



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE  
TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME



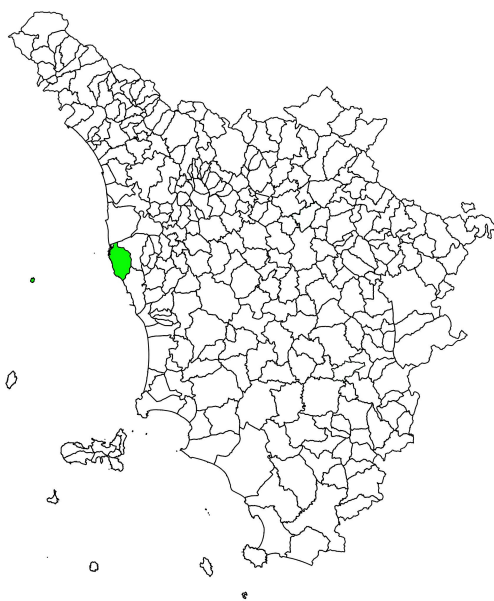
Attuazione dell'art. 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione tecnico-illustrativa

Regione Toscana

Comune di Livorno



Comune di Livorno

Soggetto realizzatore:

Geologica Toscana

Regione Toscana  
Servizio Sismico Regionale

Collaboratore:  
Dott. Geol. Aurora Martini

Data:

21.03.2019

## INDICE

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>                                                        | <b>2</b>  |
| <b>2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....</b> | <b>3</b>  |
| <b>3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....</b>                         | <b>16</b> |
| <b>4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....</b>                                         | <b>18</b> |
| <b>5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO .....</b>                                              | <b>21</b> |
| 5.1 PIANA DI LIVORNO.....                                                           | 22        |
| 5.2 QUERCIANELLA .....                                                              | 24        |
| 5.3 ISOLA DI GORGONA .....                                                          | 24        |
| <b>6. ELABORATI CARTOGRAFICI .....</b>                                              | <b>25</b> |
| 6.1 CARTA DELLE INDAGINI .....                                                      | 25        |
| 6.2 CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI .....                           | 26        |
| 6.3 CARTA GEOLOGICO-TECNICA.....                                                    | 28        |
| 6.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) .....              | 32        |
| 6.5 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLA CARTOGRAFIA .....                               | 54        |
| 6.6 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA .....                                           | 57        |
| <b>7. RISULTATI E CONCLUSIONI.....</b>                                              | <b>60</b> |
| <b>8. BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                         | <b>63</b> |

## 1. Introduzione

Con il termine Microzonazione Sismica si intende l'attività di valutazione su un territorio, a scala comunale, delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche e dalle condizioni topografiche locali. Il progetto di Microzonazione Sismica di secondo livello ha come fine principale la raccolta di tutti i dati geologici provenienti da lavori pubblici e privati al fine di definire coefficienti di amplificazione per individuare, in via preliminare, con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre in seguito a studi particolareggiati (terzo livello).

Il Comune di Livorno ha aderito al progetto di Microzonazione e a tal fine, vista la vastità del territorio comunale, sono state individuate delle aree su cui concentrare gli studi, rappresentate dal Capoluogo, Antignano, Montenero, Quercianella, Valle Benedetta e l'isola di Gorgona (per l'isola di Gorgona non verrà prodotta la carta di Microzonazione Sismica).

Il territorio comunale era già stato investigato dal punto di vista sismico in diverse fasi precedenti a quella che poi ha generato il presente studio e tali indagini sono state parte integrante per lo studio di Microzonazione nel suo complesso.

A tali indagini si sono poi aggiunte nuove indagini sismiche effettuate dalla Geologica Toscana S.n.c. (sismica attiva, passiva e prove penetrometriche CPTu) a completamento delle aree rimaste scoperte durante le investigazioni precedenti.

Per la redazione della cartografia necessaria allo studio di MS2 ci siamo avvalsi delle carte geologica e geomorfologica del Nuovo Piano Strutturale redatte dal Dott. Geol. Luca Mazzei, integrate dalla nuova perimetrazione delle frane eseguita dall'Autorità di Bacino.

La base topografica utilizzata per la redazione degli elaborati cartografici, è la CTR scala 1:10.000 in accordo con il Servizio Sismico della Regione Toscana, vista la grandezza del territorio da analizzare.

Il lavoro è stato articolato nelle seguenti fasi:

- Raccolta delle indagini pregresse (concesse dal Dott. Geol. Luca Mazzei);
- Esecuzione delle nuove indagini;
- Creazione del Database contenente tutte le indagini a disposizione;
- Realizzazione della Cartografia (Carta delle indagini, Carta delle frequenze naturali dei depositi, Carta geologico-tecnica, Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica e Carta di Microzonazione Sismica).

Il presente studio di Microzonazione è stato effettuato in ottemperanza:

- Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, Gruppo di lavoro MS;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3907 del 13 novembre 2010 – Attuazione dell’articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n° 39, convertito con modificazioni dalla legge 24 giugno 2009 n°77.
- Allegato A delle specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica;
- Istruzioni tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana – Programma VEL Toscana – Del. GRT n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.;
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 4.01;
- “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica dell’analisi della CLE (v3.0.1)”,
- “Manuale per l’analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE) dell’insediamento urbano”,
- “Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC). Versione 1.0”,
- “Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR). Versione 1.0”,
- “Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ). Versione 1.0”.

## **2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento**

Ai sensi della Classificazione Sismica del Territorio Regionale Toscano – Ord. PCM 3.519 – Delib. G.R. n° 431 del 19/06/2006 – e successive modificazioni e integrazioni, il Comune di Livorno è censito tra le aree a sismicità 3 ( $0,100 < Ag/g < 0,150$ ).

L’accelerazione, considerata al suolo su bedrock rigido categoria di sottosuolo “A”, si intende quella con la probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a tempi di ritorno di 475 anni.

In linea con i meccanismi sismogenetici dell’appennino settentrionale tale accelerazione assume, sul territorio del Comune di Livorno, valori via via crescenti spostandosi in direzione Est e Nord-Est, avvicinandosi quindi alle sorgenti principali dei terremoti.

Dal progetto DISS\_3.2.1 dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si nota ancor meglio come le faglie attive e capaci e in particolare le sorgenti sismogenetiche siano disposte sia ad Est del territorio comunale.

In particolare sono da mettere in luce due importanti sistemi fessurativi *“Individual Seismogenic Sources”* e *“Composite Seismogenic Sources”*, che prendono il nome di ITIS066: *Orciano Pisano* e ITCS088: *Livorno Hills*.

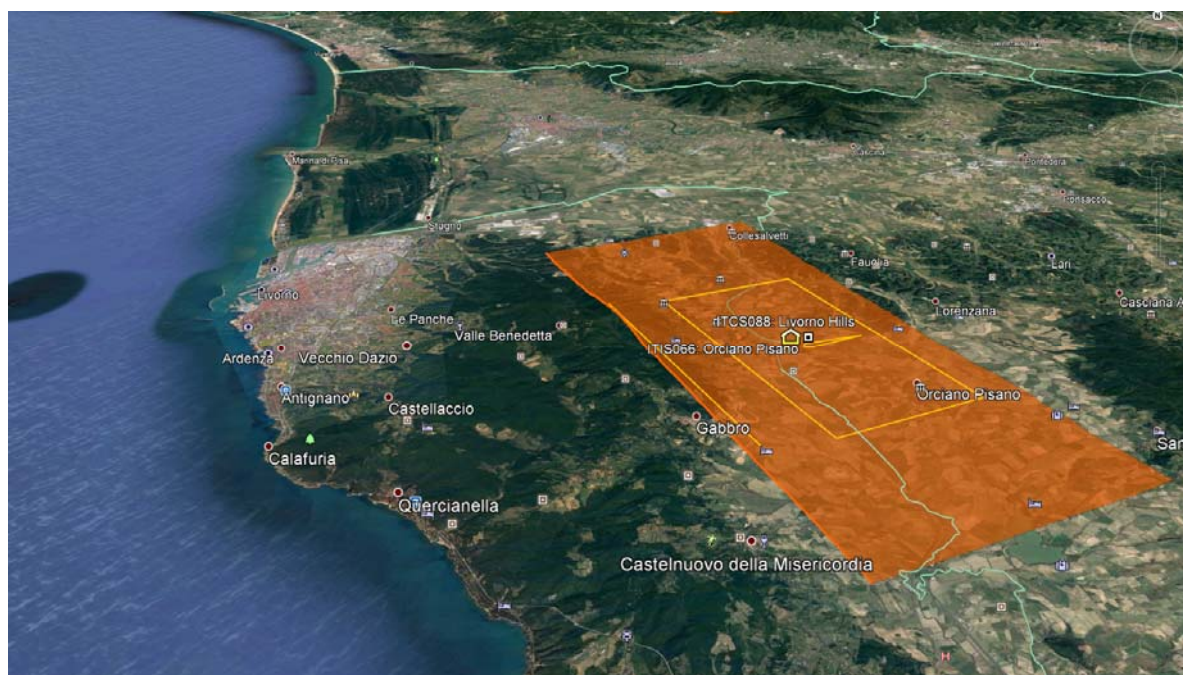


Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Database of Individual Seismogenic Sources

**DISS** version 3

4





**INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES**



[COMMENTARY](#) ▼

[PICTURES](#) ▼

[REFERENCES](#) ▼

[USER COMMENTS](#) ▼

**GENERAL INFORMATION**

|                        |                                                                                                                                                                     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DISS-ID</b>         | ITIS066                                                                                                                                                             |
| <b>Name</b>            | Orciano Pisano                                                                                                                                                      |
| <b>Compiler(s)</b>     | Vannoli P.(1)                                                                                                                                                       |
| <b>Contributor(s)</b>  | Vannoli P.(1)                                                                                                                                                       |
| <b>Affiliation(s)</b>  | 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy                                          |
| <b>Created</b>         | 08-Nov-2005                                                                                                                                                         |
| <b>Updated</b>         | 08-Nov-2005                                                                                                                                                         |
| <b>Display map ...</b> |   |
| <b>Related sources</b> | <a href="#">ITCS088</a>                                                                                                                                             |

**PARAMETRIC INFORMATION**

| PARAMETER                   |               | QUALITY | EVIDENCE                                                                  |
|-----------------------------|---------------|---------|---------------------------------------------------------------------------|
| Location [Lat/Lon]          | 43.52 / 10.49 | OD      | Based on macroseismic and geological data.                                |
| Length [km]                 | 7.9           | ER      | Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).     |
| Width [km]                  | 6.4           | ER      | Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).     |
| Min depth [km]              | 2.0           | EJ      | Inferred from geological observations.                                    |
| Max depth [km]              | 6.9           | EJ      | Inferred from geological observations.                                    |
| Strike [deg]                | 337           | EJ      | Inferred from geological data.                                            |
| Dip [deg]                   | 50            | EJ      | Inferred from geological data.                                            |
| Rake [deg]                  | 270           | EJ      | Inferred from geological data.                                            |
| Slip Per Event [m]          | 0.3           | ER      | Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979). |
| Slip rate [mm/y] min... max | 0.1... 1.0    | EJ      | Unknown, values assumed from geodynamic constraints.                      |
| Recurrence [y] min... max   | 300...3000    | EJ      | Inferred from slip rate and average displacement.                         |
| Magnitude [Mw]              | 5.7           | LD      | Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI04.            |

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

**INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES**

|                               |             |                                   |
|-------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| <b>Latest Earthquake</b>      | 14 Aug 1846 | CPTI04.                           |
| <b>Penultimate Earthquake</b> | Unknown     | See "Commentary" for information. |

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES
?

[COMMENTARY](#) ▼    [PICTURES](#) ▼    [REFERENCES](#) ▼    [USER COMMENTS](#) ▼

**GENERAL INFORMATION**

|                 |                                                                                                                            |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DISS-ID         | ITCS088                                                                                                                    |
| Name            | Livorno Hills                                                                                                              |
| Compiler(s)     | Fracassi U.(1)                                                                                                             |
| Contributor(s)  | Fracassi U.(1), Vannoli P.(1)                                                                                              |
| Affiliation(s)  | 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy |
| Created         | 11-May-2010                                                                                                                |
| Updated         | 11-May-2010                                                                                                                |
| Display map ... |                                                                                                                            |
| Related sources | <a href="#">ITIS066</a>                                                                                                    |

**PARAMETRIC INFORMATION**

| PARAMETER                   | QUALITY    | EVIDENCE                                                              |
|-----------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Min depth [km]              | 1.0        | EJ Inferred from geological and macroseismic observations.            |
| Max depth [km]              | 7.0        | EJ Inferred from geological and macroseismic observations.            |
| Strike [deg] min... max     | 330...350  | EJ Inferred from geological observations.                             |
| Dip [deg] min... max        | 40...60    | EJ Inferred from geological observations.                             |
| Rake [deg] min... max       | 260...280  | EJ Inferred from geological observations.                             |
| Slip Rate [mm/y] min... max | 0.1... 1.0 | EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.               |
| Max Magnitude [Mw]          | 5.7        | OD Derived from maximum magnitude of associated individual source(s). |

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

**ACTIVE FAULTS**  
**ACTIVE FOLDS**

Le fonti sismogenetiche individuali (nella figura sopra in giallo) sono definite da dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da una serie completa di dati geometrici (strike, dip, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (rake), e parametri sismologici (spostamento singolo evento, magnitudo, slip rate, periodo di ritorno).

Si assume che le fonti sismogenetiche individuali abbiano una ripetitività strettamente periodica in funzione del rapporto lunghezza/larghezza a rottura, dell' immersione dell'evento e della magnitudo attesa. Esse sono confrontate con i database di tutto il mondo per la coerenza interna, in termini di lunghezza, larghezza, spostamento del singolo evento e magnitudo, e possono essere aumentati attraverso la scarpata di faglia o asse della piega quando disponibili (di solito caratteristiche strutturali con attività documentata dal Pleistocene superiore - Olocene).

Questa categoria ha lo scopo di fornire le informazioni più accurate disponibili tra le migliori sorgenti identificate, ma la completezza delle fonti stesse non può essere garantita. Le fonti sismogenetiche individuali possono quindi essere utilizzate per il calcolo di scenari di terremoto e tsunami e per le indagini tettonico/geodinamiche, ma non hanno lo scopo di comprendere un insieme di dati completo per la valutazione probabilistica della pericolosità sismica.

Sempre nella figura soprastante, colorate in arancio, sono rappresentate fonti sismogenetiche composite.

Le fonti sismogenetiche composite (aree sismogenetiche) sono basate su dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da parametri geometrici (strike, dip, larghezza, profondità) e cinematici (rake).

Una sorgente sismogenetica composta è essenzialmente una struttura dedotta da dati geologici regionali superficiali e profondi. La lunghezza della rottura del terremoto atteso, è comunque poco definita o sconosciuta; quindi una tipica sorgente sismogenetica composta si estende ad un numero imprecisato di sorgenti individuali. Come risultato, fonti di questa categoria non vengono considerate capaci di un terremoto di specifiche dimensioni, ma il loro potenziale sismico può essere stimato dai cataloghi di terremoti esistenti.

A differenza delle fonti sismogenetiche individuali, questa categoria di sorgenti è stata concepita per raggiungere la completezza delle registrazioni delle potenziali fonti di terremoto, anche se questo può comportare una precisione minore nella loro descrizione.

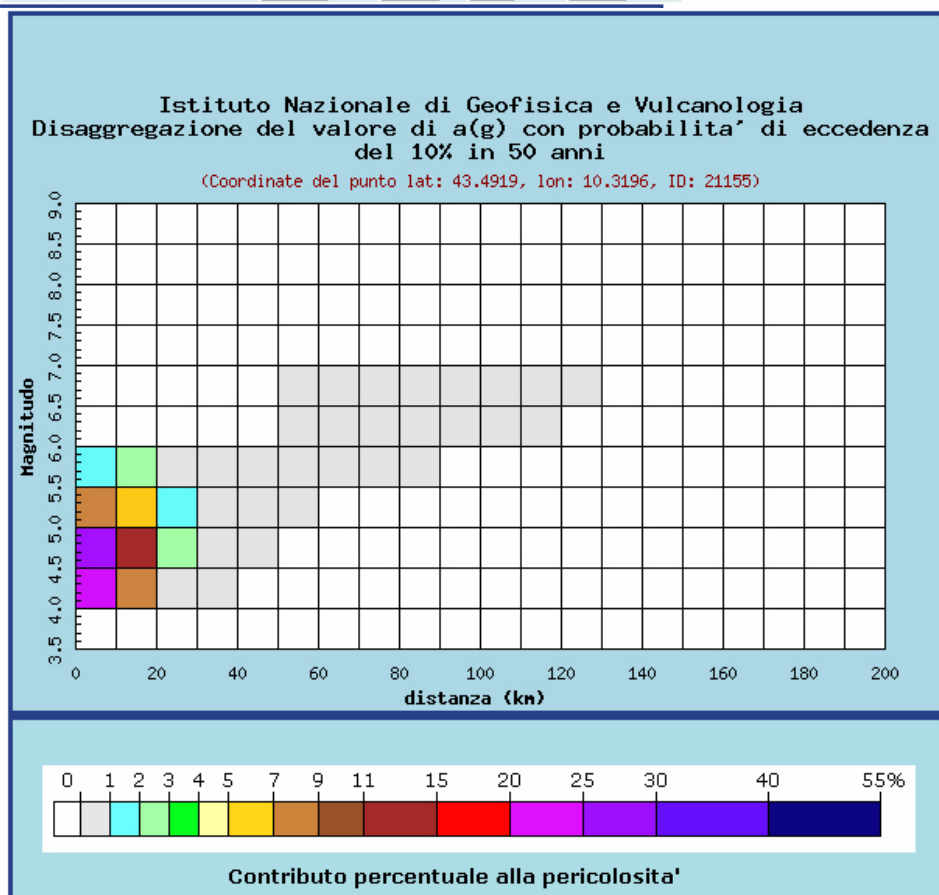
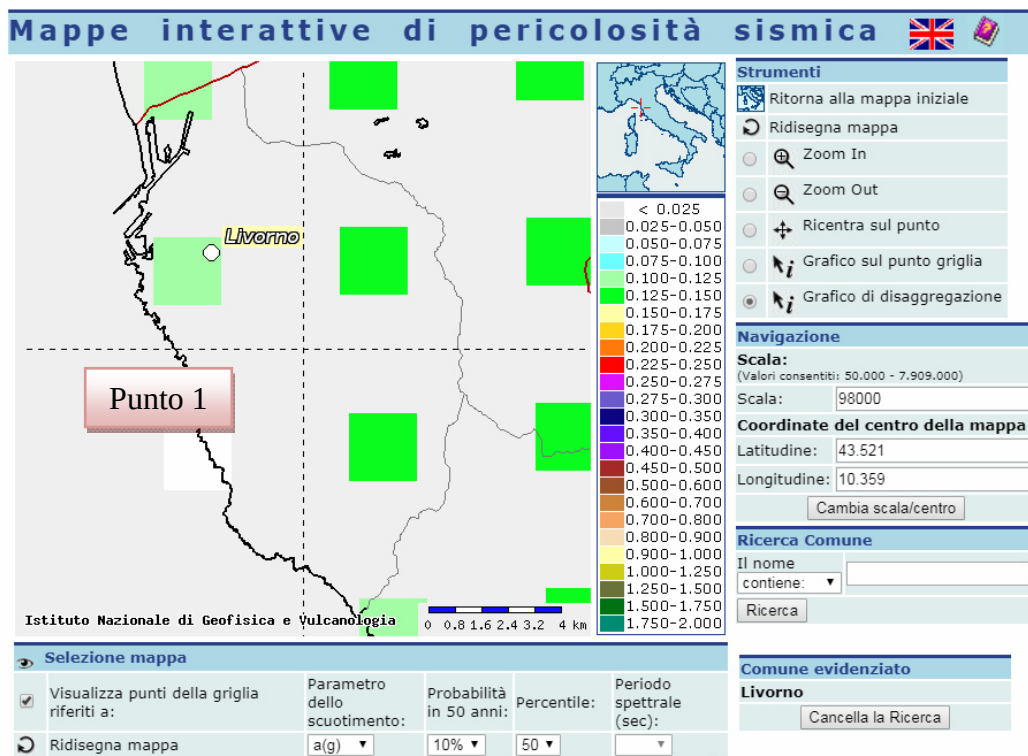
Dai dati di disaggregazione di  $a(g)$  delle mappe di pericolosità sismica dell'INGV possiamo valutare quale sia la magnitudo e la distanza epicentrale più probabile con tempi di ritorno di circa 475 anni (10% di superamento in 50 anni) attesi per il Comune di Livorno.

Si sceglie tale tempo di ritorno perché è quello che comunemente viene considerato per la costruzione degli spettri di risposta sismica per la maggior parte dei fabbricati corrispondente, secondo le NTC2008, ad una vita nominale di 50 anni e classe d'uso 2.

In particolare crediamo sia utile calcolare le magnitudo attese e le distanze epicentrali come appena spiegato, in corrispondenza dei nodi della griglia sismica di riferimento che ricadono all'interno del territorio comunale di Livorno.



**Punto 1:**



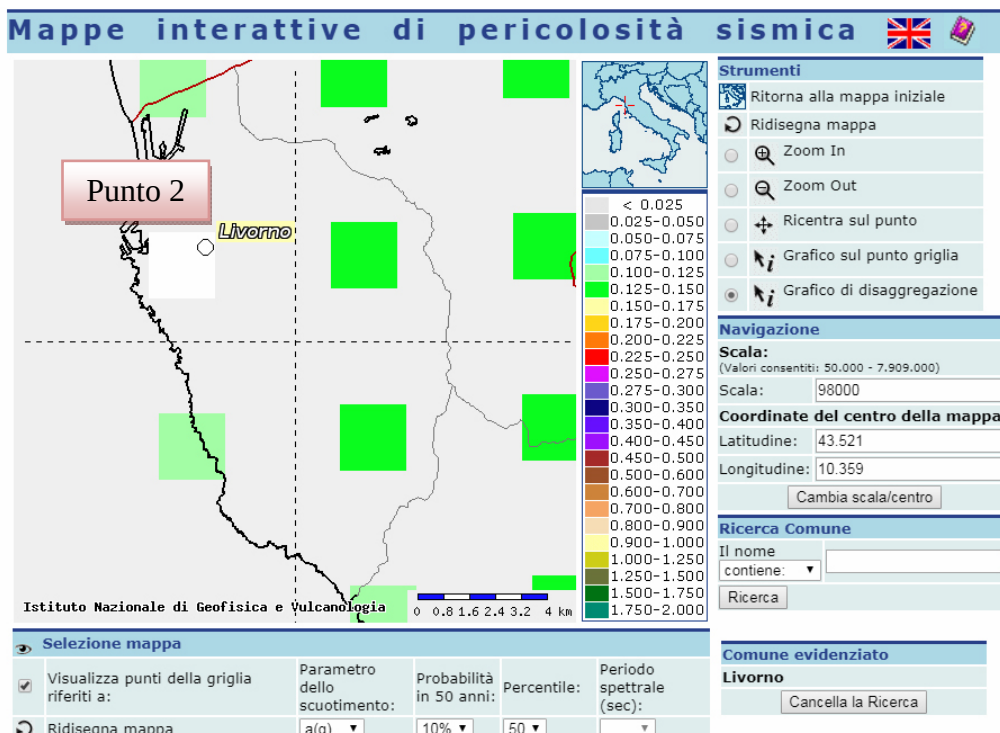
| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 43.4919, lon: 10.3196, ID: 21155) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | 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                                                                                                                                              | 22.500  | 28.200  | 8.800   | 1.970   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000                                                                                                                                              | 8.040   | 14.000  | 6.850   | 2.070   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000                                                                                                                                              | 0.773   | 2.370   | 1.860   | 0.677   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000                                                                                                                                              | 0.001   | 0.267   | 0.550   | 0.256   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.003   | 0.129   | 0.104   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.013   | 0.051   | 0.026   | 0.005   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.045   | 0.104   | 0.024   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.012   | 0.086   | 0.023   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 0.047   | 0.016   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.014   | 0.007   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 100-110        | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.003   | 0.004   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 110-120        | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 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   |

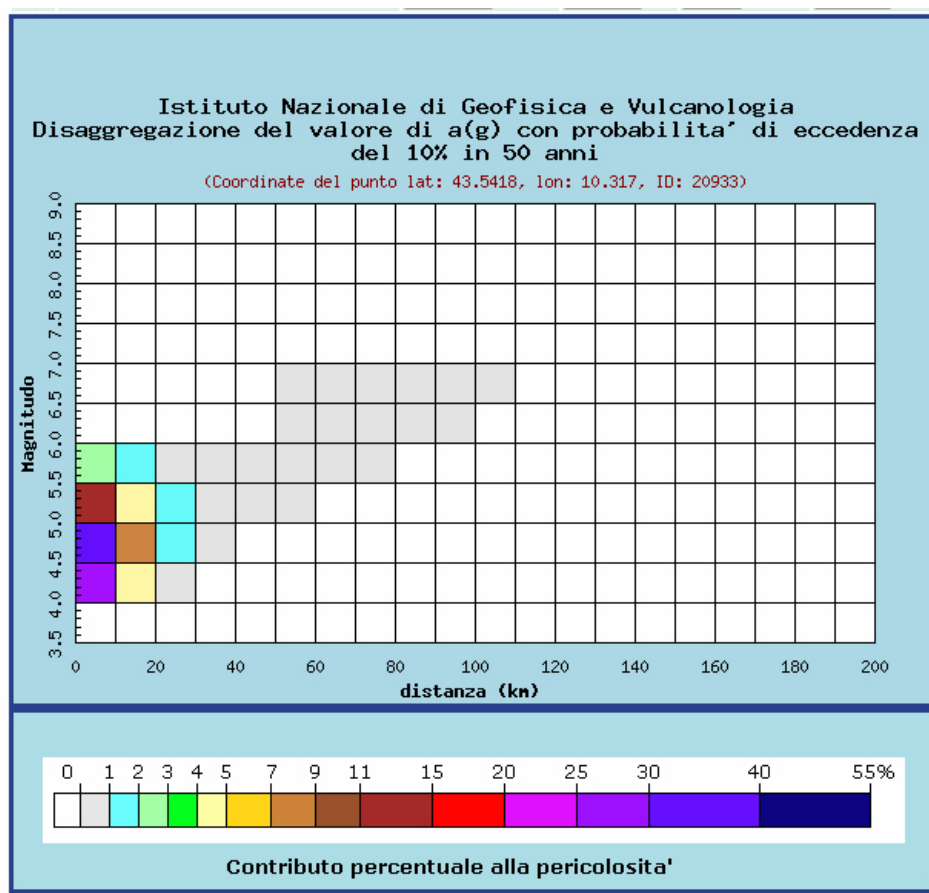
  

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.760       | 9.950    | 0.749   |

Magnitudo media 4,76 con distanza epicentrale di 9,95 km

## Punto 2:





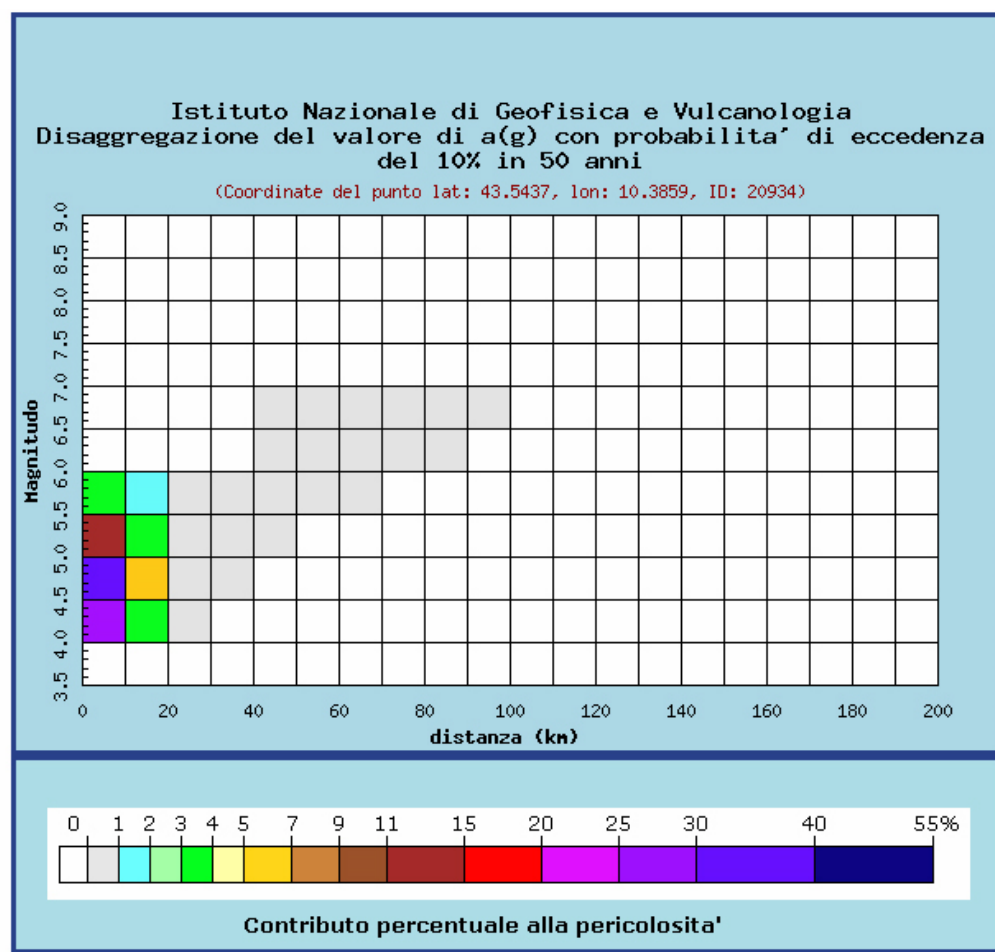
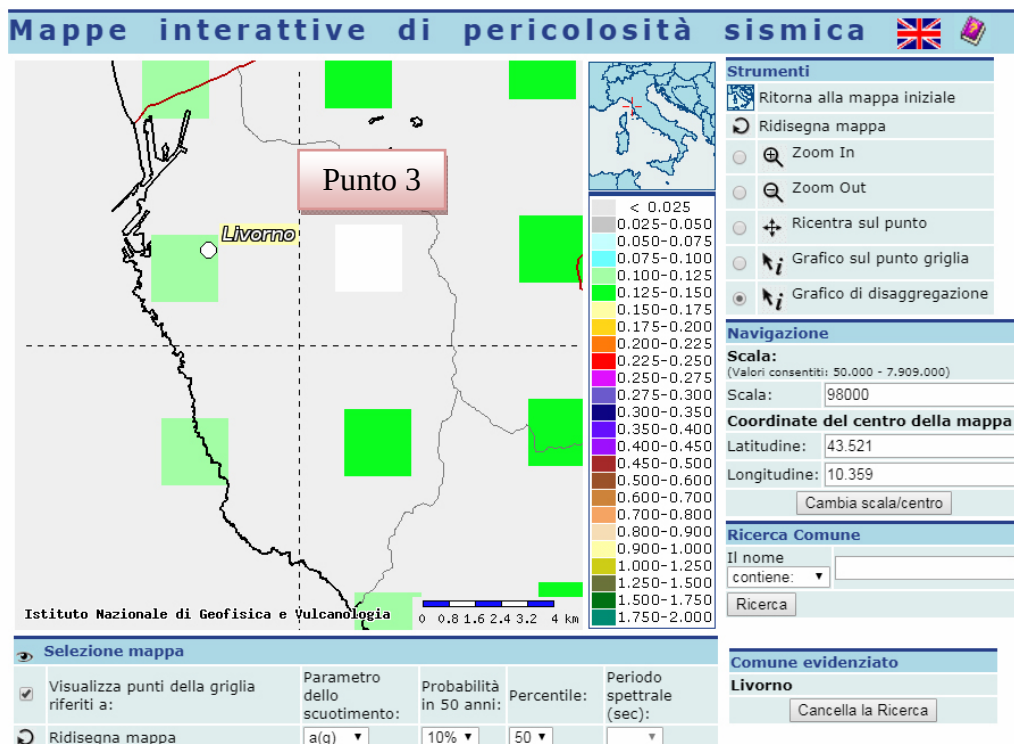
| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 43.5418, lon: 10.317, ID: 20933) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | 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                                                                                                                                             | 28.000  | 35.500  | 11.300  | 2.560   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000                                                                                                                                             | 4.570   | 8.560   | 4.560   | 1.310   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000                                                                                                                                             | 0.232   | 1.120   | 1.110   | 0.420   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.047   | 0.256   | 0.144   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.029   | 0.049   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.036   | 0.066   | 0.015   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.010   | 0.070   | 0.019   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.038   | 0.014   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.011   | 0.007   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000                                                                                                                                             | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.002   | 0.002   | 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   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.740       | 7.410    | 0.625   |

Magnitudo media 4,74 con distanza epicentrale di 7,41,1 km

**Punto 3:**



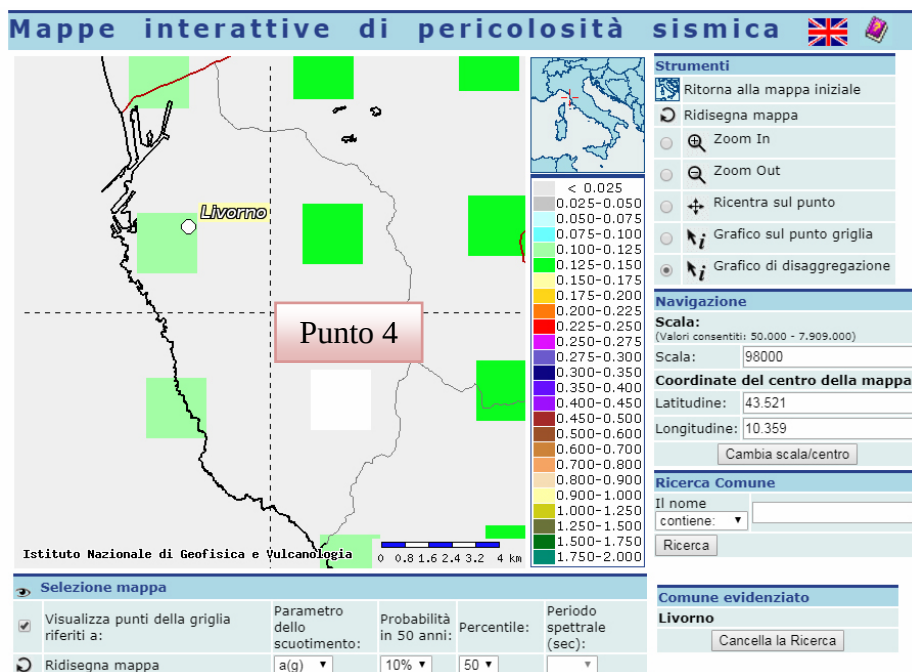
| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 43.5437, lon: 10.3859, ID: 20934) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | 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                                                                                                                                              | 28.800  | 38.200  | 13.000  | 3.130   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000                                                                                                                                              | 3.260   | 6.600   | 3.830   | 1.200   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000                                                                                                                                              | 0.050   | 0.518   | 0.696   | 0.294   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.004   | 0.108   | 0.085   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.004   | 0.022   | 0.001   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.010   | 0.043   | 0.011   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 0.032   | 0.011   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.011   | 0.007   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 0.002   | 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   |

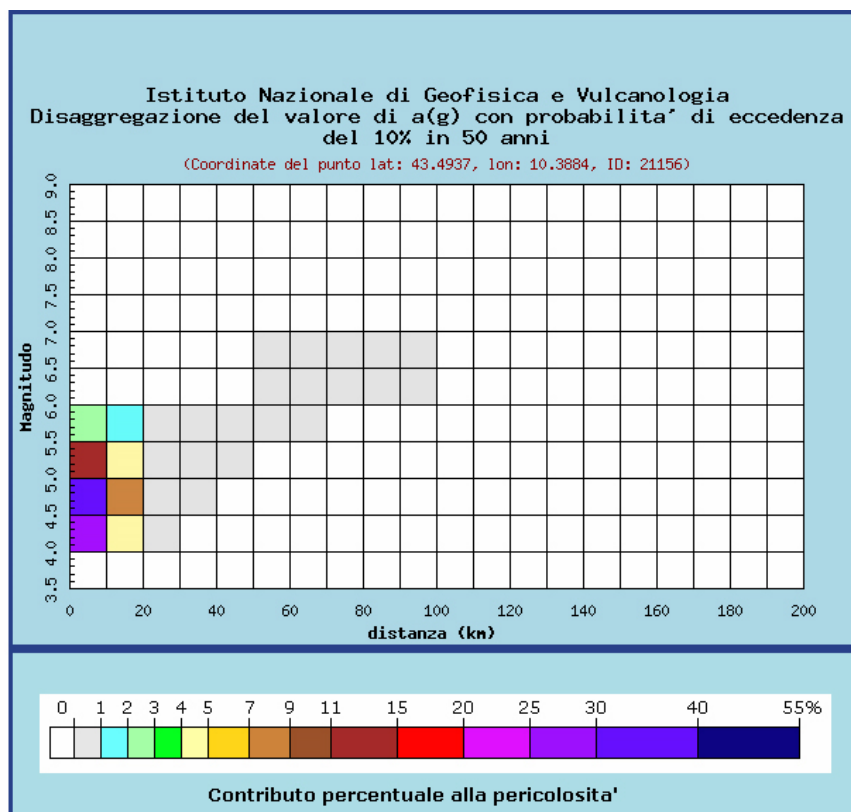
| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.750       | 6.610    | 0.715   |

Magnitudo media 4,75 con distanza epicentrale di 6,61 km

#### Punto 4:







| Distanza in km | Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto lat: 43.4937, lon: 10.3884, ID: 21156) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | 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                                                                                                                                              | 28.000  | 36.100  | 11.800  | 2.750   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 10-20          | 0.000                                                                                                                                              | 4.220   | 8.340   | 4.730   | 1.630   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 20-30          | 0.000                                                                                                                                              | 0.108   | 0.742   | 0.861   | 0.366   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 30-40          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.015   | 0.161   | 0.112   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 40-50          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.011   | 0.032   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 50-60          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.007   | 0.015   | 0.004   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 60-70          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.002   | 0.034   | 0.010   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 70-80          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.017   | 0.008   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 80-90          | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.004   | 0.004   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   |
| 90-100         | 0.000                                                                                                                                              | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.001   | 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   |

| Valori medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.750       | 6.970    | 0.674   |

Magnitudo media 4,75 con distanza epicentrale di 6,976 km

Si nota come la magnitudo attesa sia molto stabile su tutto il territorio comunale e compresa tra 4,74 e 4,76. Le distanze epicentrali attese si aggirano tra i 6 e i 15 km.

Questo dato, scaturito dall'elaborazione di innumerevoli serie storiche e registrazioni strumentali di eventi sismici, non indica la certezza che l'evento in questione sia l'unico possibile ma solo che sia il più probabile tra tutti gli eventuali sismi. Su basi sismologiche non è infatti impossibile che possano verificarsi eventi di magnitudo **Mw = 5.7**.

14

Quanto finora detto è del tutto confermato dagli eventi storici la cui magnitudo massima raramente supera il 5° grado.

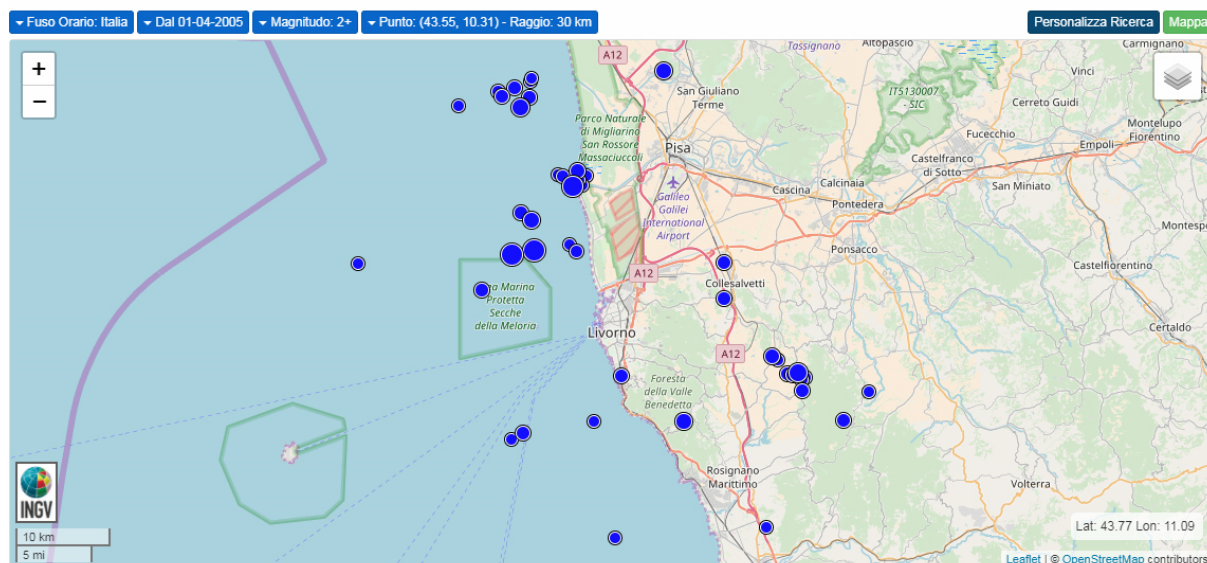
Tra i sei eventi più importanti ricordiamo:

- 4 maggio 1646 Magnitudo 4.80 Zona epicentrale Livorno
- 27 gennaio 1742 Magnitudo 5,20 Zona epicentrale Livorno
- 8 gennaio 1771 Magnitudo 4.60 Zona epicentrale Livorno
- 3 aprile 1814 Magnitudo 4.87 Zona epicentrale Livorno
- 14 agosto 1846 Magnitudo 5.60 Zona epicentrale Orciano Pisano
- 1 aprile 1950 Magnitudo 4.60 Zona epicentrale Rosignano Marittimo

Il terremoto che i livornesi ricorderanno di più è quello del 22 aprile 1984 che ebbe una Magnitudo di 4.02 con zona epicentrale a Livorno. Livorno è città di mare e quindi in occasione di alcuni eventi sismici sono state osservate anomalie del moto ondoso nel porto tali da fare supporre l'occorrenza di maremoti legati agli stessi eventi. La consultazione del catalogo dei maremoti italiani ha rilevato la presenza di n. 4 eventi che hanno interessato la regione toscana:

- 4 maggio 1646 nel porto di Livorno il livello del mare si alzò di circa 2 m. (più di 3 braccia) e a causa del successivo riflusso le navi attraccate toccarono il fondale con la chiglia;
- 19 gennaio 1742 furono rilevate oscillazioni anomale del mare nel Porto di Livorno e i marinai in mare notarono un innalzamento anomalo del livello marino e un'insolita tempesta;
- 24 settembre 1774 a Malaga e a Livorno fu osservato un ripetersi di riflussi a afflussi del mare, con estensione di due piedi di altezza, tre volte in un'ora;
- 14 agosto 1846 a Livorno il livello marino aumentò rapidamente di oltre una yarda. Alcuni velieri avvertirono un urto violento. Alcune navi con rotta verso il porto di Livorno subirono uno scarto improvviso. Al faro di Livorno l'acqua risalì vicino alla torre e lambì la banchina.

Qui di seguito riportiamo alcuni eventi storici ricavati dalla banca dati ISIDE dell'INGV tra quelli con magnitudo compresa tra 2 e 10 e 30 km di raggio da Livorno:



| Data e Ora (Italia) | Magnitudo | Zona                                                      | Profondità | Latitudine | Longitudine |
|---------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|------------|------------|-------------|
| 2017-07-07 16:46:15 | ML 2.6    | 3 km N Orciano Pisano (PI)                                | 10         | 43.52      | 10.52       |
| 2016-10-29 19:11:29 | ML 2.8    | 1 km NW Vecchiano (PI)                                    | 10         | 43.79      | 10.38       |
| 2015-12-01 05:02:45 | ML 2.2    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 9          | 43.62      | 10.27       |
| 2015-11-30 21:42:44 | ML 2.0    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 9          | 43.63      | 10.26       |
| 2015-03-09 09:20:06 | ML 2.7    | 8 km NW Rosignano Marittimo (LI)                          | 14         | 43.46      | 10.41       |
| 2014-03-23 22:10:18 | ML 2.0    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 2          | 43.76      | 10.12       |
| 2013-10-19 14:55:03 | ML 2.0    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 10         | 43.68      | 10.28       |
| 2013-10-19 14:32:28 | ML 2.0    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 10         | 43.69      | 10.28       |
| 2013-10-19 14:29:35 | Mw 3.5    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 11         | 43.68      | 10.26       |
| 2013-10-18 13:44:00 | ML 2.6    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 9          | 43.70      | 10.27       |
| 2013-08-09 16:08:55 | ML 2.0    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 11         | 43.61      | 9.99        |
| 2013-07-04 05:20:53 | ML 2.1    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 10         | 43.78      | 10.21       |
| 2012-10-13 16:59:35 | ML 2.0    | Costa Toscana livornese (Livorno)                         | 6          | 43.44      | 10.18       |
| 2011-10-25 07:38:02 | ML 2.1    | 5 km N Cecina (LI)                                        | 11         | 43.36      | 10.52       |
| 2011-01-19 20:39:20 | ML 2.1    | E Chianni (PI)                                            | 8          | 43.49      | 10.65       |
| 2011-01-19 20:36:54 | ML 2.5    | 4 km SW Chianni (PI)                                      | 4          | 43.46      | 10.62       |
| 2010-01-14 17:29:35 | ML 2.1    | 3 km NE Orciano Pisano (PI)                               | 9          | 43.52      | 10.53       |
| 2009-06-09 12:37:59 | ML 3.3    | 4 km N Santa Luce (PI)                                    | 9          | 43.51      | 10.56       |
| 2009-06-08 10:33:43 | ML 2.2    | 3 km N Santa Luce (PI)                                    | 8          | 43.50      | 10.57       |
| 2009-06-08 07:11:01 | ML 2.4    | 3 km E Orciano Pisano (PI)                                | 10         | 43.50      | 10.55       |
| 2009-06-07 04:48:34 | ML 2.4    | 3 km E Orciano Pisano (PI)                                | 8          | 43.51      | 10.54       |
| 2009-05-12 22:19:28 | ML 2.2    | 3 km N Santa Luce (PI)                                    | 9          | 43.50      | 10.56       |
| 2009-05-12 21:56:55 | ML 2.5    | 2 km N Santa Luce (PI)                                    | 8          | 43.49      | 10.56       |
| 2009-01-02 00:57:55 | ML 2.4    | Costa Toscana livornese (Livorno)                         | 8          | 43.45      | 10.20       |
| 2007-11-30 19:26:03 | ML 2.2    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 6          | 43.69      | 10.25       |
| 2007-11-30 19:22:04 | ML 2.0    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 5          | 43.69      | 10.25       |
| 2007-11-30 19:07:45 | ML 2.1    | Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa) | 10         | 43.69      | 10.27       |
| 2007-09-05 16:00:35 | ML 2.3    | Costa Toscana livornese (Livorno)                         | 8          | 43.58      | 10.15       |
| 2007-08-27 17:15:12 | ML 2.4    | 6 km S Livorno (LI)                                       | 15         | 43.50      | 10.33       |
| 2007-06-06 16:54:49 | ML 2.3    | 2 km SW Collesalveti (LI)                                 | 10         | 43.58      | 10.46       |

### 3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

L'area analizzata del Comune di Livorno si estende lungo costa per circa 12 km e nel punto di maggiore larghezza per 6 km verso la terraferma. Sono state inoltre analizzate 2 aree separate che sono Quercianella e l'isola di Gorgona.

Si nota un generale affioramento del substrato geologico laddove la morfologia tende ad essere più prettamente collinare e si distacca dalla piana alluvionale propria dell'insediamento di Livorno. Tale substrato tuttavia, tranne che nella zona di Antignano, non viene quasi mai ritrovato sotto le coperture recenti della piana, fatto che sta a significare un notevole approfondimento in questa zona. Tale approfondimento non è escluso che sia dovuto ad un sistema di faglie dirette orientate NNE-SSW che ribassano la porzione di territorio più prospiciente al mare.

In particolare i terreni costituenti il substrato geologico sono i seguenti:

#### **DOMINIO LIGURE**

- Formazione delle Argille e Palombini (APA) (Cretacico Inf.)
- Basalti con strutture a pillow lava (BRG) (Giurassico Sup.)
- Gabbri con filoni basici (GBB) (Giurassico Sup.)
- Flysch di Ottone Monteverdi (OMT) (Cretacico Sup. – Paleocene Inf.)
- Argilliti e Calcari di Poggio Rocchino (RCH) (Albiano – Campaniano)
- Formazione di Monte Morello (MLL) (Paleocene Sup. – Eocene Medio)
- Formazione di Sillano – Santa Fiora (SIL) (Cretacico Sup. – Paleocene)
- Breccie ofiolitiche monogeniche e poligeniche (BROe) (Giurassico Sup.)

#### **DOMINIO SUBLIGURE**

- Argille e Calcari di Canetolo (ACC) (Paleocene – Eocene)

#### **DOMINIO TOSCANO**

- Diaspri (DSD) (Malm p.p.)

#### **UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE**

- Metabasalti con strutture a pillow (GBA) (Giurassico)
- Serpentiniti (SIG) (Giurassico)
- Calcescisti di Punta Gorgona (CPG) (Cretacico ?)
- Marmi grigi di Punta Gorgona (CPGa) (Cretacico ?)
- Metareniti di colore marrone chiaro di Punta Gorgona (CPGb) (Cretacico ?)
- Metareniti di Cala Pancia (MPC) (Cretacico ?)

Queste formazioni, di cui non riportiamo la descrizione generale e che chiaramente può essere trovata in elaborati geologici specifici e di dettaglio, saranno poi raggruppate nella Carta Geologico-Tecnica a seconda delle loro peculiarità come substrato.

Sopra a tali litotipi si ritrovano altre formazioni di copertura generalmente costituite da materiali terrigeni sciolti a varia granulometria. La sedimentazioni di questi terreni, in spessori molto variabili, ha parzialmente o totalmente obliterato l'affioramento del substrato che viene rilevato solo nelle zone sopra citate.

Tra i terreni di copertura riconosciamo:

#### **DEPOSITI QUATERNARI**

- Detriti di falda (a3a) (Olocene)
- Depositi di versante (aa) (Olocene)
- Depositi alluvionali attuali (b) (Olocene)
- Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna) (Olocene)
- Depositi eluvio-colluviali (b2a) (Olocene)
- Depositi di spiaggia (g2a) (Olocene)
- Depositi alluvionali terrazzati (bnb) (Pleistocene)
- Depositi eoloci (db) (Pleistocene)
- Depositi di spiaggia (g2b) (Pleistocene)

#### **DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILAFRANCHIANI**

- Sabbie e conglomerati (VILe) (Rusciniano-Villafranchiano)
- Calcari (VILd) (Rusciniano-Villafranchiano)
- Conglomerati e ciottolami poligenici (VILa) (Rusciniano-Villafranchiano)

#### **DEPOSITI MARINI PLIOCENICI**

- Argille Azzurre (FAA) (Pliocene)
- Sabbie risedimentate (FAAe) (Pliocene)

#### **DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI MESSINIANI**

- Argille e argille marnoso-sabbiose con livelli e lenti di gessi (EMO) (Messiniano Sup.)
- Livelli e lenti di gessi (EMOg) (Messiniano Sup.)

#### **DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI MESSINIANI**

- Calcari e calciruditi (ROsb) (Messiniano Inf.)
- Conglomerati (ROSa) (Messiniano Inf.)
- Argille e argille sabbiose grigie (RAQ) (Messiniano Inf.)
- Lenti di gessi (RAQg) (Messiniano Inf.)



**DEPOSITI LACUSTRI DEL TUROLIANO**

- Conglomerati e paraconglomerati eterometrici moderatamente elaborati con ciottoli e matrice arrossati (SLEc) (Turoliano)

Nella cartografia vengono riportati vari tipi di lineazioni dovuti alla tettonica dei quali tuttavia nessuno è stato additato essere attivo e capace.

Dal punto di vista geomorfologico l'area in studio ha altezze comprese tra gli 0 m s.l.m. della costa fino ai quasi 250 - 300 m s.l.m. delle zone più alte.

L'area studiata è per buona parte pianeggiante ad esclusione dell'Isola di Gorgona dove la morfologia è più prettamente collinare.

L'andamento generale dei corsi d'acqua principali è generalmente est-ovest; essi producono forme in linea con il paesaggio toscano tranne in alcuni casi dove si notano incisioni molto marcate dovute alla litologia lapidea dei versanti.

Nelle zone di contatto tra la piana alluvionale e i versanti si generano talvolta fenomeni gravitativi di varia genesi e diverso grado di attività. Non è raro, specialmente nella parte sud dell'area in studio, il ritrovamento di fenomeni di tipo misto per lo più quiescenti.

**4. Dati geotecnici e geofisici**

Per lo studio di Microzonazione Sismica di livello 2 sono indispensabili la raccolta, l'archiviazione organizzata dei dati pregressi e la realizzazione di nuove specifiche indagini. Nel caso specifico il Comune di Livorno era stato già parzialmente indagato dal punto di vista sismico nell'ambito di studi eseguiti ad-hoc precedenti a questo lavoro; queste indagini, insieme a quelle forniteci dal Dott. Luca Mazzei nell'ambito della raccolta eseguita per il nuovo Piano Strutturale, costituiscono un'ottima base di partenza ma non sufficienti per effettuare il lavoro, in quanto non consentono una copertura unitaria di tutta l'area dal punto di vista sismico.

In particolare tra la raccolta pregressa di indagini e quelle nuove siamo riusciti a catalogare tramite il software MSoft4.0.1:

- 361 stratigrafie di pozzi;
- 15 sondaggi attrezzati a Down – Hole;
- 190 sondaggi a carotaggio continuo;
- 54 sondaggi attrezzati con piezometro;
- 81 prove penetrometriche statiche (CPT);
- 10 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu)

- 53 prove penetrometriche dinamiche (leggere e pesanti);
- 110 prove HVSR;
- 44 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e/o SH;
- 6 prove ESAC;
- 49 prove MASW;
- 4 pozzetti esplorativi.

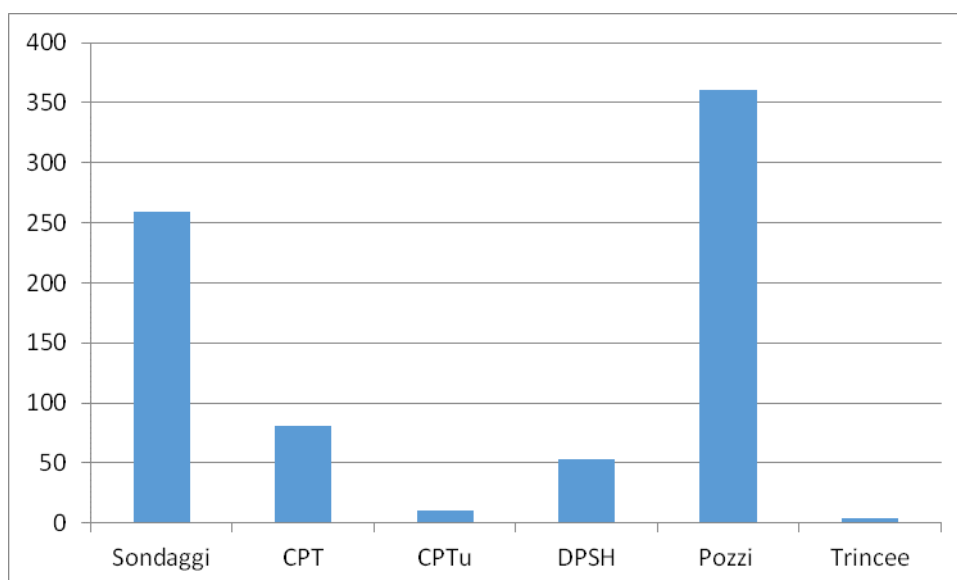
Questi canali di ricerca e implementazione hanno consentito l'acquisizione di una notevole quantità di indagini, in particolare i pozzi e i sondaggi hanno dato un ottimo riscontro dal punto di vista della ricostruzione del sottosuolo, raggiungendo in qualche caso il substrato geologico.

Sono state raccolte nel complesso 977 indagini distribuite più o meno omogeneamente nel territorio comunale, ma concentrate prevalentemente nei centri abitati.

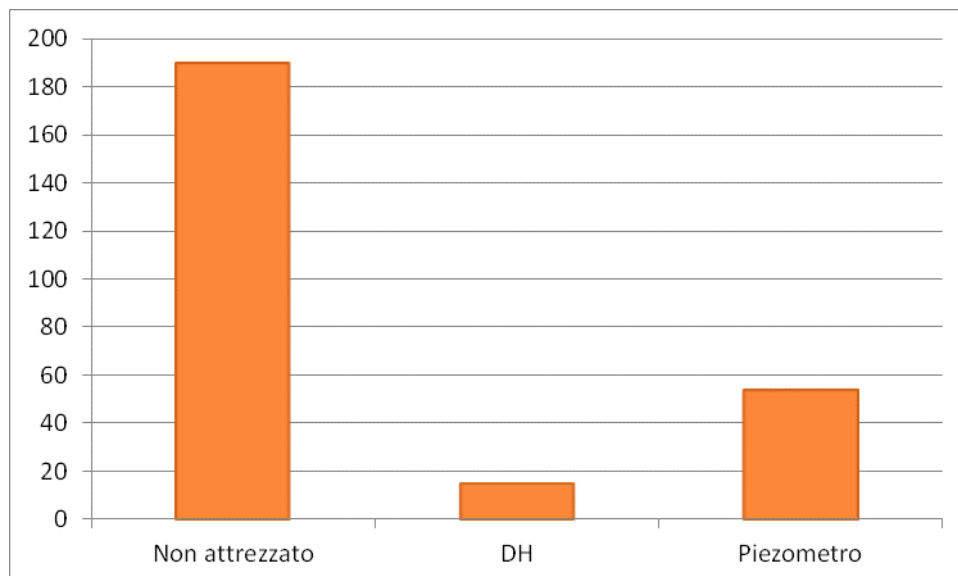
In funzione della categoria di indagine sono state raccolte 753 indagini geotecniche e 224 indagini geofisiche, per ognuna delle due categorie nei grafici che seguono si possono vedere le varie tipologie di indagine.

Prove geotecniche:

| Prove geotecniche |     |      |      |       |         |
|-------------------|-----|------|------|-------|---------|
| Sondaggi          | CPT | CPTu | DPSH | Pozzi | Trincee |
| 259               | 81  | 10   | 53   | 361   | 4       |



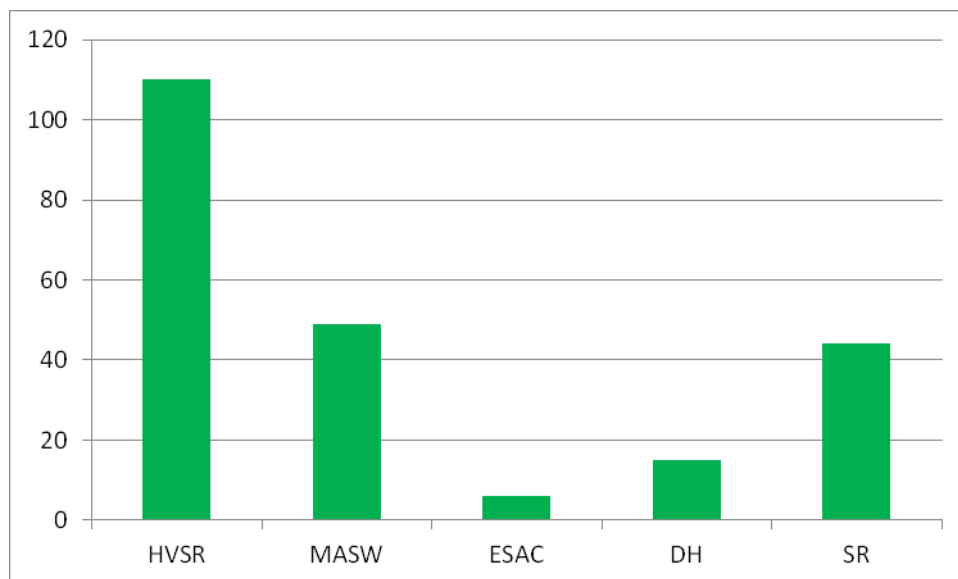
| Differenziazione sondaggi |    |            |
|---------------------------|----|------------|
| Non attrezzato            | DH | Piezometro |
| 190                       | 15 | 54         |



Per quanto riguarda le indagini geotecniche possiamo vedere che la tipologia di indagini che più di frequentemente è stata effettuata nel territorio comunale è il pozzo seguito dal sondaggio a carotaggio continuo e dalle prove penetrometriche di tipo statico e dinamico. I pozzi sono in gran numero e sebbene non forniscano indicazioni geotecniche quantitative, permettono una ricostruzione a tratti dettagliata della stratigrafia in profondità.

Prove geofisiche:

| Prove geofisiche |      |      |    |    |
|------------------|------|------|----|----|
| HVSR             | MASW | ESAC | DH | SR |
| 110              | 49   | 6    | 15 | 44 |



Il grafico relativo alle indagini geofisiche mostra che le prove maggiormente presenti sul territorio sono le HVSR che sono state effettuate per il progetto di Microzonazione. A seguire le indagini sismiche a rifrazione e i MASW.

Tutti i dati di base sono stati informatizzati (tabelle, shapefile), in ottemperanza agli “standard di archiviazione informatica versione 4.01” nel database denominato “CdI\_Tabelle\_049009”.

## 5. Modello del sottosuolo

Il modello del sottosuolo è stato ricostruito attraverso lo studio e la comprensione dei dati di base presenti negli archivi comunali e fornitici dal Dott. Geol. Luca Mazzei, nonché dalle indagini eseguite ad-hoc per conseguire i fini del presente studio.

L’area più interessante dal punto di vista stratigrafico si è dimostrata senza dubbio la zona di raccordo tra la piana e il versante dove in breve spazio, partendo dal versante, non c’è più ritrovamento del substrato geologico se non a discrete profondità e quindi in molti casi anche di quello sismico. Le cause di questo approfondimento, secondo il presente studio, sono imputabili principalmente ad una alterazione e rarefazione superficiale del substrato che in taluni casi presenta spessori anche notevoli. Congiuntamente il repentino approfondimento del substrato sismico può anche essere dovuto ad un sistema di faglie dirette come succede in tutti i bacini neoautoctoni toscani ma che tuttavia non possiamo confermare senza dati di maggior approfondimento.

### **5.1 Piana di Livorno**

La piana di Livorno è quasi esclusivamente costituita da terreni appartenenti ad alluvioni Oloceniche e Pleistoceniche i cui depositi possono essere terrazzati e non. La granulometria di questi sedimenti è generalmente fine anche se si notano zone a matrice decisamente più grossolana specialmente a ridosso dei versanti.

22

Sporadicamente è possibile rilevare il substrato Pliocenico che affiora sotto forma di argille e argille azzurre. E' proprio questa formazione geologica che nella maggior parte dei casi, fa da letto ai terreni alluvionali sopra citati.

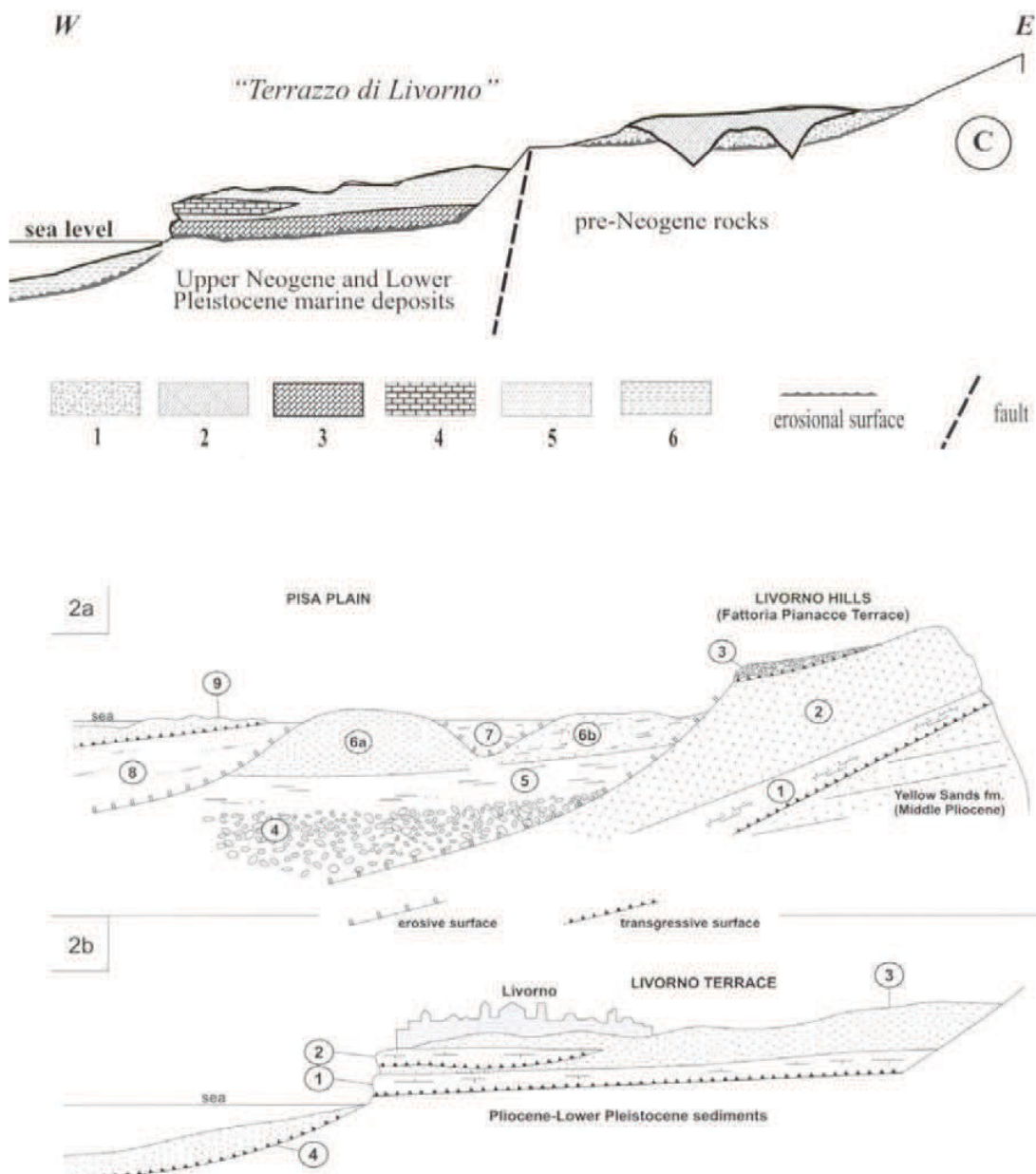
Non di rado, tra i terreni alluvionali sommitali e le sottostanti argille, viene ritrovata la così detta "panchina" che altro non è che una calcarenite di colore giallastro costituita da sabbia medio-grossolana e cementazione calcarea; piuttosto leggera e di facile lavorabilità, presenta un aspetto ruvido e molto poroso e contiene fossili marini spesso visibili ad occhio nudo.

In ambiente antropizzato è inoltre facile ritrovare resti antropici di notevole spessore dovuti ai vari eventi bellici che hanno interessato la città.

Di seguito riportiamo uno schema abbastanza chiaro di quanto fin qui espresso.



**Fig. 2:** I Terrazzi morfologici di Livorno ed i rapporti con la Piana di Pisa  
Fonte bibliografica: Pubblicazione su Memorie della Società Paleontologica Italiana, 1994



**SCHEMA 2a**

1 – Sands and Clays, 2 – Nugola Vecchia Sands, 3 – Fattoria delle Pianacce continental deposits, 4 – Arno and Serchio gravels, 5 – Fluvial and marshy silts, 6a – Aeolian sand of Coltano, 6b – Sands and Muds of Vicarello, 7 – Holocene fluvial sediments, 8 – Holocene silts, clays and peat, 9 – Sediments of the Versilian trasgression

**SCHEMA 2b**

1 – Calcarenitic layer "Panchina I", 2 - Calcarenitic layer "Panchina II", 3 – Ardenza sands and Rio Maggiore Conglomerates, 4 – Sediments of tha Versilian trasgression

## 5.2 Quercianella

Nell'area di Quercianella abbiamo l'affioramento per grandi tratti dei vari tipi di substrato:

### DOMINIO LIGURE

- Formazione di Monte Morello (MLL) (Paleocene Sup. – Eocene Medio)
- Argilliti e Calcari di Poggio Rocchino (RCH) (Albiano – Campaniano)
- Flysch di Ottone Monteverdi (OMT) (Cretacico Sup. – Paleocene Inf.)
- Formazione di Sillano – Santa Fiora (SIL) (Cretacico Sup. – Paleocene)

Sono tutte formazioni appartenenti al Dominio Ligure impilatesi l'una sull'altra per mezzo delle spinte tettoniche orogenetiche.

Questi litotipi rappresentano tutti in prospettiva geologico-tecnica, il substrato sismico, avendo già dalla superficie velocità delle onde S molto elevate.

Impilatesi sotto la spinta delle forze orogenetiche nella maggior parte dei casi non si riconosce una giacitura definita e le formazioni tendono ad avere un aspetto abbastanza caotico.

La tettonica è comandata anche da sistemi di faglie dirette che abbassano i sedimenti più giovani facendoli coesistere alla medesima quota insieme a quelli più vecchi.

In quest'area tuttavia sono presenti anche lembi di copertura quaternaria, Rusciniense e Pliocenica che sovrastano il substrato geologico.

## 5.3 Isola di Gorgona

L'origine geologica dell'Isola di Gorgona si deve attribuire ad un fenomeno di sommersione avvenuto presumibilmente nel Quaternario. A differenza di Giglio e Giannutri, nel Paleolitico la Gorgona, come anche l'Elba, la Capraia, Montecristo e Pianosa, non aveva una conformazione insulare. Essa formava infatti insieme a queste ultime una vera e propria penisola protesa verso la Sardegna e la Corsica loro volta unite (G. Racheli). Le formazioni più antiche sono particolarmente evidenti presso la cala dei Giunchi in posizione S.O.

Si tratta di rocce di aspetto gneissico, calcarifero. Dalla stratificazione dello gneiss si passa, in senso ascendente, ad una struttura di calcescisti e calcari cristallini e micascisti e micascisti tormaliniferi che insieme costituiscono la formazione predominante dell'intera isola. Procedendo ancora verso l'alto si trova la zona delle "rocce verdi" costituite da prasinite cloritica, prasinite anfibolica, serpentine, serpentinoscisti, talcscisti e quindi rocce metamorfiche provenienti da eufotidi e da diabasi (Manasse ). Una peculiare caratteristica delle rocce di G. consiste nel fatto che esse non contengono resti fossili e pertanto non è possibile esprimere un giudizio attendibile sulla loro età. Sempre Manasse effettuò un'analisi chimica delle diverse conformazioni stratigrafiche a partire dallo gneiss fino alle rocce provenienti da diabasi. Recenti studi (Capponi e altri) esprimono orientamenti di altro tipo. Innanzi tutto l'isola è stata suddivisa in due unità litostratigrafiche in contatto tettonico: quella Metasedimentaria (metareniti e calcescisti) e quella Ofiolitica (serpentiniti, metavulcaniti e metagabbri). Mentre la prima mostrerebbe strette analogie con gli "Schistes Lustrés" delle Alpi Occidentali e della Corsica, la seconda avrebbe forti convergenze litologiche e metamorfiche con le unità oceaniche in scisti blu. L'associazione tettonica tra le due unità in sostanza mostrerebbe una certa correlabilità con alcuni settori ed eventi della catena alpina. Queste rocce di superficie, per la loro natura di scarsa compattezza, sottoposte come sono alla continua azione di abrasione da parte dei venti e delle piogge, si sfaldano e si polverizzano con estrema facilità creando gli inconvenienti già riportati. La scarsa consistenza del suolo che ne deriva è comunque tale da consentire il facile attecchimento e la radicazione della vegetazione che è in gran parte costituita da macchia mediterranea. Interessanti studi di mineralogia sono stati effettuati da G. Bracci ed altri autori. (A. Specchia)

## **6. Elaborati cartografici**

### **6.1 Carta delle indagini**

La carta delle indagini è stata realizzata mediante tecnologia GIS, riportando su base topografica tutte le prove presenti nel database organizzato come esposto nel Capitolo 4. Sono stati distinti graficamente gli elementi puntuali e lineari e ad ogni prova è stato assegnato un simbolismo funzione della tipologia d'indagine in ottemperanza agli standard di rappresentazione e archiviazione informativa per la Microzonazione Sismica Versione 4.01.

Tutta la cartografia è stata redatta in scala 1:10.000; per una migliore leggibilità e chiarezza, le aree studiate sono state divise geograficamente e raggruppate in tre tavole.

Analizzando la distribuzione areale delle prove si evidenzia una maggior densità nel Capoluogo e nelle frazioni vicine tipo Antignano e Montenero. Per quanto riguarda le altre frazioni, presentano una discreta densità di indagini la frazione di Quercianella e Valle Benedetta, mentre l'Isola di Gorgona, anche in funzione della minore espansione residenziale, risulta meno coperta da indagini di qualsiasi tipologia.

## 6.2 Carta delle frequenze fondamentali dei depositi

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontale e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V).

L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. La campagna di misure passive del rumore sismico ambientale ha avuto come obiettivo quello di individuare possibili fenomeni di risonanza sismica e misurare la corrispondente frequenza di vibrazione. Queste misure forniscono indicazioni sul rapporto fra la velocità media delle onde S nella copertura e la profondità del basamento sismico al di sotto del punto di osservazione.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza  $f_0$  di una copertura sedimentaria di spessore  $H$  sovrapposta ad un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento  $V_s$  e 4 volte lo spessore  $H$ :

$$f_o = \frac{V_s}{4H}$$

Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio, o viceversa a quest'ultima se lo spessore  $H$  è noto. La misura della funzione H/V richiede l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per tempi dell'ordine di diverse decine di minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio. La misura va effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tridimensionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I dati raccolti vengono analizzati per determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sui piani orizzontale e verticale. A questo scopo, la serie di rumore ambientale viene suddivisa in segmenti di durata simile per ciascuna delle quali viene determinato lo spettro del moto.

Dopo un opportuno lisciamento, le ordinate spettrali del moto sul piano orizzontale, ottenuto mediando opportunamente i valori ottenuti nelle due direzioni principali, vengono divise per quelle ottenute nella direzione verticale. Per definire la qualità delle misure vengono anche valutate le variazioni temporali e azimutali dei rapporti spettrali nel corso della sessione di misura. L'assenza di massimi della funzione H/V suggerisce l'assenza di fenomeni di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza. Per maggiori dettagli riguardo i dati di acquisizione ed elaborazione delle indagini effettuate per lo studio in oggetto si rimanda alle relazioni tecniche allegate alla presente relazione. In tutto il territorio comunale di Livorno sono state utilizzate 115 misure di rumore divise in classi così come riportato nell'abaco "Toscana Costiera" proposto dalla Regione Toscana in riferimento all'individuazione dei valori di amplificazione.

Gli elaborati (Carta delle frequenze fondamentali dei depositi) sono costituiti da una semplice base topografica su cui sono state riportate le misure di rumore colorate in funzione della frequenza di risonanza riscontrata. Inoltre sono state riportate due etichette con indicati i valori di frequenza e rapporto HV di ogni singola misura.

I range di valori usati sono:

- $f_0 < 1 \text{ Hz}$  ;
- $1 \text{ Hz} \leq f_0 < 2 \text{ Hz}$ ;
- $2 \text{ Hz} \leq f_0 < 3 \text{ Hz}$ ;
- $3 \text{ Hz} \leq f_0 < 4 \text{ Hz}$ ;
- $4 \text{ Hz} \leq f_0 < 5 \text{ Hz}$ ;
- $5 \text{ Hz} \leq f_0 < 6 \text{ Hz}$ ;
- $6 \text{ Hz} \leq f_0 < 7 \text{ Hz}$ ;
- $7 \text{ Hz} \leq f_0 < 8 \text{ Hz}$ ;
- $f_0 \geq 8 \text{ Hz}$  ;

Si riportano di seguito brevi descrizioni delle aree investigate con i valori della funzione H/V ottenuti.

### 6.3 Carta geologico-tecnica

La descrizione della carta geologico-tecnica è stata adeguata al nuovo standard di rappresentazione e archiviazione. Le carte geologico tecniche sono state redatte per ogni area investigata e rappresentano, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.01 – 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). 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:

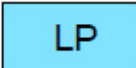
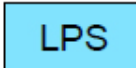
| Terreni di copertura                                                                |    |                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------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



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

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| <b>Ambiente vulcanico</b>                         |    |
| Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici | la |
| Coni scorie/ceneri                                | sc |
| Coltri ignimbritiche                              | ig |
| Lahar (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 |
| Varve                                             | va |
| Lacustre                                          | lc |
| Palustre                                          | pa |
| Piana inondabile                                  | pi |
| <b>Ambiente carsico</b>                           |    |
| Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole   | do |
| Forme costruite presso sorgenti                   | so |
| Forme costruite in canyon carsici                 | cy |
| Croste calcaree                                   | cc |
| <b>Ambiente glaciale</b>                          |    |
| Morena                                            | mr |
| Deposito fluvio glaciale                          | fg |
| Deposito lacustre glaciale                        | fl |
| Till                                              | ti |
| <b>Ambiente eolico</b>                            |    |
| Duna eolica                                       | de |
| Loess                                             | ls |
| <b>Ambiente costiero</b>                          |    |
| Spiaggia                                          | sp |
| Duna costiera                                     | dc |
| Cordone litoraneo                                 | cl |
| Terrazzo marino                                   | tm |
| Palude/laguna/stagno/lago costiero                | pl |
| <b>Altro ambiente</b>                             | zz |

Le unità del substrato rigido o non rigido 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    | Lapideo                                                      |
|    | GR    | Granulare cementato                                          |
|    | CO    | Coesivo sovraconsolidato                                     |
|    | AL    | Alternanza di litotipi                                       |
|    | LPS   | Lapideo, stratificato                                        |
|   | GRS   | Granulare cementato, stratificato                            |
|  | COS   | Coesivo sovraconsolidato, stratificato                       |
|  | ALS   | Alternanza di litotipi, stratificato                         |
|  | SFLP  | Lapideo fratturato / alterato                                |
|  | SFGR  | Granulare cementato fratturato / alterato                    |
|  | SFCO  | Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato               |
|  | SFAL  | Alternanza di litotipi fratturato / alterato                 |
|  | SFLPS | Lapideo, stratificato fratturato / alterato                  |
|  | SFGRS | Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato      |
|  | SFCOS | Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato |
|  | SFALS | Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato   |

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

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 e in particolare per quest'area le cartografie proposte in seguito all'alluvione del settembre 2017 da parte dell'Autorità di Bacino. Infine vengono presentate le forme morfologiche di superficie e sepolte. Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie "unità geologico-tecniche" individuate con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

#### Terreni di copertura

- Unità geologico-tecnica RI: corrisponde ai terreni di riporto contenenti resti di attività antropica (h1, h3 e h5).
- Unità geologico-tecnica GC ec: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie di eluvi e colluvi (a3a e aa) .
- Unità geologico-tecnica GC zz: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie di ambiente deposizionale non riconducibile a una di quelli catalogati sopra (VILe).
- Unità geologico-tecnica GC pi: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie di ambiente deposizionale di piana inondabile (b).
- Unità geologico-tecnica GP cd: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di conoide detritica (g3b).
- Unità geologico-tecnica GP zz: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia di ambiente deposizionale non riconducibile a una di quelli catalogati sopra (VILd, ROSb, ROSa, SLEc e VILa).
- Unità geologico-tecnica SW de: si tratta di terreni costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di duna eolica (db).
- Unità geologico-tecnica SW sp: si tratta di terreni costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di spiaggia (g2a e g2b).

- Unità geologico-tecnica SM pi: si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di piana inondabile (b2a, bna e bnb).
- Unità geologico-tecnica SM zz: si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico deposizionale non riconducibile a uno di quelli catalogati sopra (FAAe).
- Unità geologico-tecnica ML zz: si tratta di terreni costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di ambiente genetico deposizionale non riconducibile a uno di quelli catalogati sopra (RAQ, RAQg, EMO, EMOr e EMOG).
- Unità geologico-tecnica CL zz: si tratta di terreni costituiti da argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico deposizionale non riconducibile a uno di quelli catalogati sopra (FAA).

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nelle cartografia secondo quanto previsto alla figura 1.1.2-5 delle norme ICMS (versione 4.01 dell'ottobre 2017), evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

#### Substrato geologico rigido o non rigido

- Unità geologico-tecnica ALS: corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni costituite da un'alternanza di litotipi (CPG, ACC, OMT, SIL, APA e RCH).
- Unità geologico-tecnica LP: corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni rigide, lapidee, non stratificate. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alle formazioni GBA, CPGa, SIG, GBB, BRG, BROe.
- Unità geologico-tecnica LPS: corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni rigide, lapidee, stratificate. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alle formazioni MPC, CPGb, MLL e DSD).

## **6.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)**

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica costituisce il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc...).

Le informazioni utilizzate, oltre alla cartografia di base disponibile sono:

- carta delle indagini, precedentemente prodotta per questo livello;
- carte geologiche e geomorfologiche del Piano Strutturale;
- logs litostratigrafici dedotti da dati di sondaggi, pozzi;
- sezioni geologiche;
- carte di dissesto idrogeologico.

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- a) zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura;
- b) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, con effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- c) zone di attenzione per le instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio. I principali tipi di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali.

In questo caso specifico sono state individuate 40 microzone omogenee più 4 microzone stabili che non vanno a concorrere alle zone suscettibili di instabilità:

#### **6.4.01 Zone stabili**

Le zone stabili sono quelle di affioramento del substrato geologico dove non si abbiano notizie di coperture maggiori di 3 metri e/o di amplificazioni dovute a differenze marcate di impedenza acustica tra la copertura alterata e il substrato integro.

Abbiamo individuato tre tipi di zone stabili e cioè con affioramento del substrato lapideo, del substrato lapideo stratificato, o con affioramento del substrato dato da un'alternanza di litotipi.

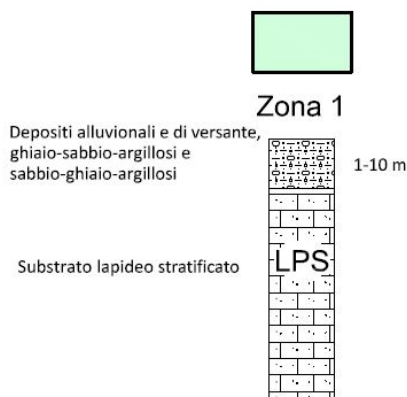
Queste zone equivalgono alle LP, LPS e ALS così come definite nella descrizione della carta geologico-tecnica.

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

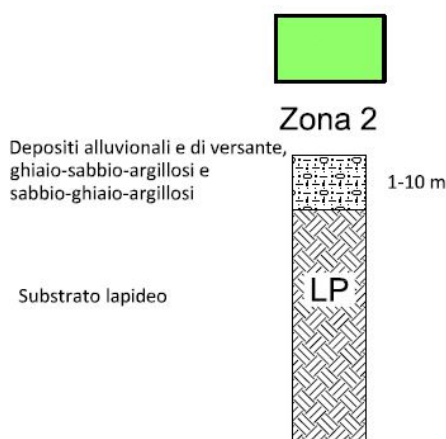
Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state numerate partendo dalla 1 denominata 2001 così come prevede la normativa.

La descrizione delle zone dalla numero 1 alla numero 52 è stata possibile attraverso la conoscenza dell'area e dopo l'attento studio di tutte le indagini a nostra disposizione. E' stata inoltre inserita la zona 2099 che si riferisce al substrato alterato sul substrato integro.

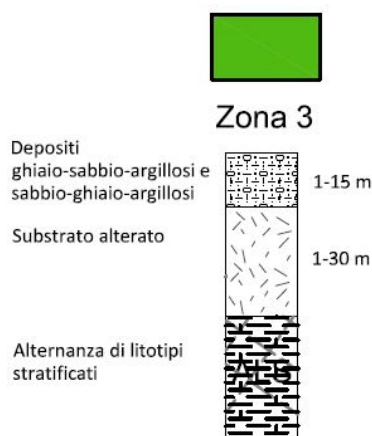
ZONA 2001: si tratta di depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-10 m) sul substrato lapideo stratificato.



ZONA 2002: si tratta di depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-10 m) sul substrato lapideo.

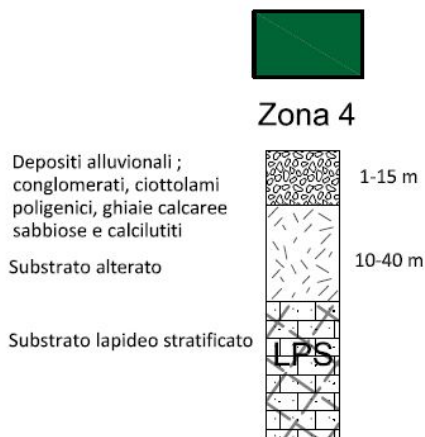


ZONA 2003: si tratta di ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-15 m), su substrato alterato (1-30 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.

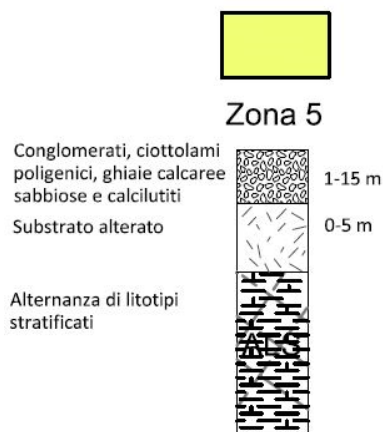




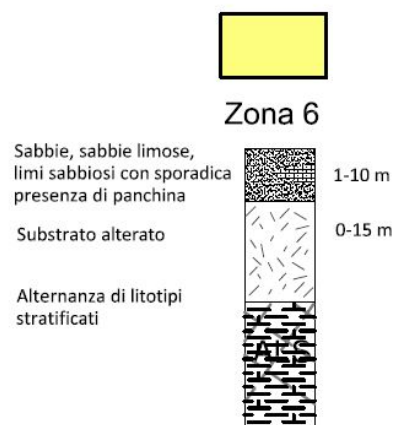
ZONA 2004: si tratta di depositi alluvionali, conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti (1-15 m), su substrato alterato (10-40 m), sul substrato costituito di litotipi lapidei stratificati.



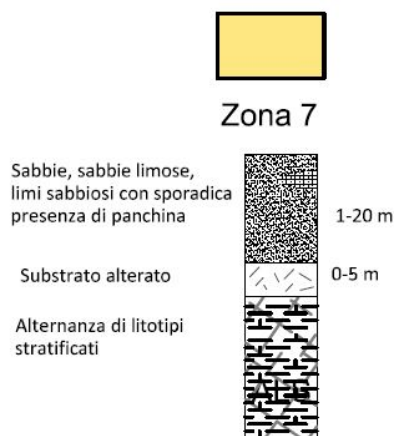
ZONA 2005: si tratta di conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti (1-15 m), su substrato alterato (0-5 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



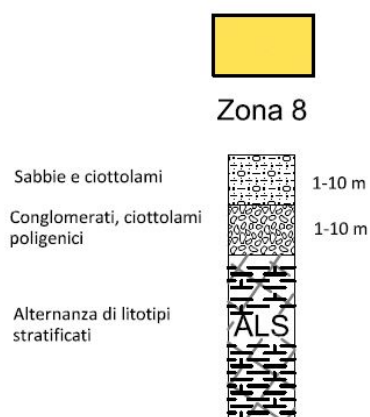
ZONA 2006: si tratta di sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina (1-10 m), su substrato alterato (0-15 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



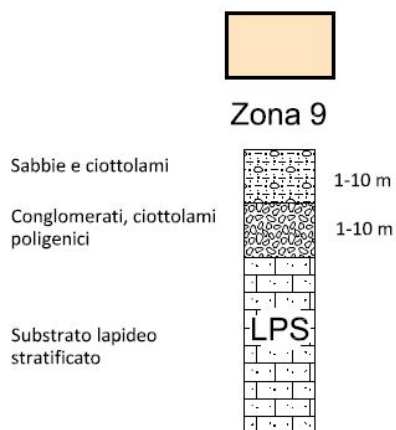
ZONA 2007: si tratta di sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina (1-20 m), su substrato alterato (0-5 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



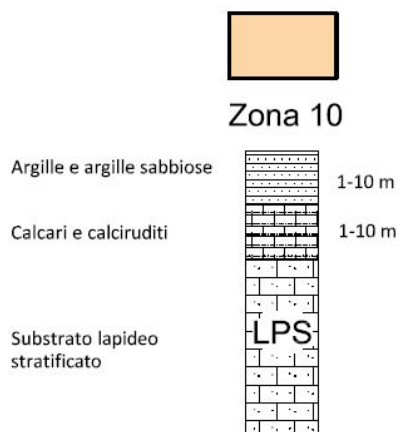
ZONA 2008: si tratta di sabbie e ciottolami (1-10 m), su conglomerati e ciottolami poligenici (1-10 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



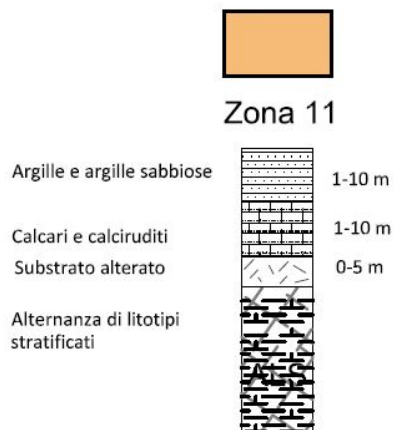
ZONA 2009: si tratta di sabbie e ciottolami (1-10 m), su conglomerati e ciottolami poligenici (1-10 m), sul substrato lapideo stratificato.



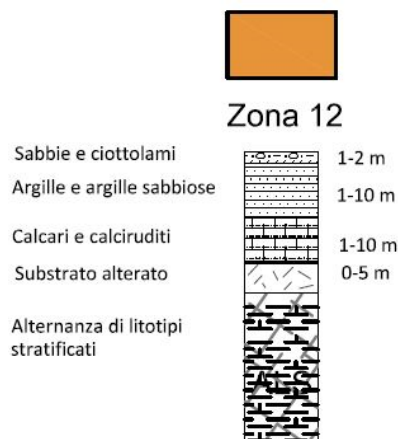
ZONA 2010: si tratta di argille e argille sabbiose (1-10 m), su calcari e calciruditi (1-10 m), sul substrato lapideo stratificato.



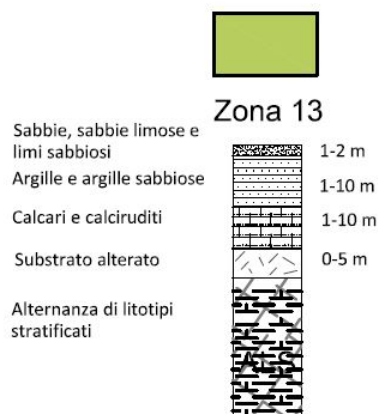
ZONA 2011: si tratta di argille e argille sabbiose (1-10 m), su calcari e calciruditi (1-10 m), su substrato alterato (1-10 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



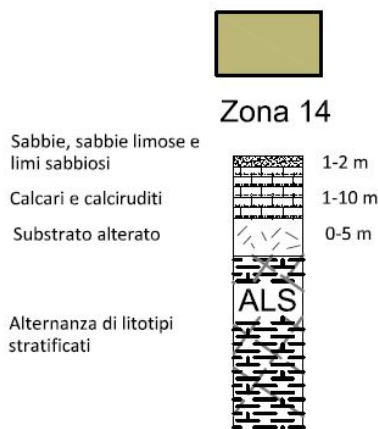
ZONA 2012: si tratta di sabbie e ciottolami (1-2 m), su argille e argille sabbiose (1-10 m), su calcari e calciruditi (1-10 m), su substrato alterato (0-5 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



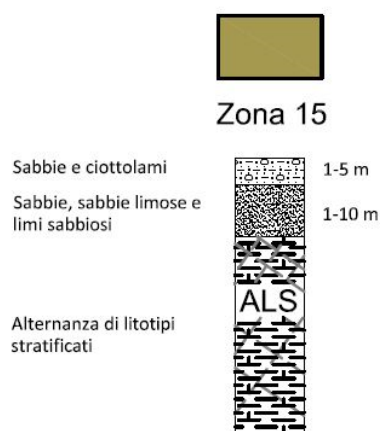
ZONA 2013: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-2 m), su argille e argille sabbiose (1-10 m), su calcari e calciruditi (1-10 m), su substrato alterato (0-5 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



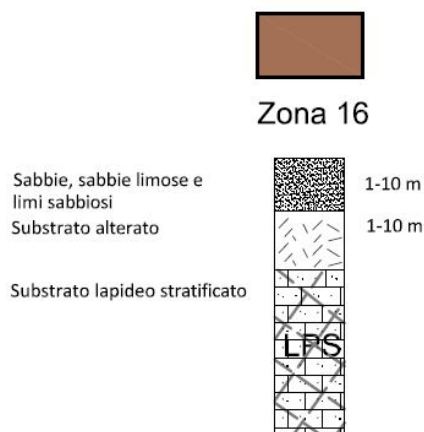
ZONA 2014: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-2 m), su calcari e calciruditi (1-10 m), su substrato alterato (0-5 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



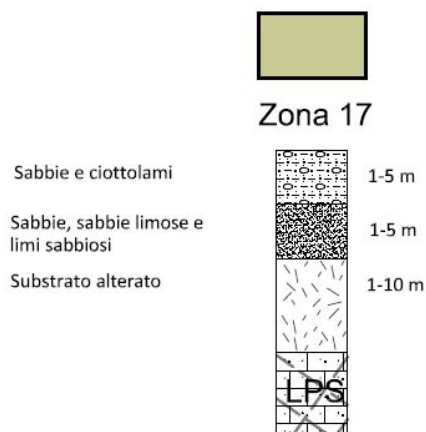
ZONA 2015: si tratta di sabbie e ciottolami (1-5 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.

**Zona 15**

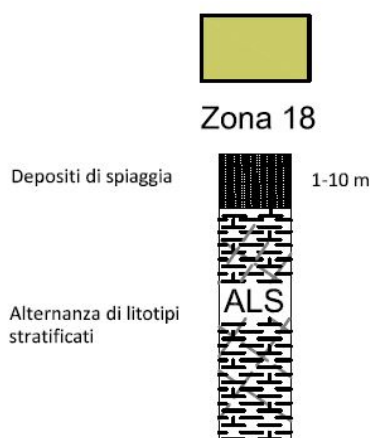
ZONA 2016: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), su substrato alterato (1-10 m), sul substrato lapideo stratificato.

**Zona 16**

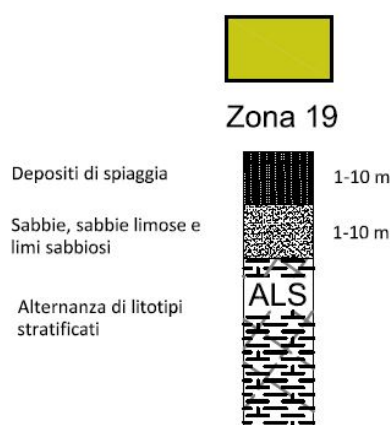
ZONA 2017: si tratta di sabbie e ciottolami (1-5 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-5 m), su substrato alterato (1-10 m), sul substrato lapideo stratificato.

**Zona 17**

ZONA 2018: si tratta di depositi di spiaggia (1-10 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



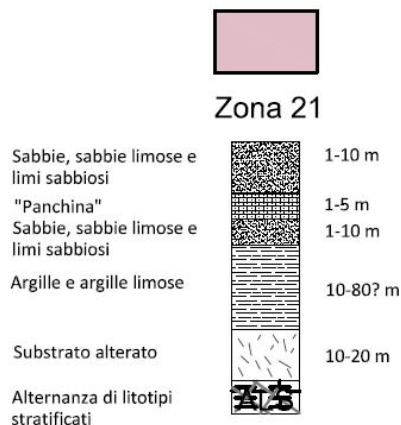
ZONA 2019: si tratta di depositi di spiaggia (1-10 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



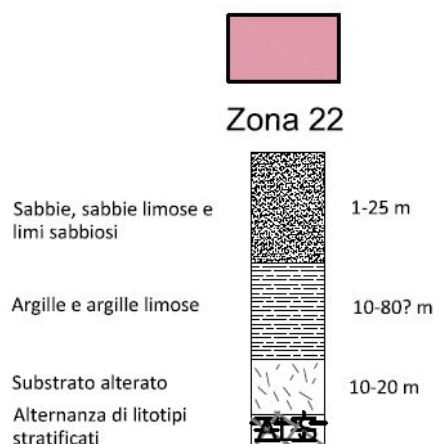
ZONA 2020: si tratta di depositi di spiaggia (1-5 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-5 m), sulla panchina (1-5 m), su sabbie e ciottolami (1-5 m), su substrato alterato (0-5 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



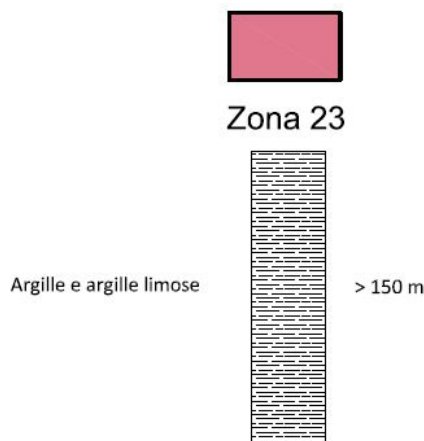
ZONA 2021: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), sulla panchina (1-5 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), su argille e argille limose (10-80? m), su substrato alterato (10-20 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



ZONA 2022: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), su argille e argille limose (10-80? m), su substrato alterato (10-20 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



ZONA 2023: si tratta di argille e argille limose (> 150 m).



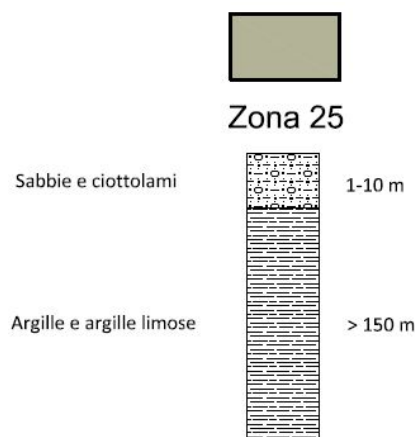


ZONA 2024: si tratta di sabbie e ciottolami (1-5 m), sulla panchina (1-5 m), su argille e argille limose (> 130 m).



42

ZONA 2025: si tratta di sabbie e ciottolami (1-10 m), su argille e argille limose (> 150 m).



ZONA 2026: si tratta di depositi di spiaggia (1-2 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-3 m), sulla panchina (1-5 m), su argille e argille limose (> 150 m).



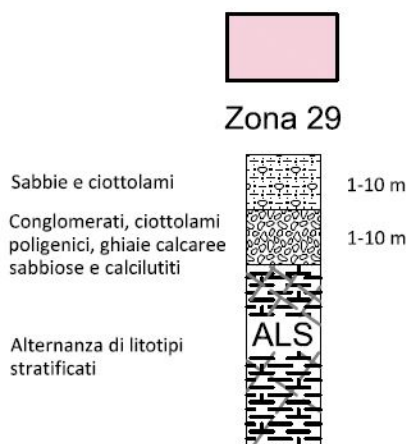
ZONA 2027: si tratta di conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti (1-15 m), su argille e argille limose (10-30 m), su substrato alterato (20-35 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



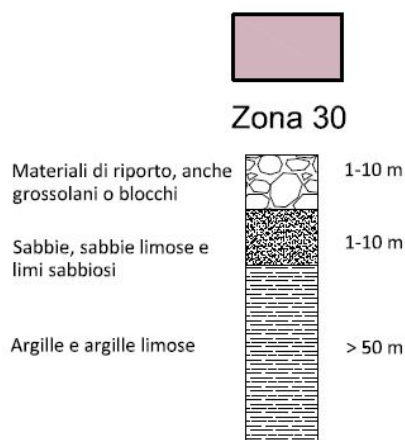
ZONA 2028: si tratta di argille e limi con lenti di gessi (1-20 m).



ZONA 2029: si tratta di sabbie e ciottolami (1-10 m), su conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti (1-10 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



ZONA 2030: si tratta di materiali di riporto anche grossolani o blocchi (1-10 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), su argille e argille limose (> 50 m).



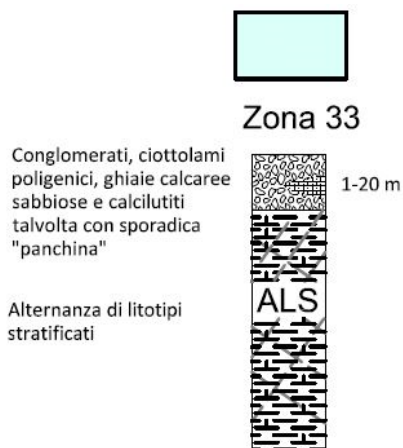
ZONA 2031: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), su panchina (1-5 m), su sabbie limose e limi sabbiosi (1-10 m), su argille e argille limose (> 120 m).



ZONA 2032: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-30 m), su substrato alterato (10-60 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.

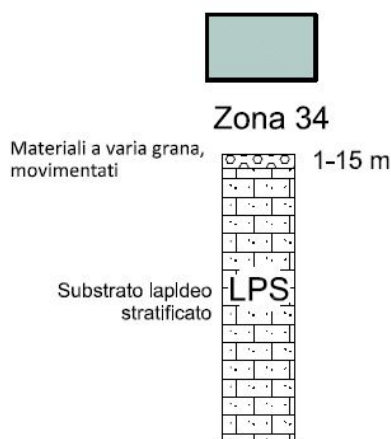


ZONA 2033: si tratta di conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina (1-20 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.

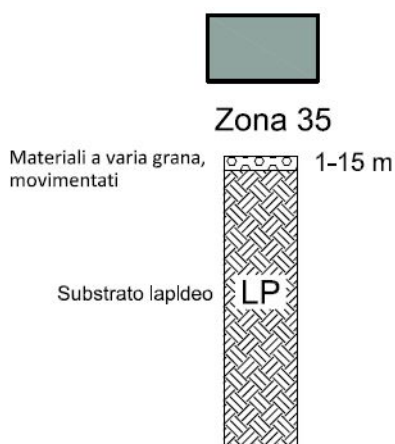


45

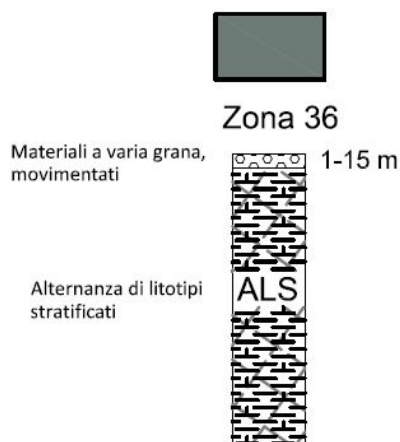
ZONA 2034: si tratta di materiali a varia grana movimentati (1-15 m), sul substrato lapideo stratificato.



ZONA 2035: si tratta di materiali a varia grana movimentati (1-15 m), sul substrato lapideo.

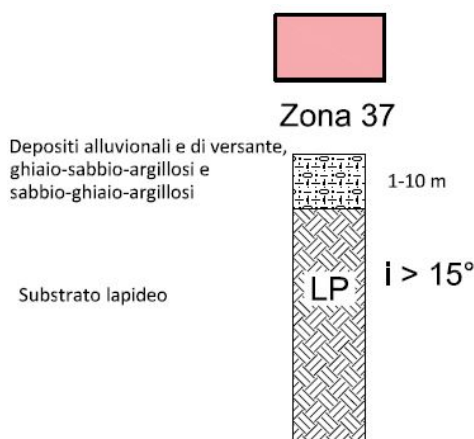


ZONA 2036: si tratta di materiali a varia grana movimentati (1-15 m), sul substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati.

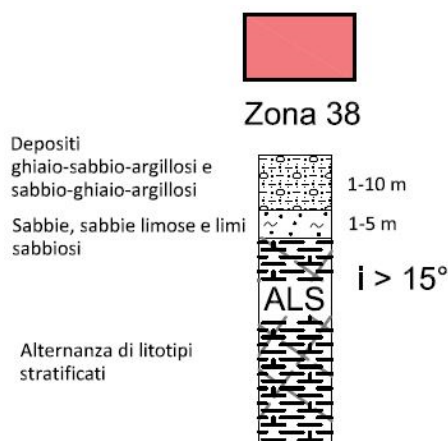


46

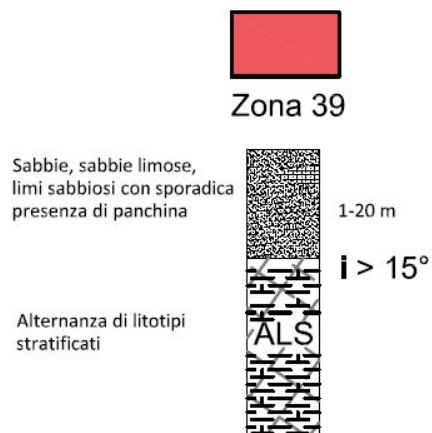
ZONA 2037: si tratta di depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-10 m) con pendenza in superficie maggiore di 15°, sul substrato lapideo,.



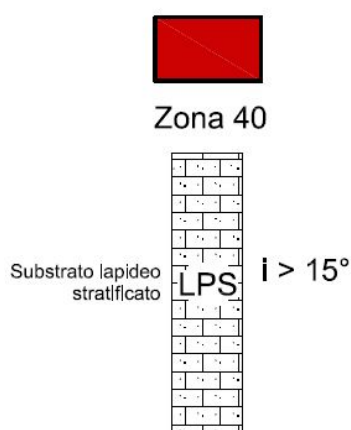
ZONA 2038: si tratta di depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-10 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-5 m) con pendenza in superficie maggiore di 15°, sul substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati.



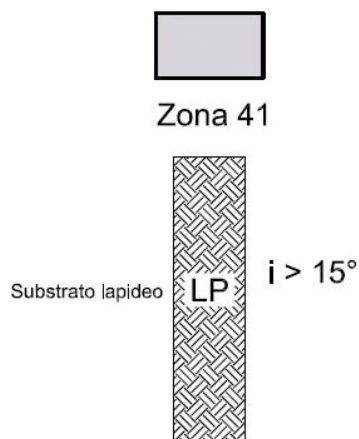
ZONA 2039: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina (1-20 m) con pendenza in superficie maggiore di 15°, sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.



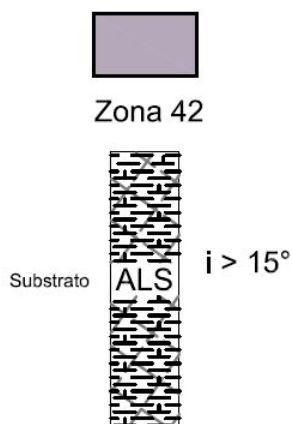
ZONA 2040: si tratta di substrato lapideo stratificato con pendenza in superficie maggiore di 15°.



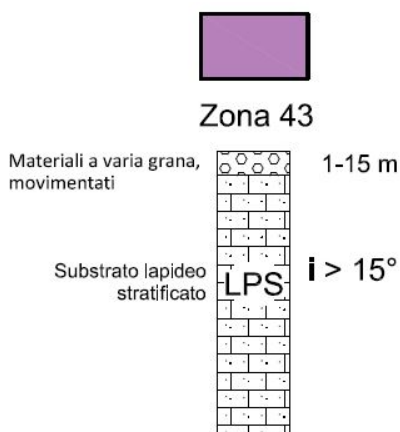
ZONA 2041: si tratta di substrato lapideo con pendenza in superficie maggiore di 15°.



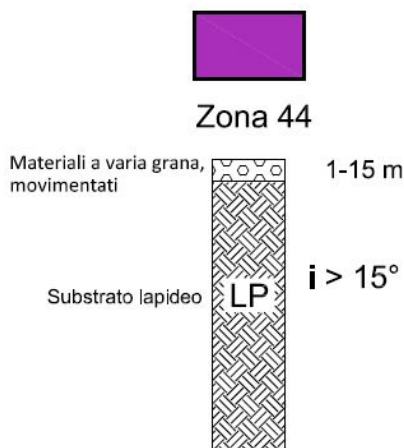
ZONA 2042: si tratta substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati con pendenza in superficie maggiore di 15°.



ZONA 2043: si tratta di materiali a varia grana movimentati (1-15 m) con pendenza in superficie maggiore di 15°, sul substrato lapideo stratificato.

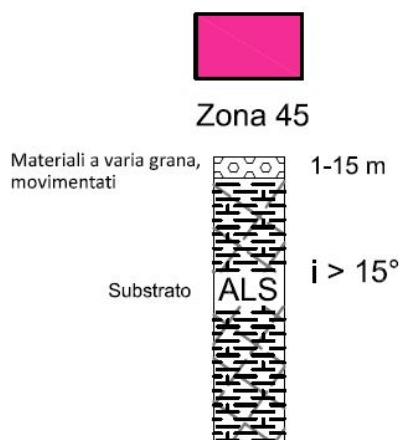


ZONA 2044: si tratta di materiali a varia grana movimentati (1-15 m) con pendenza in superficie maggiore di 15°, sul substrato lapideo.





ZONA 2045: si tratta di materiali a varia grana movimentati (1-15 m) con pendenza in superficie maggiore di 15°, sul substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati.



49

ZONA 2046: si tratta di depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-15 m), sul substrato alterato (10-80 m), sul substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati.



ZONA 2047: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina (1-20 m), su depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi (1-5 m) su substrato alterato (10-80 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.

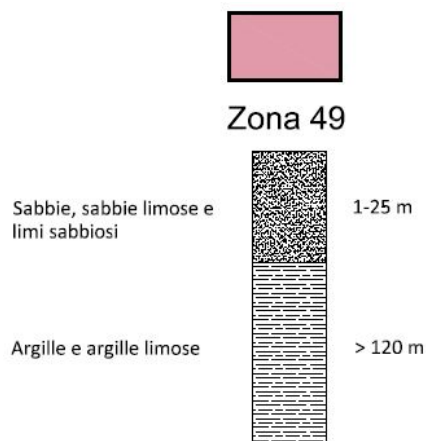


ZONA 2048: si tratta di depositi di spiaggia (1-5 m), su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina (1-5 m), sulla panchina (1-5 m), su sabbie e ciottolami (1-5 m), su substrato alterato (10-80 m), sul substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati.

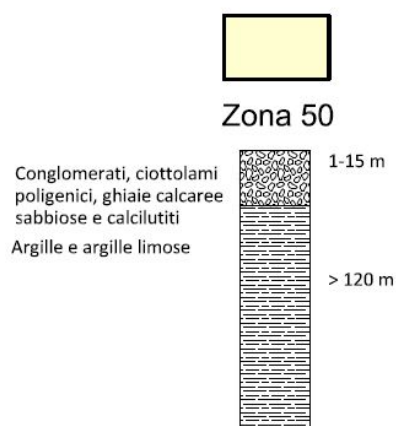


50

ZONA 2049: si tratta di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi (1-25 m), su argille e argille limose (>120 m).



ZONA 2050: si tratta di conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti (1-15 m), su argille e argille limose (>120 m).



51



— 213 —

1-100 m

Argille e argille limose

Alternanza di litotipi stratificati

11

Zona 52

1.5 m

1-5 m

1-5 m

1-5 m

1-100 m

1-100 m

1000

10-2011



## Zona 99

1-25 m

Substrato alternanza di  
litotipi stratificato;  
coesivo  
sovracconsolidato  
stratificato; lapideo  
stratificato; granulare  
cementato stratificato

Il passaggio tra MS1 e MS2 è avvenuto tramite l'abaco "Costa", usando i valori degli HV e dei profili di velocità ottenuti dalle indagini.

Per le zone sprovviste di misure di rumore e/o di profili di velocità attendibili sono stati scelti i valori di amplificazione desunti da zone stratigraficamente e litologicamente simili. Per zone che presentavano più misure di rumore e profili di Vsh o Vs30 sono stati scelti i valori più cautelativi dei coefficienti di amplificazione.

Alleghiamo di seguito la tabella che riporta la corrispondenza tra le zone MOPS e i relativi coefficienti di amplificazione in funzione della  $V_{s\text{media}}$  (scelta tra quelle che davano il coefficiente di amplificazione più prudentiale) e della frequenza di sito  $f_0$  (scelta tra quelle che davano il coefficiente di amplificazione più prudentiale).

| <b>Zona</b> | <b><math>V_{s\text{ medio}}</math></b> | <b><math>f_0</math></b> | <b>FH0105</b> | <b>FH0510</b> |
|-------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| <b>2001</b> | 300                                    | 2.5                     | 1.7           | 1.9           |
| <b>2002</b> | 300                                    | 2.5                     | 1.7           | 1.9           |
| <b>2003</b> | 300                                    | 2.5                     | 1.7           | 1.9           |
| <b>2004</b> | 500                                    | 1.5                     | 1.2           | 1.5           |
| <b>2005</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2006</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2007</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2008</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2009</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2010</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2011</b> | 500                                    | 7.5                     | 1.5           | 1.2           |
| <b>2012</b> | 500                                    | 7.5                     | 1.5           | 1.2           |
| <b>2013</b> | 500                                    | 7.5                     | 1.5           | 1.2           |
| <b>2014</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2015</b> | 500                                    | $\geq 8$                | 1.3           | 1.2           |
| <b>2016</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2017</b> | 500                                    | 5.5                     | 1.4           | 1.2           |
| <b>2018</b> | 300                                    | 2.5                     | 1.7           | 1.9           |
| <b>2019</b> | 500                                    | 2.5                     | 1.3           | 1.4           |
| <b>2020</b> | 300                                    | 2.5                     | 1.7           | 1.9           |
| <b>2021</b> | 300                                    | 2.5                     | 1.7           | 1.9           |
| <b>2022</b> | 300                                    | 1.5                     | 1.4           | 1.9           |
| <b>2023</b> | 300                                    | $< 1$                   | 1.2           | 1.5           |
| <b>2024</b> | 300                                    | 1.5                     | 1.4           | 1.9           |
| <b>2025</b> | 300                                    | $< 1$                   | 1.2           | 1.5           |
| <b>2026</b> | 300                                    | $< 1$                   | 1.2           | 1.5           |
| <b>2027</b> | 300                                    | 1.5                     | 1.4           | 1.9           |
| <b>2028</b> | 300                                    | $< 1$                   | 1.2           | 1.5           |
| <b>2029</b> | 300                                    | 3.5                     | 1.7           | 1.6           |

|      |     |          |     |     |
|------|-----|----------|-----|-----|
| 2030 | 500 | < 1      | 1.1 | 1.2 |
| 2031 | 300 | 2.5      | 1.7 | 1.9 |
| 2032 | 300 | 2.5      | 1.7 | 1.9 |
| 2033 | 500 | 5.5      | 1.4 | 1.2 |
| 2034 | 300 | 4.5      | 1.8 | 1.6 |
| 2035 | 300 | 4.5      | 1.8 | 1.6 |
| 2036 | 300 | 4.5      | 1.8 | 1.6 |
| 2037 | 300 | ≥ 8      | 1.7 | 1.9 |
| 2038 | 300 | ≥ 8      | 1.7 | 1.9 |
| 2039 | 300 | 6.5      | 1.5 | 1.5 |
| 2040 | 700 | 75° perc | 1.1 | 1.2 |
| 2041 | 700 | 75° perc | 1.1 | 1.2 |
| 2042 | 700 | 75° perc | 1.1 | 1.2 |
| 2043 | 300 | 4.5      | 1.8 | 1.6 |
| 2044 | 300 | 4.5      | 1.8 | 1.6 |
| 2045 | 300 | 4.5      | 1.8 | 1.6 |
| 2046 | 300 | 1.5      | 1.4 | 1.9 |
| 2047 | 300 | 1.5      | 1.4 | 1.9 |
| 2048 | 300 | 1.5      | 1.4 | 1.9 |
| 2049 | 300 | < 1      | 1.2 | 1.5 |
| 2050 | 300 | < 1      | 1.2 | 1.5 |
| 2051 | 300 | 1.5      | 1.4 | 1.9 |
| 2052 | 300 | < 1      | 1.2 | 1.5 |
| 2099 | 500 | 6.5      | 1.2 | 1.2 |

Per le zone 2030, 2040, 2041 e 2042 è stato scelto di sostituire il coefficiente FH0105 = 1 come risultante dall'abaco abaco, con il coefficiente FH0105 = 1.1 per non farle risultare alla stregua di zone stabili.

#### 6.4.3 Zone di attenzione per instabilità

Le zone di attenzione per instabilità cartografate nell'area oggetto di studio sono riferibili a due tipi di instabilità: fenomeni di instabilità gravitativa e aree interessate da liquefazione di Tipo 1. Per quanto concerne le prime nel territorio sono cartografate prevalentemente sui rilievi collinare a Sud-Est dell'Ardenza e dietro l'abitato di Antignano. Sono di tipo attivo e quiescente. Tali aree sono state classificate come zone di attenzione per instabilità in quanto in occasione di eventi sismici di rilevante importanza, tali fenomeni potrebbero riattivarsi.

Le zone suscettibili di liquefazione di Tipo 1 ( $ZA_{LQ1}$ ) sono le zone nelle quali gli studi di livello 1 hanno verificato se esistono 4 condizioni predisponenti:

1. Terreni sabbiosi;
2. Falda a profondità inferiore a 15 m;
3. Magnitudo attesa al sito  $M_w > 5$ ;
4. Accelerazioni massime in superficie ( $p_{ga}$ )  $> 0,1g$ .

La piana di Livorno possiede tutte e 4 queste caratteristiche e sebbene le 8 prove CPTu da noi effettuate abbiano dato risultati confortanti nei confronti della probabilità di liquefazione, abbiamo volutamente lasciato queste aree nel dubbio.

La scelta è sostanzialmente legata alla vastità e all'incertezza stratigrafica che c'è nella piana di Livorno comparata all'esecuzione di sole 8 prove.

## **6.5 Valutazione della qualità della cartografia**

Al fine di valutare la qualità della cartografia è stata elaborata dal gruppo di lavoro MS una procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1. La procedura consiste nella realizzazione di una griglia con maglia quadrata di lato 250 m orientate N-S ed E-O, che viene applicata sopra la carta delle indagini e per ogni quadrato della maglia vengono considerati il numero dei sondaggi a distruzione, dei sondaggi a carotaggio continuo, delle prove geotecniche in situ e delle misure di frequenza presenti. In funzione del numero delle prove, della percentuale di celle occupate, del numero di prove che raggiungono il substrato per le prove geotecniche e della classe di affidabilità delle misura di frequenza viene affidato un punteggio, determinabile dalla tabella

seguente.

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

| Parametro<br>(peso parametro)                                                      | Peso<br>Indicatore | Indicatore                                              | Valutazione indicatore (punteggio) |                |                            |               |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------|---------------|
|                                                                                    |                    |                                                         | Nulla (0)                          | Bassa (0.33)   | Media (0.66)               | Alta (1)      |
| Carta geologico-tecnica<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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<br>(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. Albarello, C. Cesi, V. Eulilli, F. Guerrini, E. Lunedei, E. Paolucci, D. Pileggi, L.M. Puzzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.

Il punteggio viene affidato anche alla carta geologico-tecnica in funzione dell'anno di rilevamento, del progetto e della scala di rilevamento. La percentuale che determina la successiva classe di affidabilità viene calcolata in funzione della formula che segue.

$$FQ = \left[ \frac{100}{\sum_{i=1}^I P_i} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right) = \left[ \frac{100}{4} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right)$$



In base alla percentuale così ottenuta vengono suddivise le seguenti categorie che indicano anche una successiva istruzione per migliorare la qualità della carta:

- Classe A, valori superiori al 75%, indicazioni: nessuna, carta di Livello 1 di ottima qualità;
- Classe B, valori intervallo 50%-74%, indicazioni: migliorare almeno uno dei parametri;
- Classe C, valori intervallo 25 %-49%, indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità;
- Classe D, valori inferiori al 25%; indicazioni: la carta di livello 1 è di scarsa qualità e non risponde ai requisiti minimi richiesti dagli ICMS e dalle suddette specifiche.

Nel caso specifico vengono di seguito riportati i risultati di classe di affidabilità ottenuti per il Capoluogo e le varie frazioni.

**-LIVORNO:** percentuale ottenuta 76.17 %; **Classe A**

|                   |      |
|-------------------|------|
| Carta Geol-tec    | 0.99 |
| Sond. Distruzione | 0.38 |
| Sond. Car. Cont.  | 0.77 |
| Ind. Geofisiche   | 0.27 |
| Altre prove       | 0.14 |
| Frequenze di sito | 0.49 |

**FQ** 76.17

**-QUERCIANELLA:** percentuale ottenuta 54.08 %; **Classe B**

|                   |      |
|-------------------|------|
| Carta Geol-tec    | 0.99 |
| Sond. Distruzione | 0.16 |
| Sond. Car. Cont.  | 0.33 |
| Ind. Geofisiche   | 0.11 |
| Altre prove       | 0.08 |
| Frequenze di sito | 0.49 |

**FQ** 54.08

**-GORGONA:** percentuale ottenuta 34,96 %; **Classe C**

|                   |      |
|-------------------|------|
| Carta Geol-tec    | 0.99 |
| Sond. Distruzione | 0.00 |
| Sond. Car. Cont.  | 0.00 |
| Ind. Geofisiche   | 0.16 |
| Altre prove       | 0.00 |
| Frequenze di sito | 0.25 |

**FQ** 34.96

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

Le percentuali sono tutte sopra al minimo richiesto del 25 % perché la carta delle Microzone Omogene in Prospettiva Sismica rispetti i requisiti per questo livello di approfondimento.

Inoltre tali percentuali rispecchiano chiaramente quella che è la distribuzione di indagini e di conoscenza nelle aree studiate, attestandosi a valori alti per Livorno, e medi per le altre località per le quali sarebbe opportuno un approfondimento di indagine attraverso l'esecuzione di ulteriori indagini o attraverso il miglioramento, se possibile, di quelle esistenti.

## 6.6 Carta di Microzonazione Sismica

La carta di microzonazione sismica è stata redatta seguendo le specifiche tecniche riportate negli ICMS2008 e successive modificazioni e gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.01.

Appare chiaro come il riattivarsi di fenomeni franosi e la problematica della liquefazione possano essere tra i principali problemi dovuti ad un eventuale sisma oltre chiaramente alle amplificazioni di tipo stratigrafico.

Infatti sono cartografate molte frane attive e quiescenti che con molta probabilità potrebbero velocizzare il movimento (quelle attive) o riattivarsi (quelle quiescenti) in seguito ad un evento tellurico.

Per quanto riguarda invece le amplificazioni litostratigrafiche e quindi per il calcolo dei coefficienti di amplificazione FH0105, FH0510 sono stati usati gli abachi proposti dalla Regione Toscana ed in particolare il “Toscana Costiera”:

**Toscana costiera****0.1 - 0.5 s**

| <b>Vs30 (m/s)   f0(Hz)</b> | <b>&lt;1</b> | <b>1.5</b> | <b>2.5</b> | <b>3.5</b> | <b>4.5</b> | <b>5.5</b> | <b>6.5</b> | <b>7.5</b> | <b>≥ 8</b> | <b>75° perc.</b> |
|----------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| <b>&lt;200</b>             | 1.3          | 1.4        | 2.1        |            |            |            |            |            |            | 1.4              |
| <b>300</b>                 | 1.2          | 1.4        | 1.7        | 1.7        | 1.8        | 1.5        | 1.5        | 1.1        | 1.7        | 1.4              |
| <b>500</b>                 | 1.0          | 1.2        | 1.3        | 1.5        | 1.5        | 1.4        | 1.2        | 1.5        | 1.3        | 1.2              |
| <b>700</b>                 | 0.9          | 1.1        | 1.3        |            |            | 1.4        | 0.9        | 1.2        | 1.1        | 1.0              |
| <b>≥800</b>                | 0.8          | 0.8        |            |            |            |            |            |            |            | 0.8              |

**0.5 - 1 s**

| <b>Vs30 (m/s)   f0(Hz)</b> | <b>&lt;1</b> | <b>1.5</b> | <b>2.5</b> | <b>3.5</b> | <b>4.5</b> | <b>5.5</b> | <b>6.5</b> | <b>7.5</b> | <b>≥ 8</b> | <b>75° perc.</b> |
|----------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| <b>&lt;200</b>             | 1.9          | 2.6        | 2.9        |            |            |            |            |            |            | 2.3              |
| <b>300</b>                 | 1.5          | 1.9        | 1.9        | 1.6        | 1.6        | 1.6        | 1.5        | 1.1        | 1.9        | 1.6              |
| <b>500</b>                 | 1.2          | 1.5        | 1.4        | 1.6        | 1.3        | 1.2        | 1.2        | 1.2        | 1.2        | 1.3              |
| <b>700</b>                 | 1.1          | 1.4        | 1.5        |            |            | 1.5        | 0.9        | 1.1        | 1.1        | 1.2              |
| <b>≥800</b>                | 1.0          | 1.0        |            |            |            |            |            |            |            | 1.0              |

**Popolosità celle**

| <b>Vs30 (m/s)   f0(Hz)</b> | <b>&lt;1</b> | <b>1.5</b> | <b>2.5</b> | <b>3.5</b> | <b>4.5</b> | <b>5.5</b> | <b>6.5</b> | <b>7.5</b> | <b>≥ 8</b> |
|----------------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>&lt;200</b>             | 578          | 469        | 24         |            |            |            |            |            |            |
| <b>300</b>                 | 3176         | 1185       | 738        | 624        | 176        | 144        | 30         | 12         | 26         |
| <b>500</b>                 | 2298         | 716        | 70         | 141        | 171        | 250        | 176        | 56         | 154        |
| <b>700</b>                 | 942          | 244        | 21         |            |            | 1          | 7          | 35         | 262        |
| <b>≥800</b>                | 162          | 6          |            |            |            |            |            |            |            |

| <b>Classi</b>         |                  |
|-----------------------|------------------|
| <b>frequenza (Hz)</b> | <b>f0&lt;1</b>   |
|                       | 1.5 1≤f0<2       |
|                       | 2.5 2≤f0<3       |
|                       | 3.5 3≤f0<4       |
|                       | 4.5 4≤f0<5       |
|                       | 5.5 5≤f0<6       |
|                       | 6.5 6≤f0<7       |
|                       | 7.5 7≤f0<8       |
| <b>velocità (m/s)</b> | <b>≥ 8</b>       |
|                       | <b>Vs&lt;200</b> |
|                       | 300 200≤Vs<400   |
|                       | 500 400≤Vs<600   |
|                       | 700 600≤Vs<800   |
|                       | <b>Vs≥800</b>    |

Il coefficiente di amplificazione è stato scelto per ogni microzona in base alla Vsh o alla Vs30 e alle misure di rumore H/V e mappato sulle carte di microzonazione sismica.

Sono state quindi redatte 2 carte di Microzonazione Sismica in base ai fattori FH0105 e FH0510.

L'attribuzione dei coefficienti di amplificazione alle microzone sprovviste di un profilo di velocità è stata eseguita in base a similarità litostratigrafiche e geologiche con altre microzone che invece ne erano provviste.

Per le microzone con più valori di velocità e profondità del substrato la scelta dei fattori di amplificazione è stata condotta in direzione della massima cautela e quindi scelte le combinazioni con i valori più alti.

Infine per le aree con pendenza maggiore di  $15^\circ$  è stato moltiplicato il coefficiente di amplificazione stratigrafico relativo alla singola microzona con il coefficiente topografico  $S_t$  scelto fisso al valore massimo di 1.4.

I motivi di tale scelta sono i seguenti:

- il calcolo esatto della variazione del coefficiente di amplificazione topografico sulle aree a pendenza maggiore di  $15^\circ$  avrebbe portato ad una ulteriore suddivisione di queste zone (già complicate) rispetto alla carta delle MOPS, rendendo poco leggibile e sinceramente non molto utili le carte prodotte;
- la complessità morfologica di alcuni dei pendii in questione rende complicato un calcolo omogeneo dei parametri geometrici richiesti, comportando ulteriori suddivisioni in senso longitudinale dei pendii.

Inoltre vista l'approssimazione usata (comunque in sicurezza) e nell'eventualità che alcune di tali aree siano reputate di interesse di studio, rimandiamo ad analisi 2D di risposta sismica locale in sede di terzo livello di approfondimento.

## 7. Risultati e Conclusioni

Il progetto di Microzonazione Sismica di primo livello del Comune di Livorno è stato svolto in ottemperanza a:

- Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica, Gruppo di lavoro MS;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3907 del 13 novembre 2010 – Attuazione dell’articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n° 39, convertito con modificazioni dalla legge 24 giugno 2009 n°77.
- Allegato A delle specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di Microzonazione Sismica;
- Istruzioni tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana – Programma VEL Toscana – Del. GRT n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.;
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – versione 4.01;
- “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica dell’analisi della CLE (v3.0.1)”,
- “Manuale per l’analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE) dell’insediamento urbano”,
- “Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC). Versione 1.0”,
- “Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR). Versione 1.0”,
- “Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ). Versione 1.0”.

Per quanto attiene ai contenuti dello studio si è fatto riferimento al Nuovo Regolamento Urbanistico in fase di approvazione del Comune di Livorno. In particolare sono state esaminate e revisionate le carte geologiche e geomorfologiche, nonché utilizzati i dati di base come sondaggi e indagini sismiche per la ricostruzione del modello di sottosuolo. Inoltre sono state raccolte tutte le indagini effettuate per costruzioni private presenti nell’archivio dell’ufficio Urbanistica del Comune e le stratigrafie desunte dalla perforazione dei pozzi censiti nell’archivio dell’ISPRA.

Le prove, l’ubicazione di esse e i parametri geotecnici estrapolati sono stati raccolti in un database seguendo gli standard di archiviazione informatica versione 4.01. Tutte le prove sono state riportate su base topografica dando origine alla Carta delle indagini.

Le sezioni geologiche sono state tracciate in corrispondenza delle principali strutture geologiche e in modo che rappresentassero in maniera organica il sottosuolo delle aree studiate; inoltre sono state redatte con l'ausilio della cartografia geologico-tecnica e dei dati di base disponibili in prossimità delle medesime.

Attraverso quest'ultime, i dati di base sintetizzati nella Carta delle Indagini e mediante correlazioni di natura geologico-stratigrafica, è stato possibile ricostruire il modello del sottosuolo sia per il Capoluogo che per alcune frazioni. Per quanto riguarda le indagini maggiore importanza è stata attribuita a quelle dirette, mentre sono state considerate meno attendibili le stratigrafie desunte dalla perforazione di pozzi.

Come previsto nel piano di lavoro impostato con il Comune di Livorno è stata eseguita una campagna di misure di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSR) raccogliendo 45 nuove acquisizioni.

Tutte le prove sono state riportate nella “Carta delle frequenze fondamentali dei depositi” classificandole in base alla frequenza fondamentale  $f_0$  e al massimo della funzione H/V. Attraverso le carte di base suddette sono state redatte sia la “Carta geologico-tecnica” che la “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica” (M.O.P.S.).

Nel caso specifico sono state identificate:

- **3 zone stabili** di affioramento del substrato, sia esso lapideo, lapideo stratificato e con alternanza di litotipi stratificati;
- **52 stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Le prime caratterizzate dall'affioramento del bedrock sismico stratificato e non, considerando anche un massimo di 3 metri di roccia alterata o detrito eluvio-colluviale, conformemente anche alle N.T.C. 2018. Le seconde riguardano situazioni nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale.

Infine vengono riportate le situazioni potenzialmente instabili dovute alla pendenza dei versanti.

Dall'analisi delle microzone appare evidente come particolare riguardo va posto per tutte le zone di fondovalle con affioramento di depositi quaternari passibili di liquefazione.

- **Le zone di attenzione per instabilità** cartografate nell'area oggetto di studio sono riferibili a due tipi di instabilità: fenomeni di instabilità gravitativa e aree interessate liquefazione di Tipo 1.

Per quanto concerne le prime nel territorio sono cartografate in quasi tutte le aree in studio e sono essenzialmente di tipo attivo e quiescente. Tali aree sono state classificate come zone di attenzione per instabilità in quanto in occasione di eventi sismici di rilevante importanza, tali fenomeni potrebbero riattivarsi.

Le zone suscettibili di liquefazione di Tipo 1 ( $ZA_{LQ1}$ ) sono le zone nelle quali gli studi di livello 1 hanno verificato se esistono 4 condizioni predisponenti:

1. Terreni sabbiosi;
2. Falda a profondità inferiore a 15 m;
3. Magnitudo attesa al sito  $M_w > 5$ ;
4. Accelerazioni massime in superficie ( $p_{ga}$ )  $> 0,1g$ .

Nel presente studio sono state inoltre valutate le percentuali di qualità delle carte secondo una procedura semiquantitativa e descritta nel paragrafo 6.5. Tale procedura prevede la valutazione del numero delle indagini, la loro densità in base ad un reticolato di celle di 250 m di lato e la loro affidabilità.

Infine nella Carta di Microzonazione Sismica sono stati valutati i coefficienti di amplificazione stratigrafica derivanti dall'incrocio della velocità delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo o della  $V_{sh}$  se il substrato è meno profondo di 30 metri, e il relativo picco derivante dalle misure di rumore  $H/V$ .

In fase di predisposizione del Livello 3 di Microzonazione Sismica, si propone il seguente piano di indagini integrativo:

- esecuzione di prove CPTu per la valutazione e il calcolo dell'indice di potenziale liquefazione nella piana di Livorno e in tutte quelle zone dove abbiamo sedimenti granulari saturi;
- indagini geognostiche con prelievo di campioni e analisi di laboratorio per le zone di interesse pubblico in frana, con stendimenti di tomografia sismica.

Il piano integrativo di indagini consentirebbe di ampliare il quadro conoscitivo attuale e di validare il modello di sottosuolo redatto in questa fase, utile per gli studi successivi.



## 8. Bibliografia

- Bartoloni C., Bernini M., Carloni G.C., Castaldini P., Costantini A., Federici P.R., Francavilla F., Gasperi G., Lazzaretto G., Mozzanti A., Papani G., Pranzini G., Rau A., Sandrelli P. & Vercesi P.L., 1982 – Carta Neotettonica dell'Appennino Settentrionale. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 101: 523-549.
- Biondi G. & Maugeri M. – A modified Newmark type-analysis according to EC-8 requirements for seismic stability analysis of natural slope. University of Catania Italy.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzaretto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G. & Postpischl D., (1985) – Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines. *Tectonophysics*; 117, 7-38.
- Boccaletti M., Cerrina Feroni A., Martinelli P., Moratti G., Plesi G. & Sani F. (1991) – L'alternanza distensione-compressione nel quadro evolutivo dei bacini neogenici dell'Appennino Settentrionale. *Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. 1991/1*, 187-192.
- Boncio P. & Lavecchia G. (2001) – Interpretazioni controverse del profilo CROP03: stato dell'arte e considerazioni per un'ipotesi alternativa. In: A. Brogi, M. Ghinassi, Lazzaretto L., Lotta D. (eds.). *Studi per l'interpretazione del profilo sismico Crop18, stato di avanzamento. Atti della riunione scientifica, Siena, 26 giugno 2001, Dipartimento di scienze della Terra*, 75-80.
- Brozetti F., Boncio P. & Lavecchia G. (2001) – Una nuova interpretazione del profilo CROP03 nel tratto Castiglion Fiorentino-M. Castellaccio: vincoli da dati geologici di superficie di recente acquisizione. In: A. Brogi, Cioppi E. (1995). *18 maggio 1895: Storia di un terremoto fiorentino. Osservatorio Ximeniano, Firenze 1995*, 306 pp.
- M. Ghinassi, Lazzaretto L., Lotta D. (eds.). *Studi per l'interpretazione del profilo sismico Crop18, stato di avanzamento. Atti della riunione scientifica, Siena, 26 giugno 2001, Dipartimento di scienze della Terra*, 81-88.
- Brune, J.N. 1970. Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 75, N. 26, pp. 4997-5009.
- Cattuto C., Concetti C., Fisauli M., Gregari L. (1995) – I bacini pleistocenici di Anghiari e Sansepolcro nell'alta valle del Tevere. *Il Quaternario* 8, 119-128.
- Collettini C., Barchi M., Paeselli C., Federico C. and Pialli G., 2000, Seismic expression of active extensional fault in northern Umbria (Central Italy). *Journal of Geodynamics* 29 (2000): 309-321.
- Giovannozzi G., Vinassa De Regny P. E., Pimpinelli V. (1895). Nota preliminare sui terremoti fiorentini del 1895. *Processi Verbali Soc. Tosc. di Scienze Naturali, Pisa*, 7 luglio 1895.
- Guidoboni E. e G. Ferrari (1995). Historical cities and earthquakes: Florence during the last nine centuries and evaluations of seismic hazard. *Annali di Geofisica*, vol. 38, n.5-6, pp. 617-647.
- 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 cd-rom.
- Grünthal G, ed. (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. European Seismological Commission, subcommission on Engineering Seismology, working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, Luxembourg.
- Martini I.P., Sagri M. (1993) – Tectono – Sedimentary characteristics of Late Miocene – Quaternary extensional basins of the Northern Apennines, Italy. *Earth Science Reviews*, 34, 197 – 233.
- Matini P., Sagri M., Coltella A. (2001) – Neogene-Quaternary basin of the inner Apennine and Calabrian arc. In: G.B. Vai and I.P. Martini (eds.), "Anatomy of an Orogen: the Apennines and adjacent mediterranean basin". Kluw Accad. Pubbl. London, 375-400.
- McGuire R.K. 2001. Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, 377-384.
- Newmark N.M. 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. *Géotechnique*, 15, 139-160
- Patacca E., Sartori R. & Scandone P. (1990) -Tyrrhenian basin and Apenninic arc: kinematic relation since Late Tortonian time. *Memorie Società Geologica Italiana* 45, 425-451. Principi G. e Treves B. (1984) – Interpretazione attualistica del Sistema Corso-Appenninico. *Riflessi sul problema generale del limite Alpi-Appennino. Memorie Società Geologica Italiana*; 28, 549-576. Valensise G. and Pantosti D., (Eds.), 2001 – Database of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy.
- SGA [ed] (2007). *Viaggio nelle aree sismiche: Liguria basso Piemonte, Toscana, Emilia Romagna, coste e Appennino, dal I secolo a.C. al 2000. Guida monografica a cura della società SGA (Storia Geofisica Ambiente) Bologna*, 496 pp.
- Vannucci G., P. Gasperini and M. Boccaletti (2004). Database e Carta della zonazione sismica dell'area urbana di Firenze: Valutazione del rischio per i beni artistici e culturali. CNR-Progetto Finalizzato "Beni culturali", Sottoprogetto 1, Tema 1.2, Linea 1.2.3.

*Siti web consultati:*

<http://diss.rm.ingv.it/diss/KML-HTMLoptions.html> Mappa sismogenetica aggiornata;

<http://esse1-gis.mi.ingv.it/> Pericolosità sismica e disaggregazione;

<http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet> Database terremoti;

[www.regionetoscana.it](http://www.regionetoscana.it) Regione Toscana;

<http://www.ingv.it/it/> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Poggibonsi, 21.03.2019