



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

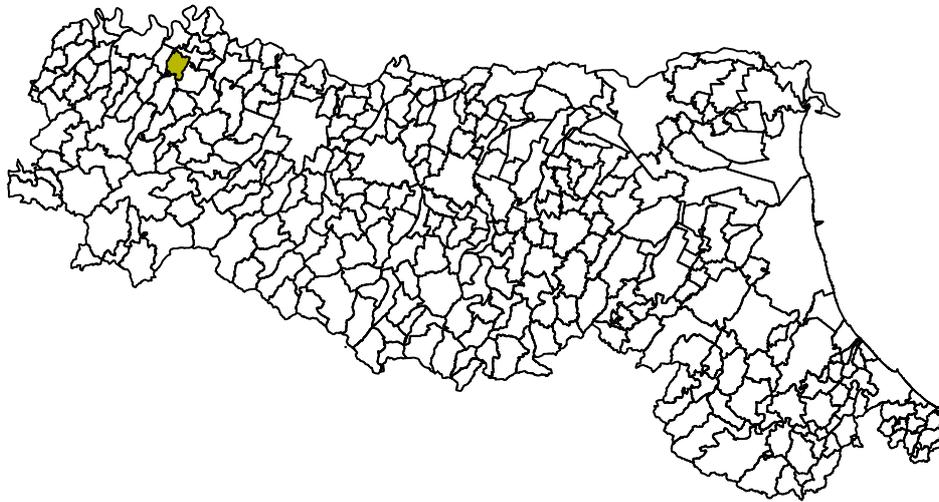
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Cadeo



<p>Regione Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY www.engeo.it</p> <p>Direzione tecnica Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti</p> <p>Collaboratori Dott. Geol. Matteo Baisi Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi Dott.ssa Geol. Alessandra Cantoni Dott. Andrea Conti</p>	<p>Data Ottobre 2019</p>
-----------------------------------	--	------------------------------

INDICE

1.	Introduzione	2
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	6
2.1	Sismicità del territorio.....	6
2.2	Caratteristiche sismotettoniche.....	10
2.3	Classificazione sismica comunale.....	16
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	19
3.1	Geologia	19
3.2	Geomorfologia.....	24
4.	Dati geotecnici e geofisici	25
4.1	Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR)	26
4.2	Prove sismiche MASW	27
5.	Modello del sottosuolo	29
6.	Interpretazioni e incertezze	30
6.1	Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR)	30
6.2	Prove sismiche MASW	32
6.3	Incertezze e confronto tra MASW e HVSR.....	33
7.	Metodologie di elaborazione e risultati.....	34
8.	Elaborati cartografici di primo e secondo livello.....	37
8.1	Carta delle indagini.....	37
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	39
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	43
8.4	Carta delle aree suscettibili di effetti locali	44
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S	46
8.6	Carte di microzonazione sismica	49
8.7	Carta dello scuotimento atteso.....	51
8.8	Commenti finali e criticità.....	53
9.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati.....	55
10.	Bibliografia	57
11.	Allegati	60

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	1 di 60

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

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica (MS) del Comune di Cadeo (Provincia di Piacenza), assegnata a Engeo s.r.l. dal Comune di Cadeo con Determinazione del Responsabile del Settore Tecnico n. 218 del 20.07.2019 (codice CUP: B52G19000010006; codice CIG: Z0029281E0).

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:

- Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con $a_g < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 2245 del 27/12/2018 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da a_g inferiore a $0,125g$ in attuazione all'art. 8 della L.R. n. 19/2008. Approvazione allegati A1 e A2" (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.1, 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")

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	2 di 60

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

- Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", così come modificati dalle deliberazioni di Giunta regionale n. 2193 del 21.12.2015 e n. 630 del 29.04.2019

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;
 - 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.

Tali analisi sono state effettuate partendo dall'esame della documentazione già presente riguardante il rischio sismico del territorio comunale di Cadeo (priva di certificazione di conformità agli ICMS e agli SRAI), ovvero:

- Relazione Sismica Illustrativa con "Carta Comunale delle Aree Suscettibili di effetti locali", a cura del Dott. Geol. Paolo Mancioffi, in adeguamento alla DAL n. 112/2007, nell'ambito del Piano Operativo Comunale (POC), approvato con Del. G.C. n. 86 del 28/06/2007;

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	3 di 60

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

- “Primo livello” di approfondimento geologico sismico, sviluppato nell’ambito del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Piacenza, approvato, con Del. G.P. n. 69 del 02/07/2010, sulla base delle indicazioni della DAL n.112/2007, che ha previsto la redazione degli elaborati:
 - Tav. A4 - Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali, alla scala 1:25.000
 - Tav. B1.c - Carta della pericolosità sismica locale, alla scala 1:100.000
 - All. B1.5 (R) La cartografia della pericolosità sismica locale – Relazione Illustrativa
 - All. B1.6 (T) Dati utili per la valutazione della pericolosità sismica locale – settore di pianura (scala 1:50.000)
- “Studio della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio urbanizzato”, a cura di AMBITER s.r.l. nell’ambito del Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE), approvato con Del. C.C. n. 52 del 26.11.2014, nel corso del quale sono stati redatti i documenti di seguito elencati:
 - Relazione illustrativa
 - Tav. 01 - Carta delle indagini
 - Tav. 02 - Carta geologico tecnica
 - Tav. 03 - Sezioni litostratigrafiche
 - Tav. 04 - Carta delle velocità delle onde di taglio S
 - Tav. 05 - Carta di microzonazione sismica (Livello 2) - F.A. P.G.A.

La stima della pericolosità sismica è riferita a una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

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

Come definito al punto 2.1 dell’allegato A alla DGR 630/2019, a scala comunale, partendo dagli scenari di pericolosità sismica locale definiti dalla cartografia di area vasta di prima fase, gli areali da indagare con un’analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) comprendono:

- b) 1. il territorio urbanizzato, perimetrato ai sensi dell’art. 32, commi 2 e 3, della L.R. n. 24/2017;*
- b) 2. le aree permeabili collocate all’interno del territorio urbanizzato, non dotate di infrastrutture per l’urbanizzazione degli insediamenti, per le quali il PUG consideri ammissibili interventi di trasformazione edilizia, di cui all’art. 9, comma 1, lett. c), della L.R. n. 24/2017;*

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	4 di 60

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

- b) 3. le parti del territorio extraurbano, contermini al territorio urbanizzato, che non presentano fattori preclusivi o fortemente limitanti alle trasformazioni urbane, di cui all'art. 35, comma 6, LR 24/2017;
- b) 4. gli agglomerati posti in territorio rurale di dimensioni significative (ad es. insediamenti nastriformi attestati su viabilità, nuclei situati in continuità del territorio urbanizzato, etc.)
- b) 5. le fasce di territorio riguardanti le reti infrastrutturali di nuova previsione (per la mobilità, acquedottistiche, fognarie, energetiche e relativi impianti tecnologici) e i corridoi destinati al potenziamento e alla razionalizzazione dei sistemi per la mobilità.

Tale zonazione ha, pertanto, interessato i seguenti abitati:

- Cadeo
- Fontana Fredda
- Roveleto
- Saliceto – Contradone – S. Rocco

e le seguenti infrastrutture:

- Via Emilia
- Autostrada A1
- Ferrovia ordinaria
- Ferrovia – Alta Velocità

Le aree oggetto di microzonazione presentano una superficie complessiva di 870 ha, corrispondente a circa il 23% dell'intero territorio comunale.

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione gli elaborati elencati nel capitolo 11.

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

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 A2 della delibera regionale e dagli SRAI.

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.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	5 di 60

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 Cadeo 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 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).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
3-4	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Tab. 1 – Massimi eventi sismici verificatisi a Cadeo

Trattandosi di un piccolo abitato le osservazioni sismiche sono poche e non rappresentative delle caratteristiche sismiche del territorio in oggetto.

Differentemente, tra le località considerate nel database, quella più interessante, tenendo conto sia del numero di osservazioni che della vicinanza all'area in esame, è sicuramente Fiorenzuola: ubicata meno di 10 km più a sud-est e in corrispondenza della quale sono stati rilevati 20 terremoti con intensità di sito pari o superiore a 4 (cf. Tab. 2).

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

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1904	06	10	11	15	2	Frignano	101	6	4.82
2-3	1906	08	25	03	11		Parmense	31	5	4.25
4	1910	01	23	01	50		Piacentino	118	5	4.39
NF	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26
NF	1912	10	01	18	10		Piacenza	23	4	3.70
F	1913	03	27	02	25	4	Val Trebbia	58	4-5	4.24
3	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	73	4-5	4.65
3	1913	12	07	01	28		Valle Scrivia	56	5	4.57
4-5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
NF	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
NF	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83
6	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1975	11	13	19	55	1	Appennino piacentino	7	5-6	4.36
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
NF	1989	10	03	09	41	3	Appennino parmense	91	4	4.04
NF	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Tab. 2 – Massimi eventi sismici verificatisi a Fiorenzuola

Dalla lettura di Tab. 2 si evidenzia che i massimi eventi sismici censiti a Fiorenzuola si sono verificati il 15 maggio 1951 e il 9 novembre 1983 con un'intensità al sito del VI grado della scala MCS.

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

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	7 di 60

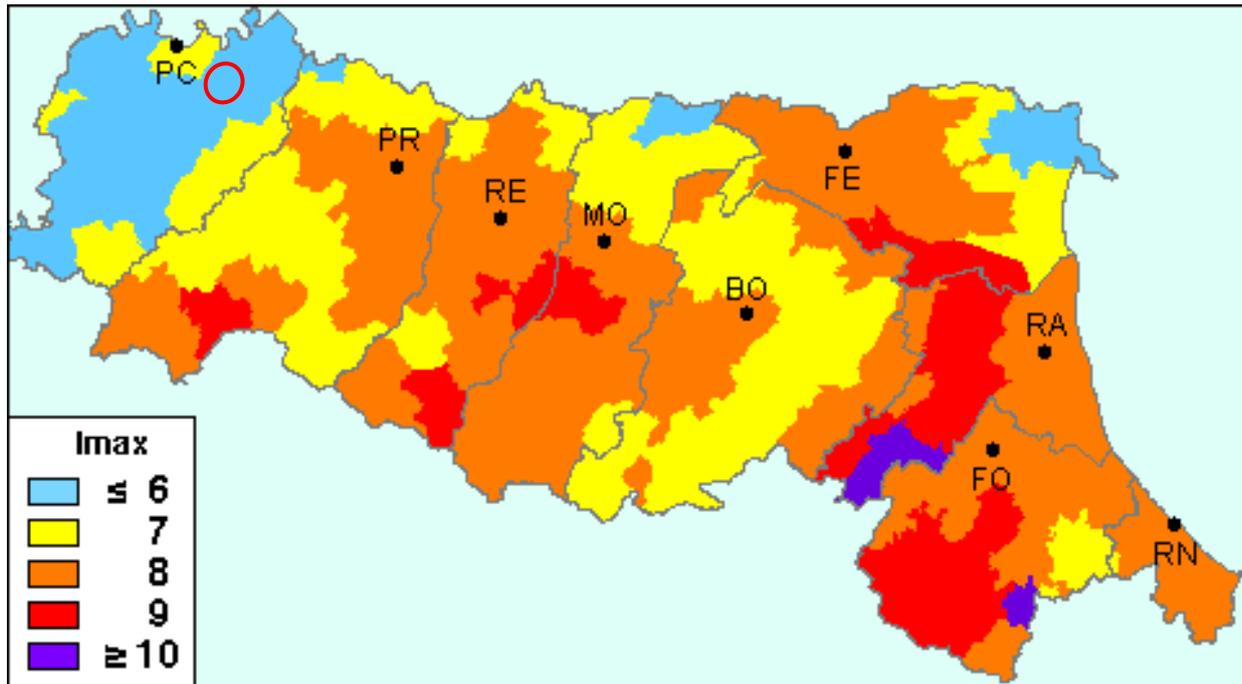


Fig. 1 - Carta della massima intensità macrosismica in Emilia Romagna

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. 2, 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 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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	8 di 60

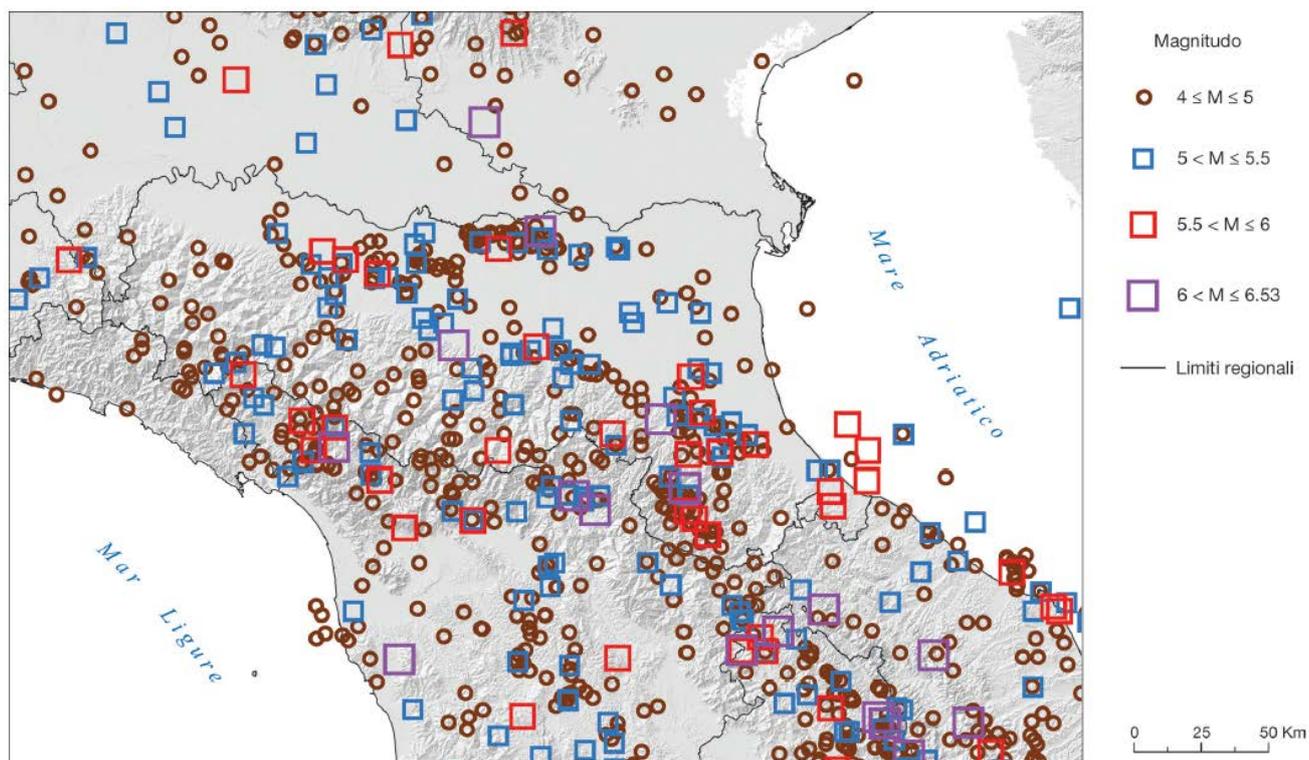


Fig. 2 - Epicentri dei principali terremoti ($M_w \geq 4$) che hanno interessato l'Emilia-Romagna dall'anno 1000 al 2014 (Rovida et al., 2016; ISIDe Working Group, 2015)

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. 3), indicano che in Regione la sismicità è per lo più superficiale, con profondità ipocentrali generalmente comprese tra 5 e 15 km e che i terremoti più profondi si concentrano soprattutto nella zona del margine appenninico-padano e del basso e medio Appennino emiliano-romagnolo.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	9 di 60

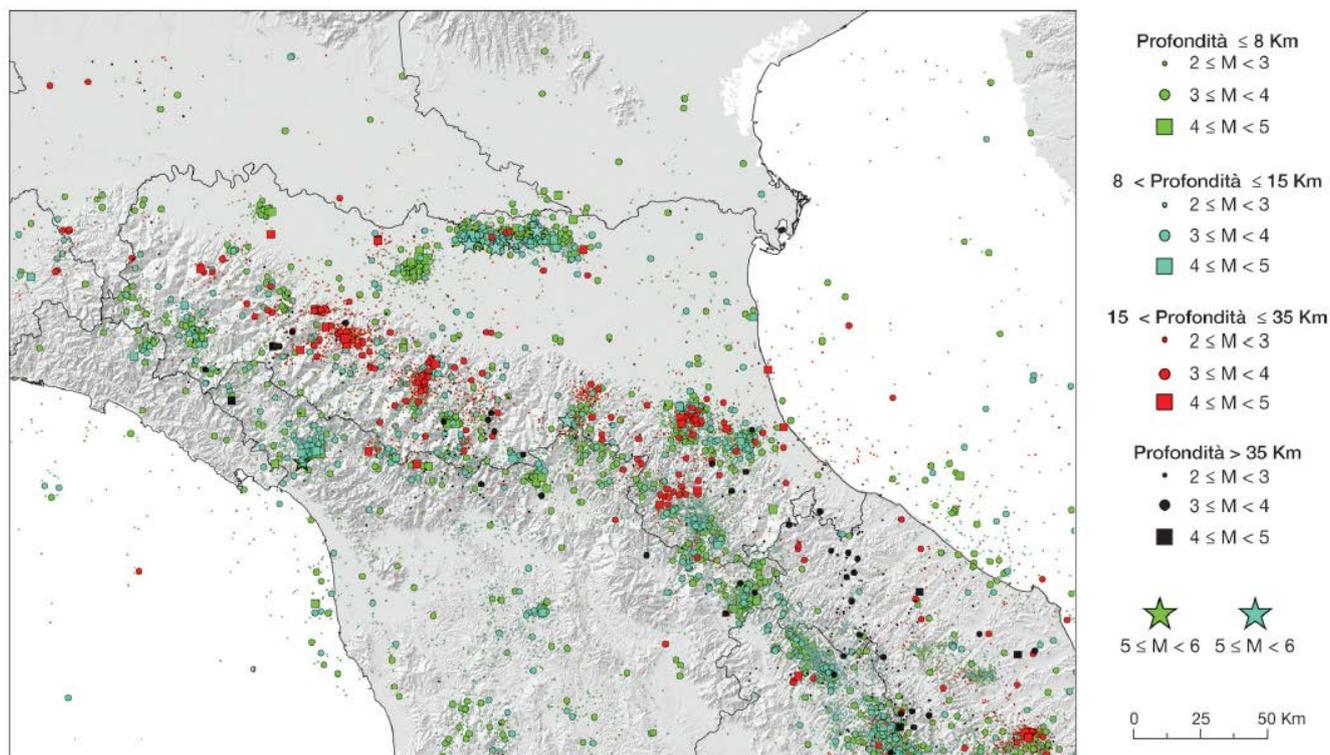


Fig. 3 - Mappa dei terremoti strumentali Mw≥2 (ISIDe Working Group, 2015)

2.2 Caratteristiche sismotettoniche

Per avere un quadro degli elementi che concorrono alla pericolosità sismica del territorio comunale di Cadeo 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 Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (*marker* stratigrafico più importante alla scala del territorio d'interesse; cfr. paragrafo 3.1).

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:

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	10 di 60

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

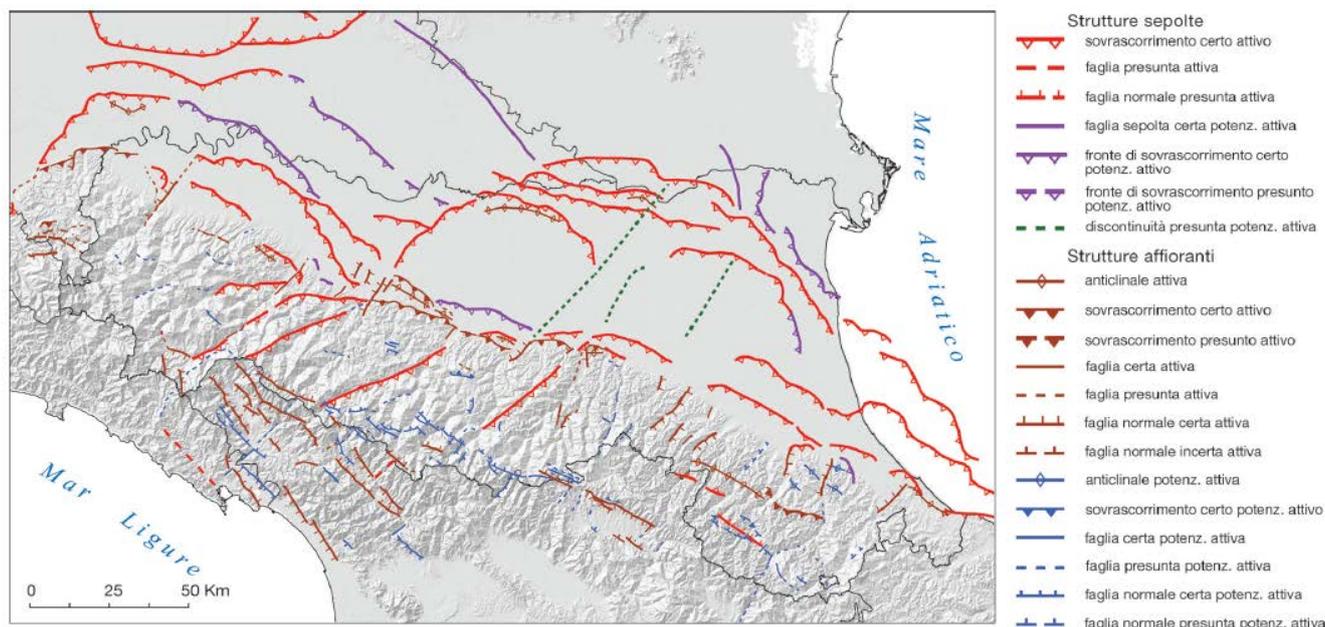


Fig. 4 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”

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).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	11 di 60

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

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. 5 è mostrato il confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" e le zone del catalogo DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana³.

A riguardo, è interessante osservare che il Comune di Cadeo ricade al di fuori di sorgenti sismogenetiche tuttavia si trova in prossimità della sorgente sismogenetica composita ITCS045 – S. Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro, individuata nel catalogo DISS 3.2, ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo pari a 5.5, con meccanismi di *thrust* ad una profondità compresa tra 2 e 10 km; *thrust* indicati come attivi (cfr. anche Fig. 6), nell'ultima cartografia sismotettonica, al pari degli altri fronti interni delle Pieghe Emiliane, limitati a ovest dalla struttura trasversale della val Trebbia e a est da quella della val d'Enza.

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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	12 di 60

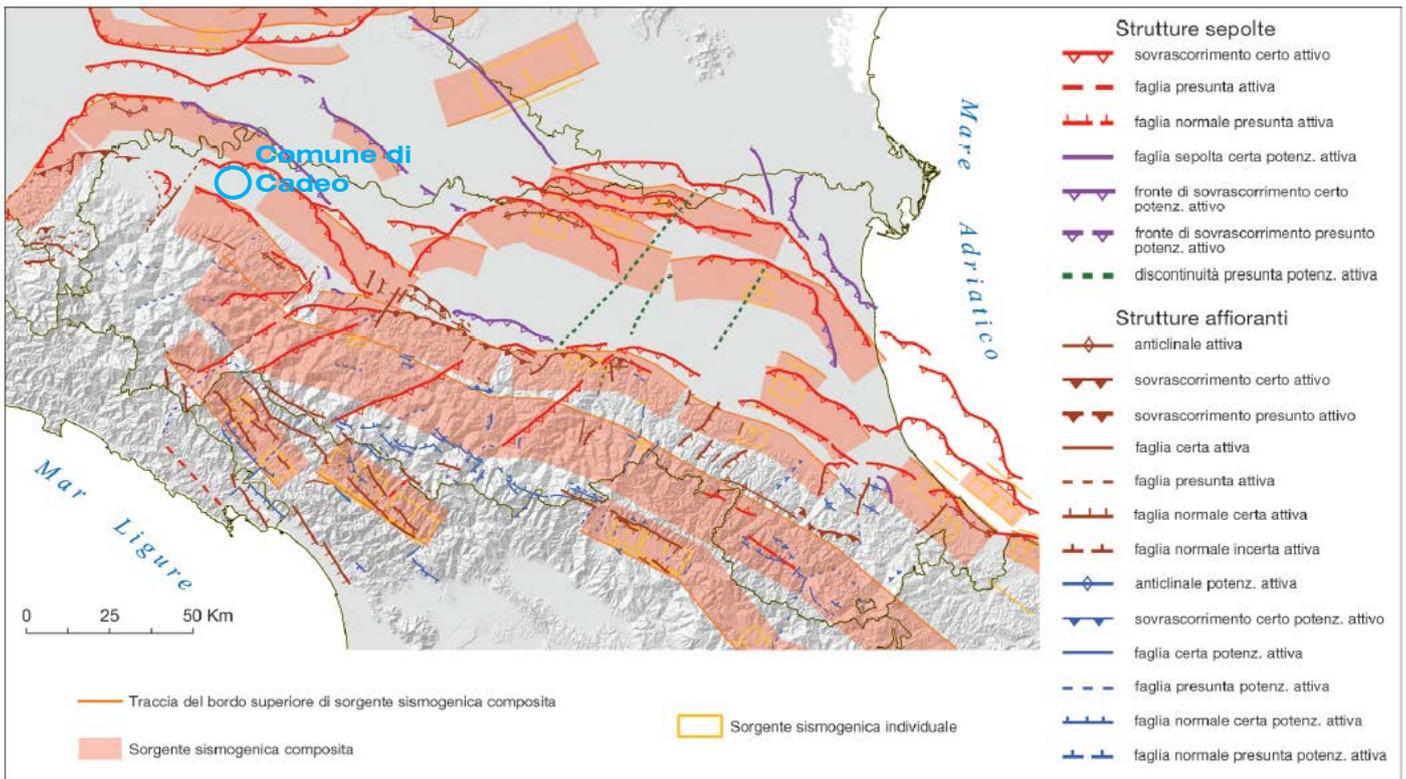


Fig. 5 - Mappa di confronto tra le strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone sismogenetiche del DISS 3.2

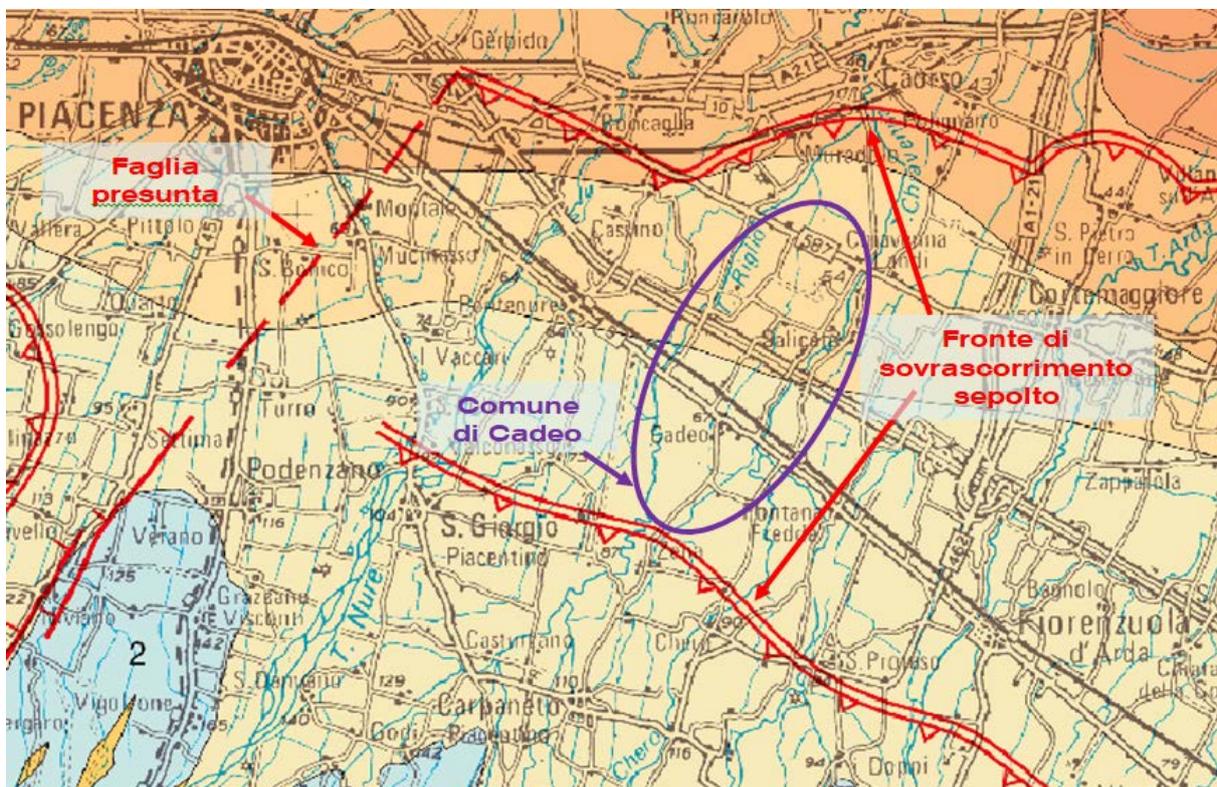


Fig. 6 - Stralcio della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe”

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	13 di 60

Differentemente, più a nord, è indicata l'estremità sud della struttura potenzialmente attiva di Portalbera-Cremona.

Sulla base dei nuovi dati acquisiti per la realizzazione della “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe” è stata proposta, da parte di Martelli *et alii* (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell'Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale: la MPS16, che andrà a sostituire la MPS04, che, con la zonazione sismogenetica ZS9, rappresenta l'attuale riferimento per il calcolo dell'azione sismica (NTC2008) e la riclassificazione sismica (OPCM 3519/2006).

Secondo questa nuova proposta, in Fig. 7 messa a confronto con le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute, il Comune di Cadeo ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo inverso (*thrust fault*).

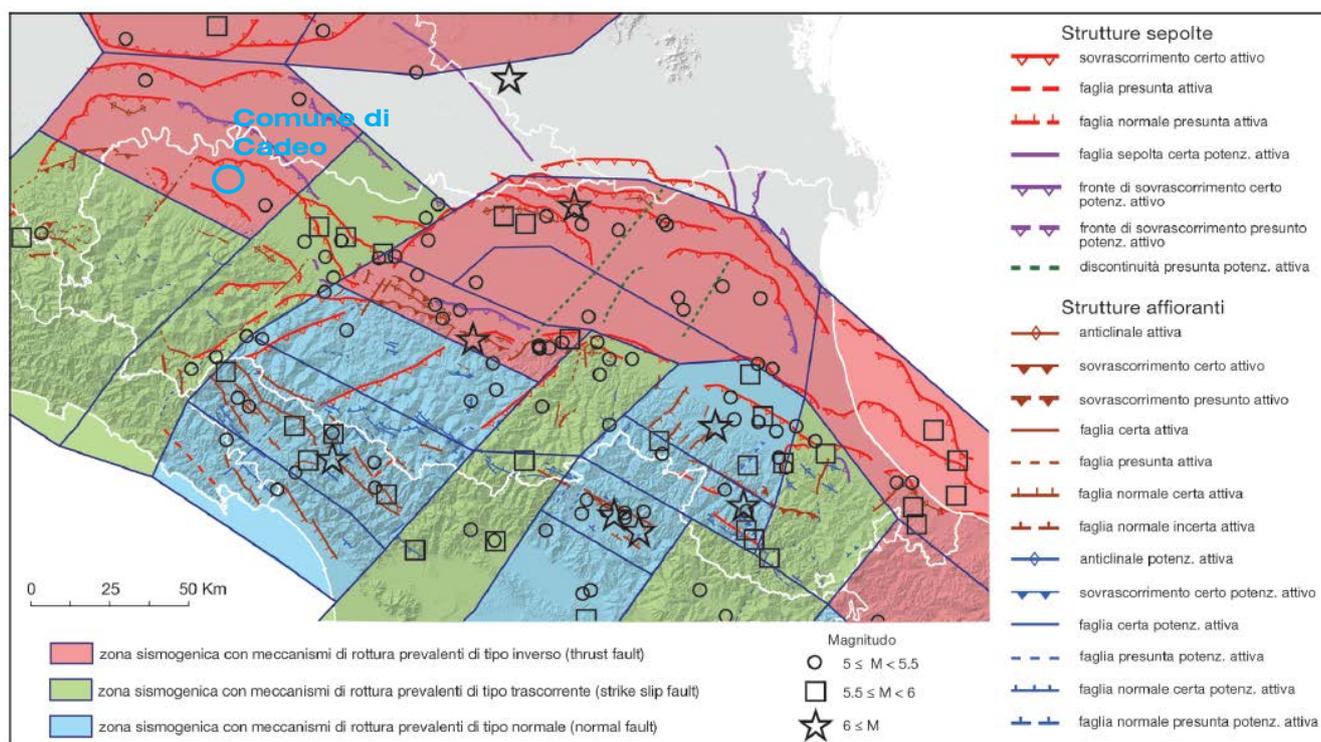


Fig. 7 - Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017)

Più precisamente (cfr. Fig. 8), rientra nella Zona 28 Pieghe Emiliane, contraddistinta dalle seguenti caratteristiche sismotettoniche

- *Orientazione delle principali faglie attive: S/45*
- *Geometria principale delle faglie attive: inversa*
- *Profondità ipocentrale: 5-30 km*
- *Magnitudo massima osservata: 5.5*

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	14 di 60

- *Magnitudo massima calcolata: 5.86 +/- 0.46*

e che viene così descritta:

- *Comprende i fronti compressivi più occidentali delle Pieghe Emiliane e del margine appenninico-padano, dove sono state riconosciute anche strutture trascorrenti; la direzione di compressione (assi P) è comunque circa N-S. Le strutture principali immergono verso sud di 45°; la profondità degli ipocentri è variabile tra 5 e 30 km. La magnitudo storica massima è M=5,5 La parte settentrionale di questa zona non era compresa in nessuna zona ZS9, quella meridionale ricadeva in parte nel settore settentrionale della zona 911 della ZS9. Per il calcolo della pericolosità sismica (v. cap. 4), oltre alle zone sopra descritte, si è reso necessario considerare anche altre zone sismogeniche limitrofe,*

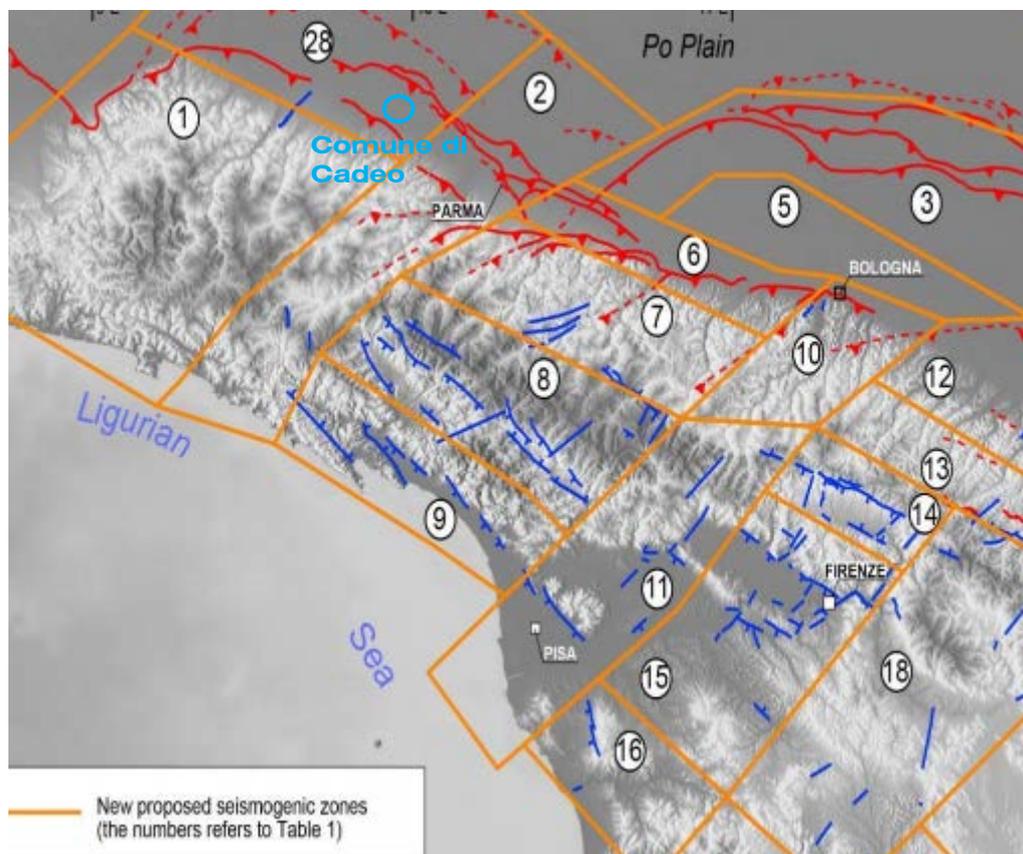


Fig. 8 -Zone sismogenetiche proposte da Martelli et al. (2017) e loro numerazione

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. 9, il Comune di Cadeo ricade, nell’angolo nord est della zona 911, denominata “Tortona-Bobbio”.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	15 di 60

Detta zona è contraddistinta da eventi sismici di magnitudo medio-bassa (la massima magnitudo rilevata è $M_d = 4.10$), con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE.

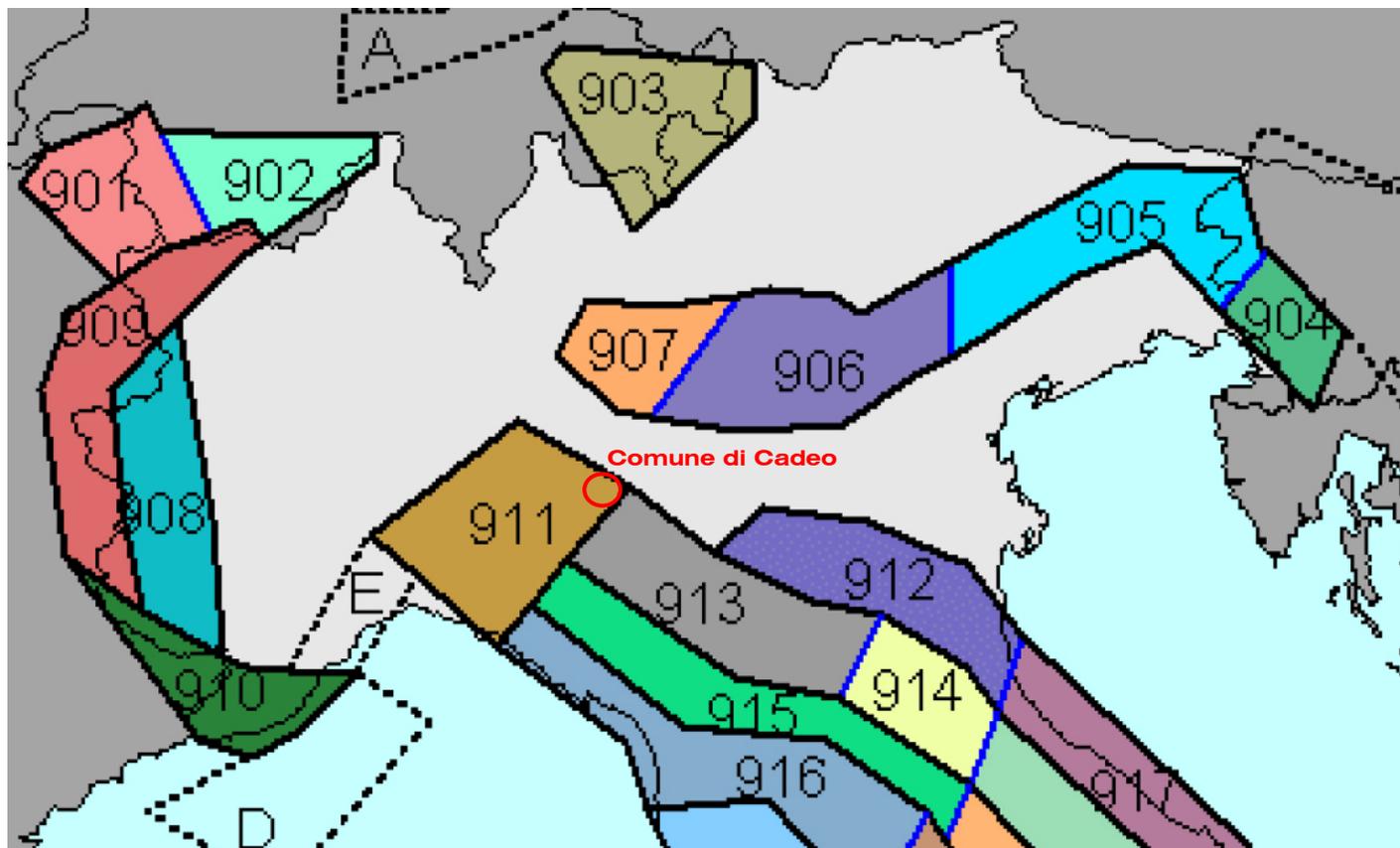


Fig. 9 - Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 (2004)

Il maggior numero di terremoti che si verificano nella zona 911 (Tortona - Bobbio) presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 8 e 12 km, con profondità efficace di 8 km.

Sulla base dei meccanismi focali, sono previsti valori "cautelativi" di massima magnitudo (M_{wmax2}) pari a = 6,14.

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. 10), il comune di Cadeo, è stato identificato in zona 3 (a sismicità bassa), cui corrispondono valori di accelerazione di

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	16 di 60

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

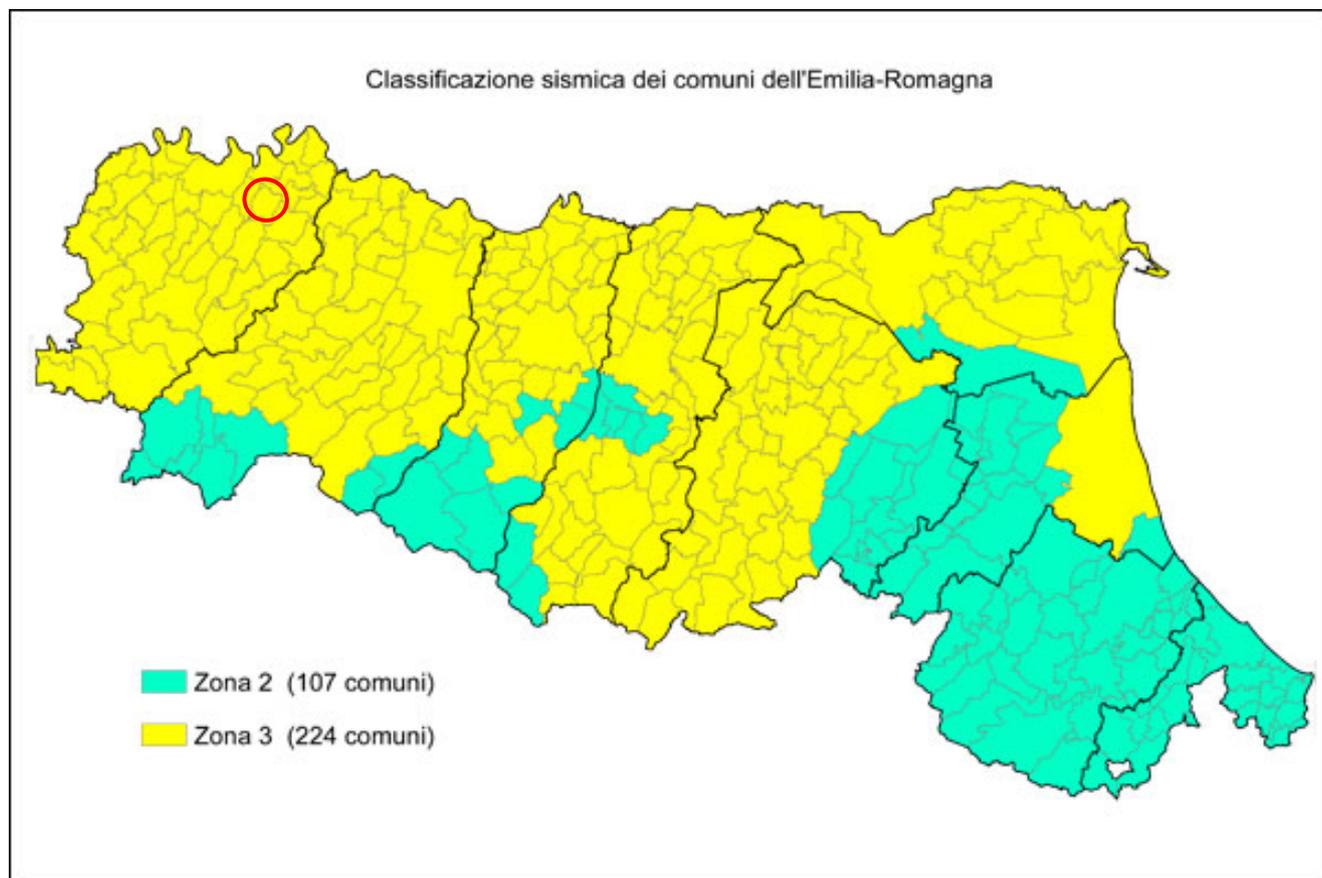


Fig. 10 - Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia Romagna

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 Cadeo, valori di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra: $a_g = 0,075/0,125$ g (ricavato dalle mappe interattive di pericolosità sismica dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia - INGV. Fig. 11).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	17 di 60



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274, All.1)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max})

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli molto rigidi ($V_{s,30} > 800$ m/s; cat.A, All.2, 3.1)

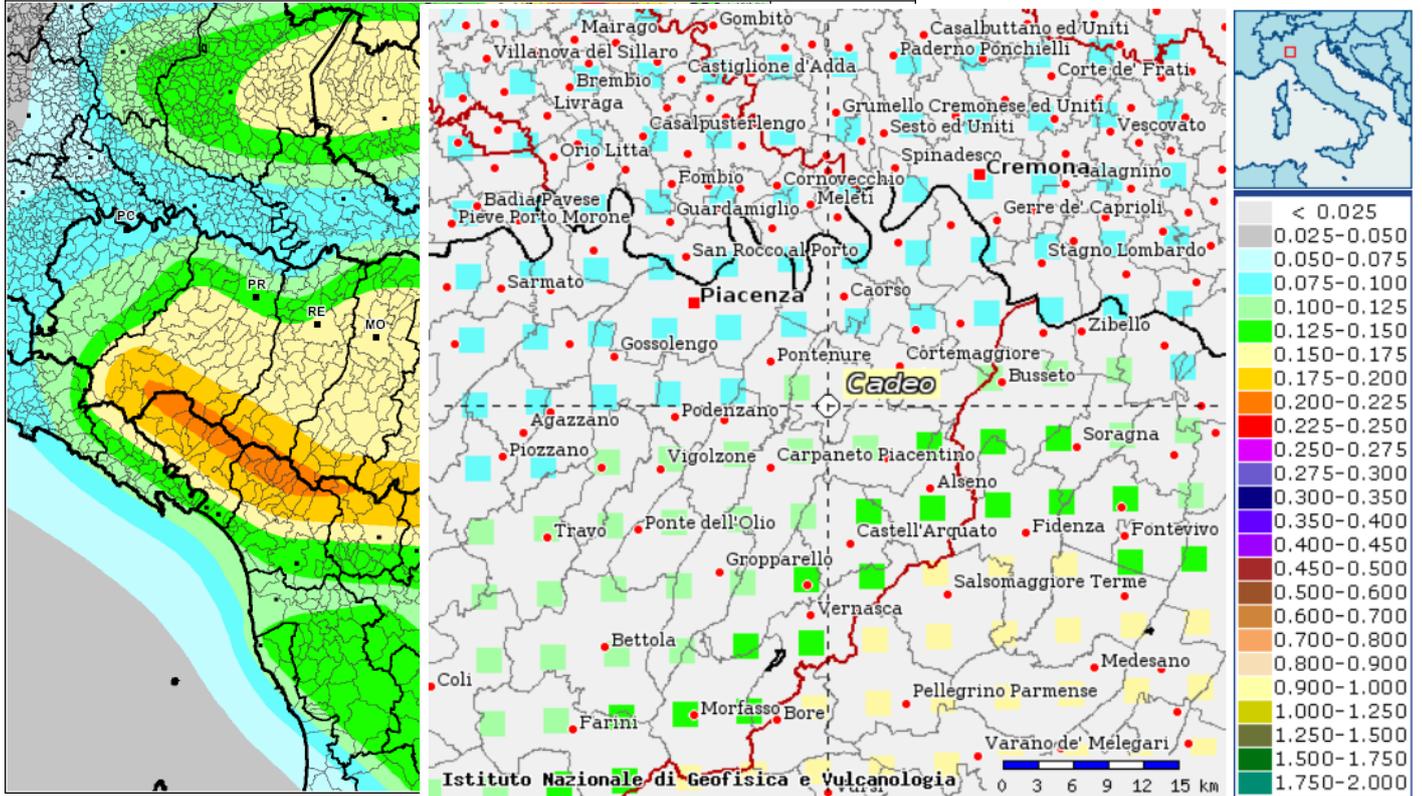


Fig. 11 – Stralcio della mappa di pericolosità sismica ripreso dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

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

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Geologia

Il Comune di Cadeo, dal punto di vista geologico, ricade nell'alta pianura piacentina, 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 ed 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 piacentina 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.

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	19 di 60

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

sepolte che interessano il riempimento sedimentario Plio-Pleistocenico siano caratterizzate da attività molto recente ad attuale.

Nello specifico nell'intorno del Comune di Cadeo, facendo riferimento alla "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" di cui è già stato riportato uno stralcio in Fig. 6, sono presenti, a nord e a sud, 2 fronti di sovrascorrimento sepolti e, a est, una faglia presunta.

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 (Supersistemi secondo la terminologia delle U.B.S.U.) denominate come segue:

- Supersistema del Quaternario Marino, costituito da terreni paralic e marini depositi tra il Pliocene superiore e il Pleistocene medio.
- Supersistema 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 Supersistema 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 subsistemi 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:

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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	20 di 60

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

Gli stadi sedimentari di questi subsistemi 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 fondovalle 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 subsistema 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 Cadeo, i depositi superficiali appartengono al più recente dei subsistemi dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore: il Subsistema di Ravenna (Pleistocene superiore-Olocene); in particolare, in una piccola parte all'estremità sud-orientale del Comune, affiora l'unità di Modena, costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva.

Trattasi di ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa di spessore variabile, in un contesto di piana alluvionale.

La litologia di superficie dominante è quella limosa, anche se si riscontra una certa variabilità a seconda delle zone: in vicinanza dei corsi d'acqua appenninici, ovvero i torrenti Chiavenna, Chero e Riglio, dove sono presenti depositi di canale, argine e rotta fluviale, si rinvencono tessiture limo-sabbiose; mentre, nelle aree interfluviali, sono presenti sedimenti più fini, argillo-limosi e limo-argillosi.

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.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	21 di 60

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 Cadeo ricade all'interno del sistema deposizionale pianura alluvionale ad alimentazione appenninica.

Relativamente ai depositi più profondi risulta interessante esaminare la sezione raffigurata in Fig. 12, la cui traccia è riportata in Fig. 13, stralcio della Sezione 6 tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna.

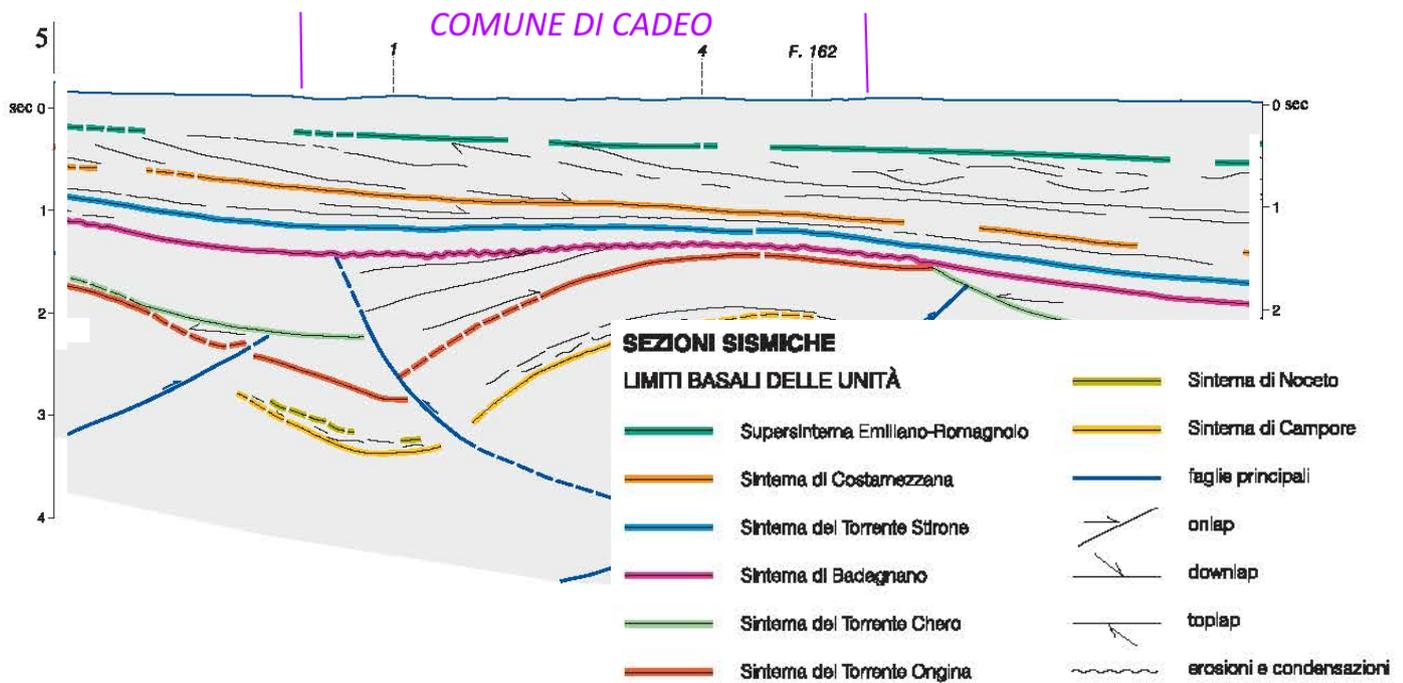


Fig. 12 - Stralcio della Sezione 6 tratta dal sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	22 di 60



Fig. 13 – Traccia della Sezione 6 (da sito web del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna) in Comune di Cadeo

In tale sezione, che attraversa il settore centrale del Comune, con andamento SSW-NNE, si osserva che i depositi di ambiente continentale appartenenti al Supersintema Emiliano-Romagnolo, appoggiano su depositi di prodelta, piattaforma, piana deltizia e di delta-conoide a litologia prevalentemente sabbiosa e limoso-sabbiosa (Sintemi di Costamezzana e del Torrente Stirone), presenti nel sottosuolo della pianura e affioranti nelle aree collinari del territorio provinciale assieme ai depositi delle formazioni marine pre-Quaternarie.

Relativamente alle due più importanti superfici di discontinuità utili allo studio dell'azione sismica, il passaggio tra l'AES e l'AEI e il tetto dei depositi marini, si osserva che, all'interno del territorio di Cadeo, entrambe si approfondiscono verso nord, passando, all'incirca, la prima, dai 100 ai 170 m da p.c., la seconda, da 150 a 250 m da p.c.

In tale contesto geologico le problematiche legate alla microzonazione sono sostanzialmente di tre tipi:

- Zone con presenza di terreni granulari fini saturi a rischio di liquefazione;
- Zone con presenza di depositi coesivi saturi altamente compressibili a rischio di cedimento (*cyclic softening*);

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	23 di 60

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

- Zone con presenza di depositi alluvionali che determinano il rischio di amplificazione stratigrafica del segnale sismico.

Mentre le prime due problematiche sono localizzate e legate alla presenza di particolari tipi di depositi, la terza è comune a tutte le aree di pianura, e quindi a tutto il territorio da indagare nel presente studio. Ciò che va valutato, in tali aree, è la variazione dell'amplificazione stratigrafica in relazione alla variazione di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità.

3.2 Geomorfologia

Gli eventi morfogenetici, responsabili dell'attuale assetto del territorio del Comune di Cadeo, sono riconducibili essenzialmente alla dinamica fluviale del periodo pleistocenico ed olocenico, alla quale, nel periodo storico, si è sovrapposta 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 morfogenetici hanno dato luogo ad un paesaggio relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane debolmente degradanti verso nord con gradiente topografico molto basso, inferiore all'1%.

Le quote del piano campagna variano da 78 a 52 m s.l.m.

La pianura esprime il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione ed insediamento hanno conferito alla superficie topografica un assetto costante ed uniforme livellando gran parte delle asperità del terreno.

Le superfici del suolo conservano tuttavia, anche se in forma relittuale, ancora le tipiche geometrie dell'ambiente fluviale, quali le tracce di antichi percorsi fluviali.

A riguardo, in Comune di Cadeo sono presenti vari paleoalvei, antichi percorsi fluviali relitti, di modeste dimensioni e per lo più localizzati nella porzione sud del territorio comunale.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	24 di 60

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

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati elaborati in questa sede derivano:

- dal database del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna;
- dalla raccolta ed elaborazione di quanto disponibile presso l'Ufficio Tecnico Comunale;
- da un'apposita campagna d'indagini, attuata allo scopo di completare ed arricchire adeguatamente la conoscenza della specifica situazione locale.

Delle 212 indagini geotecniche e geofisiche acquisite (sondaggi, penetrometrie e prove geofisiche), 98 provengono dall'archivio del Comune di Cadeo, 34 (scelte tra le più rappresentative) da quello del Servizio Geologico Regionale, mentre le restanti 80 derivano da prove in sito effettuate nell'ambito della presente indagine.

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale si è rivelata particolarmente fruttuosa, in quanto è stato possibile esaminare e trarre copia di numerose relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti edilizi di opere pubbliche e private.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine.

Più in particolare sono state effettuate:

- N° 40 prospezioni geofisiche con il metodo sismico MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), utili per fornire informazioni relativamente alle velocità delle onde di taglio S (Vs) nel sottosuolo in esame;
- N° 40 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR: *Horizontal to Vertical Spectral Ratios*), al fine di approfondire la conoscenza delle frequenze fondamentali dei terreni.

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati dei numerosi sopralluoghi effettuati nel territorio in studio, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Tutti i dati sono stati inoltre trasformati in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS e sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto delle specifiche tecniche di riferimento.

Nei capitoli successivi si riportano, per ogni tipologia d'indagine, una breve descrizione del metodo di acquisizione utilizzato, rimandando ulteriori dettagli agli specifici allegati, contenenti i report completi.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	25 di 60

4.1 Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)

Per il presente studio, sono state realizzate n. 40 misure di microtremore a stazione sismica (HVSr) equamente distribuite sulle differenti aree di studio di secondo livello e sempre in corrispondenza di uno stendimento sismico MASW.

La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (pari a 20 minuti).

Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z).

La strumentazione utilizzata è un tromografo digitale marca Ambrogeo equipaggiato con geofoni a 2 Hz.

Tutte le misure sono state eseguite su terreno, accoppiando ad esso i sensori mediante infissione tramite chiodi e orientando i geofoni orizzontali secondo i punti cardinali, dove presente pavimentazione è stato utilizzato un apposito piede da pavimento che consente la messa in bolla dei geofoni.

In Foto 1 si riporta, a titolo esemplificativo, una fotografia della strumentazione utilizzata su un punto d'indagine.



Foto 1 - Esecuzione di un'indagine tramite tromografo

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	26 di 60

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

4.2 Prove sismiche MASW

Durante la campagna indagini sono state realizzate 40 prove sismiche di tipo MASW: equamente distribuite sulle differenti aree di studio di secondo livello e sempre in adiacenza ad un punto di misura di microtremori (HVSr).

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 nel sottosuolo, portando 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 (*Rayleigh*) 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 superficiali del suolo, mentre le componenti a più bassa frequenza "sentono" anche 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 70Hz, fornendo informazioni sino a profondità di circa 30 m a seconda della rigidezza del suolo: la profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e più bassa frequenza identificabile.

Questa tipologia di prospezione viene realizzata mediante uno stendimento sismico costituito da più geofoni (preferibilmente 24) 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.

L'acquisizione delle onde di *Rayleigh* può essere fatta mediante geofoni verticali, oppure mediante geofoni orizzontali con asse posto parallelo (radiale) allo stendimento. In entrambi i casi si utilizza una sorgente verticale - piastra-martello.

Le indagini sono state realizzate con un sismografo a 24 canali, marca Sara Electronic Instrument, utilizzando geofoni verticali con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

I geofoni sono stati sempre posizionati a 2 m l'uno dall'altro, ottenendo uno stendimento di 46 m di lunghezza con il punto di battuta posizionato a 8 metri dal primo geofono, in totale è ottenuto uno stendimento complessivo di 54 metri.

Quale sorgente sismica è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente su piastra cilindrica in PVC.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	27 di 60

In Fig. 14 si riporta uno schema grafico della geometria di stendimento utilizzata.

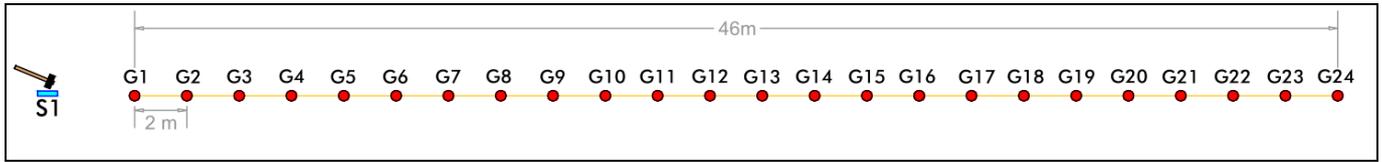


Fig. 14 - Schema raffigurante la geometria di stendimento utilizzata

Le battute sono state realizzate su entrambi i lati dello stendimento, eseguendo 5 energizzazioni per punto, così da amplificare il segnale mediante somma delle tracce acquisite (*stacking*).

In Foto 2 si riporta, a titolo esemplificativo, una fotografia del sismografo su un punto di misura.



Foto 2 - Sismografo su un punto d'Indagine

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	28 di 60

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

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

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

A tale scopo, per il Comune di Cadeo, 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 8.2 la descrizione specifica delle caratteristiche del territorio 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.

Nel complesso, considerando i dati raccolti la fascia di pianura in cui ricade il Comune di Cadeo, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi e argille) o medio fini (sabbie e limi), poggianti, a profondità normalmente comprese tra 10 e 20 m su orizzonti granulari: lenti di ghiaie appenniniche a loro volta alternate a depositi fini.

A fronte di tale assetto litostratimetrico, le indagini di tipo MASW effettuate sono sempre state interpretate individuando, nello spettro di velocità, la curva di dispersione caratteristica del sito.

Va, però, precisato che questo tipo di interpretazione definisce bene il passaggio alle prime ghiaie, ma non con altrettanta precisione le velocità dei depositi fini sottostanti che vengono spesso sovrastimate. Sovrastima che potrebbe comportare un mascheramento delle superfici d'impedenza più profonde, condizionando la definizione del substrato sismico, ma che, come si è verificato, non condiziona l'attribuzione dei fattori di amplificazione di cui al paragrafo 8.8.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	29 di 60

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una buona quantità di dati pregressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche nella quale per ogni punto d'indagine è stata eseguita una prova di tipo MASW e una HVSR.

Le informazioni ottenute da tali indagini hanno permesso di caratterizzare i terreni sia in termini di velocità delle onde S (V_s), sia di frequenza caratteristica.

Nei successivi paragrafi vengono illustrate le metodologie interpretative utilizzate per analizzare i dati sismici acquisiti, indicando, ove presenti le incertezze riscontrate.

6.1 Stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR)

Le misure registrate sono state elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, di cui si riporta un'immagine esemplificativa in Fig. 15) e spettri delle singole componenti (componente verticale del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni, esempio in Fig. 16).

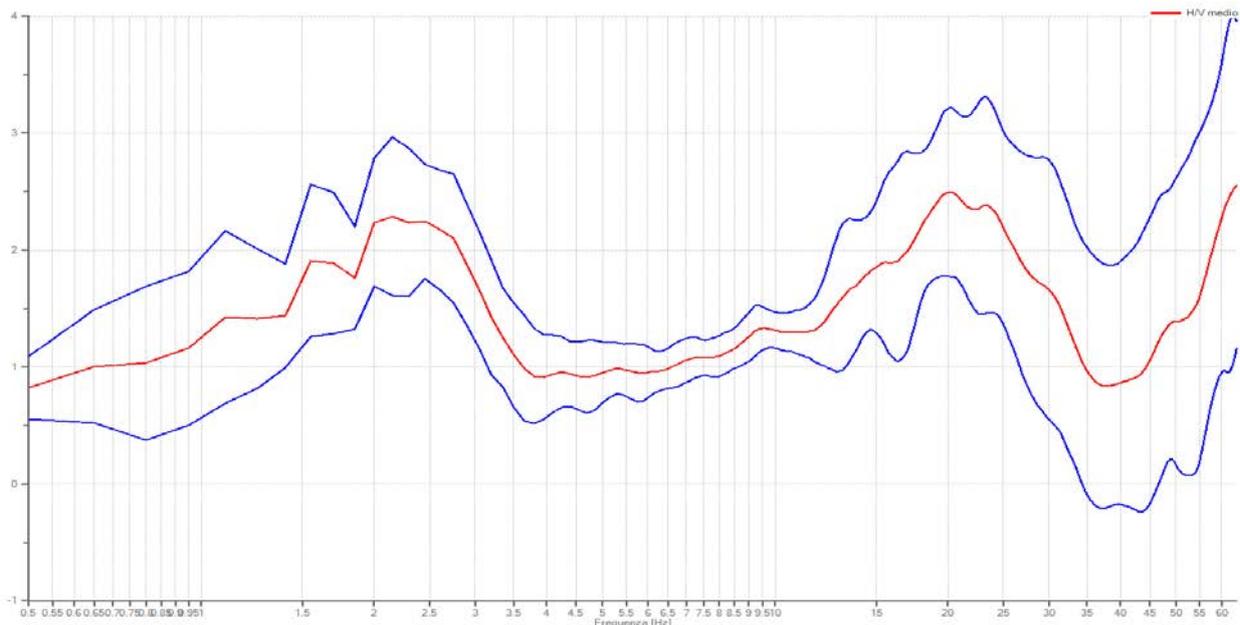


Fig. 15 – Elaborazione delle misure registrate dal tromografo: rapporto spettrale orizzontale su verticale

A riguardo, va sottolineato come il confronto fra questi due tipi di grafici consenta di distinguere i picchi di frequenza dovuti a disturbi nel corso della misurazione, in cui tutte le componenti hanno lo stesso andamento, da quelli dovuti a motivi stratigrafici, in cui la componente verticale, a differenza delle altre due, presenta un minimo locale.

Per giungere a tali risultati il segnale acquisito è stato analizzato suddividendolo in porzioni di 30 secondi, eliminando le finestre con presenza di transienti caratteristici di

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	30 di 60

forte disturbo e infine mediando i segnali delle finestre rimaste.

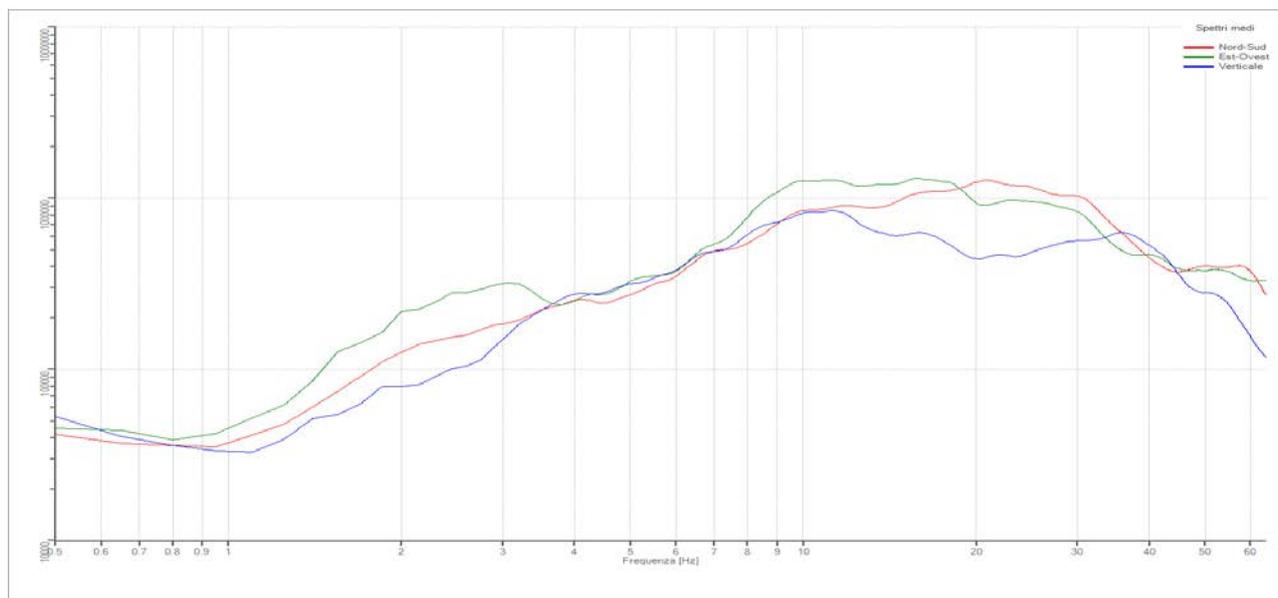


Fig. 16 - Grafico con spettri delle singole componenti

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Quindi, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (*EasyHVSR di Geostru*), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Dalle indagini HVSR sono state così ottenute le frequenze principali e secondarie caratteristiche dei terreni indagati.

Inoltre, come descritto più avanti, il confronto tra misure HVSR e MASW ha consentito una migliore calibrazione dei profili Vs definiti.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	31 di 60

6.2 Prove sismiche MASW

L'analisi dei dati acquisiti mediante le prove MASW avviene attraverso le seguenti fasi:

- 1) Calcolo dello spettro di velocità;
- 2) Individuazione del modo fondamentale e degli eventuali superiori;
- 3) *Picking* della curva di dispersione, cioè selezione dei punti che si ritengono appartenere a un determinato modo;
- 4) Stima del parametro V_{s30} e/o V_{sh} .

In Fig. 17 si riporta, a titolo esemplificativo lo spettro di velocità dell'indagine realizzata con sovrapposto il picking del modo fondamentale nonché la curva di dispersione sintetica corrispondente al miglior modello ottenuto e i profili di velocità calcolati (in rosso quelli che presentano miglior fit con la curva di dispersione).

Per il processo d'inversione è stato utilizzato il software *EasyMASW di Geostru*, durante tale processo il codice di calcolo genera iterativamente modelli la cui curva di dispersione si avvicina sempre più al picking eseguito; il numero d'iterazioni che il programma esegue è definito dall'utente (usate 1.000 iterazioni). L'accuratezza del modello ottenuto viene definita da due parametri che il software fornisce a fine elaborazione: il *fattore di disadattamento della soluzione (misfit)* e la *percentuale d'errore*, entrambi sono espressione di quanto la curva di dispersione sintetica si avvicina a quella sperimentale.

Tutti i modelli ottenuti hanno mostrato un ottimo *fitting* della curva sintetica con quella sperimentale con valori di fattore di disadattamento sempre inferiore a 0.05 e percentuale di errore inferiore a 0.1%.

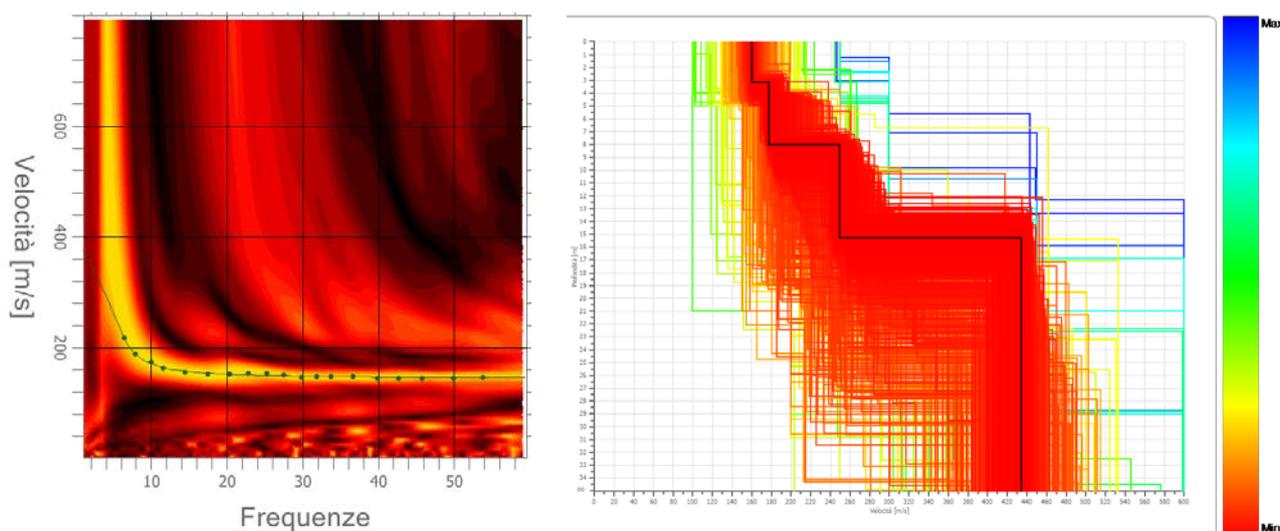


Fig. 17 - Immagini riassuntive dell'elaborazione dell'indagine MASW

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	32 di 60

6.3 Incertezze e confronto tra MASW e HVSR

L'interpretazione delle indagini sismiche effettuate non è risultata sempre facile, soprattutto per la presenza di diverse inversioni di velocità dovute all'alternanza di terreni grossolani (più veloci) e terreni fini (più lenti). Tale assetto è spesso poco leggibile mediante prove sismiche indirette e spesso le inversioni risultano non rilevabili o comunque di interpretazione difficoltosa.

Al fine di verificare la correttezza dei modelli sismostratigrafici ottenuti mediante prove MASW si è provveduto, a campione, ad inserire il modello ottenuto nel software EasyHVSR, in modo da sovrapporre la curva H/V sintetica (propria del modello sismostratigrafico) a quella sperimentale misurata mediante tomografo.

A titolo esemplificativo si riporta nella sottostante Fig. 18, a destra, il modello sismostratigrafico ottenuto mediante prova MASW n. 36 (codice softMS: 033007L49MASW49), mentre a sinistra si riporta la sovrapposizione della relativa curva H/V sintetica con la curva sperimentale. Come si nota si ha un'ottima corrispondenza delle due curve, a riprova che il modello sismostratigrafico proposto è "solido".

Tale controllo è stato eseguito per diversi punti rappresentativi delle differenti aree, e ha sempre confermato una buona coerenza dei modelli proposti.

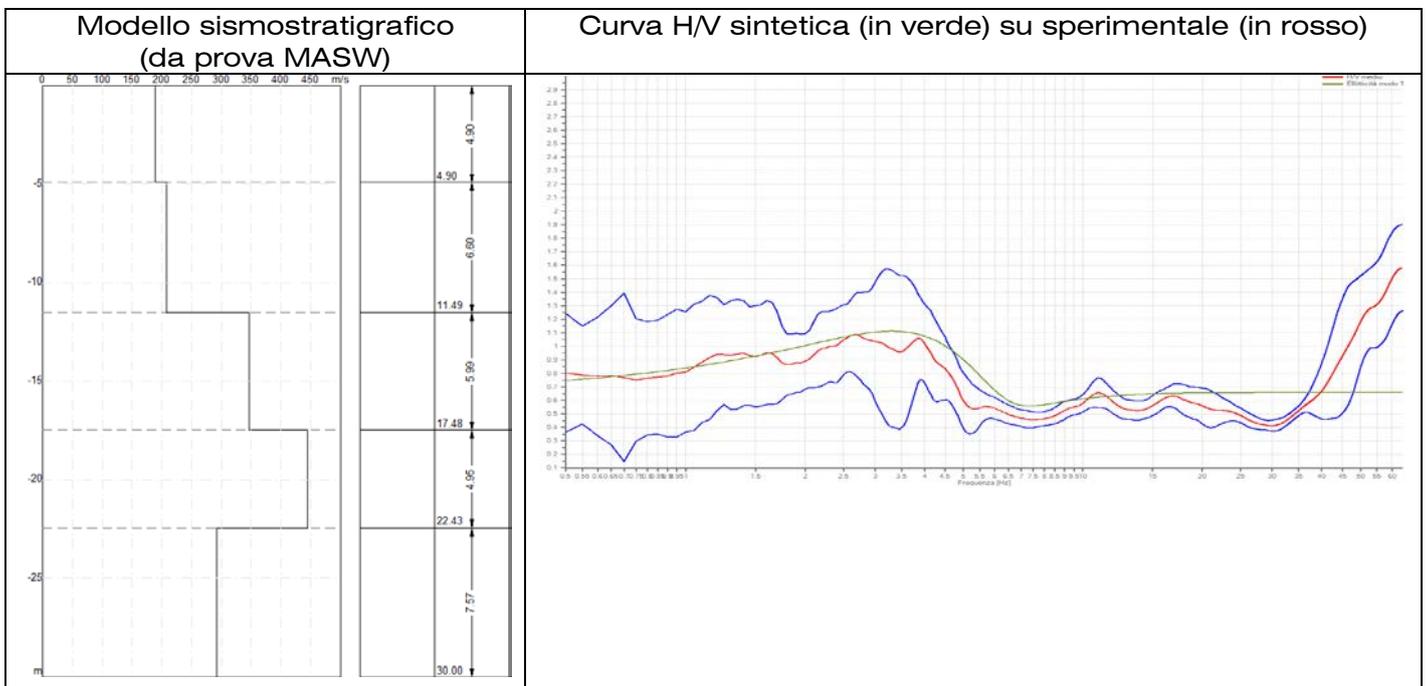


Fig. 18 - Sovrapposizione tra curva H/V sintetica (da modello Vs ottenuto da MASW) e sperimentale

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

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero l'intero territorio urbanizzato ed urbanizzabile, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini geofisica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta 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;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** tale carta riporta 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). In entrambi i casi sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza $0,1 \div 20$ Hz;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello; sono state, inoltre, 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 quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carta 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} .

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	34 di 60

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

- **Carte di microzonazione sismica:** carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame, ovvero:
 - Carta di microzonazione sismica PGA
 - Carta di microzonazione sismica $FA_{SA\ 0,1 - 0,5\ s}$
 - Carta di microzonazione sismica $FA_{SA\ 0,4 - 0,8\ s}$
 - Carta di microzonazione sismica $FA_{SA\ 0,7 - 1,1\ s}$
 - Carta di microzonazione sismica $FA_{SA\ 0,5 - 1,5\ s}$
 - Carta di microzonazione sismica $FH_{SI\ 0,1 - 0,8\ s}$
 - Carta di microzonazione sismica $FH_{SI\ 0,5 - 1,0\ s}$
 - Carta di microzonazione sismica $FH_{SI\ 0,5 - 1,5\ s}$
- **Carta dello scuotimento atteso in valore assoluto:** carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2).

La Carta delle indagini e la Carta geologico tecnica, redatte alla scala 1:10.000 sono state stese per tutto il territorio comunale.

Tutte le altre cartografie, redatte alla scala 1:5.000, sono sempre rappresentate con riquadri ristretti attorno ai centri abitati. In Fig. 19 si riporta un'immagine con indicati i tre tagli cartografici utilizzati.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	35 di 60

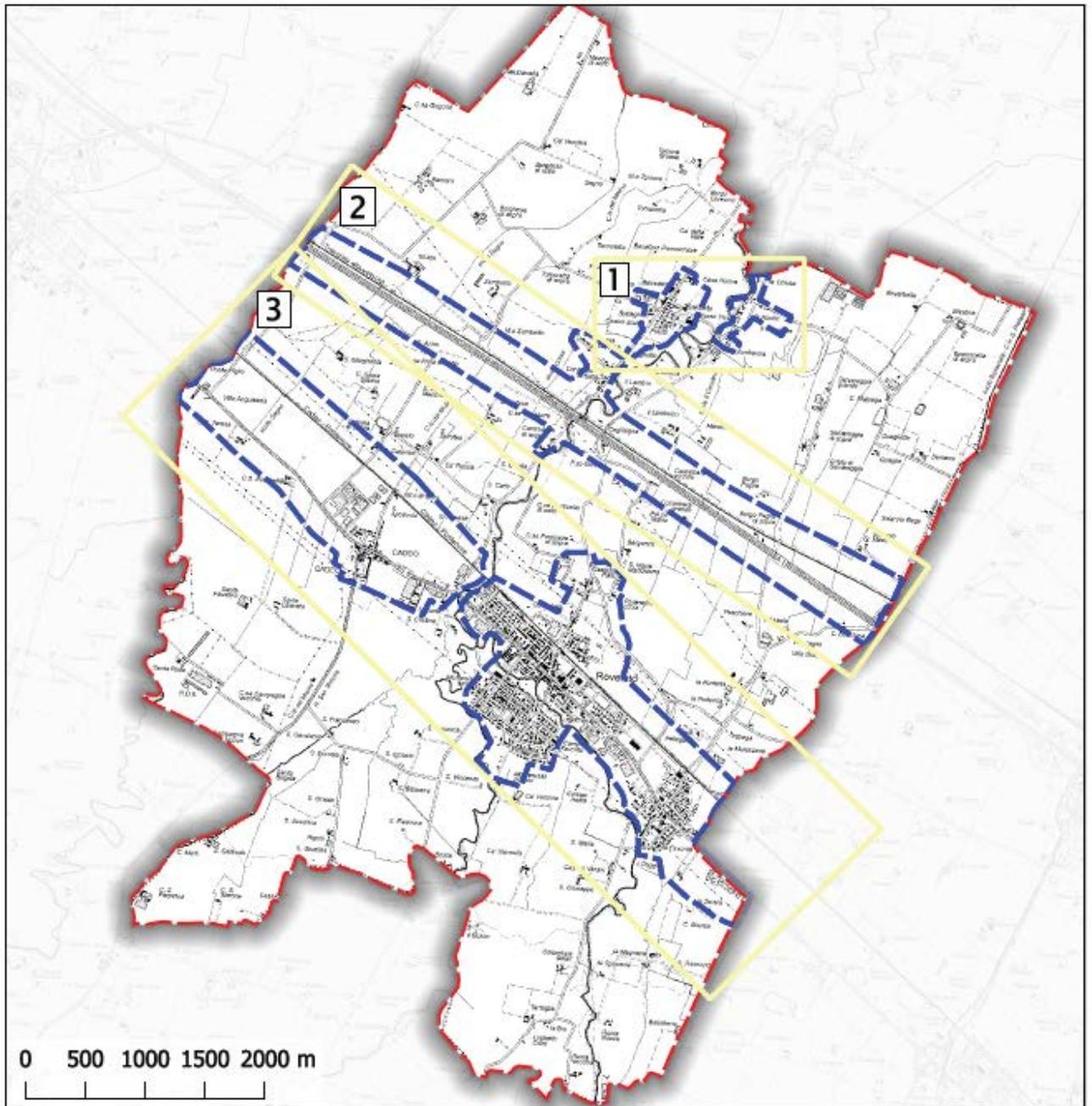


Fig. 19 - Tagli delle tavole alla scala 1:5.000 (riquadri gialli)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	36 di 60

8. ELABORATI CARTOGRAFICI DI PRIMO E SECONDO LIVELLO

8.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, 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 statica con punta elettrica
- prova penetrometrica dinamica super pesante
- prova penetrometrica dinamica media
- prova penetrometrica dinamica leggera
- pozzo per acqua
- stazione microtremore a stazione singola
- MASW
- REMI

come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 20.

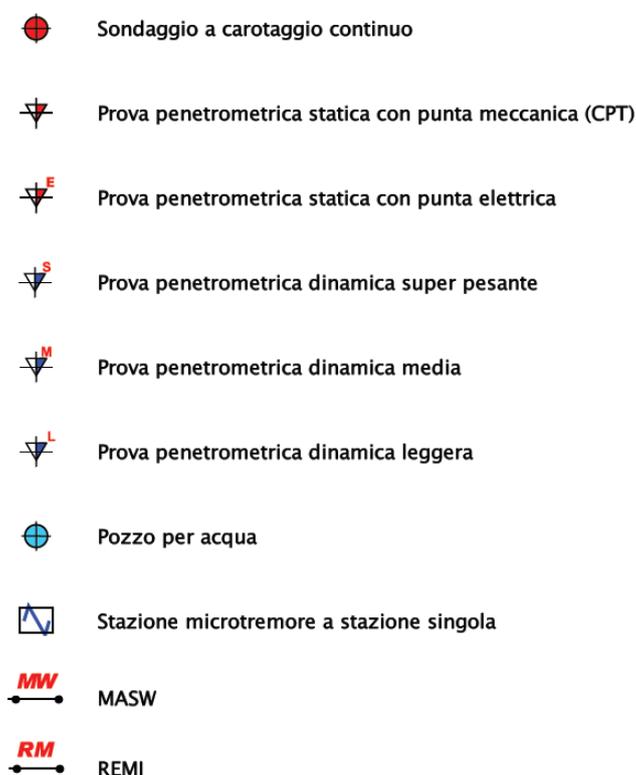


Fig. 20 – Legenda delle Carte delle indagini

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	37 di 60

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

Nella carta sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche e sismiche.

Complessivamente, presso l'Ufficio Tecnico Comunale, sono state acquisite le seguenti indagini:

- N° 53 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- N° 1 prova penetrometrica statica con punte elettrica (CPTE)
- N° 5 prove penetrometriche dinamiche super pesanti
- N° 13 prove penetrometriche dinamiche medie
- N° 1 prova penetrometrica dinamica leggera
- N° 12 stazioni di microtremore a stazione singola
- N° 11 MASW
- N° 2 REMI

Mentre, del database fornito dal Servizio Geologico Regionale sono state utilizzate le informazioni stratigrafiche relative a:

- N° 12 pozzi per acqua
- N° 16 sondaggi a carotaggio continuo
- N° 5 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- N° 1 prova penetrometrica statica con punte elettrica (CPTE)

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

- N° 40 prove MASW
- N° 40 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSr)

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	38 di 60

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

8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica 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 consentito di 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 8.4.

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:

- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale “Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali Tav.A4.3 e Tav.A4.6 – Scala 1:25.000” approvata con atto di C.P. n. 69 del 02.07.2010;
- “Carta Geologica d'Italia” alla scala 1:50.000, Foglio 180 “Salsomaggiore Terme” 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 (8.1).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale nell'”Elaborato 2 - Carta geologico-tecnica” sono state riportate alcune sezioni geologiche tratte da tavola: “Tav.03 – Sezioni litostratigrafiche” a corredo del Regolamento Urbanistico Edilizio del comune di Cadeo, in cui sono proposte quattro sezioni litostratigrafiche con orientamenti differenti (cfr. rappresentazione planimetrica della traccia riportata in Fig. 21, che mostrano l'assetto in corrispondenza dei principali centri abitati. Per agevolarne la lettura si riportano due delle quattro sezioni In Fig. 22.

Dette sezioni vanno ad integrare le informazioni fornite da quella riportata in Fig. 12, a pag. 22, analizzando perlopiù la porzione centrale del territorio Comunale e dettagliando maggiormente le caratteristiche dei depositi dei primi 40÷80 m.

In particolare, sono stati evidenziati i corpi ghiaioso-sabbiosi significativi e distinte 3 classi tessiturali in corrispondenza delle verticali indagate:

- argille limose, argille sabbiose e limi sabbiosi
- sabbie limose, miscela di sabbia e limo, sabbie pulite e sabbie ghiaiose

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	39 di 60

- ghiaie sabbiose, ghiaie limose, ghiaie argillose, miscela di ghiaia sabbia e limo

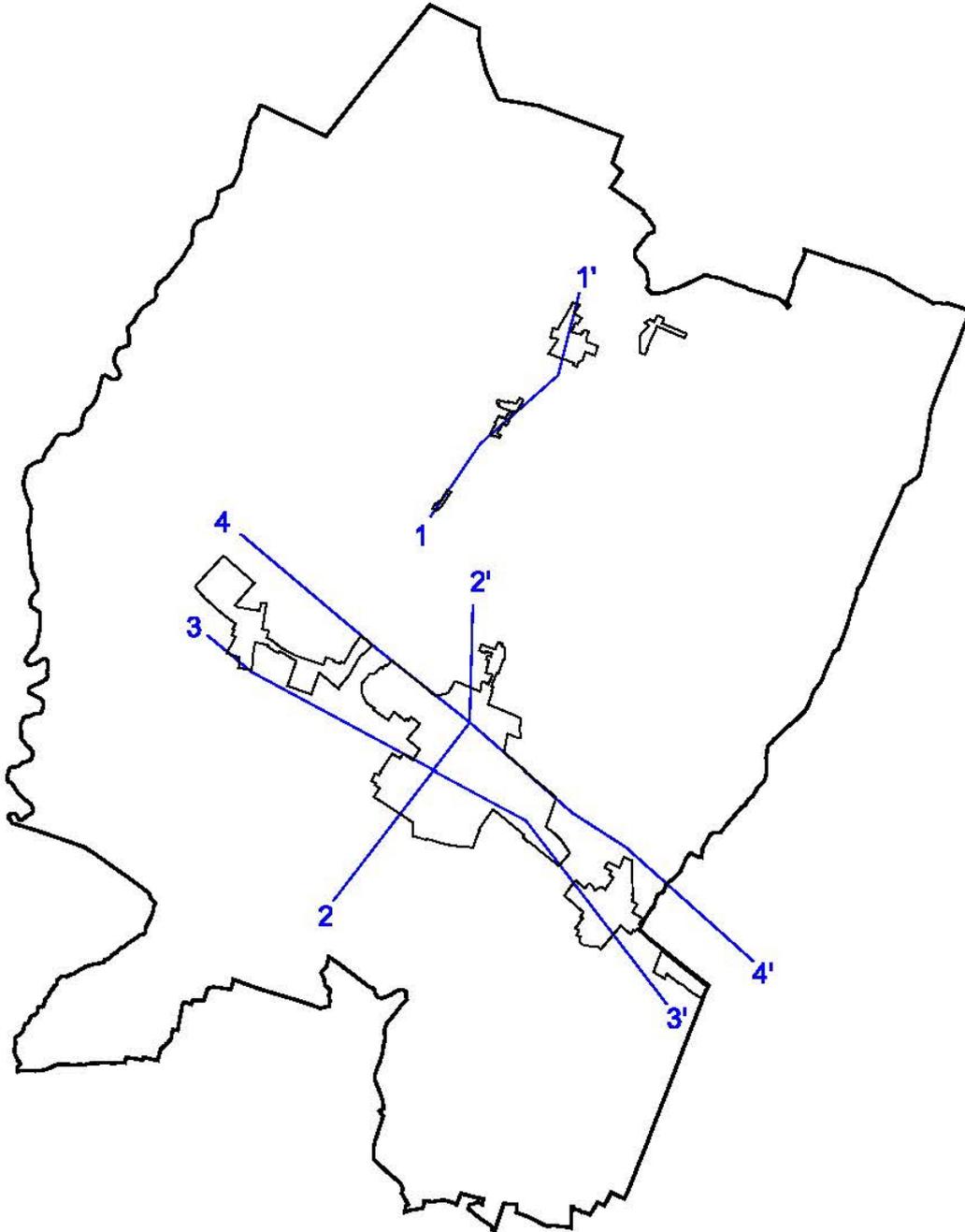


Fig. 21 - Rappresentazione planimetrica della tracce di sezione

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	40 di 60

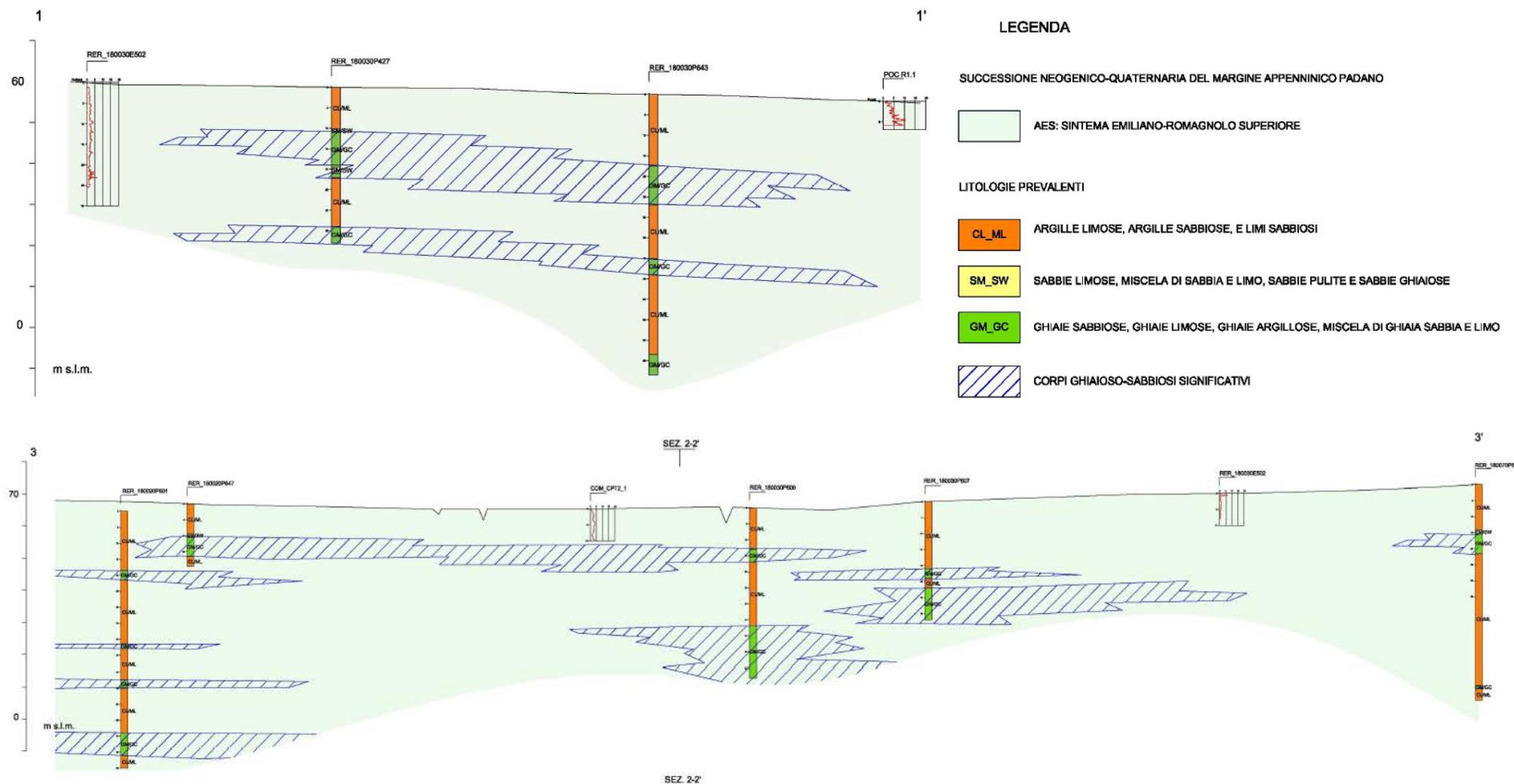


Fig. 22 - Sezione geologica 1-1' con orientamento SSW-NNE e sezione 3-3' con orientamento NE-SW (cfr. rappresentazione planimetrica delle tracce riportata in Fig. 21)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	41 di 60

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

Dall'esame di tali sezioni e delle altre informazioni raccolte, si osserva che il territorio indagato, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- il primo sottosuolo, fino a profondità normalmente comprese tra 10 e 20 m, è caratterizzato, dalla presenza di una copertura di depositi prevalentemente fini (limi e argille) o medio fini (sabbie e limi);
- Al disotto della coltre suddetta sono presenti depositi prevalentemente ghiaiosi strutturati in strati con spessori variabili (dell'ordine di qualche metro), in alternanza a depositi fini.

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:

- **SM** - *Sabbie limose, miscela di sabbia e limo*: sono dovute alla deposizione, in ambiente piana alluvionale, da parte del torrente Chiavenna, del Torrente Chero, del Torrente Riglio e del Rio della Fontana e sono state individuate su buona parte del territorio comunale, per lo più nei settori limitrofi ai sopra indicati corsi d'acqua.
- **ML** - *Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi*: le porzioni più distali dai corsi d'acqua presenti e sono maggiormente presenti nella porzione nord del territorio comunale.
- **GW** - *Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia*: interessano piccole porzioni del territorio comunale, tutte ubicate nel settore sud, nessuna delle aree oggetto di microzonazione sismica ricade in corrispondenza di tali terreni.

Sono stati altresì indicati gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura distinguendo:

- **pi** - piana inondabile.

Quali forme di superficie sono stati raffigurati alcuni assi di paleoalvei; mentre, non sono presenti elementi strutturali, a riguardo va chiarito che gli SRAI non consentono di riportare i sovrascorrimenti indicati in Fig. 6, non trattandosi di faglie capaci.

Infine, nella Carta geologico-tecnica sono stati raffigurati alcuni pozzi, indicando i valori di soggiacenza della falda freatica, necessari alla successiva definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni liquefazione e alcuni sondaggi che non hanno raggiunto il substrato sismico con indicata la profondità raggiunta.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	42 di 60

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

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia pregressi, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, a scala 1:5.000.

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura (46), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

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

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

- $F_0 \leq 0,6$ Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$ 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 (ampiezza picco $HVSR \geq 3$), moderato (ampiezza picco $2 \leq HVSR < 3$), basso (ampiezza picco $1,5 \leq HVSR < 2$) o non significativo (ampiezza picco $H/V \leq 1,5$).

In Fig. 23 si riporta uno stralcio della legenda in cui sono visibili le simbologie appena descritte.

Dalla lettura della Carta delle frequenze naturali dei terreni, si osserva che, in Comune di Cadeo, predominando le prove appartenenti alle classi $F_0 > 8$ Hz e $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz, conseguenza del fatto che, come già anticipato nel capitolo 5, spesso registrano netti aumenti nel profilo delle Vs al passaggio copertura fine/primo orizzonte granulare; aumenti di velocità che, in alcuni casi, possono essere sovrastimati e mascherare superfici d'impedenza più profonde.

Si nota una discreta coerenza nelle frequenze presenti su tutto il comune, soprattutto alla luce del fatto che, spesso, quella che è la frequenza principale per un punto d'indagine è la secondaria in un punto adiacente.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	43 di 60

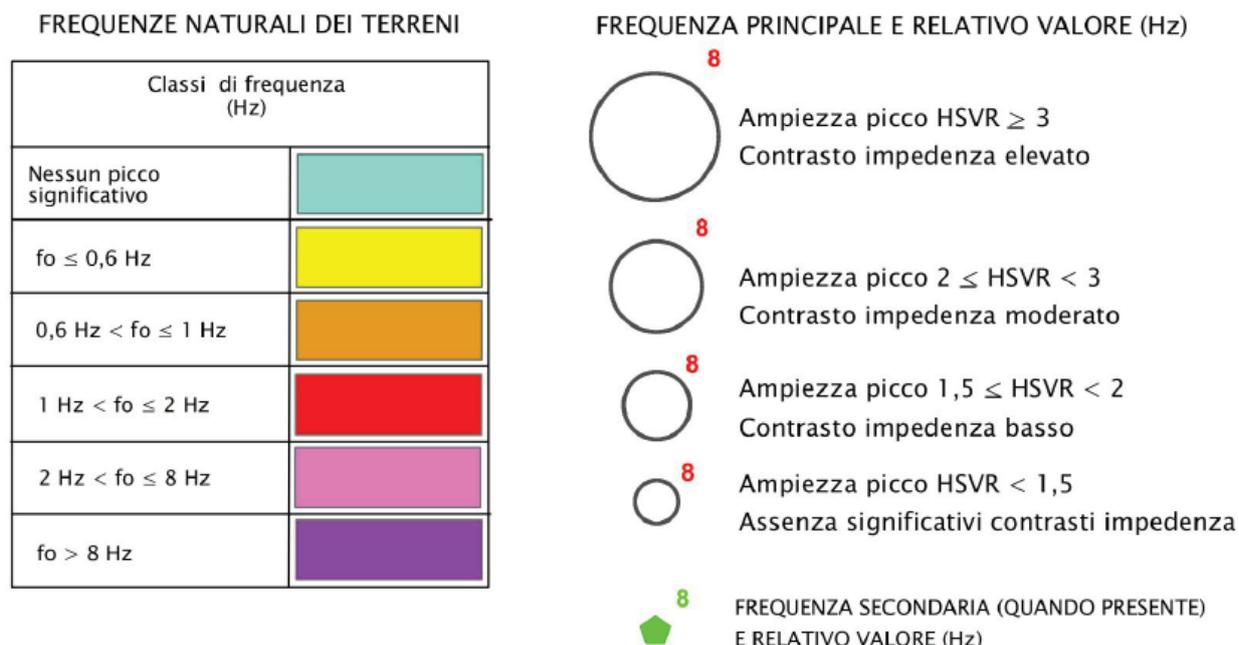


Fig. 23 – Legenda della Carta delle frequenze

8.4 Carta delle aree suscettibili di effetti locali

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

In questa cartografia (in scala 1:5.000) il territorio in esame 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 liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Cadeo, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	44 di 60

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

Invece, come si può osservare nella legenda riportata in Fig. 24, sono state individuate:

- N° 1 TIPOLOGIE DI ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI
 - Zona 1 - Successione stratigrafica costituita da alternanze di orizzonti a tessitura grossolana (ghiaioso-sabbiosi) e orizzonti a tessitura fine (argille e limi), ricoperte da una coltre prevalentemente limoso-argillosa con spessore variabile tra 10 e 20 m. Interessa una parte dell'abitato di Cadeo, una porzione di territorio tra Roveleto e Fontana Fredda, diversi settori lungo l'autostrada e la linea ad alta velocità e un piccolo settore a ovest di Saliceto.
- N° 1 TIPOLOGIE DI ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ
 - ZALQ - Zona di attenzione per liquefazioni - Zona 2, cartografata in corrispondenza della maggior parte delle aree abitate e diversi settori lungo autostrada e alta velocità, è caratterizzata da una Successione stratigrafica costituita da alternanze di orizzonti a tessitura grossolana (ghiaioso-sabbiosi) e orizzonti a tessitura fine (argille e limi), ricoperte da una coltre prevalentemente limoso-sabbiosa con spessore variabile tra 10 e 20 m.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zona 1

Successione stratigrafica costituita da alternanze di depositi ghiaioso sabbiosi e argille limose, ricoperte da una coltre prevalentemente limoso-argillosa con spessore variabile tra 10 e 20 m

Zone di attenzione per instabilità



ZA-LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 2

Successione stratigrafica costituita da alternanze di depositi ghiaioso sabbiosi e argille limose, ricoperte da una coltre prevalentemente sabbioso-limosa con spessore variabile tra 10 e 20 m

Fig. 24 - Legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

In Fig. 25 sono rappresentati i profili stratigrafici caratteristici delle microzone sopradescritte.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	45 di 60

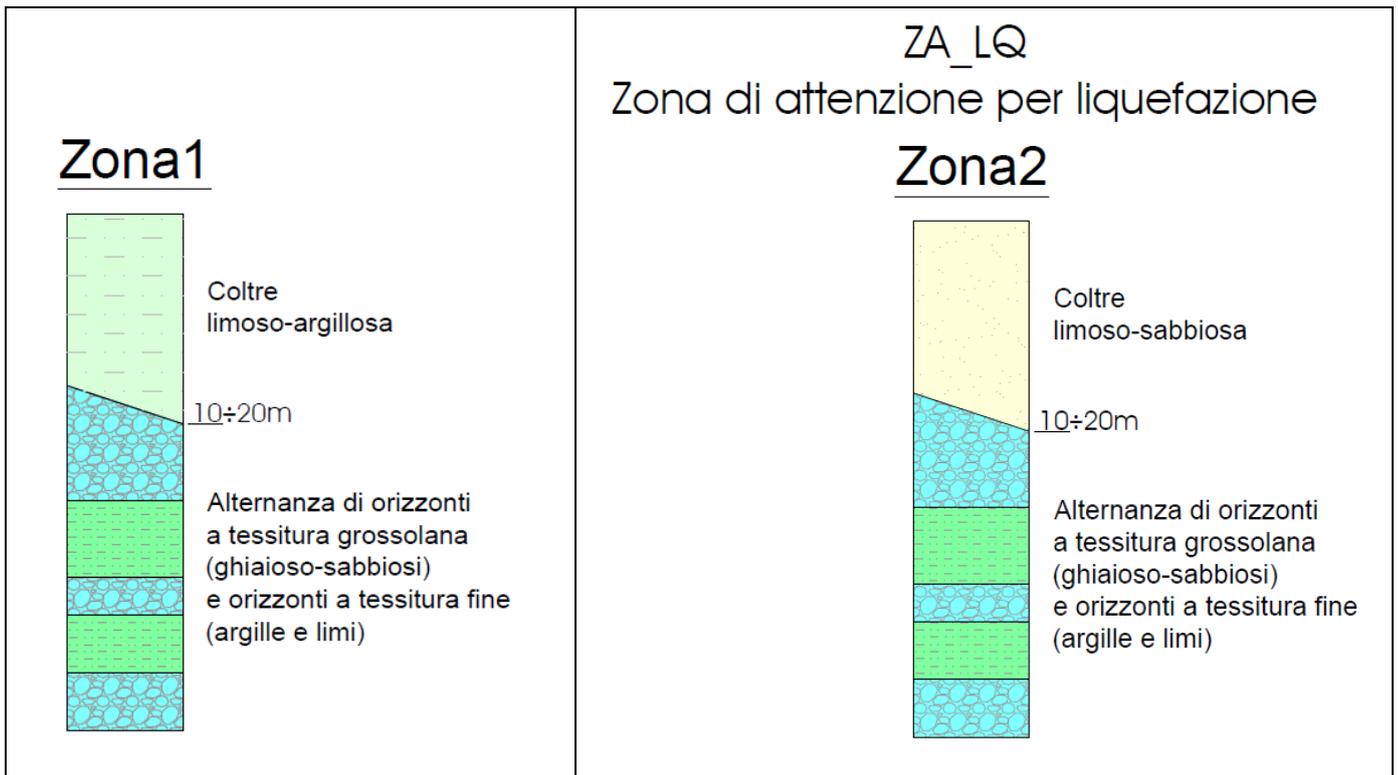


Fig. 25 - Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone

8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, è stata redatta una Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s) avente per oggetto le aree da microzonare.

In tali elaborati sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova HVSR, MASW o REMI) e indicando il corrispondente valore di V_{s30} o di V_{sH} (in m/s), dove:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

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*);

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	46 di 60

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

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, nel presente studio, si è indicata sempre la $V_{S_{30}}$: infatti, seppure in alcuni casi il passaggio al primo orizzonte ghiaioso presenti un discreto contrasto di velocità, detto orizzonte raramente risulta di spessore significativo; inoltre, le indagini sismiche mostrano spesso importanti inversioni di velocità al disotto delle prime ghiaie. Non si ritiene pertanto che le prime ghiaie possano costituire un *bedrock* sismico.

Nella seguente tabella sono indicati i risultati a cui si è pervenuti limitatamente alle aree oggetto di studio (trascurando, dunque, le prove pregresse che ricadono fuori da tali aree).

NOME SoftMS	Tipo Prova	Località	MOPS	Vs30
033007L1MASW1	MASW	Fontana Fredda	2001	266,0
033007L2REMI2	REMI	Cadeo	2002	241,0
033007L3MASW3	MASW	Castello Ratti	2002	270,0
033007L4MASW4	MASW	Roveleto	2002	249,0
033007L5MASW5	MASW	Fontana Fredda	2002	242,0
033007L6MASW6	MASW	Cadeo	2001	260,0
033007L9MASW9	MASW	Fontana Fredda	2002	256,0
033007L10MASW10	MASW	Roveleto	2002	203,0
033007L11MASW11	MASW	Roveleto	2002	239,0
033007L13MASW13	MASW	Roveleto	2002	223,0
033007L14MASW14	MASW	Roveleto	2002	289,7
033007L15MASW15	MASW	Roveleto	2002	261,0
033007L16MASW16	MASW	Roveleto	2002	241,0
033007L17MASW17	MASW	Roveleto	2002	257,8
033007L18MASW18	MASW	Fontana Fredda	2002	278,0
033007L19MASW19	MASW	Fontana Fredda	2002	248,7
033007L20MASW20	MASW	Fontana Fredda	2002	278,0
033007L21MASW21	MASW	Fontana Fredda	2002	285,0
033007L22MASW22	MASW	Roveleto	2002	243,0
033007L23MASW23	MASW	La Chiusa	2002	273,7

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

NOME SoftMS	Tipo Prova	Località	MOPS	Vs30
033007L24MASW24	MASW	Saliceto	2001	269,0
033007L25MASW25	MASW	Contradone di Sotto	2002	243,0
033007L26MASW26	MASW	Contradone di Sopra	2002	254,9
033007L27MASW27	MASW	Castello Ratti	2002	251,2
033007L28MASW28	MASW	Cascina Triulzo	2001	266,3
033007L29MASW29	MASW	La Chiusa	2002	280,0
033007L30MASW30	MASW	Cadeo	2001	238,2
033007L31MASW31	MASW	Cadeo	2001	282,0
033007L32MASW32	MASW	Roveleto	2002	243,9
033007L33MASW33	MASW	Roveleto	2002	260,3
033007L34MASW34	MASW	Borgo Paglia di Sopra	2002	240,0
033007L35MASW35	MASW	La Scottina	2002	255,1
033007L36MASW36	MASW	Saliceto	2002	294,2
033007L37MASW37	MASW	Contradone di Sotto	2001	278,2
033007L38MASW38	MASW	Roveleto	2002	256,1
033007L39MASW39	MASW	Roveleto	2001	264,7
033007L40MASW40	MASW	Villa Anguissola	2002	280,6
033007L41MASW41	MASW	S.Anna	2002	278,2
033007L42MASW42	MASW	Cadeo	2001	256,5
033007L43MASW43	MASW	Roncaglia	2002	230,2
033007L44MASW44	MASW	Contradone di Sotto	2002	273,6
033007L45MASW45	MASW	La Chiusa	2002	273,9
033007L46MASW46	MASW	Colombara Piccola	2002	233,2
033007L47MASW47	MASW	Cadeo	2001	265,7
033007L48MASW48	MASW	Saliceto	2002	266,5
033007L49MASW49	MASW	Fontana Fredda	2002	267,7
033007L50MASW50	MASW	Cadeo	2002	266,8
033007L51MASW51	MASW	Cadeo	2002	254,7
033007L52MASW52	MASW	Cadeo	2002	258,9
033007L53MASW53	MASW	Cadeo	2002	272,0
033007P26HVSR26	HVSR	Roveleto	2002	305,0
033007P84HVSR84	HVSR	S.Margherita	2001	230,0
033007P86HVSR86	HVSR	Fontana Fredda	2002	271,0
033007P88HVSR88	HVSR	Fontana Fredda	2002	310,0
033007P93HVSR93	HVSR	S.Agnese	2002	291,0

Tab. 3 - Risultati delle misure di velocità delle onde di taglio S in Comune di Cadeo

I risultati sopraindicati, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, hanno consentito di definire dei valori di V_{s30} da assumere per ciascuna MOPS, definita nel paragrafo 8.4, e che sono serviti per calcolare i fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 8.6.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	48 di 60

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

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa di tali valori:

ZONA	V _{s30} (m/s)
Zona 1	250
Zona 2	250

Tab. 4 - Tabella riepilogativa delle velocità delle onde di taglio S in Comune di Cadeo

Come si nota tutte le aree oggetto di microzonazione presentano, mediamente, il medesimo valore di V_{s30}.

8.6 Carte di microzonazione sismica

Gli ultimi elaborati in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione, anch'esse redatte alla scala 1:5.000, in cui 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.

Essa è stata quantificata in termini di fattori di amplificazione (FA), dati dal rapporto tra spettro di risposta elastico di output, alla superficie del suolo in esame, e spettro di risposta elastico di input, al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, classe di sottosuolo A delle NTC 2018), per prefissati intervalli di periodi T, calcolati per un tempo di ritorno T_R=475 anni e smorzamento $\zeta = 5\%$ e relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- $FA_{PGA} = PGA/PGA_0$, 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

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	49 di 60

corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:

- o SI1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
- o SI2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
- o SI3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

La scelta dell'abaco per la stima è stata valutata sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo.

Nello specifico, è stata utilizzata per tutto il territorio in esame la seguente tabella proposte dagli indirizzi regionali vigenti:

- Tabelle PIANURA 2, riportata in Tab. 5: *settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;*

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

Fattore di Amplificazione **PGA**

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

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

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

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

Tab. 5 - Tabelle utilizzate per la stima dei F.A. su tutto il comune

Il calcolo dei singoli fattori di amplificazione è stato effettuato considerando i valori di V_{S30} indicati nel paragrafo 8.5, Tab. 4.

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

Conseguentemente, per gli areali oggetto di microzonazione sono stati attribuiti i valori riportati nella seguente tabella (Tab. 6):

ZONA	F.A. PGA	F.H. SI1 0,1-0,5 s	F.H. SI2 0,5-1,0 s	F.H. SI3 0,5-1,5 s	F.A. SA1 0,1-0,5 s	F.A. SA2 0,4-0,8 s	F.A. A3 0,7-1,1 s	F.A. SA4 0,5-1,5 s
Zona 2001	1.7	1.9	2.7	2.9	1.8	2.4	2.8	2.7
Zona 2002 (ZA-LQ)	1.7	1.9	2.7	2.9	1.8	2.4	2.8	2.7

Tab. 6 - Valori dei fattori di amplificazione sismica

I fattori di amplificazione, calcolati come sopra descritto, sono stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI, riportati nella seguente figura.

	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5

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

Nelle stesse carte le zone di attenzione per liquefazione, per le quali sono richiesti approfondimenti di terzo livello, sono state cartografate a parte, contrassegnandole con l'apposito retino, ma con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata con gli abachi.

8.7 Carta dello scuotimento atteso

Infine, è stata prodotta una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	51 di 60

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

cm/s²), dato dal prodotto del parametro *Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

dove valori di ASI_{UHS}/ΔT sono stati ripresi dal file *all_4_coord.kmz*, nella cartella *Allegato_4.zip* disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

In Fig. 28 si riporta la legenda adottata, così come definita dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, che propone di adottare intervalli pari a 100.

Scuotimento atteso al sito in valore assoluto (Hsm)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Hsm = 400 - 500

Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)



ZA_LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Hsm = 400 - 500

Fig. 27 - Legenda adottata per la mappa di scuotimento atteso (intervalli Hsm pari a 100)

Secondo tale legenda, però, tutte le aree esaminate in comune di Cadeo ricadono nella stessa categoria (400÷500), conseguentemente, per poter effettuare una maggiore differenziazione del territorio in base allo scuotimento atteso, si propone anche un elaborato utilizzando una legenda con intervalli minori, pari a 25.

Le classi ottenute sono visibili dalla legenda riportata nella sottostante Fig. 28.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	52 di 60

Scuotimento atteso al sito in valore assoluto (Hsm)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Hsm = 400 - 425

Hsm = 425 - 450

Zone di attenzione per instabilità (Livello 2)

ZA_LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Hsm = 400 - 425

ZA_LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Hsm = 425 - 450

ZA_LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - FA = 450 - 475

Fig. 28 - Legenda adottata per la mappa di scuotimento atteso (intervalli Hsm pari a 25)

8.8 Commenti finali e criticità

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

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

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

Considerate le caratteristiche sismostratigrafiche rilevate, per tale analisi, è stato utilizzato il medesimo approccio su tutte le aree in esame.

I primi depositi ghiaiosi non sono mai stati considerati come *bedrock* sismico: infatti, seppure il passaggio ad essi corrisponda con un discreto contrasto di velocità, detto orizzonte raramente risulta di spessore significativo; inoltre, le indagini sismiche mostrano spesso importanti inversioni di velocità al disotto delle stesse ghiaie.

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

Conseguentemente, nella scelta degli abachi regionali da utilizzare, si è ritenuto di adottare quelli relativi alla Pianura 2, la cui descrizione è quella che più al contesto stratigrafico di Cadeo.

Si è, inoltre, osservato che, a tutte le microzone sismiche, possono essere attribuiti valori di V_{s30} sempre compresi nell'intervallo 225 a 275 m/s e, quindi, che i vari fattori di amplificazione, stimati nei diversi intervalli di periodo, siano uguali nell'intero Comune.

Tra questi, risultano elevati:

per quanto riguarda F.H. SI (Fattori di amplificazione in termini di velocità):
negli intervalli

- $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ (F.H. SI2=2.7)
- $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$ (F.H. SI3=2.9)

per quanto riguarda F.A. SA (Fattori di amplificazione in termini di accelerazione):
negli intervalli

- $0.4s \leq T_0 \leq 0.8s$ (F.A. SA2=2.4)
- $0.7s \leq T_0 \leq 1.1s$ (F.A. SA3=2.8)
- $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$ (F.A. SA4=2.7)

intervalli di periodo tipici di strutture medio-alte e flessibili.

A fronte delle sopradescritte criticità, si raccomanda che, in fase progettuale, si tenga conto delle indicazioni di pericolosità fornite, e, nello specifico, per quanto riguarda previsioni di tipologie di fabbricati cui sono stati associati F_a maggiori 2.3, 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, sulla base dell'analisi della vasta mole di dati litostratigrafici raccolti si è evidenziato che, in Comune di Cadeo, sono presenti zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio e, più precisamente a fenomeni di liquefazione.

Queste zone (cfr. Zona 2, definite nel paragrafo 8.4), caratterizzate dalla presenza di terreni granulari fini saturi nei primi 20 m da piano campagna, saranno oggetto di approfondimenti di terzo livello finalizzati alla valutazione dell'effettivo grado di pericolosità.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	54 di 60

9. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

In Comune di Cadeo, 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.

A riguardo, le uniche informazioni interessanti possono essere desunte dalla consultazione di DBMI15, già citato nel paragrafo 2.1, nel quale si possono osservare gli effetti prodotti a Cadeo e nel suo intorno (in particolare Fiorenzuola), in termini di intensità I(MCS), dai terremoti più forti che hanno colpito la zona, ovvero:

- Il terremoto del 15 maggio 1951, con epicentro nel Lodigiano (cfr. Fig. 29)
- Il terremoto del 9 novembre 1983, con epicentro nel Parmense (cfr. Fig. 30)



Fig. 29 – Distribuzione degli effetti, espressi in I(MCS), a Cadeo e zone limitrofe del sisma del 15 maggio 1951 con epicentro nel Lodigiano

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	55 di 60



Fig. 30 - Distribuzione degli effetti, espressi in I(MCS), a Cadeo e zone limitrofe del sisma del 9 novembre 1983, con epicentro nel Parmense

Da tali figure si osserva che, a parità di terremoto, i danni censiti non dipendono solo dalla distanza dall'epicentro. Detto ciò non è possibile fare alcuna ipotesi relativa alla zonazione sismica, perché si tratta di informazioni limitate e in contrasto tra loro.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	56 di 60

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

10. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D., Castellaro S. (2011). TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 - 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- COMUNE DI CADEO - Relazione geologica, a cura del Dott. Geol. Paolo Mancioppi, elaborata per il Quadro Conoscitivo (QC) del Piano Strutturale Comunale (PSC), approvato con Del. G.C. n. 44 del 08/03/2005
- COMUNE DI CADEO - Relazione Sismica Illustrativa con "Carta Comunale delle Aree Suscettibili di effetti locali", a cura del Dott. Geol. Paolo Mancioppi, in adeguamento alla DAL n. 112/2007, nell'ambito del Piano Operativo Comunale (POC), approvato con Del. G.C. n. 86 del 28/06/2007
- COMUNE DI CADEO - "Studio della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio urbanizzato", a cura di AMBITER s.r.l. nell'ambito del Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE), approvato con Del. C.C. n. 52 del 26.11.2014
- CTMS (2015) - Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC). Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Gruppo di lavoro FAC. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome.
http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LineeGuidaFAC_v1_0.pdf
- 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 - 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
- ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database. <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- 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., 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).

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	57 di 60

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

DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

- 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., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi G., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G.- (2014) Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9). Atti del 32 convegno GNGTS 2013
- Martelli L., Severi P., Biavati G., Rosselli S., Camassi R., Ercolani E., Marcellini A., Tento A., Gerosa D., Albarello D., Guerrini F., Lunedei E., Pileggi D., Pergalani F., Compagnoni M., Fioravante V. e Giretti D. (2014) Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy), Boll. Geof. Teor. Appl., 55, 119-134
- Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A., Slejko D. (2017): Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale – Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche – Rapporto conclusivo
- Meletti C. e Valensise G. (2004). ZONAZIONE SIMOGENETICA 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.
- Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile
- 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
- PROVINCIA DI PIACENZA - "Primo livello" di approfondimento geologico sismico, sviluppato nell'ambito del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Piacenza, approvato, con Del. G.P. n. 69 del 02/07/2010
- RER – ENI, Agip "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (1998) a cura di G. Di Dio

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	58 di 60

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

- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012]
“Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms”, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. FOGLIO 180
“SALSOMAGGIORE TERME”, alla scala 1:50.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE –
Scala 1:250.000 (2017) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse –Università degli Studi di Firenze – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- GUIDELINES FOR DETERMINATING DESIGN BASIS GROUND MOTIONSTR-102293s-V1-V5 EPRI (1993)
- 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

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	59 di 60

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

11. ALLEGATI

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

Elaborato 1	Carta delle indagini	scala 1:10.000
Elaborato 2	Carta geologico-tecnica	scala 1:10.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 4	Carta delle aree suscettibili di effetti locali	scala 1:5.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	scala 1:5.000
Elaborato 6.b	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,1-0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.c	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,4-0,8\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.d	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,7-1,1\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.e	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA\ 0,5-1,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.f	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,1-0,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.g	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,0\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.h	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI\ 0,5-1,5\ s}$	scala 1:5.000
Elaborato 7.a	Carta di microzonazione sismica - H_{SM} - Intervallo 100	scala 1:5.000
Elaborato 7.b	Carta di microzonazione sismica - H_{SM} - Intervallo 25	scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati:

Elaborato 8	Nuova campagna indagini
-------------	-------------------------

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2019	1	60 di 60