



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile

REGIONE TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME


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

MICROZONAZIONE SISMICA

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Regione Toscana
 Comune di Sinalunga



<p>Regione</p>	<p>Soggetto realizzatore (ProGeo Associati) referente e coordinatore delle attività geol. MASSIMILIANO ROSSI geol. FABIO POGGI geol. LUCA BERLINGOZZI geol. GABRIELE MENCHETTI</p> <p>GALILEO GEOFISICA s.n.c. esecutore delle indagini sismiche</p>	<p>Data ottobre 2012</p> 
----------------	--	---

Sommario

1 – PREMESSA	2
2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE	3
3 – SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	3
4 – PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO	4
5 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	7
6 - MODALITÀ PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1.....	9
7 – INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE	11
8 – CLASSE DI QUALITA'	13
9 - FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI	15
10 – ILLUSTRAZIONE DELLE CARTE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA.....	15
11 - CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	21
11.1 - FATTORI PREDISPONENTI	21
11.2 - FATTORI SCATENANTI.....	21

ALLEGATI

- Carta delle indagini – (4 quadranti)	scala 1:5000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1) – (4 quadranti)	scala 1:5000
- Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (4 quadranti)	scala 1:5000
- Sezioni litotecniche	scala 1:10000

1 - PREMESSA

La presente relazione è stata redatta al fine di adeguare, dal punto di vista degli studi sismici il Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga, a seguito dell'entrata in vigore del D.P.G.R. 53/R “Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche”.

Per la stesura delle carte di FATTIBILITÀ, dal punto di vista sismico sono di fatto previste modifiche rispetto al precedente regolamento, come descritte al punto 3.5 capoverso 4, di seguito riportato: “omissis..... sono da riportare e definire, in funzione delle problematiche di natura sismica evidenziate nello studio di MS di livello1, le prescrizioni e/o approfondimenti di indagini da eseguire omissis” .

Il presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, rappresenta un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (“MOPS”).

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

- n.1 profili sismici a rifrazione in onde P e SH;
- n.10 rilievi con metodologia MASW;
- n. 58 misure di frequenze naturali dei terreni H/V.

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

2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE

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

- OPCM n. 4007/12 del 29.02.2012 pubblicata in G.U. del 07.03.2012 che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico e fa riferimento alla precedente:
- OPCM n. 3907 del 13.11.2010 pubblicata in G.U. del 01.12.2010 (modificata con OPCM n. 3925 del 23.02.11), previsti dall'Art. 11 del decreto legge 28 aprile 2009 n.39, convertito, con modificazioni, dalla Legge n. 77 del 24/06/2009;
- DGRT N.261 del 18.04.2011, recepimento a livello regionale dell' OPCM n. 3907/2010 con riferimento all'Allegato A che individua i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica, le modalità di predisposizione delle specifiche tecniche per la realizzazione dei suddetti studi, le modalità di recepimento e utilizzo dei risultati degli studi di MS in fase pianificatoria e i criteri di selezione dei soggetti realizzatori degli studi di MS.
- DGRT N.741 del 06.08.2012, che recepisce le indicazioni degli art. 5 e 6 dell'OPCM 4007/2012 in materia di finanziamento e realizzazione degli studi di microzonazione sismica.

3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Le aree di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi (“Aree urbane”) che il Comune di Sinalunga ha individuato seguendo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL ed ha perimetrato secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli ICMS.

4 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

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

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

Il primo passo per la definizione della pericolosità è la conoscenza dei dati macrosismici presenti nel Database Macrosismico Italiano la cui ultima versione è il DBMI 2011 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) messo a disposizione dall'INGV; all'interno del catalogo possono essere selezionati gli eventi di maggiore rilevanza che hanno interessato una data località. Nel caso di Sinalunga vengono evidenziati 31 eventi di riferimento a partire dal 1781 e con relativa Magnitudo di Momento (Mw) dell'epicentro della scossa.

Storia sismica di Sinalunga [43.214, 11.741]

Numero di eventi: 31

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	<u>1781 01 03</u>	Monte Oliveto Maggiore	12	7-8 5.11 ±0.44
5-6	<u>1861 05 09 01:53</u>	CITTA' DELLA PIEVE	28	6-7 4.92 ±0.40
4	<u>1875 03 17 23:51</u>	Romagna sud-orientale	144	5.93 ±0.16
3	<u>1895 05 18 19:5</u>	Fiorentino	401	8 5.43 ±0.08
4	<u>1897 12 18 07:2</u>	Appennino umbro-marchigiano	132	7 5.13 ±0.14
3	<u>1904 11 17 05:02</u>	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
3	<u>1905 02 12 08:28</u>	SANTA FIORA	61	6 4.66 ±0.29

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
5	<u>1909 08 25 00:22</u>	MURLO	283	7-8 5.37 ±0.10
3	<u>1911 02 19 07:18</u>	Romagna meridionale	181	7 5.28 ±0.11
5-6	<u>1911 09 13 22:29</u>	Chianti	115	7 5.19 ±0.14
4	<u>1917 04 26 09:3</u>	Valtiberina	134	9-10 5.89 ±0.11
3	<u>1919 02 13 02:20</u>	LAGO TRASIMENO	20	6 4.70 ±0.39
4	<u>1919 06 29 15:0</u>	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
3	<u>1919 09 10 16:5</u>	PIANCASTAGNAIO	67	7-8 5.32 ±0.18
4-5	<u>1919 10 25 13:5</u>	MONTERCHI	30	6 5.02 ±0.24
3	<u>1920 09 07 05:5</u>	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
4	<u>1926 01 08 09:14</u>	ABBADIA S. SALVATORE	24	7 4.90 ±0.27
2-3	<u>1940 06 19 14:1</u>	RADICOFANI	28	6 4.77 ±0.28
4	<u>1940 10 16 13:1</u>	RADICOFANI	106	7-8 5.26 ±0.14
4	<u>1947 12 24</u>	San Giovanni d'Asso	26	6 4.77 ±0.30
NF	<u>1956 02 22 22:5</u>	Senese	29	5-6 4.34 ±0.31
4	<u>1969 08 11 13:5</u>	TRASIMENO	46	7 4.94 ±0.18
4	<u>1984 04 29 05:0</u>	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7 5.65 ±0.09
NF	<u>1993 06 05 19:1</u>	GUALDO TADINO	326	6 4.74 ±0.09
3-4	<u>1997 09 26 00:3</u>	Appennino umbro-marchigiano	760	5.70 ±0.09
3-4	<u>1997 09 26 09:4</u>	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 6.01 ±0.09
NF	<u>1997 10 14 15:2</u>	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8 5.65 ±0.09
NF	<u>1998 03 26 16:2</u>	Appennino umbro-marchigiano	408	6 5.29 ±0.09
NF	<u>1998 04 05 15:5</u>	Appennino umbro-marchigiano	395	6 4.81 ±0.09
NF	<u>2000 04 01 18:0</u>	MONTE AMIATA	66	5-6 4.57 ±0.09
3-4	<u>2001 11 26 00:5</u>	Casentino	213	5-6 4.72 ±0.09

Si mette qui in risalto che la massima intensità registrata risulta pari a 5-6 gradi su MCS riferito agli eventi del 9 Maggio 1861 con epicentro a Città della Pieve (Pg) e del 13 Settembre 1911 con epicentro nell'area del Chianti.

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

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

16 Ottobre 1449 : evento con epicentro nell'area di Asciano e con Mw di $4,72 \pm 0,34$ e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli

16 Novembre 1545 : evento con epicentro nell'area di Siena con Mw di $5,35 \pm 0,34$ e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli

24 Marzo 1679 : evento con epicentro nell'area della Val d'Orcia con Mw di $4,51 \pm 0,34$ e intensità massima di grado 6-7 sulla scala Mercalli

3 Gennaio 1781 : evento con epicentro nell'area di Monte Oliveto Maggiore con Mw di $5,11 \pm 0,44$ e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli e di grado 4 nell'area di Sinalunga

31 Ottobre 1802 : evento con epicentro nell'area della Val d'Orcia con Mw di $4,99 \pm 0,53$ e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli

30 Gennaio 1859 : evento con epicentro nell'area del senese con Mw di $4,51 \pm 0,34$ e intensità massima di grado 5-6 sulla scala Mercalli

15 Novembre 1897 : evento con epicentro nell'area di Pienza con Mw di $4,72 \pm 0,34$ e intensità massima di grado 7 sulla scala Mercalli

7 Novembre 1908 : evento con epicentro nell'area di Monte San Savino con Mw di $4,72 \pm 0,34$ e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli

25 Agosto 1909 : evento con epicentro nell'area di Murlo con Mw strumentale di $5,40 \pm 0,37$ e intensità massima di grado 7-8 sulla scala Mercalli e di grado 5 nell'area di Sinalunga

26 Aprile 1917 : evento con epicentro nell'area della Valtiberina con Mw strumentale di $5,73 \pm 0,37$ e intensità massima di grado 9-10 sulla scala Mercalli e di grado 4 nell'area di Sinalunga

24 Dicembre 1947 : evento con epicentro nell'area di San Giovanni d'Asso con Mw strumentale di $4,83 \pm 0,37$ e intensità massima di grado 6 sulla scala Mercalli e di grado 4 nell'area di Sinalunga

5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area occupata dal Comune di Sinalunga può essere suddivisa dal punto di vista morfologico in due zone distinte: la zona occidentale costituita dai rilievi della dorsale Monti del Chianti – Monte Cetona che costituisce il tratto meridionale di un importante elemento morfo-tettonico di estensione regionale che attraversa la Toscana in direzione NNW-SSE; la zona orientale, costituita dal Bacino della Val di Chiana, una depressione tettonica formatasi a seguito della tettonica distensiva neogenico-quadernaria, post-tortoniana e riempita da una spessa coltre di depositi.

Da Rapolano al Monte Cetona affiorano con buona continuità le unità del substrato pre-neogenico, in cui si riconoscono le strutture deformative connesse con la tettonica polifasata dell'Appennino Settentrionale; in particolare nel tratto di dorsale compreso tra Farnetella e Sinalunga sono ben evidenti i rapporti intercorrenti tra Successione Toscana e Unità delle Argille e Calcari. Nel Comune di Sinalunga nelle aree collinari affiorano le formazioni della Scaglia Toscana, del Macigno (il cui spessore è superiore a 350 metri) e l'Unità delle Argille e Calcari che poggia con contatto tettonico discordante sul Macigno.

Quest'ultima è rappresentata dalla Successione argillitico-calcareo di Canetolo, qui caratterizzata da una alternanza di calcari grigi, calcareniti, argilliti nocciola, marne nocciola e grigie; lo spessore ipotizzabile è di 100-150 metri. Il bacino della Val di Chiana è riempito dai depositi del Neautoctono per uno spessore anche superiore a 2000 metri; tali depositi compaiono, come ad esempio in corrispondenza dell'abitato di Sinalunga, anche come placche residuali di erosione nella dorsale che durante il Pliocene doveva rappresentare una zona solo parzialmente emersa; questi depositi sono costituiti da sedimenti marini pliocenici di ambiente costiero costituiti da sabbie, arenarie, conglomerati e argille e da depositi continentali quadernari, costituiti da ghiaie, sabbie e limi.

Per ciò che riguarda l'assetto strutturale è stata riconosciuta una evoluzione tettonica polifasata: alla prima fase è attribuibile il sovrascorrimento dell'Unità delle Argille e Calcari al di sopra della Successione Toscana; alla seconda sono attribuibili la formazione di antiformi e sinformi rovesciate con vergenza nord-orientale, orientate NW-SE e asse debolmente inclinato verso NW; alla terza la formazione di faglie dirette ad alto angolo con componente di movimento orizzontale.

Da quanto descritto emerge l'evidenza che il territorio comunale di Sinalunga sia in linea di massima suddivisibile in un'area collinare con predominanza in affioramento di termini litoidi (afferenti alle formazioni del Macigno o delle Argille e Calcari) ed in un'area pianeggiante con spessore dei depositi che aumenta spostandosi verso il depocentro del bacino. E' da sottolineare come la parte più superficiale di tali depositi sia di origine antropica (depositi di colmata derivanti dalla bonifica della Val di Chiana); tali depositi sono anche presenti tra gli abitati di Sinalunga e Guazzino-Bettolle.

Dal punto di vista delle caratteristiche geomorfologiche del territorio sono stati consultati i dati presenti nella cartografia di Piano Strutturale e nella cartografia di PAI; sono seguiti un controllo ed una validazione dei dati con osservazione diretta. In particolare sono stati analizzati le forme e i processi geomorfologici legati alla dinamica di versante ed alla dinamica fluviale valutandone lo stato di attività; per le aree di versante si è posta particolare attenzione ai fenomeni di instabilità per frana, nonché a forme di degradazione quali soliflussi e deformazioni superficiali. E' stata posta particolare attenzione alla deperimetrazione delle aree interessate da coperture eluvio-colluviali di spessore significativo e delle superfici alluvionali. E' stata evidenziata inoltre la presenza di opere in rilevato legati alla viabilità stradale e ferroviaria di altezza significativa.

Tali approfondimenti sono fondamentali e propedeutici allo studio di microzonazione sismica di livello 1.

6 - MODALITÀ PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

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

- Indirizzi e Criteri generali per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome;

- Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.741/2012 (Edizione n.2), Appendice 1, Appendice 2;

- Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana;

- Standard per la stesura della carta delle indagini e l'informatizzazione: Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica - Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (articolo 5, comma7 OPCM 3907/2010);

- Indicazioni contenute Volume di Ingegneria sismica 2/2011.

Lo studio di MS di livello 1 rappresenta un livello propedeutico a successivi studi di MS (livello 2 e 3) e si è sviluppato con la raccolta organica e ragionata dei dati di natura geologica, geofisica e geotecnica preesistenti e acquisite al fine di suddividere il territorio comunale in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

Le **Zone Stabili**: sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;

Le **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica**: sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;

Le **Zone suscettibili di instabilità**: sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio **indotti** o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale).

7 - INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE

I dati necessari allo studio di microzonazione sismica sono suddivisibili in dati pregressi e dati ottenuti da nuove acquisizioni geofisiche. I dati pregressi sono stati ottenuti da consultazione diretta presso l'ufficio Tecnico del Comune di Sinalunga, dei dati di base catalogati e allegati al Piano Strutturale (rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi), dei dati presenti nelle banche dati nazionali più significative ai fini della microzonazione.

Dati pregressi:

- dati di base allegati al PS vigente del Comune di Sinalunga (SI);
- dati derivanti dalla campagna di indagine geofisica condotta per lo studio di MS;
- dati raccolti presso l'Ufficio Tecnico del Comune di Sinalunga (SI), Pratiche Edilizie private e pubbliche (interventi diretti e piani attuativi), Varianti e le indagini a supporto degli interventi depositati presso l'Ufficio SUAP;
- Banca dati del Servizio Geologico d'Italia (Indagini del sottosuolo, Sondaggi profondi, Faglie capaci, Geofisica) - ISPRA;
- Banca dati del sottosuolo, Banca dati indagini geotematiche, Banca dati dei corpi idrici sotterranei, Banca dati geotermia, Banca dati delle concessioni acque minerali e termali, Banca dati frane e coperture del LAMMA Rete Toscana;
- Banca dati stratigrafica della Toscana del SIRA - Servizio Informativo Regionale Ambientale della Toscana

L'insieme dei dati raccolti, ha permesso di disporre di un totale di circa 400 dati puntuali e di circa 30 dati lineari, suddivisi e rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard regionali per l'informatizzazione degli studi di MS con riferimento agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e catalogati e archiviati mediante software Arc-Gis. I dati rappresentati in carta sono affiancati da un record numerico progressivo che ne rappresenta l'identificativo rintracciabile nelle schede allegate.

Dati ottenuti da nuove indagini geofisiche:

- N.1 linea sismica a rifrazione in onde P ed SH;
- N.10 rilievi MASW;

- N.58 siti di acquisizione di misure strumentali di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola (HVSR).

La campagna di indagini geofisiche è stata eseguita dalla Ditta “GALILEO GEOFISICA” s.n.c., P.zza Giotto 8, Arezzo.

L’ubicazione delle indagini sismiche è stata stabilita sulla base di un criterio di copertura areale ma prima di tutto, a partire dei dati pregressi di natura geologica, geotecnica e geofisica disponibili, sulla base di considerazioni di carattere litologico-stratigrafico.

Le planimetrie con la corretta ubicazione, le foto e i grafici dei risultati, redatti sulla base degli standard previsti, sono riportati in allegato nella R.T. a firma del Dott. Geol. Simone Secci:

“Indagini geofisiche di tipo sismico, misure di rumore ambientale a stazioni singole di registrazione analisi “HVSR”, OPCM 3907/2010 art. 2, comma 1 lett. a), studi di Microzonazione Sismica dei centri urbani del Comune di Sinalunga.

Descrizione	Sigla	Quantità
Prova penetrometrica statica	CPT	75
Prova penetrometrica dinamica	DP	137
Down-hole	DH	1
Sondaggio a carotaggio	SC	15
Pozzo per acqua-Sondaggio a distruzione di nucleo	P	110
Prospezione sismica MASW	MW	23
Profilo sismico a rifrazione in onde P ed SH	SR	6
Profilo sismico a rifrazione in onde SH	SR	1
Analisi di microtremore a stazione singola	HVSR	58

TOTALE	426
--------	-----

L’ubicazione di tutte le indagini considerate, è riportata nella "Carta delle indagini" secondo le specifiche contenute nel volume “Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica- Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 OPCM 3907/2010).

8 - CLASSE DI QUALITA' DELLA CARTA DI LIVELLO 1

Al fine di definire la qualità delle carte MOPS redatte con il presente studio, è stata utilizzata la metodologia riportata nell'Allegato A allo studio di MS Regionale “Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica”, aggiornato al 18/06/2012).

La procedura seguita è la seguente:

- 1) è stata costruita sull'area da investigare un reticolato di celle quadrate, tutte uguali, orientate N-S e E-W, con il lato di 250 m;
- 2) è stata compilata la matrice della tabella che prevede n. 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 ai quali è stato assegnato un punteggio che deve essere moltiplicato per il peso corrispondente.
- 3) La somma dei valori dei parametri ha permesso di stilare una classifica 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 dagli ICMS e dalle suddette specifiche.

Di seguito si riporta il foglio di calcolo per la valutazione della qualità della carta MOPS, dal quale si evidenzia un valore pari al 77.5 % (Classe A).

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			
b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>		1	1	1
	<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	0.66	0.66
	<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	0.66	1
	<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	0.66	0.33
	<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	1
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
a	25	punteggi parziali	CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
b	0.99	24.8	A	³ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
c	0.38	9.6	B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
d	0.55	13.7	C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
e	0.44	11.0	D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana
f	0.16	4.1			
g	0.58	14.4			
Go	77.5	77.5	ottima qualità - classe A		



9 - FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

Nella Carta delle indagini sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali riscontrabili in varie situazioni lito-stratigrafiche.

Per una dettagliata trattazione e valutazione della procedura di acquisizione ed elaborazione e quindi della qualità del dato, si rimanda alla Relazione Tecnica a firma del Geol. Simone Secci, Studio Associato Galileo Geofisica, allegata agli studi di MS: “*Indagini geofisiche di tipo sismico, misure di rumore ambientale a stazione singola di registrazione - analisi “HVSR” OPCM 3907/2010 art. 2, comma 1 lett. a) studi di Microzonazione Sismica dei centri urbani del Comune di Sinalunga (SI)*”.

10 - ILLUSTRAZIONE DELLE CARTE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Nella *Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* sono state rappresentate le microzone omogenee, individuate sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all’acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e geofisici. Tali zone sono state differenziate in base alle caratteristiche lito-stratigrafiche, correlate a differenti tipologie di effetti prodotti dall’azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, ecc.).

Di particolare importanza a questo scopo è risultata la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell’area, l’individuazione dei litotipi costituenti il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) e da una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso.

Il presente studio ha identificato n.20 microzone differenziate in base alla presenza o meno di coperture; ove fossero presenti in base alle dimensioni granulometriche, alle loro alternanze, allo spessore, al grado di consistenza o al grado di addensamento, in rapporto alla presenza di un bedrock sismico o non sismico, valutabile dalla presenza o meno di un contrasto di impedenza sismica.

DESCRIZIONE delle MICROZONE OMOGENEE presenti nella CARTA MOPS

Segue la descrizione nel dettaglio di ogni singola Zona individuata, inserita nella Carta MOPS del presente studio.

- **ZONE STABILI** non sono state cartografate; l'intera area è suddivisa tra zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e zone suscettibili di instabilità.
- **ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI**
 - **Zona 1:** è rappresentata da substrato lapideo stratificato avente velocità media delle onde di taglio $S > 800$ m/s, ma affiorante su superfici topografiche aventi inclinazione $> 15^\circ$; nell'area di studio è costituito dalle formazioni del Macigno (Falda Toscana, Dominio Toscano) e dalla formazione dei Calcari e Brecciole di Monte Senario (Unità di Canetolo, Dominio Sub-Ligure). Entrambe le formazioni sono un substrato lapideo di tipo stratificato; inoltre, la velocità delle onde S in corrispondenza dei litotipi afferenti a queste formazioni è risultata, anche da indagini condotte ex-novo, > 800 m/s e quindi costituenti nella totalità del territorio studiato, bedrock sismico, presente però a profondità notevolmente diverse nelle aree investigate.
 - **Zona 2:** è rappresentata da coltre detritica di spessore > 3 metri poggiate su bedrock sismico; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.
 - **Zona 3:** è formata da una copertura di sedimenti di origine sia continentale che marina, con granulometrie generalmente medie e grossolane, grado di addensamento medio-elevato e spessore compreso tra 0 e 25 metri, poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.
 - **Zona 4:** è formata da un primo livello di sedimenti di origine sia continentale che marina, con granulometrie generalmente medie e grossolane, grado di addensamento medio-elevato e spessore compreso tra 0 e 25 metri, da un secondo livello costituito da argille limose con stato di consistenza medio-elevato dello spessore compreso tra 20 e 50 metri poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s.

- **Zona 5**: è formata da un primo livello di sabbie limose – limo sabbioso dello spessore compreso tra 0 e 10 metri, da un secondo livello di sabbie medie e grossolane con grado di addensamento medio-elevato con spessore compreso tra 0 e 25 metri, da un terzo livello costituito da argille limose con stato di consistenza medio-elevato dello spessore compreso tra 20 e 50 metri poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s.

- **Zona 6**: è costituita da una copertura di sedimenti anche di origine antropica nella parte più superficiale (depositi di colmata) generalmente con granulometria medio-fine (argille limose e limi argillosi), scarso grado di consistenza con intercalazioni di ghiaie e con livelli torbosi, dello spessore compreso tra 0 e 20 metri poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.

- **Zona 7**: è costituita da una copertura di sedimenti anche di origine antropica nella parte più superficiale (depositi di colmata) generalmente con granulometria medio-fine (argille limose e limi argillosi), scarso grado di consistenza con intercalazioni di ghiaie e con livelli torbosi, dello spessore compreso tra 20 e 40 metri poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.

- **Zona 8**: è costituita da una copertura di sedimenti anche di origine antropica nella parte più superficiale (depositi di colmata) generalmente con granulometria medio-fine (argille limose e limi argillosi), scarso grado di consistenza con intercalazioni di ghiaie e con livelli torbosi, dello spessore > 40 metri poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s.

- **Zona 9**: è costituita da una copertura di sedimenti per la maggior parte di origine eluvio-colluviale, costituita da limi sabbiosi e sabbie limose con grado di addensamento moderato dello spessore compreso tra 0 e 30 metri poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s.; tale situazione litostratigrafica è sede di un contrasto di impedenza sismica presumibilmente elevato.

- **Zona 10**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di sabbie medie e grossolane con rari clasti poligenici di origine continentale con grado di addensamento medio-elevato dello spessore compreso tra 0 e 10 metri; da un secondo livello di sabbie fini moderatamente addensate con spessore compreso tra 0 e 10 metri di origine marina; da un terzo livello di argille limose con stato di consistenza medio-elevato, spessore tra 20 e 50 metri e ambiente di sedimentazione neritico poggiate su di un substrato lapideo con velocità media di propagazione delle onde S > 800 m/s.
- **Zona 11**: è rappresentata da una copertura di argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore > 50 metri.
- **Zona 12**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di sabbie medie e grossolane con rari clasti poligenici di origine continentale con grado di addensamento medio-elevato dello spessore compreso tra 0 e 15 metri poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato, spessore >50 metri.
- **Zona 13**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di sabbie medie e grossolane con rari clasti poligenici di origine continentale con grado di addensamento medio-elevato dello spessore compreso tra 0 e 15 metri; da un secondo livello di limi argillosi (0-15 metri) con stato di consistenza medio, poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.
- **Zona 14**: è costituita da una copertura di limi argillosi (0-15 metri) con stato di consistenza medio, poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.
- **Zona 15**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di sabbie medie e grossolane con rari clasti poligenici di origine continentale con grado di addensamento medio-elevato dello spessore compreso tra 0 e 20 metri; da un secondo livello di limi argillosi di spessore compreso tra 10 e 25 metri e stato di consistenza medio poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.

- **Zona 16**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di sabbie medie e grossolane con rari clasti poligenici di origine continentale con grado di addensamento medio-elevato dello spessore compreso tra 0 e 20 metri; da un secondo livello di sabbie fini moderatamente addensate dello spessore compreso tra 0 e 30 metri; da un terzo livello di limi argillosi dello spessore compreso tra 0 e 15 metri e stato di consistenza medio poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.
- **Zona 17**: è costituita da una copertura formata da un livello di sabbie fini moderatamente addensate di spessore compreso tra 0 e 30 metri, poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.
- **Zona 18**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di sabbie fini moderatamente addensate di spessore compreso tra 0 e 30 metri; da un secondo livello di limi argillosi di spessore compreso tra 0 e 15 metri con stato di consistenza medio poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.
- **Zona 19**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di limo argilloso con scarso stato di consistenza di spessore compreso tra 0 e 10 metri; da un secondo livello di sabbie fini moderatamente addensate dello spessore compreso tra 0 e 30 metri poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.
- **Zona 20**: è costituita da una copertura formata da un primo livello di limo argilloso con scarso stato di consistenza di spessore compreso tra 0 e 10 metri poggiate su argille limose con stato di consistenza medio-elevato e spessore >50 metri.

- **ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'**

All'interno dell'area di studio è stata discriminata la presenza di zone suscettibili di instabilità: in particolare sono state mappate zone suscettibili di instabilità di versante quiescente e una piccola area corrispondente alla corona di una frana con indizi di attività.

DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA

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

Sono riportate inoltre le forme di superficie ritenute significative quali conoidi alluvionali, orli di scarpate morfologiche con altezza compresa tra 10 e 20 metri e creste, oltre ad elementi tettonico-strutturali quali, nel caso in esame, faglie dirette e faglie dirette inferite non attive.

Vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- giaciture degli strati;
- l'ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato (con indicazione della profondità ove il substrato è stato rinvenuto) e l'ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione);
- l'ubicazione di misure della profondità della falda con relativa indicazione della profondità della superficie libera a partire da piano campagna.

In carta sono inoltre riportate le tracce delle 9 sezioni litotecniche realizzate e mostrate nell'omonima tavola; le stesse tracce potranno in una successiva fase essere utilizzate come tracce di approfondimento per lo studio delle amplificazioni di origine topografica.

11 - CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

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

La liquefazione ha luogo quando la pressione dei pori aumenta fino a eguagliare la pressione intergranulare.

L'incremento della pressione neutra è indotto dalla tendenza di un materiale sabbioso a compattarsi quando è soggetto ad azioni cicliche di un sisma, con conseguente aumento del potenziale di liquefazione del terreno.

Il fenomeno di liquefazione può essere ottenuto dalla combinazione di:

11.1 - FATTORI PREDISPONENTI

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

11.2 - FATTORI SCATENANTI

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

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

I terreni suscettibili al fenomeno di liquefazione sono:

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

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

Tali letture, evidenziano, nella quasi totalità dei casi, la presenza di depositi costituiti da materiali ben classati, con percentuali elevate di materiali fini (< 0.002 mm), e con presenza non trascurabile di ghiaie, che i terreni analizzati, hanno scarsa suscettibilità alla liquefazione.

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

I professionisti incaricati (Studio ProGeo Associati):

Dott. Geol. *Massimiliano Rossi*

Dott. Geol. *Fabio Poggi*

Collaboratori:

Dott. Geol. *Luca Berlingozzi*

Dott. Geol. *Gabriele Menchetti*