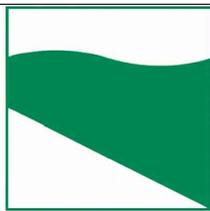




PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



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 Cavriago



<p>Regione Emilia–Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore <u>Mandatario:</u> ENGEO S.r.l.</p>  <p>ENGEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY www.engeo.it</p> <p><u>Mandanti:</u> Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS – Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli</p>	<p>Data Marzo 2021</p> <p style="text-align: center;">MS2</p>
-----------------------------------	--	---

INDICE

1.	Introduzione	2
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	5
	2.1 Sismicità del territorio	5
	2.2 Caratteristiche sismotettoniche	9
	2.3 Classificazione sismica comunale	16
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	19
	3.1 Geologia	19
	3.2 Geomorfologia	22
4.	Dati geotecnici e geofisici	24
	4.1 Prove sismiche di tipo MASW	25
	4.2 Prove sismiche di tipo HVSR	26
	4.3 Prove sismiche di tipo ReMi	27
	4.4 Tomografie elettriche	29
	4.5 Prove penetrometriche	30
	4.5.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica - CPT	31
	4.5.2 Prove penetrometriche dinamiche - DPSH	31
5.	Modello del sottosuolo con relative interpretazioni e incertezze	34
6.	Metodologie di elaborazione e risultati	37
7.	Elaborati cartografici	39
	7.1 Carte delle indagini	39
	7.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	41
	7.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni	44
	7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	47
	7.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S	48
	7.6 Carte di microzonazione sismica	52
	7.7 Carte dello scuotimento atteso	56
	7.8 Commenti finali e criticità	57
8.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati	58
9.	Bibliografia	59
10.	Allegati	62

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	1 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

1. INTRODUZIONE

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

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

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	2 di 63

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

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

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

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

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	3 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	4 di 63

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

2.1 Sismicità del territorio

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

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

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

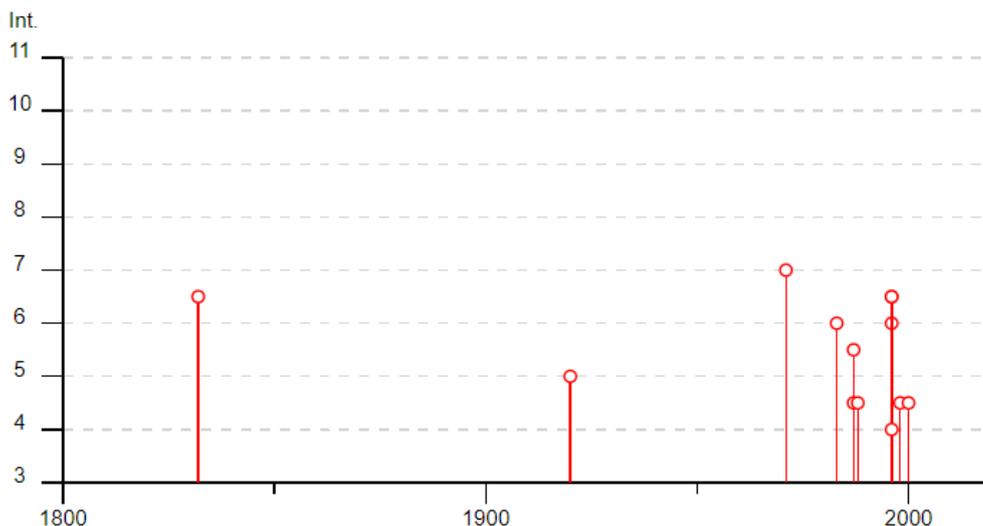


Fig. 1 - Eventi di maggiore intensità censiti nel comune di Cavriago

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	5 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8	5.51
5	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
7	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
4-5	1987	04	24	02	30	2	Reggiano	54	6	4.64
5-6	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
NF	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
6	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
6-7	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
6-7	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
4	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
4-5	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
4-5	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
2	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23

Tab. 1 – Massimi eventi sismici verificatisi a Cavriago

Come si nota sono stati rilevati 16 terremoti con intensità di sito pari o superiore a 3 (cf. Tab. 1).

Dalla lettura di suddetta tabella si evidenzia che il massimo evento sismico censito a Cavriago si è verificato il 15 luglio 1971 con un'intensità al sito del VII grado della scala MCS.

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

Secondo tale studio, basato in misura prevalente su valori realmente osservati, ma che contiene delle correzioni, per quelle località ove queste si siano rese necessarie, il

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	6 di 63

territorio di Cavriago è stato soggetto a terremoti di intensità massima minore o uguale al VIII grado della scala MCS.

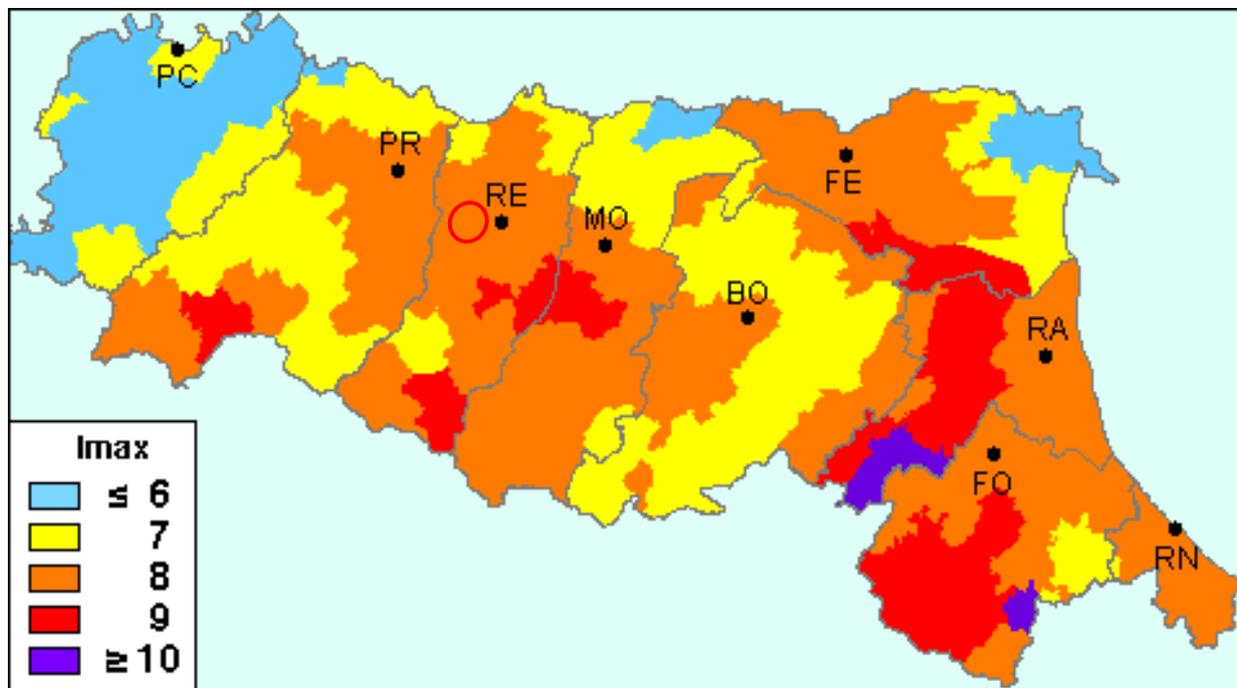


Fig. 2 - Carta della massima intensità macrosismica in Emilia Romagna

Volendo inquadrare la tematica a scala regionale, si può affermare che l'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità rilevante, seppur relativamente meno forte di altre aree del territorio nazionale, con terremoti di magnitudo massima di poco superiore a 6 e che hanno causato effetti fino al IX÷X grado di intensità della scala MCS.

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

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

L'intero settore appenninico della Regione, inoltre, ha risentito di forti terremoti avvenuti in aree sismogenetiche extraregionali, alcune delle quali capaci di generare

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	7 di 63

terremoti di magnitudo superiore a 6. In particolare, i terremoti che hanno provocato i maggiori effetti lungo il crinale appenninico sono, da NW a SE, quelli della Garfagnana, del Mugello, della Val Tiberina e delle Marche settentrionali.

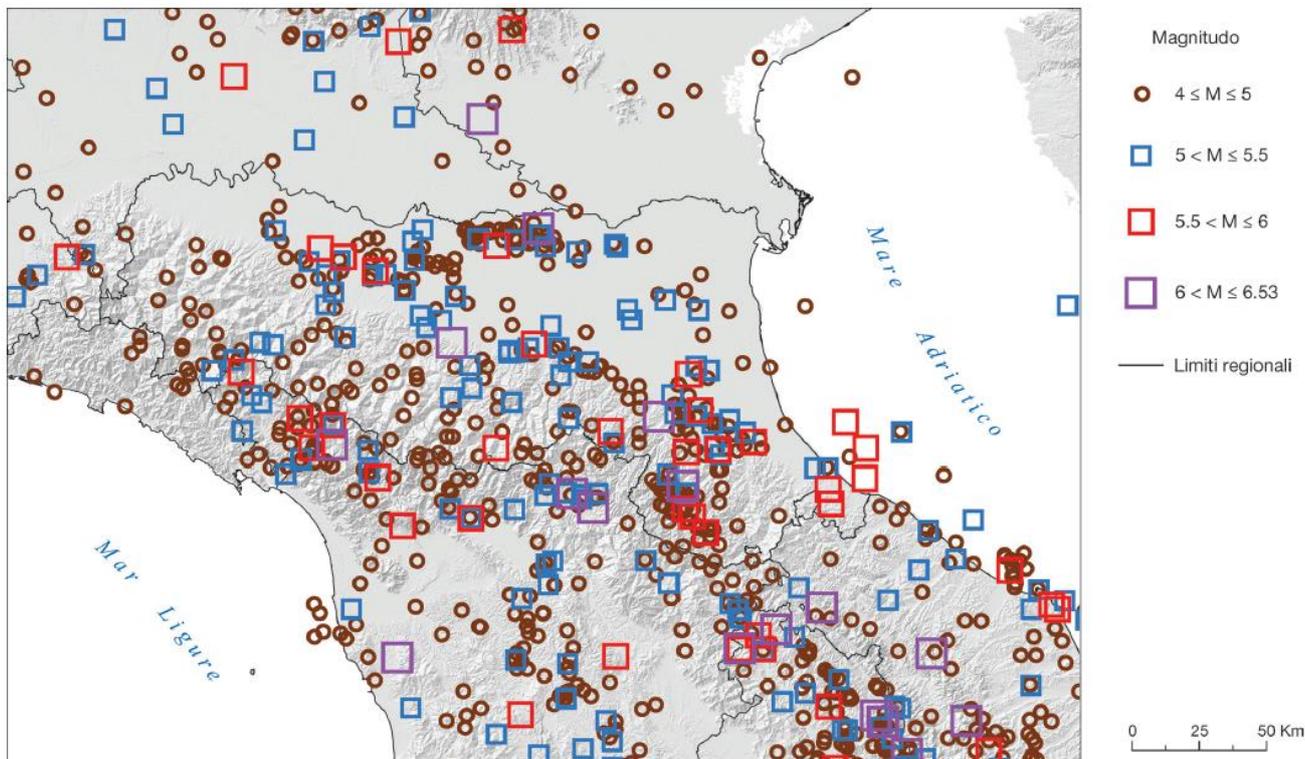


Fig. 3 - Epicentri dei principali terremoti (Mw≥4) che hanno interessato l’Emilia-Romagna dall’anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDE Working Group, 2015)

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

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

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

I dati strumentali, relativi ai terremoti dal 1981 in avanti (cfr. Fig. 4), indicano che in Regione la sismicità è per lo più superficiale, con profondità ipocentrali generalmente

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	8 di 63

comprese tra 5 e 15 km e che i terremoti più profondi si concentrano soprattutto nella zona del margine appenninico-padano e del basso e medio Appennino emiliano-romagnolo.

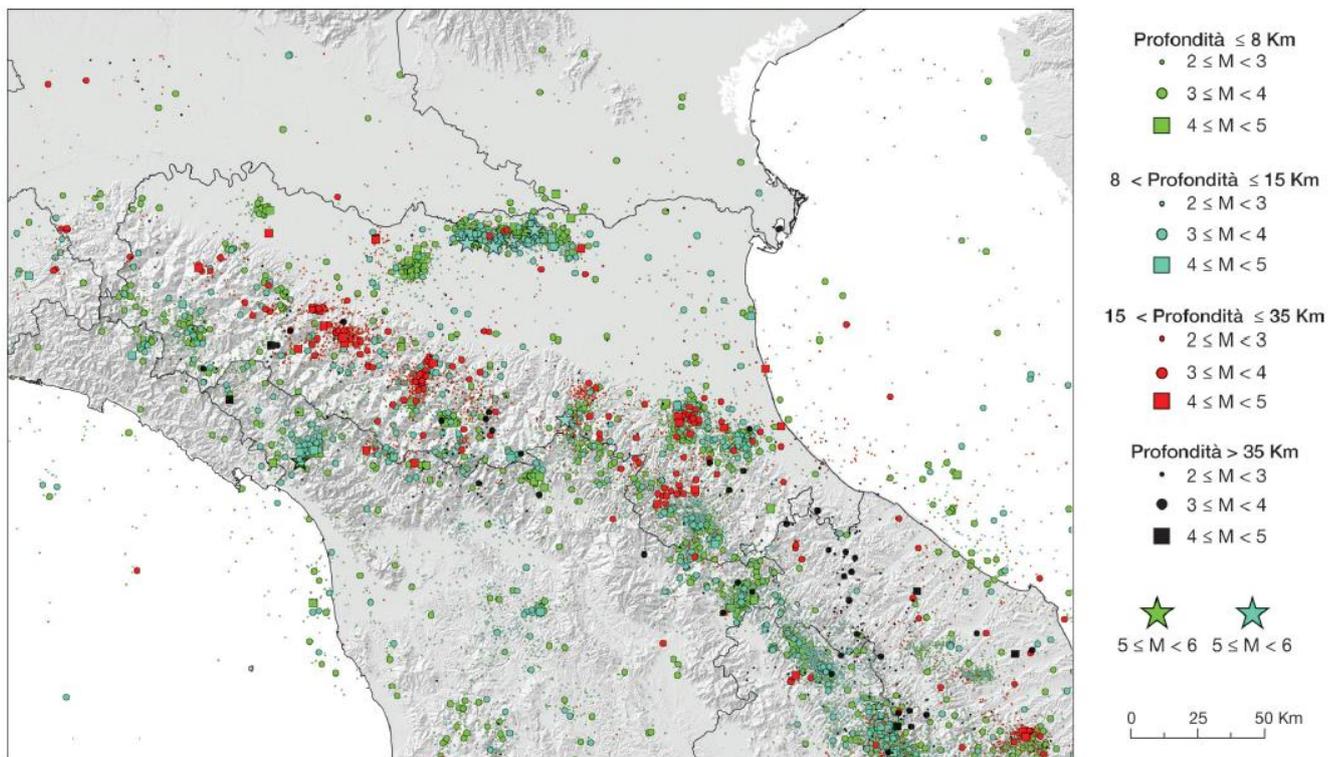


Fig. 4 - Mappa dei terremoti strumentali Mw≥2 (ISIDe Working Group, 2015)

2.2 Caratteristiche sismotettoniche

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

Ai fini della realizzazione di tale cartografia, sono risultate fondamentali l'identificazione e la rappresentazione delle strutture tettoniche attive; dove, per strutture tettoniche attive, in questo caso, si intendono quelle che mostrano chiare evidenze di influenza sull'evoluzione morfologica del paesaggio attuale o hanno deformato orizzonti stratigrafici non più antichi di 450.000 anni, età attribuita al limite inferiore del Sintema

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	9 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Emiliano-Romagnolo Superiore (*marker* stratigrafico più importante alla scala del territorio d'interesse).

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

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

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

Va chiarito, comunque, che le faglie attive rappresentate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” non vanno confuse con le faglie attive e capaci considerate elemento di instabilità nelle analisi di pericolosità sismica locale e oggetto di microzonazione sismica, ai sensi delle ICMS², assenti nel territorio oggetto del presente studio.

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	10 di 63

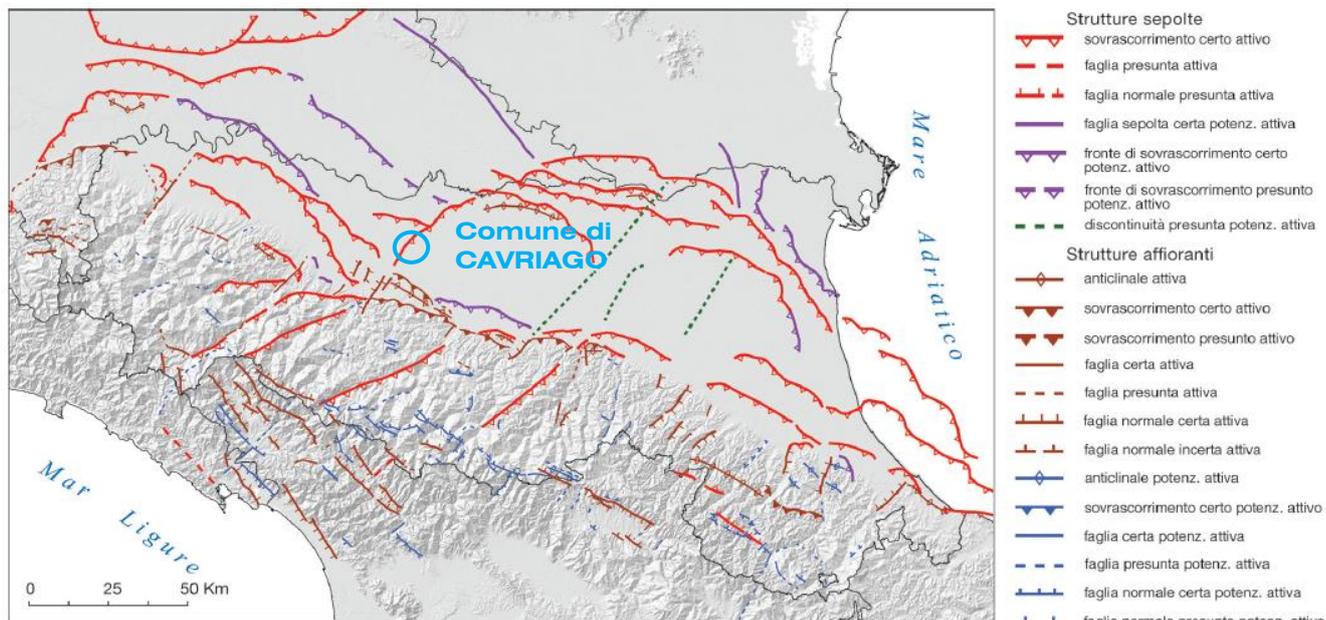


Fig. 5 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”

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

La rappresentazione di sezioni con ipocentri ricadenti all’intorno di 10 km ha, invece, evidenziato una concentrazione degli ipocentri dei terremoti strumentali che definiscono un’ampia fascia, la quale, dalla zona padano-adriatica, immerge verso sud-ovest, mentre nel versante tirrenico i terremoti sembrano meno concentrati. In alcuni casi queste fasce sembrano essere la prosecuzione in profondità delle strutture attive riconosciute nei primi 10÷15 km; tali fasce potrebbero quindi identificare zone di faglia profonde attive e sismogenetiche.

In Fig. 6 è mostrato il confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone del catalogo DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane,

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	11 di 63

potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana³.

A riguardo, è interessante osservare che il Comune di Cavriago ricade nella sorgente sismogenetica composita ITCS009 – Busseto Cavriago, individuata nel catalogo DISS 3.2, ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo pari a 5.6, con meccanismi di *thrust* ad una profondità compresa tra 2 e 8 km; *thrust* indicati come attivi (cfr. anche Fig. 7).

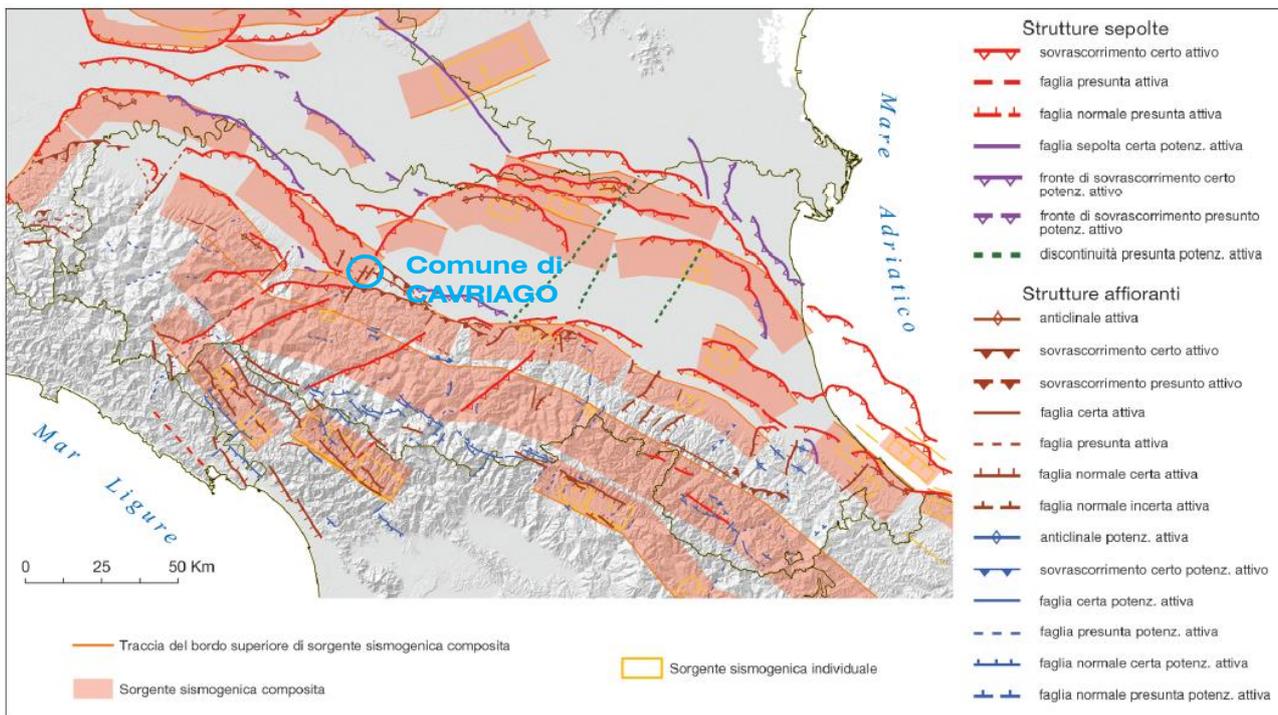


Fig. 6 – Mappa di confronto tra le strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone sismogenetiche del DISS 3.2

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	12 di 63

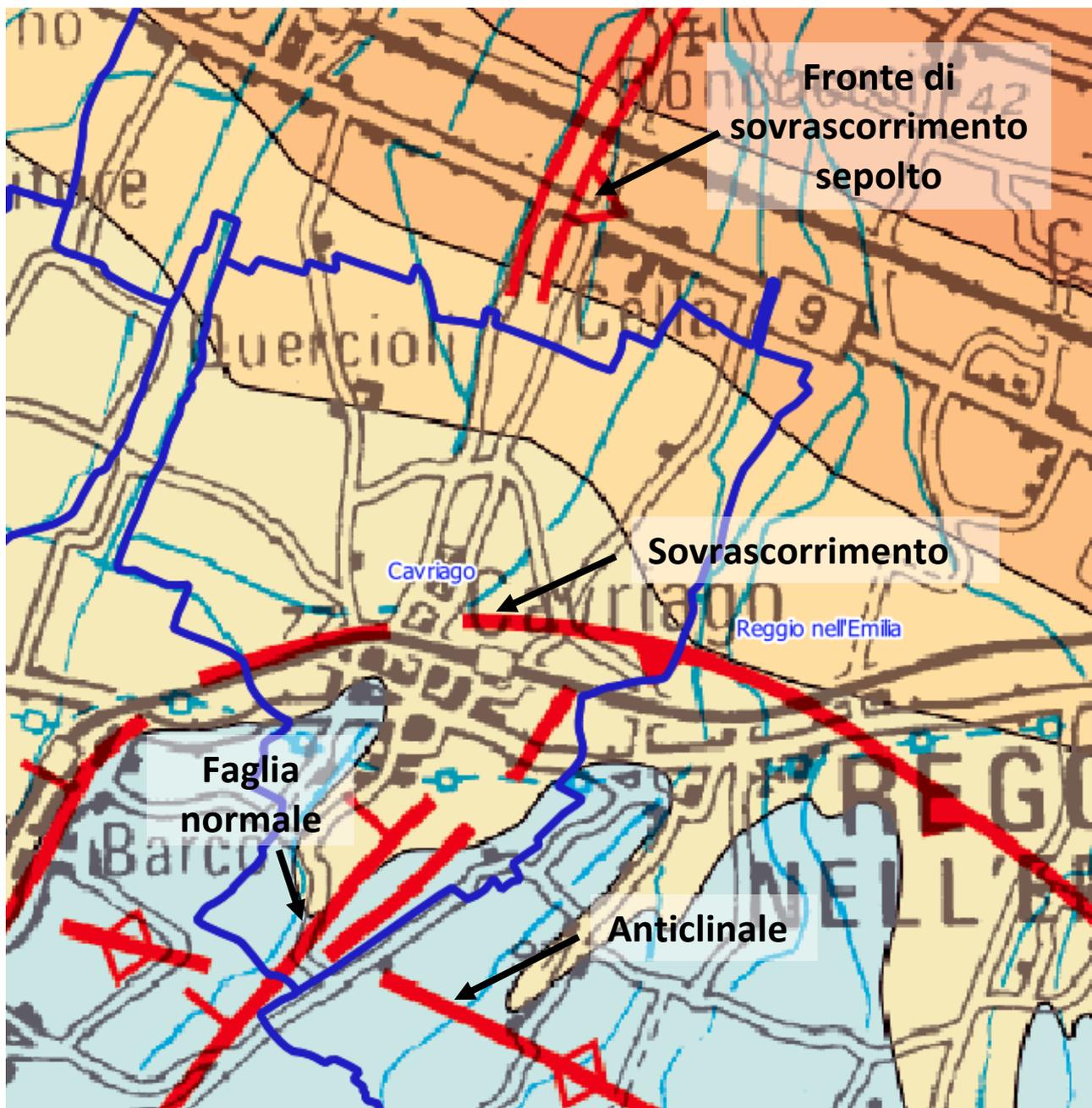


Fig. 7 - Stralcio della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe” è stata proposta, da parte di Martelli *et alii* (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell’Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l’aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	13 di 63

zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l'attuale riferimento per il calcolo dell'azione sismica (NTC2008) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

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

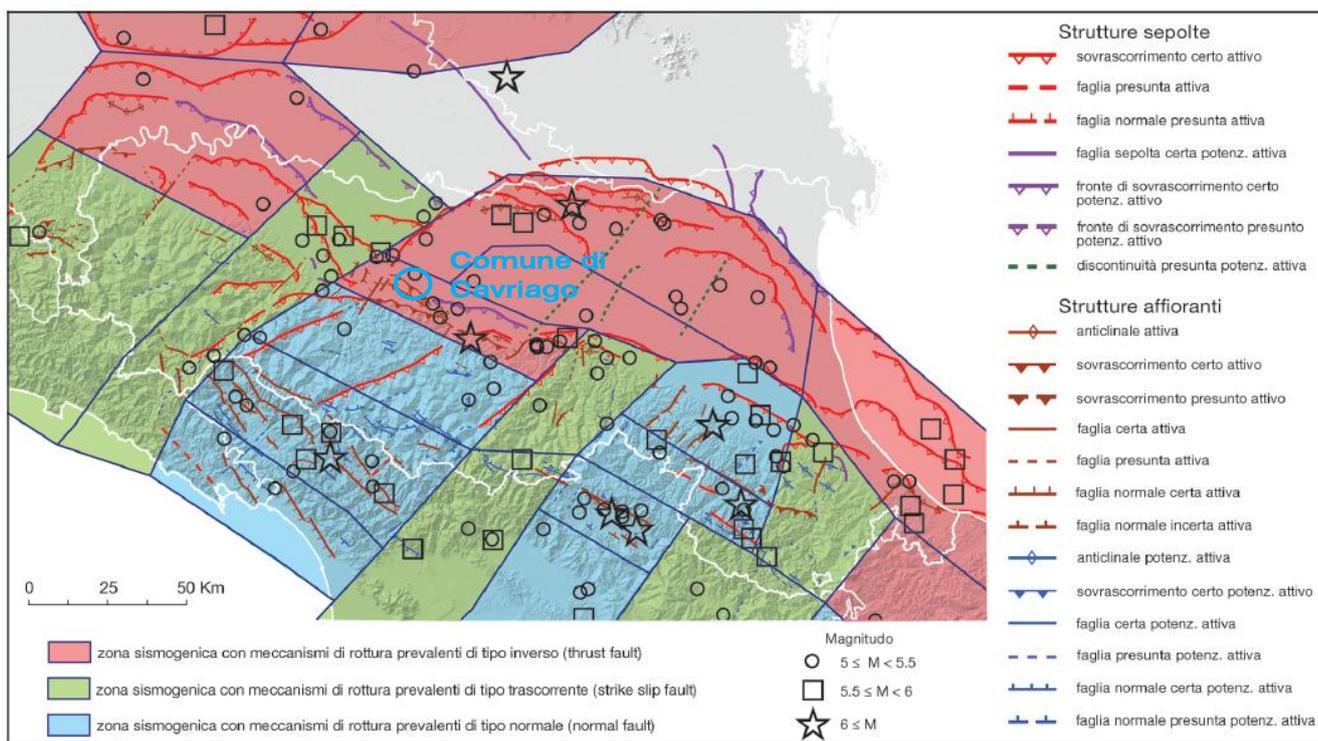


Fig. 8 - Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017)

Più precisamente (cfr. Fig. 9), rientra nella Zona 6 Margine Emiliano, contraddistinta dalle seguenti caratteristiche sismotettoniche

- *Orientazione delle principali faglie attive: S/45-60*
- *Geometria principale delle faglie attive: inversa*
- *Profondità ipocentrale: 10-30 km*
- *Magnitudo massima osservata: 6.0*
- *Magnitudo massima calcolata: 6.31 +/- 0.29*

e che viene così descritta:

- *Zona caratterizzata da numerose evidenze geologiche di attività tettonica recente, collegate essenzialmente al thrust pede-appenninico, e frequenti terremoti di forte intensità; i terremoti di questa zona sono prevalentemente compressivi, con direzione*

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	14 di 63

di compressione (assi P) circa N-S, piani immergenti verso sud di 45°-60°, con ipocentri a profondità variabili, per lo più tra 10 e 30 km; la magnitudo storica massima è $M \approx 6$. Corrisponde al settore centro-settentrionale della zona 913 della ZS9.

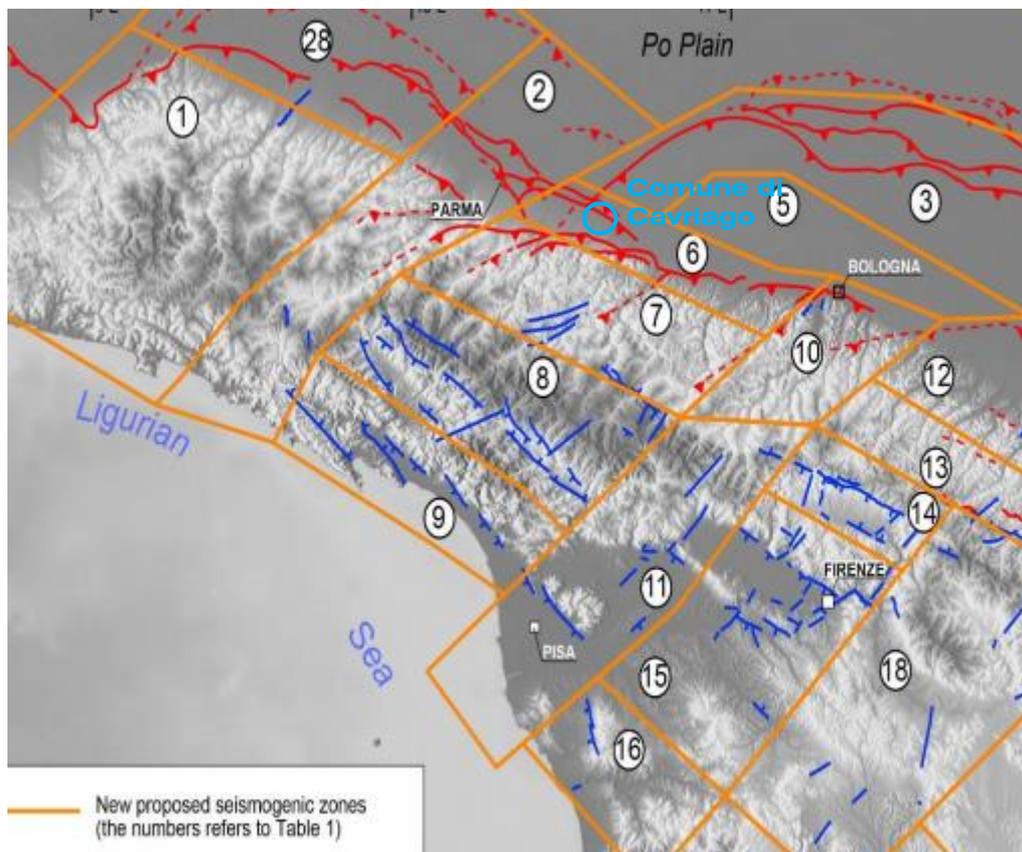


Fig. 9 – Zone sismogenetiche proposte da Martelli et al. (2017) e loro numerazione

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	15 di 63

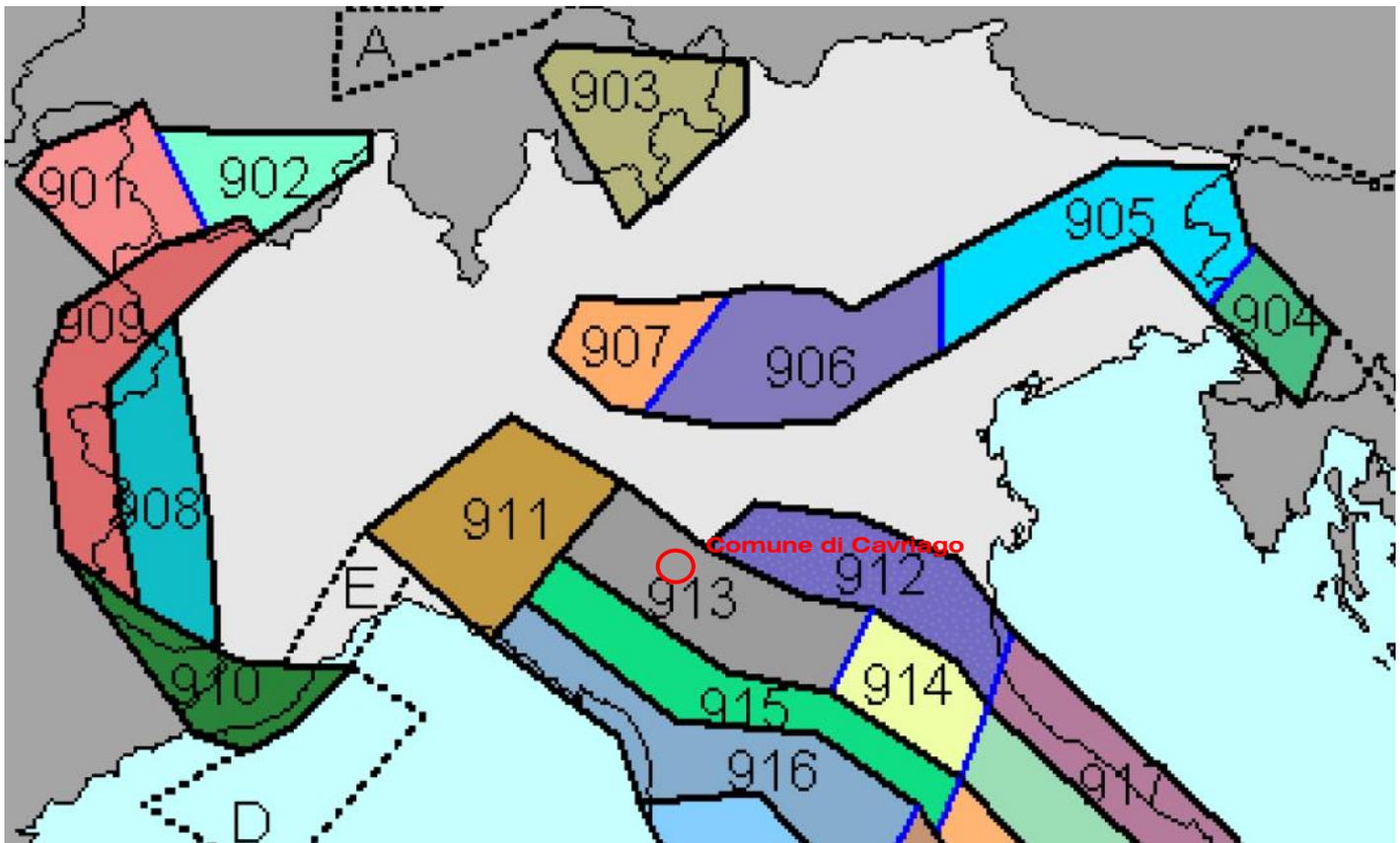


Fig. 10 - Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 (2004)

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

Sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori “cautelativi” di massima magnitudo (M_{wmax2}) pari a = 4,8.

2.3 Classificazione sismica comunale

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	16 di 63

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

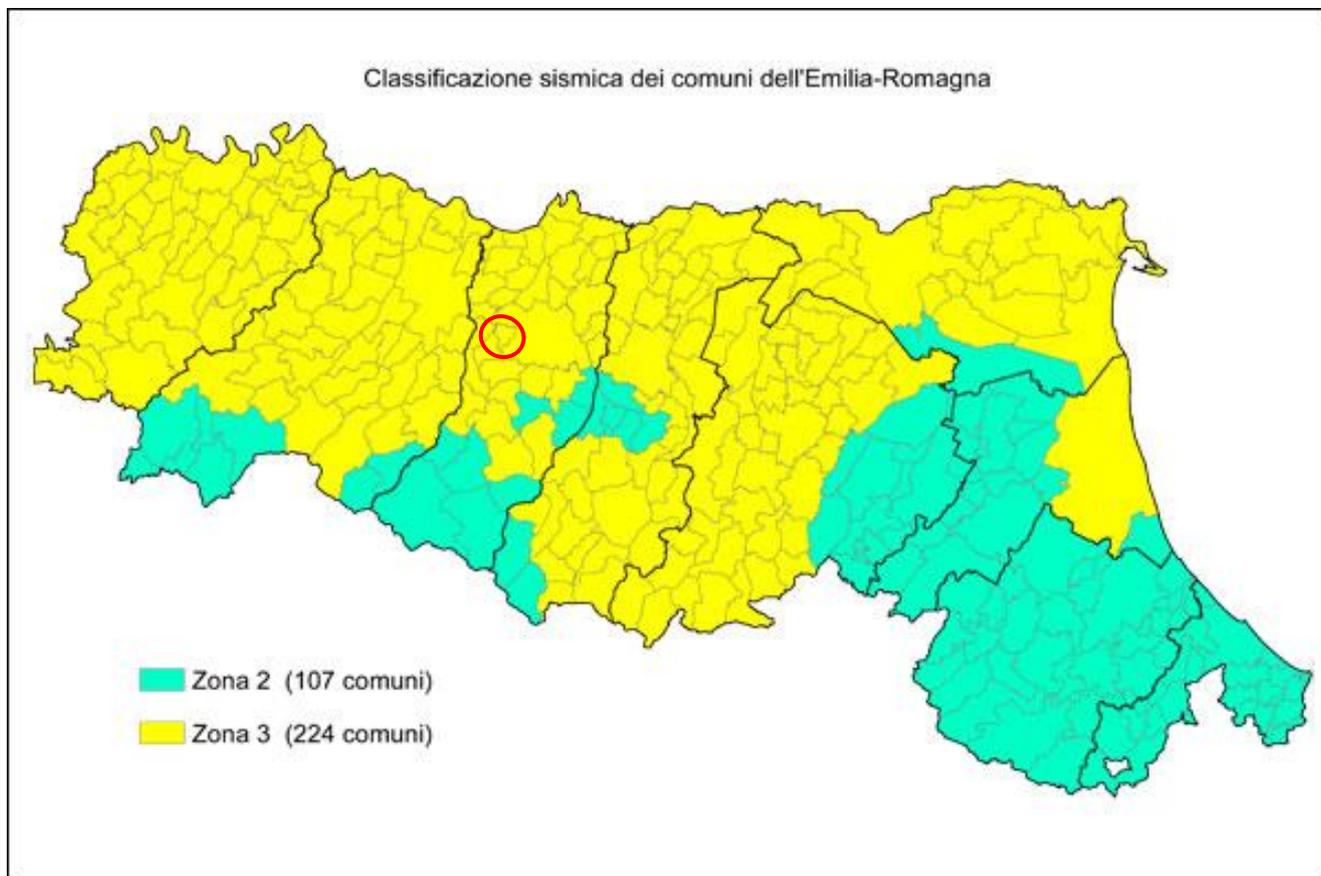


Fig. 11 - Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia-Romagna

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	17 di 63

= 0,125 e 0,175 g (ricavato dalle mappe interattive di pericolosità sismica dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia – INGV. Fig. 12).

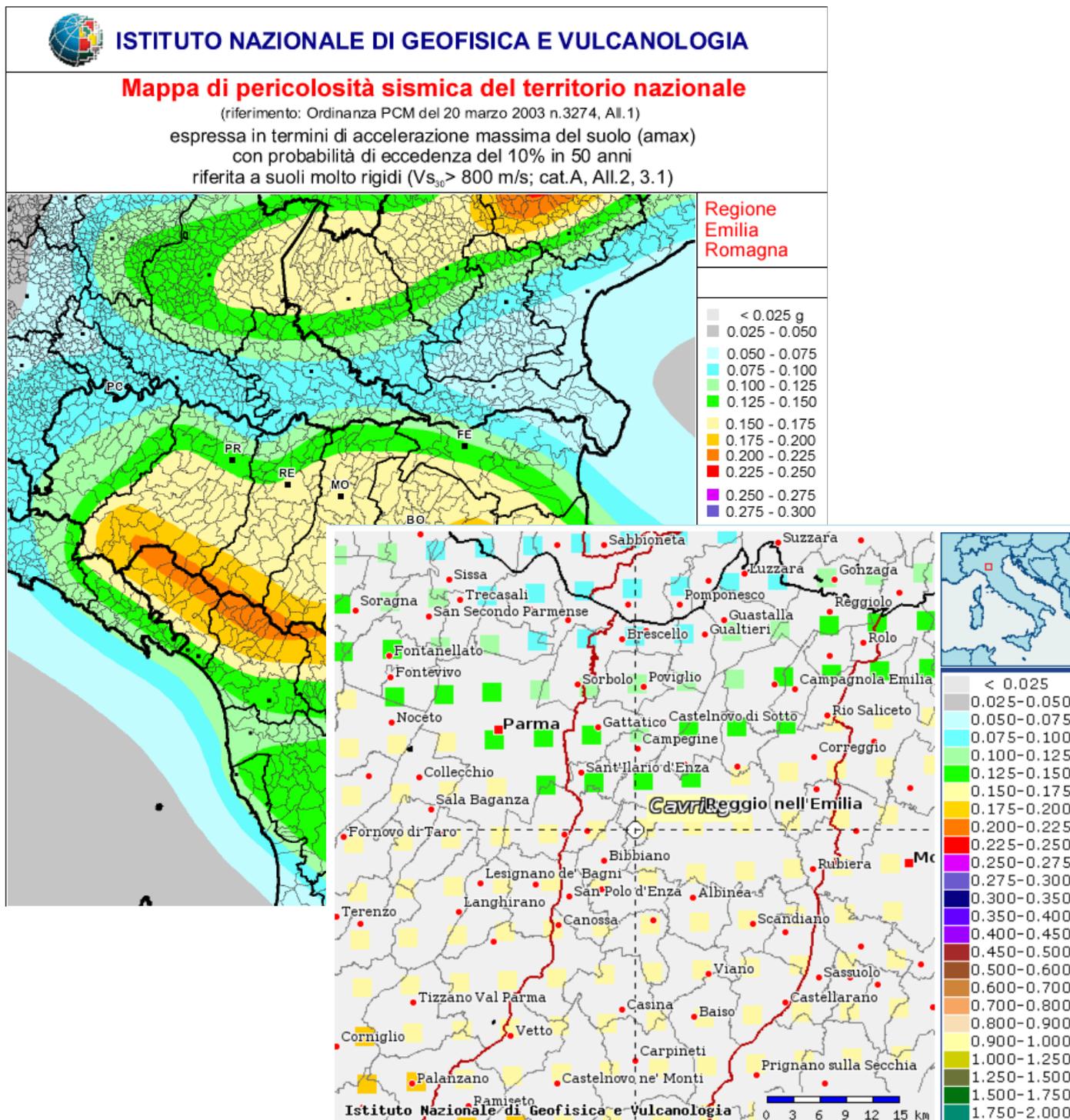


Fig. 12 – Stralcio della mappa di pericolosità sismica ripreso dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	18 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Geologia

Il Comune di Cavriago, dal punto di vista geologico, ricade nell'alta pianura reggiana, la quale, a sua volta, è compresa in quella emiliano-romagnola che costituisce il settore meridionale della pianura padana, la più grande pianura alluvionale d'Italia, edificata dai depositi del fiume Po e dei suoi affluenti.

Essa ha cominciato a formarsi nel Pleistocene medio, circa 500.000 anni fa, quando, a seguito del sollevamento in atto, il mare si è spostato dal margine appenninico, via via sempre più verso est, sino alla sua attuale posizione.

Il sottosuolo è contraddistinto da un forte accumulo di sedimenti alluvionali quaternari che appoggiano, con discontinuità a discordanza semplice, sul substrato di sedimenti marini del pliocene superiore e del pleistocene inferiore.

L'assetto di tale corpo sedimentario è il risultato dell'evoluzione deposizionale dei corsi d'acqua, legata sia alle variazioni climatiche pleistoceniche sia ai recenti movimenti tettonici della zona di margine, vale a dire di quella fascia interposta tra la Pianura s.l. in abbassamento e l'Appennino in sollevamento.

E' possibile riconoscere nella Pianura dell'Emilia-Romagna alcuni ambienti deposizionali: le conoidi alluvionali sono tipiche della zona pedeappenninica, ad esse fa seguito la piana alluvionale, che passa verso costa alla piana deltizia del fiume Po ed alla piana costiera.

I sedimenti di questi ambienti deposizionali sono costituiti prevalentemente da: ghiaie nelle conoidi alluvionali; sabbie, limi e argille nella piana alluvionale; sabbie nella piana deltizia e costiera.

Nel sottosuolo i depositi della pianura costituiscono un cuneo che si allarga velocemente procedendo dal margine appenninico verso nord.

L'assetto geostrutturale delle formazioni prequaternarie è caratterizzato da una successione plicativa ad anticlinali e sinclinali spesso fagliate e sovrascorse, con assi a vergenze appenniniche.

In tale schema la pianura reggiana è compresa nell'arco delle pieghe emiliane caratterizzate da due distinti fasci di *thrust*: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.), definisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F), definisce il limite dell'Appennino sepolto.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	19 di 63

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

L'analisi della sismotettonica dell'Emilia-Romagna, condotta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione, ha messo in evidenza come parte delle strutture sepolte che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano caratterizzate da attività molto recente ad attuale.

Nello specifico all'interno del Comune di Cavriago, facendo riferimento alla "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" di cui è già stato riportato uno stralcio in Fig. 7, sono presenti sia un sovrascorrimento che una faglia normale.

A scala padana la successione quaternaria ha un forte carattere regressivo con sabbie e peliti torbiditiche alla base, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

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

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

- Supersintema del Quaternario Marino, costituito da terreni parali e marini depositi tra il Pliocene superiore e il Pleistocene medio.
- Supersintema Emiliano-Romagnolo, costituito da depositi di ambiente continentale depositi a partire da 800.000 anni BP.

Attraverso lo studio dei profili sismici, delle analisi di facies dettagliata di sezioni affioranti e pozzi per la ricerca di idrocarburi, il Supersintema Emiliano-Romagnolo è stato suddiviso in SD minori denominate, Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), e Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES).

Queste due unità sono separate, in corrispondenza del margine appenninico, da una superficie di discontinuità, spesso con discordanza angolare ed erosione, testimonianza di una fase tettonica regionale, databile 450.000 anni BP.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore risulta, a sua volta, suddiviso in cinque subsintemi identificabili in affioramento mediante caratteristiche morfo-pedostratigrafiche: si tratta, infatti, di depositi di conoide alluvionale, terrazzati, le cui ultime superfici deposizionali, ora relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano evoluzione pedostratigrafica differente.

Questi di seguito vengono elencati in ordine crescente di età:

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	20 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- AES8 - Subsintema di Ravenna (che comprende l'unità di Modena)
- AES7 - Subsintema di Villa Verucchio (suddiviso nell'unità di Vignola e di Niviano)
- AES3 - Subsintema di Agazzano
- AES2 - Subsintema di Maiatico (suddiviso nell'unità di Fico Rosso e di Miano)
- AES1 - Subsintema di Monterlinzana

Gli stadi sedimentari di questi subsintemi risultano principalmente legati al succedersi delle oscillazioni climatiche avvenute nel quaternario e in misura minore alla modesta attività tettonica rilevata.

Per i corsi d'acqua che hanno edificato questa porzione di pianura ebbero grande significato soprattutto le fasi iniziali delle glaciazioni, durante le quali il progredire dei climi freschi e piovosi favoriva fasi di abbondante sedimentazione lungo i corsi d'acqua. In questo periodo i torrenti appenninici crearono ai piedi dei rilievi estese conoidi e piane alluvionali. I periodi glaciali furono caratterizzati dall'abbassamento del livello marino e questo produsse un aumento della capacità erosiva dei torrenti quaternari, che incisero i depositi delle precedenti fasi iniziali delle glaciazioni. In questo modo le antiche piane alluvionali e le estese conoidi furono successivamente incise dai corsi d'acqua e rimasero come superfici relitte sospese sui fondivalle formando i pianori che vengono detti terrazzi. Infine, tra una glaciazione e l'altra, si registra il minimo dell'attività fluviale e conseguente retrogradazione della conoide alluvionale.

Ciascun subsintema è stato deposto per un arco temporale di 125.000-128.000 anni, corrispondente alla durata di un ciclo glaciale. Al suo interno, ad una fase iniziale di intensa sedimentazione di materiale per lo più grossolano, segue un periodo contraddistinto da prevalente erosione e minore deposizione di materiale più fine (argilla e limo).

Con riferimento al Comune di Cavriago, i depositi superficiali appartengono sempre all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore: più precisamente, al Subsintema di Ravenna (Pleistocene superiore-Olocene), nelle zone alle quote inferiori, e ad unità più antiche di età differente sui terrazzi fluviali con andamento SW/NE.

Tali unità si presentano come depositi alluvionali costituiti in prevalenza da ghiaie e ghiaie sabbiose stratificate in alternanza a depositi fini per lo più limoso argillosi, con presenza discontinua di una copertura limoso-argillosa di spessore variabile da pochi decimetri fino a circa 15 metri.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	21 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

La pianura emiliano-romagnola è caratterizzata da due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, originata dal fiume Po; la seconda, trasversale, nordest-vergente, originata dai sistemi di alimentazione appenninica.

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

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

Il territorio del Comune di Cavriago ricade all'interno del sistema deposizionale pianura alluvionale ad alimentazione appenninica seppure al confine con la pianura pedemontana ad alimentazione appenninica.

3.2 Geomorfologia

Il comune di Cavriago è ubicato in corrispondenza della pianura pedemontana reggiana (alta pianura) che comprende quella fascia di territorio che borda il margine appenninico estendendosi in direzione nord fino alla via Emilia e poco oltre.

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

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

Le interazioni tra i vari fattori dinamici hanno condizionato un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso nord/nord-est, separate da scarpate di altezza variabile, definite orli di terrazzi.

I corsi d'acqua sono rimaste le uniche zone che mantengono ancora, nonostante gli interventi di regimazione un alto grado di naturalità con frequenti emergenze morfologiche.

Al contrario le aree perfluviali esprimono il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	22 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione e insediamento hanno conferito al rilievo un assetto costante e uniforme livellando molte asperità del terreno.

Le superfici del suolo conservano tuttavia, anche se in forma relittuale, le tipiche geometrie dell'ambiente fluviale.

Oltre agli orli di terrazzo sopraccitati, tra le forme più caratteristiche di questa porzione di territorio vi sono i paleoalvei, testimonianze di antichi percorsi dei corsi d'acqua. Essi non si presentano in modo omogeneo ma derivano da indizi geomorfologici differenti: possono corrispondere, infatti, a dossi più o meno pronunciati, ma vi sono anche tracce di corsi fluviali estinti a livello di pianura o leggermente incassati.

A livello altimetrico si segnala che le quote del piano campagna passano da poco più di 40 m s.l.m., nell'estrema punta nord, fino ad oltre 125 m s.l.m. nel settore più meridionale.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	23 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

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

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

Complessivamente sono stati raccolti i risultati delle seguenti indagini geognostiche:

- 1 sondaggio a carotaggio continuo
- 26 prove penetrometriche (tra statiche e dinamiche)

e delle seguenti indagini geofisiche:

- 1 prova sismica in foro tipo Down-Hole
- 1 REMI (*Refraction Microtremors*)
- 12 MASW
- 1 ERT
- 5 prove tomografiche

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

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

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

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

- 40 MASW
- 40 indagini di sismica passiva mediante tecnica HVSR a stazione singola
- 40 indagini sismiche REMI (*Refraction Microtremors*)
- 2 ERT
- 5 prove penetrometriche statiche
- 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	24 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

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

4.1 Prove sismiche di tipo MASW

In 40 punti la cui individuazione è stata condivisa col Comune, sono state svolte indagini sismiche di tipo MASW per misurare la velocità delle onde S nel terreno.

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

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

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

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	25 di 63

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

In Fig. 13 viene riportato (a titolo esemplificativo) uno dei grafici, in funzione della profondità, delle velocità delle onde S degli strati individuati.

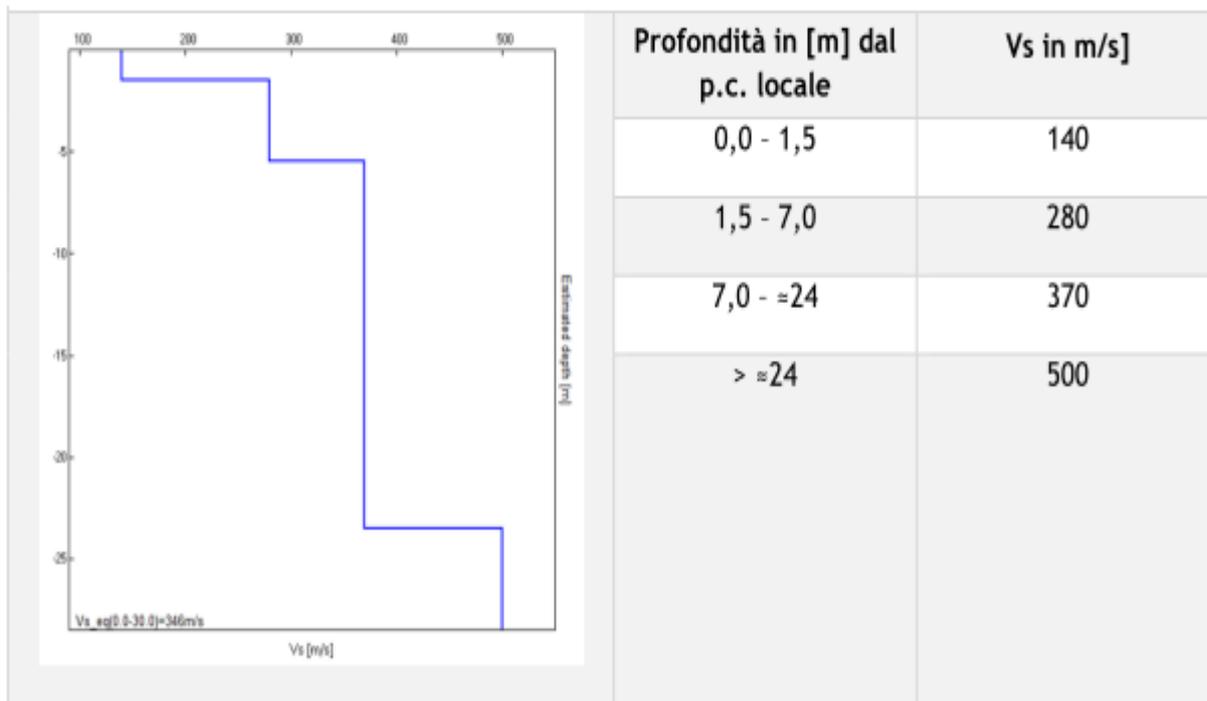


Fig. 13 – Profilo delle velocità delle onde S da prova MASW

4.2 Prove sismiche di tipo HVSR

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	26 di 63

A riguardo, nell'elaborato 7 – *Nuove indagini* per ciascuna prova è riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Fig. 14).

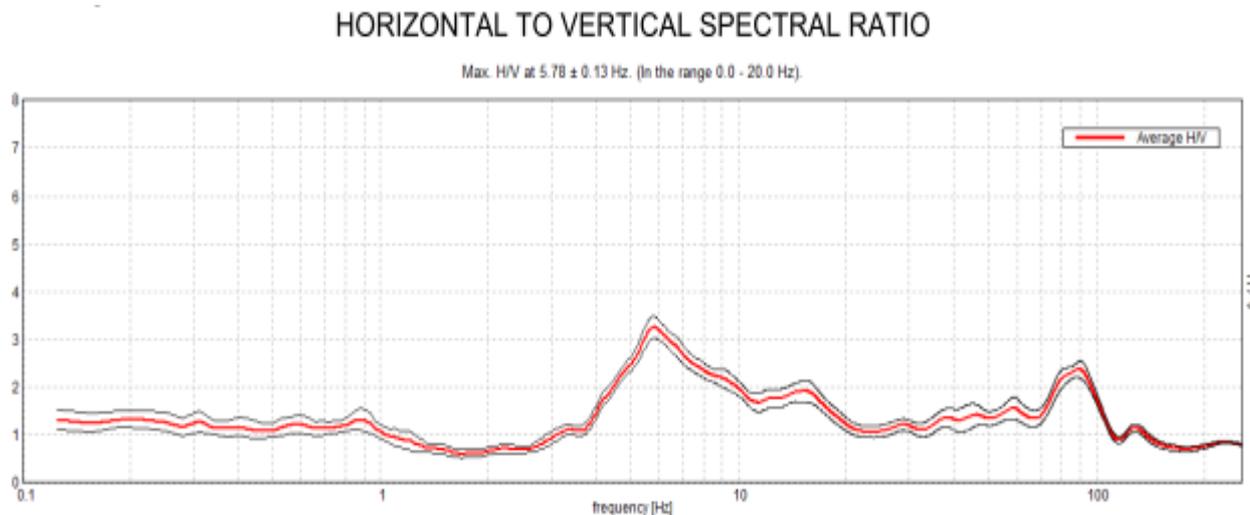


Fig. 14 – Esempio di curva H/V naturale

4.3 Prove sismiche di tipo ReMi

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

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	27 di 63

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

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

I report completi sono riportati nell'*Elaborato 7- Nuove indagini*, mentre nella sottostante Fig. 15 si riporta uno spettro esemplificativo ottenuto da indagine Re.Mi. e il relativo profilo sismostratigrafico.

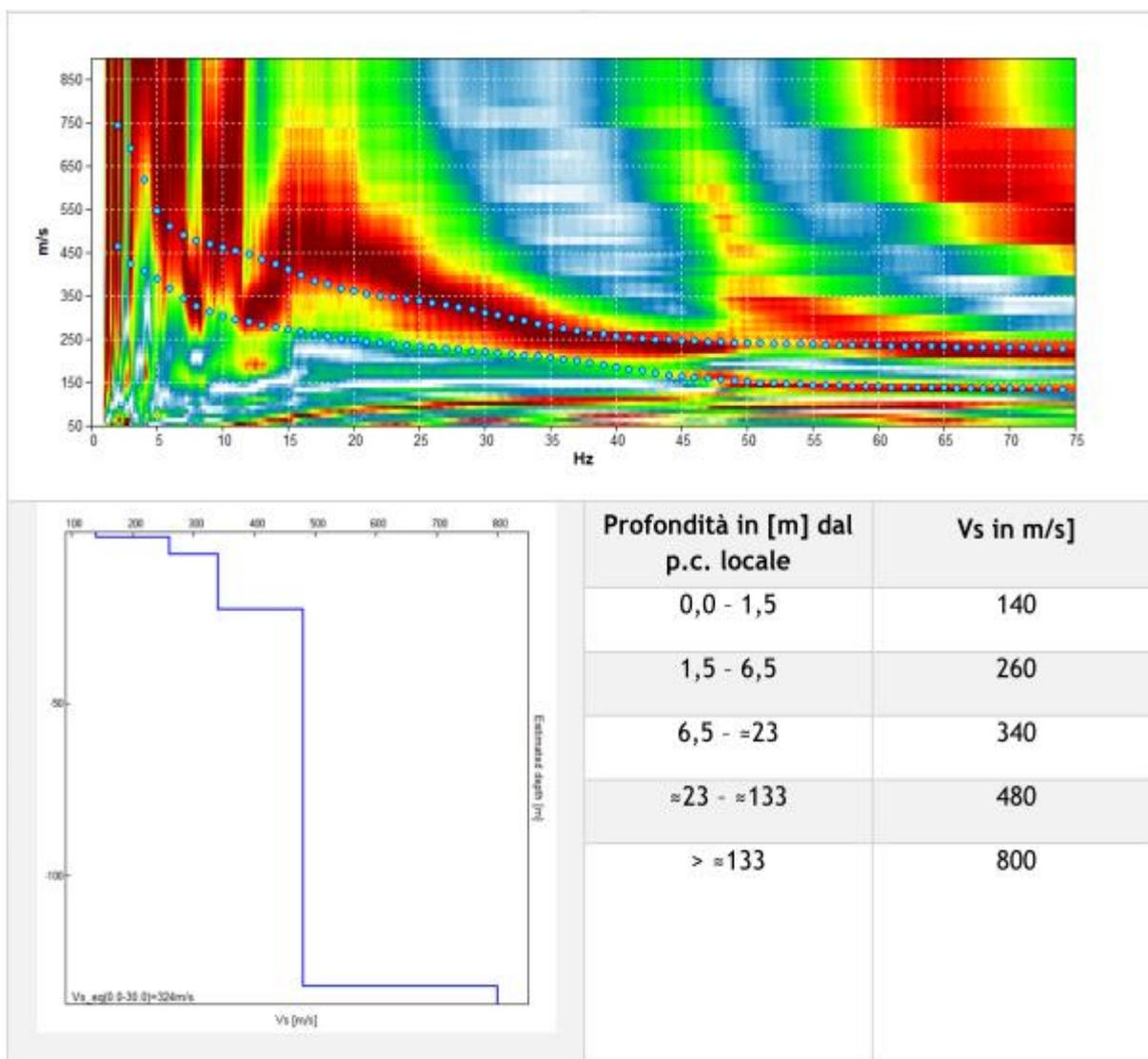


Fig. 15 - Profilo delle velocità delle onde S da prova REMI

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	28 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

4.4 Tomografie elettriche

L'analisi delle caratteristiche geoelettriche dei primi 8/10 m del sottosuolo, in corrispondenza di 3 stendimenti, è stata effettuata mediante prospezioni con metodo geoelettrico multielettrodo in tomografia elettrica (ERT).

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

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

Nome Linea	N° elettrodi	Interdistanza degli elettrodi [m]	Lunghezza [m]
ELE 1	24	3,0 m	69 m
ELE 2	24	3,0 m	69 m
ELE 3	24	3,0 m	69 m

Tab. 2 - Array geometrico adottato

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

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

I dati ottenuti in fase di acquisizione hanno consentito la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione ha restituito la definizione della distribuzione di resistività elettrica del mezzo investigato mediante visualizzazione grafica in 2D in cui i colori corrispondono a determinati valori di resistività reale (cfr. Fig. 16).

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	29 di 63

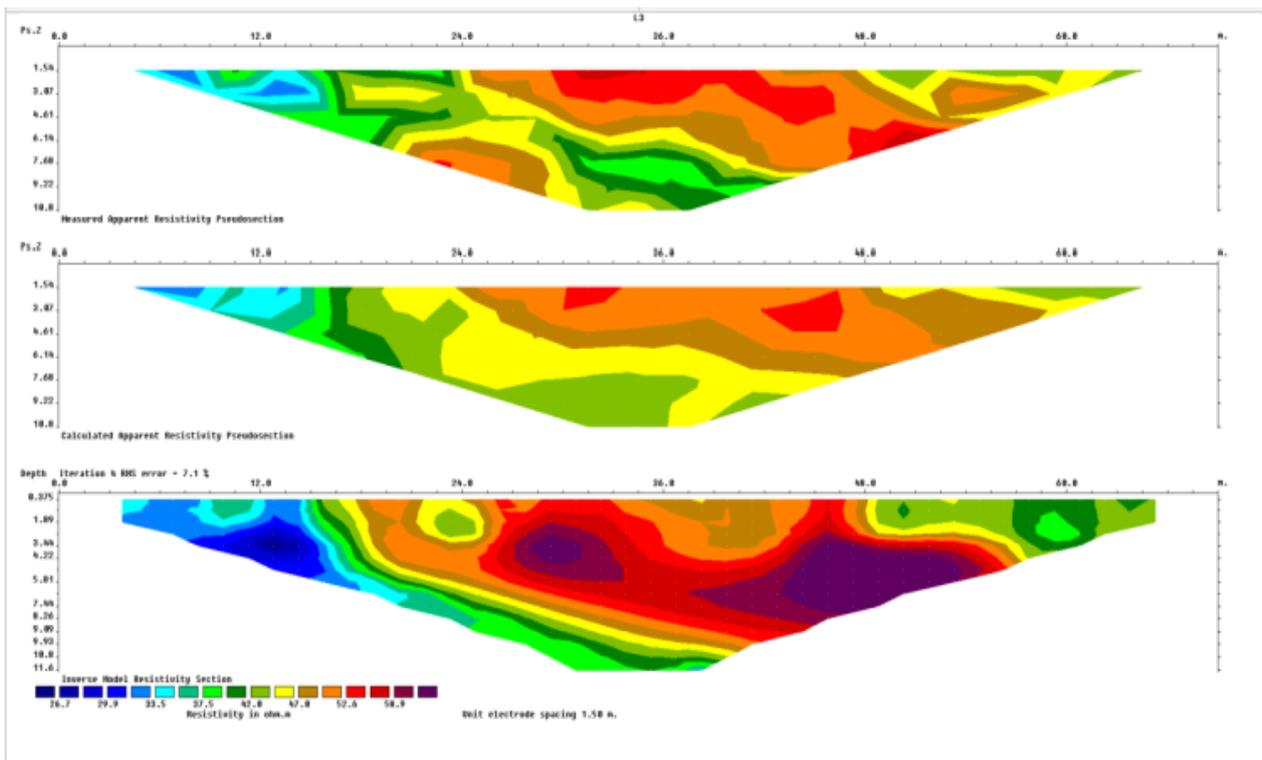


Fig. 16 – Profili di tomografia elettrica ottenuti

4.5 Prove penetrometriche

Durante la campagna di nuove indagini sono state realizzate n. 5 prove penetrometriche, al fine di valutare lo spessore delle coperture fini che sovrastano i depositi ghiaiosi.

Tutte le prove realizzate sono iniziate con il metodo statico, ma 3 di esse che si sono fermate nei primi metri, a causa della presenza di depositi ghiaiosi superficiali, sono state approfondite con metodo dinamico.

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	30 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Nome prova	Profondità raggiunta con metodo statico (m)	Profondità raggiunta con metodo dinamico (m)
CPT-DPSH 1	3.6	4.8
CPT-DPSH 2	3.6	4.0
CPT-DPSH 3	2.6	6.0
CPT 4	9.2	-
CPT 5	4.4	-

Tab. 3 – Riepilogo delle profondità raggiunte mediante prova penetrometrica

Nei successivi paragrafi vengono sinteticamente descritte le 2 metodologie utilizzate.

4.5.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica - CPT

Questa tipologia di prova consiste nella misurazione della resistenza alla punta e dell'attrito laterale (ogni 20 cm), durante l'infissione nel terreno, (a velocità costante pari a 2 cm/s), di una punta conica di dimensioni standardizzate, tramite una serie di aste collegate fra loro; l'avanzamento è applicato staticamente mediante dispositivi meccanici o idraulici. Anche se più raffinate rispetto alle prove penetrometriche dinamiche, di cui al paragrafo successivo, tali indagini hanno il limite di dare generalmente rifiuto a minore profondità, soprattutto, incontrando depositi granulari grossolani.

In Fig. 17 è rappresentato un esempio di grafici rappresentanti l'andamento dei valori della resistenza alla punta R_p e del rapporto di *Begemann* R_p/RI , al variare della profondità; valori da cui, mediante correlazione semi-empiriche, si possono desumere tipologia e parametri geotecnici dei terreni attraversati.

4.5.2 Prove penetrometriche dinamiche - DPSH

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione nel terreno di una punta conica tramite battitura con un maglio di massa pari a 63.5 Kg e con altezza di caduta di 75 cm e la conseguente determinazione del numero di colpi necessari ad infiggere la punta conica (area della punta 20.43 cm²) e le aste ad essa collegate, per una profondità di 20 cm.

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	31 di 63

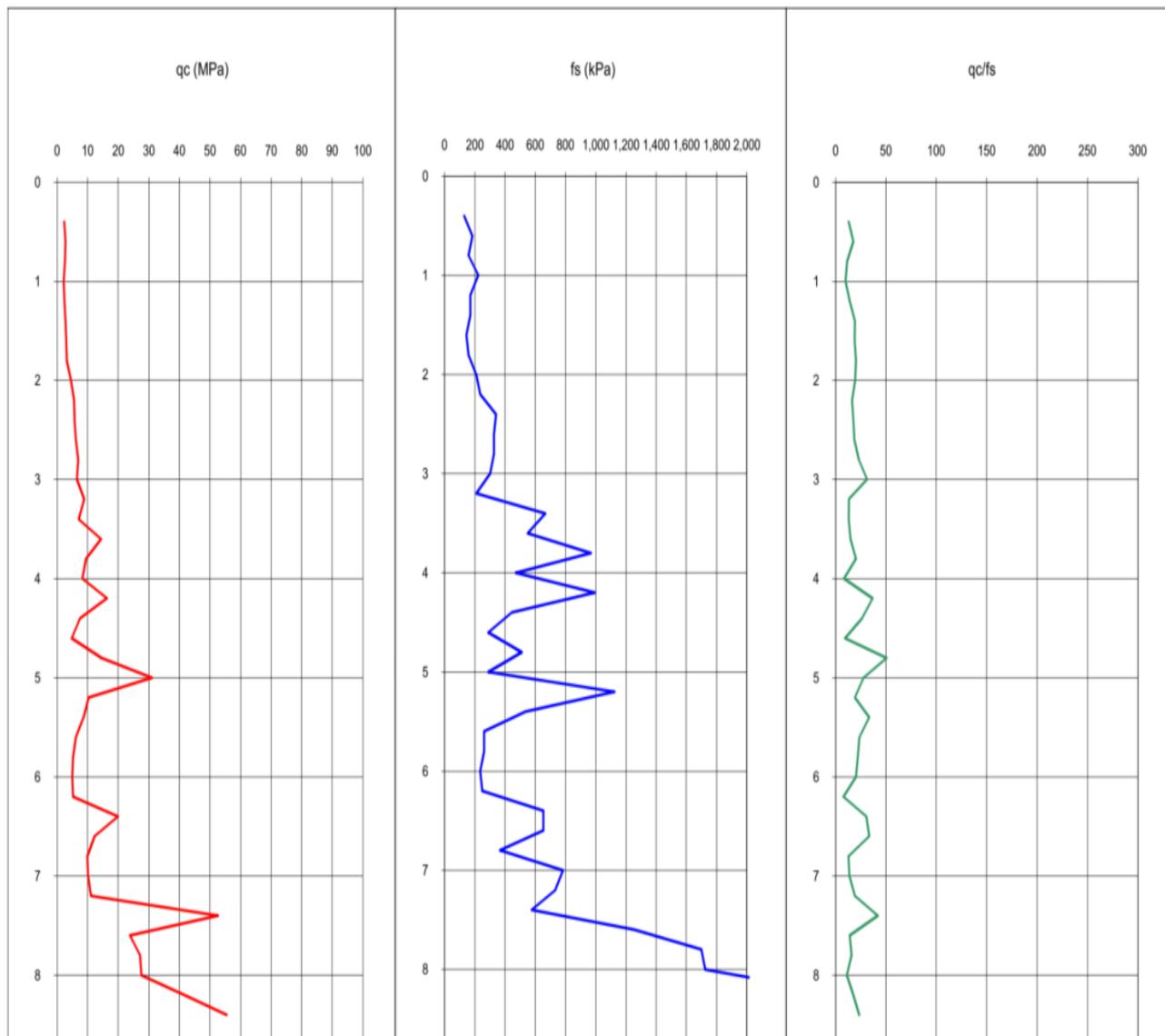


Fig. 17 - Rappresentazione grafica della resistenza alla punta (qc) della resistenza laterale (fs) e del rapporto (qc/fs)

Nel corso della campagna geognostica effettuata per il presente studio sono state effettuate n° 3 prove penetrometriche dinamiche, eseguite nei medesimi fori di indagini CPT che hanno dato “rifiuto” nei primi metri di perforazione.

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	32 di 63

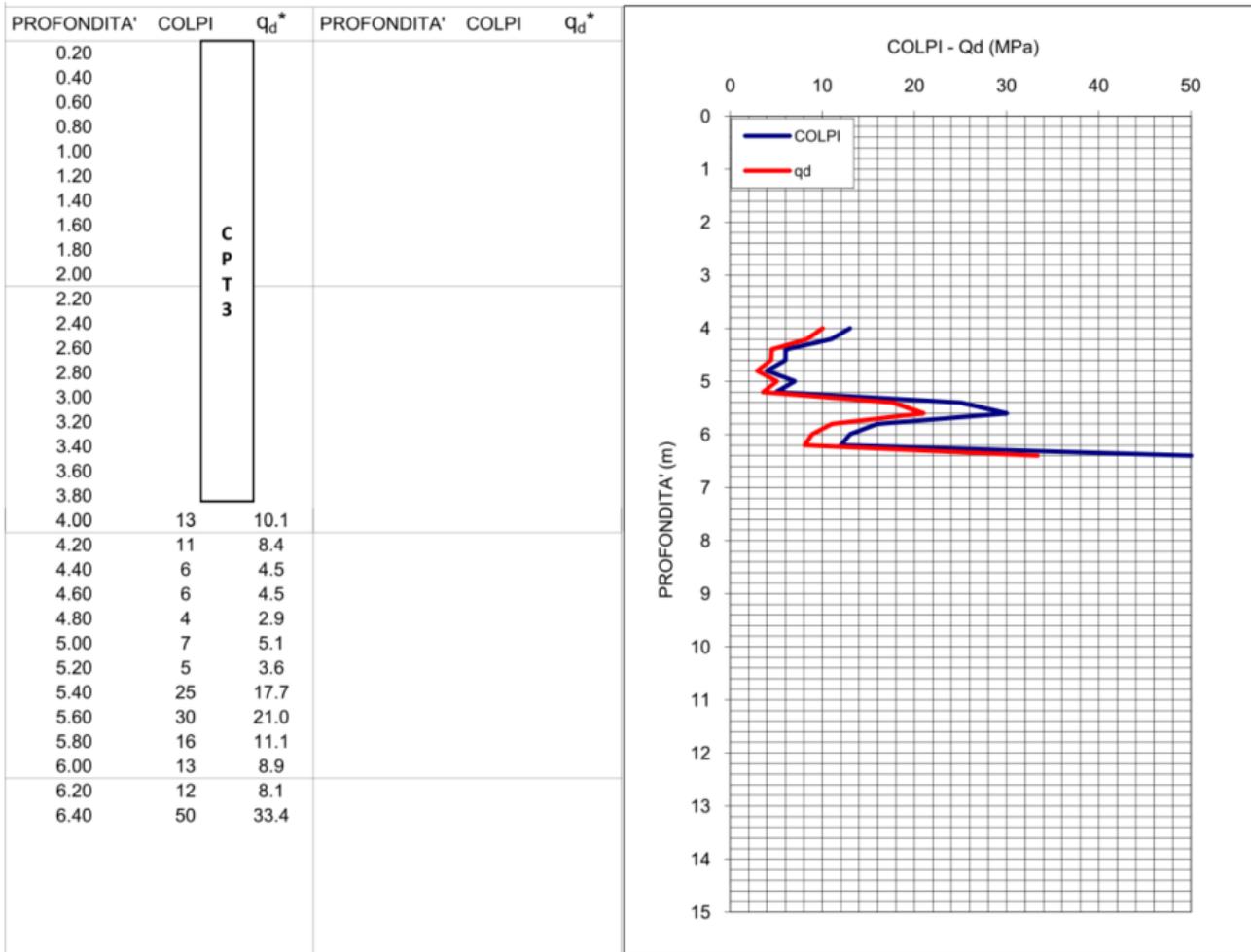


Fig. 18 - Rappresentazione grafica degli N₂₀ misurati nel corso delle prove penetrometriche dinamiche

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	33 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO CON RELATIVE INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

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

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

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

Va, innanzitutto, segnalato che, a Cavriago, malgrado l'accurata raccolta di dati pregressi e la nuova campagna di indagini geognostiche, quello **che si conosce, con** sufficiente grado di dettaglio, è solo il primissimo sottosuolo, fino al tetto del primo banco ghiaioso. Infatti, si è potuto reperire la stratigrafia di un solo sondaggio a carotaggio continuo (né se ne potevano prevedere altri sondaggi all'interno del presente studio, per motivazioni economiche), e le prove penetrometriche, a parte qualche dinamica, indagano solo i terreni fini di copertura, il cui spessore normalmente varia tra 0 e 15 m.

D'altra parte, delle prove geofisiche, ma anche le ricostruzioni idrostratigrafiche della Pianura Emiliana e alcune prove penetrometriche dinamiche, evidenziano che, sotto le prime ghiaie, si possono incontrare altri orizzonti di terreni a tessitura limosa e/o argillosa; assetto geologico che porterebbe a pensare a significative variazioni di velocità, sia in positivo che in negativo. La realtà è che tali variazioni difficilmente sono state rilevate in fase di elaborazione delle indagini sismiche in quanto l'interpretazione è quasi sempre condizionata dal mascheramento dovuto all'inversione di velocità che si registra sotto il banco ghiaioso più superficiale.

In particolare, le indagini tomografiche effettuate, in genere, evidenziano picchi di ampiezza significativa associabili al contrasto di impedenza dovuto al passaggio tra la copertura coesiva e i sottostanti depositi granulari. E dal momento che questo passaggio si verifica quasi sempre nei primi metri di profondità, detti picchi sono caratterizzati da frequenze elevate.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	34 di 63

Per tale motivo, individuare a scala comunale superfici di impedenza a media profondità è perlopiù proibitivo.

Del resto, un recente studio (Mascandola et al., 2018), condotto a scala sovraregionale proprio per individuare il tetto del *bedrock* sismico in Pianura Padana, conclude che tale tetto non può essere identificato con un'unica superficie di discontinuità in quanto varia arealmente in funzione del grado di consolidazione dei sedimenti, che a sua volta dipende dal carico litostatico e dal grado di deformazione e quindi dall'evoluzione stratigrafica e tettonica locale.

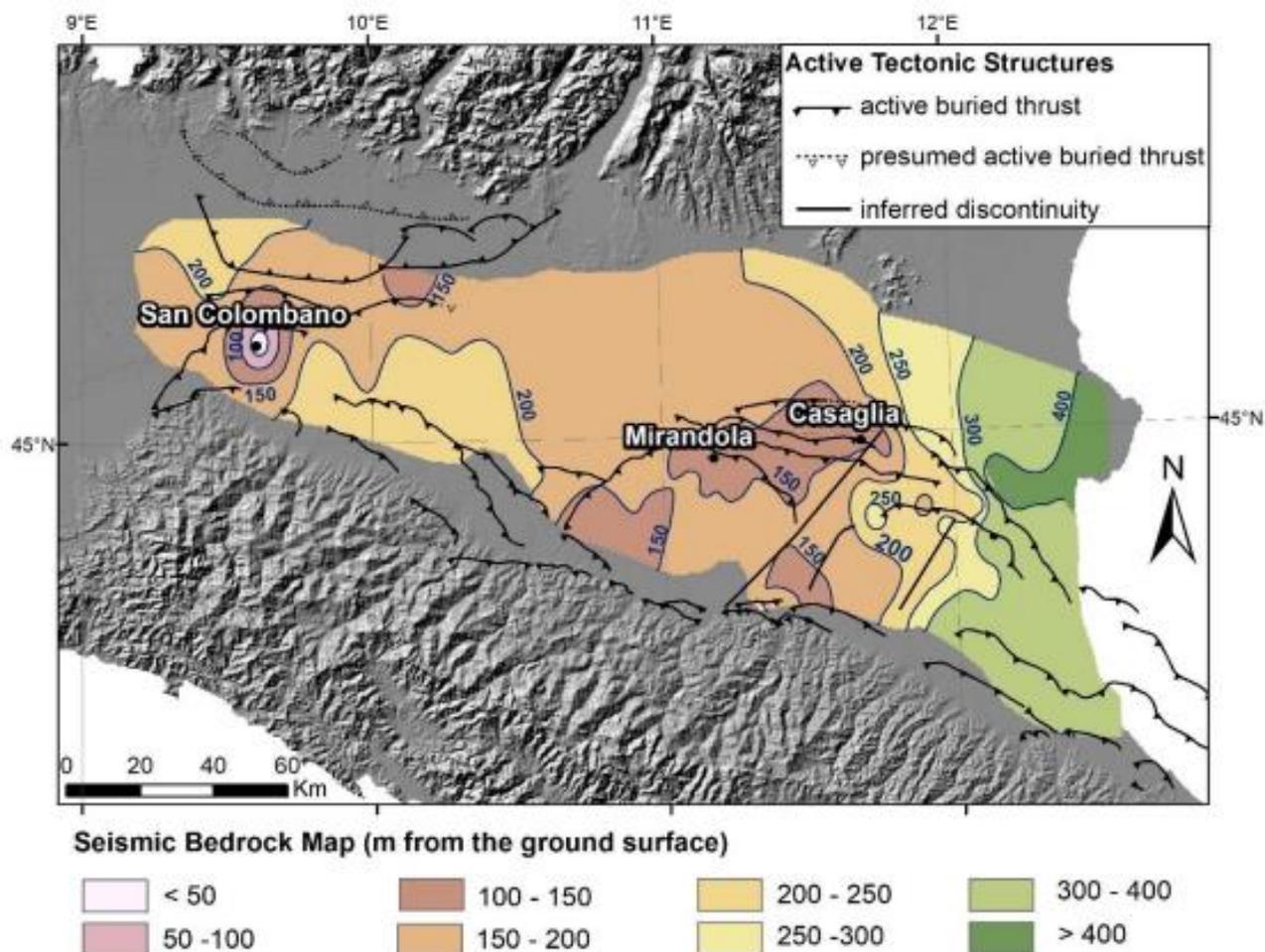


Fig. 19 - Mappa della profondità del *bedrock* sismico (da Mascandola et al., 2018)

Alla luce di quanto appena affermato, nel presente studio si è assimilato al *bedrock* sismico il primo orizzonte di depositi prevalentemente grossolani di conoide alluvionale (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose, limi sabbioso-ghiaiosi), generalmente di

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	35 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

spessore $H > 5m$, in virtù del fatto che presenta valori di V_s molto maggiori di quelli dei terreni fini soprastanti.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	36 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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

Una volta eseguite tali attività è stata pianificata, sempre in accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale, e svolta la campagna di indagini già descritta nel capitolo 4.

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	37 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- **Carte delle velocità delle onde di taglio S:** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di V_s con indicazione, per ogni punto misura, del valore di V_{sH} o di V_{s30} .
- **Carte di microzonazione sismica:** carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	38 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carte delle indagini

Nelle Carte delle indagini, alla scala 1:5.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o sismiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Esse sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica dinamica super pesante
- prova penetrometrica dinamica media
- prova sismica in foro tipo Down-hole
- stazione microtremore a stazione singola
- MASW
- REMI
- ERT

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 20⁴.

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

- N° 1 sondaggio a carotaggio continuo
- N° 22 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- N° 2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti
- N° 2 prove penetrometriche dinamiche medie
- N° 1 prova sismica in foro tipo Down-hole
- N° 5 stazioni di microtremore a stazione singola
- N° 12 MASW
- N° 1 REMI
- N° 1 tomografie elettriche

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	39 di 63



Fig. 20 – Legenda delle Carte delle indagini

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

- N° 40 prove MASW
- N° 40 prove *REfractionMicrotremors* (REMI)
- N° 40 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)
- N° 2 tomografie elettriche ERT
- N° 5 prove penetrometriche statiche

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	40 di 63

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- N° 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti

7.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

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

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

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

- Banca dati della carta geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna – Sezioni 200060, 200070 e 200110
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 200 "Reggio nell'Emilia" realizzato secondo le normative del Progetto CARG
- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (7.1).

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

- il primo sottosuolo è caratterizzato, dalla presenza di una copertura di depositi prevalentemente fini (limi e argille), molto esigua nel settore più occidentale, dove affiorano il Subsistema di Ravenna e l'Unità di Vignola; mentre si inspessisce verso est, in particolare, in corrispondenza del terrazzo del Ghiardo;
- al disotto della coltre suddetta sono presenti depositi prevalentemente grossolani di conoide alluvionale (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose, limi sabbioso-ghiaiosi), generalmente di spessore $H > 5m$, assimilabili al *bedrock* sismico in virtù del fatto che presentano valori di V_s molto maggiori di quelli dei terreni fini soprastanti;

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	41 di 63

- relativamente ai livelli più profondi risulta interessante esaminare la sezione raffigurata in Fig. 21, stralcio della Sezione 36 tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna; in tale sezione, che attraversa il settore orientale del Comune, con andamento SW-NE, (cfr. la traccia riportata in 21 oltre che nella Carta geologico-tecnica) si osserva un andamento anticlinale e una generale diminuzione verso settentrione degli spessori, sia del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), variabili da oltre 15 a meno di 10 m, che di quello Inferiore (AEI), compresi all'incirca tra 80 e 40 m.



Fig. 21 - Traccia della Sezione 36 (da sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna) in Comune di Cavriago

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	42 di 63

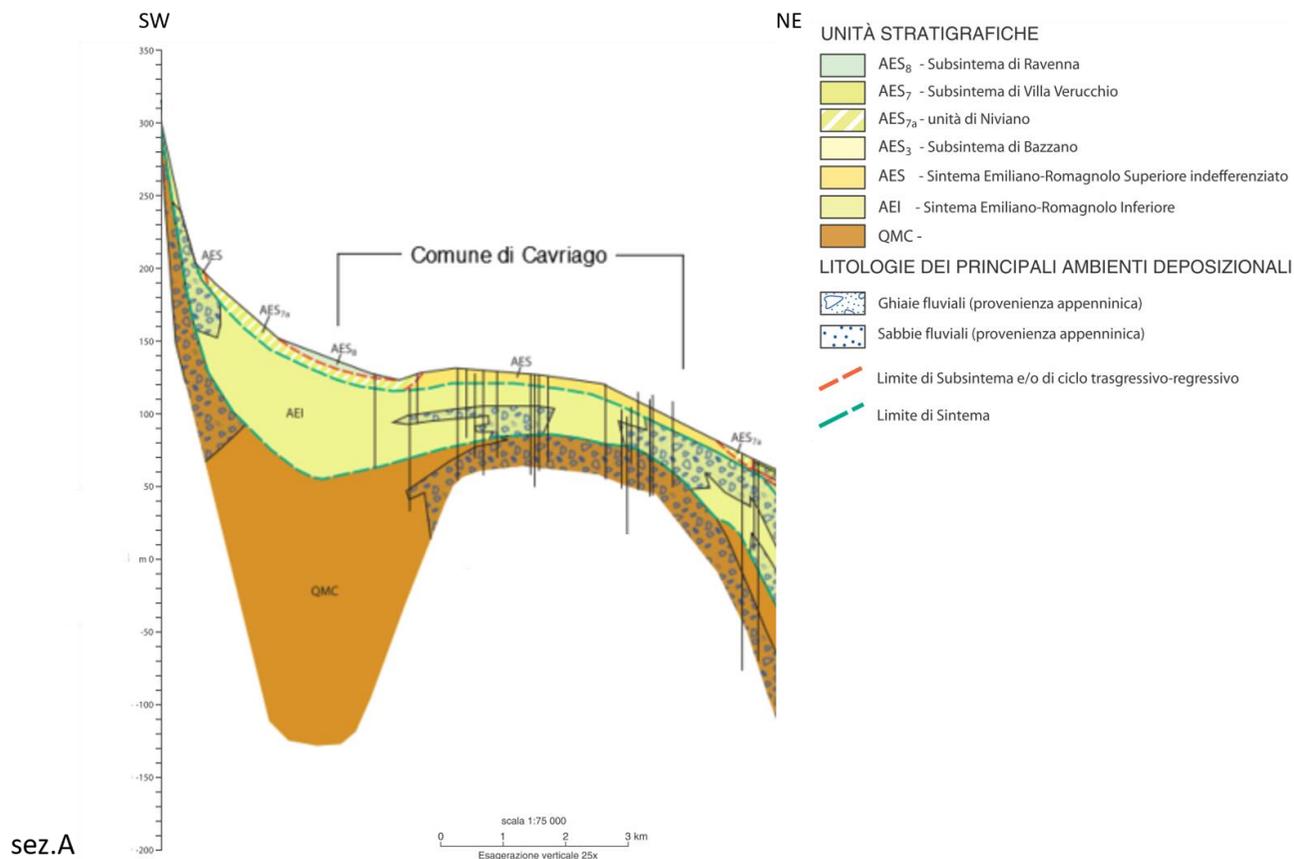


Fig. 21 - Stralcio della Sezione 36 tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	43 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

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

- **GM** – *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: sono dovute alla deposizione, in ambiente piana pedemontana e sono state individuate su buona parte del territorio comunale, per lo più nel settore occidentale.
- **ML** – *Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi*: interessano l'area centrale e orientale del territorio comunale, all'interno della quale ricade, quasi completamente, l'area urbanizzata e urbanizzabile. Sono il risultato di una deposizione in ambiente di terrazzo fluviale.

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

- **pd** – piana pedemontana;
- **tf** – terrazzo fluviale.

Nella Carta geologico-tecnica sono stati raffigurati anche gli elementi tettonico strutturali quali una faglia certa e una faglia incerta, potenzialmente attive e capaci.

Infine, sono stati rappresentati alcuni pozzi o sondaggi che non hanno raggiunto il substrato geologico, con il relativo valore di profondità.

7.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni

Nelle Carte delle frequenze naturali dei terreni, alla scala 1:5.000, sono stati riportati tutti i punti di misura delle 45 indagini tromografiche disponibili (5 raccolte presso l'Archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale e 40 di nuova acquisizione), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

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

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	44 di 63

distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

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

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

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

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

PROVA	Picco principale F_0		Picco secondario F_1	
	F_0	A_0	F_1	A_1
035017HVSRP35	0.81	1.80		
035017HVSRP36	17.20	2.50	1.25	1.40
035017HVSRP37	0.38	1.90		
035017HVSRP38	13.15	2.90	0.78	1.90
035017HVSRP39	0.81	1.30		
035017HVSRP40	0.62	1.40		
035017HVSRP41	15.50	1.80		
035017HVSRP42	4.20	1.65	0.85	1.25
035017HVSRP43	18.50	2.05		
035017HVSRP44	19.98	4.05		
035017HVSRP45	14.40	2.08		
035017HVSRP46	19.20	1.80		
035017HVSRP47	19.10	1.85	1.25	1.50
035017HVSRP48	9.40	1.85		
035017HVSRP49	4.20	2.30		
035017HVSRP50	8.35	2.85	6.20	2.18
035017HVSRP51	11.20	1.98	0.82	1.60
035017HVSRP52	14.20	1.92		
035017HVSRP53	8.20	3.94	14.80	1.65

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	45 di 63

PROVA	Picco principale F ₀		Picco secondario F ₁	
	F ₀	A ₀	F ₁	A ₁
035017HVSRP54	16.20	5.80	0.71	2.52
035017HVSRP55	19.94	4.96		
035017HVSRP56	16.60	1.85		
035017HVSRP57	17.50	1.85	5.18	1.80
035017HVSRP58	6.90	1.92		
035017HVSRP59	20.00	2.78	14.80	1.75
035017HVSRP60	15.50	1.98	5.80	1.98
035017HVSRP61	5.80	1.99	16.70	3.18
035017HVSRP62	13.20	3.60	2.88	1.90
035017HVSRP63	18.90	3.00	4.85	2.00
035017HVSRP64	8.30	1.70	0.57	1.45
035017HVSRP65	5.90	2.30	4.05	2.03
035017HVSRP66	17.30	2.82	8.80	1.30
035017HVSRP67	4.35	1.40		
035017HVSRP68	18.70	1.85		
035017HVSRP69	5.25	1.30		
035017HVSRP70	9.60	1.70		
035017HVSRP71	18.70	2.88		
035017HVSRP72	6.15	2.08		
035017HVSRP73	5.14	3.60		
035017HVSRP74	6.20	3.18		
035017HVSRP14	4.30	1.25		
035017HVSRP16	5.40			
035017HVSRP21	12.35	1.78	6.30	1.25
035017HVSRP27	8.70	2.55		
035017HVSRP7	4.90	1.55	1.55	1.85

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	46 di 63



Fig. 22 - Legenda della Carta delle frequenze

7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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

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

- 1. zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.
- 3. zone di attenzione per instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	47 di 63

Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in Comune di Cavriago, è presente solo la categoria 2 – zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

Più precisamente è stata individuata una sola zona di seguito descritta:

- Zona 1 – Successione stratigrafica costituita da una copertura, di spessore generalmente inferiore a 3 m, di depositi di origine alluvionale, fini, a tessitura prevalentemente argilloso-limoso sotto la quale si rinvergono, con spessori pluridecametrici, dei depositi di origine alluvionale, prevalentemente ghiaiosi, stratificati, assimilabili al *bedrock* sismico.

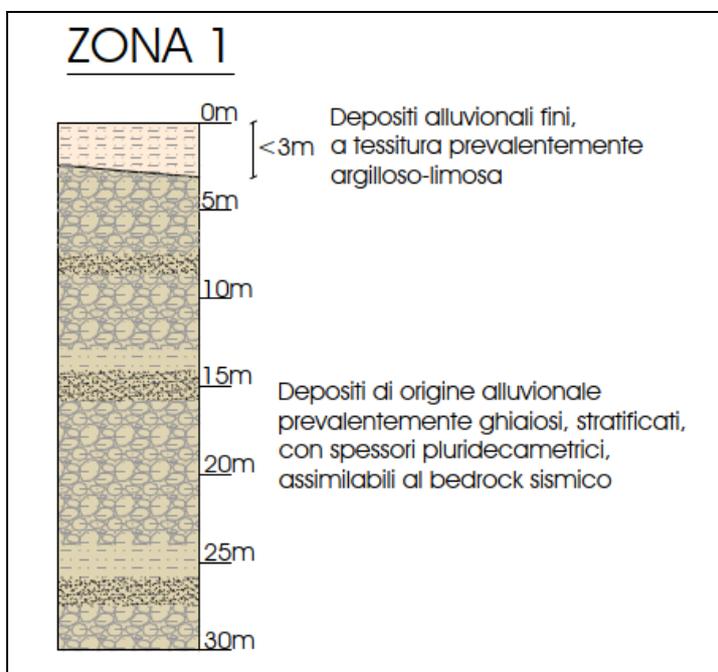


Fig. 23 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali

7.5 Carte delle velocità delle onde di taglio S

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

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (HVSr o MASW, indicate come tali anche quando accoppiate con le ReMi) e indicando il corrispondente valore di V_{s30} o di V_{sH} (in m/s), dove:

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	48 di 63

$$V_{S_H} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

H = spessore totale (in metri) dei terreni di copertura o profondità del *bedrock*

h_i = spessore (in metri) dello strato i -esimo (fino al *bedrock*)

V_{S_i} = velocità (in m/s) dello strato i -esimo (fino al *bedrock*);

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

h_i = spessore (in metri) dello strato i -esimo (fino alla profondità di 30 m);

V_{S_i} = velocità (in m/s) dello strato i -esimo (fino alla profondità di 30 m).

A riguardo, va chiarito che, si è indicata la $V_{S_{30}}$ per tutte le indagini effettuate, ad eccezione dello stendimento 035017MASWL53, rappresentativo del settore ricadente sul terrazzo del Ghiardo, dove, essendosi registrato un significativo contrasto di impedenza a 13 m da p.c., è stata considerata la V_{S_H} .

Tali dati riepilogati nella seguente Tab. 6:

PROVA	MOPS	Vs30	VsH	H
035017LMASW15	2001	354.37		
035017MASWL16	2001	347.40		
035017MASWL17	2001	374.00		
035017MASWL18	2001	388.55		
035017MASWL19	2001	346.64		
035017MASWL20	2001	372.08		
035017MASWL21	2001	366.42		
035017MASWL22	2001	379.18		
035017MASWL23	2001	442.26		
035017MASWL24	2001	390.82		
035017MASWL25	2001	405.75		
035017MASWL26	2001	337.66		
035017MASWL27	2001	375.19		
035017MASWL28	2001	373.93		
035017MASWL29	2001	335.67		

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	49 di 63

PROVA	MOPS	Vs30	VsH	H
035017MASWL30	2001	390.89		
035017MASWL31	2001	402.34		
035017MASWL32	2001	389.87		
035017MASWL33	2001	288.13		
035017MASWL34	2001	317.56		
035017MASWL35	2001	364.43		
035017MASWL36	2001	364.94		
035017MASWL37	2001	440.95		
035017MASWL38	2001	431.56		
035017MASWL39	2001	404.33		
035017MASWL40	2001	340.48		
035017MASWL41	2001	336.91		
035017MASWL42	2001	277.80		
035017MASWL43	2001	295.96		
035017MASWL44	2001	385.50		
035017MASWL45	2001	311.96		
035017MASWL46	2001	339.60		
035017MASWL47	2001	346.75		
035017MASWL48	2001	381.18		
035017MASWL49	2001	359.58		
035017MASWL50	2001	385.49		
035017MASWL51	2001	382.77		
035017MASWL52	2001	360.34		
035017MASWL53	2001	377.22	276.60	13
035017MASWL54	2001	384.52		
035017MASWL3	2001	323.30		
035017MASWL4	2001	394.30		
035017MASWL5	2001	457.00		
035017MASWL6	2001	431.00		
035017MASWL7	2001	390.90		
035017MASWL10	2001	450.00		
035017MASWL11	2001	337.29		
035017MASWL12	2001	409.50		
035017MASWL13	2001	447.60		
035017MASWL14	2001	296.00		
035017HVSRP3	2001	371.00		
035017HVSRP16	2001	396.00		
035017HVSRP21	2001	517.00		

Tab. 5 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S in Comune di Cavriago

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	50 di 63

I risultati sopraindicati, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, hanno consentito di definire dei valori di V_{S30} o di V_{SH} da assumere per i differenti settori del territorio oggetto di microzonazione, come rappresentato in e che sono serviti per calcolare i fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 7.6.

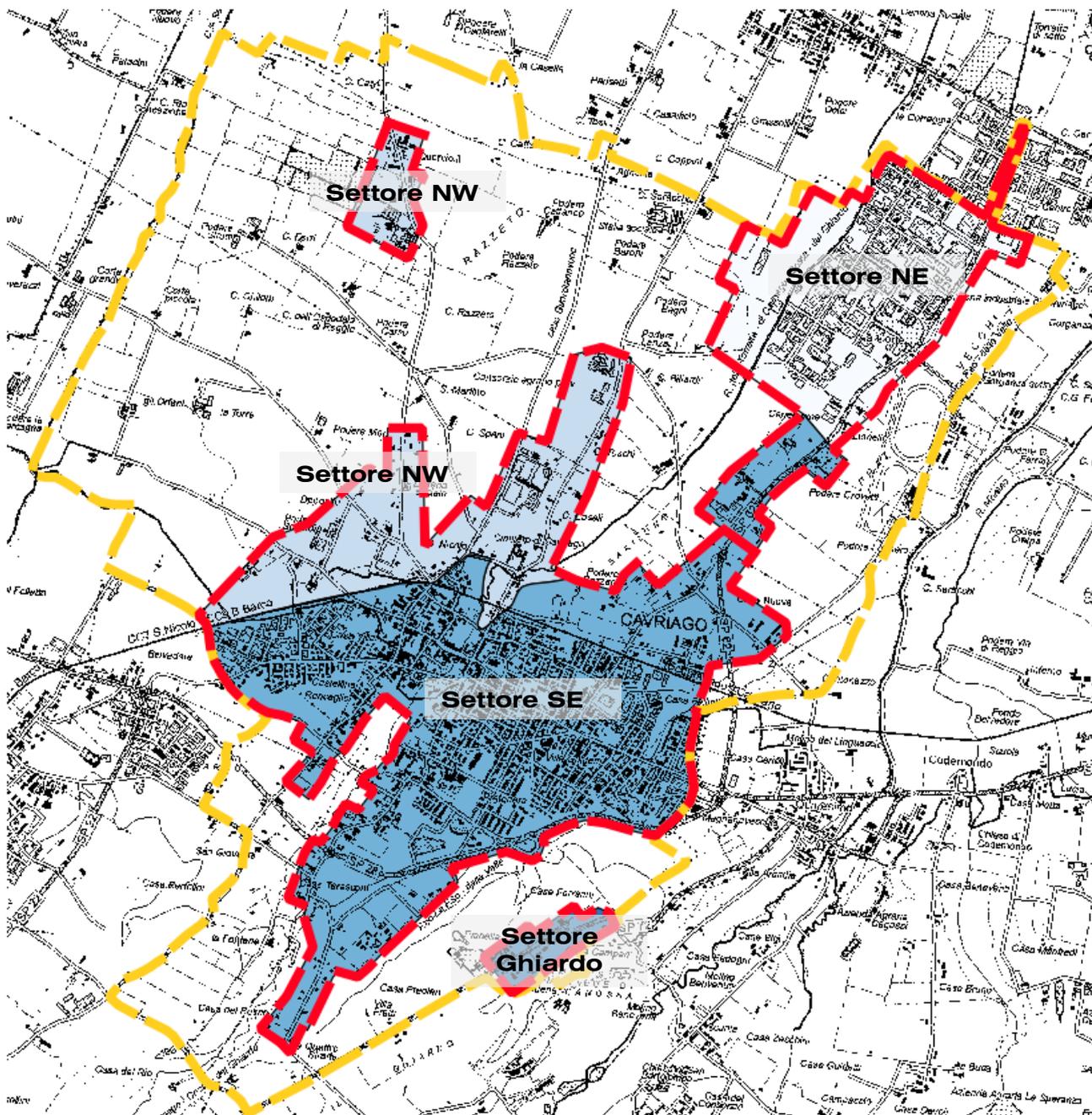


Fig. 24 - Settori a diverse velocità delle onde di taglio S

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.) Mandatario:		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY		Mandanti: Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0 / 51 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa di tali valori:

ZONA	Settore	V _{s30} (m/s)	V _{sH} (m/s)
Zona 1 - 2001	NE	300	
	NW	400	
	SE	350	
	Ghiardo		250

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

7.6 Carte di microzonazione sismica

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

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	52 di 63

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

Conseguentemente, come rappresentato in Fig. 25 i fattori di amplificazione sono stati determinati utilizzando generalmente le tabelle relative al MARGINE di tipo B (cfr. Tab. 7) tranne che per il settore ricadente sul terrazzo del Ghiardo dove sono state applicate le tabelle relative al MARGINE di tipo A (cfr. Tab. 8);

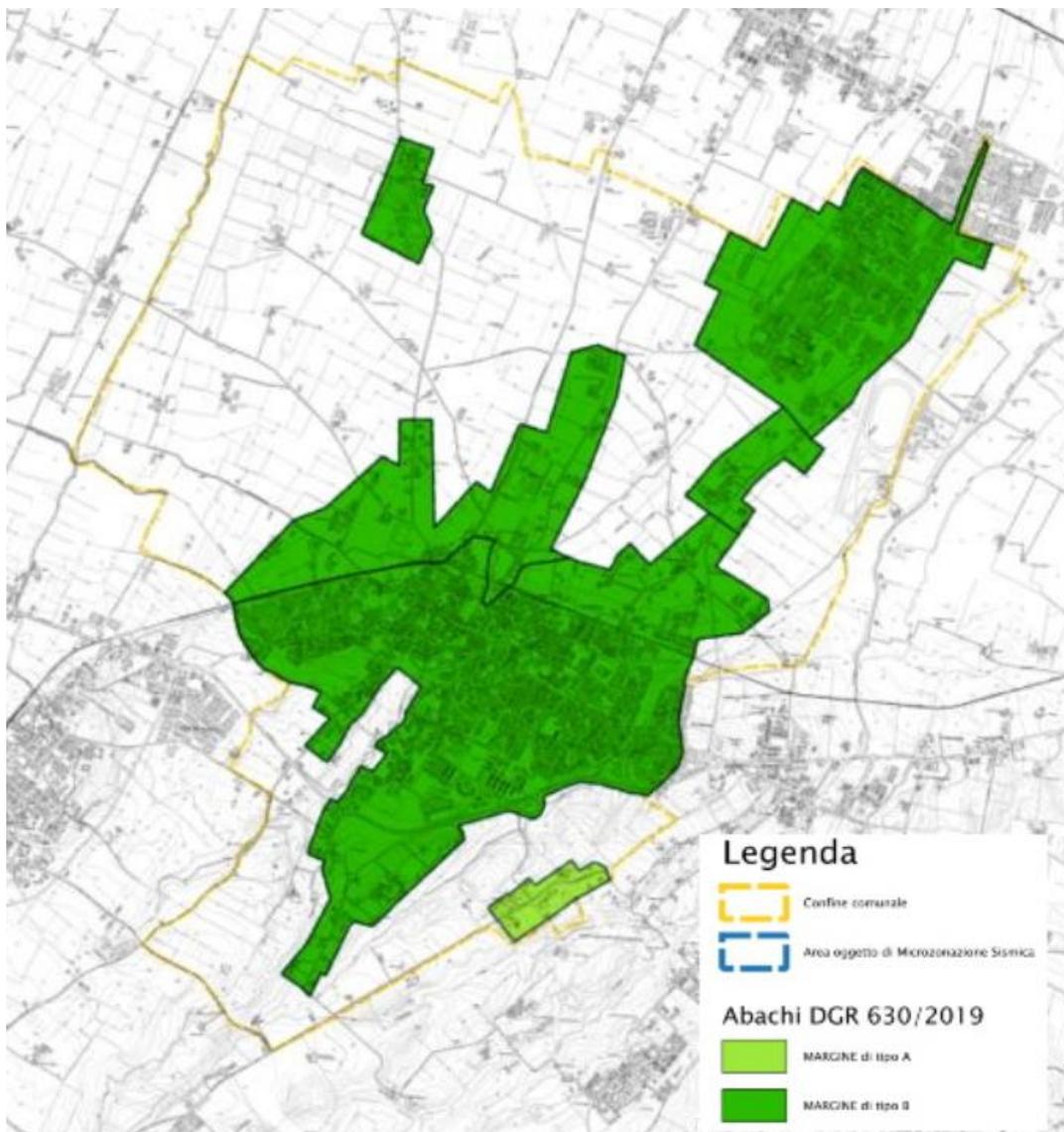


Fig. 25 - Zonizzazione del territorio comunale sulla base del tipo di abaco utilizzato per il calcolo dei fattori di amplificazione

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	53 di 63

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

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

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

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

Fattore di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	54 di 63

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

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

Fattore di Amplificazione SA2(0,4s≤T≤0,8s) Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s≤T≤1,1s)

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

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

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

Tab. 8 - Tabelle da utilizzare per la stima di F.A. per MARGINE di tipo A (da Allegato A2 degli indirizzi regionali)

Quali dati d'ingresso sono state assunte le velocità già definite nel paragrafo 7.5 (Tab. 6) e, per il settore Ghiardo ricadente nell'Ambiente di Margine di tipo A, una profondità del substrato pari a 15 m.

Conseguentemente, agli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i fattori di amplificazione sismica valori riportati in Tab. 9; fattori di amplificazione che sono poi stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati in Fig. 26

SETTORE	F.A. PGA	F.A. SA1	F.A. SA2	F.A. SA3	F.A. SA4	F.A. SI1	F.A. SI2	F.A. SI3
NE	1.6	1.7	2.1	2.4	2.3	1.8	2.3	2.4
NW	1.5	1.5	1.7	2.1	1.9	1.6	2.0	2.0
SE	1.6	1.7	1.9	2.3	2.1	1.7	2.1	2.0
Ghiardo	2.0	2.1	2.3	2.0		2.2	2.1	2.0

Tab. 9 - Valori dei fattori di amplificazione sismica

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.) Mandatario:		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandanti:  EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY		Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	55 di 63
		Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli			

	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4

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

7.7 Carte dello scuotimento atteso

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

Tale parametro è definito come il prodotto dell'*Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione, calcolato per un determinato intervallo di periodo (nel caso dell'analisi di secondo livello), diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo:

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

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

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, per i punti della griglia INGV, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni), sono forniti dal file *all_4_coord.kmz*, nella cartella *Allegato_4.zip*, disponibile nella

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	56 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

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

7.8 Commenti finali e criticità

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

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

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

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

Conseguentemente, si raccomanda che, in fase di progettuale, si tenga conto di tali indicazioni, e, nello specifico, per quanto riguarda costruzioni con periodo e ubicazione associabili a FA maggiori 2, sia valutato con attenzione se possa essere ritenuto sufficiente un approccio di tipo semplificato o sia preferibile effettuare un'analisi della risposta sismica locale.

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	57 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

8. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandataria:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	58 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

9. BIBLIOGRAFIA

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	59 di 63

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- Marcellini A., Martelli L., Tento A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)
- Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017a): CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA E AREE LIMITROFE. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.
<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/pubblicazioni/cartografia-geotematica/carta-sismotettonica-della-regione-emilia-romagna-e-aree-limitrofe-edizione-2016>
- Martelli L., Santulin M., Sani F., Tamaro A., Bonini M., Rebez A., Corti G., Slejko D. (2017b): SEISMIC HAZARD OF THE NORTHERN APENNINES BASED ON 3D SEISMIC SOURCES. Journal of Seismology. DOI 10.1007/s10950-017-9665-1. Versione estesa in italiano "Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale" in <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/convegni-seminari-corsi/2017-nuovi-studi-sulla-pericolosita-sismica-regionale>
- Meletti C. e Valensise G., (2004). ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): MAPS FOR LAND MANAGEMENT: FROM GEOLOGY TO SEISMIC HAZARD. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263
- Pieri M. e Groppi G. (1981). SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE PO PLAIN. Pubbl.414, PF Geodinamica. C.N.R. pp. 23.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P. (2019): CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>
- RER & ENI-Agip (1998): RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ufficio geologico - ENI-Agip, Divisione Esplorazione & Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120
- BANCA DATI DELLA CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:10.000 DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA - Sezioni 200060, 200070, 200100, 200110 e 200140

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	60 di 63

<i>PROGETTO</i>	<i>LIVELLO</i>
COMUNE DI CAVRIAGO Studio di microzonazione sismica	Primo e secondo livello di approfondimento

- BANCA DATI DELLA CARTA GEOLOGICA IN SCALA 1:10.000 DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Sezioni 200060, 200070 e 200110
- CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL’EMILIA-ROMAGNA, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna
- DGR 630/2019: DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE 29 aprile 2019, n. 630 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)”. B.U.R.E.R. n. 143 del 6 maggio 2019, parte seconda
- DISS Working Group (2018). DATABASE OF INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L’esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D’ITALIA – FOGLIO 200 “Reggio nell’Emilia” - APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA
- NTC 2018: AGGIORNAMENTO DELLE “NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI”. Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Suppl. Ord. G.U. n. 42 del 20/02/2018.
- OPCM 3519/2006: ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI N. 3519 DEL 28/04/2006 “CRITERI GENERALI PER L’INDIVIDUAZIONE DELLE ZONE SISMICHE E PER LA FORMAZIONE E L’AGGIORNAMENTO DEGLI ELENCHI DELLE MEDESIME ZONE”. G.U. n. 108 del 11/05/2006.

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	61 di 63

10. ALLEGATI

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	62 di 63

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

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

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti (R.T.P.)		Elaborato	Data	Agg.	Pag.
Mandatario:	Mandanti:				
	Dott. Geol. Stefano Castagnetti Dott. Geol. Matteo Collareda POLARIS - Studio Associato Dott. Geol. Claudia Tomassoli	Relazione illustrativa	Marzo 2021	0	63 di 63