



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



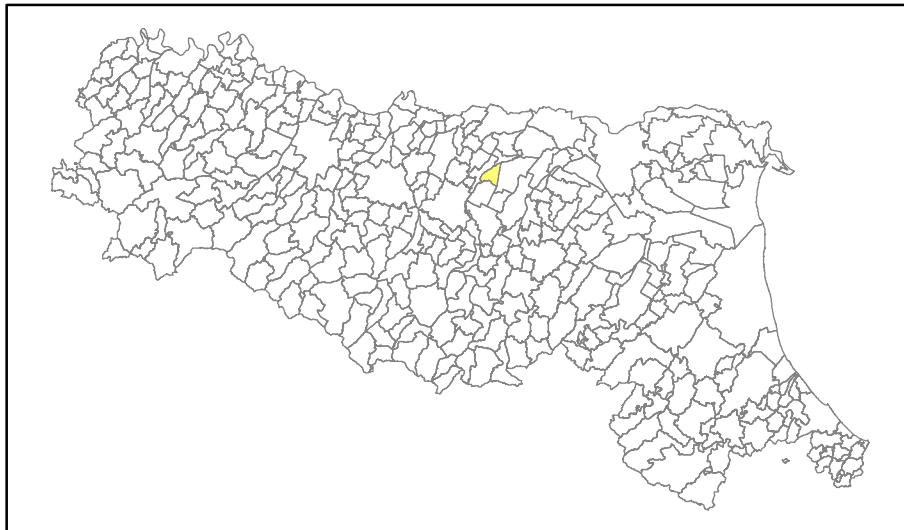
CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna Comune di Ravarino



Regione	Soggetto realizzatore	Data
Emilia-Romagna	Dott. Geol. Valeriano Franchi	Settembre 2018

Responsabile
Geom. Giacomo Ferrari

Soggetto realizzatore
Dott. Geol. Valeriano Franchi

Collaboratori
Dott. Geol. Alessandro Ghinoi
Dott. Geol. Gianluca Vaccari
Dott. Geol. Marco Sacchi
Dott. Andrea Dall'Olio

INDICE CONTENUTI

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO	5
2.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO	5
2.2. INQUADRAMENTO TETTONICO	6
2.3. CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE	8
2.4. STORIA SISMICA	10
2.5. CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE	16
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	23
3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	23
3.1.1. LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI	23
3.1.2. LA STRATIGRAFIA DELLA PIANURA E DELL'AREA DI STUDIO	27
3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	32
3.3. MICRORILIEVO	35
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	39
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO	40
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	44
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	48
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	50
8.1. CARTA DELLE INDAGINI.....	50
8.2. CARTA GEOLOGICO-TECNICA.....	51
8.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI	52
8.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS O LIVELLO 1)	54
8.5. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO (VS)	61
8.6. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2)	63
9. COMMENTI E CRITICITÀ	65
10. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	66
BIBLIOGRAFIA	67
ALLEGATI	70

1. INTRODUZIONE

Su incarico del Comune di Ravarino è stato eseguito uno studio di **Microzonazione Sismica di II Livello** del territorio comunale di Ravarino (Provincia di Modena).

La microzonazione sismica (MS), cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento, è uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico particolarmente efficace se realizzato e applicato già in fase di pianificazione urbanistica.

Costituisce, quindi, un supporto fondamentale ai pianificatori per indirizzare le scelte verso quelle aree a minore pericolosità sismica.

Lo studio è stato realizzato nel rispetto delle seguenti disposizioni normative:

- Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" approvato con Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007;
- l'Ordinanza del Capo Dipartimento Protezione Civile n.52 del 20 febbraio 2013 "Attuazione dell'articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77." pubblicata nella G.U. n.50 del 28 febbraio 2013 (OCDPC 52/2013);
- D.G.R. 2013, n° 1919: "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all'OPCM 52/2013 a favore degli Enti locali" e relativi allegati tecnici.

Inoltre, per gli aspetti tecnici, si è fatto riferimento al documento "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (ICMS) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni.

Sia l'analisi di carattere generale che le indagini geofisiche sono state sviluppate ed estese all'intero territorio comunale di Ravarino, con particolare riguardo ai centri abitati e alle principali vie di comunicazione.

Gli obiettivi del lavoro sono stati i seguenti:

1. Analisi delle condizioni di pericolosità sismica del territorio comunale e individuazione delle aree in cui effettuare la Microzonazione Sismica;
2. Determinazione delle frequenze naturali dei terreni, ai fini della individuazione di fenomeni di risonanza significativi;
3. Eventuale suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica;
4. Conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal primo livello di approfondimento, in cui si ritengono eventualmente necessari approfondimenti di terzo livello, con eventuali indicazioni delle indagini e delle analisi da effettuare.

Tutte le attività sono state svolte nel rispetto delle specifiche di cui agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7), versione 3.0 di ottobre 2013.

Si sottolinea che per quanto riguarda la definizione dei fattori di amplificazione richiesti per l’elaborazione delle carte di Microzonazione Sismica di secondo livello, si sono utilizzate le tabelle contenute nell’Allegato A2 della Delibera di Giunta Regionale 2193/2015.

A corredo dello studio di MS è stata condotta l’analisi della Condizione Limite dell’Emergenza (CLE) dell’insediamento urbano, nel rispetto degli standard di rappresentazione e archiviazione informatici, di cui al Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile 27.4.2012, n° 1755.

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

2.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO

Il territorio del comune di Ravarino si trova in Emilia Romagna e occupa la porzione nord-orientale della Provincia di Modena, al confine con la Provincia di Bologna (Figura 1 e Figura 2).



Figura 1 - Inquadramento Amministrativo regionale del territorio comunale di Ravarino

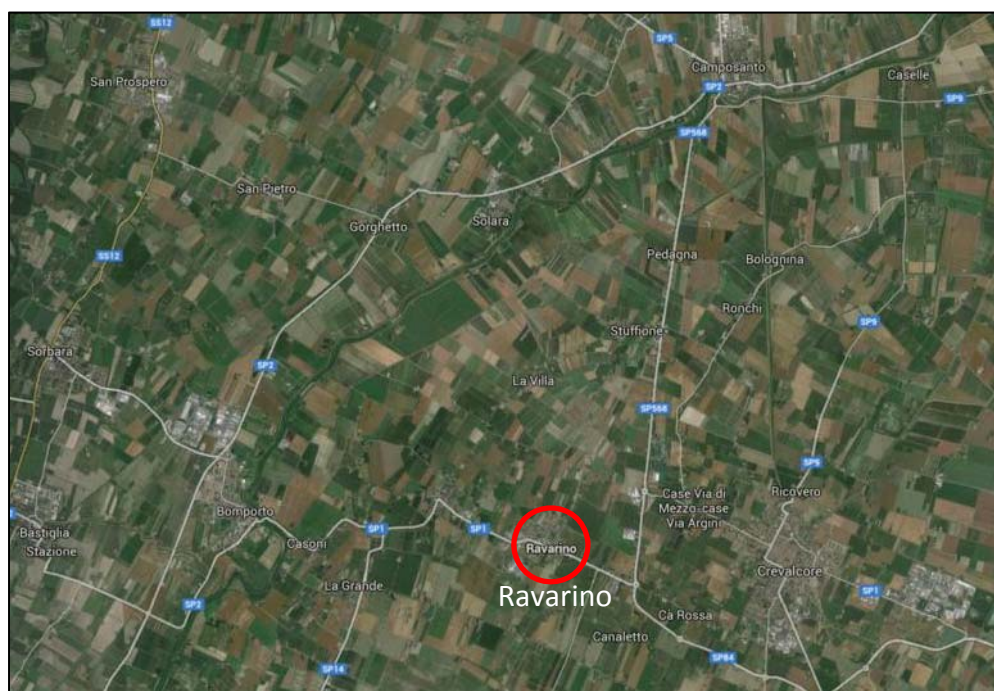


Figura 2 - Inquadramento geografico-fisico del territorio comunale di Ravarino (MO).

Il Comune di Ravarino ha un'estensione di 28,56 km² e presenta quote sul livello del mare comprese tra i 28 metri nella zona a ovest di Ravarino e i 18 metri nella zona a nord della frazione di Stuffione.

L'area ricade nel Foglio Geologico a scala 1:50.000 denominato 202 "San Giovanni in Persiceto", nella Carta Tecnica Regionale ricade nelle 4 sezioni 1:10.000:

- 202010 "San Prospero Secchia"
- 202020 "Camposanto"
- 202050 "Bomporto"
- 202060 "Crevalcore"

E più precisamente nei 9 elementi 1:5.000:

- 202012 "San Pietro in Elda"
- 202021 "Camposanto"
- 202022 "Bolognina"
- 202023 "Solara"
- 202024 "Il Bottegone"
- 202051 "Bomporto Est"
- 202052 "La Grande"
- 202063 "Ravarino Sud"
- 202064 "Ravarino Nord"

Elementi usati come base cartografica per gli elaborati cartografici.

Il clima è caratterizzato, nel periodo 1961 – 1990, da precipitazioni totali medie annue e da temperature medie annue rispettivamente di 648 mm e 13,2°C. Enel periodo 1991–2008 rispettivamente di 613 mm e 14,6°C (Arpa, Emilia Romagna – 2013).

2.2. INQUADRAMENTO TETTONICO

Il dato di partenza per un'analisi della potenzialità sismica di un territorio è certamente la ricostruzione delle strutture tettoniche maggiormente attive nel tempo geologico più recente, all'incirca l'ultimo milione di anni (neotettonica). Sono queste le strutture che possono, se confermate anche da dati macrosismici e/o sismologici, ragionevolmente costituire sorgente di terremoti anche nel prossimo futuro.

L'analisi neotettonica di un'area si esegue attraverso l'esame di una serie innumerevole di dati di natura geologica, morfoneotettonica, idrogeologica, e idrochimica, che concorrono a definire, appunto, il regime tettonico di quell'area (Figura 3), con l'individuazione di strutture geologiche rilevanti, per giungere eventualmente alla definizione del loro potenziale sismogenetico, il potenziale, cioè, di generare terremoti.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

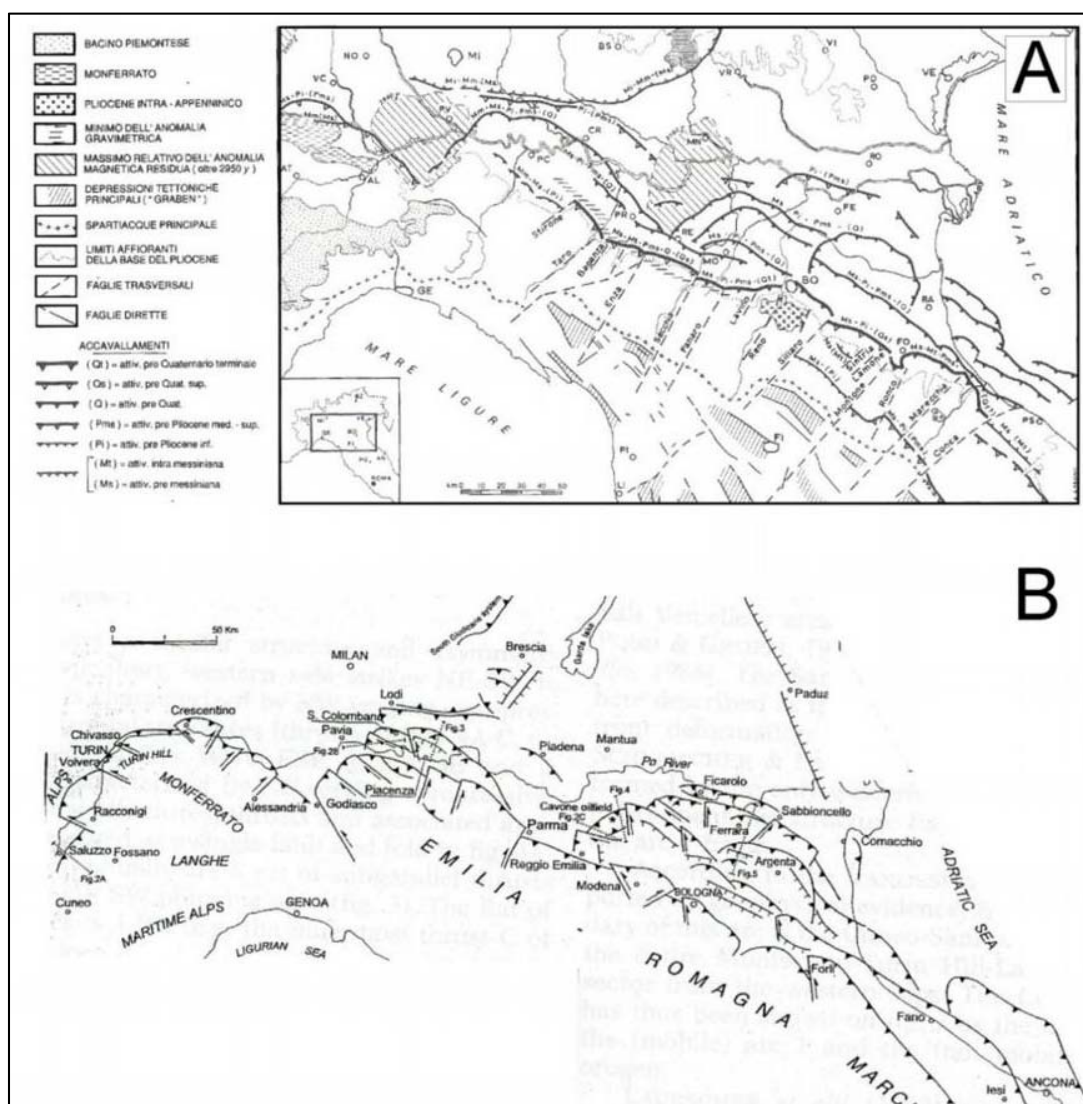


Figura 3 – Quadro delle principali strutture tettoniche riconosciute nella parte sepolta dell'Appennino settentrionale attraverso i dati di sottosuolo (perforazioni profonde e linee sismiche). A) Assetto strutturale ed età dei principali lineamenti secondo Castellarin et alii (1985). B) Schema dei lineamenti attivi prima del Pliocene secondo Costa (2003) (Fonte: Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana - Università di Siena)

Il territorio comunale di Ravarino appartiene al settore orientale della Pianura Padana la cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi.

Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti, dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Strutturalmente l'area in esame ricade tra il fronte di accavallamento esterno e quello interno dell'Appennino sepolto in un settore centrale contraddistinto dalla presenza della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia a sud dell'area e le Faglie Ferraresi a nord.

Il territorio comunale di Ravarino ricade nella sua quasi totalità nel Bacino di Carpi-Cento (Figura 4).

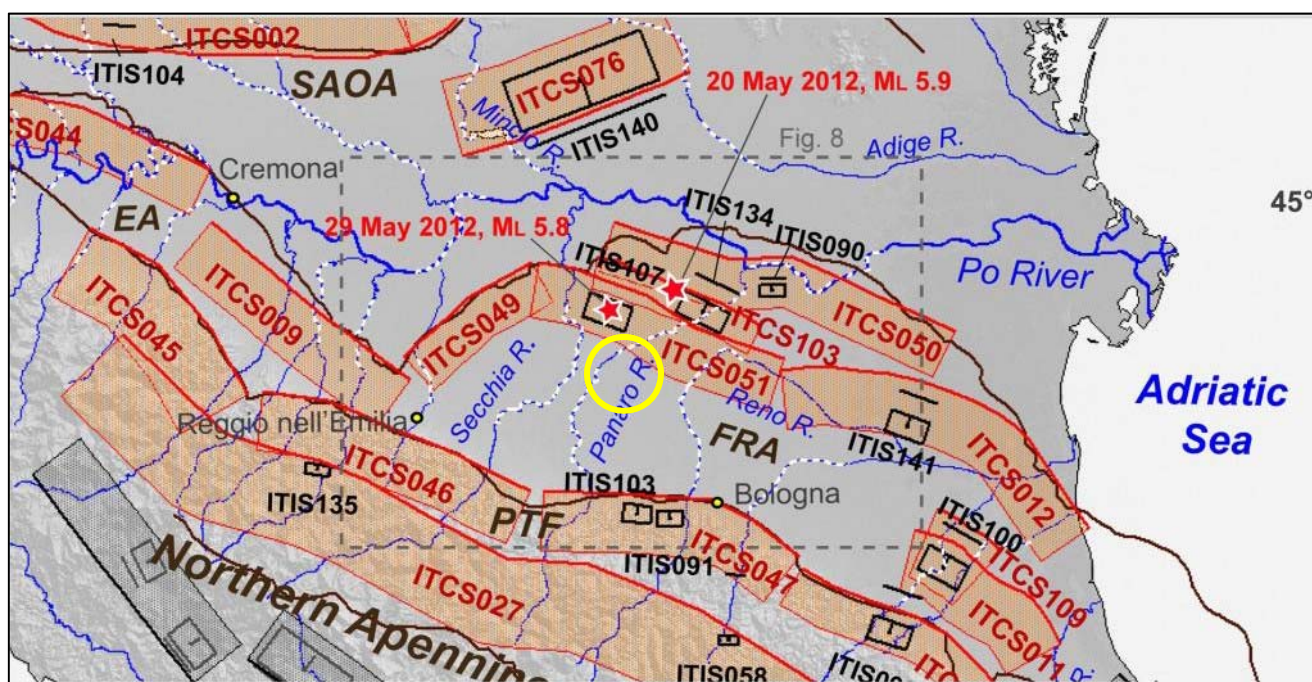


Figura 4 – Sorgenti sismogenetiche della pianura padana con l'ubicazione nel cerchio giallo del Comune di Ravarino (Fonte: "The seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a blind Faulting Domain – Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise).

A causa del suo comportamento prevalentemente rigido la monoclinale padana non sembra essere stata interessata dalle deformazioni legate alla fase parossistica terziaria sebbene alcuni ricercatori abbiano riconosciuto blandi fenomeni di compressione esercitati dal Fronte Appenninico. L'evoluzione del bacino padano vede, a partire dal Messiniano, la quasi completa cessazione dei movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord-Est del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord Appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico risente in modo consistente di tali movimenti. Il margine settentrionale risente invece in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione di strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati a movimenti eustatici.

2.3. CARATTERISTICHE SISMOTETTONICHE

Un passo fondamentale nella valutazione del rischio sismico di un'area è l'identificazione delle faglie attive.

Sebbene esistano, infatti, strutture a scorrimento lento asismico (fault creep o tectonic creep), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia possa attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società.

D'altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica. Così una delle definizioni più comunemente accettata è quella della U.S Nuclear Regulatory Commission (1982), che definisce attive le faglie che presentano un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

Un elenco delle sorgenti sismogenetiche e delle faglie potenzialmente attive e capaci è contenuto nel DISS 3.1.1, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area italiana¹.

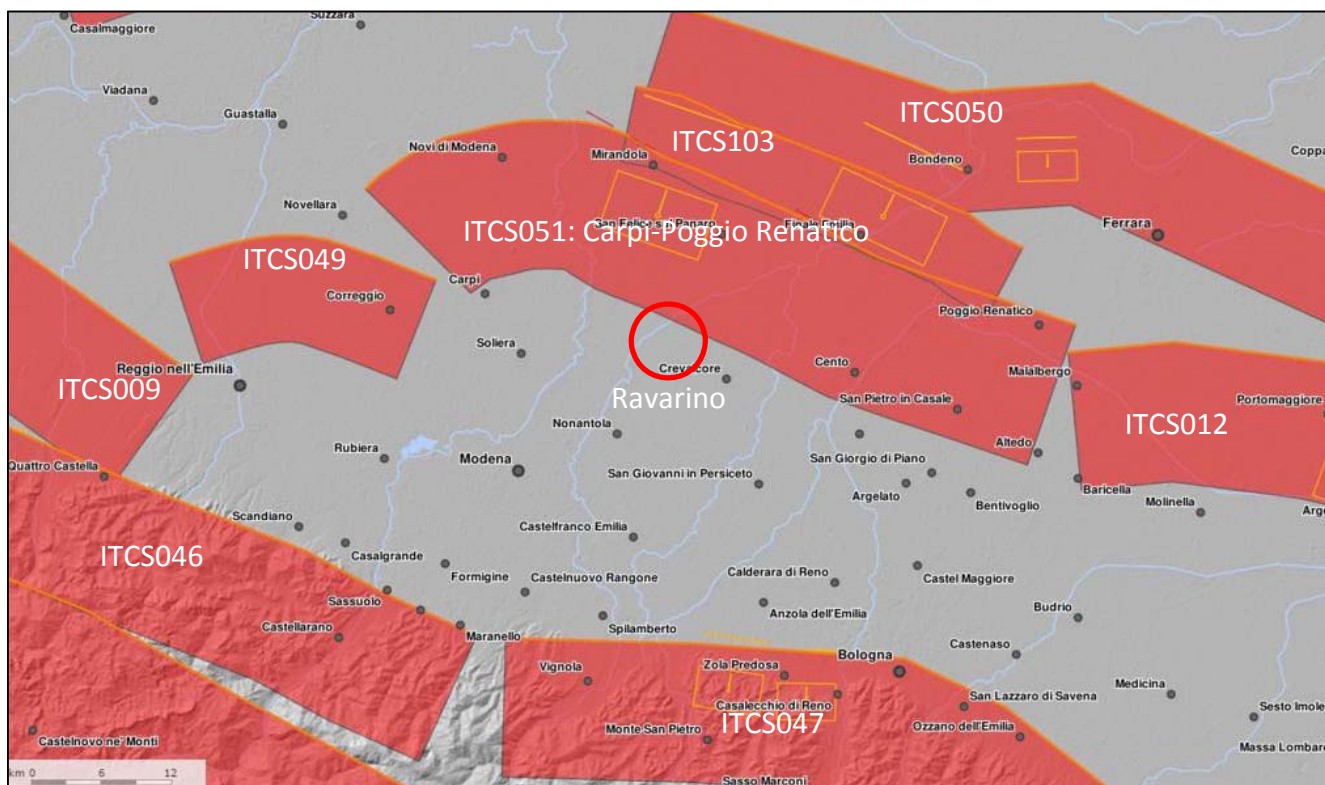


Figura 5 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.1.1 più significative per il Comune di Ravarino

Con riferimento all'immagine di Figura 5 le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell'area in studio, ossia quelle che hanno interessato il Comune di Ravarino con un'intensità al sito (MCS) pari o superiore a 4, sono:

- Sorgente Sismogenetica "ITCS051 – Novi-Poggio Renatico", l'unico che lambisce il Comune di Ravarino nella parte più a Nord al confine con Camposanto. Ha una magnitudo massima attesa di $M_w=6$, a cui è associata la faglia: "78-Mirandola";
- Sorgente Sismogenetica "ITCS103 – Finale Emilia-Mirabello", a Nord-Est del Comune di Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=6.1$;
- Sorgente Sismogenetica "ITCS050 – Poggio Rusco-Migliarino", a Nord-Est del Comune di

¹ 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.

- Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=5.5$;
- Sorgente Sismogenetica "ITCS049- Campegine-Correggio", a Ovest del Comune di Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=5.5$;
- Sorgente Sismogenetica "ITCS009- Busseto-Cavriago", a Ovest del Comune di Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=5.6$;
- Sorgente Sismogenetica "ITCS046- Langhirano-Sassuolo", a Sud-Ovest del Comune di Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=5.9$;
- Sorgente Sismogenetica "ITCS047- Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme", a Sud del Comune di Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=6$;
- Sorgente Sismogenetica "ITCS012- Malalbergo-Ravenna", a Nord del Comune di Ravarino, che ha magnitudo massima attesa di $M_w=6$;

Descrivendo nel dettaglio, quindi, la sorgente sismogenetica che in maggior modo può caratterizzare la sismicità locale, il territorio comunale di Ravarino ricade parzialmente, come detto, all'interno della sorgente sismogenetica composita ITCS051 "Novi-Poggio Renatico", ritenuta capace di produrre sismi con M_w massima pari a 6 (derivata dalla massima magnitudo delle sorgenti sismogenetiche individuali in essa comprese). La geometria di questa sorgente sismogenetica è determinata dalla geometria delle singole sorgenti individuali in essa contenute: la profondità varia da un minimo di 2 km ad un massimo di 10 km; lo strike varia da 50° a 120° ; il dip varia da 25° a 45° verso SO; il rake è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento che va da 80° a 100° sulla base di considerazioni geodinamiche generali; la slip rate varia da 0,5 ad 1,04 mm/anno.

All'ITCS051 sono associate anche le seguenti Faglie attive: "78-Mirandola"; "79-Canalazzo di Finale Emilia" e "80-Concordia" (Cataldini et al.-1979).

2.4. STORIA SISMICA

Se si analizza la sequenza storica degli effetti macrosismici registrati nel territorio comunale dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani - Database Macrosismico Italiano DBMI11 dell'INGV - si nota come importanti effetti si siano registrati anche in relazione ad epicentri lontani dal territorio comunale. Di seguito in Figura 6 viene riportata la storia sismica del Capoluogo, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5, così come estratte dal DBMI11 dell'INGV.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

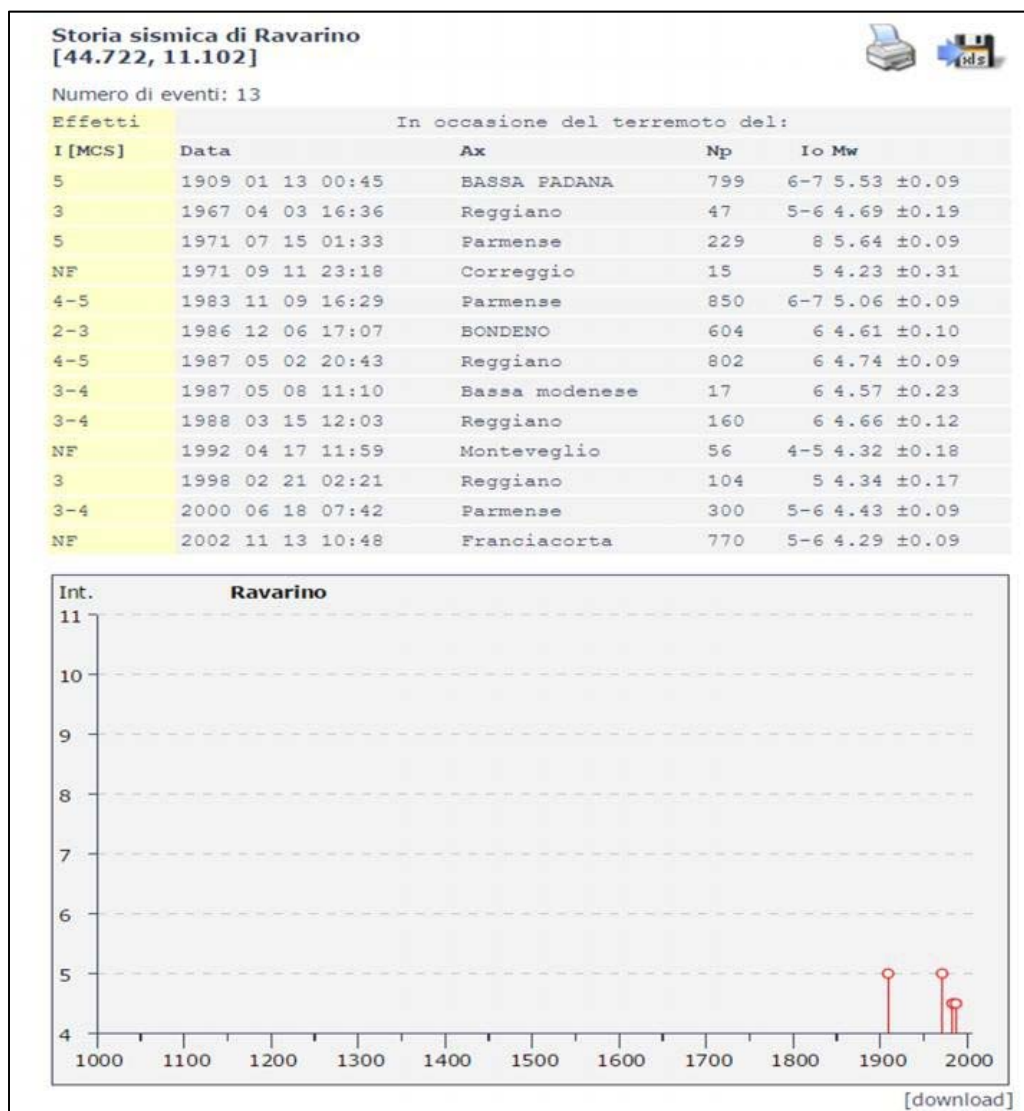


Figura 6 – Eventi sismici storici che hanno interessato il comune di Ravarino (Fonte INGV- DBMI11). Legenda: I – Intensità al sito (MCS); Io – Intensità epicentrale (MCS); Mw – Magnitudo momento (epicentrale); Ax – Area epicentrale; Np – Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto.

Dai dati si evince come le massime intensità macrosismiche registrate (in gradi MCS) corrispondano:

- al terremoto del 13 gennaio 1909, con area epicentrale nella bassa padana, intensità epicentrale pari a 6-7 MCS e magnitudo momento pari a 5.53;
- al terremoto del 15 luglio 1971, con area epicentrale nel Parmense, intensità epicentrale pari a 8 MCS e magnitudo momento pari a 5.64;
- al terremoto del 9 novembre 1983, con area epicentrale nel Parmense, intensità epicentrale pari a 6-7 MCS e magnitudo momento pari a 5.06;
- al terremoto del 2 maggio 1987, con area epicentrale nel Reggiano, intensità epicentrale pari a 6 MCS e magnitudo momento pari a 4.74.

In generale, le intensità macrosismiche al sito di maggior grado (tra cui 4 è il valore più ricorrente), sul

territorio comunale, sono dovute a terremoti con epicentri localizzati nel Parmense, nel Reggiano e nella Bassa Padana, registrati a partire dall'inizio del XX secolo ad oggi.

Intensità al sito di grado < 4 sono dovute a terremoti con epicentri localizzati nel Reggiano, nel Parmense, nella Bassa Modenese e nella zona di Bondeno.

In ogni caso, trattando, in questa sede, della sismicità dell'intero territorio comunale, l'inserimento dei forti eventi sismici di maggio 2012 risulta comunque necessario per completare il quadro della sismicità storica dell'area in esame.

I Terremoti riportati in Figura 6 sono sempre riferiti a sismi d'intensità inferiore rispetto a quello, più recente e non registrato nel DBMI11, verificatosi il 20 maggio 2012 alle ore 4:03, con epicentro Mirandola (MO), in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter.

Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse, (1437 fino al 4 giugno - Fonte INGV) di cui 6 di magnitudo superiore a 5. In Figura 7 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.

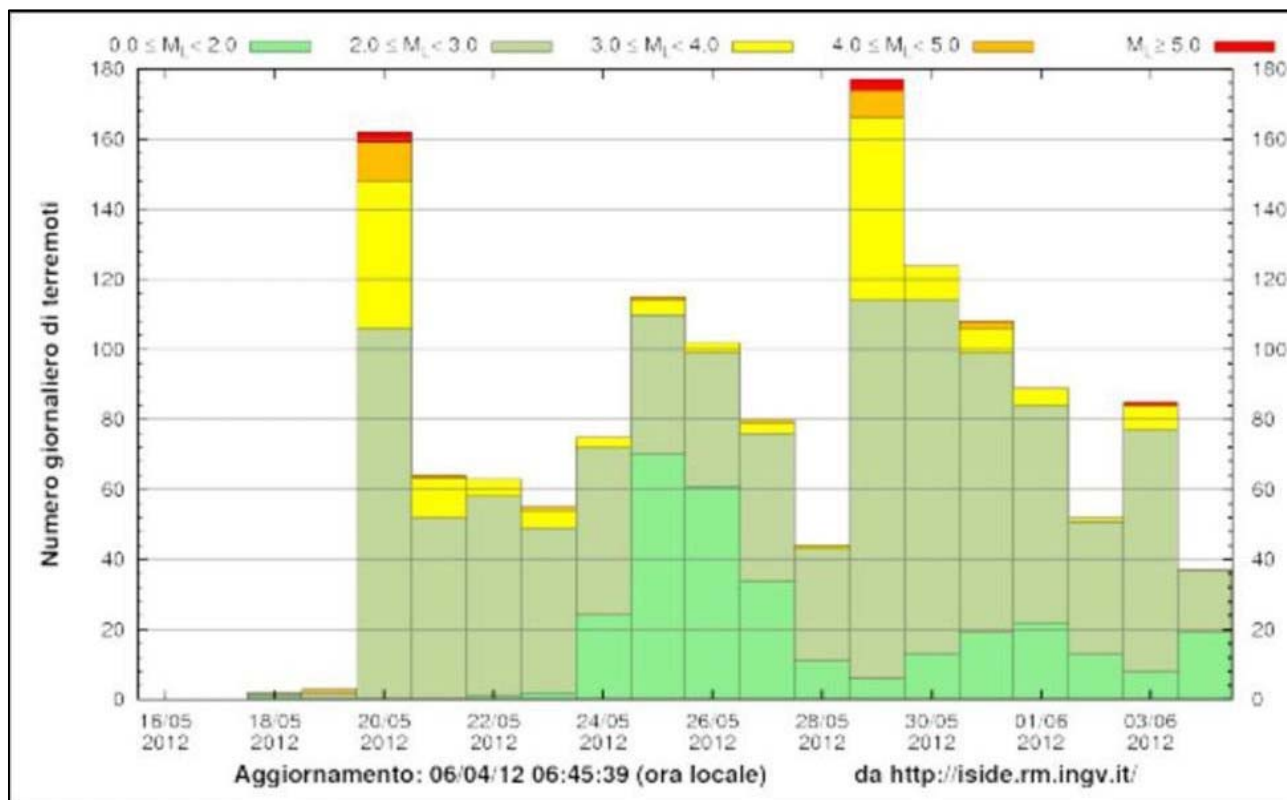


Figura 7 - Sequenza sismica dal 20 maggio al 4 giugno 2012.

In Figura 8 è riportata la distribuzione spaziale dei sismi con magnitudo maggiore di 4. Come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale (5-10 Km).

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

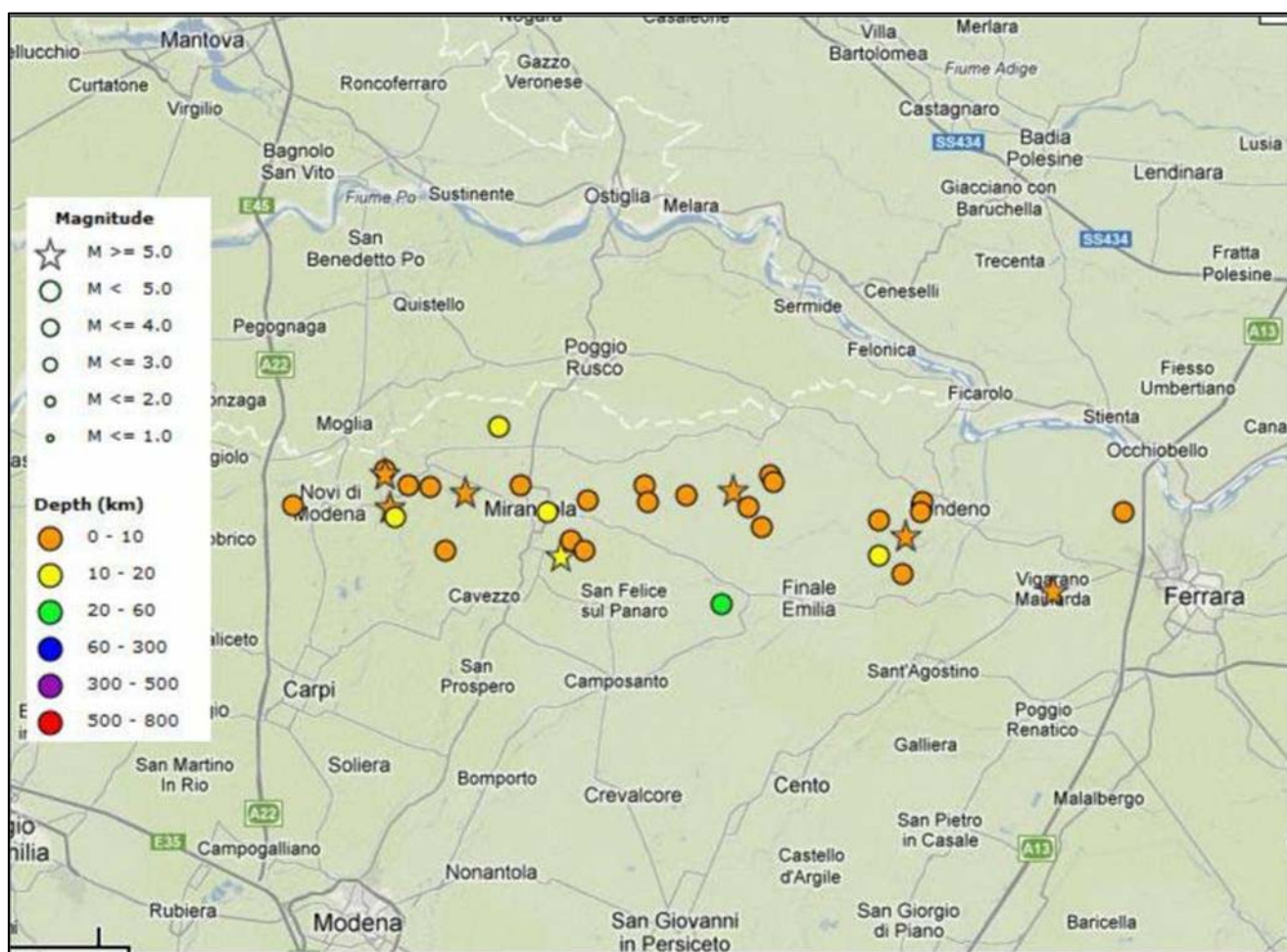


Figura 8 - Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo > 4 (da: <http://iside.rm.ingv.it>)

L'elaborazione dei dati della rete sismica nazionale ha consentito ad INGV di verificare che il sisma è legato ad un meccanismo di tipo compressivo, con direzione di massima compressione nord-sud. Tale meccanismo è compatibile con la "struttura di Mirandola", faglia già valutata come potenziale sorgente sismogenetica, con magnitudo massima attesa pari a 6 della scala Richter.

In Figura 9 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto.

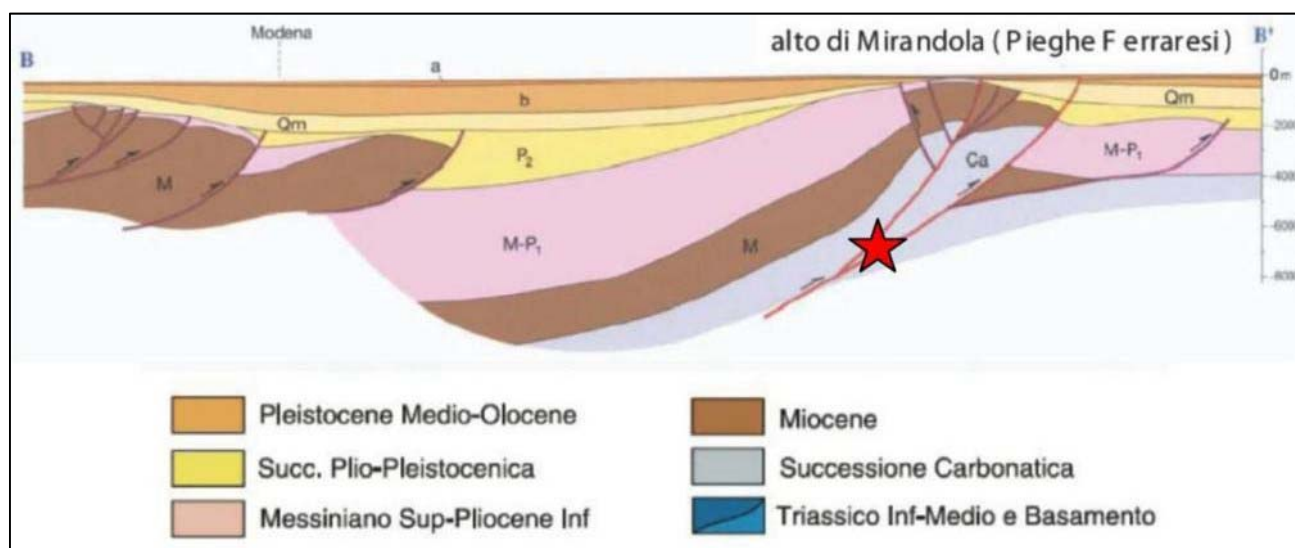


Figura 9 - Schema delle strutture sismogenetiche (la stella indica la probabile ubicazione dell'ipocentro) - da INGV - Relazione sul terremoto del 20 maggio 2012

L'evento di magnitudo $M_w=5.9$ del 20/5/2012 è stato risentito in tutto il nord-Italia e le shakemap calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a $0.3g$, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità (Figura 10). Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma del 29/5/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.8 della scala Richter.

Questi valori sono tuttavia stimati in quanto non vi sono dati da stazioni sismiche poste all'epicentro stesso o negli immediati paraggi per cui sono da ritenersi solo indicativi.

La stazione di registrazione più vicina (appartenente alla Rete Accelerometrica Nazionale), ubicata a Mirandola (MRN), si trova ad una distanza di 13.3 km dall'epicentro dell'evento più significativo (20 maggio). Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di $0.309g$, e, come mostrato in Figura 11 corrisponde alla componente verticale (UP-DOWN). Inferiori risultano i picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST -EST).

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

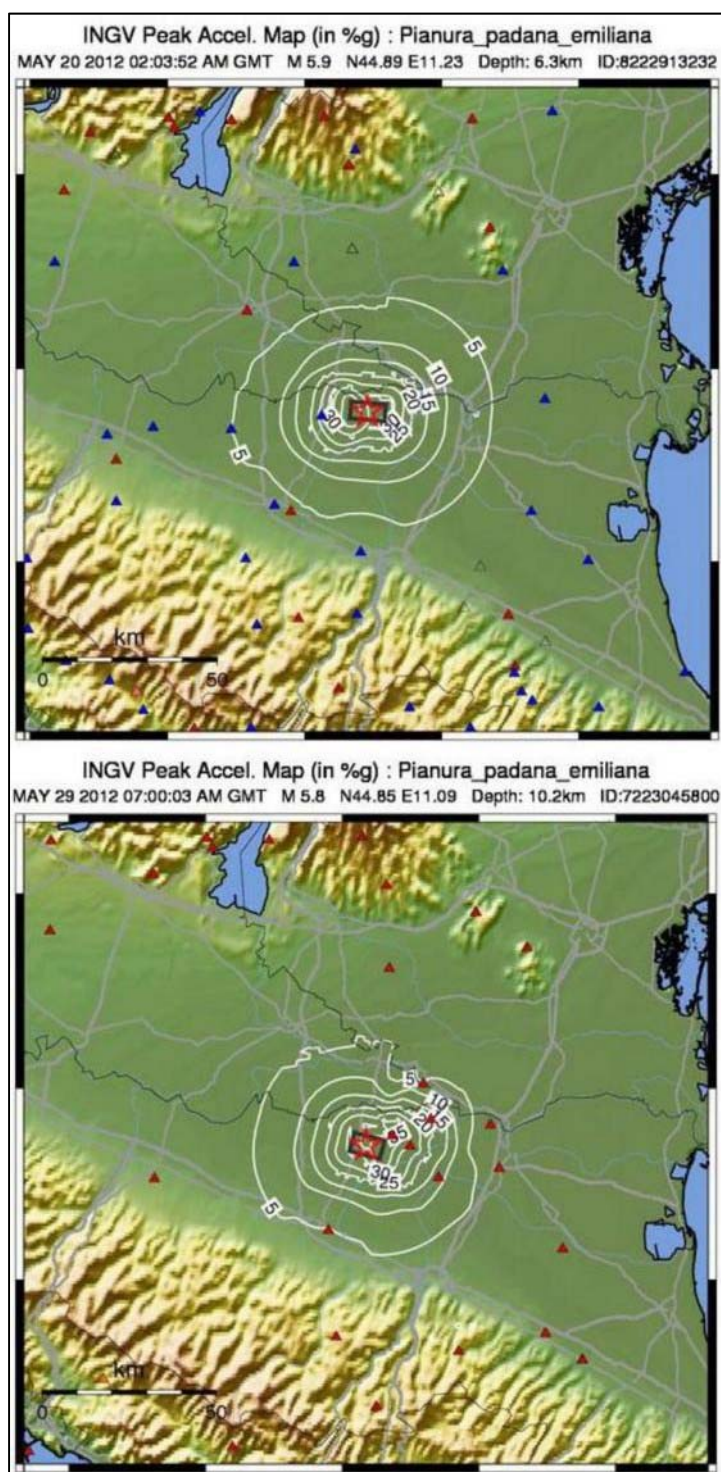


Figura 10 - Mappe di accelerazione massima stimata al suolo (in %g) per i sismi del 20 e 29 maggio 2012

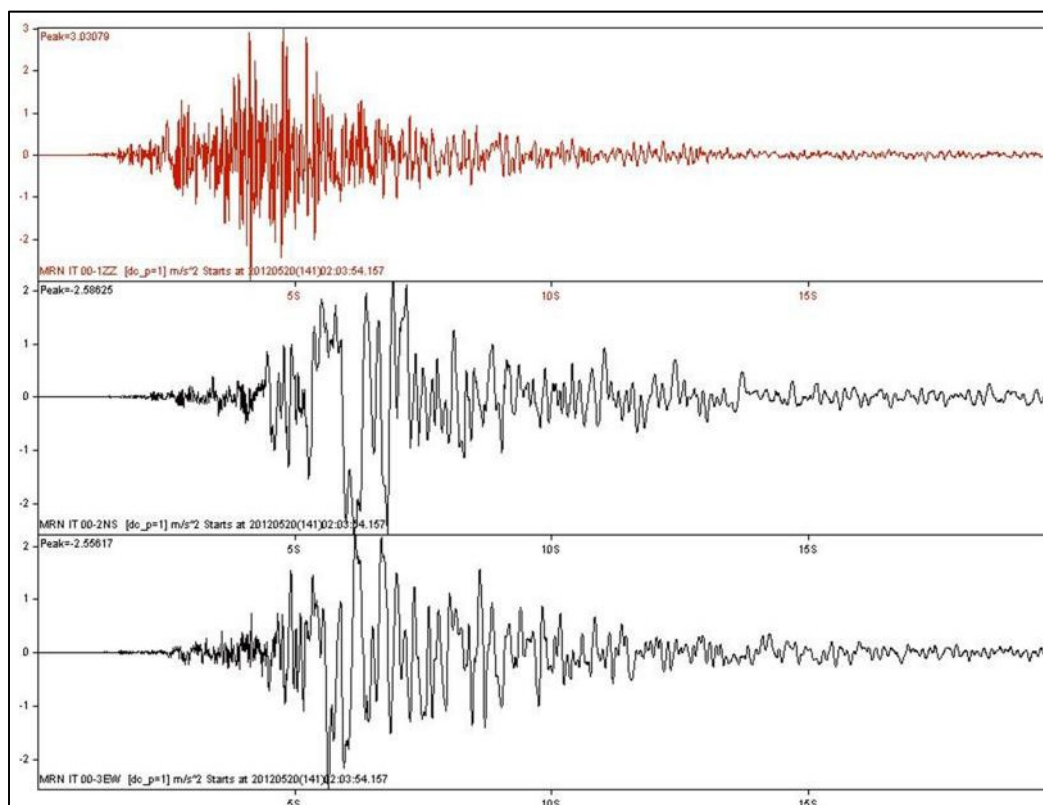


Figura 11 – Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s/s, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (www.protezionecivile.gov.it)

La sequenza sismica ha prodotto gravi danni in una vasta area delle province di Modena, Ferrara, Mantova e Bologna. In particolare appaiono gravemente danneggiate, in prossimità delle aree epicentrali, le strutture storiche in mattoni ed i capannoni industriali prefabbricati in c.a.

2.5. CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNALE

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta nel 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tabella 1), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Zona	Valori massimi di ag
1	>0,25
2	0,15 ÷ 0,25
3	0,05 ÷ 0,15
4	<0,05

Tabella 1 - Valori di accelerazione orizzontale associati a ciascuna zona sismica

Dal punto di vista sismico, al comune di Ravarino è stata assegnata la classe 3, cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0,05*g e 0,15*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

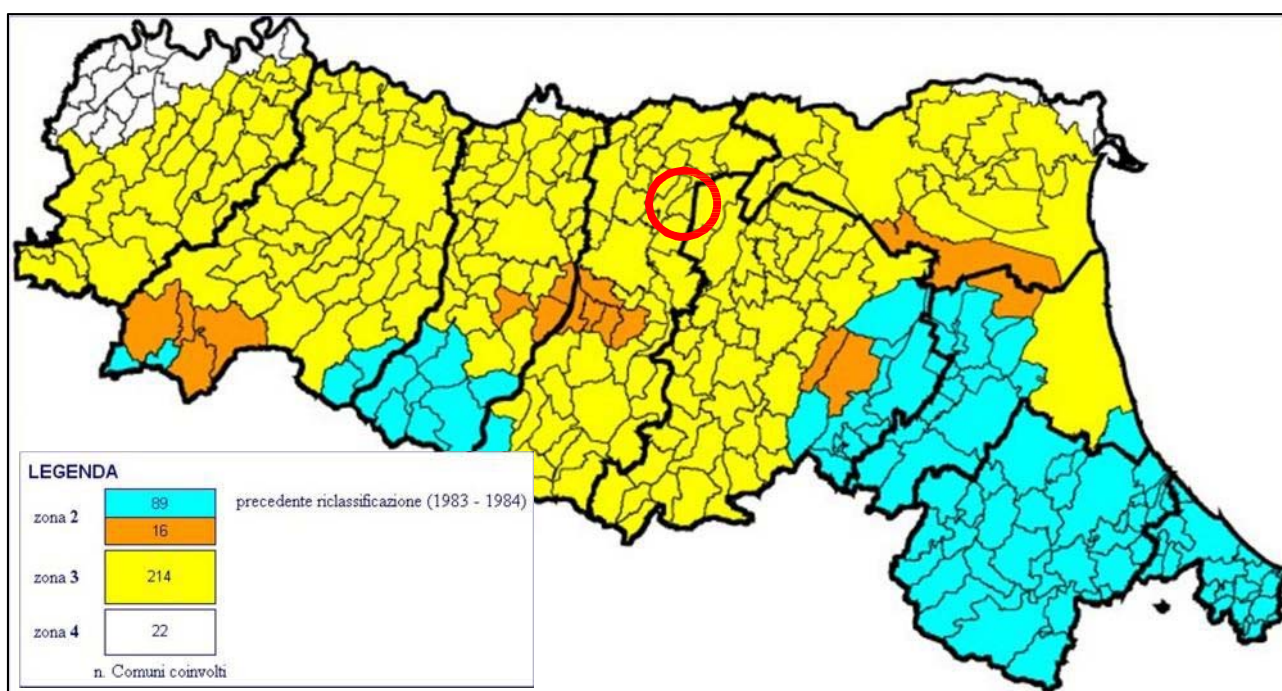


Figura 12 - Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna. Nel cerchio rosso il Comune di Ravarino.

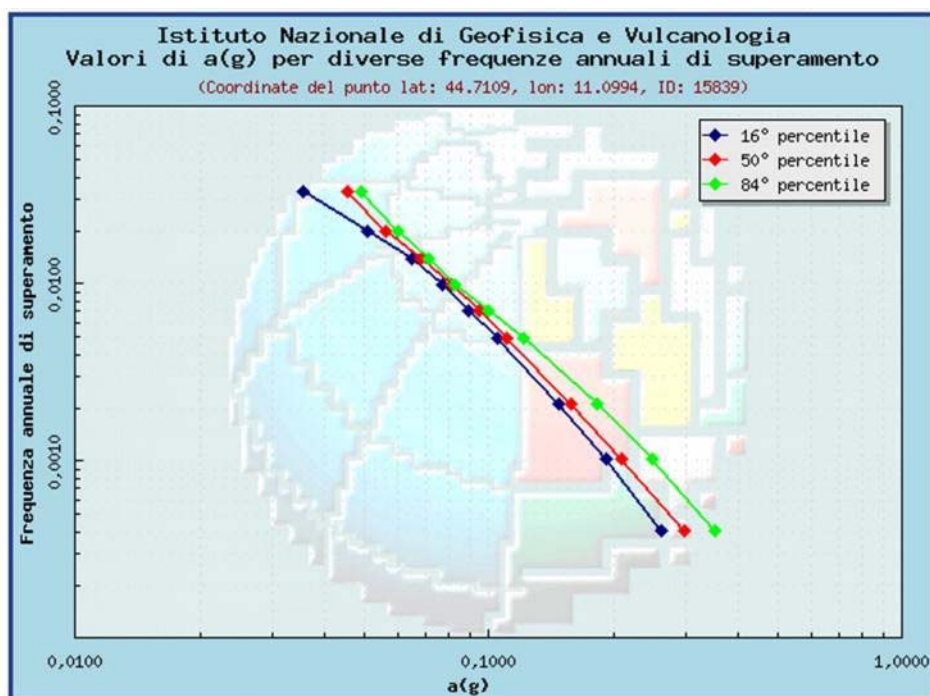
Sulla base dell'analisi di pericolosità effettuata dall'INGV², nel Comune di Ravarino il valore di PGA atteso, con 10% di probabilità di superamento in 50 anni, è pari a 0,157g (pari ad una frequenza di superamento annuale di 0,0021).

Questo valore (0,157g) è al limite della classe 3, poiché sarebbe 0,007g al di sopra del valore massimo per questa classe (0,015g), ma essendoci un 0,025g di range entro il quale la Regione ha facoltà di valutare e decidere se il Comune può ricadere nella zona superiore o inferiore, la classificazione della Regione Emilia Romagna assegna al Comune di Ravarino la classe 3 (Figura 12).

La disaggregazione del valore di ag con la medesima probabilità di eccedenza (Figura 13) mostra come il contributo percentualmente maggiore (25-30%) alla pericolosità sismica di base del territorio comunale sia determinato da sismi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5, con epicentro nei primi 10 km di distanza dal territorio comunale, in grado di produrre PGA pari a 0,264g.

² <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA



Frequenza annuale di superamento	a(g) (Coordinate del punto lat: 44.7109, lon: 11.0994, ID: 15839)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2615	0.2975	0.3512
0.0010	0.1923	0.2097	0.2484
0.0021	0.1478	0.1575	0.1825
0.0050	0.1044	0.1107	0.1212
0.0071	0.0894	0.0946	0.0998
0.0099	0.0770	0.0809	0.0827
0.0139	0.0651	0.0684	0.0717
0.0200	0.0506	0.0563	0.0604
0.0333	0.0355	0.0454	0.0489

Figura 13 - Valore di PGA atteso per il territorio comunale di Ravarino con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, calcolato dallo studio di pericolosità sismica dell'INGV.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

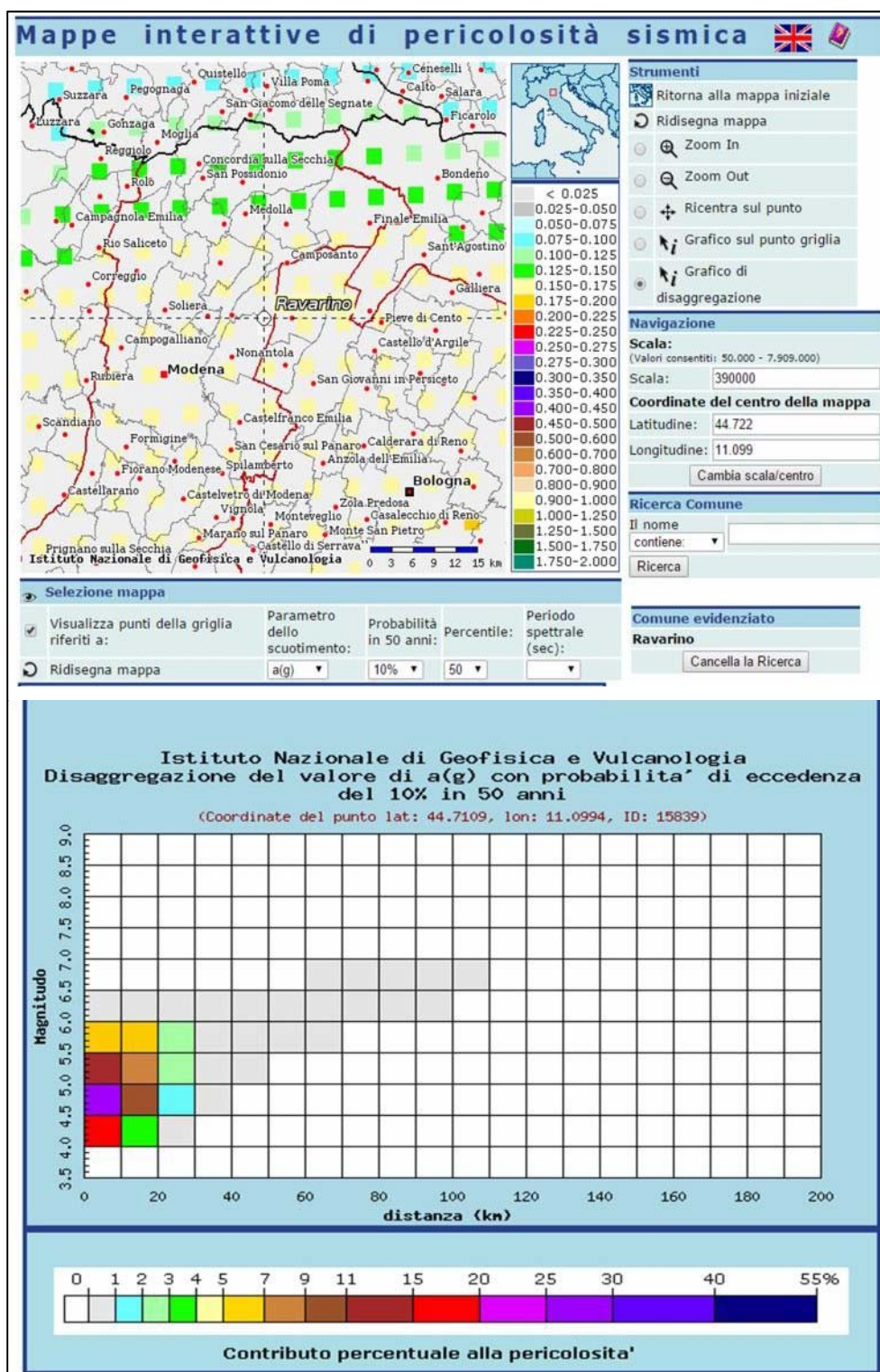


Figura 14 - Disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il territorio comunale di Ravarino.

Come si può notare dalla Figura 14 e Figura 15, il contributo del 15–20% alla pericolosità sismica di base del territorio comunale è dato dalla coppia (Mw 4–4.5; epicentro 0–10 km), in grado di produrre PGA pari a 0,151g. Contributi percentuali minori alla pericolosità (11–15% e 9–11%) sono dati, rispettivamente, dalle coppie (Mw 5–5.5; epicentro 0–10 km) e (Mw 4.5–5; epicentro 10–20 km), in grado

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

di produrre PGA pari a 0,138g e 0,102g. Il contributo del 7-9% alla pericolosità sismica di base del territorio comunale è dato dalla coppia Mw 5-5.5; epicentro 10-20 km, in grado di sviluppare PGA pari a 0,089g. Solo il 5-7% di contributo alla pericolosità sismica di base è dato dalla coppia (Mw 5.5-6; epicentro 0-20 km), in grado di produrre PGA pari a 0,061g. Infine il contributo del 3-4% alla pericolosità sismica di base del territorio comunale è dato dalla coppia Mw 4-4.5; epicentro 10-20 km, in grado di sviluppare PGA pari a 0,038g.

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7109, lon: 11.0994, ID: 15839)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	15.100	26.400	13.800	6.190	0.698	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.820	10.200	8.920	6.110	0.846	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.174	1.450	2.440	2.290	0.327	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.033	0.385	0.604	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.019	0.132	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.009	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.980	9.590	0.727

Figura 15 - Griglia di disaggregazione del valore di ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il territorio comunale di Ravarino.

Per quanto riguarda invece i terremoti del 20/5/2012 e del 29/5/2012 sono state costruite due carte con i rispettivi valori di PGA che si sono riscontrati nell'area comunale di Ravarino prendendo spunto dagli shapefile dell'evento scaricati dal sito Italy Shake Map-INGV.

Per il terremoto del 20 Maggio i valori di PGA che ricadono nell'area comunale sono (Figura 16):

- PGA = 0,24g nella parte più a Nord del Comune
- PGA = 0,2g
- PGA = 0,16g
- PGA = 0,12g
- PGA = 0,08g nella parte più a Sud del Comune

I valori di PGA diminuiscono dall'alto verso il basso poiché l'epicentro del terremoto è avvenuto a Nord del Comune di Ravarino.

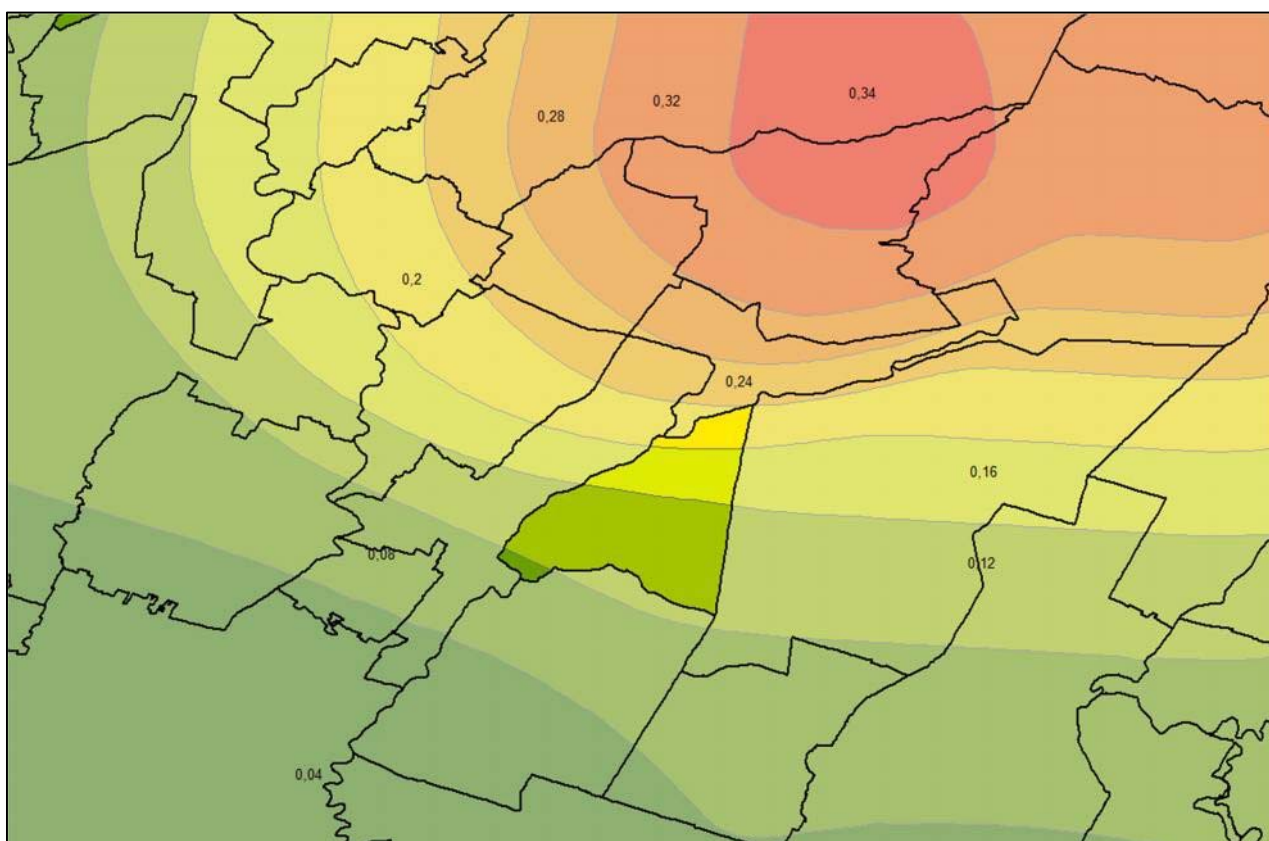


Figura 16 – Carta con i valori di PGA del terremoto del 20/5/2012 con evidenziato il Comune di Ravarino (Fonte: Italy Shake Map-INGV)

Per il terremoto del 29 Maggio invece, i valori di PGA che ricadono nell'area comunale sono (Figura 17):

- PGA = 0,28g nella parte più a Nord del Comune
- PGA = 0,24g
- PGA = 0,2g
- PGA = 0,16g
- PGA = 0,12g
- PGA = 0,08g nella parte più a Sud del Comune

Si può facilmente notare come per il Comune di Ravarino abbia avuto più alti valori di PGA il terremoto

del 29 Maggio rispetto a quello del 20 Maggio, nonostante quello del 20 Maggio abbia una Magnitudo della Scala Richter maggiore (5.9M_L) rispetto a quello del 29 Maggio (5.8 M_L).

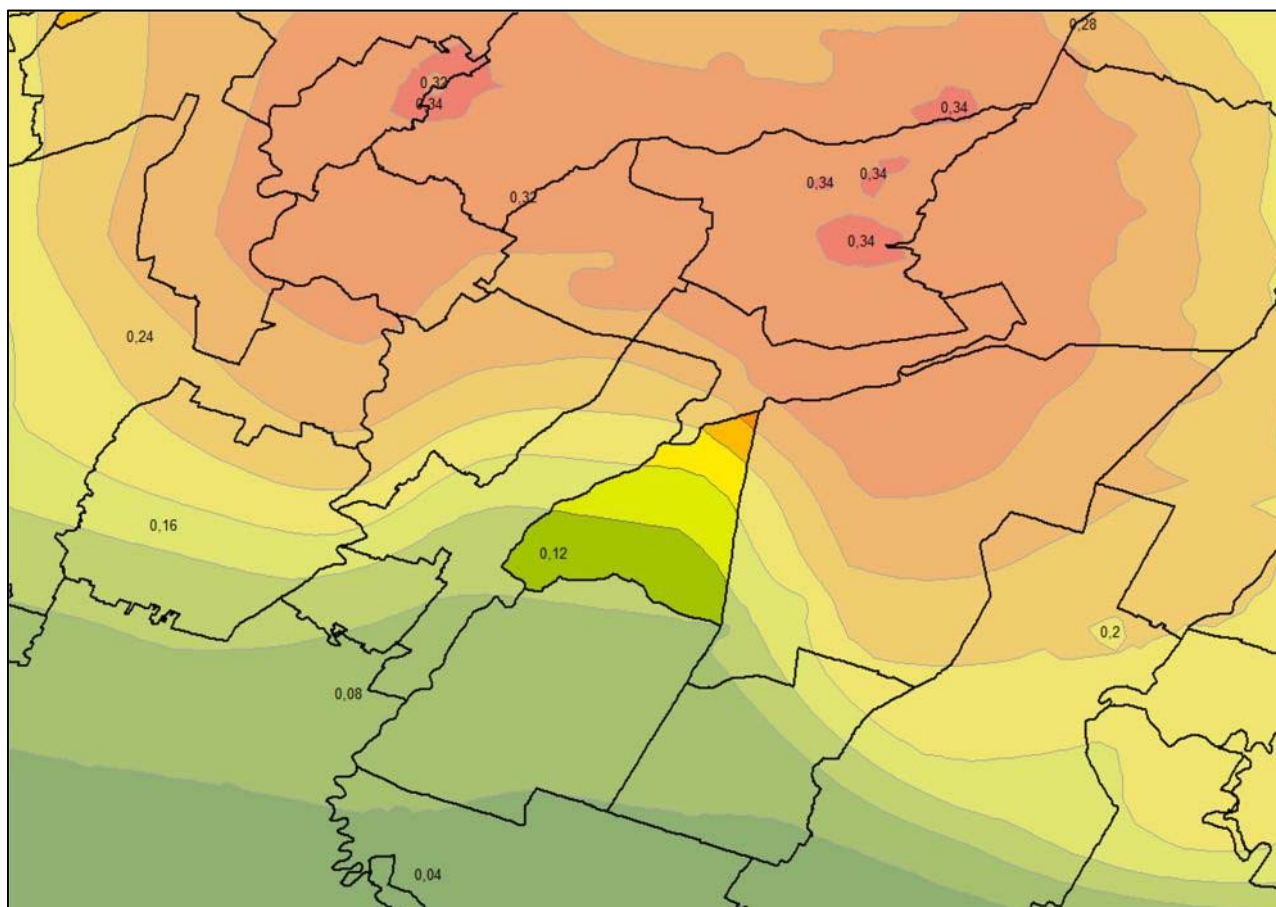


Figura 17 - Carta con i valori di PGA del terremoto del 29/5/2012 con evidenziato il Comune di Ravarino (Fonte: Italy Shake Map-INGV)

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per la descrizione degli aspetti geologici e geomorfologici caratteristici del territorio comunale di Ravarino si è scelto di prendere spunto dalla trattazione che di essi viene data nella relazione “Piano Strutturale Comunale – Quadro Conoscitivo – Comune di Ravarino” (a cura dello scrivente) per il redigendo Piano Strutturale Comunale del Comune di Ravarino; questo col duplice fine di rendere congruente la presente relazione con quello che diverrà lo strumento di pianificazione del Comune e di inquadrare il territorio comunale in un più ampio contesto geologico e geomorfologico.

3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1.1. LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI

Il territorio Comunale di Ravarino si sviluppa nell’area di media e bassa pianura modenese, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni dei fiumi Secchia e Panaro.

L’evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinarsi sin dall’inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; più in particolare, l’area ricade nel suo settore appenninico, in diretta influenza del Fiume Po e dei suoi affluenti di destra.

Nell’ambito del suddetto bacino, i terreni olocenici, di origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi ormai sufficientemente definiti in letteratura.

L’assetto geologico strutturale profondo della Pianura Padana è noto soprattutto grazie ai dati emersi dalle perforazioni profonde e dalle prospezioni geofisiche effettuate per le ricerche petrolifere esposti nelle pubblicazioni di Pieri & Groppi (1981) e Cassano ed altri (1986), nelle quali viene aggiornata la sintesi stratigrafica e strutturale dell’area e puntualizzati l’andamento, l’evoluzione e la cronologia degli eventi tettonici dei diversi comparti del bacino.

Dal punto di vista strutturale la Pianura Padana non costituisce una unità omogenea: fanno infatti parte del suo sottosuolo le pieghe più esterne dell’Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l’avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l’avampaese della Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l’avanfossa piocenico-quadernaria dell’Appennino.

In Figura 18 è riportato un estratto della “Carta degli elementi tettonici significativi dell’area Padana centro-orientale”, che mette in evidenza la presenza di un ampio bacino, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato “Bacino di Carpi” o meglio noto come “Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, collocata tra due grandi archi di pieghe, che costituiscono la porzione più esterna dell’Appennino settentrionale, rappresentati dalle “Zona delle pieghe pedeappenniniche”, a sud, più prossimali alla catena appenninica, e dalla “Dorsale di

Ferrara”, a nord; quest’ultima è caratterizzata da un’ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW.

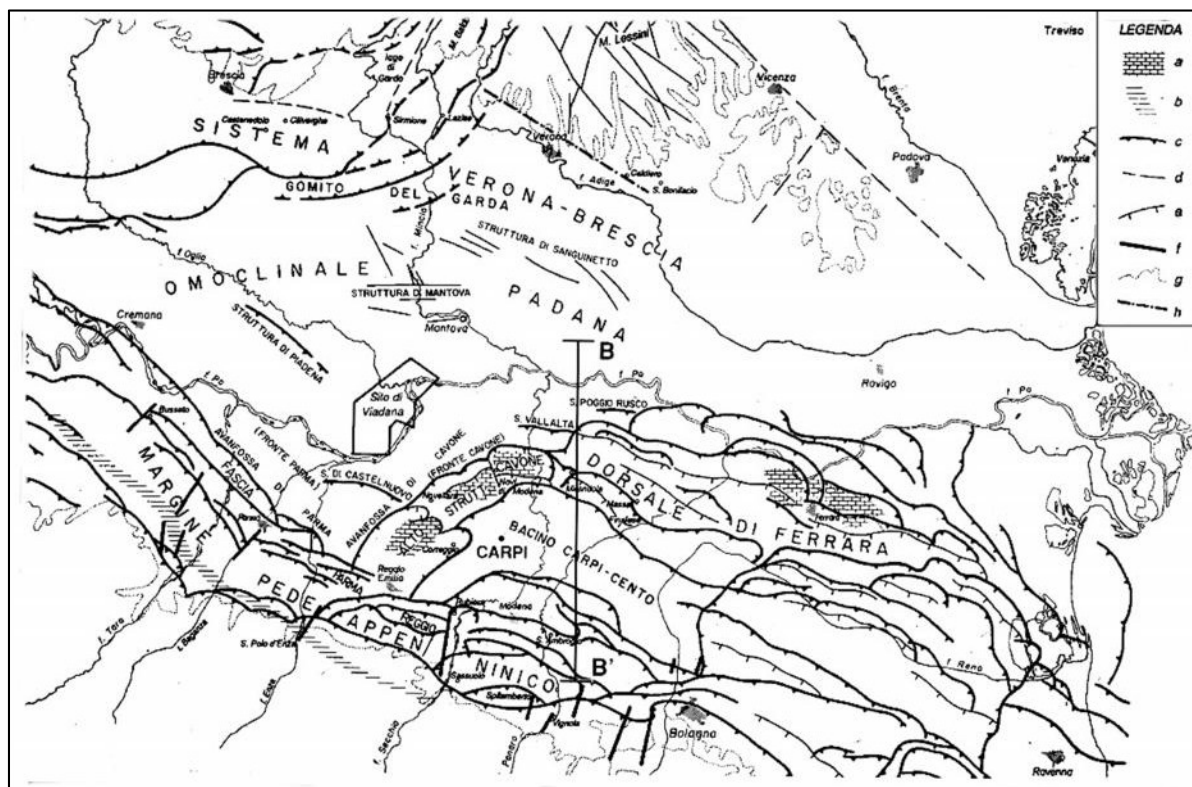


Figura 18 – Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale (Tratta da L. Serva-1990). Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona".

Lungo tali allineamenti, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m).

In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare tre zone principali:

- "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;
- "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana;
- "Zona della Dorsale Ferrarese", alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell’Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano che si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti crostali di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.

Per un quadro approfondito della tettonica padana e della genesi delle strutture arcuate al fronte delle pieghe, oltre alle pubblicazioni citate in precedenza, si rimanda al lavoro di Castellarin et alii (1985).

Da un punto di vista sedimentario, la sedimentazione terziaria e quaternaria in quest'area della pianura è stata essenzialmente detritica, si sono cioè deposte serie clastiche di considerevole spessore e solo nel Messiniano si riscontra un episodio evaporitico; si possono riconoscere essenzialmente due cicli di sedimentazione, distinguendo una zona marginale, in cui ad una deposizione clastica grossolana succedono sedimenti prevalentemente argillosi ed una zona centrale, in cui prosegue una sedimentazione torbidity indisturbata.

La deposizione sedimentaria presenta inoltre frequenti variazioni di facies, sia laterali che verticali, come risultato delle particolari condizioni strutturali venutesi a creare in vari settori della pianura in seguito all'evoluzione tettonica.

Alla deposizione della facies evaporitica miocenica superiore, corrisponde una fase di marcata regressione e ad essa si accompagna probabilmente una fase tettonica di notevole intensità.

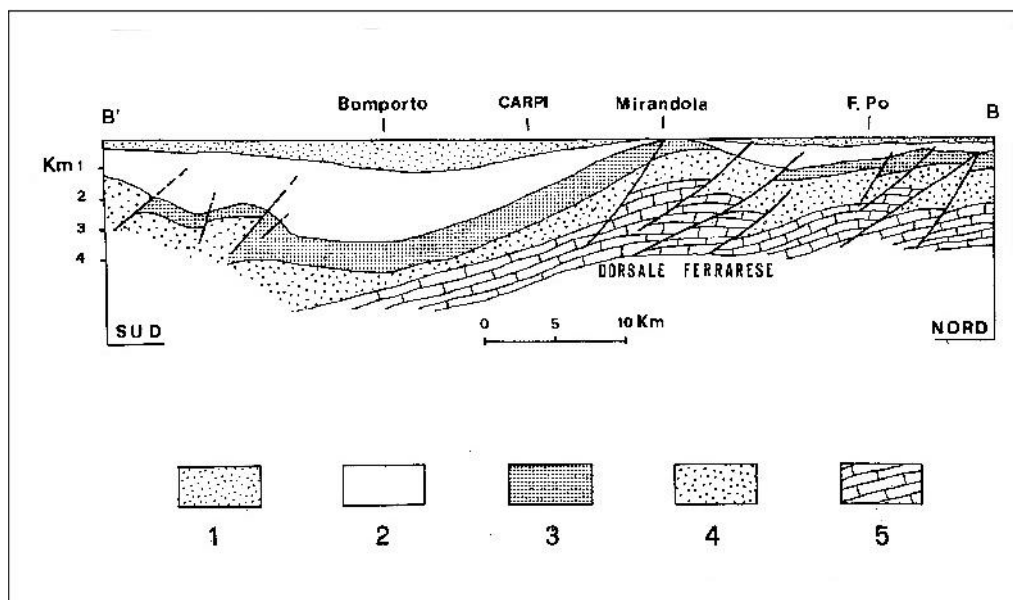


Figura 19 - Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa pianura modenese (Fonte: Pieri, 1980). Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) sedimenti marini del Pliocene superiore e Quaternario; 3) sedimenti marini del Pliocene inferiore; 4) sedimenti marini del Paleocene-Miocene; 5) formazioni calcaree marine del Mesozoico.

Il piegamento pedeappenninico e l'abbassamento del livello del mare, portano all'emersione delle culminazioni delle principali anticlinali, tra le quali la Dorsale Ferrarese (Figura 19), ove s'instaurano rilevanti processi erosivi che provocano la scomparsa di spessori, anche notevoli, di sedimenti.

Nel tardo Messiniano e nel Pliocene inferiore si manifesta un graduale innalzamento del livello delle acque del bacino, che porta al ristabilimento graduale delle condizioni che regnavano in precedenza; come conseguenza si ha la deposizione di successioni trasgressive su aree precedentemente emerse, mentre nelle zone sinclinaliche continuano a deporsi sedimenti torbidity.

Al termine del Pliocene inferiore un'accentuata attività tettonica porta ad un nuovo piegamento e sollevamento dell'area e quindi all'accentuarsi di alcune strutture preesistenti; nelle aree

altimetricamente più elevate, tra cui Camurana ed altri tratti della Dorsale Ferrarese, s'instaurano sensibili fenomeni erosivi.

Con il Pliocene medio inizia una nuova ingressione marina di limitata entità, che comporta la deposizione, nelle aree sinclinaliche, di depositi torbiditici grossolani.

Il Quaternario segna un abbassamento regionale all'interno del bacino padano, accentuandosi ulteriormente la subsidenza differenziale delle diverse strutture; la potenza dei sedimenti del Quaternario varia da oltre 1000 m nelle aree meridionali a meno di 200 m o completa assenza, in quelle settentrionali. La diversità di spessore è imputabile alla marcata differenza di subsidenza cui l'area in oggetto è stata sottoposta durante il Quaternario.

Il Quaternario si chiude poi con una decisa regressione del dominio marino, con il passaggio da una sedimentazione di tipo marino, che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano, che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvio-glaciali, derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

Focalizzando l'attenzione sulla zona in esame, si osserva, in Figura 20, che il territorio di Ravarino ricade nella zona della sinclinale di Bomporto.

Lo spessore della successione plio-quaternaria, cioè dei sedimenti che si sono depositati negli ultimi 5 milioni di anni (dalla base del Pliocene ad oggi) raggiunge in tale zona spessori sino a 4.000 m.

Il riempimento della Pianura Padana ad opera dello smantellamento delle catene alpina ed appenninica, ha portato quindi all'accumulo di depositi, dapprima marini e successivamente continentali di piana alluvionale, in un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza. Come già detto modalità e tempi di deposizione dei materiali sono stati controllati principalmente dalla tettonica e, dal Pliocene medio-superiore ad oggi, dall'evoluzione delle pieghe-faglie descritte in precedenza e schematizzate nelle figure riportate, segnalata anche in epoca storica dal graduale "sfuggire" della rete idrografica superficiale alla "dorsale ferrarese", come verrà meglio descritto nel paragrafo successivo. I movimenti tettonici, soprattutto quelli ad andamento verticale, sono quindi uno dei principali fattori di controllo dello sviluppo paleogeografico dell'area padana, influenzando direttamente morfologia e geometria dei corsi d'acqua, anche se non vanno dimenticati altri fattori determinanti dovuti alle oscillazioni climatiche, quali le variazioni del livello marino e del regime dei corsi d'acqua (Figura 20).

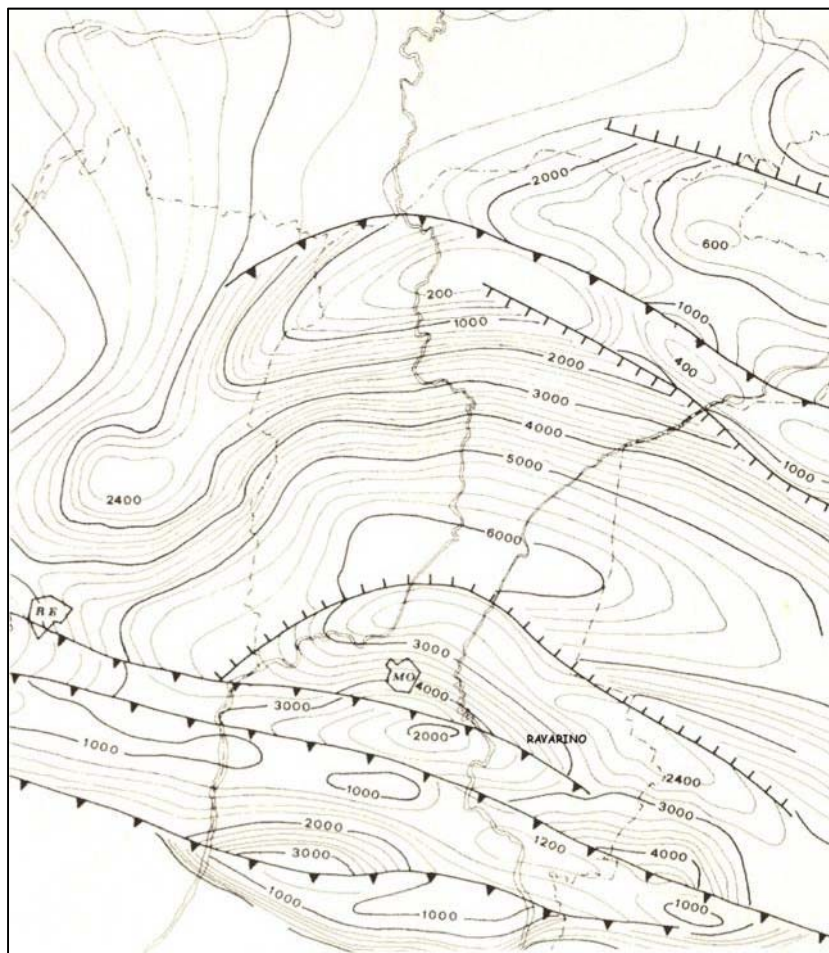


Figura 20 – Carta delle isobate della base del Pliocene (Fonte: M. Pellegrini et al.)

3.1.2. LA STRATIGRAFIA DELLA PIANURA E DELL'AREA DI STUDIO

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo della pianura modenese si è fatto riferimento ai dati della Regione Emilia Romagna – Agip (1998), di Amorosi e Farina (1994), Amorosi e Farina (1995), Elmi et al. (1984), Farina et al. (2001b). Tali lavori sono stati eseguiti essenzialmente tramite correlazione su base litologica e geometrica di dati stratigrafici relativi a sondaggi esistenti e perforazioni a scopo principalmente idropotabile.

Secondo quanto proposto da Regione Emilia-Romagna – Agip (1998), vengono distinte 3 sequenze deposizionali (Figura 21), denominate supersintemi secondo la terminologia U.B.S.U.:

- Supersintema del Pliocene medio-superiore;
- Supersintema del Quaternario Marino (che in realtà incomincia già dal Pliocene superiore);
- Supersintema Emiliano Romagnolo suddiviso in inferiore (AEI) e superiore (AES).

Queste tre Sequenze deposizionali corrispondono ai cicli trasgressivo-regressivi P2, Qm e Qc cartografati in affioramento da Ricci Lucchi et Al. (1982), e costituiscono la risposta sedimentaria ad altrettante fasi tettoniche regionali.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

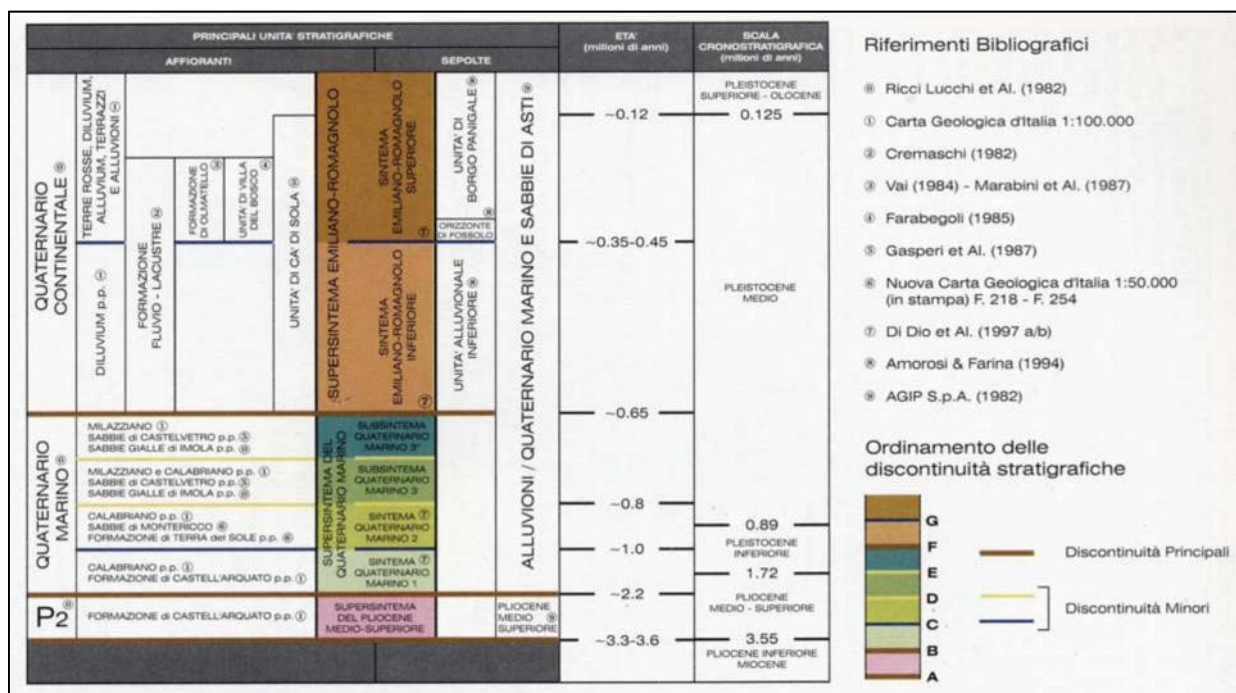


Figura 21 - Inquadramento geologico-stratigrafico dell'Emilia-Romagna (Tratta da PSC-Ravarino)

Il Supersistema del Quaternario marino viene suddiviso a sua volta in 4 subsistemi.

In Figura 22 si riporta il profilo sismico interpretato della pianura Bolognese e Ferrarese desunto da Regione Emilia Romagna - Agip, 1998, che può essere preso a riferimento anche per la zona in esame, nel quale ben si evidenziano le unità stratigrafiche definite.

Nel profilo il sistema Qm2 è stato accorpato al Qm1.

Lo spessore del ciclo Quaternario continentale, supera i 300 m (Francavilla et al., 1980; Ori, 1979), e va diminuendo procedendo verso Nord, in direzione di Ferrara, dove la base del Quaternario continentale si riscontra a qualche decina di metri di profondità dal piano campagna attuale (Pieri e Groppi, 1981); è all'interno di tale unità che si sviluppano principalmente gli acquiferi captati ad uso idropotabile.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

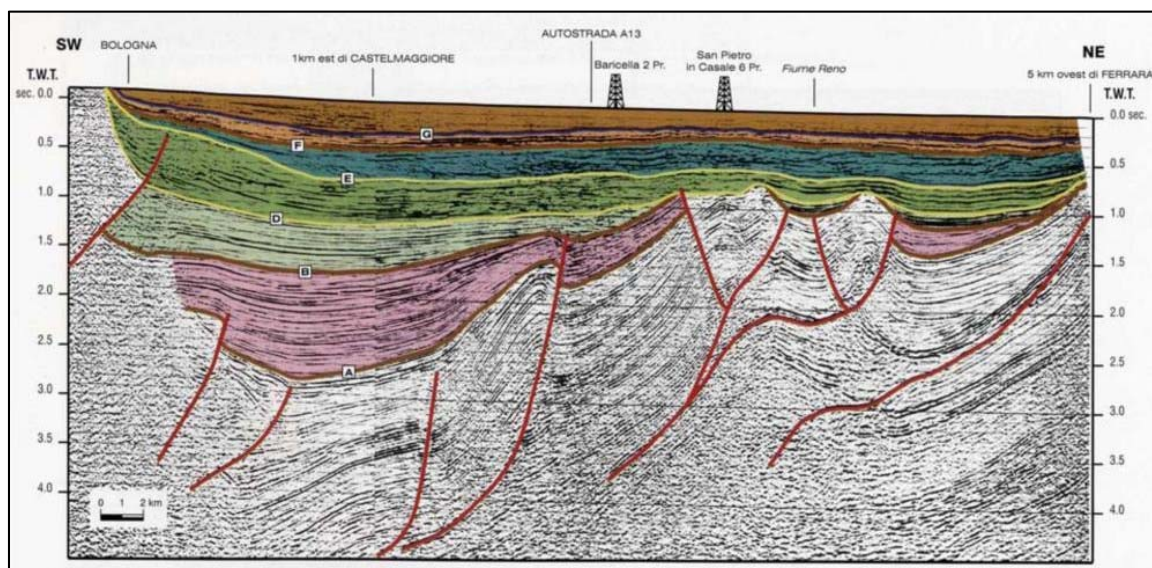


Figura 22 – Profilo sismico interpretato della pianura bolognese

Il Quaternario continentale ossia il Supersistema Emiliano - Romagnolo viene suddiviso, secondo la definizione proposta da Regione Emilia Romagna - Agip, 1998 (Figura 23), in due unità a contenuto grossolano, definite Ciclo A (Unità Alluvionale superiore di Amorosi e Farina, 1994) e Ciclo B (Unità Alluvionale Inferiore di Amorosi e Farina, 1994), dello spessore di circa 100-150 m, separate da corpi a deposizione francamente argillosa. In posizione sottostante è presente un ciclo C, riconosciuto recentemente a scala regionale, che può essere assimilato alla parte terminale del Quaternario marino Qm, e ne rappresenta l'espressione basale.

Nell'ambito della successione quaternaria continentale, le unità attraversate sono costituite, dal punto di vista litologico, essenzialmente da ghiaie e, subordinatamente, da peliti, più scarse appaiono le sabbie.

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE	
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	UNITÀ DI CA' DI SOLA	-0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A1
	DILUVIUM p.p.		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITÀ DI BORGIO PANIGALE			-0.35-0.45
			FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE		
	FORMAZIONE DI OLIVATELLO		ORIZZONTE DI FOSSOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	B3		
UNITÀ DI VALLA DEL BORGIO			B4				
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	UNITÀ DI CA' DI SOLA	-0.65	PLEISTOCENE MEDIO	C	C1
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.		SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	-0.8			C2
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCIO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.		SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2		0.89		C3
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.		SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	-1.0	1.72		C4
	P2 FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.		SUPERSISTEMA DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE	FLUCCIONE MEDIO SUPERIORE	-2.2		3.55
			FLUCCIONE INFERIORE	-3.3-3.6	PLEISTOCENE INFERIORE - MIOCENE	ACQUITARIO BASALE	
			FLUCCIONE SUPERIORE	-3.9			

Figura 23 – Quadro geologico-stratigrafico e idrostratigrafico Regione Emilia Romagna

Il Supersistema Emiliano – Romagnolo quindi, viene suddiviso in Sintema inferiore (AEI – Ciclo B) e superiore (AES – Ciclo A) – (Figura 23).

Il Sintema Emiliano – Romagnolo superiore (AES), visibile nella parte sommitale della colonna geologico-stratigrafica di Figura 25, comprende i depositi continentali affioranti nel Foglio 202. Si tratta di depositi alluvionali depositi essenzialmente dai fiumi Secchia, Panaro, Reno e dal torrente Samoggia dal Pleistocene medio sino all'Attuale. Per lo più i depositi si sviluppano in ambienti di canale, argine e rotta fluviale o di piana inondabile. Nel sottosuolo della pianura AES è costituito dall'alternanza ciclica di argille organiche, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale. L'età della base del sintema è attribuita per posizione stratigrafica e per confronto coi cicli climatico-eustatici, al Pleistocene medio (c.a. 400.000 anni BP, Regione Emilia – Romagna & ENI-AGIP, 1998). I depositi del tetto dell'unità sono attualmente in evoluzione e pertanto la loro età è olocenica.

Il sintema Emiliano – Romagnolo si suddivide ulteriormente in 3 ulteriori subsintemi:

- Subsintema di Bazzano (AES6)
- Subsintema di Villa Verucchio (AES7)
- Subsintema di Ravenna (AES8)

Subsintema di Ravenna (AES8): tutti i depositi affioranti nel Foglio 202, ossia comprendenti anche il territorio di Ravarino sono stati attribuiti a questo subsintema. L'unità è costituita da sabbie, limi e argille di canale, argine, rotta fluviale, e piana inondabile; anche la maggior parte delle porzioni affioranti hanno le tessiture riferibili ai depositi di argine, rotta e piana inondabile. I corpi ghiaiosi sono rari. La parte inferiore dell'unità è caratterizzata, oltre che da depositi fini di piana inondabile, dalla presenza diffusa di depositi palustri ricchi di sostanza organica (vedi titolo VI) in livelli centimetrici e decimetrici di colore bruno nerastri e dall'alternanza di livelli millimetrici limoso sabbiosi, limosi e argillosi simili a ritmiti. Questi livelli palustri hanno come equivalente laterale verso le zone costiere depositi lagunari e marino-marginali.

I depositi del subsintema di Ravenna affioranti nel Foglio sono essenzialmente fini, dalla sabbia media all'argilla, depositi in ambienti di piana alluvionale sviluppata a valle delle conoidi. Gli affioramenti sono praticamente inesistenti e le osservazioni, oltre a quelle rese possibili da occasionali scavi, sono basate su dati ricavati dai sondaggi (Banca Dati Geognostici del SGSS).

I depositi di questo subsintema sono il prodotto della sedimentazione prevalentemente verticale dovuta a processi di tracimazione di corsi d'acqua sinuosi (l'andamento rettilineo di alcuni corsi d'acqua è dovuto a opere antropiche iniziate nel territorio a partire dall'età romana), che si sviluppano a valle dei corsi braided caratteristici delle conoidi pedemontane. I processi deposizionali hanno portato alla formazione di argini naturali prevalentemente sabbiosi e piane inondabili limose e argillose, mentre la migrazione dei meandri e delle barre di meandro hanno condotto alla deposizione di corpi sabbiosi nastriformi allungati nel senso di scorrimento delle acque.

Il subsintema ha una geometria complessiva relativamente tabulare con spessori che si aggirano intorno ai 20–22 m e passa ad una geometria cuneiforme verso lo spigolo NE del Foglio, nel settore delle pieghe ferraresi (località Cento e Corpo Reno), dove lo spessore si riduce progressivamente ad una quindicina di metri. Sulla base dei dati radiometrici l'età del subsintema è riferibile al Pliocene superiore – Olocene,

ed è compresa fra c.a. 14.000 anni (B.P. non calibrata) e l'attuale; essa corrisponde con la fase di rapida risalita eustatica e di miglioramento climatico che si sviluppa a partire dal tardo Pleistocene fino a tutto l'Olocene.

Unità di Modena (AES8a): è la formazione litologica affiorante nell'area di studio, ossia il Comune di Ravarino (Figura 24). Analogamente a ciò che è stato fatto negli altri Fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, nel subsistema di Ravenna è stata distinta una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore, l'Unità di Modena (AES8a); essa contiene i depositi più superficiali e più recenti del Foglio 202, compresi quelli attualmente in evoluzione. All'unità appartengono anche i depositi fluviali in evoluzione (b1).

L'Unità di Modena è definita dalla presenza a tetto di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore a 100 cm, non decarbonatato, articolato negli orizzonti A, Bw, C, e A, C (entisuolo e inceptisuolo), con colore Munsell di alterazione dell'orizzonte BC nella pagina 2,5Y (grigiogiallastro). Ad essa appartengono i sedimenti depositi dopo l'età romana (post VI secolo d.C.).

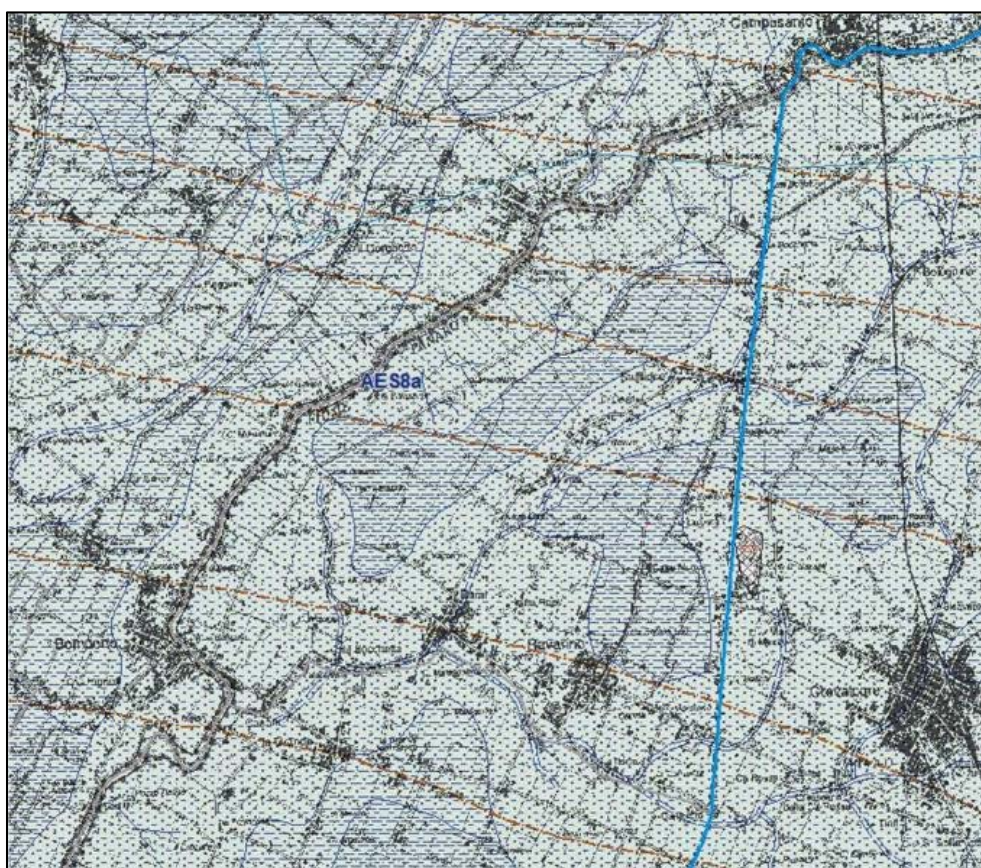


Figura 24 – Carta Geologica della zona di Ravarino tratta dall'archivio cartografico (Geoportale – Regione Emilia Romagna).

La base dell'unità è stata definita sulla base dei dati archeologici e dai dati pedologici. Infatti nei profili eseguiti dall'Ufficio pedologico della Regione Emilia-Romagna è ben riconoscibile la sovrapposizione dei sedimenti dell'unità di Modena al di sopra del suolo evoluto che caratterizza il tetto del subsistema di Ravenna. All'interno dell'unità, ulteriormente suddivisa in base alla granulometria dei depositi affioranti e all'ambiente deposizionale, sono stati distinti alcuni elementi morfologici quali paleoalvei, ventagli di rota e argini artificiali, utili alla ricostruzione dell'evoluzione idrografica dell'area. Oltretutto questa

- “Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana” (Castaldini D. – 1987);
- “Carta Geomorfologia della Pianura Padana”, AAVV;
- “Carta geomorfologica”, Bergonzoni A. & Elmi C.

I contenuti emersi sono stati verificati con la cartografia aerea e attraverso l'analisi delle curve di livello (equidistanza 0,5 m), ricostruite tramite l'interpolazione grafica dei punti quotati del terreno naturale (si veda il paragrafo successivo 3.3. Microrilievo).

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di forme lineari rilevate, dette “dossi”, corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone morfologicamente depresse all'interno delle quali l'acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

Con particolare riferimento alla cartografia prodotta, si riconoscono due dossi fluviali di maggiori dimensioni, l'uno ubicato nella parte sud-occidentale, lungo il confine comunale, con direzione approssimativamente E-O, tra le frazioni di Casoni e Rami, l'altro posto invece nella parte centrale del territorio comunale, lungo la Via Giambi tra le frazioni di Villa e l'abitato di Stuffione. Lungo il confine occidentale, s'individua invece un dosso fluviale del Fiume Secchia che, con direzione all'incirca NE-SO, costeggia tutto il tracciato fluviale; infine, in corrispondenza del confine sud-orientale, si sviluppa un altro dosso con andamento NO-SE, tra la frazione di Rami e l'abitato di Ravarino.

La distribuzione dei dossi e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l'assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (dossi), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

Lo sviluppo planoaltimetrico dei dossi proposti dal PSC, così come quello delle aree morfologicamente depresse di seguito richiamate, differisce a luoghi sensibilmente da quello proposto dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Modena; le differenze sono da ricondurre al maggiore dettaglio di studio del PSC, alle nuove possibili valutazioni offerte dal modello digitale del terreno messo a disposizione dalla RER ed alle conoscenze offerte dal recente studio sulla geomorfologia della pianura modenese eseguito dalla Dott.sa Giusti (2001) richiamato nel paragrafo successivo.

Altre tracce paleoidrografiche sono rappresentate dai “paleoalvei a livello della pianura”. Si tratta di forme lineari sinuose, alla stessa quota del piano campagna circostante, che si rinvergono principalmente nella media pianura con direzione analoga a quella dei dossi. Visibili principalmente attraverso l'analisi delle fotografie aeree, consentono, insieme ai dossi, di ricostruire l'evoluzione nel tempo dell'idrografia.

Sono stati riportati anche i ventagli d'esondazione (o conoidi di rotta fluviale), ascrivibili ad episodi di esondazione dei principali corsi d'acqua e concentrati principalmente in corrispondenza dei loro alvei pensili; ventagli di rotta si riconoscono nella zona meridionale del territorio comunale, nei pressi delle frazioni Casoni e Rami.

Accanto alle zone morfologicamente rilevate sono state perimetrare le aree morfologicamente depresse e le aree a debolissima pendenza a drenaggio difficoltoso, dove le prime sono riconoscibili per la minori quote possedute rispetto alle aree circostanti e le seconde per il bassissimo gradiente topografico. Esse rappresentano le aree di maggior rischio idraulico, non solo in caso di esondazione, ma anche nel caso di eventi pluviometrici di eccezionale durata e/o intensità, che possono mettere in crisi la rete scolante o produrre ristagni di acqua, specialmente laddove siano favoriti anche dalla scarsa permeabilità della litologia di superficie.

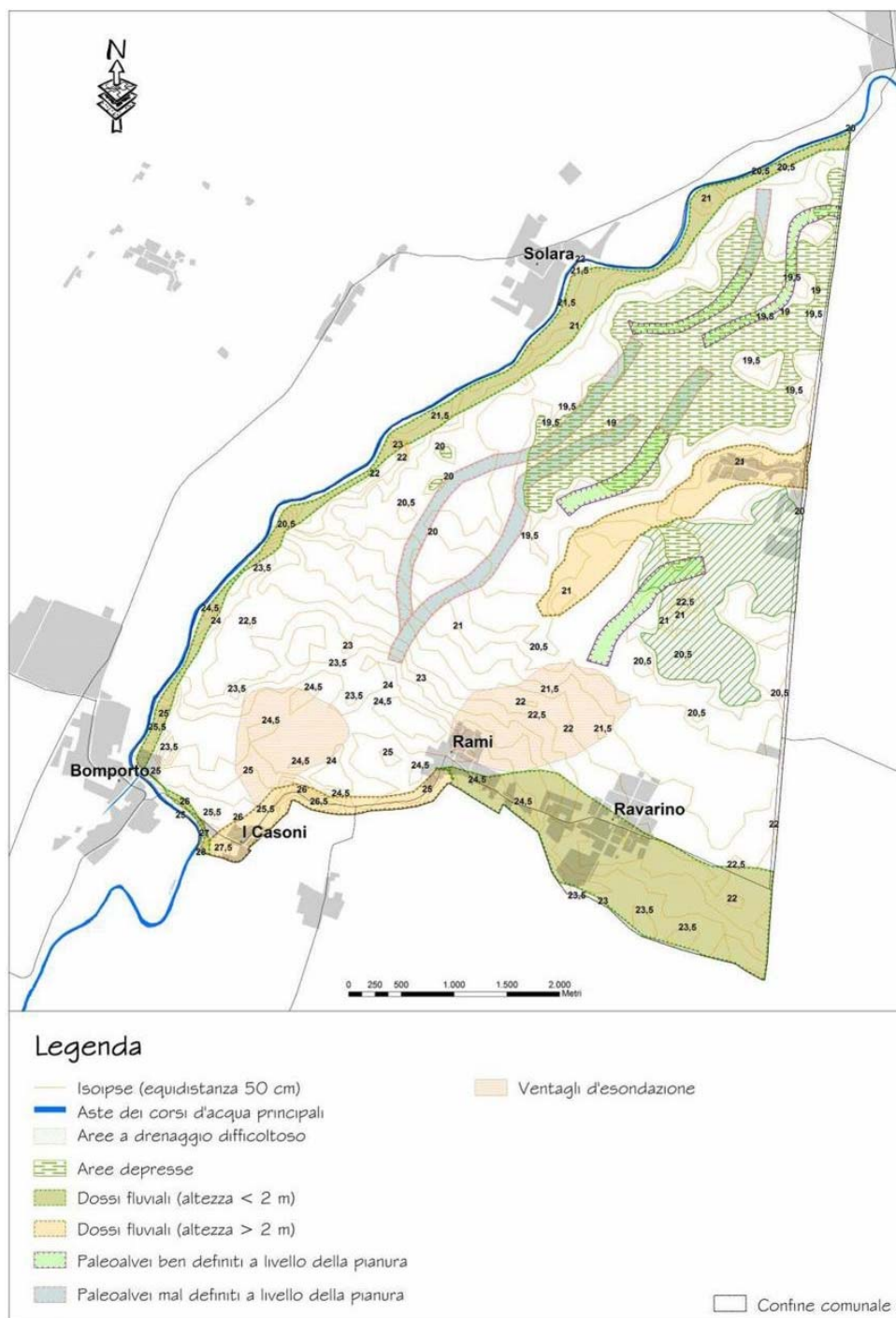


Figura 26 - Carta geomorfologica su base semplificata (Tratta da PSC-Ravarino)

3.3. MICRORILIEVO

Per l'area in esame, grazie ai punti quotati resi disponibili dalla Regione Emilia Romagna – Servizio Sistemi Informativi Geografici, è stato possibile realizzare una ricostruzione altimetrica con buona accuratezza; il risultato di questa operazione è una tavola che rappresenta la morfologia dell'interno territorio comunale in modo tridimensionale, riportata nel Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Ravarino, di cui un esempio è illustrato in Figura 27.

I punti quotati, da cui derivano queste elaborazioni, sono stati ottenuti tramite campagne di misura svolte negli anni 1985–1988, realizzate per conto della Regione Emilia Romagna. L'età di questi rilevamenti, circa due decenni, è considerevole; inevitabilmente i fenomeni di subsidenza, perpetuatisi anche in tempi recenti, possono avere alterato l'elevazione del piano campagna. Nonostante questo, la ricostruzione del rilievo si è rivelata uno strumento importante nella definizione delle forme del terreno dell'area in esame.

La ricostruzione tridimensionale ha utilizzato 4.648 punti quotati, dei quali almeno la metà ricadenti all'interno del territorio comunale; l'utilizzo di una certa quantità di punti esterni aggiuntivi è stato necessario per definire, con la stessa precisione spazio–altimetrica, anche le aree di confine. Nel metodo di elaborazione scelto per la ricostruzione tridimensionale, i punti quotati rappresentano i nodi di una maglia a celle triangolari non sovrapposte che soddisfa il criterio geometrico di Delaunay: ogni circonferenza che racchiude un triangolo non contiene altri nodi se non quelli che compongono il triangolo stesso. Il risultato è un modello tridimensionale denominato TIN (Triangular Irregular Network) che, insieme al dato morfologico, permette di visualizzare anche quello altimetrico attraverso una classificazione cromatica delle fasce altitudinali; nella tavola di seguito riportata, tale classificazione è stata eseguita utilizzando fasce altimetriche di 0,5 m. Alle fasce di quota medio–alte sono state assegnate tonalità di marrone; alle fasce medio–basse tonalità di verde.

Dal punto di vista topografico l'area comunale presenta una morfologia insospettitamente varia se si tiene conto che si colloca nella media e bassa pianura; le quote variano all'interno del territorio tra i 28 m s.l.m. dell'estremità sud–occidentale (in corrispondenza di un'ansa del paleodosso che attraversa Bomporto, I Casoni e Rami), ed i 18 m s.l.m. delle zone centrale e nord–orientale (in particolare in corrispondenza dell'area depressa tra Solara e Stuffione), con un decremento graduale. La porzione altimetricamente più elevata è quella coincidente, in gran parte, con il paleodosso che marca il confine meridionale e, in parte, quello occidentale del territorio comunale. Tra Bomporto e Rami, un ventaglio di esondazione estende marginalmente l'estensione della fascia altimetrica più elevata verso il confine nord–occidentale, con quote variabili tra i 23 e i 28 m. Seguendo il paleodosso verso est, passando per il Capoluogo, le quote si abbassano gradualmente fino a raggiungere un minimo, relativo a questa fascia altitudinalmente più alta, di circa 23 m. A nord di Rami, il passaggio verso la fascia altitudinalmente più bassa avviene rapidamente, dando origine ad una gradiente topografico relativamente alto; diversamente accade nelle porzioni adiacenti, a nord di I Casoni e di Ravarino, in cui il passaggio avviene con gradienti più blandi.

La porzione più bassa è rappresentata dall'area depressa compresa tra Solara e Stuffione, con un andamento NE–SO e una forma pseudo–ellissoidale e con quote che vanno da 18 m a 19 m.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

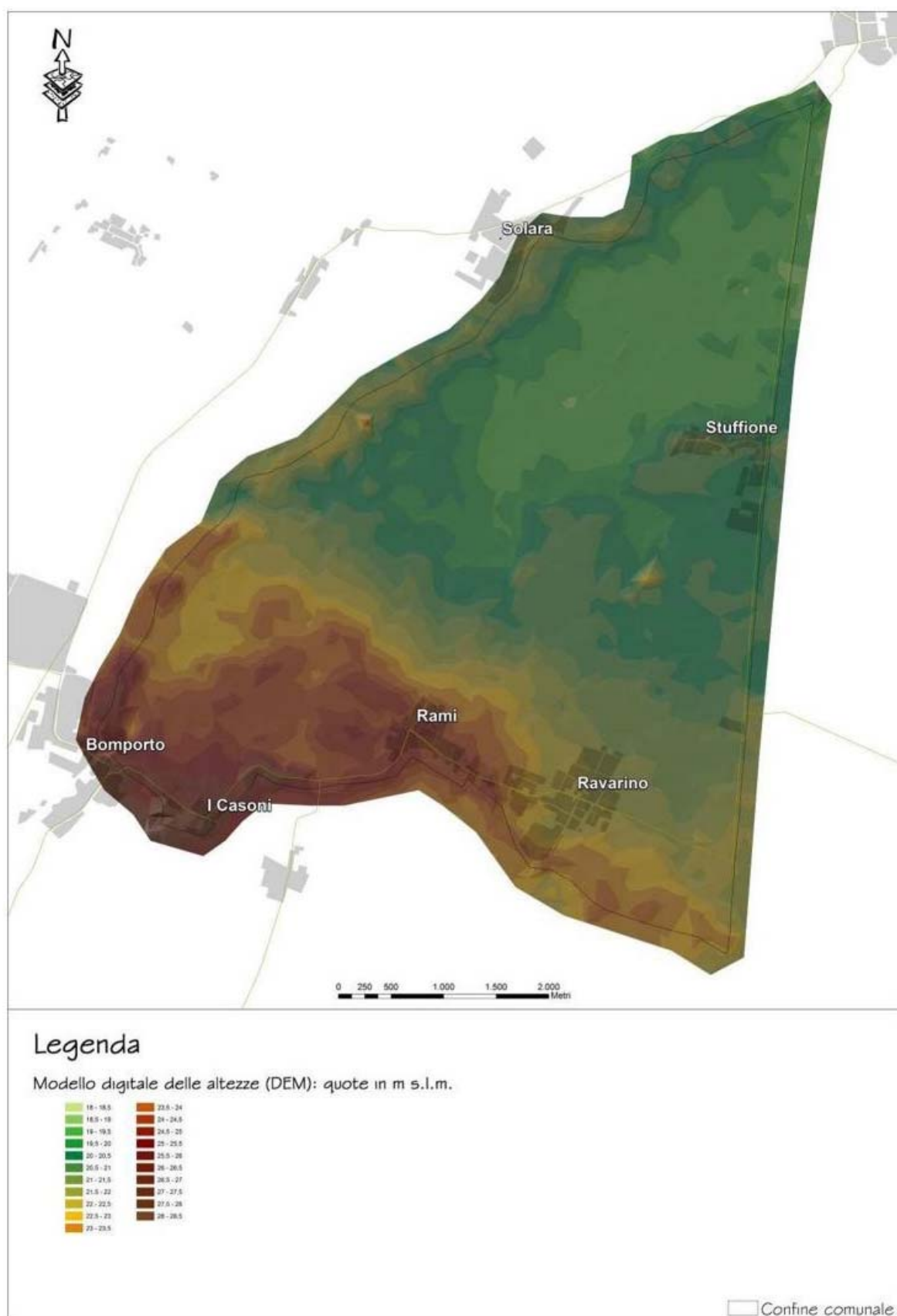


Figura 27 - Microrilievo su base topografica semplificata, ottenuto dall'elaborazione dai dati numerici del terreno forniti dalla RER

Quote intermedie, intorno ai 20 m circa, si trovano lungo il confine occidentale, in corrispondenza di uno stretto dosso fluviale di direzione NE-SO.

Per quanto riguarda la ricostruzione morfologica di dettaglio, le forme del terreno proposte dai precedenti Autori hanno trovato grossomodo conferma nella modellizzazione tridimensionale eseguita nello studio del QC del PSC di Ravarino, sebbene debba essere sottolineato che tale modellizzazione non può raggiungere il livello di dettaglio che solo la verifica sul terreno e l'interpretazione di fotografie aeree ottengono.

Per questo, le forme principali sono state riportate in base al quadro geomorfologico definito da Giusti (2001), elaborato sulla base di rilevamenti di dettaglio, dell'interpretazione di fotografie aeree e della costruzione di un modello altimetrico tridimensionale (con una metodologia differente rispetto a quella proposta in questo studio) ed implementate con le elaborazioni svolte in altri lavori. Dal quadro geomorfologico proposto, supportato dal modello altimetrico tridimensionale a maglia triangolare, appaiono alcune discrepanze rispetto al quadro geomorfologico proposto nel PTCP della Provincia di Modena (Figura 28).

Le maggiori differenze riguardano la perimetrazione dei dossi fluviali e il loro stato di attività. Sebbene la localizzazione dei dossi e le rispettive direttrici siano molto simili nelle due fonti; il PTCP sovrastima, rispetto a Giusti, la larghezza dei dossi e distingue tra dossi e paleodossi. Questa discrepanza induce, nel PTCP, uno spostamento dei ventagli di esondazione più a nord (I Casoni) e a est (Rami) rispetto a Giusti. L'autore aggiunge un dosso, rispetto al PTCP, in corrispondenza di Stuffione e della porzione centrale del territorio comunale, individuando in esso un elemento di separazione tra le due aree depresse e/o a deflusso idrico difficoltoso.

Per quanto riguarda quest'ultime aree, tra i due studi vi è una buona corrispondenza per quanto riguarda la porzione di territorio tra Solara e Stuffione, mentre Giusti individua una seconda area a deflusso idrico superficiale difficoltoso a SE di Stuffione.

Infine, la presenza di paleoalvei, rilevati da Giusti, è indicativa di direttrici preferenziali di scorrimento delle acque superficiali.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

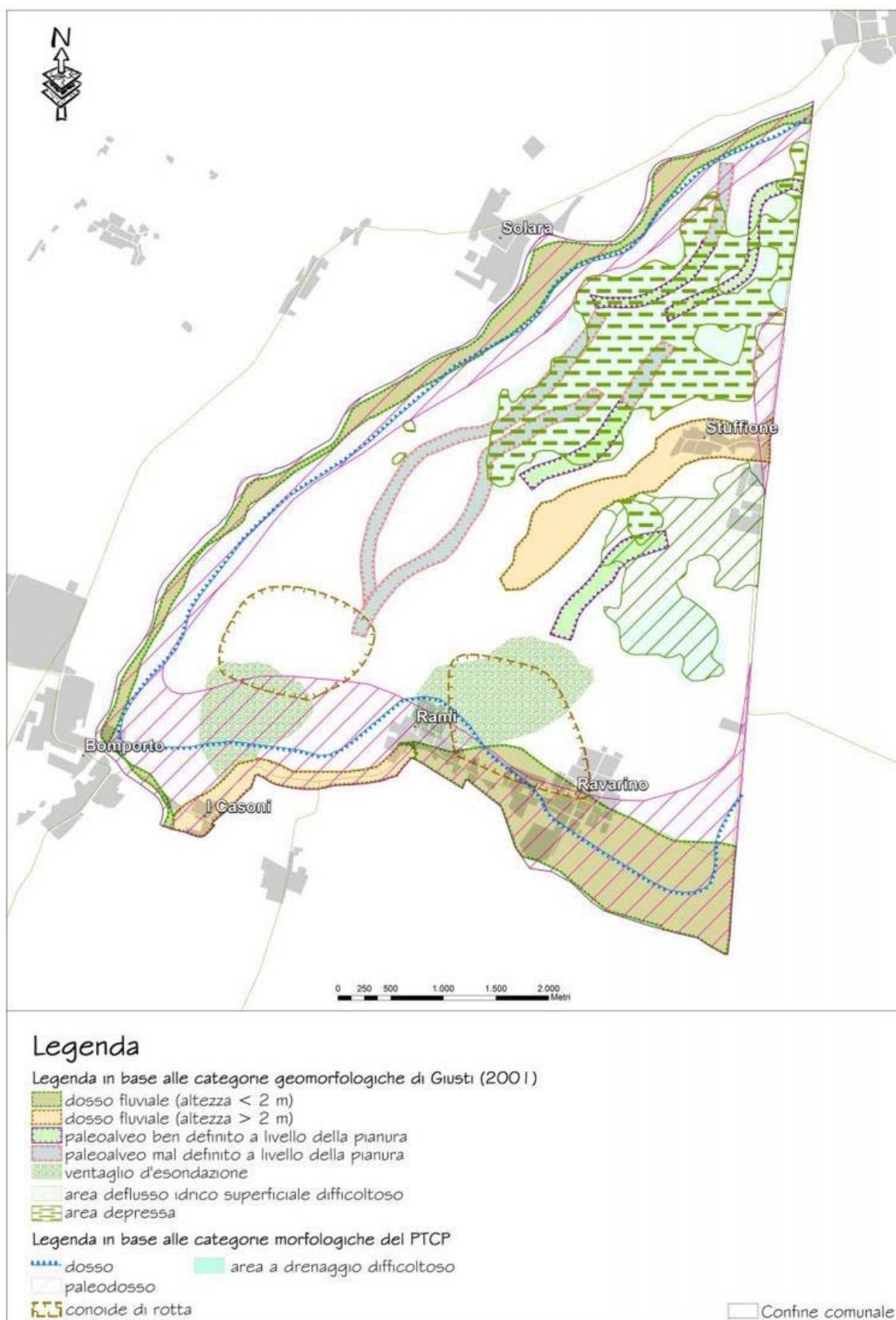


Figura 28 - Confronto tra il quadro geomorfologico contenuto nel PTCP della Provincia di Modena e quello ricostruito. (Tratta da PSC-Ravarino)

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La ricerca delle indagini geotecniche e geofisiche d'archivio è stata eseguita presso l'Ufficio Tecnico Comunale di Ravarino, ed ha permesso di acquisire numerosi dati geognostici contenuti in relazioni geologiche redatte a corredo di progetti di edilizia privata e di opere pubbliche.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale, georeferenziate, ed inserite in ambiente GIS. A tal proposito, sia i dati di base che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (shapefile) nel rispetto delle indicazioni per l'archiviazione informatica (versione 3.0), rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, di cui all'OPCM 4007/2012 e al Decreto del 16.03.2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

Ad integrazione delle prove pregresse, è stata eseguita una campagna di indagini ad hoc, in modo da rendere il più omogenea e completa possibile l'analisi geognostica del territorio interessato dallo studio di microzonazione sismica.

In particolare sono stati realizzati ex-novo tre tipi di indagini geofisiche, per un totale di 32 indagini:

- n. 10 MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) finalizzate alla definizione dei profili di Vsh;
- n. 10 indagini di sismica passiva HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) finalizzate alla misura delle frequenze naturali del terreno, impiegando un tromografo digitale portatile;
- n. 12 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) finalizzate a correlare la litologia con le già esistenti CPT.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Descrizione specifica del modello del sottosuolo, relativa al territorio comunale di Ravarino: Per quanto riguarda il territorio comunale di Ravarino, come già detto nel capitolo 3.1.2, la litologia che affiora in tutto il Comune è L'unità di Modena (AES8a): essa contiene i depositi più superficiali e più recenti del Foglio 202, compresi quelli attualmente in evoluzione. All'unità appartengono anche i depositi fluviali in evoluzione.

La base dell'unità è stata definita sulla base dei dati archeologici e dai dati pedologici. Infatti nei profili eseguiti dall'Ufficio pedologico della Regione Emilia-Romagna è ben riconoscibile la sovrapposizione dei sedimenti dell'unità di Modena al di sopra del suolo evoluto che caratterizza il tetto del subsistema di Ravenna. All'interno dell'unità, ulteriormente suddivisa in base alla granulometria dei depositi affioranti e all'ambiente deposizionale, sono stati distinti alcuni elementi morfologici quali paleoalvei, ventagli di rota e argini artificiali, utili alla ricostruzione dell'evoluzione idrografica dell'area.

La Figura 29 “Carta delle sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano-romagnola”, mostra le sezioni geologiche passanti per il Comune di Ravarino, ossia la sezione n. 32 (Figura 30 e Figura 31) e la sezione n. 65 (Figura 32). Un'altra sezione importante ai fini della descrizione del modello del sottosuolo è la sezione n.27 (Figura 33).

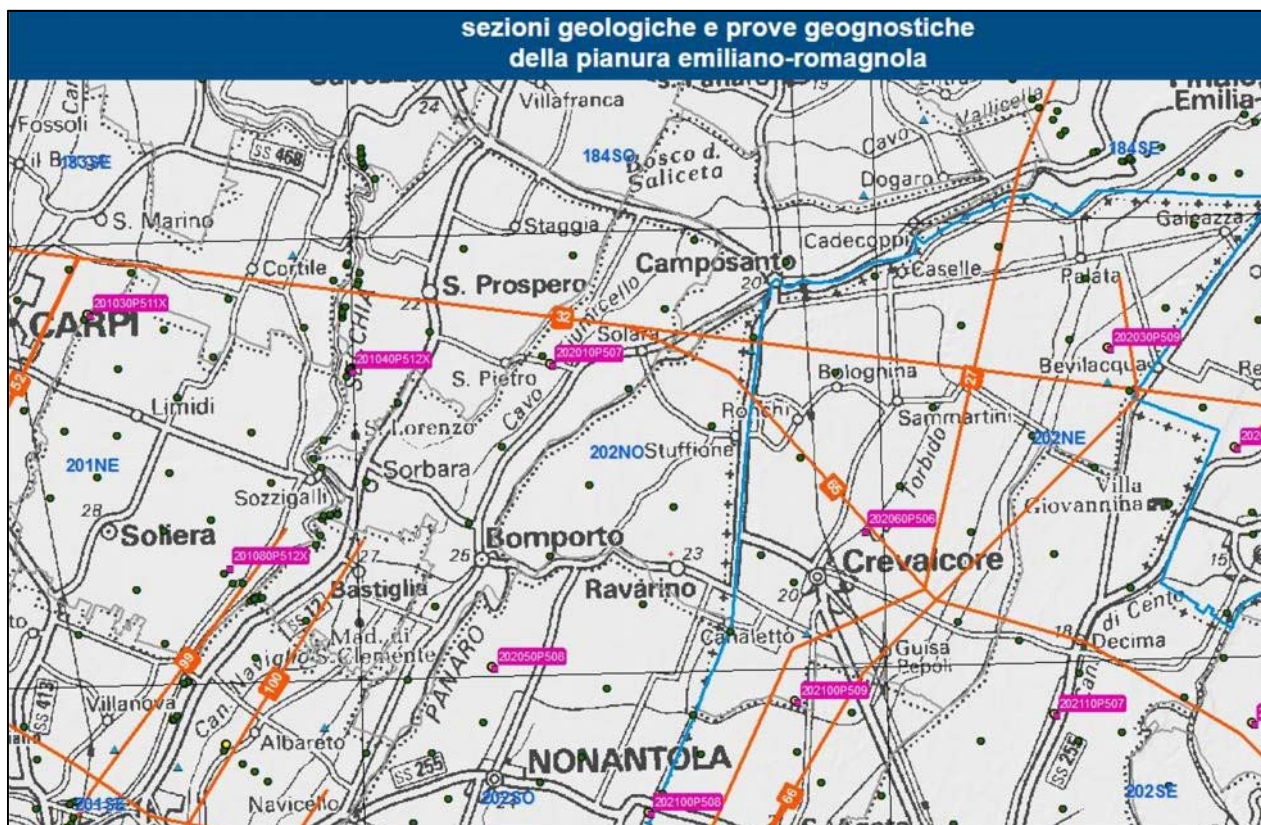


Figura 29 – Carta delle sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano-romagnola (fonte: Servizio Geologico Sismico dei Suoli Regione Emilia Romagna- fuori scala)

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

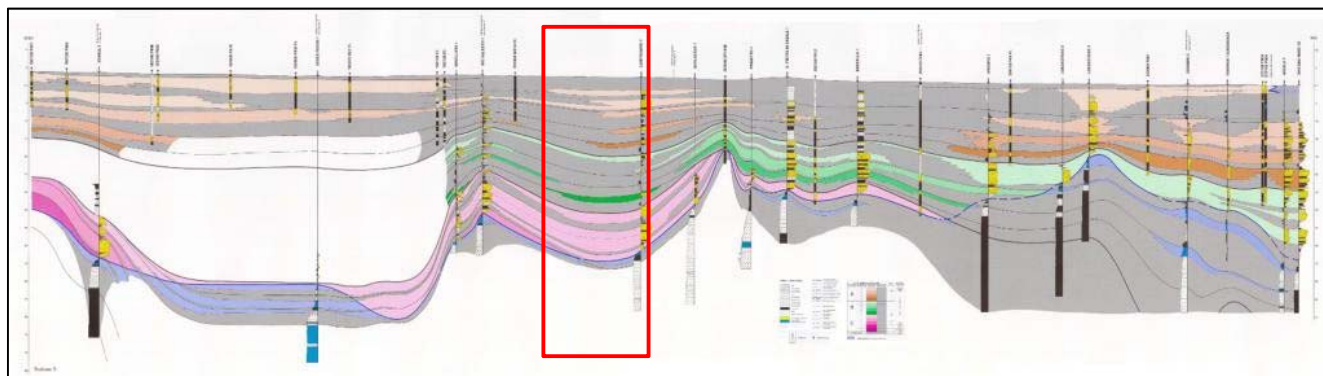


Figura 30 - Sezione geologica "n.32" (Fonte: Servizio Geologico Sismico dei Suoli Regione Emilia Romagna). Il rettangolo rosso identifica la porzione di territorio Comunale di Ravarino intersecata dalla sezione geologica, mostrato in Figura 31 con maggiore ingrandimento.

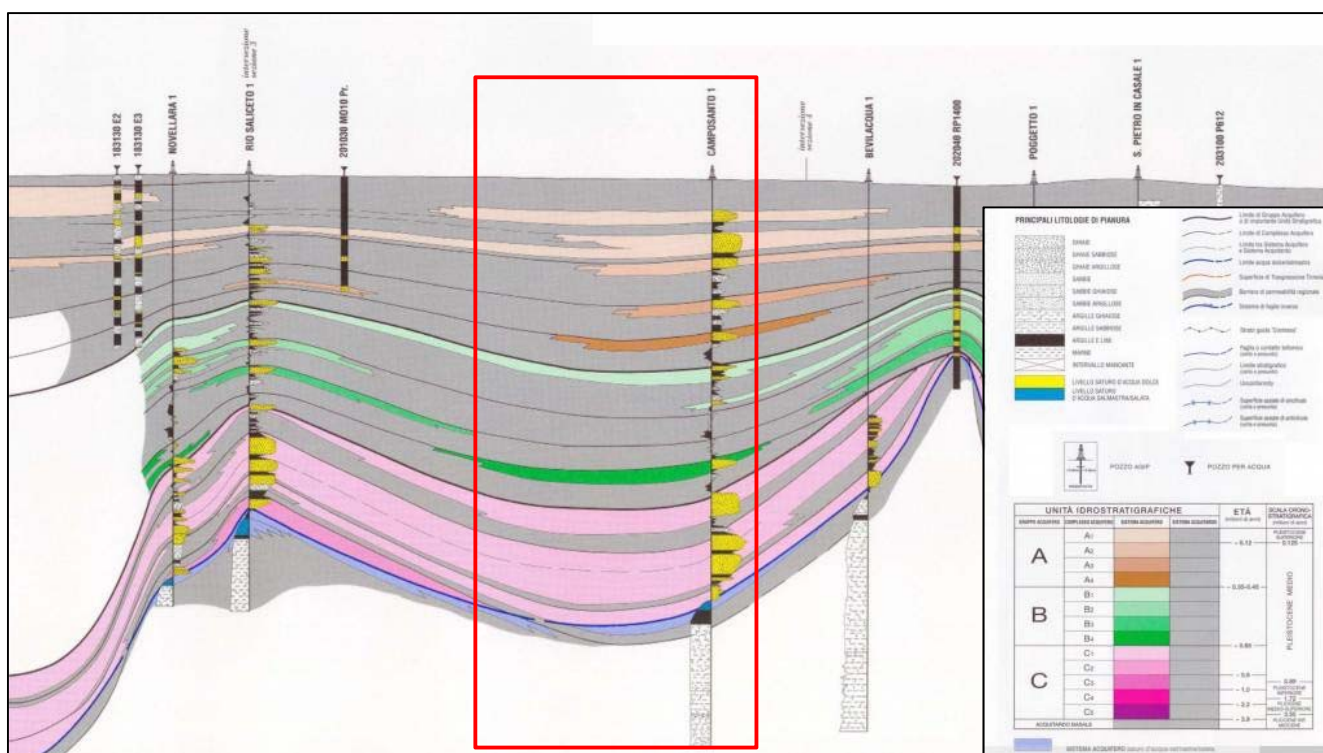


Figura 31 - Ingrandimento della sezione n.32; il rettangolo rosso identifica la porzione di territorio Comunale di Ravarino intersecata dalla sezione geologica (Fonte: Servizio Geologico Sismico dei Suoli Regione Emilia Romagna).

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
 MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

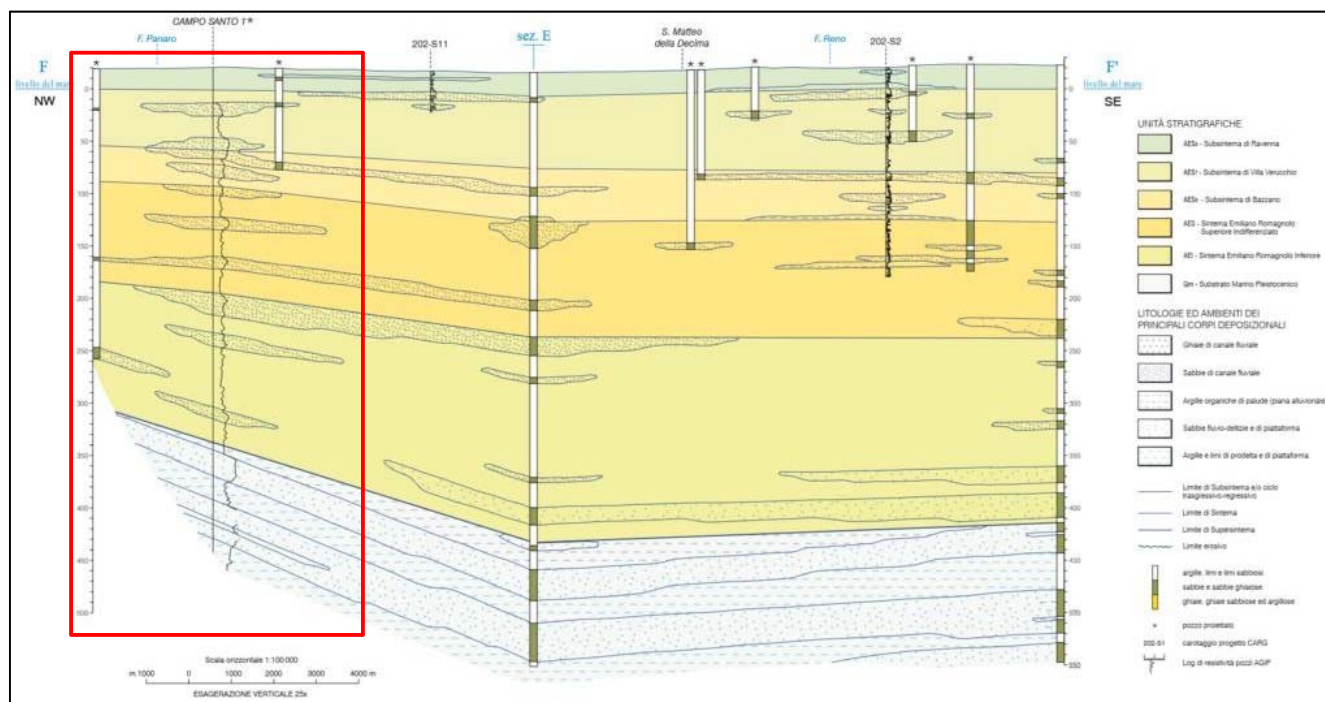


Figura 32 – Sezione geologica “n.65” (Fonte: Servizio Geologico Sismico dei Suoli Regione Emilia Romagna). Il rettangolo rosso identifica la porzione del territorio Comunale di Ravarino intersecata dalla sezione geologica.

Come si può notare dalla Figura 29, le sezioni n.32 e n. 65 hanno un'orientazione Ovest–Est, ambedue intersecanti il pozzo petrolifero Agip “Camposanto 1”.

Per avere un quadro più ampio della situazione, in questo capitolo si è deciso di prendere in considerazione anche la sezione n. 27 (Figura 33), passante a pochi chilometri dal Comune di Ravarino (precisamente per Crevalcore), poiché avendo direzione Nord–Sud fornisce informazioni più complete sulla litologia sottostante del Comune di Ravarino.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

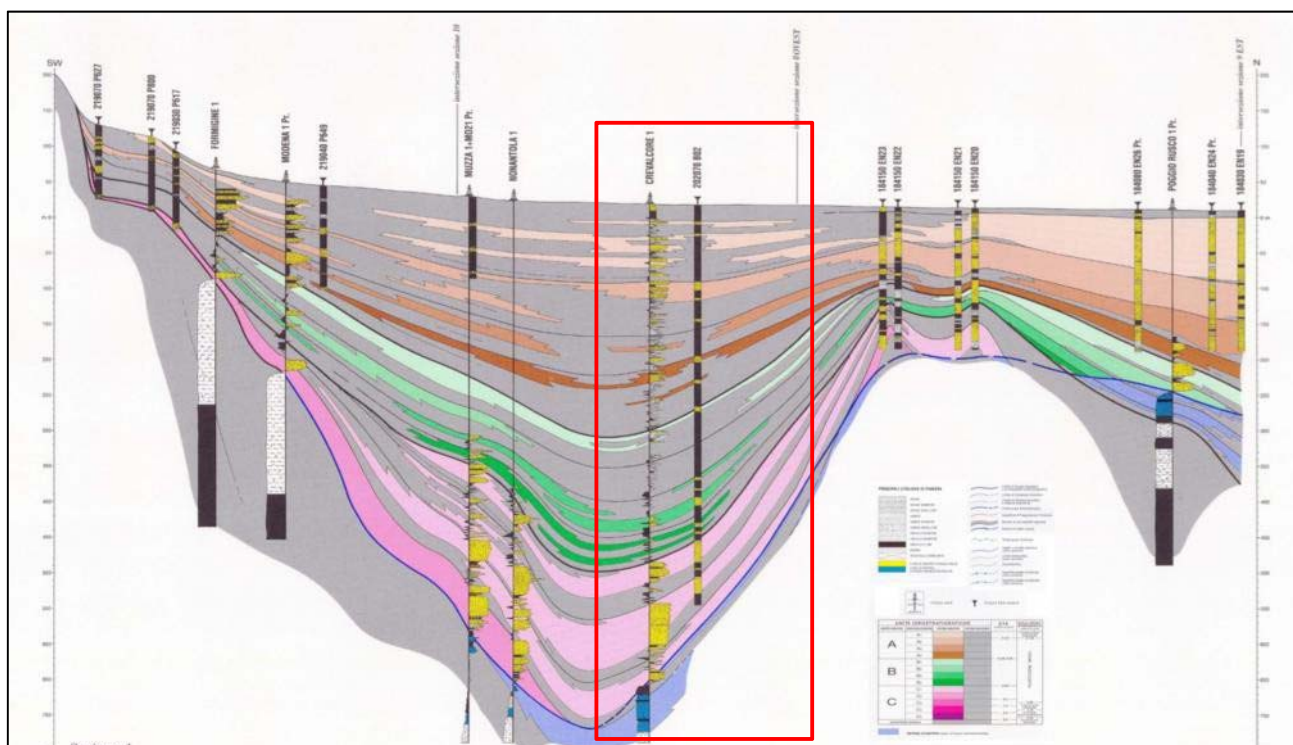


Figura 33 – Sezione geologica “n.27” – Fonte: Servizio Geologico Sismico dei Suoli Regione Emilia Romagna. Il rettangolo rosso identifica la porzione di sezione geologica che più si avvicina al territorio Comunale di Ravarino.

Prendendo in esame la sezione n.65 (Figura 32), la più dettagliata della zona, si nota come concordi con la carta geologica, infatti sulla totalità del territorio di Ravarino affiora l'Unita di Modena AES8a. nello specifico, analizzando la stratigrafia ricavata dal pozzo per idrocarburi perforato dall'Agip, si può notare come il primo substrato, ossia il Substrato Marino Pleistocenico-Qm, si incontra alla profondità di circa 320 metri. Questo concorda con le altre sezioni e la geologia della zona, dove nell'area di Ravarino, trovandosi tra le pieghe ferraresi e il sistema di faglie appenninico, lo spessore di sedimenti sovrastanti al Substrato Marino Pleistocenico raggiunge lo spessore massimo.

Per un maggiore approfondimento sulla stratigrafia dei metri più superficiali del sottosuolo (primi 20 metri) all'interno del territorio comunale di Ravarino, si rimanda al capitolo “8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS o Livello 1)” ove vengono presentate alcune sezioni stratigrafiche “tipo”, significative dal punto di vista dell'amplificazione del segnale sismico.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati pregressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche e prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU).

Le indagini MASW hanno fornito nel complesso buoni risultati, in generale le acquisizioni effettuate hanno permesso di registrare un segnale sismico sufficientemente chiaro da consentire una elaborazione che ha dato risultati attendibili e concordanti con la litologia dell'area in studio.

In alcuni stendimenti effettuati il segnale registrato presenta dei disturbi e delle distorsioni nei sismogrammi, legate per lo più a problematiche di natura ambientale.

La situazione ideale per l'effettuazione di un'acquisizione sismica attiva con metodo MASW è quello di avere una superficie topografica pianeggiante con una stratificazione nel sottosuolo piano-parallelà alla superficie topografica.

In fase di elaborazione i sismogrammi sono stati filtrati e selezionati in modo da tagliare eventuali distorsioni ed anomalie. Questo ha permesso di utilizzare tutte le acquisizioni effettuate.

Un altro limite importante è stato quello di avere a disposizione solo indagini geognostiche superficiali, quali ad esempio prove penetrometriche dinamiche, ma di non avere indagini geognostiche profonde, come sondaggi a carotaggio continuo, che sarebbero stati molto utili nell'interpretazione sismo-stratigrafica.

Per quanto riguarda le indagini sismiche passive o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), al fine di determinare la qualità delle singole misure H/V effettuate e la loro relativa affidabilità, necessaria per una corretta fase interpretativa, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente nelle basse frequenze (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Considerato che le indagini HVSR sono state eseguite, nella maggior parte dei casi, in aree isolate e prive di sorgenti che possano arrecare disturbo all'acquisizione, si possono ritenere valide le registrazioni effettuate.

L'indagine ha previsto una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione è stata effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata di 20 minuti.

Successivamente si è proceduto all'elaborazione utilizzando il software WINMASW della Eliosoft; dopo aver eseguito un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata, queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi

nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Al termine dell'elaborazione per ogni acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

Le frequenze di picco ottenute da ogni singola stazione HVSR sono state correlate con i risultati ottenuti dalle indagini MASW eseguite a fianco. Dal confronto tra i risultati ottenuti è emerso come in alcuni casi non esista una chiara corrispondenza tra il picco H/V ed importanti passaggi sismostratigrafici registrati dalle prove MASW (significativi cambiamenti di velocità, ovvero di impedenza). Infatti, data la geologia della zona in cui il bedrock sismico è ipotizzabile a profondità ≥ 100 m, ci si dovrebbe aspettare un valore di frequenza non superiore ad 1 Hz. Ne risulta che nella Carta delle Frequenze (in allegato) i punti con frequenza >1 Hz risultino poco attendibili al fine dell'individuazione della profondità del bedrock sismico. I valori con Frequenza >1 Hz registrati da alcune HVSR si possono spiegare con sensibili variazioni di rigidità litologica presenti nei primi 30 metri del sottosuolo, capaci di produrre un picco massimo di frequenza, sebbene non correlabile col bedrock sismico.

Le HVSR sono state elaborate al fine di determinare l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio V_s , definendo anche il parametro di normativa V_{s30} per ogni verticale sismica. Si è notato come da alcune prove risulti un valore di V_{s30} discordante sia con le altre HVSR sia con le adiacenti MASW. In particolare, non sono state prese in considerazione per la redazione delle Carte di Microzonazione Sismica di Livello II due indagini puntuali HVSR con valore di $V_{s30} > 300$ m/s, e altrettante HVSR con valore di $V_{s30} < 175$ m/s, poiché reputate scarsamente attendibili e discordanti con il quadro geologico e sismostratigrafico generale dell'area. Queste quattro prove sono: 036034P161HVSR161, 036034P190HVSR192, 036034P212HVSR212 e 036034P213HVSR213.

In base ad un recente studio di Paolucci et al. (2015)³, la profondità del bedrock sismico in prossimità del territorio di Ravarino (precisamente nella zona di Crevalcore) è stata misurata, tramite indagini HVSR, a circa 60–110 m; profondità, questa, corrispondente con il passaggio stratigrafico tra il Subsistema di Bazzano (AES6) ed il Sistema Emiliano–Romagnolo Superiore Indifferenziato (AESind). Nel territorio di Ravarino tale passaggio stratigrafico è individuato, dalle sezioni geologiche di archivio, a circa 100 m dal p.d.c.

Dall'analisi delle prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) effettuate nel territorio comunale, sono emerse apparenti incongruenze con il quadro litologico e geomorfologico evidenziato dai dati cartografici di bibliografia.

Si può notare, ad esempio, come l'elaborazione delle indagini CPTU ubicate all'interno delle zone potenzialmente instabili per fenomeni di liquefazione (ZA_{LQ} – aree retinate in Figura 34), per le quali ci si aspetterebbero livelli sabbiosi di significativo spessore già nei primi 10 metri di profondità, abbia evidenziato la presenza di strati sabbiosi di scarso spessore, generalmente inferiore a 0,5 m, o addirittura completamente assenti.

³ Paolucci, E., Albarello, D., D'Amico, S., Lunedei, E., Martelli, L., Mucciarelli, M. & Pileggi, D. (2015) – A large scale ambient vibration survey in the area damaged by May-June 2012 seismic sequence in Emilia-Romagna, Italy. Bull. Earthquake Eng. DOI 10.1007/s10518-015-9767-5

Si precisa che nelle zone ZA_{LQ} sono stati inseriti sia i paleoalvei, sia i dossi fluviali, insieme alle aree ove la cartografia delle litologie di superficie riporta la presenza prevalente di sabbie.

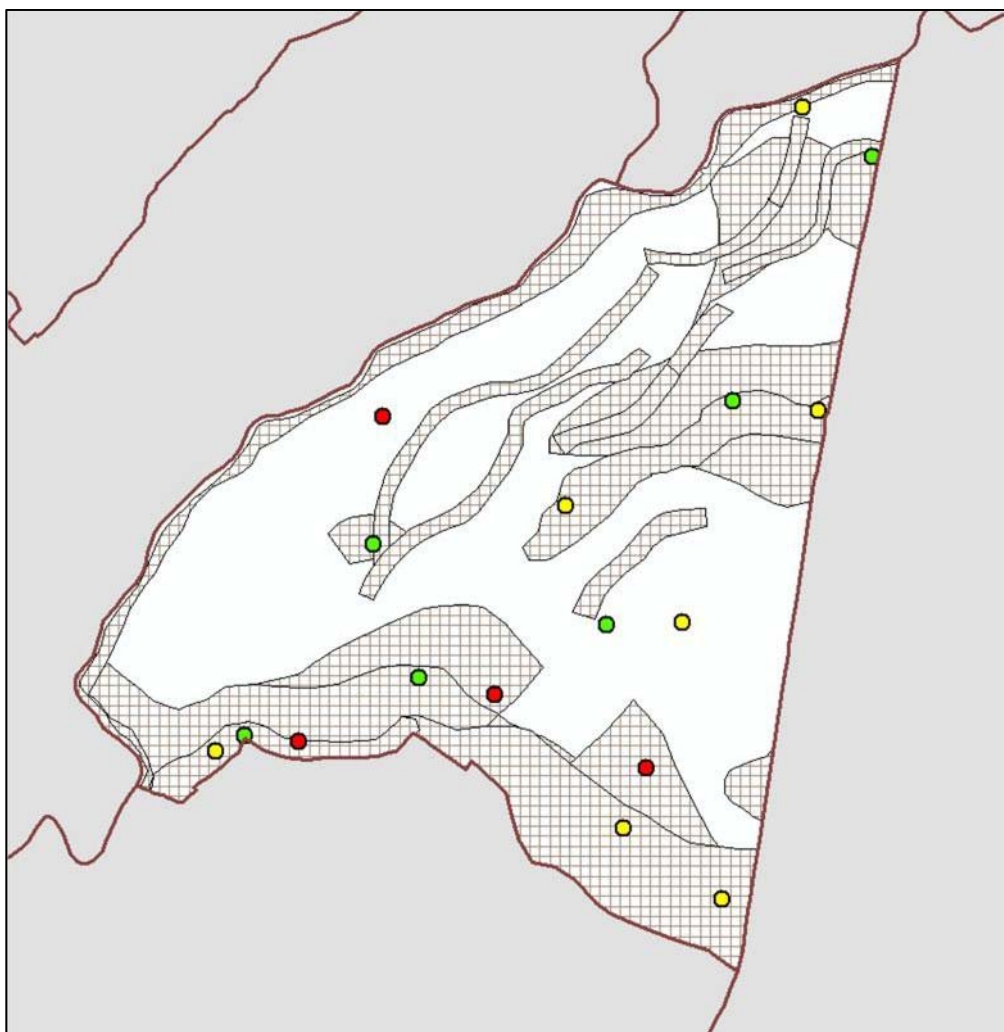


Figura 34 - Elaborazione cartografica del territorio comunale con evidenziate le zone di attenzione per instabilità per possibile liquefazione (aree retinate) e le prove CPTU realizzate nel Comune di Ravarino. Legenda:

- CPTU con assenza di sabbia nei primi 20 metri;
- CPTU con presenza di sabbia < 0,5m nei primi 20 metri
- CPTU con presenza di sabbia > 0,5m nei primi 20 metri

Analizzando le prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) d'archivio, si può notare come fuori dalle zone valutate come potenzialmente liquefacibili (ZA_{LQ}) siano quasi assenti verticali stratigrafiche con presenza di spessori sabbiosi > 0,5m (Figura 35).

Si osserva, inoltre, la presenza di alcune CPT completamente assenti da sabbia all'interno delle zone ZA_{LQ} e di alcune CPT con presenza di sabbia (seppur con spessori minori di 0,5 metri) al di fuori delle aree ZA_{LQ} .

L'insieme di queste osservazioni porta a concludere come non esista una chiara correlazione spaziale tra la presenza di forme e depositi fluviali (verosimilmente composti in prevalenza da terreni sabbiosi) e l'effettiva presenza di spessori sabbiosi nell'intervallo di profondità indagato dalle prove CPT/CPTU.

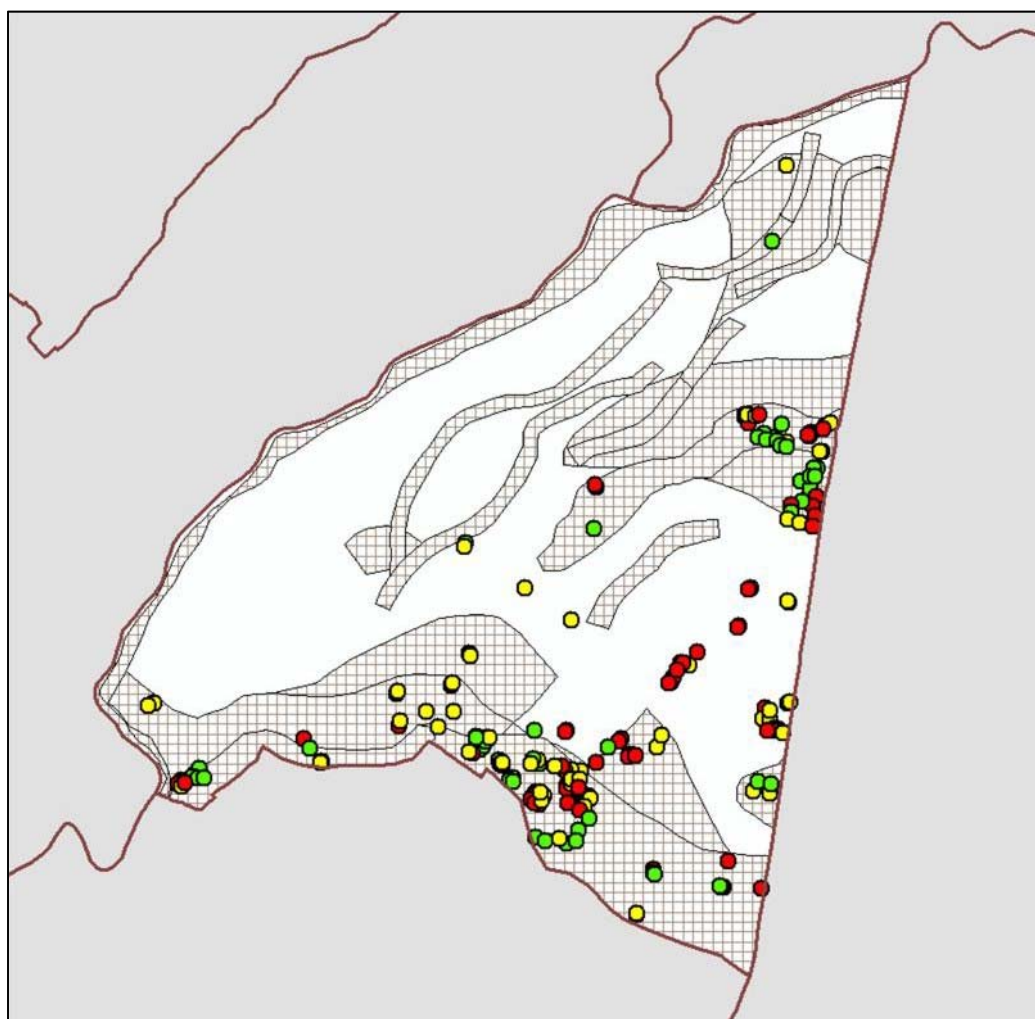


Figura 35 - Elaborazione cartografica del territorio comunale con evidenziate le zone di attenzione per instabilità per possibile liquefazione (aree retinate) e le prove CPT archiviate. Legenda:

- CPT con assenza di sabbia nei primi 20 metri;
- CPT con presenza di sabbia < 0,5m nei primi 20 metri
- CPT con presenza di sabbia > 0,5m nei primi 20 metri

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di studio, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e d'archivio riguardanti la cartografia geologica, geomorfologica e le indagini geognostiche pregresse nel Comune di Ravarino.

Nella seconda fase si è realizzato lo studio di Microzonazione Sismica su tutta l'area del Comune di Ravarino. Le indagini geofisiche di nuova esecuzione, al fine dell'acquisizione dei dati per la stima delle frequenze naturali del terreno e delle velocità delle onde sismiche, sono state concentrate nelle zone urbanizzate e nelle aree adiacenti, poiché si ritiene più consono concentrare gli studi in quelle aree dove la vulnerabilità è più elevata.

La terza fase di studio è stata dedicata alla realizzazione degli elaborati cartografici relativi al primo livello di approfondimento, costituiti da:

- Carta delle indagini: in tale carta sono riportate le indagini pregresse e quelle realizzate ex-novo, classificate per tipologia;
- Carta geologico-tecnica: in tale carta sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche e geotecniche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo. Sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- Carta delle frequenze naturali del terreno: tale carta è derivata da indagini di sismica passiva HVSR. I punti di misura sono riportati sulla carta con associato il valore del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (f_0) e suddivisi in classi di frequenza. Inoltre sono stati distinti i valori che presentano alti contrasti di impedenza (ampiezza massima curva HVSR > 3) e bassi contrasti di impedenza (ampiezza HVSR < 3);
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS o Livello 1): in tale carta sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari. Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:
 - a) *zone stabili*, nelle quali non si ipotizzano effetti di instabilità. Queste zone non sono presenti nell'area indagata;
 - b) *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico e sono state suddivise in microzone in base alla litologia;
 - c) *zone di attenzione per instabilità*, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni del terreno permanenti (in questo caso esclusivamente liquefazione). In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

La quarta fase è stata dedicata alla elaborazione delle cartografie relative al secondo livello di approfondimento:

- Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s): in tale carta sono ubicati tutti i punti di misura di V_s con indicazione, per ogni punto di misura, del valore di V_{s30} (in m/s);

- Carta dei fattori di amplificazione delle aree (Carta di microzonazione sismica Livello 2): l'amplificazione è stata quantificata in termini dei fattori di amplificazione FPGA, FH0105, FH0510 e FH0515 utilizzando le tabelle indicate dall'Allegato A2 degli indirizzi regionali più recenti per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (Delibera Giunta Regionale 2193/2015).

L'elaborazione è stata rappresentata nelle varie cartografie, ciascuna delle quali è costituita da una tavola a scala 1:10.000 che rappresenta tutto il territorio comunale di Ravarino oggetto di microzonazione sismica.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1. CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle indagini riporta l'ubicazione e la tipologia delle indagini geognostiche e geofisiche pregresse e di nuova esecuzione.

Le prove sono state rappresentate in forma simbolica secondo le linee guida regionali e nazionali. Di seguito è illustrata legenda della suddetta carta (Figura 36).

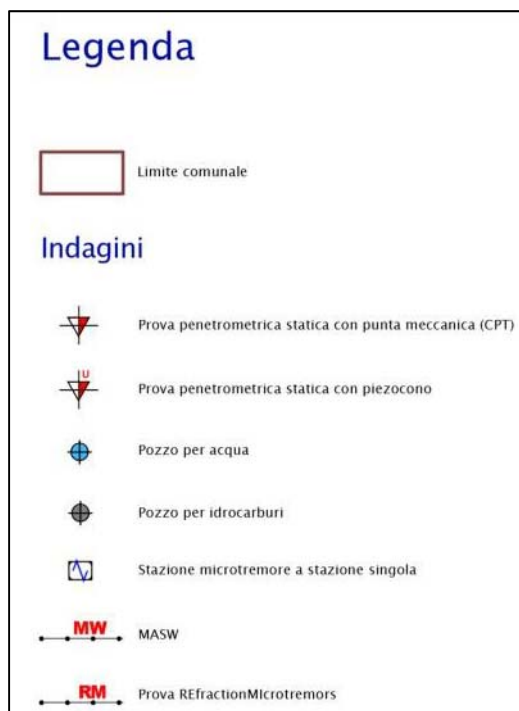


Figura 36 – Esempio di legenda della Carta delle indagini.

Sono state inserite un totale di 270 prove, in particolare n. 246 prove puntuali e n. 24 prove lineari, così suddivise:

- n. 194 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT);
- n. 17 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n. 10 pozzi per acqua;
- n. 1 pozzo per idrocarburi;
- n. 24 stazioni microtremore a stazione singola (HVSr);
- n. 2 prove REfractionMicrotremors (REMI);
- n. 22 MASW.

8.2. CARTA GEOLOGICO–TECNICA

Nella Carta geologico–tecnica per la microzonazione sismica sono riportate tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche e geotecniche) derivate da carte ed elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse. Questi dati sono stati necessari per la definizione del modello di sottosuolo, funzionale alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1).

Per la realizzazione di questa carta si è fatto riferimento agli elaborati messi a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia–Romagna, alla documentazione prodotta dal PTCP della Provincia di Modena, approvato nel 2009 e alla Carta Geologica d'Italia Foglio 202 denominato “San Giovanni in Persiceto” alla scala 1:50.000.

Dal Catalogo online dei Dati Geografici del Servizio Geologico regionale è stata acquisita la cartografia geologica a scala 1:10.000, in particolare: le “Coperture quaternarie”, per rappresentare i terreni di copertura, gli “Elementi geologici–idrogeologici”, costituito da pozzi, per rappresentare la profondità del substrato, la profondità raggiunta dal pozzo e/o la profondità della falda.

Le forme di superficie e la natura litologica delle terreni di copertura sono state distinte facendo riferimento alle informazioni contenute nel PSC di Ravarino.

Di seguito è illustrata legenda della suddetta carta (Figura 37).

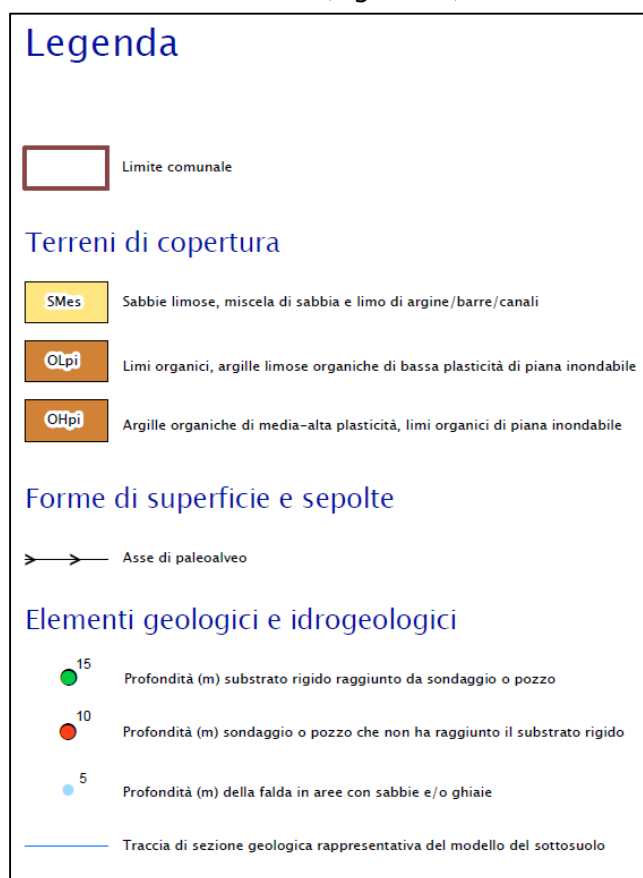


Figura 37 – Esempio di legenda della Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica.

Seguendo le specifiche delle linee guida indicate negli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di lavoro MS, 2008), i depositi quaternari presenti nella zona indagata sono stati raggruppati in classi omogenee secondo le proprie caratteristiche geologico–litotecniche.

Di seguito si elencano questi raggruppamenti e i relativi ambienti genetico–deposizionali che ne fanno parte, rimandando al capitolo 3. Assetto geologico e geomorfologico per una descrizione litologica più dettagliata.

I terreni di copertura, facenti comunque tutti parte dell'Unità di Modena (AES8a), sono stati raggruppati in tre categorie:

1. Sabbie limose, miscela di sabbie e limo (SM), Argine/Barre/Canali (es);
2. Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (OL), Piana inondabile (pi);
3. Argille organiche di media–alta plasticità, limi organici (OH), Piana inondabile (pi);

Nella carta sono individuati anche gli elementi geologici e idrogeologici: sia i pozzi che non hanno raggiunto il substrato sia i pozzi che lo hanno raggiunto, con indicato il valore della profondità raggiunta. Dove indicato, in alcuni pozzi viene anche riportato il livello della falda; in carta sono evidenziate anche le due tracce di sezioni geologiche passanti per il Comune di Ravarino.

Inoltre, sono stati rappresentati gli elementi morfologici lineari di superficie, quali gli assi di paleoalveo.

8.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

La Carta delle frequenze naturali dei terreni è derivata dall'elaborazione delle misure di sismica passiva HVSR. In questa carta è riportata l'ubicazione di tutte le misure, pregresse e di nuova realizzazione, con associato il valore del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (f_0).

I valori sono stati suddivisi facendo riferimento alle indicazioni dell'Allegato C “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica, di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 4007/2012 e Decreto del 16 marzo 2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile”.

In particolare, le misure sono state suddivise, come riportato in Figura 38, in base a 3 classi di frequenza: $f_0 \leq 1$; $2 < f_0 \leq 8$; $f_0 > 8$, graficamente visualizzati con un pallino di colore diverso, e suddivisi ulteriormente in ulteriori 2 classi in base all'ampiezza del picco che individua il contrasto di impedenza (ampiezza ≤ 3 ; ampiezza > 3) graficamente visualizzati con la presenza o assenza di un punto nero all'interno del pallino.

In carta, a lato di ogni simbolo, è evidenziato il valore della frequenza del picco significativo.

Legenda

 Limite comunale

Frequenza picco significativo (Hz)	Ampiezza picco	
	≤ 3	> 3
$f_0 \leq 1$	●	●
$2 < f_0 \leq 8$	●	
$f_0 > 8$	●	●

A lato del simbolo sono riportate le frequenze del primo picco significativo

Figura 38 - Esempio di legenda della Carta delle frequenze naturali dei terreni.

Dall'esame dei valori di frequenza del picco principale, per la maggior parte delle indagini effettuate, si evidenzia come il substrato rigido risulti essere presente a profondità maggiore di 100 m dal piano campagna ($f_0 \leq 1$), concordando sia con la stratigrafia del pozzo che ha raggiunto il substrato sia con le sezioni geologiche dell'area.

I valori di alcune HVSR con frequenza > 1 Hz si possono spiegare con cambi litologici nei primi 30 metri del sottosuolo che fanno registrare un picco allo strumento. Questo picco, però, non risulta essere il reale picco del Substrato Marino Pleistocenico, poiché esso è a profondità ben maggiori.

Analizzando infatti un esempio di curva H/V con $f_0 > 8$ (Figura 39) si può notare che, pur essendo il picco di frequenza principale a 12 Hz (non rappresentativo del reale substrato), è presente anche un altro picco di frequenza, molto meno marcato, a circa 0,8 Hz, che con molta probabilità è attribuibile al substrato geologico che si incontra nel sottosuolo a profondità maggiori di 100 m.

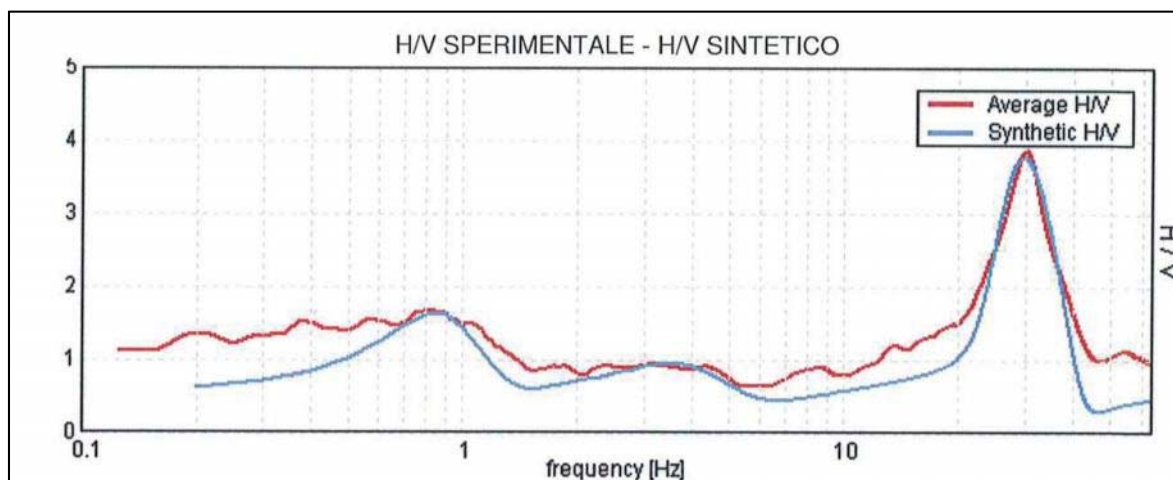


Figura 39 – Curva H/V rappresentativa dei valori di picchi frequenza maggiori di 8 Hz. Picco a 0,8 Hz, 036034P194HVSRI94

Di seguito viene riportato, invece, un esempio tipico di curva H/V riscontrato nel Comune di Ravarino, ossia una curva con picco principale $f_0 \leq 1$.

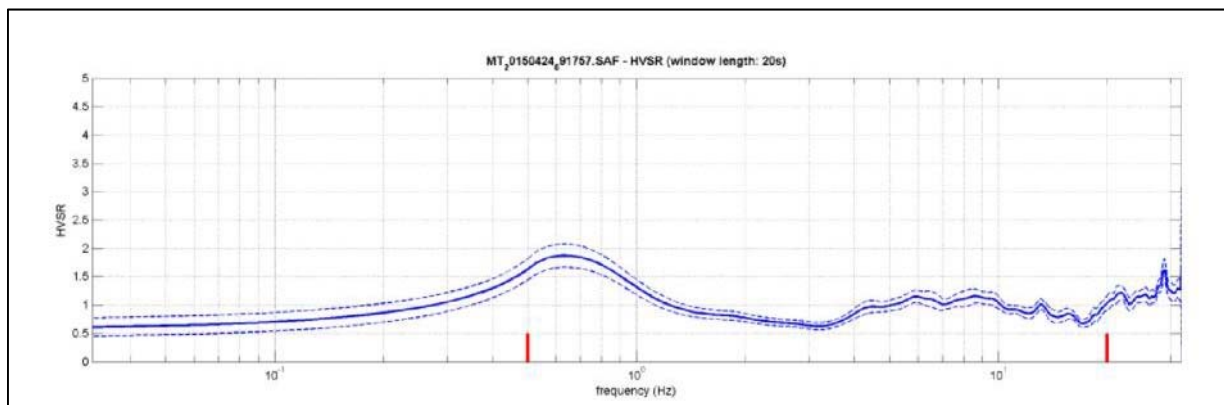


Figura 40 – Curva H/V rappresentativa dei valori di frequenza minori o uguali di 1 Hz. Picco a 0.7 Hz, 036034P216HVSr216

8.4. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS O LIVELLO 1)

Per la realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), si sono distinte tre categorie:

- zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura. Nell'area comunale di Ravarino non è presente questa categoria.
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dalla variazione litostratigrafica locale. All'interno di quest'area si è operata un'ulteriore suddivisione in base alle caratteristiche litostratigrafiche, identificando n. 3 profili litostratigrafici (da Zona 2008, a Zona 2010) in seguito descritti. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello;
- zone di attenzione per instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre ai fenomeni di amplificazione, sono riconducibili esclusivamente a possibili liquefazioni. Fanno

parte di questa categoria le zone di attenzione per liquefazione ZA_{LQ} . All'interno di quest'area si è operata un'ulteriore suddivisione in base alle caratteristiche litostratigrafiche, identificando n. 7 profili litostratigrafici (da Zona 30502001, a Zona 30502007) in seguito descritti. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.



Figura 41 – Esempio di legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

Zone stabili

Nell'areale di studio non si individuano zone stabili.

Zone di attenzione per instabilità

Si tratta di quelle aree da sottoporre ad approfondimenti di terzo livello, suscettibili di instabilità esclusivamente per liquefazione. Queste zone, denominate Z_{ALQ} , definite con retino nero e colore di sfondo della zona stabile suscettibile di amplificazione, comprendono le aree dei paleoalvei, dei dossi fluviali, la fascia laterale alla sponda dell'argine del Panaro e le zone con presenza di sabbia in superficie e/o con spessore di sabbia cumulativo $>0,5$ m nei primi 20 metri dal piano campagna.

Va ricordato che in quest'ultima categoria ricadono quelle aree definite dal PSC di Ravarino come "aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione e cedimenti".

Nel territorio di Ravarino si individuano le principali zone a possibile liquefazione (Z_{ALQ}) sul dosso passante per Casoni-Rami-Ravarino, sul dosso di Stuffione e a Nord-Ovest della Frazione di Pedagna.

Zona 30502001

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con sabbie limose, miscela di sabbia e limo in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502001 è raffigurata in Figura 42.

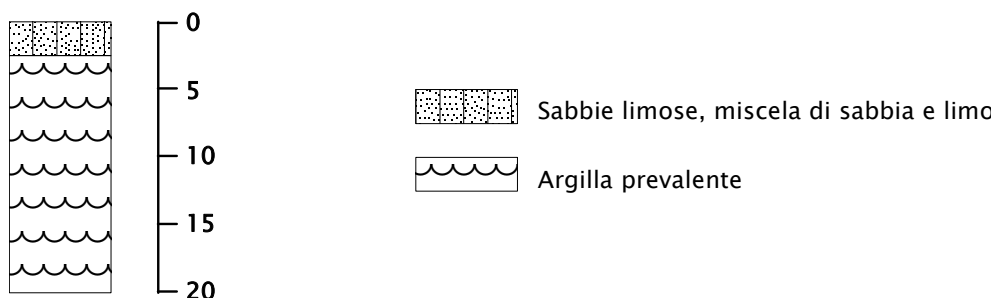


Figura 42 - Successione stratigrafica cod. 30502001.

Zona 30502002

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con sabbie limose, miscela di sabbia e limo in superficie, con lenti di sabbia sottostante con spessore cumulativo > 0,5 m entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502002 è raffigurata in Figura 43.

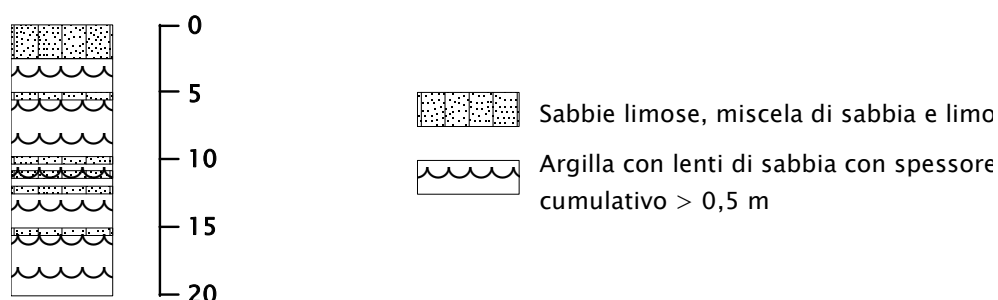


Figura 43 - Successione stratigrafica cod. 30502002.

Zona 30502003

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con miscele di sabbie e argille organiche di media-alta plasticità e limi organici in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502003 è raffigurata in Figura 44.

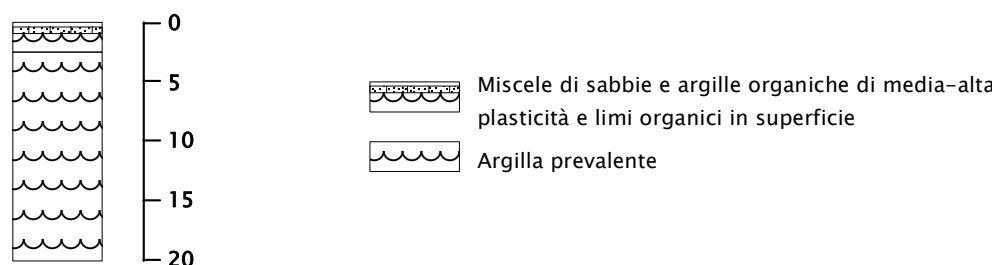


Figura 44 - Successione stratigrafica cod. 30502003.

Zona 30502004

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con argille organiche di media-alta plasticità e limi organici in superficie, con lenti di sabbia sottostante con spessore cumulativo > 0,5 m prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502004 è raffigurata in Figura 45.

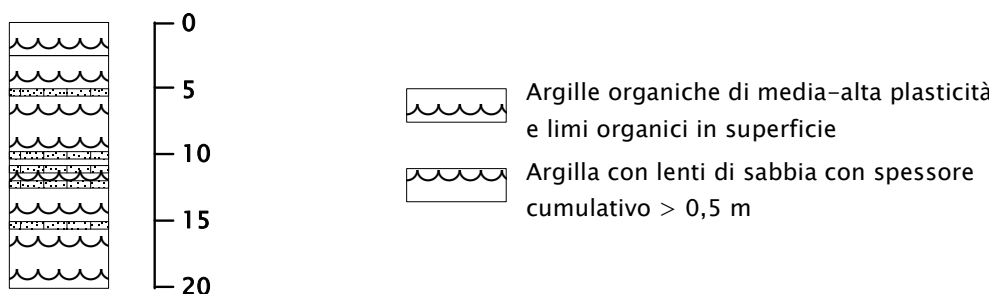


Figura 45 - Successione stratigrafica cod. 30502004.

Zona 30502005

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con miscele di sabbie e limi organici e argille limose organiche di bassa plasticità in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502005 è raffigurata in Figura 46.

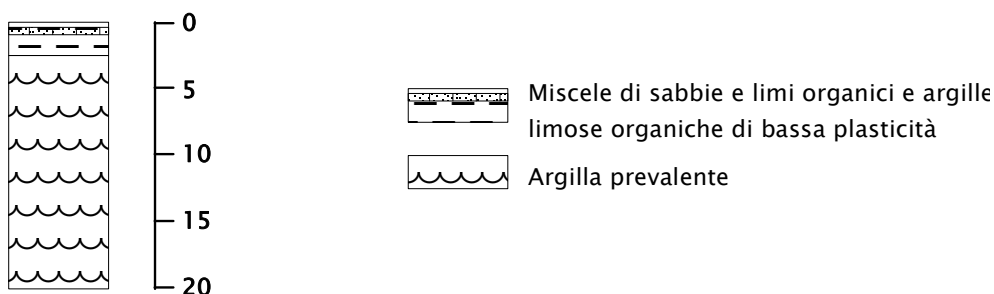


Figura 46 - Successione stratigrafica cod. 30502005.

Zona 30502006

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con limi organici e argille limose organiche di bassa plasticità in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna e lenti di sabbia con spessore cumulativo < 0,5 m dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502006 è raffigurata in Figura 47.

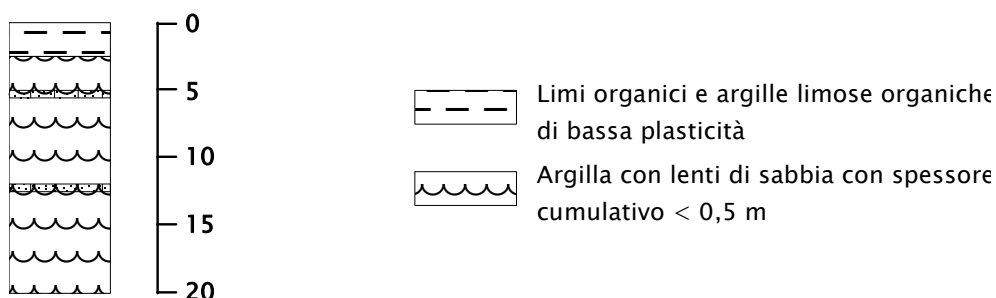


Figura 47 – Successione stratigrafica cod. 30502006.

Zona 30502007

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con limi organici e argille limose organiche di bassa plasticità in superficie, con lenti di sabbia sottostante con spessore cumulativo > 0,5 m entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 30502007 è raffigurata in Figura 48.

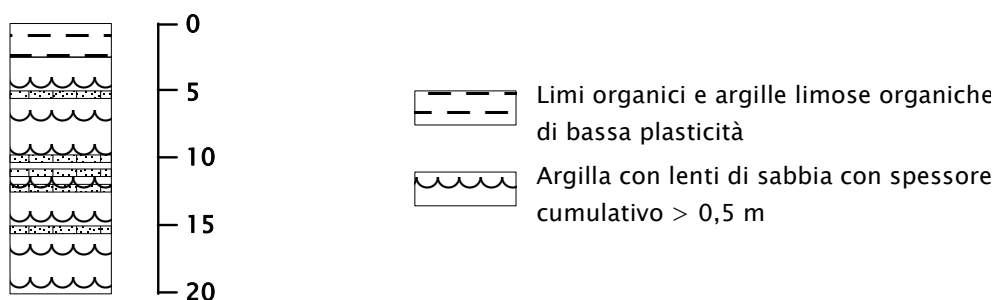


Figura 48 – Successione stratigrafica cod. 30502007.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

L'areale in studio è caratterizzato da tre microzone omogenee, costituite da aree suscettibili di amplificazioni locali per motivi litologici e stratigrafici.

Zona 2008

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con argille organiche di media-alta plasticità e limi organici in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 2008 è raffigurata in Figura 44.

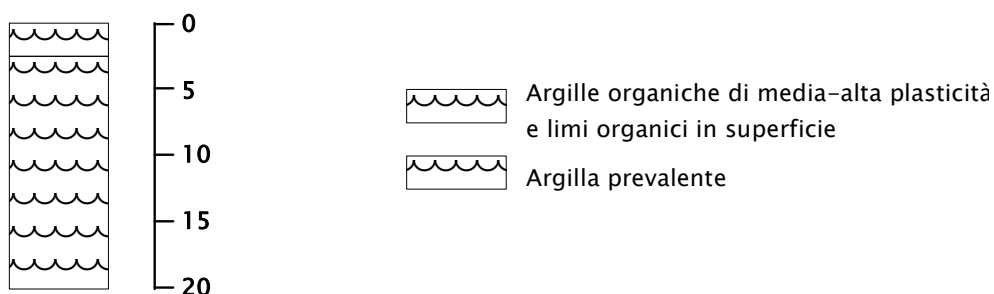


Figura 49 – Successione stratigrafica cod. 2008.

Zona 2009

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con limi organici e argille limose organiche di bassa plasticità in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 2009 è raffigurata in Figura 46.

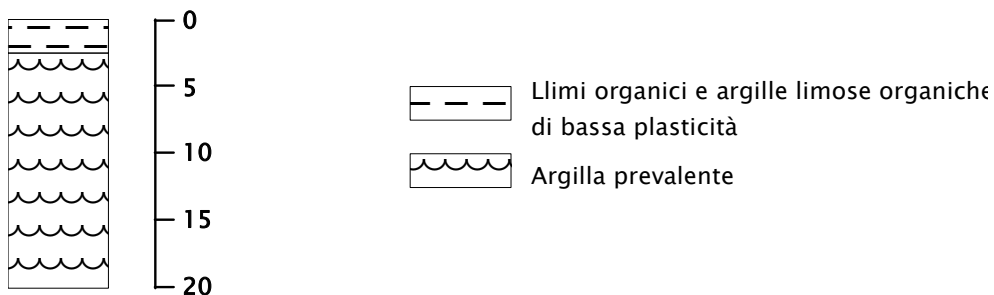


Figura 50 – Successione stratigrafica cod. 2009.

Zona 2010

Questa zona comprende successioni stratigrafiche con limi organici e argille limose organiche di bassa plasticità in superficie, con prevalente argilla sottostante entro i primi 20 metri dal piano campagna e lenti di sabbia con spessore cumulativo < 0,5 m dal piano campagna.

Una sintesi della successione stratigrafica della Zona 2006 è raffigurata in Figura 47.

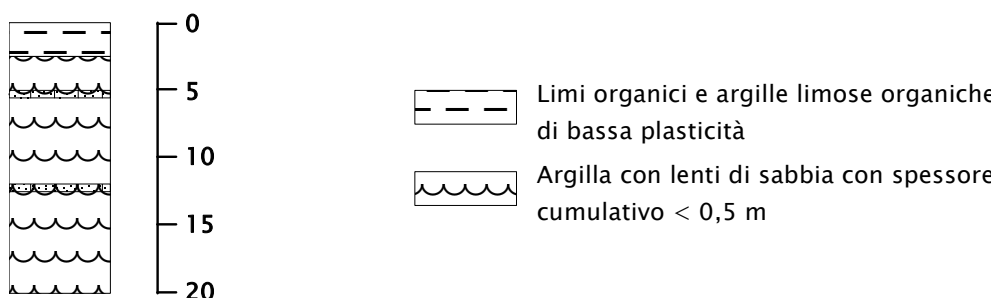


Figura 51 – Successione stratigrafica cod. 2006.

8.5. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO (Vs)

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione del valore di Vs₃₀ (in m/s), dove si ricava la Vs₃₀ da:

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

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).

Per le misure di Vs sono state impiegate le tecniche MASW e REMI, in alcuni casi, la tecnica HVSR, in carta distinte con simboli diversi.



Figura 52 – Esempio di legenda della Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s).

Tranne quattro indagini HVSR (036034P161HVSR161, 036034P190HVSR192, 036034P212HVSR212 e 036034P213HVSR213), dall’elaborazione delle restanti prove (MASW, HVSR e REMI) si sono ricavati profili di velocità delle onde di taglio (V_{s30}) compresi tra 175–225 m/s.

Ciò concorda con la carta geologica, dove infatti non ci sono evidenti variazioni laterali di litologia.

Le uniche quattro prove poco affidabili menzionate in precedenza, sono quattro HVSR, che rispetto alle MASW, comunque, risultano meno indicate per la stima della V_{s30} .

In Figura 53 è riportato un profilo tipo di V_s di una prova MASW effettuata all'interno del territorio comunale di Ravarino.

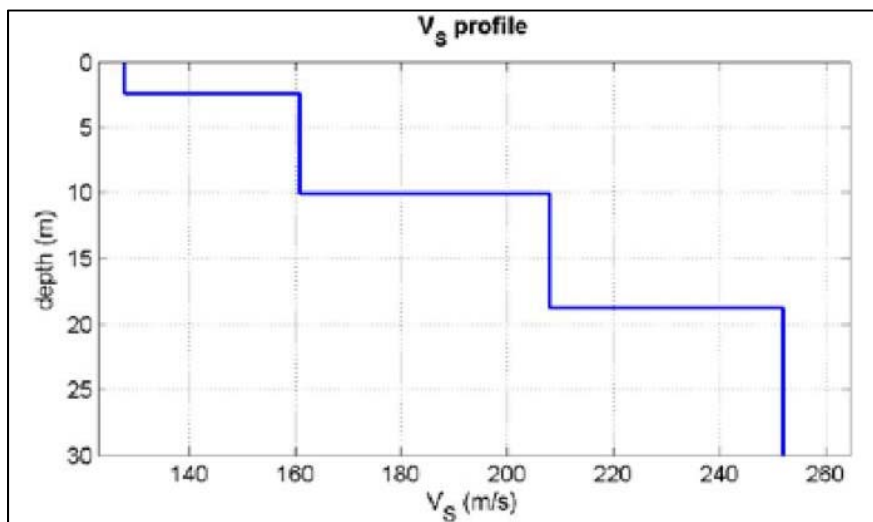


Figura 53 – Profilo tipo di V_s delle area comunale di Ravarino. Prova n. 036034L18MASW18

8.6. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2)

Nella Carta di microzonazione sismica di secondo livello sono evidenziate le zone caratterizzate da valori simili dei fattori di amplificazione sismica, relativi a FPGA, a FH0105, FH0510 e FH0515.

Nella Carta di microzonazione sismica di secondo livello sono rappresentate le zone caratterizzate da valori simili dei fattori di amplificazione sismica; in particolare sono state elaborate quattro carte, una in cui viene rappresentato il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica FPGA (peak ground acceleration) (carta MS_02_FPGA), e tre in cui sono rappresentati i fattori di intensità spettrale di Housner per periodi $0,1s < T_0 < 0,5s$ (MS_02_FH0105), per periodi $0,5s < T_0 < 1,0s$ (MS_02_FH0510) e per periodi $0,5s < T_0 < 1,5s$ (MS_02_FH0515).

In Figura 54 si riporta un esempio di legenda della carta del coefficiente di amplificazione stratigrafica FPGA:

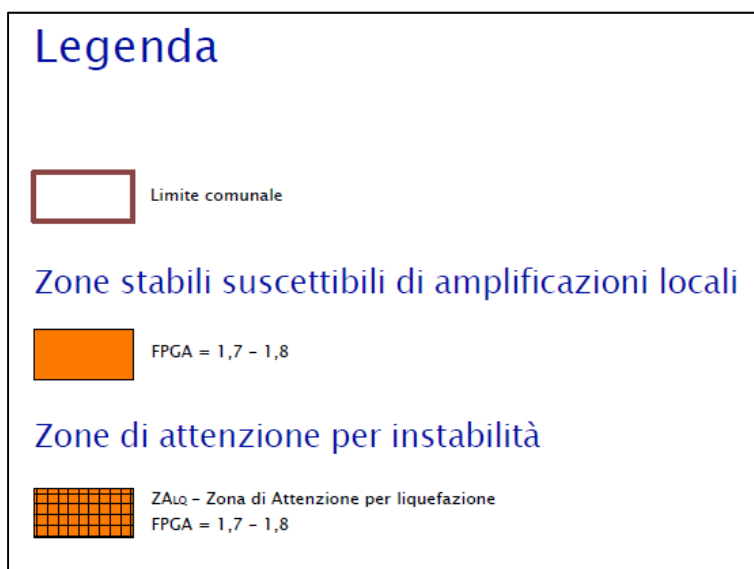


Figura 54 - Esempio di legenda della Carta di microzonazione sismica (Livello 2) per amplificazione stratigrafica FPGA.

Per la definizione dei fattori di amplificazione sono state utilizzate le tabelle indicate dall'Allegato A2 degli indirizzi regionali aggiornati per gli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica, di cui alla DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna.

In particolare, considerando le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo del Comune di Ravarino, si sono utilizzate le tabelle della "Pianura padana e costa adriatica" riferite all'ambito di "PIANURA 2" (Figura 55), cioè: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.

COMUNE DI RAVARINO - PROVINCIA DI MODENA
MICROZONAZIONE SISMICA - 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Figura 55 - Tabella utilizzata per la stima di dei fattori di amplificazione stratigrafica (Pianura padana e costa adriatica-PIANURA 2, Allegato A2 degli indirizzi regionali DGR 2193/2015).

Nella carta sono indicate anche le zone di attenzione per instabilità, che vanno a sovrapporsi alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

Tralasciando le quattro prove HVSR con $V_{s30} > 320$ m/s e minori di 175 m/s, valutate poco attendibili, siccome tutte le altre indagini hanno misurato valori di V_{s30} compresi tra 175-225 m/s, per tutto l'areale del Comune di Ravarino, si ottengono i seguenti coefficienti di amplificazione:

- $FPGA = 1,7$
- $FH0105 (SI1) = 2,0$
- $FH0510 (SI2) = 3,0$
- $FH0515 (SI3) = 3,3$

Sulla base dei risultati ottenuti, si nota come vi sia una equilibrata amplificazione del moto sismico in tutto il territorio di Ravarino, ulteriore conferma di una bassa variabilità litologica laterale dell'area.

9. COMMENTI E CRITICITÀ

Innanzitutto, va precisato che il presente studio presenta carattere sperimentale, trattandosi ancora 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 non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili.

Pure l'interpretazione delle indagini tomografiche effettuate (che restituiscono curve H/V in cui sono generalmente presenti più picchi, a frequenze associabili a differenti profondità, anche tali da non trovare un riscontro stratigrafico attendibile) non è sempre facile.

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate, una microzonazione del territorio con attribuzione dei fattori di amplificazione.

Inoltre, si auspica che nell'area ZALQ possa essere effettuato un approfondimento di terzo livello, 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.

Quanto al rischio di liquefazione, recependo quanto indicato nella valutazione della pericolosità sismica contenuta nel Quadro Conoscitivo del PSC Vigente, sono state indicate come "zone di attenzione per instabilità" (più precisamente ZALQ - Zone di Attenzione per liquefazioni) le zone del territorio in cui l'analisi geomorfologica e litologica "ha evidenziato la presenza di dossi/paleodossi e paleovalvei, in cui si presume vi siano consistenti orizzonti sabbiosi"; in tali aree andranno effettuati approfondimenti di terzo livello.

10. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Nell'ambito dell'emergenza post-sismica dei terremoti del 20 e 29 Maggio 2012, gli edifici presenti sul territorio comunale di Ravarino sono stati censiti attraverso la redazione delle schede AeDES, ossia "Scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica".

Dall'analisi di queste schede, ed in particolare dal confronto dell'agibilità degli edifici presenti sul territorio comunale di Ravarino (Figura 56), è emerso che dopo gli eventi sismici del Maggio 2012 complessivamente 78 edifici sono risultati agibili, 46 edifici temporaneamente inagibili ma agibili con provvedimenti di pronto intervento, 12 edifici parzialmente agibili, 1 edificio temporaneamente inagibile su cui effettuare approfondimenti, 163 edifici inagibili e 10 edifici inagibili per rischio esterno.

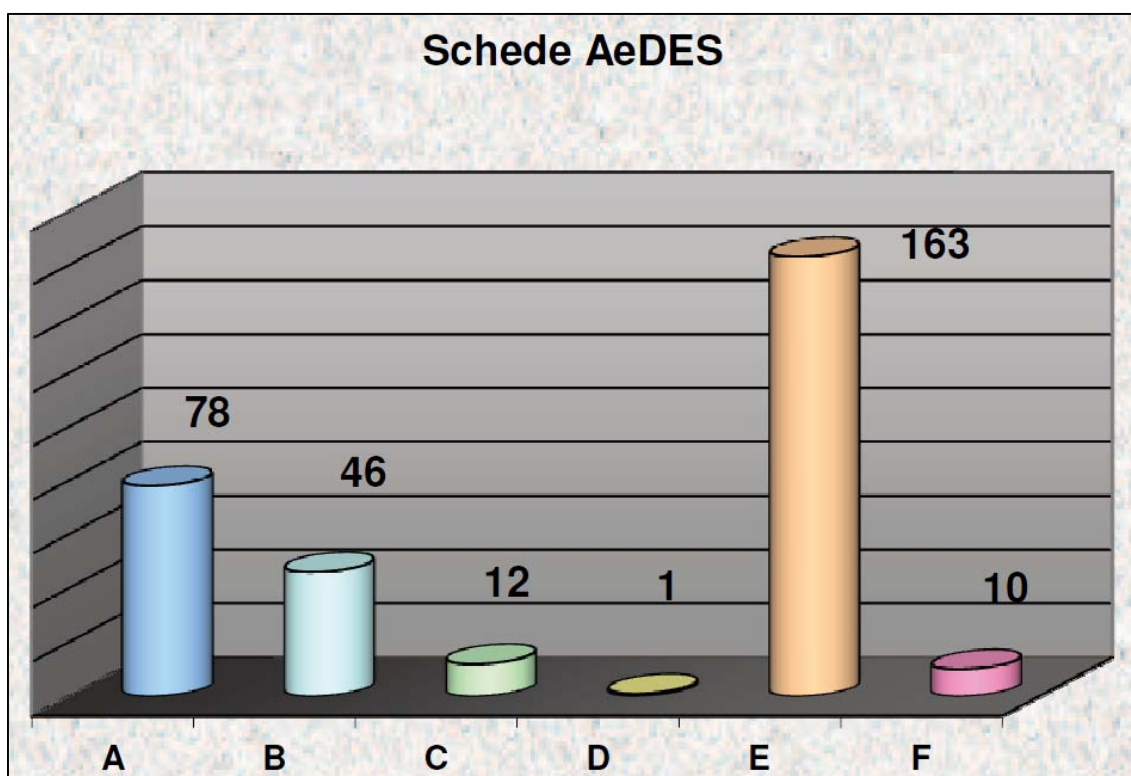


Figura 56 - Sintesi dell'esito di agibilità degli edifici censiti nelle schede AeDES del Comune di Ravarino. Legenda: A-edificio agibile; B-edificio temporaneamente inagibile (tutto o parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento; C-edificio parzialmente inagibile; D-edificio temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento; E-edificio inagibile; F-edificio inagibile per rischio esterno.

Poiché non è ancora stata realizzata una distribuzione georeferenziata sul territorio comunale degli edifici danneggiati dagli eventi sismici del 20 e 29 Maggio 2012, non è stato possibile confrontare tale distribuzione con i risultati della presente Microzonazione sismica di II Livello, al fine di ragionare su possibili correlazioni tra la componente sottosuolo e i danni registrati dalle costruzioni esistenti.

BIBLIOGRAFIA

Autori vari – Carta geomorfologica della Pianura Padana – ed. Selc.

CARG, Servizio di Cartografia Geologica e Geotematica dell'Emilia-Romagna, E.R. ambiente. – <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/cartografia>

Cassano E., Anelli L., Fichera R., Cappelli V. (1986) – Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici – 73° Congresso Società Geologica Italiana, 29 Settembre – 4 ottobre 1986 Roma

Castaldini D. (1987) – F° 75 Mirandola: un esempio di cartografia geomorfologica – Atti della Riunione dei Ricercatori di Geologia, Milano

Castellarin A., Eva C., Giglia G., Vai G.B. (1985) – Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano – Giorn. Geol., ser.3, 47, 47 – 75

Castellarin et alii, 1985. Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco-Emiliano-Romagnolo e Val Padana – Università di Siena. Quadro delle principali strutture tettoniche riconosciute nella parte sepolta dell'Appennino settentrionale attraverso i dati di sottosuolo (perforazioni profonde e linee sismiche).

Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madiari C., Renzi S., Vannucchi G. (2012): Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012. Rapporto 31 maggio 2012. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro>.

Delibera della Giunta Regionale della Regione Emilia-Romagna n. 2193/2015. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

F. C. Molinari, M. Pizzolo, 2009. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio n. 201 – San Giovanni in Persiceto, Regione Emilia Romagna. Ispra ambiente.

Facciorusso J., Madiari C., Vannucchi G. (2012): risposta sismica locale e pericolosità di liquefazione a S. Carlo e Mirabello. Rapporto 3 ottobre 2012.

Geoportale E. R. – <http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it>

Giusti, C. (2001) – Geomorfologia della pianura modenese e studio d'impatto ambientale del tracciato ferroviario ad alta velocità nel territorio di Castelfranco Emilia. Tesi di Dottorato, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, p. 198.

Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conf. delle Reg. e delle Province Auton. – Dip. della Prot. Civile, Roma 3 vol.

INGV, Database of Individual Seismogenic Sources – DISS version3 – <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>

INGV, Progetto DPC, “Mappe interattive di pericolosità sismica” – <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>.

ISIDE, Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo>4 (da: <http://iside.rm.ingv.it>)

ISIDE, Italian Seismological Instrumenta and Parametric Data-Base. – <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/result.jsp?rst=1&page=EVENTS#result>

Italy Shake Map, <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/772691/products.html>

Serva, 1990. Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale.

Locati, M., Camassi, R., Stucchi, M., 2011. Database macrosismico italiano versione DBMI11. Miano, Roma.

Pellegrini, A. Colombetti & A Zavatti – Idrogeologia profonda della pianura modenese – Quaderni dell'istituto di ricerca sulle acque – C.N.R. “Carta delle isobate della base del Pliocene”

Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise. The seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a blind Faulting Domain. Sorgenti sismogenetiche della pianura padana con l'ubicazione nel rettangolo verde del Comune di Ravarino.

Pieri, 1980. Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa pianura modenese.

Pieri M. & Groppi G. (1981) – Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy – Pubbl. 414, P.F. Geodinamica, CNR, pp.23

Protezionecivile.gov, Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s/s, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (www.protezionecivile.gov.it)

PSC Ravarino. Inquadramento geologico-stratigrafico dell'Emilia-Romagna

REGIONE EMILIA ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) – Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna

RER – ENI / AGIP, 1998. Schema geologico-stratigrafico regionale dei depositi quaternari di sottosuolo tratto da Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna.

RER (2013): Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree

epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012 (ordinanza del commissario delegato - presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012). A cura di Luca Martelli e Maria Romani, con contributi di Vincenzo Fioravante, Daniela Giretti, Giovanna Laurenzano, Claudia Madiari, Antonella Manicardi, Marco Mucciarelli, Enrico Priolo e Giovanni Vannucchi.

Sito della Cartografia Geologica del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna
https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=sezioni_geo

ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici (tutti alla scala 1:10.000):

- CARTA DELLE INDAGINI
- CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA (CGT_MS)
- CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI
- CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS O LIVELLO 1)
- CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (VS)
- CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2) - FPGA
- CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2) - FH0105
- CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2) - FH0510
- CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2) - FH0515