



**PROTEZIONE CIVILE**  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile

**REGIONE  
 TOSCANA**



**CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME**

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

**Regione Toscana**

**Comune di Pontassieve (FI)**



**Regione**

Regione Toscana - Settore Sismica

**Soggetto realizzatore:**

Comune di Pontassieve/Servizio  
 Assetto del Territorio/RUP  
 Dott. Fabio Carli

**Professionisti incaricati:**

Dott. Geol. Eros Aiello  
 Dott. Geol. Gabriele Grandini  
 Dott. Geol. Cristian Pieroni  
 Dott. Geol. Francesco Puccetti



Via Andrea del Colonna, 4 - 50132 Firenze  
 tel. 055/711303, 055/719984, fax 055/6022029  
 info@geeoeprogetti.com

**Data**

Novembre 2019

## 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.....                                                                                   | 10  |
| 2.3 MODELLAZIONE SISMICA.....                                                                              | 15  |
| 2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....                                                                             | 18  |
| 2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO.....                                              | 25  |
| 2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'.....                                              | 28  |
| 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....                                                       | 34  |
| 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....                                                            | 34  |
| 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....                                                | 35  |
| 3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....                                                                      | 38  |
| 3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....                                                                   | 41  |
| 3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....                                           | 44  |
| 3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....                                                                           | 45  |
| 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....                                                                        | 46  |
| 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....                                                                             | 53  |
| 6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....                                                                       | 54  |
| 7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....                                                            | 55  |
| 8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....                                                                             | 56  |
| 8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....                                                             | 64  |
| 8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....                                                      | 64  |
| 8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....                                             | 66  |
| 8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....                                      | 71  |
| 8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA.....                                                                   | 72  |
| 8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....                                                           | 76  |
| 8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI di TERRITORIO INDAGATE..... | 94  |
| 9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....                                      | 138 |
| 10. BIBLIOGRAFIA.....                                                                                      | 139 |
| 11. ALLEGATI.....                                                                                          | 140 |

# 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 Pontassieve nella graduatoria dei comuni, per l'annualità 2015, 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) 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 Pontassieve, con determinazione n. 604 del 20.03.2019, individuava nella Geo Eco Progetti il “soggetto realizzatore” delle indagini in questione da svolgersi nelle more e modalità previste dalle precipe specifiche tecniche regionali approvate con la citata Del. G.R.T. n. 144 del 23.02.2015 “*Approvazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*” e con esplicito riferimento agli “*Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica*” (in seguito denominati ICMS) – GdLDPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

### 1.1 METODOLOGIA

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

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

In merito ai tre citati punti si dettaglia quanto segue:

#### 1) *Indicazione delle aree di indagine*

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

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

- capoluogo di Pontassieve
- frazione di Sieci
- frazione di Molino del Piano

- frazione di Montebonello
- frazione di Doccia
- frazione di Acone
- frazione di Monteloro
- frazione di Santa Brigida

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 di particolare interesse 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 in scala 1:10.000 realizzate nell’ambito del supporto geologico tecnico al vigente Piano Strutturale del Comune di Pontassieve per l'intero territorio comunale. 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 -**

- n. 15 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde SH, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo, per caratterizzare dinamicamente sia la copertura presente sia il substrato roccioso ed individuarne la morfologia del tetto del substrato roccioso;
- n. 13 prove Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la categoria sismica di sottosuolo secondo le N.T.C. 2008;
- n. 2 prove ESAC per determinazione di profili di velocità  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 2 indagini sismiche in foro di tipo Down-hole per la determinazione diretta dei profili di velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 82 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 (tempo di esposizione non inferiore a 40 minuti).

## CAMPAGNA DI INDAGINI PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISIMICA DI LIVELLO 2 – MAGGIO 2019

- n. 4 linee di sismica 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, per caratterizzare dinamicamente sia la copertura presente sia il substrato roccioso ed individuarne la morfologia del tetto del substrato roccioso.

### 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).

In **rosso** vengono riportati gli elaborati e i tematismi appositamente realizzati per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 2, mentre in **blu** i tematismi e gli elaborati redatti per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, precedentemente approvati e rieditati per il presente studio.

| Sigla Elaborato | Titolo                                                           | Scala              | Data di emissione |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|
| <b>G.0</b>      | <b>Relazione illustrativa</b>                                    |                    | novembre 2019     |
|                 | <b>Pontassieve (capoluogo)</b>                                   |                    |                   |
| <b>G.1</b>      | Carta delle indagini                                             | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.2</b>      | Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica            | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.3</b>      | Carta delle frequenze                                            | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.4</b>      | Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica            | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.13</b>     | Carta di Microzonazione Sismica – FH01-05                        | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.16</b>     | Carta di Microzonazione Sismica – FH05-1                         | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.19</b>     | Carta di Microzonazione Sismica – FPGA                           | 1:5.000            | novembre 2019     |
|                 | <b>Molin del Piano – Le Sieci</b>                                |                    |                   |
| <b>G.5</b>      | Carta delle indagini                                             | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.6</b>      | Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica            | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.7</b>      | Carta delle frequenze                                            | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.8</b>      | Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica            | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.14</b>     | Carta di Microzonazione Sismica – FH01-05                        | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.17</b>     | Carta di Microzonazione Sismica – FH05-1                         | 1:5.000            | novembre 2019     |
| <b>G.20</b>     | Carta di Microzonazione Sismica – FPGA                           | 1:5.000            | novembre 2019     |
|                 | <b>Monteloro – Acone – Montebonello – Doccia – Santa Brigida</b> |                    |                   |
| <b>G.9</b>      | Carta delle indagini                                             | 1:5.000<br>1:2.000 | novembre 2019     |
| <b>G.10</b>     | Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica            | 1:5.000<br>1:2.000 | novembre 2019     |
| <b>G.11</b>     | Carta delle frequenze                                            | 1:5.000<br>1:2.000 | novembre 2019     |
| <b>G.12</b>     | Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica            | 1:5.000            | novembre 2019     |

|                                                                                                                                                                                   |                                                                                                       |         |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|
|                                                                                                                                                                                   |                                                                                                       | 1:2.000 |               |
| <b>G.15</b>                                                                                                                                                                       | Carta di Microzonazione Sismica – FH01-05                                                             | 1:5.000 | novembre 2019 |
| <b>G.18</b>                                                                                                                                                                       | Carta di Microzonazione Sismica – FH05-1                                                              | 1:5.000 | novembre 2019 |
| <b>G.21</b>                                                                                                                                                                       | Carta di Microzonazione Sismica – FPGA                                                                | 1:5.000 | novembre 2019 |
|                                                                                                                                                                                   | <b>Sezioni geologico tecniche</b>                                                                     |         |               |
| <b>G.22</b>                                                                                                                                                                       | Sezioni geologico tecniche con indicazioni zone MOPS                                                  | 1:2.000 | novembre 2019 |
|                                                                                                                                                                                   |                                                                                                       |         |               |
| <b>Indagini geofisiche integrate di caratterizzazione sismica propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica e MOPS – eseguite dalla Ditta ENKI s.r.l.</b> |                                                                                                       |         |               |
|                                                                                                                                                                                   | Relazione tecnica interpretativa sulle indagini geofisiche per la microzonazione sismica di livello 1 |         | luglio 2017   |
|                                                                                                                                                                                   | Tavv. 01A e 01B – Carta delle indagini                                                                | 1:5.000 | luglio 2017   |
|                                                                                                                                                                                   | Tavv. 02A e 02B – Carta delle frequenze                                                               | 1:5.000 | luglio 2017   |
|                                                                                                                                                                                   | Tavv. 03A, 03B, 03C e 03D – Carta di dettaglio delle indagini                                         | 1:500   | luglio 2017   |
|                                                                                                                                                                                   | All. 3 – Acquisizioni Microtremori                                                                    |         | luglio 2017   |
|                                                                                                                                                                                   | Relazione tecnica interpretativa sulle indagini geofisiche per la microzonazione sismica di livello 2 |         | maggio 2019   |
|                                                                                                                                                                                   | Tav. 01 – Carta delle indagini                                                                        | 1:5.000 | maggio 2019   |
|                                                                                                                                                                                   | Tav. 02 – Carta di dettaglio indagini                                                                 | 1:500   | maggio 2019   |

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 Pontassieve, ai sensi del Regolamento Regionale n. 53/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.

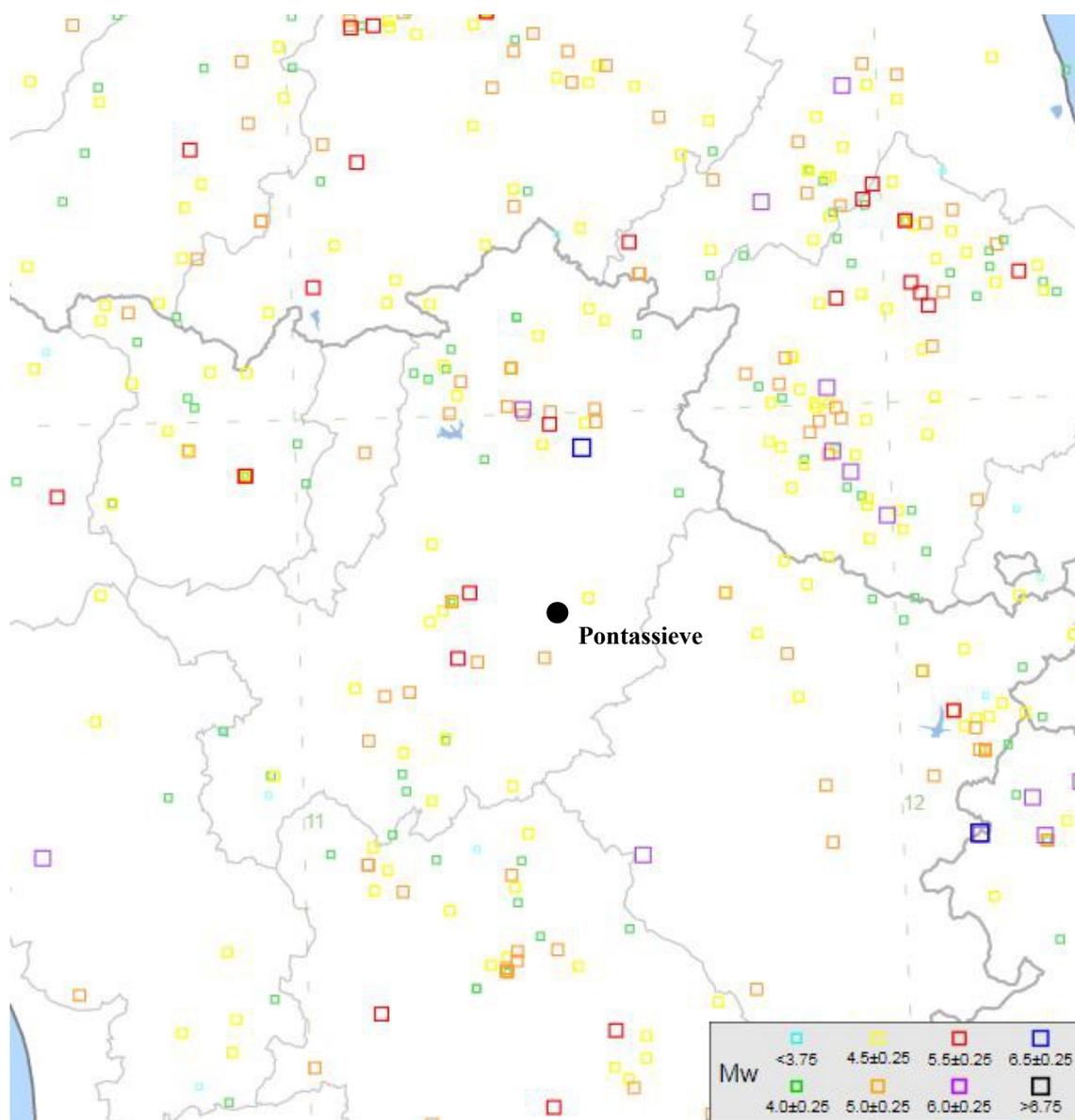
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all’interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell’art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia “shape” che “pdf”.

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

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

### 2.1 SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità storica del Comune di Pontassieve è stata ricostruita con la consultazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>).



*Localizzazione degli eventi macrosismici a livello regionale nel territorio circostante il Comune di Pontassieve (Periodo 1000 – 2014)*

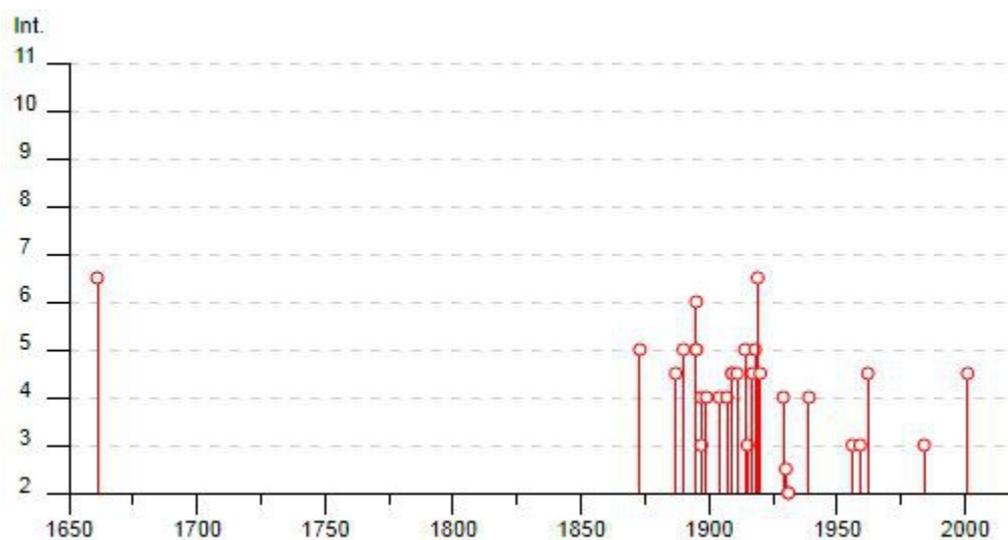
In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Pontassieve sono riconducibili a n. 35 eventi sismici, verificatisi dal 1661 al 2005, con vario grado di intensità sismica. (cfr. Database Macrosismico Italiano DBMI15 - Release v1.5 - Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V.,

Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

| Effetti | In occasione del terremoto del |      |    |    |    |      |                          |      |      |      |
|---------|--------------------------------|------|----|----|----|------|--------------------------|------|------|------|
| Int.    | Anno                           | Me   | Gi | Ho | Mi | Se   | Area epicentrale         | NMDP | Io   | Mw   |
| 6-7     | <a href="#">🔗</a>              | 1661 | 03 | 22 | 12 | 50   | Appennino forlivese      | 79   | 9    | 6.05 |
| 5       | <a href="#">🔗</a>              | 1873 | 03 | 12 | 20 | 04   | Appennino marchigiano    | 196  | 8    | 5.85 |
| F       | <a href="#">🔗</a>              | 1879 | 04 | 27 | 04 | 06   | Appennino tosco-emiliano | 20   | 7    | 5.03 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1887 | 11 | 14 | 05 | 48 0 | Fiorentino               | 101  | 6    | 4.47 |
| 5       | <a href="#">🔗</a>              | 1890 | 02 | 15 | 02 | 35 0 | Valdelsa                 | 12   | 5    | 4.52 |
| 6       | <a href="#">🔗</a>              | 1895 | 05 | 18 | 19 | 55 1 | Fiorentino               | 401  | 8    | 5.50 |
| 5       | <a href="#">🔗</a>              | 1895 | 06 | 06 | 00 | 35 0 | Fiorentino               | 29   | 5-6  | 4.55 |
| 5       | <a href="#">🔗</a>              | 1895 | 10 | 25 | 00 | 24 5 | Chianti                  | 36   | 5-6  | 4.51 |
| 4       | <a href="#">🔗</a>              | 1897 | 09 | 06 | 03 | 10 4 | Valdarno inferiore       | 104  | 5-6  | 4.59 |
| 3       | <a href="#">🔗</a>              | 1897 | 12 | 18 | 07 | 24 2 | Alta Valtiberina         | 132  | 7    | 5.09 |
| 4       | <a href="#">🔗</a>              | 1899 | 06 | 26 | 23 | 17 2 | Valle del Bisenzio       | 138  | 7    | 5.02 |
| 4       | <a href="#">🔗</a>              | 1904 | 11 | 17 | 05 | 02   | Pistoiese                | 204  | 7    | 5.10 |
| 4       | <a href="#">🔗</a>              | 1907 | 12 | 20 | 10 | 29 1 | Chianti                  | 35   | 6    | 4.44 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1909 | 01 | 13 | 00 | 45   | Emilia Romagna orientale | 867  | 6-7  | 5.36 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1909 | 08 | 25 | 00 | 22   | Crete Senesi             | 259  | 7-8  | 5.34 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1911 | 09 | 13 | 22 | 29 0 | Chianti                  | 115  | 7    | 5.08 |
| 5       | <a href="#">🔗</a>              | 1914 | 10 | 27 | 09 | 22   | Lucchesia                | 660  | 7    | 5.63 |
| 3       | <a href="#">🔗</a>              | 1915 | 01 | 13 | 06 | 52 4 | Marsica                  | 1041 | 11   | 7.08 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1917 | 04 | 26 | 09 | 35 5 | Alta Valtiberina         | 134  | 9-10 | 5.99 |
| 5       | <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 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1920 | 09 | 07 | 05 | 55 4 | Garfagnana               | 750  | 10   | 6.53 |
| 4       | <a href="#">🔗</a>              | 1929 | 07 | 18 | 21 | 02   | Mugello                  | 56   | 6-7  | 4.96 |
| 2-3     | <a href="#">🔗</a>              | 1930 | 10 | 30 | 07 | 13   | Senigallia               | 268  | 8    | 5.83 |
| 2       | <a href="#">🔗</a>              | 1931 | 09 | 05 | 01 | 25 5 | Mugello                  | 28   | 6    | 4.88 |
| 2       | <a href="#">🔗</a>              | 1931 | 12 | 15 | 03 | 23   | Mugello                  | 35   | 6    | 4.62 |
| 4       | <a href="#">🔗</a>              | 1939 | 02 | 11 | 11 | 17   | Mugello                  | 31   | 7    | 5.01 |
| NF      | <a href="#">🔗</a>              | 1956 | 04 | 26 | 03 | 00 0 | Appennino bolognese      | 89   | 6    | 4.74 |
| 3       | <a href="#">🔗</a>              | 1956 | 05 | 26 | 18 | 40   | Appennino forlivese      | 76   | 7    | 4.99 |
| 3       | <a href="#">🔗</a>              | 1959 | 03 | 24 | 10 | 24   | Fiorentino               | 28   | 7    | 4.85 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 1962 | 09 | 16 | 14 | 49 4 | Chianti                  | 19   | 6    | 4.54 |
| NF      | <a href="#">🔗</a>              | 1970 | 02 | 09 | 07 | 39   | Appennino forlivese      | 30   | 5-6  | 4.50 |
| 3       | <a href="#">🔗</a>              | 1984 | 04 | 29 | 05 | 02 5 | Umbria settentrionale    | 709  | 7    | 5.62 |
| 4-5     | <a href="#">🔗</a>              | 2001 | 11 | 26 | 00 | 56 5 | Casentino                | 211  | 5-6  | 4.63 |
| NF      | <a href="#">🔗</a>              | 2005 | 07 | 15 | 15 | 17 1 | Forlivese                | 173  | 4-5  | 4.29 |

*Eventi macrosismici riportati nel DBMI15*

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 6-7 MCS nei terremoti avvenuti nell'Appennino Forlivese nel 1661 (Mw = 6,05) e nel Mugello nel 1919 (Mw = 6,36).



*Distribuzione temporale ed intensità degli eventi macrosismici nel periodo 1650-2006*

Analizzando il catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, 2008) si osserva che il territorio del Comune di Pontassieve si colloca a sud-ovest (a una distanza di circa 13 km) dell'area sismogenetica composite codificata come ITCS037 “Mugello-Città di Castello-Leonessa”, caratterizzata dai seguenti parametri:

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

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

Cataloghi storici e strumentali mostrano terremoti (magnitudo  $4.5 < Mw < 5.0$ ) 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, Spoletino).

Relativamente alle Sorgenti Sismogenetiche Individuali (Individual Seismogenic Sources), all'interno della suddetta area sismogenetica composite ITCS037 “Mugello-Città di Castello-Leonessa”, si rileva la struttura codificata come ITIS087 “Mugello West” con le caratteristiche principali di cui alla tabella seguente:

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| Strike (angolo rispetto al nord): | 301° |
|-----------------------------------|------|

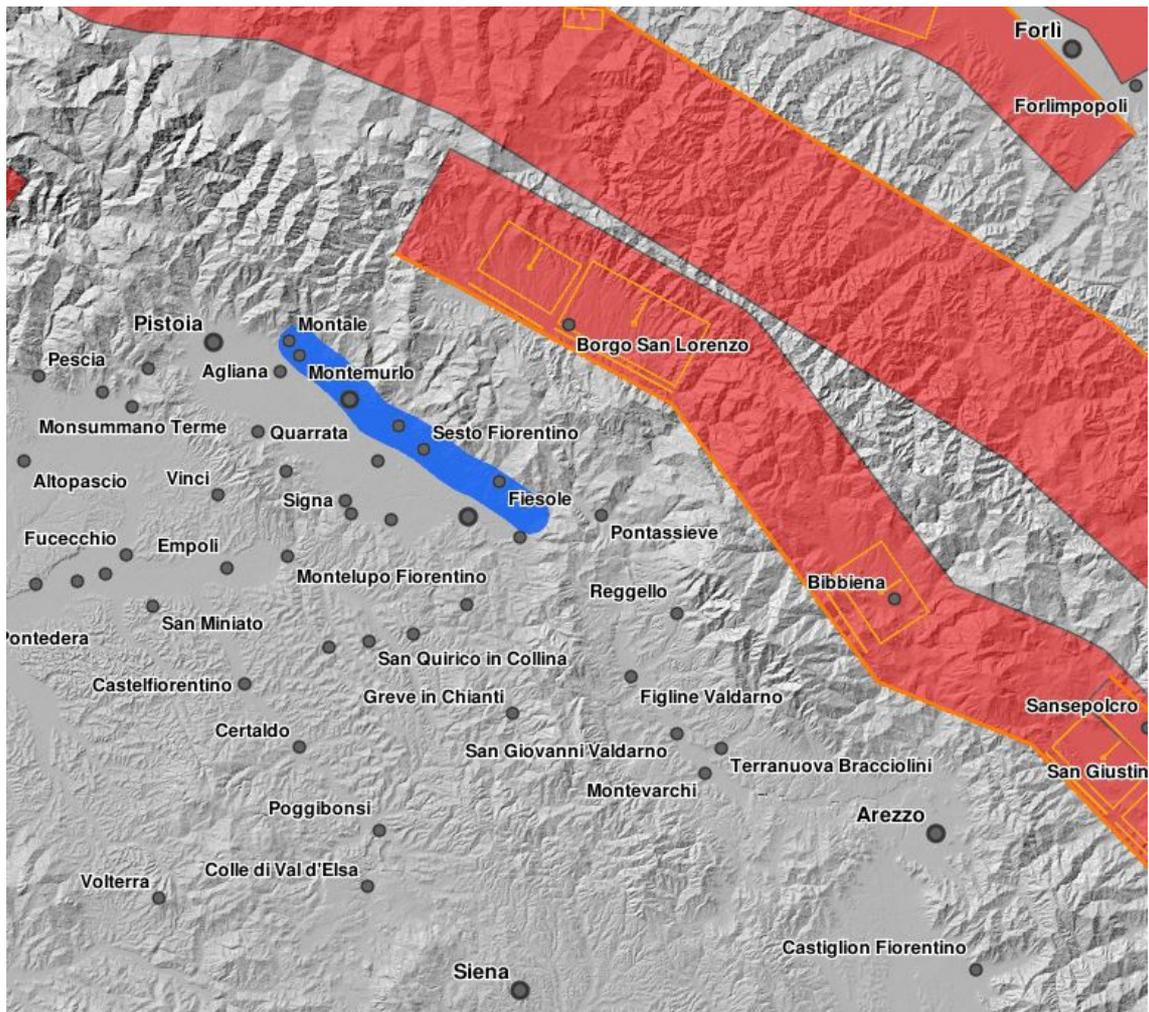
|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| Dip (inclinazione rispetto al piano campagna): | 30°          |
| Profondità min - max:                          | 1,0 – 4,5 km |
| Magnitudo massima (Mw):                        | 5,9          |

e la struttura codificata come ITIS086 “Mugello East” con le caratteristiche principali di cui alla tabella seguente:

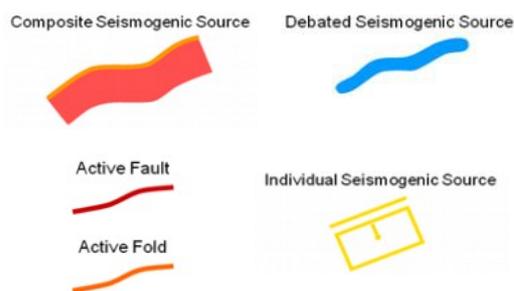
|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| Strike (angolo rispetto al nord):              | 298°         |
| Dip (inclinazione rispetto al piano campagna): | 40°          |
| Profondità min - max:                          | 0,6 – 6,9 km |
| Magnitudo massima (Mw):                        | 6,2          |

Dal medesimo catalogo si riconosce, inoltre, la presenza nel settore in esame di una area sismogenetica incerta codificata come ITDS015 “Prato - Fiesole Fault System”, che corre con andamento appenninico dall'area di Montale a quella di Bagno a Ripoli.

Le aree sismogenetiche incerte sono quelle aree caratterizzate dalla presenza di faglie potenzialmente attive, sulla scorta dei dati di letteratura, ma che non sono considerate abbastanza affidabili da includerle con certezza nelle aree sismogenetiche certe, in quanto: faglie per cui sono fornite solo minime evidenze superficiali; faglie basate su evidenze geologiche ambigue; faglie di cui ci sono visioni contrastanti in letteratura; faglie che ricadono in zone a sismicità bassa o molto bassa; faglie le cui caratteristiche sono in aperto contrasto con quelle dei sistemi di faglie vicini e di conoscenza più approfondita.



*Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0*



*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 Pontassieve è inserito in Zona 2 con i seguenti parametri :

|      |                                                                                                       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zona | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)<br>(ag/g) |
| 2    | <b>0,25</b>                                                                                           |

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 gradualità, 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 *ag* 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 *ag*.

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 Pontassieve è stato inserito in zona sismica 3S, mantenendo lo stesso livello di protezione della 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 Pontassieve passa da zona 3S a **zona 3 nella più recente classificazione regionale**.

#### ***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.

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.

Nel caso specifico  **$VN = 50$  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.  $CU = 2.0$ ;

Nel caso in esame 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 qui vale:

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

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

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

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

Gli stati limite di esercizio sono:

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

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

Gli stati limite ultimi sono:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

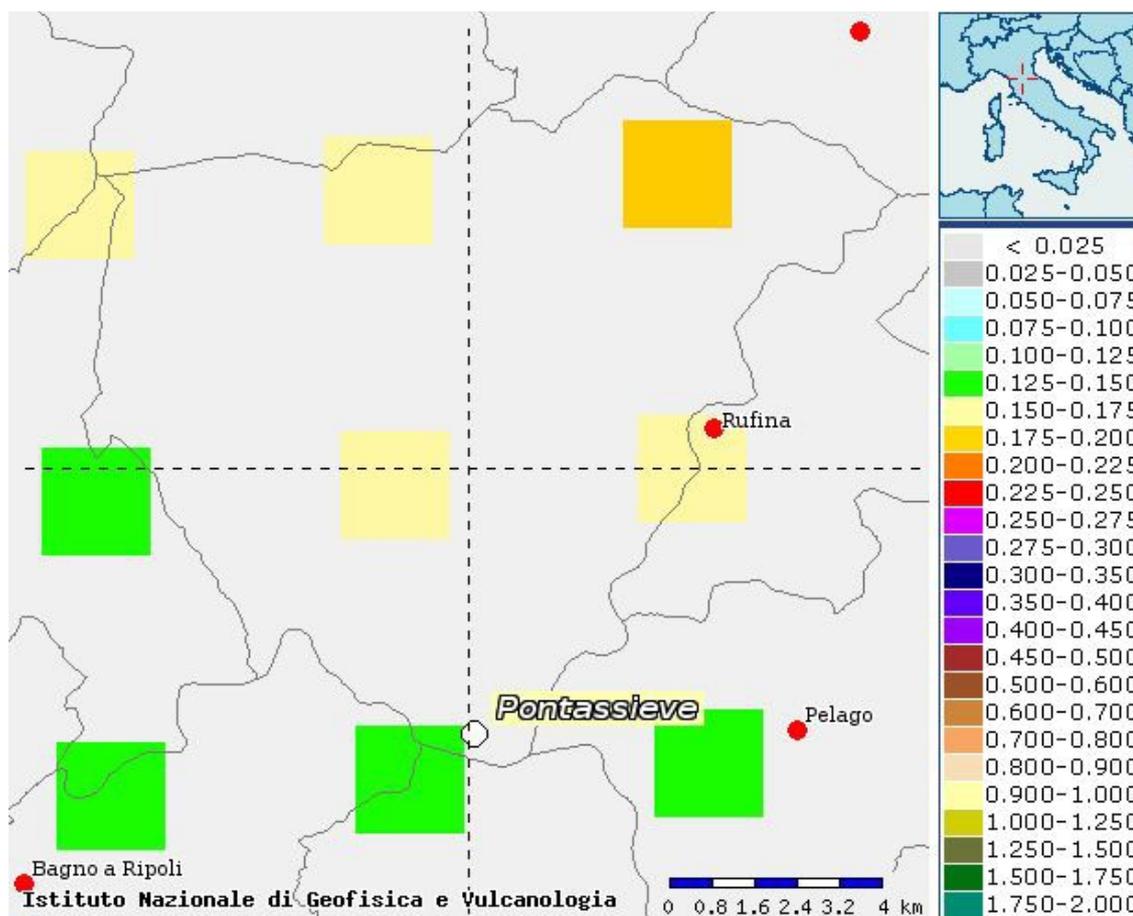
Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

*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).

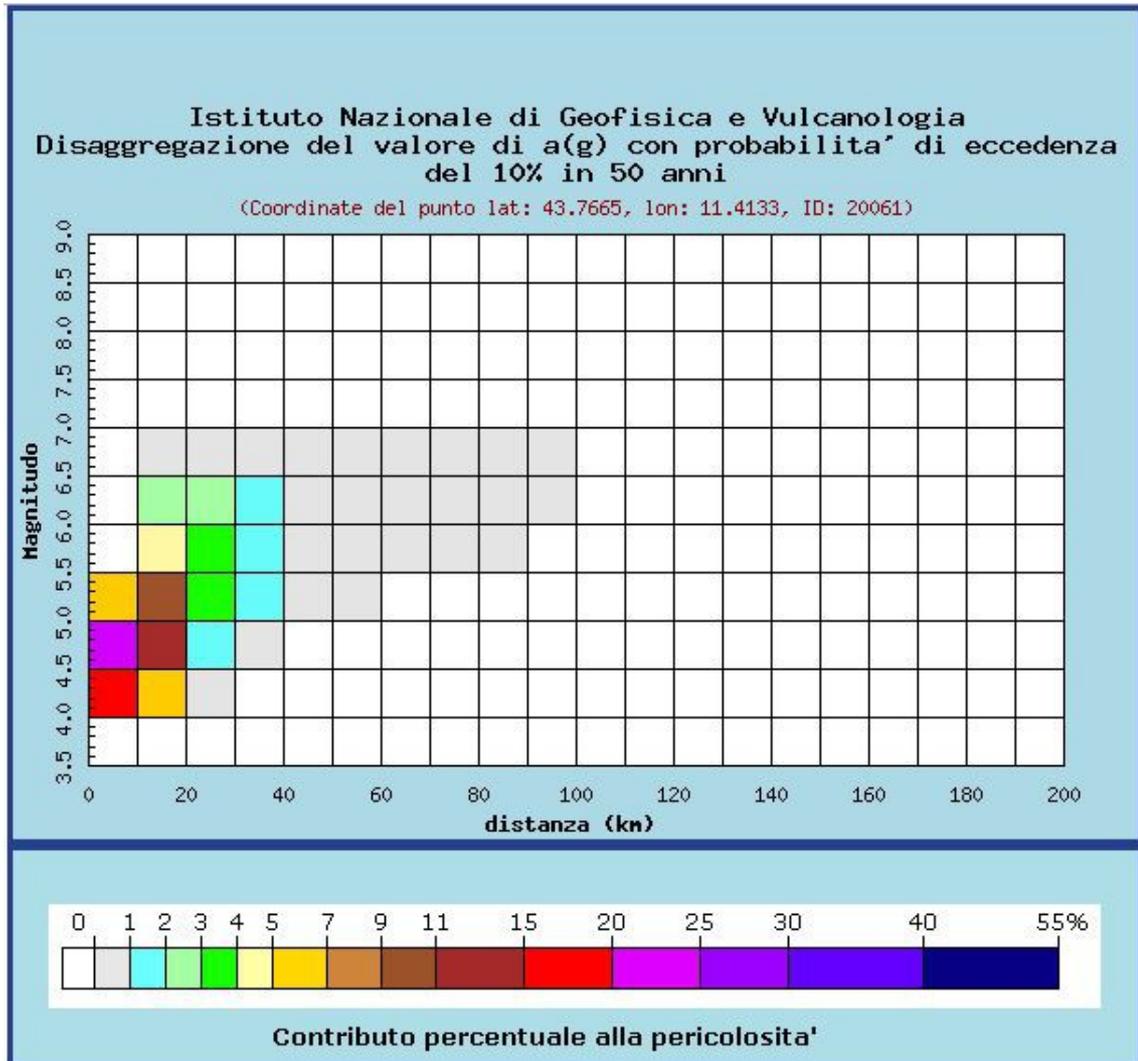


*Mappa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s; cat.A) – da INGV*

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.



| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 43.7665, lon: 11.4133, ID: 20061) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | Magnitudo                                                                                                                                           |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|                | 3.5-4.0                                                                                                                                             | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-6.0 | 6.0-6.5 | 6.5-7.0 | 7.0-7.5 | 7.5-8.0 | 8.0-8.5 | 8.5-9.0 |
| 0-10           | 0.000                                                                                                                                               | 17.500  | 21.900  | 6.840   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000                                                                                                                                               | 5.350   | 12.800  | 9.740   | 4.920   | 2.850   | 0.368   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000                                                                                                                                               | 0.141   | 1.950   | 3.600   | 3.230   | 2.580   | 0.401   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.052   | 1.040   | 1.570   | 1.150   | 0.208   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.167   | 0.645   | 0.381   | 0.080   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.003   | 0.159   | 0.176   | 0.025   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.015   | 0.095   | 0.008   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 0.037   | 0.003   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.010   | 0.001   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 120-130        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 130-140        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 140-150        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 150-160        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 160-170        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 170-180        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 180-190        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 190-200        | 0.000                                                                                                                                               | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |

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 4,99.

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.990       | 12.600   | 1.180   |

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:

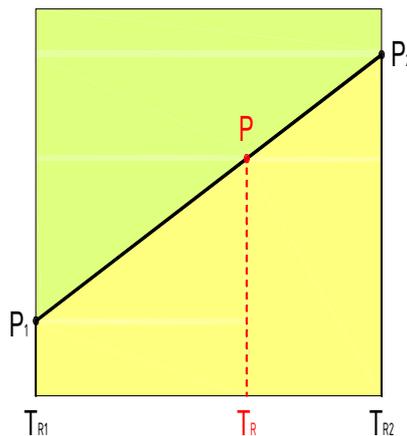
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

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

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

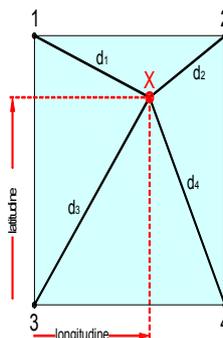
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

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



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

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



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

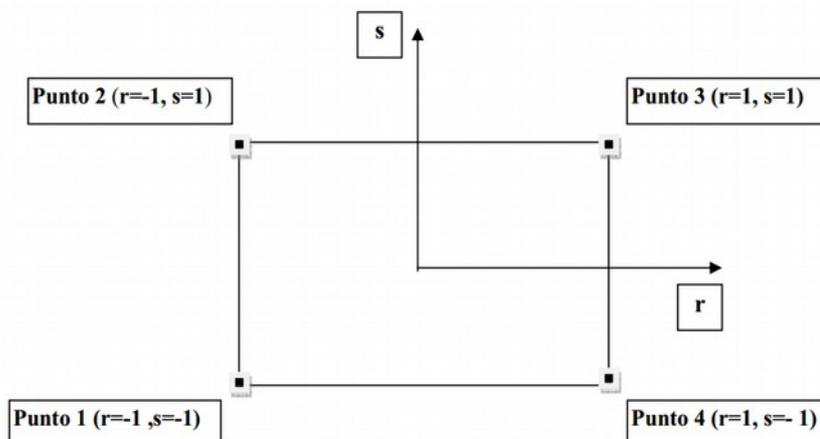
Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria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

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

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

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

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



*Applicazione dell'interpolazione bilineare.*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dove p rappresenta il parametro cercato.

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

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

### ***COEFFICIENTI SISMICI***

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

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

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

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

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

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

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

Con

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

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

g accelerazione di gravità.

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

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

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

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

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

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

### Pontassieve capoluogo

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: III  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1,5  
 Periodo di riferimento (Vr): 75 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 45 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 75 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 712 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1462 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43,7756386 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11,4398670 [°]  
 Latitudine (ED50): 43,7765961 [°]  
 Longitudine (ED50): 11,4408455 [°]

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)<br>[°] | Longitudine (ED50)<br>[°] | Distanza<br>[m] |
|-------|-------|--------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1     | 20061 | 43,766480                | 11,413300                 | 2481,29         |
| 2     | 20062 | 43,767680                | 11,482500                 | 3488,36         |
| 3     | 19840 | 43,817680                | 11,480840                 | 5583,46         |
| 4     | 19839 | 43,816460                | 11,411620                 | 5015,22         |

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
|              | 30           | 0,049     | 2,537     | 0,255      |
| SLO          | 45           | 0,057     | 2,566     | 0,268      |
|              | 50           | 0,059     | 2,574     | 0,272      |
|              | 72           | 0,068     | 2,556     | 0,279      |
| SLD          | 75           | 0,069     | 2,558     | 0,280      |
|              | 101          | 0,077     | 2,570     | 0,284      |
|              | 140          | 0,086     | 2,560     | 0,290      |
|              | 201          | 0,099     | 2,523     | 0,296      |
|              | 475          | 0,135     | 2,467     | 0,306      |
| SLV          | 712          | 0,157     | 2,429     | 0,310      |
|              | 975          | 0,176     | 2,399     | 0,313      |
| SLC          | 1462         | 0,199     | 2,402     | 0,318      |
|              | 2475         | 0,233     | 2,406     | 0,324      |

Punto 2

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
|              | 30           | 0,052     | 2,524     | 0,256      |
| SLO          | 45           | 0,060     | 2,543     | 0,269      |
|              | 50           | 0,062     | 2,547     | 0,272      |
|              | 72           | 0,072     | 2,533     | 0,279      |
| SLD          | 75           | 0,073     | 2,534     | 0,280      |
|              | 101          | 0,081     | 2,546     | 0,284      |
|              | 140          | 0,092     | 2,529     | 0,289      |
|              | 201          | 0,107     | 2,470     | 0,294      |
|              | 475          | 0,146     | 2,431     | 0,306      |
| SLV          | 712          | 0,167     | 2,417     | 0,311      |
|              | 975          | 0,186     | 2,407     | 0,315      |
| SLC          | 1462         | 0,210     | 2,413     | 0,318      |
|              | 2475         | 0,246     | 2,422     | 0,322      |

Punto 3

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
|              | 30           | 0,055     | 2,504     | 0,258      |
| SLO          | 45           | 0,065     | 2,498     | 0,268      |
|              | 50           | 0,068     | 2,496     | 0,271      |
|              | 72           | 0,078     | 2,504     | 0,277      |
| SLD          | 75           | 0,080     | 2,499     | 0,278      |
|              | 101          | 0,091     | 2,464     | 0,282      |
|              | 140          | 0,106     | 2,426     | 0,283      |
|              | 201          | 0,121     | 2,410     | 0,290      |
|              | 475          | 0,165     | 2,387     | 0,296      |
| SLV          | 712          | 0,189     | 2,383     | 0,298      |
|              | 975          | 0,209     | 2,380     | 0,299      |
| SLC          | 1462         | 0,236     | 2,395     | 0,307      |
|              | 2475         | 0,277     | 2,415     | 0,317      |

Punto 4

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
|              | 30           | 0,052     | 2,517     | 0,255      |
| SLO          | 45           | 0,061     | 2,528     | 0,267      |
|              | 50           | 0,064     | 2,531     | 0,271      |
|              | 72           | 0,074     | 2,521     | 0,278      |
| SLD          | 75           | 0,075     | 2,521     | 0,278      |

|     |      |       |       |       |
|-----|------|-------|-------|-------|
|     | 101  | 0,084 | 2,525 | 0,283 |
|     | 140  | 0,095 | 2,517 | 0,287 |
|     | 201  | 0,113 | 2,433 | 0,291 |
|     | 475  | 0,152 | 2,404 | 0,300 |
| SLV | 712  | 0,173 | 2,404 | 0,307 |
|     | 975  | 0,191 | 2,404 | 0,313 |
| SLC | 1462 | 0,216 | 2,416 | 0,317 |
|     | 2475 | 0,253 | 2,431 | 0,32  |

Punto d'indagine

| Stato limite | Tr<br>[anni] | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| SLO          | 45           | 0,060     | 2,541     | 0,268      |
| SLD          | 75           | 0,073     | 2,535     | 0,279      |
| SLV          | 712          | 0,168     | 2,413     | 0,308      |
| SLC          | 1462         | 0,211     | 2,406     | 0,316      |

### 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 - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

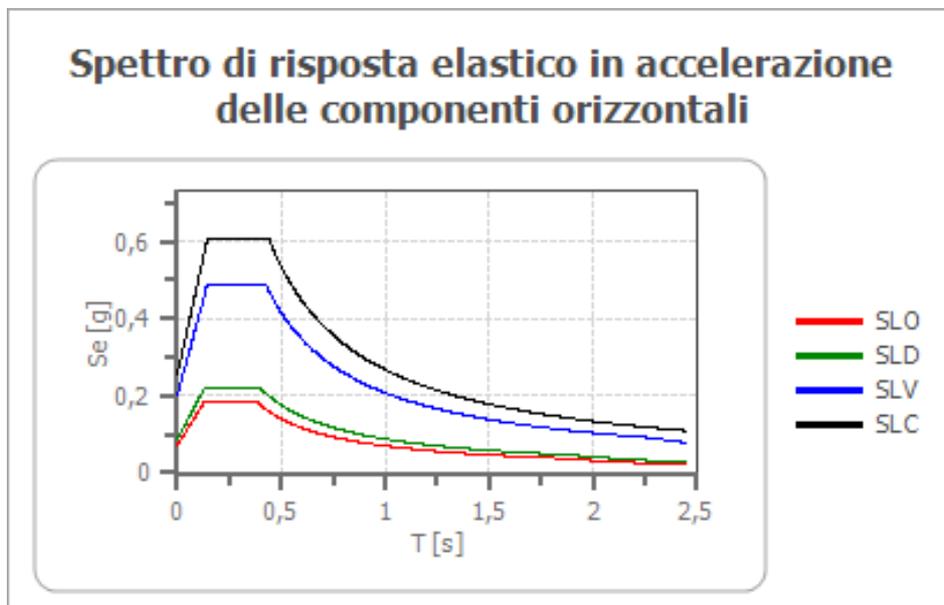
Categoria topografica:

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

### Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | 0,014 | 0,018 | 0,048 | 0,071 |
| kv                       | 0,007 | 0,009 | 0,024 | 0,035 |
| amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0,706 | 0,860 | 1,975 | 2,486 |
| Beta                     | 0,200 | 0,200 | 0,240 | 0,280 |

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

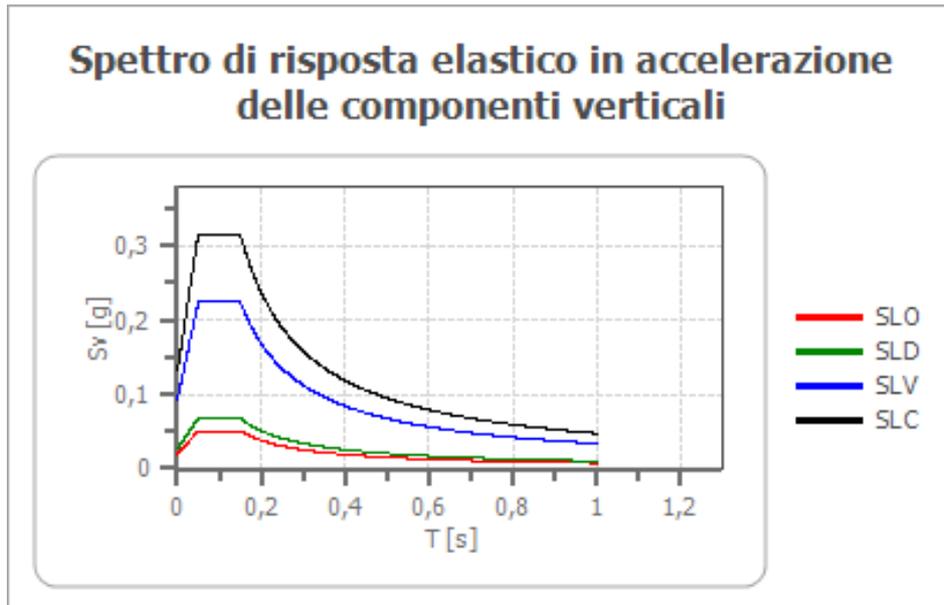


|     | cu  | ag<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] | Ss<br>[-] | Cc<br>[-] | St<br>[-] | S<br>[-] | $\eta$<br>[-] | TB<br>[s] | TC<br>[s] | TD<br>[s] | Se(0)<br>[g] | Se(TB)<br>[g] |
|-----|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| SLO | 1,5 | 0,060     | 2,541     | 0,268      | 1,200     | 1,430     | 1,000     | 1,200    | 1,000         | 0,128     | 0,383     | 1,840     | 0,072        | 0,183         |
| SLD | 1,5 | 0,073     | 2,535     | 0,279      | 1,200     | 1,420     | 1,000     | 1,200    | 1,000         | 0,132     | 0,396     | 1,892     | 0,088        | 0,222         |
| SLV | 1,5 | 0,168     | 2,413     | 0,308      | 1,200     | 1,390     | 1,000     | 1,200    | 1,000         | 0,143     | 0,428     | 2,271     | 0,201        | 0,486         |
| SLC | 1,5 | 0,211     | 2,406     | 0,316      | 1,200     | 1,390     | 1,000     | 1,200    | 1,000         | 0,146     | 0,439     | 2,445     | 0,254        | 0,610         |

### 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<br>[g] | F0<br>[-] | Tc*<br>[s] | Ss<br>[-] | Cc<br>[-] | St<br>[-] | S<br>[-] | $\eta$<br>[-] | TB<br>[s] | TC<br>[s] | TD<br>[s] | Se(0)<br>[g] | Se(TB)<br>[g] |
|-----|-----|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------|-----------|-----------|-----------|--------------|---------------|
| SLO | 1,5 | 0,060     | 2,541     | 0,268      | 1         | 1,430     | 1,000     | 1,000    | 1,000         | 0,050     | 0,150     | 1,000     | 0,020        | 0,050         |
| SLD | 1,5 | 0,073     | 2,535     | 0,279      | 1         | 1,420     | 1,000     | 1,000    | 1,000         | 0,050     | 0,150     | 1,000     | 0,027        | 0,068         |
| SLV | 1,5 | 0,168     | 2,413     | 0,308      | 1         | 1,390     | 1,000     | 1,000    | 1,000         | 0,050     | 0,150     | 1,000     | 0,093        | 0,224         |
| SLC | 1,5 | 0,211     | 2,406     | 0,316      | 1         | 1,390     | 1,000     | 1,000    | 1,000         | 0,050     | 0,150     | 1,000     | 0,131        | 0,315         |

## 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.



Assumendo per la stima del rischio di liquefazione i **metodi semplificati**, tra questi si privilegia quello basato sui risultati delle prove CPT, ossia un Metodo semplificato/quantitativo di tipo semi/empirico utilizzando il **Metodo di Robertson e Wride (1997)**.

Si utilizzano nel caso di specie i risultati di prove penetrometriche statiche meccaniche (CPTm), le uniche rinvenute negli archivi comunali. Sebbene sia invalso nel nostro Paese l'uso del penetrometro elettrico (CPTe), non avendo dati derivati da tale prova, si applicano le procedure delle stesse alle (CPTm). Nel caso esaminato, tuttavia, la valutazione del potenziale di liquefazione sismica, generalmente sottostimata rispetto alle CPTe, appare molto verosimilmente realistica, specie nell'ambito della prima decina di metri di profondità.

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo **IC** che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[ (3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

**q<sub>c</sub>** è la resistenza alla punta misurata

**Pa** è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$

**f<sub>s</sub>** è l'attrito del manicotto

**n** è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di IC con la (5.0a).

Se  $IC > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se  $IC \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente  $n = 0,5$ .

Se è ancora  $IC \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $IC > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo  $n = 0,75$ .

Calcolato IC, si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

dove l'esponente di sforzo  $n$  è lo stesso utilizzato nel calcolo di IC.

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

#### Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

#### Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$\begin{aligned} K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\ K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\ K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35 \end{aligned}$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR7,5**) si calcola con le espressioni seguenti:

se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR7,5**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau'_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitudo Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi tabella)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

| <b>Magnitudo</b> | <b>Seed H.B. &amp; Idriss I.M.<br/>(1982)</b> | <b>Ambraseys N.N<br/>(1988)</b> | <b>NCEER (Seed R. B. et alii)<br/>(1997; 2003)</b> |
|------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|
| 5,5              | 1,43                                          | 2,86                            | 2,21                                               |
| 6,0              | 1,32                                          | 2,20                            | 1,77                                               |
| 6,5              | 1,19                                          | 1,69                            | 1,44                                               |
| 7,0              | 1,08                                          | 1,30                            | 1,19                                               |
| 7,5              | 1,00                                          | 1,00                            | 1,00                                               |
| 8,0              | 0,94                                          | 0,67                            | 0,84                                               |
| 8,5              | 0,89                                          | 0,44                            | 0,73                                               |

*Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **rd** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per  $z < 9,15$  m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per  $9,15 \leq z < 23$  m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).

Vengono di seguito riportate le verifiche eseguite per ciascuna frazione di interesse degli studi di microzonazione prendendo in esame i settori laddove vi è la presenza nel sottosuolo di terreni potenzialmente liquefacibili e specifiche indagini geognostiche di riferimento (prove penetrometriche Cpt significative).

### **Pontassieve capoluogo**

#### **DATI GENERALI**

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1,25

#### **FALDA**

Profondità falda idrica 1,8 m

#### **DATI SIMICI**

Accelerazione Bedrock 0,15  
 Fattore amplificazione 2,413

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) 6  
 Distanza epicentro 12,6 Km  
 Peak ground acceleration (PGA) 0,18

Prova di riferimento: P105

### 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) | D50 granuli (mm) | Resistenza qc (KPa) | Resistenza attrito laterale fs (KPa) | Velocità onde di taglio Vs (m/s) |
|-----------|-------------|--------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1         |             | 0                  | 2                | 19                        | 21                               | 0                         | 0                | 2429                | 130,42                               | 0                                |
| 2         |             | 2                  | 4,8              | 19                        | 21                               | 0                         | 0                | 1121                | 42,17                                | 0                                |
| 3         |             | 4,8                | 7                | 20                        | 22                               | 0                         | 0                | 12748               | 351                                  | 0                                |

Correzione per la magnitudo (MSF) 1,48

| Profondità dal p.c. (m) | Pressione litostatica totale (KPa) | Pressione verticale effettiva (KPa) | Resistenza alla punta normalizzata Q | Attrito laterale normalizzato F(%) | Indice di comportamento Ic | Correzione per la pressione litostatica efficace CQ | Resistenza alla punta corretta q <sub>cl</sub> (KPa) | Coefficiente riduttivo (rd) | Resistenza alla liquefazione (CRR) | Sforzo di taglio normalizzato (CSR) | Coefficiente di sicurezza Fs | Suscettibilità di liquefazione | Indice di liquefazione | Rischio     |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------|
| 2,00                    | 38,400                             | 36,439                              | 51,791                               | 5,456                              | 2,629                      | 1,7                                                 | 144,909                                              | 0,985                       | 0,363                              | 0,082                               | 4,430                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 2,20                    | 42,600                             | 38,677                              | 27,882                               | 3,910                              | 2,717                      | 1,7                                                 | 78,579                                               | 0,983                       | 0,125                              | 0,086                               | 1,463                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 2,40                    | 46,800                             | 40,916                              | 26,254                               | 3,926                              | 2,738                      | 1,7                                                 | 81,572                                               | 0,982                       | 0,130                              | 0,089                               | 1,472                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 2,60                    | 51,000                             | 43,155                              | 24,795                               | 3,941                              | 2,758                      | 1,7                                                 | 84,531                                               | 0,980                       | 0,136                              | 0,091                               | 1,489                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 2,80                    | 55,200                             | 45,393                              | 23,479                               | 3,957                              | 2,777                      | 1,7                                                 | 87,457                                               | 0,979                       | 0,142                              | 0,094                               | 1,513                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 3,00                    | 59,400                             | 47,632                              | 22,288                               | 3,972                              | 2,795                      | 1,7                                                 | 90,353                                               | 0,977                       | 0,149                              | 0,096                               | 1,544                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 3,20                    | 63,600                             | 49,871                              | 21,203                               | 3,988                              | 2,813                      | 1,7                                                 | 93,220                                               | 0,976                       | 0,155                              | 0,098                               | 1,581                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 3,40                    | 67,800                             | 52,109                              | 20,211                               | 4,004                              | 2,830                      | 1,7                                                 | 96,059                                               | 0,974                       | 0,162                              | 0,100                               | 1,623                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 3,60                    | 72,000                             | 54,348                              | 19,302                               | 4,020                              | 2,846                      | 1,7                                                 | 98,873                                               | 0,972                       | 0,170                              | 0,102                               | 1,670                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 3,80                    | 76,200                             | 56,587                              | 18,464                               | 4,036                              | 2,862                      | 1,7                                                 | 101,663                                              | 0,971                       | 0,178                              | 0,103                               | 1,721                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 4,00                    | 80,400                             | 58,825                              | 17,690                               | 4,052                              | 2,877                      | 1,699947                                            | 104,426                                              | 0,969                       | 0,186                              | 0,105                               | 1,777                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 4,20                    | 84,600                             | 61,064                              | 16,972                               | 4,069                              | 2,892                      | 1,637625                                            | 103,242                                              | 0,968                       | 0,182                              | 0,106                               | 1,722                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 4,40                    | 88,800                             | 63,303                              | 16,306                               | 4,085                              | 2,907                      | 1,579711                                            | 102,122                                              | 0,966                       | 0,179                              | 0,107                               | 1,673                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 4,60                    | 93,000                             | 65,541                              | 15,685                               | 4,102                              | 2,921                      | 1,525754                                            | 101,061                                              | 0,965                       | 0,176                              | 0,108                               | 1,628                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 4,80                    | 97,200                             | 67,780                              | 15,105                               | 4,119                              | 2,935                      | 1,47536                                             | 100,055                                              | 0,963                       | 0,173                              | 0,109                               | 1,587                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 5,00                    | 101,600                            | 70,219                              | 152,130                              | 2,775                              | 2,104                      | 1,193366                                            | 222,308                                              | 0,962                       | 1,102                              | 0,110                               | 10,026                       | No                             | 0                      | Molto basso |
| 5,20                    | 106,000                            | 72,657                              | 149,555                              | 2,776                              | 2,108                      | 1,173168                                            | 219,833                                              | 0,960                       | 1,068                              | 0,111                               | 9,654                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 5,40                    | 110,400                            | 75,096                              | 147,107                              | 2,777                              | 2,113                      | 1,153962                                            | 217,483                                              | 0,959                       | 1,037                              | 0,111                               | 9,314                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 5,60                    | 114,800                            | 77,535                              | 144,775                              | 2,778                              | 2,117                      | 1,135669                                            | 215,246                                              | 0,957                       | 1,007                              | 0,112                               | 9,002                        | No                             | 0                      | Molto basso |
| 5,80                    | 119,200                            | 79,973                              | 142,551                              | 2,779                              | 2,121                      | 1,11822                                             | 213,114                                              | 0,956                       | 0,980                              | 0,112                               | 8,714                        | No                             | 0                      | Molto basso |

|      |         |        |         |       |       |          |         |       |       |       |       |    |   |             |
|------|---------|--------|---------|-------|-------|----------|---------|-------|-------|-------|-------|----|---|-------------|
| 6,00 | 123,600 | 82,412 | 140,426 | 2,780 | 2,126 | 1,101551 | 211,080 | 0,954 | 0,955 | 0,113 | 8,448 | No | 0 | Molto basso |
| 6,20 | 128,000 | 84,851 | 138,393 | 2,781 | 2,130 | 1,085606 | 209,136 | 0,953 | 0,931 | 0,113 | 8,202 | No | 0 | Molto basso |
| 6,40 | 132,400 | 87,289 | 136,446 | 2,782 | 2,134 | 1,070334 | 207,275 | 0,951 | 0,908 | 0,114 | 7,972 | No | 0 | Molto basso |
| 6,60 | 136,800 | 89,728 | 134,579 | 2,783 | 2,138 | 1,055689 | 205,493 | 0,950 | 0,887 | 0,114 | 7,759 | No | 0 | Molto basso |
| 6,80 | 141,200 | 92,167 | 132,787 | 2,784 | 2,141 | 1,041628 | 203,783 | 0,948 | 0,867 | 0,115 | 7,560 | No | 0 | Molto basso |
| 7,00 | 145,600 | 94,605 | 131,064 | 2,785 | 2,145 | 1,028116 | 202,141 | 0,946 | 0,848 | 0,115 | 7,373 | No | 0 | Molto basso |

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

### **Sieci**

La falda posta a -5,1 m da piano campagna con il substrato della prova penetrometrica (P97) a -6,8 m non consente, data l'assenza di geomateriali non coesivi saturi, che si verificano fenomeni di liquefazione.

### **Molino del Piano – Molino Laura**

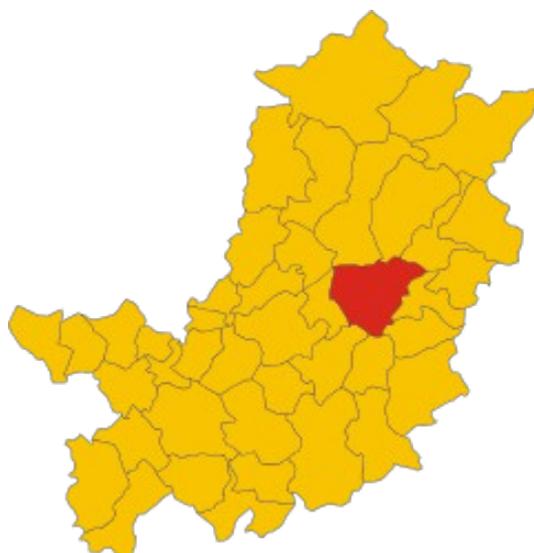
La falda posta a -9,3 m da piano campagna e l'assenza di terreni non coesivi saturi impediscono il fenomeno della liquefazione.

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

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Posto nel settore centrale della Provincia di Firenze, il territorio comunale di Pontassieve si sviluppa su una superficie di 114,44 kmq, in un ampio settore, interamente ubicato in destra idraulica del Fiume Arno, delimitato sud dal corso del Fiume Arno e ad est da quello del Fiume Sieve, che confluiscono in corrispondenza del Capoluogo. Il territorio comunale è delimitato nella porzione settentrionale dai rilievi della Montagna Fiorentina.

L'area confina amministrativamente a nord con i Comuni di Borgo San Lorenzo, Vicchio e Dicomano, Pelago, ad ovest con il Comune di Fiesole, a est con il Comune di Rufina (confine segnato dal corso del Fiume Sieve), mentre a sud con i Comuni di Pelago (confine segnato dal corso del Fiume Sieve), Rignano sull'Arno e Bagno a Ripoli (confini segnati dal corso del Fiume Arno).



*Ubicazione del Comune di Pontassieve nella configurazione della Provincia di Firenze*

Dal punto di vista morfologico si tratta di un paesaggio collinare che passa a 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 250,0 e 700,0 m s.l.m. ed un rilievo massimo rappresentato dal M. Giovi (quota 992,6 m s.l.m.). In particolare il territorio comunale di Pontassieve fa parte dell'unità geografica del bacino del Fiume Arno, compreso tra i fondo valle dello stesso F. Arno e del Fiume Sieve (corsi d'acqua che ne delimitano territorialmente il perimetro meridionale e orientale) e i rilievi della Montagna Fiorentina (che ne definiscono il territorio settentrionale).

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.

Il fondovalle dei fiumi Arno e Sieve e dei loro 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.

In particolare, nella fasce di fondovalle sono presenti gli abitati del Capoluogo, di Sieci, Montebonello e Molino del Piano.

Subito a monte delle aree alluvionali si ha una fascia a morfologia prevalentemente collinare, con forme tondeggianti e pendenze contenute, che si estende in direzione circa nord – sud, in corrispondenza dei depositi appartenenti principalmente al substrato calcareo marnoso - argillitico marnoso, in cui si è sviluppato un reticolo idrografico ramificato, afferente ai fiumi Arno e Sieve e ai loro principali affluenti. In corrispondenza di questi rilievi collinari si ubicano alcuni centri abitati, tra cui Doccia, Acone e Monteloro. Intorno ai suddetti nuclei urbani rimangono numerose aree destinate ad attività agricole, in particolare colture seminative, vigneti e oliveti. In questo settore le valli sono generalmente larghe e piatte, i versanti convessi o rettilinei, sebbene i corsi d'acqua che vi scorrono abbiano talora generato numerose vallecole dai fianchi ripidi.

Infine la porzione settentrionale 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. In questi settori sorge l'abitato di Santa Brigida.

Riguardo l'aspetto idrografico, i principali corsi d'acqua sono il Fiume Arno, che ne delimita il confine meridionale, ed il Fiume Sieve che determina il confine orientale.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono il Borro delle Sieci, il Torrente Argomena, il Fosso di Grignano, il Torrente Faltona ed il Borro delle Falle, cui seguono per importanza gli affluenti, in ordine gerarchico decrescente.

Il regime dei corsi d'acqua che interessano l'ambito comunale, con la sola esclusione dei due corsi d'acqua maggiori, 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 Pontassieve 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'accrezione 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 appilamento su se 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 della Calvana. 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 Cervarola-Falterona 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.

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 il territorio comunale si può dividere quindi, in maniera schematica, in due zone, una centrale e meridionale caratterizzata dalla presenza di terreni flyschoidi da calcareo marnosi ad argillitico marnosi e arenaceo siltitici appartenenti al Dominio Ligure (Unità di Monte Morello) e Subligure (Unità di Canetolo), e l'altra settentrionale con presenza di terreni appartenenti alle formazioni torbiditiche arenacee del Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola e di M. Falterona e Falda Toscana).

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 – Falterona e Falda Toscana), 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, dalla Pietraforte costituita da arenarie e siltiti e dalla Formazione di Monte Morello, flysch carbonatico costituito da prevalenti calcari marnosi, calcari micritici, marne e subordinati livelli argillitici. Le formazioni paleocenico-oligoceniche del Dominio Subligure sono costituite da formazioni prevalentemente argillitico-calcaree (i.e Brecciole Nummulitiche) e da depositi torbiditici arenacei (Arenarie di Monte Senario) con associati depositi calcareo marnosi e arenaceo calcarei (Breccie di Monte Senario).

Per quanto riguarda le formazioni torbiditiche oligo-mioceniche del Dominio Toscano, affiorano le litologie appartenenti alla formazione delle Arenarie del M. Falterona e delle Arenarie del M. Cervarola nelle loro varietà di litofacies, da quella arenaceo torbiditica con intercalazioni pelitico siltitiche, a quella olistostromica caratterizzata da breccie argillose e calcaree in matrice argillitica e alla Falda Toscana contraddistinta dalla presenza della formazione delle Marne di San Polo.

I depositi alluvionali sono presenti in maniera diffusa lungo i corsi d'acqua principali (Fiume Arno) e dei loro affluenti.

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 elasto a matrice sostenuta, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati.

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

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 Pontassieve, si ritrova, dall'alto verso il basso stratigrafico, con riferimento alla Carta Geologica in scala 1:10.000 (tavv. 3.1 nei quadranti N e S) contenuta negli elaborati del supporto geologico tecnico costituenti il quadro conoscitivo del Piano Strutturale vigente (Geo Eco Progetti, ottobre 2002) 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 (h5) individuati nelle aree urbane dei centri abitati.

#### **DEPOSITI QUATERNARI**

Sono costituiti dalle coltri detritiche riconducibili a:

- coltri di frana (F)
- depositi di versante (aa) e di falda (a3a) (*Olocene*)
- depositi alluvionali attuali (b) (*Olocene*)
- depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna) (*Olocene*)
- depositi eluvio-colluviali (b2a) (*Olocene*)

I depositi alluvionali attuali (b) sono i depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione, attraverso processi fluviali ordinari, costituiti da limi argillosi e/o sabbie limose a componente sabbiosa grossolana e ghiaiosa variabile e comunque subordinata ai tipi menzionati.

I depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati (bna) sono riconducibili a depositi di piana alluvionale, costituiti prevalentemente da limi argillosi e sabbie limose terrazzate con subordinata componente ghiaiosa variabile talora variamente pedogenizzati.

I corpi di frana (F) e i depositi detritici (aa) di versante e di falda (a3a) 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, tipico aspetto delle frane e paleofrane anche stabilizzate. 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. Nel restanti gruppi sono stati invece 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 (b2a) sono costituiti da elementi eterometrici a granulometria minore del detrito di versante, in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità.

Il substrato litoide del territorio comunale è costituito dalle formazioni litoidi riconducibili al Dominio Subligure (Unità di Canetolo), al Dominio Ligure Esterno (Unità di Monte Morello) e al Dominio Toscano (Falda Toscana e Unità di M. Cervarola – Falterona).

#### **DOMINIO SUBLIGURE – UNITA' DI CANETOLO**

##### **- Arenarie di Monte Senario (SEN) (Eocene Medio/Superiore - Oligocene Inferiore)**

Alternanze di arenarie quarzoso-feldspatiche e di arenarie-pelitiche in strati da medi a molto spessi e, più frequentemente, in banchi, con base molto grossolana e presentano laminazione pianoparallela e convoluta. Il rapporto A/P è generalmente compreso tra 1 e 3. Le areniti, di colore giallastro, hanno composizione quarzoso-feldspatica e granulometria da medio-fine a grossolana, fino a microconglomeratica. Presenza di clay chips. Talora sono presenti intercalazioni di strati calcareo-marnosi, di spessore medio, grigi, a frattura scheggiata.

##### **- Breccie di Monte Senario (BMS) (Eocene Medio)**

Si tratta di calcari, calcari marnosi grigi, marne argillose alternate ad arenarie-arenarie calcaree torbiditiche, talvolta grossolane. Verso il tetto della formazione le arenarie aumentano, fino ad un rapporto arenaria / calcare > 3.

##### **- Argille e Calcari di Canetolo (ACC) (Paleocene Inferiore - Eocene Medio)**

Argilliti variegata, fissili, argille marnose verdi, bruno-rossastre e grigio scuro o nerastre, in strati da medi a molto spessi, con intercalazioni di ed alternate a strati da sottili a spessi di calcilutiti color avana, di calcareniti fini e finissime grigio scure, di marne calcaree biancastre e grigie, di calcari marnosi scheggiosi e fratturati grigi o verdi con spalmature di ossido di manganese e di calcari torbiditici grigio-biancastri.

Nel complesso dei terreni appartenenti alla formazione si ritrovano in eteropia latero verticale depositi appartenenti alla litofacies calcareo-argillitica (ACCa), di età eocenico-paleocenica costituita dall'alternanza di argilliti, siltiti e calcari micritici in strati da sottili a spessi, alla litofacies delle Brecciole Nummulitiche (ACCc), costituite dall'alternanza di brecciole poligeniche e calcareniti e alla litofacies costituita da torbiditi calcareo-marnose in strati da spessi a molto spessi con livelli di arenarie (ACCb).

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

##### **- Formazione di Monte Morello (MLL) (Eocene)**

Si tratta di un'alternanza di marne giallo-brune con frattura a saponetta, calcari marnosi bianco-giallastri a grana finissima e frattura concoide, argilliti ed argilliti marnose grigie, arenarie calcarifere micacee avana e rare calcareniti biancastre, di natura torbiditica (talora la base degli strati è calcarenitica). Localmente sono presenti liste di selce nera. 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.

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.

- Pietraforte (PTF) (*Cretaceo Superiore*)

Regolare alternanza di arenarie torbiditiche quarzoso-calcaree grigie e di peliti argillitiche, in strati gradati da medi a molto spessi con granulometria alla base degli strati medio-grossolana e rapporto A/P generalmente > 1. Le arenarie si presentano marroni-giallastre in superficie alterata e grigie al taglio. Si tratta di depositi torbiditici presumibilmente intercalati nella Formazione di Sillano.

- Formazione di Sillano (SIL) (*Cretaceo Superiore – Eocene Inferiore*)

Argilliti e siltiti fogliettate, grigio scure, nerastre, rosse, marroni e verdastre, alternate a strati calcarei, 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 da medio-fini a grossolane grigio-scure, marroni all'alterazione. I livelli calcarei si presentano spesso con fatturazione ad incudine.

- Formazione di Villa a Radda (AVR) (*Cretaceo Superiore – Eocene Inferiore*)

E' costituita da argilliti di color rosso, verde e grigio, talvolta con intercalati straterelli di arenaria calcarea.

#### **DOMINIO TOSCANO – FALDA TOSCANA**

- Marne di S.Polo (MACc) (*Oligocene Superiore - Miocene Inferiore*)

Marne e marne siltose grigie o grigio giallastre a frattura scheggiata, con intercalazioni di siltiti ed arenarie fini torbiditiche. Caratterizzano la parte superiore del Macigno e sono generalmente associate al tetto degli olistostromi.

- Olistostromi (MACo) (*Oligocene Superiore - Miocene Inferiore*)

Breccie argillose di elementi calcarei micritici, siltiti, in matrice argillitica da bruna ad ocrea intercalate nella parte superiore del Macigno.

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

- Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano (FAL4) (*Miocene Inferiore*)

Siltiti, argilliti e marne prevalenti, A/P < 1/4, con presenza di sottili livelli di arenarie fini il cui spessore non supera mai i 20 cm. Le marne sono generalmente di colore grigio chiare, molto fratturate, mentre le altre peliti sono generalmente più scure. I livelli arenacei sono invece di colore grigio-marrone.

- Marne di Galiga (FAL4a) (*Miocene Inferiore*)

Marne siltose e argillose mal stratificate in strati da spessi a sottili, di colore grigio. Vi possono essere strati sottili e molto sottili arenitici marroni e calcareniti biancastre, medie e sottili.

- Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3) (*Oligocene Superiore - Miocene Inferiore*)

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. Nella parte alta del membro prevalenti peliti con rari banchi arenacei.

- Arenarie del Monte Falterona – Litofacies olistostromica (FALa) (*Oligocene Superiore - Miocene Inferiore*)

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 in strati da medi a spessi.

- Marne di Vicchio (VIC) (*Burdigaliano – Serravalliano*)

Marne siltose e marne calcaree grigie a stratificazione da sottile a media, con presenza di sottili livelli di siltiti o areniti fini a componente calcarea; localmente predominante la frazione calcarea. Presenti sottili strati calcarenitici fini di colore biancastro e lenti o liste di selce nera.

### **3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE**

Da un punto di vista geomorfologico il territorio comunale 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 (aree in frana e aree instabili per soliflusso generalizzato). Infine si hanno forme antropiche (artificiali) costituite da orli di scarpata di origine antropica, argini artificiali, rilevati stradali e ferroviari, cave.

Il territorio del Comune di Pontassieve è, come già accennato, caratterizzato dalla presenza di zone mediamente acclivi accanto ad altre dalla morfologia decisamente più acclive; queste differenze, così come le diverse forme prodotte dagli agenti esogeni ed endogeni, sono in relazione alla diversa natura del substrato geologico.

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 tutela del territorio 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.

Con riferimento alla Carta Geomorfologica in scala 1:10.000 (tavv. 3.3 nei quadranti N e S) contenuta negli elaborati del supporto geologico tecnico costituenti il quadro conoscitivo del Piano Strutturale vigente (Geo Eco Progetti, ottobre 2002), si riassumono i caratteri geologici che contraddistinguono il territorio comunale di Pontassieve.

Il quadro geomorfologico è stato analizzato 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” allestimento da parte della Autorità di Bacino del Fiume Arno ed il censimento frane della Provincia di Firenze.

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 frane. 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 sono state individuate:

- frane attive (**F**);
- paleofrane con tracce di instabilità o frane quiescenti (**Fq**) che evidenziano fenomeni gravitativi avvenuti in tempi passati e che mostrano chiari segni di instabilità quali contropendenze e rotture di pendio;
- paleofrane o frane antiche stabilizzate (**Fs**) 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 (**Fd**).

#### **Aree instabili per soliflusso generalizzato (i)**

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.

#### **Soilcreep (ic)**

Movimenti di massa generalmente abbastanza lenti la cui dinamica interessa generalmente lo spessore di suolo ("coltivo"). Risultano periodicamente obliterati dalle lavorazioni agricole.

### **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**

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 scarpata fluviale o di terrazzo in 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.

#### **Alveo con tendenza all'approfondimento (erosione incanalata)**

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.

#### ***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.

### **3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE**

Il reticolo idrografico che caratterizza il territorio del Comune di Pontassieve mostra un andamento dei principali corsi d'acqua rispettivamente in direzione appenninica (NW – SE) per il Fiume Arno e in direzione anti-appenninica (NE – SW) per il Fiume Sieve.

Gli affluenti di ordine gerarchico inferiore, più brevi, sono orientati in linea di massima in direzione circa NE - SW (antiappenninica) per quanto riguarda gli affluenti del Fiume Arno quali il Torrente Sieci e il Borro delle Falle, e in direzione NW – SE (appenninica) per gli affluenti del Fiume Sieve quali il Fosso di Visarno, il Torrente Argomena e il Fosso degli Uscioli.

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 sabbiosa grossolana o di natura arenacea con intensa fratturazione.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti nel territorio comunale di Pontassieve, si può definire che il sistema idrogeologico risulta chiaramente alimentato dai rilievi circostanti la pianura alluvionale. I dati disponibili indicano come la falda alimenti l'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, del Fiume Sieve 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 Pontassieve. La risorsa principale a disposizione del territorio è rappresentata dai depositi alluvionali del Fiume Arno e del Fiume Sieve. L'assetto idrogeologico di questi settori

è favorevole in quanto i depositi grossolani (sabbie e conglomerati) plio-pleistocenici 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 notevole 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 e della Sieve, 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, in relazione alla profondità dei pozzi, 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 fraposte 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**

Si riportano le classi di pendenza in cui è stato suddiviso il territorio comunale, in funzione delle variazioni altimetriche e topografiche, utili per la definizione delle classi di pericolosità geologica e delle zone MOPS delle cartografie di Microzonazione.

La carta delle pendenze rappresenta, pertanto, uno strumento di primaria importanza per la realizzazione della carta della pericolosità, anche perché con 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 70 % 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 MS di Livello 1 e Livello 2 si è provveduto alla raccolta e all'archiviazione organizzata di dati pregressi e alla realizzazione di due specifiche e inedite campagne di indagini (vedi elaborati indagini eseguite da ENKI s.r.l.), eseguite rispettivamente nel Dicembre 2017 (a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1) e nel Maggio 2019 (ad integrazione di quanto già realizzati per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2).

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 precedente studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e al presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 (vedi certificazioni ed allegati forniti dalla ditta ENKI s.r.l.).

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, HVSR e stendimenti geoelettrici già realizzati nelle zone di studio).

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.

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".

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 1* è stato necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche 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; che è consistita nell'esecuzione di:

- n. 15 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde SH, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo, per caratterizzare dinamicamente sia la copertura presente sia il substrato roccioso ed individuarne la morfologia del tetto del substrato roccioso;
- n. 13 prove Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la categoria sismica di sottosuolo secondo le N.T.C. 2008;
- n. 2 prove ESAC per determinazione di profili di velocità  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 2 indagini sismiche in foro di tipo Down-hole per la determinazione diretta dei profili di velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 82 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 (tempo di esposizione non inferiore a 40 minuti).

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 2*, ad integrazione della precedente campagna, è stata necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche integrative 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; che è consistita nell'esecuzione di:

- n. 4 linee di sismica 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, per caratterizzare dinamicamente sia la copertura presente sia il substrato roccioso ed individuarne la morfologia del tetto del substrato roccioso.

Si fornisce il dettaglio delle indagini appositamente eseguite dalla ditta ENKI s.r.l. di Firenze, con la loro distribuzione nelle varie frazioni, a corredo degli studi di Microzonazione Sismica.

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 forniti dalla ENKI s.r.l..

| <b>Id indagine</b> | <b>Località</b> | <b>HVSR</b> | <b>Rifrazione P+Sh</b> | <b>ESAC</b> | <b>MASW</b> | <b>DH</b> |
|--------------------|-----------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|-----------|
| 01_HVSR            | CAPOLUOGO       | X           |                        |             |             |           |
| 02_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 03_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 13_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 14_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 15_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 16_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 17_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 18_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 19_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 20_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 21_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 22_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 23_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 24_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 25_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 26_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 27_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 28_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 29_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 30_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 31_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 32_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 33_HVSR            |                 | X           |                        |             |             |           |
| 92_HVSR            | X               |             |                        |             |             |           |

| <b>Id indagine</b> | <b>Località</b>  | <b>HVSR</b>   | <b>Rifrazione<br/>P+Sh</b> | <b>ESAC</b> | <b>MASW</b> | <b>DH</b> |   |
|--------------------|------------------|---------------|----------------------------|-------------|-------------|-----------|---|
| 93_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 94_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 95_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 102_MASW           |                  |               |                            |             |             | X         |   |
| 34_SR              |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 103_MASW           |                  |               |                            |             |             | X         |   |
| 35_SR              |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 96_SR              |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 97_SR              |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 98_DH              |                  |               |                            |             |             |           | X |
| 99_DH              |                  |               |                            |             |             |           | X |
| 115_SR             |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 116_SR             |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 10_HVSR            |                  | SANTA BRIGIDA | X                          |             |             |           |   |
| 11_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 36_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 37_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 38_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 39_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 40_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 41_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 42_HVSR            | X                |               |                            |             |             |           |   |
| 104_MASW           |                  |               |                            |             |             | X         |   |
| 43_SR              |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 105_MASW           |                  |               |                            |             |             | X         |   |
| 44_SR              |                  |               |                            | X           |             |           |   |
| 45_HVSR            | ACONE            |               | X                          |             |             |           |   |
| 46_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 47_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 48_HVSR            | MONTELORO        | X             |                            |             |             |           |   |
| 49_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 50_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 51_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 106_MASW           |                  |               |                            |             |             | X         |   |
| 52_SR              |                  |               | X                          |             |             |           |   |
| 08_HVSR            | MOLINO DEL PIANO | X             |                            |             |             |           |   |
| 09_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 53_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 54_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 55_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 56_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 57_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 58_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 59_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 60_HVSR            |                  | X             |                            |             |             |           |   |
| 107_MASW           |                  |               |                            |             | X           |           |   |

| <b>Id indagine</b> | <b>Località</b> | <b>HVSR</b> | <b>Rifrazione<br/>P+Sh</b> | <b>ESAC</b> | <b>MASW</b> | <b>DH</b> |  |
|--------------------|-----------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-----------|--|
| 61_SR              |                 |             | X                          |             |             |           |  |
| 108_MASW           |                 |             |                            |             | X           |           |  |
| 62_SR              |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 100_ESAC           |                 |             |                            |             | X           |           |  |
| 117_SR             |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 49_HVSR            | DOCCIA          | X           |                            |             |             |           |  |
| 50_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 51_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 106_MASW           |                 |             |                            |             |             | X         |  |
| 52_SR              |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 04_HVSR            | SIECI           | X           |                            |             |             |           |  |
| 05_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 06_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 07_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 67_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 68_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 69_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 70_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 71_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 72_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 73_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 74_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 75_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 76_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 77_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 78_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 110_MASW           |                 |             |                            |             |             | X         |  |
| 79_SR              |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 111_MASW           |                 |             |                            |             |             | X         |  |
| 80_SR              |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 101_ESAC           |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 118_SR             |                 |             | X                          |             |             |           |  |
| 12_HVSR            | MONTEBONELLO    | X           |                            |             |             |           |  |
| 81_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 82_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 83_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 84_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 85_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 86_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 87_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 88_HVSR            |                 | X           |                            |             |             |           |  |
| 112_MASW           |                 |             |                            |             |             | X         |  |
| 89_SR              |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 113_MASW           |                 |             |                            |             |             | X         |  |
| 90_SR              |                 |             |                            | X           |             |           |  |
| 114_MASW           |                 |             |                            |             |             | X         |  |

| <b>Id indagine</b> | <b>Località</b> | <b>HVSR</b> | <b>Rifrazione<br/>P+Sh</b> | <b>ESAC</b> | <b>MASW</b> | <b>DH</b> |
|--------------------|-----------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-----------|
| 91_SR              |                 |             | X                          |             |             |           |

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (vedi allegata relazione della ditta ENKI s.r.l.):

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.

| <b>CLASSE</b> | <b>VALORI</b>      | <b>INDICAZIONI</b>                                                                                                       |
|---------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>      | <b>≥ 75 %</b>      | Carta di livello 1 di ottima qualità                                                                                     |
| <b>B</b>      | <b>50 % - 74 %</b> | Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri                                                                |
| <b>C</b>      | <b>25 % - 49 %</b> | Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità                               |
| <b>D</b>      | <b>≤ 25 %</b>      | Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana |

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

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

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

Le "unità litologico tecniche", cui si fa riferimento per le formazioni geologiche riscontrate nelle aree indagate, sono state distinte in gruppi principali in base alle diverse successioni di terreni che li caratterizzano uniformandosi alla "Legenda per la definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.)" del programma regionale VEL "Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana".

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

### **Unità litologico tecnica B**

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

- **Unità litologico-tecnica B3:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo > 75%. E' riconducibile a tale unità la formazione geologica della Pietraforte (PTF),
- **Unità litologico-tecnica B4:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale pelitico compreso tra 25% e 75%. Sono riconducibili a tale unità le formazioni geologiche delle Arenarie di Monte Senario (SEN), della Formazione di Monte Morello (MLL), delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3), delle Argille e Calcari di Canetolo – litofacies calcareo argillitica (ACCa), delle Argille e Calcari di Canetolo – litofacies torbidity calcareo marnosa (ACCb) e delle Argille e Calcari di Canetolo – litofacies delle Brecciole Nummulitiche (ACCc).
- **Unità litologico-tecnica B5:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo < 25%. Ne fanno parte l'unità geologica della Formazione di Sillano (SIL), delle Marne di San Polo (MACc), delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano (FAL4), delle Marne di Galiga (FAL4a), delle Arenarie del M. Falterona – litofacies olistostromica (FALa), delle Marne di Vicchio (VIC) del Macigno – litofacies olistostromica (MACa) e delle Argille e Calcari di Canetolo (ACC).

### **Unità litologico tecnica E**

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

- **Unità litologico-tecnica E:** materiali granulari non cementati. Si tratta di materiali granulari eterogenei ed eterometrici. Ne fanno parte i detriti appartenenti ai corpi di frana (a1a, a1q e a1s), ai depositi di versante (aa), ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di conoide.
- **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 attuali (b).
- **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 (b2a) e i depositi alluvionali recenti e terrazzati (bna).

## 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 Pontassieve scelti per gli studi di Microzonazione Sismica.

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

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

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

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

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

## **6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE**

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

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

Pertanto, ad esempio, dovranno essere eseguite specifiche indagini per la valutazione della velocità delle onde sismiche, indagini per la caratterizzazione dinamica dei terreni finalizzate alla definizione dell'analisi di risposta sismica locale, indagini in sito per la valutazione del potenziale di liquefazione, indagini finalizzate alla determinazione dei parametri residui in caso di analisi di stabilità di pendii.

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

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

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

Infine, data la categoria granulometrica del fondo, in prima analisi (lettura ed interpretazione delle descrizioni presenti nelle stratigrafie) sembrerebbero esclusi fenomeni di liquefazione. 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 questa 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 all'allegata “Relazione indagini geofisiche HVSR & MASW Microzonazione Sismica di 1° livello” contenente 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.

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) svolti per il Comune di Pontassieve 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) 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 4.1 dell'ottobre 2017).

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 Pontassieve sono stati eseguiti sia gli studi di Livello 1 che gli studi di Livello 2.**

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 e 0.5-1.0 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*

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, 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 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 allorché le condizioni geologiche e geomorfologiche consentono l'applicazione di metodi semplificati, ha come scopo quello di:

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

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

Gli abachi per la caratterizzazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione attesi sono tabelle in cui un insieme di valori assunti da parametri considerati diagnostici e ad un particolare livello di rischio sismico sono associati univocamente ai valori previsti dell'amplificazione del movimento sismico (FA o "Amplificazione del fattore" ") rispetto a un motivo di riferimento.

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

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

- a) il valore delle  $V_s$  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 (PSA<sub>out</sub>) e la controparte integrale dello spettro di accelerazione di ingresso (PSA<sub>in</sub>). Questo fattore di amplificazione viene calcolato per periodi di riferimento specifici: brevi periodi -  $0,1 < T < 0,5$  s; lunghi periodi -  $0,5 < T < 1$  s.

Di seguito vengono presentati gli abachi usati per gli studi di Microzonazione di Livello 2:

### Depth of the geological substrate ≤ 30 m

ag value (TR=475 years) < 0.15g

0.1 - 0.5 s

| VsH (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | ≥ 8 | 75° perc. |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <200               | 1.1 | 1.5 | 1.9 | 2.5 | 2.1 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.9       |
| 300                | 0.7 | 1.3 | 1.8 | 2.1 | 2.0 | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.5 | 1.8       |
| 500                |     |     | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 1.4       |
| 700                |     |     |     |     | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2       |
| ≥800               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |

0.5 - 1 s

| VsH (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | ≥ 8 | 75° perc. |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <200               | 1.6 | 2.5 | 2.1 | 1.7 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 2.2       |
| 300                | 1.3 | 2.2 | 1.9 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.6       |
| 500                |     |     | 1.4 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1       |
| 700                |     |     |     |     | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0       |
| ≥800               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |

### Depth of the geological substrate ≤ 30 m

ag value (TR=475 years) ≥ 0.15g

0.1 - 0.5 s

| VsH (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | ≥ 8 | 75° perc. |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <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 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.4 | 1.9       |
| 500                |     | 1.0 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.7       |
| 700                | 0.8 | 1.1 |     |     | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.5       |
| ≥800               |     |     |     |     |     |     |     |     | 1.3 | 1.3       |

0.5 - 1 s

| VsH (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | ≥ 8 | 75° perc. |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <200               | 1.6 | 2.2 | 1.9 | 1.6 | 1.3 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.4       |
| 300                | 1.5 | 2.3 | 1.8 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.6       |
| 500                |     | 2.2 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.2       |
| 700                | 1.6 | 2.0 |     |     | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.1       |
| ≥800               |     |     |     |     |     |     |     |     | 1.0 | 1.0       |

### Depth of the geological substrate >30

ag value (TR=475 years) < 0.15g

0.1 - 0.5 s

| Vs30 (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | ≥ 8 | 75° perc. |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <200                | 1.0 | 1.3 | 2.0 |     |     |     |     |     |     | 1.2       |
| 300                 | 1.1 | 1.4 | 1.7 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 1.4       |
| 500                 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | 1.4       |
| 700                 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.2       |
| ≥800                | 1.0 | 1.0 | 1.0 |     |     |     |     | 1.2 | 1.1 | 1.0       |

0.5 - 1 s

| Vs30 (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | ≥ 8 | 75° perc. |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| <200                | 1.8 | 2.2 | 2.3 |     |     |     |     |     |     | 2.1       |
| 300                 | 1.4 | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.6 | 1.8 | 1.8       |
| 500                 | 1.2 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.5       |
| 700                 | 1.1 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.2       |
| ≥800                | 1.1 | 1.2 | 1.2 |     |     |     |     | 1.0 | 1.0 | 1.1       |

## Depth of the geological substrate >30

ag value (TR=475 years)  $\geq 0.15g$

0.1 - 0.5 s

| Vs30 (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | $\geq 8$ | 75° perc. |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----------|
| <200                | 0.7 | 1.0 |     |     |     |     |     |     |          | 0.8       |
| 300                 | 1.1 | 1.5 | 1.8 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 2.0 | 1.9 | 2.0      | 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 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 1.6      | 1.6       |
| $\geq 800$          | 1.1 | 1.2 |     | 1.5 | 1.3 | 1.3 |     |     | 1.4      | 1.4       |

0.5 - 1 s

| Vs30 (m/s)   f0(Hz) | <1  | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | $\geq 8$ | 75° perc. |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----------|
| <200                | 1.3 | 2.0 |     |     |     |     |     |     |          | 1.3       |
| 300                 | 1.5 | 2.3 | 2.0 | 1.9 | 2.1 | 1.9 | 1.8 | 1.8 | 1.3      | 2.2       |
| 500                 | 1.4 | 2.0 | 1.8 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.5 | 1.5 | 1.5      | 1.8       |
| 700                 | 1.2 | 1.7 | 1.6 | 1.3 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.3 | 1.3      | 1.4       |
| $\geq 800$          | 1.5 | 2.0 |     | 1.3 | 1.1 | 1.1 |     |     | 1.3      | 1.3       |

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

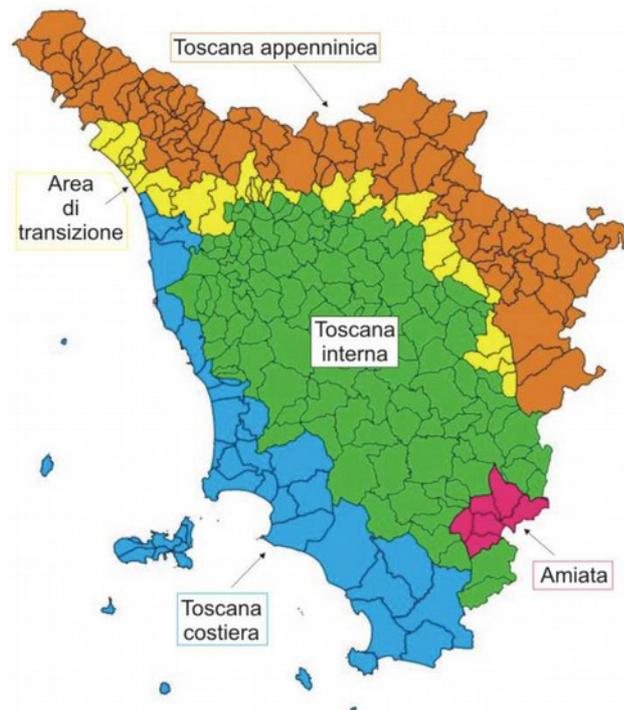
1. Caratterizzazione statistica della distribuzione di valori FA per singole tipologie litografiche e gruppi di accelerogrammi
2. Identificazione dei parametri sperimentali che caratterizzano le varie situazioni lito-stratigrafiche

- 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) e di FHa (0.5-1.0s).
- 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 e 0,5-1,0 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.

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 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° e 2° Livello.

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

Le Carte delle indagini (Tavole G.01, G.05 e G.09) mostra, 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° livello (cfr. allegate 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".

Nelle Carte delle frequenze (Tavole G.03, G.7 e G.11) 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 Pontassieve 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 e della Carta di Microzonazione Sismica di livello 2, ma anche offrire un'indicazione delle profondità di investigazione per l'eventuale successivo livello superiore di MS (livello 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.

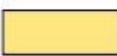
Una sintetica descrizione delle risultanze delle misure di rumore sismico effettuate con tecnica HVSr presso le aree di indagine nel territorio comunale di Pontassieve è riportata nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.

### 8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

La carta geologico tecnica è stata redatta in scala 1:5.000 (Tavole G.2, G.6 e G.10) e rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.1 dell'ottobre 2017), 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 media-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                                                                 |

Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ambiente vulcanico</b>                                        |    |
| Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici                | la |
| Coni scorie/ceneri                                               | sc |
| Coltri ignimbritiche                                             | ig |
| <i>Lahar</i> (colate di fango)                                   | lh |
| <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 |
| Lacustre                                                         | lc |
| Palustre                                                         | pa |
| Piana inondabile                                                 | pi |
| <b>Ambiente carsico</b>                                          |    |
| Riempimento di dolina/ <i>karren</i> / <i>vaschetta/sinkhole</i> | 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 |
| <i>Till</i>                                                      | ti |
| <b>Ambiente eolico</b>                                           |    |
| Duna eolica                                                      | de |
| <i>Loess</i>                                                     | 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 Geologico 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 |       |                                                              |
|---------------------|-------|--------------------------------------------------------------|
| LP                  | LP    | Lapideo                                                      |
| GR                  | GR    | Granulare cementato                                          |
| CO                  | CO    | Coesivo sovraconsolidato                                     |
| AL                  | AL    | Alternanza di litotipi                                       |
| LPS                 | LPS   | Lapideo, stratificato                                        |
| GRS                 | GRS   | Granulare cementato, stratificato                            |
| COS                 | COS   | Coesivo sovraconsolidato, stratificato                       |
| ALS                 | ALS   | Alternanza di litotipi, stratificato                         |
| SFLP                | SFLP  | Lapideo fratturato / alterato                                |
| SFGR                | SFGR  | Granulare cementato fratturato / alterato                    |
| SFCO                | SFCO  | Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato               |
| SFAL                | SFAL  | Alternanza di litotipi fratturato / alterato                 |
| SFLPS               | SFLPS | Lapideo, stratificato fratturato / alterato                  |
| SFGRS               | SFGRS | Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato      |
| SFCOS               | SFCOS | Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato |
| SFALS               | SFALS | Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato   |

*Legenda della Carta Geologica Tecnica: substrato geologico*

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

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 nelle aree sottoposte a studio di Microzonazione Sismica, 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 (h5).
- **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 in evoluzione (b).
- **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 in terrazzati (bna).
- **Unità geologico-tecnica SMfd:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante (falda detritica). A questi corrispondono i corpi detriti appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa).
- **Unità geologico-tecnica SMec:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante (eluvi/colluvi). A questi corrispondono i depositi eluvio-colluviali (b2a).
- **Unità geologico-tecnica SMed:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante (conoide detritica). A questi corrispondono i corpi detritici appartenenti agli depositi di conoide.

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nelle cartografia secondo quanto previsto alla figure 1.1.2-5 delle norme ICMS (versione 4.0b dell'ottobre 2015), evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

### Substrato geologico

- **Unità geologico-tecnica LPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate. A questa unità sono riferibili i depositi appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL), alla Pietraforte (PTF), alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3), alle Arenarie di Monte Senario (SEN), alle Brecciole di Monte Senario (BMS), alle litofacies delle Brecciole Nummulitiche (ACCc) e torbiditico calcareo marnose (ACCb) delle Argille e Calcari di Canetolo (ACC).
- **Unità geologico-tecnica SFLPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate fratturate e alterate. A questa unità sono riferibili i terreni fratturati e alterati appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL), alla Pietraforte (PTF), alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3), alle Arenarie di Monte Senario (SEN), alle Brecciole di Monte Senario (BMS), alle litofacies delle Brecciole Nummulitiche (ACCc) e torbiditico calcareo marnose (ACCb) delle Argille e Calcari di Canetolo (ACC).
- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. A questa unità sono riferibili i depositi appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano (FAL4), alle Argille e Calcari di Canetolo (ACC) e alla loro litofacies calcareo argillitica (ACCa), e alle Marne di San Polo (MACc), alla Formazione di Villa a Radda (AVR), alle Marne di Vicchio (VIC) e alle Marne di Galiga (FAL4a).
- **Unità geologico-tecnica SFALS:** corrisponde al substrato geologico costituito da un'alternanza di litotipi stratificati fratturati e alterati. A questa unità sono riferibili i terreni fratturati e alterati appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano (FAL4), alle Argille e Calcari

di Canetolo (ACC) e alla loro litofacies calcareo argillitica (ACCa), e alle Marne di San Polo (MACc), alla Formazione di Villa a Radda (AVR), alle Marne di Vicchio (VIC) e alle Marne di Galiga (FAL4a).

- **Unità geologico-tecnica SFAL**: corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litotipi molto fratturati e/o alterati. A questa unità sono riferibili i depositi appartenenti ai depositi olistostromici della formazione del Macigno (MACa) e 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 4.0b dell'ottobre 2015.

| <b>SIGLA<br/>FORMAZIONE</b> | <b>NOME FORMAZIONE</b>                                                         | <b>UNITA' GEOLOGICO-<br/>TECNICA (ICMS)</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| h5                          | Depositi antropici di riporto                                                  | RI                                          |
| a3a                         | Detrito di falda                                                               | SMfd                                        |
| aa                          | Depositi di versante                                                           | SMfd                                        |
| b                           | Depositi alluvionali in evoluzione                                             | GMes                                        |
| bna                         | Depositi alluvionali terrazzati                                                | SMes                                        |
| b2a                         | Depositi eluvio-colluviali (su substrato arenaceo/calcareo)                    | SMec                                        |
| conoide                     | Depositi di conoide                                                            | SM cd                                       |
| MLL                         | Formazione di Monte Morello                                                    | LPS                                         |
| SIL                         | Formazione di Sillano                                                          | ALS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |
| PTF                         | Pietraforte                                                                    | LPS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |
| FAL3                        | Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto                                 | LPS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |
| FAL4                        | Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano                                  | ALS<br>SFALS se alterato/fratturato         |
| FAL4a                       | Marne di Galiga                                                                | ALS<br>SFALS se alterato/fratturato         |
| FALa                        | Arenarie del M. Falterona – litofacies olistostromica                          | SFAL                                        |
| VIC                         | Marne di Vicchio                                                               | ALS<br>SFALS se alterato/fratturato         |
| SEN                         | Arenarie di Monte Senario                                                      | LPS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |
| BMS                         | Brecciole di Monte Senario                                                     | LPS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |
| ACC                         | Argille e Calcari di Canetolo                                                  | ALS<br>SFALS se alterato/fratturato         |
| ACCa                        | Argille e Calcari di Canetolo – litofacies calcareo argillitica                | ALS<br>SFALS se alterato/fratturato         |
| ACCb                        | Argille e Calcari di Canetolo – litofacies torbiditica calcareo marnosa        | LPS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |
| ACCc                        | Argille e Calcari di Canetolo - litofacies delle Brecciole Nummulitiche (ACCc) | LPS<br>SFLPS se alterato/fratturato         |

|      |                                     |      |
|------|-------------------------------------|------|
| MACc | Marne di San Polo                   | ALS  |
| MACa | Macigno – litofacies olistostromica | SFAL |

#### 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) alle seguenti categorie di microzone:

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

Le **zone stabili** sono quelle nelle quali si ipotizza che non si verifichino significativi fenomeni di amplificazione sismica (presenza di substrato geologico/sismico in affioramento) e per le quali, perciò, in caso di evento sismico, sono attesi scuotimenti equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base dell’INGV. Considerando che la pericolosità sismica di base di un sito è definita sull’ipotesi di substrato litoide affiorante su superficie pianeggiante o con inclinazione inferiore a 15°, 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. 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 di Livello 2. 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 approvato e sull'applicazione della quantificazione numerica degli effetti, sulla scorta degli abachi di riferimento, in funzione dei valori peculiari di caratterizzazione sismica ( $V_{s30}$ ,  $f_0$ ) del sottosuolo di interesse.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.4 degli ICMS) 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. 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 nelle Carte di Microzonazione Sismica.

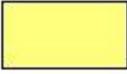
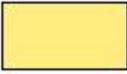
| <b>Parametro</b> | <b>Descrizione</b>                                                            |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| FA               | Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS |
| FV               | Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS |
| $F_t$            | 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, non vengono presentati i valori di FA0105, FA0408 e FA0711.

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.

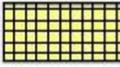
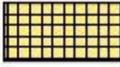
Si precisa che nella zona stabile, con parametro di amplificazione uguale a 1,0 sono comprese le zone con deamplificazione e con amplificazioni fino a 1,04. Nella classe 1,1-1,2, invece, sono compresi valori di amplificazione da 1,05 a 1,24, mentre nella classe 1,3-1,4 sono compresi valori di amplificazione 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>AHR</sub> - Zona di Attenzione per instabilità di versante                                               |
| Vedi Figura 1.1.4.2-1a                                                            | Z <sub>ALQ</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/ <i>sinkhole</i> |
|  | Z <sub>AID</sub> - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti                             |

| Zone di attenzione per instabilità                                                  |                                                                                     |                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Z <sub>AHR</sub>                                                                    | Z <sub>ALQ</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.

## 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.4, G.8 e G.12 in scala 1:5.000).

### **Zone stabili**

| <b>ID</b> | <b>Descrizione Zona</b>                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|
| Z1 (2001) | Substrato lapideo, stratificato (LPS), $i < 15^\circ$ , c.i. basso. |

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

| <b>ID</b>         | <b>Descrizione Zona</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Z1 (2001)</b>  | Substrato lapideo, stratificato (LPS), $i > 15^\circ$ , c.i. basso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Z2 (2002)</b>  | Substrato lapideo, stratificato fratturato /alterato (SFLPS), spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo, stratificato (LPS), $i > 15^\circ$ , c.i. basso.                                                                                                                                                                                              |
| <b>Z3 (2003)</b>  | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i < 15^\circ$ , c.i. alto.                                                                                                                                     |
| <b>Z4 (2004)</b>  | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i > 15^\circ$ , c.i. alto.                                                                                                                                     |
| <b>Z5 (2005)</b>  | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i < 15^\circ$ , c.i. basso.                                                                                                                                    |
| <b>Z6 (2006)</b>  | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i > 15^\circ$ , c.i. basso.                                                                                                                                    |
| <b>Z7 (2007)</b>  | Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL), $i > 15^\circ$ , c.i. alto.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Z8 (2008)</b>  | Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL), $i < 15^\circ$ , c.i. alto.                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Z9 (2009)</b>  | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL), c.i. alto.                                                                                                                          |
| <b>Z10 (2010)</b> | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiante su Substrato lapideo, stratificato (LPS), c.i. basso.                                                                                                                                                                |
| <b>Z11 (2011)</b> | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiante su Substrato lapideo, stratificato (LPS), c.i. alto.                                                                                                                                                                 |
| <b>Z12 (2012)</b> | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiante su Substrato lapideo, stratificato fratturato /alterato (SFLPS), spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo, stratificato (LPS), c.i. basso.                                                           |
| <b>Z13 (2013)</b> | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. alto.  |
| <b>Z14 (2014)</b> | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. basso. |
| <b>Z15 (2015)</b> | Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su Substrato lapideo, stratificato (LPS), c.i. basso.                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Z16 (2016)</b> | Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su Substrato lapideo, stratificato (LPS), c.i. alto.                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Z17 (2017)</b> | Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL), c.i. alto.                                                                                                                                                                 |
| <b>Z18 (2018)</b> | Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), c.i. alto.                                                                                                                                                    |

**Z19 (20019)** Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), c.i. basso.

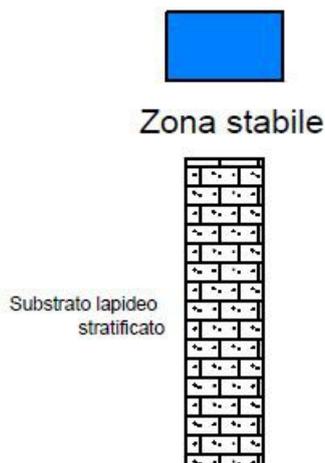
**Z20(2020)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es) e di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 3,0-25,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), c.i. alto.

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

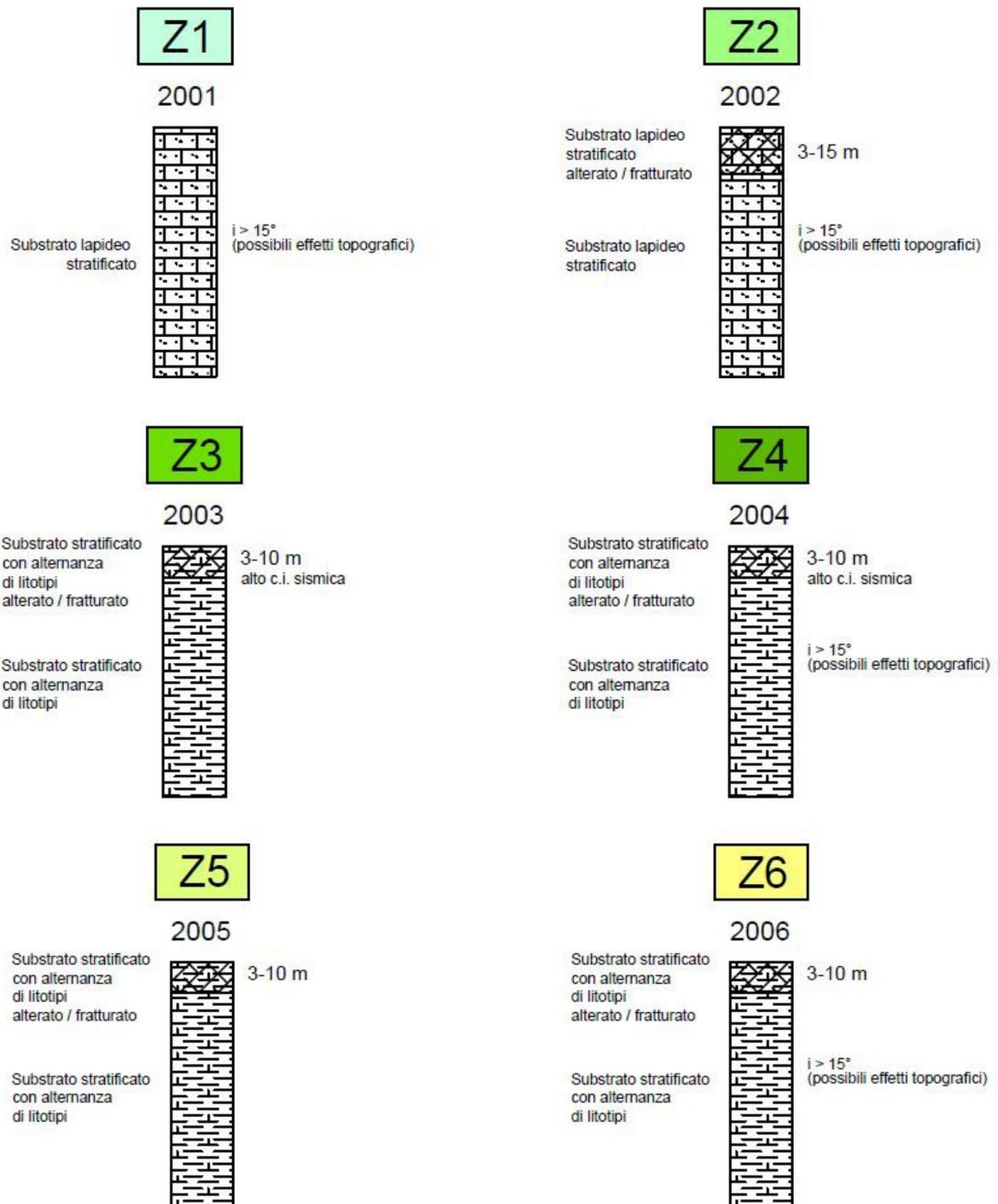
| <b>ID</b>         | <b>Descrizione Zona</b>                                                                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <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>ZAID</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



**Z7**

2007

Substrato con  
alternanza di litotipi  
alterato / fratturato



alto c.i. sismica  
 $i > 15^\circ$   
(possibili effetti topografici)

**Z8**

2008

Substrato con  
alternanza di litotipi  
alterato / fratturato



alto c.i. sismica

**Z9**

2009

Depositi alluvionali  
ed eluvio-colluviali

Substrato con  
alternanza di litotipi  
alterato / fratturato



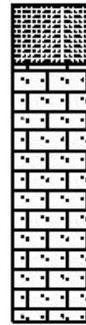
5-10 m

**Z10**

2010

Depositi alluvionali  
ed eluvio-colluviali

Substrato lapideo  
stratificato



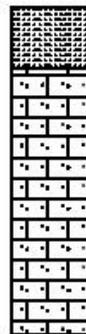
5-15 m

**Z11**

2011

Depositi alluvionali  
ed eluvio-colluviali

Substrato lapideo  
stratificato



5-15 m

alto c.i. sismica

**Z12**

2012

Depositi alluvionali  
ed eluvio-colluviali

Substrato lapideo  
stratificato  
alterato / fratturato

Substrato lapideo  
stratificato

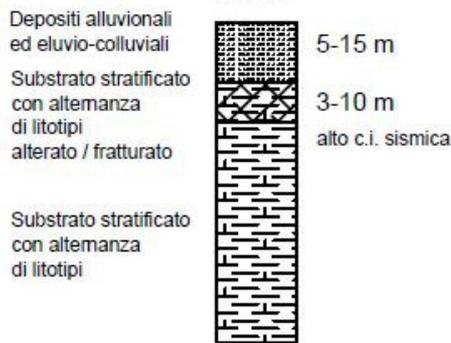


5-15 m

3-15 m

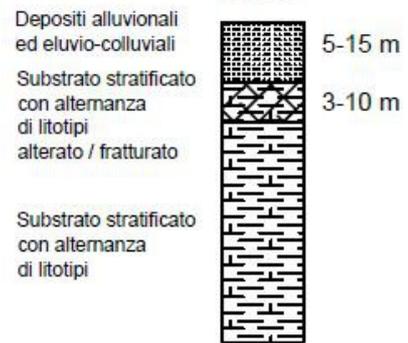
### Z13

2013



### Z14

2014



### Z15

2015



### Z16

2016



### Z17

2017



### Z18

2018





## ELABORAZIONI DI LIVELLO 2

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 del territorio comunale di Pontassieve, 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.

Relativamente alla Carta delle Frequenze naturali dei depositi è stato confermato l'elaborato redatto per il Livello 1, in quanto non sono state eseguite 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 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 0,5 e 1,0s;
- la carta di microzonazione sismica nella quale sono riportati i fattori di amplificazione massimi, carta quest'ultima propedeutica alla futura realizzazione della carta della pericolosità sismica.

Per detto elaborato le nuove indagini eseguite hanno confermato il modello geologico generale e quindi la classificazione delle microzone eseguita in fase di Livello 1; restano pertanto valide anche le sezioni litotecniche presentate nel precedente studio.

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 (DSFTA – Unisi 2013).

In termini metodologici si è proceduto:

- all'individuazione degli abachi relativi alla zona di interesse, corrispondente all'**Area di Transizione**;
- all'individuazione del valore di  $A_g$  (475 anni): è stata utilizzata la griglia dei valori indicati dall'INGV. Il territorio del Comune di Pontassieve ricade per la sua porzione inferiore (località di Pontassieve capoluogo, Molin del Piano, Sieci e Monteloro) in  **$A_g < 0,15g$** , mentre la sua porzione settentrionale (località di Montebonello, Acone, Doccia e Santa Brigida) ricade in  **$A_g > 0,15g$** ;
- alla verifica della profondità del substrato. Nel caso in esame risulta **inferiore a 30m**);
- 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 sono state prodotte tre carte di cui le prime due con i fattori di amplificazione relativi rispettivamente a  $T_0 = 0.1-0.5s$  e a  $T_0 = 0.5-1.0s$ ; la terza carta riporta i valori massimi relativi ad entrambi gli scenari.

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 entrambe le Finestre di Amplificazione calcolate (Fh01-05; Fh05-1) delle particolarità dovute alla peculiarità del contesto geologico, già evidenziate negli studi di Microzonazione di Livello 1.

In particolare:

- Per l'Intervallo 01-05s, nel caso di  $A_g < 0.15g$ , le zone Mops 2-3-5-6-15-19 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,3 – 1,4, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz velocità delle onde  $V_{sH} = 500$  m/s.

Le zone Mops 4-7-8-9-10-12-16-17-18 presentano, invece, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5-1,6 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle Onde  $V_{sH}$  pari a 300 m/s.

La zona Mops 1 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle Onde  $V_{sH}$  pari a 700 m/s.

Le zone Mops 13 e 20 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5-1,6 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 = 5.5$  Hz e velocità delle Onde  $V_{sH}$  pari a 500 m/s.

Nel caso di frequenze  $f_0 = 4,5$  Hz, la zona Mops 14 presenta, per  $V_{sH}$  pari a 300 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,9-2,0, mentre la zona 18bis presenta, per  $V_{sH}$  pari a 500 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7-1,8.

Infine, nel caso di frequenze  $f_0 = 3,5$  Hz, la zona Mops 11 presenta, per  $V_{sH} < 200$  m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 2,5-2,6.

Nel caso di  $A_g > 0.15g$  le zone Mops 2-3-4-5-6-12 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,3 – 1,4, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle onde  $V_{sH} = 500$  m/s.

Le zone Mops 10 e 18 presentano, invece, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5-1,6 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle Onde  $V_{sH}$  pari a 300 m/s.

La zona Mops 1 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle Onde VsH pari a 700 m/s.

Nel caso di frequenze  $f_0 = 5,5$  la zona 13 presenta, per VsH pari a 500 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7-1,8, mentre la zona Mops 14 presenta per frequenze prive di picco e per VsH pari a 300 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,9-2,0,

Infine, nel caso di frequenze  $f_0 = 3,5$  Hz, la zona Mops 11 presenta, per VsH  $< 200$  m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 2,1-2,2.



Legenda delle carte di Microzonazione Sismica per FHa 0,1-0,5s

- Per l'Intervallo 01-05s, nel caso di  $A_g < 0,15g$ , le zone Mops 2-3-4-5-6-7-8-9-10-12-13-15-16-17-18-19 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1 – 1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle onde VsH comprese tra 300 e 500 m/s.

La zona Mops 1 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle Onde VsH pari a 700 m/s.

Le zone Mops 13 e 20 presentano anch'esse valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 ma, considerando nell'abaco di riferimento, valori medi di frequenza  $f_0 = 5.5$  Hz e velocità delle Onde VsH pari a 500 m/s.

Nel caso di frequenze  $f_0 = 4,5$  Hz, la zona Mops 14 presenta, per VsH pari a 300 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,3-1,4, mentre la zona 18bis presenta, per VsH pari a 500 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2.

Infine, nel caso di frequenze  $f_0 = 3,5$  Hz, la zona Mops 11 presenta, per VsH  $< 200$  m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7-1,8.

Nel caso di  $A_g > 0.15g$ , le zone Mops 2-3-4-5-6-10-12-18 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1 – 1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle onde VsH comprese tra 300 e 500 m/s.

La zona Mops 1 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza  $f_0 > 8$  Hz e velocità delle Onde VsH pari a 700 m/s.

Anche la zona Mops 14 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza prive di picco e velocità delle Onde VsH pari a 300 m/s.

La zona Mops 13 presenta anch'essa valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1-1,2 ma, considerando nell'abaco di riferimento, valori medi di frequenza  $f_0 = 5.5$  Hz e velocità delle Onde VsH pari a 500 m/s.

Infine, nel caso di frequenze  $f_0 = 3,5$  Hz, la zona Mops 11 presenta, per VsH < 200 m/s, valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5-1,6.



Legenda delle carte di Microzonazione Sismica per FHa 0,5-1s

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 e le zone interessate da **cedimenti differenziali**, cioè quelle aree di contatto tra litotipi con caratteristiche molto diverse. Si tratta di un buffer di 40 metri posto al contatto tra i depositi detritico-alluvionali ed il substrato roccioso.

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

Inoltre sono state riportate in carta le **zone di attenzione per la sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti**.

## Zone di attenzione per instabilità

|                                                                                     |                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 2                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 3                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 4                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 5                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 6                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 7                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 8                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 9                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 10                              |
|   | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 11                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 12                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 13                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 14                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 16                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 17                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 18                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 19                              |
|  | ZAID - Zona di attenzione per sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti |
|  | ZACD - Zona di attenzione per cedimenti differenziali                                        |

*Fh instabile 0,1-0,5*

| Zone di attenzione per instabilità                                                  |                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 2                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 3                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 4                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 5                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 6                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 7                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 8                               |
|    | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 9                               |
|   | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 10                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 11                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 12                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 13                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 14                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 16                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 17                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 18                              |
|  | ZAFR - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 19                              |
|  | ZAID - Zona di attenzione per sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti |
|  | ZACD - Zona di attenzione per cedimenti differenziali                                        |

*Fh instabile 0,5-1,0*

Si riportano di seguito le Microzone Sismiche individuate nello studio di Secondo Livello e la loro descrizione. (come presentate negli elaborati Tavole G.14, G.15, G.16, G.17, G.18, G.19, G.20, G.21 e G.22, in scala 1:5.000).

## Zone stabili

| ID     | Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona            |     |
|--------|---------------------------------------------------------|-----|
| (1011) | FH 0,1-0,5                                              | 1,0 |
|        | FH 0,5-1,0                                              | 1,0 |
|        | FPGA                                                    | 1,0 |
|        | Substrato lapideo, stratificato (LPS), $i < 15^\circ$ . |     |

## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

| ID        | Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona                                                                                                                                                                           |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Z1 (2001) | Substrato lapideo, stratificato (LPS), $i > 15^\circ$ .                                                                                                                                                                |     |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &lt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,2 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,2 |
|           | FPGA                                                                                                                                                                                                                   | 1,2 |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,2 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,2 |
| Z2 (2002) | Substrato lapideo, stratificato fratturato /alterato (SFLPS), spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo, stratificato (LPS), $i > 15^\circ$ .                                                           |     |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &lt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,3 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
|           | FPGA                                                                                                                                                                                                                   | 1,3 |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,4 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
| Z3 (2003) | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i < 15^\circ$ . |     |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &lt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,3 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
|           | FPGA                                                                                                                                                                                                                   | 1,3 |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,4 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
| Z4 (2004) | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i > 15^\circ$ . |     |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &lt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,5 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
|           | FPGA                                                                                                                                                                                                                   | 1,5 |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &gt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,4 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
| Z5 (2005) | Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), $i < 15^\circ$ . |     |
|           | <b>Profondità substrato <math>&lt; 30,0</math> m; <math>Ag &lt; 0,15g</math></b>                                                                                                                                       |     |
|           | FH 0,1-0,5                                                                                                                                                                                                             | 1,3 |
|           | FH 0,5-1,0                                                                                                                                                                                                             | 1,1 |
|           | FPGA                                                                                                                                                                                                                   | 1,3 |

- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,4  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,4
- Z6 (2006)** Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ .
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,3  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,3
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,4  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,4
- Z7 (2007)** Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i > 15^\circ$ .
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,5  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,5
- Z8 (2008)** Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i < 15^\circ$ .
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,5  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,5
- Z9 (2009)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiate su Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,5  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,5
- Z10 (2010)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiate su Substrato lapideo, stratificato (LPS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,5  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,5
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,4  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,4
- Z11 (2011)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiate su Substrato lapideo, stratificato (LPS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 2,5  
 FH 0,5-1,0 1,7  
 FPGA 2,5
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 2,2  
 FH 0,5-1,0 1,6  
 FPGA 2,2
- Z12 (2012)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiate su Substrato lapideo, stratificato fratturato / alterato (SFLPS), spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo, stratificato (LPS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**  
 FH 0,1-0,5 1,5  
 FH 0,5-1,0 1,1  
 FPGA 1,5
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**

- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,4 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,4 |
- Z13 (2013)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiate su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,6 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,6 |
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,7 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,7 |
- Z14 (2014)** Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-15,0 m, poggiate su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS), spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 2,0 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,3 |
|  | FPGA       | 2,0 |
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,9 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,2 |
|  | FPGA       | 1,9 |
- Z15 (2015)** Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiate su Substrato lapideo, stratificato (LPS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,3 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,3 |
- Z16 (2016)** Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiate su Substrato lapideo, stratificato (LPS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,5 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
- Z17 (2017)** Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiate su Substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,5 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,5 |
- Z18 (2018)** Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiate su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS).
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,5 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,5 |
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag > 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,4 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,4 |
- Z18 (2018 bis)**
- Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,15g**
- |  |            |     |
|--|------------|-----|
|  | FH 0,1-0,5 | 1,7 |
|  | FH 0,5-1,0 | 1,1 |
|  | FPGA       | 1,2 |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Z19 (2019)</b> | Copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS).<br><i>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &lt; 0,15g</i><br>FH 0,1-0,5      1,3<br>FH 0,5-1,0      1,1<br>FPGA              1,3                                                                                                          |
| <b>Z20 (2020)</b> | Copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es) e di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 3,0-25,0 m, poggiante su Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato (SFALS).<br><i>Profondità substrato &lt; 30,0 m; Ag &lt; 0,15g</i><br>FH 0,1-0,5      1,6<br>FH 0,5-1,0      1,1<br>FPGA              1,6 |

### **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>ZAID</b>       | Sovrapposizione di instabilità differenti.                                                                                                                |

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 ciascuna area di indagine vengono presentate delle specifiche tabelle in cui vengono indicate le condizioni al contorno (valore di Ag di riferimento –  $Ag > 0 < 0,15$  e profondità del substrato -  $> 0 < 30,0$  m dal p.c.) e le Zone riconosciute; e, per ciascuna zona individuata, vengono presentati i risultati di tutte le misure HVSR (valore di F0) e delle indagini lineari (valore di Vs) eseguiti, nonché i valori dei fattori di amplificazione nei due periodi 0,1-0,5s e 0,5-1,0s.

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

Per l'area della località Sieci sono stati valutati per la Zona 18 (2018) due diversi fattori di amplificazione, creando una nuova zona 18 bis (2018 bis); in quanto, sebbene la successione stratigrafica fosse uguale in due diverse porzioni dell'areale di interesse, le risultanze delle indagini sismiche lineari, a riguardo del valore di Vs, erano dissimili (300 m/s in un settore e 500 m/s in un altro).

Infine, si precisa che per le zone stabili è stato attribuito un fattore di amplificazione di 1,0 per entrambi gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s e 0,5-1,0s), indipendentemente dal relativo valore di Ag di riferimento.

| <b>PONTASSIEVE</b> |                                                         |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &lt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|--------------------|---------------------------------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b>   | <b>Hvsr</b>                                             | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001               | P119, P120                                              | >8        | L20, L19, L37, L38, L24 | 700                                       | 1.2              | 1.2 (topografia)    |
| 2003               | P85, P129, P190                                         | >8        | L25                     | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2005               | P123, P126, P124, P125                                  | >8        | L27, L28                | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2006               | P117, P121, P127                                        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2007               | No Misure                                               | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2008               | No Misure                                               | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2010               | No Misure                                               | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2011               | P132                                                    | 3.5       | L15                     | <200                                      | 2.5              | 1.7                 |
| 2013               | P19, P20, P22                                           | 5.5       | L17                     | 500                                       | 1.6              | 1.1                 |
| 2014               | P23, P118, P122, P128                                   | 4.5       | L16                     | 300                                       | 2.0              | 1.3                 |
| 2015               | No Misure                                               | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2016               | P131, P133                                              | >8        | L42                     | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2018               | P21, P86, P89, P106, P107, P108, P109, P110, P111, P112 | >8        | L37                     | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2019               | P113, P114, P115, P116                                  | >8        | L43                     | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |

| <b>MOLIN DEL PIANO</b> |                  |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &lt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|------------------------|------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b>       | <b>Hvsr</b>      | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001                   | P163, P161       | >8        | No Lineari              | 700                                       | 1.2              | 1.2 (topografia)    |
| 2002                   | No Misure        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2004                   | P163             | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2005                   | P164             | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2006                   | No Misure        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2007                   | No Misure        | >8        | L31                     | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2008                   | P157, P158       | >8        | L31                     | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2009                   | No Misure        | >8        | L31                     | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2010                   | No Misure        | >8        | L9, L10                 | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2012                   | No Misure        | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2013                   | No Misure        | 5.5       | No Lineari              | 500                                       | 1.6              | 1.1                 |
| 2014                   | No Misure        | 4.5       | No Lineari              | 300                                       | 2.0              | 1.3                 |
| 2016                   | P155, P156, P162 | >8        | L34, L44, L26           | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2017                   | No Misure        | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2018                   | P159             | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2019                   | No Misure        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |

| <b>SIECI</b>     |                                    |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &lt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b> | <b>Hvsr</b>                        | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001             | P136                               | >8        | No Lineari              | 700                                       | 1.2              | 1.2 (topografia)    |
| 2003             | P137, P142                         | >8        | L1, L2, L18             | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2004             | P139                               | >8        | L2, L3, L4, L15, L18    | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2010             | No Misure                          | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2013             | P140                               | 5.5       | L3, L32                 | 500                                       | 1.6              | 1.1                 |
| 2018             | P138, P143, P144, P149, P150, P151 | >8        | L6, L33, L45            | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2018-bis         | P116, P148                         | 4.5       |                         | 500                                       | 1.7              | 1.2                 |
| 2020             | P34, P145, P146, P147              | 5.5       | L6, L22, L32, L33       | 500                                       | 1.6              | 1.1                 |

| <b>MONTELORO</b> |             |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &lt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|------------------|-------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b> | <b>Hvsr</b> | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001             | P187        | >8        | No Lineari              | 700                                       | 1.2              | 1.2                 |
| 2005             | P184, P186  | >8        | L29                     | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2006             | P185        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.3              | 1.1                 |
| 2010             | No Misure   | >8        | No Lineari              | 300                                       | 1.5              | 1.1                 |
| 2014             | No Misure   | 4.5       | No Lineari              | 300                                       | 2.0              | 1.3                 |

| <b>MONTEBONELLO</b> |                      |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &gt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|---------------------|----------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b>    | <b>Hvsr</b>          | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001                | No Misure            | >8        | No Lineari              | 700                                       | 1.2              | 1.2<br>(topografia) |
| 2004                | P207, P209           | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2010                | No Misure            | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2013                | P14, P15, P210, P213 | 5.5       | L40, L41                | 500                                       | 1.7              | 1.1                 |
| 2018                | P211, P212           | >8        | L39                     | 300                                       | 1.4              | 1.1                 |

| <b>ACONE</b>     |             |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &gt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|------------------|-------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b> | <b>Hvsr</b> | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001             | No Misure   | >8        | No Lineari              | 700                                       | 1.2              | 1.2<br>(topografia) |
| 2002             | P197, P198  | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2012             | P196        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |

| <b>DOCCIA</b>    |             |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &gt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|------------------|-------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b> | <b>Hvsr</b> | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2003             | P190        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2004             | No Misure   | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2005             | P139        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2006             | P188        | >8        | No Lineari              | 500                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2014             | No Misure   | 75%       | No Lineari              | 300                                       | 1.9              | 1.2                 |

| <b>S.BRIGIDA</b> |                              |           |                         | <b>Abaco &lt; 30m ---- Ag &gt; 0.15 g</b> |                  |                     |
|------------------|------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Zona MOPS</b> | <b>Hvsr</b>                  | <b>F0</b> | <b>Indagini Lineari</b> | <b>Vs m/s</b>                             | <b>Fa 0.1-05</b> | <b>Fa 0.5 – 1.0</b> |
| 2001             | P219, P221, P222, P224, P225 | >8        | L8-L13-14               | 700                                       | 1.2              | 1.2                 |
| 2010             | P226, P227                   | >8        | L36                     | 300                                       | 1.4              | 1.1                 |
| 2011             | P220, P223                   | 3.5       | L33-L35                 | <200                                      | 2.2              | 1.6                 |

## **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.

## **PONTASSIEVE – Capoluogo**

(vedi tavv. G.1, G.2, G.3, G.4, G.13, G.16 e G.19, in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato del Capoluogo è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili all'Unità di Monte Morello e in particolare alla Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Monte Morello (MLL).

Su questi, nel settore di fondovalle, poggiano spessori da metrici a decametrici di depositi alluvionali terrazzati (b). In alcune aree i termini litoidi sono sormontati da spessori metrici di depositi detritici di versante (aa) e depositi eluvio-colluviali (b2a).

In particolare i termini riferibili alla Formazione di Sillano (SIL) si rinvengono in corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato del Capoluogo a ovest di Porta Aretina, mentre ad est della stessa si ha la presenza dei litotipi riferibili alla Formazione di Monte Morello (MLL).

Tra le località Cerreto e Mezzana si rinvengono anche litologie appartenenti alle Unità di M. Cervarola-Falterona sia in facies arenaceo-pelitica che olistostromica.

Le formazioni litoidi caratterizzano i rilievi collinari attorno (in particolare verso i quadranti settentrionali) all'abitato di Pontassieve, con assetto giaciturale generalmente a franapoggio più o meno inclinato del pendio con immersione verso i quadranti sud-occidentali e inclinazioni variabili tra 30° e 50° nei settori ad ovest della località P. Poggio al Colle e a nord-est di P. Voltorio; mentre con assetto giaciturale a reggipoggio e immersioni verso i quadranti orientali e inclinazioni variabili tra 10° e 35° nei settori centrali dell'area in esame.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto in alcuni areali da fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è da attiva a quiescente a stabilizzata. Tra le attive si ricorda quella interessante l'area cimiteriale, mentre una frana stabilizzata (antropicamente) di grandi estensioni interessa l'areale su cui sorge l'insediamento abitativo presso la località Mezzana. Inoltre un'ampia area compresa tra la zona cimiteriale e P. Catese è interessata dalla presenza di una frana quiescente i cui coronamenti si collocano ad est di P. Pratignone.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia scarsa acclività (generalmente compresa tra 0% e 5%) nel settore di fondovalle e un aumento della stessa (generalmente compresa tra 5% e 25%) risalendo i settori collinari in corrispondenza delle aree urbanizzate. Maggiori acclività (comprese tra 25% e 35%) si rilevano nei settori presso P. Poggio al Colle e a sud-est di P. Voltorio.

Di detti 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 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 31 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 2 strumentati con tubo piezometrico, con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 2 stratigrafie risultanti da terebrazioni di pozzi profondi;
- n. 3 prove penetrometriche di cui n. 1 prova penetrometrica statica e n. 2 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 7 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 1 indagine di sismica tipo MASW;

- n. 8 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola (HVSR)

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono inoltre statae effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 4 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh, n. 2 indagini di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole, n. 2 indagini di sismica tipo MASW e n. 28 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

Inoltre, specificatamente per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 è stata svolta una integrativa e inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 2 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh.

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

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Pontassieve risulta costituito da terreni appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Monte Morello (MLL).

In particolare i termini riferibili alla Formazione di Sillano (SIL) si rinvencono in corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato del Capoluogo a ovest di Porta Aretina, mentre ad est della stessa si ha la presenza dei litotipi riferibili alla Formazione di Monte Morello (MLL).

Tra le località Cerreto e P. Poggio al Colle Mezzana si rinvencono anche litologie appartenenti alle Unità di M. Cervarola-Falterona sia in facies arenaceo-pelitica che olistostromica.

Nella porzione di raccordo con il fondovalle i terreni appartenenti al Dominio Ligure sono sovrastati da spessori metrici (generalmente tra 5,0 e 10,0 m) di litotipi prevalentemente sabbiosi riferibili ai depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna), mentre nell'area di fondovalle sul substrato loitoido poggiano spessori da 5,0 a 15,0 m di depositi alluvionali terrazzati (b) di natura prevalentemente ghiaioso limosa e ghiaioso sabbiosa.

In alcune aree i termini litoidi sono sormontati da spessori metrici (variabili tra 3,0 e 18,0 m) di depositi detritici di versante (aa) e depositi eluvio-colluviali (b2a).

Infine alcuni areali vedono la presenza di spessori metrici di depositi riferibili a coltri 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 SMfd (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detriti appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa), all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali, all'unità geologico-tecnica GMes (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i depositi alluvionali attuali (b), mentre all'unità geologico-tecnica SMes (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna).

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 (FAL3) e alla Formazione di Monte Morello (MLL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);

- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);

- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), qualora fratturati / alterati, sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato);

- i terreni del substrato geologico appartenenti alla litofacies olistostromica delle Arenarie del M. Falterona (FAL4) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFAL (Alternanza di litotipi, fratturato / alterato).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi. Inoltre sono stati rappresentati gli orli di scarpata morfologica e le creste morfologiche.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato geologico.

### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 36 misure HVSR di cui n. 10 classificata in A1, n. 19 classificata in A2 e n. 2 classificate in B1 si ricava una valutazione di qualità pari a 81,0 che la colloca in classe di accettabilità A.

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

Nell'intero areale di studio di Pontassieve capoluogo sono state specificatamente eseguite n. 28 misure di sismica passiva con metodo HVSR, a cui si sono aggiunte ulteriori n. 8 indagini HVSR ricavate dalla banca dati dell'Amministrazione Comunale.

Nella porzione occidentale del settore di fondovalle (sostanzialmente ad ovest di Via Silvio Pellico), la maggior parte delle indagini svolte (15\_HVSR, 16\_HVSR, 18\_HVSR, 21\_HVSR, 23\_HVSR e 98\_HVSR) hanno mostrato alti contrasti di impedenza sismica (A0 compresi tra 3,05 e 12,21) con frequenze comprese tra 7,66 Hz e 17,97 Hz correlabili col passaggio tra depositi di copertura alluvionale e substrato litoide.

Invece, nella porzione orientale del suddetto settore le indagini (3\_HVSR, 31\_HVSR, 32\_HVSR e 33\_HVSR) hanno mostrato bassi contrasti di impedenza.

Sempre nel settore di fondovalle, ma in questo caso lungo il corso del Fiume Sieve la prova 26\_HVSR ha mostrato un alto contrasto di impedenza (A0 = 5,43) ad una frequenza di 16,72 Hz da correlarsi, anche in questo caso al passaggio tra depositi di copertura e substrato litoide.

Tra le prove eseguite nei settori pede-collinari e collinari le indagini 13\_HVSR (eseguita in corrispondenza dell'area cimiteriale), 25\_HVSR (eseguita in prossimità di Via della Repubblica), 96\_HVSR (realizzata presso l'asilo nido Cecco Bilecco) e le prove 100\_HVSR e 101\_HVSR (eseguite tra la Via Aretina e Via Sanzio, a sud di Piazza Cesare Pavese) hanno mostrato alti contrasti di impedenza (A0 compresi tra 3,25 e 7,12).

Nella suddetta porzione occidentale della zona di fondovalle, sono stati eseguiti gli stendimenti sismici L19, L20, L24, L37 (34\_SR con associata indagine 102\_MASW), L38 (35\_SR con associata indagine 103\_MASW).

La prova 34\_SR, realizzata presso la località Bisastrico ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di circa 4,0/5,0 m con Vs compresa tra 229 e 250 m/s, un secondo, dello spessore di 5,0-10,0 m con Vs comprese tra 685 e 686 m/s e un terzo, con Vs comprese tra 1406 e 1768 m/s.

L'indagine Masw associata (102\_MASW) presenta un primo sismostrato dello spessore compreso di 2,16 m avente Vs = 140 m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 1,95 m con Vs = 406 m/s, un terzo

sismostrato di spessore 1,5 m con  $V_s = 511$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 10,09 m con  $V_s = 784$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato, investigato per uno spessore di circa 18,0 m con  $V_s = 1017$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 586$  m/s.

La prova 35\_SR, realizzata presso il campo sportivo comunale ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di circa 3,0 m con  $V_s$  compresa tra 166 e 197 m/s, un secondo, dello spessore di 2,0/7,0 m con  $V_s$  comprese tra 461 e 489 m/s e un terzo, con  $V_s$  comprese tra 803 e 850 m/s.

L'indagine Masw associata (103\_MASW) presenta un primo sismostrato dello spessore compreso di 1,99 m avente  $V_s = 147$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 2,6 m con  $V_s = 319$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 2,08 m con  $V_s = 509$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 2,58 m con  $V_s = 493$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato, investigato per uno spessore di circa 27,0 m con  $V_s = 788$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 523$  m/s.

L'indagine sismica L24, eseguita presso la scuola media Maltoni ha mostrato la presenza di n. 4 sismostrati: un primo di spessore di 3,0/5,0 m con  $V_s$  compresa tra 170 e 215 m/s, un secondo, dello spessore di 5,0/7,0 m dal p.c. con  $V_s$  comprese tra 585 e 665 m/s, un terzo, dello spessore di 8,0/12,0 m con  $V_s$  comprese tra 775 e 785 m/s e un quarto ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1025 e 1125 m/s.

Gli stendimenti di sismica a rifrazione eseguiti in corrispondenza del centro storico di Pontassieve (indagini L27-96\_SR e L28-97\_SR) hanno mostrato rispettivamente la prima (L27-96\_SR) n. 3 sismostrati, un primo di spessore di variabile tra 5,0 e 10,0 m con  $V_s$  compresa tra 382 e 433 m/s, un secondo, dello spessore di 10,0/25,0 m con  $V_s$  comprese tra 522 e 593 m/s e un terzo, con  $V_s$  comprese tra 871 e 945 m/s; la seconda (L28-97\_SR) n. 2 sismostrati, un primo di spessore di variabile tra 10,0 e 15,0 m con  $V_s$  compresa tra 431 e 575 m/s e un secondo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 777 e 926 m/s.

In corrispondenza del Palazzo Comunale sono state, inoltre, eseguite n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole.

L'indagine 98\_DH (P102) eseguita a tergo dell'edificio comunale ha mostrato la presenza di n. 5 sismostrati: un primo sismostrato dello spessore di ca. 3,5 m avente  $V_s = 299$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore di ca. 4,0 m con  $V_s = 339$  m/s, un terzo sismostrato di spessore di ca. 12,0 m con  $V_s = 454$  m/s, un quarto sismostrato di spessore di ca. 6,0 m con  $V_s = 809$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato, investigato per uno spessore di circa 8,5 m con  $V_s = 450$  m/s.

L'indagine 99\_DH (P103) eseguita in Piazza Vittorio Emanuele ha mostrato la presenza di n. 6 sismostrati: un primo sismostrato dello spessore di ca. 2,5 m avente  $V_s = 593$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore di ca. 5,0 m con  $V_s = 333$  m/s, un terzo sismostrato di spessore di ca. 6,0 m con  $V_s = 343$  m/s, un quarto sismostrato di spessore di ca. 7,0 m con  $V_s = 918$  m/s, un quinto sismostrato di spessore di ca. 4,0 m con  $V_s = 523$  m/s e un sesto e ultimo sismostrato, investigato per uno spessore di circa 9,5 m con  $V_s = 672$  m/s.

L'indagine sismica L25, eseguita presso l'asilo nido Cecco Bilecco ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di 1,0/3,0 m con  $V_s$  compresa tra 125 e 190 m/s, un secondo, dello spessore di 5,0/7,0 m dal p.c. con  $V_s$  comprese tra 250 e 260 m/s e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 550 e 600 m/s.

La prova L12, realizzata a sud di Podere Fonticchio ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di circa 1,0/1,5 m con  $V_s$  compresa tra 71 e 152 m/s, un secondo, dello spessore di 1,5/4,5 m con  $V_s = 238$  m/s e un terzo, con  $V_s$  comprese tra 462 e 500 m/s.

Risalendo il corso del Fiume Sieve, la prova L5, eseguita a valle di P. Docciola ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di circa 0,5/1,5 m con  $V_s = 117$  m/s, un secondo, dello spessore di ca. 2,0/8,0

m con  $V_s = 249$  m/s e un terzo, con  $V_s = 1556$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 671$  m/s.

Nel settore la Via Aretina e Via Sanzio, a sud di Piazza Cesare Pavese, sono state eseguite una indagine Masw (prova L16) e uno stendimento di sismica a rifrazione (prova L17).

L'indagine Masw presenta un primo sismostrato dello spessore compreso di 1,0 m avente  $V_s = 120$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 3,0 m con  $V_s = 160$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 10,0 m con  $V_s = 300$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 4,0 m con  $V_s = 400$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato, investigato per uno spessore di 12,0 m con  $V_s = 400$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 332$  m/s. Dall'indagine sismica è stato ricavata una  $V_s = 331/334$  m/s e la presenza di un primo sismostrato, dello spessore di 10,0/12,0 m con  $V_s$  fino a 300 m/s e un secondo sismostrato dello spessore di 3,0/5,0 con  $V_s$  fino a 500 m/s.

Per gli studi di Microzonazione di Livello 2 sono state specificatamente eseguite ulteriori n.2 indagini di sismica a rifrazione in onde P e Sh.

In particolare l'indagine 115\_SR, svolta nel settore nord-est dell'abitato del Capoluogo presso Via della Repubblica ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di 2,0/3,0 m con  $V_s$  compresa tra 185 e 194 m/s, un secondo, dello spessore di 5,0/8,0 m dal p.c. con  $V_s$  comprese tra 416 e 631 m/s, e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1237 e 1287 m/s.

L'indagine 116\_SR, svolta invece in corrispondenza del parco di Piazza Libertà ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di 3,0/5,0 m con  $V_s$  compresa tra 178 e 189 m/s, un secondo, dello spessore di 5,0/18,0 m dal p.c. con  $V_s$  comprese tra 400 e 536 m/s, e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 772 e 846 m/s.

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

#### **Zone stabili**

- **(1001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3) e della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 14\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,0 per entrambi gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s e 0,5-1,0s). E, conseguentemente un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,0.

La zona viene individuata in alcuni settori nella porzione di nord-est dell'abitato di Pontassieve e in corrispondenza delle località P. Poggio al Colle e Cerreto.

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3) e della Formazione di Monte Morello (MLL). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 26\_HVSR e 27\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m. La zona viene individuata in ampi settori dei versanti a nord-est dell'abitato del Capoluogo e ad ovest della località Mezzana.

- **zona 3 (2003)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 13\_HVSR e 96\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona si rinviene nell'abitato del Capoluogo tra Via di S. Martino a Quona e lo stabilimento industriale Ruffino e presso l'area cimiteriale.

- **zona 5 (2005)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 92\_HVSR, 93\_HVSR, 94\_HVSR, e 95\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona si rinviene nell'abitato del Capoluogo nei settori pedecollinari a scarsa acclività tra Via di S. Martino a Quona e la Porta Aretina e in corrispondenza dell'Istituto Superiore Balducci.

- **zona 6 (2006)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 19\_HVSR e 29\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene nell'abitato del Capoluogo nei settori pedecollinari a scarsa acclività tra Via di S. Martino a Quona e la Porta Aretina e in corrispondenza dell'Istituto Superiore Balducci.

- **zona 7 (2007)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i > 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza dei depositi olistostromici delle Arenarie del M. Falterona (FALa).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in un limitato settore presso Via dello Stracchino.

- **zona 8 (2008)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i < 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza dei depositi olistostromici delle Arenarie del M. Falterona (FALa).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in un limitato settore presso Via dello Stracchino.

- **zona 10 (2010)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3) e della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in alcuni limitati settori del Capoluogo ad est di Porta Aretina, presso la località Doccia e a est della località Cerreto.

- **zona 11 (2011)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3) e della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare della prova 25\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 2,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,7 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 2,5.

La zona si rinviene in una fascia circa parallela al corso del Fiume Sieve nel settore di nord-est dell'area di indagine.

- **zona 13 (2013):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiate su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 100\_HVSR e 101\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,6.

La zona si riconosce in un areale tra Via Sanzio e l'area ferroviaria, a sud dell'insediamento di Mezzana, e in alcuni limitati settori presso l'area cimiteriale e ad ovest del centro storico.

- **zona 14 (2014):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiate su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e dalle prove 2\_HVSR e 30\_HVSR in particolare, e data la successione stratigrafica rilevata, si ritiene non verificata 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 2,0 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 2,0.

La zona si riconosce in un limitato settore presso l'area cimiteriale e in corrispondenza del centro storico.

- **zona 15 (2015):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiate su substrato lapideo, stratificato (LPS); c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

Questa zona presenta elementi morfologici quali orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene in un settore prossimo al corso del Fiume Sieve in corrispondenza e poco a nord del Ponte Mediceo.

- **zona 16 (2016):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su substrato lapideo, stratificato (LPS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalla prova 26\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali orli di terrazzi fluviali con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene in una estesa fascia lungo il corso del Fiume Sieve in corrispondenza e nell'estrema porzione occidentale dell'area in esame nel fondovalle del Fiume Arno.

- **zona 18 (2018):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 15\_HVSR, 16\_HVSR, 18\_HVSR, 21\_HVSR e 23\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche e orli di terrazzi fluviali con dislivelli maggiori di 20,0 m.

La zona si rinviene in una estesa fascia del fondo valle lungo il corso del Fiume Arno ad ovest di Via S. Pellico.

- **zona 19 (2019):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 3\_HVSR, 31\_HVSR, 32\_HVSR e 33\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche e orli di terrazzi fluviali con dislivelli maggiori di 20,0 m.

La zona si rinviene in un esteso settore del fondo valle alla confluenza tra il Fiume Sieve e il Fiume Arno, ad est di Via S. Pellico.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto – FAL3 e Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli – FAL2), così come tra il substrato lapideo stratificato e i termini del substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (Formazione di Sillano – SIL) e del substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato /alterato (depositi olistostromici delle Arenarie del M. Falterona - FALa), sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

In aggiunta, come desumibile dalle verifiche effettuate sulla scorta dei risultati delle specifiche indagini geognostiche (prove penetrometriche Cpt) realizzate in corrispondenza di areali con presenza nel sottosuolo di litotipi potenzialmente suscettibili alla liquefazione, nell'areale di Pontassieve capoluogo non si riconoscono zone con terreni liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

#### **SANTA BRIGIDA**

(vedi tavv. G.9, G.10, G.11, G.12, G.15, G.18 e G.21 in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato di Santa Brigida è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni del Unità di Canetolo (Dominio Subligure).

In particolare la maggior parte dell'abitato e dei settori circostanti vede come substrato geologico la presenza delle Arenarie di Monte Senario (SEN), mentre, subordinatamente e ad ovest e a sud dell'abitato sono presenti i termini riferibili alle breccie di Monte Senario (BMS) e alla litofacies torbidity calcareo-marnosa (ACCb) delle Argille e Calcari di Canetolo.

Le formazioni litoidi hanno un assetto giaciturale generalmente a franapoggio, più o meno inclinato del pendio con immersione verso il quadrante sud-occidentale dentali e inclinazioni variabili tra 10° e 40° (principalmente tra 15° e 30°).

Le varie formazioni riconosciute sono soventemente sormontate da depositi di frana, coltri eluvio-colluviali (b2a) e falde detritiche (a3a).

Il quadro geomorfologico è contraddistinto da fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è da attiva a quiescente, a naturalmente stabilizzata. In particolare la porzione centrale dell'abitato è interessato dalla presenza di una fenomenologia gravitativa attiva variamente interessata negli anni da interventi di consolidamento, mentre l'abitato in sinistra del Fosso della Risaia è interessato da un ampio distretto franoso quiescente.

Sono presenti, inoltre, areali con fenomeni di erosione superficiale. Il contesto geomorfologico completato dalla presenza di frane di scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché, in corrispondenza dei corsi d'acqua di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una prevalente acclività con pendenze comprese tra 15% e 25%.

Di detti 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 la frazione di Santa Brigida 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 18 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 3 stratigrafie risultanti da terebrazioni di pozzi profondi;
- n. 1 indagine di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 3 indagine di sismica tipo MASW.

In corrispondenza dell'abitato di Santa Brigida sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 2 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh, n. 2 indagini di sismica tipo MASW e n. 9 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

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

L'area su cui sorge l'abitato di Santa Brigida è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni del Unità di Canetolo (Dominio Subligure).

In particolare la maggior parte dell'abitato e dei settori circostanti vede come substrato geologico la presenza delle Arenarie di Monte Senario (SEN), mentre, subordinatamente e ad ovest e a sud dell'abitato sono presenti i termini riferibili alle breccie di Monte Senario (BMS) e alla litofacies torbida calcareo-marnosa (ACCb) delle Argille e Calcari di Canetolo.

Le formazioni litoidi hanno un assetto giaciturale generalmente a franapoggio, più o meno inclinato del pendio con immersione verso il quadrante sud-occidentale e inclinazioni variabili tra 10° e 40° (principalmente tra 15° e 30°).

In alcuni areali presso l'abitato di Santa Brigida si vengono riconosciuti spessori metrici di depositi riferibili a coltri di frana.

Infine, talora, i termini litoidi sono sormontati da spessori metrici (compresi tra 3,0 e 15,0 m) di depositi di frana, detritici di versante (aa) e depositi eluvio-colluviali (b2a).

### ***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 SMfd (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detriti appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa) e all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali.

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

- i terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie di Monte Senario (SEN), alle Brecciole di Monte Senario (BMS) e alla litofacies torbiditico calcareo marnosa (ACCb) delle Argille e Calcari di Canetolo (ACC) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi. Inoltre sono stati rappresentati gli orli di scarpata morfologica e gli elementi tettonico strutturali.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato geologico.

#### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 9 misure HVSR di cui n. 3 classificate in classe A1, n. 4 classificate in A2, n. 1 classificate in B1 e n. 1 classificata in B2, si ricava una valutazione di qualità pari a 56,8 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

In corrispondenza dell'abitato di Santa Brigida sono state appositamente eseguite n. 9 misure di sismica passiva con metodo HVSR (10\_HVSR, 11\_HVSR, 36\_HVSR, 37\_HVSR, 38\_HVSR, 39\_HVSR, 40\_HVSR, 41\_HVSR e 42\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le indagini eseguite in corrispondenza dell'abitato, laddove si ha la presenza di un substrato litoide affiorante e/o sub-affiorante, hanno mostrato fenomeni di basso contrasto di impedenza. La sola prova 40\_HVSR ha mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 3,38$ ) a profondità compresa tra 5,0 e 10,0 m dal p.c..

Anche le misure (41\_HVSR e 42\_HVSR) eseguite in corrispondenza della porzione di abitato posta in sinistra del corso del Fosso del Risaio, dove si ha la sovrapposizione di coperture recenti sul substrato litoide, non hanno mostrato particolari contrasti di impedenza sismica.

Invece, le misure 11\_HVSR e 38\_HVSR, hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  rispettivamente pari a 4,74 e 7,46) a frequenze comprese tra 8,75 Hz e 5,88 Hz, da correlarsi presumibilmente al passaggio tra coperture di frana e detritiche e il sottostante substrato litoide.

Presso la località Le Lucole è stato eseguito uno stendimento sismico (43\_SR) associato a una indagine Masw (104\_MASW).

In particolare la prova 43\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore variabile tra 2,0 m e 6,0 m avente  $V_s = 257/292$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato con spessore di circa 8,0 m con  $V_s = 486/571$  m/s, e un terzo sismostrato con  $V_s = 746/1581$  m/s.

L'indagine 104\_MASW presenta un primo sismostrato dello spessore di 1,62 m avente  $V_s = 186$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 2,53 m con  $V_s = 314$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 2,15 m con  $V_s = 551$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 5,29 m con  $V_s = 503$  m/s e un quinto sismostrato, investigato per uno spessore di circa 25,0 m con  $V_s = 1102$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 626$  m/s.

In prossimità della prova 41\_HVSR è stato eseguito uno stendimento sismico (44\_SR) associato a una indagine Masw (105\_MASW).

In particolare la prova 44\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore variabile tra 2,0 m e 3,0 m avente  $V_s = 338/490$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato con spessore di circa 8,0 m con  $V_s = 1610/2374$  m/s.

L'indagine 105\_MASW presenta un primo sismostrato dello spessore di 1,28 m avente  $V_s = 186$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 0,84 m con  $V_s = 314$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 1,26 m con  $V_s = 551$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 0,94 m con  $V_s = 503$  m/s e un quinto sismostrato, investigato per uno spessore di circa 32,0 m con  $V_s = 1327$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 1088$  m/s.

Lungo Via del Sasso lo stendimento sismico L8 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di poche decine di centimetri avente  $V_s$  compresa tra 198 m/s e 303 m/s, a cui segue, per uno spessore variabile tra 2,0 e 6,0 m, un secondo sismostrato con  $V_s = 509$  m/s, e un terzo sismostrato con  $V_s$  compresa tra 1108 m/s e 1822 m/s.

Lungo il versante ad est della località Castellaccio sono state eseguite n. indagini di tipo Masw (prova L13 e prova L14).

L'indagine L13 presenta un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m avente  $V_s = 250$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 6,0 m con  $V_s = 519$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 5,0 m con  $V_s = 684$  m/s e un quarto e ultimo sismostrato, dello spessore di 17,0 m con  $V_s = 763$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 610$  m/s.

L'indagine L14 presenta un primo sismostrato dello spessore di 1,0 m avente  $V_s = 260$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 5,0 m con  $V_s = 647$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 8,0 m con  $V_s = 742$  m/s e un quarto e ultimo sismostrato, dello spessore di 16,0 m con  $V_s = 750$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 687$  m/s.

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

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie di Monte Senario (SEN) e delle Breccie di Monte Senario (BMS). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 10\_HVSR, 36\_HVSR, 37\_HVSR e 39\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m e maggiori di 20,0 m.

La zona interessa principalmente la porzione centro-orientale dell'abitato di Santa Brigida, l'area della cava Raggi, il settore cimiteriale e il settore delle località Castellaccio – Le Lucole.

- **zona 10 (2010)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie di Monte Senario (SEN) e delle Breccie di Monte Senario (BMS).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 41\_HVSR e 42\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m e maggiori di 20,0 m.

La zona si rinviene principalmente in corrispondenza del settore dell'abitato ad est del Fosso del Risaio.

- **zona 11 2011**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); alto c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie di Monte Senario (SEN) e delle Breccie di Monte Senario (BMS).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 11\_HVSR e 38\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 2,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 2,2.

La zona si rinviene principalmente in corrispondenza della porzione occidentale dell'abitato di Santa Brigida.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Arenarie di Monte Senario – SEN, Breccie di Monte Senario - BMS), sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Infine sono state evidenziate le aree dove si ha la sovrapposizione di **zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

## **ACONE**

(vedi tavv. G.9, G.10, G.11, G.12, G.15, G.18 e G.21 in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato di Acone è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano).

In particolare l'Unità di Monte Cervarola - Falterona è rappresentata dalle Arenarie del M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3), nella sua facies principale costituita da un'alternanza di livelli arenacei, marnosi, argillitici e siltitici.

Le formazioni litoidi hanno un assetto giaciturale generalmente a franapoggio, più o meno inclinato del pendio con immersione verso il quadrante sud-occidentale e inclinazioni prossime ai 30°.

Talora, ad ovest dell'abitato, si rinvengono spessori da decimetrici a metrici di coltri eluvio-colluviali (b2a) e falde detritiche (a3a).

Il quadro geomorfologico è contraddistinto principalmente da fenomeni di erosione superficiale. Fenomenologie gravitative naturalmente stabilizzate si rinvengono lungo il Borro del Castelluccio ad est dell'abitato di Acone.

Sono presenti, inoltre, areali con il contesto geomorfologico completato dalla presenza di scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una prevalente acclività con pendenze comprese tra il 15% e il 35%, ma anche, nei settori a sud dell'abitato, > 35%.

Di detti 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 la frazione di Acone 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 2 stratigrafie risultanti da terebrazioni di pozzi profondi;

In corrispondenza dell'abitato di Acone sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 3 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

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

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Acone risulta costituito da terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano) e, in particolare alle Arenarie del M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3), nella sua facies principale costituita da un'alternanza di livelli arenacei.

Suddette litologie sono talora sormontate nel settore ad ovest dell'abitato da depositi eluvio-colluviali (b2a) e falde detritiche (a3a).

### ***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 SMfd (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi detriti

appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa) e all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali.

I terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Montalto (FAL3) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica del substrato geologico LPS (Lapideo, stratificato), mentre i medesimi litotipi, tuttavia alterati / fratturati sono stati attribuiti alla unità geologico tecnica del substrato geologico SFLPS (Lapideo, stratificato fratturato / alterato).

Infine sono stati rappresentati gli orli di scarpata morfologica.

Inoltre vengono presentati gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato geologico.

### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 3 misure HVSR, di cui n. 2 classificate in A2 e n. 1 classificata in B2, si ricava una valutazione di qualità pari a 51,4 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

Le n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSR (45\_HVSR, 46\_HVSR e 47\_HVSR) eseguite appositamente presso l'abitato di Acone, nell'ambito dello studio in oggetto, o non hanno mostrato la presenza di picchi significativi (45\_HVSR e 47\_HVSR) oppure non hanno mostrato fenomeni di impedenza sismica con alto contrasto ( $A_0 = 2,38$  nella prova 46\_HVSR).

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

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona interessa principalmente la porzione orientale dell'area di indagine.

- **zona 2 (2002)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato fratturato /alterato (SFLPS), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su un substrato lapideo, stratificato (LPS);  $i > 15^\circ$  e basso c.i. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m. La zona interessa la maggior parte dell'area di studio e principalmente il settore su cui è ubicato l'abitato di Acone.

- **zona 12 (2012)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su un substrato lapideo stratificato fratturato /alterato (SFLPS), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su un substrato lapideo, stratificato (LPS);  $i > 15^\circ$  e basso c.i. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

La zona è presente in alcuni settori ad ovest dell'abitato di Acone.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto – FAL3) e tra il substrato lapideo stratificato stesso e il medesimo ma fratturato / alterato , sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

#### **MONTELORO**

(vedi tavv. G.9, G.10, G.11, G.12, G.15, G.18 e G.21 in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato di Monteloro è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno) rappresentate dai calcari marnosi e marne argillitiche della Formazione di Monte Morello (MLL), dalle argilliti e marne della Formazione di Sillano (SIL) e di Villa a Radda (AVR) e dalle arenarie della Pietraforte.

La formazione litoide ha un assetto giaciturale con immersione prevalentemente verso i quadranti sud-occidentali e inclinazione variabile tra 10° e 50°, ma con giacitura normale nei settori occidentali e meridionali (zona cimitero) e inversa nei settori orientali (zona a est di Bagnacavallo e presso P. Lato).

Questo andamento è dovuto alla presenza di una serie di strutture tettoniche che interessano l'area in esame, mettendo a contatto porzioni di substrato a diversa tipologia di successione stratigrafica.

Le varie formazioni riconosciute sono talora sormontate da coltri eluvio-colluviali (b2a), presenti in particolare presso P. Brolio, a sud-ovest di P. Stabbia e a ovest di Bagnacavallo.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto da fenomenologie gravitative naturalmente stabilizzate nei versanti attorno Bagnacavallo mentre a nord dell'abitato di Monteloro il settore compreso tra P. Brolio, La Tinaia, La Selva e P. Stabbia è interessato da deformazioni superficiali lente, che si estendono fino a P. Muricce, a sud-ovest dell'area di indagine. Inoltre si hanno settori interessati da erosioni superficiali. Il contesto geomorfologico è completato dalla presenza di orli di scarpata attiva e non attiva.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una prevalente acclività con pendenze comprese tra il 5% e il 25%. Nel settore presso l'area cimiteriale (presso il Monteloro) e nei versanti ad est di Bagnacavallo si hanno maggiori acclività con pendenze che superano il 25%-35%.

Di detti 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 la frazione di Monteloro 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 9 stratigrafie risultanti da terebrazioni di pozzi profondi.

In corrispondenza dell'abitato di Monteloro sono inoltre state effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione con onde P e Sh, n. 1 indagine di sismica tipo MASW e n. 4 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

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

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Monteloro risulta costituito da terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno).

In particolare l'Unità di Monte Morello è rappresentata dalla Formazione di Monte Morello (MLL), dalla Formazione di Sillano (SIL), da quella di Villa a Radda (AVR) e dalla Pietraforte (PTF).

La Formazione di Monte Morello (MLL) costituisce i terreni presenti a sud di Bagnacavallo, settore del Monteloro e dell'area cimiteriale, nonché le litologie affioranti lungo il corso del Borro di Monteloro.

La Formazione di Sillano (SIL) rappresenta il substrato su cui giace la maggior parte dell'abitato di Monteloro e di Bagnacavallo.

La Formazione di Villa a Radda (AVR) affiora in un settore triangolare tra Monteloro, La Tinaia e P. Brolio.

Mentre le arenarie della Pietraforte (PTF) sono presenti presso le località La Tinaia, P. Brolio e Casanova.

Le varie formazioni riconosciute sono talora sormontate da coltri eluvio-colluviali (b2a), presenti in particolare presso P. Brolio, a sud-ovest di P. Stabbia e a ovest di Bagnacavallo.

### ***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 SMfd (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante - falda detritica) i corpi detritici appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa) e all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente 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 (MLL) e alla Pietraforte (PTF) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR), qualora fratturati / alterati, sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato geologico.

### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 4 misure HVSR classificate in classe A2, si ricava una valutazione di qualità pari a 59,6 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

In corrispondenza dell'abitato di Monteloro sono state appositamente eseguite n. 4 misure di sismica passiva con metodo HVSR (48\_HVSR, 49\_HVSR, 50\_HVSR e 51\_HVSR) nell'ambito dello studio in oggetto.

Ad eccezione della prova 48\_HVSR, eseguita nel settore settentrionale dell'area di indagine, tra le località di La Tinaia e P. Brolio, che ha mostrato fenomeni di alti contrasti di impedenza ( $A_0 = 3,38$ ) ma a profondità maggiori di 50,0 m dal p.c. (70,0 – 75,0 m dal p.c.), le altre indagini hanno mostrato o un basso contrasto (49\_HVSR) o non hanno presentato picchi significativi.

Nel settore a nord dell'abitato di Monteloro è stato eseguito uno stendimento sismico (52\_SR) associato a una indagine Masw (106\_MASW).

In particolare la prova 52\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore compreso tra 2,0 m e 4,0 m avente  $V_s = 175/197$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 15,0 e 20,0 m avente  $V_s = 276/294$  m/s e un terzo sismostrato con  $V_s = 601/866$  m/s.

L'indagine 106\_MASW presenta un primo sismostrato dello spessore di 3,68 m avente  $V_s = 198$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 9,28 m con  $V_s = 285$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 10,14 m con  $V_s =$

301 m/s, un quarto sismostrato di spessore 2,92 m con  $V_s = 837$  m/s e un quinto sismostrato, investigato per uno spessore di circa 12,0 m con  $V_s = 836$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 322$  m/s.

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

#### **Zone stabili**

- **(1001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Pietraforte (PTF).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,0 per entrambi gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s e 0,5-1,0s). E, pertanto, viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,0.

La zona interessa principalmente la porzione meridionale dell'abitato di Bagnacavallo e alcuni areali nel settore settentrionale presso le località La Tinaia e P. Brolio.

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL) e alla Pietraforte (PTF). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e dalla prova 51\_HVSR in particolare, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

La zona interessa principalmente la porzione meridionale dell'area di indagine e, in particolare, l'area cimiteriale e il rilievo di Monteloro.

- **zona 5 (2005)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 50\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona rappresenta principalmente il substrato dell'abitato di Monteloro.

- **zona 6 (2006)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un

substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 49\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona si rinviene in un settore a est della località Bagnacavallo e a nord dell'abitato di Monteloro.

- **zona 10 (2010):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL) e della Pietraforte (PTF).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in alcuni settori tra il rilievo di Monteloro e la località P. Il Lago e presso P. Brolio.

- **zona 14 (2014):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata, si ritiene non verificata 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 2,0 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 2,0.

La zona si riconosce in un settore ad ovest di P. Stabbia e in un secondo settore a ovest di P. Brolio.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Formazione di Monte Morello - MLL e Pietraforte - PTF), così come tra il substrato lapideo stratificato e i termini del substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (Formazione di Sillano - SIL e Formazione di Villa a Radda - AVR), sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**.

Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

### **MOLINO DEL PIANO**

(vedi tavv. G.5, G.6, G.7, G.8, G.14, G.17 e G.20 in scala 1:5.000)

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

L’area su cui sorge l’abitato di Molino del Piano è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell’Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno) rappresentate dai calcari marnosi e marne argillitiche della Formazione di Monte Morello (MLL) e dalle argilliti e marne della Formazione di Sillano (SIL). Inoltre nel settore settentrionale dell’abitato si ha la presenza di litologie caoticizzate presumibilmente attribuibili a una facies olistostromica del Dominio Toscano.

Le formazioni litoidi hanno un assetto giaciturale estremamente variabile con immersioni sia verso i quadranti settentrionali che quelli meridionali e con giacitura sia normale che rovescia (quest’ultima presso le località P. Ripoli di Sotto, Gattaia e Il Vallone). Le inclinazioni sono anch’esse variabili ma, generalmente, tra 20° e 50°.

Le varie formazioni riconosciute sono soventemente sormontate da coltri eluvio-colluviali (b2a), e depositi detritici e di falda (a3a e aa). Lungo il corso del Torrente Sieci e del Torrente Fuglioni si ritrovano depositi riferibili ad alluvioni recenti, terrazze e non terrazze (bna).

Il quadro geomorfologico è contraddistinto da fenomenologie gravitative derivanti da ampi settori con instabilità per franosità naturalmente stabilizzata presenti in particolar modo nei versanti nella porzione meridionale dell’area di studio, tra Villa Tornaquinci e Molino Lauria e presso la località di Valiano di Sopra, e a nord-est della stessa, presso le località di P. San Martino e Decima. Presso P. Gaville si ha la presenza di un’areale interessato da deformazioni superficiali lente. Inoltre ampi settori dei versanti attorno l’abitato di Molino del Piano sono caratterizzati dalla presenza di soliflussi generalizzati ed erosioni superficiali. Il contesto geomorfologico completato dalla presenza di orli di scarpata antropica, orli di scarpata attivi e non attivi e , in corrispondenza dei corsi d’acqua, di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico ad eccezione del settore di fondovalle dove le acclività sono praticamente nulle, i versanti circostanti l’abitato di Molino del Piano presentano pendenze generalmente comprese tra 5% e 25% nei settori orientali e meridionali e tra 15% e oltre 35% in quelli occidentali e settentrionali.

Di detti 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 la frazione di Molino del Piano 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;

- n. 10 stratigrafie risultanti da terebrazioni di pozzi profondi;
- n. 3 prove penetrometriche statiche,
- n. 3 indagine di sismica a rifrazione con onde P e Sh.

In corrispondenza dell'abitato di Molino del Piano sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 2 indagine di sismica a rifrazione con onde P e Sh, n. 2 indagine di sismica tipo MASW, n. 1 indagine di sismica tipo ESAC e n. 10 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

Inoltre, specificatamente per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 è stata svolta una integrativa e inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione con onde P e Sh.

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

L'area su cui sorge l'abitato di Molino del Piano è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno) rappresentate dai calcari marnosi e marne argillitiche della Formazione di Monte Morello (MLL) e dalle argilliti e marne della Formazione di Sillano (SIL). La Formazione di Monte Morello (MLL) rappresenta la quasi totalità dei terreni di interesse dell'area di indagine, mentre, le litologie appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) caratterizzano i rilievi a est dell'abitato di Molino del Piano.

Nel settore settentrionale dell'abitato (presso la località C. Nova e l'area cimiteriale) si ha la presenza di litologie caoticizzate presumibilmente attribuibili a una facies olistostromica del Dominio Toscano.

Le varie formazioni riconosciute sono soventemente sormontate da coltri eluvio-colluviali (b2a), e depositi detritici e di falda (a3a e aa). Lungo il corso del Torrente Sieci e del Torrente Fuglioni si ritrovano spessori metrici di depositi riferibili ad alluvioni recenti, terrazzate e non terrazzate (bna).

### ***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 GMe (ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i depositi alluvionali attuali (b), all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali a composizione prevalentemente sabbiosa, mentre all'unità geologico-tecnica SMfd (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i corpi detritici appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa).

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 (MLL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Monte Morello (MLL), qualora fratturati / alterati, sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFLPS (Lapideo, stratificato fratturato / alterato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), qualora fratturati / alterati, sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato);

- i terreni del substrato geologico appartenenti alla litofacies olistostromica del Dominio Toscano sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFAL (Alternanza di litotipi, fratturato / alterato).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi. Inoltre sono stati rappresentati gli orli di scarpata morfologica e di terrazzo fluviale.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato geologico.

### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 10 misure HVSR di cui n. 5 classificate in classe A1, n. 4 classificate in classe A2 e n. 1 classificate in classe B1 si ricava una valutazione di qualità pari a 58,8 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

In corrispondenza dell'abitato di Molino del Piano e in ampio intorno di esso, sono state appositamente eseguite n. 10 misure di sismica passiva con metodo HVSR (8\_HVSR, 9\_HVSR, 53\_HVSR, 54\_HVSR, 55\_HVSR, 56\_HVSR, 57\_HVSR, 58\_HVSR, 59\_HVSR e 60\_HVSR).

Di queste le prove eseguite nei fondovalle, laddove si ha la presenza di depositi recenti di copertura su un substrato litoide, anche di varia natura, hanno mostrato nella loro totalità (prove 53\_HVSR, 54\_HVSR, 56\_HVSR e 59\_HVSR) alti contrasti di impedenza sismica (ampiezze comprese tra 3,43 e 4,29), così come alti contrasti di impedenza sono stati riconosciuti in corrispondenza delle prove 8\_HVSR ( $A_0 = 3,43$ ) e 57\_HVSR ( $A_0 = 5,04$ ) eseguite rispettivamente presso l'area cimiteriale e nei rilievi collinari in sinistra del Fosso di Fuglioni.

Ad eccezione della prova 57\_HVSR le suddette prove hanno mostrato fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica a scarse profondità, generalmente comprese entro i primi 10,0 m dal p.c., da correlare presumibilmente col passaggio tra depositi di copertura e/o coltre alteritica e di fratturazione e substrato litoide inalterato.

Le restanti indagini o non hanno mostrato la presenza di picchi significativi (55\_HVSR e 58\_HVSR) oppure presentano bassi contrasti di impedenza sismica (9\_HVSR).

Nel settore di fondovalle lungo il T. Sieci a monte dell'abitato di Molino del Piano, tra le prove 53\_HVSR e 54\_HVSR, è stato eseguito uno stendimento sismico (61\_SR) associato a una indagine Masw (107\_MASW) e ad una prova esac (100\_ESAC).

In particolare la prova 61\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di circa 5,0 m avente  $V_s = 335/359$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato con spessore di circa 8,0 m con  $V_s = 1365/1744$  m/s.

L'indagine 107\_MASW presenta un primo sismostrato dello spessore di 1,7 m avente  $V_s = 245$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 1,9 m con  $V_s = 393$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 1,1 m con  $V_s = 612$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 7,0 m con  $V_s = 987$  m/s e un quinto sismostrato, investigato per uno spessore di circa 22,5 m con  $V_s = 1314$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 867$  m/s.

Infine, nel settore prossimo all'area cimiteriale e alla prova 8\_HVSR, è stato eseguito uno stendimento sismico (62\_SR) associato a una indagine Masw (108\_MASW).

In particolare la prova 62\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di circa 5,0 m avente  $V_s = 302/421$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato con  $V_s = 1250/1956$  m/s.

L'indagine 108\_MASW e 100\_ESAC presentano un primo sismostrato dello spessore di 3,47 m avente  $V_s = 381$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 1,49 m con  $V_s = 578$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 1,64 m con  $V_s = 618$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 1,64 m con  $V_s = 938$  m/s e un quinto sismostrato, investigato per uno spessore di circa 27,5 m con  $V_s = 1418$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 954$  m/s.

Presso la località Molino Laura è stato eseguito uno stendimento sismico in onde P (prova L26) associato ad una indagine di tipo Re.Mi.. Le indagini hanno mostrato un valore di  $V_{s30} = 727$  m/s.

Lungo il fondovalle del T. Sieci, poco a nord dell'abitato di Molino del Piano sono stati, inoltre, eseguiti ulteriori n. 2 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e Sh (prove L9 e L10).

Per gli studi di Microzonazione di Livello 2 è stata specificatamente eseguita una ulteriore indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh.

In particolare l'indagine 117\_SR, svolta presso il campo sportivo ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di 4,0/5,0 m con  $V_s$  compresa tra 376 e 401 m/s, un secondo, dello spessore di 7,0/10,0 m dal p.c. con  $V_s$  comprese tra 1005 e 1062 m/s, e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1382 e 1915 m/s.

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

#### **Zone stabili**

- **(1001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i < 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,0 per entrambi gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s e 0,5-1,0s). E, pertanto, viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,0.

La zona interessa principalmente la porzione orientale dell'abitato di Molino del Piano e alcuni areali a nord e a sud dello stesso.

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

Questa zona presenta elementi morfologici quali gli orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene in vari settori dei rilievi collinari attorno al Torrente Sieci e all'abitato di Molino del Piano.

- **zona 2 (2002)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato lapideo stratificato fratturato /alterato (SFLPS), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su un substrato lapideo, stratificato (LPS);  $i > 15^\circ$  e basso c.i. della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona interessa i rilievi della porzione di sud-ovest dell'area studiata presso la località Poggioli.

- **zona 4 (2004)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e dalla prova 57\_HVSR in particolare e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali gli orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene nei rilievi in sinistra idraulica del Fosso Rimaggio.

- **zona 5 (2005)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 9\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona si riconosce in un'ampia area del rilievo collinare a est dell'abitato di Molino del Piano.

- **zona 6 (2006)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona si rinviene in un limitato settore a sud-est dell'abitato di Molino del Piano, in destra del corso del Torrente Fuglioni.

- **zona 7 (2007)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i > 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza dei depositi olistostromici del Dominio Toscano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in un settore della porzione di nord-est dell'abitato di Molino del Piano.

- **zona 8 (2008)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i < 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza dei depositi olistostromici del Dominio Toscano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e dalla prova 8\_HVSR in particolare, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in alcuni settori della porzione di nord-est dell'abitato di Molino del Piano.

- **zona 9 (2009)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 3,0-10,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato / alterato (SFAL),  $i > 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza dei depositi olistostromici del Dominio Toscano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene attorno all'area cimiteriale di Molino del Piano.

- **zona 10 (2010)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 3,0-10,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali gli orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene in vari settori dei rilievi attorno al Torrente Sieci e al Fosso Rimaggio.

- **zona 12 (2012)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su un substrato lapideo stratificato fratturato /alterato (SFLPS), dello spessore compreso tra 3,0 e 15,0 m, su un substrato lapideo, stratificato (LPS);  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in alcuni settori dei rilievi della porzione di sud-ovest dell'area studiata, presso la località Poggioli.

- **zona 13 (2013)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 3,0-10,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,6.

Questa zona presenta elementi morfologici quali gli orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si riconosce in alcuni limitati settori nei rilievi in sinistra del Fosso Rimaggio.

- **zona 14 (2014)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 3,0-10,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 2,0 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 2,0.

La zona si riconosce in un limitato settore presso la località Scepita.

- **zona 16 (2016):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiate su substrato lapideo, stratificato (LPS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Monte Morello (MLL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 53\_HVSR, 54\_HVSR e 59\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali gli orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene lungo il corso del Torrente Sieci.

- **zona 17 (2017):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiate su un substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato /alterato (SFAL). Il substrato è riconducibile alla presenza di litofacies olistostromiche appartenenti al Dominio Toscano.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene lungo il corso del Fosso Rimaggio, in sinistra destra idraulica e a nord della confluenza di Fosso col Torrente Sieci.

- **zona 18 (2018):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiate su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare della prova 56\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali gli orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si rinviene lungo il corso del Fosso Rimaggio, in sinistra idraulica.

- **zona 19 (2019):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-10,0 m, poggiate su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua

volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagini sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

La zona si rinviene in un settore limitato presso il corso del Torrente Fuglioni.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Formazione di Monte Morello - MLL), così come tra il substrato lapideo stratificato e i termini del substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (Formazione di Sillano - SIL) e del substrato costituito da alternanza di litotipi, fratturato /alterato (depositi olistostromici del Dominio Toscano, sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre, come riportato nel seguente paragrafo 8.2, sulla scorta dei risultati delle specifiche indagini geognostiche (prove penetrometriche Cpt) realizzate in corrispondenza di areali con presenza nel sottosuolo di litotipi potenzialmente suscettibili alla liquefazione, nell'areale di Sieci non si riconoscono zone con terreni liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

Inoltre sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

#### **DOCCIA**

(vedi tavv. G.9, G.10, G.11, G.12, G.15, G.18 e G.21 in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato di Doccia è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno) rappresentate esclusivamente dalle argilliti e marne della Formazione di Sillano (SIL). In settori non troppo distanti dall'area di studio si rinvencono anche litologie appartenenti alla Formazione di Villa a Radda (AVR), presso la località Terrarossa, e alla Formazione di Monte Morello (MLL), a ovest di P. Montulico e presso la località Pancio di Sotto.

Le formazioni litoidi hanno un assetto giaciturale con immersioni verso il quadrante sud-occidentale e inclinazioni generalmente attorno ai 30°.

Talora si rinvencono coltri eluvio-colluviali (b2a), e depositi detritici e di falda (a3a e aa).

Il quadro geomorfologico è contraddistinto da fenomenologie gravitative derivanti da ampi settori con instabilità per franosità quiescente e, talora attiva, presenti nei versanti attorno l'abitato di Doccia, laddove, si hanno anche

ampi settori interessati dalla presenza di erosioni superficiali. In corrispondenza del corso del Torrente Fuglioni si ha la presenza di un ampio settore interessato dalla presenza di un corpo di frana naturalmente stabilizzato.

Il contesto geomorfologico completato dalla presenza di orli di scarpata antropica, orli di scarpata attivi e non attivi e , in corrispondenza dei corsi d'acqua, di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico l'area in esame presenta pendenze generalmente comprese tra 5% e 35%, con prevalenza di acclività compresa tra 10% e 25%.

Di detti 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 la frazione di Doccia 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 5 stratigrafie risultanti da terebrazioni di pozzi profondi.

In corrispondenza dell'abitato di Doccia sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh, in n. 1 indagine sismica di tipo Masw e in n. 3 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

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

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Doccia è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili esclusivamente alla Formazione di Sillano (SIL).

La formazione è, talora, sormontata da coltri eluvio-colluviali (b2a), e depositi detritici e di falda (a3a e aa).

### ***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 SMec (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali a composizione prevalentemente sabbiosa, mentre all'unità geologico-tecnica SMfd (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i corpi detritici appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa).

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

- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi e rappresentati gli orli di scarpata morfologica.

### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 3 misure HVSR di cui n. 1 classificate in classe A1 e n. 2 classificate in classe A2, si ricava una valutazione di qualità pari a 51,4 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

In corrispondenza dell'area industriale di Doccia sono state eseguite n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSR (63\_HVSR, 64\_HVSR e 65\_HVSR).

Le due prove eseguite presso l'abitato di Doccia (63\_HVSR e 64\_HVSR) non hanno manifestato la presenza di picchi significativi. Mentre la prova 65\_HVSR, eseguita presso la località Moscioni, ha mostrato un alto contrasto di impedenza sismica ( $A_0 = 4,58$ ) superficiale ( $f_0 = 22,17$ ).

In prossimità della prova 64\_HVSR è stato eseguito uno stendimento sismico (66\_SR) associato a una indagine Masw (109\_MASW).

In particolare la prova 66\_SR ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di circa 2,0/3,0 m avente  $V_s = 166/178$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 2,0 e circa 10,0 m con  $V_s = 381/414$  e un terzo sismostrato con  $V_s = 450/674$  m/s.

L'indagine 109\_MASW presenta un primo sismostrato dello spessore di 4,88 m avente  $V_s = 197$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 13,96 m con  $V_s = 403$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 4,68 m con  $V_s = 413$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 5,33 m con  $V_s = 632$  m/s e un quinto sismostrato, investigato per uno spessore di circa 6,0 m con  $V_s = 676$  m/s. Da cui è stato possibile ricavare un valore di  $V_{s30} = 371$  m/s.

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

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

- **zona 3 (2003)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 65\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

La zona si riconosce nella porzione meridionale dell'area di indagine, in cui si colloca la località di Moscioni.

- **zona 4 (2004)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

La zona si rinviene in un settore limitato a sud-ovest dell'abitato di Doccia.

- **zona 5 (2005)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 64\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona interessa principalmente il settore meridionale dell'abitato di Doccia e un settore a nord della località Chiasso, dove presente il depuratore.

- **zona 6 (2006)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalla prova 63\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona interessa la maggior parte delle aree della porzione centrale e settentrionale dell'area di indagine.

- **zona 14 (2014)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiate su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. basso. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL) e alla Formazione di Villa a Radda (AVR).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata, si ritiene non verificata 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 1,9 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,9.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si riconosce in alcuni settori della porzione settentrionale e centrale dell'area di indagine come in corrispondenza dell'area cimiteriale e a nord della località Chiasso.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

### **SIECI**

(vedi tavv. G.5, G.6, G.7, G.8, G.14, G.17 e G.20 in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato di Sieci è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno) rappresentate dalle argilliti e marne della Formazione di Sillano (SIL), dalle arenarie della Pietraforte e dai calcari marnosi e marne argillitiche della Formazione di Monte Morello (MLL).

Le formazioni litoidi hanno un assetto giaciturale con immersione prevalentemente verso i quadranti meridionali e inclinazione variabile tra 30° e 45°.

Su questi, nel settore di fondovalle, poggiano spessori da metrici a decametrici di depositi alluvionali attuali (b). In alcune aree i termini litoidi sono sormontati da spessori metrici di depositi detritici di versante (aa) e depositi eluvio-colluviali (b2a). Infine allo sbocco del Borro del Pelacane nella valle dell'Arno e in corrispondenza di P. Sodi si ha la presenza di depositi di conoide che si sovrappongono ai depositi alluvionali attuali (b) o, direttamente, sul substrato litoide.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto dalla presenza, nei rilievi collinari circostanti l'abitato di Sieci, di vasti areali con fenomenologie gravitative naturalmente stabilizzate ed erosioni superficiali. Il contesto geomorfologico completato dalla presenza di frane di scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché, in corrispondenza dei corsi d'acqua di fenomeni di erosione di sponda e di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia scarsa acclività (generalmente compresa tra 0% e 5%) nel settore di fondovalle e un aumento della stessa (generalmente compresa tra 5% e 25%) risalendo i settori collinari in corrispondenza delle aree urbanizzate. Maggiori acclività (comprese tra 25% e 35%) si rilevano nei settori presso Poggio a Remole e la località Bonriposo.

Di detti elementi, nel complesso, si deve tenere conto nella definizione delle MOPS prodromiche alla classificazione di pericolosità sismica del sito.

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

Per la frazione di Sieci 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 18 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 6 strumentati con tubo piezometrico, con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 4 prove penetrometriche, di cui n. 3 statiche e n. 1 dinamica;
- n. 5 stratigrafia risultante da terebrazioni di pozzi profondi;
- n. 3 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 4 indagine sismica di tipo Masw;
- n. 1 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato di Sieci sono inoltre stata effettuata ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 2 indagini di sismica a rifrazione in onde P e Sh, in n. 2 indagini sismica di tipo Masw, in n. 1 indagine sismica di tipo Esac e in n. 16 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

Inoltre, specificatamente per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 è stata svolta una integrativa e inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione con onde P e Sh.

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

L'area su cui sorge l'abitato di Sieci è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Morello (Dominio Ligure Esterno) rappresentate principalmente dalla Formazione di Sillano (SIL) e, secondariamente dalla Pietraforte.

Su questi, nel settore di fondovalle, poggiano spessori variabili tra 5,0 e 10,0 m di depositi alluvionali attuali (b). In alcune aree i termini litoidi sono sormontati da spessori metrici di depositi detritici di versante (aa) e depositi eluvio-colluviali (b2a). Infine allo sbocco del Borro del Pelacane nella valle dell'Arno e in corrispondenza di P. Sodi si ha la presenza di depositi di conoide, dello spessore di 3,0 – 5,0 m che si sovrappongono ai depositi alluvionali attuali (b) o, direttamente, sul substrato litoide.

### ***Modello geologico tecnico***

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura recente sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica SMfd (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – falda detritica) i corpi detritici appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa), all'unità geologico-tecnica SMec (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali, all'unità geologico-tecnica GMes (ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i depositi alluvionali attuali (b), mentre all'unità geologico-tecnica SMcd (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – conoide detritica) i depositi appartenenti ai depositi di conoide.

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

- i terreni di natura litoide appartenenti alla Pietraforte (PTF) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), qualora fratturati / alterati, sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi. Inoltre sono stati rappresentati gli orli di scarpata morfologica e di terrazzo fluviale.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato geologico.

***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 dettaglio precedentemente e da n. 17 misure HVSR di cui n. 9 classificate in classe A1, n. 7 classificate in classe A2, n. 1 classificata in classe B1 e n. 1 classificata in classe B2, si ricava una valutazione di qualità pari a 75,5 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

Delle n. 16 misure di sismica passiva eseguite nell'area di Sieci, n. 11 sono state eseguite nel settore di fondovalle, laddove collocato l'abitato e, di queste, la quasi totalità (ad eccezione delle prove 72\_HVSR e 78\_HVSR) hanno mostrato alti contrasti di impedenza (A0 compreso tra 3,13 e 4,76) con picchi a frequenze variabili tra 4,5 Hz e 14,69 Hz).

Alti contrasti di impedenza sono stati riconosciuti anche in alcuni settori pedecollinari laddove si ha la presenza di litologie riferibili alla Formazione di Sillano maggiormente alterata e/o fratturata (68\_HVSR e 70\_HVSR).

Le indagini 4\_HVSR e 5\_HVSR eseguite presso l'area cimiteriale non hanno mostrato alti contrasti di impedenza (A0 rispettivamente pari a 2,24 e 2,76). La prova 72\_HVSR, eseguita a monte della località Bonriposo non ha mostrato la presenza di picchi significativi.

Presso la località Podere Ponticello è stata eseguita l'indagine 79\_SR, associata all'indagine 101\_ESAC e 110\_MASW.

L'indagine di sismica a rifrazione ha mostrato un primo sismostrato dello spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m avente  $V_s$  compreso tra 360 e 386 m/s, un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 10,0 e 16,0 m con  $V_s = 533 / 690$  m/s e un terzo sismostrato con  $V_s = 851 / 1114$  m/s.

L'indagine Masw + Esac ha presentato un primo sismostrato dello spessore di 2,05 m avente  $V_s = 288$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 6,76 m con  $V_s = 311$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 6,09 m con  $V_s = 594$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 10,17 m con  $V_s = 619$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato dello spessore investigato di circa 10,0 m con  $V_s = 799$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 486$ .

In corrispondenza della prova 7\_HVSR è stata eseguita l'indagine 80\_SR, associata all'indagine 111\_MASW.

L'indagine di sismica a rifrazione ha mostrato un primo sismostrato dello spessore di 2,0 / 3,0 m avente  $V_s$  compreso tra 185 e 193 m/s, un secondo sismostrato dello spessore di circa 8,0 m con  $V_s = 367 / 483$  m/s e un terzo sismostrato con  $V_s = 824 / 1168$  m/s.

L'indagine Masw ha, invece, presentato un primo sismostrato dello spessore di 3,06 m avente  $V_s = 190$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 1,3 m con  $V_s = 264$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 3,32 m con  $V_s = 477$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 4,58 m con  $V_s = 617$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato dello spessore investigato di circa 28,0 m con  $V_s = 915$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 547$  m/s.

Nel settore presso Via Fratelli Bandiera sono state eseguite rispettivamente uno stendimento sismico a rifrazione (prova L4) e una indagine Masw (prova L15).

L'indagine di sismica a rifrazione ha mostrato un primo sismostrato dello spessore di ca. 1,0 m avente  $V_s$  compreso tra 152 e 184 m/s, un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 2,0 m e 8,0 m con  $V_s = 396$  m/s e un terzo sismostrato con  $V_s = 1007 / 1131$  m/s.

L'indagine Masw ha, invece, presentato un primo sismostrato dello spessore di 1,0 m avente  $V_s = 515$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 2,0 m con  $V_s = 705$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 3,0 m con  $V_s = 832$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 8,0 m con  $V_s = 901$  m/s, un quinto sismostrato di spessore 5,0 m

con  $V_s = 1199$  m/s e un sesto e ultimo sismostrato dello spessore investigato di circa 31,0 m con  $V_s = 1407$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 1044$  m/s.

In prossimità dell'indagine 4\_HVSR è stata eseguita una indagine di tipo Masw (prova L18) che ha mostrato una  $V_{s30} = 501$  m/s.

Mentre l'indagine Masw L1 ha presentato mostrato una  $V_{s30} = 563$  m/s.

Per gli studi di Microzonazione di Livello 2 è stata specificatamente eseguita una ulteriore indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh.

In particolare l'indagine 118\_SR, svolta presso la Pieve di San Giovanni Battista nel centro dell'abitato di Sieci ha mostrato la presenza di n. 3 sismostrati: un primo di spessore di 1,0/2,0 m con  $V_s = 150$  m/s, un secondo, dello spessore di 6,0 m dal p.c. con  $V_s$  comprese tra 363 e 425 m/s, e un terzo ed ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 635 e 892 m/s.

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

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza della Pietraforte (PTF). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 67\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

La zona viene individuata in un settore presso la località Bonriposo.

- **zona 3 (2003)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i < 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 68\_HVSR e 70\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,3.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si estende in tutta la fascia pedecollinare dell'area in esame.

- **zona 4 (2004)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona si estende nei settori a maggior acclività dei rilievi collinari presenti nell'area di studio.

- **zona 10 (2010):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); basso c.i..

Il substrato è riconducibile alla presenza della Pietraforte (PTF).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

La zona si rinviene in un limitato settore a sud-ovest della località Bonriposo.

- **zona 13 (zona 2013):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,7.

La zona si riconosce in alcuni e sparsi settori dei rilievi collinari dell'area di indagine.

- **zona 18 (zona 2018):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 69\_HVSR, 73\_HVSR, 76\_HVSR e 77\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,5 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,5.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche e orli di terrazzo fluviale con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m.

La zona interessa per la quasi interessa la zona di fondovalle lungo il corso del Fiume Arno, su cui sorge la maggior oparte dell'abitato di Sieci.

- **zona 18 bis (zona 2018 bis):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 6\_HVSR e 71\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,7.

La zona interessa per la quasi interessa la zona di fondovalle, a monte del tracciato ferroviario, in corrispondenza del campo sportivo.

- **zona 20 (zona 2020):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (cd) e di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore complessivo di 3,0-5,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della Formazione di Sillano (SIL).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 7\_HVSR, 74\_HVSR, 75\_HVSR e 99\_HVSR e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,6.

La zona interessa la zona valliva laddove si ha lo sbocco del Borro del Pelacane nella valle dell'Arno.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Pietraforte – PTF), così come tra il substrato lapideo stratificato e i termini del substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (Formazione di Sillano – SIL), sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sulla scorta dei risultati delle specifiche indagini geognostiche (prove penetrometriche Cpt) realizzate in corrispondenza di areali con presenza nel sottosuolo di litotipi potenzialmente suscettibili alla liquefazione,

nell'areale di Sieci non si riconoscono zone con terreni liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

Inoltre sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

### **MONTEBONELLO**

(vedi tavv. G.9, G.10, G.11, G.12, G.15, G.18 e G.21 in scala 1:5.000)

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

L'area su cui sorge l'abitato di Montebonello è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle alluvioni attuali (b), alle alluvioni recenti, terrazzate e non terrazzate (bna) e alle coltri eluvio-colluviali (b2a), poggianti su un substrato litoide contraddistinto dalla presenza di formazioni appartenenti al Dominio Toscano, in particolare riferibili alle Marne di San Polo (MACc) e alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3) e Membro di Lonnano (FAL4).

Il quadro geomorfologico è contraddistinto dalla presenza di settori interessati da frane naturalmente stabilizzate e da erosioni superficiali. Il contesto geomorfologico è completato dalla presenza di orli rimodellati di scarpate e di terrazzi fluviali, orli di scarpata antropica e, in corrispondenza dei corsi d'acqua, di fenomeni di erosione di sponda e di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia scarsa acclività (generalmente compresa tra 0% e 10%) nel settore di fondovalle e un aumento della stessa, con pendenze comprese tra 15% e 35% ma anche e soprattutto > 35% nei settori della Torre di Montebonello, risalendo i settori collinari.

Di detti elementi, nel complesso, si deve tenere conto nella definizione delle MOPS prodromiche alla classificazione di pericolosità sismica del sito.

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

Per la frazione di Montebonello 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.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 6 stratigrafia risultante da terebrazioni di pozzi profondi;
- n. 1 indagine sismica di tipo Masw.

In corrispondenza dell'abitato di Montebonello sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 3 indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh, in n. 3 indagine sismica di tipo Masw e in n. 9 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

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

L'area su cui sorge l'abitato di Montebonello è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle alluvioni attuali (b), alle alluvioni recenti, terrazzate e non terrazzate (bna) e alle coltri eluvio-colluviali (b2a), di spessori complessivi variabili tra 5,0 e 20,0 m circa, poggianti su un substrato litoide contraddistinto dalla presenza di formazioni appartenenti al Dominio Toscano, in particolare riferibili alle Marne di San Polo (MACc).

### ***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 GMes (ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i depositi alluvionali attuali (b), all'unità geologico-tecnica SMfd (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante - falda detritica) i corpi detriti appartenenti ai detriti di falda (a3a) e ai depositi di versante (aa), all'unità geologico-tecnica SMec (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali a composizione prevalentemente sabbiosa, mentre all'unità geologico-tecnica SMes (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna).

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

- i terreni di natura litoide appartenenti alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), alle Marne di San Polo (MACc) e alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano (FAL4) sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica ALS (Alternanza di litotipi, stratificato);
- i terreni di natura litoide appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), alle Marne di San Polo (MACc) e alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano (FAL4), qualora fratturati / alterati, sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica SFALS (Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato);

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi, quiescenti e inattivi. Inoltre sono stati rappresentati gli orli di scarpata morfologica e di terrazzo fluviale.

### ***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 dettaglio precedentemente e da n. 9 misure HVSR di cui n. 3 classificate in classe A1 e n. 6 classificate in classe A2, si ricava una valutazione di qualità pari a 53,4 che la colloca in classe di accettabilità B.

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

L'indagine eseguita nel settore collinare (81\_HVSR) non ha presentato picchi significativi, mentre una (82\_HVSR) delle n. 2 prove eseguite nel settore pedecollinare ha presentato un alto contrasto di frequenza ( $A_0 = 4,72$ ) superficiale.

Per quanto riguarda il settore di fondovalle, ad eccezione delle prove 83\_HVSR e 86\_HVSR, le restanti indagini (84\_HVSR, 85\_HVSR, 87\_HVSR e 88\_HVSR) hanno mostrato alti contrasti di impedenza compresi tra 3,12 e 3,73 e frequenze comprese tra 3,81 Hz e 11,56 Hz.

In prossimità del corso del Torrente Argomenna, nelle vicinanze della prova 84\_HVSR sono state eseguite le indagini sismiche 90\_SR e 113\_MASW.

L'indagine Masw ha presentato un primo sismostrato dello spessore di 5,39 m avente  $V_s = 344$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 2,48 m con  $V_s = 328$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 5,88 m con  $V_s = 553$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 7,77 m con  $V_s = 714$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato di spessore investigato di circa 18,0 m con  $V_s = 933$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 557$ .

L'indagine di sismica a rifrazione ha, invece, mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di ca. 2,0 m avente  $V_s = 260 / 265$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 2,0 / 7,0 m con  $V_s = 440 / 461$  m/s e un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s = 494 / 545$  m/s.

A valle dell'area cimiteriale sono state eseguite le indagini sismiche 89\_SR e 112\_MASW.

L'indagine di sismica a rifrazione ha, invece, mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 1,0 / 2,0 m avente  $V_s = 221 / 272$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 5,0 / 15,0 m con  $V_s = 302 / 358$  m/s e un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s = 475 / 743$  m/s.

L'indagine Masw ha presentato un primo sismostrato dello spessore di 2,44 m avente  $V_s = 193$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 13,65 m con  $V_s = 313$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 5,01 m con  $V_s = 440$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 5,19 m con  $V_s = 574$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato di spessore investigato di circa 8,0 m con  $V_s = 674$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 365$ .

Infine, presso l'indagine 87\_HVSR sono state eseguite le indagini sismiche 91\_SR e 114\_MASW.

L'indagine Masw ha presentato un primo sismostrato dello spessore di 2,34 m avente  $V_s = 181$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 3,03 m con  $V_s = 279$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 4,84 m con  $V_s = 400$  m/s, un quarto sismostrato di spessore 11,45 m con  $V_s = 625$  m/s e un quinto e ultimo sismostrato di spessore investigato di 4,57 m con  $V_s = 924$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 474$ .

L'indagine di sismica a rifrazione ha, invece, mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di ca. 5,0 m avente  $V_s = 220 / 253$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 8,0 / 10,0 m con  $V_s = 471 / 516$  m/s e un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s = 727 / 770$  m/s.

L'indagine Masw L11, eseguita tra Via Curiel e Via Trieste, ha presentato un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m avente  $V_s = 172$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato di spessore 3,6 m con  $V_s = 312$  m/s, un terzo sismostrato di spessore 9,5 m con  $V_s = 650$  m/s e un quarto e ultimo sismostrato di spessore investigato di 15,0 m con  $V_s = 1050$  m/s; da cui è stato possibile calcolare un  $V_{s30} = 577$ .

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

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

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3). Al tetto del substrato è talora presente una coltre di alterazione / fratturazione con spessore inferiore a 3,0m.

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 81\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata la non 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 1,2 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,2.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m e maggiori di 20,0 m.

La zona viene interessata i rilievi della porzione settentrionale dell'area di indagine.

- **zona 4 (2004)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un

substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS),  $i > 15^\circ$ , c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione delle Marne di San Polo (MACc).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalla prova 82\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m e maggiori di 20,0 m.

La zona si estende in una fascia ad andamento circa ovest-est nel settore di raccordo tra i rilievi e il fondovalle.

- **zona 10 (2010):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec), dello spessore di 3,0-5,0 m, poggiante su di un substrato lapideo stratificato (LPS); basso c.i.. Il substrato è riconducibile alla presenza delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene non verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

La zona si rinviene in due isolati settori nella porzione settentrionale dell'area di indagine.

- **zona 13 (2013):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (fd, ec, cd) e di ambiente fluvio lacustre (es), dello spessore di 5,0-15,0 m, poggiante su substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS), c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione delle Marne di San Polo (MACc).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita, e in particolare dalle prove 87\_HVSR e 88\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,7.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m e maggiori di 20,0 m.

La zona interessa la maggior parte dei terreni di fondovalle e pedecollinari laddove sorge l'abitato di Montebonello.

- **zona 18 (2018):** questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza una copertura di tura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio lacustre (es), spessore 5,0-20,0 m, poggiante su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (SFALS), dello spessore compreso tra 3,0 e 10,0 m, a sua volta su un substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato (ALS); c.i. alto. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione delle Marne di San Polo (MACc).

Dallo studio complessivo di indagine sismica eseguita e in particolare dalle prove 84\_HVSR e 85\_HVSR, e data la successione stratigrafica rilevata si ritiene verificata 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 un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,5-1,0s. Alla zona viene attribuito un valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA pari a 1,4.

Questa zona presenta elementi morfologici quali scarpate morfologiche e terrazzi fluviali con dislivelli compresi tra 10,0 e 20,0 m e maggiori di 20,0 m.

La zona interessa la zona di fondovalle prossima al corso del Fiume Arno e al Torrente Argomenna.

#### **Zone 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 e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura (coperture alluvionali, coperture eluvio-colluviali, coltri detritiche e di frana) e il substrato lapideo stratificato (Pietraforte – PTF), così come tra il substrato lapideo stratificato e i termini del substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato fratturato /alterato (Marne di San Polo - MACc), sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Le zone sono state individuate tracciando un areale (“buffer”) di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta in questo caso, pertanto, una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso, in accordo con gli indirizzi e criteri, non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state evidenziate le aree dove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

## **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 Fiesole ha registrato nel passato episodi sismici anche di importante intensità; tuttavia non sono stati storicamente registrati particolari danni a opere civili e/o infrastrutture.

Tra questi l'evento sismico maggiormente significativo e ricordato è quello del maggio 1895, allorché una forte scossa di terremoto colpì quasi tutta la provincia di Firenze, causando danni diffusi, in alcune zone anche gravi.

A Firenze i danni furono molto estesi, ma nel complesso non gravissimi. Numerosi danni interessarono l'edilizia residenziale e privata della città, con lesioni diffuse e cadute di soffitti. Complessivamente circa 100 edifici risultarono inagibili. A Firenze non vi furono vittime e si contarono solo alcuni feriti non gravi.

Danni diffusi interessarono diversi comuni e centri del circondario fiorentino, in un'area piuttosto ampia, estesa dal Valdarno Superiore a Prato e ai centri della Valle del Bisenzio, dal Chianti e la Val di Pesa fino al Mugello, bassa Val di Sieve e all'Empolese.

I danni più gravi furono registrati in diverse località nella zona posta immediatamente a sud di Firenze.

Si ricorda, inoltre il terremoto del 1919 che causò oltre 100 morti nel Mugello e che vide come epicentro la zona di Vicchio, dove ci furono una quarantina di vittime e crollò la metà degli edifici esistenti.

Tra i comuni più colpiti da quell'evento si ricorda anche quelli di Dicomano, Borgo San Lorenzo, San Godenzo, Marradi, Firenzuola, Scarperia, Barberino del Mugello, Londa, San Godenzo e in parte anche Rufina e Pontassieve.

Anche la scossa di terremoto avvenuta il 9 dicembre 2019, con epicentro nel Mugello nella zona tra Scarperia e Barberino del Mugello è stata avvertita nel territorio comunale di Pontassieve, senza procurare danni a edifici o manufatti.

Da quanto detto 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 4.0.
- Geo Eco Progetti (2017) – Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Pontassieve.
- 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.
- Meletti C., Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico (2012) - Classificazione sismica al 2012 Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell’Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (2016) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12 - Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.
- Società Geologica Italiana (1993) – Guide Geologiche Regionali – Vol. 4, Appennino Tosco-Emiliano – BE-MA Editrice.

## 11. ALLEGATI

- Tav. 01 Carta delle indagini – Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 02 Carta geologico tecnica per la Microzonazione Sismica – Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 03 Carta delle frequenze – Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 04 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 05 Carta delle indagini – Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 06 Carta geologico tecnica per la Microzonazione Sismica – Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 07 Carta delle frequenze – Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 08 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 09 Carta delle indagini – Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 10 Carta geologico tecnica per la Microzonazione Sismica – Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 11 Carta delle frequenze – Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 12 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 13 Carta di Microzonazione Sismica FH01-05 - Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 14 Carta di Microzonazione Sismica FH01-05 - Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 15 Carta di Microzonazione Sismica FH01-05 - Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 16 Carta di Microzonazione Sismica FH05-1 - Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 17 Carta di Microzonazione Sismica FH05-1 - Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 18 Carta di Microzonazione Sismica FH05-1 - Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 19 Carta di Microzonazione Sismica FPGA - Pontassieve capoluogo (scala 1:5.000)
- Tav. 20 Carta di Microzonazione Sismica FPGA - Molin del Piano / Sieci (scala 1:5.000)
- Tav. 21 Carta di Microzonazione Sismica FPGA - Monteloro / Acone / Montebonello / Doccia / Santa Brigida (scala 1:5.000)
- Tav. 22 Sezioni geologico tecniche con indicazioni zone MOPS (scala 1:2.000)
- Indagini geofisiche integrate di caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica, MOPS e pericolosità sismica (Livello 1)- ditta ENKI s.r.l.:
  - Relazione tecnica interpretativa sulle indagini geofisiche per la microzonazione sismica di livello 1
  - Tavv. 01A e 01B – Carta delle indagini
  - Tavv. 02A e 02B – Carta delle frequenze
  - Tavv. 03A, 03B, 03C e 03D – Carta di dettaglio delle indagini
  - All. 3 – Acquisizioni Microtremori
- Indagini geofisiche integrate di caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica di Livello 2 - ditta ENKI s.r.l.:
  - Relazione tecnica interpretativa sulle indagini geofisiche per la microzonazione sismica di livello 2
  - Tav. 01 – Carta delle indagini
  - Tav. 02 – Carta di dettaglio indagini

Firenze li 29.11.2019

---

Prof. Geol. Eros Aiello

---

Dott. Geol. Gabriele Grandini