



COMUNE DI PISA

Direzione Ambiente

U.O. Difesa del Suolo e Tutela delle Acque

Palazzo Pretorio – Vicolo del Moro, 2

1

# Microzonazione Sismica



**Dott. Geol. Marco Redini**  
Direzione Ambiente  
Comune di Pisa  
[ambiente@comune.pisa.it](mailto:ambiente@comune.pisa.it)

Con la supervisione del  
**Dott. geol. Carlo Meletti**  
INGV (Istituto Nazionale Geofisica  
e Vulcanologia)

febbraio 2018

PREMESSA.....	3
1 Individuazione del territorio oggetto di studio e illustrazione di come lo stesso è stato riprodotto .....	4
2 Quadro normativo sismico e sismicità storica del Comune di Pisa (elenco cataloghi terremoti).....	4
2.1 CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 .....	6
2.2 DOM 4.1 - Database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (GNDT 1997). .....	8
2.2.1 Storia della classificazione sismica del Comune di Pisa dal 1927 a oggi .....	10
3 Ricostruzione del modello geologico-tecnico del sottosuolo di riferimento.....	12
4 Elaborati cartografici .....	14
4.1 Carta delle indagini, dei dati di base e indagini geofisiche .....	14
4.2 Carta geologico-tecnico.....	16
4.3 Carta delle frequenze.....	17
4.4 Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica (MOPS).....	19
5 Pericolosità sismica.....	29
5.1 Individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido con una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna e una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso. ....	29
5.2 Individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi e tri-dimensionali.....	29
5.3 Presenza di faglie e/o strutture tettoniche. ....	29
5.4 Terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.....	30
5.5 Terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento .....	30
5.6 Valutazione degli effetti locali.....	32
6 Stima della qualità della carta della pericolosità sismica .....	34
7 Allegati.....	49

## PREMESSA

L'attuazione delle *direttive per le indagini geologiche del D.P.G.R. n.53/R/2011*, riguardante gli aspetti sismici ha comportato la redazione dei seguenti elaborati:

CARTA DEI DATI DI BASE;

CARTA DELLE FREQUENZE;

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (M.O.P.S.);

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.

La definizione delle MOPS e delle classi di pericolosità è il risultato di uno Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, come indicato al §. B.7 e §. C.5 dell'Allegato A delle direttive suddette, a cui si rimanda per maggiore dettaglio.

Il **livello 1 di Microzonazione Sismica** costituisce un livello propedeutico caratterizzato essenzialmente da una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e di ulteriori informazioni, finalizzata alla suddivisione del territorio in *microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico*. Pertanto, le finalità degli studi di microzonazione attraverso la rappresentazione degli elementi e delle situazioni di rischio e criticità riscontrate dal quadro conoscitivo messo a punto e dagli approfondimenti condotti mediante apposita campagna geofisica, sono quelle di:

- ✦ Ricostruire il modello del sottosuolo in via preliminare;
- ✦ Definire le tipologie degli effetti attesi;
- ✦ Individuare aree che necessitano di approfondimenti.

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di MS è rappresentato dagli *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS)*, 13/11/2008, approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, e opportunamente integrato dalle *Specifiche Tecniche Regionali per la Microzonazione Sismica Regionale*, Del. GR n. 261/2011.

Lo studio è stato realizzato in corrispondenza del centro abitato del territorio comunale di Pisa, in seguito ad accordi con gli uffici del Servizio sismico della Regione, secondo le specifiche di cui al paragrafo 1.B.1.2 delle istruzioni del Programma V.E.L. (Valutazione Effetti Locali) e secondo i criteri definiti al par.3.4.2 degli ICMS.

La presente relazione tecnica descrive pertanto nel dettaglio tutti gli elementi caratterizzanti gli elaborati che costituiscono lo *studio di microzonazione di primo livello*, indicandone le metodologie di indagine, i processi di elaborazione e di analisi ed infine i risultati prodotti e le eventuali problematiche ai fini del rischio sismico, in ottemperanza a quanto prescritto nella del. n. 741 del 6/08/2012.

La CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA - scala 1:10.000, che rappresenta il principale elaborato del livello 1, individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.).

Per la valutazione preliminare degli effetti locali o di sito, ai fini della riduzione del rischio sismico, è stata posta particolare attenzione ai seguenti aspetti:

- ✦ Individuazione del territorio oggetto di studio e illustrazione di come lo stesso è stato riprodotto;
- ✦ Quadro normativo sismico e sismicità storica del Comune di Pisa (elenco cataloghi terremoti);
- ✦ Ricostruzione del modello geologico-tecnico del sottosuolo di riferimento;
- ✦ Individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido con una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna e una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso.
- ✦ Individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi e tri-dimensionali.
- ✦ Presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
- ✦ Terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali;
- ✦ Terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento.

## 1 Individuazione del territorio oggetto di studio e illustrazione di come lo stesso è stato riprodotto

La carta MOPS è stata realizzata per buona parte del territorio comunale più o meno urbanizzato, con esclusione della sola porzione occupata dal Parco di Migliarino S. Rossore. Le zone circoscritte hanno avuto la finalità di differenziare quanto più possibile situazioni geologico-stratigrafiche del sottosuolo della pianura di Pisa, in relazione a comportamenti di risposta sismica non simili.

È evidente che l'attendibilità delle informazioni ricavabili dalla Carta sarà quanto più alta, quanto più il quadro conoscitivo utilizzato, sarà stato denso di informazioni geognostiche e geofisiche disponibili ed affidabili. È comunque attraverso la messa in atto della procedura per la *stima del livello di qualità* che potrà essere poi compresa la necessità di ricorrere o meno a successivi approfondimenti di indagine.

La carta è stata redatta sia in formato cartaceo che vettoriale (GIS), sulla base delle indicazioni fornite dagli ICMS, dalle *Specifiche Tecniche Regionali per la Microzonazione Sismica Regionale*, Del. GR n. 261/2011.

## 2 Quadro normativo sismico e sismicità storica del Comune di Pisa (elenco cataloghi terremoti)

Gli effetti locali prodotti da eventi sismici assumono una diversa rilevanza in funzione della sismicità di base del territorio comunale e della relativa accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 confermava il comune di Pisa in Zona 2. Successivamente l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'**accelerazione orizzontale massima (ag)** su suolo rigido e pianeggiante atteso con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni; il Comune di PISA risultava classificabile in **ZONA 3** - *Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti, caratterizzata da valori dell'accelerazione orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0.05 e 0.15 g.*

La classificazione è stata aggiornata con la delibera di Giunta Regionale n. 431 del 19/06/2006 che recepiva le indicazioni dell'OPCM 3519/2006. Da quel momento il comune di Pisa è posto in zona 3. Con la nuova mappa di aggiornamento della classificazione sismica

regionale, Del. GRT n. 421 del 26/05/2014<sup>1</sup>, ai sensi del DPGR 22/10/2012, n. 58/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 117, comma 2, lettera g) della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica.", il territorio comunale è stato confermato in ZONA 3.

A partire dalle nuove Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008, attualmente aggiornate con il D.M 22 marzo 2018, non è più attribuibile a tutto il territorio comunale di PISA (definito di Zona 3 "a bassa sismicità") un unico valore dell'accelerazione di base, come precedentemente indicato per i territori ricadenti in Zona 3, ma è necessario valutare caso per caso i possibili effetti di amplificazioni dell'input sismico (locali condizioni stratigrafiche e topografiche). Infatti la stima della **pericolosità sismica**, intesa come *accelerazione massima orizzontale su suolo rigido* (ovvero caratterizzato da velocità delle onde sismiche trasversali  $V_s > 800$  m/sec), viene ad essere definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più come "zona dipendente": ossia, una volta definite le coordinate del sito interessato dal progetto, attraverso la griglia di accelerazioni (calcolate per un tempo di ritorno di 475 anni) delle *Mappe di Pericolosità Sismica Nazionale*, di cui all'Allegato A del D.M. 14 Gennaio 2008, si perverrà, tramite media pesata, ad un *valore specifico di accelerazione*.

Come già detto l'accelerazione in superficie può tuttavia subire anche notevoli fenomeni di amplificazione dalle condizioni stratigrafiche e morfologiche di sito. È proprio attraverso le indagini di Livello 1, previste dagli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)* - Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e Regioni – Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – sett. 2008, che si giunge, mediante un'analisi ed una valutazione integrata di tutti gli elementi geologico-stratigrafici e morfologici, supportate anche da indagini geofisiche e geotecniche disponibili o all'uopo eseguite, al riconoscimento qualitativo di aree ove possono verificarsi effetti locali o di sito.

Mentre la quantificazione di tali effetti sarà compiuta nei successivi livelli di indagine previsti dagli ICMS, ovvero il Livello 2 ed il Livello 3.

La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito era già stata contemplata in ambito normativo regionale con l'emanazione del regolamento regionale 26/R del 2007 attraverso la realizzazione della carta ZMPSL (Carta delle Zone a Maggior Pericolosità Sismica Locale).

L'OPCM 3907/2010 e il nuovo regolamento regionale 53/R in sostituzione di quello suddetto, hanno reso necessario un approfondimento ed una metodologia degli studi e delle indagini per adeguare il *quadro conoscitivo* ai requisiti della Microzonazione Sismica di Livello 1.

Con lo scopo di comprendere la classe sismica assegnata al comune PISA, è stata eseguita una ricerca degli eventi storici registrati nel territorio comunale, all'interno dei cataloghi sismici pubblicati da vari enti di ricerca.

I Cataloghi consultati sono:

- ✦ **CPTI15**- *Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani*. Rappresenta ad oggi il catalogo di riferimento più completo e affidabile.

<sup>1</sup> In precedenza: allegato 1 (elenco dei comuni) e allegato 2 (mappa) della deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519 /2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della DGRT 431/2006";

- ✦ **CFTI4 med** - *Catalogo dei forti terremoti in Italia tra il 461 a.C. ed il 1997 e nell'area Mediterranea tra il 760 a.C. ed il 1500*. Contiene tutti i terremoti italiani aventi intensità epicentrale di grado VIII o superiore e una selezione dei terremoti più piccoli (in totale 1257 terremoti).
- ✦ **DOM 4.1** - *Database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (GNDT 1997)*. Non si tratta di un vero e proprio catalogo ma di un data-base delle osservazioni macrosismiche contenente circa 37.000 osservazioni su circa 10.000 località per 904 terremoti; da tale elaborato deriva la *Carta delle Massime Intensità macrosismiche* (vedi Fig.1) per ogni comune italiano.

## 2.1 CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015

*Catalogo dei terremoti italiani di riferimento utilizzato per gli studi di pericolosità sismica in Italia. Data di rilascio 29 luglio 2016. Finestra temporale 1000 – 2014. N. di terremoti 4584, a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.*

Questo catalogo fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014. Per la gran parte dei terremoti italiani, oltre all'indicazione dei parametri epicentrali, è riportata la distribuzione degli effetti macrosismici prodotti nelle località per le quali sono disponibili queste informazioni, classificate secondo la scala MCS. Considerando tutte le informazioni disponibili per una località, si ottiene la sua storia sismica.

Tab. 1 - Storia sismica di Pisa [43.716, 10.401] - Numero di effetti riportati in catalogo: 80

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
7-8	1117 01 03 15:15	Monti Pisani	5		
5-6	1168 01 10	Pisa	1	5-6	4.40
5-6	1322	Pisa	1	5-6	4.40
HF	1348 01 25	Alpi Giulie	89	9	6.63
NF	1349 09 09 08:15	Viterbese	9		
6	1414 08 07	Colline Metallifere	8	7-8	5.70
5-6	1481 02 06 21:15	Monti Pisani	4	5-6	4.40
6-7	1536 08 17 00:05	Appennino settentrionale	10	6-7	5.12
4-5	1542 06 13 02:15	Mugello	46	9	6.02
4	1730 03 29 00:05	Versilia	4	4	3.70
5	1740 03 06 05:40	Garfagnana	32	8	5.64
5	1742 01 27 11:20	Livornese	16	6	4.87
F	1746 07 23 18:15	Garfagnana	10	7	5.15
6-7	1767 01 21 07:45	Lunigiana	10	7	5.27
4	1767 01 21 09	Lunigiana	7	5-6	4.60
F	1771 01 08 03:30	Livorno	2	5-6	4.40
3	1775 01 04 18	Appennino emiliano	6	4	4.43
F	1775 01 05 22:45	Appennino emiliano	7	5	4.55
6-7	1814 04 03	Costa pisano-livornese	4	6-7	5.12
F	1843 10 25 03:30	Mugello	17	6-7	5.03
7	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6.04
3	1849 11 28 18	Val di Taro	7	6	4.63

3-4	1871 07 29 20:45	Val di Cecina	14	7-8	5.15
3-4	1873 03 12 20:04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
4-5	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
4-5	1878 09 10 13:31	Lunigiana	12	6-7	4.98
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	1887 11 14 05:48	Fiorentino	101	6	4.47
3	1891 06 07 01:06	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87
4	1895 05 18 19:55	Fiorentino	401	8	5.50
3	1895 08 07 19:49	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
2	1897 07 27 09:02	Valdarno inferiore	33	5-6	4.27
4	1897 09 06 03:10	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4	1898 03 04 21:05	Parmense	313	7-8	5.37
4	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
3	1901 10 30 14:49	Garda occidentale	289	7-8	5.44
4	1902 03 05 07:06	Garfagnana	83	7	4.98
4	1902 08 04 22:36	Lunigiana	60	6	4.78
3	1903 07 27 03:46	Lunigiana	79	7-8	5.19
3	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6	4.81
4	1904 06 10 11:15	Frignano	101	6	4.82
4	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.10
4	1909 01 13 00:45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
NF	1909 08 25 00:22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
2	1914 01 15 03:27	Livornese	25	5	4.33
6	1914 10 27 09:22	Lucchesia	660	7	5.63
2	1915 01 13 06:52	Marsica	1041	11	7.08
3	1916 05 17 12:50	Riminese	132	8	5.82
F	1916 08 16 07:06	Riminese	257	8	5.82
5	1919 06 29 15:06	Mugello	565	10	6.38
6-7	1920 09 07 05:55	Garfagnana	750	10	6.53
NF	1920 10 06 22:47	Mantovano	19	4-5	4.14
3-4	1924 06 12 21:03	Frignano	25	5-6	4.46
2	1925 03 15 17:15	Appennino tosco-emiliano	16	4	4.10
4	1930 05 24 22:02	Appennino tosco-emiliano	43	5	4.91
3	1937 12 10 18:04	Frignano	28	6	5.30
4-5	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7	4.96
4	1939 10 31 06:47	Lunigiana	19	5-6	4.85
2	1950 04 01	Livornese	15	6	4.99
4	1951 08 12 21 19	Garfagnana	21	5	4.59
2	1960 10 29 00:08	Mugello	69	7	4.91
F	1963 07 19 05:46	Mar Ligure	412		5.95
4	1969 01 06 22:03	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
2-3	1970 08 19 12:19	Colline Metallifere	26	6	4.68
5	1972 10 25 21:56	Appennino settentrionale	198	5	4.87
F	1976 09 15 09:21	Friuli	54	8-9	5.95
4	1980 06 07 18:35	Garfagnana	102	6-7	4.64
F	1980 12 23 12:01	Piacentino	69	6-7	4.57
3	1982 09 01 15:33	Valle del Serchio	47	5-6	4.21
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.04
4	1984 04 22 17:39	Costa pisano-livornese	39	6	4.61
4	1984 05 01 22:14	Costa pisano-livornese	16	5	3.89
3	1985 01 23 10:10	Garfagnana	73	6	4.60



3-4	1987 01 22 05:10	Costa pisano-livornese	157	5-6	4.15
3-4	1988 02 08 13:36	Frignano	43	5	4.28
3-4	1995 10 10 06:54	Lunigiana	341	7	4.82
3	1996 10 15 09:55	Pianura emiliana	135	7	5.38
4	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6	5.24
3-4	2004 11 24 22:59	Garda occidentale	176	7-8	4.99
4	2008 12 23 15:24	Parmense	291	6-7	5.36

Legenda [per l'area del catalogo]	
Data	Data del terremoto
Ax	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto
Np	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
Io	Intensità macrosismica epicentrale, da <u>CPTI15</u> , espressa in scala MCS, Mercalli – Cancani - Sieberg
Mw	Magnitudo momento, da <u>CPTI15</u>
I[MCS]	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Con le lettere si esprimono effetti generici non classificabili con i gradi della scala MCS. F=felt (avvertito); NF=not felt (non avvertito); HF=heavy felt (avvertito fortemente).

Dal catalogo si osserva che non sono stati rilevati forti terremoti (si intende con magnitudo superiore a 5) con epicentri localizzati nel territorio comunale di PISA e gli epicentri dei sismi catalogati si collocano essenzialmente in area appenninica. In particolare, il terremoto del 1920 in Garfagnana-Lunigiana (Mw 6,53, il più forte terremoto di tutto l'Appennino settentrionale), che peraltro rappresenta l'area sismogenetica più vicina, è stato tra quelli che hanno prodotto i massimi risentimenti di cui si abbia memoria storica nella città di PISA, con *Intensità, I*, espressa in scala MCS, di VI-VII. Altri eventi da ricordare sono quelli del 1846, con epicentro nella zona di Orciano Pisano e magnitudo stimata pari a 6,04, che nella città di Pisa ha prodotto effetti pari al VII grado della scala MCS (si ricorda il crollo della navata centrale della chiesa di San Michele in Borgo). Infine il terremoto del 1117 (magnitudo non definibile) avrebbe prodotto effetti fino all'VIII grado della scala MCS; in questo caso però le informazioni storiche sono molto scarse ed incerte e non si può escludere una qualche esagerazione (lo stesso giorno un evento sicuramente distruttivo colpì il Veneto e in particolare Verona). E' bene evidenziare che la scala macrosismica MCS è definita in modo che gli effetti che producono un danno lieve corrispondono al VI grado, valore raggiunto e superato 8 volte in 1000 anni nella città di Pisa.

## 2.2 DOM 4.1 - Database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (GNDT 1997).



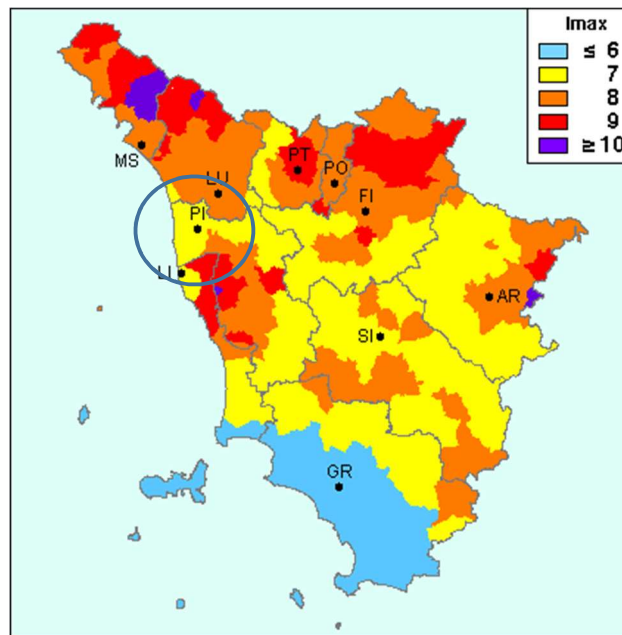


Fig.1 - Carta delle Massime Intensità macrosismiche

Sulla base del contenuto del Database delle osservazioni macrosismiche disponibili all'epoca, nel 1996 è stata prodotta la mappa delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani. L'elaborazione è stata effettuata per il Dipartimento della Protezione Civile a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise con la collaborazione di C. Meletti, S. Mirena, G. Monachesi, G. Morelli, L. Peruzza, A. Zerga, nel marzo 1996. Il documento non è aggiornato con i dati attuali, ma in ogni caso non si hanno evidenze di effetti macrosismici superiori al VII grado MCS dall'anno 1000 in poi.

Massime intensità macrosismiche osservate nella provincia di Pisa

Comune	Lat	Lon	Imax
BIENTINA	43.71013	10.62026	7
BUTI	43.72721	10.58782	7
CALCI	43.72654	10.51567	7
CALCINAIA	43.68312	10.61561	7
CAPANNOLI	43.58547	10.67577	8
CASALE MARITTIMO	43.29673	10.61672	8
CASCIANA TERME	43.52532	10.61782	9
CASCINA	43.67659	10.54906	8
CASTELFRANCO DI SOTTO	43.69888	10.74479	7
CASTELLINA MARITTIMA	43.41156	10.57544	8
CASTELNUOVO DI VAL DI CECINA	43.20779	10.90563	7
CHIANNI	43.48578	10.64279	8
CRESPINA	43.57035	10.56354	9
FAUGLIA	43.57000	10.51462	9
GUARDISTALLO	43.31214	10.63274	9
LAJATICO	43.47370	10.72844	8
LARI	43.56650	10.59258	8
LORENZANA	43.53625	10.53490	9
MONTECATINI VAL DI CECINA	43.39171	10.74990	8
MONTESCUDAIO	43.32542	10.62566	9
MONTEVERDI MARITTIMO	43.17613	10.71479	7

MONTEPOLI IN VAL D'ARNO	43.67041	10.76046	7
ORCIANO PISANO	43.49310	10.51052	>=10
PALAIÀ	43.60418	10.77044	7
PECCIOLI	43.54671	10.72054	9
PISA	43.71596	10.40082	7
POMARANCE	43.29897	10.87428	7
PONSACCO	43.61970	10.63306	8
PONTEDERA	43.66087	10.63460	8
RIPARBELLA	43.36396	10.59937	8
SAN GIULIANO TERME	43.76262	10.44145	7
SAN MINIATO	43.67938	10.84902	7
SANTA CROCE SULL'ARNO	43.71224	10.77983	7
SANTA LUCE	43.47193	10.56584	9
SANTA MARIA A MONTE	43.69796	10.69315	7
TERRICCIOLA	43.52363	10.67720	8
VECCHIANO	43.78131	10.38741	7
VICOPISSANO	43.69917	10.57698	7
VOLTERRA	43.40199	10.85906	7

### 2.2.1 Storia della classificazione sismica del Comune di Pisa dal 1927 a oggi

CLASSIFICAZIONE ATTUALE Del. G.R.T. n°421 del 26 maggio 2014 (attuazione Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008)

CLASSIFICAZIONI PRECEDENTI		
Regio Decreto 13 marzo 1927 n°431		n.c.
Regio Decreto 25 marzo 1935 n°640		n.c.
Regio Decreto 22 novembre 1937 n°2105		n.c.
Legge 25 novembre 1962 n°1684		n.c.
Decreto Ministeriale 19 marzo 1982		2
Ord. P.C.M. n°3274 20 marzo 2003 Del. G.R.T. n°604 16 giugno 2003		2
Ord. P.C.M. n°3519 28 aprile 2006 Del. G.R.T. n°431 19 giugno 2006		3S
Del. G.R.T. n°878 8 ottobre 2012		3
ATTUALE		
Del. G.R.T. n°421 26 maggio 2014		3

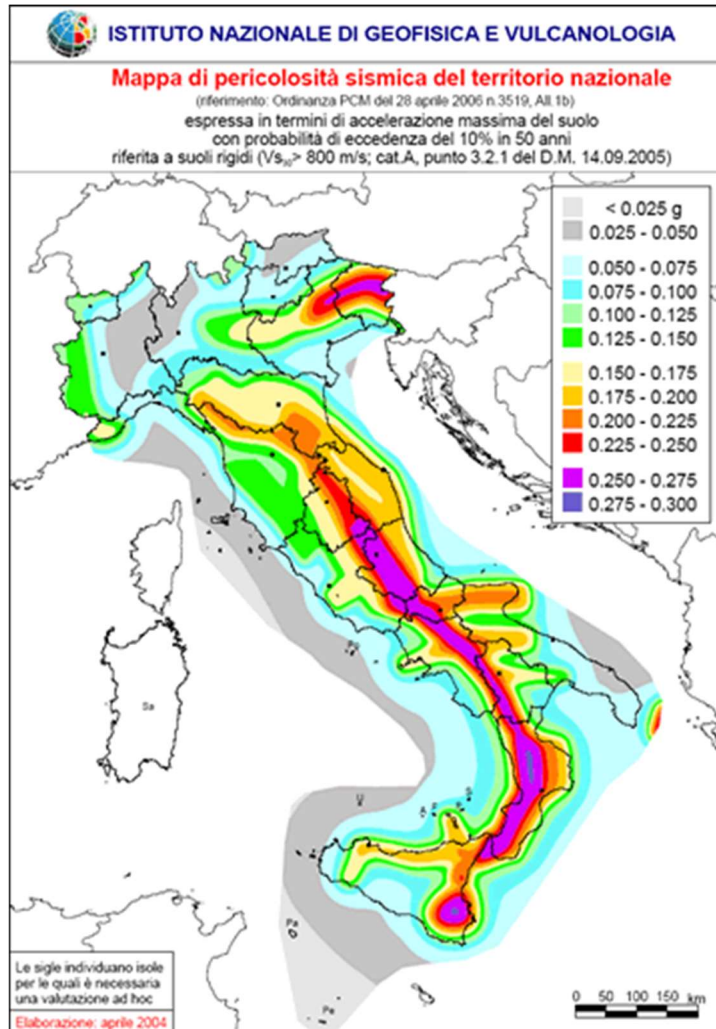
Nel 2003 con OPCM n° 3274, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003), si è giunti finalmente all'entrata in vigore della nuova Classificazione Sismica del Territorio Italiano. La classificazione prevede che tutto il territorio nazionale sia classificato sismico, istituisce la zona 4 per le aree a minore pericolosità sismica.

La regione Toscana con D.G.R.T. n. 751 del 28 luglio 2003 recepisce la nuova classificazione, secondo la quale il territorio del Comune di PISA viene confermato in zona sismica 2.

Successivamente, la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile approva, nella seduta del 6 aprile 2004, la nuova Mappa di Pericolosità sismica del Territorio Nazionale, che con l'OPCM n° 3519 del 28 aprile 2006 diventerà la mappa di riferimento nazionale per la classificazione sismica dei comuni italiani.

La Regione Toscana con la DGR n. 431 del 19/06/2006 recepisce le indicazioni dell'OPCM n° 3519 e pone il comune di Pisa in zona 3.

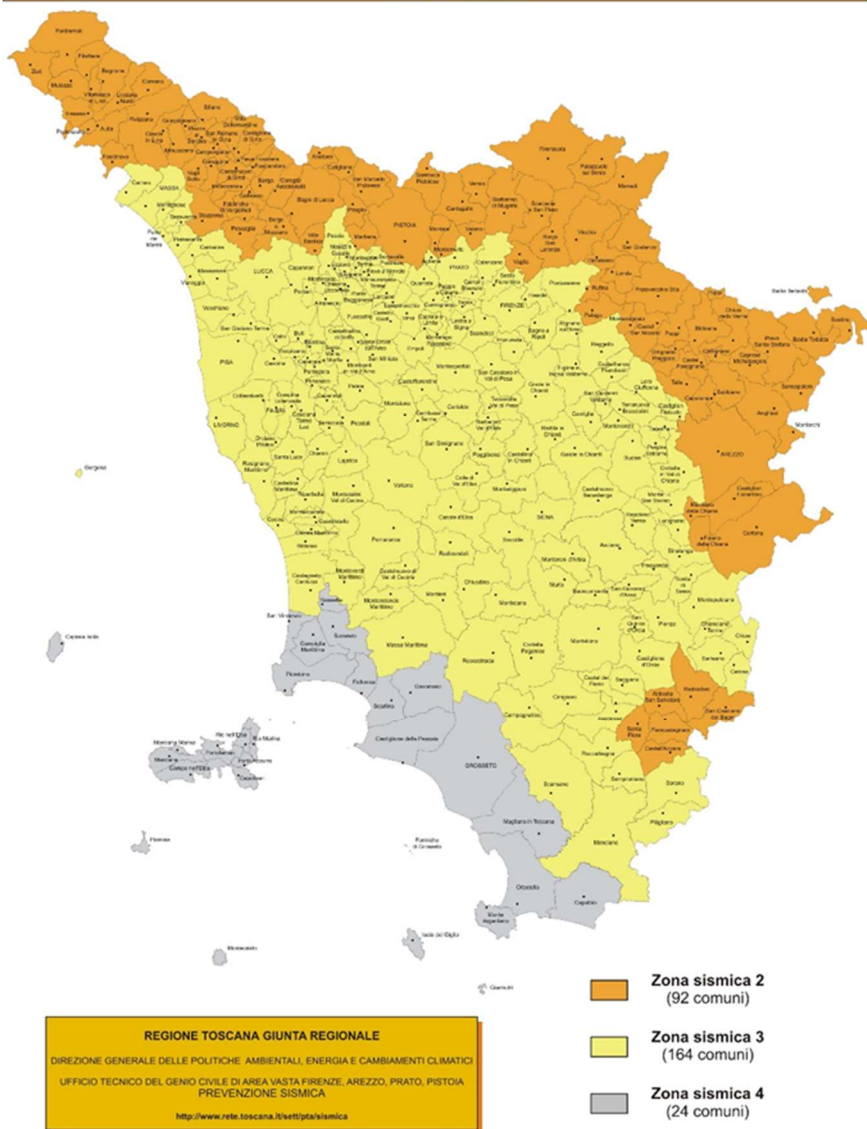
Successivamente la mappa di pericolosità verrà recepita nelle nuove *Norme tecniche per le costruzioni del 2008*, aggiornate attualmente con D.M. del 22 marzo 2018, quale riferimento per la definizione dell'azione sismica.



Infine, la Regione Toscana con del. della GRT n°421 del 2014, confermando la stessa Zona di riferimento per il comune di PISA, introduce una nuova mappatura con l'unico intento di disciplinare le modalità di controllo dei progetti.

**DELIBERA GRT n. 421 del 26/05/2014**

Aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008 - Revoca della DGRT 431/2006" e cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (DGRT 841/2007)



### 3 Ricostruzione del modello geologico-tecnico del sottosuolo di riferimento

Il modello geologico di riferimento è quello che scaturisce dagli studi prodotti nell'ambito della convenzione Comune di Pisa - Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa 2009-2010 "Aggiornamento della carta geologica, geomorfologica e del tetto delle argille compressibili contenute nel piano strutturale del Comune di Pisa e realizzazione di un archivio digitale 2D e 3D". È infatti ad esso che si rimanda per una sua comprensione di maggior dettaglio.



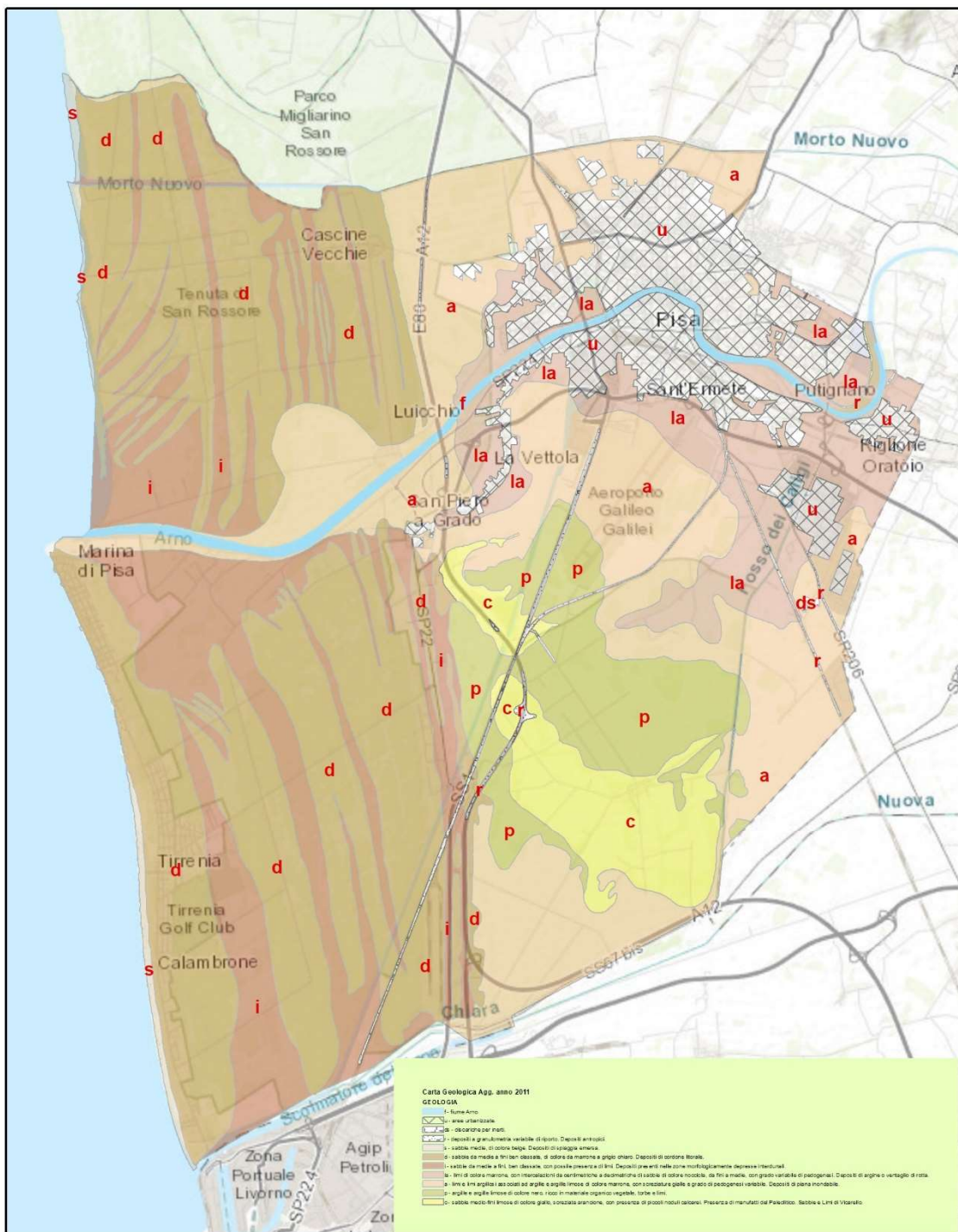


Fig. 1 Carta Geologica aggiornamento. 2011

L'evoluzione geologica della Pianura di Pisa inizia con la fase distensiva miocenica in cui si ha lo sblocchettamento attraverso faglie normali della catena Appenninica in precedenza formata. Molte sono le depressioni tettoniche che si configurano verso il Mar Tirreno, tra queste si delinea il graben della pianura di Pisa, delimitato a Nord dal Monte Pisano e a Sud dai Monti Livornesi e quelli di Casciana Terme.

Da qui in poi i fattori che influenzano l'evoluzione della Pianura di Pisa sono legati alle vicende deposizionali ed erosive dei due importanti fiumi che l'attraversano (Arno e Serchio) e alle variazioni glacio-eustatiche del livello del mare. L'esplicarsi dei suddetti processi determina di fatto una notevole eterocità tra depositi marini, fluviali e fluvio-lacustri; questi ultimi dovuti a

fenomeni di impaludamento della piana alle spalle del sistema dei lidi costieri (MAZZANTI & RAU, 1994).

Questi sedimenti continentali e marini, il cui spessore arriva fino a 2000 metri ca. sono stati suddivisi da approfonditi studi di geomorfologia sulla Pianura di Pisa (DELLA ROCCA B., MAZZANTI R. & PRANZINI E., 1987) in “substrato profondo”, “substrato intermedio” e “substrato superiore”.

Nonostante le scarsissime informazioni dirette (pochi pozzi profondi e rilievi sismici) il *substrato profondo* è riferibile alle formazioni **pre-mioceniche** affioranti sulla catena appenninica; quello *intermedio* comprende invece i sedimenti del complesso neoautoctono, prevalentemente di facies marina, che dal **Miocene superiore** fino a tutto il **Pleistocene inferiore**, determinano progressivamente il colmamento del graben.

Il *livello di sedimenti superiore* comprende i sedimenti del **Pleistocene medio** e **sup.** fino a quelli **olocenici**. Alla sua formazione, riconducibile essenzialmente alle oscillazioni del livello del mare per eustatismo glaciale, concorrono, nel **Pleistocene superiore**, i *Conglomerati dell’Arno e del Serchio da Bientina*. Questi depositi, come conseguenza di un forte abbassamento del livello marino e di un forte trasporto fluviale, sono ben riconoscibili dalle stratigrafie di molti pozzi che lo sfruttano come acquifero e lo intercettano in quasi tutta la pianura tra i 15 e 150÷160 metri dal p.c...

I depositi più recenti, **tardo-Quaternari**, della pianura possono essere ricondotti ad una profonda incisione, con andamento circa coincidente con quello attuale dell’Arno che taglia i primi 40/60 metri dei depositi fini di origine estuarina. Questa fase fluviale culmina con un abbassamento del livello marino di circa 120m. *L’incisione valliva, larga circa 4 Km, è stata successivamente riempita, in regime trasgressivo relativo all’ultimo ciclo glaciale - interglaciale, da circa 35 m di depositi estuarini* (G. Sarti 2009-2010).

A riempimento completato, dopo la massima ingressione della linea di costa, intorno ai 7.000 anni B.P. che ha inondato anche tutte le aree di argine rimaste in emersione, è iniziata la fase di stazionamento alto del livello del mare con progressiva costruzione della pianura, ad opera dell’Arno e del Serchio, fino alla sua attuale conformazione (AMOROSI et al.,2008).

## 4 Elaborati cartografici

### 4.1 Carta delle indagini, dei dati di base e indagini geofisiche

Per predisporre della carta dei dati di base si è fatto riferimento ai dati presenti:

nella banca dati delle indagini geognostiche che il Comune negli anni ha costituito, all’interno di questo archivio sono presenti i dati del Servizio geologico d’Italia (ISPRA), “indagini del sottosuolo” i dati acquisiti negli anni dalla ex Provincia di Pisa settore Difesa del Suolo ed i dati presenti nella banca dati indagine geomatiche (BDIG) della regione Toscana,

La carta delle indagini è stata realizzata mediante tecnologia GIS, riportando su base topografica tutte le prove presenti nel database: Sono stati distinti graficamente gli elementi puntuali e lineari e ad ogni prova è stato assegnato un simbolismo funzione della tipologia di indagine.

Nell’analisi di qualità è stata verificata la distribuzione sul territorio delle varie indagini. Tutti i dati sono pubblicati sul sito del Comune di Pisa.

Il totale dei dati disponibili sul territorio comunale ammonta a 1775 comprensivi delle 100 indagini (HSRV) effettuate specificamente per la microzonazione sismica

Elementi Puntuali	
CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	571
CPTE - Prova penetrometrica statica con punta elettrica	2

CPTU - Prova penetrometrica statica con piezocono	72
DH - Prova sismica in foro tipo Downhole	15
DL - Prova penetrometrica dinamica leggera (*)	92
DP - Prova penetrometrica dinamica pesante	7
DS - Prova penetrometrica dinamica super pesante	2
HVSR - Stazione microtremore a stazione singola	100
PA - Pozzo per acqua	477
S - Sondaggio a carotaggio continuo	248
SC - Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni	73
SCPT - Prova penetrometrica con cono sismico	2
SD - Sondaggio a distruzione di nucleo	1
SDMT - Dilatometro sismico	1
SP - Sondaggio con piezometro	19
T - Trincea o pozzetto esplorativo	10
Elementi lineari	
ERT - Tomografia elettrica	7
MW – MASW	58
PR - Profilo di resistività	6
REMI - Prova REfractionMicrotremors	2
SEV - Sondaggio elettrico verticale	2
SR - Profilo sismico a rifrazione	8

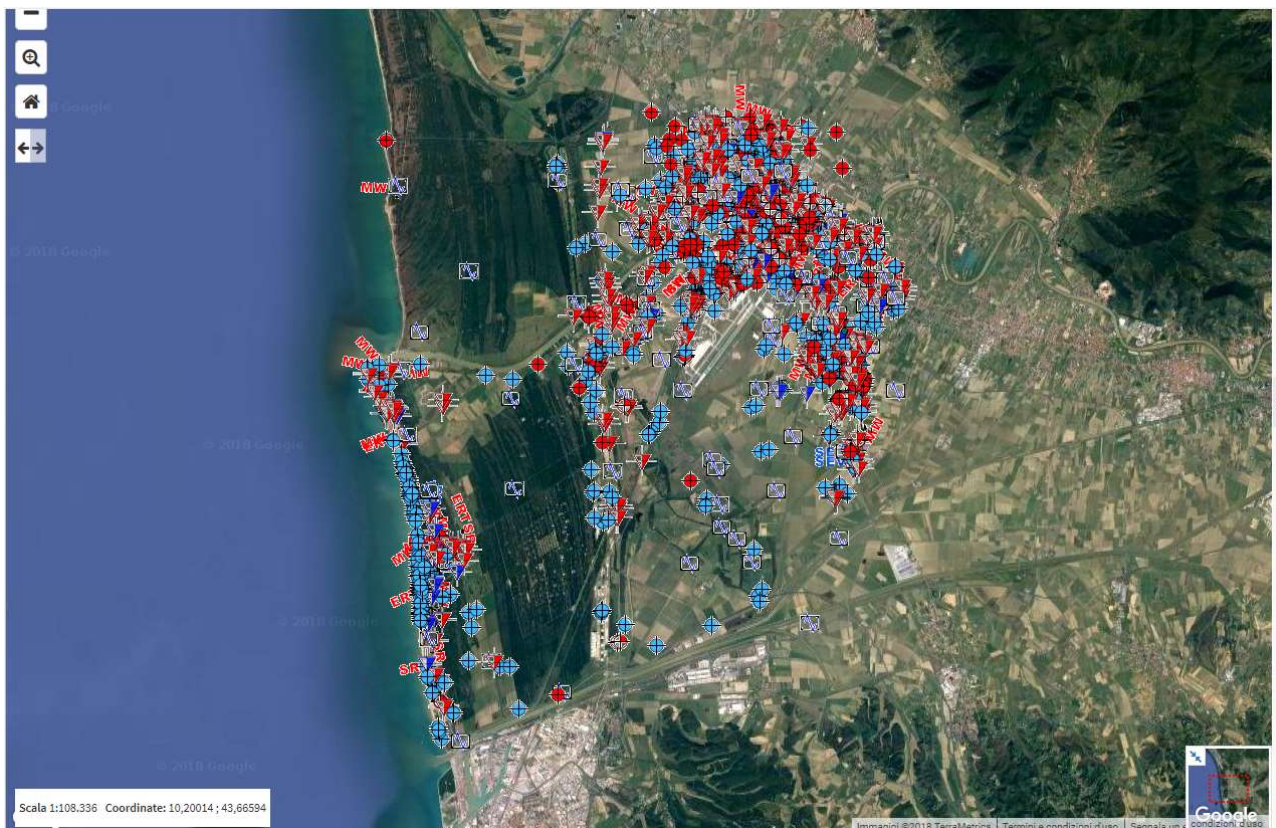


Fig. 2 Carta Dati di Base



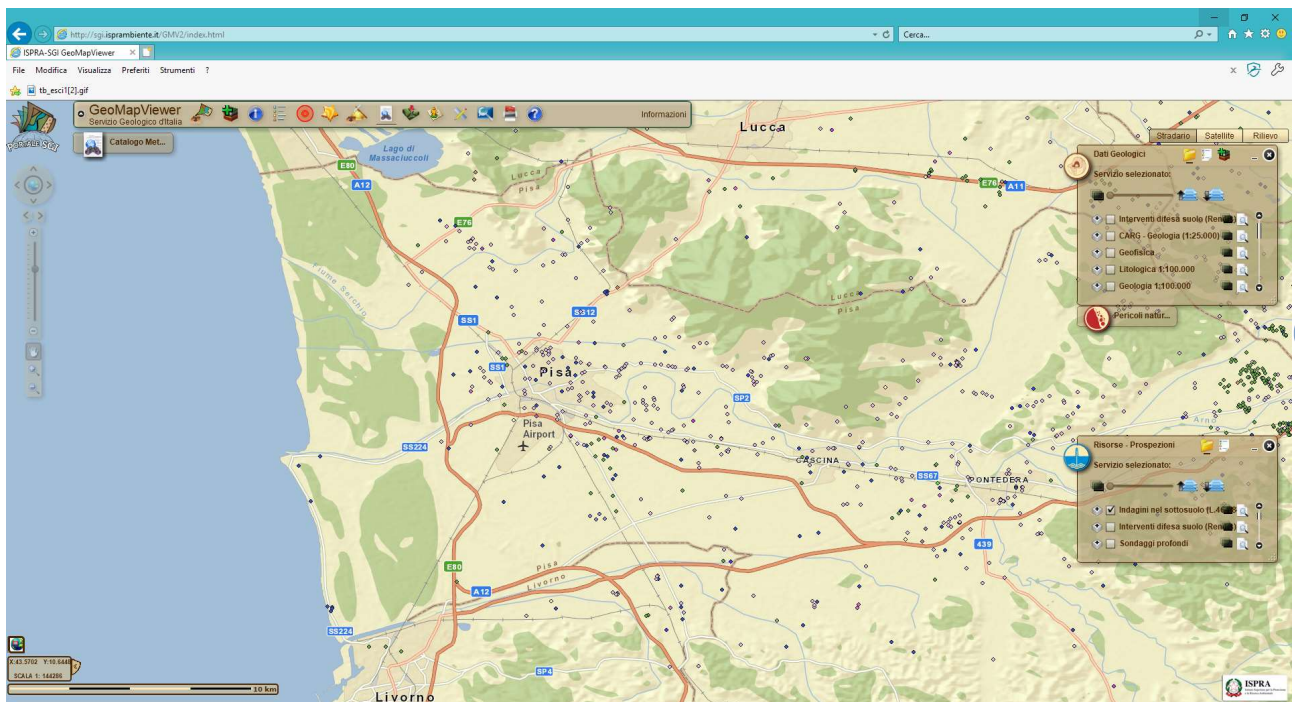


Fig. 3 Archivio Indagini del sottosuolo (ISPRA)

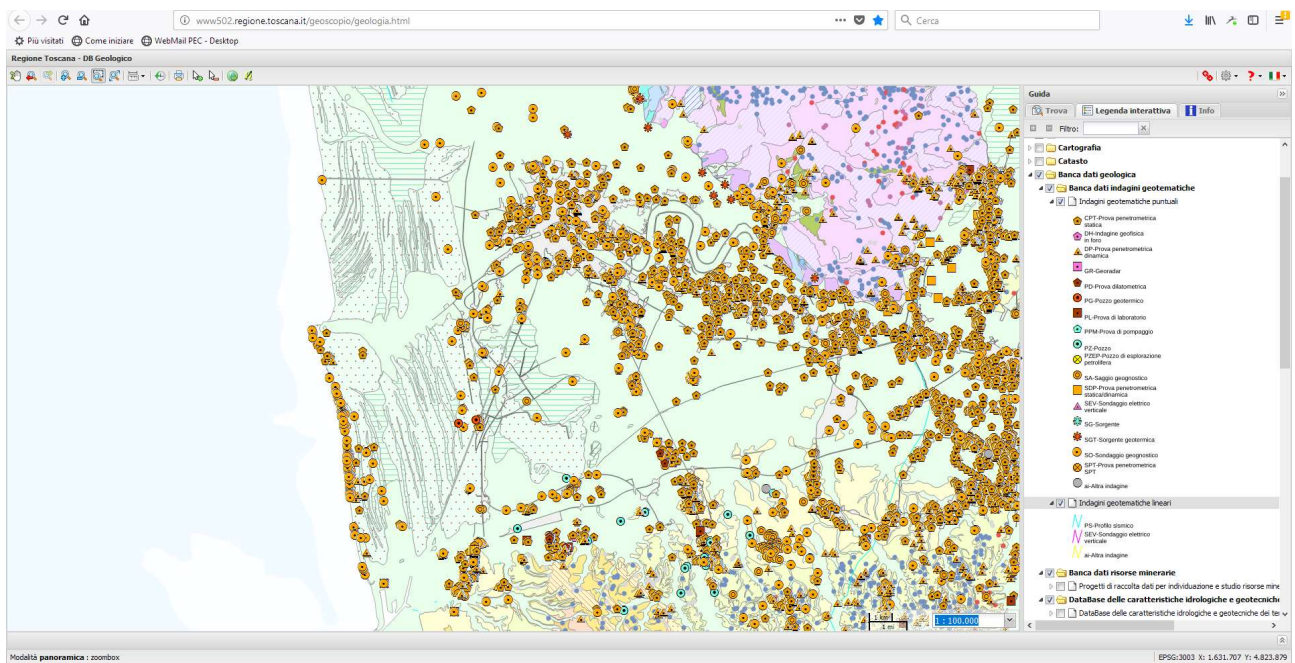


Fig. 4 Banca dati indagini geotematiche (BDIG) regione Toscana

#### 4.2 Carta geologico-tecnica

Si basa sulla revisione dettagliata delle cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti negli Strumenti Urbanistici Comunali, degli studi geologici regionali (programma VEL e progetto CARG), integrata da approfondimenti svolti a scala locale tramite rilievo di controllo e dell'analisi dei numerosi dati di base a disposizione.

La carta geologico-tecnica è stata realizzata sia in formato cartaceo che digitale (GIS) ed è stata pubblica via web-GIS sul sito del Comune di Pisa. La simbologia utilizzata è quella prevista dagli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" emanati dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica istituita con l'OPCM 3907/2010

Per una semplice lettura delle condizioni litostratigrafiche dei terreni analizzati, si riporta di seguito la descrizione delle principali tipologie di coperture presenti nell'area di studio:

- ❖ SM Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
- ❖ OL Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
- ❖ SW Sabbie pulite e ben assortite

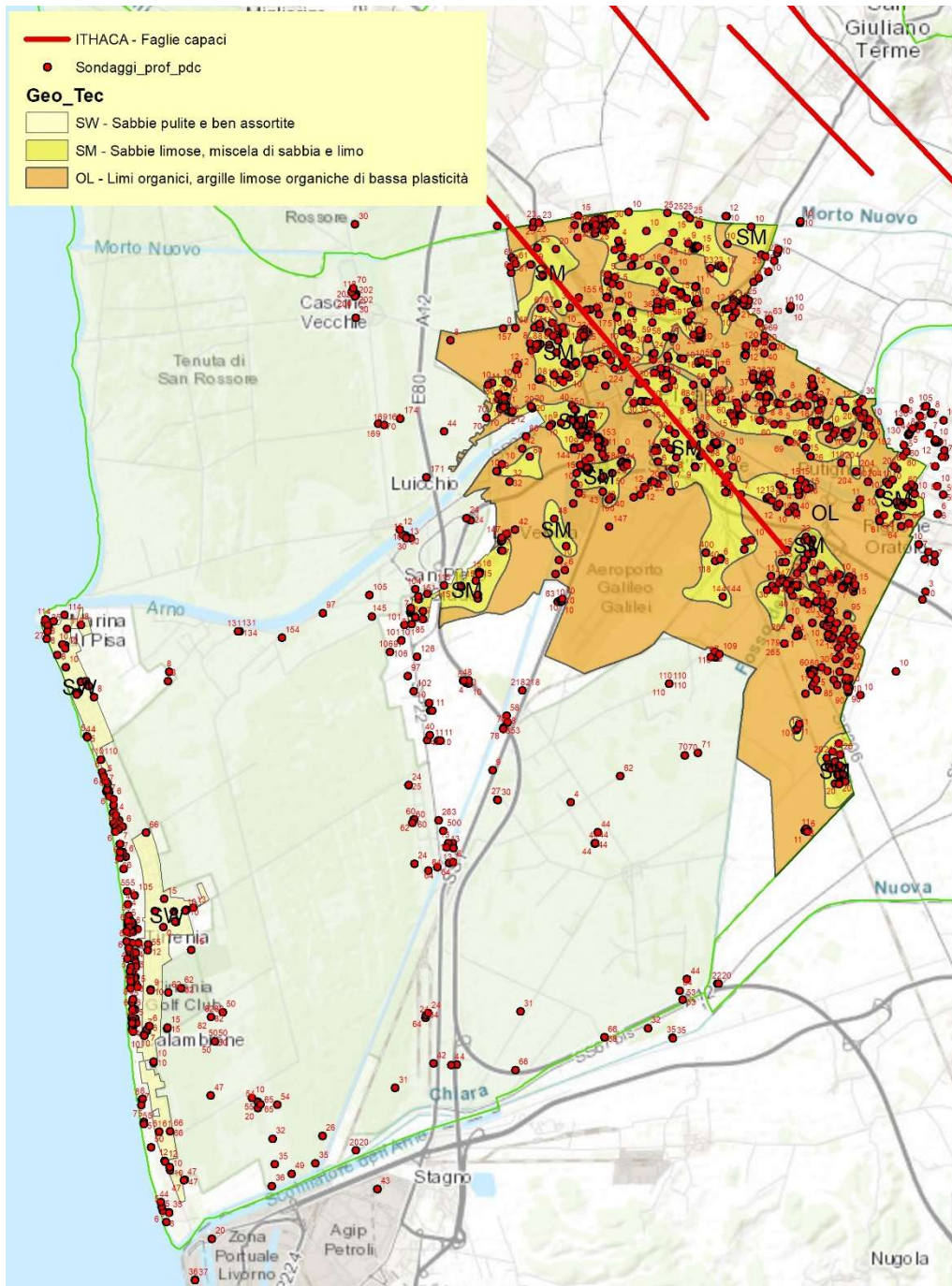


Fig. 5 Carta geologica-tecnica

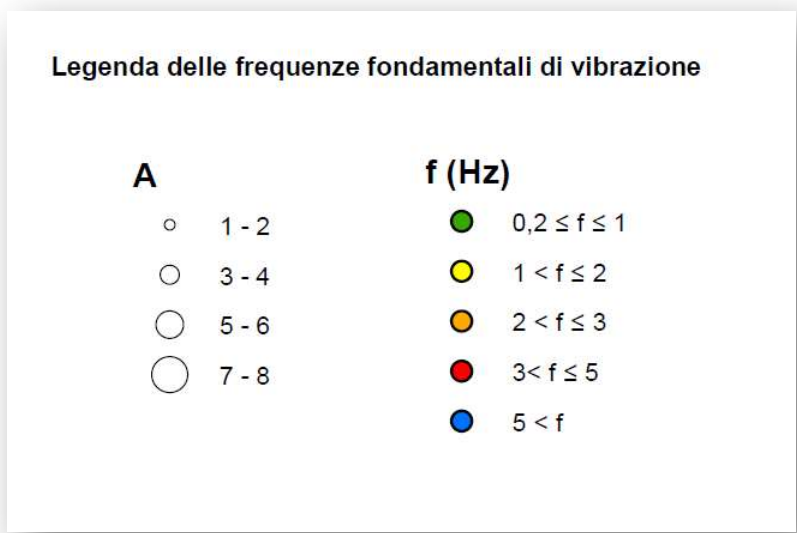
#### 4.3 Carta delle frequenze



Nel contesto delle indagini di supporto alla MS di Livello 1 sono state eseguite misure di sismica passiva a stazione singola per l'applicazione del metodo HVSR, con i relativi valori delle frequenze fondamentali ( $f_0$ ) e dell'ampiezza dei picchi fondamentali ( $A_0$ ).

Lo scopo di tale indagine è stato quello di individuare qualitativamente zone caratterizzate o meno da fenomeni di risonanza significativi e quelle caratterizzate da alti contrasti di impedenza.

L'elaborato "Carta delle frequenze" è costituito da una base topografica, in scala 1:10.000, su cui sono state riportate le misure di rumore con cerchi di raggio funzione del massimo valore di H/V. I colori indicano i range di frequenza in cui ricadono. In particolare, sono stati scelti i seguenti intervalli:



Nella tabella che segue (tratta da Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011) è riportata una correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata e lo spessore delle coperture.

Tab. 1 Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $f_0$ ) determinate dalle misure H/V.

$F_0$ [Hz]	h [m]
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Sulla base di questa tabella è possibile ottenere una indicazione di larga massima sulla profondità dello strato risonante.

È inoltre possibile ottenere una stima più accurata utilizzando la formula sopra riportata ( $f_0 = V_s/(4H)$ ) che correla la frequenza di risonanza con la velocità  $V_s$  e lo spessore delle coperture.

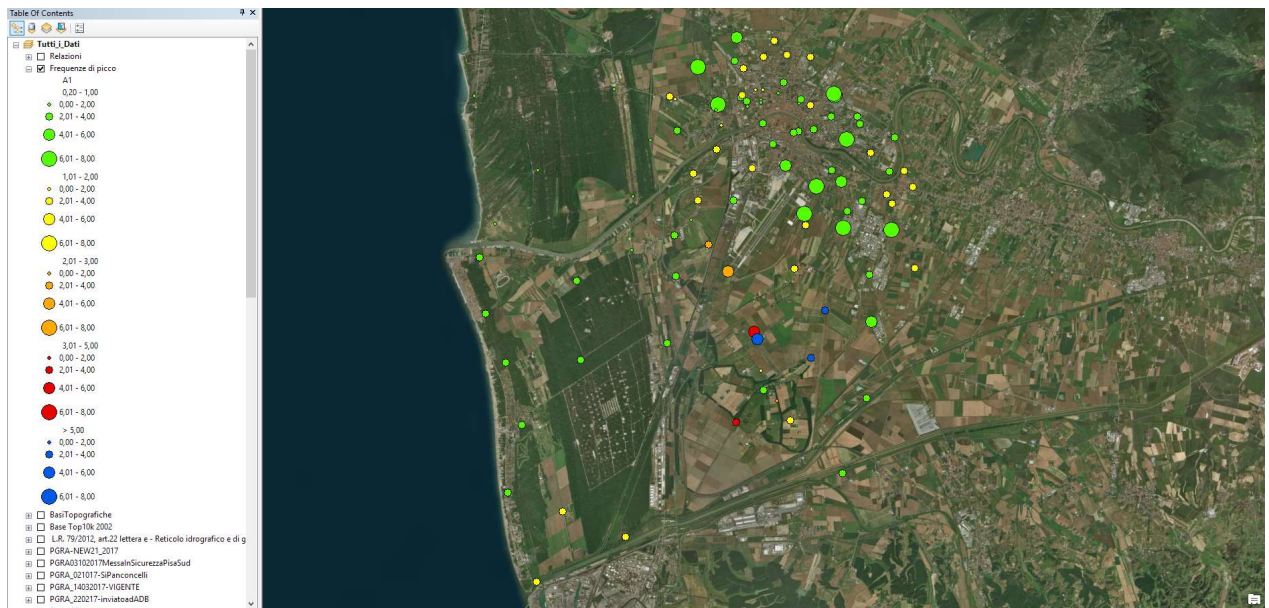


Fig. 6 Tav. 11.C Carta delle frequenze

In tutto il territorio sono state eseguite 100 misure di rumore. I criteri per la localizzazione dei punti di misura sono stati:

- ✚ ottenere una distribuzione omogenea sul territorio
- ✚ correlazione con i principali litotipi presenti nell'area in esame, in modo da poter associare ad ogni orizzonte sismo-stratigrafico una specifica frequenza di risonanza
- ✚ associazione con indagini geofisiche e geognostiche esistenti, in modo da poter verificare la corrispondenza tra misure diverse

I risultati ottenuti in parte hanno confermato o integrato le conoscenze preesistenti. I risultati ottenuti sono riportati integralmente nell'allegato.

#### 4.4 Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica (MOPS)

Lo studio di MS di livello 1 è funzionale alla pianificazione urbanistica nella misura in cui consente scelte mirate e idonee ad assicurare la riduzione del rischio sismico.

Inoltre, permette di identificare le aree per le quali non sono richiesti studi di approfondimento.

In particolare, le analisi che si effettuano in aree alluvionali, operano con lo scopo di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ✚ caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ✚ caratterizzazione del substrato geologico, quando presente a profondità indagabili;
- ✚ definizione di eventuali forme geomorfologiche di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.
- ✚ ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico (cedimenti differenziali e diffusi).

Questi obiettivi nel caso specifico sono stati perseguiti con la distinzione in cartografia di n. 6 tipologie di zone stratigrafiche distinte e di n. 1 zona riferibile a tratti di numerosi paleoalvei sia dell'Arno sia del Serchio, ottenuti sulla base di studi di fotointerpretazione e di immagini da satellite (forme sepolte).

La delimitazione convenuta è comunque da considerare un'indicazione preliminare fortemente limitata e condizionata dai dati disponibili e dal processo interpretativo degli stessi. Pertanto, è da ritenere che le stesse zone possano includere anche zone d'influenza dei possibili fenomeni geologici considerati.

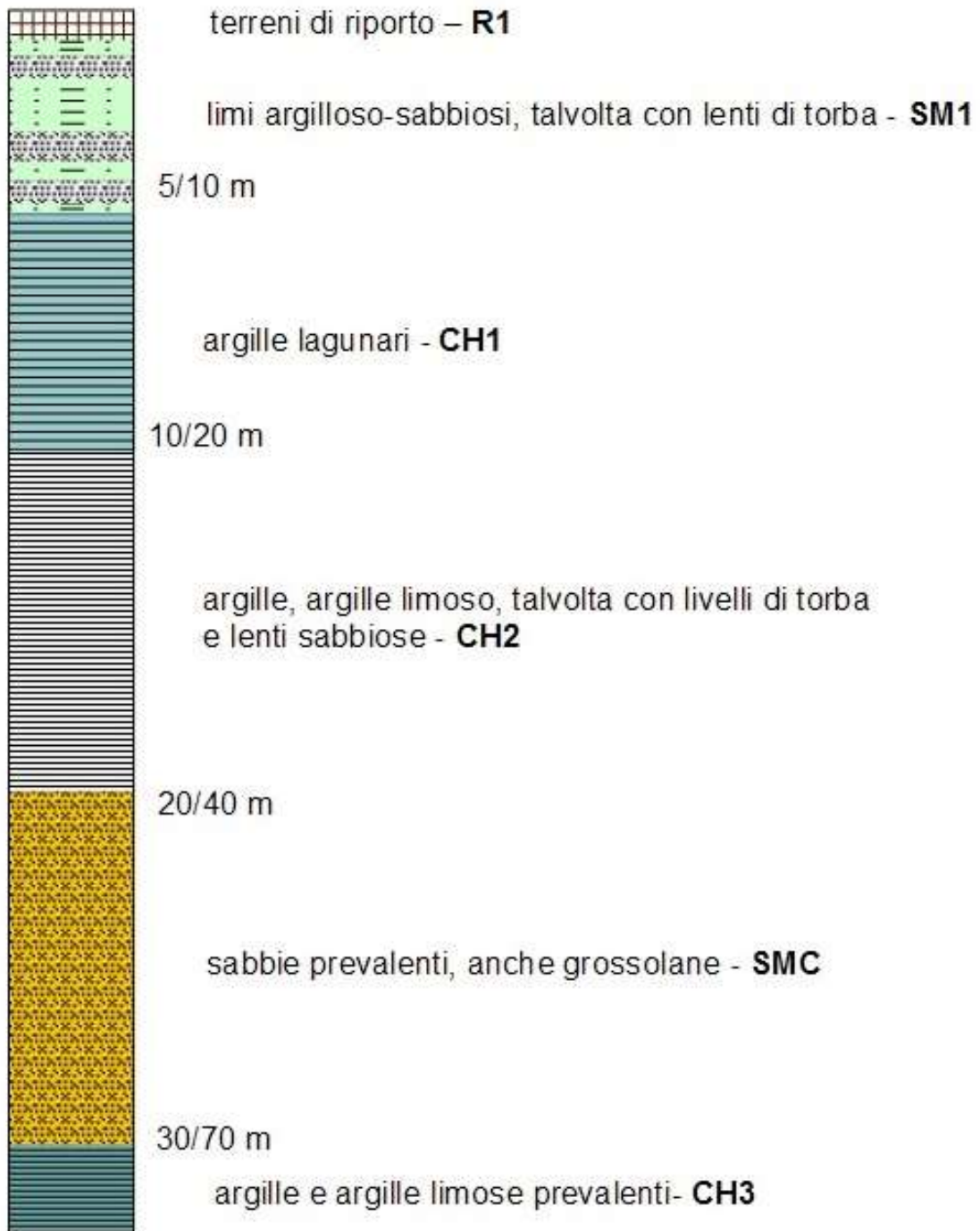
Nel dettaglio, le aree cartografate ai fini della microzonazione sismica, sono state individuate sulla base sia dei recenti studi di aggiornamento della carta geologica del comune di Pisa, sopra detti, sia in riferimento alla banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche fruibile dal web <http://www.comune.pisa.it/it/ufficio-scheda/21001/Piano-Strategico-dell-Area-Pisana.html>. L'insieme di queste informazioni litostratigrafiche, strutturali e geotecniche hanno consentito l'individuazione di n. 6 Zone distinte., così descrivibili:

- ✦ Z1
- ✦ SM1 Limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati, con spessori da 0 a 10 m;
- ✦ CH1 su argille prevalenti con livelli di torbe poco consistenti (argille lagunari), con spessori da 10 a 15 m,
- ✦ CH2 argille, argille limoso-sabbiose consolidate (con base dello strato tra 20-40 metri),
- ✦ SMC sabbie, anche grossolane, addensate, con ghiaie e ciottoli, (con base dello strato tra 30-70 metri);
- ✦ CH3 argille e argille limose
- ✦ Z2
- ✦ SM1 limi argilloso-sabbiosi da sciolti a mediamente addensati, con spessori da 0 a 10 m,
- ✦ CH1 argille prevalenti con livelli di torbe poco consistenti (argille lagunari), con spessori da 10 a 15 m,
- ✦ SMC ciottoli, ghiaie e sabbie da mediamente addensate ad addensate (con base dello strato tra 30-40 metri);
- ✦ CH3 argille e argille limose
- ✦ Z3
- ✦ OL limi ed argille prevalenti con livelli di torbe da molli a mediamente consistenti,
- ✦ CH1 argille prevalenti poco consistenti (argille lagunari), con spessori complessivi da 0 a 25 m,
- ✦ CH2 argille, argille limoso-sabbiose consolidate (con base dello strato tra 20-60 metri);
- ✦ SMC ciottoli, ghiaie e sabbie da mediamente addensate ad addensate (con base dello strato tra 50-60 metri);
- ✦ CH3 argille e argille limose
- ✦ Z4
- ✦ OL limi ed argille prevalenti con livelli di torbe da molli a mediamente consistenti,
- ✦ CH1 argille prevalenti poco consistenti (argille lagunari), con spessori complessivi da 0 a 25 m,
- ✦ SMC ciottoli, ghiaie e sabbie da mediamente addensate ad addensate (con base dello strato tra 50-60 metri);
- ✦ CH3 argille e argille limose
- ✦ Z5
- ✦ SM2 Limi sabbioso-argillosi e sabbie limoso-argillose da sciolte a mediamente addensate, con intercalazioni di sabbie, talvolta anche grossolane con ghiaie,

- ✦ **CH1** argille prevalenti con livelli di torbe **poco consistenti** (argille lagunari), con spessori da 10 a 15 m,
- ✦ **CH2** argille, argille limoso-sabbiose **consolidate** (con base dello strato tra 20-35 metri),
- ✦ **SMC** ciottoli, ghiaie e sabbie **da mediamente addensate ad addensate** (con base dello strato tra 30-60 metri).
- ✦ **Z6:**
- ✦ **SW** Sabbie di ambiente costiero da **sciolte a mediamente addensate**, con spessori da 0 a 15-20 m,
- ✦ **SM3**, sabbie limose e limi sabbiosi **da mediamente addensate ad addensate**, con base dello strato tra i 45-50 m,
- ✦ **SM4**, sabbie prevalenti **addensate** alternate a livelli di argille **molto consistenti**

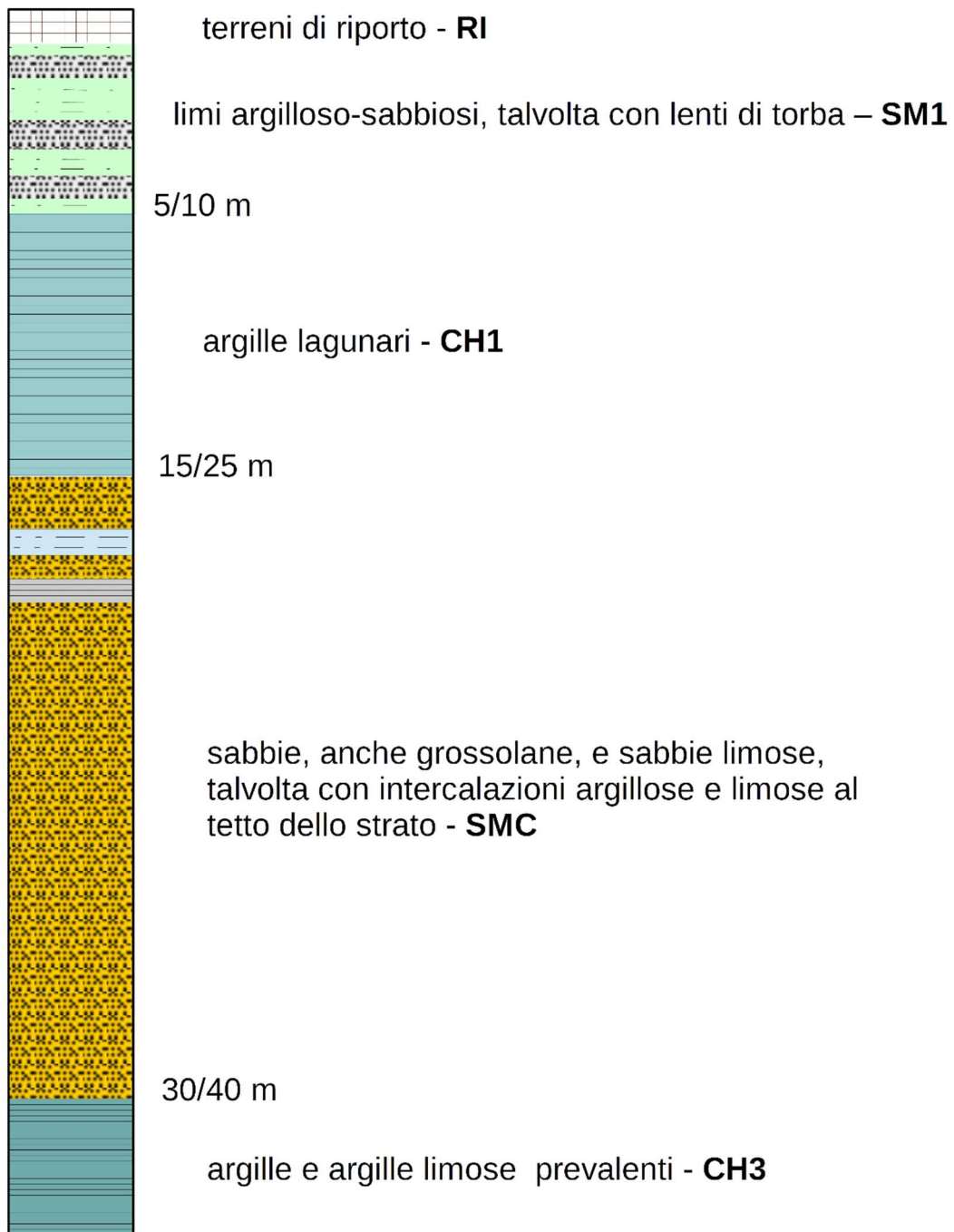
Con la sigla **R1** nelle stratigrafie di riferimento è stato indicato *riporto eterogeneo* con spessori variabili tra 0 e 5 m sulle successioni tipo Z1, Z2, Z3, Z4 e Z5.

# Zona 1

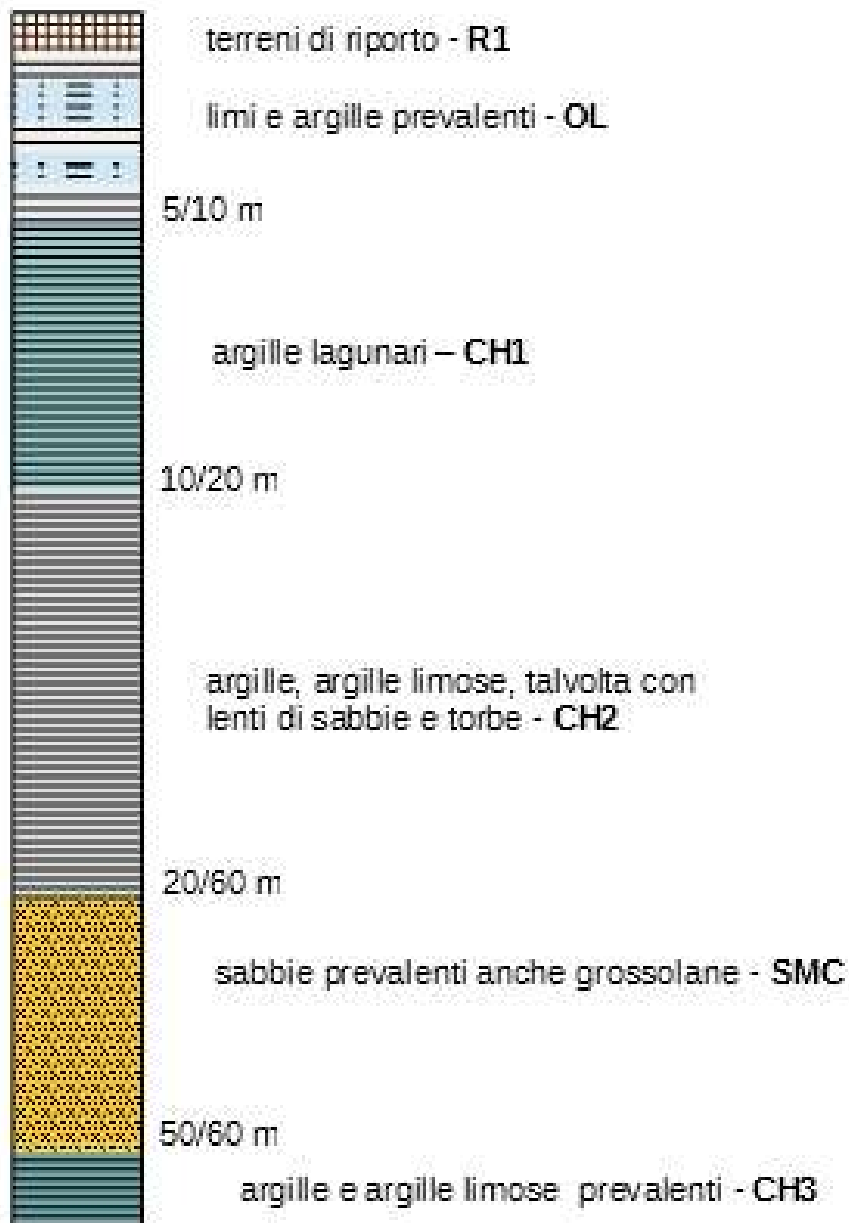




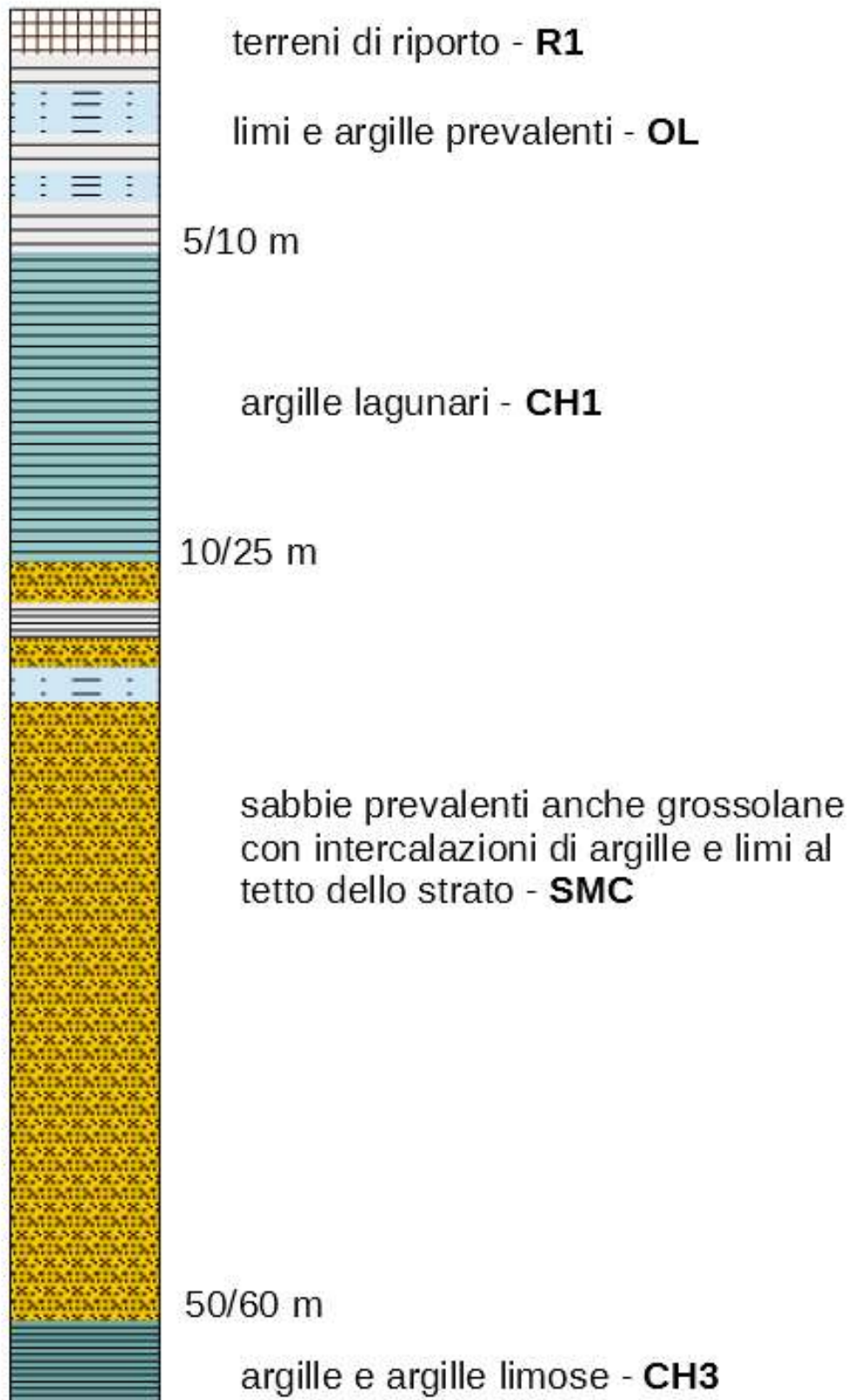
## Zona 2



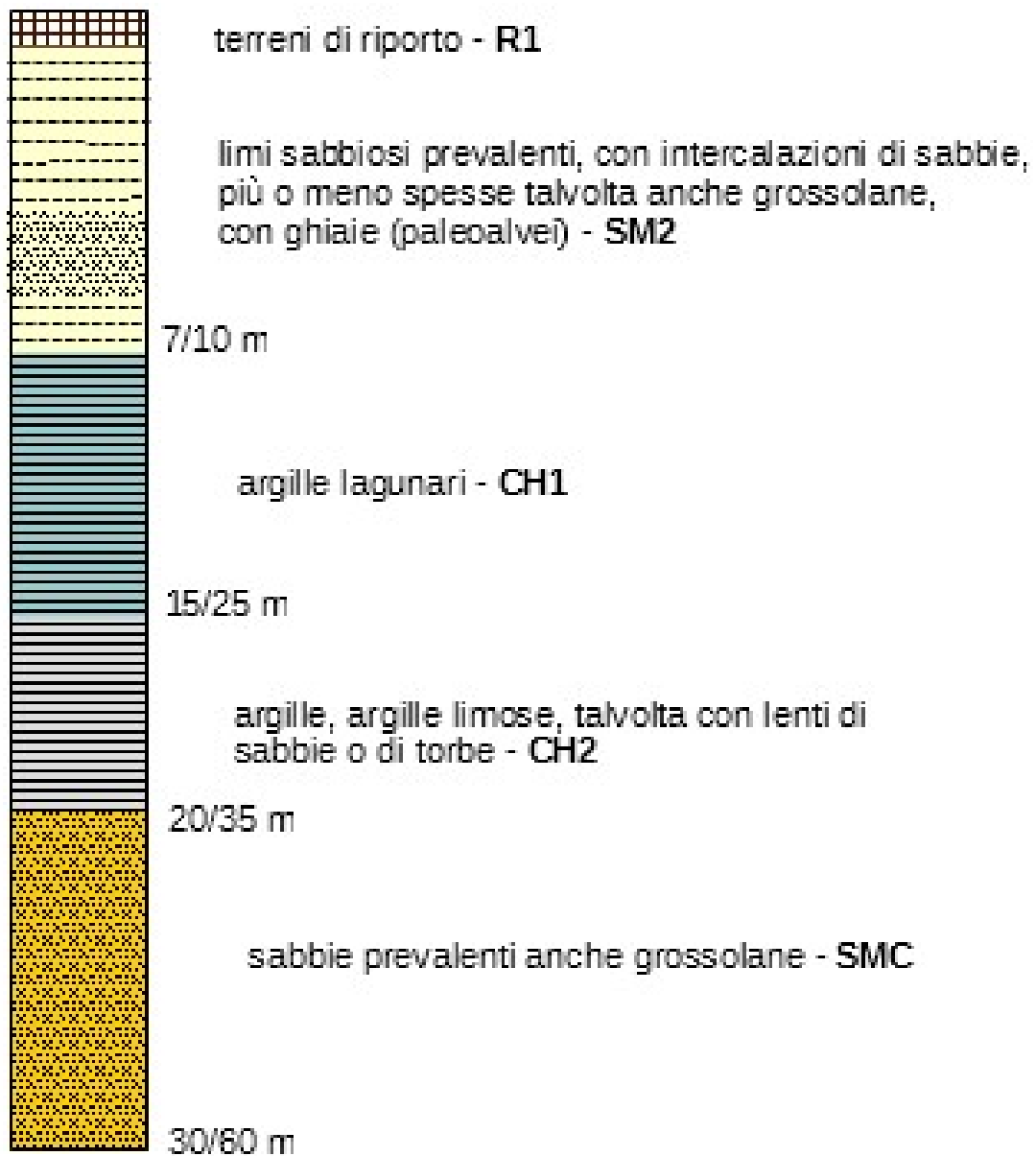
## Zona 3



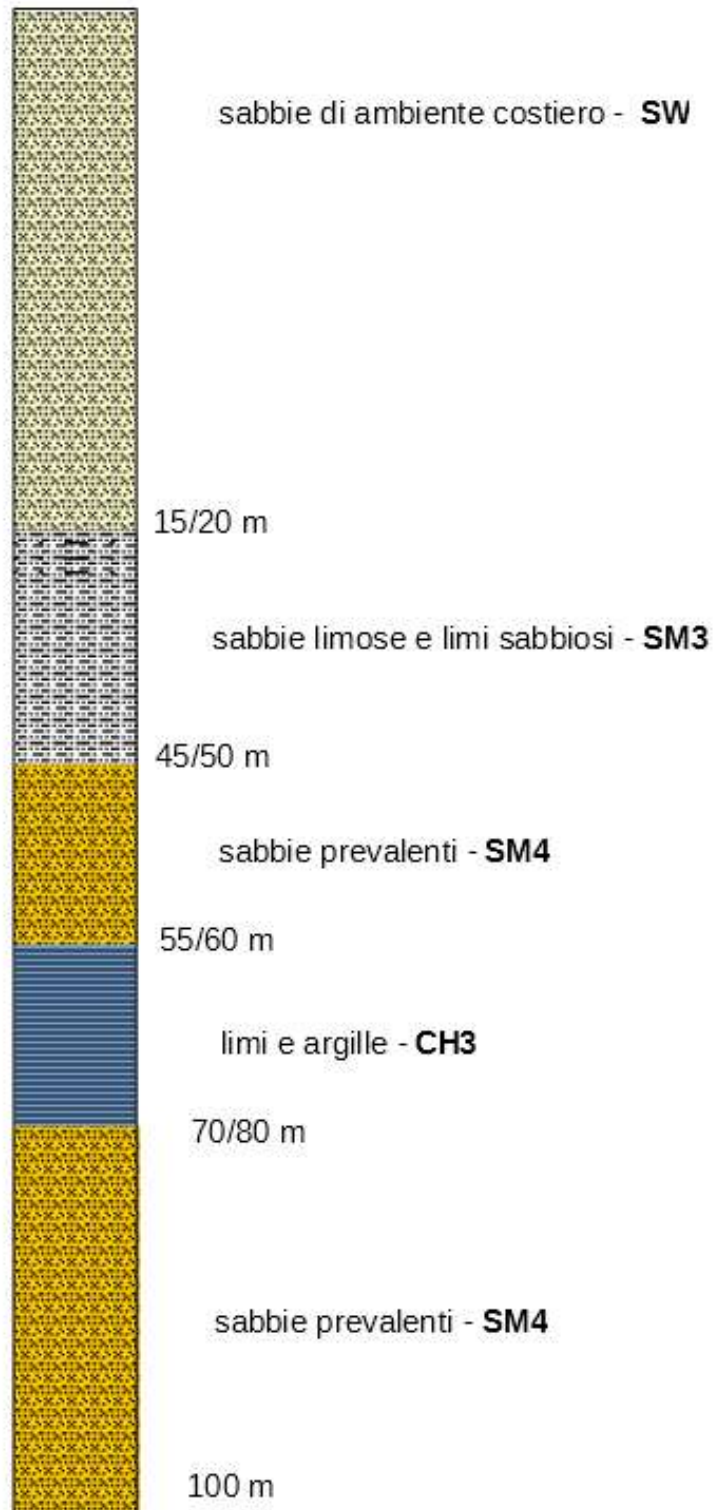
# Zona 4



## Zona 5



## Zona 6



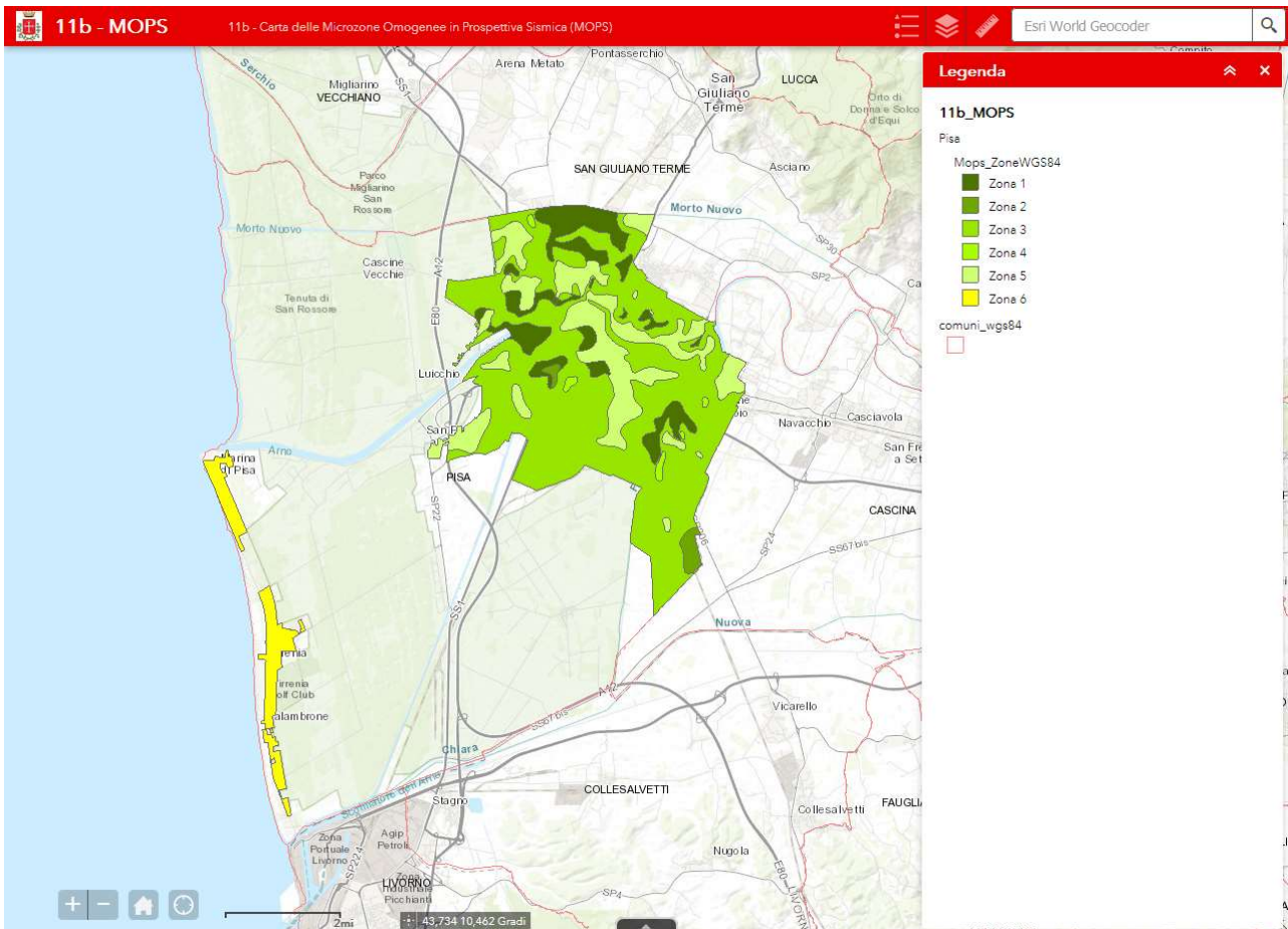


Fig. 7 Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.);

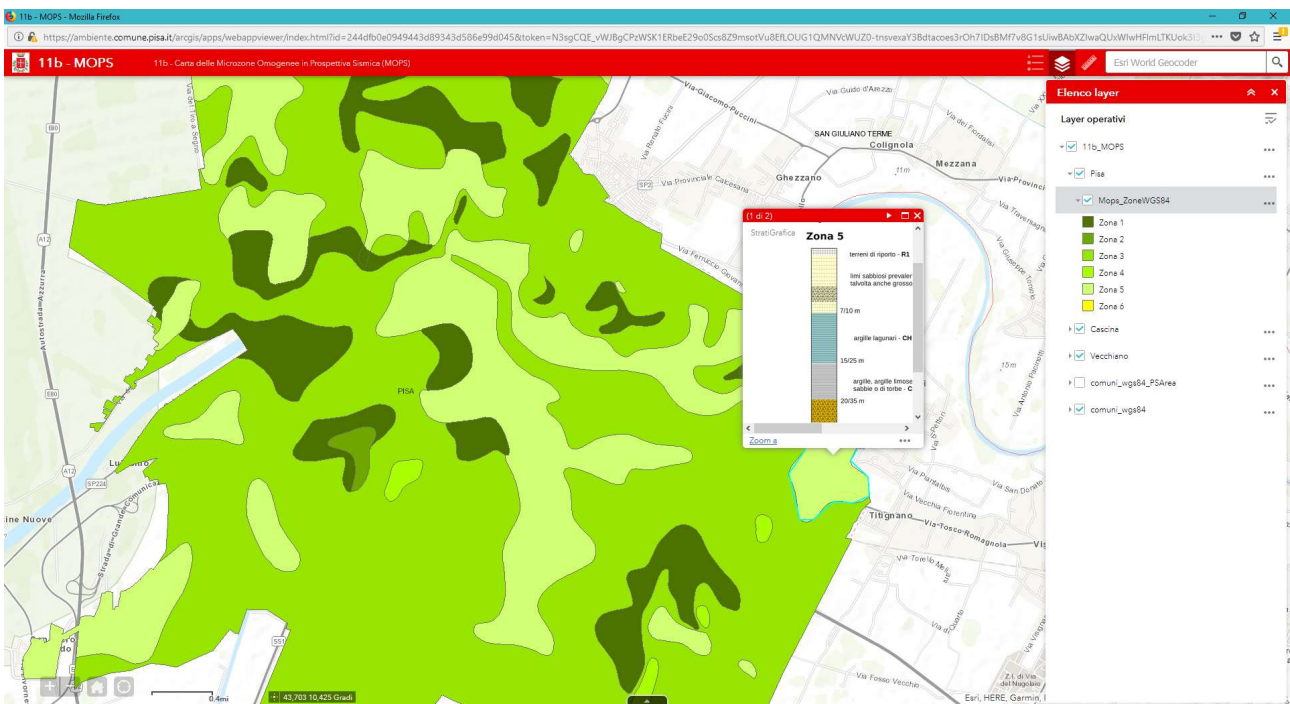


Fig. 8 La visualizzazione via WEBGIS, è stata strutturata per permettere all'utente di cliccare sulle varie zone ed evidenziare le rispettive colonne stratigrafiche



## 5 Pericolosità sismica

5.1 Individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido con una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna e una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso.

In via del tutto generale si può affermare che il substrato rigido di riferimento per il territorio comunale è rappresentato dalle litologie poste a profondità di alcune centinaia di metri. A tale proposito si può fare riferimento ad un sondaggio profondo posto poco a sud di Ospedaletto, che attesta la presenza di rocce calcaree intorno ai 700 m di profondità.

A questo substrato profondo possono essere ricondotte le evidenze di molte delle prove HVSR eseguite nel centro urbano di Pisa, a Ospedaletto e lungo la fascia costiera: in queste aree si riscontrano frequentemente misure che evidenziano frequenze di picco con valori dell'ordine di 0,2 - 0,3 Hz.

5.2 Individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi e tri-dimensionali.

Da questa analisi deriva l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi e tri-dimensionali.

Volendo verificare la presenza di strati più superficiali in grado di causare fenomeni di amplificazione sismica locale, nell'area urbana e nel comprensorio di Ospedaletto si possono evidenziare numerose misure HVSR caratterizzate da valori di picco da poco inferiori a 1 Hz fino a circa 2 Hz e con ampiezze variabili fra 2 e 4. Questi valori sono probabilmente da riferire a strati di argille o sabbie posti entro i 100 m di profondità.

Diversa giustificazione trovano invece le misure HVSR eseguite nell'intorno di Coltano caratterizzate da frequenze di picco piuttosto alte con ampiezze anche superiori a 4. Questi valori sono da riferirsi al particolare assetto stratigrafico che caratterizza questa zona del territorio comunale. L'area di -Coltano, debolmente rialzata rispetto alla pianura circostante, è costituita infatti dalle cosiddette "Sabbie di Coltano" che rappresentano lo strato risonante a cui riferire i picchi di frequenza sopra detti.

5.3 Presenza di faglie e/o strutture tettoniche.

Sulla base della stretta connessione tra tettonica e sismicità e di studi che hanno dimostrato che dislocazioni tardo pleistoceniche-oloceniche hanno interessato molte strutture prima considerate silenti, la valutazione della pericolosità sismica dipendente dalla fagliazione superficiale, ha un'indubbia importanza nella definizione della carta della Microzonazione sismica.

In tal senso, si è ricorsi a quanto messo a punto per questo scopo dal Servizio Geologico d'Italia - ISPRA che ha sviluppato il progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults). "ITHACA è un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie."

Il progetto iniziato nel 2000 ha continuato nel tempo con aggiornamenti ed implementazioni, anche attraverso lo studio di specifiche aree del territorio italiano. Da questa attività emerge in ogni caso che tale catalogazione viene a rappresentare un'indubbio strumento di analisi del rischio sismico proprio per un'evidente distribuzione di queste dislocazioni tettoniche in aree intensamente urbanizzate e industrializzate.

In riferimento al territorio comunale, la consultazione effettuata ha infatti messo in evidenza la presenza di una faglia diretta con direzione NW-SE proprio in corrispondenza del centro urbano.





Fig. 9 - TIPO FAGLIA: Normal - NOME SISTEMA: Viareggio— Pisa S. - REGIONE TOSCANA - ATTIVITA' media

#### 5.4 Terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali

Queste zone si riferiscono a contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti e pertanto si riferiscono: alle aree di **paleovalveo (P)**, individuate da fotointerpretazione e da un loro congruo intorno (stimato di 20 metri) e riportate nella carta geomorfologica elaborata dalla Provincia di Pisa, alle aree cartografate riferibili alle zone **Z1, Z2, Z3, Z4**, ed ad una fascia di circa 20 m intorno alla **zona Z5** per il contatto con coperture di composizione prevalentemente limoso-argillosa.

#### 5.5 Terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento

La suscettibilità al fenomeno della liquefazione e/o addensamento è stata effettuata in riferimento alla colonna stratigrafica individuata dalla **zona Z5 - Limi sabbioso-argillosi e sabbie limoso-argillose** da poco a mediamente addensati e dalla **zona Z6 - Sabbie da sciolte a mediamente addensate di ambiente costiero**.

La sua valutazione è stata condotta in ottemperanza a quanto previsto nel § 7.11.3.4 delle NTC18 e sulla base di diversi punti indagini della banca dati del Comune di Pisa e riportate in allegato. In particolare, sono state considerate *n. 6 prove penetrometriche statiche, CPT*, per l'area del centro urbano e *n. 7 prove penetrometriche statiche, CPT* per la zona costiera. Le profondità di investigazione si attestano tra i 10 - 15 m dal pc e nessuna di queste ha intercettato un substrato resistente.

Ai fini della determinazione della sismicità del sito, si è tenuto conto degli studi prodotti dall'Università degli Studi di Pisa, eseguiti dall'ing. *Diego Lo Presti*, riguardanti l' "Analisi del rischio di liquefazione dei depositi di terreni sottostanti la torre Guelfa in Pisa", ed effettuati per conto della stessa Amministrazione comunale, in cui si è ricorsi alle **mappe interattive di pericolosità sismica** fornite dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV 2006).

Supponendo quindi un'opera ordinaria con una *vita nominale*,  $V_n$ , di 50 anni ed una *classe d'uso*,  $C_u$ , II, con *periodo di riferimento per l'azione sismica*,  $V_r$ , di 50 anni, si è proceduto con la definizione dei seguenti parametri per ogni sito considerato:

- ✦  $a_g = [g]$  accelerazione orizzontale di picco su terreno tipo A
- ✦  $a_{max} = S \cdot a_g = [g]$  **accelerazione** orizzontale di picco sulla superficie del deposito. Lo scuotimento di base deve essere poi corretto, per tener conto delle effettive condizioni locali del sottosuolo in studio e dalla morfologia di superficie,  $S_t$  e del coefficiente di amplificazione stratigrafica,  $S_s$ , funzione della *categoria di sottosuolo* ( $V_{s30}$  - approccio semplificato per la definizione dell'azione sismica).
- ✦  $M; R [km]$  = valori medi **ottenuti** dalla disgregazione del valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (periodo di ritorno di 975).

Il fenomeno di *liquefazione* si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un sisma, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli *sforzi efficaci* da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero. Pertanto, la *suscettibilità alla liquefazione* di un terreno deve essere verificata in presenza di strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto-falda, anche se contenenti una modesta frazione fine, limo argillosa (terreni sabbiosi monogranulari saturi, sotto falda, di bassa densità relativa). In particolare, l'entità è direttamente correlabile all'omogeneità granulometrica e decresce all'aumentare sia della frazione fine, argille fino ad annullarsi alla presenza di, sia di quella ghiaioso, ciottolosa.

[...] *L'occorrenza della liquefazione ha effetti in superficie solamente in particolari condizioni. Nel caso di terreno pianeggiante, gli effetti in superficie sono trascurabili se lo spessore dello strato più superficiale non liquefacibile è maggiore dello spessore dello strato sottostante liquefacibile. Un aspetto rilevante del fenomeno della liquefazione è la modifica del moto sismico. In generale il verificarsi della liquefazione comporta un decremento delle ampiezze di vibrazioni ed un taglio delle frequenze più elevate. Registrazioni accelerometriche in siti liquefatti mostrano (a seguito del fenomeno) ampiezze ridotte e periodo predominante di alcuni secondi. I due aspetti associati (accelerazioni modeste e periodi lunghi) possono comportare spostamenti comunque rilevanti e quindi un potenziale di danno non necessariamente ridotto [...]* (da "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (parte I e II) gruppo di lavoro "Indirizzi e criteri generali per la micro-zonizzazione sismica").

Secondo le NTC 2018, § 7.11.3.4.2- la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- ✦ accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- ✦ profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- ✦ depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (ConePenetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- ✦ distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Operativamente i *parametri sismici* ( $T_r$ ,  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ ) e i coefficienti sismici ( $S_s$ ,  $C_c$ ,  $S_t$ , ecc) di riferimento per i diversi *siti di riferimento*, in funzione della *categoria di suolo "C"* (assunta da indagini geofisiche nelle vicinanze disponibili dal database del Comune), della categoria topografica  $S_t = 1$  (superficie pianeggiante) e dello *stato limite salvaguardia della vita -SLV* ( $T_r = 475$  anni) - sono stati ottenuti con l'utilizzo di un opportuno software (GEOSTRU 2010) i "Parametri sismici" sito specifici.

Per la definizione della *Magnitudo*,  $M$ , di riferimento, si è ricorso alle *Mappe interattive di pericolosità sismica* dell'INGV e da queste sono stati ottenuti i valori medi delle coppie di *magnitudo-distanza*  $M-R$  dei terremoti che possono essere risentiti nelle aree in studio, tramite la disaggregazione del valore di  $a(g)$  con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, e l'intervallo delle *coppie magnitudo-distanza* che maggiormente influenzano la pericolosità sismica.

Il valore di *magnitudo* che maggiormente contribuisce alla pericolosità, per il periodo di ritorno considerato, risulta compreso tra i valori di 4.5/5.0, con quota compresa tra il 25-40%, a seconda dei siti considerati.

Il potenziale di liquefazione pertanto è stato valutato mediante uno tra i vari metodi semplificati basati sul rapporto che intercorre fra le *sollecitazioni di taglio* che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto.

Nel dettaglio tale valutazione è stata effettuata con l'applicazione del software della ditta GEOSTRU - Liqueiter-2011, utilizzando il metodo di *Robertson e Wride modificato* (1998), di cui in allegato riportiamo i relativi tabulati di calcolo.

Le verifiche effettuate hanno permesso di evidenziare come, applicando una magnitudo pari a  $M > 5$ . ed un'accelerazione massima al suolo compresa nell'intervallo di valori tra **0,159/0,168  $ag/g$** , per la zona della costa e tra **0,177/0,178  $ag/g$**  per quella del centro urbano, supponendo una profondità della falda cautelativamente pari a - 0,50 m dal p.c., il rischio di liquefazione è risultato sempre MOLTO BASSO.

Tuttavia, considerando il carattere generale del presente studio e le peculiarità dei depositi alluvionali della pianura di Pisa (notevole eterogeneità di facies laterale), si ritiene che tale fenomeno, in sede di piani attuativi e interventi diretti, debba essere comunque oggetto di specifiche valutazioni, al fine di escludere con sufficiente margine di sicurezza la suscettibilità al fenomeno della liquefazione.

#### 5.6 Valutazione degli effetti locali

In riferimento alla valutazione degli effetti locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti significative le suddette zone sono state pertanto così raggruppate:

##### ✦ Zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche

In queste zone sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione lito-stratigrafica e morfologica locale. Sono le zone dove sono presenti terreni di copertura o di alterazione con spessori superiori ai 3 m. Pertanto, le zone **Z1, Z2, Z3 e Z4**, cartografate sul territorio comunale possono riferirsi a *zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche*.

##### ✦ Zone suscettibili di instabilità

In queste zone gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio indotti o innescati dal sisma (liquefazione e/o addensamento, cedimenti diffusi, cedimenti differenziali). Le situazioni alle quali si assimilano quelle presenti sul territorio sono: le aree individuate dalle stratigrafie denominata **Z5 e Z6**, per fenomeni di liquefazione e/o addensamento; le zone di **paleovalve (P)**, con relativa zona di margine, mentre per cedimenti diffusi e differenziali si ritiene di inserire tra le zone suscettibili di

instabilità anche **Z1**, **Z2**, **Z3** e **Z4**, oltreché la zona di **faglia (F)**, per la sua probabilità di deformazione da input sismico.

In termini di **pericolosità sismica** si ha di conseguenza (53/R - Allegato A - Direttive per le indagini geologiche), che tutto il territorio comunale viene a ricadere nella classe di pericolosità sismica elevata – S3

#### PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE ELEVATA (**S3**):

- ✦ zone suscettibili di instabilità con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili liquefazione dinamica; zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci.



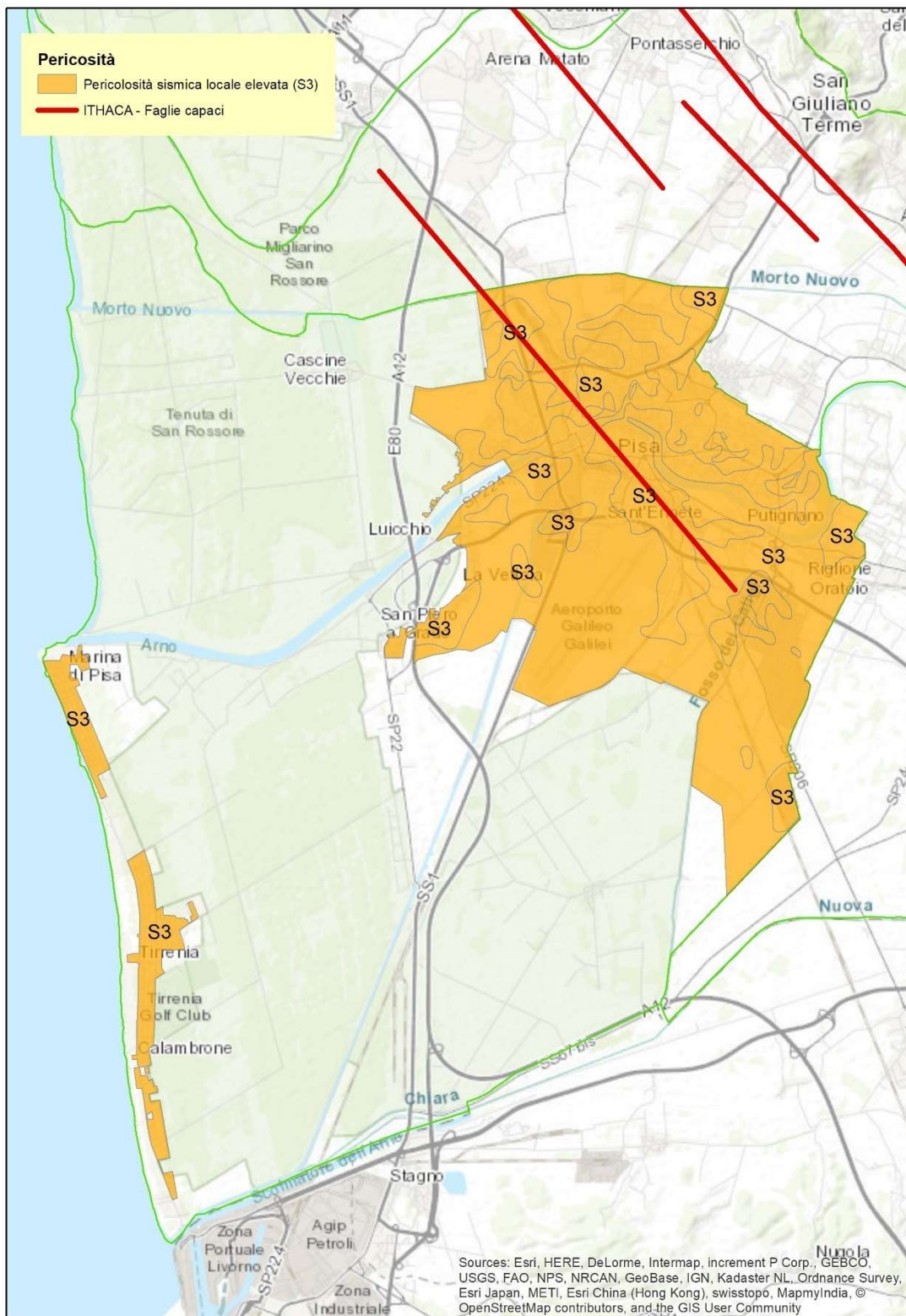


Fig. 10 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.

## 6 Stima della qualità della carta della pericolosità sismica

Di seguito viene illustrata la metodologia adottata per stimare la qualità della carta della pericolosità sismica.

# Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità di una carta di MS di livello 1

Dario Albarello\*, Sergio Castenetto\*\*, Giuseppe Naso\*\*

\* Università di Siena

\*\* Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico – Dipartimento della Protezione Civile

## 1. Introduzione

Nell'ambito della sperimentazione degli ICMS (2008) durante la MS dei comuni dell'aquilano colpiti dall'evento del 6 aprile 2009, ci si è posto il problema di definire la qualità delle carte di livello 1 che venivano redatte dai vari gruppi di lavoro.

Si è deciso allora di sviluppare una procedura molto semplice che potesse fornire alcune indicazioni semiquantitative sulla base del numero e della qualità dei dati raccolti per la redazione della carta.

## 2. Procedura

La procedura prevede 4 fasi:

- 1) Costruire sull'area da investigare un reticolato di celle quadrate, tutte uguali, orientate N-S e E-W, con il lato di 250 m.
- 2) Compilare la matrice della Tab. 1. La tabella prevede 6 **parametri** (carta geologico-tecnica, sondaggi a distruzione, sondaggi a carotaggio continuo, indagini geofisiche, prove geognostiche, misure delle frequenze di sito) ai quali viene assegnato un **peso**; ogni parametro prevede 3 **indicatori** (ognuno degli indicatori ha un peso di 0,33) ai quali verrà assegnato un **punteggio**.
- 3) Applicare la seguente sommatoria per definire il **fattore di qualità FQ**:

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

I=Numero di Parametri

J=Numero di Indicatori relativi al parametro i-mo

P<sub>i</sub> = peso del Parametro i-mo

S<sub>ij</sub>=Punteggio relativo all'Indicatore j-mo del Parametro i-mo

FQ = Fattore di qualità (%)

- 4) Associare al risultato (FQ) una **classe di qualità**:

**Classe A**, valori superiori a 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 a 25%; indicazioni: la carta di livello 1 è di scarsa qualità e non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08.

## 3. Esempio applicativo

Si applica la procedura a una carta di MS di livello 1 virtuale:

- Carta geologico tecnica (1), recente (1\*0.33) alla scala 1:2000 (1\*0.33) allegata al piano urbanistico (0.66\*0.33) – Tot = **0.87**\*1
- Sondaggi a distruzione (0.50), in numero di 7 (0.66\*0.33) concentrati in una sola cella (0\*0.33) con nessuno che arriva al substrato (0\*0.33) – Tot=**0.22**\*0.50
- Sondaggi a carotaggio continuo (1), in numero di uno (0.33\*0.33) in una cella (0.33\*0.33) che arriva al substrato (0.33\*0.33) – Tot=**0.33**\*1
- Indagini geofisiche (0.50), in numero di 6 (0.66\*0.25) su 5 celle (0.66\*0.25) con una che arriva al substrato rigido (0.33\*0.25) – Tot=**0.42**\*0.50



Tab. 1 – Parametri, indicatori e loro valutazione per la determinazione della qualità della carta di MS di livello 1.

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

– Prove geotecniche (0.25), non sono presenti prove - Tot=**0**\*0.25

– Misura delle frequenze di risonanza (0.75), in numero di 10 (0.66\*0.33) distribuiti sulla metà delle celle (0.66\*0.33) solo due di classe A (0.33\*0.33) – Tot=**0.54**\*0.75

$$\begin{aligned}
 \mathbf{FQ} &= (100/4) * (1 * (1 * 0.33 + 1 * 0.33 + 0.66 * 0.33) \\
 &+ 0.50 * (0.66 * 0.33 + 0 * 0.33 + 0 * 0.33) + 1 * (0.33 * 0.33 + 0.33 * 0.33 + 0.33 * 0.33) + 0.50 * (0.66 * 0.25 + 0.66 * 0.25 + 0.33 * 0.25 + 0 * 0.25) + (0.25 * 0) \\
 &+ 0.75 * (0.66 * 0.33 + 0.66 * 0.33 + 0.33 * 0.33)) = \mathbf{48\% (Classe C)}
 \end{aligned}$$

Commenti al risultato ottenuto:

– la cartografia geologica è buona: soddisfa le condizioni al 90%

– i sondaggi a distruzione sono scarsi: soddisfa le condizioni al 22%

– i sondaggi a carotaggio continuo sono buoni, ma pochi: soddisfa le condizioni al 33%

– le indagini geofisiche sono buone ma scarse: soddisfa le condizioni al 42%

– le prove geotecniche mancano: soddisfa le condizioni allo 0%

– le misure di rumore ambientale tante, ma mal distribuite e di bassa qualità: soddisfa le condizioni al 54%.

Suggerimento: potenziare i sondaggi a carotaggio continuo e fare prove geognostiche.

Al fine di determinare la qualità della carta di MS di livello 1, sono state costruite 3 aree da investigare, Pisa centro, Marina di Pisa, Tirrenia. Su queste aree sono stati costruiti dei reticoli di celle quadrate



orientate N-S e E-W, eccetto la griglia di Marina di Pisa che è stata orientata in direzione NW-SE e SW-NE.

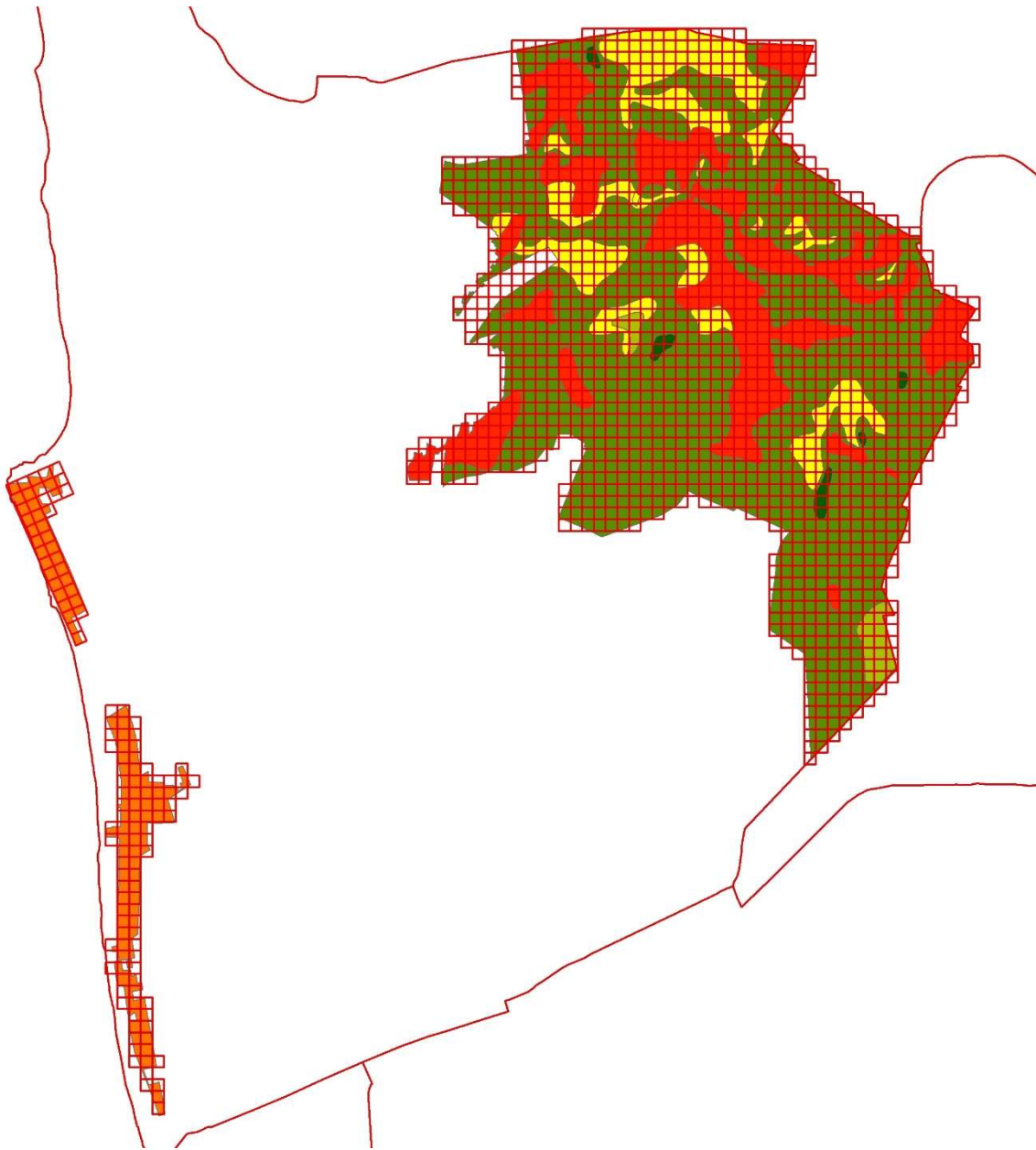


Fig. 3 – Aree indagate e relativa suddivisione in celle da 250X250 m

Al fine di compilare la matrice per determinare il fattore di qualità sono stati determinati i 6 parametri richiesti che sono risultati essere:

Carta Geologico Tecnica		Valutazione (punteggio)	indicatore
Anno rilevamento:	2011	1	
Progetto:	ad hoc	1	
Scala rilevamento:	1:10000	1	

Tutte le indagini geognostiche effettuate sul territorio sono state ricondotte alle cinque macro-categorie individuate come parametri da analizzare ed esattamente nei:

Sondaggi a Distruzione

- SD (Sondaggi a distruzione)

- PA (Pozzi per acqua)

#### Sondaggi a carotaggio continuo

- S - Sondaggio a carotaggio continuo
- SC - Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- SP - Sondaggio con piezometro
- DH - Prova sismica in foro tipo Downhole

#### Indagini geofisiche:

- DH - Prova sismica in foro tipo Downhole
- SCPT - Prova penetrometrica con cono sismico
- ERT - Tomografia elettrica
- MW - MASW
- PR - Profilo di resistività
- REMI - Prova REfractionMIcrotremors
- SEV – Sondaggio Elettrico Verticale
- SR - Profilo sismico a rifrazione

#### Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio

- CPT - Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- CPTe - Prova penetrometrica statica con punta elettrica
- CPTU - Prova penetrometrica statica con piezocono
- SCPT - Prova penetrometrica con cono sismico
- DS - Prova penetrometrica dinamica super pesante
- DP - Prova penetrometrica dinamica pesante
- DL - Prova penetrometrica dinamica leggera
- DM - Prova dilatometrica

#### Misure delle frequenze del sito:

- HSRV Stazione microtremore a stazione singola

Sondaggi a Distruzione		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero sondaggi:	283	1	
Percentuale di celle occupate: 222/1618*100	13,72%	0.33	
Numero sondaggi che arrivano al substrato:	0	0	

Sondaggi a carotaggio continuo		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero sondaggi:	323	1	
Percentuale di celle occupate: 196/1618 * 100	12,11%	0.33	
Numero sondaggi che arrivano al substrato:	1	0.33	

Indagini geofisiche		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di misure:	70	1	
Percentuale di celle occupate: 63/1618 * 100	3,89%	0.33	
Percentuale indagini che arrivano al substrato:	0	0	

Prove geotecniche in situ		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di prove:	628	1	
Percentuale di celle occupate: 294/1618 * 100	18,17%	0.33	
Percentuale prove che arrivano al substrato:	0	0	

Misure delle frequenze del sito HSRV		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di misure:	66	1	
Percentuale di celle occupate: 62/1618 * 100	3,83%	0.33	
Classe di affidabilità misure (albarello et alii): 14 A – 55 B	21.21%	0.33	

Applicando la sommatoria per definire il Fattore di qualità FQ

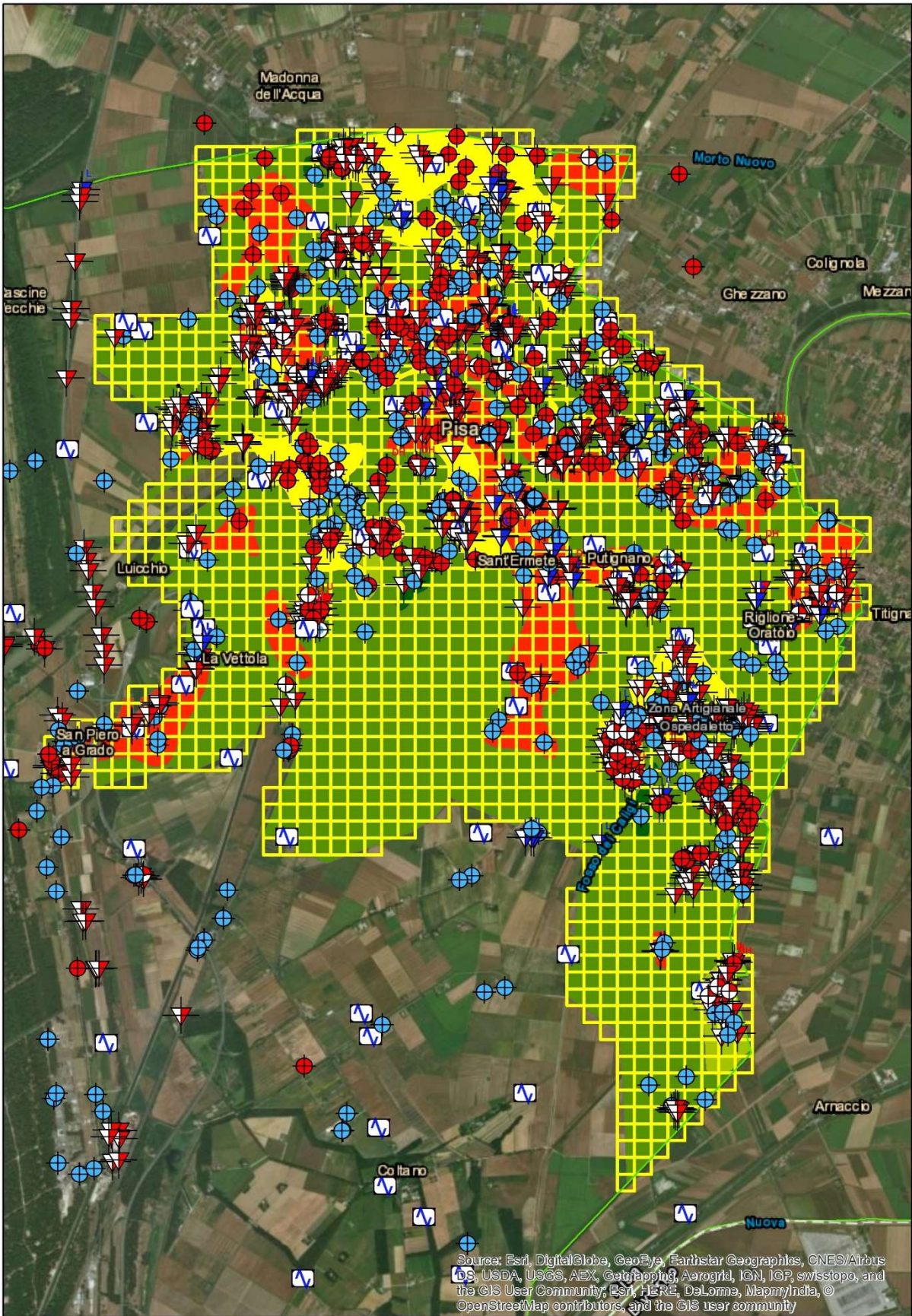
$$FQ = \left[ \frac{100}{\sum_{i=1}^I P_i} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right) = \left[ \frac{100}{4} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right)$$

I=Numero di Parametri  
 J<sub>i</sub>=Numero di Indicatori relativi al parametro i-mo  
 P<sub>i</sub> = peso del Parametro i-mo  
 S<sub>ij</sub>=Punteggio relativo all'Indicatore j-mo del Parametro i-mo  
 FQ = Fattore di qualità (%)

si ottiene un FQ = 62.4, valore che fa rientrare l'area indagata nella **classe di qualità B: valori intervallo (50%-74%);**

Indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità







FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a Parametro 4 Area Pisa

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>		1,00	1,00	1,00
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0,33
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0,33
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

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

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Media (0,66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0,33	Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0,33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0,50)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0,25)	0,33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Classe di affidabilità misure (Albarelli et al)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

\* D. Albarello, C. Cesi, V. Eraldi, F. Guerrini, E. Lunedi, E. Palocci, D. Pileggi, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.

a	25	punteggi parziali
b	0,99	24,8
c	0,22	5,5
d	0,55	13,7
e	0,22	5,5
f	0,11	2,7
g	0,41	10,3
To	62,4	62,4 Classe B

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





Sondaggi a Distruzione		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero sondaggi:	7	0.66	
Percentuale di celle occupate: 7/37 * 100	18,92%	0.33	
Numero sondaggi che arrivano al substrato	0	0	

Sondaggi a carotaggio continuo		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero sondaggi:	1	0.33	
Percentuale di celle occupate: 1/37 * 100	2,70%	0.33	
Numero sondaggi che arrivano al substrato	0	0	

Indagini geofisiche		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di misure	7	0.66	
Percentuale di celle occupate: 7/37 * 100	18,92%	0.33	
Percentuale indagini che arrivano al substrato	0	0	

Prove geotecniche in situ		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di prove	28	1	
Percentuale di celle occupate: 12/37 * 100	32,43%	0.33	
Percentuale prove che arrivano al substrato	0	0	

Misure delle frequenze del sito HSRV		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di misure	2	0.33	
Percentuale di celle occupate: 2/37 * 100	5,41%	0.33	
Classe di affidabilità misure (albarellò et alii) 2 A	100%	1	

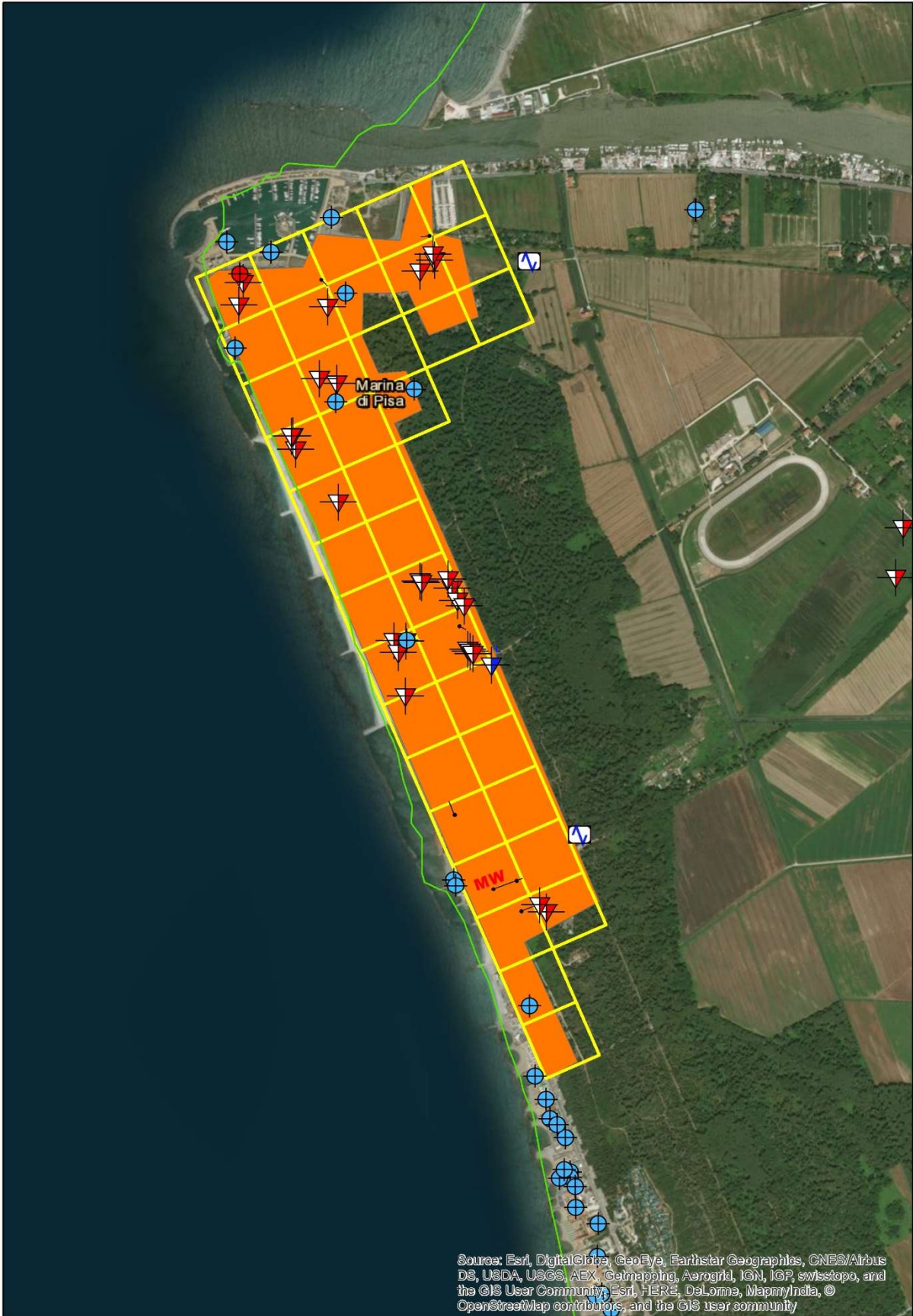
Applicando la sommatoria per definire il Fattore di qualità FQ

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

I=Numero di Parametri  
 J<sub>i</sub>=Numero di Indicatori relativi al parametro i-mo  
 P<sub>i</sub> = peso del Parametro i-mo  
 S<sub>ij</sub>=Punteggio relativo all'Indicatore j-mo del Parametro i-mo  
 FQ = Fattore di qualità (%)

si ottiene un FQ = 51.4, valore che fa rientrare l'area indagata nella **classe di qualità B: valori intervallo (50%-74%);**

Indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità



FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a Parametro 4 Area Marina di Pisa

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

b	Carta Geologica tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>		1,00	1,00	1,00
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		0,66	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		0,33	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		0,66	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33
g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	<i>Punteggi indicatori</i>		0,33	0,33	1
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

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

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazioni indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Media (0,66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000	25 000-11 000	> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Scala rilevamento	No data	50 000-26 000	25 000-11 000	10 000-2 000
	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	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
Indagini geofisiche (0,50)	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%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0,25)	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
Misure delle frequenze del sito (0,75)	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%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	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%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

\* D. Albarelli, C. Cesi, V. Eraldi, F. Gnermi, E. Lunedi, E. Paolucci, D. Pileggi, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Torr. Appl.

a	25	punteggi parziali
b	0,99	24,8
c	0,16	4,1
d	0,22	5,4
e	0,16	4,1
f	0,11	2,7
g	0,41	10,3
To	51,4	51,4 Classe B

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



Sondaggi a Distruzione		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero sondaggi:	17	1	
Percentuale di celle occupate: 9/95 * 100	9,47%	0.33	
Numero sondaggi che arrivano al substrato:	0	0	

Sondaggi a carotaggio continuo		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero sondaggi:	1	0.33	
Percentuale di celle occupate: 1/95 * 100	1,05%	0.33	
Numero sondaggi che arrivano al substrato:	0	0	

Indagini geofisiche		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di misure	19	1	
Percentuale di celle occupate: 15/95 * 100	15,79%	0.33	
Percentuale indagini che arrivano al substrato:	0	0	

Prove geotecniche in situ		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di prove:	45	1	
Percentuale di celle occupate: 25/95 * 100	26,32%	0.33	
Percentuale prove che arrivano al substrato:	0	0	

Misure delle frequenze del sito HSRV		Valutazione (punteggio)	indicatore
Numero di misure:	3	0.33	
Percentuale di celle occupate: 3/95 * 100	3,16%	0.33	
Classe di affidabilità misure (albarelo et alii): 1 A – 2 B	33,33%	0.66	

Applicando la sommatoria per definire il Fattore di qualità FQ

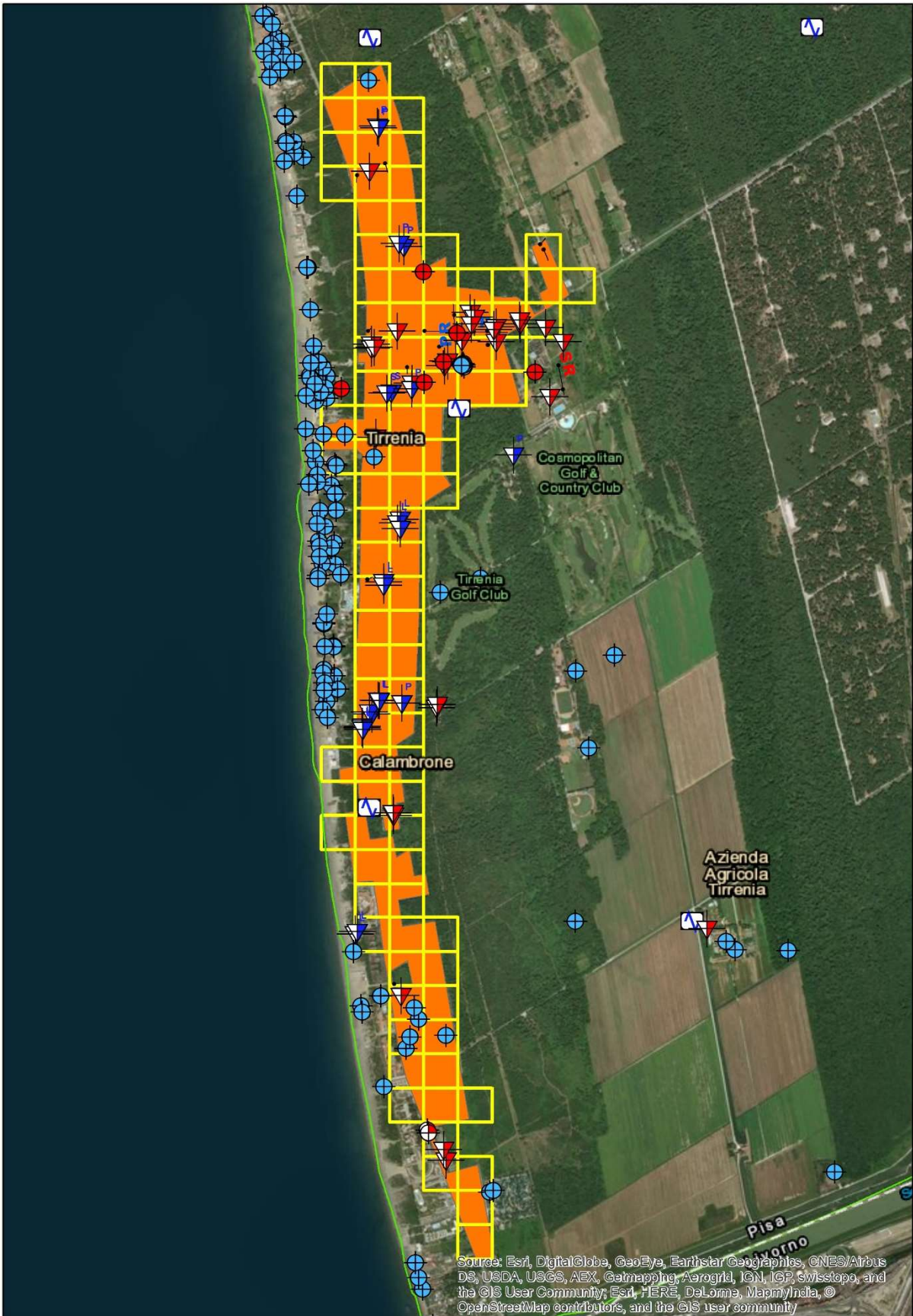
$$FQ = \frac{100}{\sum_{i=1}^I P_i} \sum_{i=1}^I P_i \left( \sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right) = \left[ \frac{100}{4} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \sum_{j=1}^{J_i} \frac{S_{ij}}{J_i} \right)$$

I=Numero di Parametri  
 J<sub>i</sub>=Numero di Indicatori relativi al parametro i-mo  
 P<sub>i</sub> = peso del Parametro i-mo  
 S<sub>ij</sub>=Punteggio relativo all'Indicatore j-mo del Parametro i-mo  
 FQ = Fattore di qualità (%)

si ottiene un FQ = 52.1, valore che fa rientrare l'area indagata nella **classe di qualità B: valori intervallo (50%-74%);**

Indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità





FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a Parametro 4 Area Tirrenia

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>		1,00	1,00	1,00
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		0,33	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	0,33	0
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	<i>Punteggi indicatori</i>		0,33	0,33	0,66
	<i>Pesi indicatori</i>		0,33	0,33	0,33

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	25.000-11.000	> 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 (Albarelo et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

\* D. Albarello, C. Cusi, V. Estili, F. Guernini, E. Lunedi, E. Paolucci, D. Pilaggi, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Roll Geofis Teor Appl

a	25	punteggi parziali
b	0,99	24,8
c	0,22	5,5
d	0,22	5,4
e	0,22	5,5
f	0,11	2,7
g	0,33	8,2
To	52,1	52,1 Classe B

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

REGIONE TOSCANA





## 7 Allegati