

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

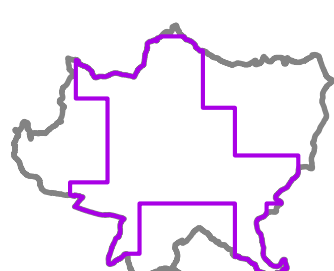
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa

Regione Toscana

Comune di Siena



Regione Toscana	<p>Soggetto realizzatore (ProGeo engineering) referente e coordinatore delle attività Geol. MASSIMILIANO ROSSI</p> <p>I professionisti: Geol. FABIO POGGI Geol. LUCA BERLINGOZZI Geol. LAURA GALMACCI</p> <p>Ufficio di Piano Geol. Lucia Buracchini</p> <p>Responsabile del procedimento: Arch. Rolando Valentini</p>	<p>Data Dicembre 2017</p> 
-----------------	--	---

Sommario

1 - PREMESSA	2
2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE	3
3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE	4
4 - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO	4
5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO	9
6 - INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE E REALIZZATE	12
7 - MODELLO DI SOTTOSUOLO: INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE NELLA SUA DEFINIZIONE	14
8 - CLASSE DI QUALITÀ DELLA CARTA DI LIVELLO I.....	16
9 - METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI	17
LE INDAGINI HVSR RAPPRESENTATE IN GRIGIO NON HANNO EVIDENZIATO PICCHI IN FREQUENZA SIGNIFICATIVI.10 - ELABORATI CARTOGRAFICI	19
11 - DESCRIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	21
12 - DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA	26
13 - CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	27
FATTORI PREDISPONENTI	27
FATTORI SCATENANTI	27

TAVOLE ALLEGATE

- Carta delle indagini (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Carta Geologico - Tecnica (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Carta delle frequenze naturali dei depositi (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Sezioni Geologico – Tecniche	scala 1:2500-5000

1 - PREMESSA

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l’obiettivo di individuare ad una scala comunale le zone in cui le condizioni locali (geologia, litologia, stratigrafia, struttura e morfologia), possono modificare le caratteristiche di un terremoto o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l’ambiente.

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 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° 64 misure di frequenze naturali dei terreni H/V
- n° 4 stendimenti sismici a rifrazione in onde P ed Sh delle lunghezza di 120 m
- n° 3 indagini geofisiche mediante misura su antenna sismica (ESAC)
- n° 3 indagini geofisiche mediante metodologia MASW

Le carte MOPS delle aree indagate, prodotte con il presente studio, sostituiscono integralmente le Carte degli aspetti sismici, allegate al Piano Strutturale che erano state redatte in adempimento a quanto era previsto dalla Del.G.R.T. 94/85.

2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE

Lo studio e le indagini geofisiche sono state condotte secondo le specifiche normative tecniche contenute nell’Ordinanza CDPC n.171/14 del 19/06/2014, pubblicata in G.U. del 25.06.2014 (facente riferimento alle precedenti Ordinanza DPC n. 3907/2010, n.4007/2012 e CDPC n.52/2013) e nel D.G.R.T n.144 del Febbraio 2015. In particolare nell’Allegato A, che sostituisce ed amplia le precedenti specifiche tecniche regionali per la redazione di indagini e studi di MS approvate con Deliberazioni di G.R.T. n.261/2011, 741/2012 e 971/2013 si definiscono le specifiche di realizzazione delle indagini e degli studi di Microzonazione Sismica, si individuano i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di MS, si definiscono le modalità di recepimento e utilizzo dei risultati degli studi di MS in fase pianificatoria, i criteri di selezione dei soggetti realizzatori degli studi di MS, le modalità di finanziamento per la realizzazione e le modalità di certificazione degli studi.

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

- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS), approvati il 13 Novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.144/2015, Appendice 1, Appendici 1-6;
- Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana;
- Indicazioni contenute nel volume di Ingegneria sismica 2/2011;
- Standard per la stesura della carta delle indagini e l’informatizzazione: Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica, Versione 3.0 (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n.3907).

3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Il territorio comunale di Siena (SI) è inserito nella nuova classificazione sismica che è stata approvata con Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014). L'aggiornamento è stato redatto ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006. Il Comune di Siena (SI) è classificato in Zona Sismica 3.

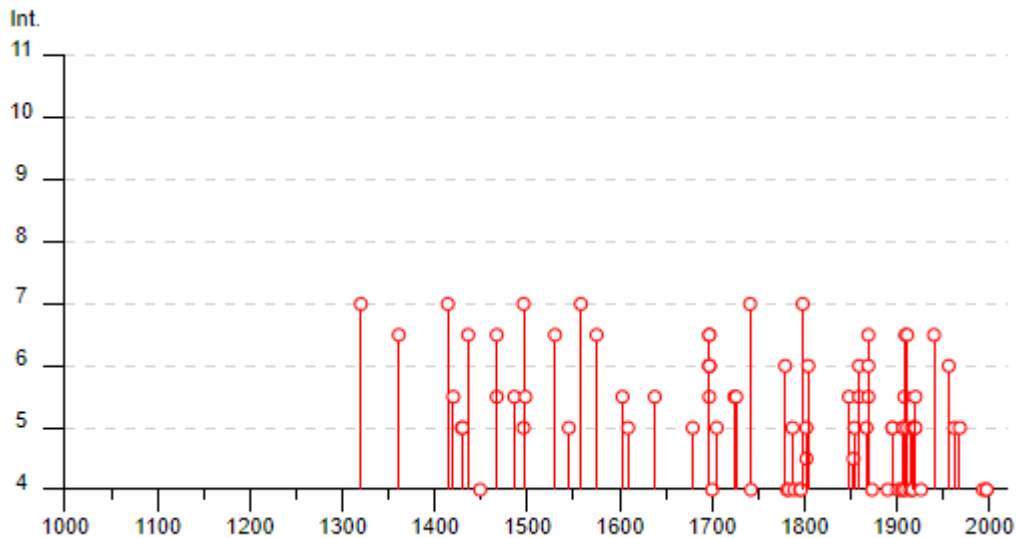


Le zone di indagine sono state localizzate in corrispondenza dei centri abitati e delle aree ad essi limitrofe per un'adeguata ampiezza necessaria alla comprensione della situazione geologico-stratigrafica.

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

4 - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

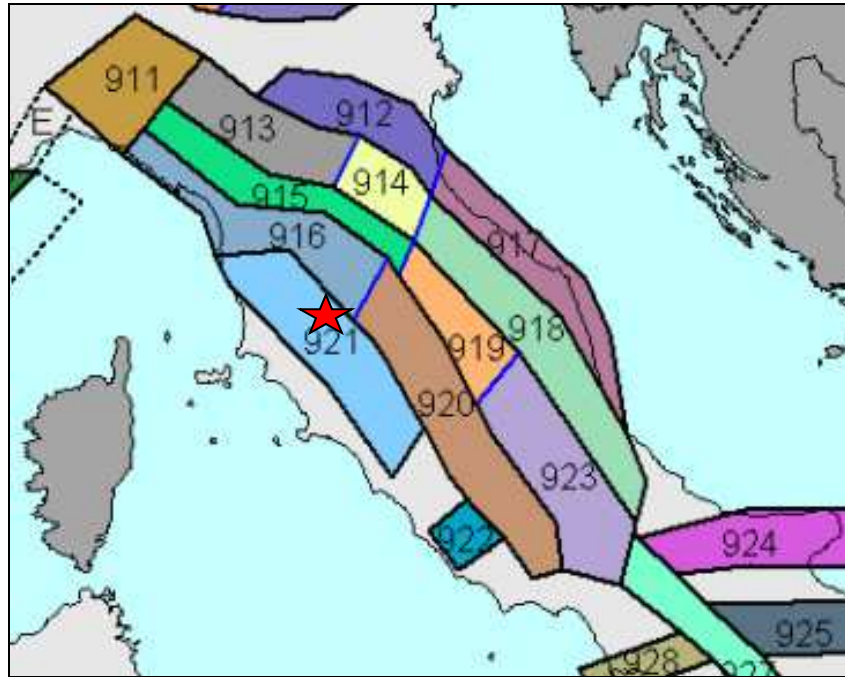
Il primo passo per la definizione della pericolosità è la conoscenza dei dati macrosismici presenti nel Database Macrosismico Italiano la cui ultima versione è il DBMI 2015 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>) messo a disposizione dall'INGV; all'interno del catalogo possono essere selezionati gli eventi di maggiore rilevanza che hanno interessato una data località. Nel caso di Siena vengono evidenziati 145 eventi a partire dal 1320, con relativa Magnitudo di Momento (Mw) dell'epicentro della scossa.



Intensità stimata dei terremoti nell'area senese a partire dal 1300

Il territorio del Comune di Siena è compreso all'interno della zona 921 come definita nella “Zonazione Sismogenetica ZS9” (Meletti C., Valensise G., 2004); tale zona, assieme alla 922 è compresa entro il settore tirrenico definito dal modello sismo-tettonico di Meletti et al.(2000). Tale zona è caratterizzata da un elevato flusso di calore (Meletti C., Valensise G., 2004).

L'intero settore è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione, anche per la superficialità degli ipocentri (Bagnoregio 1695, Orciano Pisano 1846, Piancastagnaio 1919).



ZONAZIONE SIMMOGENETICA ZS9

Nella tabella seguente vengono riassunte le principali caratteristiche della zona 921

ZONA	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
921	97	63	9	4,0	1-5	4

Siena

PlaceID IT_47956
 Coordinate (lat, lon) 43.318, 11.332
 Comune (ISTAT 2015) Siena
 Provincia Siena
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 145

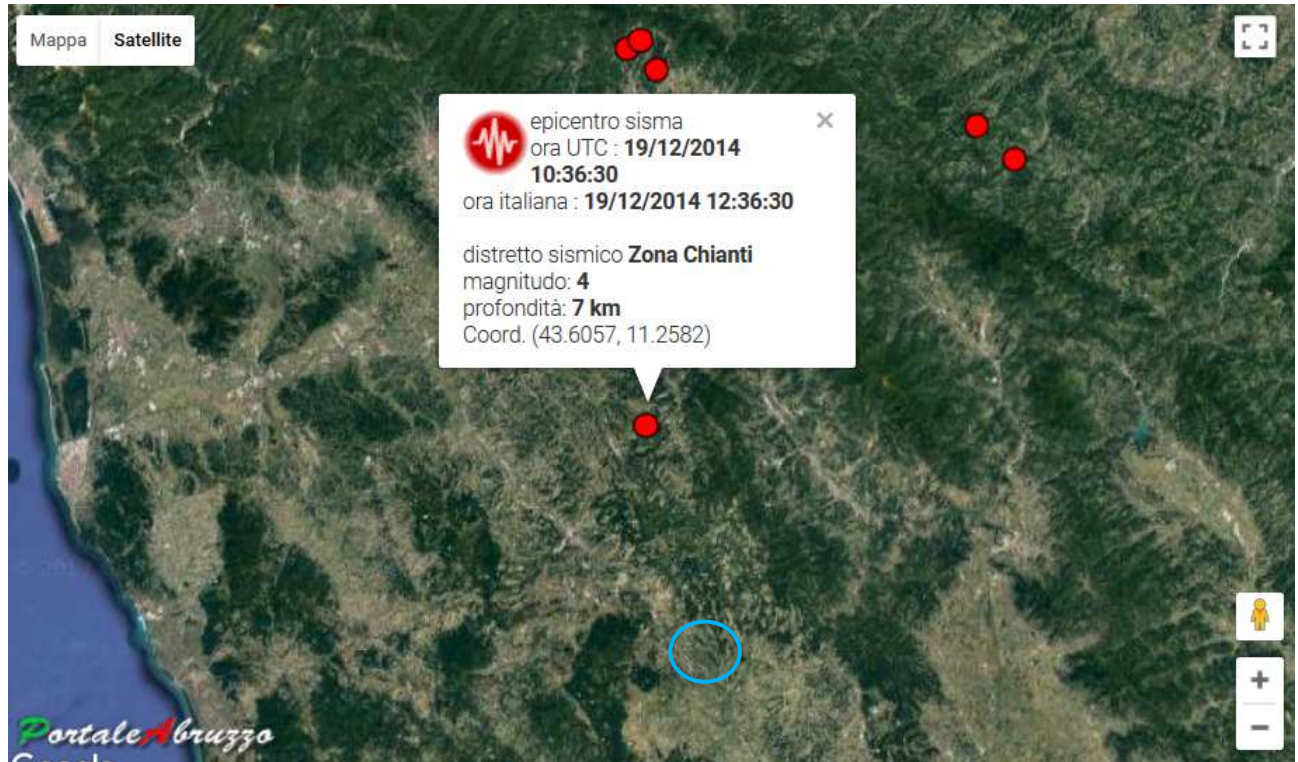
Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
7	1320	12	16				Siena	1	7	5.10	
6-7	1361	12	27				Siena	1	6-7	4.86	
7	1414	08	07				Colline Metallifere	8	7-8	5.70	
5-6	1420						Siena	1	5-6	4.40	
5	1429	06	26				Siena	1	5	4.16	
5	1430	08	13	00	40		Siena	1	5	4.16	
6-7	1436	03					Siena	1	6-7	4.86	
4	1449	10	15	20	45		Crete Senesi	2	6	4.63	
5-6	1467	08	22	20	20		Siena	1	5-6	4.40	
6-7	1467	09	03				Siena	1	6-7	4.86	
5-6	1486	09	30				Siena	1	5-6	4.40	
5	1496	06	04				Siena	1	5	4.16	
7	1496	06	04	08	30		Siena	1	7	5.10	
5-6	1498	04	11	08	50		Senese	2	5-6	4.40	
6-7	1530	11	11	16	30		Senese	3	5-6	4.40	
5	1545	11	27	02			Val d'Orcia	6	7-8	5.33	
7	1558	04	13	09			Valdarno superiore	29	9	5.97	
6-7	1575	06	14	16			Siena	1	6-7	4.86	
5-6	1603	01	25				Siena	1	5-6	4.40	
5	1609						Valdelsa	3	5-6	4.40	
5-6	1638	04					Siena	1	5-6	4.40	
5	1679	03	24	11	30		Val d'Orcia	4	6-7	4.86	
5-6	1697	09	20	15	50		Siena	2	5-6	4.40	
6-7	1697	09	20	16	50		Siena	2	6-7	4.86	
6-7	1697	09	30	12	15		Siena	2	6-7	4.86	
6	1697	10	01				Siena	2	6	4.63	
6	1697	10	28	01			Siena	2	6	4.63	
6	1697	12	20	19	45		Siena	2	6	4.63	
4	1700	02	05				Val d'Orcia	4	6-7	4.86	
5	1705	04	14	19	20		Senese	2	4	3.70	
5-6	1724	12	11	20			Colline Metallifere	5	7	5.10	
5-6	1726	04	19	22			Crete Senesi	5	7-8	5.33	
F	1737	06	11	00	30		Val di Pesa	4	5	4.16	

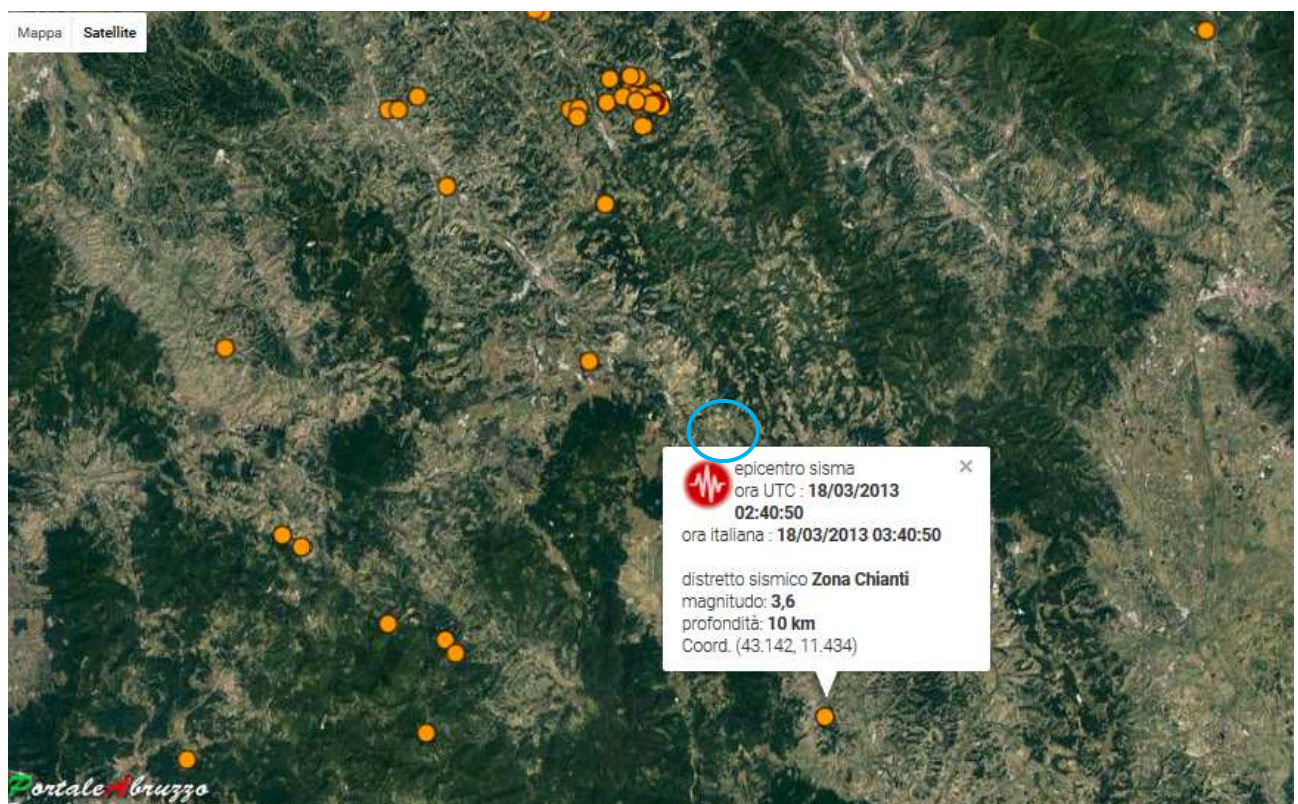
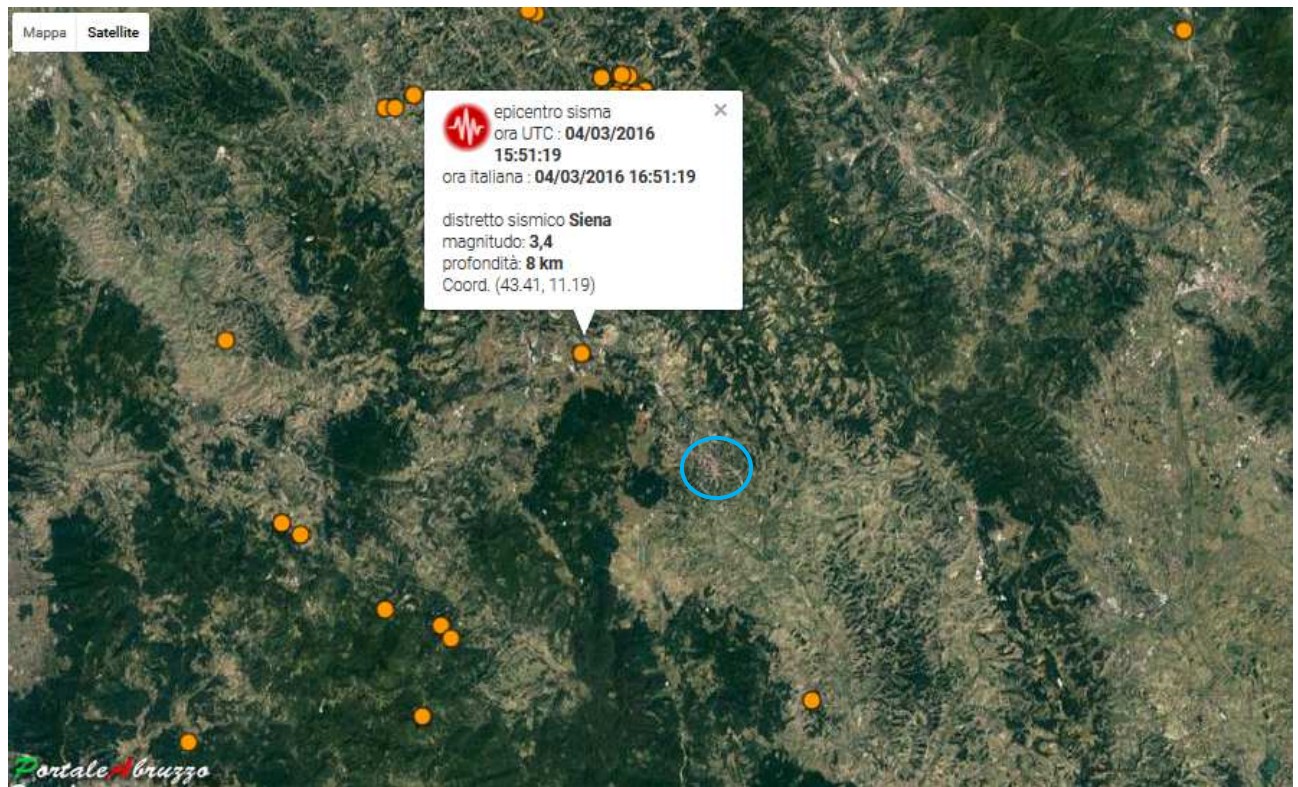
Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
7	1741	10	01				Siena	1	7	5.10	
4	1742	01	27	11	20		Livornese	16	6	4.87	
F	1770	12	27	04			Valdarno superiore	5	6-7	4.86	
6	1779	06	26	12			Siena	2	5	4.16	
4	1781	01	03	02	30		Crete Senesi	22	7-8	5.19	
4	1783	06	29				Casentino	4	5-6	4.40	
F	1787	10	20	13	30		Siena	1	4	3.70	
5	1787	10	21	12	30		Siena	1	5	4.16	
HF	1787	10	21	23			Siena	1	5	4.16	
HF	1787	10	23	05			Siena	1	5	4.16	
2-3	1787	12	26				Casentino	6	5-6	4.40	
4	1789	09	30	10			Alta Valtiberina	73	9	5.89	
4	1795	02	14	19	15		Siena	2	4	3.70	
4	1796	02	05	02			Aretino	9	7	4.96	
7	1798	05	26				Senese	15	6-7	4.85	
3	1798	09	08	16	45		Val d'Orcia	6	6-7	4.86	
4-5	1802	08	10	01	45		Toscana centrale	4	5	4.16	
5	1802	10	30	18	30		Val d'Orcia	17	7	5.15	
F	1804	10	02	21	55		Valdelsa	7	4	4.18	
F	1804	10	06	10	30		Valdelsa	2	4	3.70	
F	1804	10	18	20			Valdelsa	4	7	5.10	
6	1804	12	17				Valdelsa	4	6	4.84	
F	1812	09	11	12			Val di Pesa	13	7-8	5.24	
2-3	1815	01	11	23	30		Monte Amiata	6	6-7	4.86	
3	1828	04	11	22	25		Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93	
2-3	1843	10	25	03	30		Mugello	17	6-7	5.03	
F	1846	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04	
5-6	1848	05	12				Senese	6	6-7	5.05	
NF	1849	11	28	18			Val di Taro	7	6	4.63	
4-5	1853	05	17	15	17		Siena	1	4-5	3.93	
F	1853	08	02				Val di Cecina	6	5-6	4.72	
5	1854	12	04	01			Senese	3	4	3.70	
3	1859	01	30				Crete Senesi	4	5-6	4.40	
5-6	1859	04	12	03	28		Senese	24	6	4.46	
6	1859	04	12	13	03		Senese	16	6-7	4.83	
5	1867	11	01	16	15		Siena	1	5	4.16	
3-4	1868	06	17	01	50		Monte Amiata	3	5-6	4.40	
6-7	1869	02	07				Senese	8	6-7	4.81	
5-6	1869	02	07	04	52		Senese	5	5-6	4.40	
3	1869	06	25	13	58		Appennino bolognese	18	7-8	5.43	
6	1869	09	26	20	45		Valdelsa	9	6-7	4.98	

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
3	1870	10	30	18	34		Forlivese	41	8	5.61	
3-4	1871	07	29	20	45		Val di Cecina	14	7-8	5.15	
3	1871	10	22	13			Chianti	2	6	4.63	
4	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8	5.85	
NF	1874	10	07				Imolese	60	7	4.96	
2-3	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74	
3	1881	09	28				Cesena	24	6-7	4.71	
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27	
2	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6	4.47	
NF	1889	12	08				Gargano	122	7	5.47	
4	1890	02	15	02	35	0	Valdelsa	12	5	4.52	
5	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8	5.50	
3	1895	06	06	00	35	0	Fiorentino	29	5-6	4.55	
2	1895	08	09	17	38	2	Adriatico centrale	103	6	5.11	
5	1895	10	25	00	24	5	Chianti	36	5-6	4.51	
NF	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59	
NC	1898	06	27	23	38		Reatino	186	8	5.50	
4	1901	09	22	21	42	1	Valdelsa	35	6	4.68	
NF	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44	
3-4	1902	06	27	16	48		Casentino	13	6	4.46	
2	1902	12	17	05	21		Monte Amiata	30	6-7	4.83	
2	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82	
F	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10	
4	1905	02	12	08	28		Monte Amiata	61	6	4.55	
3-4	1906	04	21	06	35		Valdelsa	45	5-6	4.30	
4	1906	12	20	02	38		Valdelsa	28	4	3.96	
5	1907	12	15	13	06	5	Chianti	20	5	4.19	
5	1907	12	20	10	29	1	Chianti	35	6	4.44	
5-6	1908	06	26	13	15		Senese	9	5	4.36	
4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
6-7	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34	
2	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26	
6-7	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08	
5	1911	09	13	22	35	1	Chianti	13	4-5	4.35	
2-3	1913	07	29	22	24		Casentino	16	5-6	4.54	
NF	1914	01	15	03	27	2	Livornese	25	5	4.33	
3	1914	05	15	13	06		Chianti	6	5	4.16	
4	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63	
2	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08	
5	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82	
4	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99	

Effetti		In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1917	12	02	17	39		Appennino forlivese	32	6-7	5.09
3	1918	01	22	19	39		Corazzano	5	5	4.16
5	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
5	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
2-3	1919	09	10	16	57		Val di Paglia	67	7-8	5.36
2-3	1919	10	25	13	51		Alta Valtiberina	30	6	5.03
5	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1920	11	24	04	20		Senese	15	4-5	4.07
2	1925	03	21	07	33	4	Colline Metallifere	17	5-6	4.29
4	1926	01	08	09	14		Monte Amiata	24	7	4.90
2	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7	4.96
6-7	1940	01	31	11			Siena	30	5-6	4.23
3	1940	06	19	14	10		Monte Amiata	28	6	4.64
3	1940	10	16	13	17		Val di Paglia	106	7-8	5.29
6	1956	02	22	22	55	0	Senese	29	5	4.03
5	1962	09	16	14	49	4	Chianti	19	6	4.54
5	1968	06	26	03	15		Senese	7	5	4.19
NF	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
NF	1976	05	06	20			Friuli	770	9-10	6.45
F	1979	09	19	21	35	3	Valnerina	694	8-9	5.83
3	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
2	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
4	1993	08	06	07	51	4	Colline Metallifere	35	5-6	4.03
4	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
NF	1998	03	26	16	26	1	Appennino umbro-marchigiano	409		5.26
3-4	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
2-3	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24

Di seguito sono rappresentati, i terremoti avvenuti negli ultimi 15 anni in Toscana centrale, tratti da “PortaleAbruzzo”: con i punti rossi quelli con magnitudo >4 ; con i punti arancio quelli con magnitudo >3 . Con il cerchio azzurro è indicata l’area di Siena.





5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO

Il bacino sedimentario neogenico di Siena occupa la parte centrale di una depressione tettonica che si allunga per 200 km, con direzione approssimativamente NNO-SSE, dalla valle del Serchio sino alla Val di Chiana.

L'attuale assetto delle formazioni neogeniche affioranti nel bacino di Siena è il risultato di più fasi deformative: quelle più antiche sono avvenute in regime compressivo, quelle più recenti, che hanno avuto inizio a partire dal Miocene inferiore, hanno caratteristiche distensive. La sedimentazione di ambiente continentale e marino, sviluppatasi nelle fosse tettoniche a partire dal Tortoniano è stata influenzata sia da movimenti verticali che da variazioni eustatiche.

Il bacino di Siena è delimitato a nord e a sud rispettivamente dalla soglia di Monteriggioni e dalla soglia di Pienza. La sua ampiezza è approssimativamente di 40 km in senso longitudinale e di 20 km in senso trasversale. I sedimenti di età compresa tra il Miocene medio-sup. ed il Pliocene medio hanno uno spessore superiore a 1000 m nella porzione orientale del bacino con sedimenti prevalentemente del Pliocene medio, in corrispondenza di un allineamento Montaperti-Asciano-Montisi (*Cherubini et al., 1996*).

Nell'area cartografata sono rappresentate molte delle formazioni neogeniche, depostesi dopo la strutturazione della catena appenninica. I sedimenti miocenici sono di ambiente lacustre o lacustre-salmastro (i.e. Breccia di Grotti -MESa, Conglomerati di Lilliano – MESb e Argille del Casino (ACN) (*Bossio et al., 2002*). Nella parte settentrionale dell'area sono affioranti le Argille del Casino, costituite da argille e argille siltoso-marnose di colore grigio e da marne bianche e grigio-avana; la loro deposizione è avvenuta in ambiente continentale, con acque poco profonde, dolci o debolmente salmastre.

A nord-ovest di Siena affiorano le breccie di Grotti (MESa): si tratta di un deposito clastico grossolano che assume le caratteristiche di una breccia; è formato esclusivamente da elementi di Calcarea Cavernoso che presentano un bassissimo grado di elaborazione. Nel presente lavoro, sono state assimilate, data la somiglianza litologica e composizionale col Calcarea Cavernoso, affiorante più ad est, ad un substrato granulare, fratturato nella porzione superficiale, in grado di dare origine a contrasti di impedenza sismica, benché in aree molto limitate, in presenza di una copertura più lenta. Le velocità delle onde Sh, di questo litotipo, come testimoniato dalle indagini effettuate, possono senzaltro facilmente superare il valore di 800 m/s. L'estrema variabilità composizionale, la percentuale più o meno elevata di matrice, non consente in ogni caso di attribuire a tale litotipo la definizione di substrato sismico in modo generalizzato.

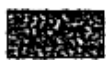
La parte maggiore degli affioramenti è costituita dalle formazioni plioceniche, quali le Argille Azzurre (FAA) e le sabbie e arenarie gialle (PLIs) in cui sono presenti, talora, lenti conglomeratiche (PLIb). La formazione delle sabbie e arenarie plioceniche PLIs è costituita da sabbie e sabbie cementate color giallo-ocra; la stratificazione è di norma poco evidente, ma possono essere presenti laminazioni piano-parallele.

Come visibile nelle sezioni geologico-tecniche sono presenti anche nelle aree studiate significative dislocazioni sia in senso appenninico che anti-appenninico, ritenute attive tra il Miocene ed il Pliocene inf. (*Bossio et al., 2002*).

La necessaria semplificazione necessaria in questo contesto pone un limite netto tra le sabbie gialle e le sottostanti argille azzurre, superando i reali rapporti tra queste formazioni, costituiti da facies intermedie, da interdigitazioni e eteropie laterali, oltre a variazioni anche repentine di spessore.

Di seguito si riportano le formazioni di riferimento per la realizzazione delle cartografie.

INFORMAZIONI SUL SUBSTRATO



SUBSTRATO GEOLOGICO (comprese eventuali coperture di alterazione con spessore < 3 m)
a) granulare cementato

FORMAZIONI DI RIFERIMENTO

- Breccie e conglomerati ad elementi di calcare cavernoso (MESa) – TUROLIANO SUPERIORE
- Conglomerati poligenici (MESb) – TUROLIANO SUPERIORE

INFORMAZIONI SUI TERRENI DI COPERTURA

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi alluvionali attuali (b) – OLOCENE

Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna) – OLOCENE

Depositi alluvionali terrazzati (bnb) – PLEISTOCENE MEDIO–PLEISTOCENE SUPERIORE

Depositi lacustri (e2a) – OLOCENE

DEPOSITI MARINI PLIOCENICI

Sabbie e arenarie glauche (PLIs) – ZANCLEANO–PIACENZIANO

Conglomerati marini poligenici (PLIb) – ZANCLEANO–PIACENZIANO

Argille azzurre (FAA) – ZANCLEANO–PIACENZIANO

Argille azzurre: argille sabbiose, limi e argille siltose (FAAb) – ZANCLEANO–PIACENZIANO

DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI MESSINIANI

Argille lignitifere (ACN) – TUROLIANO SUPERIORE

Bibliografia:

- A.Bossio, R.Mazzei, G.Salvatorini, F.Sandrelli: “*Geologia dell’area compresa tra Siena e Poggibonsi (“Bacino del Casino”)*”
Atti Soc. tosc. Sc. nat., Mem., Serie A (2000-2002)
- C.Chelibini, L.Coppola, C.I.Giasi: “*Caratteri geologico-tecnici delle argille del bacino di Siena*”
Mem.Soc.Geol.It. 51(1996)

6 – INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE E REALIZZATE

Da un punto di vista geologico-geomorfologico sono stati analizzati gli elaborati cartografici di base del Piano Strutturale e la cartografia presente nel database geologico della Regione Toscana. Il presente studio di Microzonazione sismica di livello 1 ha comportato, in prima istanza, il reperimento e la raccolta dei dati relativi alle indagini del sottosuolo effettuate nell’area di interesse.

Tale raccolta ha comportato la consultazione di varie banche dati: la banca dati delle indagini geotematiche (BDIG) della Regione Toscana, che raccoglie i dati di base allegati agli strumenti urbanistici vigenti; la banca dati dei pozzi della Regione Toscana presente nella “Banca dati sottosuolo”; la banca dati delle indagini del sottosuolo presenti nel Portale del Servizio Geologico d’Italia dell’ISPRA; i dati presenti nell’Archivio dell’Ufficio Urbanistica del Comune di Siena e nell’Archivio dell’Ufficio Tecnico del Genio Civile. Di particolare interesse sono risultati i dati riguardanti interventi recenti e quindi non allegati agli strumenti urbanistici vigenti.

I dati archiviati sono rappresentati in massima parte da prove penetrometriche statiche, prove penetrometriche dinamiche, sondaggi a carotaggio continuo, pozzi per acqua, indagini sismiche a rifrazione e MASW.

Le indagini realizzate *ad hoc* per il presente studio sono consistite in 64 misure di rumore sismico ambientale con metodologia a stazione singola HVSR, in 4 stendimenti sismici a rifrazione in onde P ed SH e in 3 stendimenti sismici di tipologia ESAC + MASW.

Nel complesso i dati di base a disposizione del presente studio sono stati i seguenti:

- n° 539 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 41 sondaggi a carotaggio continuo con Down-Hole
- n° 175 sondaggi a carotaggio continuo con piezometro
- n° 68 prove penetrometriche dinamiche leggere o medie (DPL – DPM)
- n° 246 prove penetrometriche dinamiche pesanti o superpesanti (DPH – DPSH)
- n° 171 prove penetrometriche statiche
- n° 136 sondaggi a distruzione di nucleo per pozzi per acqua
- n° 34 indagini di sismica passiva tramite stazione singola (HVSR) + N°64 di nuova acquisizione
- n° 100 indagini sismiche MASW
- n° 107 indagini sismiche a rifrazione

Come sopra accennato, sono state effettuate delle misure a stazione singola per l’analisi dei microtremori ambientali (misure H/V). Lo scopo principale di tale tipologia d’indagine è quello di approfondire le conoscenze stratigrafiche ed in particolare di distinguere eventuali contrasti di impedenza sismica, tra materiali con velocità delle onde sismiche di taglio significativamente differenti. In particolare, sono state eseguite n°64 misure all’interno delle aree di studio.

I dati di base sono stati informatizzati secondo quanto previsto dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”, versione 3.1beta-II:

- Ind_pu (feature class puntuale) contenente l’ubicazione delle prove puntuali;
- Ind_In (feature class lineare) contenente l’ubicazione delle prove lineari;
- Sito_Puntuale (tabella) contenente le informazioni relative al sito di indagine;
- Sito_Lineare (tabella) contenente le informazioni relative al sito di indagine;
- Indagini_Puntuali (tabella) contenente le informazioni relative alla tipologia di indagine puntuale effettuata;
- Indagini_Lineari (tabella) contenente le informazioni relative alla tipologia di indagine lineare effettuata;
- Parametri_Puntuali (tabella) contenete i parametri geotecnici e geofisici puntuali determinati, relativi alle varie unità geologico-tecniche;
- Parametri_Lineari (tabella) contenente i parametri geofisici lineari relativi alle varie unità geologico-tecniche;
- Curve (tabella) contenente i dati relativi a curve cumulative di prove di laboratorio.

7 – MODELLO DI SOTTOSUOLO: INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE NELLA SUA DEFINIZIONE

La maggior parte del sottosuolo dell’abitato di Siena è caratterizzato da sedimenti costituiti dalle sabbie gialle plioceniche. Tale litotipo ha caratteristiche geotecniche generalmente buone, con stato di addensamento elevato. Lo spessore può superare anche i 100 m.

I risultati ottenuti dalle indagini effettuate in questo contesto mostrano una sostanziale assenza picchi in frequenza significativi riconducibili a fenomeni di amplificazione stratigrafica. I depositi marini neogenici e in particolare le sabbie mostrano velocità delle onde Sh già elevate (400-600 m/s) a partire da pochi metri di profondità; occasionalmente per la presenza di lenti conglomeratiche tali velocità possono essere prossime a 700 m/s. La presenza di alcune misure HVSR che evidenziano un picco a valori prossimi o superiori a 10 Hz, peraltro con valori di ampiezza molto limitati, mostrano la presenza di livelli competenti (di probabile componente conglomeratica) in grado di produrre un debole contrasto di impedenza.

Come sopra accennato, i litotipi affioranti hanno diverse componenti sia nella porzione settentrionale che in quella meridionale, sia per cause tettoniche che puramente stratigrafiche.

Infatti, approssimativamente dalle colline a sud di Siena sino ad Isola d’Arbia, i sedimenti pliocenici marini hanno componente prevalentemente argillosa, sebbene siano presenti intercalazioni, anche significative, di sabbie argillose e di sabbie limose. La situazione dal punto di vista dei contrasti di impedenza sismica è pressoché analoga quella dell’area centrale di Siena, con misure sostanzialmente “piatte” e valori di ampiezza prossimi ad 1, benché i valori di velocità delle onde Sh siano ben inferiori.

Litotipi prevalentemente coesivi, con spessori superiori a 80 – 100 m, sono presenti anche nell’area settentrionale (i.e. Ficareto, Colombaiolo, San Miniato). Sempre nell’area nord di Siena, nella zona di Montarioso, affiorano sedimenti fluvio-lacustri e lacustri del Miocene superiore, in cui la componente sabbiosa è pressoché assente, mentre preponderante è quella argillosa con presenza di clasti ruditici che formano lenti riferibili alle Breccie di Grotti (MESa) e ai Conglomerati di Lilliano (MESb). Anche in questo contesto litostratigrafico non sono stati evidenziati contrasti di impedenza sismica significativa, con velocità delle onde Sh, desunte dai dati disponibili, prossime a 500-600 m/s già da pochi metri di profondità e in cui le alternanze litologiche e le interdigitazioni hanno un ruolo importante anche dal punto di vista sismico, con probabile non rilevante fenomenologia di amplificazione per cause stratigrafiche.

Una situazione differente è stata messa in luce in presenza del substrato geologico costituito dalle breccie calcaree e dolomitiche (i.e. Breccia di Grotti – MESa e Calcarea Cavernosa)

subaffiorante, principalmente nella parte occidentale del territorio studiato, dove possono essere ipotizzati fenomeni di risonanza, come ad esempio nell'area di Petriccio e di Volte Basse. Le indagini sismiche a rifrazione hanno messo in luce, per questo litotipo, velocità delle onde $Sh > 800$ m/s, che in presenza di coperture più allentate, seppur di modesto spessore, danno luogo a contrasti messi in luce anche dalle indagini HVSR con valori di frequenza fondamentale di interesse ingegneristico. Tale litotipo, pur nella notevole variabilità tessiturale, dovuta a cause sedimentologiche e tettoniche è stato considerato substrato granulare, fratturato nella sua porzione superficiale; nell'area di Volte Basse, il substrato immerge al di sotto delle coperture con angolo molto elevato, in modo tale che, come testimoniato dai dati di base raccolti, già a pochissima distanza dalla rottura di pendenza corrispondente agli affioramenti del substrato (Breccia di Grotti e Calcare cavernoso), non è più individuabile.

8 – CLASSE DI QUALITÀ DELLA CARTA DI LIVELLO I

La raccolta delle indagini pregresse e l'effettuazione ex-novo di misure di rumore ambientale a stazione singola ha consentito di giungere all'ottenimento della classe di qualità A (87.8%).

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

FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE					
a	Parametro	4			
Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola					
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	1	1
	<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	1	0.66
	<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	1	0.33
	<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	1	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	0.66	0.66
	<i>Pesi indicatori</i>		0.33	0.33	0.33
Tot					

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%
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0.33	Numero di sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0.50)	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero di 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
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0.25)	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%
	0.33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
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
	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. Albarelo, C. Ces. V. Esaffi, F. Guerin, E. Landei, E. Paoletti, D. Pileggi, L.M. Pazzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Ter. Appl.

a	25	punteggi parziali	CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
b	0.99	24.8	A	³ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
c	0.50	12.4	B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
d	0.88	21.9	C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
e	0.38	9.6	D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana
f	0.19	4.8			
g	0.57	14.4			
Tot	87.8	87.8	Classe A		



9 – METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI

Allo scopo di definire le caratteristiche fisiche, elastiche e geometriche del sottosuolo è stata eseguita, oltre ai 4 stendimenti sismici a rifrazione e ai 3 con metodologia ESAC-MASW, una campagna di n°64 misure di rumore sismico ambientale di tipo H/V.

Le ubicazioni e i risultati delle misure sono visibili nella cartografia prodotta “*Carta delle frequenze naturali dei depositi*” in scala 1:5000. Le misure sono state eseguite in punti disposti in modo da consentire una buona copertura areale e da analizzare zone dalle diverse e rappresentative caratteristiche geologico-stratigrafiche. Le misure hanno avuto ognuna una durata di almeno 20 minuti in modo da poter avere un numero di finestre statisticamente significativo su cui effettuare una media (considerando l’eliminazione di talune finestre per la presenza di disturbi) e di adeguata lunghezza (tra 20-30 s) per l’analisi di frequenze anche molto basse (fino circa a 0.2 Hz). La frequenza di campionamento in fase di acquisizione è stata di 300 campioni per secondo.

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

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

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

Gli spessori delle coperture poste su substrato o le profondità di contrasti di impedenza sismica significativi possono in prima approssimazione essere ricavati da un abaco; tali valori

hanno però solo un valore indicativo e necessitano di confronto con prove indipendenti perché gli spessori siano definiti con maggiore precisione e accuratezza.

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

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

Id	F0	A0		Id	F0	A0
1	0.0	0.0		33	0.0	0.0
2	0.8	2.4		34	0.0	0.0
3	0.0	0.0		35	8.0	1.7
4	0.0	0.0		36	1.0	1.6
5	0.0	0.0		37	10.7	4.0
6	0.0	0.0		38	0.0	0.0
7	0.0	0.0		39	0.0	0.0
8	7.0	7.1		40	12.7	2.4
9	0.0	0.0		41	4.3	1.5
10	0.0	0.0		42	0.0	0.0
11	0.0	0.0		43	12.0	2.4
12	0.0	0.0		44	15.1	1.4
13	0.0	0.0		45	0.0	0.0
14	0.0	0.0		46	20.0	2.3
15	13.3	6.9		47	0.0	0.0
16	11.7	1.7		48	0.0	0.0
17	0.0	0.0		49	17.1	2.7
18	15.6	2.4		50	11.7	1.8
19	1.2	1.8		51	17.5	1.5
20	6.5	8.9		52	18.4	2.7
21	0.0	0.0		53	8.5	2.5
22	15.9	2.7		54	13.1	2.5
23	0.0	0.0		55	6.9	2.4
24	1.6	2.3		56	6.0	3.9
25	9.2	2.2		57	9.4	1.8
26	0.0	0.0		58	0.0	0.0
27	0.0	0.0		59	0.0	0.0
28	20.0	2.6		60	13.2	1.5
29	4.7	1.4		61	1.4	1.6
30	9.9	1.6		62	0.0	0.0
31	0.0	0.0		63	3.3	7.0
32	0.0	0.0		64	7.5	7.1

Risultati delle misure di microtremore a stazione singola H/V

Le indagini HVSR rappresentate in grigio non hanno evidenziato picchi in frequenza significativi.
















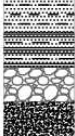

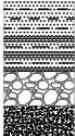

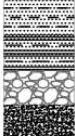


10 – ELABORATI CARTOGRAFICI







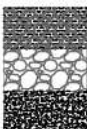
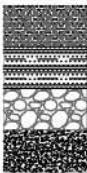

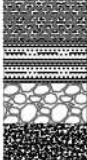
Gli elaborati cartografici prodotti sono i seguenti:






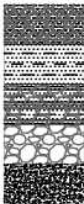



- Carta delle indagini in scala 1:5000
- Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica in scala 1:5000
- Carta delle frequenze naturali dei depositi in scala 1:5000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5000
- Sezioni geologico-tecniche in scala 1: 1:5000/1:2500

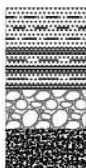
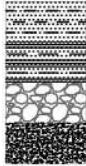
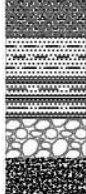
11 - DESCRIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

11.1 - ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

	 <p>Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (3-20 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (20-40 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (3-20 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (20-40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (20-40 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (40-60 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (20-40 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (20-40 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>

Zona 10		Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Alternanze di ruditi in matrice limoso-sabbiosa e argille limoso-sabbiose (40-60 m)
Zona 11		Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m)
Zona 12		Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (60-100 m)
Zona 13		Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (20-40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m)
Zona 14		Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (40-60 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m)
Zona 15		Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (60-100 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m)
Zona 16		Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3-20 m) Substrato fratturato: brecce e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato
Zona 17		Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (3-20 m) Substrato fratturato: brecce e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato
Zona 18		Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3-20 m) Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m)
Zona 19		Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3-20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (20-40 m) Substrato fratturato: brecce e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato



Zona 20	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (20–40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (20–40 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso–sabbiosa (3–10 m) Substrato granulare cementato</p>
Zona 21	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (60–100 m)</p>
Zona 22	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (3–20 m) Alternanze di ruditi in matrice limoso–sabbiosa e argille limoso–sabbiose (3–20 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso–sabbiosa (3–10 m) Substrato granulare cementato</p>
Zona 23	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (40–60 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40–60 m)</p>
Zona 24	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (3–20 m) Alternanze di ruditi in matrice limoso–sabbiosa e argille limoso–sabbiose (20–40 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso–sabbiosa (3–10 m) Substrato granulare cementato</p>
Zona 25	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (3–20 m) Alternanze di ruditi in matrice limoso–sabbiosa e argille limoso–sabbiose (40–60 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso–sabbiosa (3–10 m) Substrato granulare cementato</p>
Zona 26	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (3–20 m) Alternanze di ruditi in matrice limoso–sabbiosa e argille limoso–sabbiose (40–60 m)</p>
Zona 27	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Sabbie limose e arenarie medio–fini con lenti di conglomerati, addensate (20–40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40–60 m)</p>
Zona 28	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3–20 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40–60 m)</p>

Zona 29	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (20-40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
Zona 30	 <p>Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (40-40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>
Zona 31	 <p>Limi sabbiosi e sabbie ghiaiose da moderatamente addensati ad addensati (3-20 m) Sabbie limose e arenarie medio-fini con lenti di conglomerati, addensate (20-40 m) Argille, argille limose e argille sabbiose, consistenti (40-60 m) Substrato fratturato: breccie e conglomerati in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato granulare cementato</p>

11.2 - ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

All'interno dell'area di studio sono presenti numerose aree mappate come zone di attenzione per instabilità di versante. In particolare alcune di esse sono considerate in stato di attività e sono situate in prossimità o addirittura interessano i centri abitati. In particolare si segnalano nell'area di Via Fontebranda, Strada di Pescaia e a monte di Viale Toselli, fenomeni di franosità diffusa in stato di attività, dovuta all'azione erosiva su pareti molto acclivi ove affiorano principalmente litotipi sabbiosi più o meno cementati con lenti conglomeratiche. L'area di influenza di tali fenomeni non è in ogni caso elevata, limitandosi generalmente alla parte sommitale delle scarpate in erosione.

Zone di attenzione per instabilità di versante

-  Zona di Attenzione per instabilità di versante attiva (FR_A) - Esempio: Zona 2 = 3012-2002
3012: ZAFR scorrimento
-  Zona di Attenzione per instabilità di versante quiescente (FR_Q) - Esempio: Zona 2 = 3022-2002
3022: ZAFR scorrimento

11.3 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

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

- Aree a “Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4): zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici
- Aree a “Pericolosità sismica locale elevata (S.3): zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri ”
- Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non rientranti tra i criteri previsti per la Classe “Pericolosità sismica locale elevata (S.3)” vengono inserite all’interno della Classe “Pericolosità sismica locale media (S.2)”.
- Zone stabili non sono state cartografate, motivo per il quale non vi sono aree inserite all’interno della Classe “Pericolosità sismica locale bassa (S.1)”.

12 – 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; nel caso del presente lavoro è stata distinta una sola tipologia di substrato:

- substrato geologico granulare cementato (rappresentato geologicamente dalla F.ne della Breccia di Grotti e del Calcare Cavernoso).

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.

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).

13 – 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.

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

Il fenomeno di liquefazione può essere ottenuto dalla combinazione di:

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.

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;
- Depositii 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.

Tale analisi ha portato ad evidenziare la presenza di depositi costituiti da materiali con ampia distribuzione granulometrica, con percentuali elevate di materiali con componente coesiva (< 0.062 mm) e con presenza non trascurabile di granulometrie ruditiche, motivo per il quale i terreni analizzati presentano una scarsa suscettibilità alla liquefazione.

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

Arezzo, dicembre 2017

ProGeo Engineering

Dott. Geol. *Massimiliano Rossi*

Dott. Geol. *Fabio Poggi*

Collaboratori:

Dott. Geol. *Luca Berlingozzi*

Dott. Geol. *Laura Galmacci*