

# D.MS01

## MICROZONAZIONE SISMICA

### Relazione Tecnica Illustrativa

U.T.O.E.1 - U.T.O.E.2 - U.T.O.E.3

**TAVARNELLE - SAMBUCA - SAN DONATO**

scala 1:5.000



### Comune di **Tavarnelle Val di Pesa** PIANO OPERATIVO

Gruppo di lavoro  
Responsabile del procedimento:

Ing. Simone Dallai  
Ufficio Urbanistica:  
Irene Sabatini

Studio associato di urbanistica e architettura:  
Giovanni Maffei Cardellini, Alberto Montemagni; Paolo Nicoletti Valutazione

Indagini geologiche, sismiche ed idrauliche:  
ProGeo Associati

geol. Massimiliano Rossi, geol. Fabio Poggi, geol. Laura Galmacci, geol. Luca Berlingozzi  
ing. Davide Giovannuzzi, ing. Gregorio Bartolucci, ing. Mirko Frasconi

David Baroncelli: Sindaco

FEBBRAIO 2018

## Sommario

<b>1 - PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE .....</b>	<b>3</b>
<b>3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE .....</b>	<b>4</b>
<b>4 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>9</b>
<b>6 - INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE E REALIZZATE .....</b>	<b>11</b>
<b>7 - MODELLO DI SOTTOSUOLO.....</b>	<b>12</b>
<b>8 - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE NELLA DEFINIZIONE DEL MODELLO .....</b>	<b>14</b>
<b>9 - CLASSE DI QUALITA' DELLA CARTA DI LIVELLO I.....</b>	<b>15</b>
<b>10 - METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI .....</b>	<b>16</b>
<b>11 - ELABORATI CARTOGRAFICI.....</b>	<b>19</b>
<b>12 - DESCRIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA .....</b>	<b>19</b>
12.1 - ZONE STABILI .....	19
12.2 - ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI .....	19
12.3 - ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA' .....	21
12.4 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE .....	22
<b>13 - DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA .....</b>	<b>22</b>
<b>14 - CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>24</b>
14.1 - FATTORI PREDISPONENTI.....	24
14.2 - FATTORI SCATENANTI.....	24

### ALLEGATI NEL TESTO

- Scheda di valutazione semiquantitativa della Carta di MS di livello 1
- Legenda delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

### TAVOLE ALLEGATE

- |   |               |
|---|---------------|
| - Carta delle indagini                                  | scala 1:5.000 |
| - Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica | scala 1:5.000 |
| - Carta delle frequenze fondamentali dei depositi       | scala 1:5.000 |
| - Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica | scala 1:5.000 |
| - Sezioni geologico - tecniche                          | scala 1:5.000 |

### ALLEGATI FUORI TESTO

- Indagini sismiche di microtremore ambientale a stazione singola
- Dati di base
- Elaborati su supporto informatico

## 1 – PREMESSA

La presente relazione è stata redatta al fine di adeguare, dal punto di vista degli studi sismici, il Regolamento Urbanistico di alcune aree interne alle UTOE del Comune di Tavarnelle Val di Pesa. Tale studio sismico si è reso necessario, a seguito dell'entrata in vigore del D.P.G.R. 53/R “Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche”.

Per la stesura delle carte di FATTIBILITÀ, dal punto di vista sismico sono di fatto previste modifiche rispetto al precedente regolamento (D.P.G.R. n. 26/R del 27/04/2007), come descritte al punto 3.5 capoverso 4, di seguito riportato: “...omissis... .... sono da riportare e definire, in funzione delle problematiche di natura sismica evidenziate nello studio di MS di livello I, le prescrizioni e/o approfondimenti di indagini da eseguire ..... omissis” .

Il presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, rappresenta un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste 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”).

Per il presente studio i dati esistenti sono stati implementati con le seguenti indagini geofisiche:

- n° 25 misure di frequenze naturali dei terreni H/V.

Le carte MOPS delle aree indagate, prodotte con il presente studio, sostituiscono integralmente le Carte delle Zone a Maggior Pericolosità Sismica Locale (ZMPSL), allegate al Piano Strutturale che erano state redatte in adempimento a quanto era previsto dal D.P.G.R. n. 26/R del 27/04/2007.

## **2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE**

Lo studio e le indagini geofisiche sono state condotte secondo le specifiche tecniche contenute nei seguenti testi di riferimento normativo e tecnico:

- OPCM n. 4007/12 del 29.02.2012 pubblicata in G.U. del 07.03.2012 che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico e fa riferimento alla precedente:

- OPCM n. 3907 del 13.11.2010 pubblicata in G.U. del 01.12.2010 (modificata con OPCM n. 3925 del 23.02.11), previsti dall'Art. 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n.39, convertito, con modificazioni, dalla Legge n. 77 del 24/06/2009;

- DGRT N.261 del 18.04.2011, recepimento a livello regionale dell' OPCM n. 3907/2010 con riferimento all'Allegato A che individua i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica, le modalità di predisposizione delle specifiche tecniche per la realizzazione dei suddetti studi, le modalità di recepimento e utilizzo dei risultati degli studi di MS in fase pianificatoria e i criteri di selezione dei soggetti realizzatori degli studi di MS.

- DGRT N.741 del 06.08.2012, che recepisce le indicazioni degli art. 5 e 6 dell'OPCM 4007/2012 in materia di finanziamento e realizzazione degli studi di microzonazione sismica.

Le specifiche tecniche e gli standard di riferimento con cui è stato condotto lo studio di MS di livello 1, indicate dalla struttura Servizio Sismico regionale, sono le seguenti:

- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS), approvati il 13 Novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.741/2012, Appendice 1, Appendice 2;
- Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana;
- Indicazioni contenute nel volume di Ingegneria sismica 2/2011;
- Standard per la stesura della carta delle indagini e l'informatizzazione: Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Commissione Tecnica per il

monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n.3907).

### **3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE**

Il comune di Tavarnelle Val di Pesa è classificato ai sensi del Del. GRT n° 878 dell' 8/10/2012 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 43 del 24.10.2012 Supplemento n. 136) in Classe 3 e non rientra nel Programma VEL (Valutazione degli Effetti Locali) della Regione Toscana, motivo per il quale non sono stati acquisiti dati provenienti da tale progetto.

Le zone di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza delle aree che il Comune di Tavarnelle Val di Pesa ha individuato seguendo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL ed ha perimetrato secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli ICMS. Le aree indagate per la presente Variante al Regolamento Urbanistico, sono:

1. centro abitato di Tavarnelle Val di Pesa;
2. Sambuca Val di Pesa, sia il centro storico che l'area industriale;
3. centro abitato di San Donato in Poggio

Per la precisa delimitazione delle aree indagate si rimanda alle tavole cartografiche allegate alla presente relazione.

### **4 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO**

L'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, a sei anni di distanza dall'entrata in vigore della precedente classificazione, è stata approvata con Del. GRT n° 878 del 8/10/2012. Il Comune di Tavarnelle è stato classificato in zona sismica 3.

Il regolamento 58/R, pubblicato sul BURT n. 57 parte I del 26 ottobre 2012, di attuazione dell' articolo 117, comma 2, lettera g) della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) prevede che la zona 3 sia suddivisa in fasce di pericolosità che tengano conto del “valore di accelerazione sismica su suolo rigido e pianeggiante, allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferito al periodo di ritorno (TR) di 475 anni, corrispondente in termini progettuali ad una vita nominale ( $V_n$ ) di 50 anni e categoria d'uso ( $C_u$ ) pari ad 1 (classe d'uso II)”, di seguito indicato “ag” come segue: a) fascia A, contraddistinta da valori di  $ag > 0.15g$ ; b) fascia B, contraddistinta da valori di  $0.125 < ag \leq 0.15g$ ; c) fascia C, contraddistinta da valori di  $ag \leq 0.125g$ . Il territorio comunale di Tavarnelle Val di Pesa rientra nella fascia C.

Il primo passo per la definizione della pericolosità è la conoscenza dei dati macrosismici presenti nel Database Macrosismico Italiano la cui ultima versione è il DBMI 2011 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) messo a disposizione dall'INGV; all'interno del catalogo possono essere selezionati gli eventi di maggiore rilevanza che hanno interessato una data località. Nel caso di Tavarnelle Val di Pesa vengono evidenziati 3 eventi a partire dal 1895 e con relativa Magnitudo di Momento (Mw) dell'epicentro della scossa.

### Storia sismica di Tavarnelle [Tavarnelle Val di Pesa] [43.562, 11.174]

Numero di eventi: 3

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	<u>1895 05 18 19:5</u>	Fiorentino	401	8 5.43 ±0.08
3	<u>1899 06 26 23:1</u>	Valle del Bisenzio	138	7 5.06 ±0.15
3	<u>2001 11 26 00:5</u>	Casentino	213	5-6 4.72 ±0.09

Il Database Macrosismico è utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11 (A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi (a cura di), 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>)

Da tale catalogo sono stati evidenziati alcuni terremoti avvenuti a partire dall'anno 1000 d.C. con Mw superiore a 4 con effetti registrati nell'area di Tavarnelle Val di Pesa:

- 1148 : evento con epicentro nell'area di Firenze e con Mw di  $5,14 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli
- 16 Dicembre 1320 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $5,14 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli
- 12 Settembre 1345 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 22 Dicembre 1345 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli

- 07 Agosto 1414 : evento con epicentro nelle Toscana occidentale con Mw di  $5,61 \pm 0,67$  e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli
- 1420: evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 1426 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- Marzo 1436 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,93 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli
- 16 Ottobre 1449 : evento con epicentro nell'area di Asciano con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli
- 28 Settembre 1453 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $5,30 \pm 0,71$  e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli
- 22 Agosto 1467 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 03 Settembre 1467 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,93 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli
- 30 Settembre 1486 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 11 Novembre 1530 : evento con epicentro nell'area di Asciano con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 16 Novembre 1545 : evento con epicentro nell'area della campagna senese con Mw di  $5,35 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli
- 26 Settembre 1551 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,93 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli
- 13 Aprile 1558 : evento con epicentro nell'area della Val d'Ambra con Mw di  $5,82 \pm 0,43$  e intensità massima di grado 9 sulla scala Mercalli
- 06 Luglio 1600 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 25 Gennaio 1603 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 24 Marzo 1679 : evento con epicentro nell'area della Val d'Orcia con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli

- 18 Giugno 1697 : evento con epicentro nell'area di Impruneta con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 20 Settembre 1697 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli alle 15:50 e 2° evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,93 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli alle 16:50
- 11 Giugno 1737 : evento con epicentro nell'area di San Casciano Val di Pesa con Mw di  $4,30 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5 sulla scala Mercalli
- 01 Ottobre 1741 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $5,14 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli
- 30 Novembre 1768 : evento con epicentro nell'area della Val d'Elsa con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 26 Maggio 1798 : evento con epicentro nell'area di Impruneta con Mw di  $4,74 \pm 0,68$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 18 Ottobre 1804 : evento con epicentro nell'area della Val di Pesa con Mw di  $4,93 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli
- 11 Settembre 1812 : evento con epicentro nell'area della Val di Pesa con Mw di  $5,16 \pm 0,58$  e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli
- 17 Maggio 1853 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,30 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 30 Gennaio 1859 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 12 Aprile 1859 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,77 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli
- 07 Febbraio 1869 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,86 \pm 0,67$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 14 Novembre 1887 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $4,54 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 15 Febbraio 1890 : evento con epicentro nell'area di Colle Val d'Elsa con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 18 Maggio 1895 : evento con epicentro nell'area di Firenze con Mw di  $5,43 \pm 0,08$  e intensità massima di grado 8 sulla scala Mercalli



- 28 Agosto 1900 : evento con epicentro nell'area di Castellina in Chianti con Mw di  $4,55 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 21 Aprile 1906 : evento con epicentro nell'area della Val d'Elsa con Mw di  $4,52 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 26 Giugno 1906 : evento con epicentro nell'area di Sovicille con Mw di  $4,72 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 20 Dicembre 1906 : evento con epicentro nell'area di Tavarnelle con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 15 Dicembre 1907 : evento con epicentro nell'area di Radda con Mw di  $4,38 \pm 0,57$  e intensità massima di grado 5 sulla scala Mercalli
- 20 Dicembre 1907 : evento con epicentro nell'area di Radda con Mw di  $4,63 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 25 Agosto 1909 : evento con epicentro nell'area di Murlo con Mw di  $5,37 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 13 Settembre 1911 : evento con epicentro nell'area del Chianti con Mw di  $5,19 \pm 0,14$  e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli
- 24 Novembre 1920 : evento con epicentro nell'area di Sovicille con Mw di  $4,51 \pm 0,34$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 31 Gennaio 1940 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,50 \pm 0,22$  e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli
- 24 Marzo 1959 : evento con epicentro nell'area di San Casciano Val di Pesa con Mw di  $4,84 \pm 0,40$  e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli
- 22 Febbraio 1956 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di  $4,64 \pm 0,32$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli
- 16 Settembre 1962 : evento con epicentro nell'area della Val di Greve con Mw di  $4,64 \pm 0,32$  e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli

## **5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

Il territorio del Comune di Tavarnelle Val di Pesa ha un'estensione di 56,98 kmq ed occupa per la maggior parte la medio-alta valle del fiume Pesa e in misura minore la valle del fiume Elsa. La morfologia è collinare e le quote assolute sono comprese tra un minimo di 150 metri s.l.m. nella zona del Ponte Nuovo ad un massimo di 530 m nella zona del Poggio Testa Lepre. Il principale lineamento morfologico del territorio è rappresentato dal corso del fiume Pesa che corre da SE verso NO solcando il “graben” a direzione appenninica. La parte settentrionale ed occidentale del territorio è occupato da terreni pliocenici che danno luogo a dolci morfologie con versanti generalmente terrazzati e ampi ripiani sommitali. La parte sud-occidentale è caratterizzata generalmente da una maggiore energia del rilievo con i relativi corsi d'acqua che presentano profili trasversali più incisi. I rilievi della parte meridionale ed orientale del territorio rappresentano il substrato dei terreni pliocenici e sono costituiti in massima parte da flysch eocenici afferenti alle Unità Liguridi e in minor misura alle Unità Toscane. Sono presenti poi coperture e depositi alluvionali olocenici; le coperture sono costituite per la maggior parte da eluvi-colluvi e accumuli detritici, legati a processi di erosione di versante.

I depositi neogenici dello spessore anche di varie centinaia di metri nell'area di Tavarnelle sembrano essere la testimonianza e il prodotto del trasporto solido di grandi apparati deltizi attivi nel Pliocene superiore; secondo questa interpretazione (Canuti et al., 1966) due principali apparati deltizi scaricavano materiale a granulometria prevalentemente grossolana in zone di litorale dove si accumulavano anche sedimenti più fini di ambiente marino.

Dal punto di vista geomorfologico i principali agenti di modellazione delle forme del paesaggio sono riferibili ai processi di versante (in particolare per l'azione delle acque di ruscellamento superficiale e per l'azione della gravità) e ai processi di erosione incanalata ad opera dei corsi d'acqua.

I fenomeni franosi presenti possono essere compresi nella categoria dei movimenti per scorrimento generalmente traslazionale o rotazionale con ampio raggio; i fenomeni di colamento sono in genere di estensione limitata e di profondità modesta: i corpi sono in ogni caso di difficile delimitazione per la sovrapposizione di più eventi in lenta evoluzione o con connessi fenomeni superficiali. In molti versanti sono presenti infatti fenomeni gravitativi di soliflusso che sono soggetti a riattivazione in funzione alle piogge ed anche a movimenti terra di origine antropica.

Nelle formazioni plioceniche i principali movimenti sono legati a lente deformazioni nei terreni più allentati, alterati e saturi o a soliflussi generalizzati o a movimenti di scorrimento

planare delle coltri detritiche. Sono rilevabili nel territorio molti fenomeni antichi stabilizzati o quiescenti e situazioni di attività caratterizzate da più fenomenologie che si sovrappongono. Non sono presenti o perlomeno non sono significativi i movimenti gravitativi nelle unità lapidee flyshoidi.

I fenomeni di crollo sono generalmente di estensione molto contenuta e limitata a litologie con componente grossolana che porta allo sviluppo di scarpate quasi verticali. I fenomeni di colamento sono di difficile delimitazione per il coesistere di differenti evidenze morfologiche e per la sfumatura dei caratteri anche a breve distanza per le varie velocità del movimento in uno stesso corpo; per le aree più critiche, la riattivazione coincide in ogni caso con gli eventi piovosi maggiormente rilevanti, specie se concentrati in brevi lassi di tempo.

I processi erosivi dovuti alle acque selvagge danno origine a coltri prevalentemente limose-sabbiose che si depositano ove il versante si raccorda con il fondo vallivo o anche lungo il versante stesso. Essi si sviluppano con maggior facilità nelle aree prive di copertura arborea.

Il principale corso d'acqua dell'area, il fiume Pesa, esercita attualmente una azione prevalentemente erosiva, sicuramente prevalente su quella deposizionale (preponderante in fasi climatiche differenti dalle attuali e legate probabilmente a periodi glaciali-interglaciali); il profilo trasversale dei corsi d'acqua minori con valleciole profondamente incise alla confluenza con il corso d'acqua principale testimoniano una fase tuttora in evoluzione di non raggiunta maturità.

Analizzando le forme strutturali si può mettere in risalto, in riferimento ai depositi neogenici, che il grado di competenza e di resistenza agli agenti esogeni porta sul territorio ad evidenziare forme ben distinguibili: in particolare litologie con componenti grossolane preponderanti, e a maggior ragione se ben cementate, portano alla creazione di profili topografici con maggiore pendenza (le scarpate sub-verticali hanno in genere altezza pari allo spessore del livello più competente); litologie con frazioni fini maggioritarie danno invece origine a pendenze del profilo molto inferiori.

Non sono stati evidenziati elementi tettonici significativi (quali ad esempio faglie) che possano essere messi in diretta connessione con forme ed elementi morfologici; si fa solo cenno al fatto che la tettonica a livello regionale ha determinato l'orientazione in senso NW-SE delle principali lineazioni strutturali occupate oggi dagli alvei dei maggiori corsi d'acqua.

## **6 – INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE E REALIZZATE**

Da un punto di vista prettamente geologico sono stati analizzati gli elaborati cartografici di base del Piano Strutturale e la carte derivanti dal Progetto C.A.R.G. Cartografia Geologica Regione Toscana (Sezioni 275150, 286020, 286030, 286070). Il presente studio di Microzonazione sismica di livello 1 ha comportato, in prima istanza, il reperimento e la raccolta dei dati relativi alle indagini del sottosuolo effettuate nell'area di interesse.

Tali dati sono stati forniti direttamente e messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale di Tavarnelle Val di Pesa. Di particolare interesse sono risultati i dati riguardanti interventi recenti e quindi non allegati agli strumenti urbanistici vigenti.

Un altro gruppo di dati è stato ricavato dalle varie Banche Dati presenti in rete e realizzate a livello comunale, provinciale, regionale e statale. Si fa qui cenno alle principali fonti:

- “Indagini del sottosuolo” nel Portale del Servizio Geologico d'Italia
- “Banca dati del sottosuolo”, “Banca dati indagini geotematiche”, “Banca dati dei corpi idrici sotterranei”, “Carta Geologica Regionale”, “Banca dati frane e coperture” disponibili sul sito della Regione Toscana, su quello del LAMMA (Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale), su quello del SIRA (Sistema informativo Regionale Ambientale)

Nel complesso i dati di base pregressi recuperati sono stati i seguenti:

- n° 56 sondaggi a carotaggio continuo di cui tre attrezzati per misure inclinometriche
- n° 20 saggi geognostici
- n° 45 prove penetrometriche statiche con punta meccanica
- n° 54 prove penetrometriche dinamiche pesanti
- n° 36 sondaggi a distruzione di nucleo per pozzi per acqua
- n° 2 indagini sismica in foro Down-Hole
- n° 9 indagini simiche MASW
- n° 6 indagini sismiche a rifrazione in onde P e/o Sh
- n° 2 indagini geoelettriche con tecnica tomografica

Per il presente studio sono state effettuate delle misure a stazione singola per l'analisi dei microtremori ambientali (misure H/V). Lo scopo principale di tale tipologia d'indagine è quello di approfondire le conoscenze stratigrafiche ed in particolare di distinguere eventuali contrasti di impedenza sismica, tra materiali con velocità delle onde sismiche di taglio significativamente differenti. In particolare, sono state eseguite n°25 misure, di cui n°10 in corrispondenza

dell'abitato di Tavarnelle Val di Pesa, n°12 nell'area industriale e nel centro abitato di Sambuca e n°3 nel centro abitato di San Donato in Poggio.

## 7 – MODELLO DI SOTTOSUOLO

Da un punto di vista geologico-stratigrafico si può, in sostanza, mettere in risalto l'assenza nell'area sud del centro abitato di Tavarnelle di picchi significativi del segnale in frequenza del rapporto H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, generalmente indicato essere compreso tra 1 e 10 Hz. Per la descrizione dei risultati delle misure di rumore effettuate si rimanda al successivo paragrafo 10; mentre per la loro precisa ubicazione, con indicazioni anche della frequenza e dell'ampiezza del picco, si rimanda alla Tavola “*Carta delle frequenze fondamentali dei depositi*”.

L'assenza di picchi per quest'area del capoluogo è validata dalla relativa omogeneità della situazione litostratigrafica, che vede una presenza di livelli ciottolosi affioranti soprastanti ad alternanze di sedimenti sciolti o parzialmente cementati, generalmente poco assortiti dello spessore presumibilmente superiore a 100 m e con velocità delle onde di taglio che difficilmente raggiungono il valore di 600-700 m/s. In particolare, nelle prime decine di metri di sottosuolo della porzione meridionale dell'abitato di Tavarnelle sono predominanti i litotipi di natura incoerente. Nell'area topograficamente più elevata, nelle località Mocale e Borghetto lo spessore dei sedimenti ghiaiosi e ciottolosi è significativa, potendo raggiungere i 25 metri; tali depositi grossolani sono generalmente clasto-sostenuti, con elevato grado di arrotondamento. La matrice è da limoso-sabbiosa a sabbiosa grossolana. I clasti hanno una natura in prevalenza calcilutitica e calcareo-marnosa; diffusi gli affioramenti in banchi massivi ben cementati che danno luogo a scarpate anche sub-verticali. Tale unità conglomeratica spostandosi verso nord, diminuisce di spessore e diventano predominanti litotipi a minore granulometria con tessiture che passano da sabbiose a sabbioso-limose in strati fino a metrici; tuttavia dalle indagini effettuate e dai dati di base reperiti emerge come i livelli conglomeratici possano qui, dato il notevole grado di cementazione acquisito, raggiungere valori di velocità delle onde Sh molto prossime o anche superiori a 800 m/s, rappresentando quindi un potenziale substrato sismico. Rimangono comunque caratteristiche le frequenti alternanze con passaggi a strati più francamente limosi di colore grigio-azzurro o a strati decimetrici con netta prevalenza di ghiaie. Nella porzione occidentale dell'area di studio, in corrispondenza dell'area industriale “I Rovai” le facies conglomeratiche sono direttamente affioranti per spessori significativi (>10m). Nella parte più a settentrione e ad oriente dell'area studiata in corrispondenza del centro abitato di Tavarnelle sino

alla località “I Chiostrini” sono ancora preponderanti, perlomeno sino a 30 – 35 metri di profondità dal piano campagna, le componenti sabbioso-limose con livelli di ghiaie e ciottoli cementati che, perlomeno entro i primi 40 metri di profondità, tendono a diminuire di spessore spostandosi verso nord-nordest a testimonianza di una situazione paleogeografica estremamente dinamica per il rapido variare della natura dell’apporto sedimentario.

Nell’area di Sambuca, che comprende il fondovalle del fiume Pesa, lo spessore dei depositi di origine sedimentaria è probabilmente superiore a 100 metri nella porzione nord-occidentale dell’area di studio, quasi integralmente occupata da insediamenti industriali, come testimoniato dai picchi registrati al di sotto di 1 Hz. Spostandosi verso sud-est lo spessore di tali depositi diminuisce con un elevato gradiente, tanto che il substrato lapideo è affiorante lungo l’alveo del fiume Pesa e diffusamente sui versanti sia in sinistra che in destra idrografica. Tale substrato è costituito da litotipi riferibili ad Unità afferenti al Dominio Ligure; caratterizzato da un flysch calcareo-marnoso argillitico.

Nello specifico, sia negli affioramenti posti in sinistra idrografica del Fiume Pesa, che lungo l’alveo del fiume stesso, in corrispondenza dell’abitato storico di Sambuca, sono visibili strati di spessore decimetrico di arenarie calcaree alternate a livelli argillitici più attaccati dall’azione erosiva del corso d’acqua. Sui versanti in destra idrografica sembrano invece prevalere le componenti calcareo-marnosa e siltitica. Nel fondovalle, in corrispondenza dei pianori costituiti dai depositi olocenici, le misure di rumore ambientale sono coerenti con gli spessori dei sedimenti sciolti posti sul substrato lapideo pari a 4 – 5 metri ( $f_0 \approx 13$  Hz). Anche la misura effettuata in località Torricelle posta sul versante in destra idrografica a circa 200 metri in linea d’aria dal fiume Pesa e ad una quota di circa 40 metri superiore, testimonia un limitato spessore delle coperture ( $f_0 > 12$  Hz).

Spostandosi, seguendo l’alveo del fiume Pesa in direzione nord-ovest, lo spessore dei sedimenti sciolti aumenta molto rapidamente tanto che in località Pianugliole e nella parte alta di via Biagi il substrato si trova ad una profondità dal p.c. superiore a 40 metri. In prossimità del F.Pesa tali sedimenti, entro i 10 metri di spessore, sono ancora di natura alluvionale, ma i versanti sono modellati sui depositi pliocenici di origine marina, in facies prevalentemente prossimali. Ne segue che le microzone sono distinte per i differenti spessori delle litologie presenti, che nel fondovalle occupato dall’area industriale (zona nord-ovest), hanno minor componente conglomeratica. Tale componente è maggiormente presente sulle aree topograficamente più elevate della area studiata, al di sopra, ad esempio di Podere della Fonte e di Podere Ponte Novo. Nell’area più urbanizzata, occupata dai maggiori insediamenti industriali,

sono sempre frequenti, nei primi 30 metri, le alternanze tra livelli metrici di sabbie limose, argille limose e ghiaie. Le misure effettuate hanno evidenziato dei picchi a frequenze di circa 0,6 Hz, corrispondenti a valori di oltre 100 metri di spessore dei depositi sciolti posti su un substrato rigido o comunque posti al di sopra di un contrasto di impedenza sismica significativa.

Nell'area di San Donato in Poggio è presente il substrato roccioso costituito dal flysch della F.ne di Monteverdi Marittimo che sovrascorre nella porzione meridionale dell'area indagata sulla F.ne di Monte Morello dell'Unità della Calvana; le due formazioni sono molto affini da un punto di vista litologico essendo costituite in massima parte da calcari marnosi, marne ed argilliti calcaree ed in subordine da arenarie e siltiti. In assenza di condizioni di fratturazione particolarmente pervasiva, all'interno di tali litologie (a maggior ragione se sono preponderanti gli strati calcarei e calcareo-marnosi) la velocità delle onde S supera il valore di 800 m/s. Le misure di rumore sismico ambientale hanno confermato questa evidenza, in due casi con curve pressoché piatte all'interno dell'intervallo di frequenze di interesse e in un terzo con un valore di frequenza che indica uno spessore della copertura di circa 4-5 metri ( $f_0 \sim 15$ ). In quest'area, quindi, le sole casistiche che possano produrre fenomeni di amplificazione sono da ricondursi alla presenza, su aree generalmente ristrette, di corpi detritici o di porzioni di substrato affiorante particolarmente alterate.

## **8 - INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE NELLA DEFINIZIONE DEL MODELLO**

Da quanto sopra esposto risulta chiaro come una delle aree da sottoporre a studi più approfonditi sia quella del centro abitato di Sambuca, con l'intenzione di definire gli spessori dei terreni sciolti e definire con maggior precisione il gradiente con cui essi aumentano spostandosi verso nord e cioè verso l'area industriale; inoltre, per le stesse aree, sono da considerare eventuali situazioni locali di diminuzione o di aumento degli spessori dei sedimenti posti su substrato per differente risposta all'azione erosiva.

Non sono altresì da sottovalutare potenziali fenomeni di amplificazione stratigrafica nel centro abitato di Tavarnelle in corrispondenza di livelli di ciottoli e ghiaie cementate di spessore significativo posti a varie profondità rispetto al piano campagna.

Nell'area di San Donato eventuali situazioni di pericolosità non bassa, sono da considerarsi puntuali e riconducibili a locali caratteristiche del substrato roccioso o a fenomenologie di tipo geomorfologico.



## 9 - CLASSE DI QUALITA' DELLA CARTA DI LIVELLO 1

La raccolta delle indagini pregresse e l'effettuazione ex-novo di misure di rumore ambientale a stazione singola ha consentito di giungere all'ottenimento della classe di qualità B (71.3%).

Di seguito si riporta il foglio di calcolo per la valutazione della qualità della carta di livello 1.

FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE						
a	Parametro	4				
			Inserire il valore <u>solo</u> nelle celle colorate in viola			
b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala	
	<u>Punteggi indicatori</u>	1	1	1	1	
	<u>Pesi indicatori</u>	0,33	0,33	0,33	0,33	
c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock	
	<u>Punteggi indicatori</u>	1	0,33	0,66	0,66	
	<u>Pesi indicatori</u>	0,33	0,33	0,33	0,33	
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock	
	<u>Punteggi indicatori</u>	1	0,33	1	1	
	<u>Pesi indicatori</u>	0,33	0,33	0,33	0,33	
e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock	
	<u>Punteggi indicatori</u>	0,66	0,33	1	1	
	<u>Pesi indicatori</u>	0,33	0,33	0,33	0,33	
f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock	
	<u>Punteggi indicatori</u>	1	0,33	0,33	0,33	
	<u>Pesi indicatori</u>	0,33	0,33	0,33	0,33	
g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità	
	<u>Punteggi indicatori</u>	1	0,33	0,33	0,33	
	<u>Pesi indicatori</u>	0,33	0,33	0,33	0,66	
Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi						
Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Media (0,66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0,33	Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0,33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0,50)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	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)	0,33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%
* D. Albarelli, C. Cusi, V. Eraldi, F. Guernini, E. Lunedi, E. Paoletti, D. Pileggi, L.M. Pizzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.						

a	25	punteggi parziali	CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
b	0,99	24,8	A	³ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
c	0,33	8,2	B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
d	0,77	19,2	C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
e	0,33	8,2	D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICM508 e Linee Guida Regione Toscana
f	0,14	3,4			
g	0,49	12,3			
Tot	76,1	76,1	Classe A		

REGIONE  
TOSCANA




Tabella 1 - Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Media (0,66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0,33	Scala rilevamento	No data	50.000-25.000	25.000-10.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0,33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0,50)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	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)	0,33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Classe di affidabilità misure (Albarelli et al)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

\* D. Albarelli, C. Cosi, V. Enabli, F. Guerin, E. Landolfi, E. Paoletti, D. Pileggi, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macrozone abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.





## 10 – METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI

Allo scopo di definire le caratteristiche fisiche, elastiche e geometriche del sottosuolo è stata eseguita una campagna di n°25 misure di rumore sismico ambientale di tipo H/V.

Le ubicazioni e i risultati delle misure sono visibili nella cartografia prodotta “*Carta delle frequenze fondamentali dei depositi*” in scala 1:5000. Le misure sono state eseguite in punti distanti in modo da dare una buona copertura areale e da analizzare zone dalle diverse e rappresentative caratteristiche geologico-stratigrafiche. Le misure hanno avuto ognuna una durata di almeno 20 minuti in modo da poter avere un numero di finestre statisticamente significativo su cui effettuare una media (considerando l’eliminazione di talune finestre per la presenza di disturbi) e di adeguata lunghezza (almeno 25-30 s) per l’analisi di frequenze anche molto basse (fino circa a 0.1 Hz). La frequenza di campionamento in fase di acquisizione è stata di 300 campioni per secondo.

Gli spettri sperimentali, al fine di definirne l’affidabilità, sono stati confrontati con i criteri SESAME (2004) e con la classificazione delle misure proposta da Albarello et alii (2010). Si rimanda al relativo allegato per le schede delle singole misure effettuate.

Nell’ambito di questo lavoro le misure hanno avuto la finalità dell’individuazione di fenomeni di risonanza sismica con l’indicazione delle frequenze in corrispondenza delle quali tale fenomeno si manifesta. Si può così giungere ad una indicazione dello spessore delle coperture poste su un substrato roccioso o in ogni caso della profondità di un contrasto di impedenza sismica significativo. La definizione dell’entità di tale contrasto è solo indicativa e l’ampiezza del rapporto H/V dato dal picco o dai picchi della curva non può essere messo in correlazione diretta con l’amplificazione reale che si potrà manifestare in occasione di un evento sismico.

Al fine di una corretta valutazione delle caratteristiche geologico-stratigrafiche la scelta del luogo di misura è stato preceduto da sopralluoghi e da uno studio di tutta la cartografia geologica, litotecnica e geomorfologica disponibile, in modo da poter avere più opzioni di posizionamento per una stessa unità formazionale o litologica in aree ritenute utili per la microzonazione sismica.

Per l’analisi di tutte le misure H/V sono state utilizzate le stesse procedure numeriche (durata delle misure, ampiezza e tipologia delle finestre di liscio). E’ stato possibile effettuare così una prima e immediata distinzione tra curve con ampiezza del picco del rapporto  $H/V > 3$  e per le quali ci si attende un contrasto di impedenza sismica ed una amplificazione della sollecitazione sismica significativa, da quelle con ampiezza del rapporto  $H/V < 3$ . Gli spessori delle coperture poste su substrato o le profondità di contrasti di impedenza sismica significativi possono in

prima approssimazione essere ricavati da un abaco; tali valori hanno però solo un valore indicativo e necessitano di confronto con prove indipendenti perché gli spessori siano definiti con maggiore precisione e accuratezza.

F0 (Hz)	h(m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

*Abaco per la stima dello spessore delle coperture conoscendo i valori delle frequenze di risonanza F0 date dalle misure H/V.*

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Nell'area di Tavarnelle Val di Pesa 2 delle 3 misure effettuate nella porzione meridionale ( da Piazza Matteotti a Mocale a C.Sardella, hanno evidenziato un picco al di sotto della frequenza di 1 Hz e con valori di ampiezza del picco  $H/V < 3$ : tale frequenza indica uno spessore di coperture probabilmente superiore a 100 m; l'altra misura ha indicato un picco a circa 19 Hz, indice di un contrasto di impedenza molto superficiale e quindi non particolarmente significativo a scopi ingegneristici perché lontano dalle frequenze proprie di vibrazione degli edifici. In altre zone, a partire dalla zona stadio in via della Pieve, in via Firenze, in via Gagny, in via Spicciano, con ampiezze fortunatamente non sempre elevate, le misure hanno evidenziato dei picchi in frequenza corrispondenti a contrasti di impedenza a profondità comprese tra 8 e 20 metri da p.c. e senzaltro da ricondurre alla presenza di ciottoli e ghiaie cementate.

Nell'area di Sambuca sono state effettuate 12 misure. Partendo dall'area nord-occidentale 5 misure effettuate hanno evidenziato dei picchi a frequenze  $\approx 0.6$  Hz; le ampiezze non sono particolarmente elevate rimanendo al di sotto di 3 il valore del rapporto H/V.

Spostandosi verso sud-est il valore in frequenza del picco mostra un passaggio da 1.8 Hz a 2.5 Hz in sinistra idrografica del fiume Pesa e a 2.6 Hz in destra idrografica. Tali valori mostrano un assottigliamento dei materiali di copertura spostandosi verso SE con spessori che passano da circa 40 a circa 30 metri. Procedendo verso sud in corrispondenza dell'abitato storico di Sambuca, lo spessore delle coperture si fa molto più esiguo come testimoniato dai picchi in

frequenza a 12.7 Hz e a 12.5 Hz, per spessori di coperture poste su substrato rigido inferiori a 10 metri.

Scopo di ulteriori approfondimenti a livello edificatorio sarà quello di cercare di mettere in luce il gradiente di diminuzione dello spessore delle coperture procedendo in direzione NO-SE corrispondente a picchi del rapporto H/V compresi tra 2 e 10 Hz; tale intervallo di frequenze è infatti quello di maggior interesse per l'eventuale innescarsi di fenomeni di doppia risonanza suolo-edificio.

N.	Ubicazione	Frequenza di picco (Hz)	Ampiezza picco H/V
Tavarnelle 1	Tavarnelle - loc. Borghetto	0,5	2,2
Tavarnelle 2	Tavarnelle - loc. Borghetto	19,7	4,3
Tavarnelle 3	Tavarnelle - loc. C.Sardella	0,6	2,3
Sambuca 4	Sambuca zona industriale nord	0,5	2,6
Sambuca 5	Sambuca zona industriale nord	0,5	1,9
Sambuca 6	Sambuca zona industriale nord	0,6	2,3
Sambuca 7	Sambuca zona industriale sud	1,8	2,5
Sambuca 9	Sambuca - loc. Pianugliole	2,5	2,7
Sambuca 10	Sambuca - centro storico sud	11,5	5,6
Sambuca 11	Sambuca sud	12,5	6,2
Sambuca 12	Sambuca - loc. Torricelle	12,7	2,6
Sambuca 13	Sambuca - zona stadio	2,6	2,4
Sambuca 14	Sambuca - loc. Capo d'Argine 1	0,7	2,3
Sambuca 15	Sambuca - loc. Capo d'Argine 2	0,7	2,5
Sambuca 16	Sambuca - zona industriale ovest	0,6	2,3
Tavarnelle 17	Tavarnelle - via della Pieve	5,7	2,7
Tavarnelle 18	Tavarnelle - via Firenze	9	4,1
Tavarnelle 19	Tavarnelle - via Spicciano	6,9	2,4
Tavarnelle 20	Tavarnelle - ang. V. Don Minzoni-V. Gagny	0,5	2,3
Tavarnelle 21	Tavarnelle - viale Gagny	4	3,8
Tavarnelle 22	Tavarnelle - via Palazzuolo	3,1	3,6
Tavarnelle 23	Tavarnelle - via dell'Artigianato	3,1	2,1
San Donato in Poggio 24	San Donato - via F.Ili Cervi	15,6	3
San Donato in Poggio 25	San Donato - via della Pieve	2,1	1,7
San Donato in Poggio 26	San Donato - loc. Matriolo	12,6	1,4

#### *Risultanze delle misure a stazione singola H/V*

La misura denominata Sambuca 8 è stata eliminata in quanto disturbata dalla vicina presenza del Raccordo autostradale FI-SI.

## 11 – ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli elaborati cartografici prodotti sono i seguenti:

- Carta delle indagini in scala 1:5.000
- Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica in scala 1:5000
- Carta delle frequenze fondamentali dei depositi in scala 1:5.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5.000
- Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5000

## 12 – DESCRIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

### 12.1 - ZONE STABILI

Zone stabili sono state cartografate nell'area di San Donato in Poggio; sono rappresentate da substrato lapideo stratificato avente velocità media delle onde di taglio  $S > 800$  m/s con copertura di materiale sciolto di spessore non superiore a tre metri; nell'area di studio è costituito dalle F.ne di Monteverdi Marittimo e marginalmente dalla F.ne di Monte Morello, formate entrambe da una sequenza di strati torbiditici, spessi fino a 10 m, calcareo marnoso argillitici ed arenaceo siltitici in subordine, di ambiente di piana sottomarina.

### 12.2 - ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

- **Zona 1**: è rappresentata da substrato lapideo stratificato avente velocità media delle onde di taglio  $S > 800$  m/s, ma affiorante su superfici topografiche aventi inclinazione medie  $> 15^\circ$ ; nell'area di studio è costituito dalle formazioni di Monteverdi Marittimo, costituita da una sequenza di strati torbiditici, spessi fino a 10 m, calcareo marnoso argillosi ed arenaceo siltosi in subordine, di ambiente di piana sottomarina.
- **Zona 2**: è formata da una copertura di sedimenti di origine sia continentale che marina, con granulometrie generalmente medie e fini, grado di consistenza medio e spessore compreso tra 3 e 20 metri, poggiante su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde  $S > 800$  m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.
- **Zona 3**: è formata da una copertura di sedimenti di origine sia continentale che marina, con granulometrie generalmente medie e fini, grado di consistenza medio e spessore compreso tra 20 e 40 metri, poggiante su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde  $S$

> 800 m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.

- **Zona 4:** è formata da un primo livello di ciottoli, sabbie ed argille sabbiose di origine alluvionale generalmente poco addensati dello spessore compreso tra 0 e 10 metri poggianti su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.

- **Zona 5:** è formata da un primo livello di ciottoli, sabbie ed argille sabbiose di origine alluvionale generalmente poco addensati dello spessore compreso tra 0 e 10 metri poggianti su una copertura di sedimenti di origine sia continentale che marina, con granulometrie generalmente medie e fini, grado di consistenza medio e spessore compreso tra 10 e 20 metri, poggianti a sua volta su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.

- **Zona 6:** è formata da un primo livello di ciottolami e ghiaie polimodali clasto-sostenute da moderatamente addensati ad addensati dello spessore compreso tra 0 e 20 metri; da un secondo livello di ghiaie e sabbie polimodali moderatamente addensati di spessore compreso tra 10 e 30 metri e da un terzo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore > 30 metri.

- **Zona 7:** è formata da un primo livello di ghiaie e sabbie polimodali moderatamente addensati di spessore compreso tra 20 e 30 metri e da un terzo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore > 30 metri.

- **Zona 8:** è formata da un primo livello di ciottoli, sabbie ed argille sabbiose di origine alluvionale generalmente poco addensati dello spessore compreso tra 0 e 10 metri, da un secondo livello di ghiaie e sabbie polimodali moderatamente addensati di spessore compreso tra 0 e 20 metri e da un terzo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore > 30 metri.

- **Zona 9:** è formata da un primo livello di ghiaie e sabbie polimodali moderatamente addensati di spessore compreso tra 0 e 20 metri e da un secondo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore > 30 metri.

- **Zona 10:** è costituita da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose con stato di addensamento moderato dello spessore > 30 metri.

- **Zona 11:** è formata da un primo livello di ciottoli, sabbie ed argille sabbiose di origine alluvionale generalmente poco addensati dello spessore compreso tra 0 e 10 metri e da un

secondo livello di sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose con stato di addensamento moderato dello spessore  $> 30$  metri.

- **Zona 12**: è formata da un primo livello di argille limose moderatamente consistenti dello spessore compreso tra 0 e 10 metri e da un secondo livello di sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose con stato di addensamento moderato dello spessore  $> 30$  metri.
- **Zona 13**: è formata da un primo livello di ciottolami e ghiaie polimodali clasto-sostenute da moderatamente addensati ad addensati dello spessore compreso tra 0 e 20 metri e da un secondo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore  $> 30$  metri.
- **Zona 14**: è formata da un primo livello di sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose moderatamente addensati dello spessore compreso tra 0 e 10 metri, da un secondo livello di ciottolami e ghiaie polimodali clasto-sostenute da moderatamente addensati ad addensati dello spessore compreso tra 10 e 20 metri e da un terzo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore  $> 30$  metri.
- **Zona 15**: è costituita da un primo livello di sabbie ed argille dello spessore compreso tra 0 e 10 metri poco addensate e da un secondo livello di sabbie moderatamente addensate intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore  $> 30$  metri.
- **Zona 16**: è formata da un primo livello di ciottolami e ghiaie polimodali clasto-sostenute da moderatamente addensati ad addensati dello spessore compreso tra 20 e 25 metri e da un secondo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore  $> 30$  metri.
- **Zona 17**: è formata da un primo livello di sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose moderatamente addensati dello spessore compreso tra 10 e 20 metri, da un secondo livello di ciottolami e ghiaie polimodali clasto-sostenute da moderatamente addensati ad addensati dello spessore compreso tra 0 e 10 metri e da un terzo livello costituito da sabbie intercalate a sottili livelli limoso-argillosi e a lenti ghiaiose dello spessore  $> 30$  metri.

### 12.3 - ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

All'interno dell'area di studio è stata discriminata la presenza di zone suscettibili di instabilità: in particolare sono state mappate zone suscettibili di instabilità di versante in stato attivo, quiescente ed inattivo. Le diverse fenomenologie che hanno evidenziato indizi di attività durante gli ultimi cicli stagionali (evidenze di movimenti per franosità diffusa e frane per

scivolamento) sono raggruppate entro la categoria FR(a) e determinano una Pericolosità Sismica S4.

#### 12.4 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Le microzone individuate hanno portato alla definizione delle aree a pericolosità sismica locale:

- Le aree riconosciute affette da fenomenologie gravitative di tipo attivo sono state classificate tra le aree a “Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4): zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici...”
- Le aree riconosciute affette da fenomenologie gravitative di tipo quiescente oltre alle zone caratterizzate da un contrasto di impedenza sismica significativo sono state classificate tra le aree a “Pericolosità sismica locale elevata (S.3): zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici [...]; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri”
- Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da un contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido ad oltre 80 metri unitamente alle zone suscettibili di instabilità di versante inattiva, sono state classificate tra le aree a pericolosità sismica media (S.2).
- Le zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata [...] sono state classificate tra le aree a pericolosità sismica bassa (S.1).

### 13 - DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA

Nella carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica vengono rappresentate le informazioni riguardanti i litotipi affioranti, distinti in primis tra terreni di copertura e substrato geologico (nel caso del presente lavoro, substrato considerato sempre rigido); lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri; la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione *Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM, 1985). Inoltre è stata aggiunta una sigla che descrive l'ambiente deposizionale del litotipo.

Sono riportate inoltre le forme di superficie: nel presente lavoro sono rappresentate le conoidi alluvionali e le falde di detrito.

Vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- giaciture degli strati;
- l’ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato (con indicazione della profondità ove il substrato è stato rinvenuto) e l’ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione).



## 14 – CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un processo in seguito al quale un sedimento che si trova al di sotto del livello della falda perde temporaneamente resistenza e si comporta come un liquido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace.

Essa ha luogo quando la pressione dei pori aumenta fino a eguagliare la pressione intergranulare. L'incremento della pressione neutra è indotto dalla tendenza di un materiale sabbioso a compattarsi quando è soggetto ad azioni cicliche di un sisma, con conseguente aumento del potenziale di liquefazione del terreno.

Il fenomeno di liquefazione può essere ottenuto dalla combinazione di:

### 14.1 - FATTORI PREDISPONENTI

- Terreno saturo, non compattato, non consolidato, sabbioso limoso o con poca argilla;
- Distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in sito.

### 14.2 - FATTORI SCATENANTI

- La sismicità: magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione in superficie.

Generalmente la liquefazione si verifica in depositi recenti di sabbia e sabbia siltosa, depositi che spesso si trovano negli alvei fluviali o aree di costa.

I terreni suscettibili al fenomeno di liquefazione sono:

- Suoli non coesivi e saturi (*sabbie e limi, occasionalmente ghiaie*) con contenuti di fini plastici relativamente basso;
- Suoli costituiti da particelle relativamente uniformi;
- Depositati sabbiosi recenti (*Olocenici*).

Per valutare il potenziale di liquefazione sulla base dei dati disponibili è stata utilizzata l'analisi qualitativa, basata sulle osservazioni delle caratteristiche sismiche, geologiche e geotecniche dei siti interessati o potenzialmente interessati dal fenomeno della liquefazione.

Tali letture, evidenziano, nella quasi totalità dei casi, la presenza di depositi costituiti da materiali con ampia distribuzione granulometrica, con percentuali elevate di materiali fini (<

0.002 mm), e con presenza non trascurabile di ghiaie, motivo per il quale i terreni analizzati presentano una scarsa suscettibilità alla liquefazione.

Nel contesto del presente lavoro, la valutazione relativa alla suscettibilità alla liquefazione è puramente qualitativa ed in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovrà comunque essere verificata la stabilità nei confronti della liquefazione secondo il paragrafo 7.11.3.4 delle NTC/08.

Arezzo, febbraio 2018

I professionisti incaricati (Studio ProGeo Associati):

Dott. Geol. *Massimiliano Rossi*

Dott. Geol. *Fabio Poggi*

Collaboratori:

Dott. Geol. *Luca Berlingozzi*

Dott. Geol. *Laura Galmacci*