



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



Coordinamento studi sismici

Dott. Geol. L. Gonnelli
Dott. Geol. A. Tanda
Dott. M. Danzi

Con il supporto e la
collaborazione di:

Geologica Toscana

Regione Toscana
Servizio Sismico Regionale

Data:

24.04.2018

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	3
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	14
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	16
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	20
5.1 PIANA DI LIVORNO.....	20
5.2 VALLE BENEDETTA.....	22
5.3 QUERCIANELLA	22
5.4 ISOLA DI GORGONA	22
6. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	23
6.1 CARTA DELLE INDAGINI	23
6.2 CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI	24
6.3 CARTA GEOLOGICO-TECNICA.....	27
6.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	31
6.5 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLA CARTOGRAFIA.....	46
7. RISULTATI E CONCLUSIONI	49
8. BIBLIOGRAFIA.....	52

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 primo livello ha come fine principale la raccolta di tutti i dati geologici provenienti da lavori pubblici e privati al fine di definire un modello unitario del sottosuolo per individuare, in via preliminare, con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre in seguito a studi particolareggiati.

Il Comune di Livorno – Settore Protezione Civile e Sicurezza dei Cittadini 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.

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 e passiva ad hoc) a completamento delle aree rimaste scoperte durante le investigazioni precedenti.

Per la redazione della cartografia necessaria allo studio di MS1 ci siamo avvalsi delle carte geologica e geomorfologica del Nuovo Piano Strutturale redatte dal Dott. Geol. Luca Mazzei.

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).

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 4.0b.

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

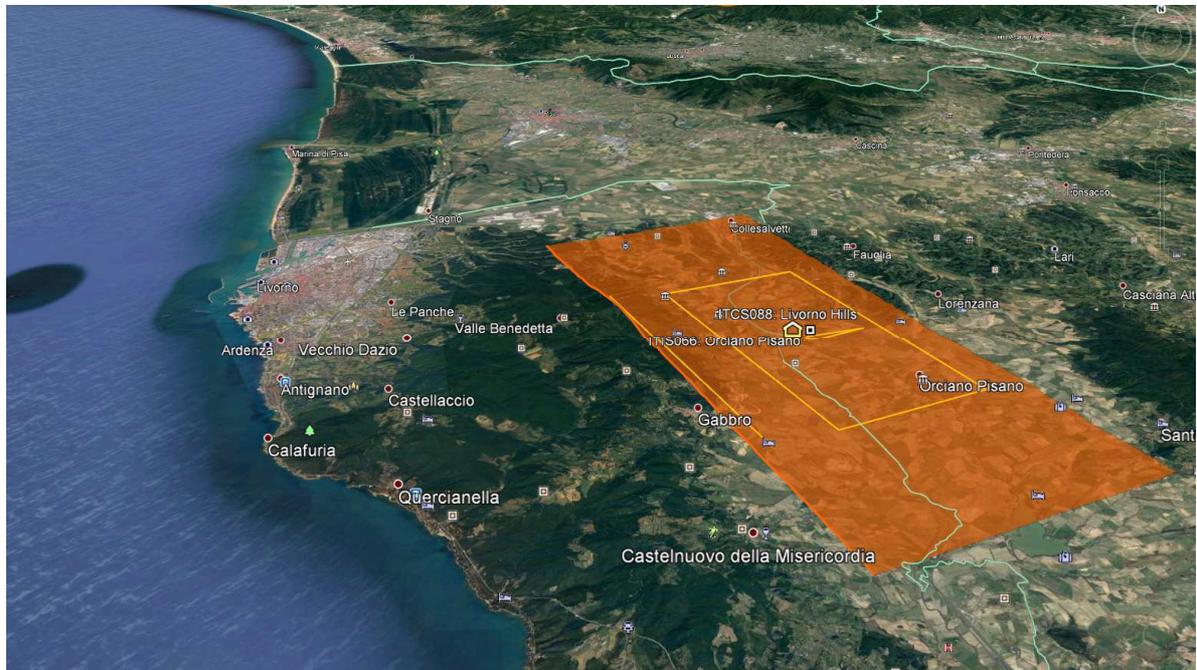
Ai sensi della Classificazione Sismica del Territorio Regionale Toscano – Ord. PCM 3.519 – Delib. G.R. n° 431 del 19/06/2006 – e successive modificazioni e integrazioni, il Comune di Livorno è censito tra le aree a sismicità 3 ($0,100 < A_g/g < 0,150$).

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_3.1.1 dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si nota ancor meglio come le faglie attive e capaci siano posizionate tutte a Est del territorio comunale in questione.

In particolare è da mettere in luce un importante sistema fessurativoi “*Individual Seismogenic Sources*”, che prende il nome di ITIS066: Orciano Pisano distante poco più di 10 km dal capoluogo comunale.



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:

Mappe interattive di pericolosità sismica

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
Scala:

Coordinate del centro della mappa

Latitudine:
Longitudine:

Ricerca Comune

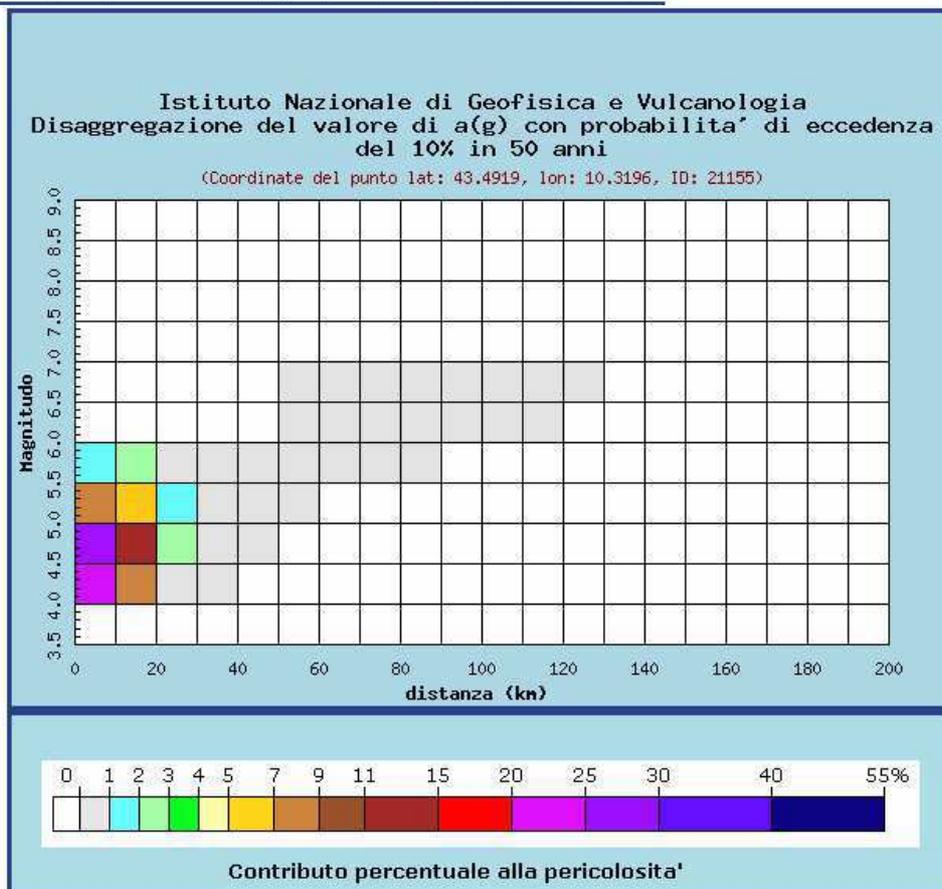
Il nome
contiene:

Comune evidenziato

Livorno

Selezione mappa

<input checked="" type="checkbox"/> Visualizza punti della griglia riferiti a:	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input type="checkbox"/> Ridisegna mappa	a(g) ▾	10% ▾	50 ▾	▾



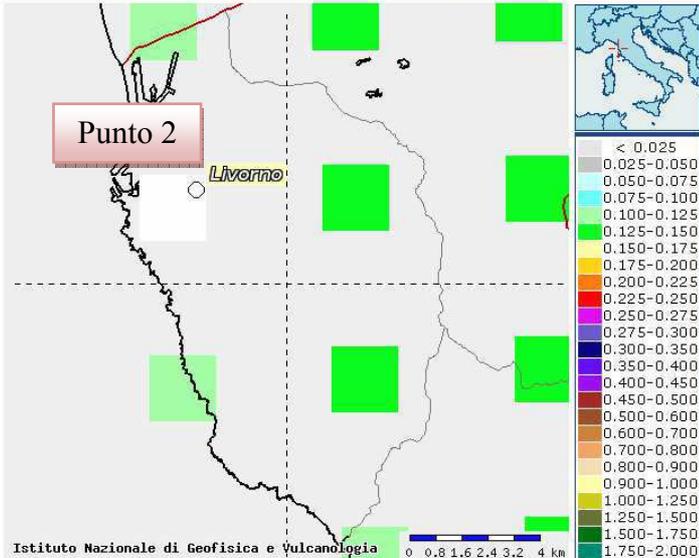
Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.4919, lon: 10.3196, ID: 21155)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	22.500	28.200	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:

Mappe interattive di pericolosità sismica  



Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
Scala:

Coordinate del centro della mappa
 Latitudine:
 Longitudine:

Ricerca Comune

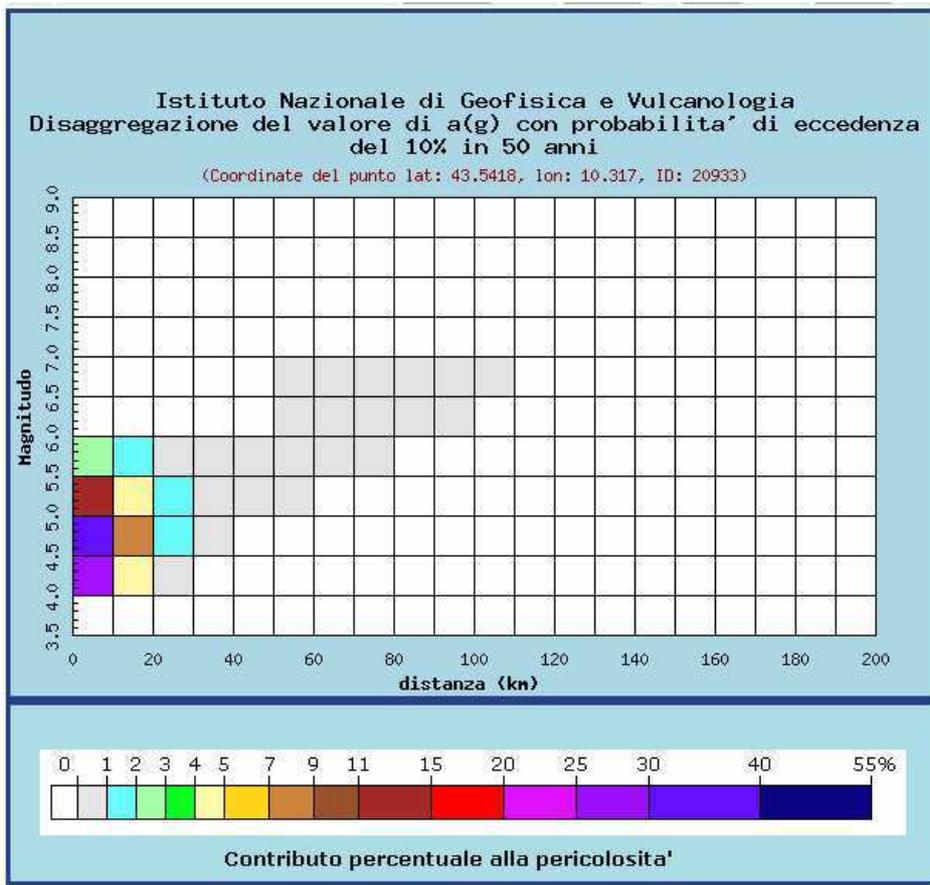
Il nome contiene:

Comune evidenziato
Livorno

Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a: Parametro dello scuotimento: Probabilità in 50 anni: Percentile: Periodo spettrale (sec):

Ridisegna mappa



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (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:

Mappe interattive di pericolosità sismica

Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
Scala: 98000

Coordinate del centro della mappa
Latitudine: 43.521
Longitudine: 10.359
Cambia scala/centro

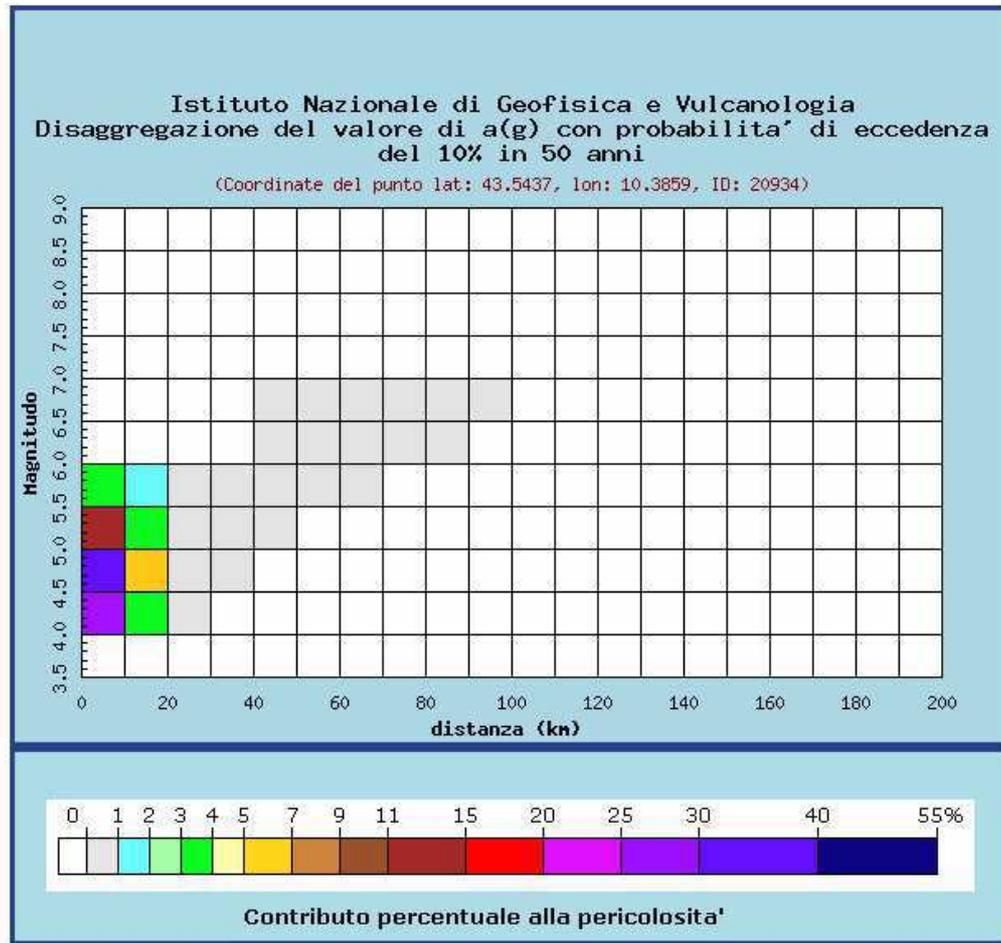
Ricerca Comune
Il nome contiene:
Ricerca

Comune evidenziato
Livorno
Cancella la Ricerca

Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input checked="" type="checkbox"/>	a(g)	10%	50	

Ridisegna mappa



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (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:

Mappe interattive di pericolosità sismica

Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala: (Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
 Scala: 98000

Coordinate del centro della mappa

Latitudine: 43.521
 Longitudine: 10.359

Ricerca Comune

Il nome contiene:
 Ricerca

Comune evidenziato

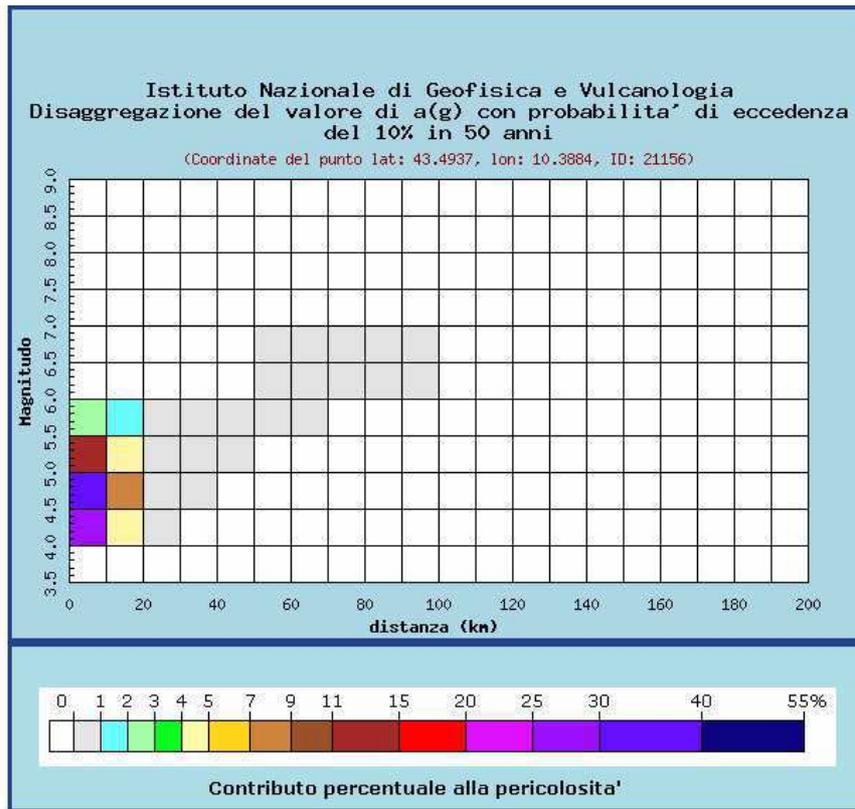
Livorno
 Cancella la Ricerca

Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a: Parametro dello scuotimento: a(g) Probabilità in 50 anni: 10% Percentile: 50 Periodo spettrale (sec):

Ridisegna mappa

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (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.

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

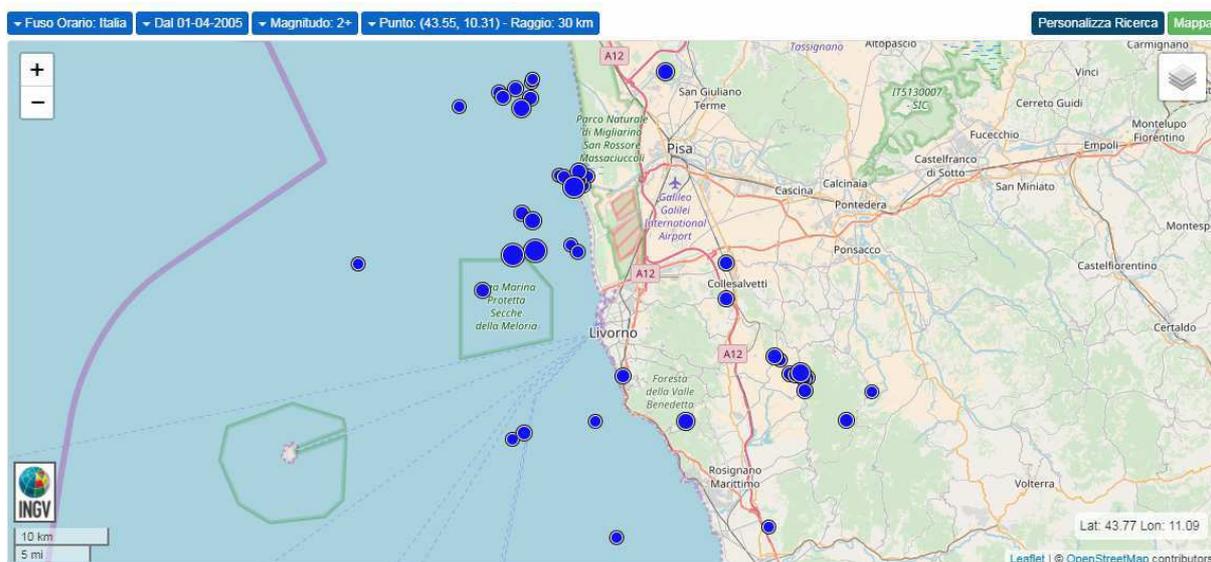
Tra i sei eventi più importanti ricordiamo:

- 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 Collesalvetti (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 3 aree separate che sono Valle Benedetta, 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 è quasi certamente 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. Le 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 400 m s.l.m. di Valle Benedetta dove si toccano le quote maggiori.

L'area studiata è per buona parte pianeggiante ad esclusione delle zone isolate di Valle Benedetta e 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 1 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 nella raccolta pregressa di indagini sono state raccolte e opportunamente catalogate tramite il software MSoft4.0:

- 365 stratigrafie di pozzi;
- 15 sondaggi attrezzati a Down – Hole;
- 194 sondaggi a carotaggio continuo;
- 57 sondaggi attrezzati con piezometro;
- 81 prove penetrometriche statiche (CPT);
- 2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu)

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

Per integrare le indagini sopra menzionate , estendere lo studio di Microzonazione Sismica di primo livello alla maggior parte dei nuclei abitati o industriali del comune e investigare zone particolari, sono state effettuate le ulteriori seguenti prove :

- 16 prove HVSR;
- 1 stendimento di sismica a rifrazione in onde P;

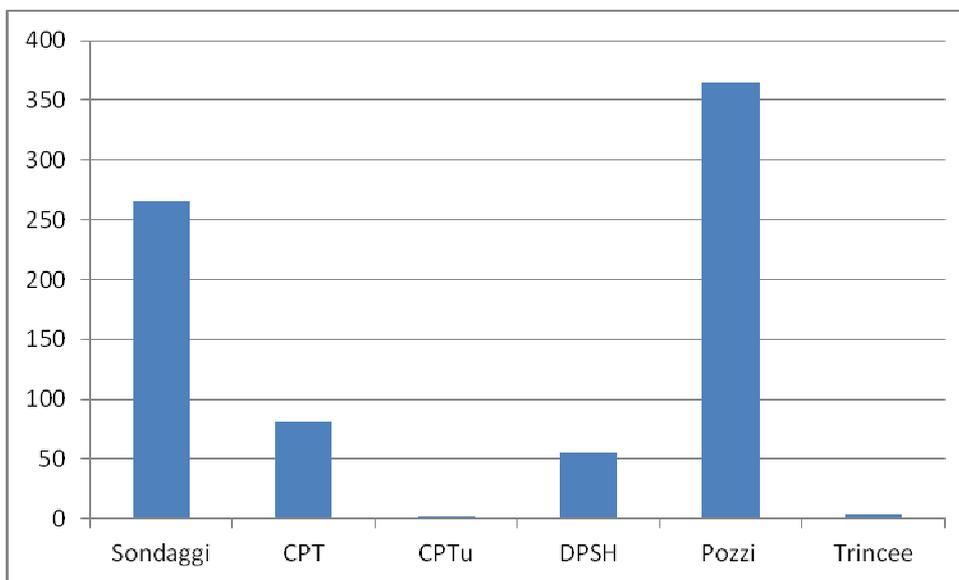
Questi due canali hanno consentito l'acquisizione di una notevole quantità di indagini, in particolare i pozzi e i sondaggi hanno dato un ottimo riscontro dal punto di vista della ricostruzione del sottosuolo, raggiungendo in qualche caso il substrato geologico.

Sono state raccolte nel complesso 918 indagini distribuite più o meno omogeneamente nel territorio comunale, ma concentrate prevalentemente nei centri abitati.

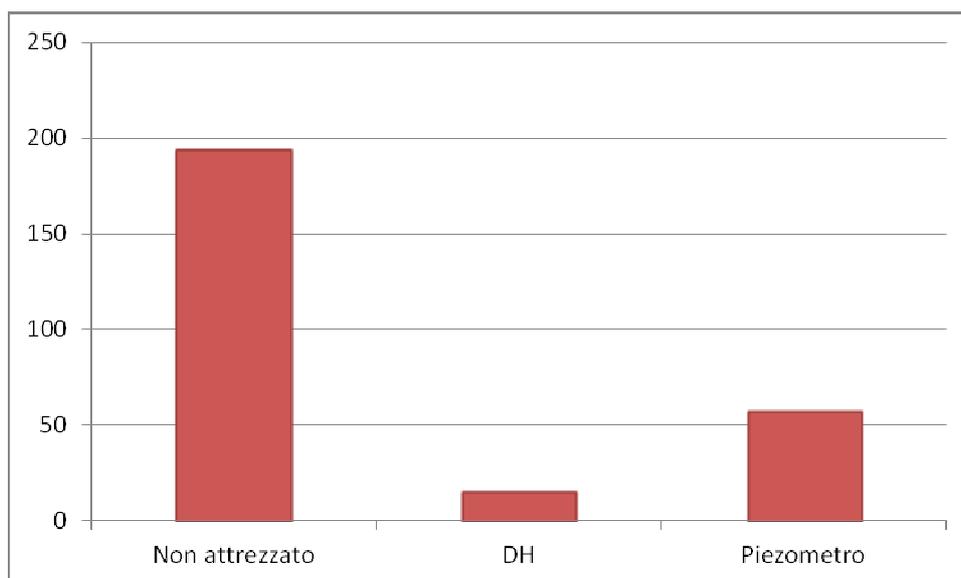
In funzione della categoria di indagine sono state raccolte 773 indagini geotecniche e 145 indagini geofisiche, per ognuna delle due categorie nei grafici che seguono si possono vedere le varie tipologie di indagine.

Prove geotecniche:

Prove geotecniche					
Sondaggi	CPT	CPTu	DPSH	Pozzi	Trincee
266	81	2	55	365	4



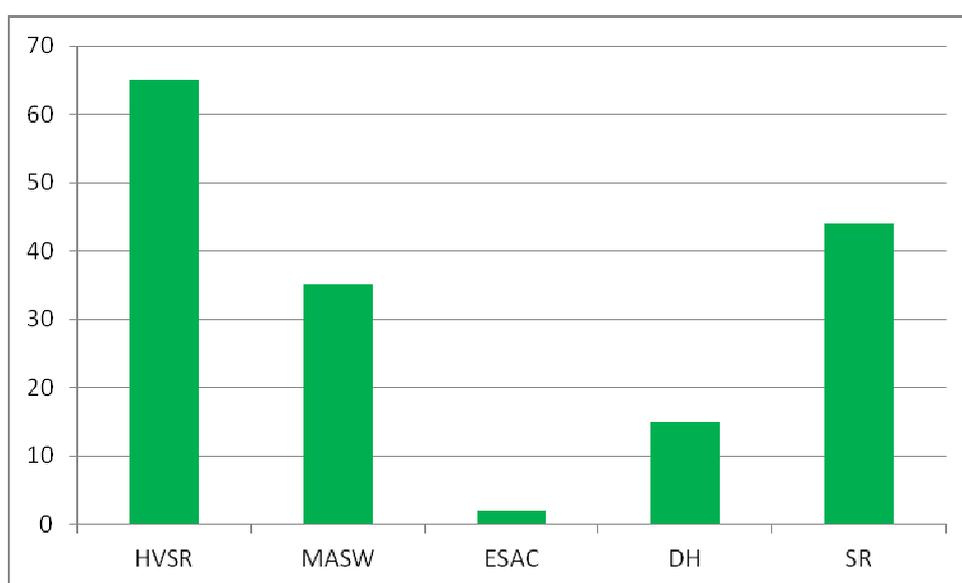
Differenziazione sondaggi		
Non attrezzato	DH	Piezometro
194	15	57



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
65	35	2	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 4.0b" 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 e quindi in molti casi anche di quello sismico. Le cause di questo approfondimento e la sua entità dovranno essere valutate attraverso studi di microzonazione di livello superiore, in questa sede ci limitiamo a supporre che si tratti di un sistema di faglie dirette come succede in tutti i bacini neautoctoni toscani.

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.

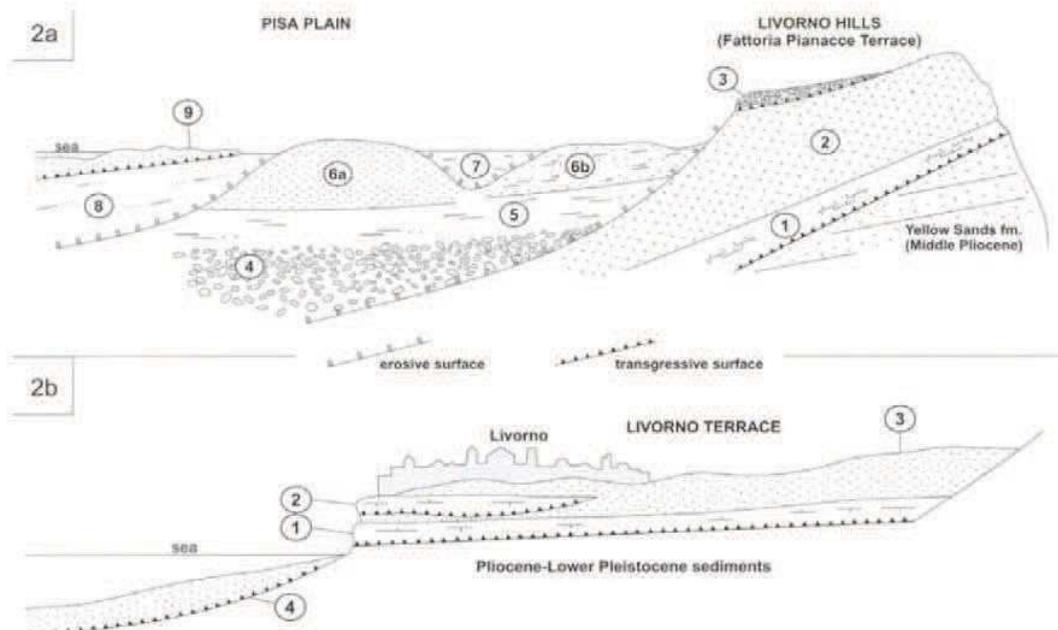
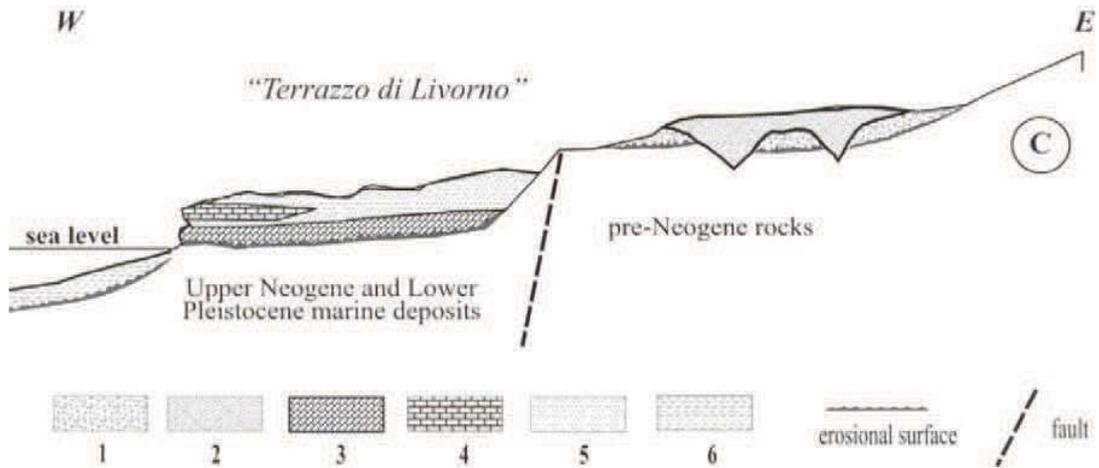
Sporadicamente è possibile rilevare il substrato Pliocenico che affiora sotto forma di argille e argille azzurre. E' proprio questa formazione geologica che nella maggior parte dei casi, fa da letto ai terreni alluvionali sopra citati.

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 the Versilian trasgression

5.2 Valle Benedetta

Nell'area di Valle Benedetta abbiamo l'affioramento di 4 litotipi costituenti il substrato geologico e sismico. In Particolare si riconoscono le formazioni di:

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.

5.3 Quercianella

Anche nell'area di Quercianella abbiamo l'affioramento per grandi tratti dei vari tipi di substrato che abbiamo prima descritto. 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, Rusciana e Pliocenica che sovrastano il substrato geologico.

5.4 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, talcoscisti 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 4.0b.

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 Bagno a Ripoli sono state utilizzate 65 misure di rumore di cui:

-n. 65 effettuate dalla ditta Geologica Toscana – Prospezioni Geofisiche Snc per conto del Comune di Livorno nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica del territorio comunale;

Gli elaborati (Carta delle frequenze fondamentali dei depositi) sono costituiti da una semplice base topografica su cui sono state riportate le misure di rumore con cerchi colorati tratteggiati il cui raggio aumenta in funzione del rapporto di H/V. I colori dei pallini invece indicano i range di frequenza in cui ricadono. In particolare sono stati scelti i seguenti intervalli:

- no picco;
- $0 \text{ Hz} > f_0 > 10 \text{ Hz}$;
- $10 \text{ Hz} > f_0 > 15 \text{ Hz}$;
- $15 \text{ Hz} > f_0 > 20 \text{ Hz}$;
- $f_0 > 20 \text{ Hz}$.

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

6.2.1 Livorno

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo e delle frazioni più prossime sono state eseguite n. 54 misure di sismica passiva con metodo HVSR. Le registrazioni eseguite mostrano una grande variabilità di frequenze di picco che variano da 0,5 a 20 Hz.

Hanno tutte valori del rapporto H/V molto bassi e tali da non far credere a possibili problematiche di risonanza dei terreni tranne che in alcuni punti che verranno di seguito elencati:

- HVSR17: 15,6 Hz (2,3) possibile risonanza a bassa profondità tra copertura e substrato;
- HVSR18: 5,3 Hz (2,1) possibile risonanza a media profondità tra copertura e substrato;

- HVSR33: 5,8 Hz (2,5) possibile risonanza a media profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR36: 15,1 Hz (2,5) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR38: 15,0 Hz (3,9) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR39: 16,7 Hz (2,8) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali di alterazione del substrato e il substrato;
- HVSR40: 16,5 Hz (2,2) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali di alterazione del substrato e il substrato;
- HVSR41: 16,5 Hz (2,2) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR54: 2,8 Hz (3,0) possibile risonanza a medio-alta profondità tra materiali di copertura e substrato;
- HVSR55: 13,1 Hz (8,6) possibile risonanza a media profondità tra materiali di copertura e panchina.

6.2.2 Valle Benedetta

In corrispondenza di Valle Benedetta sono state eseguite 3 misure HV che tuttavia non hanno evidenziato particolari problematiche così come era prevedibile a priori vista la litologia quasi ovunque rocciosa.

6.2.3 Quercianella

In corrispondenza dell'abitato di Quercianella sono state eseguite 5 misure HV che tuttavia non hanno evidenziato particolari problematiche così come era prevedibile a priori vista la litologia quasi ovunque rocciosa.

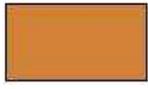
Da segnalare la misura HVSR47: 4,7 Hz (2,3) con possibile risonanza a media profondità tra materiali di copertura e substrato e la misura HVSR48: 15,8 Hz (2,3) con possibile risonanza a bassa profondità tra materiali di copertura e substrato.

6.2.4 Isola di Gorgona

In corrispondenza di Gorgona sono state eseguite 3 misure HV che tuttavia non hanno evidenziato particolari problematiche così come era prevedibile a priori vista la litologia quasi ovunque rocciosa.

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 4.0b – ottobre 2015), 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.

Ambiente vulcanico	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/ceneri	sc
Coltri ignimbritiche	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Ambiente di versante	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
Ambiente fluvio - lacustre	
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
Ambiente carsico	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
Ambiente glaciale	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
Ambiente eolico	
Duna eolica	de
Loess	ls
Ambiente costiero	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
Altro ambiente	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	LP	Lapideo
GR	GR	Granulare cementato
CO	CO	Coesivo sovraconsolidato
AL	AL	Alternanza di litotipi
LPS	LPS	Lapideo, stratificato
GRS	GRS	Granulare cementato, stratificato
COS	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
ALS	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
SFLP	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
SFGR	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
SFCO	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
SFAL	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
SFLPS	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
SFGRS	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
SFCOS	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
SFALS	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

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. 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).

- Unita 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).
- Unita 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).
- Unita 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).
- Unita 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 4.0b dell'ottobre 2015), evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

Substrato geologico rigido o non rigido

- Unita geologico-tecnica ALS: corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni costituite da un'alternanza di litotipi (CPG, ACC, OMT, SIL, APA e RCH).
- Unita 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.
- Unita 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 di Livello 1 costituisce il documento fondamentale di questo 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 (progetto IFFI).

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:

6.4.1 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 40 è stata possibile attraverso la conoscenza dell'area e dopo l'attento studio di tutte le indagini a nostra disposizione.

ZONA 2001: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo stratificato. Questa zona è prevalentemente concentrata nella parte sud relativa all'area di Livorno città.

ZONA 2002: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo non stratificato. Questa zona è concentrata al Porto dell'Isola di Gorgona.

ZONA 2003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Questa zona, molto presente, è prevalentemente ubicata nelle aree di bordo della piana inondabile, sui versanti delle prime colline e a Gorgona.

ZONA 2004: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Questa zona è ubicata nelle aree retrostanti l'abitato di Antignano.

ZONA 2005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano; molto presente, è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno e a Quercianella.

ZONA 2006: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano.

ZONA 2007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano.

ZONA 2008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno.

ZONA 2009: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno.

ZONA 2010: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona, piccolissima di estensione, è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno.

ZONA 2011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Queste zone, piccolissime di estensione, sono ubicate nelle colline a Est dell'abitato di Livorno.

ZONA 2012: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie e ciottolami, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. La singola zona, piccolissima di estensione, è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno.

ZONA 2013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno.

ZONA 2014: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati.

ZONA 2015: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie e ciottolami, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati.

Questa zona è rilevabile prevalentemente nei dintorni dell'area di Antignano.

ZONA 2016: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona è rilevabile prevalentemente a Est dell'area di Antignano.

ZONA 2017: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 e 10 metri, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona è rilevabile sul Fosso della Banditella ad Antignano.

ZONA 2018: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile sul lungomare di Antignano a partire dalla zona dell'Ardenza.

ZONA 2019: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 10 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile nei dintorni di Antignano.

ZONA 2020: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 5 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 5 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra a sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 5 metri, al substrato coesivi sovraconsolidato stratificato. Questa zona è rilevabile ad Est dell'Ardenza appena fuori la piana alluvionale.

ZONA 2023: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile a Nord-Est dell'abitato di Livorno e rappresenta l'affioramento del substrato Pliocenico.

ZONA 2025: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile al margine Nord-Ovest della carta Livorno Nord.

ZONA 2027: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 – 30 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile al margine Nord-Est della carta Livorno Nord.

ZONA 2028: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e limi con lenti di gessi di spessore tra 1 - 20 metri. Questa zona rappresenta l'affioramento del substrato Plio-Miocenico.

ZONA 2029: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 – 10 metri, sopra al substrato coesivo sovraconsolidato stratificato.

ZONA 2030: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo materiali di riporto anche grossolani o blocchi di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona si trova nella totalità dei casi in zone di porto o frangiflutti.

ZONA 2033: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile alle spalle dell'abitato di Antignano.

ZONA 2037: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo non stratificato con pendenza dei versanti maggiore di 15°. Questa zona è concentrata al Porto dell'Isola di Gorgona.

ZONA 20038: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati con pendenza dei versanti maggiore di 15°. Questa zona, molto presente, è prevalentemente ubicata nelle aree di bordo della piana inondabile, sui versanti delle prime colline e a Gorgona.

ZONA 2039: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati con pendenza dei versanti maggiore di 15°. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano.

ZONA 2040: questa zona ricomprende tutte le situazioni con affioramento del substrato lapideo stratificato con pendenza dei versanti maggiore di 15°.

ZONA 2041: questa zona ricomprende tutte le situazioni con affioramento del substrato lapideo non stratificato con pendenza dei versanti maggiore di 15°.

ZONA 2042: questa zona ricomprende tutte le situazioni con affioramento del substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati con pendenza dei versanti maggiore di 15°.

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, quiescente e inattivo. 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 ($Z_{A_{LQ1}}$) 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}) $> 0,1g$.

Tali zone dovranno essere riviste, confermate o smentite dai successivi livelli di approfondimento.

ZONA 30122007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano. Fa parte di una frana per scorrimento attiva.

ZONA 30122036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da alternanze di litotipi. Fa parte di una frana per scorrimento attiva.

ZONA 30152003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30152036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva.

ZONA 30222001: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222004: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222006: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222009: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222010: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222014: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222033: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

ZONA 30222036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente.

- ZONA 30232001: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.
- ZONA 30232003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.
- ZONA 30232005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.
- ZONA 30232007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.
- ZONA 30232008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.
- ZONA 30232009: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.
- ZONA 30232011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.

ZONA 30232013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.

ZONA 30232033: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.

ZONA 30232034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.

ZONA 30232035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.

ZONA 30232036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente.

ZONA 30252003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252006: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato coesivo sovraconsolidato e stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30252036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente.

ZONA 30412036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana per crollo o ribaltamento ad attività non definita.

ZONA 30452002: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti.

ZONA 30452003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti.

ZONA 30452007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti.

ZONA 30452034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti.

ZONA 30452035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti.

ZONA 30452036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti.

ZONA 30502019: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 10 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Si trova al margine Nord-Est della piana e può presentare problematiche di liquefazione.

ZONA 30503021: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 m, sopra a argille e argille limose di spessore maggiore di 50 m. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende buona parte del territorio comunale nella zona della piana inondabile. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione.

ZONA 30503022: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 25 m, sopra a argille e argille limose di spessore maggiore di 50 m. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende buona parte del territorio comunale nella zona della piana inondabile. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione.

ZONA 30502024: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 5 metri, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile nella piana alluvionale e può generare fenomeni di liquefazione.

ZONA 30502025: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile nella piana alluvionale e può generare fenomeni di liquefazione.

ZONA 30502026: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 2 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 3 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra ad argille e argille limose di spessore di oltre 50 m. Questa zona è rilevabile nella piana alluvionale e può generare fenomeni di liquefazione.

ZONA 30503031: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 5 m, sopra a argille e argille limose di spessore tra 10 - 100 metri, sopra all'ipotetico substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende il bordo della valle alluvionale di raccordo con il versante. Visto l'approfondimento repentino del substrato in quest'area è molto probabile la presenza di un sistema di faglie dirette. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione.

ZONA 30503032: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 50 m, sopra a argille e argille limose di spessore tra 20 - 100 metri, sopra all'ipotetico substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende il bordo della valle alluvionale di raccordo con il versante. Visto l'approfondimento repentino del substrato in quest'area è molto probabile la presenza di un sistema di faglie dirette. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione.

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 (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0.33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0.33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0.33	Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0.50)	0.33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0.33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0.50)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0.25)	0.33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0.75)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Classe di affidabilità misure (Albarello 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. Puzilli - 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 a 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 68,64%; **Classe B**

Carta Geol-tec	0.99
Sond. DISTRUZIONE	0.22
Sond. Car. Cont.	0.77
Ind. Geofisiche	0.22
Altre prove	0.14
Frequenze di sito	0.41
FQ	68.64

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

Carta Geol-tec	0.99
Sond. Distruzione	0.16
Sond. Car. Cont.	0.00
Ind. Geofisiche	0.00
Altre prove	0.00
Frequenze di sito	0.25
FQ	34.96

-QUERCIANELLA: percentuale ottenuta 49,25%; **Classe C**

Carta Geol-tec	0.99
Sond. Distruzione	0.16
Sond. Car. Cont.	0.33
Ind. Geofisiche	0.16
Altre prove	0.08
Frequenze di sito	0.25
FQ	49.25

-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
A	≥ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	≤ 25%	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.

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 4.0b.

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 4.0b. 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 Dipartimento di Protezione Civile del Comune di Livorno è stata eseguita una campagna di misure di rumore ambientale mediante tecnica a stazione singola (HVSr) raccogliendo 65 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.). Poiché il livello 1 ha per obiettivo l'individuazione delle microzone a comportamento sismico omogeneo, tale carta costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. Nel caso specifico sono state identificate:

- **3 zone stabili** di affioramento del substrato, sia esso lapideo, lapideo stratificato e con alternanza di litotipi stratificati;

- **42 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. 2008. 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, quiescente e inattivo. 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 ($Z_{A_{LQ1}}$) 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.

In particolare, in fase di predisposizione del Livello 2 e 3 di Microzonazione Sismica, si propone il seguente piano di indagini integrativo:

- esecuzione di prove CPTu per la valutazione della liquefazione nella piana di Livorno e in tutte quelle zone dove abbiamo sedimenti granulari saturi;

- esecuzione di profili di velocità attraverso l'elaborazione in group velocity nelle zone di raccordo tra la piana alluvionale e le colline per la verifica tridimensionale dell'approfondimento repentino del substrato in questa zona.

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.
- Brozzetti 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.
- Martini 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. Pubb. 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 Regione Toscana;

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

Poggibonsi, 24.04.2018