

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### Regione Toscana

#### Comune di Chiusi della Verna (AR)



Regione	Soggetto realizzatore:	Data
Regione Toscana – Settore Sismica	Comune di Chiusi Della Verna/Servizio Assetto del Territorio/RUP Professionisti incaricati: Arch. Alessia Lanzini  Dott. Geol. Eros Aiello Dott. Geol. Gabriele Grandini Dott. Geol. Alessandro Piazzini Dott. Geol. Cristian Pieroni Dott. Geol. Francesco Puccetti	Ottobre 2022

## Indice generale

1. INTRODUZIONE.....	2
1.1 METODOLOGIA.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1 SISMICITA' DELL'AREA.....	6
2.2 RISCHIO SISMICO.....	9
2.3 MODELLAZIONE SISMICA.....	14
2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....	17
2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO.....	24
2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'.....	53
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	64
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	64
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....	66
3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....	69
3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	74
3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....	79
3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....	80
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	81
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	94
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	95
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	96
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	97
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	109
8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....	109
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	111
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	118
8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	120
8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	127
8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE.....	140
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	185
10. BIBLIOGRAFIA.....	186
11. ALLEGATI.....	187

# 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 Rufina 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 Chiusi della Verna individuava nella Geo Eco Progetti il “soggetto realizzatore” delle indagini in questione da svolgersi nelle more e modalità previste dalle precipue 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 Chiusi della Verna, di compendio con la Struttura Regionale deputata alla Prevenzione Sismica (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), ha individuato le seguenti aree:

- capoluogo di Chiusi della Verna,
- frazione di Biforco,
- frazione di Compito,
- frazione di Corezzo,

- frazione di Corsalone,
- frazione di Dama,
- frazione di Frassineta,
- frazione di Rimbocchi,
- frazione di Val della Meta.

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 Chiusi della Verna. 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 – GIUGNO 2012**

- n. 2 indagini sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità Vp e Vs nel sottosuolo;
- n. 32 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 – AGOSTO 2020**

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (a seguito di specifica realizzazione di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo);
- n. 3 indagini di sismica attiva in onde P e Sh, per la determinazione dei profili sismostratigrafici;
- n. 6 indagini di sismica attiva MASW, per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;
- n. 4 indagini di sismica attiva congiunta MASW-ESAC, per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;
- n. 52 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.

### 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 Chiusi della Verna capoluogo e di Corsalone) e di livello 2 (per gli abitati di Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimocchi e Val della Meta).

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>Chiusi della Verna - Corsalone</b>			
<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.09</b>	Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	ottobre 2022
<b>G-13</b>	Sezioni geologico – tecniche con indicazione zona Mops	1:2.000	ottobre 2022
<b>Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimocchi, Val della Meta</b>			
<b>G.05</b>	Carta delle indagini	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.06</b>	Carta geologico - tecnica	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.07</b>	Carta delle frequenze	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.08</b>	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.10</b>	Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.11</b>	Carta di Microzonazione Sismica – FA04-08	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.12</b>	Carta di Microzonazione Sismica – FA07-11	1:5.000	ottobre 2022
<b>G.14</b>	Sezioni geologico – tecniche con indicazione zona 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)		ottobre 2022
<b>Microzonazione sismica di livello 1 – Relazione indagini sismiche – GeoEcho s.n.c.</b>			
			settembre 2012
<b>Microzonazione sismica di livello 2 e 3 – Relazione indagini geofisiche – Dott. Pieroni e Dott. Puccetti</b>			
			agosto 2020

<b>Microzonazione sismica di livello 2 e 3 – Report Sondaggi (Schede stratigrafiche e documentazione fotografica)</b>		giugno 2020
---	--	-------------

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 Chiusi della Verna, 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.

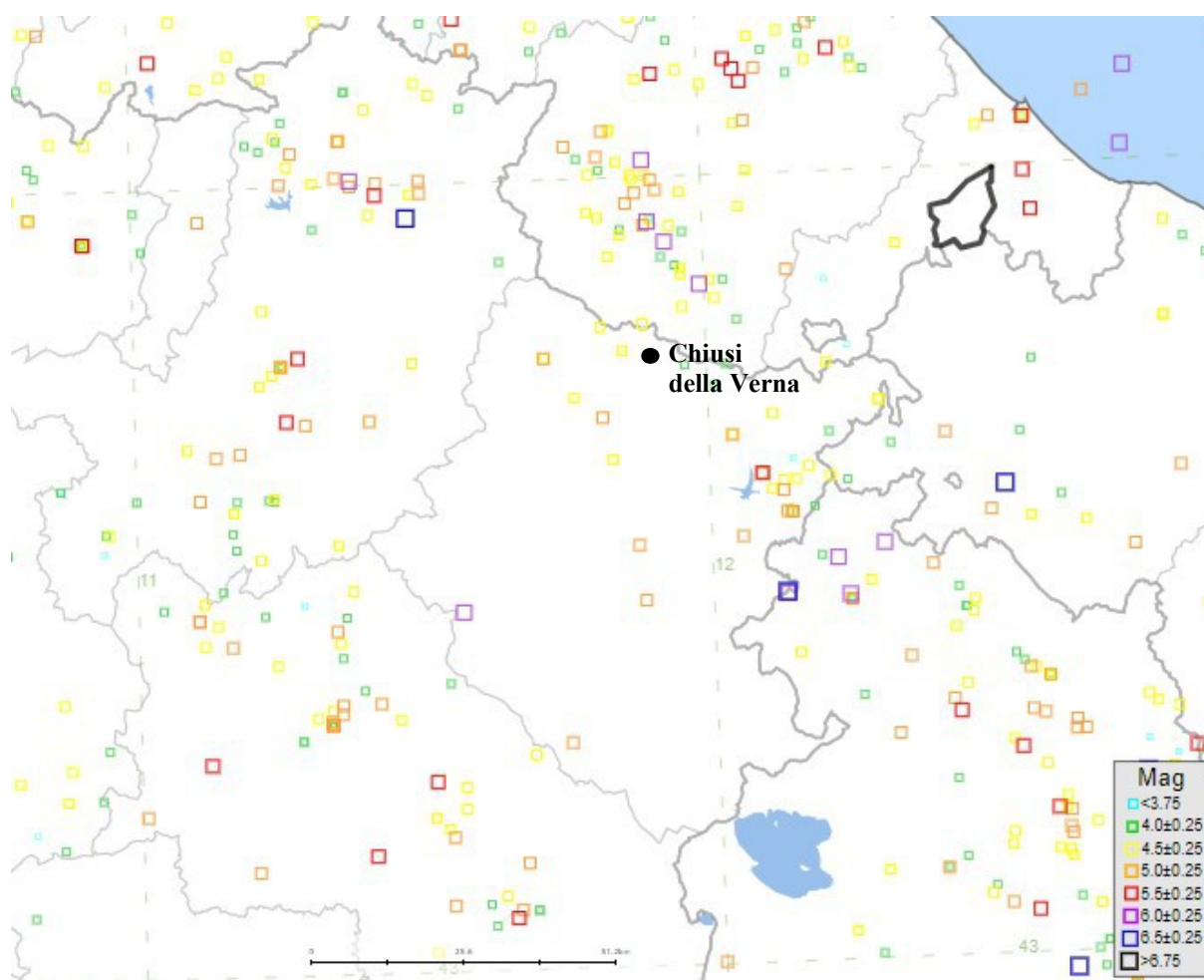
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all'interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell'art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia “shape” che “pdf”.

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 Chiusi della Verna 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 Chiusi della Verna (Periodo 1005 – 2020)*

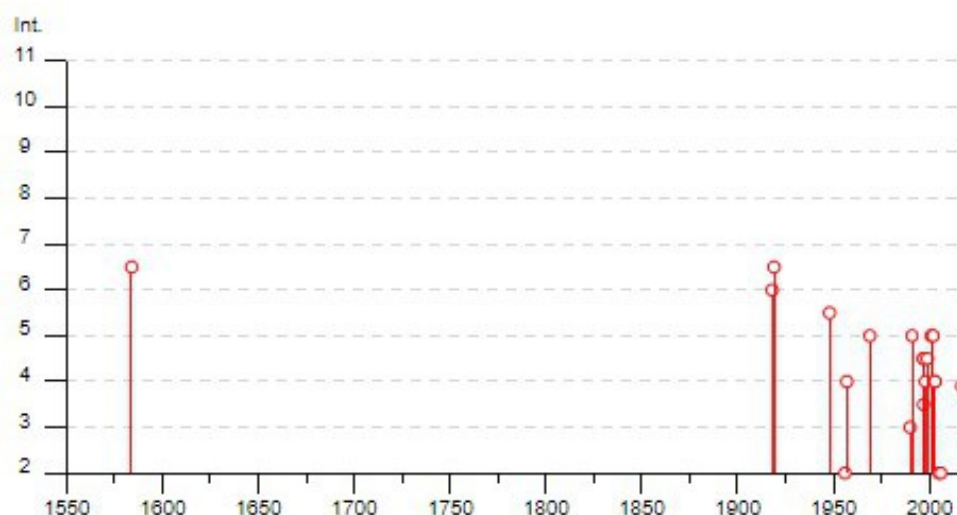
In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Chiusi della Verna sono riconducibili a n. 31 eventi sismici, verificatisi dal 1584 al 2017, con vario grado di intensità sismica. (cfr. Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., 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	Mo	Mi	Se	Area epicentrale	NMDF	Io	Mw
6-7	<a href="#">📄</a>	1584	09	10	20	30	Appennino forlivese	17	9	5.97
6	<a href="#">📄</a>	1918	11	10	15	12	2 Appennino forlivese	187	9	5.96
6-7	<a href="#">📄</a>	1919	06	29	15	06	1 Mugello	565	10	6.38
5-6	<a href="#">📄</a>	1948	06	13	06	33	3 Alta Valtiberina	142	7	5.04
2	<a href="#">📄</a>	1956	06	03	01	45	5 Appennino forlivese	62	6	4.51
4	<a href="#">📄</a>	1957	04	30	06	05	0 Alta Valtiberina	57	5	4.23
5	<a href="#">📄</a>	1969	08	09	09	20	5 Appennino tosco-romagnolo	33	5	4.20
NF	<a href="#">📄</a>	1989	07	09	03	54	3 Montefeltro	48	5	4.09
3	<a href="#">📄</a>	1990	05	08	22	33	1 Alta Valtiberina	64	5	3.77
5	<a href="#">📄</a>	1991	01	14	07	38	3 Casentino	62	5	4.26
NF	<a href="#">📄</a>	1993	01	17	10	51	2 Alta Valtiberina	76	5	4.26
NF	<a href="#">📄</a>	1993	06	05	19	16	1 Valle del Topino	326	6	4.72
3-4	<a href="#">📄</a>	1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5	<a href="#">📄</a>	1997	09	26	09	40	2 Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4-5	<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
4	<a href="#">📄</a>	1998	03	26	16	26	1 Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
NF	<a href="#">📄</a>	1998	04	05	15	52	2 Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
4-5	<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
NF	<a href="#">📄</a>	2000	06	22	12	16	3 Bacino di Gubbio	107	5	4.47
NF	<a href="#">📄</a>	2000	08	01	02	34	3 Montefeltro	84	5-6	4.27
5	<a href="#">📄</a>	2001	11	26	00	56	5 Casentino	211	5-6	4.63
5	<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
4	<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
2	<a href="#">📄</a>	2005	07	15	15	17	1 Forlivese	173	4-5	4.29
2	<a href="#">📄</a>	2006	10	21	07	04	1 Anconetano	287	5	4.21
F	<a href="#">📄</a>	2017	01	18	10	14	0 Aquilano	280		5.70

*Eventi macrosismici riportati nel DBMI15*

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 6-7 MCS nei terremoti avvenuti nell'Appennino Forlivese nel 1584 ( $M_w = 5,97$ ) e nel Mugello nel 1919 ( $M_w = 6,38$ ) e il grado 6 MCS nel terremoto avvenuto nell'Appennino Forlivese nel 1918 ( $M_w = 5,96$ ).





*Distribuzione temporale ed intensità degli eventi macrosismici nel periodo 1550-2020*

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 Chiusi della Verna si colloca subito esternamente al perimetro esterno orientale dell'area sismogenetica composta codificata come ITCS037 “Mugello-Città di Castello-Leonessa”, caratterizzata dai seguenti parametri:

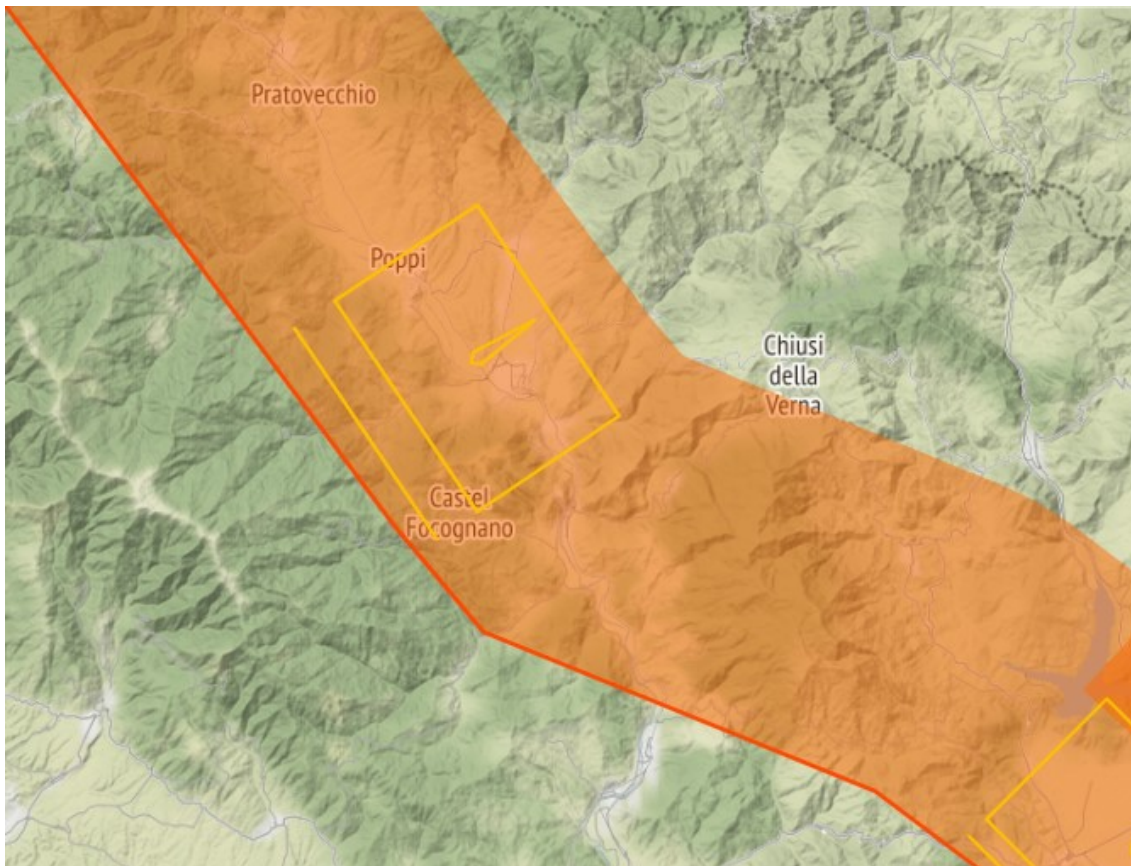
Strike (angolo rispetto al nord):	280° - 330°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	25° - 40°
Profondità min - max:	0,5 – 8 km
Magnitudo massima (Mw):	6,2

Questa struttura composta 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.

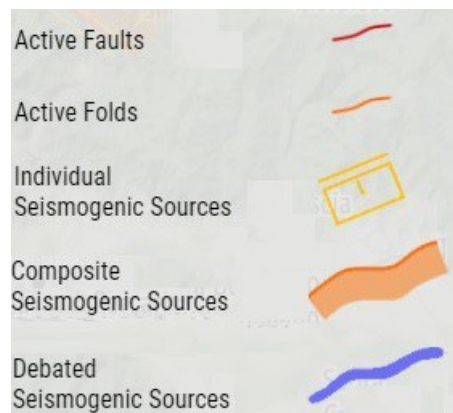
Cataloghi storici e strumentali mostrano terremoti (magnitudo  $4.5 < Mw < 5.0$ ) potenzialmente dannosi all'interno dell'area, in particolare nei settori nord-occidentale e sud-orientale. Inoltre, si sono verificati i principali terremoti dannosi e distruttivi (da nord-ovest a sud-est): 13 giugno 1542 (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, Spolefino).

Relativamente alle Sorgenti Sismogenetiche Individuali (Individual Seismogenic Sources), all'interno della suddetta area sismogenetica composta ITCS037 “Mugello-Città di Castello-Leonessa”, 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*



*Potenziali 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 Chiusi della Verna 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 gradualali, 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 Chiusi della Verna 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. Il territorio comunale di Chiusi della Verna rimane in **zona 2 nella più 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 ( $V_{s30} > 800$  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:

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

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

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

In esempio  $VN = 50$  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:

$VR = 50 * 1 = 50$  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 rigidezza 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza 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.

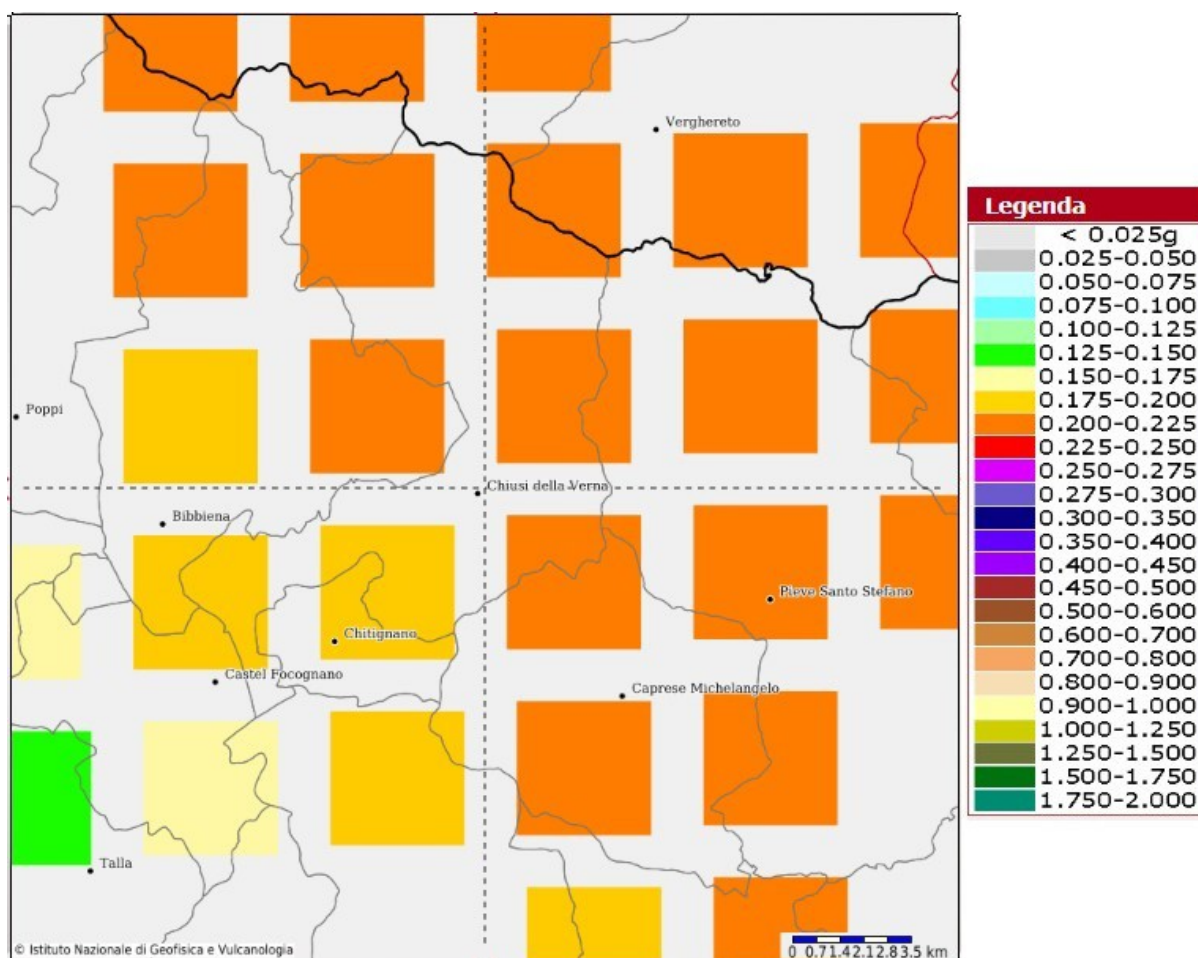
Poiché in esempio è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

*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).



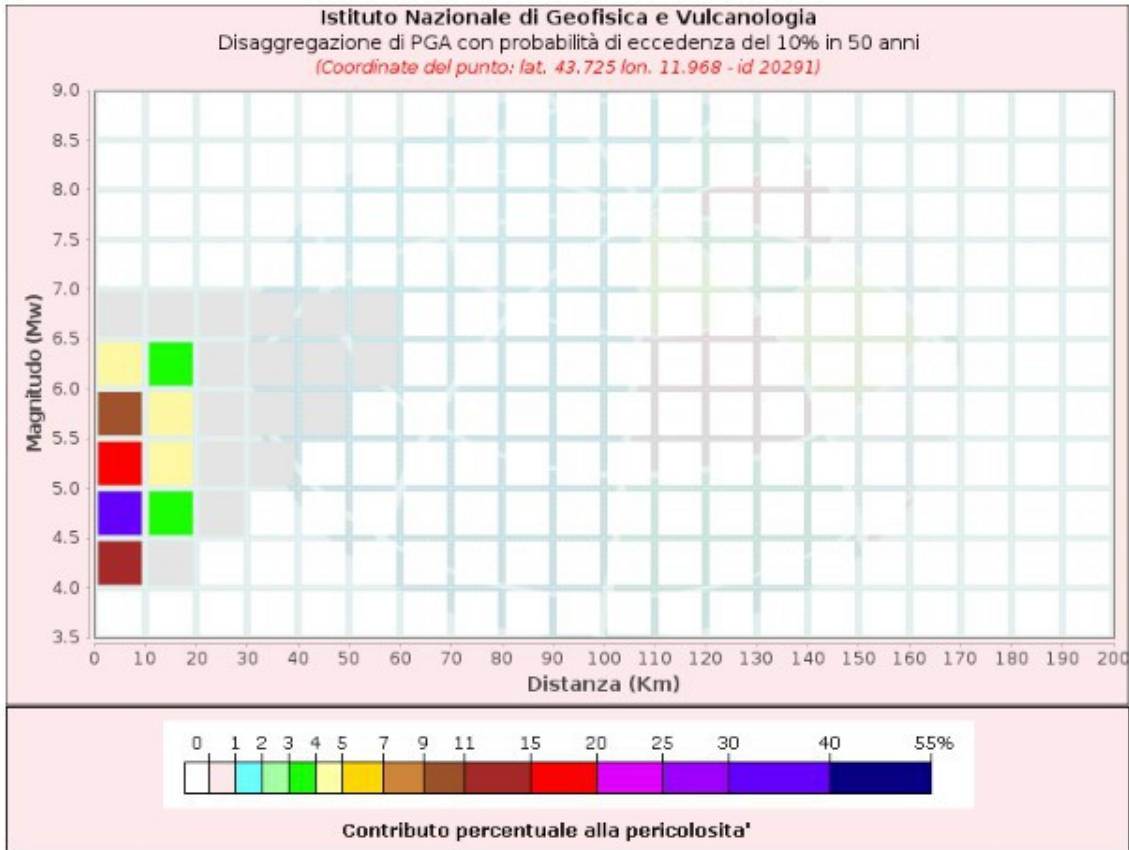
*Mappa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s; cat.A) – da INGV*

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. 43.725 lon. 11.968 - id 20291)											
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	14.6000	30.1000	19.5000	10.6000	4.9300	0.5380	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.5110	3.0900	4.9400	4.9500	3.3800	0.2430	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0137	0.3790	0.9170	0.8310	0.0348	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0024	0.1110	0.2270	0.0090	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0484	0.0024	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0034	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	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.

La Magnitudo media riferibile all'area di intervento è pari a 5,13.

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.13	6.74	1.08

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 (ag) 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:

ag = accelerazione orizzontale massima;

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

TC\* = 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:

ag, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

Fo e TC\* 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		
			ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	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 TR 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:

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

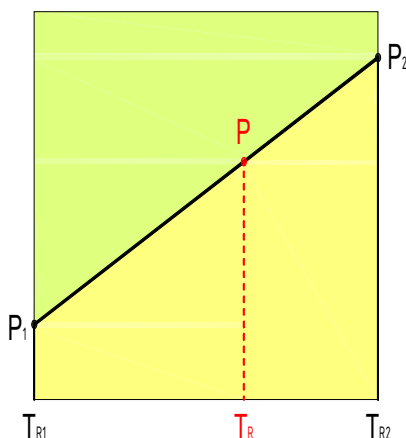


nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $ag$ ,  $Fo$ ,  $TC^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $TR$  desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $TR_1, 2$ .

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:

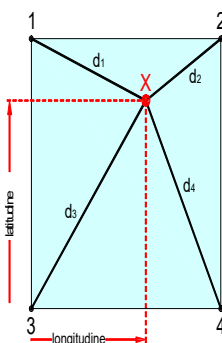
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

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

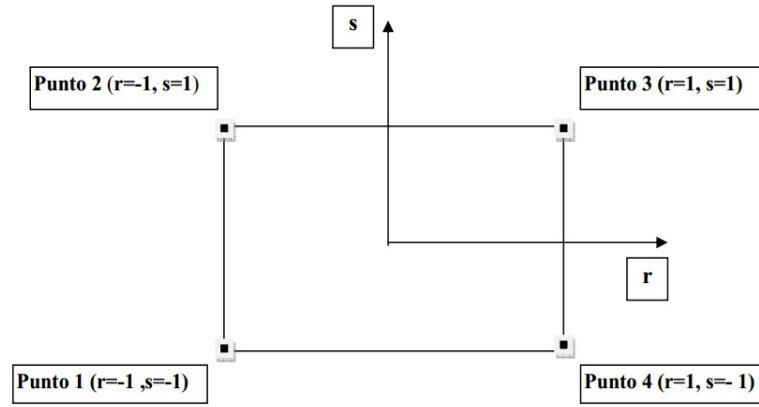
Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

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

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $lat\alpha$ ,  $lon\alpha$ ,  $lat\beta$  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  $ag$ ,  $F0$ ,  $Tc^*$  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.



$a_{max} = S S \cdot S T \cdot a_g$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_s \leq 1.80$ ) è funzione di F0 (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

### Chiusi della Verna capoluogo

#### PERICOLOSITA' 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): 43.6999550 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.9344254 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.7009087 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.9353914 [°]

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	20290	43.724080	11.899010	3897.38
2	20291	43.724990	11.968200	3758.24
3	20513	43.675000	11.969430	3973.62
4	20512	43.674080	11.900390	4101.13

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]	$a_g$ [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274
	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280

	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.434	0.264
SLD	50	0.085	2.401	0.268
	72	0.099	2.386	0.274
	101	0.115	2.373	0.278
	140	0.132	2.377	0.280
	201	0.153	2.366	0.285
SLV	475	0.208	2.360	0.293
SLC	975	0.264	2.366	0.308
	2475	0.346	2.457	0.319

### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.062	2.460	0.264
SLD	50	0.080	2.418	0.271
	72	0.095	2.390	0.275
	101	0.109	2.380	0.279
	140	0.125	2.387	0.282
	201	0.144	2.380	0.287
SLV	475	0.196	2.367	0.294
SLC	975	0.248	2.380	0.307
	2475	0.329	2.432	0.318

### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.439	0.264
SLD	50	0.084	2.409	0.269
SLV	475	0.205	2.361	0.293
SLC	975	0.259	2.383	0.301

### 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: C

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	0.025	0.081	0.096
kv	0.010	0.013	0.040	0.048
amax [m/s²]	0.952	1.229	2.832	3.376
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.059	0.110	--
kv	--	0.029	0.055	--
amax [m/s²]	0.952	1.229	2.832	3.376
Beta	--	0.470	0.380	--

### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.059	0.110	--
kv	--	0.029	0.055	--
amax [m/s²]	0.952	1.229	2.832	3.376

Beta	--	0.470	0.380	--
------	----	-------	-------	----

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

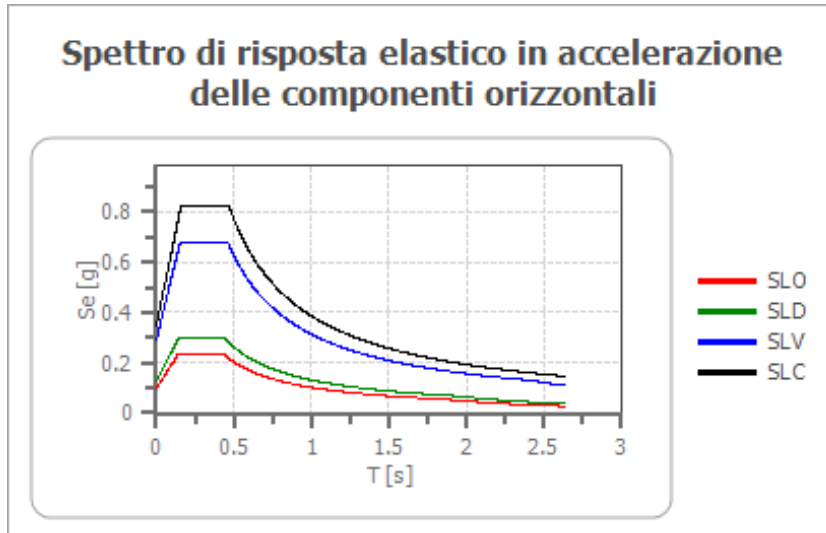
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.075	0.097	0.224	0.267
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.952	1.229	2.832	3.376
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	0.065	2.439	0.264	1.500	1.630	1.000	1.500	1.000	0.143	0.430	1.859	0.097	0.237
SLD	1.0	0.084	2.409	0.269	1.500	1.620	1.000	1.500	1.000	0.145	0.435	1.934	0.125	0.302
SLV	1.0	0.205	2.361	0.293	1.410	1.570	1.000	1.410	1.000	0.153	0.460	2.419	0.289	0.682
SLC	1.0	0.259	2.383	0.301	1.330	1.560	1.000	1.330	1.000	0.157	0.470	2.635	0.344	0.820

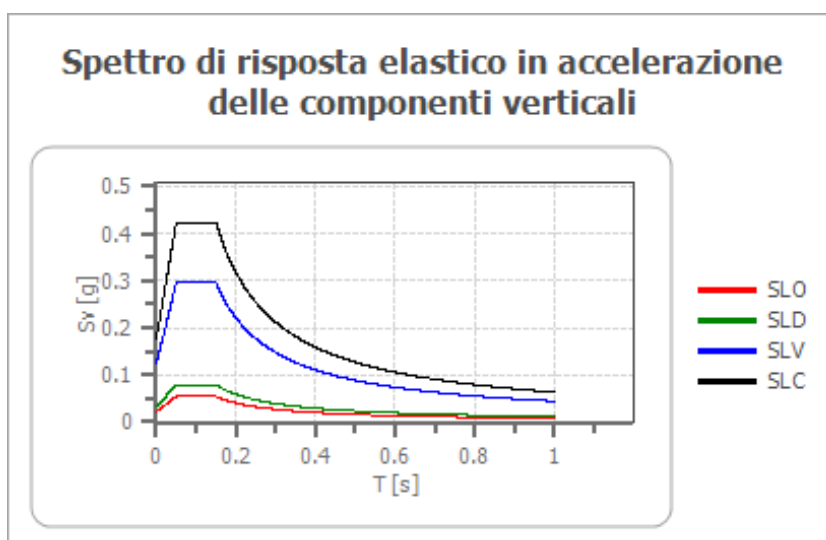
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

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

1,000



	cu	ag	F0	Tc*	Ss	Cc	St	S	η	TB	TC	TD		
--	----	----	----	-----	----	----	----	---	---	----	----	----	--	--

		[g]	[-]	[s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]		
SLO	1.0	0.065	2.439	0.264	1	1.630	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.022	0.054
SLD	1.0	0.084	2.409	0.269	1	1.620	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.033	0.079
SLV	1.0	0.205	2.361	0.293	1	1.570	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.125	0.295
SLC	1.0	0.259	2.383	0.301	1	1.560	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.178	0.424

### **Chiusi della Verna Santuario**

#### **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): 43.7070656 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.9307661 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.7080193 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.9317322 [°]

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	20290	43.724080	11.899010	3897.38
2	20291	43.724990	11.968200	3758.24
3	20513	43.675000	11.969430	3973.62
4	20512	43.674080	11.900390	4101.13

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	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

#### **Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274
	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280
	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.434	0.264
SLD	50	0.085	2.401	0.268
	72	0.099	2.386	0.274
	101	0.115	2.373	0.278
	140	0.132	2.377	0.280
	201	0.153	2.366	0.285
SLV	475	0.208	2.360	0.293
SLC	975	0.264	2.366	0.308
	2475	0.346	2.457	0.319

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.062	2.460	0.264
SLD	50	0.080	2.418	0.271
	72	0.095	2.390	0.275
	101	0.109	2.380	0.279
	140	0.125	2.387	0.282
	201	0.144	2.380	0.287
SLV	475	0.196	2.367	0.294
SLC	975	0.248	2.380	0.307
	2475	0.329	2.432	0.318

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.438	0.264
SLD	50	0.084	2.409	0.269
SLV	475	0.205	2.361	0.293
SLC	975	0.259	2.385	0.301

**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: A  
 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	0.074	0.093
kv	0.008	0.010	0.037	0.047
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.762	0.984	2.412	3.047
Beta	0.200	0.200	0.300	0.300

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.047	0.093	--
kv	--	0.024	0.047	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.762	0.984	2.412	3.047
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.047	0.093	--
kv	--	0.024	0.047	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.762	0.984	2.412	3.047
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

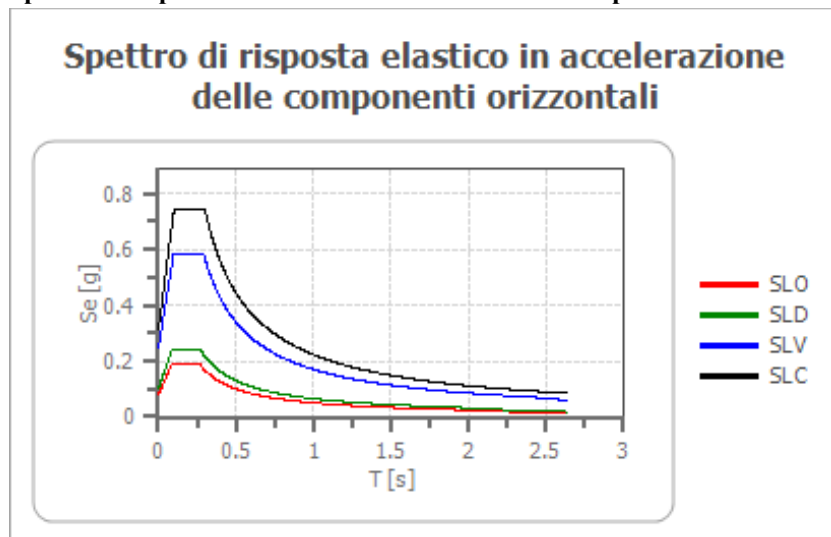
Altezza paratia (H): 3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.060	0.078	0.191	0.241
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.762	0.984	2.412	3.047
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]	Sc(0) [g]	Sc(TB) [g]
SLO	1.0	0.065	2.438	0.264	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.088	0.264	1.859	0.078	0.190
SLD	1.0	0.084	2.409	0.269	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.090	0.269	1.935	0.100	0.242
SLV	1.0	0.205	2.361	0.293	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.098	0.293	2.420	0.246	0.581
SLC	1.0	0.259	2.385	0.301	1.000	1.000	1.200	1.200	1.000	0.100	0.301	2.636	0.311	0.741

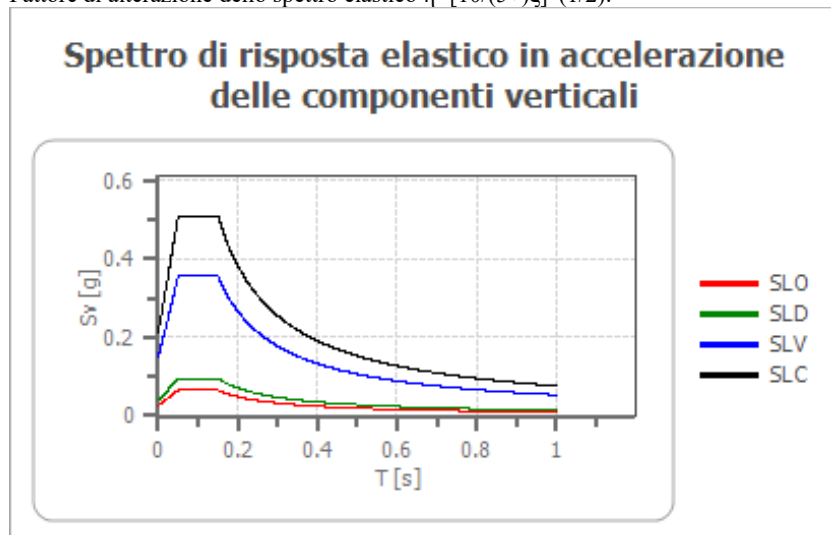
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sc(0) [g]	Sc(TB) [g]
SLO	1.0	0.065	2.438	0.264	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.027	0.065
SLD	1.0	0.084	2.409	0.269	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.039	0.094
SLV	1.0	0.205	2.361	0.293	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.150	0.355
SLC	1.0	0.259	2.385	0.301	1	1.000	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.213	0.509

## **Biforcio**

### 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): 43.7498779 [°]  
Longitudine (WGS84): 11.9343281 [°]  
Latitudine (ED50): 43.7508316 [°]  
Longitudine (ED50): 11.9352951 [°]

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	20068	43.774070	11.897720	3972.82
2	20069	43.774990	11.966940	3697.98
3	20291	43.724990	11.968200	3904.39
4	20290	43.724080	11.899010	4164.81

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	0.067	2.423	0.263
SLD	50	0.086	2.411	0.268
	72	0.100	2.410	0.274
	101	0.116	2.396	0.279
	140	0.133	2.397	0.281
	201	0.153	2.381	0.286
SLV	475	0.210	2.350	0.292
SLC	975	0.265	2.383	0.295
	2475	0.347	2.435	0.319

#### **Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.415	0.264
SLD	50	0.086	2.414	0.271
	72	0.102	2.399	0.274
	101	0.118	2.386	0.280
	140	0.135	2.378	0.284
	201	0.153	2.408	0.288
SLV	475	0.210	2.375	0.294
SLC	975	0.264	2.404	0.300
	2475	0.346	2.478	0.323

#### **Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274

	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280
	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

#### Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

#### Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.425	0.264
SLD	50	0.085	2.411	0.269
SLV	475	0.209	2.360	0.293
SLC	975	0.263	2.394	0.297

#### 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	0.019	0.025	0.084	0.102
kv	0.010	0.012	0.042	0.051
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

#### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.114	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.114	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	--	0.470	0.380	--

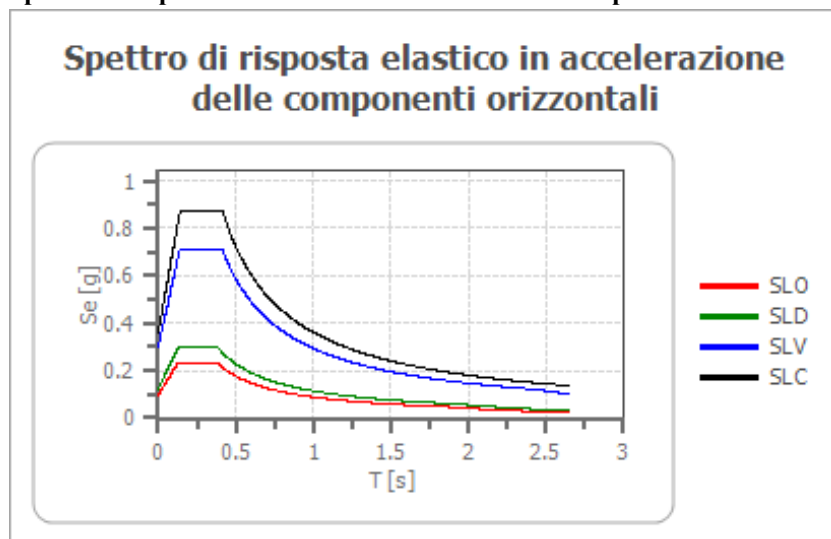
#### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H): 3,0 [m]  
Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.074	0.096	0.233	0.282
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776



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



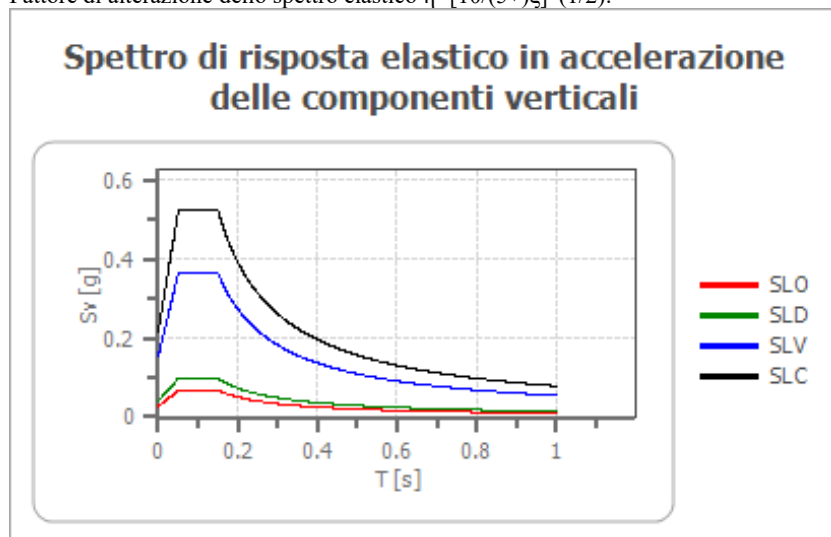
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.067	2.425	0.264	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.127	0.380	1.866	0.096	0.233
SLD	1.0	0.085	2.411	0.269	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.384	1.942	0.123	0.297
SLV	1.0	0.209	2.360	0.293	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.138	0.413	2.435	0.301	0.710
SLC	1.0	0.263	2.394	0.297	1.150	1.400	1.200	1.380	1.000	0.138	0.415	2.652	0.363	0.869

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

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

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

5 %  
1,000



	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	0.067	2.425	0.264	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.067
SLD	1.0	0.085	2.411	0.269	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.040	0.098
SLV	1.0	0.209	2.360	0.293	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.155	0.365
SLC	1.0	0.263	2.394	0.297	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.219	0.523

### Compito

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): 43.7004814 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.9763422 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.7014351 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.9773073 [°]

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	20291	43.724990	11.968200	2719.66
2	20292	43.725870	12.037320	5536.02
3	20514	43.675880	12.038530	5683.87
4	20513	43.675000	11.969430	3006.80

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	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274
	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280
	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.415	0.265
SLD	50	0.087	2.395	0.270
	72	0.102	2.387	0.275
	101	0.119	2.371	0.281
	140	0.136	2.374	0.282
	201	0.158	2.355	0.287
SLV	475	0.216	2.348	0.295
SLC	975	0.271	2.391	0.310
	2475	0.356	2.475	0.322

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.418	0.264
SLD	50	0.087	2.394	0.268
	72	0.103	2.376	0.274
	101	0.120	2.364	0.278
	140	0.137	2.365	0.280
	201	0.159	2.364	0.285
SLV	475	0.217	2.337	0.303
SLC	975	0.277	2.373	0.309
	2475	0.364	2.441	0.324

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.434	0.264
SLD	50	0.085	2.401	0.268
	72	0.099	2.386	0.274
	101	0.115	2.373	0.278
	140	0.132	2.377	0.280
	201	0.153	2.366	0.285
SLV	475	0.208	2.360	0.293
SLC	975	0.264	2.366	0.308
	2475	0.346	2.457	0.319

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.066	2.424	0.264
SLD	50	0.086	2.400	0.268
SLV	475	0.212	2.351	0.295
SLC	975	0.267	2.379	0.305

**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	0.019	0.025	0.085	0.103
kv	0.010	0.012	0.043	0.052
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.937	1.214	2.990	3.620
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.116	--
kv	--	0.029	0.058	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.937	1.214	2.990	3.620
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

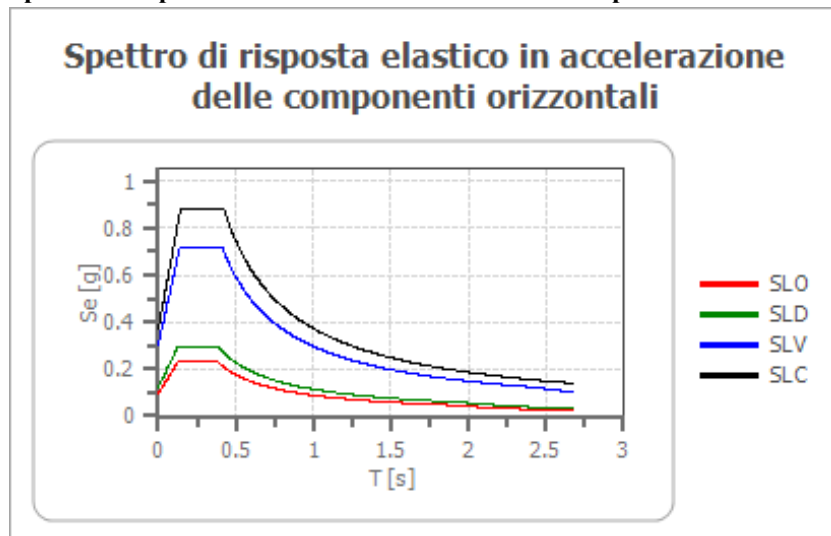
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.116	--
kv	--	0.029	0.058	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.937	1.214	2.990	3.620
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

Altezza paratia (H): 3,0 [m]  
 Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.074	0.096	0.237	0.286
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.937	1.214	2.990	3.620
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]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.066	2.424	0.264	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.127	0.380	1.866	0.096	0.232
SLD	1.0	0.086	2.400	0.268	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.384	1.944	0.124	0.297
SLV	1.0	0.212	2.351	0.295	1.200	1.400	1.200	1.440	1.000	0.138	0.413	2.447	0.305	0.717
SLC	1.0	0.267	2.379	0.305	1.150	1.390	1.200	1.380	1.000	0.141	0.424	2.670	0.369	0.878

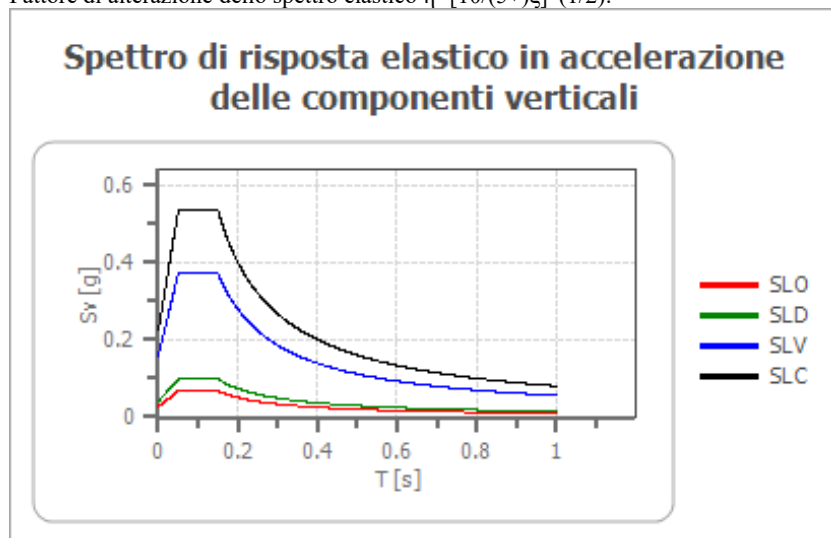
## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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	0.066	2.424	0.264	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.067
SLD	1.0	0.086	2.400	0.268	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.041	0.098
SLV	1.0	0.212	2.351	0.295	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.158	0.371
SLC	1.0	0.267	2.379	0.305	1	1.390	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.224	0.533

## Corezzo

### 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): 43.7696228 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.9186640 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.7705727 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.9196320 [°]

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	20068	43.774070	11.897720	1801.80
2	20069	43.774990	11.966940	3830.11
3	20291	43.724990	11.968200	6396.23
4	20290	43.724080	11.899010	5428.77

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	0.067	2.423	0.263
SLD	50	0.086	2.411	0.268
	72	0.100	2.410	0.274
	101	0.116	2.396	0.279
	140	0.133	2.397	0.281
	201	0.153	2.381	0.286
SLV	475	0.210	2.350	0.292
SLC	975	0.265	2.383	0.295
	2475	0.347	2.435	0.319

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.415	0.264
SLD	50	0.086	2.414	0.271
	72	0.102	2.399	0.274
	101	0.118	2.386	0.280
	140	0.135	2.378	0.284
	201	0.153	2.408	0.288
SLV	475	0.210	2.375	0.294
SLC	975	0.264	2.404	0.300
	2475	0.346	2.478	0.323

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274
	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280
	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.424	0.264
SLD	50	0.086	2.411	0.269
SLV	475	0.209	2.358	0.293
SLC	975	0.264	2.391	0.296

**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	0.019	0.025	0.084	0.102
kv	0.010	0.012	0.042	0.051
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.114	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

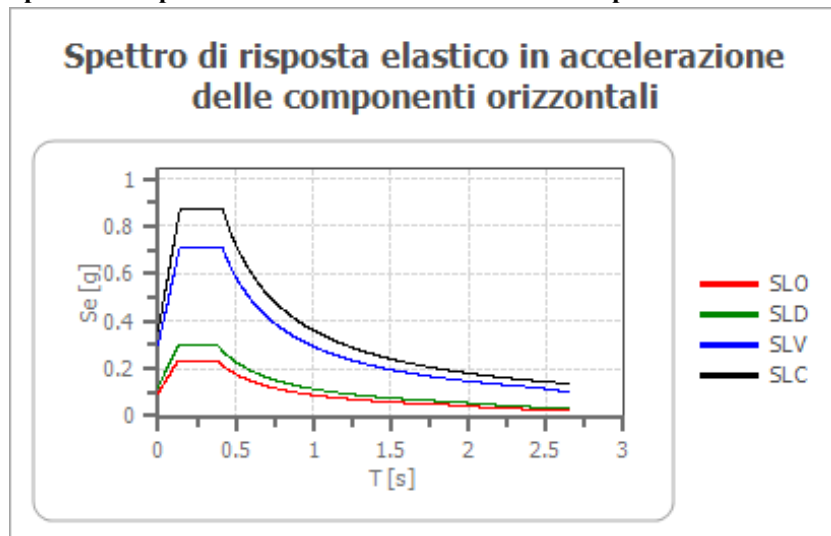
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.114	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

Altezza paratia (H): 3,0 [m]  
 Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.074	0.096	0.233	0.282
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.940	1.207	2.949	3.560
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



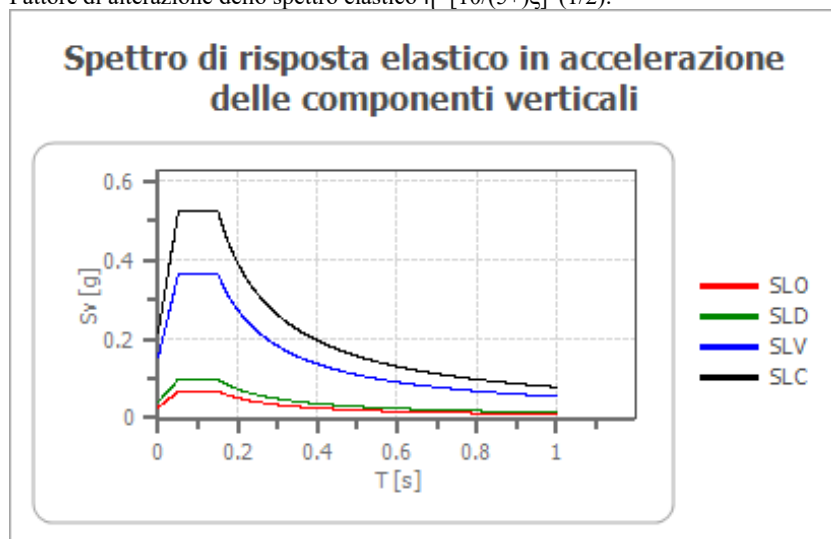
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.067	2.425	0.264	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.127	0.380	1.866	0.096	0.233
SLD	1.0	0.085	2.411	0.269	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.384	1.942	0.123	0.297
SLV	1.0	0.209	2.360	0.293	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.138	0.413	2.435	0.301	0.710
SLC	1.0	0.264	2.391	0.296	1.150	1.400	1.200	1.380	1.000	0.138	0.415	2.654	0.364	0.870

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

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

5 %  
1,000



	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	0.067	2.424	0.264	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.068
SLD	1.0	0.086	2.411	0.269	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.041	0.098
SLV	1.0	0.209	2.358	0.293	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.155	0.366
SLC	1.0	0.264	2.391	0.296	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.219	0.524

## Corsalone

### 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): 43.6813736 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.8297863 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.6823273 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.8307543 [°]

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	5632.79
2	20511	43.673120	11.831240	1024.71
3	20289	43.723110	11.829880	4535.22
4	20288	43.722110	11.760750	7157.90

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	0.059	2.488	0.263
SLD	50	0.074	2.464	0.273
SLV	475	0.181	2.380	0.295
SLC	975	0.229	2.386	0.302

**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	0.014	0.018	0.052	0.076
kv	0.007	0.009	0.026	0.038
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.694	0.872	2.125	2.645
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.042	0.082	--
kv	--	0.021	0.041	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.694	0.872	2.125	2.645
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.042	0.082	--
kv	--	0.021	0.041	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.694	0.872	2.125	2.645
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

Altezza paratia (H):

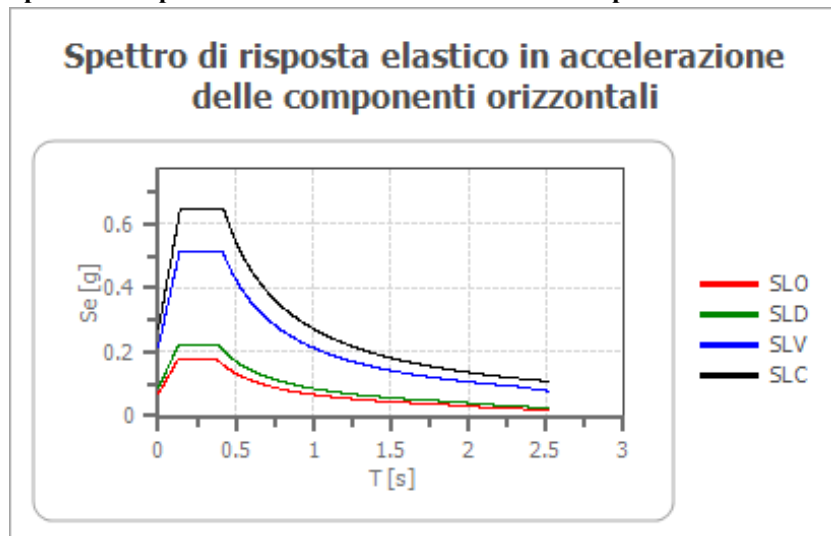
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.055	0.069	0.168	0.209
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.694	0.872	2.125	2.645
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	0.059	2.488	0.263	1.200	1.440	1.000	1.200	1.000	0.126	0.379	1.836	0.071	0.176
SLD	1.0	0.074	2.464	0.273	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.130	0.391	1.897	0.089	0.219
SLV	1.0	0.181	2.380	0.295	1.200	1.400	1.000	1.200	1.000	0.138	0.413	2.322	0.217	0.516
SLC	1.0	0.229	2.386	0.302	1.180	1.400	1.000	1.180	1.000	0.141	0.423	2.514	0.270	0.644

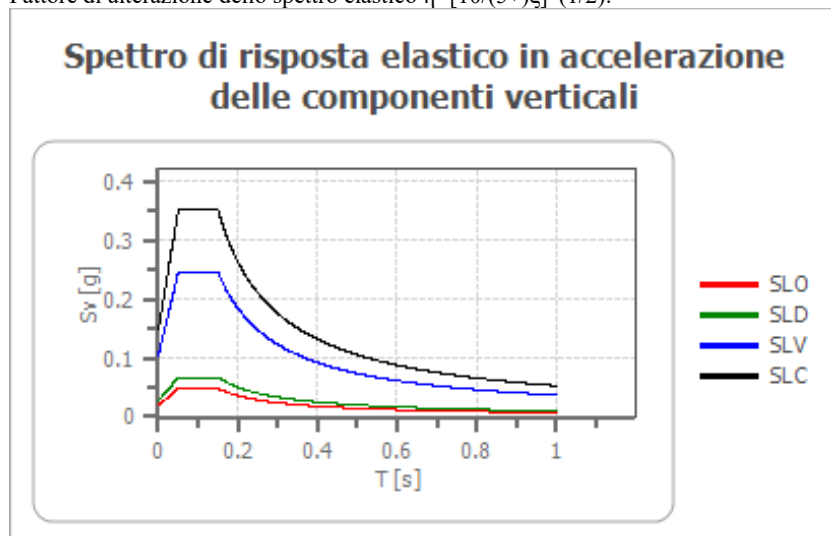
## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.059	2.488	0.263	1	1.440	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.019	0.048
SLD	1.0	0.074	2.464	0.273	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.027	0.067
SLV	1.0	0.181	2.380	0.295	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.104	0.247
SLC	1.0	0.229	2.386	0.302	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.148	0.352

## Dama

### 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): 43.6985664 [°]

Longitudine (WGS84): 11.8984289 [°]

Latitudine (ED50): 43.6995201 [°]

Longitudine (ED50): 11.8993959 [°]

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	20289	43.723110	11.829880	6172.52
2	20290	43.724080	11.899010	2731.27
3	20512	43.674080	11.900390	2829.79
4	20511	43.673120	11.831240	6216.97

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	0.062	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 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.062	2.460	0.264
SLD	50	0.080	2.418	0.271
	72	0.095	2.390	0.275
	101	0.109	2.380	0.279
	140	0.125	2.387	0.282
	201	0.144	2.380	0.287
SLV	475	0.196	2.367	0.294
SLC	975	0.248	2.380	0.307

	2475	0.329	2.432	0.318
--	------	-------	-------	-------

#### Punto 4

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 d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.063	2.458	0.264
SLD	50	0.080	2.425	0.270
SLV	475	0.196	2.370	0.293
SLC	975	0.248	2.388	0.300

#### 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 a 15°

#### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.018	0.023	0.068	0.097
kv	0.009	0.012	0.034	0.048
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.131	2.770	3.389
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

#### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.054	0.107	--
kv	--	0.027	0.054	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.131	2.770	3.389
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Fronti di scavo e rilevati

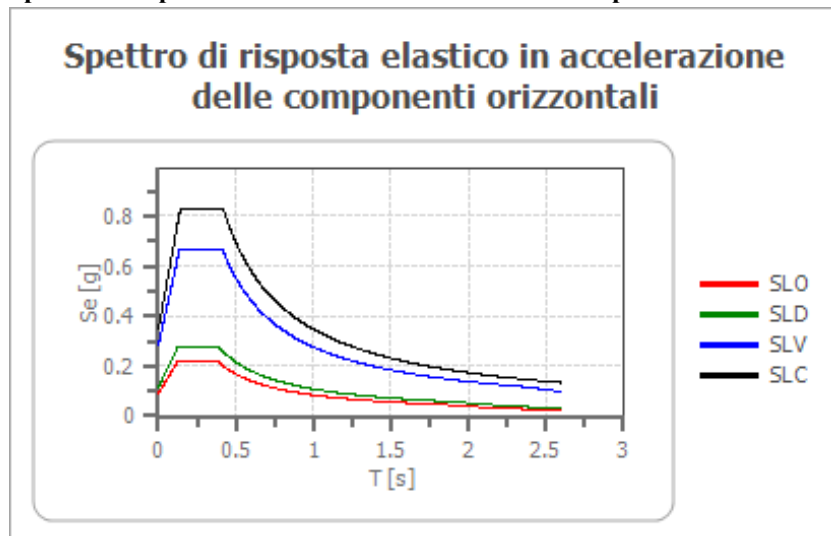
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.054	0.107	--
kv	--	0.027	0.054	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.131	2.770	3.389
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H): 3,0 [m]  
Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.070	0.089	0.219	0.268
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.131	2.770	3.389
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]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.063	2.458	0.264	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.127	0.380	1.850	0.090	0.221
SLD	1.0	0.080	2.425	0.270	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.129	0.387	1.920	0.115	0.280
SLV	1.0	0.196	2.370	0.293	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.138	0.413	2.385	0.282	0.669
SLC	1.0	0.248	2.388	0.300	1.160	1.400	1.200	1.392	1.000	0.140	0.421	2.593	0.346	0.825

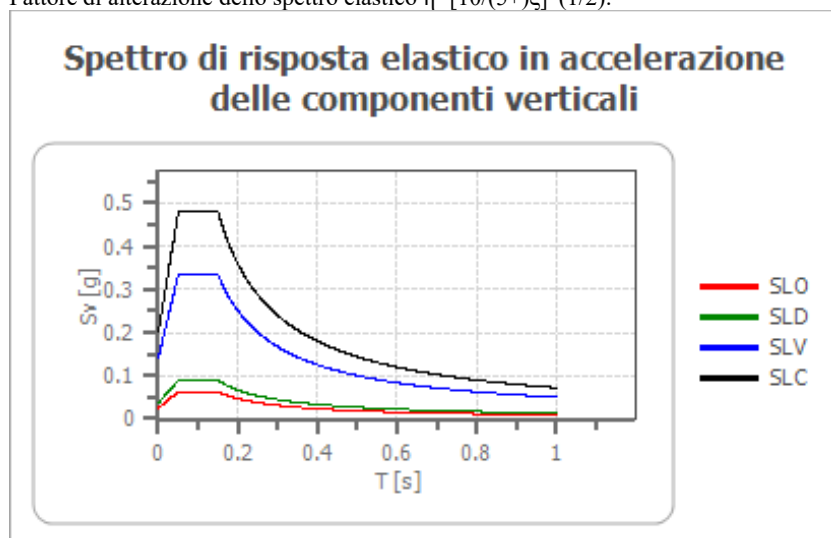
## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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	0.063	2.458	0.264	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.025	0.062
SLD	1.0	0.080	2.425	0.270	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.037	0.089
SLV	1.0	0.196	2.370	0.293	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.141	0.333
SLC	1.0	0.248	2.388	0.300	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.200	0.479

## Frassineta

### 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): 43.7655296 [°]

Longitudine (WGS84): 11.9027643 [°]

Latitudine (ED50): 43.7664833 [°]

Longitudine (ED50): 11.9037323 [°]

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	20068	43.774070	11.897720	971.98
2	20069	43.774990	11.966940	5162.70
3	20291	43.724990	11.968200	6935.82
4	20290	43.724080	11.899010	4730.24

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	0.067	2.423	0.263
SLD	50	0.086	2.411	0.268
	72	0.100	2.410	0.274
	101	0.116	2.396	0.279
	140	0.133	2.397	0.281
	201	0.153	2.381	0.286
SLV	475	0.210	2.350	0.292
SLC	975	0.265	2.383	0.295
	2475	0.347	2.435	0.319

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.415	0.264
SLD	50	0.086	2.414	0.271
	72	0.102	2.399	0.274
	101	0.118	2.386	0.280
	140	0.135	2.378	0.284
	201	0.153	2.408	0.288
SLV	475	0.210	2.375	0.294
SLC	975	0.264	2.404	0.300
	2475	0.346	2.478	0.323

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274
	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280
	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.424	0.264
SLD	50	0.086	2.411	0.268
SLV	475	0.209	2.355	0.292
SLC	975	0.264	2.388	0.296

**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 a 15°

**Stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.019	0.025	0.084	0.102
kv	0.010	0.012	0.042	0.051
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.942	1.210	2.955	3.568
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.115	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.942	1.210	2.955	3.568
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

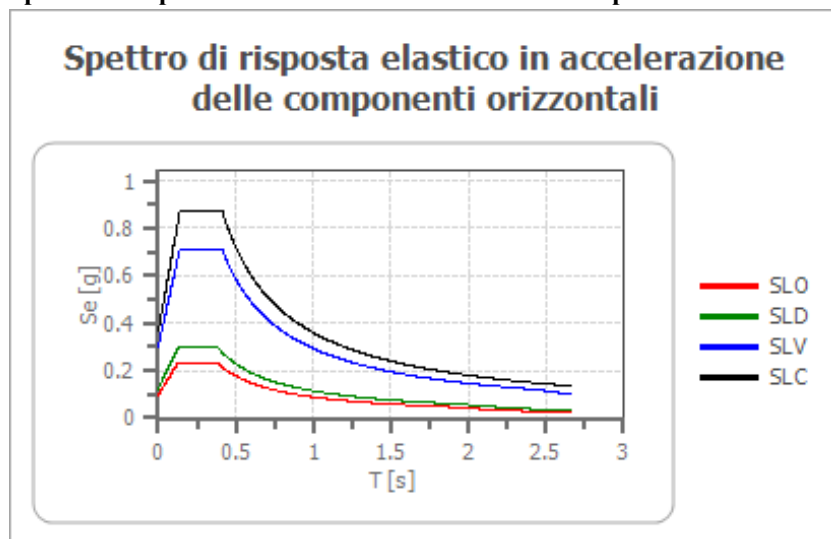
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.115	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.942	1.210	2.955	3.568
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

Altezza paratia (H): 3,0 [m]  
 Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.075	0.096	0.234	0.282
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.942	1.210	2.955	3.568
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	0.067	2.424	0.264	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.127	0.380	1.867	0.096	0.233
SLD	1.0	0.086	2.411	0.268	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.384	1.943	0.123	0.297
SLV	1.0	0.209	2.355	0.292	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.137	0.412	2.437	0.301	0.710
SLC	1.0	0.264	2.388	0.296	1.150	1.400	1.200	1.380	1.000	0.138	0.414	2.655	0.364	0.869

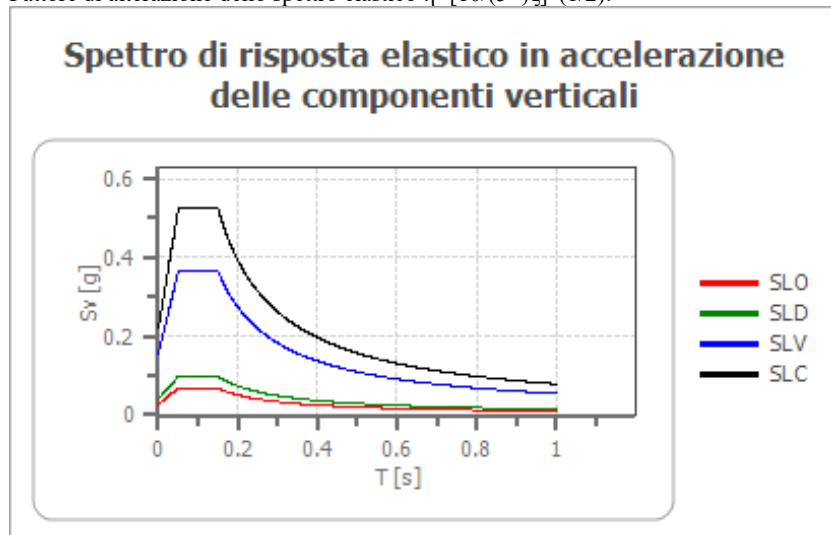
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.067	2.424	0.264	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.068
SLD	1.0	0.086	2.411	0.268	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.041	0.098
SLV	1.0	0.209	2.355	0.292	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.155	0.365
SLC	1.0	0.264	2.388	0.296	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.219	0.524

### Rimbocchi

#### 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): 43.7466087 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.9247580 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.7475586 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.9257250 [°]

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	20290	43.724080	11.899010	3379.80
2	20291	43.724990	11.968200	4235.94
3	20069	43.774990	11.966940	4500.97
4	20068	43.774070	11.897720	3707.84

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	0.065	2.440	0.264
SLD	50	0.084	2.413	0.268
	72	0.098	2.401	0.274
	101	0.113	2.392	0.279
	140	0.129	2.400	0.280
	201	0.149	2.385	0.286
SLV	475	0.204	2.366	0.291
SLC	975	0.258	2.400	0.293
	2475	0.342	2.428	0.317

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.264
SLD	50	0.086	2.406	0.268
	72	0.101	2.397	0.274
	101	0.117	2.380	0.279
	140	0.134	2.385	0.280
	201	0.154	2.367	0.287
SLV	475	0.211	2.350	0.293
SLC	975	0.265	2.388	0.299
	2475	0.347	2.462	0.321

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.415	0.264
SLD	50	0.086	2.414	0.271
	72	0.102	2.399	0.274
	101	0.118	2.386	0.280
	140	0.135	2.378	0.284
	201	0.153	2.408	0.288
SLV	475	0.210	2.375	0.294
SLC	975	0.264	2.404	0.300
	2475	0.346	2.478	0.323

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.067	2.423	0.263
SLD	50	0.086	2.411	0.268
	72	0.100	2.410	0.274
	101	0.116	2.396	0.279
	140	0.133	2.397	0.281
	201	0.153	2.381	0.286
SLV	475	0.210	2.350	0.292
SLC	975	0.265	2.383	0.295
	2475	0.347	2.435	0.319

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.066	2.426	0.264
SLD	50	0.085	2.411	0.269
SLV	475	0.209	2.360	0.293
SLC	975	0.263	2.393	0.296

**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	0.016	0.020	0.070	0.085
kv	0.008	0.010	0.035	0.042
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.782	1.004	2.454	2.963
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.048	0.095	--
kv	--	0.024	0.048	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.782	1.004	2.454	2.963
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.048	0.095	--
kv	--	0.024	0.048	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.782	1.004	2.454	2.963
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

Altezza paratia (H):

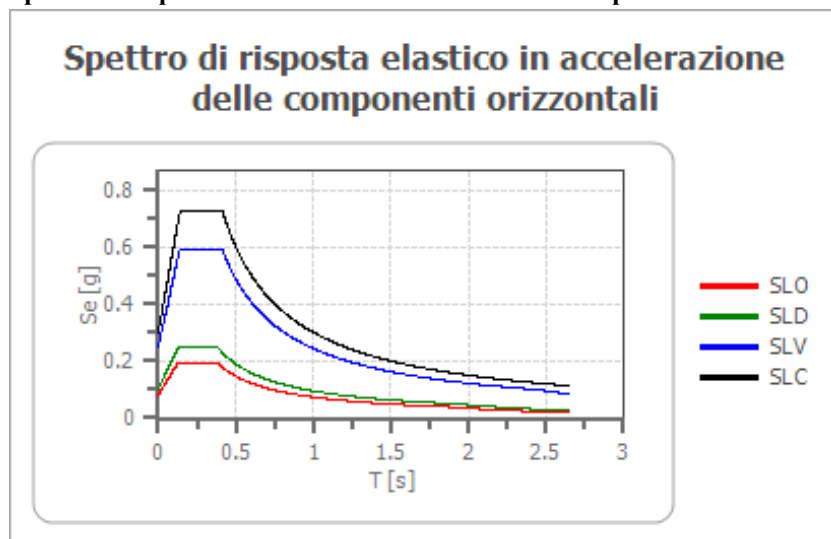
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.062	0.079	0.194	0.234
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.782	1.004	2.454	2.963
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	0.066	2.426	0.264	1.200	1.440	1.000	1.200	1.000	0.127	0.380	1.866	0.080	0.193
SLD	1.0	0.085	2.411	0.269	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.128	0.384	1.941	0.102	0.247
SLV	1.0	0.209	2.360	0.293	1.200	1.410	1.000	1.200	1.000	0.138	0.413	2.434	0.250	0.591
SLC	1.0	0.263	2.393	0.296	1.150	1.400	1.000	1.150	1.000	0.138	0.415	2.651	0.302	0.723

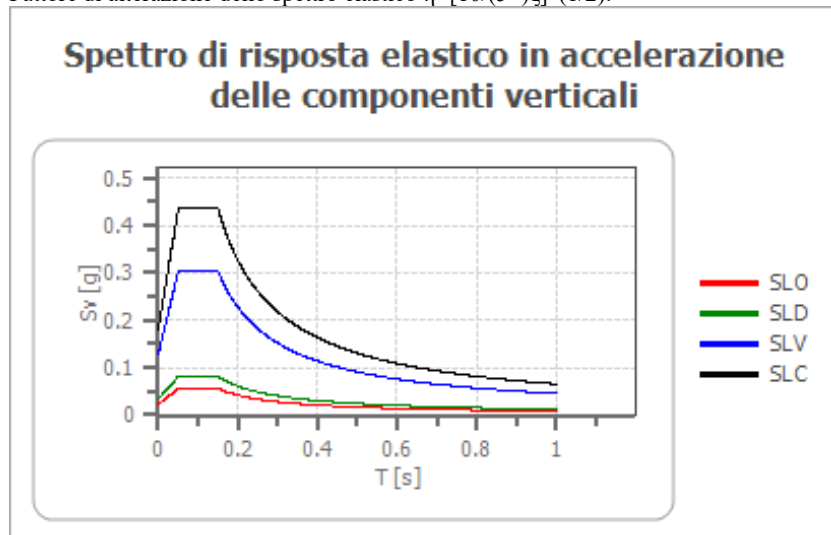
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.066	2.426	0.264	1	1.440	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.023	0.056
SLD	1.0	0.085	2.411	0.269	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.034	0.081
SLV	1.0	0.209	2.360	0.293	1	1.410	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.129	0.303
SLC	1.0	0.263	2.393	0.296	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.182	0.435

### Val della Meta

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): 43.7826996 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.9015942 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.7836494 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.9025621 [°]

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	20068	43.774070	11.897720	1133.94
2	20069	43.774990	11.966940	5257.42
3	19847	43.824970	11.965710	6840.41
4	19846	43.824060	11.896390	4520.64

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	0.067	2.423	0.263
SLD	50	0.086	2.411	0.268
	72	0.100	2.410	0.274
	101	0.116	2.396	0.279
	140	0.133	2.397	0.281
	201	0.153	2.381	0.286
SLV	475	0.210	2.350	0.292
SLC	975	0.265	2.383	0.295
	2475	0.347	2.435	0.319

#### Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.415	0.264
SLD	50	0.086	2.414	0.271
	72	0.102	2.399	0.274
	101	0.118	2.386	0.280
	140	0.135	2.378	0.284
	201	0.153	2.408	0.288
SLV	475	0.210	2.375	0.294
SLC	975	0.264	2.404	0.300
	2475	0.346	2.478	0.323

#### Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.069	2.409	0.264
SLD	50	0.087	2.403	0.272
	72	0.102	2.404	0.277
	101	0.117	2.428	0.280
	140	0.135	2.399	0.284
	201	0.156	2.376	0.290
SLV	475	0.207	2.412	0.299
SLC	975	0.258	2.473	0.315
	2475	0.336	2.571	0.326

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.069	2.412	0.263
SLD	50	0.087	2.406	0.271
	72	0.103	2.405	0.273
	101	0.119	2.394	0.279
	140	0.136	2.376	0.283
	201	0.155	2.386	0.289
SLV	475	0.207	2.416	0.294
SLC	975	0.261	2.435	0.299
	2475	0.345	2.485	0.322

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.068	2.419	0.264
SLD	50	0.086	2.410	0.269
SLV	475	0.209	2.370	0.293
SLC	975	0.263	2.403	0.298

**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 a 15°

**Stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.019	0.025	0.084	0.102
kv	0.010	0.012	0.042	0.051
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.954	1.219	2.954	3.563
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.114	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.954	1.219	2.954	3.563
Beta	--	0.470	0.380	--

**Fronti di scavo e rilevati**

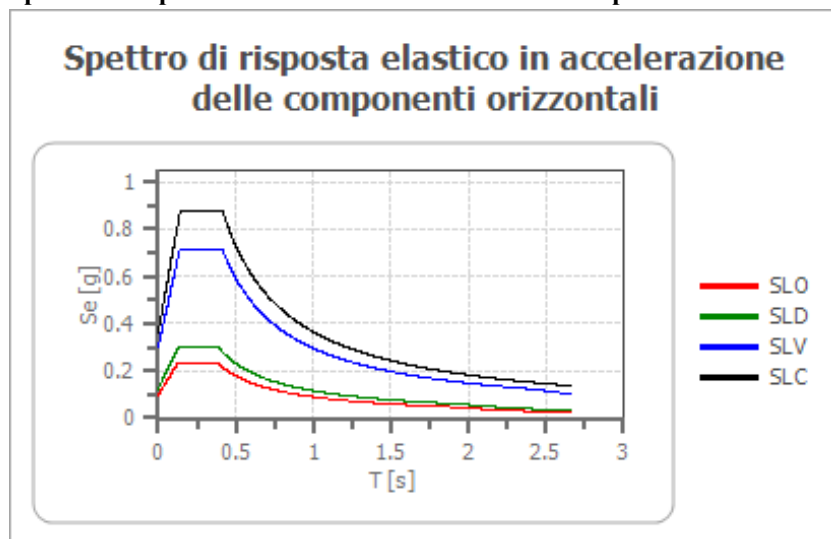
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.058	0.114	--
kv	--	0.029	0.057	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.954	1.219	2.954	3.563
Beta	--	0.470	0.380	--

**Paratie NTC 2018**

Altezza paratia (H): 3,0 [m]  
 Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.075	0.096	0.234	0.282
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.954	1.219	2.954	3.563
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	0.068	2.419	0.264	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.126	0.379	1.870	0.097	0.235
SLD	1.0	0.086	2.410	0.269	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.385	1.945	0.124	0.300
SLV	1.0	0.209	2.370	0.293	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.138	0.414	2.437	0.301	0.714
SLC	1.0	0.263	2.403	0.298	1.150	1.400	1.200	1.380	1.000	0.139	0.418	2.653	0.363	0.873

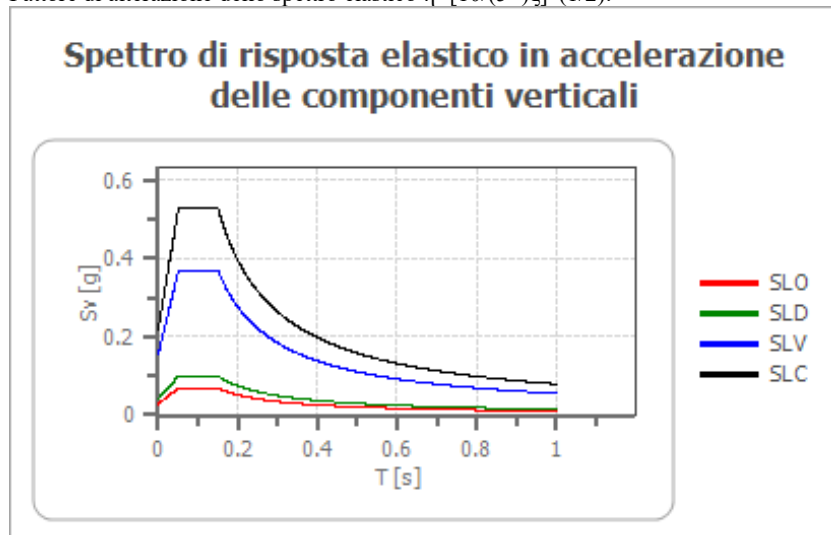
### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.068	2.419	0.264	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.028	0.069
SLD	1.0	0.086	2.410	0.269	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.041	0.099
SLV	1.0	0.209	2.370	0.293	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.155	0.367
SLC	1.0	0.263	2.403	0.298	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.219	0.526

## 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

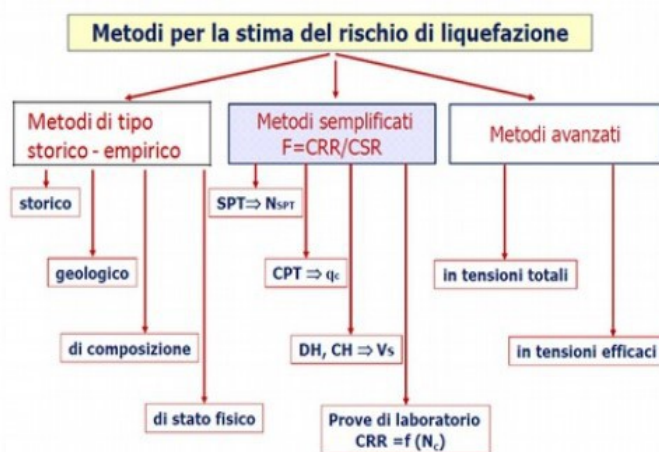
al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni non coesivi saturi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

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 Chiusi della Verna sono stati valutati, in corrispondenza delle litologie prevalentemente sabbiose, tutti i fusi granulometrici disponibili dalle analisi di laboratorio per una preliminare valutazione della suscettibilità a liquefazione secondo il metodo AGI, 2005.

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 complessivi 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.

Di seguito, tuttavia, si riportano alcune procedure di verifica della suscettibilità a liquefazione realizzate in corrispondenza di verticali di indagine ricadenti in quelle porzioni di territorio laddove le condizioni litostratigrafiche potrebbero poter indurre a fenomeni di liquefazione.

Metodo applicato: Metodi basati sull'EC8 (1998; 2003)

Le indicazioni della normativa europea sono contenute al punto 4.1.3 a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B della parte 5 dell'Eurocodice 8.

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando  $ag < 0,15$  e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità  $> 10$ ;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza  $N_{1,60} > 20$ ;
- frazione fine trascurabile e resistenza  $N_{1,60} > 25$ .

In generale il metodo è valido se  $N_{1,60} < 30$ . Per  $N_{1,60} > 30$ , i suoli sono classificati non liquefacibili (suoli granulari puliti densi).

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0.65 \frac{a_g}{g} \cdot S \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Coefficienti di profilo stratigrafico

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 $S (M > 5,5)$	Spettri di Tipo 2 $S (M \leq 5,5)$
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo MSF consigliato da

lla normativa è quello di Ambraseys (Tabella 1-metodo Seed Idriss).



Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove  $(N_{1,60})_{cs}$  viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove  $N_{1,60}$  è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice  $N_m$  (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left( \frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (vedi Tabella 2-metodo NTC 2008).

I parametri  $\alpha$  e  $\beta$ , invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$\alpha = 0$  per  $FC \leq 5\%$

$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$  per  $5\% < FC \leq 35\%$

$\alpha = 5$  per  $FC > 35\%$

$\beta = 1,0$  per  $FC \leq 5\%$

$\beta = [0,99 + (FC^{1.5} / 1000)]$  per  $5\% < FC \leq 35\%$

$\beta = 1,2$  per  $FC > 35\%$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (CPT), i valori di resistenza alla punta misurati  $q_c$  devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{p_a} \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

come proposto dall'EC8, quando sono disponibili i dati provenienti da una prova CPT, si può utilizzare la seguente relazione per derivare il valore delle  $(N_{1,60})_{cs}$ :

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

Il valore della resistenza a liquefazione si determina dalla relazione di Blake, 1997. Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche di rifrazione, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la relazione di Robertson et al., 1992:

$$V_{S1} = V_S \left( \frac{P_a}{\sigma_{vo}} \right)^{0,25}$$

per la resistenza alla liquefazione si utilizza la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left( \frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[ \frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

## Corsalone

Indagini di riferimento: P64, P63

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA

Profondità falda idrica 4,5 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,25

Fattore amplificazione 1,5

Tipo Suolo: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.13

Distanza epicentro 5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.3

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1		0	10	20	21	45
2		10	30	22	23	60

Iwasaki et alii (1978; 1984)

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
4.70	94.200	92.239	0.930	0.411931	0.185	2.23	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
4.90	98.400	94.477	0.927	0.4087503	0.188	2.17	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.10	102.600	96.716	0.924	0.4056345	0.191	2.12	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.30	106.800	98.955	0.921	0.4025813	0.194	2.08	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.50	111.000	101.193	0.918	0.3995886	0.196	2.04	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.70	115.200	103.432	0.915	0.3966546	0.199	2.00	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso

5.90	119.400	105.671	0.912	0.3937772	0.201	1.96	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.10	123.600	107.909	0.909	0.3909548	0.203	1.93	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.30	127.800	110.148	0.906	0.3881855	0.205	1.89	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.50	132.000	112.387	0.903	0.3854678	0.207	1.86	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.70	136.200	114.625	0.900	0.3828	0.208	1.84	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.90	140.400	116.864	0.897	0.3801806	0.210	1.81	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.10	144.600	119.103	0.894	0.3776082	0.212	1.79	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.30	148.800	121.341	0.891	0.3750815	0.213	1.76	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.50	153.000	123.580	0.888	0.372599	0.214	1.74	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.70	157.200	125.819	0.885	0.3701595	0.215	1.72	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.90	161.400	128.057	0.882	0.3677617	0.217	1.70	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.10	165.600	130.296	0.879	0.3654046	0.218	1.68	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.30	169.800	132.535	0.876	0.3630869	0.219	1.66	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.50	174.000	134.773	0.873	0.3608075	0.220	1.64	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.70	178.200	137.012	0.870	0.3585655	0.221	1.63	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.90	182.400	139.251	0.867	0.3563598	0.221	1.61	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.10	186.600	141.489	0.864	0.3541895	0.222	1.59	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.30	190.800	143.728	0.861	0.3520535	0.223	1.58	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.50	195.000	145.967	0.858	0.3499511	0.223	1.57	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.70	199.200	148.205	0.855	0.3478813	0.224	1.55	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.90	203.400	150.444	0.852	0.3458433	0.224	1.54	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.10	207.800	152.883	0.849	0.4045576	0.225	1.80	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.30	212.400	155.521	0.846	0.4018744	0.225	1.78	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.50	217.000	158.160	0.843	0.3992382	0.225	1.77	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.70	221.600	160.799	0.840	0.3966475	0.226	1.76	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.90	226.200	163.437	0.837	0.3941012	0.226	1.75	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.10	230.800	166.076	0.834	0.3915979	0.226	1.73	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.30	235.400	168.715	0.831	0.3891365	0.226	1.72	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.50	240.000	171.354	0.828	0.3867158	0.226	1.71	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.70	244.600	173.992	0.825	0.3843347	0.226	1.70	Terreno non	0.00	Molto

							suscettibile		basso
11.90	249.200	176.631	0.822	0.3819921	0.226	1.69	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.10	253.800	179.270	0.819	0.379687	0.226	1.68	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.30	258.400	181.908	0.816	0.3774185	0.226	1.67	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.50	263.000	184.547	0.813	0.3751855	0.226	1.66	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.70	267.600	187.186	0.810	0.3729871	0.226	1.65	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.90	272.200	189.824	0.807	0.3708225	0.226	1.64	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.10	276.800	192.463	0.804	0.3686907	0.225	1.64	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.30	281.400	195.102	0.801	0.3665911	0.225	1.63	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.50	286.000	197.740	0.798	0.3645227	0.225	1.62	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.70	290.600	200.379	0.795	0.3624848	0.225	1.61	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.90	295.200	203.018	0.792	0.3604767	0.224	1.61	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.10	299.800	205.656	0.789	0.3584976	0.224	1.60	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.30	304.400	208.295	0.786	0.3565469	0.224	1.59	Terreno non suscettibile	00.00.00	Molto basso
14.50	309.000	210.934	0.783	0.3546238	0.224	1.59	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.70	313.600	213.572	0.780	0.3527278	0.223	1.58	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.90	318.200	216.211	0.777	0.3508582	0.223	1.57	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.10	322.800	218.850	0.774	0.3490144	0.222	1.57	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.30	327.400	221.488	0.771	0.3471958	0.222	1.56	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.50	332.000	224.127	0.768	0.3454019	0.222	1.56	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.70	336.600	226.766	0.765	0.343632	0.221	1.55	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.90	341.200	229.404	0.762	0.3418857	0.221	1.55	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.10	345.800	232.043	0.759	0.3401625	0.220	1.54	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.30	350.400	234.682	0.756	0.3384617	0.220	1.54	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.50	355.000	237.320	0.753	0.3367831	0.220	1.53	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.70	359.600	239.959	0.750	0.335126	0.219	1.53	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.90	364.200	242.598	0.747	0.33349	0.219	1.53	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.10	368.800	245.236	0.744	0.3318746	0.218	1.52	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.30	373.400	247.875	0.741	0.3302796	0.218	1.52	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.50	378.000	250.514	0.738	0.3287043	0.217	1.51	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso

17.70	382.600	253.152	0.735	0.3271485	0.216	1.51	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.90	387.200	255.791	0.732	0.3256117	0.216	1.51	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.10	391.800	258.430	0.729	0.3240935	0.215	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.30	396.400	261.068	0.726	0.3225935	0.215	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.50	401.000	263.707	0.723	0.3211115	0.214	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.70	405.600	266.346	0.720	0.319647	0.214	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.90	410.200	268.984	0.717	0.3181998	0.213	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.10	414.800	271.623	0.714	0.3167694	0.212	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.30	419.400	274.262	0.711	0.3153555	0.212	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.50	424.000	276.900	0.708	0.3139579	0.211	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.70	428.600	279.539	0.705	0.3125761	0.211	1.48	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.90	433.200	282.178	0.702	0.31121	0.210	1.48	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Indagini di riferimento: P74

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA

Profondità falda idrica 4,5 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0,25

Fattore amplificazione 1,5

Tipo Suolo: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.13

Distanza epicentro 5 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.3

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1		0	4	18	19	10
2		4	10	20	21	45
3		10	30	22	23	60

Iwasaki et alii (1978; 1984)

Profondità dal p.c.	Pressione litostatica	Pressione verticale	Coefficiente riduttivo	Resistenza alla	Sforzo di taglio	Coefficiente di sicurezza	Suscettibilità di	Indice di liquefazione	Rischio
---------------------	-----------------------	---------------------	------------------------	-----------------	------------------	---------------------------	-------------------	------------------------	---------

(m)	totale (KPa)	effettiva (KPa)	(rd)	liquefazione (CRR)	normalizzato (CSR)	Fs	liquefazione		
4.70	86.200	84.239	0.930	0.4238626	0.185	2.29	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
4.90	90.400	86.477	0.927	0.4204309	0.189	2.23	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.10	94.600	88.716	0.924	0.4170727	0.192	2.17	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.30	98.800	90.955	0.921	0.4137854	0.195	2.12	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.50	103.000	93.193	0.918	0.4105665	0.198	2.08	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.70	107.200	95.432	0.915	0.4074138	0.200	2.03	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
5.90	111.400	97.671	0.912	0.4043249	0.203	1.99	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.10	115.600	99.909	0.909	0.4012978	0.205	1.96	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.30	119.800	102.148	0.906	0.3983303	0.207	1.92	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.50	124.000	104.387	0.903	0.3954207	0.209	1.89	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.70	128.200	106.625	0.900	0.392567	0.211	1.86	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
6.90	132.400	108.864	0.897	0.3897674	0.213	1.83	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.10	136.600	111.103	0.894	0.3870203	0.214	1.81	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.30	140.800	113.341	0.891	0.384324	0.216	1.78	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.50	145.000	115.580	0.888	0.3816771	0.217	1.76	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.70	149.200	117.819	0.885	0.379078	0.218	1.74	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
7.90	153.400	120.057	0.882	0.3765252	0.220	1.71	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.10	157.600	122.296	0.879	0.3740175	0.221	1.69	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.30	161.800	124.535	0.876	0.3715535	0.222	1.68	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.50	166.000	126.773	0.873	0.3691319	0.223	1.66	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.70	170.200	129.012	0.870	0.3667516	0.224	1.64	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
8.90	174.400	131.251	0.867	0.3644114	0.225	1.62	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.10	178.600	133.489	0.864	0.3621102	0.225	1.61	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.30	182.800	135.728	0.861	0.3598469	0.226	1.59	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.50	187.000	137.967	0.858	0.3576205	0.227	1.58	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.70	191.200	140.205	0.855	0.35543	0.227	1.56	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
9.90	195.400	142.444	0.852	0.3532744	0.228	1.55	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.10	199.800	144.883	0.849	0.4129945	0.228	1.81	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.30	204.400	147.521	0.846	0.41016	0.228	1.80	Terreno non	0.00	Molto

							suscettibile		basso
10.50	209.000	150.160	0.843	0.407377	0.229	1.78	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.70	213.600	152.799	0.840	0.4046438	0.229	1.77	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
10.90	218.200	155.437	0.837	0.4019591	0.229	1.76	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.10	222.800	158.076	0.834	0.3993214	0.229	1.74	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.30	227.400	160.715	0.831	0.3967293	0.229	1.73	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.50	232.000	163.354	0.828	0.3941816	0.229	1.72	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.70	236.600	165.992	0.825	0.391677	0.229	1.71	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
11.90	241.200	168.631	0.822	0.3892142	0.229	1.70	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.10	245.800	171.270	0.819	0.3867922	0.229	1.69	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.30	250.400	173.908	0.816	0.3844099	0.229	1.68	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.50	255.000	176.547	0.813	0.3820661	0.229	1.67	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.70	259.600	179.186	0.810	0.3797598	0.229	1.66	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
12.90	264.200	181.824	0.807	0.3774901	0.229	1.65	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.10	268.800	184.463	0.804	0.375256	0.228	1.64	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.30	273.400	187.102	0.801	0.3730565	0.228	1.64	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.50	278.000	189.740	0.798	0.3708909	0.228	1.63	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.70	282.600	192.379	0.795	0.3687581	0.228	1.62	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
13.90	287.200	195.018	0.792	0.3666574	0.227	1.61	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.10	291.800	197.656	0.789	0.364588	0.227	1.61	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.30	296.400	200.295	0.786	0.3625492	0.227	1.60	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.50	301.000	202.934	0.783	0.3605401	0.226	1.59	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.70	305.600	205.572	0.780	0.3585601	0.226	1.59	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
14.90	310.200	208.211	0.777	0.3566085	0.226	1.58	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.10	314.800	210.850	0.774	0.3546846	0.225	1.58	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.30	319.400	213.488	0.771	0.3527878	0.225	1.57	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.50	324.000	216.127	0.768	0.3509173	0.224	1.56	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.70	328.600	218.766	0.765	0.3490727	0.224	1.56	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
15.90	333.200	221.404	0.762	0.3472534	0.223	1.55	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.10	337.800	224.043	0.759	0.3454586	0.223	1.55	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso

16.30	342.400	226.682	0.756	0.343688	0.223	1.54	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.50	347.000	229.320	0.753	0.341941	0.222	1.54	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.70	351.600	231.959	0.750	0.340217	0.222	1.54	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
16.90	356.200	234.598	0.747	0.3385155	0.221	1.53	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.10	360.800	237.236	0.744	0.3368361	0.220	1.53	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.30	365.400	239.875	0.741	0.3351784	0.220	1.52	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.50	370.000	242.514	0.738	0.3335417	0.219	1.52	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.70	374.600	245.152	0.735	0.3319257	0.219	1.52	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
17.90	379.200	247.791	0.732	0.33033	0.218	1.51	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.10	383.800	250.430	0.729	0.3287541	0.218	1.51	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.30	388.400	253.068	0.726	0.3271977	0.217	1.51	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.50	393.000	255.707	0.723	0.3256603	0.217	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.70	397.600	258.346	0.720	0.3241415	0.216	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
18.90	402.200	260.984	0.717	0.322641	0.215	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.10	406.800	263.623	0.714	0.3211584	0.215	1.50	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.30	411.400	266.262	0.711	0.3196934	0.214	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.50	416.000	268.900	0.708	0.3182456	0.213	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.70	420.600	271.539	0.705	0.3168146	0.213	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso
19.90	425.200	274.178	0.702	0.3154003	0.212	1.49	Terreno non suscettibile	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso



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

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Le aree di studio sono inserite nel territorio del Comune di Chiusi della Verna (Provincia di Arezzo), che si sviluppa su di una superficie di 102,33 kmq.

Il territorio del Comune di Chiusi della Verna si colloca nella porzione settentrionale della Provincia di Arezzo, e confina a nord con il Comune di Poppi (settore di Badia Prataglia) e con quelli emiliano-romagnoli di Bagno di Romagna (FC) e Verghereto (FC), ad est con il Comune di Pieve Santo Stefano, a sud con i comuni di Caprese Michelangelo, Chitignano, Subbiano e Castel Fodcognano e, infine, ad ovest col Comune di Bibbiena.



*Ubicazione del Comune di Chiusi della Verna all'interno della Provincia di Arezzo*

Per quanto riguarda le viabilità di collegamento, il territorio comunale è collegato al capoluogo di Arezzo e alle viabilità principali regionali e statali mediante la S.R. n. 71 Umbro-Casentinese-Romagnola. Altra importante viabilità è la S.P. n. 208 Strada della Verna, che conduce in Val Tiberina e che collega il Capoluogo al fondo valle del bacino casentinese. Queste rappresentano le più importanti reti viarie del settore, che rispondono 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 Corsalone, dove nelle pianure alluvionali si è sviluppata l'attività industriale con la realizzazione di lottizzazioni artigianali.

Altimetricamente si presenta un dislivello di circa 975 metri compresi tra un minimo di ca. 320 m s.l.m. nei pressi del confine meridionale del Comune, lungo il corso del Torrente Rassina, poco a sud dell'abitato di Gargiano, ed un massimo di circa 1.295 m s.l.m. presso il rilievo del Montalto.

Dal punto di vista morfologico si tratta, quindi, di un paesaggio prevalentemente montano con andamento relativamente omogeneo in cui le sommità dei rilievi sono distribuite su una serie di dorsali con andamento appenninico con un range medio di quote compreso fra 900 e 1.300 m s.l.m.. Queste spostandosi verso ovest passano ad un paesaggio prevalentemente collinare ed alto-collinare con rilievi talora anche con buona acclività a quote comprese fra 300 e 700 m s.l.m., che discendono fino al fondo valle caratterizzato dal corso del Fiume Arno.

In particolare il territorio comunale di Chiusi della Verna fa parte dell'unità geografica del bacino del Casentino, compreso tra il fondo valle del Fiume Arno e i rilievi della catena appenninica posti in sinistra idraulica dello stesso Arno e che ne definiscono il territorio ad est.

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 300-600 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 1.100 - 1.300 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, quali il Torrente Corsalone e il Torrente Rassina.

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 la porzione orientale del territorio comunale è costituito 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 definisce il confine occidentale del territorio comunale presso l'abitato di Corsalone, dove ne confluisce il corso del Torrente Corsalone, che con corso circa nord-est/sud-ovest defluisce dai rilievi posti a nord dell'abitato di Corezzo fino, come detto, al Fiume Arno.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono il Torrente Rassina, che scorre presso la porzione meridionale del territorio comunale, e il Torrente Archeano, che definisce gran parte del perimetro nord-occidentale del Comune.

Il regime dei corsi d'acqua che interessano l'ambito comunale, con la sola esclusione del corso d'acqua maggiore, 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 Chiusi della Verna 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 sviluppatasi 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 settentrionale e in una zona meridionale (porzione centrale) con la presenza di terreni appartenenti alle formazioni torbiditiche arenacee del Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola); una centrale e meridionale (porzioni occidentali e orientali), dove alle precedenti si alternano i termini flyschoidi prevalentemente da calcareo marnoso ad argillitico marnoso e calcarenitici appartenenti al Dominio Ligure (Unità di Monte Morello) ed Epiligure; e, infine, una estrema settentrionale dove si hanno le formazioni torbiditiche appartenenti al Dominio Umbro-Marchigiano.

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 e Sub-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.

Nell'area di studio vi sono, inoltre, litologie riferibili alla Successione Epiligure, caratterizzate da litotipi sedimentatisi sulle coltri liguridi contemporaneamente al carreggiamento di queste ultime verso il Dominio Toscano e poi verso l'area padana in movimento e traslate insieme ad esse verso oriente. In particolare si

riconoscono i membri calcarenitici della Formazione di San Marino e arenitici della Formazione di Monte Fumaiolo.

Per quanto riguarda le formazioni torbiditiche oligo-mioceniche del Dominio Toscano, affiorano le litologie appartenenti alla formazione delle Arenarie del M. Falterona nelle sue varie litofacies, da quella arenaceo torbiditica con intercalazioni pelitico siltitiche, a quella prevalentemente pelitico siltitica a quella olistostromica caratterizzata da brecce argillose e calcaree in matrice argillitica.

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 elastico di avanfossa, poi tettonicamente sradicata a livello delle argilliti basali.

I depositi del Dominio Umbro-Marchigiano, sovrastati tettonicamente da quelli del Dominio Toscano, sono in questo settore rappresentati dai depositi arenacei di origine torbiditica della Marnoso-arenacea (Langhiano-Serravalliano), che costituiscono il riempimento di un bacino di avanfossa appenninico (migrante verso NE), sviluppato tra il Langhiano e il Tortonian.

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 le tre principali serie (Unità Tettonica Ligure, Unità Tettonica Toscana e Unità Tettonica Umbro-Marchigiana), che si esplica attraverso alcune linee di sovrascorrimento, con direzione appenninica, ben seguibili dai settori di SE fino ai settori di NO: queste linee sono evidenziate da alcuni motivi geologici fondamentali, tra cui la presenza quasi costante di formazioni a prevalente litologia pelitico marnosa, che hanno agito come superficie di scollamento e di scorrimento tra le diverse serie, e la presenza di vaste aree coperte da detriti di falda e paleofrane.

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

Tra le strutture principali si annoverano anche quelle legate al thrust dell'Unità di M. Cervarola sulla parte più interna della Marnoso arenacea, ed anche le strutture legate al thrust interno alla Marnoso arenacea stessa.

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, compreso il sovrascorrimento precedentemente descritto, 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 le strutture compressive che hanno strutturato la catena appenninica nel territorio intercomunale, si ricordano gli importanti sovrascorrimenti che giustappongono i litotipi attribuibili alle unità liguri con i termini flyschoidi arenaceo-marnosi dell'unità toscana del M. Cervarola e quest'ultimi sui termini della Formazione Marnoso-arenacea.

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 Chiusi della Verna, 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.

### **Depositi del Pleistocene Medio - Superiore**

#### **- Depositi alluvionali terrazzati (bnb)**

Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali. Si tratta di depositi alluvionali terrazzati caratterizzati dalla presenza, in successione stratigrafica, di alternanze di ghiaie, sabbie e limi. Tali depositi si trovano morfologicamente sopraelevati rispetto all'attuale alveo dei corsi fluviali (*Pleistocene medio – Pleistocene superiore*).

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

- Successione Epiligure;
- Dominio Ligure Esterno (Unità di Monte Morello);
- Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola);
- Dominio Umbro-Marchigiano.

### **SUCCESSIONE EPILOGURE**

#### **- Formazione di Monte Fumaiole (MFU) (*Langhiano superiore – Serravalliano inferiore*)**

Si tratta di un'alternanza di arenarie, calcareniti e marne dure a frattura scheggiata, più abbondanti verso la base. Le arenarie sono generalmente da grossolane a medie e sono caratterizzate da scarsa cementazione. Verso la parte più alta della sequenza, ad esempio ad est dell'abitato di Chiusi della Verna, la frazione arenacea prevale

per uno spessore di circa 30 metri, con la formazione di aree calanchive. La porzione arenitica risulta arricchita in glauconite. Il passaggio alla sottostante formazione di San Marino avviene in modo netto con la sostituzione degli strati arenacei da parte di livelli calcarenitici.

- Formazione di San Marino: Membro massiccio (SMN1) (*Burdigaliano superiore – Langhiano inferiore*)

E' costituita da biocalcareni organogene o ibride, grossolane, con una frazione di clasti non carbonatici in strati da medi a spessi. La formazione si presenta in affioramento principalmente non stratificata o poco stratificata. Sulla base di tale requisito sono stati distinti due membri: membro stratificato e membro massiccio. Le biocalcareni sono formate da frammenti o resti integri di briozoi, alghe calcaree, rodoliti, echinidi, molluschi e macroforaminiferi. I livelli meno carbonatici e più arenitici sono frequentemente bioturbati con ricorrenti tracce fossili.

Formazione di San Marino: Membro stratificato (SMN2) (*Burdigaliano superiore*)

E' costituita da calcari organogeni grigi e calcareniti bianco grigiastre ricche in bioclasti, grossolane, con una frazione di clasti non carbonatici in strati da medi a spessi. La formazione si presenta in affioramento principalmente stratificata. Anche in questo caso i calcari organogeni sono formati da frammenti o resti integri di briozoi, alghe calcaree, rodoliti, echinidi, molluschi e macroforaminiferi.

Brecce Poligeniche del Sasso Simone (BAP) (*Burdigaliano*)

Brecce matrice sostenute con matrice derivante dall'alterazione di argilliti di colore dal grigio al bruno. I clasti sono costituiti da argilliti policrome, calcilutiti ed arenarie provenienti dalle formazioni di Sillano e Monte Morello.

## **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.
- Calcareniti fini grigio chiare, marroni se alterate, in strati di spessore inferiore al mezzo metro. Localmente, associate a queste, si rinvenivano 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**

- Marne di Vicchio: Litofacies marnoso-calcarea (VIC2) (*Burdigaliano – Serravalliano*)

Calcari marnosi e talora selciosi con rare liste di selci nere, marne siltose, calcisiltiti e calcareniti medie e sottili a granulometria fine.

- Marne di Vicchio: Litofacies marnoso-arenitica (VIC3) (*Burdigaliano – Serravalliano*)

Arenarie con stratificazione tabulare o lenticolare, granulometria da grossolana a fine; alternate a marne e marne calcaree.

- Arenarie del Falterona; Membro di Montefalco (FAL1) (*Aquitano – Burdigaliano*)

Arenarie grigio azzurre e grigio verdi in strati spessi e frequentemente amalgamati, con base grossolana e microconglomeratica, pelite quasi assente. Il rapporto arenaria/pelite è maggiore di 10 ( $A/P > 10$ ).

Sono presenti rari strati di spessore per lo più nell'ordine di alcuni decimetri costituiti da areniti carbonatiche e marne.

- Arenarie del Falterona; Membro di Camaldoli (FAL2) (*Aquitano – 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) (Aquitano – 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).

- Arenarie del Falterona; Membro di Montalto – Litofacies argillitica (FAL3a) (Aquitano – Burdigaliano)

Argilliti e siltiti grigie e nere in livelli sottili o poco spessi (da 1 centimetro ad 1 metro), alternate a livelli siltitico argillitici di colore marrone chiaro o verdastro.

- Arenarie del Falterona; Membro di Lonnano (FAL4) (Aquitano – Burdigaliano)

Si tratta di un flysch arenaceo composto da siltiti, argilliti e marne prevalenti con arenarie gradate aventi strutture sedimentarie caratteristiche dei depositi di torbida.

Dal punto di vista petrografico si tratta di un'arenaria quarzoso-feldspatico micacea (greywackes) con frammenti di rocce metamorfiche (micasisti) e poco cemento carbonatico.

In particolare si tratta di un'alternanza pelitico-arenacea in strati gradati prevalentemente da sottili a medi costituiti da strati sottili di arenarie molto fini e siltiti che mostrano gradazione e laminazione parallela e/o convoluta; talora si trovano associati livelli decimetrici di argilliti nere e torbiditi calcareo-marnose, spesse da pochi centimetri fino a qualche metro.

Le areniti hanno grana fine e il rapporto arenaria/pelite (A/P) varia da  $\ll 1$  a  $< 1$ , generalmente  $A/P < 1/4$ , con tendenza ad aumentare verso la porzione basale della serie. Gli strati delle arenarie non supera mai i 20 cm.

L'arenaria presenta colori grigio-azzurri al taglio fresco, invece assume una colorazione giallastra se alterata; le siltiti sono di color grigio-giallastro, talora scure; mentre le marne sono di colore grigio chiare, molto fratturate, e le peliti sono generalmente più scure.

- Arenarie del Falterona; Membro di Fosso delle Valli (FAL5) (Aquitano – Burdigaliano)

Si tratta di siltiti, marne e marne argillose, rare areniti a granulometria fine e finissima in strati con spessori che diminuiscono verso l'alto. Il rapporto  $A/P < 1/6$ . Le marne, in strati spessi fino a 2 metri, con stratificazione incerta, sono talora dure e scheggiose con numerose liste di selce scura grigia fino a nera, a liste o globulare. Sono presenti livelli pelitici, talora arrossati con silicizzazione diffusa e minerali argillosi di origine vulcanica. Raramente si ha la presenza di straterelli calcarenitici, livelli di emipelagiti e livelli di spessore centimetrico costituiti da materiale polverulento ossidato, probabilmente vulcanoderivato.

- Arenarie del Falterona; Olistostromi (FALa) (Aquitano – Burdigaliano)

Si tratta di olistostromi, il cui meccanismo genetico principale è la gravità, ad affinità ligure e subligure staccatisi dal fronte del thrust in avanzamento e presenti sottoforma di corpi lenticolari, generalmente allungati, intercalati stratigraficamente in sedimenti normali.

Per la loro messa in posto è richiesta un'intensa frammentazione delle rocce per la formazione dei clasti e una liquefazione del materiale pelitico proveniente da formazioni ancora poco litificate.

Sono rappresentati da argilliti, talora marnose, con struttura caotica, color grigio scuro e grigio chiaro, spesso rosse e verdi, pervase da superfici di fissilità, che inglobano pezzame litoide di dimensioni da millimetriche a metriche, costituito da calcari micritici spesso silicei, calcari marnosi, calcareniti, torbiditi arenaceo-micacee, arenarie da microconglomeratiche a fini e brecce ofiolitiche.

Talvolta si trovano all'interno di essi corpi litoidi di materiali provenienti dalle Unità inglobanti; il contatto inferiore con i sedimenti è di solito brusco, mentre verso l'alto sfuma impercettibilmente verso sedimenti normali.

Al tetto degli olistostromi e lateralmente ad essi, la sedimentazione torbiditica principale è spesso rappresentata da marne siltose e/o da sottili strati siltitico-marnosi.

- Marne varicolori di Villore (MVV) (Rupeliano - Aquitaniano)

Si tratta di marne e marne siltose varicolori con intercalazioni di arenarie fini color grigio brunastro. Si presentano ben stratificate e con spessore degli strati da sottile a medio.

- Marne varicolori di Villore: Marne grigie (MVVa) (Rupeliano - Aquitaniano)

Associate alle Marne di Villore (MVV) sono costituite da prevalenti livelli marnosi con stratificazione da sottile a media, di color grigio.

- Marne varicolori di Villore: Alternanza di argilliti (MVVb) (Rupeliano - Aquitaniano)

Associate alle Marne di Villore (MVV) sono costituite da prevalenti livelli argillitici da grigio scuri a varicolori; talora intensamente fratturati presentano una stratificazione generalmente sottile.

## **DOMINIO UMBRO-MARCHIGIANO**

- Formazione Marnoso-arenacea: Membro di Premilcuore (FMA3) (Burdigaliano – Messiniano)

Torbiditi arenaceo pelitici generalmente caratterizzate da un rapporto arenite/pelite da poco inferiore a 1 a circa 2, talora con presenza di orizzonti con rapporto arenite/pelite fino a 6 e strati amalgamati.

Si osserva una cementazione differenziale nei letti arenitici, generalmente da media a buona alla base e debole al tetto.

- Formazione Marnoso-arenacea: Membro di Premilcuore – Litofacies arenacea di Campigna (FMA3a) (Burdigaliano – Messiniano)

E' una litofacies interna al Membro di Premilcuore costituita da strati arenacei amalgamati con rapporto arenite/pelite anche maggiore di 6, spesso da alcune decine di metri fino a circa 200 metri.

- Formazione Marnoso-arenacea: Membro di Premilcuore – Litofacies pelitico-arenacea di Fosso Lupatti (FMA3b) (Burdigaliano – Messiniano)

E' una litofacies interna al Membro di Premilcuore costituita da prevalenti peliti con intercalati strati arenitici sottili e molto spessi.

- Formazione Marnoso-arenacea: Membro di Collina (FMA5) (Burdigaliano – Messiniano)

Peliti con intercalati strati arenitici da sottili a molto spessi.

## **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), i dati relativi al “Censimento delle aree in dissesto da frana” allestita dalla Autorità di Bacino del F. Arno, nonché gli studi geologici e geomorfologici di dettaglio di supporto alla progettazione di opere di consolidamento in corrispondenza del Santuario Francese e della loc. Beccia a Chiusi della Verna, oltre a quelli per i centri abitati di Biforco, Corezzo e Frassineta.

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 Chiusi della Verna 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 Chiusi della Verna 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.

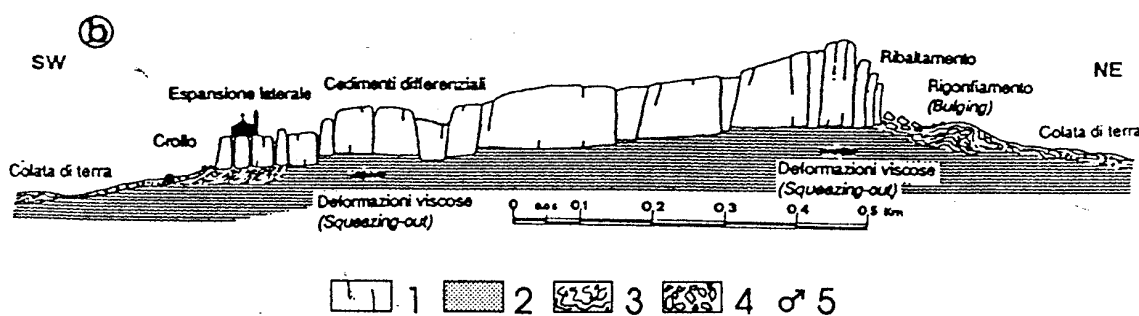
In particolare, ai fini del presente studio, si osserva la diffusa presenza di corpi di frana, dal diverso stato di attività, interferenti con alcuni dei centri urbani oggetto di studio.

Nel settore settentrionale del territorio comunale la frazione di Frassineta risulta lambita da un vasto dissesto gravitativo che mostra estese porzioni in stato di attività all'interno di un più vasto distretto cui è stata riconosciuta quiescenza.

Tuttavia la zona maggiormente interessata da fenomeni franosi è senza dubbio la porzione centrale del territorio comunale, dove si registrano le più estese frane attive come la frana di Biforco e vasti distretti di frane quiescenti come ad esempio quelli che interessano il Capoluogo e la frazione di Corezzo.

Un'area, che merita una trattazione più dettagliata, è la zona del Monte Penna (Fig.1), dove viene a trovarsi anche il Santuario della Verna. L'area è formata da calcari appartenenti alla Formazione di S. Marino (Langhiano - Serravalliano), che poggiano stratigraficamente sul complesso Caotico sottostante.

In particolare l'unità Epiligure della Verna è del tipo monoclinale, con immersione degli strati di circa 30° verso SE.



Sezione schematica interpretativa del M. Penna. 1) formazione di S. Marino; 2) argilliti; 3) colate di terra; 4) detrito di versante; 5) sorgente. (Da Bertocci et alii, 1992).

La presenza di placche calcaree fratturate, poggiate direttamente sui terreni argillosi caotici, favorisce l'insorgere di fenomeni di deformazione gravitativa profonda, dovuti proprio alla presenza di questi corpi lapidei fratturati posti sopra formazioni duttili a comportamento plastico viscoso.

E' da evidenziare che la placca calcarea del Monte Penna è interessata da una intensa fratturazione e i terreni argillosi circostanti presentano una morfologia particolare con estesi rigonfiamenti (bulges), che producono contropendenze.

Sono proprio queste aree argillitiche, poste alla base delle placche calcaree, a produrre i più intensi fenomeni franosi, caratterizzati da frane di tipo earth flow inglobanti blocchi calcarei della formazione di S. Marino provenienti da crolli e ribaltamenti delle pareti della placca.

E' importante evidenziare la particolare dinamica del movimento: il peso della placca calcarea tende a far rifluire le argilliti verso l'esterno e queste a loro volta inducono movimenti differenziali fra i blocchi in cui è divisa la placca favorendo fenomeni di espansione laterale. Quindi si tratta di un fenomeno che si autoalimenta.

Peculiare della porzione meridionale del territorio risulta, invece, la presenza di vaste aree assoggettate a trasformazione antropica con la presenza di ex aree di cava di inerti, ad oggi tombate e riempite, presenti in fregio all'abitato del Corsalone parallelamente alla sponda sinistra d'Arno.

### **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 delimitando una porzione del confine occidentale del territorio comunale.

In particolare il reticolo idrografico che caratterizza il territorio comunale mostra un andamento dei principali corsi d'acqua rispettivamente in direzione antiappenninica (NE – SW), verso il corso del Fiume Arno.

Gli affluenti di ordine gerarchico inferiore, più brevi, sono orientati in linea di massima anch'essi in direzione -circa NE - SW (antiappenninica).

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 Chiusi della Verna, 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 dell'area di fondovalle di dove sorge l'abitato di Corsalone. 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 GeoEcho s.n.c. di Poggibonsi (SI) nel giugno 2012 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 nell'agosto 2020.

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 sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità Vp e Vs nel sottosuolo;
- n. 32 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. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (a seguito di specifica realizzazione di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo);
- n. 3 indagini di sismica attiva in onde P e Sh, per la determinazione dei profili sismostratigrafici;
- n. 6 indagini di sismica attiva MASW, per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;
- n. 4 indagini di sismica attiva congiunta MASW-ESAC, per la determinazione dei profili di velocità Vs nel sottosuolo;
- n. 52 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.

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.

Chiusi della Verna Capoluogo:

- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 2 indagini di sismica attiva congiunta MASW-ESAC;
- n. 10 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Chiusi della Verna Capoluogo	P155					X
	L15				X	
	L16				X	
	P156			X		
	P157			X		
	P113	X				
	P114	X				
	P115	X				
	P116	X				
	P136	X				
	P137	X				
	P138	X				
	P139	X				
	P140	X				
	P141	X				

Biforco:

- n. 1 indagine di sismica attiva congiunta MASW-ESAC;
- n. 1 prospezione geofisica con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Biforco	L17				X	
	P159			X		
	P121	X				

Compito:

- n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 4 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Compito	L19		X			
	P104	X				
	P105	X				
	P106	X				
	P107	X				

Corezzo:

- n. 6 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Corezzo	P130	X				
	P131	X				
	P132	X				
	P133	X				
	P134	X				
	P135	X				

Corsalone:

- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 12 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Corsalone	P154					X
	P142	X				
	P143	X				
	P144	X				
	P145	X				
	P146	X				
	P147	X				
	P148	X				
	P149	X				
	P150	X				

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
	P151	X				
	P152	X				
	P153	X				

Dama:

- n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremitori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Dama	L20		X			
	P108	X				
	P109	X				
	P110	X				
	P111	X				
	P112	X				

Frassineta:

- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremitori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Frassineta	P27	X				
	P28	X				
	P29	X				

Rimbocchi:

- n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 1 indagine di sismica attiva congiunta MASW-ESAC;
- n. 4 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremitori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Rimbocchi	L18		X			
	L14				X	
	P156			X		
	P17	X				
	P18	X				
	P19	X				
	P20	X				

Val della Meta:

- n. 1 prova Masw;

- n. 7 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Val della Meta	L21				X	
	P102	X				
	P103	X				
	P122	X				
	P123	X				
	P124	X				
	P125	X				
	P126	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.

Chiusi della Verna Capoluogo:

- n. 3 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 12 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Chiusi della Verna Capoluogo	P56					X
	P57					X
	P58					X
	L3		X			
	L4		X			
	P2	X				
	P5	X				
	P3	X				
	P4	X				
	P7	X				
	P8	X				
	P9	X				
	P11	X				
	P12	X				
	P13	X				
	P6	X				
	P10	X				

Biforco:

- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Biforco	L12		X			
	L13		X			
	P15	X				
	P16	X				
	P14	X				

Compito:

- n. 1 prospezione geofisica con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Compito	P17	X				

Corezzo:

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Corezzo	L1		X			
	L2		X			
	P40					X
	P41					X
	P18	X				
	P19	X				
	P20	X				

Corsalone:

- n. 8 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Corsalone	P25	X				X
	P26	X				
	P23	X				
	P24	X				
	P28	X				
	P27	X				
	P21	X				
	P22	X				

Dama:

- n. 2 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Dama	P29	X				
	P30	X				

Frassineta:

- n. 1 prospezione geofisica con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Frassineta	P31	X				

Rimbocchi:

- n. 2 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Rimbocchi	P32	X				
	P33	X				

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 appositamente eseguite per gli studi di livello 2 e 3.

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Chiusi della Verna Capoluogo	P113	2,28		3,49		A1	
	P114	2,59		3,2		A1	
	P115	2,3		3,7		A1	
	P116	>8				A2	
	P136	>8				A2	
	P137	3,07		2,61		A1	
	P138	NP				A2	
	P139	NP				A2	
	P140	3,68		3		A1	
	P141	NP				A2	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Biforco	P121	7,31		2,33		A1	



Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Compito	P104	15,39		5,45		A1	
	P105	6,04		2,43		A1	
	P106	NP				A2	
	P107	6,07		2,58		A1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Corezzo	P130	>8				A2	
	P131	NP				A2	
	P132	>8				A2	
	P133	>8				A2	
	P134	>8				A2	
	P135	>8				A2	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Corsalone	P142	>8				A2	
	P143	>8				A2	
	P144	>8				A2	
	P145	8,36		4,61		A1	
	P146	>8				A2	
	P147	>8				A2	
	P148	>8				A2	
	P149	>8		3,07		A1	
	P150	>8				A2	
	P151	4,39		2,34		A1	
	P152	>8				A2	
	P153	7,99		3,14		A1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Dama	P108	>8				A2	
	P109	8,99		3,23		A1	
	P110	>8				A2	
	P111	>8				A2	
	P112	>8				A2	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Frassineta	P27	>8				A2	
	P28	>8				A2	
	P29	NP				A2	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Rimbocchi	P17	6,48		3,14		A1	
	P18	10,06		2,23		A1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
	P19	5,14		2,21		A1	
	P20	6,82		3,02		A1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Val della Meta	P102	>8				A2	
	P103	NP				A2	
	P122	>8				A2	
	P123	>8				A2	
	P124	8,1		2,53		A1	
	P125	NP				A2	
	P126	NP				A2	

Mentre 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	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Chiusi della Verna Capoluogo	P2	-				C	
	P5	18	3,8	2,8	1,8	A1	A1
	P3	1,9		3,5		B1	
	P4	11		3,8		B1	
	P7	2,9		3,2		A1	
	P8	4,38		2,2		B2	
	P9	-				C	
	P11	19,9		2,8		A1	
	P12	1,5		2,5		B1	
	P13	2		3,1		A1	
	P6	NP				B2	
	P10	-				C	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Biforco	P15	9,8		2,7		A1	
	P16	5,97		2,5		B1	
	P14	7,81		2,5		B2	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Compito	P17	6,5		3,3		B1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Corezzo	P18	6	2	2,2	1,8	B1	B1
	P19	9,4	2	3	2,1	B1	B1
	P20	10,81	2,3	3,5	2,1	B1	B1

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Corsalone	P25	7,7	2,4	6,5	2,2	A1	A1
	P26	8,1		7,1		A1	
	P23	15,5		5		B1	
	P24	NP				B2	
	P28	10		5		B1	
	P27	13,3		6,5		A1	
	P21	10,8		6		B1	
	P22	10,47		3		B1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Dama	P30	NP				A2	
	P29	7,1		3,5		B1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Frassineta	P31	NP				A2	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Rimbocchi	P32	6,8	1,4	4,3	2	A1	A1
	P33	8,8		2		B1	

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (cfr. relazioni sulle indagini geofisiche 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 (Albarello 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 accorpatisi 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) e Formazione di San Marino - Membro massiccio (SMN1).

#### **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), le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3), le Marne di Vicchio - Litofacies marnoso-calcareo (VIC2) e le Marne di Vicchio - Litofacies marnoso-arenitica (VIC3), la Formazione di Monte Fumaiolo (MFU), la Formazione di San Marino - Membro stratificato (SMN2), la Formazione Marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore (FMA3) e la Formazione Marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore – litofacies arenacea di Campigna (FMA3a).

- **Unità litologico-tecnica B5:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo < 75%. Ne fanno parte le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto – litofacies argillitica (FAL3a), le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano (FAL4), le Arenarie del Falterona - Membro di Fosso delle Valli (FAL5), la Formazione di Sillano (SIL), le Breccie Poligeniche del Sasso Simone (BAP), le Marne Varicolori di Villore (MVV), le Marne varicolori di Villore - Marne grigie (MVVa) e le Marne varicolori di Villore - Alternanza di argilliti (MVVb).

- **Unità litologico-tecnica Bc:** alternanze disordinate di livelli lapidei e pelitici. Ne fa parte la litofacies olistostromica delle Arenarie del Monte Falterona (FALa).

#### **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 breccie 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), i depositi alluvionali inattivi (bi) e i depositi alluvionali terrazzati (bnb).

I depositi antropici (h), data la loro eterogeneità granulometrica non sono stati attribuiti a una specifica Unità litologico 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 situ mediante indagini geognostiche, prove geotecniche in situ 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 situ 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 Chiusi della Verna 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 Chiusi della Verna 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 Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta) o Livello 3 (per gli abitati di Chiusi della Verna e Corsalone).**

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-technica 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 "Fattore di Amplificazione") 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:

a) 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);

b) 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 Chiusi della Verna 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										
	f <sub>0</sub> (Hz)	f <sub>0</sub> (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8
f <sub>0</sub> (m) pPA	<200		1.3	1.9	2.2	2.2	2.0	1.9	1.8	1.5
	300		1.3	1.9	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5
	500		1.3	1.7	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4
	700					1.3	1.4	1.5	1.6	1.3
	≥800									1.2
75° perc.										
										1.8
										1.9
										1.6
										1.4
										1.2

FA $0.4 < T < 0.8$ s										
	f <sub>0</sub> (Hz)	f <sub>0</sub> (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8
f <sub>0</sub> (m) pPA	<200		2.1	2.3	2.0	1.4	1.2	1.2	1.2	1.0
	300		2.2	2.2	1.8	1.4	1.2	1.2	1.2	1.1
	500		2.0	1.9	1.6	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
	700					1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
	≥800									1.0
75° perc.										
										1.8
										1.9
										1.3
										1.1
										1.1

FA $0.7 < T < 1.1$ s										
	f <sub>0</sub> (Hz)	f <sub>0</sub> (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8
f <sub>0</sub> (m) pPA	<200		2.2	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0
	300		2.2	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
	500		2.0	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
	700					1.1	1.1	1.1	1.0	1.0
	≥800									1.0
75° perc.										
										1.4
										1.3
										1.1
										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											
		f <sub>0</sub> (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
[g/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											
		f <sub>0</sub> (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
[g/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											
		f <sub>0</sub> (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
[g/m] pSA	<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				1.2	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											
		f <sub>0</sub> (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
[g/m] pSA	<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											
		f <sub>0</sub> (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
[g/m] pSA	<200	1.1	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											
		f <sub>0</sub> (Hz)									
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
[g/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											
		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
V (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
	≥800	1.1	1.2		1.5	1.3	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	
V (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
	≥800	1.3	1.5		1.4	1.1	1.1			1.3	1.4

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	
V (m/s)	<200	1.4	2.0								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
	≥800	1.6	2.2		1.1	1.0	1.0			1.2	1.3

## CLASSI

Velocità (m/s)	Vs < 200	
	300	200 ≤ Vs < 400
	500	400 ≤ Vs < 600
	700	600 ≤ Vs < 800
	Vs ≥ 800	

frequenza (Hz)	f0 < 1	
	1.5	1 ≤ f0 < 2
	2.5	2 ≤ f0 < 3
	3.5	3 ≤ f0 < 4
	4.5	4 ≤ f0 < 5
	5.5	5 ≤ f0 < 6
	6.5	6 ≤ f0 < 7
	7.5	7 ≤ f0 < 8
	≥ 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

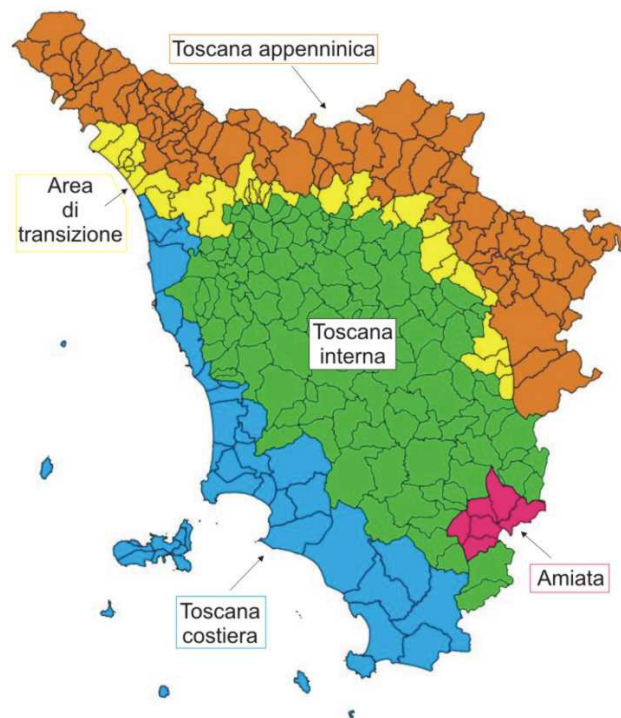
1. Caratterizzazione statistica della distribuzione di valori FA per singole tipologie litografiche e gruppi di accelerogrammi
2. Identificazione dei parametri sperimentali che caratterizzano le varie situazioni lito-stratigrafiche

- 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 FHa, 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 FHa: 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 FHa (0,1-0,5s), FHa (0,4-0,8s) e di FHa (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 FHa 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 (Tavole G.01 e G.05) 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 (Tavole G.03 e G.07) 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 Chiusi della Verna è riportata nel presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.


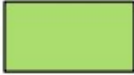




### **8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA**

La carta geologico tecnica è stata redatta in scala 1:5.000 (Tavole G.02 e G.06) 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.







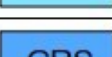
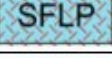






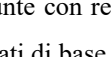
Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, 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 Geologico 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 GPes:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali attivi (b).
- **Unità geologico-tecnica GMes:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali inattivi più recenti (b3).
- **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 SWec:** si tratta di terreni costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di ambiente genetico di versante (eluvi/colluvi). A questi corrispondono i depositi eluvio-colluviali (d).
- **Unità geologico-tecnica SMtf:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di fluvio lacustre (terrazzo fluviale). A questi corrispondono i depositi alluvionali terrazzati pleistocenici (bnb).
- **Unità geologico-tecnica SMes:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali inattivi più antichi (b1 e b2).

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 LP:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee. E' riconducibile a tale unità la formazione geologica delle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montefalco (FAL1) e Formazione di San Marino - Membro massiccio (SMN1).
- **Unità geologico-tecnica LPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL), alle Arenarie del

Monte Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2), alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3), le Marne di Vicchio - Litofacies marnoso-calcareo (VIC2), alle Marne di Vicchio - Litofacies marnoso-arenitica (VIC3), alla Formazione di Monte Fumaiolo (MFU), alla Formazione di San Marino - Membro stratificato (SMN2), alla Formazione Marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore (FMA3) e alla Formazione Marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore – litofacies arenacea di Campigna (FMA3a).

- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litologie stratificate. Ne fanno parte le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto – litofacies argillitica (FAL3a), le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano (FAL4), le Arenarie del Falterona - Membro di Fosso delle Valli (FAL5), la Formazione di Sillano (SIL), le Breccie Poligeniche del Sasso Simone (BAP), le Marne Varicolori di Villore (MVV), le Marne varicolori di Villore - Marne grigie (MVVa) e le Marne varicolori di Villore - Alternanza di argilliti (MVVb).

- **Unità geologico-tecnica SFLP:** corrisponde al substrato geologico lapideo fratturato / alterato. A questa unità sono riferibili le litologie intensamente fratturate / alterate appartenenti alla Formazione di San Marino - Membro massiccio (SMN1).

- **Unità geologico-tecnica SFALS:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litologie, stratificato fratturato / alterato. A questa unità sono riferibili le litologie intensamente fratturate / alterate appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL).

- **Unità geologico-tecnica SFAL:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litotipi, fratturato e/o alterato. A questa unità sono riferibili i depositi appartenenti ai depositi olistostromici delle Arenarie del M. Falterona (FALa).

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	GPes
bi	Depositi alluvionali inattivi (più recenti)	E3	GMes
bi	Depositi alluvionali inattivi (più antichi)	E3	SMes
bnb	Depositi alluvionali terrazzati pleistocenici	E3	SMtf
d	Depositi eluvio-colluviali	E3	SWec
FAL1	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montefalco	A	LP
SMN1	Formazione di San Marino - Membro massiccio	A	LP SFLP (se fratturato /

			alterato)
MLL	Formazione di Monte Morello	B4	LPS
FAL2	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli	B4	LPS
FAL3	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto	B4	LPS
MFU	Formazione di Monte Fumaiolo	B4	LPS
SMN2	Formazione di San Marino - Membro stratificato	B4	LPS
FMA3	Formazione Marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore	B4	LPS
FMA3a	Formazione Marnoso-arenacea - Membro di Premilcuore – litofacies arenacea di Campigna	B4	LPS
FAL3a	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto – litofacies argillitica	B5	ALS
FAL4	Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano	B5	ALS
FAL5	Arenarie del Falterona - Membro di Fosso delle Valli	B5	ALS
SIL	Formazione di Sillano	B5	ALS SFALS (se fratturato / alterato)
BAP	Brecce Poligeniche del Sasso Simone	B5	ALS SFALS (se fratturato / alterato)
MVV	Marne Varicolori di Villore	B5	ALS
MVVa	Marne varicolori di Villore - Marne grigie	B5	ALS
MVVb	Marne varicolori di Villore – Alternanza di argilliti	B5	ALS
VIC2	Marne di Vicchio - litofacies marnoso-calcareo	B4	LPS
VIC3	Marne di Vicchio - litofacies marnoso-arenitica	B4	LPS
FALa	Arenarie del Monte Falterona – litofacies olistostromica	Bc	SFAL

A corredo della carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 (Tavole G.02 e G.06) sono state realizzate alcune sezioni geologico-tecniche (Tavole G.13 e G.14 in scala 1:2.000) rappresentative del modello geologico del sottosuolo.

Sudette sezioni geologico-tecniche sono state editate ex-novo rispetto a quelle sviluppate e presentate nello studio di Livello 1 al fine di renderle del tutto compatibili con gli standard previsti dai criteri ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e di svilupparle in una nuova ubicazione, in accordo con la Struttura Regionale deputata alla Prevenzione Sismica (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), al fine di renderle sia maggiormente rappresentative del peculiare contesto geologico-stratigrafico, geomorfologico e sismostratigrafico del territorio

che peculiari per gli approfondimenti e le analisi di tipo quantitativo richiesti dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e, in particolare, 3.

Tali sezioni sono state, inoltre, 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 clivometriche 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 pianeeggiante 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  $F_t$ , 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.

<b>Parametro</b>	<b>Descrizione</b>
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.

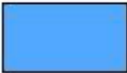










L'inserimento dei valori di FA0105, FA0408 e FA0711, per garantire omogeneità di rappresentazione nel database a livello nazionale, è invece obbligatorio per il Livello 3.

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.


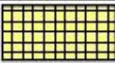

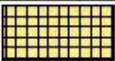





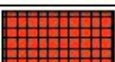










<b>Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1,0).<sup>12</sup></b>	
	1.0
<b>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione).<sup>13</sup></b>	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

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


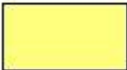









Zone di attenzione per instabilità		
Z <sub>ARI</sub>	Z <sub>ALI</sub>	PARAMETRO DI AMPLIFICAZIONE
		1.1 – 1.2
		1.3 – 1.4
		1.5 – 1.6
		1.7 – 1.8
		1.9 – 2.0
		2.1 – 2.2
		2.3 – 2.4
		2.5 – 3.0
		3.1 – 3.5
		>3.5

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>lq</sub> Zona di Suscettibilità per Liquefazione
	ZR <sub>lq</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
	Z <sub>AcD</sub> - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole *
	Z <sub>AdD</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 Tavole G.04 e G.08 in scala 1:5.000).

#### Zone stabili

ID	Descrizione Zona
1011	Substrato lapideo stratificato (LPS), in assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza (di seguito “i”) < 15° e basso contrasto di impedenza sismica (di seguito “c.i.”). Talora presenza di riporti.
1041	<p>a) Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m), i &lt; 15°. Basso c.i. Talora presenza di riporti.</p> <p>b) Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &lt; 15°. Basso c.i..</p>

#### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

ID	Descrizione Zona
2001	Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.
2002	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), dello spessore compreso tra 5,0 e 50,0 m, poggiante su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Possibile alto c.i..
2003	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.
2004	Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.
2005	Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Possibile alto c.i..
2006	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..
2007	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i < 15°. Possibile alto c.i..
2008	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..
2009	Copertura di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Basso c.i.



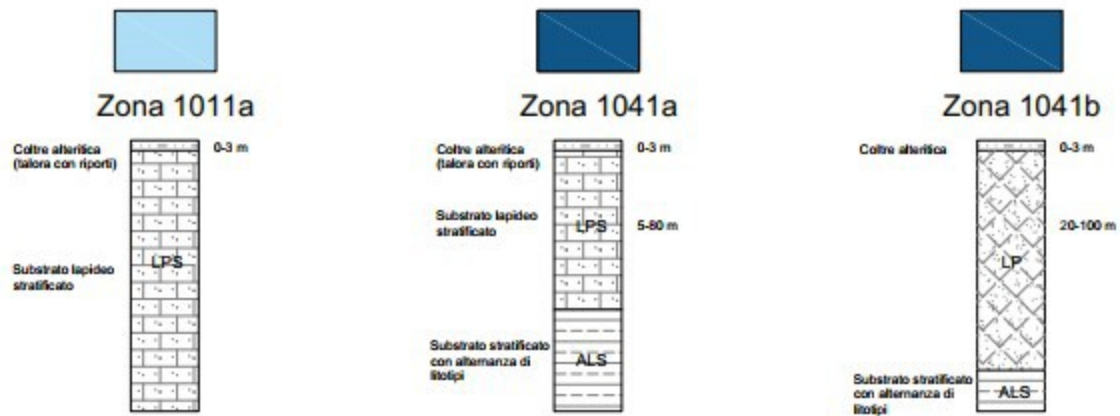
<b>2010</b>	Copertura alluvionale pleistocenica di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 10,0 e 30,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..
<b>2011</b>	Copertura eluvio-colluviale di natura sabbioso ghiaiosa (SW) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Talora presenza di riporti.
<b>2012</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
<b>2013</b>	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
<b>2014</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..
<b>2015</b>	Copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
<b>2016</b>	Copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..
<b>2017</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), dello spessore compreso tra 5,0 e 50,0 m, poggiante su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..
<b>2018</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Basso c.i..
<b>2019</b>	Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i..
<b>2099</b>	<p>a) Substrato lapideo fratturato / alterato (SFLP) dello spessore compreso tra 10,0 e 80,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), talora con l'interposizione di Substrato lapideo. Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>b) Substrato con alternanza di litotipi fratturato / alterato (SFAL) con copertura alteritica &lt; 3,0 m e i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>c) Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>d) Substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>e) Substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p>

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

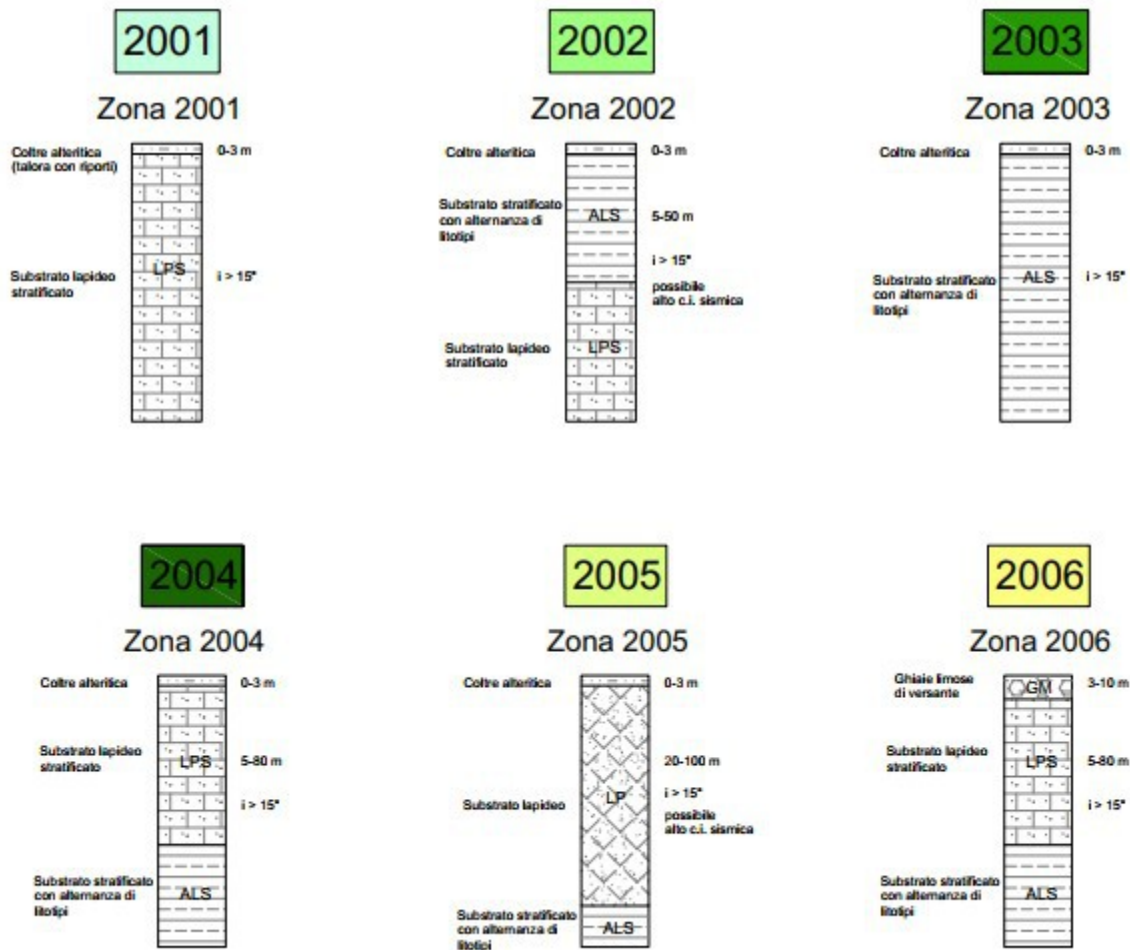
<b>ID</b>	<b>Descrizione Zona</b>
<b>ZAFR1....n</b>	Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).
<b>ZACD</b>	Cedimenti differenziali / crollo di cavità sotterranee / sinkhole.
<b>ZAIID</b>	Sovrapposizione di instabilità differenti.

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

## ZONE STABILI

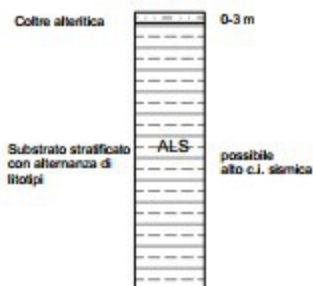


## ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



2007

Zona 2007



2008

Zona 2008



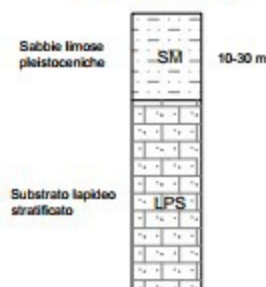
2009

Zona 2009



2010

Zona 2010



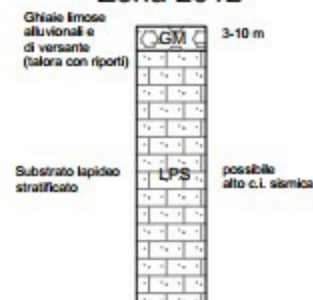
2011

Zona 2011



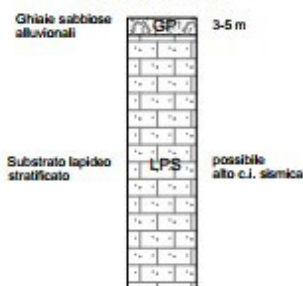
2012

Zona 2012



2013

Zona 2013



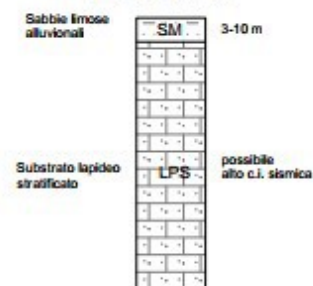
2014

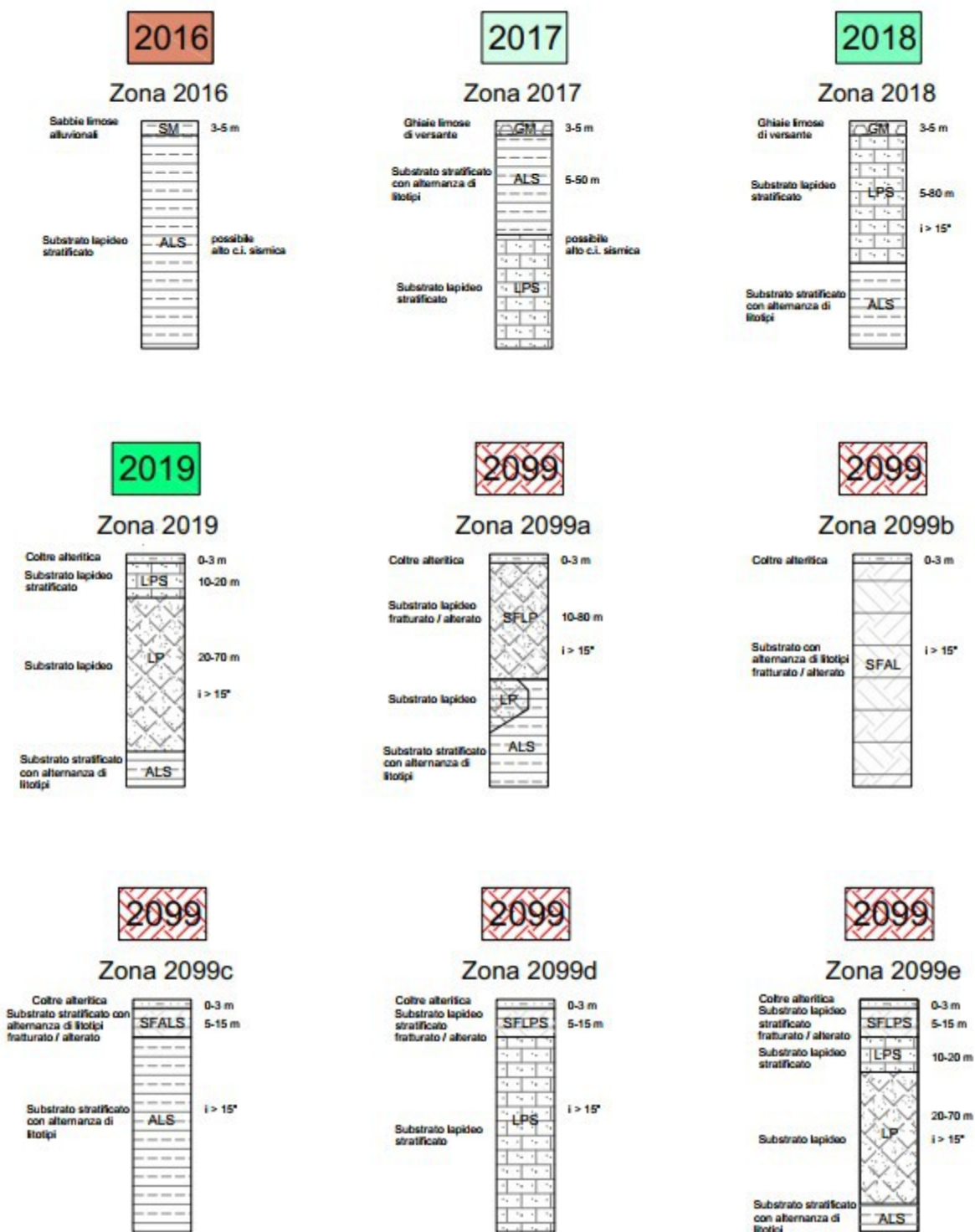
Zona 2014



2015

Zona 2015





## ELABORAZIONI DI LIVELLO 2

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2, eseguiti nel territorio comunale di Chiusi della Verna per gli areali di Rimbocchi, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi e Val della Meta, 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 sono state elaborate tre rappresentazioni cartografiche per ognuna delle zone studiate:

- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0.5s,
- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.4 e 0.8s;
- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.7 e 1.1s.

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  $A_g$  (475 anni): è stata utilizzata la griglia dei valori indicati dall'INGV. I settori del Comune di Chiusi della Verna interessati dagli studi di Livello 2 (Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi e Val della Meta) ricadono totalmente in  **$A_g > 0,15g$** .
- 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  $V_{s30}$  o  $V_s$  equivalenti e di  $f_0$ .

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.

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 evidenziano in tutte le Finestre di Amplificazione calcolate (Fh0.1-0.5, Fh0.4-0.8 e Fh0.7-1.1) delle particolarità dovute alla peculiarità del contesto geologico.

In particolare:

Per l'Intervallo 0.1-0.5s, con  $A_g > 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30 m$  le zone Mops 2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2012 (Compito, Dama, Frassineta), 2014, 2016, 2018 e 2099 mostrano valori di amplificazione ricadenti

nell'intervallo 1,3–1,4, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde  $V_{sh}$  e i seguenti valori medi di frequenza:  $V_{sEq} = 300$  e  $500$  m/s con  $f_0 > 8$  Hz.

Le zone Mops 2011, 2012 (Rimbocchi), 2013 e 2015 presentano, invece, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7–1,8, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde  $V_{sH}$  e i seguenti valori medi di frequenza:  $V_{sEq} = 300$  m/s con  $f_0 = 6,5$  Hz.

Per l'Intervallo 0.4-0.8s, con  $A_g > 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 e 2099 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,7–1,8, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde  $V_{sH}$  e i seguenti valori medi di frequenza:  $V_{sEq} = 300$  e  $500$  m/s con  $f_0 = 6,5$  Hz e  $> 8$  Hz.

Per l'Intervallo 0.7-1.1s, con  $A_g > 0.15g$  e profondità del substrato  $< 30$  m le zone Mops 2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2018 e 2099 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,7–1,8, considerando nell'abaco di riferimento le seguenti velocità delle onde  $V_{sH}$  e i seguenti valori medi di frequenza:  $V_{sEq} = 300$  e  $500$  m/s con  $f_0 = 6,5$  Hz e  $> 8$  Hz.

### Zone Stabili



$F_a = 1$

### Zone Stabili suscettibili di amplificazione



$F_a = 1.4$



$F_a = 1.7$

*Legenda delle carte di Microzonazione Sismica*

Inoltre sono state valutate 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, le zone con la possibilità di **cedimenti differenziali** e le zone con **sovrapposizione di instabilità differenti**, quali ad esempio la sovrapposizione di aree con possibilità di cedimenti in corrispondenza di instabilità di versante.

Sulla scorta delle verifiche alla **liquefazione** eseguite si ritiene ipotizzabile la non presenza di zone instabili per la possibilità di fenomeni di liquefazione.

Si riportano di seguito le Microzone Sismiche individuate nei settori interessati dallo studio di Secondo Livello e la loro descrizione (come presentate nelle Tavole G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000).

### Zone stabili

ID	Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona
1011	Substrato lapideo stratificato (LPS), in assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza (di seguito "i") $< 15^\circ$ e basso contrasto di impedenza sismica (di seguito "c.i."). Talora presenza di riporti. <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>A_g &gt; 0,15g</math></b> FA 0,1-0,5      1,0 FA 0,4-0,8      1,0 FA 0,7-1,1      1,0

- 1041**      **a)** Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m),  $i < 15^\circ$ . Basso c.i. Talora presenza di riporti.  
**b)** Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i < 15^\circ$ . Basso c.i..  
*Profondità substrato  $< 30,0$  m;  $Ag > 0,15g$*   
FA 0,1-0,5      1,0  
FA 0,4-0,8      1,0  
FA 0,7-1,1      1,0

### **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

- | <b>ID</b>   | <b>Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona</b>   |
|-------------|---|
| <b>2001</b> | Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica $< 3,0$ m, $i > 15^\circ$ . Basso c.i.<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,4<br>FA 0,4-0,8      1,1<br>FA 0,7-1,1      1,1  |
| <b>2002</b> | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), dello spessore compreso tra 5,0 e 50,0 m, poggiante su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica $< 3,0$ m, $i > 15^\circ$ . Possibile alto c.i..<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,4<br>FA 0,4-0,8      1,1<br>FA 0,7-1,1      1,1                                   |
| <b>2003</b> | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica $< 3,0$ m, $i > 15^\circ$ . Basso c.i..<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,4<br>FA 0,4-0,8      1,1<br>FA 0,7-1,1      1,1   |
| <b>2004</b> | Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica $< 3,0$ m, $i > 15^\circ$ . Basso c.i..<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,4<br>FA 0,4-0,8      1,1<br>FA 0,7-1,1      1,1  |
| <b>2008</b> | Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,4<br>FA 0,4-0,8      1,1<br>FA 0,7-1,1      1,1  |
| <b>2011</b> | Copertura eluvio-colluviale di natura sabbioso ghiaiosa (SW) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Talora presenza di riporti.<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,7<br>FA 0,4-0,8      1,2<br>FA 0,7-1,1      1,1  |
| <b>2012</b> | Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..<br><i>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></i><br>FA 0,1-0,5      1,4 (Frassineta, Compito, Dama)<br>1,7 (Rimbocchi)<br>FA 0,4-0,8      1,1 (Frassineta, Compito, Dama)<br>1,2 (Rimbocchi)<br>FA 0,7-1,1      1,1 |



<b>2013</b>	<p>Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..</p> <p><b>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &gt; 0,15g</b></p> <p>FA 0,1-0,5      1,7</p> <p>FA 0,4-0,8      1,2</p> <p>FA 0,7-1,1      1,1</p>
<b>2014</b>	<p>Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..</p> <p><b>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &gt; 0,15g</b></p> <p>FA 0,1-0,5      1,4</p> <p>FA 0,4-0,8      1,1</p> <p>FA 0,7-1,1      1,1</p>
<b>2015</b>	<p>Copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i..</p> <p><b>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &gt; 0,15g</b></p> <p>FA 0,1-0,5      1,7</p> <p>FA 0,4-0,8      1,2</p> <p>FA 0,7-1,1      1,1</p>
<b>2016</b>	<p>Copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i..</p> <p><b>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &gt; 0,15g</b></p> <p>FA 0,1-0,5      1,4</p> <p>FA 0,4-0,8      1,1</p> <p>FA 0,7-1,1      1,1</p>
<b>2018</b>	<p>Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggianti su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Basso c.i..</p> <p><b>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &gt; 0,15g</b></p> <p>FA 0,1-0,5      1,4</p> <p>FA 0,4-0,8      1,1</p> <p>FA 0,7-1,1      1,1</p>
<b>2099</b>	<p>a) Substrato lapideo fratturato / alterato (SFLP) dello spessore compreso tra 10,0 e 80,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), talora con l'interposizione di Substrato lapideo. Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>b) Substrato con alternanza di litotipi fratturato / alterato (SFAL) con copertura alteritica &lt; 3,0 m e i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>c) Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>d) Substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>e) Substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggianti su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p><b>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &gt; 0,15g</b></p> <p>FA 0,1-0,5      1,4</p> <p>FA 0,4-0,8      1,1</p> <p>FA 0,7-1,1      1,1</p>

#### **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).
<b>ZACD</b>	Cedimenti differenziali / crollo di cavità sotterranee / sinkhole.
<b>ZAIID</b>	Sovrapposizione di instabilità differenti.



Nelle zone di attenzione per le instabilità i fattori di amplificazione attribuiti sono i medesimi dei fattori di amplificazione assegnati alle sottostanti zone stabili suscettibili di amplificazione locale.

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  $A_g$  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  $F_0$ ) e delle indagini lineari (valore di  $V_s$ ) eseguiti, nonché il valore dei fattori di amplificazione nel periodo 0,1-0,5s analizzato.

Relativamente alle Zone prive di specifiche indagini sismiche di tipo Hvsr o lineari i fattori di amplificazione 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  $A_g$  di riferimento.

VAL DELLA META – 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)
2003	P102-P103-P134-P125-P126	L14	<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1
2004	no indagini puntuali e lineari		<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1

COMPITO – 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	P17-P104-P105-106	L19	<30m	500	>8	1.4	1.1	01.01.00
2012	no indagini puntuali e lineari		<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1

DAMA – 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	P108-P109	no indagini lineari	<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1
2012	P29-P30	no indagini lineari	<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1

COREZZO – 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	P18-P130-P131	L1	<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1
2002	P19-P20-P132-	L1	<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1
2004	P133-P134	no indagini lineari	<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1
2018	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1

FRASSINETA – 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	P31-P127-P128-P129	no indagini lineari	<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1
2012	no indagini puntuali e lineari		<30m	500	>8	1.4	1.1	1.1
2099	no indagini puntuali e lineari		<30m	500	<1	1.4	1.1	1.1

RIMBOCCHI – 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	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1
2003	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1
2008	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	>8	1.4	1.1	01.01.00
2011	P33	no indagini lineari	<30m	300	6.5	1.7	1.2	1.1
2012	P120	no indagini lineari	<30m	300	6.5	1.7	1.2	1.1
2013	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	6.5	1.7	1.2	1.1
2014	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1
2015	P32-P117	L19	<30m	300	6.5	1.7	1.2	1.1
2016	no indagini puntuali e lineari		<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1

BIFORCO – 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	P14-P15-P16	L12-L13	<30m	300	>8	1.4	1.1	1.1

### ELABORAZIONI DI LIVELLO 3

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 del territorio comunale di Chiusi della Verna (areali del Capoluogo e di Corsalone), 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 nella Tavola G.09 in scala 1:5.000).

### **Zone stabili**

<b>ID</b>	<b>Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona</b>
<b>1011</b>	Substrato lapideo stratificato (LPS), in assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza (di seguito "i") < 15° e basso contrasto di impedenza sismica (di seguito "c.i."). Talora presenza di riporti. FA 0,1-0,5      1,04
<b>1041</b>	<b>a)</b> Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m), i < 15°. Basso c.i. Talora presenza di riporti. <b>b)</b> Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i < 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5      0,88 – 0,89 – 0,91

### **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

<b>ID</b>	<b>Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona</b>
<b>2001</b>	Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,06 - 1,16
<b>2003</b>	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,07 – 1,11
<b>2004</b>	Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,06 - 1,09 – 1,12
<b>2005</b>	Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5      1,09 – 1,12
<b>2006</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5      1,11
<b>2007</b>	Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i < 15°. Possibile alto c.i.. FA 0,1-0,5      1,06
<b>2009</b>	Copertura di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,06
<b>2010</b>	Copertura alluvionale pleistocenica di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 10,0 e 30,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i.. FA 0,1-0,5      1,13
<b>2011</b>	Copertura eluvio-colluviale di natura sabbioso ghiaiosa (SW) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Talora presenza di riporti. FA 0,1-0,5      1,3

<b>2012</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i. FA 0,1-0,5 1,53
<b>2013</b>	Copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i. FA 0,1-0,5 1,31
<b>2014</b>	Copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i. FA 0,1-0,5 1,06
<b>2015</b>	Copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i. FA 0,1-0,5 1,12 – 1,13
<b>2019</b>	Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m, i > 15°. Basso c.i. FA 0,1-0,5 1,09
<b>(2099)</b>	<p>a) Substrato lapideo fratturato / alterato (SFLP) dello spessore compreso tra 10,0 e 80,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), talora con l'interposizione di Substrato lapideo. Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>b) Substrato con alternanza di litotipi fratturato / alterato (SFAL) con copertura alteritica &lt; 3,0 m e i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>c) Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>d) Substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>e) Substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica &lt; 3,0 m, i &gt; 15°. Basso c.i..</p> <p>FA 0,1-0,5 1,18</p>

## Zone Stabili



## Zone Stabili suscettibili di amplificazione



Fa = 1.4



Fa = 1.7

### Zone di attenzione per le instabilità'

ID	Descrizione Zona
<b>ZSFR1....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>(30132001)</b>	FA 0,1-0,5 1,22 (ZSFR)
<b>(30222001)</b>	FA 0,1-0,5 1,12 – 1,22 – 1,33 – 1,59 (ZSFR)
<b>(30232001)</b>	FA 0,1-0,5 1,59 (ZSFR)
<b>(30222003)</b>	FA 0,1-0,5 1,12 – 1,57 (ZSFR)
<b>(30232003)</b>	FA 0,1-0,5 1,11 (ZSFR)
<b>(30222004)</b>	FA 0,1-0,5 1,12 – 1,57 (ZSFR)
<b>(30232003)</b>	FA 0,1-0,5 1,11 (ZSFR)
<b>(30112005)</b>	FA 0,1-0,5 1,18 (ZSFR)
<b>(30222006)</b>	FA 0,1-0,5 1,57 (ZSFR)

(30232007)	FA 0,1-0,5	1,16 - 1,18 – 1,58 – 1,81 (ZSFR)
(30222010)	FA 0,1-0,5	1,33 (ZSFR)
(30132012)	FA 0,1-0,5	1,22 (ZSFR)
(30222012)	FA 0,1-0,5	1,22 (ZSFR)
(30222015)	FA 0,1-0,5	1,59 (ZSFR)
(30112099)	FA 0,1-0,5	1,16 (ZSFR)
(30222099)	FA 0,1-0,5	1,16 - 1,85 (ZSFR)
(30232099)	FA 0,1-0,5	1,45 (ZSFR)

**ZACD** Cedimenti differenziali / crollo di cavità sotterranee / sinkhole.  
FA 0,1-0,5 1,16 (Chiusi della Verna)  
1,22 – 1,33 – 1,59 (Corsalone)

**ZAID** Sovrapposizione di instabilità differenti.  
FA 0,1-0,5 1,11 - 1,12 – 1,16 – 1,18 – 1,57 (Chiusi della Verna)  
1,22 – 1,33 – 1,59 (Corsalone)

### Zone suscettibili di instabilità



Zona di suscettibilità per frane in terra o crollo 1,1- 1,2



Zona di suscettibilità per frane in terra o crollo 1,3- 1,4



Zona di suscettibilità per frane in terra o crollo 1,5- 1,6



Zona di suscettibilità per frane in terra o crollo 1,7 - 1,8



Zona di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti



Zona di attenzione per cedimenti differenziali

## 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.

### CHIUDI DELLA VERNA – Capoluogo

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.09 in scala 1:5.000 e G.13 in scala 1:2.000)

#### *Inquadramento geologico e geomorfologico*

L'area del capoluogo di Chiusi della Verna, del Santuario e della sottostante frazione La Beccia presenta, dal punto di vista geologico regionale, una notevole complessità ricadendo in una fascia di transizione tra due serie sedimentarie autoctone ben individuate e contigue che sono la serie Toscana e la Serie Umbro-Marchigiano-Romagnola, separate dalle formazioni dei Complessi Tosco-Emiliani.

Tali complessi giacciono al di sopra delle due serie anzidette come lembi isolati, in successione parziale, senza legami sedimentari generali, sovrapposti od inclusi in una massa argillosa prevalente, riconducibile alla Formazione di Sillano.

I terreni affioranti nell'area del Capoluogo, del Santuario della Verna e della frazione La Beccia appartengono alle due unità strutturali di seguito dettagliate:

- Unità Ligure – Dominio Ligure Esterno: costituite da terreni flyschiodi e complessi argillosi e rappresentate in larga parte dalla Formazione di Sillano e dalla Formazione di Monte Morello;
- Unità Epiligure, costituente la placca della Verna: rappresentate da sedimenti biogenetici e terrigeni del Miocene medio.

Il rilievo della Verna, che raggiunge i 1.282 m al M. Penna, è costituito da grandi e spesse bancate calcarenitiche, (Formazione di Monte Fumaiolo e Formazione di San Marino) giacenti o parzialmente immerse in terreni eterogenei prevalentemente argillitici. Queste bancate, che si estendono per circa 4 kmq delimitando il margine orientale della frazione di Chiusi della Verna dall'area del Santuario fino alla propaggine meridionale del capoluogo, mostrano assetto monoclinale con immersione verso sud.

Il Santuario è posto su un rilievo costituito da una placca calcarenitica poggianti su una formazione argillosa. La zona è interessata da fenomeni di dissesto classificabili come espandimenti laterali riconducibili a meccanismi legati a deformazioni gravitative profonde. Al bordo della placca le argilliti sono ricoperte da coltri di detrito di falda e detrito di versante.

La rupe, presentando una buona permeabilità per fratturazione delle rocce che la compongono, è sede di una falda di base drenata da diverse sorgenti. L'acquifero mostra linee preferenziali di drenaggio in direzione meridionale, mentre nella fascia perimetrale di piede della rupe è interessato da afflussi relativi a scorrimenti secondari legati alla locale morfologia del contatto calcarenite-argillite.

In base ai dati in nostro possesso, derivanti dai periodici controlli effettuati sulla rete di monitoraggio installata, le acque sotterranee manifestano un comportamento idrogeologico tipico di un ammasso caratterizzato da estesi ed ampi sistemi fessurativi che consentono sia un loro immediato accumulo idrico, che un veloce svuotamento.

Le strutture del complesso monumentale del Santuario presentano sintomi di compromissione, così come numerosi edifici del borgo della Beccia posto sotto la rupe del Santuario.

Sopra i descritti sedimenti mesozoici e cenozoici si rinvengono depositi recenti: coltri detritiche ed accumuli di frana quiescenti ed inattive che assumono importanza fondamentale sia per sviluppo areale (la maggior parte dell'abitato del capoluogo e la frazione La Beccia si trovano su corpi di frana quiescente), sia per consistenza e particolarità del fenomeno (l'area del Santuario e la frazione La Beccia sono interessate da fenomeni di dissesto classificabili come espandimenti laterali riconducibili a meccanismi legati a deformazioni gravitative profonde).

Sono costituiti dalle coltri detritiche ascrivibili a falde di detrito, detriti di versante localizzati, depositi eluvio-colluviali, soliflussi generalizzati, frane per crollo o ribaltamento, frane per scorrimento rotazionale, frane per colamento. Si tratta di materiali incoerenti a granulometria prevalentemente grossolana, in quanto originatisi da processi di degradazione del substrato roccioso o per deformazione della coltre già esistente. I depositi eluvio-colluviali si distinguono dai depositi di versante per la granulometria che in genere è prevalentemente medio-fine.

Il quadro delle coperture è completato da terreni di origine antropica individuati nell'area urbana di Chiusi della Verna il cui spessore risulta  $\leq 2,0$  m. Sono presenti soprattutto nella parte meridionale dell'area di studio.

Le acclività dei versanti risultano generalmente medio-elevate nelle zone di affioramento del substrato roccioso e medio-basse nelle zone occupate dalle coperture detritiche di frana.

Le principali caratteristiche geomorfologiche dell'area esaminata dipendono fortemente dalle condizioni geologiche, caratterizzate da formazioni litologicamente e strutturalmente complesse e da ammassi rocciosi intensamente fratturati. L'area nel suo complesso presenta una elevata instabilità sia nella placca calcarenitica variamente interessata da fratture e trincee di origine gravitativa, che nella formazione argillitica d'appoggio la quale ha subito avanzati processi di argillificazione nei primi metri. Quest'ultima è stata coinvolta in colate di notevoli proporzioni, cinque delle quali, le principali, si distribuiscono quasi a raggiera intorno alla placca lapidea della Verna.

I fenomeni franosi della Verna sono di vaste dimensioni e si estendono dalla base della rupe, su cui sorge il Santuario, fino al fondovalle del T. Rassina, coinvolgendo terreni prevalentemente argillitici.

L'evoluzione morfologica del rilievo sembra essere legata ad una deformazione profonda del tipo degli espandimenti laterali.

Le deformazioni gravitative profonde (D.G.P.V.) sono fenomeni coinvolgenti l'intero sistema crinale - versante - fondovalle. Esse sono assimilabili ai deep-seated movements ed in particolare a quelli di Sackungen (Zischinsky, 1966), depth creep (Ter-Stepanian, 1966), long term deformation (Zaruba e Mencl, 1969), deep seated creep (Nemcok, 1972), gravitational spreading (Radbruch-Hall, 1976), sagging of mountain slopes (Hutchinson, 1988). Nel novero delle deformazioni gravitative profonde (D.G.P.V.) rientrano, pertanto, secondo la corrente accezione della letteratura scientifica (Sorriso-Valvo, 1988), tutti quei fenomeni influenzati dai cosiddetti fattori di scala, che possono essere considerati intermedi tra i fenomeni franosi e quelli di tettonica gravitativa.

Circa il termine "profondo", questo va inteso con l'accezione più ampia, evitando di suggerire dimensioni assolute in verticale, se non comprovate da indagini in situ. Una opportuna distinzione, a tale proposito, è la seguente (Hutchinson, 1995):

- Deep-seated Slide, frana con profondità verticale notevole;
- Slide of Deep Form, frana con un elevato rapporto spessore-lunghezza.

Nell'ambito delle D.G.P.V., la tipologia di dissesto più frequente è quella relativa a placche lapidee a prevalente comportamento fragile sovrapposte ad un substrato a comportamento duttile, deformabile.

Il meccanismo di deformazione gravitativa che interessa la Rupe della Verna è ascrivibile, come già accennato, al cosiddetto "Lateral Spreading", ossia all'espandimento laterale.

Si registrano rigonfiamenti nel substrato argillitico che determinano nel piastrone calcarenitico sovrastante, fratture, giunti verticali aperti e cavità. Si osservano, inoltre, sui blocchi rocciosi suddivisi da discontinuità di natura tettonica gli effetti dei cedimenti differenziali, con il basculamento dei blocchi rocciosi verso l'interno e gli scivolamenti in blocco. Sono anche presenti, specie in prossimità del piazzale della Basilica, evidenti fenomeni di toppling, mentre alla base della rupe calcarenitica sulla quale si erge il Santuario si sviluppano fenomeni gravitativi coinvolgenti il substrato argillitico.

Nel dettaglio, la causa del fenomeno, come più volte esplicitato, consiste nel rifluimento gravitativo delle argilliti di base dovuto sia a fenomeni continui e lenti, quali i creep di versante ed i soliflussi, sia a pulsazioni parossistiche quali le frane per scivolamento, sia alla plasticizzazione del substrato deformabile, a causa del peso della piastra rigida sovrastante, che induce nella stessa fratture di trazione sviluppatesi su tutta l'altezza della formazione rigida, contribuendo a determinare la separazione di detta piastra in blocchi. Poiché i giunti di separazione sono riempiti da acqua e/o da detriti, i movimenti di espandimento laterale incrementano.

La dimensione del fenomeno è rilevante nel settore meridionale del rilievo. Sebbene tutta l'area del Santuario sia interessata da fenomeni di dissesto con evidenze fessurative nelle strutture, risultano particolarmente problematiche le porzioni di ammasso sulle quali si ergono il Piazzale della Basilica, la fascia posta tra questo ed il Sasso Spicco, la fascia che dal Letto di San Francesco porta al Sasso Spicco e alle aree contigue, e tutta l'area che va dalla base della Rupe al perimetro di valle della frazione de La Beccia. Proprio al piede della Rupe, infatti, sono presenti fenomeni gravitativi che si manifestano con rigonfiamenti delle argilliti del substrato e con evidenti fenomeni di colamento e roto-traslativi in direzione de La Beccia.

Gli effetti di tale attività gravitativa si riassumono, in conclusione, nell'"apertura" della placca calcarenitica, cui si associano le più evidenti sintomatologie, quali crolli, ribaltamenti, cedimenti e nella progressiva riduzione del contenimento laterale della placca lapidea che innesca l'apertura "a petali" della rupe stessa secondo piani preesistenti o secondo nuove superfici di fessurazione e la conseguente "deriva" di blocchi, pinnacoli e lastre rocciose.

L'analisi morfologica della rupe su cui sorge il Santuario della Verna ha evidenziato come questa sia caratterizzata da un reticolo di fratture dotate di persistenza ed apertura elevate, che ne determina la suddivisione in blocchi anche di grandi dimensioni. Tali discontinuità, che risultano in genere molto nette e parzialmente riempite di materiale caduto all'interno per gravità o trasportato da parte dell'acqua, in considerazione delle loro caratteristiche geometriche sono riferibili ad una azione meccanica di trazione.

Nel corso degli studi sull'area è stato eseguito un rilievo geostrutturale finalizzato alla definizione del quadro geometrico-fessurativo del settore di rupe che più direttamente interessa l'area del Santuario, con l'intento di localizzare le zone più critiche per la stabilità e di individuare eventuali direzioni di movimento preferenziale dei blocchi.

Il rilievo geostrutturale ha permesso di individuare quattro sistemi di discontinuità che interessano l'ammasso, oltre al layer giaciturale.

Per quanto riguarda le morfologie di erosione, ad ovest di Chiusi si rileva la presenza sia di zone di erosione superficiale (in corrispondenza degli affioramenti della Formazione di Monte Morello), che di aree a ruscellamento diffuso (in corrispondenza dei depositi detritici di versante). Ad est del capoluogo, invece, è presente un'ampia area calanchiva che interessa principalmente gli affioramenti della Formazione di Sillano e in parte quelli della Formazione di Monte Fumaiolo.

Per quanto concerne gli aspetti di criticità legati sia ai caratteri geologico-strutturali che geomorfologici, occorre segnalare che, nel territorio di studio, sono individuabili zone di cresta, alternate tra di loro talora da selle e orli di scarpate di erosione attivi con altezza > 10,0 m. Entrambe le morfologie lineari sono riscontrabili lungo la zona di affioramento della Formazione del Monte Fumaiolo.

### ***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. 26 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 3 strumentati con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche;
- n.1 stratigrafia da terebrazione di pozzo;



- n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante;
- n. 3 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 12 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono inoltre stata effettuate 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 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 2 prove Masw;
- n. 10 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il motivo predominante nella ricostruzione della geologia di sottosuolo dell'area del capoluogo è determinato dalla presenza della "placca" dei depositi della successione epiligure adagiati sui termini argillitico/marnosi della Formazione di Sillano. A loro volta depositi superficiali riconducibili a coltri di materiale di frana, detrito di versante e di falda ricoprono in maniera arealmente diffusa i termini del substrato geologico.

Nel settore settentrionale e nella fascia orientale, immediatamente contermini all'edificato, l'ammasso calcarenitico/arenaceo epiligure, che raggiunge spessori variabili fra 60,0 e 90,0 m circa (accertati nella zona del Santuario), sovrasta e si adagia sulla formazione di Sillano, in prevalenza argillitico/marnosa, definendo un sistema di "colonne litoidi", fra loro disgiunte e separate da fratture beanti, immerse nella sottostante matrice argillitica per profondità fra loro diverse. Nell'area retrostante il Santuario ne risulta una particolare morfologia costituita da ampie zone di frattura, avallate, riempite da materiali di eterogenea pezzatura variabili dai grossi blocchi agli elementi terrigeni anche per spessori decametrici, che si alternano a settori in maggior rilievo coincidenti con la presenza di ammasso litoide meno fratturato.

Il massimo spessore della formazione di Monte Fumaiolo (MFU) è circa 100,0 m. Nell'area presa in esame lo spessore affiorante è di qualche decina di metri ed è osservabile nella porzione orientale dell'area di studio; mentre la Formazione di San Marino raggiunge uno spessore di circa 80,0 m. Quest'ultima si presenta in affioramento principalmente non stratificata o poco stratificata. Tale carattere si ritrova particolarmente in corrispondenza dell'area del Santuario della Verna; invece spostandosi verso sud-est si riscontra un aumento della stratificazione dell'ammasso.

Nella zona sottostante la "rupe del Santuario" nei sottostanti prati che conducono all'abitato de La Beccia si rileva nell'eccipiente argilloso costituente la coltre di frana quiescente la presenza di porzioni di ammasso disarticolate ivi riversatesi o per "toppling" e frana di crollo o per espansione laterale "lateral spreading" della porzione periferica dell'ammasso.

Nel corso delle numerose indagini ivi svolte, a compendio di interventi di consolidamento, è stata accertata la presenza di un livello di coltre detritica di frana per spessori variabili dai 4,5 ai 6,0/7,0 m cui sottostà, in sequenza verticale, il tetto della formazione di Sillano in facies argillitica che si presenta da moderatamente ad incipientemente alterato per uno spessore variabile dai 5,0 agli 8,0 m, definendo pertanto a tal livello una potenziale superficie di instabilità. Al di sotto si rinviene la presenza della Formazione di Sillano non alterata con aumento del grado di compattezza delle argilliti e incremento della frazione marnosa.

Il modello di sottosuolo nel settore settentrionale risulta completato da indicazioni in merito a presenza di “bed rock sismico” nell’area dell’Albergo Michelangelo caratterizzato, al di sotto di una coltre alteritica di materiali derivanti dal disfacimento ed alterazione della Formazione di Monte Morello, da termini prevalentemente calcarei e calcareo marnosi della formazione stessa.

Nella porzione di versante su cui si colloca la maggior parte dell’urbanizzato del Capoluogo il modello di sottosuolo è caratterizzato da coperture costituite prevalentemente da un grande corpo di frana quiescente che dalla base del massiccio epiligure arriva, a valle, fino al T. Rassina. Tale corpo detritico è sormontato e/o si interdigita lateralmente con coltri di detriti di versante e/o di falda e cumuli di materiali derivanti da crolli.

Una serie di sondaggi disposti longitudinalmente rispetto all’asse principale di tali frana quiescente definiscono uno spessore di coltre di frana variabile da 4,5 a 9,0-10,0 m di spessore nella parte centrale del corpo di frana stesso con spessori che tendono a ridursi sui fianchi sia in direzione del massiccio epiligure (a est) sia verso la dorsale di affioramento della Formazione di Monte Morello ad ovest.

Sottostà a tali coltri detritiche un substrato geologico costituito in sequenza verticale dai termini prima argillitici e poi marnoso argillitici della Formazione di Sillano.

Tale quadro risulta completato, nella parte occidentale della frazione del capoluogo da un contatto tettonico fra la Formazione di Sillano e la Formazione di Monte Morello, obliterato e sepolto dalle coperture detritiche.

### ***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 di Monte Morello e alla Formazione di Monte Fumaiolo sono stati inseriti nell’unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano sono stati inseriti nell’unità geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di San Marino sono stati inseriti nell’unità geologico-tecnica LP (Lapideo);
- i terreni di natura litoide fratturati / alterati appartenenti alla Formazione di Monte Fumaiolo sono stati inseriti nell’unità geologico-tecnica SFLPS (Lapideo, stratificato fratturato / alterato);
- i terreni di natura litoide fratturati / alterati appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nell’unità geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato);
- i terreni di natura litoide fratturati / alterati appartenenti alla Formazione di San Marino sono stati inseriti nell’unità geologico-tecnica SFLP (Lapideo, 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. 22 misure HVSR di cui n. 9 classificate in classe A1, n. 5 classificate in A2, n. 3 classificate in B1, n. 2 classificate in B2 e n. 2 classificate in C si ricava una valutazione di qualità pari a 75,4 che la colloca in classe di accettabilità A.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 10 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P113, P114, P115, P116, P136, P137, P138, P139, P140 e P141), oltre a n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (indagine P155), a seguito di specifica realizzazione di sondaggio a carotaggio continuo e n. 2 prove Masw (prova L15 e L16) associate a n. 2 prove di array sismico di tipo Esac (prove P156 e P157).

In corrispondenza delle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 12 misure di sismica passiva con metodo HVSR (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13), n. 3 indagini di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (indagini P56, P57 e P58) e n. 2 stese di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagini L3 e L4). Le misure di rumore eseguite presso il capoluogo hanno restituito frequenze prevalentemente medio-basse comprese fra 1,5 e 3,0 Hz, con valori di ampiezza del segnale (rapporto H/V) che risultano compresi tra circa 2,5 e 3,8.

Le prove realizzate in corrispondenza delle coperture detritiche di versante hanno mostrato in genere bassi contrasti di impedenza sismica, dovuti al passaggio litologico tra copertura e sottostante substrato roccioso. Solo nel caso della misura P4 è stato individuato un picco in alta frequenza, che denota la probabile esistenza di un limite con contrasto di impedenza sismica elevato tra le coperture detritiche di versante (presenti ad ovest di Chiusi della Verna) e il sottostante substrato torbiditico della Formazione di Monte Morello. Infatti, come si evince dalla misura down-hole eseguita ad ovest della località La Beccia, si nota che tale formazione presenta velocità tipiche di un bedrock sismico ( $> 800$  m/s,  $>> 1000$  m/s), nonostante l'assetto strutturale dell'ammasso roccioso sia generalmente tettonizzato.

La presenza, invece, delle argilliti della Formazione di Sillano, sotto alle coperture detritiche di frana presenti in corrispondenza dell'abitato di Chiusi della Verna, non costituisce un vero bedrock sismico, come evidenziato dalle indagini di sismica attiva eseguite presso il centro abitato (indagini L3, L4, P56, P58, P155). Le velocità generalmente sono molto inferiori agli 800 m/s. Ciò è confermato dalle misure di rumore P3, P7, P12, P13, P14 eseguite per il presente studio di microzonazione sismica. Tali misure hanno interessato le coltri di frana presenti sia in corrispondenza di La Beccia che del centro abitato del Capoluogo, nonché la falda detritica presenta a ridosso della rupe dei calcari di San Marino, ad ovest di Chiusi. Le risultanze mostrano l'esistenza di picchi di frequenze piuttosto basse (1,5-3 Hz) e con ampiezza  $> 3$ , mentre si registra l'assenza di risonanza per frequenze più elevate. Ciò implica l'esistenza, probabilmente in profondità (circa 55,0-60,0 m), di un limite con contrasto di impedenza sismica elevato legato alla presenza di una variazione litologica importante all'interno della Formazione di Sillano (presumibile passaggio da argilliti a calcari), come evidenziato anche nelle indagini di sottosuolo raccolte per il presente studio (vedi stratigrafia pozzo P86).

Perciò, globalmente le misure di rumore eseguite a Chiusi della Verna hanno evidenziato:

l'assenza di elevati contrasti di impedenza sismica superficiali al contatto tra coperture detritiche e di frana e il sottostante substrato geologico prevalentemente argillitico;

la presenza di contrasti elevati abbastanza profondi,

la probabile assenza di amplificazione sismica, sia per limiti stratigrafici superficiali che profondi, nelle zone di affioramento dei calcari della Formazione di San Marino.

Da notare che nel caso della misura P2 eseguita in vicinanza del Santuario della Verna, nonché della misura R17 realizzata ad ovest del cimitero di Chiusi, rimane dubbia l'esistenza di eventuali contrasti superficiali. L'esistenza, infatti, nella curva H/V di un possibile picco a circa 17 Hz per P2 e 20 Hz per P11, potrebbe essere legato all'eventuale esistenza di una coltre di alterazione dell'ammasso o ad un'alterazione locale di un sottile orizzonte dell'ammasso stesso per presenza di stratificazione superficiale.

Nel caso della misura P6, invece, eseguita ad est dell'abitato di Chiusi su una zona di affioramento della Formazione di San Marino, si ipotizza che sia possibile l'esistenza di un limite superficiale con elevato contrasto di impedenza sismica, relativo ad una frequenza di risonanza di 12,5 Hz ed una ampiezza di 3,8.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- **1041 (a):** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m),  $i < 15^\circ$ . Basso c.i. Talora presenza di riporti.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P139) e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 0,89 e 0,91 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni settori dell'area di indagine, tra cui un ampio settore in corrispondenza dell'ex Albergo Michelangelo e un settore presso il campo sportivo.

- **1041(b):** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i < 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato lapideo è riferibile alla Formazione di San Marino, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 0,88 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nei settori pianeggianti in sommità alla rupe su cui sorge il Santuario della Verna.

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2003:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i... Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano.

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 1,07 e 1,11 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni settori dell'intera porzione occidentale dell'area di indagine e in un limitato settore a sud-est dell'abitato di Chiusi della Verna.

- **2004:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Morello, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P139) e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica; 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 1,06, 1,09 e 1,12 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in ampi settori della porzione occidentale del settore di indagine.

- **2005:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 100,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Possibile alto c.i.. Il substrato lapideo è riferibile alla Formazione di San Marino, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P10) e data la successione stratigrafica rilevata 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 1,09 e 1,12 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in corrispondenza della rupe del Santuario della Verna e nei rilievi a est dell'abitato di Chiusi della Verna.

- **2006:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Morello, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P140) 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 viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,11 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni settori della porzione occidentale dell'abitato di Chiusi della Verna.

- **2007**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i < 15^\circ$ . Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P7, P113 e P114) in settori sismostratigraficamente simili 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 viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,06 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un isolato settore tra gli abitati di Chiusi della Verna e de La Beccia.

- **2009**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su Substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Basso c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Fumaiolo, il substrato lapideo alla Formazione di San Marino, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

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.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,06 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un limitato areale nella porzione centro orientale dell'area in esame, ad est dell'abitato di Chiusi della Verna.

- **2014**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

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 viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,06 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in una fascia ad andamento circa nord-sud presso la porzione settentrionale dell'abitato di Chiusi della Verna.

- **2019**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Fumaiolo, il substrato lapideo alla Formazione di San Marino, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P6) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,09 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un ampio areale nella porzione centro orientale dell'area in esame, in corrispondenza dei rilievi posti ad est dell'abitato di Chiusi della Verna.

- **2099(a):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo fratturato / alterato (SFLP) dello spessore compreso tra 10,0 e 80,0 m su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), talora con l'interposizione di substrato lapideo (LP). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato lapideo (fratturato / alterato e non) è riferibile alla Formazione di San Marino, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P116) 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, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,18 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in corrispondenza della rupe del Santuario della Verna.

- **2099(c):** 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 5,0 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 stratificato costituito da alternanza di litotipi (fratturato / alterato e non) è riconducibile alla Formazione di Sillano.

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, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona vengono attribuiti fattori di amplificazione di 1,11 e 1,18 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un limitato settore della porzione sud-orientale dell'area di indagine e in secondo limitato settore nella porzione nord-occidentale dell'area di studio.

- **2099(e):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato fratturato / alterato (SFLPS) dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m su substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 10,0 e 20,0 m, su substrato lapideo (LP), dello spessore compreso tra 20,0 e 70,0 m, poggianti su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato lapideo stratificato (fratturato / alterato e non) è riconducibile alla Formazione di Monte Fumaiolo, il substrato lapideo alla Formazione di San Marino, mentre il substrato stratificato costituito da alternanza di litotipi è riconducibile alla Formazione di Sillano.

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, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,16 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nell'estrema porzione centro-orientale e sud-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>(30222003)</b>	FA 0,1-0,5	1,12 – 1,57 (ZSFR)
<b>(30232003)</b>	FA 0,1-0,5	1,11 (ZSFR)
<b>(30222004)</b>	FA 0,1-0,5	1,12 – 1,57 (ZSFR)
<b>(30232003)</b>	FA 0,1-0,5	1,11 (ZSFR)
<b>(30112005)</b>	FA 0,1-0,5	1,18 (ZSFR)
<b>(30222006)</b>	FA 0,1-0,5	1,57 (ZSFR)
<b>(30232007)</b>	FA 0,1-0,5	1,16 - 1,18 – 1,58 – 1,81 (ZSFR)
<b>(30222010)</b>	FA 0,1-0,5	1,33 (ZSFR)
<b>(30112099)</b>	FA 0,1-0,5	1,16 (ZSFR)
<b>(30222099)</b>	FA 0,1-0,5	1,16 - 1,85 (ZSFR)
<b>(30232099)</b>	FA 0,1-0,5	1,45 (ZSFR)

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo (LP), lapideo stratificato (LPS) e con alternanza di litotipi stratificato (ALS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A seguito degli studi di terzo livello, per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s è possibile attribuire un valore di amplificazione pari a 1,16 alle zone interessate da cedimenti differenziali (ZACD), mentre valori di amplificazione pari a 1,11, 1,12, 1,16, 1,18 e 1,57 alle zone interessate dalla sovrapposizione 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 del Capoluogo non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

### **CORSALONE**

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.09 in scala 1:5.000 e G.13 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

La frazione di Corsalone si sviluppa in un'area di fondovalle in sinistra idrografica del Fiume Arno in corrispondenza della immissione del torrente Corsalone. Le caratteristiche morfologiche peculiari risultano pertanto quelle di un fondovalle, a tratti abbastanza ampio, orientato in direzione nord-sud (fondovalle dell'Arno), con un'area di fondovalle secondaria (T. Corsalone) con andamento prevalente est-ovest in cui si



concentrano prevalentemente le attività produttive, le attrezzature collettive, i servizi e le infrastrutture. Il quadro è completato dalle zone pedecollinari in destra idrografica del T. Corsalone ed in sinistra d'Arno, a monte della S.S. Umbro-Casentinese-Romagnola, ove prevalgono gli insediamenti residenziali.

L'assetto geologico dell'area è quello di una zona di fondovalle, posta alla confluenza fra i citati corsi d'acqua, con ampiezza della valli mediamente compresa fra 200,0 e 350,0 ml, definite per incisione della formazione prevalentemente calcareo marnosa di Monte Morello, che presenta, nel complesso, direzione di immersione prevalente verso sud e sud est ed inclinazione degli strati variabile fra 25° e 40°. Tale orientamento generale decreta un assetto giaciturale a franapoggio inclinato quanto o più del pendio sul versante in destra idraulica del T. Corsalone; un assetto a traverpoggio/reggipoggio sul versante in sinistra idraulica del T. Corsalone e un generale assetto a traverpoggio sul versanti in sinistra idraulica d'Arno.

La formazione di Monte Morello, costituente il substrato geologico nell'area, appare sormontata da un complesso di depositi fluviali terrazzati quaternari e pleistocenico medio-superiori e da alluvioni recenti ed attuali del Fiume Arno e del Torrente Corsalone.

I depositi pleistocenici terrazzati risultano caratterizzati dalla presenza di alternanze di ghiaie, sabbie e limi. Tali depositi si trovano morfologicamente sopraelevati rispetto all'attuale alveo del T. Corsalone e costituiscono terrazzi fluviali antichi. Affiorano nella porzione NE della zona di studio.

I depositi alluvionali terrazzati olocenici e i depositi alluvionali recenti ed attuali si rinvencono con spessori di qualche metro di materiali medio-fini (sabbie e limi), ma anche in questo caso risulta prevalente la frazione grossolana (ghiaia e ciottoli). Lo spessore varia da qualche metro ad alcuni metri (fino a circa 10,0 m). I depositi quaternari sono presenti su buona parte dell'area di studio di Corsalone.

Il quadro dei depositi alluvionali è completato da settori con presenza di conoidi alluvionali che si interdigitano lateralmente con i depositi alluvionali recenti (b3) in corrispondenza della confluenza del T. Corsalone in Arno. Si tratta di depositi costituiti da ghiaie frequentemente grossolane (10-15 cm) in matrice limoso argillosa, con spessori riscontrati in sondaggio variabili fra 9,0 e 11,0 metri.

Il quadro delle coltri è completato, nella fasce pedecollinari, da vaste porzioni in cui si rileva la presenza di depositi eluvio-colluviali, detrito di versante e corpi di frana con diverso stato di attività (in prevalenza quiescenti). Si tratta generalmente di materiali incoerenti eterogenei ed eterometrici con granulometria prevalentemente grossolana.

Si rileva, inoltre, la presenza di coltri di terreni di riporto con spessori, comunque, contenuti entro 2,0 ml.

Nella fascia di fondovalle in sinistra d'Arno, compresa fra il corso d'acqua e il tracciato ferroviario Arezzo-Pratovecchio si riscontra la presenza di vaste aree interessate da terreni di riporto, con spessori presumibili > 2,0 ml, legati a trascorse attività e lavorazioni con prelievo di materiale del materasso alluvionale e successiva colmata con materiali di provenienza esterna. Sono costituiti sia da depositi antropici deposti in loco per la realizzazione di edifici, nonché per riempire le zone sottoposte ad escavazione nei depositi alluvionali e di conoide.

Si rinvencono anche detriti e materiali di risulta di lavorazione di miniera; sono stati individuati all'interno dell'area estrattiva dei depositi alluvionali di Corsalone, in vicinanza della confluenza del T. Corsalone nel Fiume Arno. Lo spessore è dell'ordine di qualche metro.

Per quanto riguarda gli aspetti morfologici si segnalano:

- un'area in cui è stata rilevata la presenza di un corpo di frana per scorrimento traslativo stabilizzata in destra idraulica del T. Corsalone che comprende una vasta porzione urbanizzata fra la Via Europa e Via Maggio – Via Dogana;

- un'area in frana attiva per colamento superficiale nella porzione di versante retrostante gli impianti Stimet;

- un vasto distretto di frana stabilizzata con una porzione in stato di quiescenza nell'area sottesa dalla S.S. Umbro Casentinese Romagnola in corrispondenza di Podere Fontechiara.

Il quadro geomorfologico è completato dalla diffusa presenza di scarpatine, nella Formazione di Monte Morello, con altezze inferiori a 10,0 ml.

Come, in precedenza, accennato le notazioni inerenti attività antropica riguardano:

- le trasformazioni subite dall'area a seguito di trascorse attività di cave e successiva colmata (settore in prossimità della confluenza del T. Corsalone) e depositi legati ad attività mineraria;

- le recenti realizzazioni di infrastrutture relative al nuovo tronchetto ferroviario e all'impianto comunale di depurazione.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Corsalone 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. 8 sondaggi geognostico a carotaggio continuo strumentati con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche;

- n. 6 stratigrafie da terebrazione di pozzo;

- n. 3 prove penetrometriche dinamiche pesanti;

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;

- n. 7 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;

- n. 8 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Corsalone sono inoltre state effettuate 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 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;

- n. 12 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico corrispondente ad un "bed rock sismico" nell'area del Corsalone risulta costituito dalla alternanza dei termini litoidi calcarei, calcarenitici e calcareo marnosi della Formazione di Monte Morello uniformemente presente e riscontrato sui fianchi e nel fondovalle del T. Corsalone e sul fianco in sinistra idraulica e sul fondovalle del Fiume Arno. Lo stato di fratturazione dell'ammasso appare generalmente significativo. Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

Tale substrato appare sormontato dal materasso alluvionale costituito da alluvioni terrazzate, una coltre di alluvioni recenti ed attuali del T. e del F. Arno e da depositi di conoide in sbocco del T. Corsalone.

Per quanto concerne lo spessore del materasso alluvionale prevalentemente costituito da ghiaie anche grossolane (elementi di diametro compreso fra 10 e 15 cm) in matrice sabbiosa e limoso argillosa, deposto sul substrato, si dettaglia quanto segue in merito agli accertamenti geognostici documentati:

- zona superiore vallata T. Corsalone (destra idraulica) in concomitanza con il plesso scolastico, 6,5/7,5 m di spessore;
- zona mediana della vallata T. Corsalone (destra idraulica) in concomitanza con la sede distaccata comunale, 6,0/10,0 m di spessore;
- zona basale della vallata T. Corsalone (destra e sinistra idraulica) in corrispondenza di depositi di conoide a granulometria limoso-sabbioso-argillosa con spessore variabile da 1,5 a 3,0 m con sottostanti depositi prevalentemente ghiaiosi rinvenibili fino a profondità di 8,0/11,0 m dal piano campagna;
- zona terminale della vallata T. Corsalone (destra e sinistra idraulica) in prospienza della sponda sinistra d'Arno, 9,0/10,0 m di spessore;
- zona di fondovalle in sinistra idrografica d'Arno nel settore compreso fra il tronchetto ferroviario e la S.S. Umbro Casentinese Romagnola, 4,5 e 7,0 m di spessore.

### ***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 GPes (Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di ambiente genetico fluvio-lacustre – argine/barre/canali) i depositi alluvionali attivi, 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 GMes (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i depositi alluvionali inattivi maggiormente recenti, all'unità geologico-tecnica SMes (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico genetico fluvio-lacustre – argine/barre/canali) i depositi alluvionali inattivi più antichi, all'unità geologico-tecnica SMtf (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico genetico fluvio-lacustre – terrazzo fluviale) i depositi alluvionali terrazzati pleistocenici e SWec (Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di ambiente genetico di versante – eluvi/colluvi).

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Monte Morello sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i depositi antropici di riporto e 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. 20 misure HVSR di cui n. 7 classificate in classe A1, n. 8 classificate in A2, n. 4 classificate in B1 e n. 1 classificata in B2 si ricava una valutazione di qualità pari a 65,6 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Corsalone durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 12 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P142, P143, P144, P145, P146, P147, P148, P149, P150, P151, P152 e P153), oltre a n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (indagine P154), a seguito di specifica realizzazione di sondaggio a carotaggio continuo.

In corrispondenza delle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 8 misure di sismica passiva con metodo HVSR (P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27 e P28).

Sull'area dell'urbanizzato di Corsalone sono state eseguite 9 registrazioni di rumore ambientale con tecnica HVSR (P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27 e P28).

Le misure hanno restituito frequenze prevalentemente alte, con valori di ampiezza del segnale (rapporto H/V) che risultano compresi tra circa 3 e 7,1 e generalmente superiori a 5. Infatti escludendo la misura P24 per la quale la curva del rapporto H/V relativo al segnale sismico non presenta picchi significativi (dubbia l'esistenza di un picco in alta frequenza eventualmente legato ad una copertura alteritica superficiale del substrato), nonché la misura P22 per la quale si individua un picco a circa 10,5 Hz con ampiezza circa 3, le restanti misure (P21, P23, P25, P26, P27 e P28) sono caratterizzate dall'individuazione di picchi di risonanza ben evidenti, per frequenze comprese tra 7,7 e 15,5 Hz.

Tutte le misure sono state realizzate su coltri detritiche riconducibili a detrito di versante (P23, P145, P146, P147 e P149), coltri di frana (P22 e P24) e depositi alluvionali (P21, P25, P26, P27, P28, P142, P143, P144, P150, P152 e P153).

In prossimità della prova P22 è stata eseguita una prova down-hole (prova P154) che ha mostrato la presenza di una coltre di frana di spessore di ca. 3,0 m, su un substrato lapideo che assume le caratteristiche di bed-rock sismico ( $V_s = 1000$  m/s) solamente a profondità di 20,0 m da p.c..

Le misure che hanno evidenziato picchi ben marcati con ampiezze elevate, indicano l'esistenza nell'area di Corsalone di limiti stratigrafici ad elevato contrasto di impedenza sismica, tra le coperture sopra citate (spessore variabile da 4,0 a 10,0 m) e il sottostante substrato roccioso della Formazione di Monte Morello. Le misure di sismica attiva eseguite nell'area di Corsalone (indagini L5, L6, L7, L8, L9, L10, P73 e P74) hanno mostrato e confermato che il substrato roccioso torbiditico della Formazione di Monte Morello costituisce un bedrock sismico, con valori di  $V_s > 800$  m/s e generalmente maggiori di 1000 m/s. Da queste si ha la conferma che l'area di Corsalone è suscettibile di amplificazione sismica per effetti stratigrafici, con elevati valori dei contrasti di impedenza sismica.

Infine nella prova P28 è stato individuato un secondo picco significativo, caratterizzato da frequenza di circa 2,3 Hz e ampiezza del segnale H/V di circa 3,5. Tale risonanza sarebbe da ascrivere ad un ipotetica variazione litologica ad una profondità  $\geq 100$  m, all'interno della Formazione di Monte Morello.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- **1011**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), in assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza  $< 15^\circ$  e basso contrasto di impedenza sismica. Talora presenza di riporti. Il substrato lapideo è riferibile alla Formazione di Monte Morello.

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,04 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in un settore pianeggiante nella porzione settentrionale dell'area di studio, in destra idraulica del corso del Torrente Corsalone.

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2001**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite in situazioni sismostratigrafiche analoghe (P22 e P24) 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 1,06 e 1,16 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in ampi settori dei rilievi presenti nell'area in esame sovrastanti il fondo valle del Fiume Arno e del Torrente Corsalone e l'abitato di Corsalone.

- **2010**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale pleistocenica di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 10,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Morello.

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.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,13 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nell'estrema porzione di nord-est del settore di indagine.

- **2011**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura eluvio-colluviale di natura sabbioso ghiaiosa (SW) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato lapideo è riferibile alla Formazione di Monte Morello.

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 viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,3 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in una fascia in corrispondenza della porzione centro-meridionale dell'abitato di Corsalone.

- **2012**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato lapideo è riferibile alla Formazione di Monte Morello.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P23, P25, P26, P27, P28, P145, P149 e P153) 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 viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,53 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nei settori di fondovalle lungo i corsi del Fiume Arno e del Torrente Corsalone, laddove sorge l'abitato di Corsalone, e in alcuni settori lungo i rilievi che circondano il suddetto areale di fondovalle.

- **2013**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Morello.

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 viene attribuito un fattore di amplificazione pari a 1,31 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in corrispondenza del corso del Fiume Arno e del Torrente Corsalone.

- **2015**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P21) 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 1,12 e 1,13 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in una fascia in corrispondenza della porzione centro-meridionale dell'abitato di Corsalone.

#### **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>(30132001)</b>	FA 0,1-0,5	1,22 (ZSFR)
<b>(30222001)</b>	FA 0,1-0,5	1,12 – 1,22 – 1,33 – 1,59 (ZSFR)
<b>(30232001)</b>	FA 0,1-0,5	1,59 (ZSFR)
<b>(30222010)</b>	FA 0,1-0,5	1,33 (ZSFR)
<b>(30132012)</b>	FA 0,1-0,5	1,22 (ZSFR)
<b>(30222012)</b>	FA 0,1-0,5	1,22 (ZSFR)
<b>(30222015)</b>	FA 0,1-0,5	1,59 (ZSFR)

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coperture eluvio-colluviali, coltri di frana, e coperture detritiche) e il lapideo stratificato (LPS) e tra questo e i depositi di copertura pleistocenici sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A seguito degli studi di terzo livello, per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s è possibile attribuire valori di amplificazione pari a 1,22, 1,33 e 1,59 alle zone interessate da cedimenti differenziali (ZACD) e alle zone interessate dalla sovrapposizione di instabilità differenti (ZAID).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni e verifiche riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Corsalone non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

## **BIFORCO**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'abitato di Biforco è situato nel settore settentrionale del territorio del Comune di Chiusi della Verna. L'area presenta una morfologia montana, che raggiunge in alcuni settori una elevata energia del rilievo; infatti, si riscontrano pendii fortemente acclivi e strette e profonde incisioni vallive.

Le aree con morfologia meno aspra, che si rinvencono come ampi terrazzamenti o ripiani lungo i versanti, sono essenzialmente il risultato di passati processi gravitativi che hanno interessato ampi settori di pendio.

Il paese di Biforco occupa appunto una di queste aree posizionandosi, alla quota di circa 670,0 m s.l.m., su di un versante delimitato inferiormente da una brusca rottura di pendenza, ed elevato, rispetto al fondovalle del T. Corsalone, di circa 120,0 metri.

L'abitato di Biforco è da tempo interessato da vasti fenomeni deformativi di tipo gravitativo che, interessando i terreni di sedime, incidono in maniera rilevante sulla stabilità degli edifici e dei manufatti.

Dalle osservazioni di campagna e dai dati ricavati da indagini geognostiche, realizzate nel corso di studi geologici propedeutici e di supporto alla progettazione di interventi di consolidamento, si è accertata, per l'area in esame, la presenza di una copertura di natura limoso - sabbiosa, con trovanti arenacei sparsi, spesso 5,0-7,0 metri. Si tratta di masse detritiche costituite essenzialmente da accumuli di frana attiva e frane quiescenti che presentano caratteristiche di parziale disarticolazione.

Durante il rilevamento di un congruo intorno dell'area in esame si è potuto accertare che i terreni costituenti il substrato geologico sono riconducibili al Membro di Montalto della formazione delle Arenarie del Monte Falterona di età oligocenica. Si tratta di un flysch composto da un'alternanza di siltiti laminate, marne, arenarie fini ed arenarie calcaree, che costituisce l'ossatura dell'area di interesse.

La formazione, essendo prossima ad una zona di accavallamento tettonico, si presenta intensamente fratturata e, stratigraficamente piuttosto irregolare.

L'assetto giaciturale degli strati è a franapoggio, con inclinazioni comprese fra i 20° ed i 25°, cioè poco più inclinata di quella del versante.

L'analisi degli aspetti geomorfologici dell'area rivela l'esistenza di estesi corpi di frana quiescente e attiva alcuni dei quali riattivati da numerosi fenomeni di movimento di massa generalizzato (soliflussi) e da frane attive puntuali. Numerose sono anche le corone di paleofrana presenti nel versante che testimoniano la diffusa propensione al dissesto di questi terreni di copertura. Si rilevano, infine, dissesti attivi, più o meno localizzati, determinati da scorrimenti rotazionali interessanti la coltre detritica.

A scala maggiore invece si ipotizzano movimenti gravitativi di carattere traslativo per lo scorrimento della copertura al contatto col substrato flyschioide.

Questo quadro spiega la natura dei fenomeni fessurativi e deformativi che vanno ad interessare numerosi edifici. L'abitato di Biforco è collocato su di un versante pesantemente compromesso da trascorsi fenomeni gravitativi ed attualmente interessato da riprese localizzate dei movimenti franosi che si esplicano essenzialmente in soliflussi e piccole frane rotazionali. Tali elementi suggeriscono una situazione di particolare delicatezza in quanto rappresentano spesso indizi di una possibile interruzione della quiescenza dei principali corpi franosi che coinvolgono ampi settori del centro abitato.

Infatti, già l'esteso quadro delle lesioni che affliggono gli edifici testimonia una riattivazione di movimenti gravitativi ampi e profondi con scatti ed accelerazioni in occasione di particolari eventi critici come quelli registrati in occasione dei rilevanti fenomeni meteorici della fine del 1990, dell'evento sismico (V° Scala Mercalli) che nel Gennaio - Febbraio 1991 interessò il territorio comunale di Chiusi della Verna e i rilevanti eventi meteorici dell'autunno - inverno 1995 e 1996.

#### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Biforco 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. 7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Biforco 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 indagine di sismica attiva congiunta MASW-ESAC;
- n. 1 prospezione geofisica con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

#### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico risulta costituito dalla alternanza dei termini litoidi arenacei e pelitici della formazione delle Arenarie del Falterona – Membro di Montalto con assetto della stratificazione con inclinazione circa pari a quella del pendio a tratti franapoggio meno inclinata del pendio.

Lo stato di fratturazione dell'ammasso appare generalmente significativo con la parte di tetto della formazione che si presenta frequentemente intensamente alterata anche per spessori di 5,0/10,0 m.



Le coltri di materiali di copertura sono costituite da materiale alteritico (areato) e coltre detritica di frana con spessore globale accertato (sondaggi) di 5,0/7,0 m che, probabilmente, raggiunge 7,0/8,0 m di spessore nella porzione settentrionale dell'abitato.

### ***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 Montalto sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato).

Inoltre sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti.

Infine 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. 4 misure HVSR di cui n. 2 classificate in classe A1, n. 1 classificata in B1 e n. 1 classificata in B2 si ricava una valutazione di qualità pari a 62,4 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Biforco durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 è stata eseguita n. 1 misura di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (sigla prova P121) e n. 1 indagine di sismica attiva congiunta Masw (indagine L17) associata ad una indagine di array sismica di tipo Esac (prova P159).

Nelle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P14, P15 e P16) e n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh (prove L12 e L13).

Le indagini hanno confermato l'esistenza di coltri detritiche di spessore di circa 5,0-7,0 metri ( $V_s$  320/240 m/s), sovrapposte al substrato litoide fratturato e alterato. Quest'ultimo presenta probabilmente un livello superficiale, di alcuni metri di spessore, che si trova sotto alla coltre detritica superficiale e che probabilmente risulta coinvolto nei processi franosi esistenti a Biforco. Tale livello presenta valori di  $V_s$  di circa 450-500 m/s.

Oltre i 15,0/18,0 m circa di profondità, come si evince dalla prova di sismica a rifrazione L13 e dalla Masw L17, è presumibile supporre che si raggiungano valori di  $V_s > 800$  m/s fino a 1200/1400 m/s. Perciò si potrebbe ipotizzare che il substrato geologico inalterato acquisisca condizione tale per poterlo assumere a “bed rock sismico” e che potenzialmente esista un limite ad elevato contrasto di impedenza sismica tra il substrato inalterato e la sovrastante sequenza costituita da substrato geologico alterato e coltre di frana. Nonostante ciò, le misure di rumore mostrano ampiezze del rapporto  $H/V < 3$  (indicativo di contrasto di impedenza basso). Si rimanda perciò a successivi approfondimenti il compito di chiarire il reale comportamento del substrato nei confronti delle coperture.

### ***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). 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 Montalto.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite in situazioni sismostratigrafiche analoghe (P14, P15, P16 e P121) 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nelle estreme porzioni occidentali e orientali dell'area di indagine.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Biforco non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

### **COMPITO**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'area su cui sorge la frazione di Compito è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili al Dominio Ligure Esterno. In particolare il versante, esposto a sud, su cui sorge l'edificato è marcatamente caratterizzata dalla Formazione di Monte Morello in forma di alternanza di marne, calcari marnosi, calcescisti e calcareniti di natura torbiditica. L'assetto giaciturale della formazione nella sua variabilità areale definisce, sull'abitato di Compito la zona di cerniera di un blando piegamenti anticlinale. Tale andamento, di lieve a blanda ondulazione è mantenuto dalla formazioni in esame anche ad est dell'abitato di Compito.

Marginalmente all'abitato di Compito, sul lato occidentale dell'agglomerato, sono presenti coltri di materiali di frana con stato di attività classificato quiescente ed inattivo e coltri detritiche di versante. Si tratta di materiali

incoerenti eterogenei ed eterometrici a granulometria prevalentemente grossolana, in quanto legati alla alterazione del substrato roccioso. Lo spessore è dell'ordine di qualche metro.

Il quadro generale è completato dalla presenza di una coltre di materiale di riporto (antropico) che presenta comunque spessori valutabili inferiori a 2,0 ml.

Il quadro geomorfologico, all'interno della frazione, è completato dalla presenza di una serie di scarpate di erosione attive con altezze generalmente < 10,0 ml e da coronamenti di frane quiescenti.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una acclività medio-elevata dei versanti (maggiore 15°).

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Compito 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 stratigrafia da terebrazione di pozzo;
- n. 1 prospezione geofisica con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato del Compito sono inoltre state effettuate 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 sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 4 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato risulta costituito dalla alternanza dei termini prevalentemente marnosi, calcarei, argillitici e calcarenitici della Formazione di Monte Morello che presentano assetto giaciturale blandamente ondulato con tendenza al franapoggio inclinato quanto o leggermente meno del pendio.

Le coperture sono rappresentate da coltri di terreni detritici di frana (quiescente) con spessori desumibili variabili compresi fra 3,0 e 6,0 ml e di spessore variabile fra i 3,0 e i 5,0 nella porzione marginale in cui sono presenti detriti di versante (a).

Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

### ***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 di Monte Morello sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i depositi antropici di riporto e 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. 5 misure HVSR di cui n. 3 classificate in classe A1, n. 1 classificata in A2 e n. 1 classificata in B2 si ricava una valutazione di qualità pari a 49,3 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Compito durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 4 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P104, P105, P106 e P107), oltre a n. 1 stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagine L19).

Nelle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 1 misura di sismica passiva con metodo HVSR (P17).

Le misure P104, P105 e P106, eseguite presso il centro abitato in corrispondenza di litologie riferibili al substrato geologico riferibile alla Formazione di Monte Morello hanno mostrato bassi contrasti di impedenza (prova P105) o andamenti piatti (prova P106). La sola prova P104 ha mostrato un alto contrasto di impedenza ma estremamente superficiali da correlarsi alla probabile presenza nel settore di indagine di spessori di terreni di riporto.

Nel medesimo areale l'indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh (L19) ha mostrato la presenza di un bed-rock sismico ( $V_s > 1400$  m/s) alla profondità di ca. 10 m da p.c.

Nei settori ad ovest dell'abitato di Compito, in corrispondenza di coperture di frana le prove P17 e P107 hanno mostrato dei picchi intorno ai 7 Hz talora (prova P17) con alti contrasti di impedenza.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- **1011:** questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), in assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza  $< 15^\circ$  e basso contrasto di impedenza sismica. Talora presenza di riporti. Il substrato lapideo è riferibile alla Formazione di Monte Morello.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P105) e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,0 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nel settore centro orientale dell'area di indagine, anche in corrispondenza della porzione orientale dell'abitato di Compito.

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2001**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P106) 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona rappresenta la maggior parte del territorio studiato per l'areale di Compito.

- **2012**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla Formazione di Monte Morello.

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in alcuni limitati settori nella porzione occidentale e meridionale dell'areale di indagine.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Compito non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

#### **COREZZO**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

I terreni riscontrati nell'intorno dell'abitato di Corezzo sono riconducibili al Dominio Toscano – Unità di Monte Cervarola. In particolare, risalendo in progressione il versante che da sud ovest porta alla zona di crinale su cui sorge il nucleo abitato, si rinviene la formazione delle Arenarie di Monte Falterona con:

- il Membro di Camaldoli, marcatamente distinto da prevalenza di arenaria sulla pelite, che giace in continuità stratigrafica sulle sottostanti Marne Varicolori di Villore. L'assetto giaciturale mostra in media direzione di immersione degli strati convergente verso sud con inclinazioni che variano tra 20° e 50°;
- Membro di Montalto, caratterizzato da rapporto arenaria/pelite paritetico, che sottostà, per contatto tettonico (presunto sovrascorrimento) alle Marne Varicolori di Villore. Nella parte settentrionale dell'area di indagine il Membro mostra assetto giaciturale a reggipoggio con immersione degli strati mediamente verso nord ed inclinazione variabile fra 10° e 40°.

Il quadro geologico è completato dalle coltri di copertura riconducibili a:

- depositi antropici di spessore non superiore a 2,0 ml che si rinvencono in prossimità dell'area del campo sportivo/distretto scolastico e in altri due punti in cui la realizzazione di edificazione ha comportato scavo e riporto;
- depositi di versante costituiti da materiali eterogranulari non cementati presenti sul versante occidentale e nell'area del cimitero;
- coltri di materiali di frana quiescenti, la principale di cui interessa la vasta area su cui sorgono gli impianti sportivi e l'edificio scolastico che con la sua estensione areale va ad obliterare per sovrapposizione il contatto tettonico fra le Marne Varicolori di Villore e il Membro di Montalto.

Il quadro geomorfologico è completato da una diffusa distribuzione di scarpine con altezza generalmente contenuta fra 5,0 e 10,0 ml.

Il nucleo urbanizzato di Corezzo, nel suo sviluppo quasi lineare in direzione nord–sud, trova quasi perfetta coincidenza con una zona di “cresta” che segue e ripercorre l'andamento generale dello sviluppo urbanistico della frazione da quota 730,0 m s.l.m. a sud fino a quota 780,0 m s.l.m. a nord dell'abitato. Lo sviluppo lineare di tale cresta appare interrotto da una sella in corrispondenza della viabilità posta sul lato meridionale della Chiesa di Corezzo.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Corezzo 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 con le relative risultanze stratigrafiche;
- n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante;
- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Corezzo sono inoltre state effettuate 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. 6 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico risulta costituito dalla alternanza dei termini litoidi arenacei e pelitici della formazione delle Arenarie del Falterona – Membro di Camaldoli e Membro di Montalto e delle Marne di Villore fra loro in continuità stratigrafica o in sovrapposizione per contatto tettonico (sovrascorrimento). Lo stato di fratturazione degli ammassi appare generalmente significativo. Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

La principale coltre di materiali di copertura, nell'area del complesso scolastico/impianti sportivi, è costituita da materiale alteritico e coltre detritica di frana quiescente con spessore globale di 4,0/5,0 ml che, probabilmente, raggiunge 7,0/8,0 ml di spessore nella porzione centrale dell'area del corpo di frana.

### ***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 alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli e alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alle Marne Varicolori di Villore sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i depositi antropici di riporto e 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. 9 misure HVSr di cui n. 6 classificate in classe A2 e n. 3 classificate in B2 si ricava una valutazione di qualità pari a 56,1 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Corezzo durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 6 misure di sismica passiva con metodo HVSr finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P130, P131, P132, P133, P134 e P135).

Nelle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSr

(prove P18, P19 e P20), n. 2 stese di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagini L1 e L2) e n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh (indagini P40 e P41).

Le indagini eseguite nella porzione a nord dell'abitato di Corezzo (prove P18, P130 e P131) non hanno generalmente mostrato la presenza di picchi di frequenza significativi (prove P130 e P131), ad eccezione della prova P18 che ha mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 3,12$ ) a 5,94 Hz.

Le prove eseguite nella porzione settentrionale dell'abitato (prove P19, P20 e P132) hanno generalmente riconosciuto alti contrasti di impedenza a ca. 10 Hz.

Non sempre, tuttavia, le ampiezze determinate per i picchi di risonanza rispecchiano fedelmente il comportamento sismico delle unità geologiche presenti in questa porzione di studio di Corezzo. Infatti dalle indagini di sismica attiva eseguite in corrispondenza del campo sportivo (L1 e L2), si desume che il rapporto delle velocità (Vs) tra le coperture e il substrato lapideo risulta essere generalmente inferiore a 2 o comunque oscillante intorno a tale valore. Ciò perché le velocità (Vs) del substrato, sia che si tratti della formazione delle Marne Varicolori di Villore, che dei membri della formazione delle Arenarie del Monte Falterona, sono sempre inferiori a 800 m/s e si attestano generalmente sui 500-700 m/s. Le coperture, invece, presentano Vs oscillanti tra circa 250 m/s e 400 m/s. Perciò il contrasto di impedenza sismica risulterebbe da queste indagini generalmente basso.

Le prove P133, P134 e P135, eseguite nella porzione meridionale dell'abitato di Corezzo sono risultate nella totalità prive di picchi di impedenza sismica.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- **1041(a)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Assenza di copertura alteritica (o spessori generalmente inferiori ai 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, per quanto riguarda il substrato lapideo stratificato (LPS) e alla formazione delle Marne Varicolori di Villore per il substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P106) 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, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,0 per tutti gli intervalli analizzati.

La zona viene individuata in corrispondenza del settore centrale e meridionale dell'abitato di Corezzo.

#### **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). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i... Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P133, P134 e P135) 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nella porzione settentrionale dell'area di indagine.

- **2002:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), dello spessore compreso tra 5,0 e 50,0 m, poggiante su Substrato lapideo stratificato (LPS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto, per quanto riguarda il substrato lapideo stratificato (LPS) e alla formazione delle Marne Varicolori di Villore per il substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P20) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo; inoltre, 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza del settore settentrionale dell'abitato di Corezzo.

- **2004:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli, per quanto riguarda il substrato lapideo stratificato (LPS) e alla formazione delle Marne Varicolori di Villore per il substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS).

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; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata ad ovest e sud dell'abitato di Corezzo.

- **2018:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un copertura di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli, per quanto riguarda il substrato lapideo stratificato (LPS) e alla formazione delle Marne Varicolori di Villore per il substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS).

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.

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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata a sud-ovest dell'abitato di Corezzo.

### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) e con alternanza di litotipi stratificato (ALS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Corezzo non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

### **DAMA**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'abitato di Dama è situato in zona di mezza costa di un versante esposto a sud ovest.

Dalle osservazioni di campagna si è accertata la presenza di una copertura costituita da detrito di versante su cui si imposta la gran parte della frazione abitata. Si tratta di materiali incoerenti eterogenei ed eterometrici, a granulometria prevalentemente grossolana, originatisi da processi di alterazione del substrato roccioso o per deformazione della coltre già esistente. Lo spessore è generalmente dell'ordine di qualche metro con indicazioni stratigraficamente accertate in cui tale coltre raggiunge gli 8,0 -10,0 m di spessore.

Il quadro delle coperture è completato da masse detritiche costituite essenzialmente da accumuli di frana quiescente che presentano caratteristiche di parziale disarticolazione.

Durante il rilevamento di un congruo intorno dell'area in esame si è potuto accertare che i terreni costituenti il substrato geologico sono riconducibili al Membro di Montalto della formazione delle Arenarie del Monte Falterona di età oligocenica. Si tratta di un flysch composto da un'alternanza di siltiti laminate, marne, arenarie fini ed arenarie calcaree, che costituisce l'ossatura dell'area di interesse.

La formazione si presenta talora fratturata e stratigraficamente piuttosto irregolare.

La formazione litoide presenta andamento con blande ondulazioni.

L'analisi degli aspetti geomorfologici dell'area rivela l'esistenza di estesi corpi di frana quiescente.

All'interno del tessuto urbano si rileva la presenza di coltri di materiale antropico il cui spessore, comunque, non supera i 2,0 m.

#### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Dama 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 stratigrafie da terebrazione di pozzi;
- n. 2 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Dama 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 sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato risulta costituito dalla alternanza dei termini prevalentemente marnosi, arenacei e siltitici della formazione di Monte Falterona – Membro di Montalto che presentano assetto giaciturale blandamente ondulato con tendenza al franapoggio inclinato quanto o leggermente meno del pendio.

Le coperture sono rappresentate da coltri di terreni detritici di versante con spessori variabili, quasi sicuramente risibili nel settore di monte verso Villa Pratolini ma cospicui ed importati nell'area di valle, con uno spessore di circa 10,0 ml. Il quadro è completato da coltri di frana quiescente il cui spessore può essere approssimabile a 3,0-6,0 m.

Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

### ***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 alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i depositi antropici di riporto e 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. 7 misure HVSR di cui n. 1 classificata in classe A1, n. 5 classificate in classe A2 e n. 1 classificata in B1 si ricava una valutazione di qualità pari a 54,8 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Dama durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 5 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P108, P109, P110, P111 e P112), oltre a n. 1 stesa di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagine L20).

Nelle delle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 2 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P29 e P30).

La prova P109 eseguita nella porzione settentrionale dell'area di indagine, a nord dell'abitato di Dama, ed eseguita in corrispondenza di coperture detritiche sul substrato lapideo ha evidenziato la presenza di un alto contrasto di impedenza sismica ( $A_0 = 3,23$ ) alla frequenza di 8,99 Hz.

La prova P108, eseguita nelle vicinanze della prova P109 ma in corrispondenza dell'affioramento del substrato lapideo non ha evidenziato l'esistenza di contrasti di impedenza sismica (spettro piatto con assenza di risonanza). Medesime risultanze sono state riconosciute anche dalle prove P110 e P111 eseguite poco a nord dell'abitato di Dama, in corrispondenza di una coltre di frana poggiate sul substrato lapideo, e dalla prova P112 eseguita nell'estrema porzione sud-orientale dell'abitato di Dama, in un settore dove è affiorante il substrato lapideo.

Presso la prova P111 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L20 che ha mostrato uno strato superficiale di qualche metro di spessore con  $V_s$  attorno ai 350 m/s poggiate su circa 15 m di materiale avente  $V_s$  di ca. 650 m/s, passante in profondità al bed-rock sismico avente velocità  $V_s > 1900$  m/s.

In corrispondenza dell'abitato di Dama sono state eseguite due misure di rumore (R23 e R24). Entrambe le misure sono state eseguite su depositi di copertura detritica. La misura P30, eseguita laddove è presente una coltre detritica più sottile (minore di 5,0 m), non ha evidenziato l'esistenza di contrasti di impedenza sismica (spettro piatto con assenza di risonanza). La misura P29, invece, realizzata più a valle della precedente e dove la coltre detritica presenta il maggiore spessore (fino a circa 10,0 m), ha evidenziato l'esistenza di un elevato contrasto di impedenza sismica per una frequenza di risonanza di 7,1 Hz, con ampiezza di 3,5. Tale contrasto è riconducibile al passaggio litologico tra il detrito di versante e il substrato roccioso.

### ***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). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P08 e P112) 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in gran parte dei rilievi posti attorno all'abitato di Dama.

- **2012**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P29 e P109) 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata principalmente in corrispondenza dell'abitato di Dama e in alcuni secondari settori lungo i versanti dei rilievi posti a nord dell'abitato medesimo.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Dama non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

#### **FRASSINETA**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

#### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'area su cui sorge la frazione di Frassineta è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili al Dominio Toscano – Unità di Monte Cervarola. In particolare la dorsale allungata in direzione nord-ovest/sud-est su cui sorge l'edificato è marcatamente caratterizzata dalla formazione delle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto che mostra mediamente un rapporto arenaria/pelite prossimo all'unità. L'assetto giaciturale mostra in media direzione di immersione degli strati verso ovest/sud-ovest con inclinazioni che variano generalmente tra 10° e 20° con locali situazioni di stratificazione suborizzontale. L'inclinazione degli strati diventa, invece, più elevata spostandoci verso est, sul versante a valle dell'area edificata, dove raggiunge valori di 50°. Ne risulta un

assetto giaciturale blandamente e localmente ondulato con assetto generale che varia da suborizzontale a reggipoggio.

Marginalmente all'abitato di Frassineta, sul lato orientale dell'agglomerato, affiora la facies ad olistostromi (FALa) caratterizzata da un'alternanza disordinata di livelli lapidei e pelitici.

La fascia centrale, su cui sorge l'abitato, è lambita sia sul margine meridionale che su quello settentrionale da vasti distretti interessati da dissesti gravitativi il cui stato di attività appare in parte attivo (in particolare si nota la presenza di due corpi di frana attivi a valle dell'abitato) ed in parte quiescente.

Il quadro generale è completato dalla presenza di una coltre di depositi di versante sottostante il margine orientale del Borgo e da una coltre di terreni di origine antropica, sul margine occidentale dell'edificato in prospicenze di alcuni annessi rurali.

Il quadro geomorfologico, all'interno della frazione, è completato dalla presenza di una serie di scarpate di erosione attive con altezze generalmente  $> 10$  ml nella porzione di versante che dall'edificio ecclesiastico scende lungo il versante. Nella porzione di versante a monte della piazzetta prospiciente la Chiesa si rinvencono scarpatine attive e/o vecchi fronti di manomissione antropica di altezza inferiore a 10 ml. Sono presenti inoltre zone di cresta a monte ed a valle dell'abitato.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una acclività medio-elevata dei versanti (maggiore  $15^\circ$ ), che risulta acuita in corrispondenza dell'abitato di Frassineta.

Di tali elementi, nel complesso, si deve tenere conto nella definizione delle MOPS prodromiche alla classificazione di pericolosità sismica del sito.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Frassineta 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 prospezione geofisica con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Frassineta sono inoltre state effettuate 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. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico risulta costituito dalla alternanza dei termini litoidi arenacei e pelitici della formazione delle Arenarie del Falterona – Membro di Montalto e delle Marne di Villore fra loro in sovrapposizione per contatto tettonico (sovrascorrimento). Lo stato di fratturazione degli ammassi appare generalmente significativo. Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

La principale coltre di materiali di copertura, nell'area del complesso scolastico/impianti sportivi, è costituita da materiale alteritico e coltre detritica di frana quiescente con spessore globale di 4,0/5,0 m che, probabilmente, raggiunge 7,0/8,0 m di spessore nella porzione centrale dell'area del corpo di frana.

### ***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 alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli e alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alle Marne Varicolori di Villore sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i depositi antropici di riporto e 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. 4 misure HVSR classificate in classe A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 39,2 che la colloca in classe di accettabilità C.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Frassineta durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P127, P128 e P129).

Nelle delle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 1 misura di sismica passiva con metodo HVSR (prova P31).

La totalità delle misure di rumore sismico con tecnica HVSR hanno mostrato l'assenza di potenziali frequenze di risonanza, in quanto la curva del rapporto H/V risultano, all'interno dell'intervallo di frequenza campionato, pressoché piatte o con assenza di picchi significativi.

### ***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). Copertura alteritica < 3,0 m,  $\alpha > 15^\circ$ . Basso c.i... Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P31, P127 e P128) 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza dell'abitato di Frassineta.

- **2012**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in un limitato settore posto a sud-est dell'abitato di Frassineta.

- **2099(b)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato con alternanza di litotipi fratturato / alterato (SFAL) con copertura alteritica < 3,0 m e  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato con alternanza di litotipi fratturato / alterato è riconducibile alla facies olistostromica delle Arenmarice del M. Falterona.

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.

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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nell'estrema porzione di nord-est dell'area di studio.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).



Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Frassineta non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

## **RIMBOCCHI**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'assetto geologico dell'area su cui si imposta l'abitato di Rimbocchi è quella di una zona di fondovalle, posta alla confluenza del Fosso di Corezzo nel Torrente Corsalone, con ampiezza della valle mediamente compresa fra 150,0 e 200,0 ml. Il corso del T. Corsalone si imposta in corrispondenza di una faglia incerta che mette a contatto i membri di Lonnano e di Montalto della formazione delle Arenarie del Falterona. Il Membro di Montalto, presente sul versante in destra idrografica del T. Corsalone mostra un assetto giaciturale mediamente a traverspoggio con direzione di immersione prevalente verso est ed inclinazione degli strati variabile fra 20° e 30°. Il Membro di Lonnano si rinviene sul versante in sinistra idrografica del T. Corsalone ed appare con frequenza sovrastato da terreni riconducibili a coltri di copertura riconducibili a cumuli di frana (quiescente), da detrito di versante e da alluvioni terrazzate.

Nella porzione pianeggiante di fondovalle, ove si imposta l'abitato di Rimbocchi, si rileva la presenza dei depositi alluvionali attuali del Fosso di Corezzo e Torrente Corsalone giacenti su terreni granulari riconducibili a due ordini di terrazzi fluviali. Il quadro dei depositi recenti, nella fascia pedemontana in destra idrografica del T. Corsalone su cui sorge il nucleo abitato, è completata da una vasta porzione subpianeggiante in cui si rileva la presenza di depositi eluvio-colluviali e detrito di versante.

Si tratta generalmente di materiali incoerenti eterogenei ed eterometrici con granulometria prevalentemente grossolana. Lo spessore, nel caso dei depositi di versante ed eluvio-colluviali, è dell'ordine di qualche metro, mentre nel caso dei depositi alluvionali si possono raggiungere spessori maggiori di 10,0 m (fino a 15,0 m circa). Il quadro è completato dalla presenza di coltri di terreni di riporto in corrispondenza della spalla del ponte sul Torrente Corezzo e dei manufatti agricoli posti ad est della frazione stessa, con spessori, comunque, contenuti entro 2,0 ml.

Il quadro geomorfologico è completato da tratti di orlo di scarpata fluviale lungo il T. Corsalone ed il Fosso di Corezzo, da scarpate con altezza inferiore a 10 ml sul versante posto ad est dell'urbanizzato e da una zona di cresta che in prossimità del bivio per Biforco (loc. Capanno a quota 555,0 m s.l.m.) risale il versante fino a quota 610,0 m s.l.m. con andamento planimetrico convesso rivolto verso Rimbocchi.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Rimbocchi 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 stratigrafia da terebrazione di pozzo;
- n. 2 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Rimbocchi sono inoltre state effettuate 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 sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh;
- n. 1 indagine di sismica attiva congiunta MASW-ESAC;
- n. 4 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico risulta costituito dalla alternanza dei termini litoidi arenacei e pelitici della formazione delle Arenarie del Falterona – Membro di Montalto e Membro di Lonnano fra loro in contatto tettonico (per faglia presunta) all'incirca coincidente con l'andamento del corso del T. Corsalone. Lo stato di fratturazione degli ammassi appare generalmente significativo. Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

Tale substrato “geologico” appare sormontato dal materasso alluvionale costituito da due ordini di alluvioni terrazzate e da una coltre di alluvioni recenti del T. Corsalone e Fosso di Corezzo. Nel pianoro definito alla confluenza dei due citati corsi d'acqua lo spessore del materasso ghiaioso-sabbioso è di circa 15,0 ml.

Sul margine della vallecchia i depositi terrazzati risultano sormontati dalla coltre di materiali eluvio-colluviali, su cui è impostata la maggior parte dell'abitato di Rimbocchi, e da vero e proprio detrito di versante; con spessori probabilmente contenuti entro 4,0/5,0 ml.

### ***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 GPes (Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di ambiente genetico fluvio-lacustre – argine/barre/canali) i depositi alluvionali attivi, 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 GMes (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i depositi alluvionali inattivi maggiormente recenti, e SWec (Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di ambiente genetico di versante – eluvi/colluvi).

Per quanto riguarda i terreni del substrato geologico sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- i terreni di natura litoide appartenenti alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli e alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i depositi antropici di riporto e 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. 6 misure HVSR di cui n. 5 classificate in classe A1 e n. 1 classificata in A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 56,1 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Rimbocchi durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 4 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P17, P18, P19 e P20), oltre a n. 1 prova sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh (indagine L18) e n. 1 indagine di sismica attiva congiunta MASW-ESAC (indagini L14 e P156).

Nelle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Chiusi della Verna e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 2 misure di sismica passiva con metodo HVSR (prove P32 e P33).

Suddette misure sono state eseguite nella totalità nei settori di fondovalle o pede-collinari dove sono presenti spessori di depositi alluvionali, eluvio-colluviali o detritici sul substrato lapideo rappresentato dal Membro di Montalto delle Arenarie del Monte Falterona.

Le indagini (P32 e P117) eseguite in corrispondenza dei depositi alluvionali di fondovalle hanno presentato alti contrasti di impedenza (A0 rispettivamente di 4,2 e 3,12) a frequenze comprese tra 6,4 e 6,8 Hz.

Dalle misure si evince che il limite stratigrafico esistente tra la copertura alluvionale e il substrato litoide costituisce un limite ad elevato contrasto di impedenza sismica. Il substrato geologico, rappresentato dal Membro di Montalto assume, molto probabilmente, comportamento di “substrato sismico”, in quanto i depositi alluvionali, pur costituiti prevalentemente da materiale grossolano (ghiaie), manifestano amplificazione sismica al passaggio stratigrafico con le sottostanti arenarie.

Nel fondovalle sono state eseguite anche la stesa di sismica a rifrazione L18 e l'indagine di sismica attiva congiunta Masw-Esac (indagini L14 e P156).

L'indagine congiunta L14 e P156 ha registrato velocità delle onde sismiche inferiori a 600 m/s fino alla profondità di ca. 19 m dal p.c. e successivamente velocità di ca. 800 m/s.

Mentre la stesa di sismica a rifrazione L18 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di ca. 5,0 m con velocità delle onde Sh comprese tra 344 e 379 m/s, un secondo sismostrato dello spessore di ca. 7,0 m con velocità delle onde Sh comprese tra 540 e 570 m/s e un terzo sismostrato, rappresentativo di un bed-rock sismico avente velocità delle onde Sh > 950 m/s.

La misura P119 eseguita, invece, in presenza dei depositi eluvio-colluviali ha messo in luce l'esistenza di un limite a basso contrasto di impedenza sismica tra i depositi stessi e il sottostante substrato. Ciò è legato probabilmente allo spessore che risulta minore rispetto a quello dei depositi alluvionali, assottigliandosi verso la zona di bordo valle.

Infine, le misure P118 e P120 eseguite in corrispondenza di depositi detritici hanno mostrato contrasti di frequenza variabili (A0 compresi tra 2,23 e 3,02) a frequenze di 10,06 Hz e 6,82 Hz.

### ***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). 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 Montalto.

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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei rilievi posti nella porzione settentrionale dell'area di indagine.

- **2003**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica < 3,0 m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano.

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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza dei rilievi posti nella porzione meridionale dell'area di indagine, in sinistra idraulica del corso del Torrente Corsalone.

- **2008**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano.

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in alcuni settori lungo il corso del Torrente Corsalone.

- **2011**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura eluvio-colluviale di natura sabbioso ghiaiosa (SW) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Talora presenza di riporti. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto.

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, di 1,2 per l'intervallo 0,4-0,8s e 1,1 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in alcuni settori lungo il corso del Torrente Corsalone.

- **2012**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P120) 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 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, di 1,2 per l'intervallo 0,4-0,8s e 1,1 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in alcuni settori a nord dell'abitato di Rimbocchi.

- **2013:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale di natura ghiaioso sabbiosa (GP) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto.

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, di 1,2 per l'intervallo 0,4-0,8s e 1,1 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in alcuni settori lungo il corso del Torrente Corsalone e lungo il Fosso di Corezzo.

- **2014:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale e di versante di natura ghiaioso limosa (GM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano.

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza di alcuni limitati settori nella porzione pedemontana meridionale dell'area di indagine, in sinistra idraulica del corso del Torrente Corsalone.

- **2015:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato lapideo stratificato (LPS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P32 e P117) 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 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, di 1,2 per l'intervallo 0,4-0,8s e 1,1 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza della maggior parte dei settori di fondovalle, dove sorge inoltre l'abitato di Rimbocchi.

- **2016:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di copertura alluvionale di natura sabbioso limosa (SM) dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Possibile alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano.

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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s e di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza di alcuni limitati settori degli areali di fondovalle.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Rimbocchi non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

#### **VAL DELLA META**

(vedi tavv. G.05, G.06, G.07, G.08, G.10, G.11 e G.12 in scala 1:5.000 e G.14 in scala 1:2.000)

##### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

I terreni riscontrati nell'intorno dell'abitato di Val della Meta sono riconducibili al Dominio Toscano – Unità di Monte Cervarola. In particolare spostandosi dai quadranti occidentali a quelli orientali del settore di indagine si rinviene la formazione delle Arenarie di Monte Falterona, sia con il Membro di Montalto nella sua litofacies tipica arenaceo pelitica che con il Membro di Montalto nella sua litofacies argillitica, e la formazione della Marne Varicolori di Villore.

Il Membro di Montalto in facies arenaceo pelitica mostra un generale assetto immergente, con inclinazioni variabili tra 10° e 20°, verso il quadrante sud-occidentale, sebbene, talora vi siano immersioni verso i quadranti settentrionali, conferendo all'intero ammasso roccioso un con blande ondulazioni.

Il Membro di Montalto in facies argillitica presenta generalmente un medesimo assetto ma, talora con maggiori inclinazioni che possono raggiungere i 40°.

Anche le Marne Varicolori di Villore presentano giaciture verso sud-ovest con inclinazioni variabili tra 5° e 40°.

Il quadro geologico è completato dalle coltri di copertura riconducibili a principalmente a coltri di materiali di frana quiescenti, alcune delle quali interessano direttamente l'abitato di Val della Meta.

Il quadro geomorfologico è completato da una diffusa distribuzione di scarpatine con altezza generalmente contenuta fra 5,0 e 10,0 ml.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'abitato di Val della Meta sono stati ricercati tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale e nella banca dati ISPRA. Tuttavia non risultano disponibili dati geognostici e/o sismici nelle banche dati consultate né indicazioni del caso negli archivi comunali (edilizia privata e lavori pubblici). Così come l'area in esame non è risultata sottoposta agli studi e alle indagini nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In corrispondenza dell'abitato di Val della Meta sono, invece, state effettuate 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 Masw;
- n. 7 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico risulta costituito dalla presenza dei termini litoidi arenacei e pelitici della formazione delle Arenarie del Falterona – Membro di Montalto (in facies arenaceo pelitica e in facies argillitica) e delle Marne di Villore fra loro in sovrapposizione per contatto stratigrafico. Lo stato di fratturazione degli ammassi appare talora significativo. Nelle aree in cui è stata rilevata la presenza della formazione litoide costituente il substrato si segnala, generalmente, la presenza di una coltre di terreni di alterazione della formazione stessa con spessori variabili, ma contenuti entro i 3,0 ml.

La principale coltre di materiali di copertura è costituita da materiale alteritico e coltre detritica di frana quiescente con spessore globale di 4,0/5,0 ml che, talora può raggiungere i 7,0/8,0 ml di spessore nella porzione centrale dell'area dei corpi di frana.

### ***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 alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (litofacies arenaceo-pelitica) sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alle alle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (litofacies argillitica) e alle Marne Varicolori di Villore sono stati inseriti nell'unità geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, 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. 7 misure HVSR di cui n. 1 classificata in classe A1 e n. 6 classificate in A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 50,7 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Val della Meta durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 e 3 sono state eseguite n. 7 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P102, P103, P122, P123, P124, P125 e P126), oltre a n. 1 indagine sismica di tipo Masw (L21).

La totalità delle prove, ad eccezione dell'indagine P124 ( $f_0 = 8,1$  Hz e  $A_0 = 2,53$ ), non hanno mostrato frequenze di risonanza relative a picchi principali.

L'indagine Masw L21 ha registrato la presenza di ca. 4,0 m di spessore aventi Vs comprese tra 300 e 350 m/s, poggianti su ca. 6,0 m di spessore con Vs di ca. 400 – 450 m/s. A partire da ca. 10,0 m dal p.c. le velocità delle onde Sh aumentano a circa 700 m/s.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **2003:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto in facies argillitica e delle Marne Varicolori di Villore.

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P102, P103, P122, P123, P124, P125 e P126) 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, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in corrispondenza dell'abitato di Val della Meta e negli interi areali orientali dell'area di studio.

- **2004:** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato (LPS), dello spessore compreso tra 5,0 e 80,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS). Copertura alteritica  $< 3,0$  m,  $i > 15^\circ$ . Basso c.i.. Il substrato lapideo stratificato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto in facies arenaceo-pelitica, mentre il substrato con alternanza di litotipi stratificato è riferibile alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto in facies argillitica.

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; tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili 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 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori occidentali dell'area di indagine.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**



Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....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 e sui valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra le coltri detritiche (coltri di frana, e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

A queste zone vengono attribuiti i valori dei fattori di amplificazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate (cautelativamente i valori più elevati nel caso di contatto tra due zone a diverso grado di amplificazione).

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine e delle considerazioni riportate al paragrafo 2.6, nell'areale di Val della Meta 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 Chiusi della Verna 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).
- Comune di Chiusi della Verna (2012) – Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.
- 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 oh ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

## 11. ALLEGATI

- Tav. G.01 Carta delle indagini – Chiusi della Verna, Corsalone (scala 1:5.000)
- Tav. G.02 Carta geologico - tecnica – Chiusi della Verna, Corsalone (scala 1:5.000)
- Tav. G.03 Carta delle frequenze – Chiusi della Verna, Corsalone (scala 1:5.000)
- Tav. G.04 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Chiusi della Verna, Corsalone (scala 1:5.000)
- Tav. G.05 Carta delle indagini – Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.06 Carta geologico - tecnica – Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.07 Carta delle frequenze – Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.08 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.09 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 - Chiusi della Verna, Corsalone (scala 1:5.000)
- Tav. G.10 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 - Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.11 Carta di Microzonazione Sismica FA04-08 - Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.12 Carta di Microzonazione Sismica FA07-11 - Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:5.000)
- Tav. G.13 Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops – Chiusi della Verna, Corsalone (scala 1:2.000)
- Tav. G.14 Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops – Biforco, Compito, Corezzo, Dama, Frassineta, Rimbocchi, Val della Meta (scala 1:2.000)
- Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)
- Microzonazione sismica di livello 1 – Indagini sismiche- GeoEcho
- Microzonazione sismica di livello 2 e 3 – Relazione Indagini geofisiche – Dott. Pieroni e Dott. Puccetti
- Microzonazione sismica di livello 2 e 3 – Report Sondaggi (schede stratigrafiche e documentazione fotografica)

Firenze li 24.10.2022

---

Prof. Geol. Eros Aiello

---

Dott. Geol. Gabriele Grandini