PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

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 Polo d'Enza

Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia-Romagna	Mandataria: ENGEO S.r.l. Mandanti: Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS – Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Marzo 2021 MS2

INDICE

1. Introduzione 2
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento 5
   2.1 Sismicità del territorio 5
   2.2 Caratteristiche sismotettoniche 10
   2.3 Classificazione sismica comunale 16
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area 19
   3.1 Geologia 19
   3.2 Geomorfologia 28
4. Dati geotecnici e geofisici 31
   4.1 Prove sismiche di tipo MASW 32
   4.2 Prove sismiche di tipo HVSR 33
   4.3 Prove sismiche di tipo ReMi 34
   4.4 Tomografie elettriche 36
   4.5 Prove penetrometriche 37
5. Modello del sottosuolo con relative interpretazioni e incertezze 40
6. Metodologie di elaborazione e risultati 42
7. Elaborati cartografici 44
   7.1 Carte delle indagini 44
   7.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica 46
   7.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni 51
   7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica 54
   7.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S 57
   7.6 Carte di microzonazione sismica 61
   7.7 Carte dello scuotimento atteso 67
   7.8 Commenti finali e criticità 68
8. Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati 70
9. Bibliografia 71
10. Allegati 74

1. INTRODUZIONE

Nel presente documento vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello *Studio di microzonazione sismica del Comune di San Polo*, effettuato su incarico dell'Unione Val d'Enza (cfr. Contratto d'affidamento n° 0012218/2019 del 5 agosto 2019) e finanziato con contributi di cui all'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 21 giugno 2016 (cfr. delibera di giunta della Regione Emilia-Romagna n. 2188/2016).

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate e ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze sul comportamento dei terreni durante un evento sismico, e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

Tutte le attività svolte e, in particolare, l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.1.1, Roma, novembre 2018 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti "SRAI")
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la

pianificazione territoriale e urbanistica", così come modificati dalle deliberazioni di Giunta regionale n. 2193 del 21.12.2015 e n. 630 del 29.04.2019 (da qui in avanti "indirizzi regionali")

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati e dal disciplinare d'incarico, è articolato nei seguenti due livelli di approfondimento:

- PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO*,* finalizzato a:
  - individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
  - definire il tipo di effetti attesi;
  - indicare, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.
  - descrivere le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica.
- SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con le seguenti finalità:
  - verifica delle condizioni di pericolosità indicate dal 1° livello e conferma o eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
  - suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree con maggiore o minore pericolosità sismica, riferita a una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni;
  - conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal 1° livello, in cui si ritengono necessari approfondimenti di 3° livello con l'indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Nella prima fase di studio è stato preso in esame l'intero Comune. Quindi, una volta raccolti e valutati i dati pregressi, in accordo con Unione Val d'Enza e Amministrazione Comunale sono state definite le aree in cui effettuare la microzonazione e dove eseguire la nuova campagna d'indagini.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 10.

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (*pdf*, con risoluzione 300 *dpi*).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (*shapefile*).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS – SoftMS" nella versione 4.1.1.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Sismicità del territorio

Nella valutazione della pericolosità sismica di una determinata area occorre, in primo luogo, definire la pericolosità di base attraverso una corretta analisi della sismicità evidenziando, sia la distribuzione spazio-temporale degli eventi, sia le caratteristiche di intensità degli stessi, seguita da una valutazione della pericolosità locale determinata dagli aspetti geologico-morfologici del territorio.

La storia sismica di San Polo è stata dedotta dal database DBMI15 utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)[1] aggiornato al 2014, nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative al Capoluogo.

Essa è riassunta in forma grafica nella sottostante e in forma tabellare nella Tab. 1, dove sono stati elencati gli eventi di maggior intensità al sito (Int.), in scala MCS, indicando, per ciascuno di essi, oltre alla stessa intensità: l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Ho), il minuto (Mi) ed, eventualmente, il secondo (Se), in cui si è verificato, la denominazione dell'area epicentrale, il relativo numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

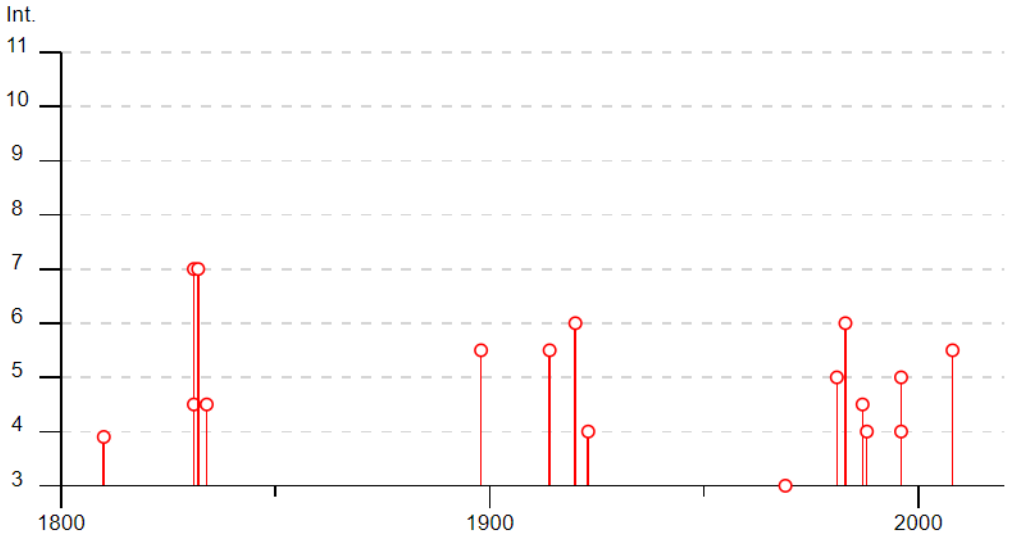


Fig. 1 – Eventi di maggiore intensità censiti nel comune di San Polo

[1] Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1810	12	25	00	45		Pianura emiliana	33	6	5.06
7	1831	09	11	18	15		Pianura emiliana	25	7-8	5.48
4-5	1831	09	13	05	30		Pianura emiliana	7		
7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
4-5	1834	07	04	00	45		Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5.08
5-6	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
NF	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
5-6	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
6	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4	1923	06	28	15	12		Modenese	22	6	5.04
3	1969	06	24	13	25	1	Parmense	15	5	4.21
5	1981	05	26	09	27	5	Reggiano	6	5	3.75
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4-5	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
2-3	1995	12	31	21	29	4	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
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
NF	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
2	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
2-3	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
NF	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03
5-6	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

Tab. 1 – Massimi eventi sismici verificatisi a San Polo

Come si nota sono stati rilevati 29 terremoti con intensità di sito pari o superiore a 3 (cf. Tab. 1).

Dalla lettura di suddetta tabella si evidenzia che i massimi eventi sismici censiti a San Polo si sono verificati il 11 settembre 1831 e il 13 marzo 1832 con un'intensità al sito del VII grado della scala MCS.

Fatto salvo quanto sopra, si propone di tenere in considerazione anche quanto indicato nel lavoro elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile, a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", determinate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA.

Secondo tale studio, basato in misura prevalente su valori realmente osservati, ma che contiene delle correzioni, per quelle località ove queste si siano rese necessarie, il territorio di San Polo è stato soggetto a terremoti di intensità massima minore o uguale al VIII grado della scala MCS.

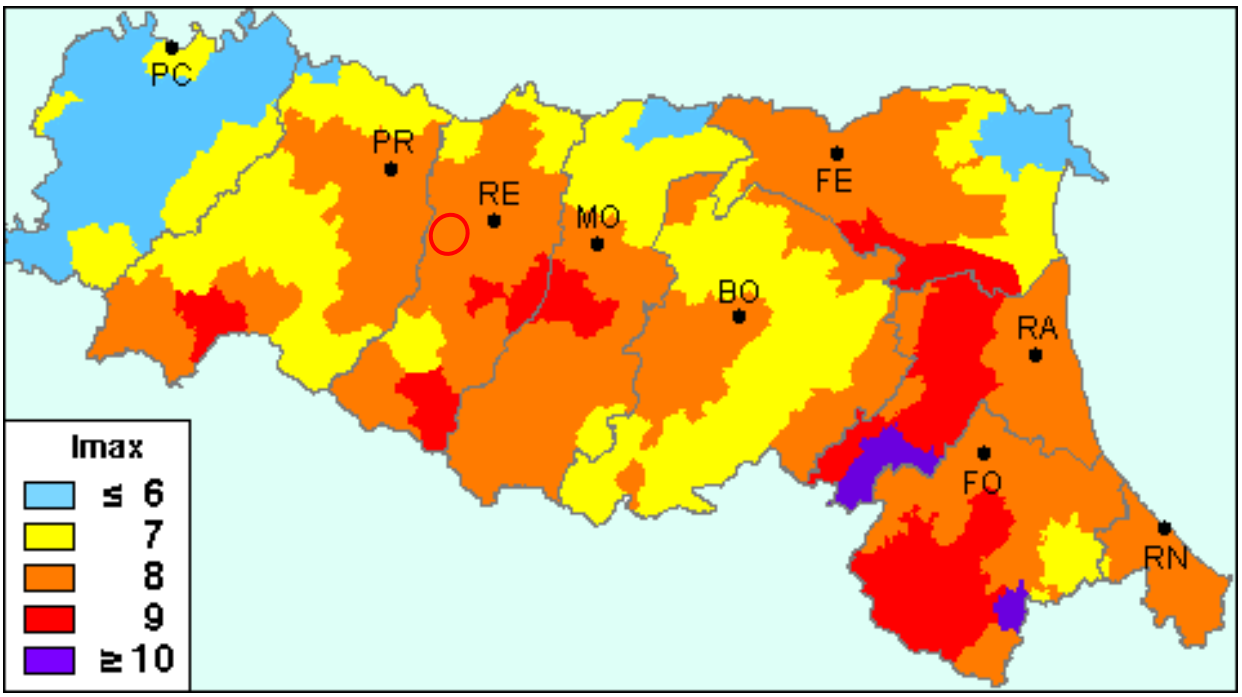


Fig. 2 – Carta della massima intensità macrosismica in Emilia-Romagna

Volendo inquadrare la tematica a scala regionale, si può affermare che l'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità rilevante, seppur relativamente meno forte di

altre aree del territorio nazionale, con terremoti di magnitudo massima di poco superiore a 6 e che hanno causato effetti fino al IX÷X grado di intensità della scala MCS.

Come si nota dalla Fig. 3, in cui sono rappresentati gli epicentri dei principali terremoti (Mw≥4) che hanno interessato il territorio regionale negli ultimi 1000 anni, gli eventi sismici, soprattutto quelli più forti (indicativamente magnitudo maggiore di 5.5), si concentrano lungo il crinale appenninico, lungo il margine appenninico-padano e in alcuni settori della pianura, in corrispondenza del settore orientale delle Pieghe Emiliane e lungo tutta la dorsale ferrarese; mentre, i terremoti con magnitudo uguale o maggiore di 6 sono pressoché presenti solo in catena.

La zona del territorio regionale più frequentemente colpita da forti terremoti (magnitudo maggiore di 5.5) è la Romagna, in particolare la pianura meridionale, il settore appenninico e la costa.

L'intero settore appenninico della Regione, inoltre, ha risentito di forti terremoti avvenuti in aree sismogenetiche extraregionali, alcune delle quali capaci di generare terremoti di magnitudo superiore a 6. In particolare, i terremoti che hanno provocato i maggiori effetti lungo il crinale appenninico sono, da NW a SE, quelli della Garfagnana, del Mugello, della Val Tiberina e delle Marche settentrionali.

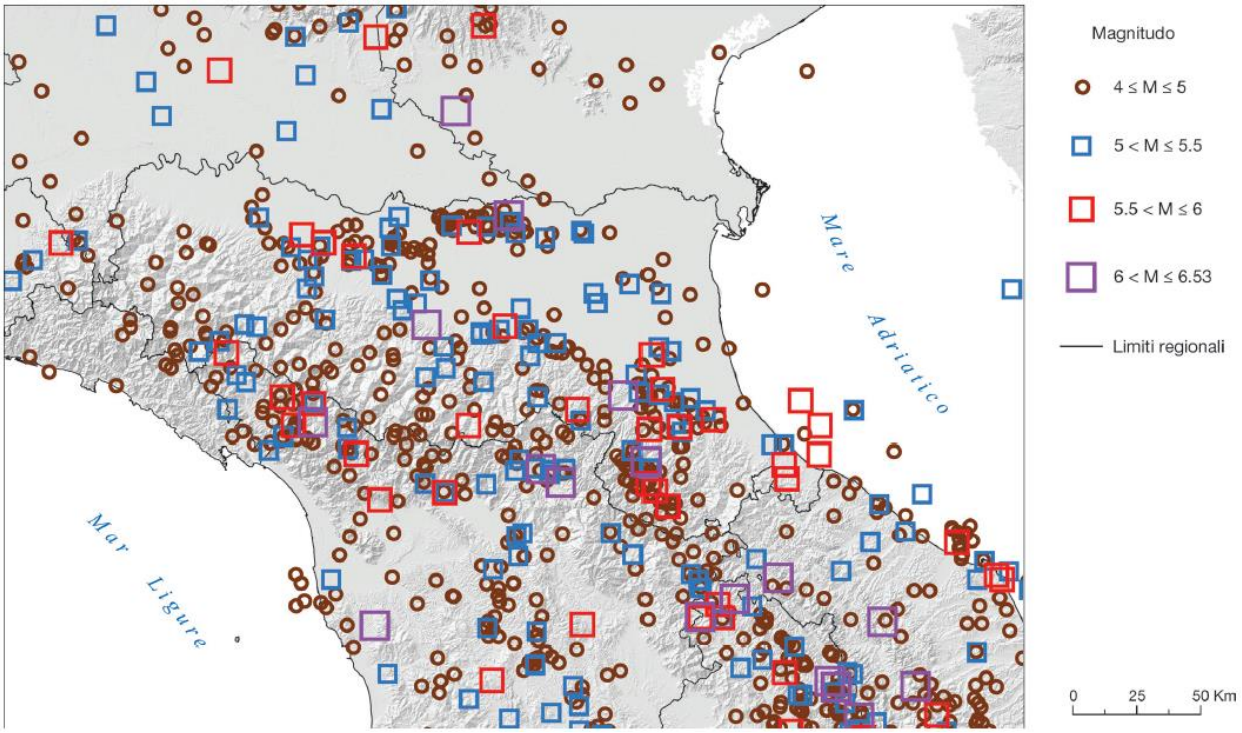


Fig. 3 – Epicentri dei principali terremoti (Mw≥4) che hanno interessato l'Emilia-Romagna dall'anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDe Working Group, 2015)

Altri settori della regione interessati da forti terremoti (magnitudo almeno uguale a 5.5) sono il margine appenninico-padano tra Bologna e Modena, la pianura tra Reggio Emilia e Parma e la zona di pianura in corrispondenza della dorsale sepolta delle Pieghe Ferraresi.

Le zone caratterizzate da minore sismicità, in termini di frequenza e magnitudo dei terremoti, sono il settore ad ovest della valle del Taro, la pianura emiliana occidentale e il delta del Po. Da notare, comunque, che anche nel settore occidentale della catena i terremoti più forti sono localizzati nella zona del margine e del basso Appennino.

Oltre ai principali eventi sopra indicati, occorre tenere presente che la zona settentrionale della pianura emiliana ha risentito anche di alcuni forti terremoti originati dai fronti sud-alpini.

I dati strumentali, relativi ai terremoti dal 1981 in avanti (cfr. Fig. 4), indicano che in Regione la sismicità è per lo più superficiale, con profondità ipocentrali generalmente comprese tra 5 e 15 km e che i terremoti più profondi si concentrano soprattutto nella zona del margine appenninico-padano e del basso e medio Appennino emiliano-romagnolo.

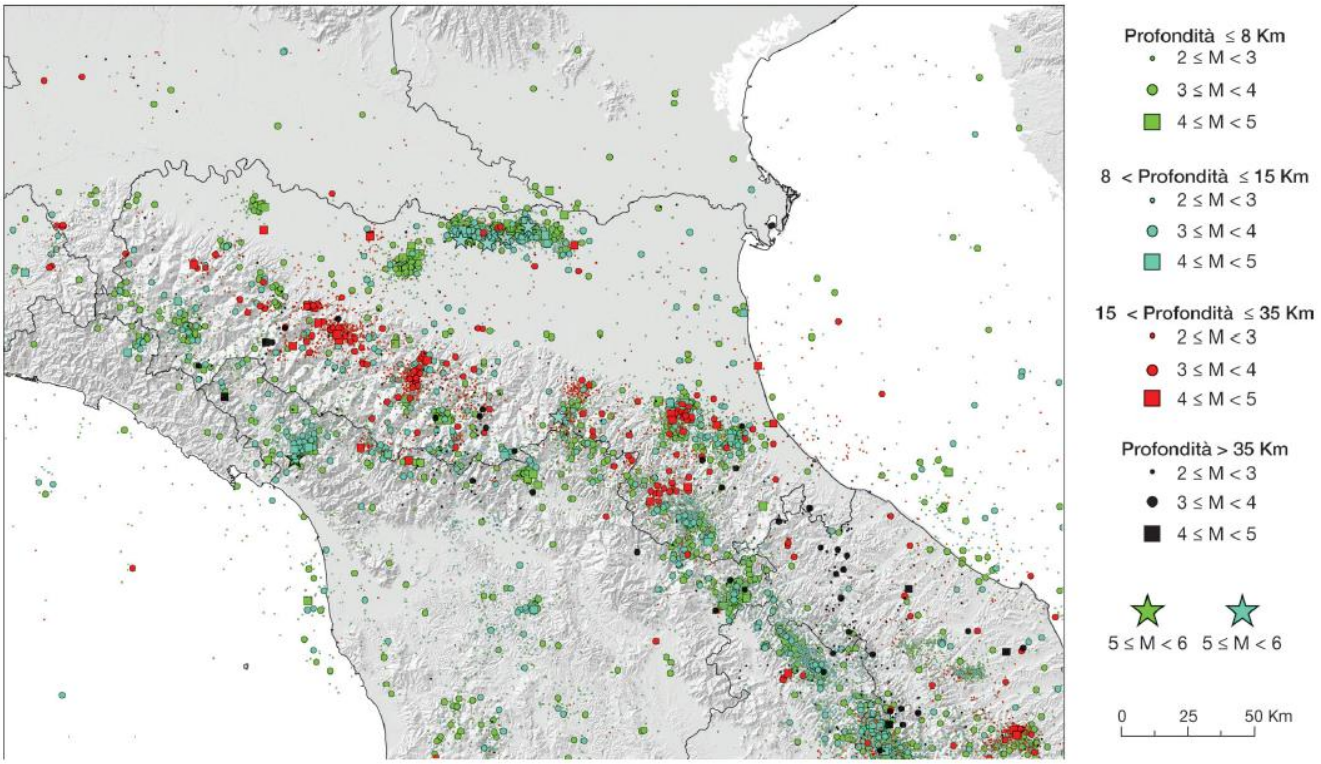


Fig. 4 – Mappa dei terremoti strumentali Mw≥2 (ISIDe Working Group, 2015)

2.2 Caratteristiche sismotettoniche

Per avere un quadro degli elementi che concorrono alla pericolosità sismica del territorio comunale di San Polo non si può non fare riferimento agli studi che la Regione Emilia-Romagna ha condotto, a partire dalla fine degli anni '90, principalmente, in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, e che hanno consentito di pubblicare la "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe".

Ai fini della realizzazione di tale cartografia, sono risultate fondamentali l'identificazione e la rappresentazione delle strutture tettoniche attive; dove, per strutture tettoniche attive, in questo caso, si intendono quelle che mostrano chiare evidenze di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o hanno deformato orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni, età attribuita al limite inferiore del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (*marker* stratigrafico più importante alla scala del territorio d'interesse.

Le strutture che presentano evidenze minori o meno certe di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o di deformazione degli orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni sono, invece, definite potenzialmente attive.

Inoltre, strutture attive e potenzialmente attive sono state suddivise in:

- affioranti, ovvero che hanno deformato la superficie topografica o, in pianura, hanno deformato la parte più superficiale del sottosuolo, vale a dire fino a profondità inferiori di 100 m dal piano campagna;
- sepolte, ovvero che mostrano evidenze di attività recenti o in atto (es. associazione con eventi sismici) ma a carico di orizzonti stratigrafici profondi almeno alcune centinaia di metri e non arrivano a deformare i livelli superficiali del sottosuolo (≥ 100 m da p.c.).

Va chiarito, comunque, che le faglie attive rappresentate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" non vanno confuse con le faglie attive e capaci considerate elemento di instabilità nelle analisi di pericolosità sismica locale e oggetto di microzonazione sismica, ai sensi delle ICMS[2], assenti nel territorio oggetto del presente studio.

[2] Negli ICMS è considerata attiva una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni (parte alta del Pleistocene superiore-Olocene), ed è considerata capace una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una frattura/dislocazione del terreno. Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia (piano su cui avviene la maggiore dislocazione).

In Fig. 5 è riportata una mappa delle principali strutture attive e potenzialmente attive che, nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe", sono rappresentate, per chiarezza d'illustrazione, in forma sintetica, tracciando le proiezioni in superficie delle intersezioni dei fronti principali delle strutture tettoniche con la base dei depositi pliocenici.

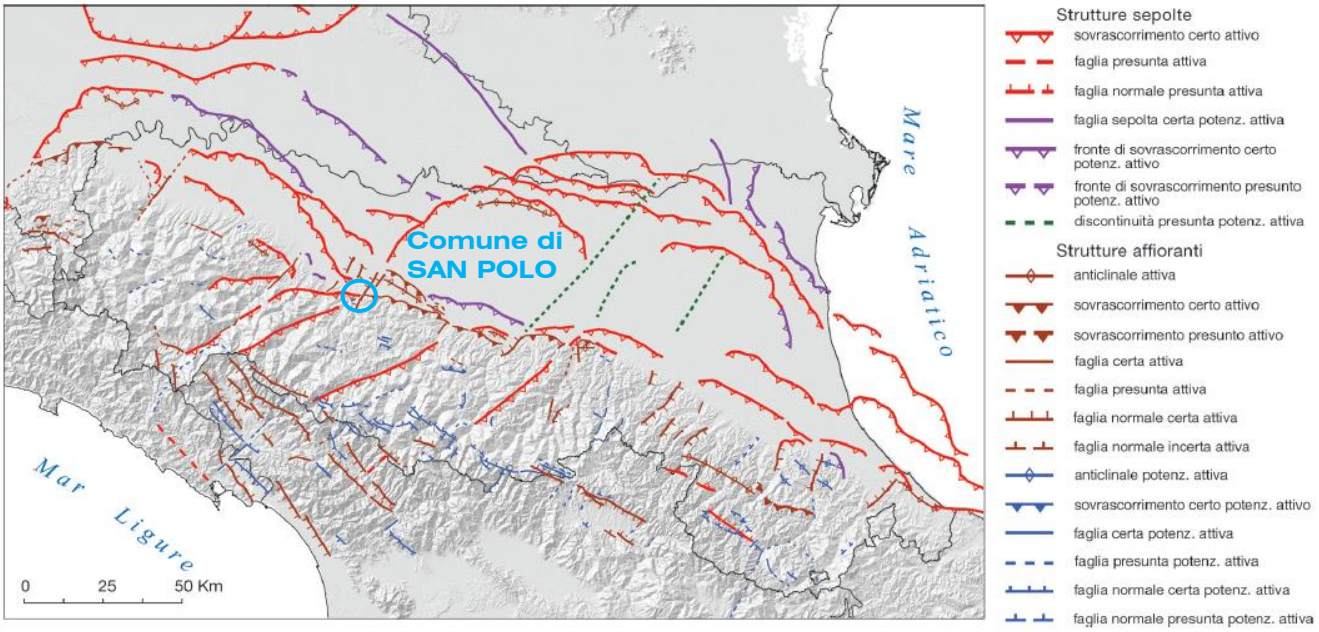


Fig. 5 – Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe"

Dall'analisi delle profondità dei terremoti per i quali sono state calcolate soluzioni focali, si evince che i meccanismi di tipo estensionale sono frequenti soprattutto nei primi 15÷20 km della zona assiale della catena e del versante ligure-toscano, mentre i meccanismi inversi sono più frequenti nel settore padano-adriatico; in catena i meccanismi di tipo compressivo sono localizzati per lo più a profondità maggiori di 20 km; i meccanismi di tipo trascorrente sembrano più frequenti nella parte occidentale della Regione dove sono stati localizzati anche a profondità elevate.

La rappresentazione di sezioni con ipocentri ricadenti all'intorno di 10 km ha, invece, evidenziato una concentrazione degli ipocentri dei terremoti strumentali che definiscono un'ampia fascia, la quale, dalla zona padano-adriatica, immerge verso sud-ovest, mentre nel versante tirrenico i terremoti sembrano meno concentrati. In alcuni casi queste fasce sembrano essere la prosecuzione in profondità delle strutture attive riconosciute nei primi

10÷15 km; tali fasce potrebbero quindi identificare zone di faglia profonde attive e sismogenetiche.

In Fig. 6 è mostrato il confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" e le zone del catalogo DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana[3].

A riguardo, è interessante osservare che il Comune di San Polo ricade nella sorgente sismogenetica composita ITCS046 – Langhirano Sassuolo, individuata nel catalogo DISS 3.2, ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo pari a 5.9, con meccanismi di *thrust* ad una profondità compresa tra 2 e 8 km; *thrust* indicati come attivi (cfr. anche Fig. 7).

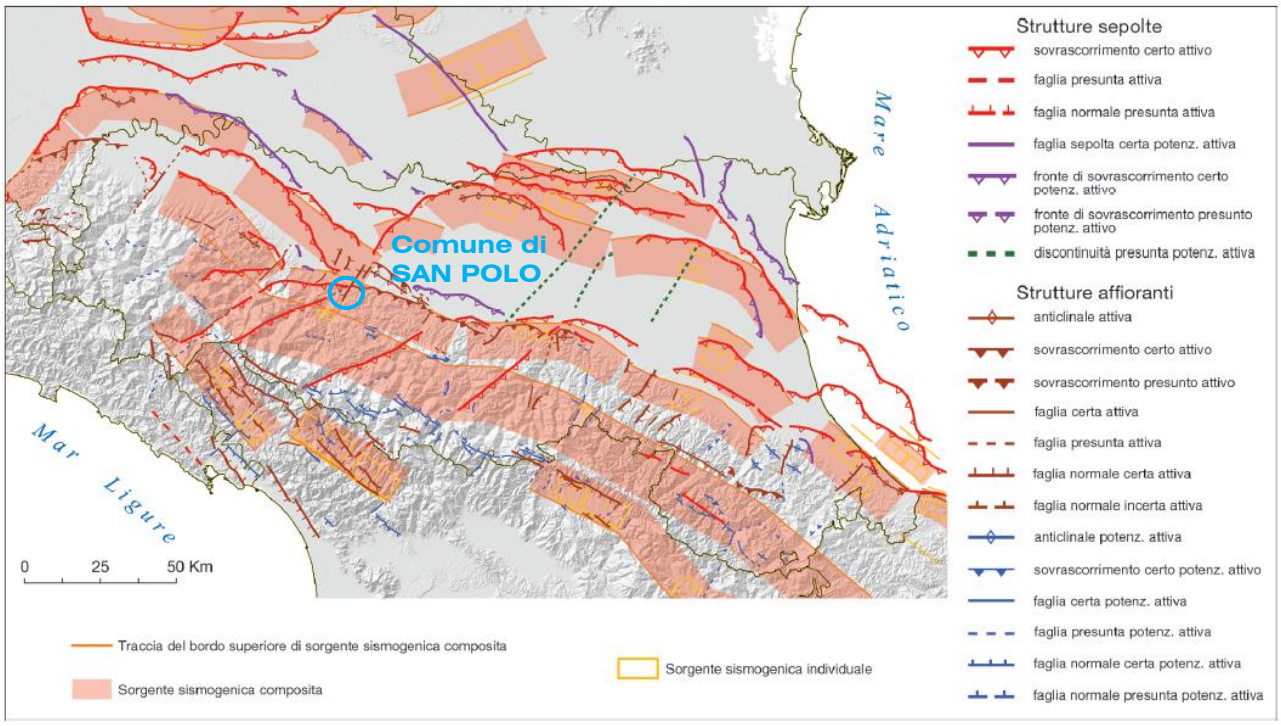


Fig. 6 – Mappa di confronto tra le strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" e le zone sismogenetiche del DISS 3.2

[3] Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014

Fig. 7 - Stralcio della "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe"

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe" è stata proposta, da parte di Martelli *et alii* (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell'Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l'aggiornamento della mappa di

pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l'attuale riferimento per il calcolo dell'azione sismica (NTC2008) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

Secondo questa nuova proposta, in Fig. 8 messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di San Polo ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo normale (*thrust fault*).

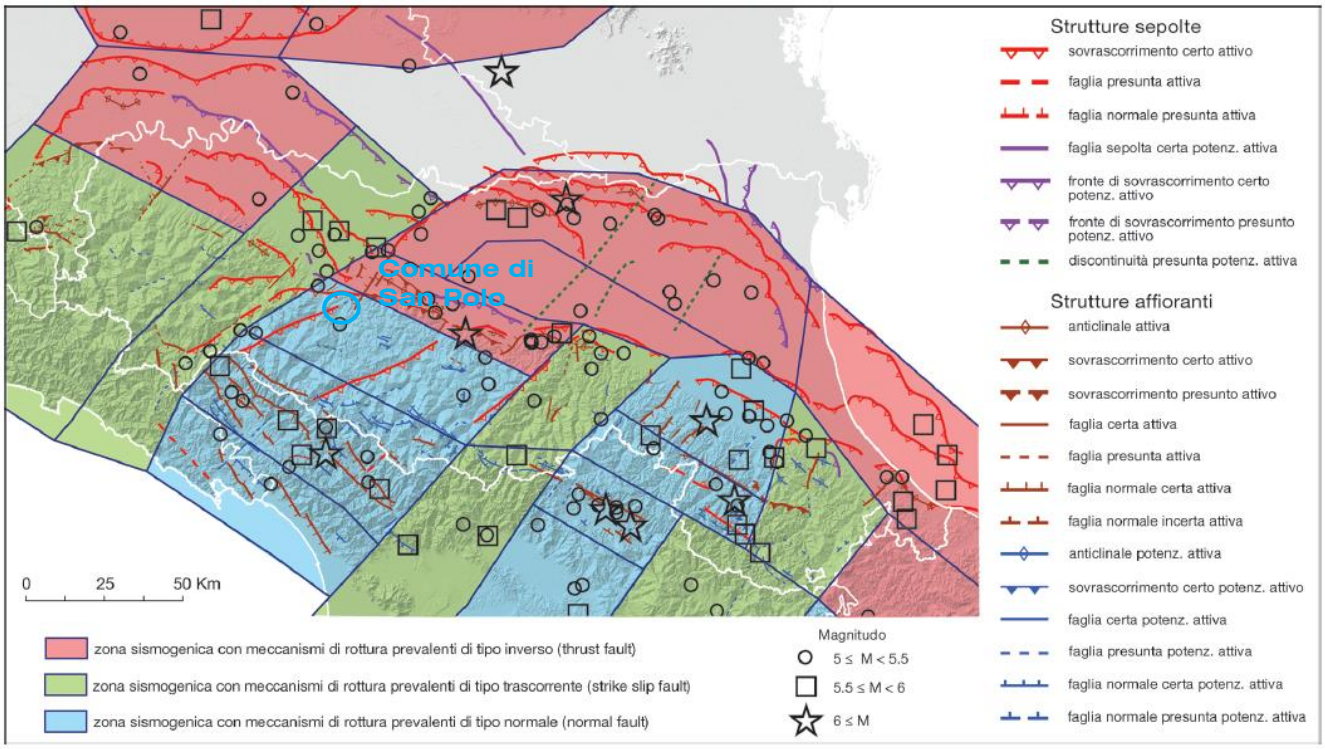


Fig. 8 – Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017)

Più precisamente (cfr. Fig. 9), rientra nella Zona 7 Appennino Emiliano, contraddistinta dalle seguenti caratteristiche sismotettoniche

- *Orientazione delle principali faglie attive: N65 (S/30)*
- *Geometria principale delle faglie attive: normale (inversa)*
- *Profondità ipocentrale: 5-10 (>15)*
- *Magnitudo massima osservata: 5.5*
- *Magnitudo massima calcolata: 5.611 +/- 0.23*

e che viene così descritta:

- *Zona caratterizzata* da terremoti di minore intensità, sia compressivi, generalmente a profondità compresa tra 10-35 km, con direzione di compressione (assi P) circa N-S,

che estensionali, per lo più a profondità minore di 10 km; la magnitudo storica massima è M≈5.5. Corrisponde al settore centro-meridionale della zona ZS9 913.

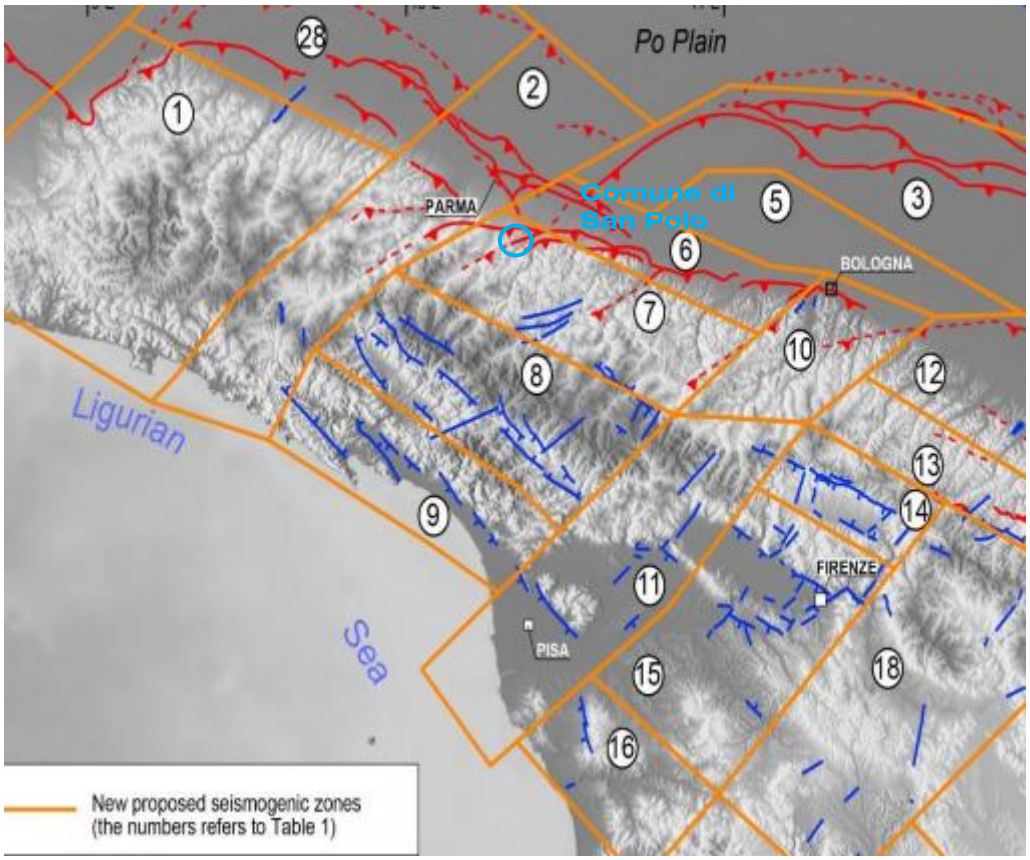


Fig. 9 – Zone sismogenetiche proposte da Martelli et al. (2017) e loro numerazione

Esaminando, infine, la zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004), di cui è riportato uno stralcio in Fig. 10, il Comune di San Polo ricade, nella porzione centrale della zona 913, denominata *"Appennino Emiliano-Romagnolo"*.

Detta zona è contraddistinta da eventi sismici di magnitudo medio-bassa (la massima magnitudo rilevata è Md = 4.80), con cinematismi attesi di carattere misto seppure principalmente compressivi a NW.

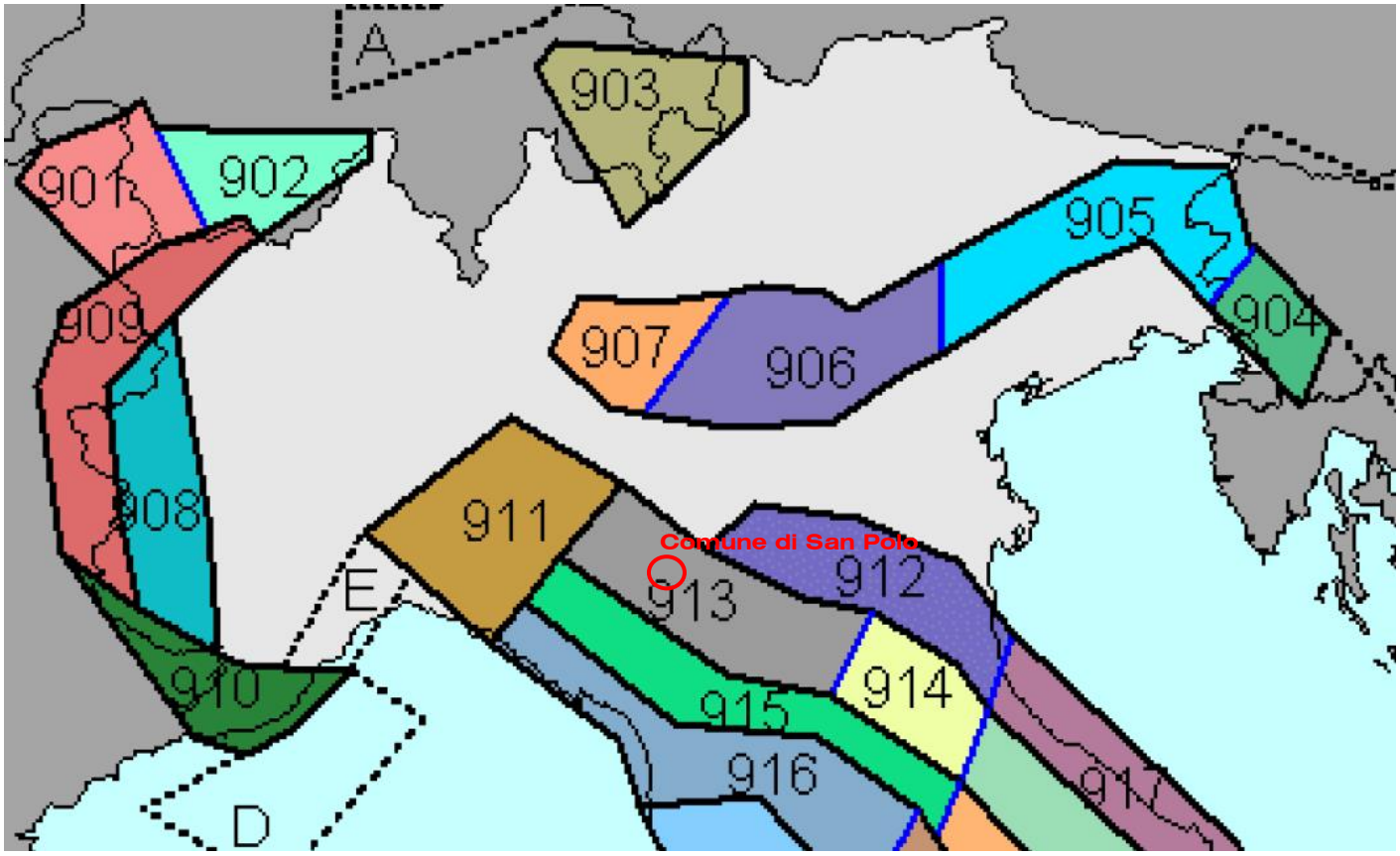


Fig. 10 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 (2004)

Il maggior numero di terremoti che si verificano nella zona 913 (Appennino Emiliano-Romagnolo) presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km, con profondità efficace di 13 km.

Sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori "cautelativi" di massima magnitudo (Mwmax2) pari a = 4,8.

2.3 Classificazione sismica comunale

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto.

La delibera della giunta regionale 23 luglio 2018 n. 1164 aggiorna la classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna, riclassificando il territorio. Secondo tale aggiornamento, come indicato in (Fig. 11), il comune di San Polo, è stato identificato in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di

picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra 0,05*g e 0,15*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

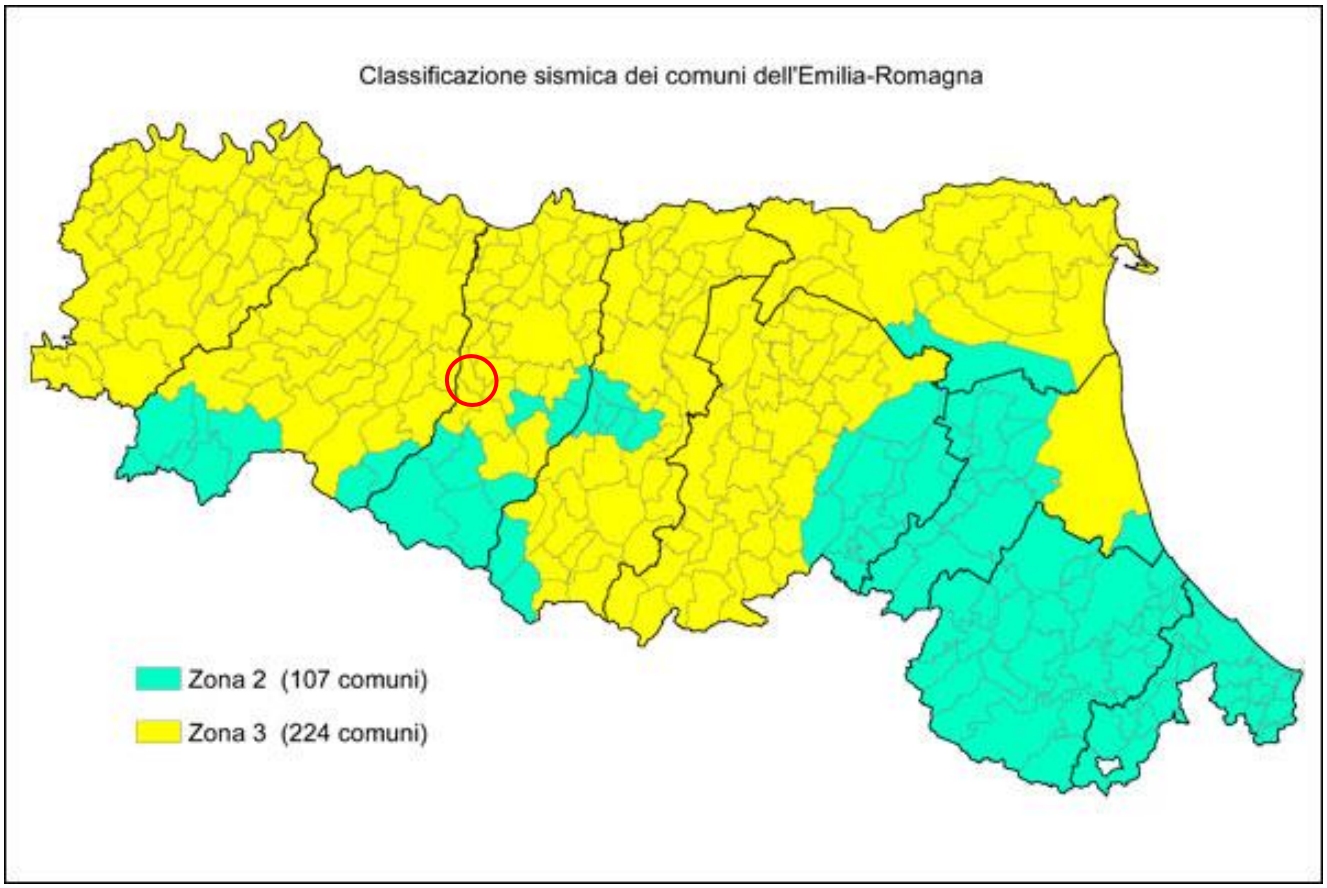


Fig. 11 – Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia-Romagna

Risulta opportuno evidenziare che, con l'entrata in vigore del decreto ministeriale 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni", la stima della pericolosità sismica, non è più associata alla zona sismica di appartenenza, ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica in uno specifico sito.

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

L'elaborazione dei parametri della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta da INGV (2004) e riportata nell'OPCM 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", identifica, per il territorio comunale di San Polo, valori di accelerazione (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra

0,150 e 0,175 g (ricavato dalle mappe interattive di pericolosità sismica dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia – INGV Fig. 12).

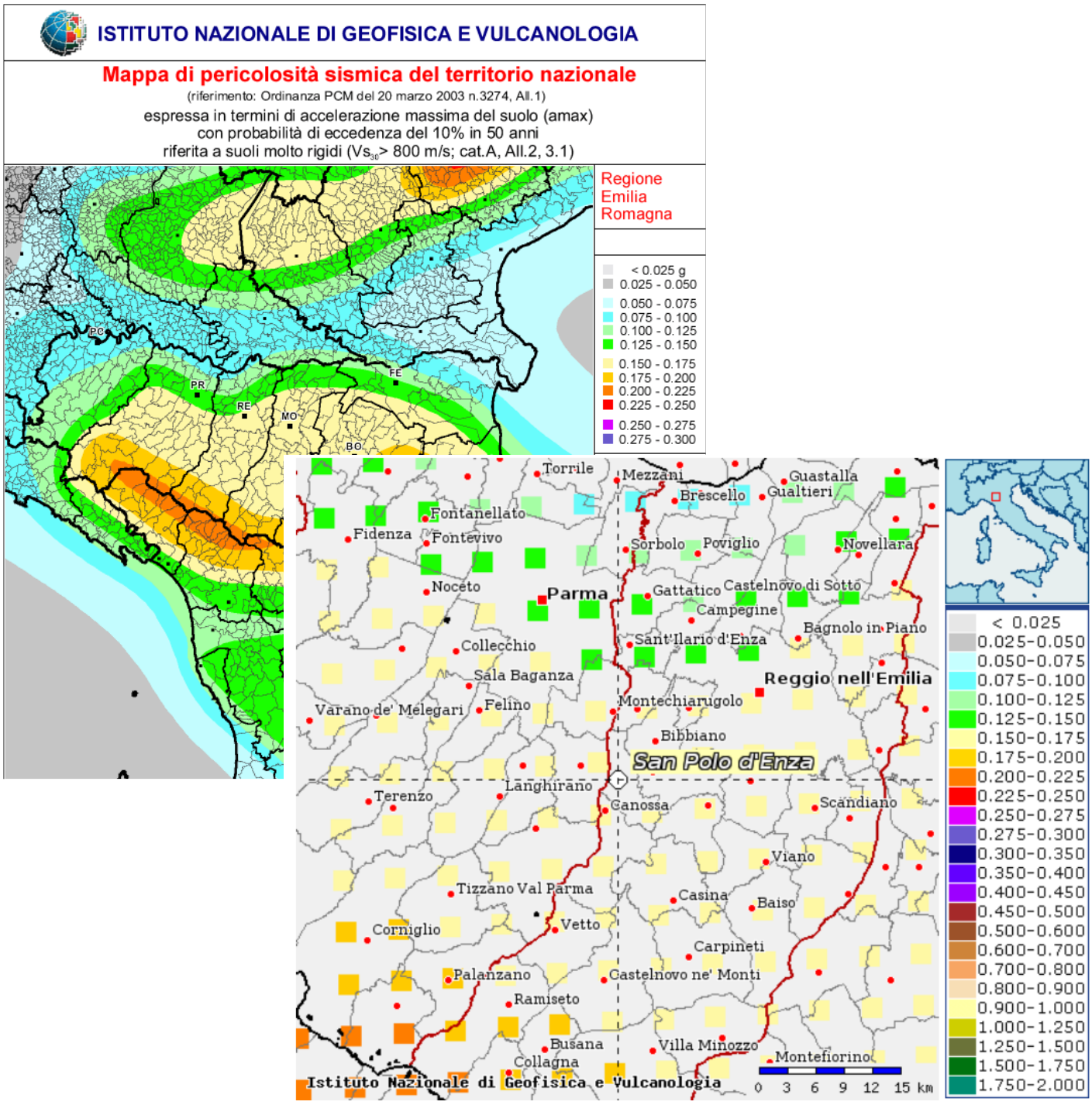


Fig. 12 – Stralcio della mappa di pericolosità sismica ripreso dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Geologia

Nel Comune di San Polo d'Enza si distinguono due settori con caratteristiche molto differenti: la zona collinare, posta a sud-est, principalmente destinata all'uso agricolo e in cui ricadono solo centri abitati di piccole dimensioni, e la zona di pianura, densamente urbanizzata, che si estende nella porzione settentrionale e sul confine occidentale, in adiacenza al torrente Enza.

Sulla fascia collinare risultano affioranti o sub-affioranti le unità liguri ed epiliguri che si affacciano sulla Pianura Padana e che si immergono sotto la successione terrigena quaternaria (cfr. Fig. 13).

Questa ha un forte carattere regressivo con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

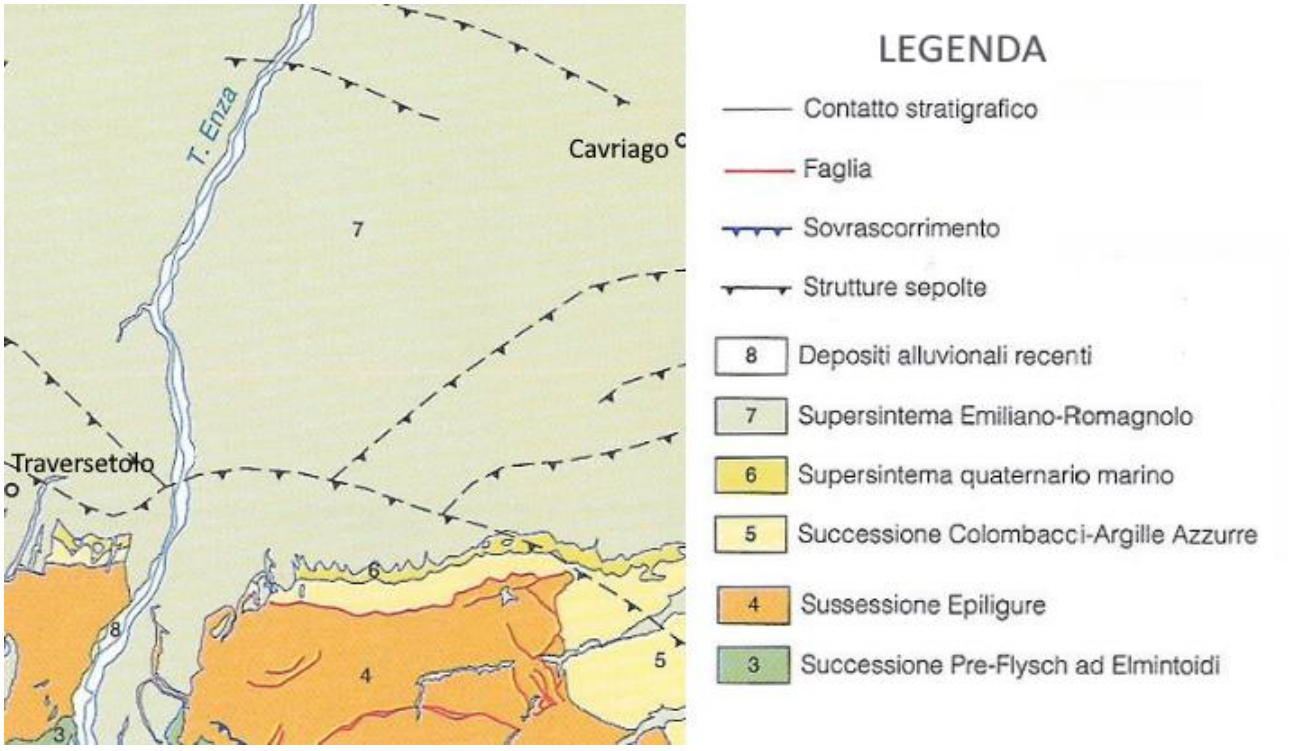


Fig. 13 – Schema strutturale del settore di territorio in cui ricade il Comune di San Polo d'Enza (da Foglio 200 "Reggio Emilia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000)

In conformità con quanto assunto dal Servizio Geologico e cartografico della Regione Emilia-Romagna, le unità stratigrafiche definite ed utilizzate nel presente studio rientrano nella classe delle Sequenze Deposizionali *sensu Mitchum et Al.* (1977).

Dal punto di vista gerarchico si distinguono due Sequenze Principali (Supersintemi secondo la terminologia delle U.B.S.U.) denominate come segue:

- Supersintema del Quaternario Marino, costituito da terreni paralici e marini depostisi tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore.
- Supersintema Emiliano-Romagnolo, costituito da depositi di ambiente continentale depostisi a partire da 800.000 anni BP, a sua volta suddiviso in 2 sintemi: l'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore (AEI) databile tra gli 800.000 e i 450.000 anni BP (Pleistocene medio) e quella Emiliano-Romagnola Superiore (AES), di età Pleistocene medio-Olocene.

L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal fiume Po; la seconda, trasversale, nordest-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

Sulla base delle direzioni di progradazione possono essere individuate le seguenti classi di sistemi deposizionali:

- pianura pedemontana ad alimentazione appenninica
- pianura alluvionale ad alimentazione appenninica
- pianura alluvionale di alimentazione assiale (paleo Po)

Tutta la porzione settentrionale e occidentale del Comune di san Polo ricade all'interno del sistema deposizionale di pianura pedemontana ad alimentazione appenninica.

Il sistema deposizionale della Pianura pedemontana è caratterizzato da depositi prevalentemente ghiaiosi nelle aree attigue e contigue dei corsi d'acqua principali e limi e/o argille prevalenti o, comunque, più abbondanti nelle aree perifluviali d'interconoide.

Il rapporto tra materiali grossolani e fini, elevato nella zona di alta pianura, decresce linearmente procedendo verso valle e verso le zone più interne delle aree perifluviali (zone d'interconoide), fino a valori medi, generalmente superiori all'unità.

I sedimenti sono organizzati in grandi sistemi di conoide alluvionale, dove le litologie grossolane (ghiaie e sabbie) costituiscono estesi corpi tabulari, interdigitati da cunei di materiali essenzialmente fini (limi e argille).

In altri termini la "Pianura pedemontana" è il frutto della coalescenza dei sistemi di conoide alluvionale e delle zone d'interconoide.

Nel complesso i depositi superficiali, nella ***fascia di pianura*** del territorio comunale di San Polo, corrispondono ai *Depositi alluvionali in evoluzione* dell'alveo del torrente Enza (ghiaie, talora embriciate, sabbie e subordinati limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale, detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa) o sono relativi al SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE della **Successione Neogenico-Quaternaria del Margine Appenninico Padano** e, in particolare, ai seguenti Subsintemi:

Subsintema di Ravenna (pleistocene superiore-olocene)

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 metri. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica, all'interno del Subsintema di Ravenna, viene distinta l'unità di Modena.

Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. L'unità di Modena è sedimentata nell'intervallo temporale costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di centimetri).

Subsintema di Villa Verucchio (pleistocene superiore)

Vengono distinte le2 unità:

Unità di Vignola

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi del reticolo idrografico secondario. Il profilo di alterazione presenta uno spessore fino ad 1.5-2.0 m. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 30 m.

Unità di Niviano

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e può raggiungere i 4÷5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Lo spessore massimo è di circa 15 metri.

Passando alla ***fascia collinare***, affiorano le seguenti unità:

Successione Neogenico-Quaternaria del Margine Appenninico Padano

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

Subsintema di Bazzano (Pleistocene medio?)

Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi di terrazzo intravallivo e in parte di conoide; il contatto inferiore è in discontinuità sulle unità più antiche. Al tetto suoli di colore variabile da rosso bruno a giallo bruno. Potenza inferiore ai 10 m.

SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE (Pleistocene inf. – Pleistocene medio)

Limi e limi argillosi prevalenti di colore grigio-azzurro, talora con screziature giallo-ocracee di ossidazione, con intercalazioni ghiaiose le quali, in corrispondenza dei paleo-apparati fluviali principali possono diventare predominanti. Sono frequenti i livelli ricchi in sostanza organica (prevalentemente frustoli carboniosi) e con presenza di gasteropodi continentali: depositi di piana alluvionale e localmente di conoide alluvionale distale. Lo spessore complessivo dell'unità varia da 0 a circa 160 m nella parte indagata di sottosuolo. Il contatto di base è netto e discordante, talora erosivo.

SINTEMA DI COSTAMEZZANA (Pleistocene inferiore)

E' costituito grossolanamente da 3 associazioni di facies, sovrapposte ciclicamente e giustapposte, che individuano, nel complesso, un prisma sedimentario costiero con tendenza regressiva e progradante verso nord, nord-ovest.

1. Sabbie e ghiaie argillose in strati spessi, frequentemente gradati e amalgamati, con intercalati livelli argillosi sottili, discontinui, biancastri, sterili, alternate a banconi argilloso-limosi con livelli ricchi in resti vegetali lignitizzati: depositi prossimali di delta-conoide.
2. Sabbie medio-fini in strati sottili e medi con laminazione piano-parallela oppure di tipo *hummocky*, intercalate a limi argillosi verdi, debolmente bioturbati, contenenti talora macrofaune oligotipiche: depositi lagunari.
3. Sabbie, sabbie ghiaiose e subordinatamente ghiaie ciottolose in strati massivi o con una gradazione diretta poco sviluppata e comunque sovente mascherata dalle frequenti amalgamazioni tra strati successivi che possono inglobare clasti pelitici di dimensioni anche metriche. Frequenti anche la stratificazione obliqua a grande scala e le laminazioni trattive. La matrice delle ghiaie è costituita sempre da sabbia medio grossolana: depositi di delta-conoide ad alta energia fluviale e marina.

Il contatto di base è erosivo o netto e discordante. Lo spessore complessivo varia da 0 a 400 m circa.

SINTEMA DEL TORRENTE STIRONE (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore)

Unità costituita da depositi paralici e marini che si compone di due *litofacies*, una pelitica e una sabbiosa (assente nelle porzioni di territorio raffigurate negli elaborati 2.a e 2.b) in parte eteropiche. Il limite basale è netto e discordante, marcato dalla presenza di un livello calcarenitico di spessore. plurimetrico ("crostone fossilifero" nei Profili al mille dei pozzi AGIP). Lo spessore di questa alloformazione varia da poche decine a circa 1200 m.

litofacies sabbiosa

Litofacies prevalentemente sabbiosa, localmente associata a ghiaie e peliti fossilifere. Le sabbie sono organizzate in corpi plurimetrici, di notevole estensione laterale, costituiti da strati sabbiosi, gradati e amalgamati e da strati sabbiosi con laminazione piano parallela e *hummocky*. Sono comuni i livelli ricchi di resti conchigliari. Talora si incontrano corpi ghiaioso-sabbiosi con tessitura ben selezionata, che mostrano strutture

di embriciazione e laminazione obliqua. Questi corpi sono intercalati da livelli pelitici o sabbioso pelitici di spessore decametrico: depositi paralici e di fronte deltizio. Lo spessore massimo è di diverse decine di metri.

ARGILLE AZZURRE (Pliocene inferiore-medio)

Peliti marnose, grigio-azzurre massive a frattura concoide, in genere a stratificazione poco evidente, con rari livelli sabbioso-siltosi per lo più concentrati nella porzione basale della formazione e rari livelli siltosi in quella superiore. Frequenti microfossili (foraminiferi planctonici) e macrofossili (lamellibranchi, gasteropodi, pteropodi, eccezionalmente resti di mammiferi sia marini che terrestri). Abbondanti anche resti di frammenti vegetali lignitizzati e livelli ad intensa bioturbazione. Depositi distali di piattaforma e di bacino. Contatto netto sulla Formazione a Colombacci. Spessore massimo 800 m.

litofacies pelitico-sabbiosa

Peliti siltoso-sabbiose grigio-verdastre in strati millimetrico-decimetrici con laminazione ondulata piano-parallela e incrociata a scala plurimetrica, localmente ricche in sostanza organica carboniosa. Presenti localmente livelli di concentrazione di macrofossili eterogenei nelle dimensioni e nei generi rappresentati. Si osservano lenti decimetriche di argille massive a diverse altezze stratigrafiche e corpi arenacei stratificati (fino a tre in succesione). L'ambiente è di piattaforma marina con locali condizioni euxiniche; si trovano livelli di silt e sabbie finissime strutturati da onde di tempesta (tempestiti). Contatto inferiore, ed in parte laterale, stratigrafico per eteropia ed anche per alternanza con Argille Azzurre.

FORMAZIONE A COLOMBACCI (Messiniano)

Unità di ambiente transizionale tra quello fluviale e quello lagunare prevalentemente arenitica, ad evoluzione trasgressiva, suddivisa in sottounità. Contatto discordante sulla successione epiligure e sulle unità liguri. Potenza massima 90 m circa

Successione Epiligure

FORMAZIONE DEL TERMINA (Tortoniano)

Marne e marne argillose grigie, debolmente siltose e laminate nella porzione superiore della formazione, a stratificazione piano-parallela poco evidente in strati medi o spessi. Nella porzione basale si intercalano localmente sottili letti arenitico-siltosi. Rari

livelli più scuri per arricchimento in materia organica. Depositi emipelagici di bacino profondo. Contatto paraconcordante sulla Formazione di Cigarello. Potenza parziale stimata 170 m.

FORMAZIONE DI PANTANO (Burdigaliano superiore–Langhiano inferiore)

Alternanze di areniti fini siltose, siltiti e marne siltose di colore grigio chiaro, ocraceo se alterate, in strati da medi a molto spessi, talora gradati. Rapporto A/P da circa 1 a >5. Stratificazione piano-parallela spesso obliterata dalla completa bioturbazione del sedimento, con strutture sedimentarie generalmente non preservate. Possono essere intercalati sporadici pacchi di strati, di spessore medio, di calcareniti da grossolane a fini a marcata componente bioclastica e abbondante contenuto fossile (Echinodermi, Bivalvi, Coralli aermatipici e Gasteropodi) ed alla base livelli di conglomerati minuti a ciottoli di metamorfiti alpine. Depositi di piattaforma ad alimentazione mista terrigeno-carbonatica, con evoluzione trasgressiva da ambienti costieri a piattaforma esterna. Contatto discordante su Formazione di Contignaco e Marne di Antognola. Potenza fino ad alcune centinaia di metri.

FORMAZIONE DI CONTIGNACO (Aquitaniano – Burdigaliano)

Marne selciose, più o meno siltose, di colore grigio, con patine manganesifere nerastre e ocracee, o arenarie risedimentate da fini a spesse grigie. Selce generalmente diffusa, localmente in noduli e liste. Possono essere presenti banchi tripolacei chiari spessi fino a 8-10 m, ricchissimi in silice sia di origine vulcanoclastica che biogenica. Sono intercalate nella formazione anche argille fogliettate grigio-verdastre in livelli da sottili a spessi. Il limite inferiore è sfumato per alternanza con le Marne di Antognola. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 200 m.

BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO-CANOSSA (Aquitaniano)

Brecce a matrice argillosa grigia, a stratificazione talora indistinta, costituita in gran parte da clasti millimetrici di marne e peliti, con clasti decimetrici o di dimensioni maggiori di prevalenti calcilutiti biancastre tipo "palombino", calcari marnosi, marne, siltiti e arenarie, inclusi da decametrici ad ettometrici di formazioni liguri o epiliguri, e sporadiche ofioliti. Limite inferiore netto sulle Marne di Antognola o interdigitato con le Marne di Antognola. Depositi di colata gravitativa (*mud* e *debris flow*). La potenza massima varia da qualche decina ad oltre 200 m.

itofacies con inclusi di argille varicolori

Litofacies con inclusi di argille varicolori, caratterizzata da inclusi metrici di argille varicolori di Cassio e della Val Samoggia, raramente di Marne di Monte Piano, della Formazione di Loiano, delle Marne di Antognola, che rappresenta localmente la base delle Brecce argillose della Val Tiepido-Canossa. Depositi di colata gravitativa (*mud* e *debris flow*).

litofacies argilloso-calcarea

MARNE DI ANTOGNOLA (Rupeliano terminale – Aquitaniano)

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere. Stratificazione difficilmente percepibile. Sono presenti livelli torbiditici sottili e medi di arenarie vulcanoclastiche, arcosiche e quarzoso-feldspatiche. Il limite inferiore è rapido o discordante sulla Formazione di Ranzano e sul substrato ligure. La potenza totale della formazione varia da pochi metri a oltre 500 m.

litofacies arenacea

Torbiditi arenaceo-pelitiche con areniti mediofini, in strati sottili e medi, e areniti grossolane in strati spessi.

FORMAZIONE DI RANZANO - membro di Varano de' Melegari (Rupeliano medio - sup.)

Torbiditi arenaceo-pelitiche con A/P<1, in strati da sottili a spessi, tabulari o lenticolari; litareniti risedimentate fini o finissime, grigio verdastre, particolarmente ricche di frammenti di rocce carbonatiche, passanti a pelite e pelite marnosa scura. Le peliti possono localmente costituire anche l'intero strato. Potenza massima di oltre 600 m.

litofacies arenaceo – conglomeratica

Areniti e conglomerati in strati molto spessi, a geometria lenticolare, che lateralmente passano a strati arenacei, con ciottoli anche ben arrotondati, centimetrici, di composizione analoga a quella delle areniti che caratterizzano il membro di Varano de' Melegari della formazione di Ranzano e con blocchi anche decimetrici di calcari e marne. Potenza fino a varie decine di metri.

MARNE DI MONTE PIANO (Luteziano superiore-Priaboniano)

Argille, argille marnose e marnoso-siltose, marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdi, con rari e sottilissimi strati di siltiti e feldspatoareniti risedimentate, marne e marne siltose grigie, grigio verdi, talora rosate, nella parte superiore della successione. Stratificazione generalmente poco evidente. Sedimentazione di tipo pelagico, in ambiente confinato e profondo, con rari apporti torbiditici. Il limite inferiore è discordante sulle unità liguri o netto su Brecce Argillose di Baiso, limite superiore netto con le Arenarie di Ranzano. La potenza affiorante è non superiore a 180 m.

Unità Liguri

ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (Turoniano? - Campaniano superiore)

Argille, argilliti ed argille siltose rosse, violacee, grigio scure e verdastre, con intercalazioni di strati sottili o medi di arenarie litiche fini grigio chiare o scure, manganesifere e localmente cloritiche, di calcilutiti silicizzate grigio-verdine e di calclititi chiare, calcareniti, conglomerati poligenici, in strati medi e spessi, i cui elementi provengono da crosta continentale e arenarie litiche e feldspatiche grossolane. Sedimentazione pelagica intervallata da correnti di torbidità s.l. e flussi concentrati di locale alimentazione insubrica. Potenza geometrica variabile da qualche decina a qualche centinaio di metri.

ARGILLE A PALOMBINI (Cretaceo inferiore - Turoniano?)

Argilliti grigio scure, più raramente verdi, rossastre, fissili, alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi, biancastre in superficie alterata; intercalazioni di siltiti ed arenarie torbiditiche fini; gli strati calcilutitici sono spesso "boudinati", a luoghi silicizzati, pervasivamente fratturati e caratterizzati da una fitta rete di vene di calcite, spalmature verdastre sulle superfici di strato e frattura concoide. All'interno della formazione sono talora presenti: basalti brecciati, brecce ofiolitiche, brecce poligeniche, basalti a *pillow*, serpentiniti, graniti. Sedimentazione pelagica argillosa, intervallata da risedimentazione di fanghi carbonatici. Potenza geometrica variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri.

Sui pendii sono inoltre presenti depositi di versante e depositi di frana (in evoluzione o quiescente), connessi a fenomeni gravitativi descritti nel successivo paragrafo 3.2.

Strutturalmente, il Comune di San Polo d'Enza ricade sul margine meridionale del Bacino Sedimentario Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini e colmata da un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale assetto trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti.

Come precedentemente indicato, nella porzione più meridionale della zona di studio si rinvengono le unità tettoniche più recenti che costituiscono l'edificio appenninico emiliano.

Inoltre, è interessante rilevare l'estensione notevole dei sedimenti neoautoctoni pliocenico-quaternari, in facies marine.

Nelle aree di pianura sono noti, grazie soprattutto ai profili sismici dell'AGIP, due archi di accavallamenti, in gran parte sepolti, sviluppati con orientamento NO-SE. Si tratta di gruppi di strutture anticlinaliche, associate a piani di scollamento ed accavallamento (*thrust*) immergenti generalmente verso SO con inclinazioni comprese tra 20 e 30, separati da ampie zone sinclinaliche fortemente subsidenti.

Il primo arco è impostato in corrispondenza dell'attuale margine morfologico dell'Appennino, il secondo, più a settentrione, si estende dall'Appennino vogherese fino a Reggio Emilia sull'allineamento Cremona-Parma.

L'arco di accavallamenti più meridionale è conosciuto nella letteratura geologica con il nome di "Fronte di Sovrascorrimento Pedeappenninico" (*Pedeapenninic Thrust Front*, PTF), il secondo, più settentrionale, è conosciuto con il nome di "Fronte di Sovrascorrimento Esterno" (*External Thrust Front*, ETF) e costituisce l'arco di accavallamenti sepolti attualmente attivi nel Bacino Padano, come dimostrano i recenti terremoti

3.2 Geomorfologia

Sotto l'aspetto geomorfologico sono particolarmente evidenti le differenze tra il settore sud-orientale, collinare, e quello settentrionale e occidentale, di pianura.

Nel primo caso, le dorsali rilevate si alternano a valli o zone depresse, entrambe allungate secondo l'andamento delle strutture tettoniche.

Dominando le litologie poco coerenti l'incidenza dei movimenti gravitativi è notevole e determina un tipico paesaggio di frana.

Nel presente studio, per la definizione di tali fenomeni, si è fatto riferimento, principalmente, alla carta geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna che ne prevede l'identificazione e la classificazione sulla base dello stato di attività e della tipologia.

Più precisamente, sulla base dello stato di attività, si distinguono solo due classi:

- **frana attiva**: movimento gravitativo ritenuto attivo o riattivato (in un settore di corpo di frana quiescente) all'atto dell'indagine fotointerpretativa, ovvero rilevato o confermato da controllo sul terreno; l'attività può trovare conferma anche in dati documentali recenti (pubblicazioni, carte geologiche, relazioni tecniche, ecc.);
- **frana quiescente**: riguarda tutti i tipi di dissesto in cui è possibile desumere, da indizi di natura geomorfologica e considerazioni di evoluzione morfoclimatica del territorio appenninico, la temporanea inattività del corpo di frana e della scarpata principale ad essa connessa.

Infatti, in Comune di Langhirano, non sono mai stati individuati corpi di frana ritenuti inattivi, intesi come fenomeni le cui cause e processi che li hanno generati non sono più presenti o sono stati rimossi.

Quanto alla tipologia, tenendo conto delle classi stabilite dagli ICMS, nel territorio in esame, si sono distinte le seguenti frane:

- Scorrimento: classe in cui sono accorpati gli scivolamenti rotazionali e quelli traslazionali o planari
- Colata: che può essere di terra o di fango
- Complessa: data dalla combinazione di 2 o più movimenti di tipo semplice

Sempre sul settore collinare sono presenti anche dei depositi di versante, ovvero, dei depositi costituiti da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici la cui genesi può essere dubitativamente gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso; frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato.

Il settore più a nord e a est è, invece, ubicato, della pianura pedemontana reggiana (alta pianura) che comprende quella fascia di territorio che borda il margine appenninico estendendosi fino alla Via Emilia e poco oltre.

Questo ambiente è formato dalla coalescenza delle conoidi fluviali e dei terrazzi alluvionali intravallivi raccordandosi alla bassa pianura con un passaggio graduale ed eteropico.

Le caratteristiche stratigrafico-sedimentologiche sono tipiche dei corsi d'acqua con canali intrecciati a bassa sinuosità e ad alta energia, dove la sedimentazione all'interno dell'alveo è prevalentemente grossolana (ghiaie), mentre nelle aree perifluviali essenzialmente fine (argille, limi).

Il paesaggio della pianura pedemontana è contraddistinto da corsi d'acqua ad andamento rettilineo che scorrono nelle aree topograficamente inferiori e da zone perifluviali pianeggianti e terrazzate.

Allontanandosi dai corsi d'acqua verso le porzioni più interne delle zone perifluviali si possono infatti individuare vari ordini di terrazzi, impostati a quote progressivamente superiori e caratterizzati da superfici pianeggiati, degradanti verso N-NE, interrotte lateralmente da scarpate di alcuni metri (orli di terrazzi fluviali).

In questo settore, gli eventi morfogenetici, responsabili dell'attuale assetto del territorio, sono riconducibili essenzialmente all'attività tettonica e alla dinamica fluviale manifestatasi nel periodo pleistocenico ed olocenico. Nel periodo storico si è sovrapposta anche l'attività antropica mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative.

Le interazioni tra i vari fattori dinamici hanno condizionato un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso nord/nord-est con basso gradiente topografico.

L'alveo del torrente Enza è rimasta l'unica zona che mantiene ancora, nonostante i massicci interventi di regimazione (arginature, pennelli, traverse, ecc.), un alto grado di naturalità con frequenti emergenze morfologiche.

Al contrario le aree perifluviali esprimono il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione e insediamento hanno conferito al rilievo un assetto costante ed uniforme, livellando molte asperità del terreno.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La prima fase del presente studio è stata contraddistinta dall'acquisizione dei dati pregressi.

Allo scopo è stata effettuata, presso l'Ufficio Tecnico Comunale, una scrupolosa ricerca d'archivio, consultando tutti gli studi geologici allegati alle pratiche edilizie istruite tra il 2010 e il 2019.

Complessivamente sono stati raccolti i risultati delle seguenti indagini geognostiche:

- 6 sondaggi a carotaggio continuo
- 7 pozzi per acqua
- 53 prove penetrometriche (tra CPT e DPSH)
- 4 trincee o pozzetti esplorativi

e delle seguenti indagini geofisiche:

- 13 MASW
- 11 REMI
- 1 prove sismiche a rifrazione
- 2 ERT
- 16 prove tromografiche

Tutte le indagini sono state digitalizzate e georeferenziate, al fine di consentirne la gestione in ambiente GIS.

In particolare, sia i dati di base che quelli elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto degli SRAI.

A integrazione dei dati esistenti è stata, quindi, progettata ed eseguita una specifica campagna geognostica e sismica.

Più precisamente, come offerto in fase di gara, sono state effettuate

- 30 MASW
- 30 indagini di sismica passiva mediante tecnica HVSR a stazione singola
- 30 indagini sismiche REMI (*RefrationMIcrotremors*)
- 7 ERT
- 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti

Tutte le indagini sopraccitate, unitamente alle informazioni presenti in letteratura e ai sopralluoghi in sito, hanno permesso di ricostruire il modello geologico e sismo-stratigrafico delle aree interessate dal presente studio.

Nei successivi paragrafi vengono descritte le prove di nuova esecuzione, per i cui report si rimanda all'Elaborato 7 – Nuove indagini.

4.1 Prove sismiche di tipo MASW

In 30 punti la cui individuazione è stata condivisa col Comune, sono state svolte indagini sismiche di tipo MASW per misurare la velocità delle onde S nel terreno.

La tecnica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della propagazione delle onde di superficie (*Rayleigh*), permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S del sottosuolo, portano quindi a determinare anche il parametro V_{s30} (velocità media delle onde S nei primi 30 m).

In un mezzo stratificato le onde di superficie danno vita al fenomeno della dispersione, cioè lunghezze d'onda diverse si propagano con diverse velocità di fase e gruppo: le componenti ad alta frequenza (con piccola lunghezza d'onda) "sentono" solamente gli strati più profondi consentendo quindi di determinarne le caratteristiche.

Il metodo si sviluppa attraverso la determinazione delle proprietà dispersive del mezzo individuabili dall'analisi dello spettro di velocità dei dati. Il range di frequenza si sviluppa comunemente tra i 5Hz e i 70 Hz, fornendo informazioni sino alla profondità di circa 30 m a seconda della rigidezza del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

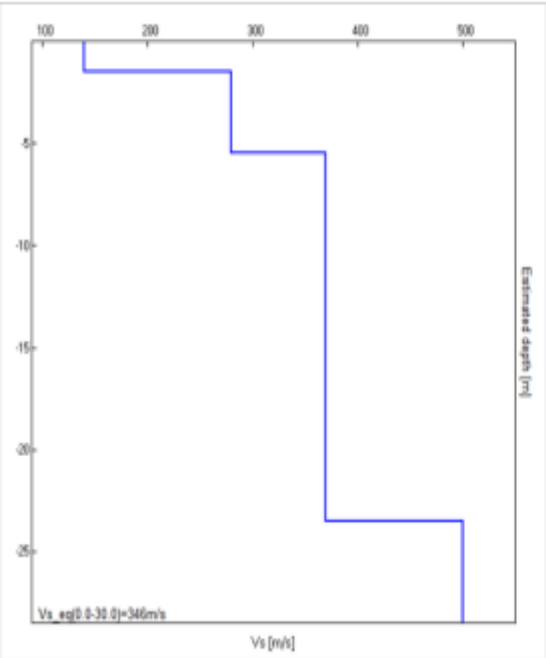
Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12/24 o più geofoni allineati con distanza intergeofonica variabile tipicamente fra 1 e 5 m (la lunghezza dello stendimento incide sulla focalizzazione del segnale nello spettro di velocità) che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione effettuata tipicamente ad una distanza compresa fra 2 e 20 m dal primo geofono.

Nel dettaglio, l'indagine è stata realizzata con un sismografo a massimo 16 canali, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5Hz posizionati a un'interdistanza compresa tra 2 e 5 m l'uno dall'altro; come sorgente è stata utilizzata una mazza da 5 kg battente su piastra, a varie distanze dai geofoni e in entrambi gli estremi del profilo.

L'acquisizione delle onde di *Rayleigh* può essere fatta mediante geofoni verticali (come nel presente studio), oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo

(radiale) allo stendimento (in entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale – piastra – martello).

In Fig. 14 viene riportato (a titolo esemplificativo) uno dei grafici, in funzione della profondità, delle velocità delle onde S degli strati individuati.



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in m/s]
0,0 - 1,5	140
1,5 - 7,0	280
7,0 - ≈24	370
> ≈24	500

Fig. 14 – Profilo delle velocità delle onde S da prova MASW

4.2 Prove sismiche di tipo HVSR

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata anche tramite la tecnica di sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) eseguita nei siti individuati.

Le misure HVSR sono state condotte utilizzando un tromometro digitale della ditta Moho S.r.l. modello "Tromino – *engy-plus*", in grado di registrare, attraverso dei velocimetri, i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-256 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (16 minuti).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni).

A riguardo, nell'elaborato *7 – Nuove indagini* per ciascuna prova è riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Fig. 15).

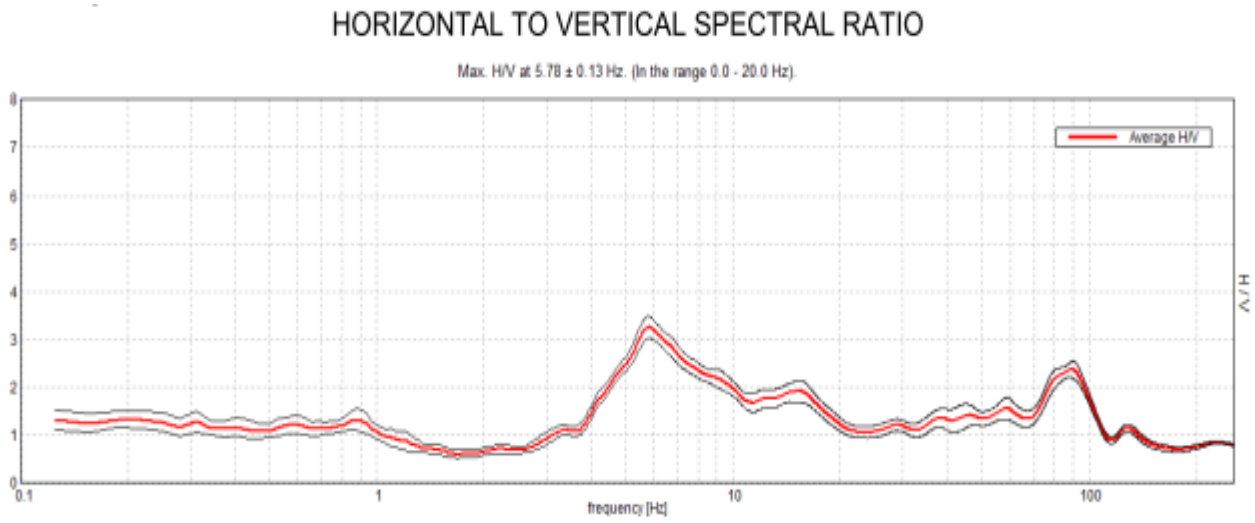


Fig. 15 – Esempio di curva H/V naturale

4.3 Prove sismiche di tipo ReMi

La procedura ReMi è un metodo di prospezione sismica classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale che, oltre ad avere come caratteristiche semplicità ed immediatezza di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine permettendo di ottenere risultati buoni in ambienti urbanizzati.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, rappresenta la fonte di segnale utile che si vuole registrare.

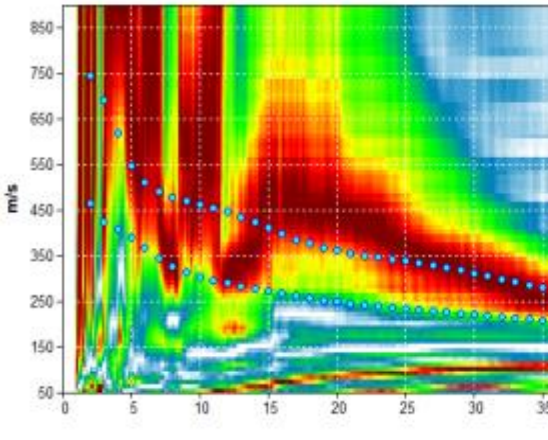
I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo, la registrazione viene analizzata in finestre temporali che variano da 10 a 30 secondi. Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica, che agisce sul segnale come una specie di filtro di frequenza (maggiore è la spaziatura, minore è la profondità di indagine).

La fase più delicata è quella del *data processing*, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obbiettivo di stimare la velocità delle onde di *Rayleigh*, correlabile con le velocità Vs; le varie tecniche trasformano l'informazione registrata nel dominio spazio-tempo, in un dominio in cui l'energia è funzione della frequenza e di altre variabili, allo scopo di localizzare, attraverso lo spettro, la densità di maggiore energia alle quali sono

associate le onde. Tale passaggio è possibile anche con procedura manuale, la scelta dei valori prende il nome di *picking*.

Nel dettaglio, per gli stendimenti nel Comune di San Polo, il *sampling* rate utilizzato è stato 512 Hz e la durate del segnale registrato per ogni misura è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è Grilla v.7.4 – 2018.

I report completi sono riportati nell'*Elaborato 7– Nuove indagini*, mentre nella sottostante Fig. 16 si riporta uno spettro esemplificativo ottenuto da indagine Re.Mi. e il relativo profilo sismostratigrafico.



Profondità in [m] dal p.c. locale	Vs in m/s]
0,0 - 1,5	140
1,5 - 6,5	260
6,5 - ≈23	340
≈23 - ≈133	480
> ≈133	800

Fig. 16 - Profilo delle velocità delle onde S da prova REMI

4.4 Tomografie elettriche

L'analisi delle caratteristiche geoelettriche dei primi 8/10 m del sottosuolo, è stata effettuata mediante prospezioni con metodo geoelettrico multielettrodo in tomografia elettrica (ERT).

Tale metodologia consente di identificare la tipologia dei materiali indagati in funzione della differenza di resistenza da essi opposta al passaggio delle linee di flusso elettriche.

In particolare, l'indagine è stata effettuata utilizzando il georesistivimetro della *Moho Srl* modello ELECTRA in configurazione *Wenner* con un *array* geometrico come riportato in Tab. 2.

Nome Linea	N° elettrodi	Interdistanza degli elettrodi [m]	Lunghezza [m]
ERT 1	24	3,0	69
ERT 2	24	2,0	46
ERT 3	24	3,0	69
ERT 4	24	3,0	69
ERT 5	24	3,0	69
ERT 6	24	2,0	46
ERT 7	24	3,0	69

Tab. 2 – *Array* geometrico adottato

L'arrangiamento *Wenner* è tale per cui gli elettrodi di potenziale sono posti al centro degli elettrodi di corrente e la distanza tra i vari elettrodi è sempre la stessa e pari a x. Questo metodo, presenta il fattore geometrico più basso tra i dispositivi utilizzati, quindi permette di ottenere la massima intensità del segnale. La "*sensitivity*" con configurazione *Wenner* presenta un andamento quasi orizzontale al di sotto del centro del dispositivo permettendo maggiore sensibilità ai cambiamenti verticali di resistività rispetto a quelli orizzontali.

Attraverso l'applicazione del software Res2Dinv v 4.01 prodotto dalla Geotomo (Malesia) è stata inoltre applicata l'inversione di *Loke & Barker* per definire le geometrie dei corpi sepolti.

I dati ottenuti in fase di acquisizione hanno consentito la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione ha restituito la definizione della distribuzione di

resistività elettrica del mezzo investigato mediante visualizzazione grafica in 2D in cui i colori corrispondono a determinati valori di resistività reale (cfr. Fig. 17).

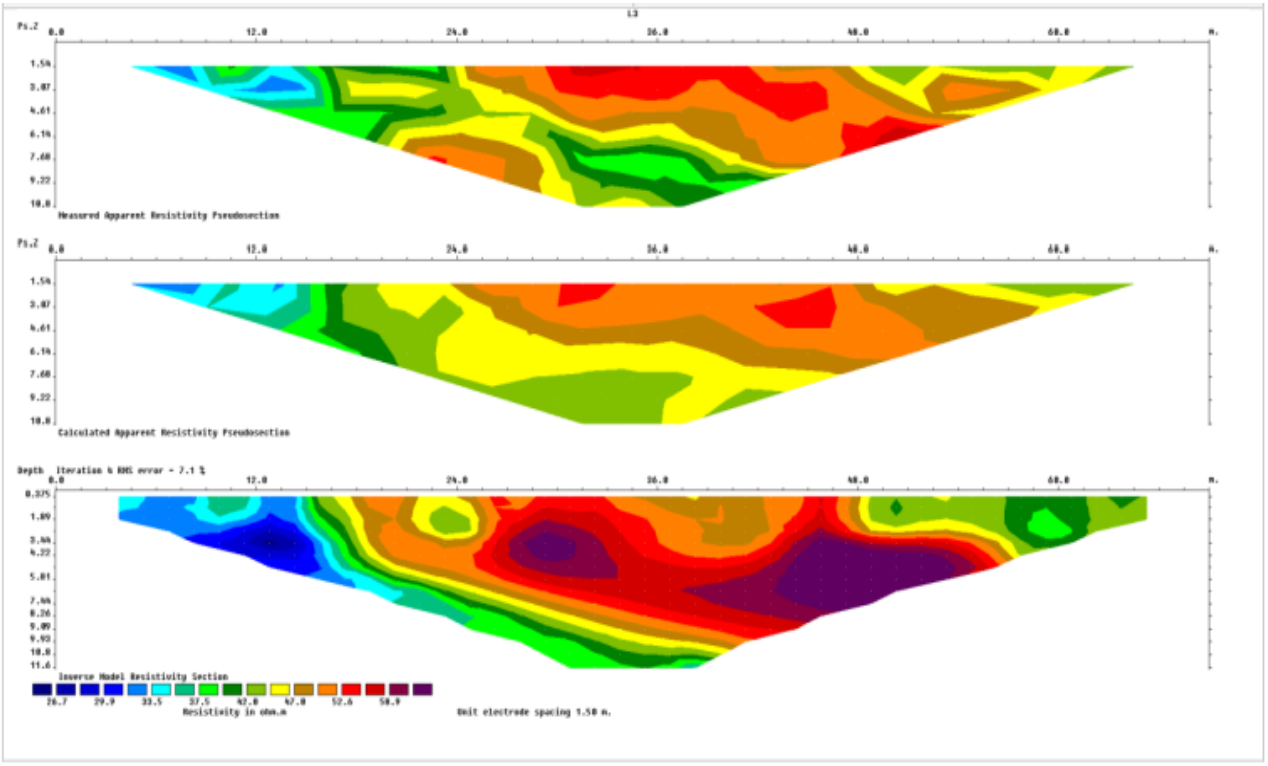


Fig. 17 – Profili di tomografia elettrica ottenuti

4.5 Prove penetrometriche

Durante la campagna di nuove indagini sono state realizzate n. 3 prove penetrometriche, al fine di valutare lo spessore delle coperture fini che sovrastano i depositi ghiaiosi.

Tutte le prove realizzate sono state approfondite con metodo dinamico.

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione nel terreno di una punta conica tramite battitura con un maglio di massa pari a 63.5 Kg e con altezza di caduta di 75 cm e la conseguente determinazione del numero di colpi necessari ad infiggere la punta conica (area della punta 20.43 cm^2) e le aste ad essa collegate, per una profondità di 20 cm.

Sulla base delle caratteristiche sopra elencate il penetrometro utilizzato è classificato come superpesante DPSH.

Questa tipologia di prova, sebbene meno significativa nei terreni coesivi superficiali, rispetto alla prova CPT, ha il vantaggio di consentire un certo avanzamento anche in orizzonti costituiti da ghiaie e ciottoli.

Le indagini sono state sempre spinte fino a "*rifiuto*" ossia fin che lo strumento non si è bloccato a causa dell'elevata resistenza dei terreni.

Un esempio di diagramma dell'avanzamento della punta in funzione della profondità è riportato nella seguente Fig. 18.

PROFONDITA'	COLPI	q_d*	PROFONDITA'	COLPI	q_d*
0.20	3	3.1			
0.40	4	4.1			
0.60	4	4.0			
0.80	3	2.9			
1.00	4	3.9			
1.20	3	2.8			
1.40	3	2.8			
1.60	3	2.8			
1.80	3	2.7			
2.00	5	4.5			
2.20	5	4.4			
2.40	4	3.5			
2.60	5	4.3			
2.80	6	5.0			
3.00	4	3.3			
3.20	4	3.3			
3.40	4	3.2			
3.60	6	4.8			
3.80	5	3.9			
4.00	6	4.6			
4.20	5	3.8			
4.40	5	3.8			
4.60	6	4.5			
4.80	5	3.7			
5.00	7	5.1			
5.20	6	4.3			
5.40	23	16.3			
5.57	50	35.0			

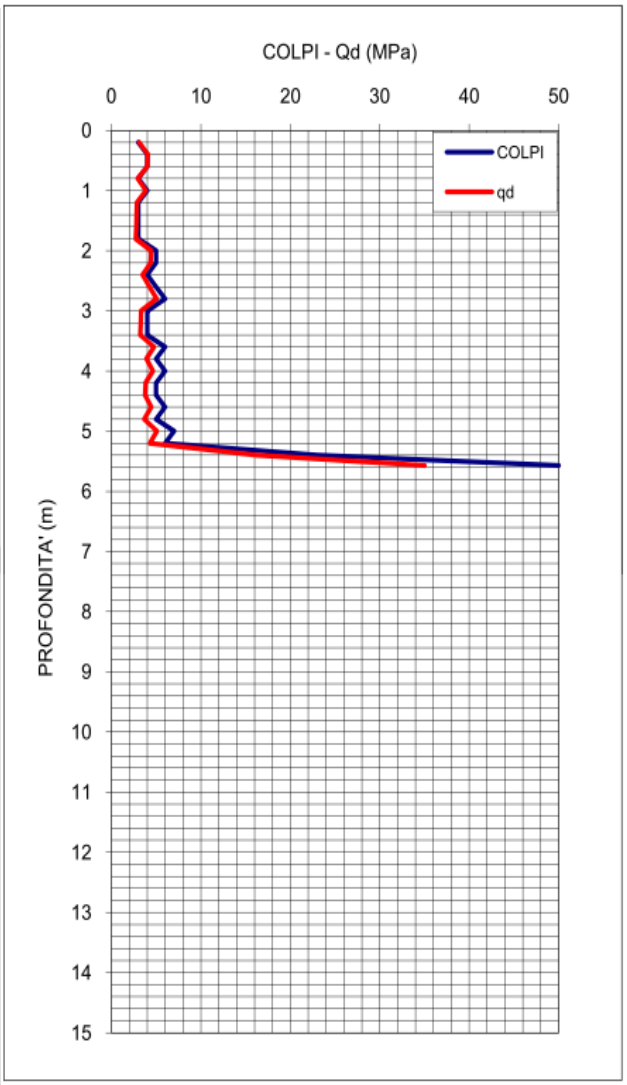


Fig. 18 – Rappresentazione grafica degli N_{20} misurati nel corso delle prove penetrometriche dinamiche

Nella sottostante Tab. 3 si riporta un riepilogo delle prove penetrometriche realizzate con indicata tipologia di indagine e la rispettiva profondità raggiunta.

Nome prova	Profondità raggiunta con metodo statico (m)	Profondità raggiunta con metodo dinamico (m)
DPSH 1	-	1.2
DPSH 2	-	11.8
DPSH 3	-	5.6

Tab. 3 – Riepilogo delle profondità raggiunte mediante prova penetrometrica

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO CON RELATIVE INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno del territorio in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il Comune di San Polo, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 7.2 la descrizione specifica delle caratteristiche stratigrafiche della porzione di pianura oggetto del presente studio, di seguito, ci si limita a proporre alcune considerazioni su come il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

A riguardo, in primo luogo, va considerato che in tutta la zona in esame, sotto i depositi quaternari, sono presenti unità, quasi sempre stratificate, e, costituite da depositi a differente litologia (calcari, areniti, marne, peliti) all'interno dei quali le velocità di propagazione delle onde sismiche sono molto differenti tra loro, anche se in pochissimi casi raggiungono velocità da *bedrock* sismico, maggiori di 800 m/s.

Si consideri, inoltre, che dette velocità risultano fortemente condizionate anche dal grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, determinato da vari fattori, primi fra tutti, l'azione tettonica, la gravità e gli agenti atmosferici. Ciò interessa, in particolare, il livello di roccia più superficiale, di spessore variabile, fortemente alterato (regolite).

Anche nei depositi quaternari si osservano significative variazioni nei profili delle Vs, sia in relazione allo stato di addensamento dei depositi, generalmente maggiore all'aumentare della profondità, che al tipo di litologie attraversate, con significativi incrementi al passaggio tra un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso, mentre a una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

Le conoscenze geognostiche, quando possibile, consentono di individuare le prime superfici di discontinuità, ad esempio, all'interno delle alluvioni, dove la copertura, prevalentemente limoso-argillosa, poggia sul livello granulare più superficiale o al contatto tra i depositi quaternari e il substrato marino. Quanto alle discontinuità più profonde, come potrebbe essere il limite regolite/roccia in posto o determinate dal passaggio tra strati costituiti da litotipi differenti, all'interno del substrato marino, è difficile che si abbiano informazioni attendibili.

D'altra parte, come verrà illustrato nel prosieguo della relazione, le indagini tromografiche effettuate restituiscono curve H/V in cui, sotto i 20 Hz, sono generalmente presenti più picchi, con contrasti d'impedenza bassi, a frequenze associabili a differenti profondità.

É evidente che, in un tale contesto, definire la risposta sismica locale non sia sempre facile, così come risulta spesso una discreta forzatura assimilare l'assetto geologico delle varie zone ad un modello fisico monodimensionale.

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Inizialmente, di concerto con l'Ufficio Tecnico Comunale, sono stati definiti i limiti degli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, sono stati acquisiti i dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Una volta eseguite tali attività è stata pianificata, sempre in accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale, e svolta la campagna di indagini già descritta nel capitolo 3.1.

La prima fase del lavoro ha, quindi, comportato la redazione dei seguenti elaborati:

- **Carte delle indagini**: in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;
- **Carta geologico-tecnica**: tale carta è stata derivata dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carte delle frequenze naturali dei terreni**: tali carte riportano i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene di dover effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari (a San Polo sono presenti solo zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello: infatti, non sono state individuate zone suscettibili di instabilità, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello), e sono state identificate delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche.

Successivamente, e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, che ha avuto quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato e ha comportato la redazione dei seguenti elaborati:

- **Carte delle velocità delle onde di taglio S**: carte in sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs_H o di Vs_{30}.
- **Carte di microzonazione sismica**: carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame.

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, redatta per l'intero territorio comunale, e alla scala 1:5.000, di dettaglio sulle aree abitate, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica super pesante
- prova penetrometrica dinamica pesante
- prova penetrometrica dinamica media
- pozzo per acqua
- trincea o pozzetto esplorativo
- stazione microtremore a stazione singola
- MASW
- REMI
- ERT
- SR

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 19[4].

Complessivamente, presso l'Ufficio Tecnico Comunale e dal database fornito dal Servizio Geologico Regionale, sono state acquisite le seguenti indagini:

- N° 6 sondaggio a carotaggio continuo
- N° 24 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- N° 17 prove penetrometriche dinamiche super pesanti
- N° 6 prove penetrometriche dinamiche pesante
- N° 6 prove penetrometriche dinamiche medie
- N° 7 pozzo per acqua

[4] Figura in cui si osserva come siano riportate anche le stratigrafie "tipo" delle singole zone omogenee, non corrispondenti ad indagini reali).

- N° 4 trincee o pozzetti esplorativi
- N° 16 stazioni di microtremore a stazione singola
- N° 13 MASW
- N° 11 REMI
- N° 1 profili sismici a rifrazione (SR)
- N° 2 tomografie elettriche

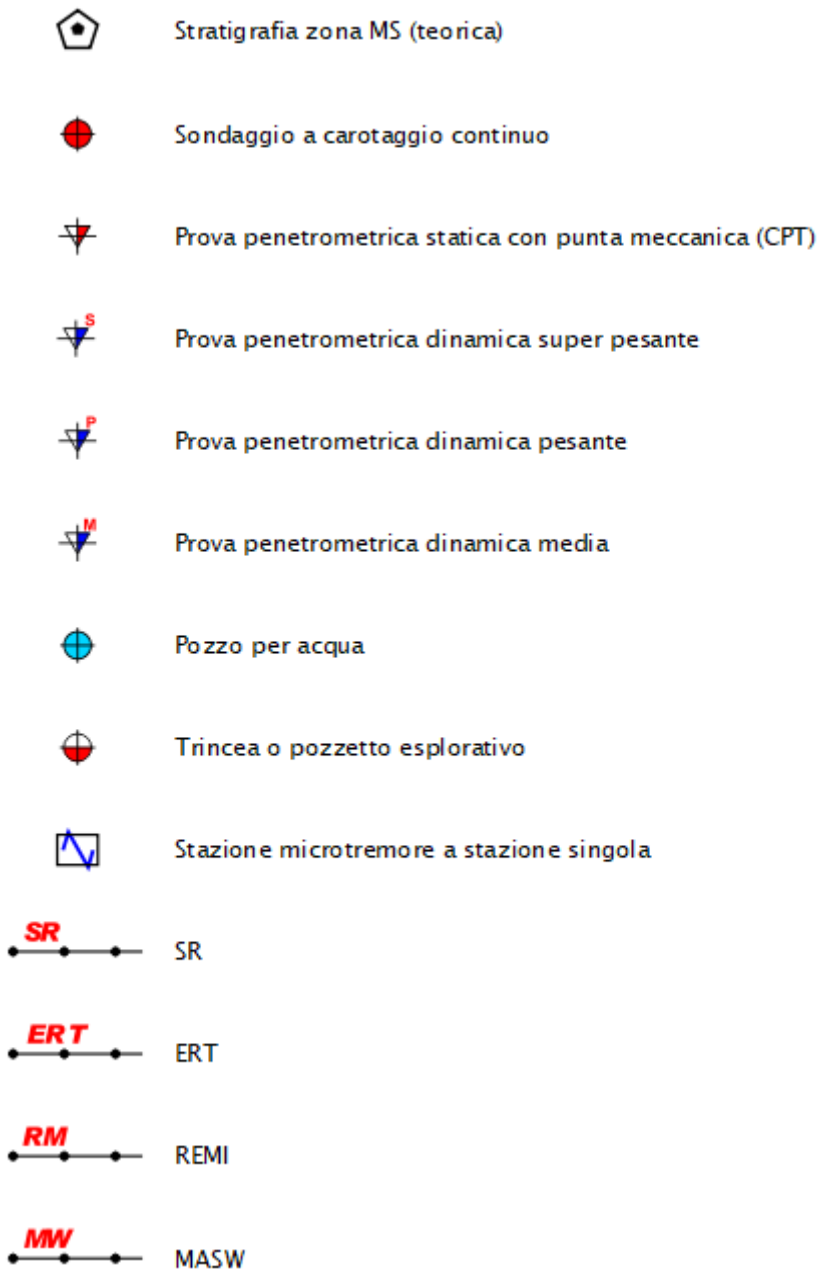


Fig. 19 – Legenda delle Carte delle indagini

Ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- N° 30 prove MASW
- N° 30 prove *REfractionMicrotremors* (REMI)
- N° 30 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR)
- N° 7 tomografie elettriche ERT
- N° 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti

7.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica, redatta per l'intero territorio comunale, alla scala 1:10.000, sono stati rappresentati gli elementi geologici e morfologici locali d'interesse per l'analisi della pericolosità sismica, in particolare quelli che possono modificare il moto sismico in superficie facendo riferimento a quanto indicato nell'Allegato A1 della DGR 630/2019.

Questi dati hanno contribuito a definire il modello di sottosuolo e sono risultati funzionali alla realizzazione della Carta delle aree suscettibili di effetti locali, che sarà descritta nel successivo paragrafo 7.4.

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico-tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- BANCA DATI DELLA CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:10.000 DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Sezioni 200090, 200100, 200130, 200140 e 218020;
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 200 "Reggio nell'Emilia" realizzato secondo le normative del Progetto CARG;
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 218 "Castelnovo ne' Monti" realizzato secondo le normative del Progetto CARG;
- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (7.1).

Dalle informazioni raccolte, si osserva che il settore di pianura indagato, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- il primo sottosuolo è caratterizzato, dalla presenza di una copertura di depositi prevalentemente fini (limi e argille), molto esigua nel settore più occidentale, dove affiora il Subsintema di Ravenna; mentre si inspessisce verso est.
- al disotto della coltre suddetta, nel settore settentrionale, sono presenti depositi prevalentemente ghiaiosi organizzati in strati con spessori variabili (dell'ordine di qualche metro), in alternanza a depositi fini; mentre, più a sud, si rinviene il substrato geologico marino, non rigido.
- relativamente ai depositi più profondi risulta interessante esaminare la sezione raffigurata in Fig. 21, stralcio della Sezione 35 tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna; in tale sezione, che attraversa il settore settentrionale del Comune, con andamento SW-NE, (cfr. la traccia riportata in Fig. 20 oltre che nella Carta geologico-tecnica) si osserva un andamento sinclinalico con un approfondimento massimo della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) fino a 70÷80 m da p.c.

Sui versanti, invece, è sempre presente un substrato non rigido, talora affiorante, talora, ricoperto da una coltre, di differente natura, di spessore, in genere, inferiore a 10 m.

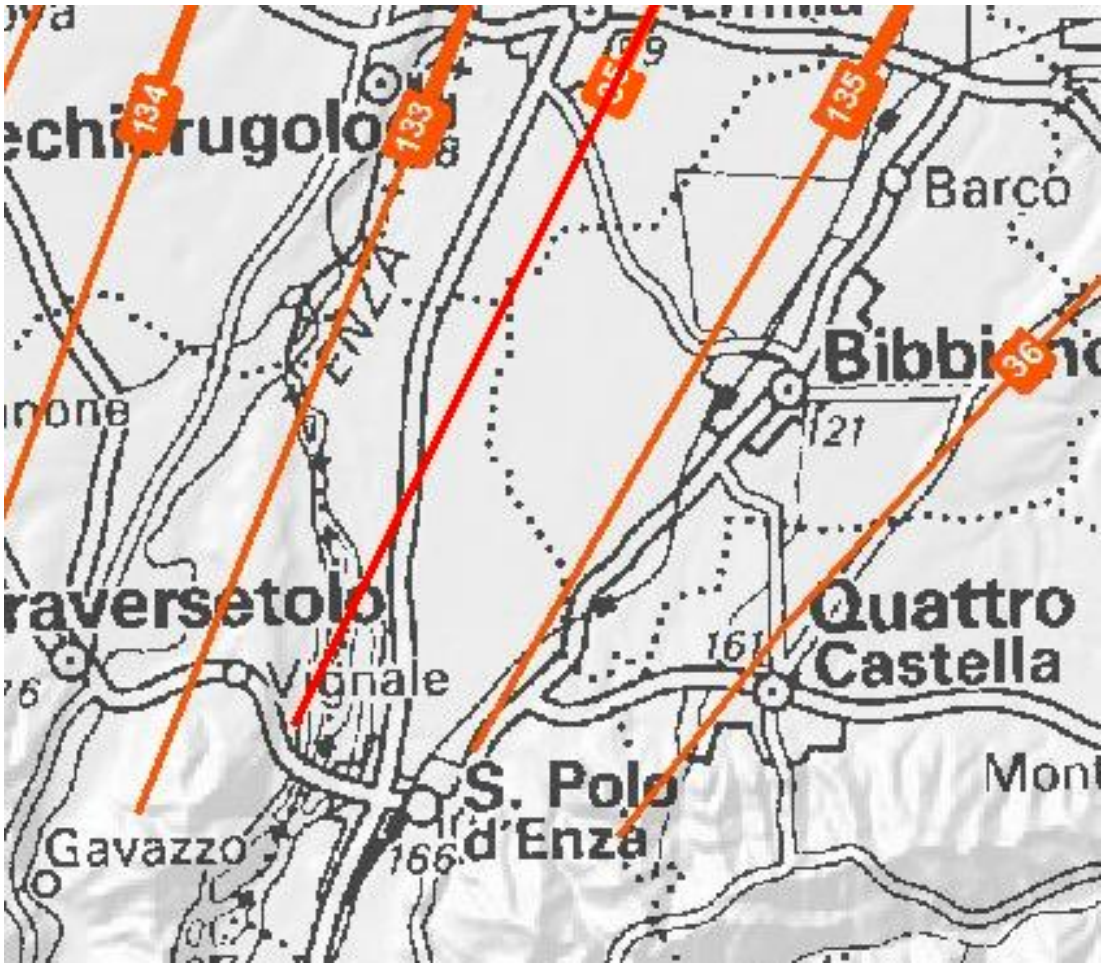


Fig. 20 – Traccia della Sezione 35 (da sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna) in Comune di San Polo

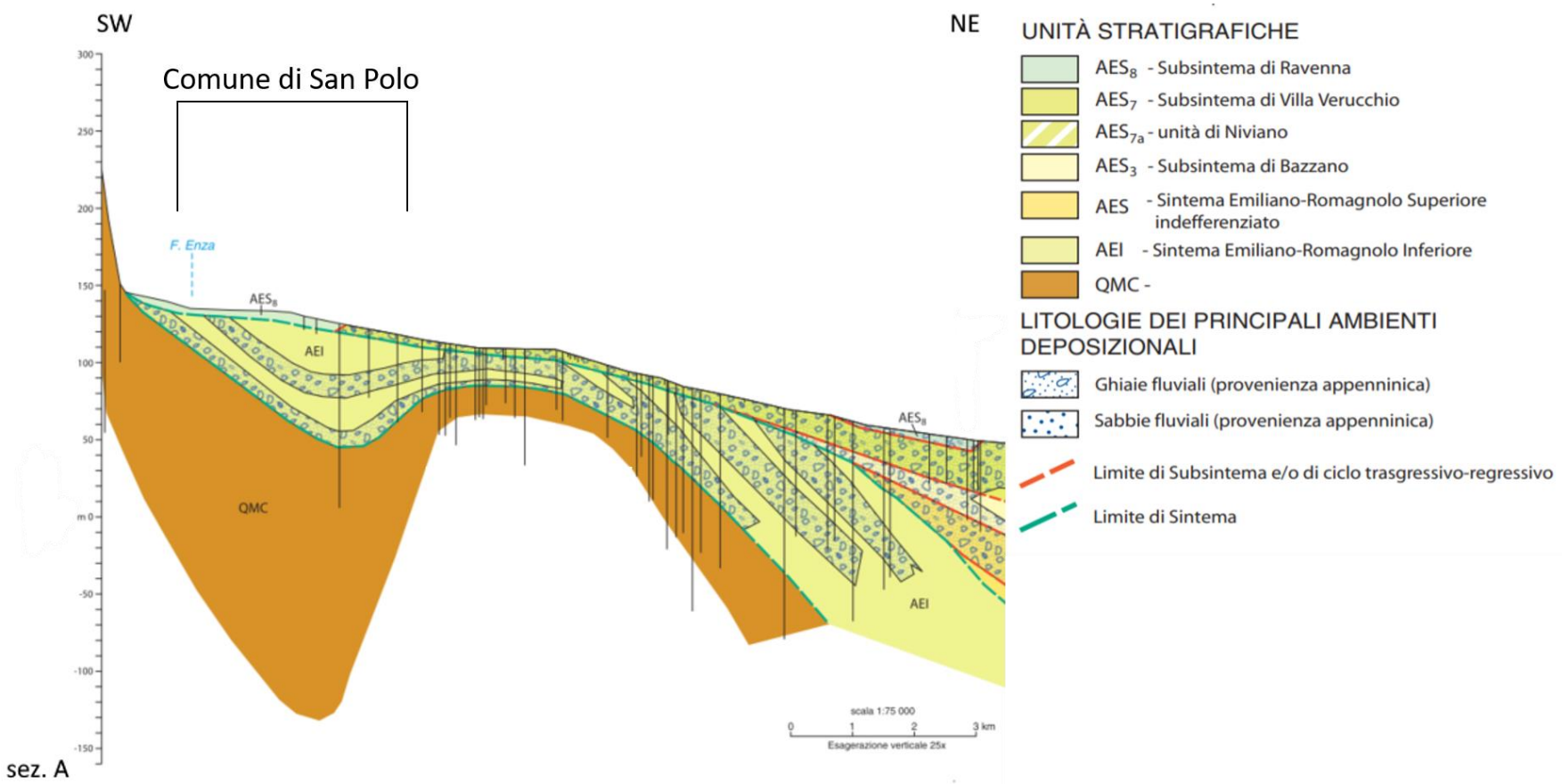


Fig. 21 – Stralcio della Sezione 35 tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna

Nelle Carta geologico-tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente. Dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **GW** – *Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie*: sono dovute alla deposizione, in ambiente di argine/barre/canali e caratterizzano il settore più occidentale in vicinanza del torrente Enza.
- **GM** – *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: sono dovute alla deposizione, in ambiente piana pedemontana e sono state individuate su buona parte del territorio urbanizzato.
- **ML** - *Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi*: interessano varie aree del settore orientale del territorio comunale. Sono il risultato di una deposizione in ambiente di eluvio-colluviale, di terrazzo fluviale e palustre.

Sono stati altresì indicati gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura distinguendo, tra quelli proposti negli standard:

- **es** – argine/barre/canali;
- **pd** – piana pedemontana**;**
- **ec –** eluvi/colluvi;
- **tf** – terrazzo fluviale;
- **pa** – palustri.

A parte sono state rappresentate le aree in frana, distinte sia in base alla tipologia (scorrimento, colata, complessa) che in base allo stato di attività (attiva e quiescente).

Quanto ai substrati geologici sono stati effettuati degli accorpamenti, definendoli:

<u>ALS - Alternanza di litotipi, stratificato</u> dove sono presenti le unità:

- ANTa – Marne di Antognola – litofacies aenaceo-pelitica
- APA- Argille a Palombini
- ASa - Sintema del Torrente Stirone - litofacies pelitica
- AVSa – Argille varicolori della Valsamoggia – litofacies arenacea
- CMZ – Sintema di Costamezzana
- FCO – Formazione a Colombacci
- MMP - Marne di Monte Piano
- RAN3 – Formazione di Ranzano – membro di Varano de' Melegari

- RAN3b – Formazione di Ranzano – membro di Varano de' Melegari – litofacies arenaceo conglomeratica

COS Coesivo sovraconsolidato, stratificato dove sono presenti le unità:

- ANT - Marne di Antognola
- ATS - Sintema del Torrente Stirone
- AVV - Argille Varicolori di Cassio
- CTG – Formazione di Contignaco
- FAA – Argille Azzurre
- FAAps – Argille Azzurre - litofacies pelitico/sabbiosa
- TER – Formazione del Termina

LPS Lapideo stratificato dove sono presenti le unità:

- ATSa - Sintema del Torrente Stirone - litofacies pelitica
- PAT - Formazione di Pantano
- PAT4 - Formazione di Pantano – membro di Santa Maria

CO Coesivo sovraconsolidato dove sono presenti le unità:

- AVS – Argille varicolori della Valsamoggia
- MVT – Brecce argillose della Val-Tiepido Canossa
- MVTa – Brecce argillose della Val-Tiepido Canossa – litofacies argillitica
- MVTb – Brecce argillose della Val-Tiepido Canossa – litofacies calcarea

Nella Carta geologico-tecnica sono stati raffigurati anche gli elementi tettonico strutturali quali faglie trascorrente/obliqua certe, non attive, faglie con cinematismo non definito certe, non attive, e faglie con cinematismo non definito incerte, non attive.

Tra le forme di superficie sono stati raffigurati degli orli di scarpata morfologica in corrispondenza di nicchie di distacco di frane.

Infine, sono stati rappresentati alcuni pozzi o sondaggi che non hanno raggiunto il substrato geologico, indicando il valore di profondità attestato (in m).

7.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni

Nelle Carte delle frequenze naturali dei terreni, alla scala 1:5.000, sono stati riportati tutti i punti di misura delle 46 indagini tromografiche disponibili (16 raccolte presso

l'Archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale e 30 di nuova acquisizione), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 0{,}6$ Hz
- $0{,}6$ Hz $< F_0 \leq 1$ Hz
- 1 Hz $< F_0 \leq 2$ Hz
- 2 Hz $< F_0 \leq 8$ Hz
- $F_0 > 8$ Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da:

- un contrasto di impedenza elevato (HSVR ≥ 3)
- un contrasto di impedenza moderato ($2 \leq$ HSVR < 3)
- un contrasto di impedenza basso ($1{,}5 \leq$ HSVR $<$ 2 Hz)
- assenza di significativi contrasti d'impedenza (HSVR $<$ 1,5 Hz)

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tromografiche eseguite in Comune di San Polo, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali e secondari.

PROVA	Picco principale		Picco secondario	
	F_0	A_0	F_1	A_1
035038HVSRP41	5,31	5	0,28	1,7
035038HVSRP46	3,97	3,2	9,5	2,6
035038HVSRP50	4,69	4,8	6,5	4,2
035038HVSRP52	11	1,8		
035038HVSRP55	5,56	7,1	16	2,4
035038HVSRP66	0,85	1,8		

PROVA	Picco principale		Picco secondario	
	F_0	A_0	F_1	A_1
035038HVSRP67	10,75	3,2	1,6	2,3
035038HVSRP68	4,95	2	18	1,8
035038HVSRP69	1,38	1,5		
035038HVSRP72	15,2	3,4	7	2,8
035038HVSRP74	1,4	1,8	0,75	1,5
035038HVSRP78	0,9	1,4		
035038HVSRP82	5,8	2,3	14	1,9
035038HVSRP84	10,8	1,65	0,86	1,6
035038HVSRP86	9,91	6,4	4,7	1,3
035038HVSRP87	5,5	3,7		
035038HVSRP88	6,06	4,9	0,52	1,3
035038HVSRP89	8,5	5,3		
035038HVSRP90	0,5	1,2		
035038HVSRP91	15,53	3,9	0,5	1,2
035038HVSRP92	0,5	1,8		
035038HVSRP93	8,44	3,1	6,2	2,8
035038HVSRP94	9	2,4		
035038HVSRP95	4,72	2,4	16,5	2,1
035038HVSRP96	4,68	3,85	6,3	2,4
035038HVSRP97	0,71	1,3	1,9	1,2
035038HVSRP98	2,4	1,4	1,35	1,3
035038HVSRP99	0,81	1,3	0,24	1,25
035038HVSRP100	19,98	1,95	0,9	1,5
035038HVSRP101	0,19	1,3	0,78	1,2
035038HVSRP102	17,2	1,25		
035038HVSRP103	18,2	1,95	5,8	1,88
035038HVSRP104	19,1	2,05	10	1,9
035038HVSRP105	3,9	1,8	9,1	1,4
035038HVSRP106	1,1	1,85	0,48	1,35
035038HVSRP107	11,3	1,85	3,9	1,6
035038HVSRP108	4,8	1,95	0,88	1,85
035038HVSRP109	0,85	2,5		
035038HVSRP110	0,8	1,3	2,1	1,28
035038HVSRP111	4,6	2,85	17,8	1,9
035038HVSRP112	19,97	2,82	2,7	1,8
035038HVSRP113	19,8	2,05	5,5	1,75
035038HVSRP114	19,9	2,1	3,3	1,9
035038HVSRP115	13,38	1,8	1,85	1,5
035038HVSRP116	3,25	2,6	1,65	1,75

Tab. 4 – Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche in Comune di San Polo

Dalla lettura della carta delle frequenze naturali dei terreni, si osserva che, in Comune di San Polo, sono di gran lunga dominanti le prove con picchi principali a frequenze superiori a 2 Hz (spesso maggiori di 8 Hz), associabili, come anticipato nel capitolo 5, a contrasti di impedenza dovuti al primo passaggio tra depositi coesivi e depositi granulari che mascherano altre eventuali superfici riflettenti sottostanti.

Fig. 22 – Legenda della Carta delle frequenze

7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

In questa cartografia, alla scala 1:10.000, l'intero territorio comunale viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

1. **zone stabili**. Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.

3. **zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in Comune di San Polo, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili. Invece, sono state individuate 5 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Più precisamente sono state individuate le seguenti zone (cfr. Fig. 23):

- Zona 1 – Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore generalmente inferiore a 3 m, di depositi di origine alluvionale, fini, a tessitura prevalentemente argilloso-limosa sotto la quale si rinvengono, dei depositi di origine alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, stratificati, assimilabili al *bedrock* sismico.
- Zona 2 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido (Vs<800 m/s) ricoperto da depositi di origine alluvionale, a granulometria mista, prevalentemente ghiaiosi, di spessore indicativamente pari a 10 m.
- Zona 3 – Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore generalmente compreso tra 3 e 10 m, di depositi di origine alluvionale e/o palustre e/o eluvio-colluviale, fini, a tessitura prevalentemente limosa, sotto la quale si rinvengono, dei depositi di origine alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, stratificati, assimilabili al *bedrock* sismico o un substrato non rigido (Vs<800 m/s) di tipo LPS o ALS.
- Zona 4 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido (Vs<800 m/s) di tipo LPS o ALS ricoperto da depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m.
- Zona 5 - Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido (Vs<800 m/s) di tipo CO o COS ricoperto da depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m.

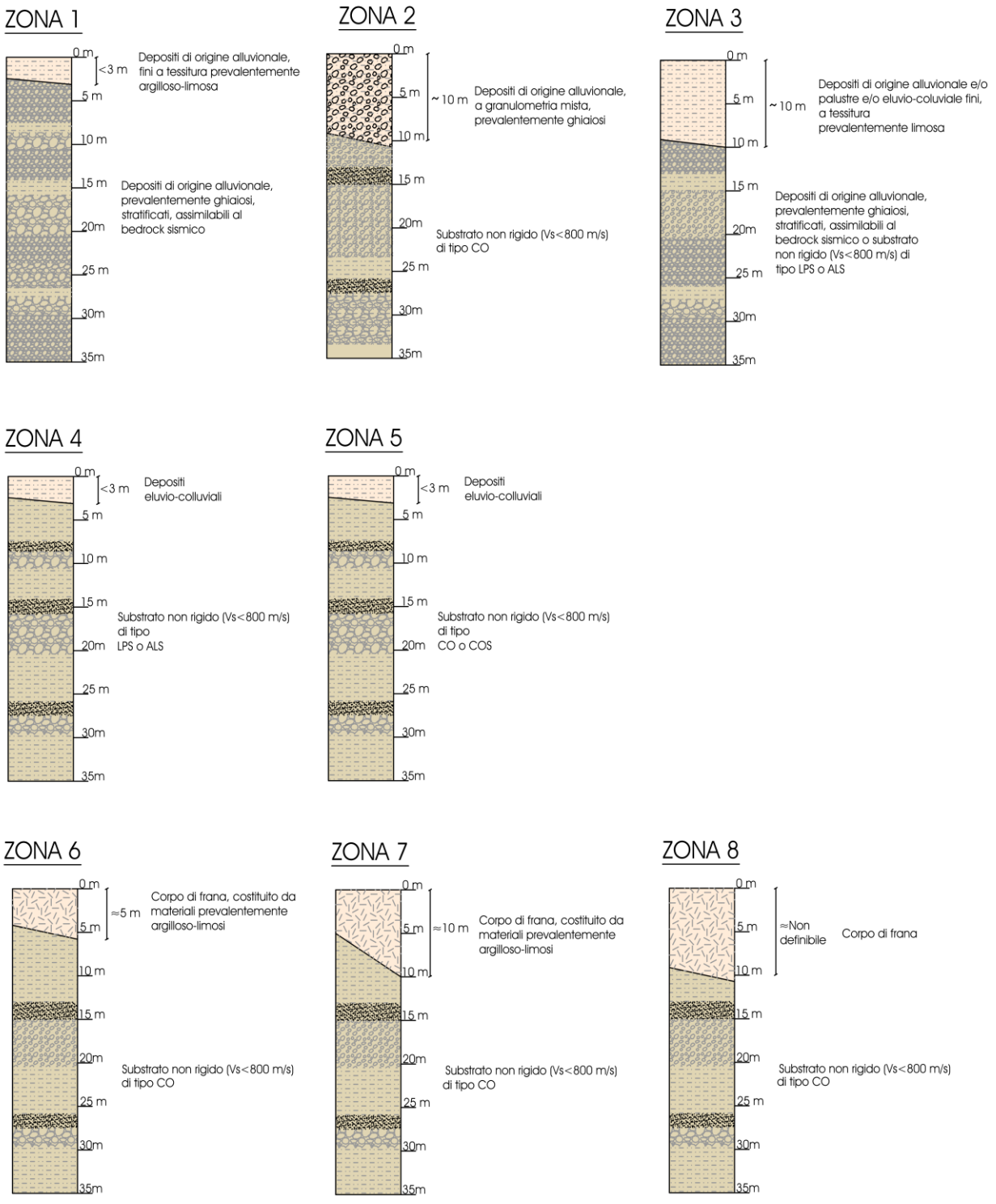


Fig. 23 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali

e le seguenti 3 Zone di attenzione per instabilità di versante (cfr. Fig. 24):

- ZA_FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 6
  Corpo di frana, di spessore medio pari a circa 5 m, costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi, impostato su un substrato non rigido (Vs<800 m/s).
- ZA_FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 7
  Corpo di frana, di spessore medio pari a circa 10 m, costituito da materiali prevalentemente argilloso-limosi, impostato su un substrato non rigido (Vs<800 m/s).
- ZA_FR – Zona di Attenzione per Instabilità di versante – Zona 8
  Corpo di frana, di spessore non definibile per mancanza di dati litostratimetrici, impostato su un substrato non rigido (V800 m/s).

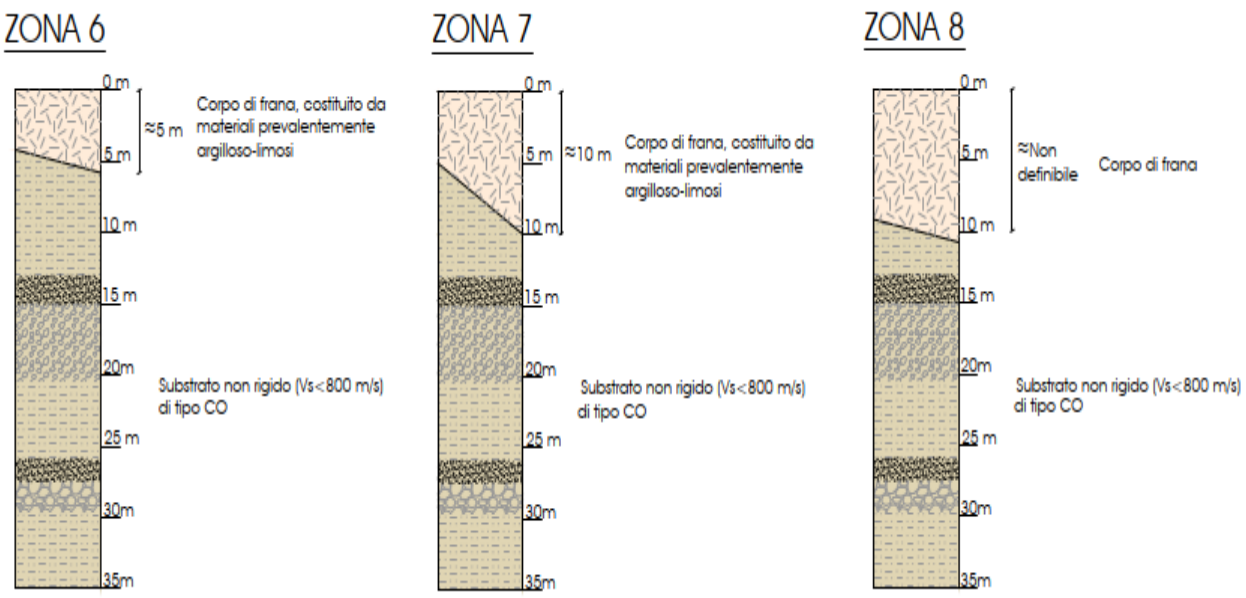


Fig. 24 – Colonnine litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone di attenzione per instabilità di versante

7.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, sono state redatte per tutte le aree oggetto di studio delle Carte delle velocità delle onde di taglio S (Vs), alla scala 1:5.000.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (HVSR o MASW, indicate come tali anche quando accoppiate con le ReMi) e indicando il corrispondente valore di Vs_{30} o di Vs_H (in m/s), dove:

$$Vs_H = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

H = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*
h_i = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*)
Vs_i = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al *bedrock*);

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

h_i = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);
Vs_i = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

A riguardo, va chiarito che, si è indicato la Vs_{30} per le indagini effettuate all'interno della zona 1 e 4, in quanto, presumibilmente, il contrasto di velocità più significativo si rinviene a una profondità inferiore a 3 m o superiore a 50 m, mentre, per le zone 2 e 3 definite nel paragrafo 7.4, è stata riportata la Vs_H e la relativa profondità H. Dati riepilogati nella seguente

PROVA	MOPS	Vs30	H	VsH
035038MASWL5	2004		11,84	377,17
035038MASWL7	2003		19,00	245,36
035038MASWL13	2001	374,00		
035038MASWL15	2004		5,20	213,00
035038MASWL18	2004	390,00		
035038MASWL28	2003		8,00	185,12
035038MASWL29	2001		8,00	185,12
035038MASWL30	2001		6,00	190,91
035038MASWL31	2001	339,79		
035038MASWL32	2001	340,66		
035038MASWL33	2001		3,00	200,00
035038MASWL36	2001		8,50	196,00

PROVA	MOPS	Vs30	H	VsH
035038MASWL39	2001		10,00	270,00
035038MASWL40	2001	335,90		
035038MASWL41	2002	348,92		
035038MASWL42	2002	348,92		
035038MASWL43	2002	352,36		
035038MASWL44	2002	289,44		
035038MASWL45	2002		14,00	320,00
035038MASWL46	2002		19,00	325,50
035038MASWL48	2004		17,00	280,00
035038MASWL49	2004		16,00	290,00
035038MASWL50	2004		16,00	318,00
035038MASWL51	2004		17,00	273,00
035038MASWL52	2004	353,41		
035038MASWL53	2004	405,74		
035038MASWL54	2004	405,63		
035038MASWL55	2004	337,13		
035038MASWL56	2004	311,65		
035038MASWL57	2004	304,86		
035038HVSRP41	2001		8,5	154,79
035038HVSRP55	2001		11,8	193,35
035038HVSRP63	2001		1,8	145
035038HVSRP78	2001	502		
035038HVSRP82	2001	322		

Tab. 5.

PROVA	MOPS	Vs30	H	VsH
035038MASWL5	2004		11,84	377,17
035038MASWL7	2003		19,00	245,36
035038MASWL13	2001	374,00		
035038MASWL15	2004		5,20	213,00
035038MASWL18	2004	390,00		
035038MASWL28	2003		8,00	185,12
035038MASWL29	2001		8,00	185,12
035038MASWL30	2001		6,00	190,91
035038MASWL31	2001	339,79		
035038MASWL32	2001	340,66		
035038MASWL33	2001		3,00	200,00
035038MASWL36	2001		8,50	196,00
035038MASWL39	2001		10,00	270,00
035038MASWL40	2001	335,90		
035038MASWL41	2002	348,92		

PROVA	MOPS	Vs30	H	VsH
035038MASWL42	2002	348,92		
035038MASWL43	2002	352,36		
035038MASWL44	2002	289,44		
035038MASWL45	2002		14,00	320,00
035038MASWL46	2002		19,00	325,50
035038MASWL48	2004		17,00	280,00
035038MASWL49	2004		16,00	290,00
035038MASWL50	2004		16,00	318,00
035038MASWL51	2004		17,00	273,00
035038MASWL52	2004	353,41		
035038MASWL53	2004	405,74		
035038MASWL54	2004	405,63		
035038MASWL55	2004	337,13		
035038MASWL56	2004	311,65		
035038MASWL57	2004	304,86		
035038HVSRP41	2001		8,5	154,79
035038HVSRP55	2001		11,8	193,35
035038HVSRP63	2001		1,8	145
035038HVSRP78	2001	502		
035038HVSRP82	2001	322		

Tab. 5 – Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S in Comune di San Polo

I risultati sopraindicati, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, hanno consentito di definire dei valori di Vs_{30} o di Vs_H da assumere per ciascuna MOPS, definita nel paragrafo 7.4, e che sono serviti per calcolare i fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 7.6.

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa di tali valori:

ZONA	Vs_{30} (m/s)	Vs_H (m/s)
Zona 1 - 2001	350	
Zona 2 - 2002		350
Zona 3 – 2003		300
Zona 4 - 2004	350	

Tab. 6 – Tabella riepilogativa delle velocità delle onde di taglio S utilizzate in Comune di San Polo

7.6 Carte di microzonazione sismica

Nelle Carte dei fattori di amplificazione, anch'esse redatte alla scala 1:5.000, sono raffigurate le amplificazioni stimate per i vari settori di territorio in esame.

La stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale. I parametri utilizzati per lo scuotimento sismico sono:

- FA_{PGA} = PGA/PGA_0, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 al suolo di riferimento e PGA e l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 alla superficie del sito;
- FA_{SA} = SA/SA_0, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:
  - SA1 per 0,1s≤T≤0,5s,
  - SA2 per 0,4s≤T≤0,8s,
  - SA3 per 0,7s≤T≤1,1s,
  - SA4 per 0,5s≤T≤1,5s;
- FH_{SI} = SI/SI_0, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di *Housner*) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocita (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:
  - SI1 per 0,1s≤T≤0,5s,
  - SI2 per 0,5s≤T≤1,0s,
  - SI3 per 0,5s≤T≤1,5s.

La scelta dell'abaco è stata effettuata confrontando i profili di Vs misurati con quelli medi utilizzati per il calcolo dei fattori di amplificazione riportati negli abachi stessi, analogamente a quanto fatto per lo studio di Bibbiano (cfr. figure riportate nel paragrafo 7.6 della relativa relazione).

Conseguentemente, come rappresentato in Fig. 25 i fattori di amplificazione sono stati determinati utilizzando:

- per la Zona 1 le tabelle relative al MARGINE di tipo B (cfr. Tab. 7);
- per le Zone 2 le tabelle relative al settore APPENNINICO, in caso di coperture su substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da Vs << 800 m/s (cfr. Tab. 8)

- per le Zone 3 le tabelle relative al MARGINE di tipo A (cfr. Tab. 9);
- per le Zone 4 le tabelle relative al settore APPENNINICO in caso di substrato marino non rigido, vale a dire caratterizzato da Vs << 800 m/s, affiorante o subaffiorante (cfr. Tab. 12)

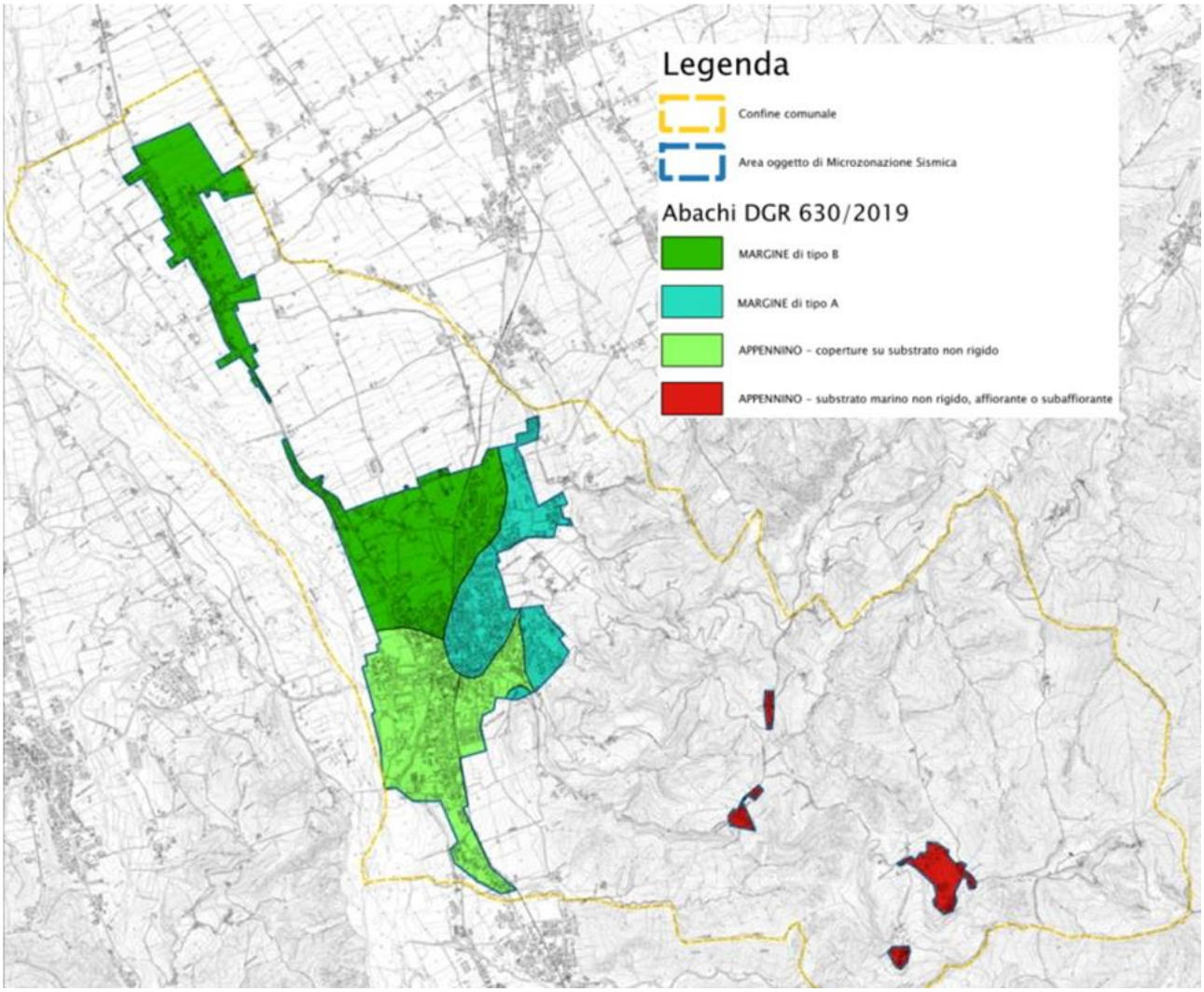


Fig. 25 – Zonizzazione del territorio comunale sulla base del tipo di abaco utilizzato per il calcolo dei fattori di amplificazione

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	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) e **SA4** (0,5s≤T≤1,5s)

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	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)

Tab. 7 – Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per MARGINE di tipo B (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

Tab. 8 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO in caso di coperture su substrato non rigido (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,1	1,8	1,5		
10	2,3	2,2	2,0	1,8		
15	2,1	2,1	2,0	1,8		
20	2,1	2,1	2,0	1,9		
25	2,0	2,0	2,0	1,9		
30	1,9	1,9	1,9	1,9		

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,3	2,0	1,7	1,5		
10	2,5	2,3	2,0	1,8		
15	2,4	2,4	2,1	1,9		
20	2,3	2,3	2,1	2,0		
25	2,2	2,2	2,1	2,0		
30	2,0	2,0	2,0	1,9		

Fattore di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s)

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,9	1,7	1,7	1,6		
10	2,7	2,2	1,9	1,8		
15	3,3	2,9	2,3	2,0		
20	3,4	3,1	2,6	2,2		
25	3,3	3,2	2,8	2,4		
30	3,1	3,1	2,8	2,5		

Fattore di Amplificazione **SA2**(0,4s≤T≤0,8s)

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,6	1,6	1,6	1,6		
10	2,0	1,8	1,7	1,7		
15	2,9	2,3	2,0	1,9		
20	3,4	2,8	2,3	2,0		
25	3,9	3,4	2,7	2,3		
30	3,8	3,6	3,0	2,5		

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s≤T≤1,1s)

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	2,2	1,9	1,7	1,6		
10	2,6	2,4	2,0	1,8		
15	2,6	2,5	2,2	1,9		
20	2,5	2,5	2,3	2,0		
25	2,3	2,3	2,2	2,1		
30	2,1	2,1	2,1	2,0		

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

Vs_H (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400
5	1,8	1,7	1,6	1,6		
10	2,3	2,0	1,8	1,7		
15	3,2	2,6	2,1	2,0		
20	3,5	3,1	2,5	2,1		
25	3,7	3,4	2,8	2,4		
30	3,6	3,5	3,0	2,6		

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

Tab. 9 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per MARGINE di tipo A (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
PGA					1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SA1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2					1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3					1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

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

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
SI1					1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2					1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

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

Tab. 10 – Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per APPENNINO in caso di substrato marino non rigido, affiorante o subaffiorante (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

Quali dati d'ingresso sono state assunte le velocità già definite nel paragrafo 7.5 (Tab. 6) e, per le due microzone ricadenti nell'Ambiente di Margine di tipo A e nel settore Appenninico in caso di coperture su substrato non rigido, le profondità indicate nella seguente Tab. 11:

Zona 2	H = 10 m
Zona 3	H = 10 m

Tab. 11– Profondità del substrato assunte per il calcolo

Conseguentemente, agli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i fattori di amplificazione sismica valori riportati in Tab. 12; fattori di amplificazione che sono poi stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati in Fig. 26.

ZONA	F.A. PGA	F.A. SA1	F.A. SA2	F.A. SA3	F.A. SA4	F.A. SI1	F.A. SI2	F.A. SI3
Zona 1	1.6	1.7	1.9	2.3	2.1	1.7	2.1	2.2
Zona 2	1.6	1.5	1.4	1.3		1.5	1.3	
Zona 3	1.8	1.8	1.8	1.7		1.8	1.7	
Zona 4	1.9	1.9	1.7	1.4		1.9	1.5	

Tab. 12 – Valori dei fattori di amplificazione sismica

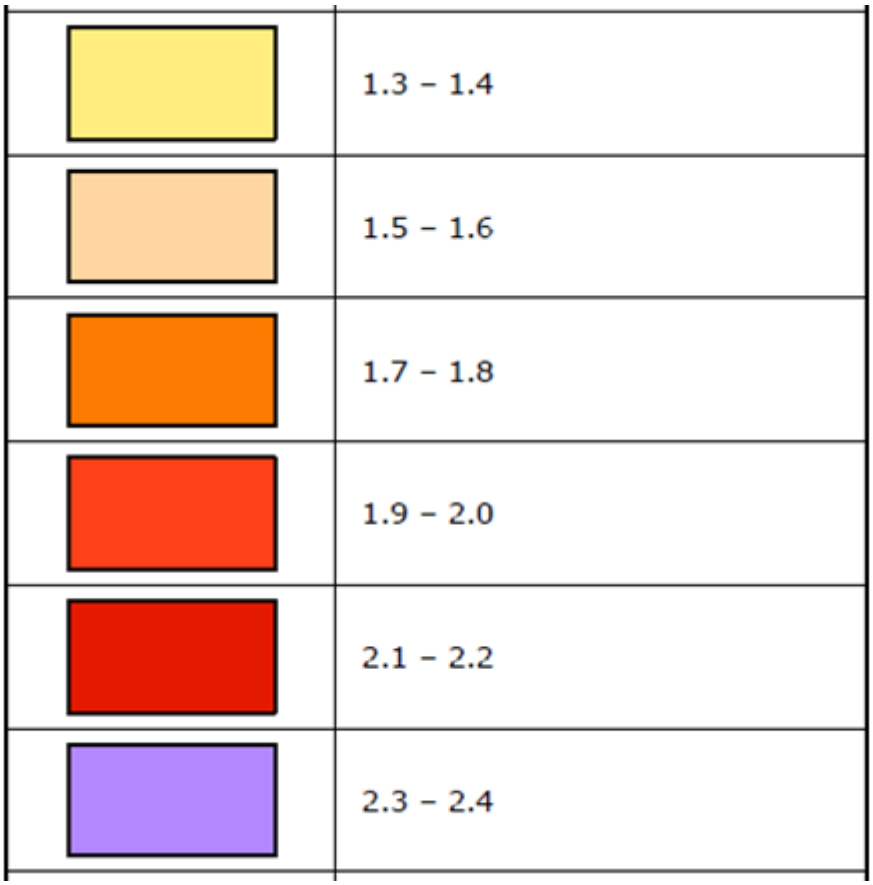


Fig. 26 – Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

7.7 Carte dello scuotimento atteso

Quale ultimo elaborato grafico, come prescritto dalla DGR 630/2019, è stata redatta la carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM}, parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2).

Tale parametro è definito come il prodotto dell'*Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione, calcolato per un

determinato intervallo di periodo (nel caso dell'analisi di secondo livello), diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

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

L'intervallo di periodo considerato le analisi di secondo livello, è 0,1s≤T≤0,5s (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, per 0,1s≤T≤0,5s, per i punti della griglia INGV, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni), sono forniti dal file *all_4_coord.kmz, nella 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 della Regione Emilia Romagna.

Una volta calcolato il valore di H_{SM} è stato riportato nella carta di scuotimento atteso, grazie a un'etichetta riferita a ciascun poligono esaminato; mentre il colore indica l'appartenenza dello stesso a una delle classi con intervallo pari a 100 definite dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

7.8 Commenti finali e criticità

Va precisato che il presente studio presenta carattere sperimentale, trattandosi di una delle prime applicazioni, in un contesto territoriale quale quello indagato, di microzonazione sismica mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e negli indirizzi regionali.

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di difficile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili.

Anche l'interpretazione delle indagini geofisiche effettuate non è sempre facile per le problematiche descritte nel paragrafo 5.

Ciononostante, per i centri abitati principali, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate, una microzonazione del territorio con attribuzione di differenti fattori di amplificazione (FA_{PGA}, FA_{SA}, FA_{SI}) per prefissati intervalli di periodi T.

Conseguentemente, si raccomanda che, in fase di progettuale, si tenga conto di tali indicazioni, e, nello specifico, per quanto riguarda costruzioni con periodo e ubicazione

associabili a FA maggiori 2, sia valutato con attenzione se possa essere ritenuto sufficiente un approccio di tipo semplificato o sia preferibile effettuare un'analisi della risposta sismica locale.

Infine, si auspica che nelle situazioni di maggior rischio, pur non essendo state individuate delle "zone suscettibili di instabilità", secondo i criteri fissati dagli indirizzi regionali, possa essere effettuato un approfondimento di terzo livello, di iniziativa pubblica, che, tra le altre cose, contribuirebbe a dare più chiarezza circa la vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente e a verificare la validità del modello interpretativo applicato.

8. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

In Comune di San Polo, non è stato possibile effettuare un'analisi della distribuzione dei danni degli eventi sismici avvenuti in passato, in quanto, relativamente a tale tematica, non sono stati trovati documenti specifici.

9. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011) - TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 – 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tento A., 2010: UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato.
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), THE DATABASE OF INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- Bisch P., Carvalho E., Degee H., Fajfar P., Fardis M., Franchin P., Kreslin M., Pecker A., Pinto P., Plumier A., Somja H., Tsionis G. (2012): EUROCODE 8: SEISMIC DESIGN OF BUILDINGS. WORKED EXAMPLES. European Commission, Joint Research Centre. 515 pp. Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, ISBN 978-92-79-23068-4, doi:10.2788/91658
- 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. http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (a cura di) (2011) . BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano,Bologna, http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, THE 2015 VERSION OF THE ITALIAN MACROSEISMIC DATABASE. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15
- Mascandola C., Massa M., Barani S., Albarello D., Lovati S., Martelli L., Poggi V. (2019): MAPPING THE SEISMIC BEDROCK IN THE PO-PLAIN (ITALY) THROUGH AMBIENT VIBRATION MONITORING. Bull. Seism. Soc. Am., 109(1), 164-177. doi: 10.1785/0120180193

- Marcellini A., Martelli L, Tento A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017a): CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA E AREE LIMITROFE. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/pubblicazioni/cartografia-geo-tematica/carta-sismotettonica-della-regione-emilia-romagna-e-aree-limitrofe-edizione-2016
- Martelli L., Santulin M., Sani F., Tamaro A., Bonini M., Rebez A., Corti G., Slejko D. (2017b): SEISMIC HAZARD OF THE NORTHERN APENNINES BASED ON 3D SEISMIC SOURCES. Journal of Seismology. DOI 10.1007/s10950-017-9665-1. Versione estesa in italiano "Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale" in https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/convegni-seminari-corsi/2017-nuovi-studi-sulla-pericolosita-sismica-regionale
- 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.
- Naso G., Martelli L., Baglione M., Bramerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): MAPS FOR LAND MANAGEMENT: FROM GEOLOGY TO SEISMIC HAZARD. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263
- Pieri M. e Groppi G. (1981). SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE PO PLAIN. Pubbl.414, PF Geodinamica. C.N.R. pp. 23.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P. (2019): CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2
- RER & ENI-Agip (1998): RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ufficio geologico – ENI-Agip, Divisione Esplorazione & Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120
- BANCA DATI DELLA CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:10.000 DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Sezioni 200090, 200100, 200130, 200140 e 218020

- CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL'EMILIA-ROMAGNA, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna
- DGR 630/2019: DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 29 aprile 2019, n. 630 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)". B.U.R.E.R. n. 143 del 6 maggio 2019, parte seconda
- DISS Working Group (2018). DATABASE OF INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – FOGLIO 200 "Reggio nell'Emilia" - APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – FOGLIO 218 "Castelnovo ne' Monti" - APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA
- NTC 2018: AGGIORNAMENTO DELLE "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI". Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Suppl. Ord. G.U. n. 42 del 20/02/2018.
- OPCM 3519/2006: ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI N. 3519 DEL 28/04/2006 "CRITERI GENERALI PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE SISMICHE E PER LA FORMAZIONE E L'AGGIORNAMENTO DEGLI ELENCHI DELLE MEDESIME ZONE". G.U. n. 108 del 11/05/2006.

10. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

Numerazione	Titolo	Scala
Elaborato 0	Relazione illustrativa	
Elaborato 1a	Carta delle indagini	scala 1:10.000
Elaborato 1b 1/2	Carta delle indagini	scala 1:5.000
Elaborato 1b 2/2	Carta delle indagini	scala 1:5.000
Elaborato 2	Carta geologico-tecnica	scala 1:10.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	
Elaborato 3 1/2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 3 2/2	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	scala 1:10.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	
Elaborato 5 1/2	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	scala 1:5.000
Elaborato 5 2/2	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	
Elaborato 6.a 1/2	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	scala 1:5.000
Elaborato 6.a 2/2	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.1	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,1\text{-}0,5\ s}$	
Elaborato 6.b.1 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,1\text{-}0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.1 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,1\text{-}0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,4\text{-}0,8\ s}$	
Elaborato 6.b.2 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,4\text{-}0,8\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.2 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,4\text{-}0,8\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.3	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,7\text{-}1,1\ s}$	
Elaborato 6.b.3 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,7\text{-}1,1\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.3 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,7\text{-}1,1\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.4	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,5\text{-}1,5\ s}$	
Elaborato 6.b.4 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,5\text{-}1,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.4 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,5\text{-}1,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.1	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1\text{-}0,5\ s}$	
Elaborato 6.c.1 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1\text{-}0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.1 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1\text{-}0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5\text{-}1,0\ s}$	
Elaborato 6.c.2 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5\text{-}1,0\ s}$	scala 1:5.000

Numerazione	Titolo	Scala
Elaborato 6.c.2 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5\text{-}1,0\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5\text{-}1,5\ s}$	
Elaborato 6.c.3 1/2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5\text{-}1,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c.3 2/2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5\text{-}1,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.d	Carta di microzonazione sismica – H_{SM}	
Elaborato 6.d 1/2	Carta di microzonazione sismica – H_{SM}	scala 1:5.000
Elaborato 6.d 2/2	Carta di microzonazione sismica – H_{SM}	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, è allegato l'Elaborato 7– Nuove indagini, in cui sono riportati tutti i report delle nuove indagini effettuate.