,5
- 2,5 - 5,0
- 5,0 - 7,5
- 7,5 - 10,0
- 10,0 - 15,0
- 15,0 - 20,0

Al fine di riportare in carta il dato relativo all'ampiezza del picco fondamentale, sono stati considerati i seguenti intervalli di ampiezza:

- nessuna risonanza
- 1,1 - 2,0
- 2,0 - 3,0
- 3,0 - 5,0
- > 5,0

Ogni coppia di valori (frequenza/ampiezza) individuati, è stato riportato in apposita tabella sulla relativa cartografia di ubicazione indagini.

Per la valutazione dell'entità del contrasto d'impedenza sismica, individuato con l'interpretazione delle misure di rumore, si è fatto riferimento al seguente criterio di classificazione:

- per ampiezze < 3, il contrasto d'impedenza sismico è basso
- per ampiezze > 3, il contrasto d'impedenza sismico è elevato (alto).

Tale discriminazione è stata applicata solo a valori di ampiezza riferite al picco principale.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione allegata al presente documento redatta dall'impresa realizzatrice delle indagini sismiche (cfr. relazione collazionata in apposito fascicolo unitamente alle certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

L'entità del contrasto di impedenza sismica non è stato riportato direttamente sulla carta delle frequenze, ma sulle colonne stratigrafiche del modello geologico di sottosuolo, mostrate sulla carta delle MOPS e di Microzonazione sismica e sulle sezioni geologiche.

Tale elaborato ha il duplice scopo di fornire un adeguato strumento per la predisposizione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1, ma anche offrire un'indicazione delle profondità di investigazione per il livello superiore di MS (livello 2 e livello 3) e la definizione della relativa Carta di Microzonazione Sismica di livello 2 e 3.

L'utilizzo della tabella di confronto tra lo spessore di copertura stimato e la frequenza fondamentale del terreno, riportata nel lavoro di *Albarello ed alii, 2010.*, costituisce un valido ausilio. Utilizzando questa tabella, infatti, è quindi possibile ottimizzare i costi ed evitare eventuali indagini geognostiche spinte a profondità eccessive o al contrario a profondità insufficienti a raggiungere il contrasto di impedenza sismico principale.


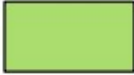




Una sintetica descrizione delle risultanze delle misure di rumore sismico effettuate con tecnica HVSr presso le aree di indagine nel territorio comunale di Ortignano Raggiolo è riportata nel presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.

### **8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA**

La carta geologico tecnica è stata redatta in scala 1:5.000 (Tavola G.03) rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020), l'elaborato di compendio di tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e della carta di microzonazione sismica.

Le unità geologico-litologiche vengono distinte tra terreni di copertura, con spessore minimo di 3,0 m, e substrato geologico rigido o non rigido, per giungere ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. La suddivisione dei litotipi in classi predefinite permette, così, di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità. Le tipologie dei terreni di copertura in base alle caratteristiche litologiche e i relativi codici corrispondenti vengono descritti utilizzando l'Unified Soil Classification System (ASTM, 1985, modificato) come di seguito presentato:

In aggiunta per i terreni di copertura vengono riportati i codici relativi agli ambienti di possibile genesi e deposizione dei terreni di copertura.

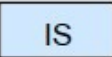


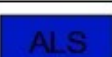
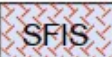





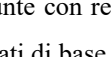
Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche
	LC	Litoide di copertura

*Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura*

<b>Ambiente vulcanico</b>	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Piroclastiti	pc
Scorie laviche	sc
Coltri ignimbritiche/tufi	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Depositi epiclastici	ep
<b>Ambiente di versante</b>	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
<b>Ambiente fluvio - lacustre</b>	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Varve	va
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
<b>Ambiente carsico</b>	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
<b>Ambiente glaciale</b>	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
<b>Ambiente eolico</b>	
Duna eolica	de
Loess	ls
<b>Ambiente costiero</b>	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
<b>Altro ambiente</b>	zz

*Legenda della Carta Geologica Tecnica: ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura*

Le unità del substrato geologico vengono definite tenendo conto della tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi), della stratificazione (qualora esistente) e del grado di fratturazione (secondo una valutazione qualitativa).

Substrato geologico		
	IS	Incoerente o poco consolidato
	LP	Lapideo
	GR	Granulare cementato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	ISS	Incoerente o poco consolidato, stratificato
	LPS	Lapideo, stratificato
	GRS	Granulare cementato, stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
	SFIS	Incoerente o poco consolidato fratturato / alterato
	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
	SFISS	Incoerente o poco consolidato, stratificato fratturato / alterato
	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

*Legenda della Carta Geologica Tecnica: substrato geologico*

In tale cartografia sono stati riportati gli elementi tettonico strutturali (faglie e strutture tettoniche certe o presunte con relativo stato di attività, stratificazioni) e gli elementi geologico e idrogeologici puntuali derivanti dai dati di base (profondità del substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo, profondità di sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido, profondità della falda).



A riguardo del raggiungimento o meno del substrato rigido si precisa che nella cartografia prodotta viene considerata come substrato rigido la sola unità geologico-tecnica LPS, tra quelle appartenenti al substrato geologico e presenti nel territorio comunale in esame. Infatti le altre unità geologico-tecniche (ALS) appartenenti al substrato geologico non vengono considerate come un substrato rigido in quanto, data la loro natura litologica e stratigrafico-strutturale e sulla scorta delle indagini sismiche effettuate, presentano valori di  $V_s < 800$  m/s.

Inoltre vengono fornite indicazioni relativamente alle fenomenologie di instabilità di versante (tipologia di instabilità e stato di attività), per le cui definizioni riguardanti lo stato di attività dei versanti il riferimento è il progetto IFFI. Infine vengono presentate le forme morfologiche di superficie e sepolte.

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie “unità geologico-tecniche” individuate con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

#### **Terreni di copertura**

- **Unità geologico-tecnica RI:** corrisponde ai terreni di riporto contenenti resti di attività antropica (h).
- **Unità geologico-tecnica GWpi:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia di ambiente genetico fluvio lacustre (piana inondabile). A questi corrispondono i depositi alluvionali attivi (ba).
- **Unità geologico-tecnica GMtf:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (terrazzo fluviale). A questi corrispondono i depositi alluvionali inattivi (bi).
- **Unità geologico-tecnica GMfd:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante (falda detritica). A questi corrispondono i corpi detriti appartenenti ai depositi di versante (dt).
- **Unità geologico-tecnica SMec:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante (eluvi/colluvi). A questi corrispondono i depositi eluvio-colluviali (d).

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nella cartografia secondo quanto previsto alla figure 1.1.2-1 e 1.1.2-2 delle norme ICMS (versione 4.2, dicembre 2020), evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

#### **Substrato geologico**

- **Unità geologico-tecnica LPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2) e alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3).
- **Unità geologico-tecnica SFLPS:** corrisponde al substrato geologico lapideo stratificato, fratturato / alterato. A questa unità sono riferibili le litologie fratturate / alterate appartenenti alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2) e alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3).
- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litologie stratificate. Ne fanno parte la Formazione di Monte Morello (MLL) e la Formazione di Sillano (SIL).
- **Unità geologico-tecnica SFALS:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litologie stratificate, fratturato / alterato. Ne fanno parte le litologie fratturate / alterate appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Formazione di Sillano (SIL).

Di seguito viene riportata una tabella comparativa delle classi di attribuzione, per ciascun deposito lito-stratigrafico o formazione geologica, della cartografia litologico-tecnica, secondo le norme VEL, e della cartografia geologico-tecnica per la microzonazione sismica, secondo le norme ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020).

<b><i>SIGLA FORMAZIONE</i></b>	<b><i>NOME FORMAZIONE</i></b>	<b><i>UNITA' LITOLOGICO- TECNICA (VEL)</i></b>	<b><i>UNITA' GEOLOGICO- TECNICA (ICMS)</i></b>
h	Depositi antropici di riporto	h	RI
	Corpi di frana	E	varie
dt	Depositi di versante	E	GMfd
ba	Depositi alluvionali attivi	E2	GWpi
bi	Depositi alluvionali inattivi	E3	GMtf
d	Depositi eluvio-colluviali	E3	SMec
FAL2	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli	B4	LPS SFLPS (se fratturato / alterato)
FAL3	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto	B4	LPS SFLPS (se fratturato / alterato)
MLL	Formazione di Monte Morello	B4	ALS SFALS (se fratturato / alterato)
SIL	Formazione di Sillano	B5	ALS SFALS (se fratturato / alterato)

A corredo della carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 (Tavola G.02) sono state realizzate alcune sezioni geologico-tecniche (Tavola G.07 in scala 1:2.000) rappresentative del modello geologico del sottosuolo. Tali sezioni sono state tracciate in modo tale da intersecare gli elementi strutturali e geomorfologici più rappresentativi anche in funzione delle condizioni di rischio sismico, nonché i rapporti stratigrafici più significativi per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica. Ciò ha permesso di rappresentare non solo il modello geologico-stratigrafico e strutturale locale, ma anche di mettere in evidenza le principali criticità legate al profilo dei versanti (scarpate con  $h = 10-20$  m o  $h > 20$  m, picchi isolati, zone di cresta, inclinazioni pendii elevate).

#### **8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)**

La “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” rappresenta l’elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di livello 1. Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad eguale comportamento sismico. La produzione della carta MOPS è basata sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di microzonazione e i “dati di base raccolti” quali stratigrafie e certificazioni di prove penetrometriche, analisi di laboratorio e indagini sismiche per la definizione della velocità delle onde P e SH e misure di frequenza caratteristica dei terreni. Inoltre, al fine di valutare l’influenza degli aspetti topografici

di versate, si sono tenute in considerazione le caratteristiche cliviometriche dei luoghi deducibili dalla cartografia ufficiale C.T.R. della Regione Toscana.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.3 degli ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone di attenzione per le instabilità**

Le **zone stabili** sono quelle nelle quali si ipotizza che non si verifichino significativi fenomeni di amplificazione sismica (presenza di substrato geologico/sismico in affioramento) e per le quali, perciò, in caso di evento sismico, sono attesi scuotimenti equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base dell'INGV. Considerando che la pericolosità sismica di base di un sito è definita sull'ipotesi di substrato litoide affiorante su superficie pianeggiante o con inclinazione inferiore a  $15^\circ$ , rientrano nella classe delle zone stabili tutte quelle aree che presentano substrato roccioso in affioramento (con eventuale copertura costituita dalla coltre di alterazione con spessore massimo di 3 m) e per le quali si abbiano condizioni di bassa fratturazione dell'ammasso ( $J_v \leq 10-15$ ), nonché inclinazione del pendio  $< 15^\circ$ . Inoltre, qualora studi pregressi evidenzino una velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo inferiore a 800 m/s, il substrato affiorante può non essere considerato substrato sismico, ma solamente geologico. La numerazione delle zone stabili è progressiva a partire dalla n.1 fino alla n. K.

Le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** sono le aree nelle quali si presume che, in presenza di sisma, si possano verificare fenomeni di amplificazione sismica. Sono caratterizzate o dalla presenza solamente di substrato roccioso affiorante con caratteristiche strutturali e/o topografiche e/o sismiche tali da non permettere la delimitazione di una zona stabile, oppure dall'esistenza di coperture riconducibili a depositi di origine alluvionale, a coltri detritiche di versante (detriti di versante, depositi eluvio-colluviali, frane), a depositi di origine antropica. La numerazione è progressiva a partire da k+1 fino a n.

Le **zone di attenzione per le instabilità** sono le zone per le quali, in caso di terremoto, si ipotizza si possano manifestare deformazioni permanenti del sottosuolo. I fenomeni deformativi individuati dagli ICMS come causa dell'evento sismico sono:

- **instabilità di versante (frane attive, quiescenti, inattive)**
- **liquefazione**
- **cedimenti differenziali**
- **faglie attive e capaci**

Le **instabilità di versante** sono legate all'attivazione di nuove frane o alla riattivazione di frane quiescenti o antiche stabilizzate. Le tipologie di movimenti sulla base delle quali possono essere discriminate le frane sono: crollo o ribaltamento, scorrimento, colata, frana complessa.

La **liquefazione** è legata alla presenza di materiali granulari sciolti riconducibili a sabbie, sabbie e limi, sabbie e ghiaie. Inoltre si considerano terreni potenzialmente liquefacibili, quelli nei quali la superficie piezometrica della falda freatica superficiale o di falde confinate più profonde si trovi ad una profondità da p.c.  $\leq 15$  m. Comunque per gli aspetti legati alla liquefacibilità dei terreni, gli aspetti di cui tenere conto sono quelli indicati al par. 7.11.3.4 delle NTC 2008 (per le quali sicuramente la natura granulometrica, la profondità della falda e la

magnitudo attesa costituiscono i principali fattori predisponenti) e gli ulteriori approfondimenti riportati al par. 3.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020). Relativamente a tale aspetto si è tenuto conto delle indicazioni di cui alle *“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione”* editate dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – (versione 1.0 del luglio 2013 e versione 1.20 beta del 2014).

I **cedimenti differenziali** sono attesi lungo le zone di contatto tra unità geologiche aventi caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (es. depositi alluvionali su substrato roccioso). Tale differenza si traduce in una diversa risposta sismica, la quale può indurre, in caso di terremoto, cedimenti significativi, soprattutto nei terreni presenti a ridosso del contatto stratigrafico. Le zone di instabilità per cedimenti differenziali possono perciò essere rappresentate tramite buffer.

Le **faglie attive e capaci** sono faglie per le quali si ipotizza che:

- si siano mosse almeno una volta negli ultimi 40.000 anni
- che potenzialmente manifestano deformazioni che si possono propagare fino in superficie.

Come descritto negli ICMS, le potenziali faglie attive da inserire nella cartografia geologica-geomorfologica devono essere confermate da studi di geologia strutturale di comprovata validità. Inoltre l'identificazione di eventuali faglie capaci, deve essere eseguita facendo riferimento allo studio ITHACA dell'INGV, con il quale è stato realizzato un archivio delle faglie capaci presenti sul territorio italiano. Anche nel caso di instabilità per faglie attive e capaci, come per i cedimenti differenziali, si tende a definire un buffer in corrispondenza della lineazione tettonica.

Al fine di integrare le informazioni acquisite con la definizione delle microzone, la carta delle MOPS riporta le morfologie che hanno rilevanza ai fini dell'amplificazione sismica (**forme di superficie e forme/elementi sepolti**). Tali morfologie sono riconducibili a forme deposizionali come conoidi alluvionali e falde detritiche, ma anche a forme di versante quali orli di scarpata morfologica con  $10 < h < 20$  m e  $h > 20$  m, creste e picchi isolati (cocuzzoli), forme fluviali come orli di terrazzi fluviali con  $10 < h < 20$  m e  $h > 20$  m, forme erosive (scarpate e valli) e carsiche (cavità) sepolte.

## 8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

La “Carta di Microzonazione Sismica” rappresenta l'elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica sia di Livello 2 che di Livello 3.

Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad uguale comportamento sismico in funzione dello specifico fattore di amplificazione sismica. La produzione della carta di Microzonazione Sismica si basa sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico, di indagine e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di microzonazione sismica di Livello 1 e sull'applicazione, nel caso di studi di Livello 2, della quantificazione numerica degli effetti, sulla scorta degli abachi di riferimento, in funzione dei valori peculiari di caratterizzazione sismica ( $V_{sEq,30}$ ,  $f_0$ ) del sottosuolo di interesse; mentre, nel caso del Livello 3 sull'applicazione delle metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo 2D eseguite per le elaborazioni di detto livello di indagine.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.4 degli ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- zone suscettibili di instabilità

Le zone stabili e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali hanno come attributo i parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e uno spettro di risposta elastico rappresentativo.

Le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1,0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o attraverso simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione si attribuirà alla microzona un valore uguale a 1,0.

Nell'ambito degli approfondimenti di Livello 2 le amplificazioni vengono valutate attraverso abachi in funzione della bassa complessità del contesto nel quale è inquadrato lo studio.

Nell'ambito degli approfondimenti di Livello 3, invece, le amplificazioni vengono valutate attraverso analisi numeriche 2D.

In entrambi i casi nella Carta di Microzonazione Sismica viene riportato il parametro che quantifica l'amplificazione indicato dalla Regione.

Gli ICMS definiscono, nell'ambito degli approfondimenti di Livello 2, una serie di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione.

Le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (FA e FV) da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e alto periodo (FV). Tra i parametri di amplificazione, potrà essere inserito anche Ft, che sarà espresso con la stessa simbologia e le stesse classi degli altri parametri di amplificazione.

Gli abachi degli ICMS sono rappresentativi di assetti litostratigrafici semplificati e sono stati sviluppati con la finalità di consentirne un utilizzo quanto più possibile diffuso. La Regione Toscana, si è dotata, come prescritto dalle Linee Guida ICMS di abachi propri e più rappresentativi degli assetti sismotettonici e geologico-tecnici regionali degli ambienti che li caratterizzano.

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri di amplificazione da riportare secondo i criteri ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) nelle Carte di Microzonazione Sismica.

Parametro	Descrizione
FA	Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS
FV	Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS
Ft	Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FH0515	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.5 s
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA
FA0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di

	integrazione 0.1-0.5 s
FA0408	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s
FA0711	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s

L'inserimento dei valori di FA0105, FA0408 e FA0711, per garantire omogeneità di rappresentazione nel database a livello nazionale, è facoltativo per il Livello 2 di Microzonazione Sismica qualora siano disponibili abachi regionalizzati, come nel caso della Regione Toscana. Nel caso in esame, essendo stati definiti dalla Regione Toscana gli abachi di riferimento, vengono presentati i valori di FA0105, FA0408 e FA0711.












L'inserimento dei valori di FA0105, FA0408 e FA0711, per garantire omogeneità di rappresentazione nel database a livello nazionale, è invece obbligatorio per il Livello 3.

Nel caso in esame sono state elaborate le analisi riferibili a tutti e tre i suddetti intervalli di integrazione, tuttavia cartograficamente sono stati presentati i valori del solo intervallo FA0105, dato ritenuto maggiormente rappresentativo e statisticamente più probabile.

Oltre ai valori dei fattori di amplificazione e alle analisi numeriche, negli studi di Microzonazione di Livello 3 viene fornito anche lo spettro elastico di risposta in superficie (output) rappresentativo della singola zona, sia in termini di pseudovelocità, che in termini di pseudoaccelerazione, e gli accelerogrammi di input utilizzati per le elaborazioni numeriche. Per ciascuna microzona viene riportata nel DB anche la categoria di sottosuolo indicativa (A, B, C, D, E), così come definita nella normativa antisismica vigente (NTC2018 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018; Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica). Non è prevista la rappresentazione cartografica delle categorie di sottosuolo.


Nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 2 per le zone stabili e per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali viene usata, secondo quanto riportato alla fig. 1.1.4.1-1 la seguente legenda.

Si precisa che nella zona stabile, con parametro di amplificazione uguale a 1,0 sono comprese le zone con deamplificazione e con amplificazioni fino a 1,04. Nella classe 1,1-1,2, invece, sono compresi valori di amplificazione da 1,05 a 1,24, mentre nella classe 1,3-1,4 sono compresi valori di amplificazione da 1,25 a 1,44, e così via.




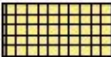
















Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0). <sup>12</sup>	
	1.0
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione). <sup>13</sup>	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità, nella carta di Microzonazione Sismica con approfondimento di Livello 2, le zone suscettibili di instabilità per liquefazione o instabilità di versante conservano la geometria delle zone definite dalla Carta delle MOPS, ma con riferimento alle zone date dall'amplificazione calcolata con gli abachi.

Di seguito vengono riportate le legende relative alle zone di attenzione per instabilità

Zone di attenzione per instabilità	
Vedi Figura 1.1.4.2-1a	Z <sub>ARI</sub> - Zona di Attenzione per instabilità di versante
Vedi Figura 1.1.4.2-1a	Z <sub>ALI</sub> - Zona di Attenzione per liquefazioni
	Z <sub>AFAC</sub> - Zona di Attenzione per faglie attive e capaci
	Z <sub>ACD</sub> - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole
	Z <sub>AIID</sub> - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti

Estratto Fig. 1.1.4.2-1

Zone di attenzione per instabilità		
Z <sub>ARI</sub>	Z <sub>ALI</sub>	PARAMETRO DI AMPLIFICAZIONE
		1.1 – 1.2
		1.3 – 1.4
		1.5 – 1.6
		1.7 – 1.8
		1.9 – 2.0
		2.1 – 2.2
		2.3 – 2.4
		2.5 – 3.0
		3.1 – 3.5
		>3.5


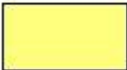









Estratto Fig. 1.1.4.2-1.a

In carta, su ciascuna zona di attenzione per instabilità di versante e per liquefazione, viene riportato il valore del fattore di amplificazione.

Nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 per le zone stabili e per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali viene usata, secondo quanto riportato alla fig. 1.1.4.1-1 la seguente legenda.

Si precisa che nella zona stabile, con parametro di amplificazione uguale a 1,0 sono comprese le zone con deamplificazione e con amplificazioni fino a 1,04. Nella classe 1,1-1,2, invece, sono compresi valori di amplificazione da 1,05 a 1,24, mentre nella classe 1,3-1,4 sono compresi valori di amplificazione da 1,25 a 1,44, e così via.



Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0). <sup>12</sup>	
	1.0
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione). <sup>13</sup>	
	1.1 – 1.2
	1.3 – 1.4
	1.5 – 1.6
	1.7 – 1.8
	1.9 – 2.0
	2.1 – 2.2
	2.3 – 2.4
	2.5 – 3.0
	3.1 – 3.5
	>3.5

Per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità, nella carta di Microzonazione Sismica con approfondimento di Livello 3, le zone suscettibili di instabilità per liquefazione o instabilità di versante potranno avere geometrie, descrizioni e indicazioni diverse e aggiuntive rispetto alla geometria delle zone definite dalla Carta delle MOPS, essendo state espletate ulteriori indagini ed elaborazioni proprie di questo livello di approfondimento.

Le Zone Suscettibili di instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci) potranno essere di 2 tipi:

- ZS: Zone di Suscettibilità (zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifici per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche semplificati, è possibile definire la pericolosità in termini quantitativi).

- ZR: Zone di Rispetto (zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche avanzati, è possibile quantificare con maggior accuratezza la pericolosità. Tale quantificazione è finalizzata all'analisi dettagliata di aree limitate sulle quali possono essere presenti opere vulnerabili).

Per entrambi i tipi di zone sarà possibile riportare un parametro che quantifichi il fenomeno.

I parametri per le instabilità di versante sono il massimo movimento (FRT, in centimetri) di una frana di scivolamento e il massimo spostamento di blocchi (FRR, in metri) in una frana in roccia.

Il parametro che caratterizza una zona instabile per liquefazione è l'Indice del potenziale di liquefazione (valore medio di IL), così come definito in Sonmez (2003).

Per le faglie attive e capaci il parametro quantitativo richiesto è la dislocazione massima (DISL).

Di seguito vengono riportate le legende relative alle zone di attenzione per instabilità

Zone suscettibili di instabilità	
Vedi Figura 1.1.4.2-2a	ZS <sub>ra</sub> Zona di Suscettibilità per Instabilità di versante
	ZR <sub>ra</sub> Zona di Rispetto per Instabilità di versante
Vedi Figura 1.1.4.2-2b	ZS <sub>uq</sub> Zona di Suscettibilità per Liquefazione
	ZR <sub>uq</sub> Zona di Rispetto per Liquefazione
	ZS <sub>rac</sub> Zona di Suscettibilità per Faglie Attive e Capaci
	ZR <sub>rac</sub> Zona di Rispetto per Faglie Attive e Capaci
	ZAc <sub>d</sub> - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole *
	ZAd <sub>d</sub> - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti *

*Estratto Fig. 1.1.4.2-2*

Parametro di amplificazione „A	ZSra			ZRra
	0<FRT≤15cm 0<FRR≤10m	15<FRT≤100cm 10<FRR≤50m	FRT>100cm FRR>50m	
1				
1.1 – 1.2				
1.3 – 1.4				
1.5 – 1.6				
1.7 – 1.8				
1.9 – 2.0				
2.1 – 2.2				
2.3 – 2.4				
2.5 – 3.0				
3.1 – 3.5				
>3.5				

Estratto Fig. 1.1.4.2-2.a

Parametro di amplificazione „A	ZSuq		ZRuq
	2<IL≤5	5<IL≤15	IL >15
1			
1.1 – 1.2			
1.3 – 1.4			
1.5 – 1.6			
1.7 – 1.8			
1.9 – 2.0			
2.1 – 2.2			
2.3 – 2.4			
2.5 – 3.0			
3.1 – 3.5			
>3.5			

Estratto Fig. 1.1.4.2-2.b

Anche in questo caso nella cartografia, su ciascuna zona di attenzione per instabilità di versante e per liquefazione, viene riportato il valore del fattore di amplificazione ricavato.

## 8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

### ELABORAZIONI DI LIVELLO 1

Relativamente al livello 1 e alle carte delle indagini, delle frequenze e geologico tecnica per la microzonazione sismica si rimanda a quanto riportato ai paragrafi 8.2 e 8.3, mentre per quanto concerne la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) nel proseguo vengono elencate e descritte le risultanze relative alla elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica eseguita per il territorio comunale (come presentate negli elaborati Tavola G.04 in scala 1:5.000).

Nel territorio analizzato non sono state identificate Zone stabili.

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

ID	Descrizione Zona
2001	Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i..
2002	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i..
2003	Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
2004	Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..
2005	Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
2006	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
2007	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..
2008	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Possibile alto c.i..
2009	Copertura di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
2010	Copertura di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
2099a	Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i..
2099b	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i..

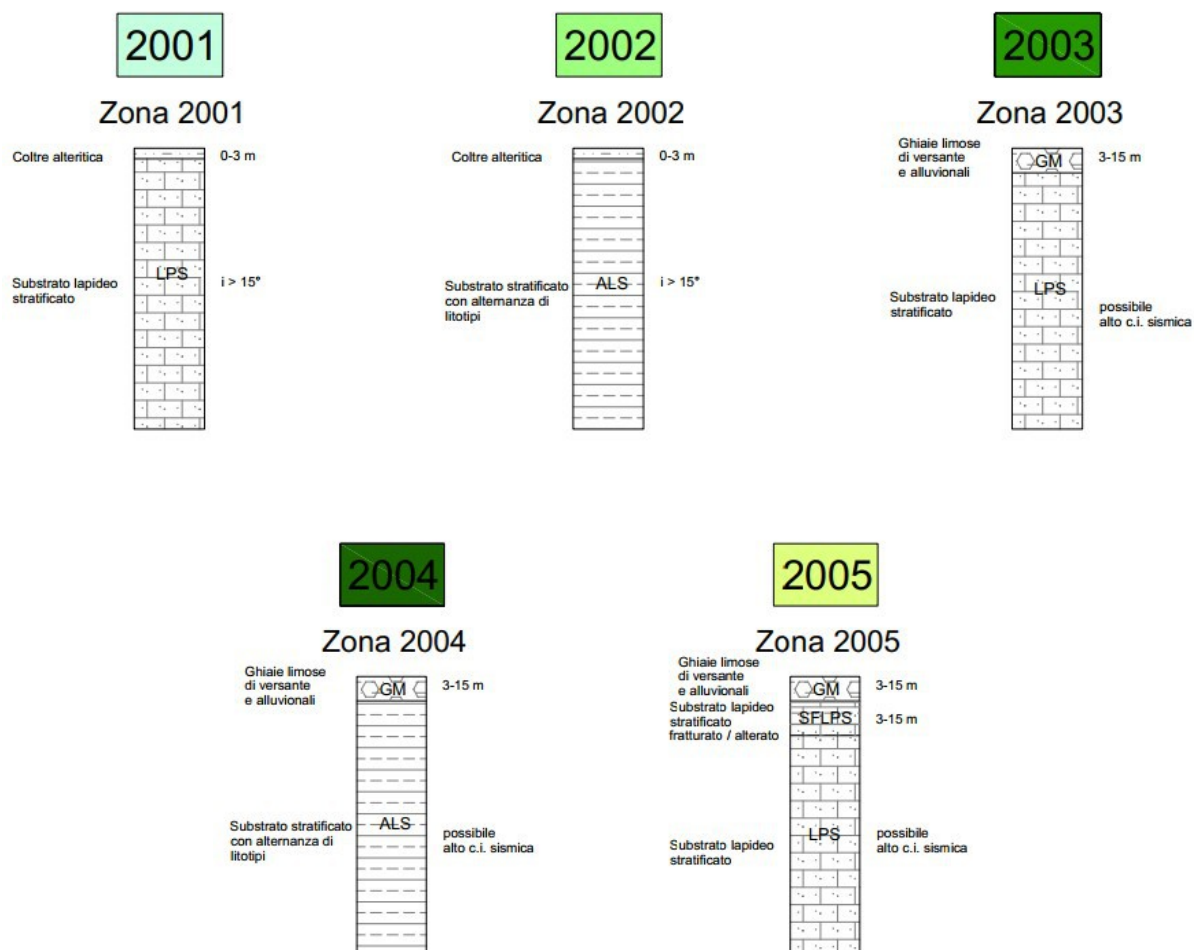
### Zone di attenzione per le instabilità

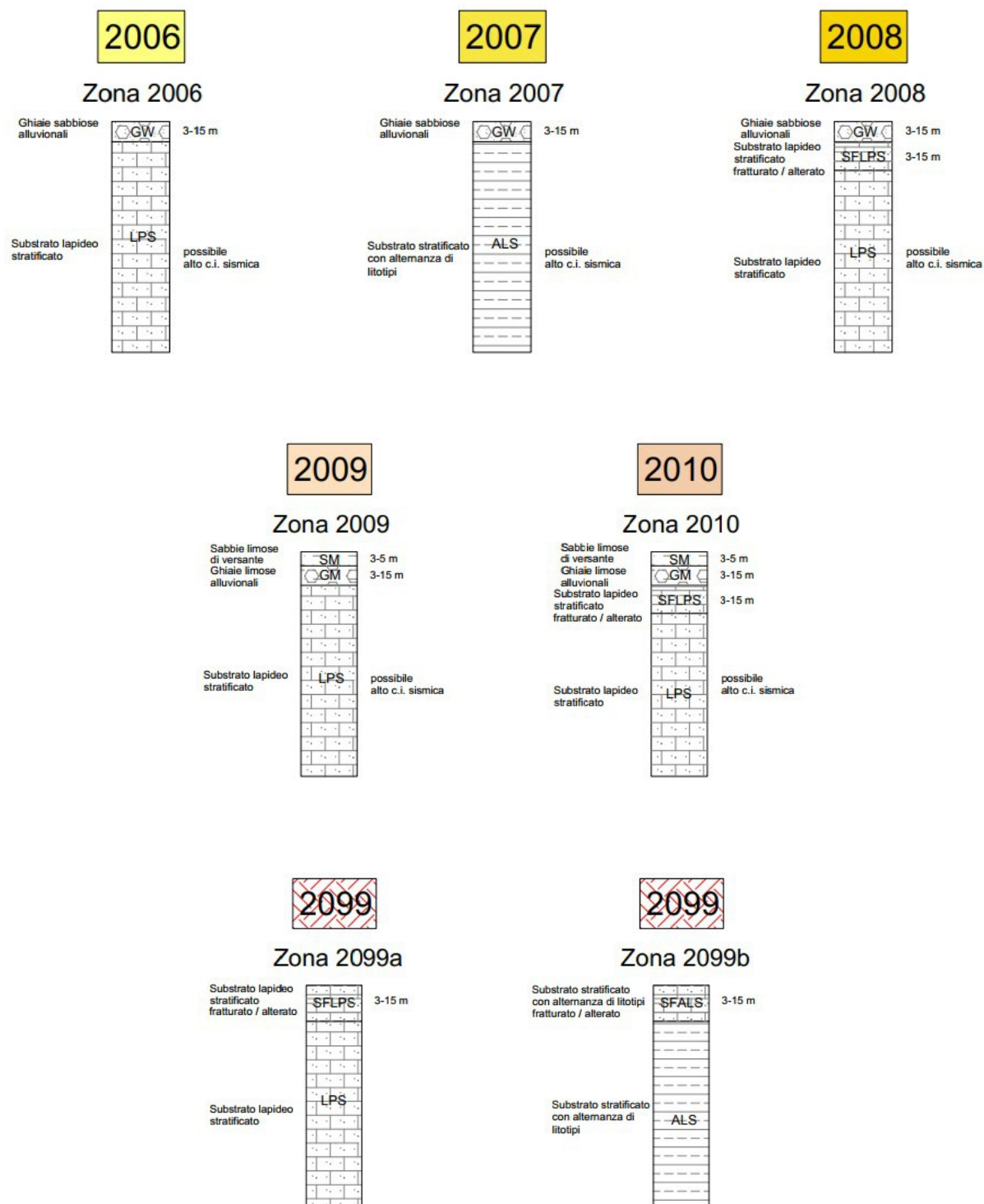
ID	Descrizione Zona
----	------------------

**ZAFR1....n** Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).

Di seguito vengono riportate graficamente le colonne sintetiche rappresentative delle suddette microzone, riportate anche nella specifica carta delle Mops.

## ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI





## ELABORAZIONI DI LIVELLO 2

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2, eseguiti nel territorio comunale di Ortignano Raggiolo per gli areali di Raggiolo, Badia Tega e Villa, la Carta delle Indagini di Livello 1 ed il relativo database sono stati aggiornati con i nuovi dati acquisiti durante il presente lavoro; è stata naturalmente seguita la simbologia indicata nelle Istruzioni Tecniche e negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica ufficiali.

Anche l'elaborato relativo alla Carta delle Frequenze redatto per il Livello 1, è stato aggiornato in funzione delle nuove misure HVSR eseguite.

Nella carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura alluvionale e delle coltri detritiche su substrato.

Nella Carta di Microzonazione Sismica è stata riportata la distribuzione delle aree caratterizzate da amplificazioni locali del moto sismico per effetti litostratigrafici, per le quali è stato quantificato il fattore di amplificazione FA, ottenute tramite lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 effettuato.

In accordo con i referenti della Regione Toscana per meglio rappresentare gli effetti attesi, per ognuna delle zone studiate, è stata elaborata la sola seguente rappresentazione cartografica:

- carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0.5s.

Per detto elaborato le nuove indagini eseguite hanno confermato il modello geologico generale e quindi, sostanzialmente, la classificazione delle microzone eseguita in fase di Livello 1, sebbene con alcune modifiche ed integrazioni.

Pertanto, alle varie Zone, individuate in fase di primo livello, sono stati assegnati i valori del Fattore di Amplificazione, secondo le procedure indicate nella relazione esplicativa sull'utilizzo degli Abachi Regionali.

In termini metodologici si è proceduto:

- all'individuazione degli abachi relativi alla zona di interesse, corrispondente alla **Toscana Appenninica**;
- all'individuazione del valore di Ag (475 anni): è stata utilizzata la griglia dei valori indicati dall'INGV. Per quanto riguarda i settori del Comune di Ortignano Raggiolo interessati dagli studi di Livello 2, l'area di Raggiolo ricade in **Ag<0,15g**, mentre le aree di Badia Tega e Villa ricadono in **Ag>0,15g**.
- alla verifica della profondità del substrato (nel caso in esame risulta nella sua interezza **inferiore a 30,0 m**).
- all'utilizzo degli abachi per l'assegnazione dei valori del fattore di amplificazione utilizzando i valori di Vs30 o Vs equivalenti e di f0.

Sono quindi state effettuate le determinazioni dei valori del fattore di amplificazione per le aree oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 2 nei siti d'indagine, con i risultati sintetizzati nella Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2.

Per semplicità di lettura e di adeguamento con le cartografie di livello 3 è stata prodotta solamente la cartografia riferita ai fattori di amplificazione relativi a  $T_0 = 0.1-0.5s$ , ritenuto l'intervallo maggiormente significativo e lo scenario maggiormente rappresentativo; tuttavia sono stati sviluppati gli abachi di riferimento per tutti e tre i periodi di amplificazione di riferimento (0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s).

Per l'assegnazione dei valori del fattore di amplificazione (FHa) si precisa che i dati geofisici ottenuti dalle campagne di Microzonazione Sismica di Livello 1 e Livello 2 / 3 evidenziano delle particolarità dovute alla peculiarità del contesto geologico, già evidenziate negli studi di Microzonazione di Livello 1.

In particolare:

Per l'Intervallo 0.1-0.5s, con Ag < 0.15g e profondità del substrato < 30 m le zone Mops 2001 e 2003 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,3-1,4, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde VsH e i seguenti valori medi di frequenza: VsEq = 500 m/s con  $f_0 > 8$  Hz.



Per l'Intervallo 0.1-0.5s, con  $A_g > 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001 e 2003 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,3-1,4, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde VsH e i seguenti valori medi di frequenza:  $VsEq = 500$  m/s con  $f_0 > 8$  Hz.

Per l'Intervallo 0.4-0.8s, con  $A_g < 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001 e 2003 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1-1,2, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde VsH e i seguenti valori medi di frequenza:  $VsEq = 500$  m/s con  $f_0 > 8$  Hz.

Per l'Intervallo 0.4-0.8s, con  $A_g > 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001 e 2003 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1-1,2, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde VsH e i seguenti valori medi di frequenza:  $VsEq = 500$  m/s con  $f_0 > 8$  Hz.

Per l'Intervallo 0.7-1.1s, con  $A_g < 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001 e 2003 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1-1,2, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde VsH e i seguenti valori medi di frequenza:  $VsEq = 500$  m/s con  $f_0 > 8$  Hz.

Per l'Intervallo 0.7-1.1s, con  $A_g > 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001 e 2003 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1-1,2, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde VsH e i seguenti valori medi di frequenza:  $VsEq = 500$  m/s con  $f_0 > 8$  Hz.

## Zone stabili suscettibili di amplificazione

  $F_a = 1,3$

  $F_a = 1,4$

*Legenda della Carta di Microzonazione Sismica – zone stabili suscettibili di amplificazione*

Inoltre sono state definite le **Zone di attenzione per instabilità** e in particolare le zone interessate dalla presenza di **instabilità di versante**, comprendenti le aree interessate da frane attive o quiescenti, ed è stata valutata la possibilità o meno di **cedimenti differenziali** e la presenza di zone con **sovrapposizione di instabilità differenti**. Sulla scorta delle verifiche alla **liquefazione** eseguite si ritiene ipotizzabile la non presenza di zone instabili per la possibilità di fenomeni di liquefazione.

## Zone di attenzione per instabilità



ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante

*Legenda della Carta di Microzonazione Sismica – zone di attenzione per instabilità*

Si riportano di seguito le Microzone Sismiche individuate nello studio di Secondo Livello e la loro descrizione (come presentate nell'elaborato Tavola G.06 in scala 1:5.000).

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

ID	Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona
2001	Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica $< 3,0$ m, $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>A_g &lt; 0,15g</math></b> FA 0,1-0,5      1,4



FA 0,4-0,8 1,2  
 FA 0,7-1,1 1,2  
**Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FA 0,1-0,5 1,4  
 FA 0,4-0,8 1,2  
 FA 0,7-1,1 1,2

**2003** Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..

**Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FA 0,1-0,5 1,4  
 FA 0,4-0,8 1,2  
 FA 0,7-1,1 1,2  
**Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FA 0,1-0,5 1,4  
 FA 0,4-0,8 1,2  
 FA 0,7-1,1 1,2

### **Zone di attenzione per le instabilità'**

<b>ID</b>	<b>Descrizione Zona</b>
<b>ZAFR1....n</b>	Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).

Di seguito, al fine di una migliore valutazione delle procedure che hanno portato alla specifica assegnazione dei valori del fattore di amplificazione precedentemente definiti, per le aree di indagine su cui è stato sviluppato uno studio di Livello 2, vengono presentate delle specifiche tabelle in cui vengono indicate le condizioni al contorno (valore di Ag di riferimento e profondità del substrato) e le Zone riconosciute; e, per ciascuna zona individuata, vengono presentati i risultati di tutte le misure HVSR (valore di F0) e delle indagini lineari (valore di Vs) eseguiti, nonché il valore dei fattori di amplificazione nei periodi 0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s analizzati.

Relativamente alle Zone prive di specifiche indagini sismiche di tipo Hvsr o lineari i fattori di amplificazioni sono stati ricavati in funzione dei risultati delle indagini sismiche eseguiti in aree limitrofe aventi successione stratigrafica simile e/o interpretate sulla scorta dei risultati delle indagini sismiche eseguite in contesti geologici analoghi ma in aree a diverso Ag di riferimento.

<b>RAGGIOLO – ABACO &lt; 0.15g</b>								
<b>ZONA</b>	<b>Indagini Puntuali</b>	<b>Indagini Lineari</b>	<b>Profondità Substrato</b>	<b>Vseq/30 (m/s)</b>	<b>HVSR (Hz)</b>	<b>Fa (0.1-.5s)</b>	<b>Fa (0.4-0.8s)</b>	<b>Fa (0.7-1.1s)</b>
2001	P115 P116 P117 P137	L7	<30m	500	> 8	1.4	1.2	1.2
2003	P126 P128 P129 P133 P134	L32	<30m	500	> 8	1.4	1.2	1.2

<b>BADIA TEGA – ABACO &gt; 0.15g</b>								
<b>ZONA</b>	<b>Indagini Puntuali</b>	<b>Indagini Lineari</b>	<b>Profondità Substrato</b>	<b>Vseq/30 (m/s)</b>	<b>HVSR (Hz)</b>	<b>Fa (0.1-.5s)</b>	<b>Fa (0.4-0.8s)</b>	<b>Fa (0.7-1.1s)</b>
2001	P155 P160 P164 165	L8	<30m	500	> 8	1.4	1.2	1.2
2003	P156 P158	no indagini lineari	<30m	500	> 8	1.4	1.2	1.2

VILLA – ABACO > 0.15g								
ZONA	Indagini Puntuali	Indagini Lineari	Profondità Substrato	Vseq/30 (m/s)	HVSR (Hz)	Fa (0.1-.5s)	Fa (0.4-0.8s)	Fa (0.7-1.1s)
2001	P142 P143 P144	L22 L23	<30m	500	> 8	1.4	1.2	1.2

### ELABORAZIONI DI LIVELLO 3

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 del territorio comunale di Ortignano Raggiolo (areali di Ortignano e San Piero in Frassino), la Carta delle Indagini di Livello 1 ed il relativo database sono stati aggiornati con i nuovi dati acquisiti durante il presente lavoro; è stata naturalmente seguita la simbologia indicata nelle Istruzioni Tecniche e negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica ufficiali.

Anche l'elaborato relativo alla Carta delle Frequenze redatto per il Livello 1, è stato aggiornato in funzione delle nuove misure HVSR.

Nella carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura alluvionale e delle coltri detritiche su substrato.

Nella Carta di Microzonazione Sismica è stata riportata la distribuzione delle aree caratterizzate da amplificazioni locali del moto sismico per effetti litostratigrafici, per le quali è stato quantificato analiticamente il fattore di amplificazione FA, ottenuto tramite lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 effettuato.

In accordo con i referenti della Regione Toscana per meglio rappresentare gli effetti attesi è stata elaborata, per le aree di indagine, la sola rappresentazione cartografica relativa a:

- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0.5s.

Per detto elaborato le nuove indagini eseguite hanno confermato il modello geologico generale e quindi, sostanzialmente, la classificazione delle microzone eseguita in fase di Livello 1, sebbene con alcune modifiche.

Pertanto, alle varie Zone individuate in fase di primo livello e confermate o modificate in fase di terzo livello, sono stati assegnati i valori del Fattore di Amplificazione, secondo le procedure indicate nella Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D) e a cui si rimanda per una specifica trattazione.

Si riportano di seguito le Microzone Sismiche individuate nello studio di Terzo Livello e la loro descrizione. (come presentate negli elaborati Tavole G.05 in scala 1:5.000).

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

ID	Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona
<b>2001</b>	Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,2
<b>2002</b>	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,91
<b>2003</b>	Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5      1,07 – 1,44

<b>2004</b>	Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            2,13
<b>2005</b>	Copertura di versante e alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            1,73
<b>2006</b>	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            1,26 - 1,6
<b>2007</b>	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            2,03
<b>2008</b>	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            1,6
<b>2009</b>	Copertura di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            2,0
<b>2010</b>	Copertura di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5            2,2
<b>2099</b>	<b>a)</b> Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5            1,2 <b>b)</b> Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5            1,2

## Zone stabili suscettibili di amplificazione

 FA = 1,07

 FA = 1,26

 FA = 1,44

 FA = 1,6

 FA = 1,71

 FA = 1,91

 FA = 2,0

 FA = 2,03

 FA = 2,13

 FA = 2,20

### Zone di attenzione per le instabilità

ID	Descrizione Zona
<b>ZAFR1....n</b>	Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).
<b>(30122001)</b>	FA 0,1-0,5      1,71 (ZSFR)
<b>(30222001)</b>	FA 0,1-0,5      2,12 (ZSFR)
<b>(30122099)</b>	FA 0,1-0,5      1,94 (ZSFR)
<b>(30222099)</b>	FA 0,1-0,5      2,39 (ZSFR)

## Zone di attenzione per instabilità'



ZSFR = Zona di suscettibilità per frane  
in terra FA = 2,5 FRT = 50



ZSFR = Zona di suscettibilità per frane  
in terra FA = 1.7 FRT = 50



ZSFR = Zona di suscettibilità per frane  
in terra FA = 1.9 FRT = 50



ZSFR = Zona di suscettibilità per frane  
in terra FA = 2,0 FRT = 50



ZSFR = Zona di suscettibilità per frane  
in terra FA = 2,4 FRT = 50

### 8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE

Si raccolgono nel presente capitolo considerazioni riassuntive in merito agli aspetti relativi alle indagini eseguite e alla definizione delle zone Mops e dei fattori di amplificazione attribuiti, per ciascuna area oggetto di approfondimento.

#### ORTIGNANO

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.05 in scala 1:5.000 e G.07 in scala 1:2.000)

##### *Inquadramento geologico e geomorfologico*

L'areale di Ortignano è caratterizzato dalla presenza di litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano), rappresentata dal Membro di Camaldoli (FAL2) nella sua litofacies tipica costituita da prevalenti arenarie soventemente grossolane e da subordinati livelli di siltiti e argilliti.

L'assetto giaciturale è prevalentemente dritto e verso i quadranti orientali, con inclinazioni variabili tra 10° e 30°. Questa formazione costituisce i rilievi presenti nell'area, tra cui quello su cui sorge l'abitato storico di Ortignano ; inoltre rappresenta il substrato litoide dei settori di fondovalle, laddove le litologie appartenenti al Membro di Camaldoli (FAL2) si ritrovano sottostanti a spessori metrici (generalmente entro i 10,0 m) di coperture alluvionali.

Nei rilievi e al piede dei versanti stessi le litologie del substrato sono talora sormontate da coltri detritiche di versante (la più estesa interessa gran parte dei rilievi posti a sud dell'abitato storico di Ortignano) depositi di frana sia attivi che quiescenti e depositi eluvio-colluviali.

Secondariamente e limitatamente, per l'area di studio, ad un settore nei rilievi posti a sud-est di Ortignano si ha la presenza delle litologie appartenenti al Dominio Ligure, in particolare riferibili alla Formazione di Sillano (SIL), costituita da prevalenti argilliti, argilliti marnose e siltiti con subordinati livelli arenacei

Questa formazione si presenta in contatto tettonico con i suddetti depositi del Dominio Toscano.

Il contesto è completato dalla presenza, talora, di terreni di origine antropica, in particolare in corrispondenza delle aree intensamente urbanizzate o di manufatti e/o manomissioni di origine antropica.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto in alcuni areali da fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è principalmente quiescente e secondariamente attivo, presenti lungo i versanti dei rilievi (in particolare quelli settentrionali) dell'area di indagine. Inoltre vi sono scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché, in corrispondenza dei corsi d'acqua di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia scarsa acclività (generalmente compresa tra 0% e 5%) nel settore di fondovalle, laddove sorge l'abitato di più recente edificazione e l'area produttiva di Ortignano, con un aumento della stessa (generalmente compresa tra 5% e 25%) risalendo i settori collinari. Maggiori acclività (comprese tra 25% e 35% ma anche localmente superiori) si rilevano nei rilievi che circondano il fondovalle, in particolare nel settore meridionale degli stessi.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il Capoluogo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo strumentato con tubo per prova down-hole, con la relativa risultanza stratigrafica;
- n. 6 stratigrafie da terebrazioni di pozzi;
- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 3 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 50 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3, in corrispondenza di Ortignano non sono state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico litoide su cui sorge l'abitato di Ortignano risulta costituito da terreni riconducibili alle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona.

In particolare, il substrato litoide su cui sorge l'abitato di Ortignano è contraddistinto dai termini del Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2). Queste litologie affiorano anche in gran parte dei rilievi posti attorno all'abitato.

Inoltre rappresentano il substrato litoide dei settori di fondovalle, dove sorge l'abitato più recente di Ortignano e gli insediamenti artigianali produttivi, presente al di sotto di spessori metrici (generalmente entro i 10,0 m) di coperture alluvionali.

Il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) lungo i versanti è sovente sormontato da coltri detritiche di versante, la più estesa delle quali interessa gran parte dei rilievi posti a sud dell'abitato storico di Ortignano e depositi di frana sia attive che quiescenti.

Secondariamente e limitatamente, per l'area di studio, ad un settore nei rilievi posti a sud-est di Ortignano si ha la presenza delle litologie appartenenti al Dominio Ligure, in particolare riferibili alla Formazione di Sillano (SIL), costituita da prevalenti argilliti, argilliti marnose e siltiti con subordinati livelli arenacei

Questa formazione si presenta in contatto tettonico con i suddetti depositi del del Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2).

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recente sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GWpi (Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di ambiente genetico fluvio lacustre – piana inondabile) i depositi alluvionali attuali, all'unità geologico-tecnica GMfd (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detritici appartenenti ai depositi di versante, all'unità geologico-tecnica GMtf (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre – terrazzo fluviale) i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati, all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio colluviali.

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide fratturati / alterati appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica SFLPS (Lapideo, stratificato fratturato / alterato).
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologicotecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 50 misure HVSR si ricava una valutazione di qualità pari a 70,7 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

Per le aree ricadenti nel settore dell'abitato di Ortignano sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Ortignano Raggiolo e dagli studi di Microzonazione Simica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 50 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P45, P52, P53, P54, P55, P56, P57, P58, P65, P66, P67, P68, P75, P76, P77, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P85, P86, P87, P88, P89, P90, P91, P92, P93, P94, P95, P96, P97, P98, P99, P100, P101, P102, P103, P104, P105, P106, P107, P108, P109, P110, P111 e P112), n. 1 indagine di

sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (indagine P170) e n. 3 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh (indagini sigle L2, L5 e L6).

Le prove svolte in corrispondenza dell'abitato storico di Ortignano, nei rilievi circostanti e nei relativi settori pedemontani e pedecollinari (prove P98, P99, P102, P103, P104, P107, P108, P109, P110 e P112) hanno mostrato nella quasi totalità contrasti di impedenza, con ampiezze comprese tra 2,99 e 4,5, superficiali (valori di  $f_0$  generalmente superiori a 8 Hz); ad eccezione delle prove P97 e P106 che hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compreso tra 3,2 e 3,5) a 4 Hz e 6,3 Hz e delle prove P75, P100, P101, P105, P111 che non hanno mostrato picchi significativi.

In un settore poco a sud del colle su cui sorge il nucleo storico di Ortignano è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L5 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 5,0 – 15,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 340 e 500 m/s, a cui seguono terreni con  $V_s$  comprese tra 1050 e 1770 m/s.

Relativamente alle prove svolte nei settori montani e collinari in sinistra idraulica del Torrente Teggina (prove P45, P52, P53, P54, P55, P56, P57 e P58), le indagini P52, P53, P54 e P55 hanno mostrato generalmente alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compresi tra 2,9 e 3,4) riferibili a picchi di frequenza compresi tra 4,9 Hz e 7 Hz; mentre le indagini P45, P56 e P57 hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compresi tra 3,1 e 4,4) riferibili a picchi di frequenza superficiali (compresi tra 14,5 Hz e 19,9 Hz). La sola prova P58 non ha mostrato picchi significativi.

Per quanto riguarda le indagini svolte nel settore di fondovalle le prove P65, P66, P67, P89, P92, P94 e P95) non hanno mostrato la presenza di picchi significativi; mentre le prove P76, P84 e P85 hanno mostrato generalmente alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compresi tra 2,9 e 3,8) riferibili a picchi di frequenza compresi tra 6,1 Hz e 7,9 Hz. La maggior parte delle indagini eseguite nel settore di fondovalle (prove P58, P68, P77, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P86, P87, P88, P90, P91, P93, P96) hanno, invece, rilevato la presenza di alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compresi tra 3,1 e 5,5) riferibili a picchi di frequenza superficiali (valori di  $f_0$  superiori a 9 Hz).

In corrispondenza delle prove P94, P95 e P96 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L2 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 4,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 350 e 470 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di ca. 5,0 e 6,0 m con  $V_s$  comprese tra 810 e 815 m/s, a cui seguono terreni con  $V_s$  comprese tra 1635 e 1730 m/s.

Nel medesimo settore è stata eseguita una prova sismica down-hole in foro (prova P170) che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 1,0 m con  $V_s = 300$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 6,0 m con  $V_s = 600$  m/s e, infine, un terzo sismostrato, investigato per 11,0 m con  $V_s = 1100$  m/s.

Presso le prove P90 e P91 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L5 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 1,0 – 2,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 130 e 185 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di ca. 7,0 e 8,0 m con  $V_s$  comprese tra 615 e 670 m/s, a cui seguono terreni con  $V_s$  comprese tra 1435 e 1600 m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2001**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$  Basso c.i.... Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).



Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P58, P65 e P100), e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, vi può essere amplificazione sismica per effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,2 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in corrispondenza dell'abitato storico di Ortignano, nei rilievi in sinistra idrografica del Torrente Teggina e nei rilievi posti a sud dell'area produttiva di Ortignano.

- **2002**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, vi può essere amplificazione sismica per effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,91 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un piccolo settore nell'estrema porzione meridionale dei rilievi posti a sud della zona artigianale-produttiva di Ortignano.

- **2003**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P78, P81, P82, P84, P88, P90, P91, P93, P96, P97, P98, P102, P103, P104, P107, P108, P109 e P110) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,07 e 1,44 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata principalmente in gran parte del fondovalle del Torrente Teggina dove sorge l'abitato recente di Ortignano e la zona industriale-produttiva e in un'ampia zona detritica posta in corrispondenza dei rilievi a sud dell'abitato storico di Ortignano.

- **2005**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,73 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un isolato settore nella porzione meridionale dell'areale di Ortignano.

- **2006**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture alluvionali di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i... Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,26 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata lungo il corso del Torrente Teggina.

- **2009**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P79, P80, P83, P85 e P87) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 2,0 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni settori di fondovalle, in destra idraulica del Torrente Teggina, in corrispondenza dell'abitato di Ortignano.

- **2099a**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,2 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nei rilievi a sud-ovest dell'abitato di Ortignano, al piede del rilievo su cui sorge il nucleo storico di Ortignano e lungo i rilievi posti a sud della zona artigianale-produttiva.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZSFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A seguito degli studi di terzo livello, per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s è possibile attribuire alle zone con instabilità di versante i seguenti valori di amplificazione:

<b>(30122001)</b>	FA 0,1-0,5	1,71 (ZSFR)
<b>(30222001)</b>	FA 0,1-0,5	2,12 (ZSFR)

Nell'area di studio non sono state individuate zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)** o zone con **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Ortignano non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

### **SAN PIERO IN FRASSINO**

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.05 in scala 1:5.000 e G.07 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'areale di San Piero in Frassino si colloca in un settore di fondovalle caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali attuali, recenti terrazzati e non terrazzati.

Questi, di spessore generalmente inferiore a 10,0 m, poggiano nel settore dell'abitato di San Piero in Frassino e nel settore tra questo e l'abitato di Ortignano, sulle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano), rappresentata dal Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) nella sua litofacies tipica costituita da prevalenti arenarie soventemente grossolane e da subordinati livelli di siltiti e argilliti.

Nel settore invece ad est dell'abitato di San Piero in Frassino (in particolare ad est della località Molino) i depositi alluvionali poggiano su litologie appartenenti al Dominio Ligure e in particolare alle formazioni appartenenti all'Unità di Monte Morello, quali la Formazione di Monte Morello (MLL), rappresentata da litologie di flysch torbiditico calcareo marnoso, e la Formazione di Sillano (SIL), caratterizzata da prevalenti argilliti, argilliti marnose, marne argillitiche e siltiti.

Le suddette formazioni rappresentano, inoltre le litologie che costituiscono i rilievi posti attorno al settore di fondovalle e, in particolare, il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) è rilevabile in corrispondenza di gran parte dei suddetti rilievi ad eccezione di quelli posti nell'estrema porzione orientale dell'area di studio, dove affiorano le litofacies liguri rappresentate principalmente dalla Formazione di Monte Morello (MLL) e secondariamente dalla Formazione di Sillano (SIL).

La formazione appartenente all'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano) risultano giustapposti mediante contatto tettonico con le formazioni appartenenti all'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure).

Nei rilievi posti a nord del corso del Torrente Teggina il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) presenta giaciture immergenti principalmente verso i quadranti settentrionali con inclinazioni generalmente comprese tra 10° e 15°, mentre nei rilievi posti a sud del corso d'acqua suddetto il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) presenta giaciture normali immergenti principalmente verso i quadranti orientali con inclinazioni generalmente comprese tra 15° e 25°.

Le formazioni appartenenti all'Unità di Monte Morello presentano giaciture preferenzialmente verso i quadranti meridionali con inclinazioni comprese tra 15° e 25°.

Nei rilievi posti a nord del corso del Torrente Teggina il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) presenta giaciture immergenti principalmente verso i quadranti settentrionali con inclinazioni generalmente comprese tra 10° e 15°, mentre nei rilievi posti a sud del corso d'acqua suddetto il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) presenta giaciture immergenti principalmente verso i quadranti orientali con inclinazioni generalmente comprese tra 30° e 70°.

Nei rilievi e al piede dei versanti stessi le litologie del substrato sono talora sormontate da coltri detritiche di versante, da depositi di frana sia attive che quiescenti e da depositi eluvio-colluviali.

Il contesto è completato dalla presenza, talora, di terreni di origine antropica, in particolare in corrispondenza delle aree intensamente urbanizzate o di manufatti e/o manomissioni di origine antropica.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto in alcuni areali da fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è principalmente quiescente e secondariamente attivo, presenti lungo i versanti dei rilievi dell'area di indagine. Inoltre vi sono scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché, in corrispondenza dei corsi d'acqua di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia scarsa acclività (generalmente compresa tra 0% e 5%) nel settore di fondovalle, laddove sorge l'abitato di San Piero in Frassino, con un aumento della stessa (generalmente compresa tra 5% e 25%) risalendo i settori collinari e montani. Maggiori acclività (comprese tra 25% e 35% ma anche localmente superiori) si rilevano nei rilievi che circondano il fondovalle, in particolare nel settore meridionale degli stessi.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per il settore di San Piero in Frassino sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 1 strumentato con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche;
- n. 11 stratigrafie da terebrazioni di pozzi;
- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 4 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 1 prova Masw;
- n. 62 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di San Piero in Frassino sono inoltre stata effettuata ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geognostiche e geofisiche consistente in:

- n. 2 prove di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh.

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il sottosuolo su cui sorge l'abitato di San Piero in Frassino è costituito in superficie da depositi alluvionali attuali, recenti terrazzati e non terrazzati.

Questi, di spessore generalmente inferiore a 10,0 m, poggiano nel settore dell'abitato di San Piero in Frassino e nel settore tra questo e l'abitato di Ortignano, sulle litologie appartenenti al Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2). Nel settore ad est dell'abitato stesso di San Piero in Frassino (in particolare ad est della località Molino) i depositi alluvionali poggiano sulle litologie appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Formazione di Sillano (SIL).

Le suddette formazioni sono rilevabili lungo i rilievi posti attorno al settore di fondovalle e, in particolare, le litologie del Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) sono riconosciuti in corrispondenza di gran parte dei suddetti rilievi ad eccezione di quelli posti nell'estrema porzione orientale dell'area di studio, dove affiorano le litologie riferibili alla Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Formazione di Sillano (SIL). Nei rilievi e al piede dei versanti stessi le litologie del substrato sono talora sormontate da coltri detritiche di versante, da depositi di frana sia attivi che quiescenti e da depositi eluvio-colluviali.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recente sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GWpi (Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie di ambiente genetico fluvio lacustre – piana inondabile) i depositi alluvionali attuali, all'unità geologico-tecnica GMfd (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detritici appartenenti ai depositi di versante, all'unità geologico-tecnica GMtf (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre – terrazzo fluviale) i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati, all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio colluviali.

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide fratturati / alterati appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica SFLPS (Lapideo, stratificato fratturato / alterato).
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato).
- i terreni di natura litoide fratturati / alterati appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 62 misure HVSR si ricava una valutazione di qualità pari a 91,3 che la colloca in classe di accettabilità A.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di San Piero in Frassino durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 2 stese di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagini L30 e L31).

Per le aree ricadenti nel settore dell'abitato di San Piero in Frassino sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Ortignano Raggiolo e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 62 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39, P40, P41, P42, P43, P44, P46, P47, P48, P49, P50, P51, P59, P60, P61, P62, P63, P64, P69, P70, P71, P72, P73 e P74), n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (indagine P169), n. 4 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh (indagini sigle L1, L3, L4 e L28), n. 1 prova Masw (indagine L29).

Le prove svolte in corrispondenza del fondovalle laddove i depositi di copertura poggiano sui termini torbiditici arenacei del Membro di Montalto delle Arenarie del Monte Cervarola hanno mostrato nella maggior parte dei casi (prove P10, P17, P18, P21, P28, P31, P33, P34, P38, P40, P47 e P59) alti contrasti di impedenza, con ampiezze comprese tra 3,0 e 5,5, superficiali (valori di  $f_0$  generalmente superiori a 9 Hz); mentre in altri casi (prove P39, P46, P48 e P60) hanno mostrato contrasti di impedenza, generalmente alti ( $A_0$  compreso tra 2,4 e 4,0) a 4 Hz e 7,69 Hz. Le prove P19, P20, P26, P27, P32 e P37 non hanno mostrato picchi significativi.

La stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh L1, realizzata in corrispondenza dell'abitato di San Piero in Frassino presso la prova P19 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 3,0 – 5,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 290 e 450 m/s, a cui segue un secondo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1400 e 1580 m/s.

Nel medesimo settore è stata eseguita una prova sismica down-hole in foro (prova P169) che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 4,0 m con  $V_s = 370$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 2,0 m con  $V_s = 475,5$  m/s e, infine, un terzo sismostrato, investigato per 8,0 m con  $V_s = 939$  m/s.

In corrispondenza del settore meridionale dell'abitato di San Piero in Frassino, presso le prove P27, P28, P33 e P34, è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh L4. La stesa ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 5,0 – 8,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 330 e 380 m/s, a cui segue un secondo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1445 e 1680 m/s.

Le prove svolte sempre in corrispondenza del fondovalle laddove i depositi di copertura poggiano sui termini dell'Unità di Monte Morello hanno mostrato in alcuni casi (prove P7, P11 e P12) alti contrasti di impedenza superficiali; mentre, invece, nel caso della prova P14 contrasti di impedenza più profondi. La prova P13 non ha mostrato picchi significativi.

In corrispondenza del campo sportivo, presso le prove P11, P12 e P13, è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh L3. La stesa ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 5,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 315 e 330 m/s, a cui segue un secondo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1345 e 1540 m/s.

Nel settore occidentale del fondovalle dell'area di San Piero in Frassino è stata eseguita, presso le prove P39 e P40, la stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh L30. La stesa ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 7,0 – 8,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 230 e 270 m/s, a cui segue un secondo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1250 e 1310 m/s.

Per quanto riguarda le prove eseguite nei rilievi posti nella porzione meridionale dell'area di studio, in destra idraulica del Torrente Teggina, queste hanno generalmente mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compreso tra 3,3 e 5,1).

Medesima situazione è stata riscontrata anche nelle prove eseguite nei versanti posti nella porzione meridionale dell'area di studio, in sinistra idraulica del Torrente Teggina, ad eccezione delle prove P1 e P2 che non hanno mostrato la presenza di picchi significativi.

Nel settore occidentale dell'area di San Piero in Frassino è stata eseguita n. 1 stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagine L31). La stesa, eseguita presso le prove P63 e P64, ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 3,0 – 5,0 m, avente Vs comprese tra 340 e 445 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di ca. 12,0 e 15,0 m con Vs comprese tra 560 e 655 m/s, a cui seguono terreni con Vs comprese tra 1030 e 1100 m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2001:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$  Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, vi può essere amplificazione sismica per effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,2 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in vari settori dei rilievi posti attorno al fondovalle dell'abitato di San Piero in Frassino.

- **2002:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, vi può essere amplificazione sismica per effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,91 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in due limitati settori posti nell'estrema porzione orientale dell'area di indagine, presso la località Molino.

- **2003:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P10, P17, P18, P21, P31, P38, P39, P41, P42, P43, P49, P52 e P63) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,44 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata principalmente in gran parte del fondovalle del Torrente Teggina dove sorge l'abitato di San Piero in Frassino e nei settori pedecollinari dove sorge la porzione sud-occidentale dell'abitato di San Piero in Frassino.

- **2004:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P14) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 2,13 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nell'estrema porzione orientale del settore di fondovalle dell'area di indagine, presso la località Molino.

- **2005:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P5, P6, P9, P11, P12, P15, P16, P46, P47, P48, P59, P60 e P62) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,73 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata principalmente in un'ampia fascia di fondovalle nella porzione occidentale dell'area di indagine e in un ampio settore presso l'area del campo sportivo.

- **2006:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture alluvionali di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,6 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata lungo il corso del Torrente Teggina presso l'abitato di San Piero in Frassino.

- **2007:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture alluvionali di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.



Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 2,03 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata lungo il corso del Torrente Teggina, nell'estrema porzione orientale del settore di fondovalle dell'area di indagine, presso la località Molino.

- **2008**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture alluvionali di natura ghiaioso sabbiosa (GW) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,6 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata lungo il corso del Torrente Teggina nella porzione occidentale dell'area di indagine e presso l'area del campo sportivo.

- **2009**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P34 e P40) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 2,0 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in una fascia a direzione circa est-ovest presso il settore sud-occidentale dell'abitato di San Piero in Frassino.

- **2010**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su copertura alluvionale di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 2,2 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in una fascia pedecollinare nella porzione occidentale dell'area di studio.

- **2099a**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un Substrato lapideo stratificato fratturato/alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è

riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P4) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,2 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni settori in corrispondenza dei rilievi posti attorno al fondovalle del Torrente Teggina.

- **2099b**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato/alterato (SFALS) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,2 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni settori in corrispondenza dei rilievi posti nell'estrema porzione orientale dell'area di studio.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZSFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A seguito degli studi di terzo livello, per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s è possibile attribuire alle zone con instabilità di versante i seguenti valori di amplificazione:

<b>(30222001)</b>	FA 0,1-0,5	2,12 (ZSFR)
<b>(30122099)</b>	FA 0,1-0,5	1,94 (ZSFR)
<b>(30222099)</b>	FA 0,1-0,5	2,39 (ZSFR)

Nell'area di studio non sono state individuate zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)** o zone con **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAIID)**.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di San Piero in Frassino non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

## **RAGGIOLO**

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.06 in scala 1:5.000 e G.07 in scala 1:2.000)

### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'areale di Raggiolo è caratterizzato dalla presenza di litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano), rappresentata dal Membro di Camaldoli (FAL2) nella sua litofacies tipica costituita da prevalenti arenarie soventemente grossolane e da subordinati livelli di siltiti e argilliti.

L'assetto giaciturale è prevalentemente dritto e verso i quadranti orientali, con inclinazioni variabili tra  $20^\circ$  e  $35^\circ$ .

Nei rilievi e al piede dei versanti stessi le litologie del substrato sono talora sormontate da coltri detritiche di versante (la più estesa interessa gran parte dei rilievi posti nella porzione nord-orientale dell'area di studio) e depositi di frana sia attive che quiescenti.

Nei settori di fondovalle il substrato litoide è sormontato da spessori metrici di coperture alluvionali.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto in alcuni areali da fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è principalmente quiescente e secondariamente attivo, presenti lungo i versanti dei rilievi presenti nell'area di indagine. Inoltre vi sono scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché, in corrispondenza dei corsi d'acqua di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenziano acclività generalmente comprese tra 5% e 25%. Maggiori acclività, comprese tra 25% e 35% ma anche localmente superiori, si rilevano nei rilievi che circondano l'abitato di Raggiolo e il corso del Torrente Teggina.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'area di Raggiolo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche;
- n. 1 sondaggio geognostico a distruzione di nucleo;
- n. 11 indagini di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 26 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Raggiolo sono inoltre stata effettuata ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geognostiche e geofisiche consistente in:

- n. 1 prova di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh.

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico litoide su cui sorge l'abitato di Raggiolo risulta costituito da terreni riconducibili alle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona.

In particolare è contraddistinto dai termini del Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2). Queste litologie affiorano anche in gran parte dei rilievi posti attorno all'abitato.

Il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) lungo i versanti è sovente sormontato da coltri detritiche di versante, la più estesa interessa gran parte dei rilievi posti nella porzione nord-orientale dell'area di studio e depositi di frana sia attive che quiescenti; mentre nei settori di fondovalle il substrato litoide è sormontato da spessori metrici di coperture alluvionali.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recente sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMfd (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detritici appartenenti ai depositi di versante, all'unità geologico-tecnica GMtf (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre – terrazzo fluviale) i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati.

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 26 misure HVSR si ricava una valutazione di qualità pari a 66,5 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Raggiolo durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 è stata eseguita n. 1 stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagine L32).

Per le aree ricadenti nel settore dell'abitato di Raggiolo sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Ortignano Raggiolo e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 26 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P113, P114, P115, P116, P117, P118, P119, P120, P121, P122, P123, P124, P125, P126, P127, P128, P129, P130, P131, P132, P133, P134, P135, P136, P137 e P138), n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (indagine P170) e n. 11 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh (indagini sigle L7, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16 e L17).

Nel complesso le indagini HVSR hanno mostrato nella quasi totalità contrasti di impedenza, con ampiezze comprese tra 3,0 e 4,5, superficiali (valori di  $f_0$  superiori a 8,5 Hz), ad eccezione delle prove P114, P115, P117, P128, P133 e P134, che hanno mostrato contrasti di impedenza con A0 compreso tra 2,0 e 3,4 relativi a picchi di frequenza compresi tra 3,9 Hz e 7,4 Hz, e delle prove P118, P126, P131, P137, P138, che non hanno mostrato picchi significativi.

In corrispondenza della prova P129 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L32 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 5,0 m, avente Vs comprese tra 265 e 310 m/s, a cui seguono terreni con Vs comprese tra 1115 e 1250 m/s.

Presso le prove P136 e P137 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L7 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore compreso tra ca. 3,0 m e ca. 10,0 m, avente Vs comprese tra 370 e 590 m/s, a cui seguono terreni con Vs comprese tra 1250 e 1415 m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2001**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$  Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P113, P114, P115, P118, P127 e P137), e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, vi può essere amplificazione sismica per effetti topografici.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,2 per l'intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza dell'abitato di Raggiolo e in ampi settori dei rilievi che costituiscono l'area in esame, in particolare nella porzione meridionale della stessa.

- **2003**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P120, P121, P123, P125, P128, P129, P130) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,2 per l'intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona rappresenta la maggior parte dei rilievi presenti nell'area in esame, ad eccezione di quelli meridionali, ed è presente nel fondovalle del Torrente Teggina.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZSFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A suddette zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

Nell'area di studio non sono state individuate zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)** o zone con **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Raggiolo non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

#### **BADIA TEGA**

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.06 in scala 1:5.000 e G.07 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'areale di Badia Tega è caratterizzato dalla presenza di litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano), rappresentata dal Membro di Camaldoli (FAL2) nella sua litofacies tipica costituita da prevalenti arenarie soventemente grossolane e da subordinati livelli di siltiti e argilliti.

L'assetto giaciturale è prevalentemente dritto e verso i quadranti orientali, con inclinazioni variabili tra 15° e 40°.

Gran parte di suddetto substrato litoide è sormontato da coltri detritiche di versante e depositi di frana quiescenti.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto oltre che dalle suddette fenomenologie gravitative quiescenti, da scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio.

Dal punto di vista morfologico si evidenziano acclività generalmente comprese tra 5% e 25%. Maggiori acclività, comprese tra 25% e 35% ma anche localmente superiori, si rilevano nei rilievi che circondano l'abitato di Badia Tega.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'area di Badia Tega sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante;
- n. 1 indagine di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 15 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3, in corrispondenza di Badia Tega non sono state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico litoide su cui sorge l'abitato di Badia Tega risulta costituito da terreni riconducibili alle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona.

In particolare è contraddistinto dai termini del Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2).

Il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) nell'area di interesse è soventemente sormontato da coltri detritiche di versante, la più estesa interessa la porzione sud-occidentale dell'area in esame e depositi di frana quiescenti, che interessano principalmente la porzione centrale ed orientale dell'abitato di Badia Tega.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recente sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMfd (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detritici appartenenti ai depositi di versante.

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 15 misure HVSR si ricava una valutazione di qualità pari a 50,8 che la colloca in classe di accettabilità B.

***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

Per le aree ricadenti nel settore dell'abitato di Badia Tega sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Ortignano Raggiolo e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 15 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P154, P155, P156, P157, P158, P159, P160, P161, P162, P163, P164, P165, P166, P167 e P168) e n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh (indagine sigla L8).

Nel complesso le indagini HVSR hanno mostrato nella quasi totalità contrasti di impedenza, con ampiezze comprese tra 3,0 e 4,3, superficiali (valori di  $f_0$  superiori a 9 Hz), ad eccezione delle prove P158 e P160, che hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  compresi tra 3,4 e 4,4) relativi a picchi di frequenza compresi tra 6,1 Hz e 7,4 Hz, e delle prove P154 e P156, che non hanno mostrato picchi significativi.

Nel settore a sud dell'abitato di Badia Tega, in corrispondenza delle prove P160, P161 e P162 è stata eseguita la stessa di sismica a rifrazione L8 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di ca. 5,0 – 10,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 280 e 300 m/s, a cui seguono terreni con  $V_s$  comprese tra 890 e 1115 m/s.

***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

**Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2001:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un Substrato lapideo stratificato (LPS), con talora riporti. Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$  Basso c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, vi può essere amplificazione sismica per effetti topografici.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,2 per l'intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato di Badia Tega e in una isolata area nell'estrema porzione orientale dell'area di studio.

- **2003:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante e alluvionali di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P163 e P168) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,2 per l'intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona è individuata in un ampio settore della porzione sud-occidentale dell'area di studio e in un limitato areale presente nell'estrema porzione orientale dello stesso areale.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZSFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A suddette zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

Nell'area di studio non sono state individuate zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)** o zone con **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Badia Tega non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

### **VILLA**

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.06 in scala 1:5.000 e G.07 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'areale di Villa è caratterizzato dalla presenza di litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano), rappresentata dal Membro di Camaldoli (FAL2) nella sua litofacies tipica costituita da prevalenti arenarie soventemente grossolane e da subordinati livelli di siltiti e argilliti.

L'assetto giaciturale è prevalentemente dritto e verso i quadranti orientali, con inclinazioni variabili tra 15° e 30°.

Nell'area in esame la totalità di suddetto substrato litoide è sormontato da depositi di frana attiva e quiescenti.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto oltre che dalle suddette fenomenologie gravitative quiescenti, da scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché da erosione incanalate in corrispondenza dei corsi d'acqua.

Dal punto di vista morfologico si evidenziano acclività generalmente comprese tra 5% e 25%. Maggiori acclività, comprese tra 25% e 35% ma anche localmente superiori, si rilevano in corrispondenza delle incisioni dei corsi d'acqua.

#### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'area di Villa sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche;



- n. 10 indagini di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 15 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremitori (HVS).

Nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3, in corrispondenza di Villa non sono state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico litoide su cui sorge l'abitato di Villa risulta costituito da terreni riconducibili alle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona.

In particolare è contraddistinto dai termini del Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2).

Il Membro di Camaldoli delle Arenarie del M. Falterona (FAL2) nell'area di interesse è del tutto sormontato da depositi di frana attiva e quiescenti.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Camaldoli (FAL2) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 15 misure HVS si ricava una valutazione di qualità pari a 59,7 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

Per le aree ricadenti nel settore dell'abitato di Villa sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Ortignano Raggiolo e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 15 misure di sismica passiva con metodo HVS (prove P139, P140, P141, P142, P143, P144, P145, P146, P147, P148, P149, P150, P151, P152 e P153) e n. 10 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh (indagini sigle L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26 e L27).

Le indagini HVS P139, P141, P143, P144, P146, P151 e P152 hanno mostrato contrasti di impedenza, con ampiezze comprese tra 2,3 e 5,4, superficiali (valori di  $f_0$  superiori a 12 Hz), ad eccezione delle prove P139, P140, P141, P142, P143, P144, P145, P146, P147, P148, P149, P150, P151, P152 e P153, che hanno mostrato contrasti di impedenza ( $A_0$  compresi tra 2,1 e 4,3) relativi a picchi di frequenza compresi tra 3,7 Hz e 7 Hz, e delle prove P145, P147, P148 e P150, che non hanno mostrato picchi significativi.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZSFR1....n) sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre

2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A suddette zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

Nell'area di studio non sono state individuate zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)** o zone con **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAIID)**.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Villa non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 2, relativo agli eventi sismici di riferimento, il territorio comunale di Ortignano Raggiolo ha registrato nel passato alcuni episodi sismici, anche di importante intensità; tuttavia non sono stati storicamente registrati particolari danni a opere civili e/o infrastrutture.

Dagli studi eseguiti è possibile desumere che le maggiori lesioni e danni di un evento sismico possono essere registrate laddove si ha la presenza di una coltre di copertura su un substrato litoide, e dove possono avvenire fenomeni di contrasto di impedenza sismica.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D. (2013) - I dati di rumore ambientale per la MS di Livello I - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 22-23 maggio 2013.
- Albarello D. (2013) - La risposta sismica locale. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Sismica passiva con tecniche a stazione singola e antenna. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Misure di rumore ambientale. Corso di microzonazione sismica e valutazione della risposta sismica locale per la ricostruzione post-terremoto.
- Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola – Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica* – Anno XXVIII, n. 2.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M. M. & Boschi E. (2008) - DISS - Database of Individual Seismogenic Sources.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2 (dicembre 2020).
- DISS - Database of Individual Seismogenic Sources – 2021 – DOI:10.13127/diss3.3.0.
- Gruppo di Lavoro MS (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) - Microzonazione sismica per la ricostruzione dell’area aquilana. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L’Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>.
- Meletti C., Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico (2012) - Classificazione sismica al 2012 Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell’Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (2016) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12 - Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Unione dei Comuni montani del Casentino / Comune di Ortignano Raggiolo (2015) – Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

## 11. ALLEGATI

- Tav. G.01 Carta delle indagini (scala 1:5.000)
- Tav. G.02 Carta geologico tecnica (scala 1:5.000)
- Tav. G.03 Carta delle frequenze (scala 1:5.000)
- Tav. G.04 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:5.000)
- Tav. G.05 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 – Ortignano, San Piero in Frassino (scala 1:5.000)
- Tav. G.06 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 – Raggiolo, Badia Tega, Villa (scala 1:5.000)
- Tav. G.07 Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops (scala 1:2.000)
- Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)
- Microzonazione sismica di livello 1 - Relazioni indagini geofisiche di superficie mediante sismica a rifrazione e tomografia sismica (onde P e Sh) – Trigeo s.n.c.
- Microzonazione sismica di livello 1 - Relazione indagini geofisiche con misure di rumore ambientale a stazioni singole di registrazione analisi hvsr – Trigeo s.n.c.
- Microzonazione sismica di livello 2 e 3 – Relazione Indagini geofisiche – Dott. Pieroni e Dott. Puccetti

Firenze li 24.10.2022

---

Prof. Geol. Eros Aiello

---

Dott. Geol. Gabriele Grandini