



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



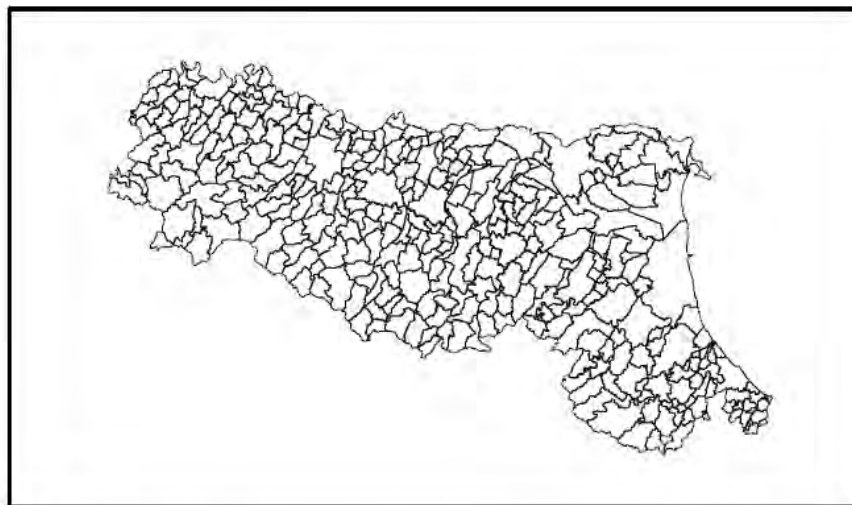
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di San Prospero



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia Romagna	Studio Geologia Tecnica Dott. Geol. Lorenzo Del Maschio Collaboratori Ing. Giorgia Tonioni	Giugno 2019

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Geol. LORENZO DEL MASCHIO

Via Camogli 59 - 41125 Modena
Tel 347/4128277 - Fax 059/394816
e-mail delmaschio.l@alice.it
PEC delmaschio.l@epap.sicurezzapostale.it

COMUNE DI SAN PROSPERO S/S
PROVINCIA DI MODENA

OGGETTO:

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI
SAN PROSPERO SULLA SECCHIA**

-RELAZIONE ILLUSTRATIVA-

GIUGNO 2019

Dott. Geol Lorenzo Del Maschio

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE	1
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1. Inquadramento sismotettonico	3
2.2. Attività tettonica	4
2.3. Pericolosità sismica di base	6
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	25
3.1 Inquadramento geologico	25
3.2 Inquadramento geomorfologico	29
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	32
4.1 Dati Geotecnici	32
4.2 Dati Geofisici	35
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	40
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	43
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	44
7.1 Premessa	44
7.2 Metodologie di elaborazione	44
7.3 Risultati	46
8. ELABORATI CARTOGRAFICI	51
8.1 Carta delle indagini	51
8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	52
8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni	53
8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)	54
8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	62
8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2 o 3)	62
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	65
10. BIBLIOGRAFIA	69

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro, redatto ai fini della valutazione delle condizioni di sicurezza del territorio comunale di San Prospero s/S (MO), è finalizzato alla riduzione del rischio sismico del territorio urbanizzato, di futuro sviluppo e delle fasce interessate dalle principali infrastrutture, per le valutazioni di pianificazione urbanistica.

Le analisi sono state eseguite in ottemperanza ai dettati delle leggi nazionali e regionali e alla Delibera di Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n. 1227 (DGR 1227/2015), OCDPC 171/2014, "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008).

Dal punto di vista territoriale il Comune di San Prospero s/S è ubicato nella parte centro-settentrionale della pianura modenese, presenta un'estensione di 34,56 kmq, con quote che variano da un minimo di 19 m s.l.m. ad un massimo di 32 m s.l.m.. La popolazione è pari a 5933 abitanti al 31/12/2017.

Il territorio comunale confina, dal punto di vista amministrativo, con i Comuni di Carpi, Cavezzo, Medolla, Bomporto e Soliera tutti comuni della Provincia di Modena Dal punto di vista della classificazione sismica, il territorio comunale rientra nella zona "3" (a bassa sismicità).

L'assetto insediativo presenta numerosi agglomerati urbani diversamente articolati dal punto di vista territoriale tra capoluogo e frazioni; infatti il territorio comunale, oltre al capoluogo, è articolato in n. 4 frazioni e nuclei abitati principali: San Lorenzo Della Pioppa, San Martino Secchia, San Pietro in Elda e Staggia. Numerose sono le case sparse quali Case Badia, Case Baraldi, Case Belfiore, Case Gallerana, Case Gherardi, Case Miolato, Case Montesello, Case Viazza, Casino Torre, Castello Martinelli, San Martino, San Silvestrino, San Silvestro

Nello specifico l'analisi di microzonazione sismica è stata realizzata con il contributo di cui all'OCDPC 171/2014 ed è stata sviluppata sotto il coordinamento del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Le valutazioni di fattibilità, per le possibilità di sviluppo urbanistico del territorio comunale, sono state effettuate in funzione sia delle condizioni geologiche, strutturali e delle tipologie dei processi morfogenetici riscontrati, sia in funzione delle pericolosità sismica di base e locale delle aree di interesse.

L'analisi della pericolosità sismica dell'area del comune di San Prospero s/S è stata sviluppata mediante due differenti step di lavoro:

- il primo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di primo livello, utile per l'individuazione degli ambiti suscettibili di effetti locali in caso di eventi sismici su tutto il territorio comunale;
- il secondo step ha previsto la realizzazione di un approfondimento sismico di secondo livello, o microzonazione sismica semplificata, necessaria, per le aree sopra individuate, per la definizione dei Fattori di Amplificazione correlati allo scuotimento sismico atteso al suolo, sulla base delle indicazioni contenute nelle disposizioni regionali e nazionali, ovvero la DGR 2193/2015, la DGR 630/2019 e "I.C.M.S." del Dipartimento della

Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e P.A. (Gruppo di lavoro MS, 2008).
Quest'ultimo livello è stato realizzato su tutto il territorio urbanizzato e di futuro sviluppo.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Inquadramento Sismotettonico

San Prospero s/S è un comune della pianura centro-settentrionale modenese, localizzato sul fianco meridionale dell'anticlinale di Mirandola (Boccaletti e t al., 2004; Martelli et al., 2017a) delle Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981).

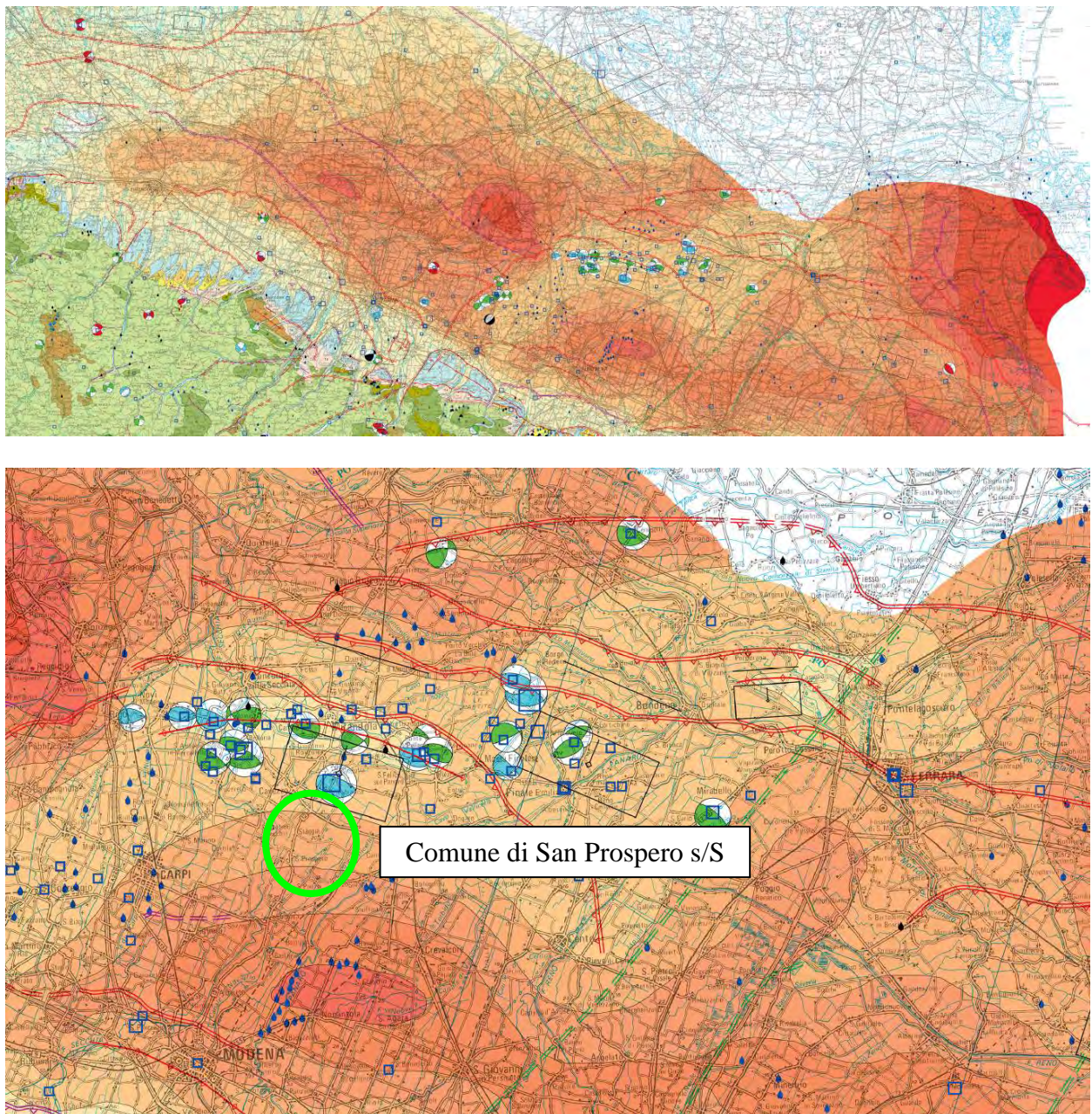


Figura 2.1: Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (2016)

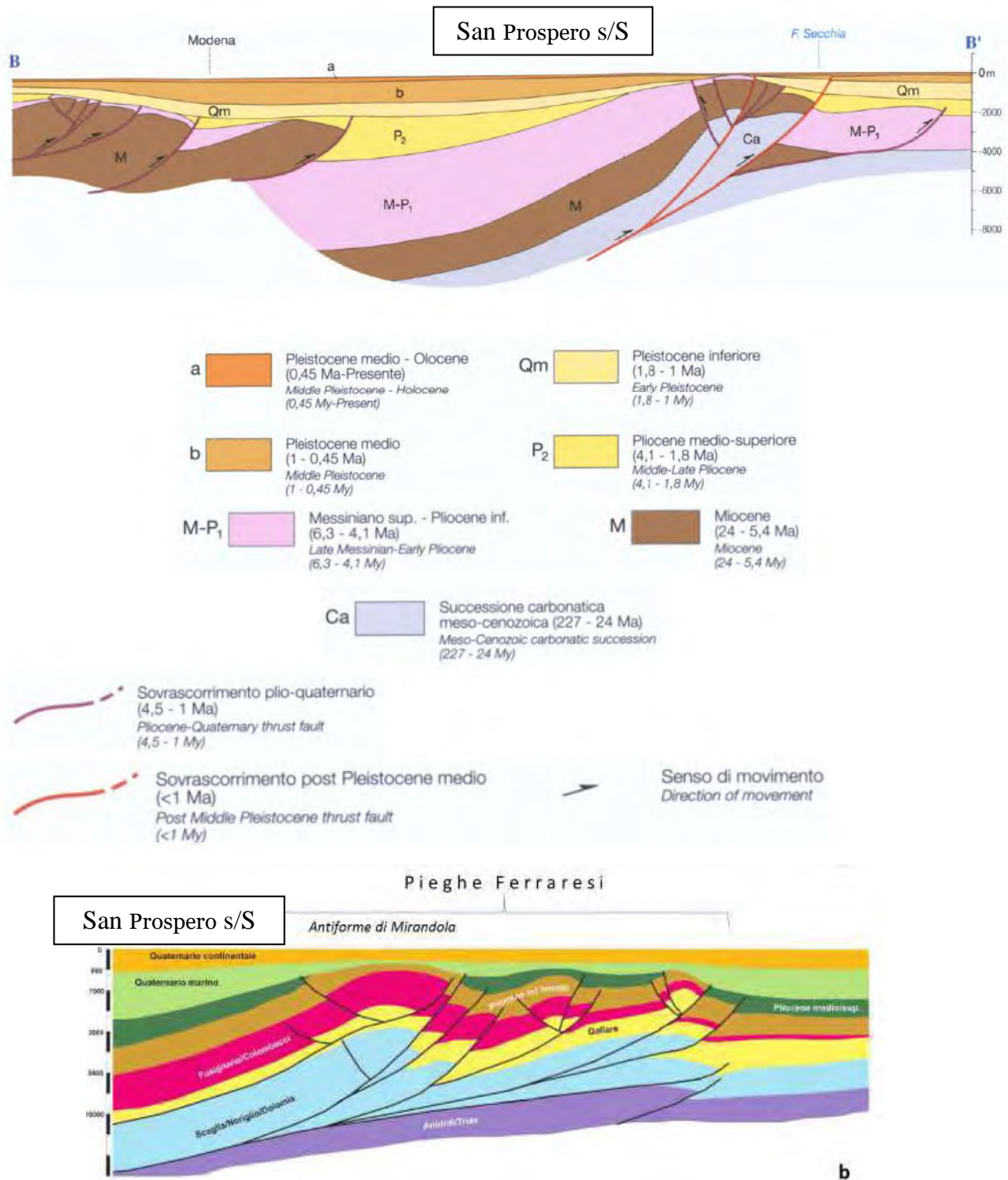


Figura 2.2: sezioni geologiche attraverso la pianura modenese; a) da Castelnuovo Rangone (MO) a Quistello (MN) (mod. da Boccaletti et al., 2004), b) da S. Prospero (MO) a Ostiglia (MN) (mod. da Martelli et al., 2017a).

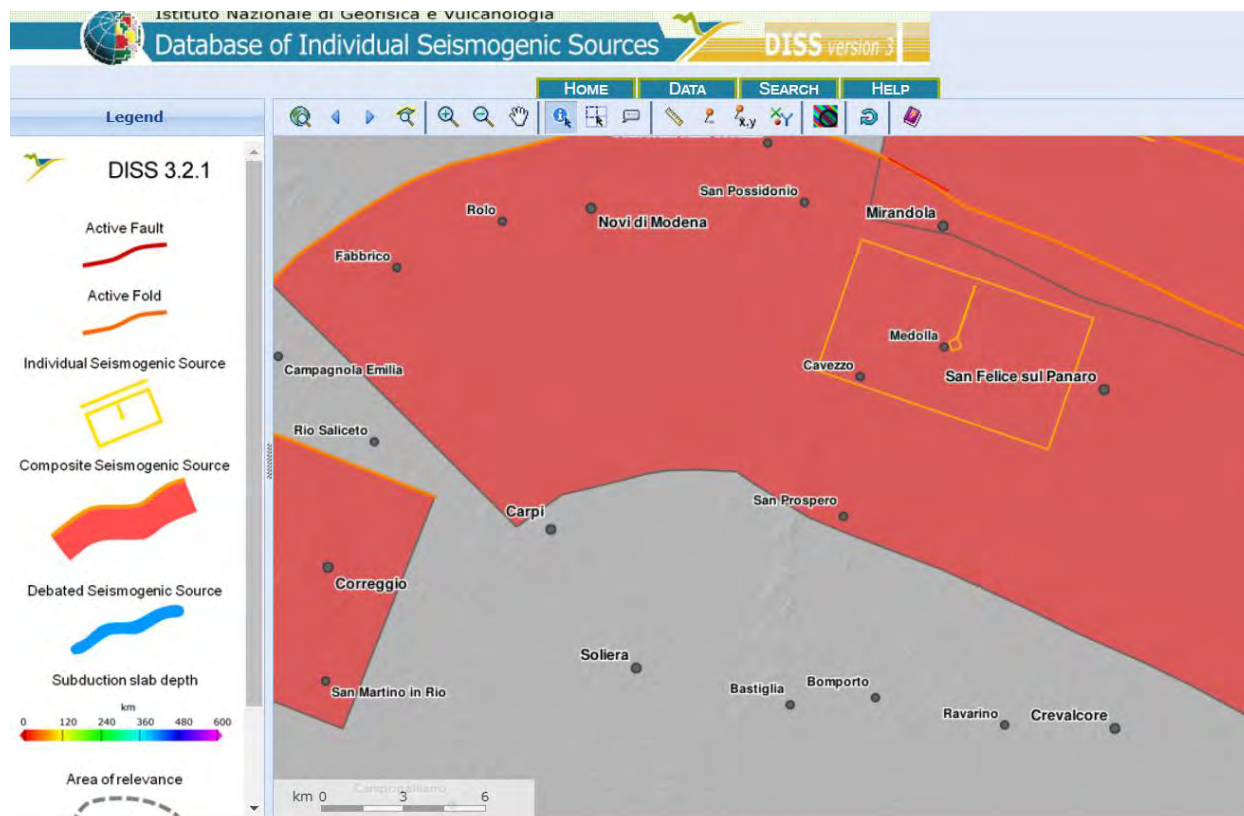


Figura 2.3: zone sismogeniche capaci di generare terremoti $M \geq 5,5$ (da DISS3.2.1; DISS Working Group, 2015).

In particolare, il territorio di San Prospero s/S risulta compreso nell'area della sorgente sismogenica composta ITCS051 Carpi - Poggio Renatico, che secondo il DISS Working Group (2015), è capace di generare terremoti $M_w = 6,0$ (fig. 2.3).

2.2 Attività tettonica

I depositi correlati ai progressivi stadi di sollevamento appenninico documentano importanti fasi all'inizio del *Pleistocene* (1,73 Ma) e nel *Pleistocene medio* (0,8 e 0,65 Ma) che nell'area reggiano - modenese sono correlati all'interazione della parte più interna delle Pieghe Ferraresi con il fronte delle Pieghe Emiliane e Romagnole.

Nel *Pleistocene medio* si instaurano gli ambienti sedimentari continentali che hanno generato i depositi dei Sintemi Emiliano Romagnolo Inferiore (0,65 ÷ 0,45 Ma, AEI) e Superiore (0,45 Ma ÷ AES presente). Le fasi tettoniche più recenti, che denotano l'attività delle strutture nel *Pleistocene superiore* - *Olocene* sono testimoniate da sovrascorrimenti sepolti delle Pieghe Ferraresi, messi in risalto dalle geometrie arcuate della base delle unità alluvionali AEI ed AES (0,4 ÷ 0,65 Ma³), come si evidenzia nei territori di Novi di Modena - Mirandola.

La distribuzione degli ipocentri focali denota che il territorio in oggetto è interessato principalmente da un'attività sismogenetica, correlata a faglie compressive e trascorrenti, di tipo superficiale: primi 5/10/15 km del sottosuolo, connessa agli stress tettonici che si accumulano nella parte medio basale della successione carbonatica e nella fascia di sovrascorrimento del basamento; la diffusione degli ipocentri che si generano tra - 15 e - 35 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da densità inferiore.

D'altra parte la sismicità più profonda, ipocentri sottostanti 35 km dal piano campagna, nella pianura è decisamente minore ed induce risentimenti in superficie con effetti più bassi.

2.3 Pericolosità sismica di base

Allo stato attuale la normativa di riferimento in materia sismica risulta essere il D.M. 17 gennaio 2018 recante "Norme tecniche per le costruzioni", entrata in vigore a partire dal 22 marzo 2018.

La classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna introdotta ai sensi del punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 maggio 2003, prevede che il territorio nazionale sia suddiviso in quattro zone sismiche, caratterizzate da quattro diversi valori di accelerazione (a_g).

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone" all'allegato 1.A" sono individuate quattro zone sismiche orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico.

Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima al suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ secondo lo schema seguente. I valori di accelerazione delle quattro zone sismiche sono maggiormente specificati rispetto all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 secondo la schema di seguito proposto (tabella 2.1):

Tabella 2.1: Valori di accelerazione al suolo a_g

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g) - OPCM 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g) - OPCM 3274
1	$0.25 < a_g \leq 0.35 \text{ g}$	0.35 g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 \text{ g}$	0.25 g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 \text{ g}$	0.15 g
4	$\leq 0.05 \text{ g}$	0.05 g

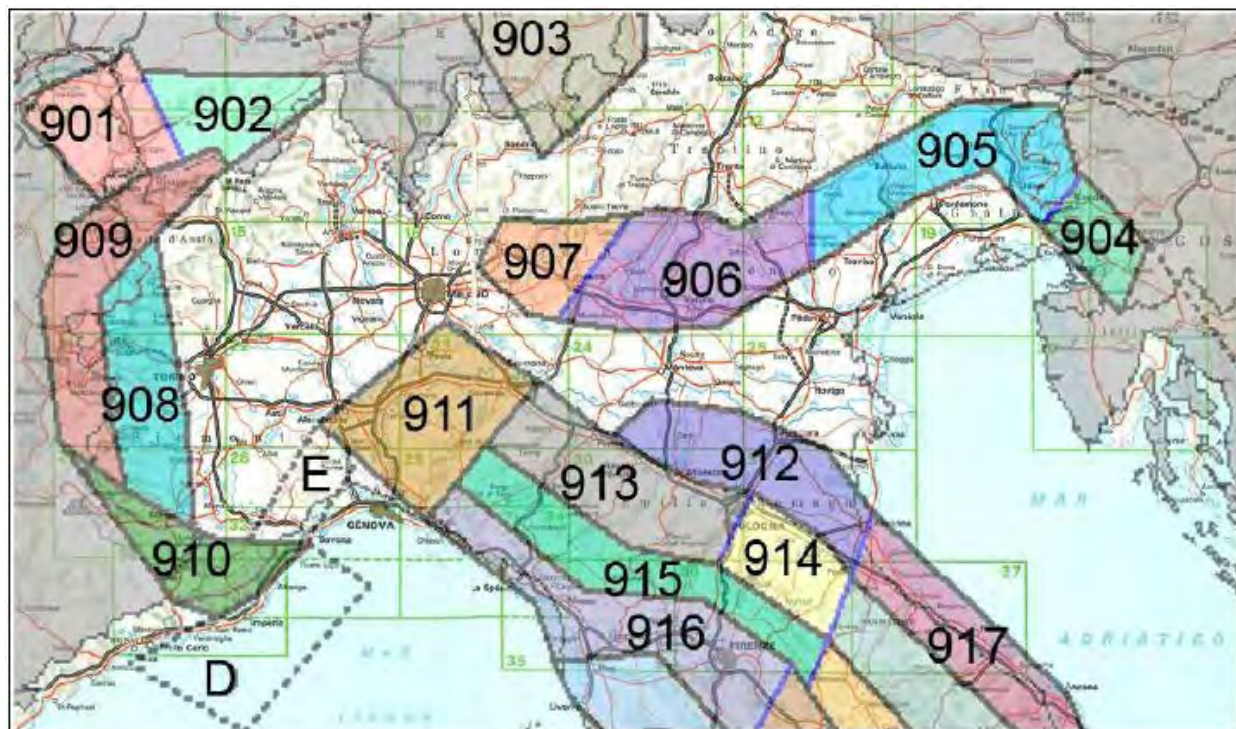
Di seguito si riportano le classificazioni della sismicità del comune interessato dagli interventi in base alle vecchie normative e ovviamente anche in base alla nuova e vigente classificazione proposta dall'OPCM 3274/2003 e s.m.i (tabella 2.2).

Tabella 2.2: Classificazione della sismicità del comune e valore dell'accelerazione al suolo a_g

Comune	Classificazione sismica (Decreti fino al 1984)	Classificazione sismica OPCM 3274/2003	a_g
San Prospero s/S	nc	3	0.15 g

I parametri di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, a_g , relativi all'area di pertinenza del settore di territorio in esame, in base alla griglia dell'NTC 17/01/2018, sono congruenti con quelli delle classificazioni sopra esposte.

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgenti a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da INGV, attribuisce il territorio in oggetto alla zona sismogenetica 912 (Meletti e Valensise, 2004) disponibile nel sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>.



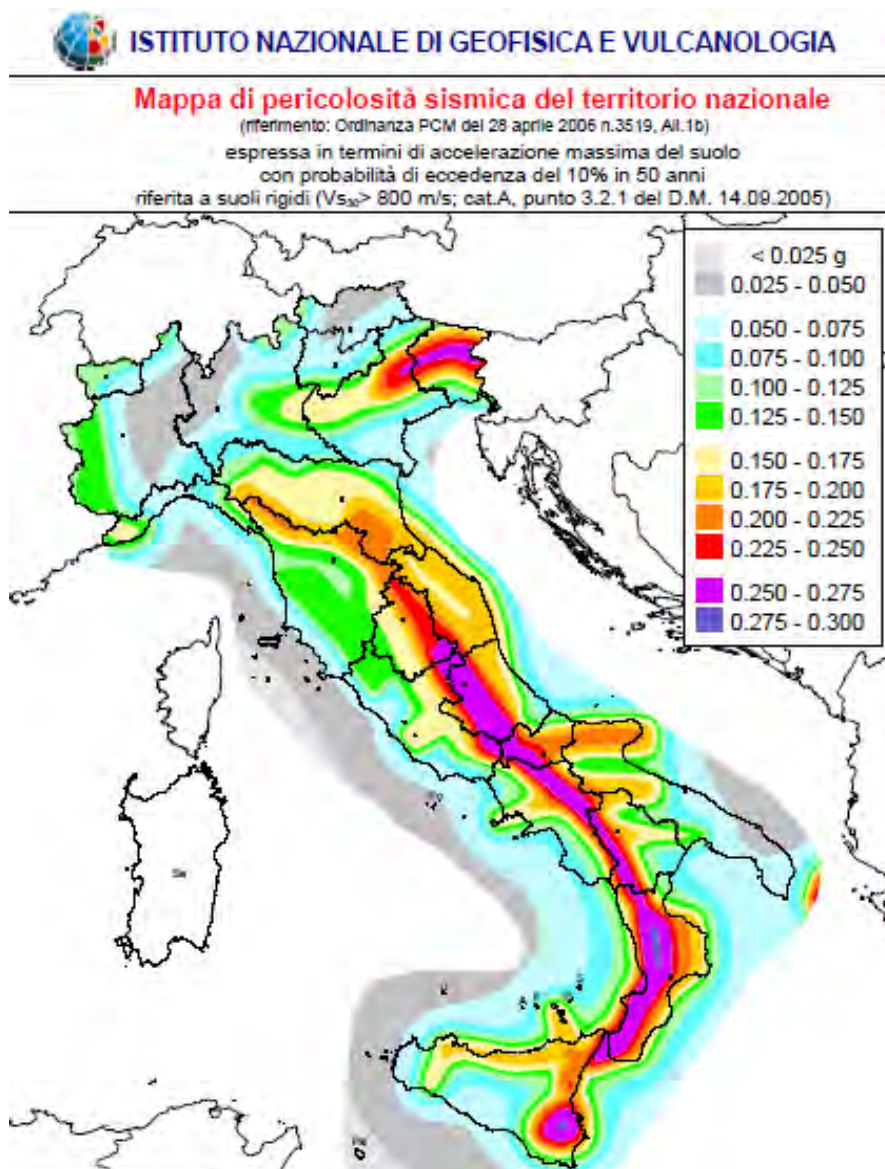
Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

Una stima della pericolosità sismica dell'area è data dalla mappa redatta dall'INGV nel 2006 (OPCM 3519/2006), disponibile nel sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

I valori di a_g , attribuiscono, alle fasce territoriali a cui appartiene il territorio di San Prospero s/S, valori dell'accelerazione di picco a_g attesa su suolo di riferimento (categoria di suolo A delle NTC 2018) per un periodo di ritorno di 475 anni (parametro ritenuto indicativo e di riferimento per la pericolosità sismica a scala nazionale) compresi tra:

$$a_g = 0,150 \div 0,175 \text{ g}$$

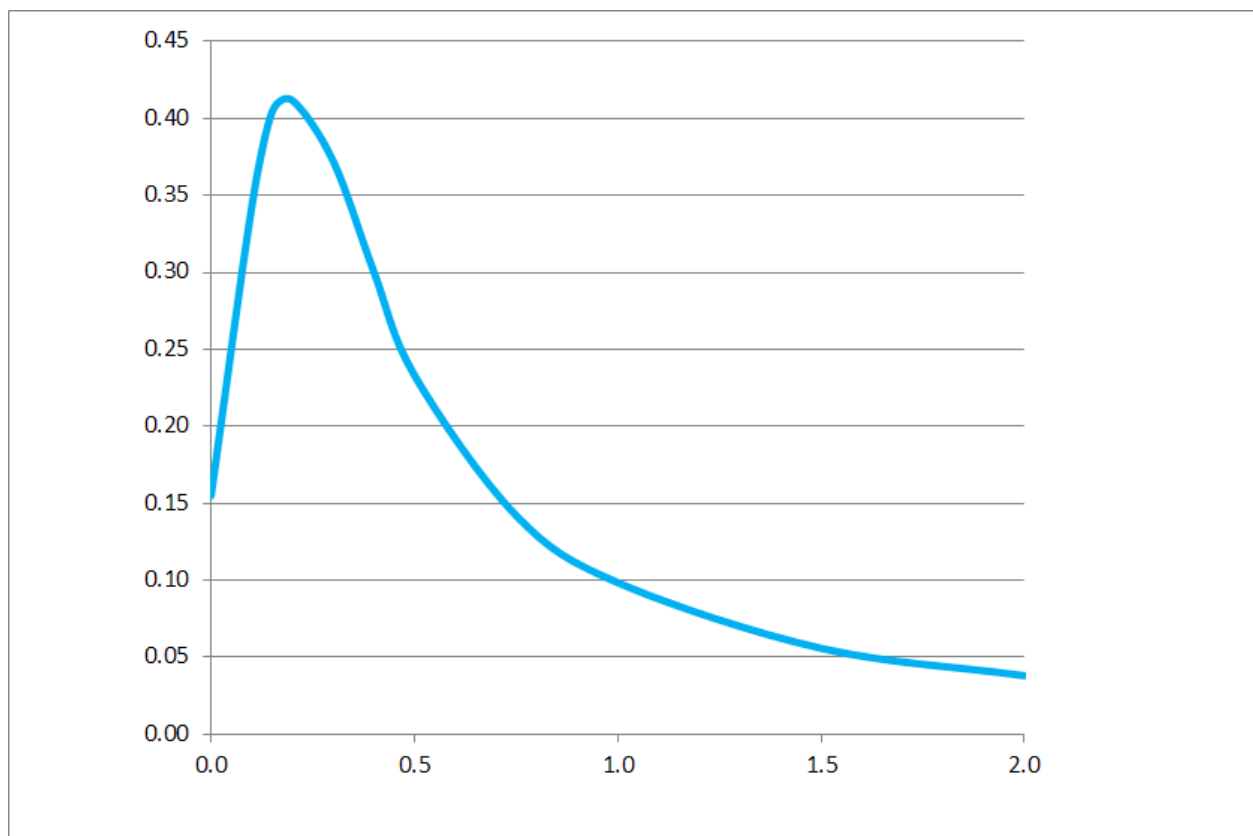
per un'eccedenza dell'evento del 10 % in 50 anni.



Il valore della a_g di riferimento riportato nell'allegato A4 della Delibera di Giunta della Regione Emilia Romagna n° 630/2019, corrisponde, per il comune di San Prospero s/S, a:

$a_{gref} = 0,155g$

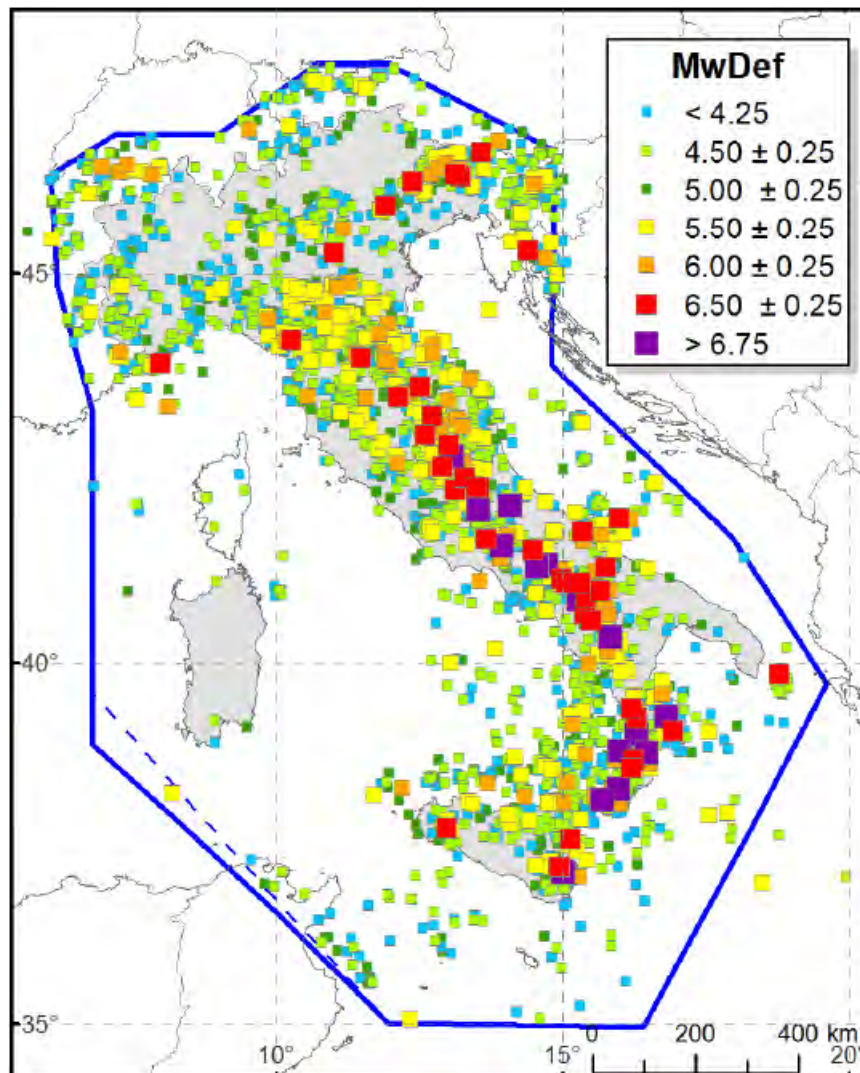
Lo spettro di risposta di riferimento del bedrock sismico o suolo A nel comune di San Prospero s/S (MO), che presenta il valore di a_g pari a 0,155g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, è visualizzato nella seguente figura.



In riferimento a tale spettro, in funzione dei valori di velocità delle onde S che competono alle unità litostratigrafiche che costituiscono le varie parti del territorio comunale, sono state determinate le amplificazioni in superficie, attraverso valori dei fattori di Amplificazione (F.A.), secondo i parametri esposti nelle tabelle dell'Allegato A2 della DGR. 630/2019.

Per quanto riguarda la sismicità storica del comune, il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani CPTI15 (A. Rovida, M. Lovati, R. Camassi, B. Loli e P. Gasperini (a cura di), 2016. CPTI15, la versione 2016 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>) documenta eventi massimi sismici

all' 8° grado della Scala Mercalli - Cancani - Sieberg, con intensità compresa tra $M = 5,5$ - 6.



A tal proposito si riportano i dati storici del comune di San Prospero s/S e dei comuni limitrofi.

Nella tabella 2.3 sono riportati i dati storici del comune di San Prospero s/S, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

San Prospero



PlaceID	IT_39060
Coordinate (lat, lon)	44.789, 11.021
Comune (ISTAT 2015)	San Prospero
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	18

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73
5	1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese	28	5	4.39
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
4	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
4	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
4	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
3-4	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
NF	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
2	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
F	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79
5	2012	05	20	02	03	5	Pianura emiliana	53	7	6.09
6	2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

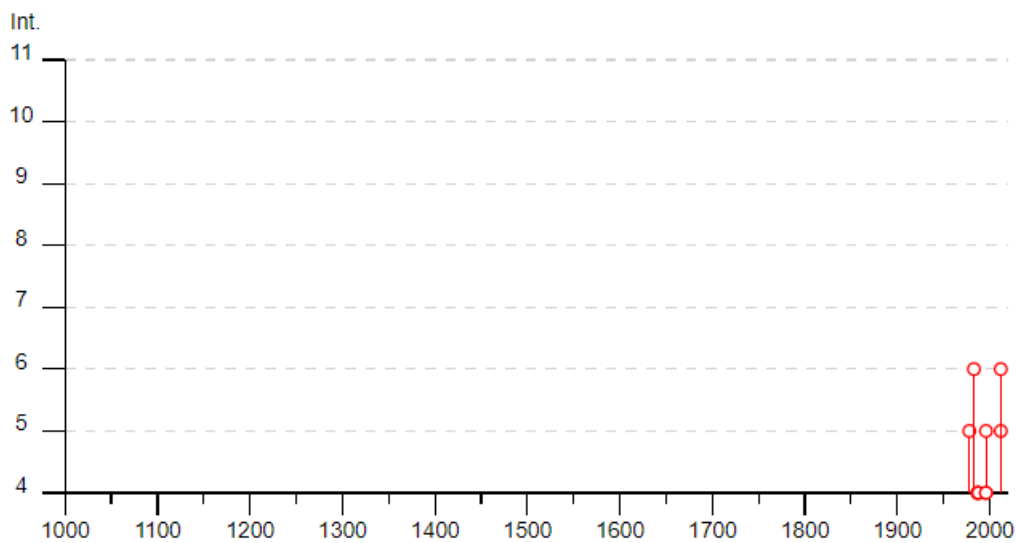


Tabella 2.3: Storia sismica del comune di San Prospero s/S (MO).

Nella tabella 2.4 sono riportati i dati storici del comune di Carpi, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Carpi



PlaceID	IT_38203
Coordinate (lat, lon)	44.784, 10.885
Comune (ISTAT 2015)	Carpi
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	84

Effetti							In occasione del terremoto del			
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
HD	1117	01	03	15	15		Veronese	55	9	6.52
F	1474	03	11	20	30		Modena	3	5	4.16
5	1624	03	19				Argenta	18	7-8	5.43
6-7	1661	03	21	23			Modenese	4	6-7	4.86
5	1666	04	14	18	58		Bolognese	3	5	4.16
5-6	1671	06	20	10			Modenese-Reggiano	8	7	5.27
4	1672	04	14	15	45		Riminese	92	8	5.59
4	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10	6.40
6-7	1806	02	12				Reggiano	28	7	5.21
4-5	1811	07	15	22	44		Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
6	1818	12	09	18	55		Parmense	26	7	5.24
F	1828	10	09	02	20		Oltrepò Pavese	110	8	5.72
F	1831	07	14	15	30		Reggiano	8	5-6	4.60
6	1831	09	11	18	15		Pianura emiliana	25	7-8	5.48
3-4	1831	09	13	05	30		Pianura emiliana	7		
6	1832	03	11	06	45		Carpi	14	5	4.51
5	1832	03	11	08	45		Parmense	14		
3-4	1832	03	12	08	45		Reggiano	7		
7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
F	1832	03	14	04	40		Reggiano	5		
F	1832	03	14	07	41		Reggiano	7		

5	🔗	1832 04 19 14 14	Reggiano	5	
3	🔗	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9 5.96
4	🔗	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7 5.08
3	🔗	1834 10 04 19	Bolognese	12	6 4.71
3	🔗	1837 04 11 17	Lunigiana	60	9 5.94
3	🔗	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9 6.04
F	🔗	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5 4.16
4	🔗	1860 07 17 13 43 3	Reggiano	5	4-5 3.93
4-5	🔗	1887 02 23 05 21 5	Liguria occidentale	1511	9 6.27
3	🔗	1889 03 08 02 57 0	Bolognese	38	5 4.53
NF	🔗	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6 4.59
NF	🔗	1908 06 28 03 19	Finale Emilia	11	4-5 3.93
5	🔗	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
NF	🔗	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8 5.34
NF	🔗	1910 03 22 23 29	Bassa modenese	15	5 4.16
5	🔗	1912 09 12 21 15	Carpi	13	4 3.76
6	🔗	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7 5.63
4	🔗	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6 4.87
3	🔗	1916 08 16 07 06 1	Riminese	257	8 5.82
4-5	🔗	1918 05 06 08 05	Reggiano	8	5-6 4.41
6	🔗	1919 06 29 15 06 1	Mugello	565	10 6.38
6	🔗	1920 09 07 05 55 4	Garfagnana	750	10 6.53
3-4	🔗	1923 06 28 15 12	Modenese	22	6 5.04
7	🔗	1928 06 13 08	Carpi	35	6 4.67
5	🔗	1928 07 25 01 25	Carpi	3	4-5 3.93
3	🔗	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6 5.05
5	🔗	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7 5.13
3	🔗	1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6 4.54
5	🔗	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7 5.36
4-5	🔗	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7 5.10
4	🔗	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7 5.29

4	🔗	1932 07 13 03 42	Reggiano	8	4-5	3.86
4	🔗	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3-4	🔗	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5.30
4	🔗	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4.96
2	🔗	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4.73
5	🔗	1963 11 04 15 46	Bassa modenese	5	5	4.16
4	🔗	1967 04 03 16 36 1	Reggiano	45	5	4.44
6	🔗	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
5	🔗	1971 09 11 23 18 1	Pianura emiliana	15	5	4.19
4	🔗	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
5	🔗	1978 12 25 22 53 4	Bassa modenese	28	5	4.39
3	🔗	1980 12 23 12 01 0	Piacentino	69	6-7	4.57
4	🔗	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
2	🔗	1986 12 06 17 07 1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5	🔗	1987 04 24 02 30 2	Reggiano	54	6	4.64
6	🔗	1987 05 02 20 43 5	Reggiano	802	6	4.71
4	🔗	1987 05 08 11 10 2	Bassa modenese	24	6	4.44
5	🔗	1988 03 15 12 03 1	Reggiano	160	6	4.57
4	🔗	1989 09 13 21 54 0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
6-7	🔗	1996 10 15 09 55 5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4	🔗	1996 10 26 04 56 5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
4	🔗	1996 10 26 06 50 2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
4-5	🔗	1996 11 25 19 47 5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
4-5	🔗	1996 12 16 09 09 5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
4	🔗	1997 05 12 22 13 5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
5	🔗	2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	🔗	2002 06 08 20 13 0	Frignano	115	4	4.23
NF	🔗	2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30
4	🔗	2003 09 14 21 42 5	Appennino bolognese	133	6	5.24
4-5	🔗	2008 12 23 15 24 2	Parmense	291	6-7	5.36
3-4	🔗	2011 07 17 18 30 2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79
6	🔗	2012 05 29 07 00 0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

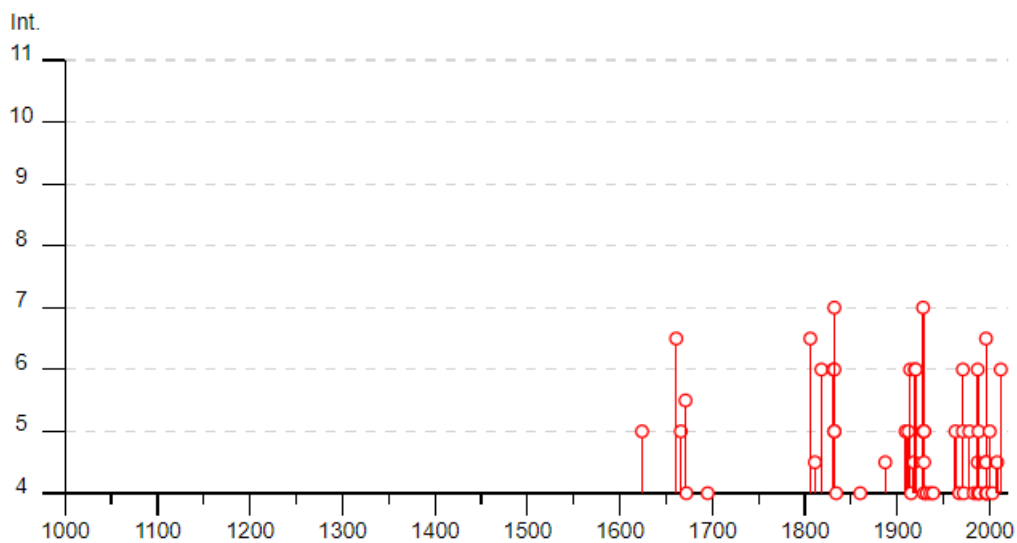


Tabella 2.4: Storia sismica del comune di Carpi (MO).

Nella tabella 2.5 sono riportati i dati storici del comune di Cavezzo, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Cavezzo



PlaceID	IT_38282
Coordinate (lat, lon)	44.838, 11.028
Comune (ISTAT 2015)	Cavezzo
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	27

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
3	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6	4.89
3	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3	1901	01	20	06	30		Bassa modenese	10	4	3.68
5	1901	01	20	06	34	2	Bassa modenese	12	5	4.11
4	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	1904	02	25	18	47	5	Reggiano	62	6	4.81
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1910	03	22	23	29		Bassa modenese	15	5	4.16
3	1932	07	13	03	42		Reggiano	8	4-5	3.86
2	1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73
NF	1965	11	09	15	35		Appennino reggiano	32	5	4.17
4	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
5-6	1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese	28	5	4.39
F	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7	4.57
3-4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
4	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
3	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57

5	🔗	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
3-4	🔗	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
4	🔗	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
2-3	🔗	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
6-7	🔗	2012	05	20	02	03	5	Pianura emiliana	53	7	6.09
8	🔗	2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

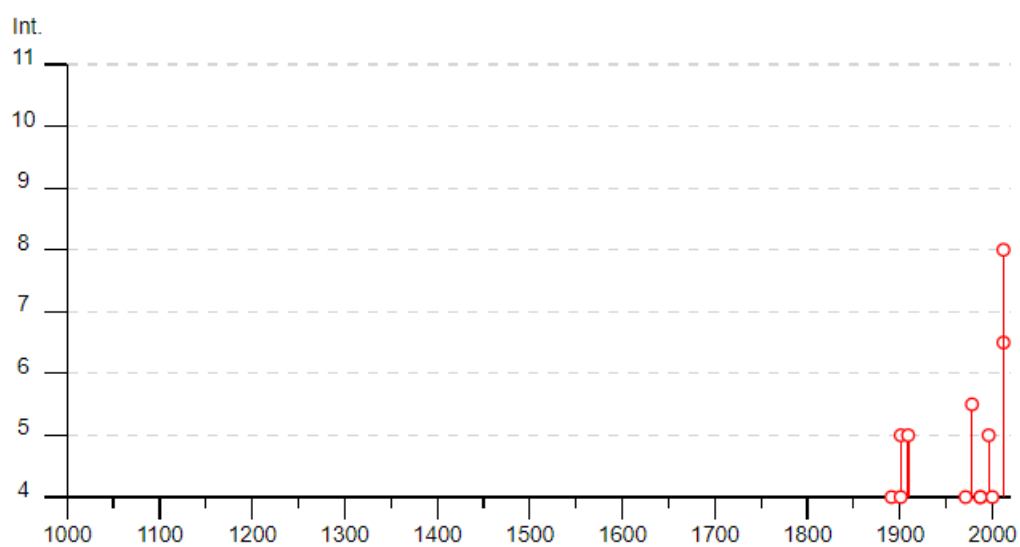


Tabella 2.5: Storia sismica del comune di Cavezzo (MO).

Nella tabella 2.6 sono riportati i dati storici del comune di Bomporto, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Bomporto



PlaceID	IT_38160
Coordinate (lat, lon)	44.727, 11.042
Comune (ISTAT 2015)	Bomporto
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	17

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	🔗 1957	08	27	11	54		Appennino modenese	58	5	4.73
NF	🔗 1965	11	09	15	35		Appennino reggiano	32	5	4.17
2	🔗 1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
5	🔗 1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
4	🔗 1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	🔗 1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	🔗 1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
5	🔗 1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	🔗 1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
NF	🔗 1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	🔗 1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
NF	🔗 1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
3-4	🔗 2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	🔗 2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	🔗 2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
5	🔗 2012	05	20	02	03	5	Pianura emiliana	53	7	6.09
5	🔗 2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

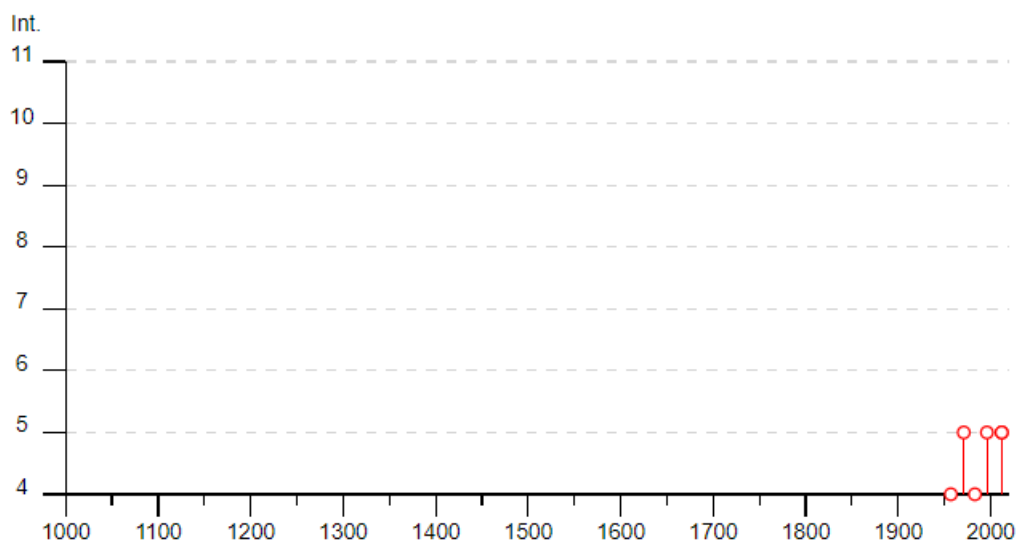


Tabella 2.6: Storia sismica del comune di Bomporto (MO).

Nella tabella 2.7 sono riportati i dati storici del comune di Medolla, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Medolla



PlaceID	IT_38522
Coordinate (lat, lon)	44.849, 11.071
Comune (ISTAT 2015)	Medolla
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	20

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	🔗 1901	01	20	06	30		Bassa modenese	10	4	3.68
3-4	🔗 1901	01	20	06	34	2	Bassa modenese	12	5	4.11
4	🔗 1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
5	🔗 1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese	28	5	4.39
3	🔗 1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
3	🔗 1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4	🔗 1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
6	🔗 1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
5	🔗 1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
5	🔗 1987	07	11	01	46	5	Bassa Bolognese	15	5	4.20
4	🔗 1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	🔗 1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
NF	🔗 1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
NF	🔗 1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	🔗 1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
3-4	🔗 2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	🔗 2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
4-5	🔗 2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79
5-6	🔗 2012	05	20	02	03	5	Pianura emiliana	53	7	6.09
6	🔗 2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90

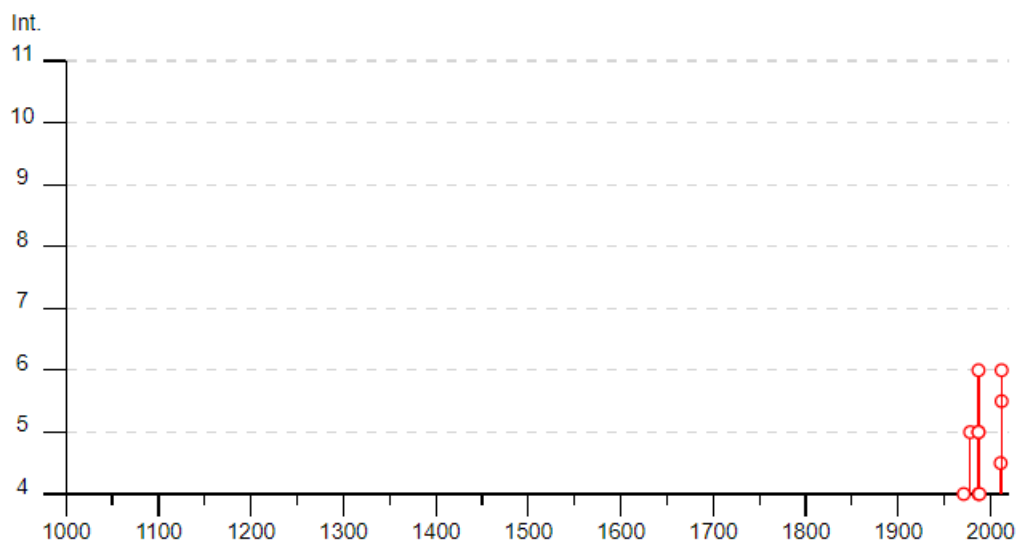


Tabella 2.7: Storia sismica del comune di Medolla (MO).




Nella tabella 2.8 sono riportati i dati storici del comune di Soliera, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2015) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015 (CPTI15), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI15 (dicembre 2015) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Soliera



PlaceID	IT_39155
Coordinate (lat, lon)	44.736, 10.922
Comune (ISTAT 2015)	Soliera
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	24

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1902	12	04	16	35	0	Lunigiana	36	5	4.35
6	1928	06	13	08			Carpi	35	6	4.67
3	1932	07	13	03	42		Reggiano	8	4-5	3.86
4	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
5	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
5	1971	09	11	23	18	1	Pianura emiliana	15	5	4.19
5	1978	12	25	22	53	4	Bassa modenese	28	5	4.39
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
5	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4	1987	05	08	11	10	2	Bassa modenese	24	6	4.44
5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
5-6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4-5	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
3	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
3	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
3	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
3	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
4	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93

4-5		2000 06 18 07 42 0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF		2002 06 18 22 23 3	Frignano	186	4	4.30
NF		2002 06 19 22 11 1	Frignano	52	3	4.03

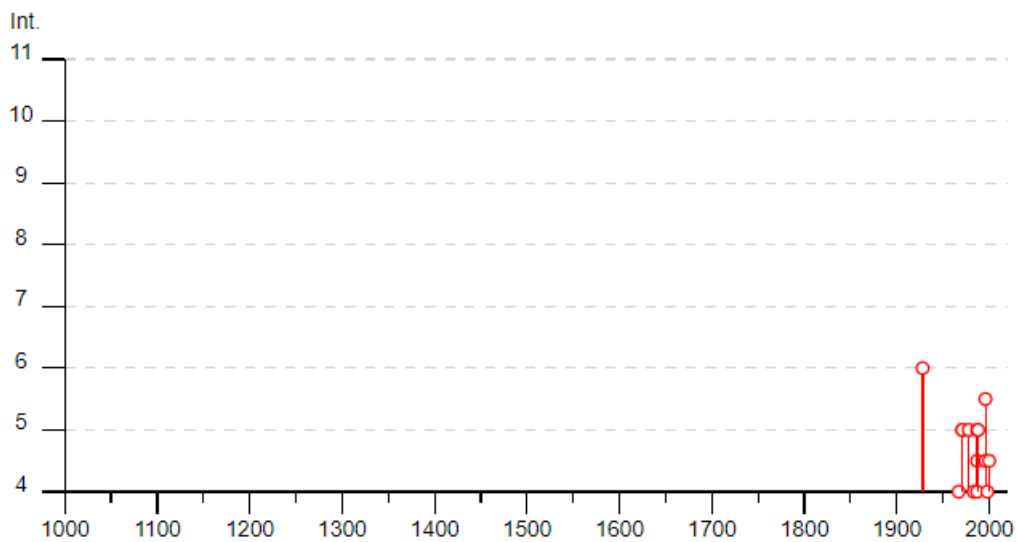


Tabella 2.8: Storia sismica del comune di Soliera (MO).

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Inquadramento geologico

Il territorio comunale di San Prospero s/S si colloca nella parte centro-settentrionale della pianura modenese, in destra idrografica del fiume Secchia, che segna il confine amministrativo occidentale ed in piccola parte meridionale, con i comuni di Soliera, Carpi e Cavezzo.

Dal punto di vista morfologico, il territorio è pressoché pianeggiante con quote variabili tra circa 35 m slm., a sud e a ovest, a circa 16.5 m slm., a nord-est; le quote più elevate sono in corrispondenza dell'attuale arginatura del fiume Secchia, in parte di natura antropica, che si eleva, a sud e a ovest, fino a circa 8 metri rispetto alle zone limitrofe, e dal dossi dei corsi fluviali abbandonati che costituiscono fasce di terreno più elevate, generalmente dell'ordine di un paio di metri, rispetto alla pianura circostante.

Il territorio comunale, geologicamente parlando, si trova in prossimità del fianco meridionale dell'antiforme sepolta di Mirandola, la più interna del sistema delle Pieghe Ferraresi (fig. 3.1) e appartiene al bacino della Pianura Padana, estendentesi su una superficie di circa 46000 kmq, che costituisce la zona di saldatura tra Alpi ed Appennini ed è formata da un'ampia e profonda depressione nella quale si distinguono nettamente due complessi sedimentari.

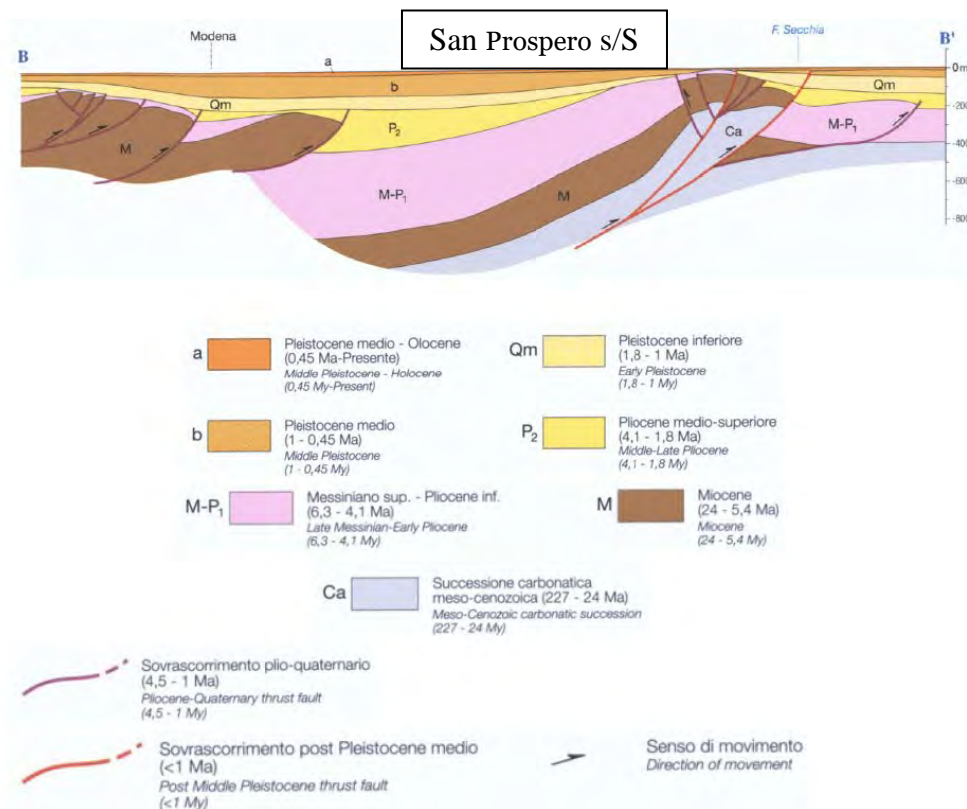


Figura 3.1: Sezione geologica della pianura modenese da Castelnuovo R. a Quistello

Di questi quello più recente, è suddiviso in due Supersintemi, il primo dei quali: Supersintema Emiliano Romagnolo, da oggi a 0,65 Ma, è rappresentato da depositi alluvionali prevalentemente costituiti da sabbie, ghiaie, argille e limi di piana e da sedimentazioni di delta conoide e marine marginali, formate da sabbie ed arenarie poco cementate alternate ad argille e limi e talora ad orizzonti conglomeratici. Detta litozona è seguita dalle successioni sabbiose, arenacee, marnose argillose del Supersintema del Quaternario Marino da 0,65 a 0,8 Ma (*Pleistocene med.*) dapprima costituite da depositi fluvio deltizi - marino marginali.

Tale successione alluvionale, è stata suddivisa in due cicli sedimentari principali: il Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore (AEI), di età compresa tra 800.000 e 450.000 anni, e il Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (AES), di età compresa tra 450.000 anni e il periodo attuale.

Al di sotto di quanto sopra indicato troviamo le sequenze cicliche sabbiose talora ghiaiose e limoso sabbioso argillose di prodelta - piattaforma - scarpata marina del *Pleistocene inf.* da 0,8 a 172 Ma. Tali successioni coprono l'unità inferiore rappresentata dalle formazioni plioceniche - mioceniche - mesozoiche (da 1,72 a 24 - 227 Ma) costituite essenzialmente da depositi di ambiente marino sia costiero che di piattaforma e/o bacinale a faune pelagiche.

In sintesi le unità litostratigrafiche che costituiscono la fascia della media-bassa pianura modenese, al quale appartiene il territorio di comunale, sono attribuite, a:

o Unità Quaternarie continentali.

La serie litostratigrafica delle successioni locali è riferita a quella adottata dal progetto CARG., Carta Geologica Regione Emilia Romagna. La descrizione dei tipi litologici delle successioni presenti nel territorio sono schematicamente di seguito descritte relativamente alle caratteristiche litotecniche salienti, riportate nella legenda della tav. 8.2: "Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica".

Si riportano di seguito la descrizione delle unità litostratigrafiche:

UNITÀ QUATERNARIE CONTINENTALI

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES) (*Pleistocene medio?-Olocene*)

Unità alluvionale costituita da sedimenti grossolani e fini, talora intensamente pedogenizzati, con alla base una superficie di discontinuità nel margine appenninico e nell'alta pianura, passante a una superficie di continuità nel sottosuolo della pianura, su AEI. Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, da scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e nel sottosuolo della pianura da bruschi

contatti fra depositi fini alluvionali e palustri su depositi grossolani di conoide e di piana alluvionale.

SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8) (Olocene età radiometrica della base: 11.000-8.000 anni)






Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m..

AES8a - UNITA' DI MODENA (Post-VI secolo dC.)

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..

Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

I terreni di copertura, sopra descritti, nella Carta geologica tecnica sono stati raggruppati secondo le seguenti legende sotto riportate:

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

Ambiente vulcanico	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/ceneri	sc
Coltri ignimbritiche	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Ambiente di versante	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
Ambiente fluvio - lacustre	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Varve	va
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
Ambiente carsico	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
Ambiente glaciale	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
Ambiente eolico	
Duna eolica	de
Loess	ls
Ambiente costiero	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
Altro ambiente	zz

3.2 Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale è compreso tra il F. Secchia che individua il confine comunale ad ovest ed il F. Panaro ad est. Come precedentemente descritto la superficie comunale appartiene prevalentemente alla media-bassa pianura padana costituitasi tra l'area dei coni alluvionati pedeappenninici e la zona dominio del Po.

Nel contesto dei territori di pianura, formati essenzialmente dalle evoluzioni degli assi fluviali, assume un significato principale l'individuazione delle testimonianze delle preesistenti zone occupate da percorsi fluviali, poiché esse sono caratterizzate dalla presenza, nei primi 5 ÷ 10 m del sottosuolo, di alternanze prevalentemente sabbiose e limo-sabbiose, che possono essere suscettibili di rischio di liquefazione, oltre agli ambiti di sedimentazione lenta e soggetti a periodiche esondazioni, quali le valli di pianura, costituite nei primi 5 – 10 m dal piano campagna da successioni limoso argillose e argilloso limose contenenti a luoghi strati a bassa consistenza soggetti a sensibili cedimenti di tipo differenziale.

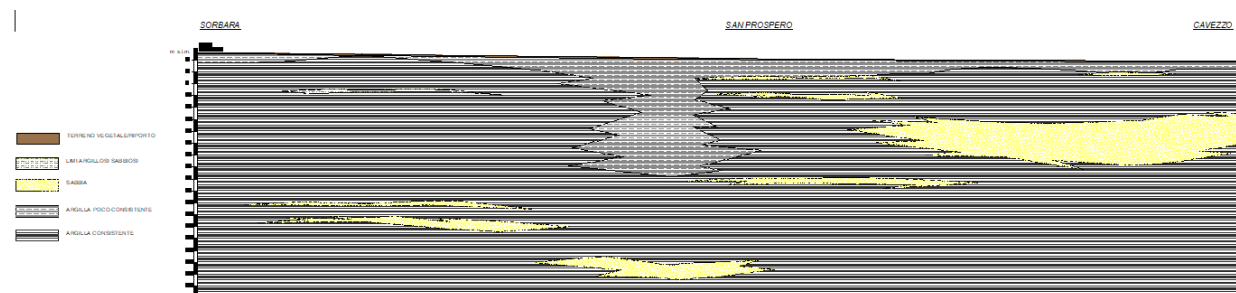
In particolar modo, come si evince anche dalle sezioni geologiche di dettaglio sotto riportate, la successione litostratigrafica è costituita da depositi alluvionali di spessore variabile, da circa 150 m a nord a circa 200 m a sud, su un substrato costituito da alternanze di marne e sabbie, riferibili alle Argille Azzurre del Pliocene-Pleistocene inferiore e alle Sabbie di Imola del Pleistocene medio (RER-ENI, 1998).

Le stratigrafie dedotte dai sondaggi eseguiti sia sul territorio comunale che in prossimità di esso evidenziano depositi alluvionali costituiti da alternanze di sedimenti fini argilloso-limosi, talora con orizzonti torbosi e orizzonti sabbiosi (sabbie da medie a fini, sabbie limose) in particolar modo nella zona ovest in prossimità del confine comunale ; sabbie con ciottoli sono state incontrate nella parte inferiore della successione alluvionale (AEI), in sondaggi profondi che hanno raggiunto il substrato a circa 170-180 m a sud del centro abitato del capoluogo comunale. Tali depositi sono prevalentemente dovuti alla sedimentazione del fiume Po, che nel Pleistocene scorreva più a sud del corso attuale; la parte superiore della successione, di età olocenica, è invece il risultato della sedimentazione dei fiumi appenninici Secchia e Panaro, affluenti di destra del Po.

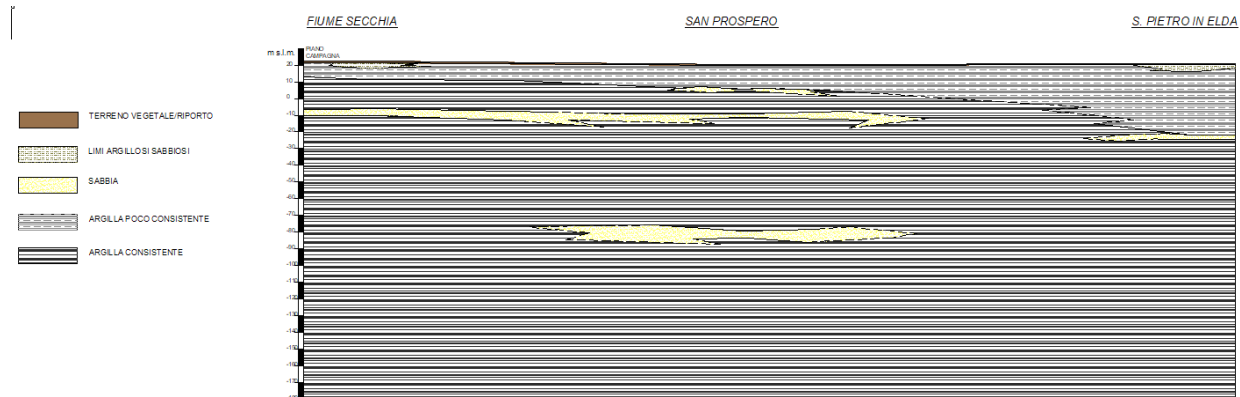
Tracce delle sezioni geologiche



SEZIONE 01



SEZIONE 02



Le sezioni geologiche sono riportate nella opportuna tavola.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Dati Geotecnici

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litotecnico i terreni di copertura ed il substrato geologico è stato necessario reperire tutte le informazioni di carattere geologico in possesso all'amministrazione comunale; a tal proposito è opportuno sottolineare come la banca dati del comune sia piuttosto ricca di informazioni con una buona diffusione areale su tutto il territorio comunale.

Sulla base del materiale fornito dall'amministrazione, è stata effettuata una selezione dei documenti tenendo conto dell'attendibilità del dato.

Sono state considerate pertanto i carotaggi di tipo continuo realizzati per pozzi, prove penetrometriche. In sintesi tra le indagini sono stati selezionati complessivamente:

- 1 sondaggio stratigrafico meccanico a distruzione di nucleo per realizzazione pozzo industriale;
- 165 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPTm);
- 14 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu);
- 1 prova dilatometrica con dilatometro piatto Marchetti (DTM).

Come si può vedere dalle prove sopra selezionate mancano prove di laboratorio di caratterizzazione dei parametri dinamici dei materiali.

4.1.1 Prove penetrometriche con punta meccanica (CPTm)

Sono state reperite 165 prove penetrometriche statiche con punta meccanica. Le indagini sono state eseguite utilizzando un penetrometro Pagani TG-63 da 200 Kn e da 100 Kn.

Ciascuna prova è consistita nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di tipo Begemann di dimensioni e caratteristiche standardizzate infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$). Durante l'avanzamento della punta vengono misurati la resistenza alla penetrazione della punta (q_c) e l'attrito laterale (f_s). La prova consisterà di un avanzamento di 4 cm del solo cono con spinta delle aste interne e misura di q_c , seguito dall'avanzamento di 4 cm del cono e del manicotto e misura di f_s ed infine avanzamento di 12 cm dell'intera punta per ritornare alla posizione iniziale, senza nessuna misura.

Nei diagrammi sono riportati i valori della resistenza alla penetrazione della punta meccanica (R_p) in MPa, i valori della resistenza laterale specifica (R_l), in MPa ed i valori del rapporto delle resistenze R_p/R_l .

4.1.2 Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (CPTu)

Sono state eseguite 14 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono. Le indagini sono state eseguite utilizzando un penetrometro Pagani TG-63 da 200 Kn e da 100 Kn.

Ciascuna prova è consistita nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$). La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione per la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Nei diagrammi e nelle tabelle riportati in allegato sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- q_c (MPa) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kPa) = resistenza laterale (manicotto);
- U (kPa) = pressione dei pori (setto poroso);

4.1.3. Prova dilatometrica con dilatometro piatto Marchetti DMT

Il dilatometro piatto (DMT) è una lama di acciaio avente dimensioni $95 \times 200 \times 15 \text{ mm}$, con il bordo inferiore affilato. Su di un lato dello strumento è montata una membrana metallica circolare espandibile. La prova consiste nell'infiggere verticalmente la lama nel terreno mediante spinta statica, agendo su una batteria di aste, espandendo la membrana con gas in pressione e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana. La lama viene fatta avanzare nel terreno per mezzo di attrezzature di uso comune, ad esempio attrezzature di spinta normalmente utilizzate per la prova penetrometrica a punta conica (CPT) o per sondaggi. Le aste di spinta trasferiscono la forza di penetrazione alla lama.

La lama è collegata a una centralina di misura in superficie per mezzo di un cavo elettropneumatico (che trasmette pressione di gas e continuità elettrica) passante all'interno delle aste di spinta. Una bombola di gas, collegata alla centralina di misura per mezzo di un cavo pneumatico, costituisce la sorgente di gas necessaria per

espandere la membrana. La centralina di misura è dotata di un regolatore di pressione, di manometri, di un segnalatore audiovisivo e di valvole di sfiato.

Il dilatometro sarà spinto verticalmente nel terreno arrestando la penetrazione ad intervalli di 20 cm per l'esecuzione delle misure. Durante l'infissione il segnale acustico (o audiovisivo) sarà sempre attivato e la valvola di sfiato dovrà essere aperta.

Raggiunta la quota di prova, si arresta l'infissione e si scarica la spinta sulle aste. Immediatamente dopo l'arresto della penetrazione si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettro-pneumatica di superficie:

- la pressione alla quale si ha il distacco della membrana (lettura A - il segnale cessa), da rilevarsi 15 sec dall'arresto della penetrazione;
- la pressione necessaria per espandere di 1.1 mm il centro della membrana (lettura B - il segnale si riattiva), da rilevarsi a circa 15 sec dalla lettura A.

Se richiesto, verrà anche misurato ed annotato il valore C della pressione che agisce sulla membrana quando, durante lo scarico del gas (dapprima immesso per ottenere le letture A e B), la membrana si richiude sulla posizione A di riposo riattivando il segnale acustico. Il tempo di scarico deve essere di circa 30 sec.

Qualora la natura del terreno impedisca l'infissione del dilatometro fino alla profondità prefissata, si devono estrarre aste e dilatometro, si deve eseguire un preforo di diametro adeguato (es. 100 mm) fino alla profondità prescritta, quindi si reimmette il dilatometro per proseguire la prova.

Le formule base per l'elaborazione dei dati DMT e le principali correlazioni sono riassunte nella tabella sottostante.

SIMBOLO	DESCRIZIONE	FORMULE BASE DI ELABORAZIONE DMT	
p_0	Prima Lettura Corretta	$p_0 = 1.05 (A - Z_M + \Delta A) - 0.05 (B - Z_M - \Delta B)$	
p_1	Seconda Lettura Corretta	$p_1 = B - Z_M - \Delta B$	
I_D	Indice di Materiale	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$	u_0 = pressione neutra pre-inserimento
K_D	Indice di Spinta Orizzontale	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$	σ'_{v0} = tensione geostatica pre-inserimento
E_D	Modulo Dilatometrico	$E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$	E_D NON è un modulo di Young E, E_D deve essere usato solo DOPO averlo combinato con K_D (Stonà Tensionale). Prima ricavare $M_{DMT} = R_M E_D$, poi ad es. $E = 0.8 M_{DMT}$
K_0	Coeff. Spinta Orizz. in Sito	$K_{0,DMT} = (K_D / 1.5)^{0.47} - 0.6$	per $I_D \leq 1.2$
OCR	Rapp. di Sovraconsolidazione	$OCR_{DMT} = (0.5 K_D)^{1.56}$	per $I_D \leq 1.2$
c_u	Res. al Taglio Non Drenata	$c_{u,DMT} = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	per $I_D \leq 1.2$
Φ^*	Angolo di Resistenza al Taglio	$\Phi_{safe,DMT} = 28^\circ + 14.6^\circ \log K_D - 2.1^\circ \log^2 K_D$	per $I_D \rightarrow 1.8$
c_h	Coeff. di Consolidazione	$c_{h,DMTA} \approx 7 \text{ cm}^2 / t_{lex}$	t_{lex} da curva di decadimento A-log t da DMTA
k_h	Coeff. di Permeabilità	$k_h = c_h \gamma_w / M_h$ ($M_h \approx K_0 M_{DMT}$)	
γ	Peso di Volume	(vedi grafico in TC16 2001)	
M	Modulo Verticale Drenato Confinato	$M_{DMT} = R_M E_D$ se $I_D \leq 0.6$ $R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$ se $I_D > 0.6$ $R_M = 0.5 + 2 \log K_D$ se $0.6 < I_D < 3$ $R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ con $R_{M,0} = 0.14 + 0.15 (I_D - 0.6)$ se $K_D \rightarrow 0$ $R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D$ se $R_M < 0.85$ porre $R_M = 0.85$	
u_0	Pressione Neutra di Equilibrio	$u_0 = p_2 = C - Z_M + \Delta A$	In terreni drenanti

Le letture di pressione A , B devono essere corrette per mezzo dei valori ΔA , ΔB determinati mediante calibrazione, per tenere conto della rigidità della membrana, e convertite in p_0 , p_1 .

I due valori di pressione determinati p_0 e p_1 vengono elaborati ottenendo tre “parametri indice”:

ID Indice di Materiale

KD Indice di Spinta Orizzontale

ED Modulo Dilatometrico

Dai parametri indice ID , KD , ED , applicando le correlazioni usuali (TC 16 2001), vengono ricavati i parametri:

M Modulo edometrico (terreni sia coesivi che incoerenti)

C_u Resistenza al taglio non drenata (terreni coesivi)

K_0 Coefficiente di spinta a riposo (terreni coesivi)

OCR Rapporto di sovraconsolidazione (terreni coesivi)

Φ' Angolo di resistenza al taglio (terreni incoerenti)

4.2 Dati Geofisici

Dal punto di vista geofisico le prove che sono state sia reperite che effettuate sono prove in foro e di superficie.

Le prove di superficie reperite ed effettuate sono prove sia di sismica attiva (quindi con generazione di sorgente sismica artificiale) che di sismica passiva (quindi con analisi naturale del tremore ambientale). Le prove inoltre sono state effettuate sia a stazione singola che in stendimento lineare (“array sismico”).

In sintesi tra le indagini sono stati selezionate complessivamente:

- Indagini geofisiche in foro:

- 2 prove con cono sismico SCPT

- Indagini geofisiche di superficie:

- 85 prospezioni sismiche attive con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 3 prospezioni sismiche passive con metodo ReMI in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 53 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR);

- 1 prospezione sismica a rifrazione in onde Sh.

Le indagini di superficie sono state eseguite sempre congiuntamente, al fine di meglio caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio V_s con la profondità e di ridurre l'incertezza interpretativa che deriva dalle analisi di sismica di superficie.

E' infatti abbastanza noto dalla sismica classica che le indagini di tipo passivo caratterizzano meglio il dato in profondità, in quanto sono più performanti a basse frequenze mentre le indagini di tipo attivo risultano performanti alle alte frequenze e quindi caratterizzano gli strati più superficiali del terreno ma il loro potere penetrante decresce abbastanza rapidamente con la profondità. L'analisi congiunta con entrambe le tecniche rappresenta la soluzione ottimale in quanto consente di ottenere informazioni sia superficiali che in profondità sugli strati di terreno investigati e quindi di meglio caratterizzarli dal punto di vista del comportamento sismico.

Nello specifico le indagini hanno consistito nelle acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSR e nella definizione del profilo di V_s mediante analisi attive di tipo MASW e analisi passive di tipo ReMI. I dati ottenuti dalla curva HVSR forniscono utili indicazioni soprattutto per quanto riguarda le frequenze di risonanza e sui fattori di amplificazione sismica dei suoli durante un terremoto mentre attraverso le tecniche attive e passive in array è stato possibile definire l'andamento delle V_s con la profondità e quindi la definizione delle V_s ai fini della determinazione dei fattori di amplificazione. Dette indagini sono state distribuite sul territorio sia in funzione delle finalità di caratterizzazione sismica dell'urbanizzato che degli ambiti suscettibili di urbanizzazione che delle principali infrastrutture.

4.2.1 Prove con cono sismico (SCPT)

Tali prove hanno lo scopo di determinare i profili di velocità delle onde sismiche di taglio (V_s) contestualmente a quello di determinare i profili della resistenza alla punta (q_c), dell'attrito laterale (f_s) e della pressione interstiziale (u) nei depositi di terreno.. Rispetto ad una prova DH, la prova SCPT non richiede la perforazione di un foro di sondaggio ed ha grande rapidità di esecuzione, fornendo un migliore accoppiamento meccanico del ricevitore sismico con il terreno circostante.

L'attrezzatura di misura è composta da un penetrometro con punta elettrica dotato di piezocono su cui risiedono di due inclinometri monoassiali per la determinazione della verticalità. Alle spalle del piezocono è montato il modulo sismico, costituito da un'asta che contiene due geofoni posti alla distanza di 0.5 m tra di loro in grado di misurare le onde di taglio generate da un dispositivo di energizzazione posto in superficie.

La prova SCPT si svolge contestualmente alla prova penetrometrica statica CPTU. Il passo che si adotterà per le misure dei tempi di percorrenza delle onde sismiche S è costante lungo la verticale di infissione della punta ed è pari a 1 metro. Se durante la fase

di penetrazione della sonda si incontreranno strati ghiaiosi o comunque di materiale consistente tali da impedire l'avanzamento del penetrometro, si interromperà prova e si provvederà alla realizzazione di un preforo per l'attraversamento dello strato o degli strati impenetrabili nel sottosuolo. In questo caso le misure di velocità con il cono sismico saranno interrotte e riprese a partire da una distanza dalla base del preforo non inferiore ad 1 m. Per facilitare l'identificazione dell'istante di arrivo delle onde S si utilizzerà la tecnica di inversione della polarità della sorgente sismica. I tempi di percorrenza delle onde sismiche saranno calcolati con tecnica della correlazione incrociata ("cross-correlatlon"), in quanto consente di identificare sui segnali raccolti ai ricevitori lo stesso punto caratteristico in corrispondenza dell'istante di arrivo dell'onda S o P e quindi di calcolare la differenza dei tempi di percorrenza delle rispettive onde. La tecnica di correlazione incrociata fornisce risultati più oggettivi rispetto al solo metodo di identificazione visiva di controllo.

4.2.2 Prove MASW

Il metodo d'indagine consiste nell'acquisizione percuotendo il suolo con una sorgente impulsiva; il segnale sismico viene registrato in n geofoni equidistanziati oppure no rispetto alla sorgente.

La curva di dispersione permette di recuperare un unico modo di propagazione, che è generalmente una sovrapposizione dei modi reali e pertanto è un "modo apparente". Il metodo è dunque valido quando un modo prevale sugli altri. Generalmente l'obiettivo del metodo è che l'informazione contenuta nei dati sia prevalentemente quella del modo fondamentale. In pratica ciò avviene in genere per frequenze inferiori a 10-20 Hz. Tenuto conto che ad es. in terreni sciolti come quelli di pianura la velocità VS è di circa 200 m/s e che quindi la lunghezza d'onda è di almeno 10 m, l'inversione da risultati incerti, se non scorretti, per la parte più superficiale della sezione. Poiché inoltre la profondità d'indagine è strettamente legata alla lunghezza d'onda e questa, per forza di cose, alla distanza tra i due geofoni.

Purtroppo le onde di Rayleigh sono multimodali, nel senso che la funzione velocità di fase in funzione della frequenza non è monodroma. Questa informazione completa si ottiene su spettri che hanno massimi distribuiti su più modi di propagazione, e solo utilizzando un numero adeguatamente alto di geofoni lungo un profilo che, per profondità d'indagine dell'ordine di 15 m, può essere lungo anche 50 m.

La conseguente trasformata doppia di Fourier (dominio f-k) fornisce vari massimi spettrali, ciascuno corrispondente a un modo di propagazione. Questi massimi spettrali si collocano a frequenze diverse, occupando tutto lo spettro. La velocità di fase viene ottenuta applicando la formula: $v_R = f/k$.

4.2.3 Prove ReMI

La necessità di disporre di modelli sismostratigrafici profondi (il più accurati possibile), impone di investigare profondità ben superiori ai 30 metri. Questo metodo venne introdotto da Louie (2001), e prevede una disposizione lineare dei geofoni verticali, allo specifico scopo di avere una profondità d'indagine dell'ordine di 30 m, tipica degli studi per la valutazione degli effetti di sito legati alla distribuzione della V_s fino a tale profondità. Come è ormai chiaro, profondità d'indagine superiori possono essere raggiunte solo utilizzando frequenze proprie inferiori. L'acronimo Re.Mi. sta infatti per Refraction Microtremors. Benché il dispositivo di misura sia sostanzialmente uguale a quello delle prove MASW e obbedisca agli stessi parametri di acquisizione, sia in termini di banda di frequenze analizzate che di spaziatura dei geofoni, l'elaborazione dei dati pur dovendo passare per una trasformazione di Fourier (T.F.) avviene in forma sostanzialmente diversa, in quanto in questo caso gli arrivi delle onde di Rayleigh non sono in sequenza crescente con la distanza dalla sorgente, ma casuali. La modifica sostanziale riguarda un'operazione preliminare alla T.F., che viene effettuata sui dati di campagna e chiamata *slant-stack* (ovvero "sovrapposizione obliqua").

Un limite concettuale di questo metodo è costituito dal fatto che soltanto le velocità di onde che si propagano nella direzione del profilo vengono restituite con precisione, mentre tutte le altre direzioni portano a velocità sovrastimate.

Tale tecnica permette di ottenere i profili verticali (1 D) della velocità media delle onde di taglio "S" anche molto profonde.

4.2.4 Prove HVSR

È già stato dimostrato che quando un'onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica $Z_1 = \rho_1 v_1$ (dove ρ è la densità e v la velocità di un'onda di volume - P o S) a un mezzo con impedenza acustica $Z_2 = \rho_2 v_2$, se $Z_2 < Z_1$ l'ampiezza dell'onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall'angolo d'incidenza e non dalla frequenza per le onde P, quindi tutte le singole componenti sinusoidali dell'onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra che ha luogo anche un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua V_s supera 800 m/s), tali frequenze di risonanza sono date da (Lanzo e Silvestri, 1999):

$$f_n = \frac{V_{2s}(2n-1)}{4h}, n = 1, 2, \dots, \infty$$

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purché il sottosuolo sia tabulare, cioè a strati piano/paralleli. Questa è una circostanza particolarmente fortunata, perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l'energia associata alle onde superficiali, per avere un'informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa infatti si ottiene con 3 "semplici" passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo (anche meno di un'ora) le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale $z(t)$ e due orizzontali ortogonali tra loro: $x(t)$, $y(t)$) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse (in genere basta che tale frequenza sia inferiore a 1 Hz, essendo le frequenze proprie dei manufatti intorno a 1 Hz o di poco superiori);
2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier $Z(f)$, $X(f)$ e $Y(f)$;
3. facendo il rapporto, detto per l'appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio:

$$\frac{\sqrt{|X(f)|^2 + |Y(f)|^2}}{|Z(f)|}$$

Il primo lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu pubblicato da Nogoshi e Igarashi nel 1971, ma Nakamura lo riprese nel 1989 con maggiore fortuna; per questo motivo è chiamato anche "metodo di Nakamura".

Le indagini sono state georeferenziate in apposito elaborato cartografico in scala 1:10.000 comprensivo dell'intero territorio comunale.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La costruzione della “Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica” ha riportato tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate da informazioni esistenti desunte dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna ed in possesso del Servizio Geologico Regionale, da ulteriori studi effettuati a livello del territorio comunale in fase di formazione dei vari piani urbanistici comunali e dal presente studio.

Questi dati sono stati necessari alla definizione del modello di sottosuolo per l'intero territorio comunale e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo. Al fine di valutare la risposta sismica è necessario definire un modello delle velocità delle onde sismiche che sia sufficientemente accurato da rivelare variazioni significative dei fattori di amplificazione nell'area.

Il modello creato è stato costruito integrando dati provenienti dalle perforazioni realizzate per pozzi ad uso industriale e per acqua ed integrati con i dati geofisici di foro e superficie attivi e passivi.

Le sezioni geologiche evidenziano che il sottosuolo di San Prospero s/S è costituito da depositi alluvionali su un substrato marino immergente verso sud e che la successione alluvionale è costituita da varie unità stratigrafiche, dovute a cicli deposizionali differenti, con grado di deformazione che aumenta con la profondità-

Le superfici che delimitano le unità litostratigrafiche presenti sono superfici di discontinuità stratigrafica. Tali superfici, dal punto di vista della possibile amplificazione sismica locale, influenzano il moto sismico delle onde elastiche in superficie pertanto si è provato a ricostruire la corretta successione stratigrafica fino alla profondità al di sotto della quale i sedimenti hanno comportamento rigido (bedrock sismico).

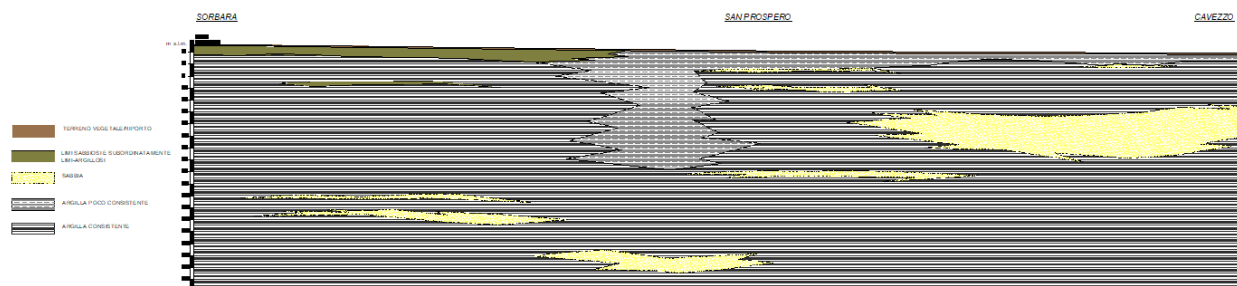
Dall'analisi dei risultati della campagna di acquisizione di microtremori ambientali a stazione singola sul territorio comunale si evidenzia che le frequenze variano da circa 0,8-0,9 Hz nella parte settentrionale a circa 0,7-0,6 Hz nella parte meridionale. Per quanto riguarda l'ampiezza dei picchi H/V risultano generalmente più elevati nella fascia settentrionale del territorio comunale. I dati strumentali di cui sopra confermano che la principale superficie di discontinuità sismostratigrafica (bedrock sismico) risulta ad una profondità di circa 140-150 m nella zona nord del comune e tende ad approfondirsi verso sud fino a 180-200m, in accordo con l'assetto tettonico di questa porzione di pianura padana.

Si riportano di seguito la planimetria e le sezioni geologiche ricavate:

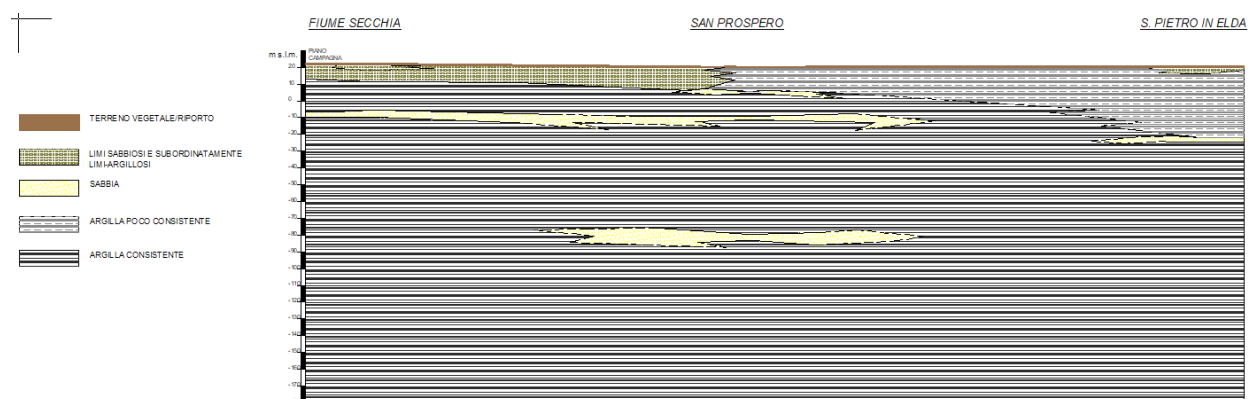
Tracce delle sezioni geologiche



SEZIONE 01



SEZIONE 02



6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Per quanto riguarda la diffusione delle indagini sull'intero territorio comunale è possibile affermare, sia sulla base delle indagini pregresse che di quelle nuove realizzate ad hoc per lo studio in essere ci sia una buona corrispondenza con la situazione reale.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

7.1. Premessa

Lo studio di microzonazione sismica di I e II livello per il comune di San Prospero s/S è stato realizzato secondo le seguenti fasi:

La definizione di **primo livello**, è stata effettuata sull'intero territorio comunale ed ha prodotto l'individuazione delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

La definizione di primo livello consente quindi di definire gli ambiti in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari.

La definizione di **secondo livello**, è stata effettuata sulle aree urbane, aree suscettibili di trasformazione urbanistica e tratti delle principali reti infrastrutturali ed ha prodotto, in queste aree, i valori dei fattori di amplificazione del moto sismico al suolo.

7.2 Metodologie di elaborazione

L'obiettivo dello studio per questo livello di microzonazione è stato quello sia della ricostruzione del modello geologico del sottosuolo e della definizione dei fattori di amplificazione come richiesti dalla DG della Regione Emilia-Romagna n. 630/2019 (DGR 630/2019).

In particolar modo si è proceduto attraverso i seguenti step di lavoro:

- la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo attraverso l'analisi e l'interpretazione delle prove penetrometriche statiche (meccaniche ed elettriche) con l'identificazione delle principali litotipi.

L'interpretazione stratigrafica delle prove penetrometriche meccaniche CPT_m ed elettriche CPT_u/SCPT_u è avvenuta mediante:

- CPT_m, utilizzo della classificazione di Schmertmann (1978) attraverso l'elaborazione con il software della GeoDeepDrill Fondazio;
- CPT_u/SCPT_u, utilizzo della classificazione di Robertson (2009) attraverso l'elaborazione con il software Geologismiki CPeT-IT v.3

Nelle CPT_u per identificare i terreni è stato tenuto in considerazione l'indice del tipo di terreno I_c (Robertson, 1990) verificando la classe di appartenenza SBT_n. In particolar modo si è prestata particolare attenzione alla presenza di livelli limo-sabbiosi e sabbiosi presenti sia tra 0-10m che tra 10-20m che possono essere potenzialmente liquefacibili.

- la ricostruzione del modello geofisico, opportunamente integrato con i dati litostratigrafici disponibili, per la determinazione dei fattori di amplificazione in termini di FPGA, FA0,1-0,5s, FA0,4-0,8s, FA0,7-1,1s, FA0,5-1,5s, FH0,1-0,5s, FH0,5-1s e FH0,5-1,5s.

In particolar modo la ricostruzione del modello geofisico è stata fatta sulle misure precedentemente elencate e di seguito riportate:

- i valori di V_{s30} ricavati da prove sismiche di superficie in array monodimensionale MASW e ReMI;
- la frequenza fondamentale di risonanza del sito (f_0), ottenuta da misure di microtremori ambientale a stazione singola (rapporti spettrali H/V).

Come precedentemente illustrato le indagini di tipo passivo caratterizzano meglio il dato in profondità, in quanto sono più performanti a basse frequenze mentre le indagini di tipo attivo risultano performanti alle alte frequenze e quindi caratterizzano gli strati più superficiali del terreno ma il loro potere penetrante decresce abbastanza rapidamente con la profondità. L'analisi congiunta con entrambe le tecniche rappresenta la soluzione ottimale in quanto consente di ottenere informazioni sia superficiali che in profondità sugli strati di terreno investigati e quindi di meglio caratterizzarli dal punto di vista del comportamento sismico, con l'individuazione in particolare del bedrock sismico (primo livello di profondità con $V_s \geq 800$ m/s) e della sua geometria.

Le elaborazioni dei dati geofisici sono state effettuate con i seguenti software:

- WinMasw Academy 2018®Eliosoft;
- HoliSurface 2018®Eliosoft.

Le indagini geofisiche sono state realizzate nel seguente modo:

- Indagini geofisiche passive a stazione singola (HVSR)

Le indagini a stazione singola, con acquisizione di microtremori ambientali, sono state eseguite utilizzando acquisitori con terna di velocimetri con frequenza di risonanza pari sia a 2Hz che a 4,5Hz (accuratamente accoppiati meccanicamente ed elettricamente) ed un acquisitore dati 24 bit reali appositamente progettato.

L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 200 Hz, ricampionato in fase di elaborazione a 64/128 Hz per una durata di circa 20 ÷ 30 minuti.

Tali dati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) secondo le specifiche dei criteri SESAME 2005, che rappresentano i criteri del progetto Europeo sviluppato ad hoc per le misure ambientali di microtremore.

- Indagini geofisiche attive con metodo MASW - in onde Rayleigh

Le prospezioni sismiche sono state eseguite con un acquisitore digitale a 24 bit e l'utilizzo di geofoni verticali a 4,5 hz ad alto guadagno. L'acquisizione è stata effettuata campionando il segnale a 1 KHz, per una durata di 2/3 secondi. Lo stendimento ha avuto una lunghezza pari a circa 50 m con distanza intergeofonica che è stata fatta variare a 3/4 m e con offset pari a 5/10 m previa energizzazione con mazza da 8 kg su piastra metallica o piastra in pvc a seconda delle condizioni della superficie di battuta.

- Indagini geofisiche passive con metodo ReMI in onde Rayleigh

Le prospezioni sismiche sono state eseguite con un acquisitore digitale a 24 bit e l'utilizzo di geofoni verticali a 4,5 hz ad alto guadagno.

Il metodo ReMI consente di definire la curva di dispersione apparente della componente verticale dell'onda di Rayleigh tramite acquisizioni di carattere passivo svolte tramite array lineari.

7.3 Risultati

I risultati ottenuti vengono qui sinteticamente descritti per i due livelli di microzonazione sismica realizzati per il San Prospero s/S (I e II livello di microzonazione). Nel successivo capitolo ("Elaborati cartografici") i risultati saranno dettagliati e spiegati per ogni singolo prodotto realizzato all'interno dello studio.

- I LIVELLO DI MICROZONAZIONE

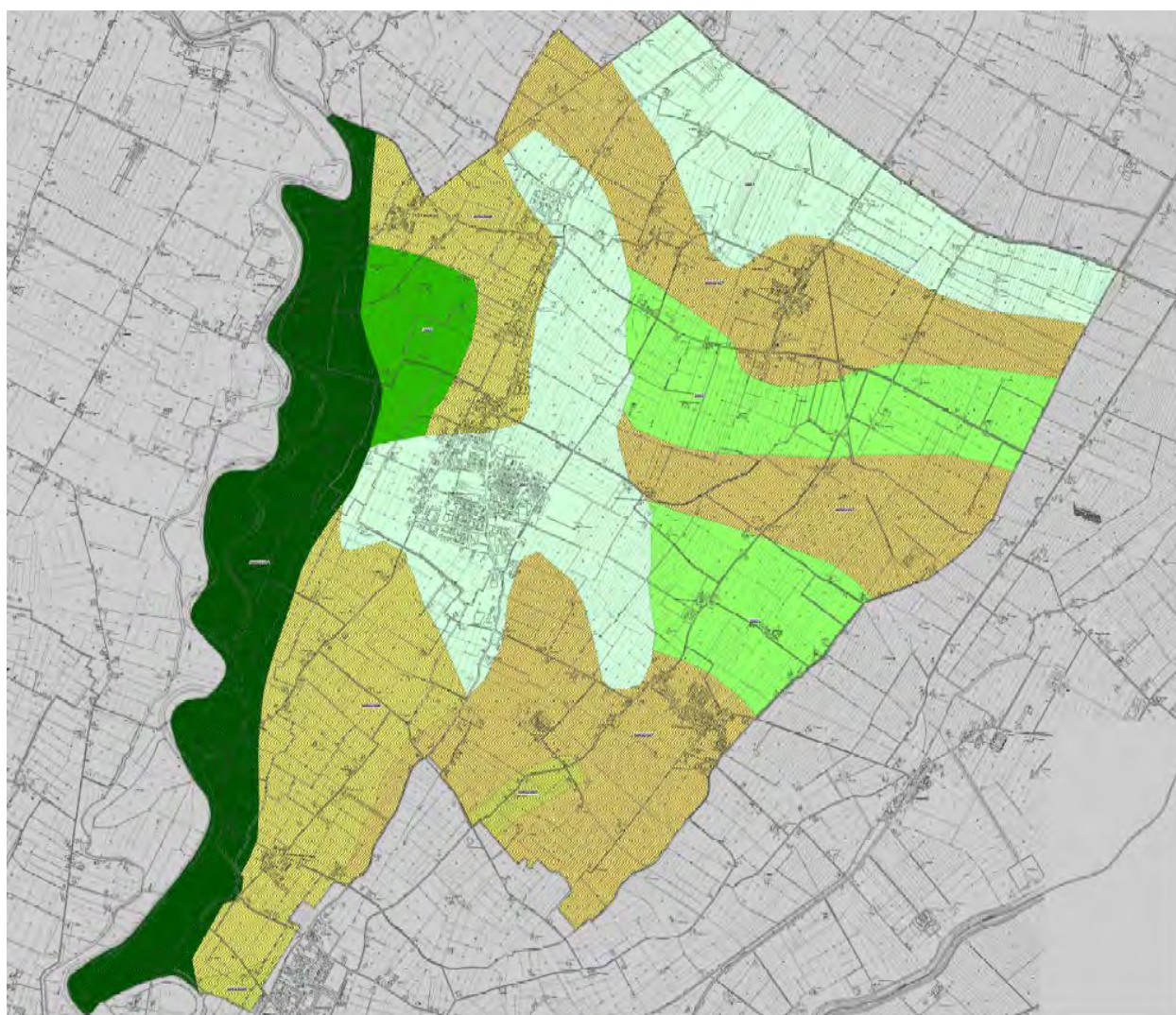
Il I livello di microzonazione è stato realizzato su tutto il territorio comunale.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ, "Microzonazione Sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Versione 4.1" (CT, 2018). sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, nelle quali sono da effettuarsi approfondimenti di indagini ed analisi per la microzonazione sismica di livello superiore ed i livelli di approfondimento che competono alle condizioni di pericolosità di detti ambiti.

In accordo con gli indirizzi regionali (DGR 2193/2015 e DGR 630/2019), le cartografie delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e di microzonazione sismica sono state elaborate per gli ambiti di interesse urbanistico (aree urbanizzate e urbanizzabili, principali reti infrastrutturali e parti di territorio rurale), come definiti dall'Amministrazione Comunale

Dall'analisi dei dati emerge immediatamente che la parte occidentale del territorio comunale lungo l'argine del fiume Secchia è caratterizzata dalla presenza di terreni con la presenza di orizzonti nei primi 20m dal pc sabbiosi e limo-sabbiosi interpretati come depositi di argine attuale-recente, mentre la zona del capoluogo e la zona nord del comune si caratterizzano per la presenza interpretati come depositi di piana inondabile o di intercanale.

La suddivisione all'interno di domini omogenei dal punto di vista della genesi è legata alla presenza nei primi 20m dal pc di orizzonti limo-sabbiosi e sabbiosi che possono essere potenzialmente liquefacibili. Tale aspetto si evidenzia nella carta delle MOPS sotto riportata

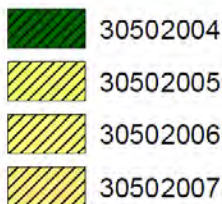


Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione per instabilità



- II LIVELLO DI MICROZONAZIONE

Il II livello di microzonazione è stato realizzato sull'intero territorio comunale, avendo a disposizione una copertura delle indagini pressochè omogenea su tutta la superficie comunale.

Dall'analisi dei dati ottenuti e sulla base delle risultanze del I livello è stato possibile quantificare i fattori amplificativi dei terreni di copertura. Tali fattori sono otto per ogni area individuata, in termini di accelerazione massima al suolo (PGA), di accelerazione al suolo FA che di Intensità di Housner IS secondo l'approccio semplificato proposto dalla Regione Emilia-Romagna nella DGR 630/2019.

Sulla base della profondità individuata del bedrock sismico e sui valori desunti del Vs30 è stato deciso di utilizzare, secondo l'allegato A2 della DGR sopra citata, la tabella:

A2.1.2 - PIANURA PADANA E COSTA ADRIATICA

Per la pianura e la costa sono stati individuati diversi ambienti caratterizzati da differenti caratteristiche litostratigrafiche, in particolare da diversa profondità dell'orizzonte che costituisce il substrato rigido, che in pianura non sempre coincide con l'orizzonte caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s.

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s), **SA2** (0,4s≤T≤0,8s), **SA3** (0,7s≤T≤1,1s),
SA4 (0,5s≤T≤1,5s)

V _{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s), **SI2** (0,5s≤T≤1,0s), **SI3** (0,5s≤T≤1,5s)

Considerato che il Valore di Vs30 desunto dalle indagini descritte nei capitoli precedenti si attesta ad un valor medio prossimo a 200 m/s su tutto l'intero territorio comunale, pertanto i valori dei fattori amplificativi appaiono omogenei sull'intero areale.

E' stata prodotta anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s²), dato dal prodotto del parametro *Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore 0,1s≤T≤0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di ASI_{UHS}/T, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Il vantaggio nell'utilizzo di questo nuovo parametro consiste nel fatto che esprime lo scuotimento atteso con valori assoluti, in termini di accelerazione (cm/s^2), e quindi permette una vera e propria classificazione della pericolosità sismica locale, per $T_R=475$ anni.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Vengono qui descritti gli elaborati cartografici realizzati secondo quanto indicato dalla deliberazione di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1227 del 31/08/2015 (DGR 1227/2015) e dal documento tecnico rilasciato dalla Commissione Tecnica DPC “Microzonazione Sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Versione 4.1” (CT, 2018).

In accordo con gli indirizzi regionali (DGR 630/2019), le cartografie delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e di microzonazione sismica di livello II sono state elaborate per gli ambiti di interesse urbanistico (aree urbanizzate e urbanizzabili, principali reti infrastrutturali e parti contermini di territorio rurale), come definiti dall’Amministrazione Comunale e del l’Amministrazione Provinciale. Negli ambiti di studio, la quantità di dati a disposizione ha permesso un’interpretazione attendibile per quanto riguarda la definizione dei fattori amplificativi dell’azione sismica sull’intero territorio comunale.

8.1 Carta delle indagini

Sulla base delle indagini pregresse e quelle di nuova realizzazione sono state selezionate complessivamente:

- 1 sondaggio stratigrafico meccanico a distruzione di nucleo per realizzazione pozzo industriale;
- 165 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPTm);
- 14 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu);
- 1 prova dilatometrica con dilatometro piatto Marchetti (DTM);
- 85 prospezioni simiche attive con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell’onda di Rayleigh);
- 3 prospezioni simiche passive con metodo ReMI in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell’onda di Rayleigh);
- 53 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr);
- 1 prospezione sismica a rifrazione in onde Sh.

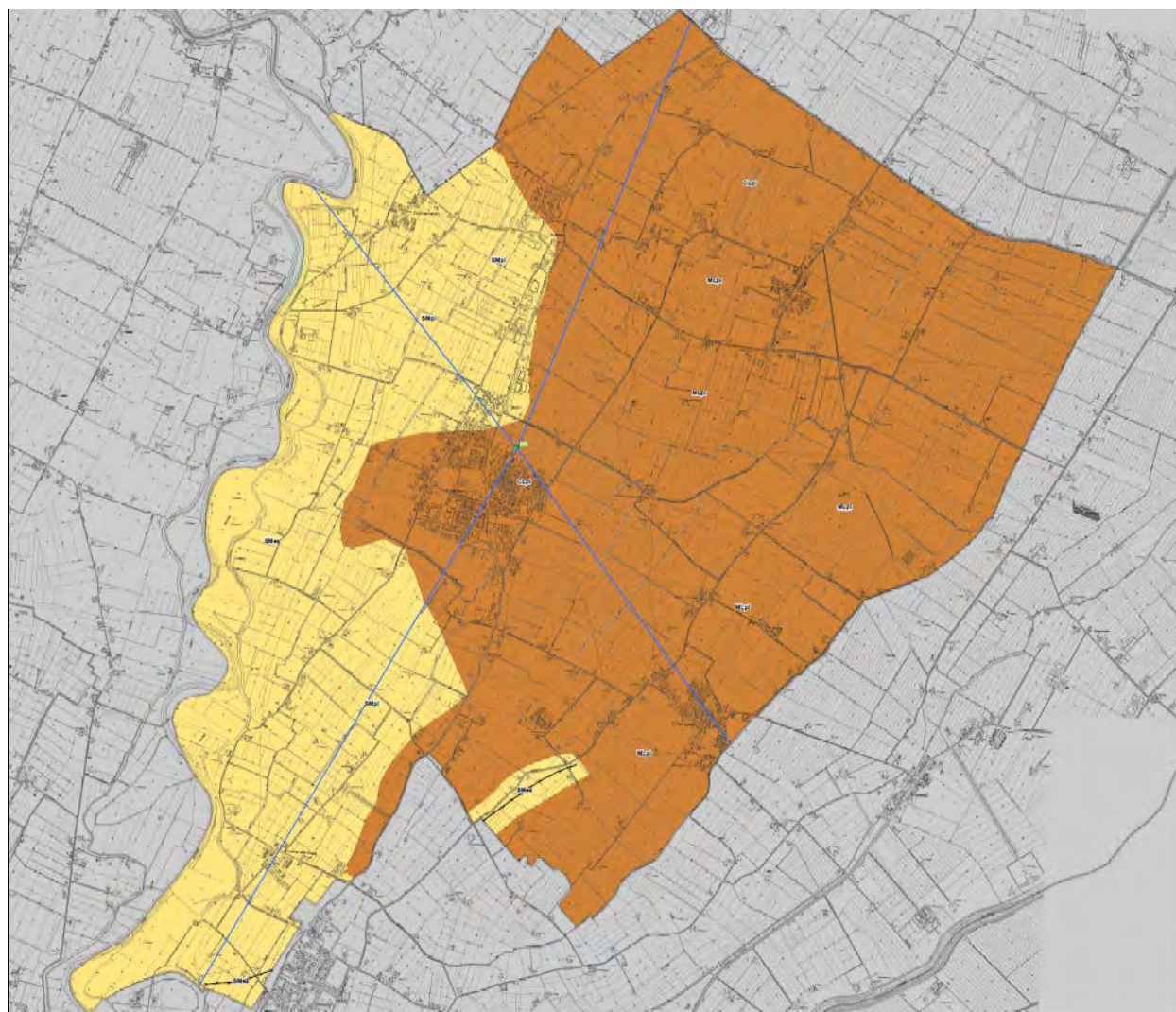
Tali indagini, in accordo con gli standard previsti, sono state digitalizzate e inserite nella banca dati. L’elaborato sull’intero territorio comunale è stato redatto in scala 1:10000.

8.2 Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

La “Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica” riporta tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate da informazioni esistenti desunte dalla banca dati della Regione Emilia-Romagna ed in possesso del Servizio Geologico Regionale, da ulteriori studi effettuati a livello del territorio comunale in fase di formazione dei vari piani urbanistici comunali e dal presente studio.

Questi dati sono stati necessari alla definizione del modello di sottosuolo per l'intero territorio comunale e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

Ai fini della realizzazione della carta (sotto riportata) si è provveduto all'analisi di tutte le prove geonostiche in possesso nel presente studio.



Da tale analisi si è potuto riscontrare che la maggiore variabilità si riscontra nei primi 20 m dal piano campagna. Tale indicazione risulta propedeutica anche per la valutazione del potenziale di liquefazione che può interessare i terreni presenti sull'intero territorio comunale, anche se tale analisi riguarda lo studio di microzonazione di III livello qui non richiesto. Nello specifico si è provveduto ad analizzare le seguenti indagini geognostiche:

- 1 sondaggio stratigrafico meccanico a distruzione di nucleo per realizzazione pozzo industriale;
- 165 prove penetrometriche statiche meccaniche (CPTm);
- 14 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu);
- 1 prova dilatometrica con dilatometro piatto Marchetti (DTM);

Dove le classi individuate rappresentano le litologie prevalenti nei primi 20 m da p.c., con indicazione degli ambienti genetico deposizionali:

CLpi	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile
MLpi	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di piana inondabile
SMes SMpi	Sabbie limose, miscela di sabbie e limo di piana inondabile o argine\barre\canali

L'elaborato è stato redatto sull'intero territorio comunale in scala 1:10000.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

La carta delle frequenze naturali dei terreni è stata ottenuta mediante indagini di rumori ambientale (microtremori) a stazione singola con tecnica HVSR.

I dati ottenuti dalle elaborazioni di tali indagini, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e la componente verticale dello strumento, consentono infatti di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare sia la frequenza di risonanza fondamentale (valore f_0) che l'ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze individuate.

Bisogna infatti considerare che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di "risonanza" e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito).

Tutto il territorio indagato è stato suddiviso in base a classi di frequenza (nell'intervallo 0,1-20,0 Hz):

- $f_0 \leq 1$ Hz (spessori attesi ≥ 100 m),
- $1 \text{ Hz} < f_0 \leq 2$ Hz (spessori attesi fra 100 e 30 m),

- $2 \text{ Hz} < f_0 \leq 8 \text{ Hz}$ (spessori attesi fra 30 e 10 m),
- $f_0 > 8 \text{ Hz}$ (spessori attesi $< 10 \text{ m}$)

Inoltre sono state caratterizzate le zone da alti contrasti di impedenza alla base delle coperture (ampiezza HVSR > 3) e bassi contrasti di impedenza (ampiezza HVSR < 3).

Le frequenze misurate risultano tutte comprese tra 0,55 e 1,1 Hz.

In generale, si evidenzia il trend per il quale i valori di frequenza sono più elevati nella porzione settentrionale del territorio comunale mentre tali valori tendono a diminuire nella parte meridionale del territorio comunale. Per quanto riguarda i picchi delle prove H/V non si riscontra alcun trend in merito.

Ad ogni modo la variabilità delle frequenze sopra descritta ben si accorda con l'assetto strutturale geologica di questa porzione di bassa pianura modenese.

L'elaborato è stato redatto sull'intero territorio comunale in scala 1:10000.

8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS - livello 1) è costruita sulla base degli elementi individuati e già riportati nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica. L'elaborato è stato redatto sull'intero territorio comunale in scala 1:10000.

In funzione delle informazioni rappresentate, la legenda è distinta nelle seguenti parti:

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- zone suscettibili di instabilità;
- forme di superficie e sepolte;
- tracce di sezione topografica.

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dip. Prot. Civ. e Conf. Delle Regioni e Province Autonome e gli Standard MS (v. 4.1), sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, nelle quali sono da effettuarsi approfondimenti di indagini ed analisi per la microzonazione sismica ed i livelli di approfondimento che competono alle condizioni di pericolosità di detti ambiti.

L'individuazione delle sequenze litotecniche - sismiche delle aree a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, è stata definita in funzione delle prospezioni geotecniche e geofisiche a disposizione del presente studio.

In riferimento a quanto esposto sono state quindi individuate le sequenze delle zone stabili nelle quali gli effetti sono correlati ad amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche: zone 2001, 2002 e 2003 e le zone di attenzione per instabilità legate a possibili fenomeni di liquefazione: zone 30502004, 30502005, 30502006 e 30502007.

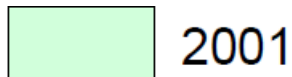
Di seguito si riporta una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi:

Il sistema di codifica delle MOPS identifica con il codice 20xy le aree stabili suscettibili

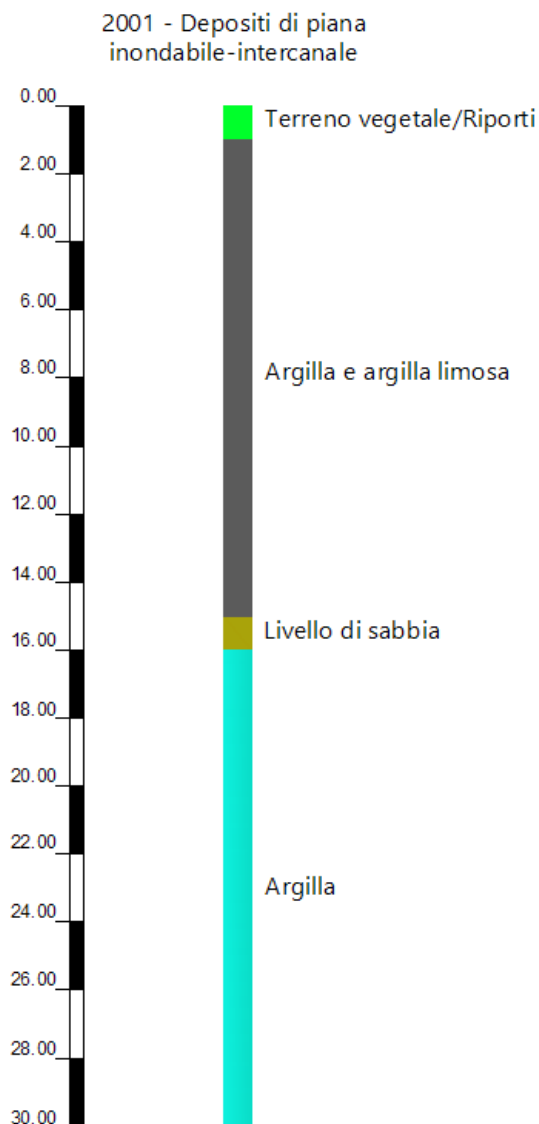
di amplificazione e con il codice 30xy20xy le aree potenzialmente instabili.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

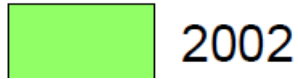
- Zona



Depositi di piana inondabile-intercanale caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini costituiti prevalentemente da argille e subordinatamente argille limose a media consistenza con possibili intercalazioni di livelli centimetrici a bassa consistenza e con assenza di orizzonti granulari potenzialmente liquefacibili nei primi 20m dal pc.

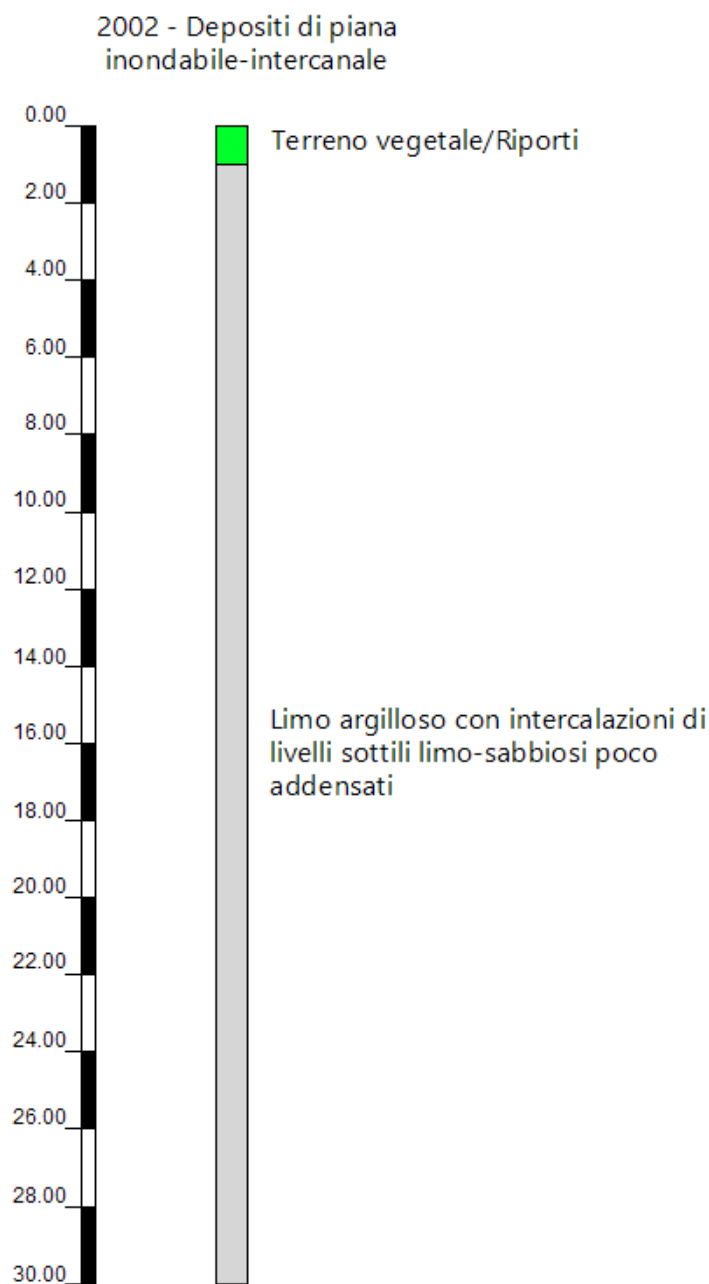


- Zona 2002



Depositi di piana inondabile-intercanale caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini costituiti prevalentemente da limi e limi argillosi mediamente consistenti con intercalati subordinati livelli sottili limo sabbiosi poco addensati.

Assenza di orizzonti granulari potenzialmente liquefacibili nei primi 20m dal pc.



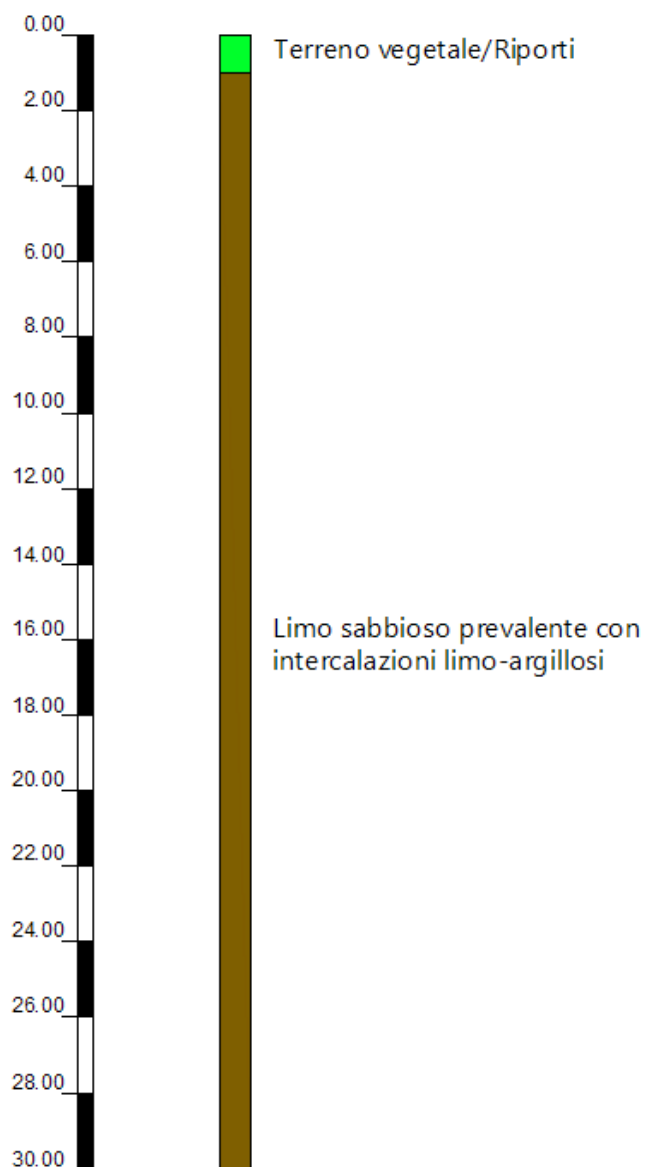
- Zona 2003



Depositi di piana inondabile-intercanale caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini costituiti prevalentemente da limi-sabbiosi prevalenti e limi-argillosi mediamente consistenti con intercalazioni di livelli centimetrici a bassa consistenza.

Assenza di orizzonti granulari potenzialmente liquefacibili nei primi 20m dal pc.

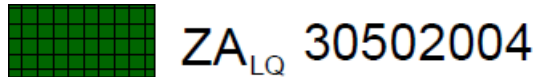
2003 - Depositi di piana
inondabile-intercanale



Zone di attenzione per instabilità

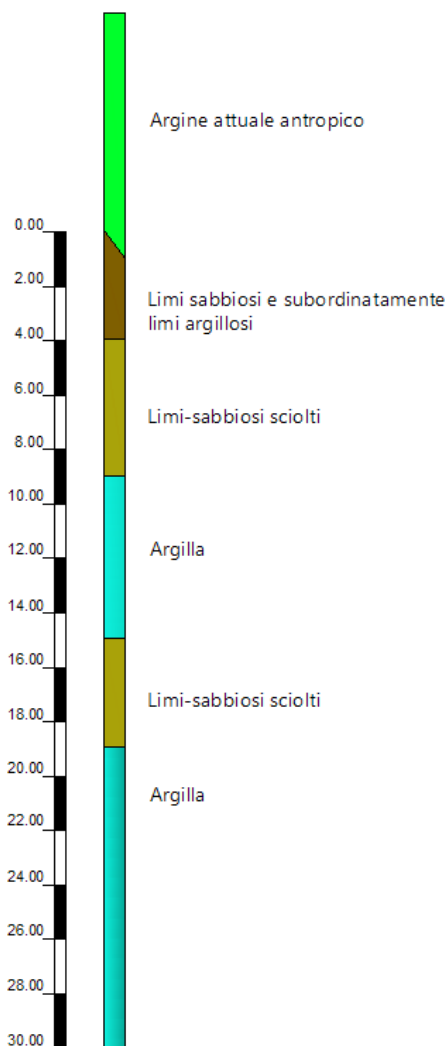
Tra le zone di attenzione per instabilità, nel territorio comunale sono state individuate quelle legate a possibili fenomeni di liquefazione (Z_{ALQ}) caratterizzate dalla codifica 305020xy ed in particolare:

- Zona Z_{ALQ} 30502004

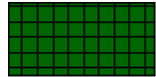


Depositi di sistema canale-argine (recente e attuale) caratterizzati dalla presenza di sedimenti costituiti da limi e limi-argillosi mediamente consistenti con livelli limo-sabbiosi sciolti potenzialmente liquefacibili compresi tra 3-8 m e tra i 14-18 m dal p.c.

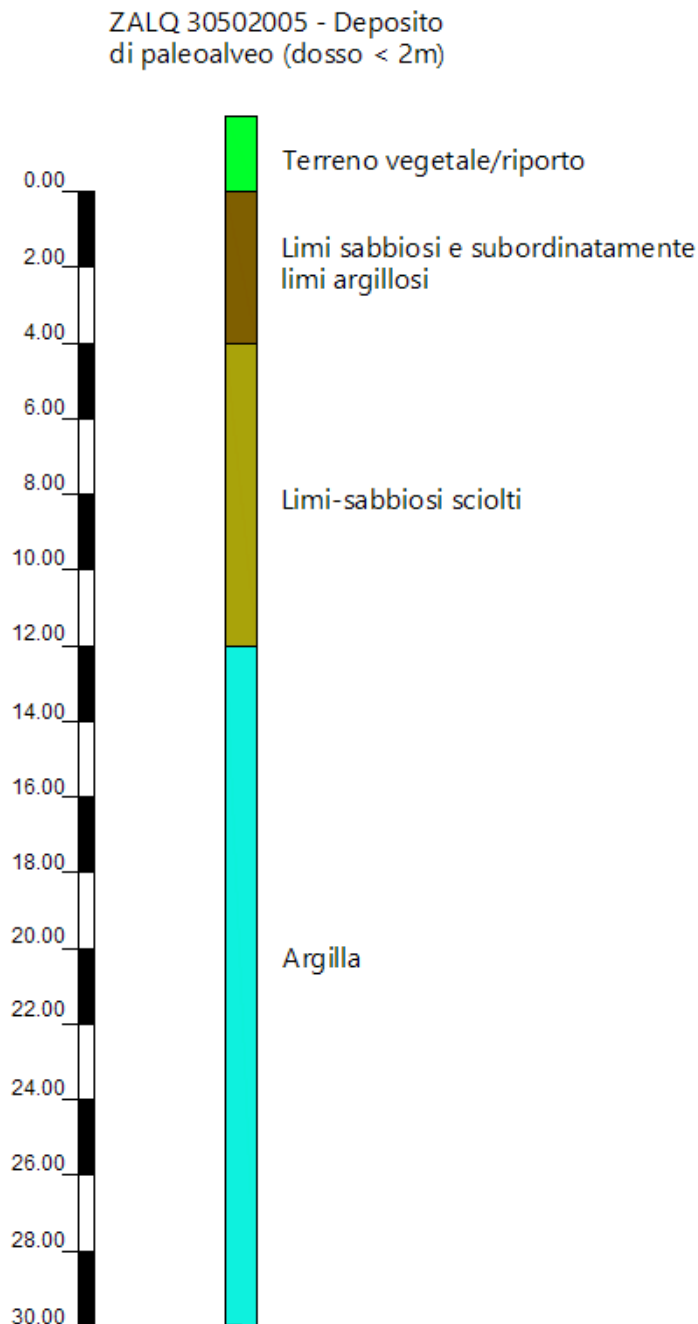
ZALQ 30502004 - Deposito di sistema
canale-argine (recente e attuale)



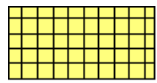
- Zona ZA_{LQ} 30502005

 ZA_{LQ} 30502004

Depositi di paleoalveo caratterizzati dalla presenza di sedimenti costituiti da limi-sabbiosi e subordinatamente limi-argillosi con livelli limo-sabbiosi sciolti potenzialmente liquefacibili compresi tra 4-12 m dal p.c.



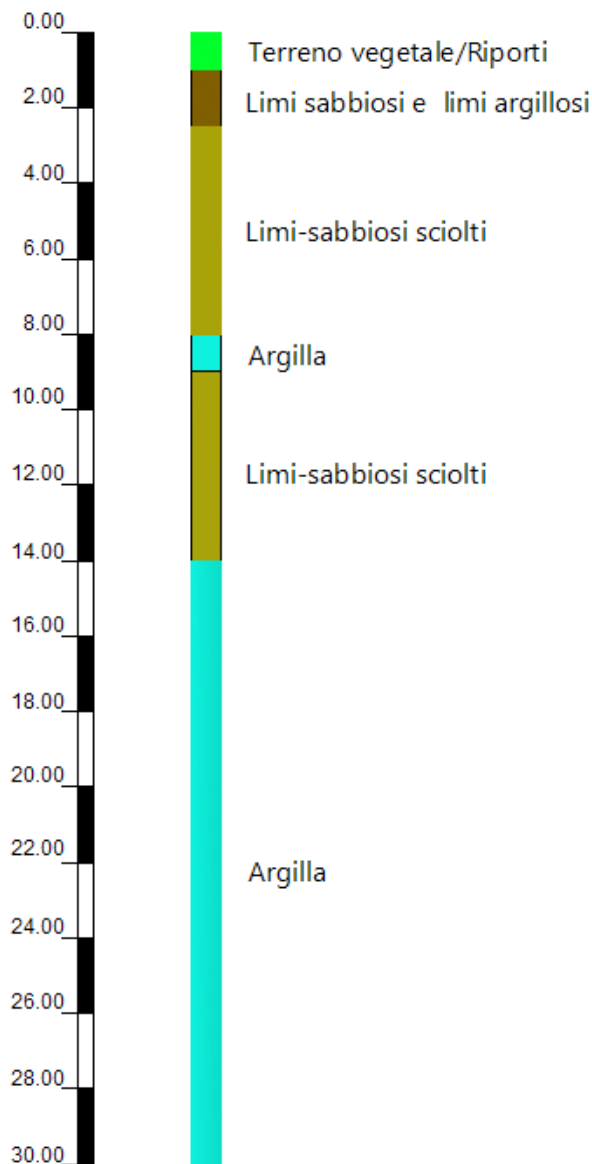
- Zona ZA_{LQ} 30502006



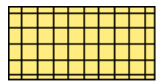
ZA_{LQ} 30502006

Depositi di piana inondabile-intercanale caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini costituiti da limi-sabbiosi e limi-argillosi mediamente consistenti con livelli limo-sabbiosi sciolti potenzialmente liquefacibili compresi tra 2.5-8 m e tra i 9-14 m dal p.c.

ZALQ 30502006 -
Depositi di piana
inondabile-intercanale



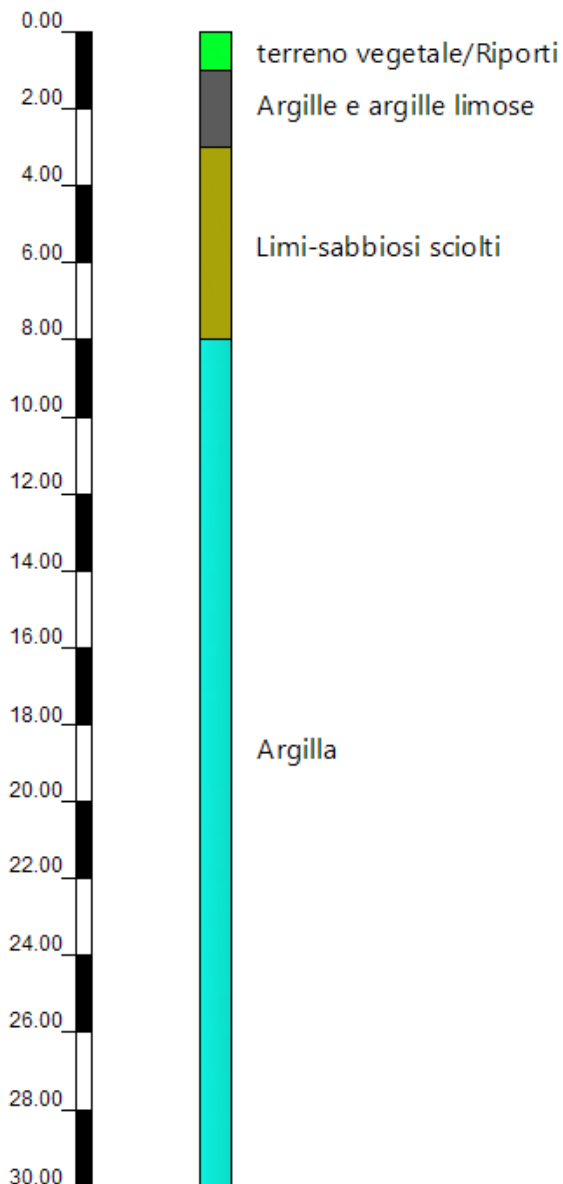
- Zona ZA_{LQ} 30502007



ZA_{LQ} 30502007

Depositi di piana inondabile-intercanale caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini costituiti prevalentemente da Argille e argille limose mediamente consistenti con livelli limo-sabbiosi sciolti potenzialmente liquefacibili compresi tra 3-8 m dal p.c.

ZALQ 30502007 -
Depositi di piana
inondabile-intercanale



8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La carta delle velocità delle onde di taglio (Vs), rappresenta la sintesi delle velocità delle onde di taglio con indicazione per ogni punto di misura di:

- del tipo di prova geofisica che è stata effettuata;
- della profondità del substrato H (in m) e di V_{SH} (in m/s) *nelle aree in cui $H < 50$ m*;
- di V_{s30} (in m/s) *nelle aree in cui $H > 50$ m*.

I valori di Vs sono stati calcolati in base a dati acquisiti con indagini sismiche di superficie sia di tipo attivo che passivo opportunamente combinate tra di loro per meglio definire il profilo, con la profondità, di velocità delle onde S:

- 85 prospezioni sismiche attive con metodo MASW in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 3 prospezioni sismiche passive con metodo ReMI in onde Rayleigh (array sismico 1D con geofoni verticali con analisi della componente verticale dell'onda di Rayleigh);
- 53 misure di sismica passiva con tecnica a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr);
- 1 prospezione sismica a rifrazione in onde Sh.

In riferimento ai valori di velocità Vs calcolati con la seconda delle metodologie sopra indicate e sull'interpretazione critica delle prove geognostiche disponibili, è stato possibile estendere l'informazione sulla profondità H del substrato rigido avvalendosi della relazione che collega la frequenza di risonanza con la profondità del substrato rigido e la velocità media delle onde S.

In generale i valori di V_{s30} variano tra 160 e 233 m/s.

L'elaborato è stato redatto in scala 1:10000

8.6 Carta di microzonazione sismica (livello 2 o 3)

Gli sviluppi delle aree oggetto di microzonazione sismica di secondo livello di approfondimento individuano aree a comportamento sismico equivalente, attribuendo alle stesse indici quantitativi che definiscono in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche l'amplificazione sismica attesa ($T_r = 475$ anni; $\zeta = 5\%$).

La carta di microzonazione sismica assegna ad ognuna delle microzone individuate valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) calcolati mediante appositi abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna (v. Allegato A2 della DGR 630/2019). I FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con i parametri sotto

indicati, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A.

Questi ultimi prevedono una serie di dati di ingresso che comprendono il contesto geologico di riferimento, lo spessore di copertura ed il tipo di substrato geologico ed i parametri V_{s30} e V_{sH} .

Questi parametri sono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Accelerazioni (SA/SA_0) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi, dove PGA_0 , SA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale, l'accelerazione e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA , SA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale, accelerazione e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Nello specifico pertanto la carta di microzonazione sismica si compone, per ogni microzona individuata di otto fattori amplificativi differenti sotto descritti:

FPGA = Fattore di amplificazione dell'accelerazione di picco PGA ;

SA1 = Fattore di amplificazione dell'accelerazione nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,1-0,5 s (FA IS 0,1-0,5 s);

SA2 = Fattore di amplificazione dell'accelerazione nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,4-0,8 s (FA IS 0,4-0,8 s);

SA3 = Fattore di amplificazione dell'accelerazione nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,7-1,1 s (FA IS 0,7-1,1 s);

SA4 = Fattore di amplificazione dell'accelerazione nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,5-1,5 s (FA IS 0,5-1,5 s);

SI1 = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,1-0,5 s (FA IS 0,1-0,5 s);

SI2 = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,5-1,0 s (FA IS 0,5-1,0 s);

SI3 = Fattore di amplificazione dell'intensità di Housner nell'intervallo di periodo T compreso tra 0,5-1,5 s (FA IS 0,5-1,5 s);

Per quanto riguarda la PGA , l'amplificazione sull'intero territorio è ricompresa nella classe 1,7-1,8 (valore puntuale pari a 1,7), che rappresenta un'amplificazione abbastanza significativa.

In termini di fattori di accelerazione per l'intervallo di periodi compreso tra 0,1s e 0,5s la totalità del territorio risulta compresa nell'intervallo 1,7-1,8 (valore puntuale 1,8).

In termini di fattori di accelerazione per l'intervallo di periodi compreso tra 0,4s e 0,8s

la totalità del territorio risulta compresa nell'intervallo 2,5-3,0 (valore puntuale 2,7) mentre per quanto riguarda i fattori di accelerazioni per gli intervalli compresi tra 0,7s e 1,1s e tra 0,5s e 1,5s la totalità del territorio risulta compresa nell'intervallo 3,1-3,5 (valore puntuale rispettivamente pari a 3,2 e 3,1) che costituiscono valori decisamente elevati.

In termini di Intensità di Housner per bassi periodi, l'amplificazione risulta un po' maggiore rispetto al valore di accelerazione, con FH0105 compreso tra 1,9 e 2,0 per l'intera superficie comunale (valore puntuale 2,0).

Valori decisamente più elevati sono quelli dell'Intensità di Housner per periodi più elevati: per l'intervallo tra 0,5s e 1,0s i valori di FH0510 sono ovunque compresi nella classe 2,5-3,0 (valore puntuale 3,0) mentre per l'intervallo, tra 0,5-1,5s i valori di FH0515 ricadono nella classe 3,1-3,5 in tutto l'ambito di studio con un valore puntuale di 3,3.

E' stata infine prodotta anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro *Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file `all_4_coord.kmz`, disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

La carta del parametro H_{SM} per lo scuotimento atteso (per $0,1s \leq T \leq 0,5s$) risulta su tutto il territorio nell'intervallo ricompreso tra 600 e 625 cm/s^2 .

E' anche questa la carta di microzonazione sismica utilizzata per rappresentare la pericolosità sismica locale nell'analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE).

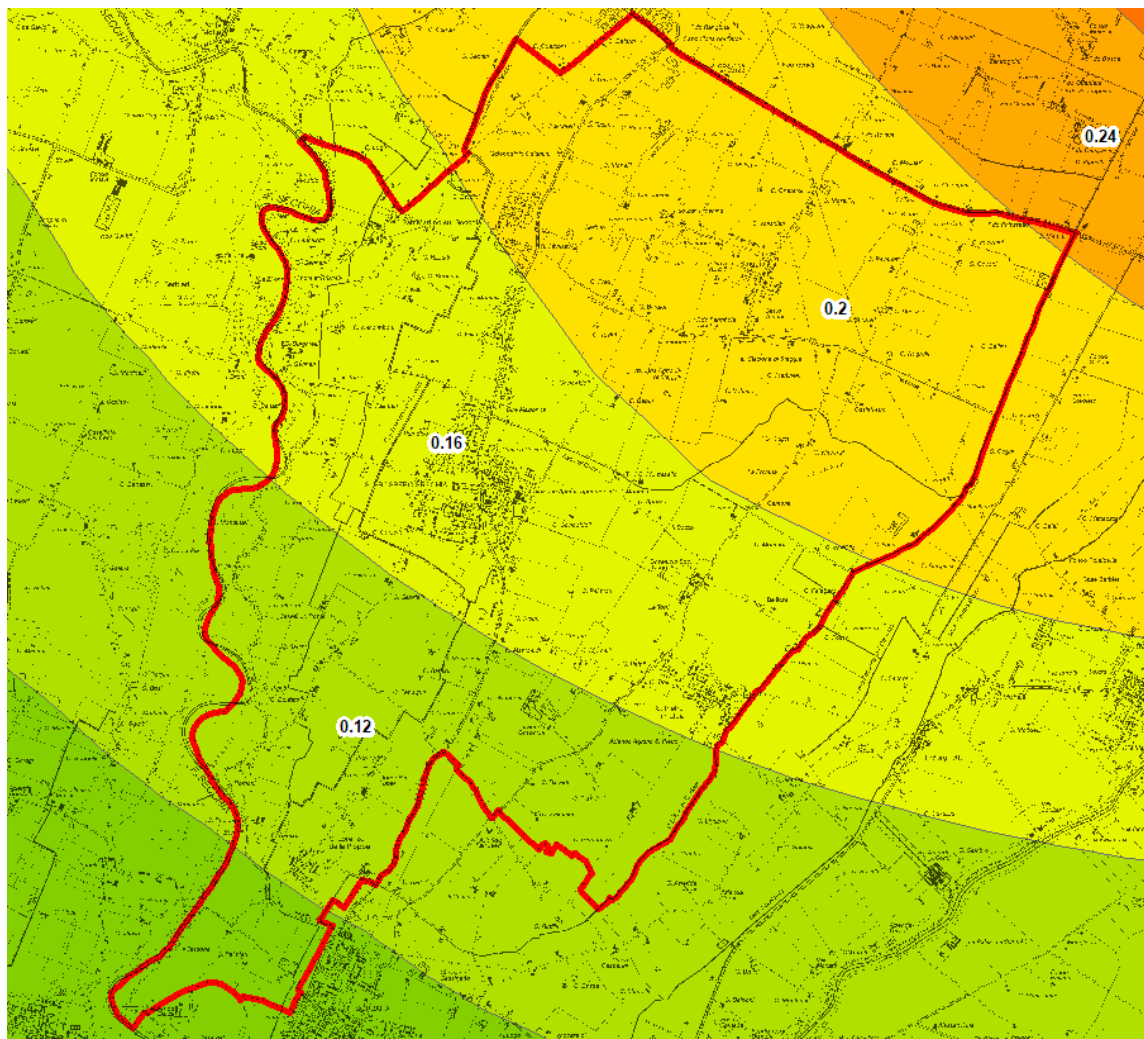
Il vantaggio nell'utilizzo di questo nuovo parametro consiste nel fatto che esprime lo scuotimento atteso con valori assoluti, in termini di accelerazione (cm/s^2), e quindi permette una vera e propria classificazione della pericolosità sismica locale, per $TR=475$ anni.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

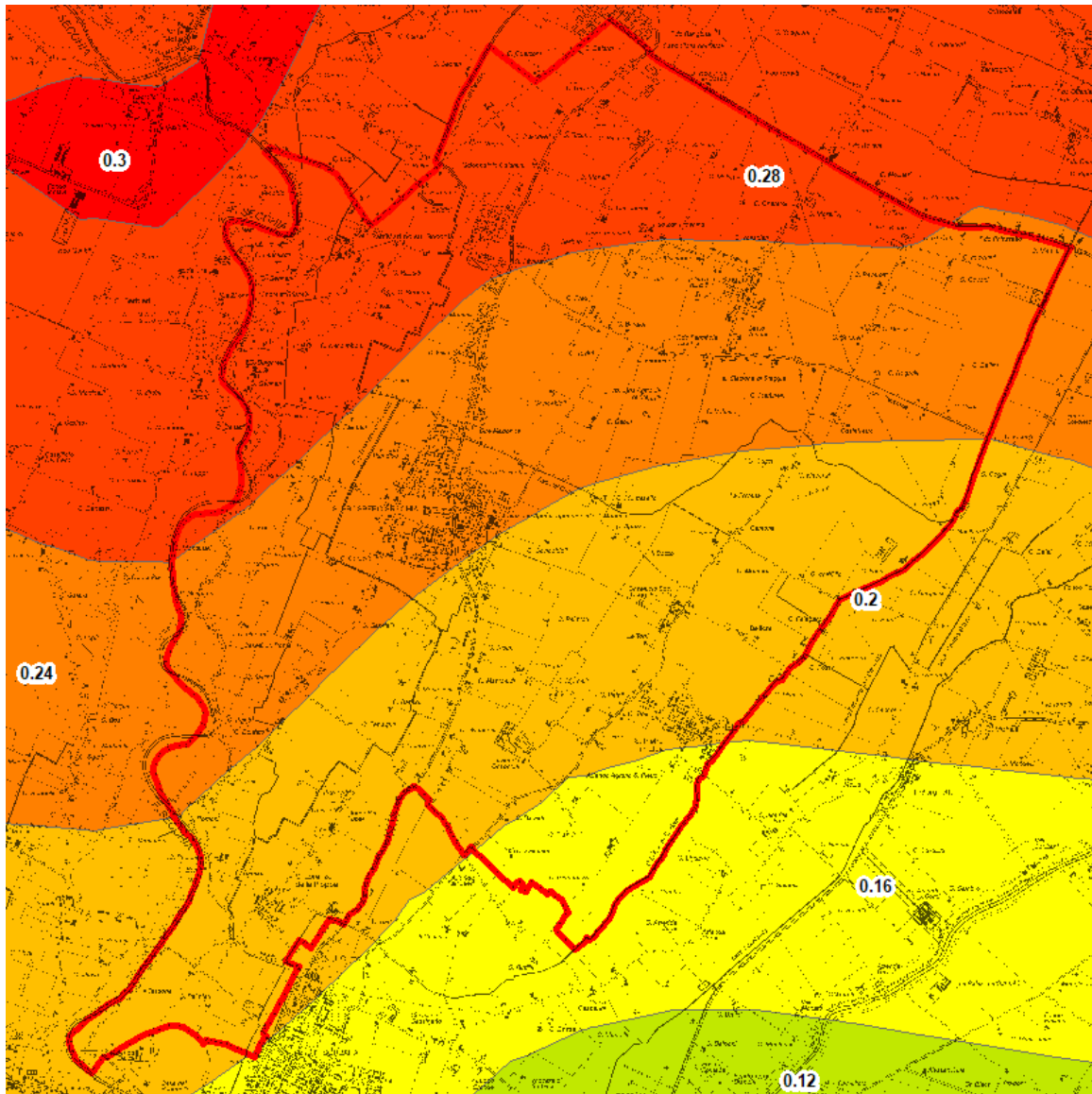
I cataloghi storici sulla sismicità indicano che l'area di San Prospero s/S è stata più volte interessata da terremoti che hanno prodotto effetti di intensità uguali o maggiori di 6.

I dati storici disponibili mostrano che l'evento che ha causato i maggiori effetti e danneggiamenti in questo Comune risulta essere la scossa del 20-29/05/2012 (Mw=6,09 - 5,90), il cui epicentro è stato localizzato a soli 3 km dal centro abitato di Cavezzo.

La mappa di scuotimento (*shakemap*) realizzata da INGV con riferimento alla scossa del 20/05/2012 e del 29/05/2012 (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake/772691/pga.html> e <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/841091/pga.html>) indicano che, all'interno del territorio comunale di San Prospero, la PGA stimata ha raggiunto rispettivamente valori compresi tra 0,20-0,08g e 0,28-0,16



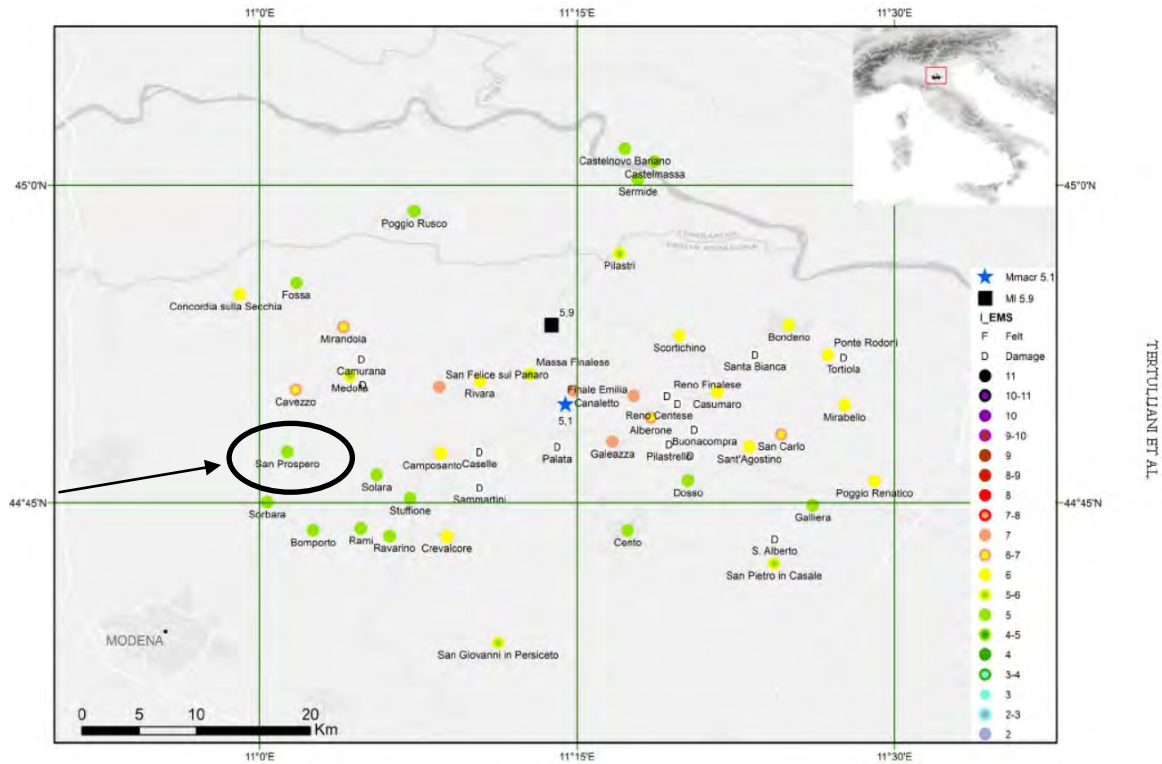
Evento del 20/05/2012



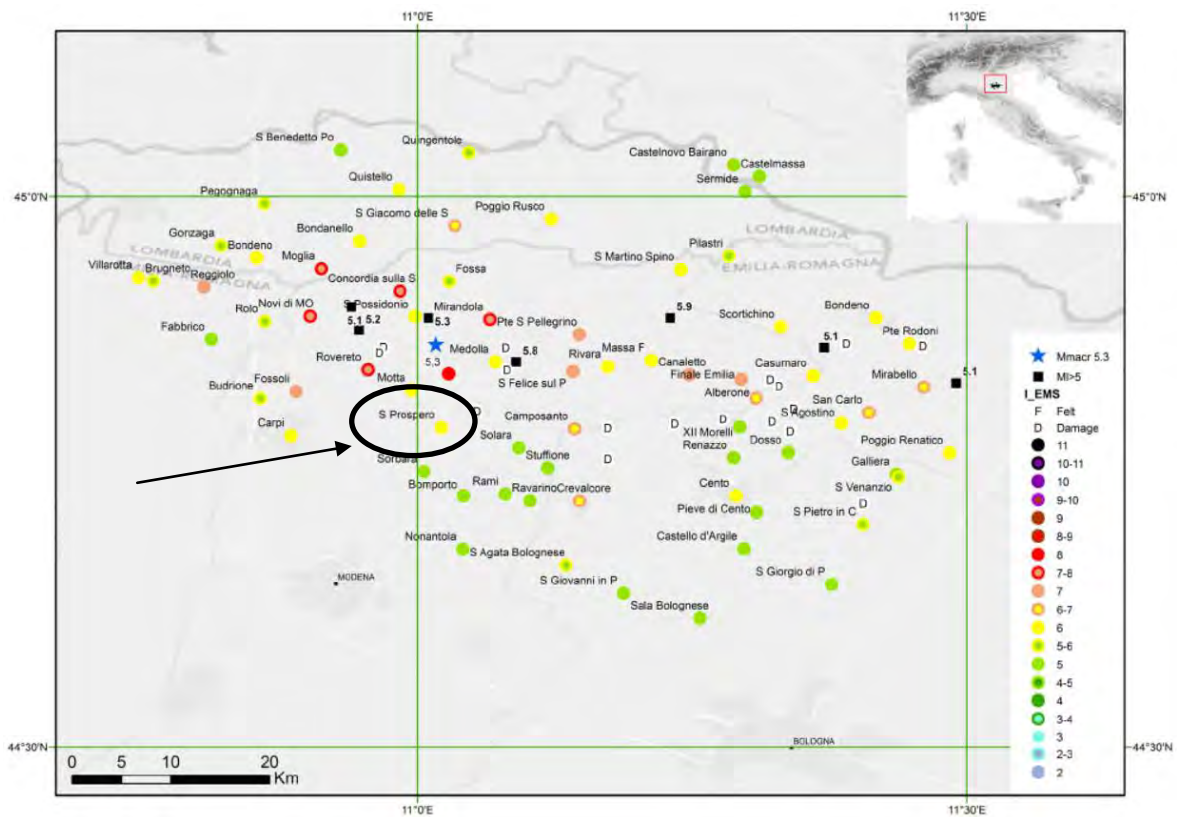
Evento del 29/05/2012

Il territorio comunale, secondo la mappa di pericolosità sismica nazionale (MPS04, OPCM 3519/2006), evidenzia che la PGA attesa a San Prospero s/S per $TR=475$ anni è pari a 0,155g; pertanto, il fattore di amplificazione sismica misurato, in termini di PGA, per la scossa del 29/05/2012 sarebbe pari a 1,8, valore che è perfettamente in linea con quanto desunto dagli abachi semplificati utilizzati nel presente studio che è pari a 1,7. Inoltre dopo la sequenza sismica del maggio 2012 al centro abitato di San Prospero è stata attribuita un'intensità macrosismica pari al VI grado della Scala Macrosismica Europea - EMS98 (Tertulliani et Al., 2012).

Si riportano di seguito le mappe desunte dalle rilevazioni dell'INGV di cui sopra.



Intensità macrosismica dell'episodio del 20 maggio 2012



Intensità macrosismica della sequenza maggio-giugno 2012

TERTULIANI ET AL.

Gli stessi dati sono confermati dal rilievo effettuato dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile (Galli P., Castenetto S. e Peronace E., 2012) che evidenzia un'intensità macrosismica pari al V-VI grado della Scala MCS (secondo la metodologia di Molin 2003 e 2009) di cui si riporta sotto la mappa desunta.

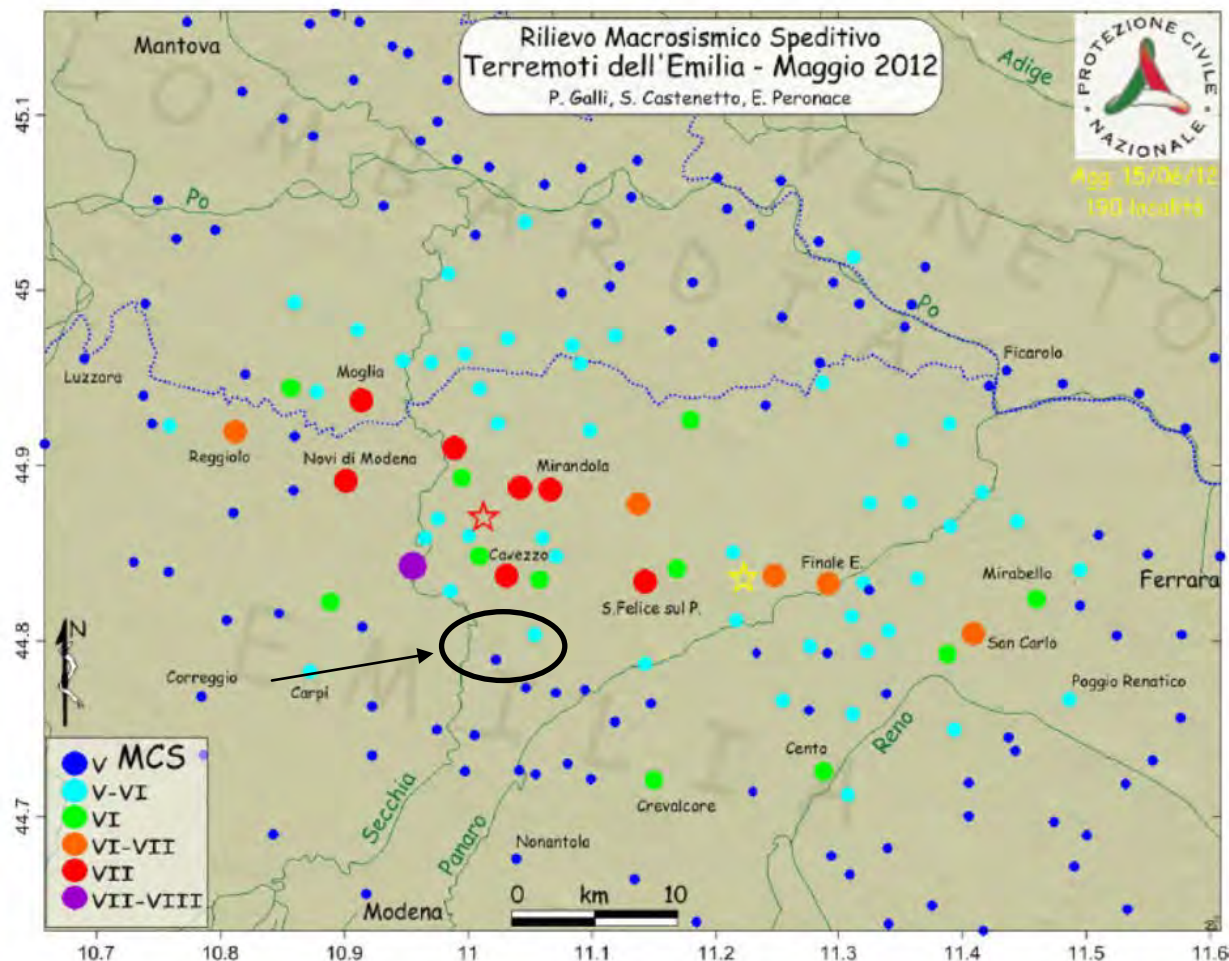


Fig. 18 – Distribuzione delle intensità macrosismiche cumulate per località.
Rilevamento DPC 20 Maggio-15 Giugno 2012. Stella gialla e rossa, epicentri macrosismici del terremoto del 20 Maggio e del cumulo degli effetti col terremoto del 29 Maggio, rispettivamente.

10. BIBLIOGRAFIA

- BOCCALETTI M. - MARTELLI L. - AA.VV. (2003) – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze;
- DGR 1227/2015. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1227 del 31/08/2015, “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all’OCDPC 171/2014”. Boll. Uff. Reg. Emilia- Romagna n.244 del 23/09/2015.
- DISS WORKING GROUP (2015): Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, INGV; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.
- LOCATI M., CAMASSI R. e STUCCHI M. (a cura di), 2011 . BDMI11, la versione 2011 del Database Microsismico Italiano. Milano,
- GRUPPO DI LAVORO MS,2008. “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”. Conferenza delle Regioni e delle province Autonome - Dipartimento della protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- DGR 2193/2015. Deliberazione della Giunta della Regione Emilia-Romagna n.2193 del 21/12/2015: approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in emilia-romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.”. Boll. Uff. Reg. Emilia- Romagna n.4 del 08/01/2016.
- DGR 630/2019. Deliberazione della Giunta della Regione Emilia-Romagna n.630 del 29/04/2019: approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in emilia-romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112.”. Boll. Uff. Reg. Emilia- Romagna n.143 del 06/05/2019.
- GALLI P., CASTENETTO S e PERONACE E. (2012): Rilievo macrosismico MCS speditivo Rapporto Finale - Rapporto interno Dipartimento della Protezione Civile 15 giugno 2012
- MARTELLI L., ROMANI M. (2013): Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012. Relazione illustrativa. Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. <http://ambiente.regione.emiliaromagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia>.

- MARTELLI L., BONINI M., CALABRESE L., CORTI G., ERCOLESSI G., MOLINARI F. C., PICCARDI L., PONDRELLI S., SANI F. AND SEVERI P. (2017A): Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Con Note illustrative. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. D.R.E.AM. Italia.

- MELETTI C. e VALENSISE G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9-App. 2 al rapporto Conclusivo. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

- OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.

- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. (EDS) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

- TERTULLIANI A., ARCORACI L., BERARDI M., BERNARDINI F., BRIZUELA B., CASTELLANO C., DEL MESE S., ERCOLANI E., GRAZIANIL., MARAMAI A., ROSSI A., SBARRA M., VECCHI M. (2012): The Emilia 2012 sequence: a macroseismic survey. In “2012 EMILIA EARTHQUAKES”, *Annals of Geophysics*, 55, 4, 2012; doi: 10.4401/ag-6140