



UNIONE TERRE DI PIANURA

MICROZONAZIONE SISMICA “LIVELLO 2 E 3”

Adeguamento degli studi di MS comunali

*(OCDPC 171/2014 e DGR 1127/2015 - OCDPC 532/2018 e
DRG 2047/2018) ai sensi della DGR 476/2021*

Stesura:

Febbraio 2024

Elaborazione:

Dott. Geol. Samuel Sangiorgi



INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1 Gli studi di MS recepiti dal PUG.....	3
1.2 Riferimenti normativi.....	4
1.3 Gli elaborati a corredo degli studi di microzonazione sismica.....	5
2. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E LOCALE.....	9
2.1 Pericolosità sismica di base.....	9
2.2 Pericolosità sismica locale.....	15
3. METODOLOGIE E RISULTATI DELLA MS.....	17
3.1 Cenni introduttivi.....	17
3.2 Note relative alle MOPS.....	17
3.3 Note relative ai fattori di amplificazione di riferimento per lo studio della MS e alla modalità di calcolo.....	18
3.4 Sintesi dei risultati.....	20
4. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	28
5. BIBLIOGRAFIA.....	32

1. INTRODUZIONE

1.1 Gli studi di MS recepiti dal PUG

I Comuni dell'Unione Terre di Pianura dispongono di studi di pericolosità e di microzonazione sismica a partire dal 2006, con analisi progressivamente più dettagliate e supportate da indagini geognostiche/geofisiche più specifiche. Dal 2013, tutti i Comuni dell'Unione hanno recepito nel PSC studi di pericolosità sismica locale e di microzonazione sismica comunale.

Tutti i Comuni dell'Unione hanno inoltre usufruito di contributi stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per la realizzazione di studi comunali di microzonazione sismica e di analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) come previsto dalla Legge 77/2009. Si tratta, tuttavia, di studi svolti secondo Ordinanze di riferimento differenti. Più in particolare, i Comuni dispongono delle seguenti microzonazioni sismiche:

COMUNE	LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	ORDINANZA DI RIFERIMENTO	DATA DI VALIDAZIONE
Baricella	MS con approfondimenti fino al "livello 3" + CLE	OCDPC 532/2018; DGR 2047/2018	21/12/2023
Granarolo dell'Emilia	MS con approfondimenti fino al "livello 3" + CLE	OCDPC 532/2018; DGR 2047/2018	21/12/2023
Malalbergo	"Livello 2" con approfondimenti di "livello 3" + CLE	OCDPC 344/2016; DGR 8757/2017	08/05/2019
Minerbio	MS con approfondimenti fino al "livello 3" + CLE	OCDPC 532/2018; DGR 2047/2018	27/10/2022

Gli studi hanno permesso di espletare gli approfondimenti sismici di "livello 1" (in particolare la definizione e rappresentazione delle MOPS - scala 1:10.000) e di effettuare approfondimenti di "livello 3" (ad esclusione di Malalbergo, con approfondimenti fino al "livello 2").

Gli approfondimenti di "livello 3" hanno consentito di svolgere analisi numeriche monodimensionali e verifiche quantitative della liquefacibilità dei sedimenti granulari saturi. Sono state delimitate le "zone suscettibili di instabilità" per liquefazione ("Livello 3") derivate dalla classificazione dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (IL) secondo le classi di pericolosità definite da Sonmez, 2003.

Ai fini della redazione del Quadro Conoscitivo Diagnostico vengono dunque recepite le Relazioni descrittive redatte a corredo degli studi di MS e in particolare i seguenti elaborati:

- ✓ <<Microzonazione Sismica livello 3 - Relazione illustrativa Comune di Baricella>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi – aprile 2023);
- ✓ <<Microzonazione Sismica livello 3 - Relazione illustrativa Comune di Granarolo dell'Emi-

lia>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi – gennaio 2023);

- ✓ <<Microzonazione Sismica livello 2 – Relazione Illustrativa Comune di Malalbergo>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi - agosto 2018);
- ✓ <<Microzonazione Sismica livello 3 - Relazione illustrativa Comune di Minerbio>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi – aprile 2021);

Ai fini della redazione del PUG e dell'effettivo recepimento degli studi di MS e dell'analisi della CLE si è tuttavia reso necessario aggiornare la MS di Malalbergo, ai fini di un adeguamento dei contenuti e delle rappresentazioni rispetto agli Indirizzi regionali attualmente vigenti in materia di rischio sismico e di riferimento per la redazione degli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (DGR 630/2019; DGR 476/2021 e succ.).

I più recenti Indirizzi regionali (DGR 630/2019; DGR 476/2021) e i nuovi "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Versione 4.2", redatti dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (dicembre 2020), richiedono, infatti, nuove rappresentazioni cartografiche dei fattori di amplificazione in termini di intensità spettrali SA e SI e l'elaborazione della cartografia di pericolosità sismica ("carta della distribuzione dei valori di H").

Per quanto riguarda gli aspetti illustrativi degli studi, vengono qui di seguito descritti con maggior dettaglio gli aggiornamenti e i risultati delle MS comunali.

Per una descrizione più dettagliata, invece, si rimanda anche alle relazioni descrittive a corredo della documentazione degli studi di MS comunali, consultabili/scaricabili dal portale della Regione Emilia-Romagna all'indirizzo <https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/>.

1.2 Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato A della DGR 476/2021 ("Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica – artt.22 e 49, LR 24/2017").

Per quanto non specificato nel suddetto documento, gli ulteriori riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio sono rappresentati dai seguenti testi:

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica;
- "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 (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011);
- Deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica";

- Deliberazione della Giunta Regionale n. 2193/2015 “Art. 16 della LR n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n.112;
- Deliberazione della Giunta Regionale n. 630/2019 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di Microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt.22 e 49, LR 24/2017);
- LR 30/10/2008 n.19 “Norme per la riduzione del Rischio Sismico”;
- DM del 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- DM del 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

1.3 Gli elaborati a corredo degli studi di microzonazione sismica

Gli elaborati della MS prodotti per il recepimento nel Quadro Conoscitivo nel PUG dei Comuni dell'Unione Terre di Pianura sono i seguenti:

- la presente Relazione illustrativa di sintesi della MS dell'Unione
- le seguenti Relazioni illustrative delle MS comunali
 - ✓ <<Microzonazione Sismica livello 3 - Relazione illustrativa Comune di Baricella>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi – aprile 2023);
 - ✓ <<Microzonazione Sismica livello 3 - Relazione illustrativa Comune di Granarolo dell'Emilia>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi – gennaio 2023);
 - ✓ <<Microzonazione Sismica livello 2 – Relazione Illustrativa Comune di Malalbergo>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi - agosto 2018);
 - ✓ <<Microzonazione Sismica livello 3 - Relazione illustrativa Comune di Minerbio>> (soggetto realizzatore: geol. Samuel Sangiorgi – aprile 2021);
- le cartografie (e gli ulteriori elaborati/allegati) elencate nella tabella 1.1.

Tabella 1.1 – Elaborati cartografici aggiornati per il PUG dell'Unione Terre di Pianura

Elaborato cartografico	Sigla cartografia	Scala
MS Baricella: Allegato 1 – Sezioni geotecniche		
MS Baricella: Allegato 2 – Report delle indagini		
MS Baricella: Carta delle indagini	Tavola 1	1:10.000
MS Baricella: Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b	1:10.000
MS Baricella: Carta delle frequenze	Tavola 3	1:10.000
MS Baricella: Carta delle MOPS	Tavola 4a/b	1:10.000
MS Baricella: Carta delle Vs	Tavola 5	1:10.000

Elaborato cartografico	Sigla cartografia	Scala
MS Baricella: Carta MS2 FPGA	Tavola 6	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FA0105	Tavola 7	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FA0408	Tavola 8	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FA0711	Tavola 9	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FA0515	Tavola 10	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FH0105	Tavola 11	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FH0510	Tavola 12	1:10.000
MS Baricella: Carta MS2 FH0515	Tavola 13	1:10.000
MS Baricella: Carta distribuzione dei valori di H_{SM}	Tavola 14	1:10.000
MS Baricella: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,4-0,8s}$	Tavola 15	1:10.000
MS Baricella: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,7-1,1s}$	Tavola 16	1:10.000
MS Baricella: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,5-1,5s}$	Tavola 17	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Allegato 1 – Sezioni geotecniche		
MS Granarolo dell'Emilia: Allegato 2 – Report delle indagini		
MS Granarolo dell'Emilia: Carta delle indagini	Tavola 1a/b/c/d	1:5.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta delle frequenze	Tavola 3	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta delle MOPS	Tavola 4a/b	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta delle Vs	Tavola 5	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FPGA	Tavola 6	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FA0105	Tavola 7	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FA0408	Tavola 8	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FA0711	Tavola 9	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FA0515	Tavola 10	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FH0105	Tavola 11	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FH0510	Tavola 12	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta MS2 FH0515	Tavola 13	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta distribuzione dei valori di H_{SM}	Tavola 14	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,4-0,8s}$	Tavola 15	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,7-1,1s}$	Tavola 16	1:10.000
MS Granarolo dell'Emilia: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,5-1,5s}$	Tavola 17	1:10.000
MS Malalbergo: Allegato 1 – Sezioni litotecniche		
MS Malalbergo: Allegato 2 – Report delle indagini		
MS Malalbergo: Carta delle indagini	Tavola 1a/b/c/d/e	1:5.000

Elaborato cartografico	Sigla cartografia	Scala
MS Malalbergo: Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b	1:10.000
MS Malalbergo: Carta delle frequenze	Tavola 3	1:10.000
MS Malalbergo: Carta delle MOPS	Tavola 4a/b	1:10.000
MS Malalbergo: Carta delle Vs	Tavola 5	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FPGA	Tavola 6	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FA0105	Tavola 7	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FA0408	Tavola 8	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FA0711	Tavola 9	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FA0515	Tavola 10	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FH0105	Tavola 11	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FH0510	Tavola 12	1:10.000
MS Malalbergo: Carta MS2 FH0515	Tavola 13	1:10.000
MS Malalbergo: Carta distribuzione dei valori di H_{SM}	Tavola 14	1:10.000
MS Minerbio: Allegato 1 – Report delle indagini		
MS Minerbio: Allegato 2 – Sezioni geotecniche		
MS Minerbio: Carta delle indagini	Tavola 1a/b/c	1:10.000
MS Minerbio: Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b	1:10.000
MS Minerbio: Carta delle frequenze	Tavola 3a/b	1:10.000
MS Minerbio: Carta delle MOPS	Tavola 4a/b	1:10.000
MS Minerbio: Carta delle Vs	Tavola 5	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FPGA	Tavola 6	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FA0105	Tavola 7	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FA0408	Tavola 8	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FA0711	Tavola 9	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FA0515	Tavola 10	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FH0105	Tavola 11	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FH0510	Tavola 12	1:10.000
MS Minerbio: Carta MS2 FH0515	Tavola 13	1:10.000
MS Minerbio: Carta distribuzione dei valori di H_{SM}	Tavola 14	1:10.000
MS Minerbio: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,4-0,8s}$	Tavola 15	1:10.000
MS Minerbio: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,7-1,1s}$	Tavola 16	1:10.000
MS Minerbio: Carta distribuzione dei valori di $H_{0,5-1,5s}$	Tavola 17	1:10.000

Come già scritto, le specifiche di rappresentazione cartografica si riferiscono sostanzialmente alle

linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS, che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi. Sono inoltre coerenti con la DGR 476/2021.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento i raster topografici georeferenziati della Regione Emilia-Romagna (DBT scala 1.5.000). Per questo lavoro, la base topografica raster è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi in formato numerico in coerenza con quanto richiesto dagli Standard MS.

2. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E LOCALE

2.1 Pericolosità sismica di base

Il territorio dell'Unione Terre di Pianura è interessato da una sismicità non particolarmente elevata e poco frequente, con terremoti di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6. La sismicità di un territorio è tuttavia strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente "attive". Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

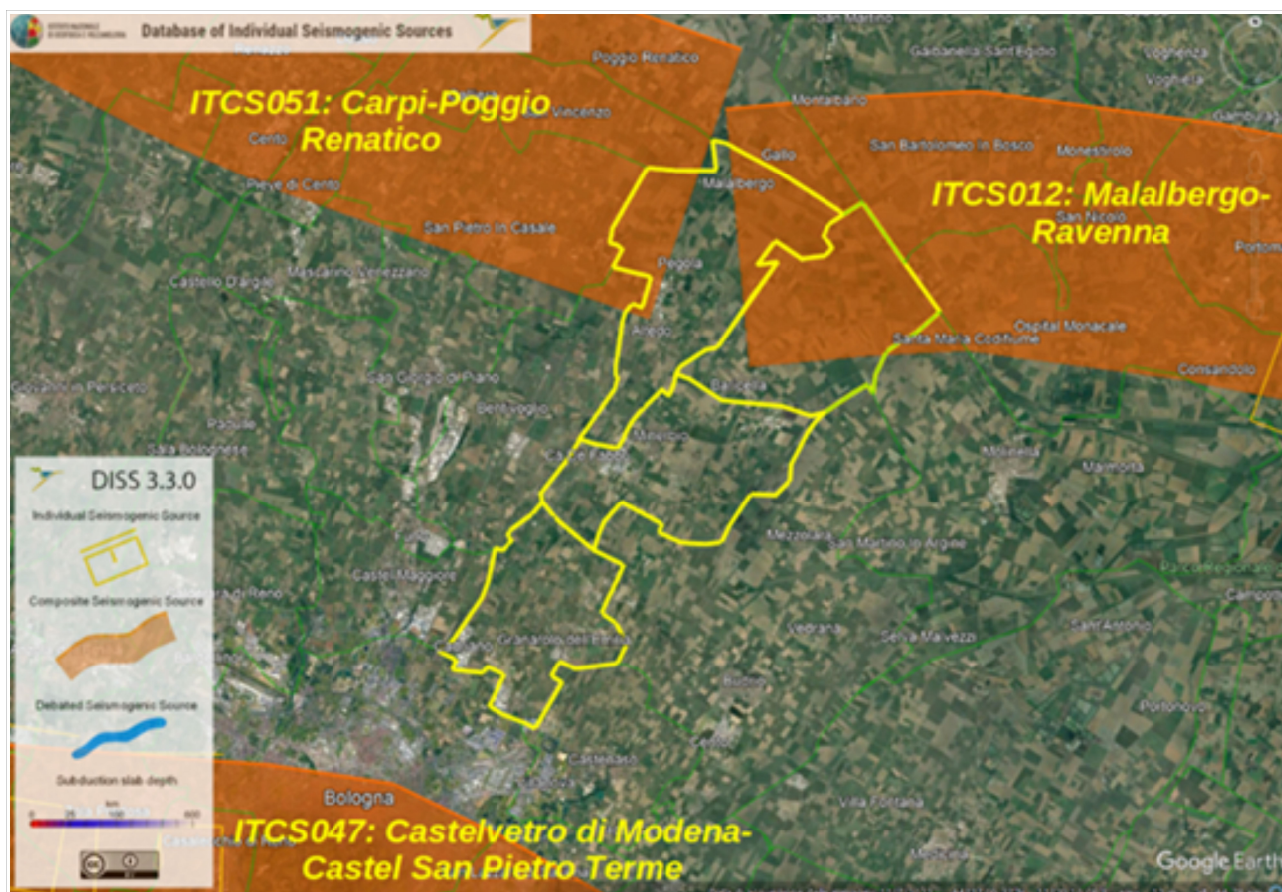


Figura 2.1 - Sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.2.1). Foto aerea: Google Earth

La banca dati delle sorgenti sismogenetiche DISS (figura 2.1) evidenzia come il territorio settentrionale dell'Unione (Malalbergo e Baricella) risulti compreso nelle zone sismogenetiche composite denominate ITCS051 "Carpi-Poggio Renatico" ITCS012 "Malalbergo-Ravenna" alla quale vengono associati terremoti storici con valore massimo di magnitudo attribuita pari a $M_w = 6,0$. La sismicità del territorio più settentrionale dell'Unione è dunque prevalentemente correlabile all'attività tettonica compressiva e all'attività del sistema di pieghe-faglie ("thrust" e "backthrust") che ha

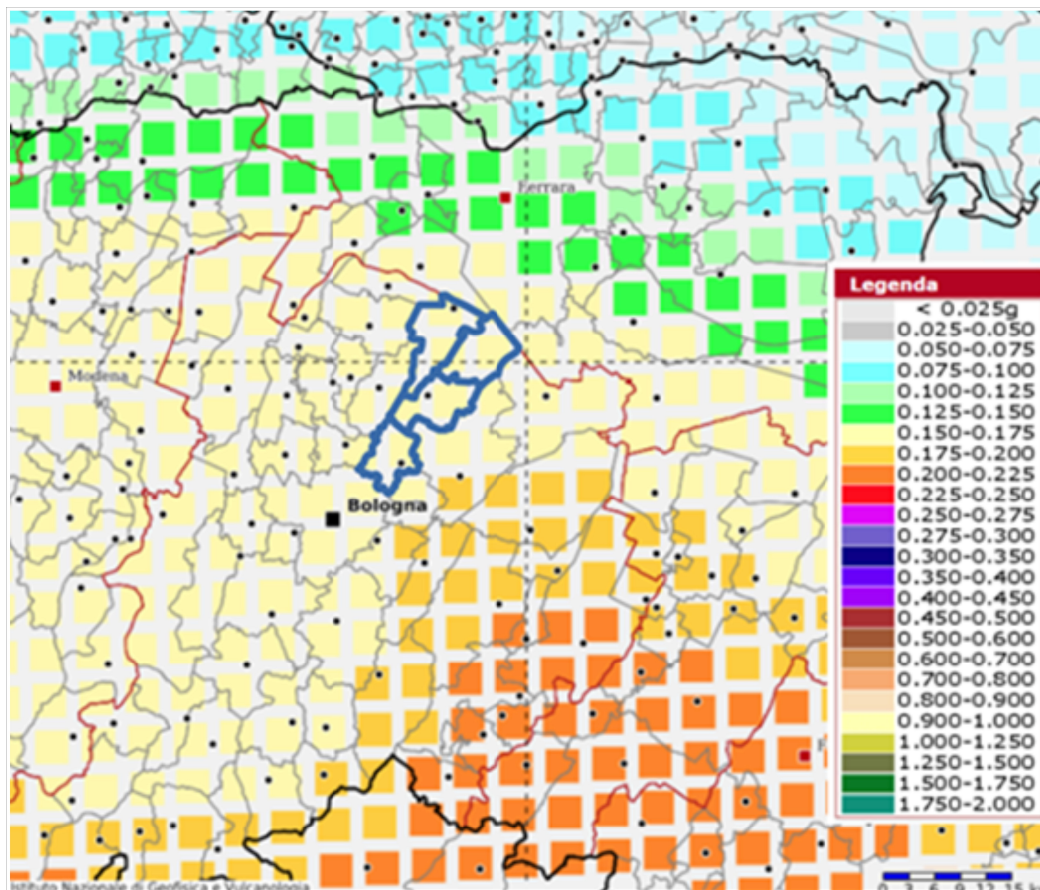
dato origine, a partire dal Pliocene medio superiore, alle "Pieghie Ferraresi" sepolte (Pieri & Groppi, 1981) che descrivono un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica e che si spinge fino ed oltre il Po ferrarese.

Il territorio meridionale dell'Unione (in particolare Granarolo dell'Emilia) ha risentito anche degli eventi sismici avvenuti nel contesto di margine appenninico (affiorante) bolognese e associati alla sorgente sismogenica ITCS047 "Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme.

Ai fini della pianificazione e/o della progettazione di costruzioni, la "pericolosità sismica di base" è definita mediante un approccio "sito dipendente", basata sulla mappa MPS04. La MPS04 è l'attuale riferimento in Italia per gli studi sulla pericolosità sismica (cfr. OPCM 3519/2006) e per le norme di progettazione delle costruzioni. La mappa riporta la distribuzione sul territorio nazionale, mediante una griglia di punti (figura 2.2), dell'accelerazione di picco del suolo di riferimento (agref) su un terreno di tipo A ("bedrock rigido"), con una probabilità del 10% di superamento in 50 anni (o periodo di ritorno di riferimento $TR = 475$ anni). Occorre tenere presente che la mappa MPS04 non tiene conto degli effetti che possono derivare dalle condizioni geologiche e morfologiche locali ("effetti locali") e, soprattutto, dall'amplificazione che lo scuotimento sismico può subire propagandosi verso la superficie.

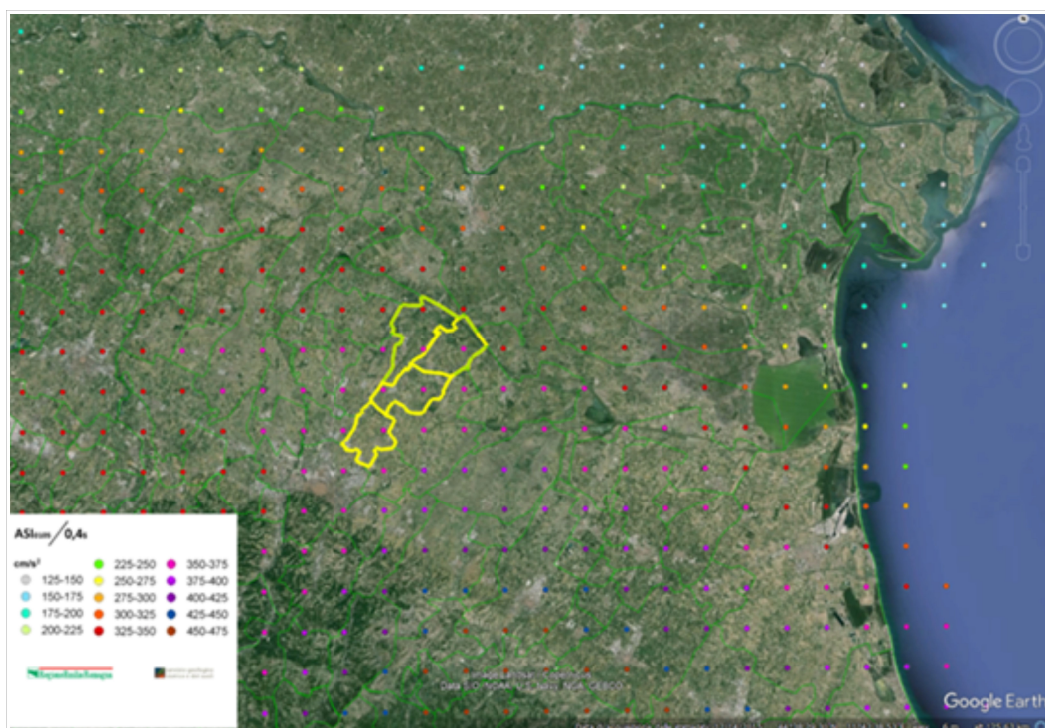
Per il territorio dell'Unione, la agref presenta una moderata variabilità, con valori compresi tra circa 0,172g e 0,156g, con un tendenziale decremento verso N-NE (comuni di Malalbergo e Baricella).

Figura 2.2 - Griglia INGV desunta dalla mappa MPS04 di pericolosità sismica (con valori di agref relativi a scuotimenti sismici con probabilità del 10% in 50 anni (50° percentile)



Per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna, le più recenti deliberazioni regionali (DGR 630/2019; DGR 476/2021) hanno inoltre introdotto un nuovo parametro di rischio sismico, definito come “Acceleration Spectrum Intensity” (ASIUHS) e che rappresenta un valore di integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l’intervallo di periodo $0,1s \leq T \leq 0,5s$. I valori di ASIUHS per tale intervallo di periodo sono stati calcolati per ogni punto della griglia INGV e vengono utilizzati, per la mappatura della pericolosità territoriale in funzione della distribuzione del parametro HSM (Naso et al. 2019). Nella figura 2.3 vengono rappresentati i punti della griglia INGV classificati per valori di Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS) calcolati per l’intervallo di periodo $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (valori di riferimento per la microzonazione sismica di “livello 2”).

Figura 2.3 - Griglia INGV con punti classificati per valori di Acceleration Spectrum Intensity (ASIUHS) calcolati per l’intervallo di periodo $0,1s \leq T \leq 0,5s$



Se per il territorio dell’Unione la sismicità può considerarsi non particolarmente elevata e poco frequente, il rischio sismico è tuttavia da considerarsi elevato per l’importante esposizione urbana e per la vulnerabilità di gran parte dei centri abitati presenti (in particolare dei centri storici).

In questo senso, la banca dati nazionale DBMI15 riporta, per i singoli territori comunali, massime intensità macrosismiche (Imax) non particolarmente significative, cioè fino al V-VI grado, come rappresentato nella tabella 2.1 e nella figura 2.4.

Si rammenta come la classificazione macrosismica, diversamente alle scale di magnitudo per i terremoti (che esprimono l’energia sismica rilasciata dal terremoto), venga utilizzata per rilevare l’intensità degli effetti/danneggiamenti provocati da un terremoto in un luogo specifico.

Tabella 2.1 – Macro intensità massime stimate per ogni Comune dell'Unione Terre di Pianura (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano)

Località	Prov	Imax	EQs
Baricella	BO	6	14
Boschi	BO	6	1
Mondonuovo	BO	2-3	1
Località	Prov	Imax	EQs
Altedo	BO	4	3
Malalbergo	BO	5	15
Località	Prov	Imax	EQs
Ca' de' Fabbri	BO	NF	1
Minerbio	BO	4-5	15
Località	Prov	Imax	EQs
Granarolo dell'Emilia	BO	5	10

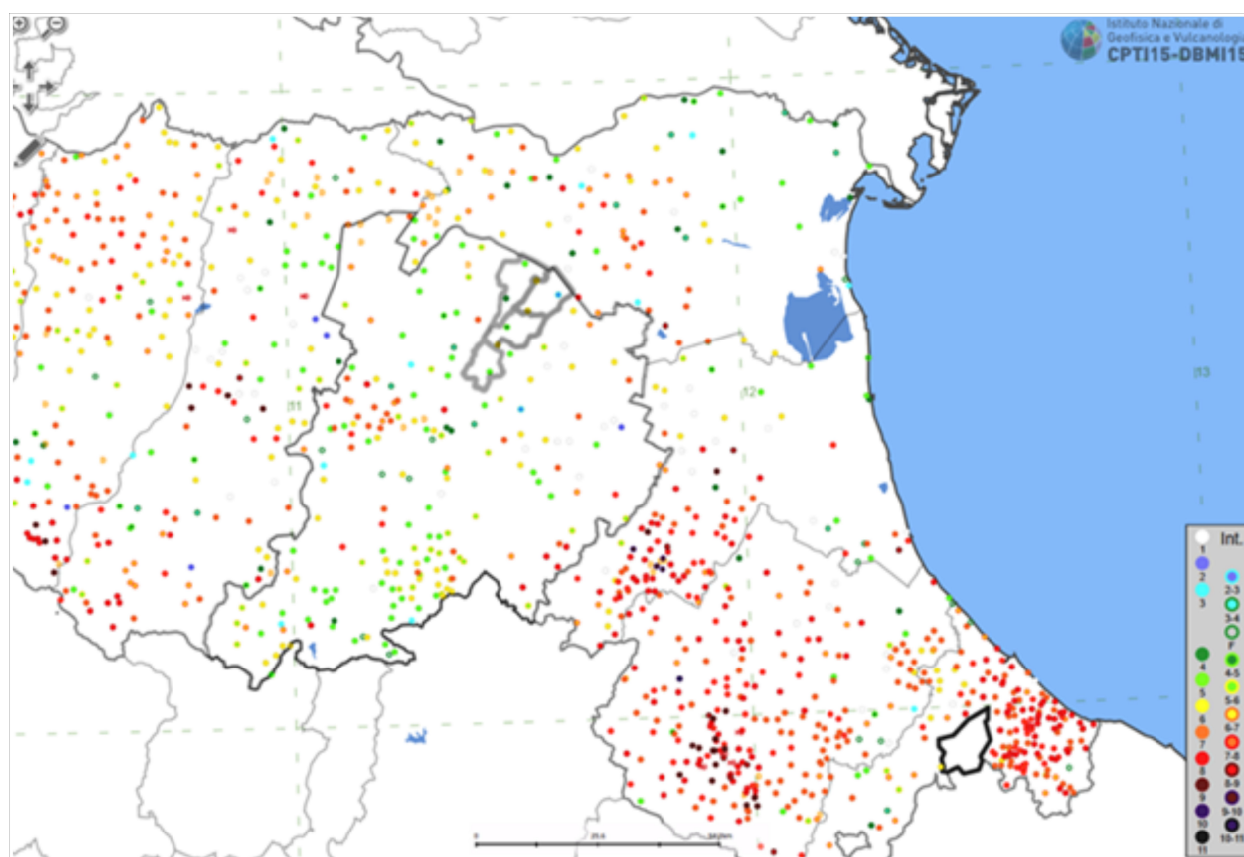


Figura 2.4 - Massime intensità macrosismiche registrate nel territorio dell'Unione Terre di Pianura e nelle aree limitrofe (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano)

A prescindere dagli effetti locali che il sisma può localmente indurre, la figura 2.4 evidenzia la stretta correlazione tra le massime intensità macrosismiche e la vicinanza degli abitati rispetto agli epicentri dei terremoti storicamente noti: le intensità max più elevate risultano infatti con-

centrarsi nelle aree sismogeniche note, sia appenniniche, sia di margine affiorante e sepolto nella pianura (cfr. “pieghe ferraresi” sepolte).

Occorre evidenziare come un’analisi di rischio sismico locale, basata sulla sola componente di “pericolosità sismica di base”, risulti particolarmente complessa, in quanto fortemente condizionata dalla quantità/qualità di dati storici disponibili (terremoti; danni correlati; ecc.), in relazione ai tempi di ritorno dei sisma. Occorre anche considerare come, a fronte di una possibile stima della pericolosità sismica di base, negli ultimi secoli il territorio dell’Unione abbia comunque subito un notevole aumento dell’esposizione, per l’espansione degli insediamenti non solo urbani e della popolazione nonché per l’incremento delle reti infrastrutturali. Occorre infine considerare la generale vulnerabilità dei manufatti presenti: la suscettibilità al danneggiamento degli elementi esposti può essere certamente correlata alla vetustà delle costruzioni e in tal senso gli insediamenti storicamente più antichi risultano maggiormente vulnerabili.

Occorre tuttavia segnalare come la prima classificazione sismica per i Comuni dell’Unione Terre di Pianura, risale solamente al 2003 (zona 3), pertanto la progettazione degli edifici/manufatti precedente a tale data è in pratica priva di verifiche sismiche. A titolo d’esempio, nei vicini Comuni della Provincia di Ferrara lo sciame sismico del maggio/giugno 2012 ha purtroppo causato danni anche a edifici e capannoni produttivi relativamente recenti.

L’entrata in vigore delle più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 e NTC2018) ha comportato, pertanto, un importante e positivo “salto qualitativo” imposto alla progettazione delle costruzioni, con l’introduzione di verifiche sismiche basate sia sulla “pericolosità sismica di base” di riferimento (mappa MPS04), sia sulle caratteristiche prestazionali dei manufatti da realizzare, sia sulle condizioni di risposta sismica locale (introducendo anche “categorie di sottosuolo” per le verifiche semplificate).

Si vuole tuttavia evidenziare come l’attuale “pericolosità sismica di base” (mappa MPS04) induca un’importante variabilità sulle procedure (input) di verifica sismica per costruzioni situate in parti di territorio relativamente limitati. Come esempio, circoscritto alla Città Metropolitana di Bologna, nel territorio di pianura imolese le verifiche sismiche di progetto sulle costruzioni risultano fino a un 30% più severe rispetto a una analoga analisi effettuata in settori di territorio di pianura dell’Unione Terre di Pianura: ne consegue che le verifiche sismiche per una costruzione “ordinaria” (es. un’abitazione mono familiare) progettata nella pianura imolese possono risultare addirittura più cautelative rispetto alle verifiche sulla resistenza sismica effettuate per un edificio scolastico (non strategico) da realizzare, ad esempio, a Malalbergo. A prescindere dai futuri aggiornamenti normativi riguardanti il tema della sicurezza sismica, è sempre auspicabile, anche da parte delle Amministrazioni comunali, una doverosa sensibilità verso la progettazione, il consolidamento e la nuova costruzione di edifici di uso sia pubblico che privato.

2.2 Pericolosità sismica locale

Ai fini della riduzione del rischio sismico, la legislazione della Regione Emilia-Romagna già richiede da tempo (cfr. LR 47/1978) che gli strumenti urbanistici siano supportati da studi di sostenibilità geologica e, per i Comuni classificati sismici, anche da analisi della pericolosità sismica.

Su questo specifico tema, la continua evoluzione scientifica e normativa, sia di livello nazionale che regionale, ha infine condotto a definire e codificare negli ultimi anni indirizzi e criteri per effettuare studi territoriali di pericolosità e di microzonazione sismica (ICMS 2008; DGR 112/2007; DGR 2193/2015; DGR 630/2019; DGR 476/2021 e succ.).

Si rammenta che, con il termine di microzonazione sismica (MS), si intende “la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni in caso di terremoto” e che tale studio costituisce uno “degli strumenti più efficaci per la riduzione del rischio sismico in quanto permette, fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica, di valutare la pericolosità sismica nelle aree urbane e urbanizzabili, indirizzare i nuovi interventi verso zone a minore pericolosità e programmare interventi di mitigazione del rischio nelle zone in cui sono presenti particolari criticità” (cfr. DGR 476/2021).

I Comuni dell’Unione Terre di Pianura dispongono di studi di pericolosità e di microzonazione sismica, elaborati in fasi temporali diverse, tutte supportate da indagini geognostiche/geofisiche più specifiche. In particolare, Malalbergo dispone di uno studio di microzonazione sismica di “livello 2” redatto ai sensi dell’OCDPC 344/2016, mentre Baricella, Granarolo dell’Emilia e Minerbio dispongono di ancor più recenti studi di microzonazione sismica, con approfondimenti fino al “livello 3” (OCDPC 532/2018). Per tutti i Comuni, inoltre, sono state elaborate le analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE).

Gli studi di MS e CLE sono tuttavia da recepire nella pianificazione comunale (PUG). Per la MS e CLE di Malalbergo, le più recenti revisioni degli Indirizzi regionali (DGR 630/2019) ha imposto un ulteriore processo d’aggiornamento degli elaborati da produrre (nuove rappresentazioni cartografiche dei fattori di amplificazione in termini di intensità spettrali SA e SI; elaborazione di una cartografia di “Hazard” che rappresenti la distribuzione sul territorio dei valori di Hs).

Gli studi di MS da recepire nel PUG, inoltre, risultano anche coerenti con le disposizioni introdotte nel PTM di Bologna, approvato con deliberazione del consiglio metropolitano n.16 del 12/05/2021.

3. METODOLOGIE E RISULTATI DELLA MS

3.1 Cenni introduttivi

Come riportato sia nelle note introduttive degli standard della CTMS, sia nella DGR 476/2021, i risultati degli studi sono fondamentalmente riconducibili alla carta delle “microzone omogenee in prospettiva sismica” MOPS (equivalente alla carta delle “aree suscettibili di effetti locali” indicata dagli Indirizzi RER) e alla cartografia di microzonazione sismica (MS).

Occorre rammentare che la carta delle MOPS è riferita unicamente al “livello 1” di approfondimento e perciò le zone individuate hanno approfondimenti esclusivamente di tipo qualitativo. Più in particolare la carta delle MOPS consente di suddividere il territorio studiato in:

- zone “stabili” (con riscontrabili nel territorio intercomunale)
- zone “stabili suscettibili di amplificazione” → a loro volta suddivise in aree a diverso grado di amplificazione da quantificare con analisi semplificate (abachi)
- zone “di attenzione” → a loro volta suddivise per tipologia di instabilità, con stima della pericolosità da ricavare in termini quantitativi (ulteriori analisi di “livello 3”)

La cartografia di MS può avere sia zone con approfondimenti di “livello 2”, sia zone con approfondimenti di “livello 3”.

I paragrafi del presente capitolo illustrano i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per l’aggiornamento degli studi di MS.

3.2 Note relative alle MOPS

Per i Comuni di Baricella, Granarolo dell’Emilia e Minerbio, i relativi studi di MS elaborati ai sensi dell’OCDPC 532/2018 risultano già conformi alla più recente DGR 476/2021: per il recepimento nel PUG non si sono dunque resi necessari particolari adeguamenti cartografici. Per quanto riguarda Malalbergo, lo studio di MS elaborato ai sensi dell’OCDPC 344/2016 ha invece necessitato di un adeguamento delle cartografie delle MOPS, con una rappresentazione di tutto il territorio comunale (ambiti di studio della MS comunale più classificazione degli areali esterni derivata dagli studi preliminari di area vasta del PTM di Bologna).

In sintesi, per ogni Comune sono state recepite le MOPS della microzonazione sismica comunale, conservandone le numerazioni progressive e le relative descrizioni. Per il territorio esterno agli ambiti di MS comunali di Malalbergo, sono state create le due nuove MOPS siglate rispettivamente “2008” (zona stabile suscettibile di amplificazioni) e “30502009” (zona di attenzione per instabilità per liquefazione) e derivate dagli studi preliminari di area vasta del PTM di Bologna, come meglio evidenziato nella figura 2.5.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

2001

Zona 1 – Coperture alluvionali argillose e argillose organiche di bassa consistenza fino a 10 ÷ 15 metri sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

2002

Zona 2 – Coperture alluvionali argillose e argillose organiche di bassa consistenza fino a 10 metri, poi ancora argille e limi fino a 15 ÷ 20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

2003

Zona 3 – Coperture alluvionali argillose limose fino a 15 ÷ 20 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

2004

Zona 4 – Riporti superficiali prevalentemente granulari fino a 2 ÷ 3 metri, poi coperture alluvionali argillose e argillose organiche di bassa consistenza fino a 10 ÷ 15 metri, sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

2008

Zona 8 – Depositi coesivi prevalenti (limi, limi argillosi, argille). Aree equiparabili a "C – Sedimenti prevalentemente fini di pianura" (Tavola 4 – PTM Bologna).

Zone di attenzione per instabilità

30502005

ZA_LQ 5 – Coperture alluvionali argillose limose fino a 15 ÷ 20 metri con intervalli sabbiosi saturi di spessore anche significativo (>1 m) da 5 metri a 10 metri (tracimazioni "Navile"), sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

30502006

ZA_LQ 6 – Coperture alluvionali limose sabbiose con livelli sabbiosi saturi superficiali (tracimazioni del "Savena Abbandonato") e con intervalli limosi sabbiosi di spessore anche significativo (>1 m) fino a profondità di 15 metri (paleovalvei Savena), sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

30502007

ZA_LQ 7 – Coperture alluvionali argillose limose fino a 5–6 metri, poi intervalli sabbiosi saturi di spessore anche significativo (>1 m) fino a profondità di 15 metri (paleovalvei Savena), sovrastanti altri depositi alluvionali (alternanze di limi, argille e sabbie).
Substrato sismico nei depositi alluvionali "non rigidi" a profondità >>100 metri ("Pianura 2" – DGR 476/2021).

30502009

ZA_LQ 9 – Successioni di pianura con intervalli granulari (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose), almeno metrici, nei primi 20 da p.c. Aree equiparabili a "L – Zona di attenzione per instabilità da liquefazione/densificazione" (Tavola 4 – PTM Bologna).

Figura 2.5 – Rappresentazione parziale della legenda della "carta delle MOPS" del Comune di Malalbergo (cartografia aggiornata per il recepimento nel PUG dell'Unione)

3.3 Note relative ai fattori di amplificazione di riferimento per lo studio della MS e alla modalità di calcolo

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in zone a maggiore e minore pericolosità, sono stati calcolati i fattori di amplificazione per ogni area di interesse (territorio urbanizzato ed estesi areali limitrofi).

Per questo aggiornamento, negli areali studiati sono stati riassegnati i valori dei seguenti fattori di amplificazione, derivati dai più recenti indirizzi regionali (DGR 630/2019; DGR 476/2021):

- FA PGA → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido" (PGA/PGA_0). Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- FA SA → rapporto dell'intensità spettrale in accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido". I fattori di amplificazione calcolati si riferiscono ai quattro seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:

SA1 → 0,1s-0,5s [FA_{01-05s}]

SA2 → 0,4s-0,8s [FA_{04-08s}]

SA3 → 0,7s-1,1s [FA_{04-11s}]

SA4 → 0,5s-1,5s [FA_{05-15s}]

- FA SI - Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità per determinati periodi dello scuotimento. Nel nostro caso, si sono determinati i fattori di amplificazione per i tre seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:

SI1 → 0,1s-0,5s [FH_{01-05s}]

SI2 → 0,5s-1,0s [FH_{05-10s}]

SI3 → 0,5s-1,5s [FH_{05-10s}]

Occorre rammentare che per la MS del Comune di Malalbergo sono state introdotte le carte di microzonazione sismica dei Fattori di amplificazione relativi all'intensità spettrale in accelerazione (SA) e del fattore di amplificazione relativo a SI3 (FH_{05-10s}).

Per quanto riguarda le modalità di calcolo dei fattori di amplificazione occorre precisare che:

- ✓ per il Comune di Malalbergo sono stati calcolati con metodo semplificato ("livello 2") e cioè calcolati attraverso l'uso degli abachi riportati nell'Allegato A2 della DGR 476/2021 (per un tempo di ritorno dell'evento sismico pari a $T_r = 475$, con smorzamento $\zeta = 5\%$). Tutti gli ambiti studiati, sono stati attribuiti al macro contesto sismostratigrafico di "Pianura 2", cioè equiparabili a quanto indicato nella DGR 476/2021 a settori di pianura <<con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.>> e con V_{s30} equiparabile a 200 m/s (ad esclusione della MOPS "2001" presso Malalbergo, alla quale è stata localmente attribuita una V_{s30} equiparabile a 150 m/s);
- ✓ per tutti gli ambiti di MS relativi ai Comuni di Baricella, Granarolo dell'Emilia e Minerbio i fattori di amplificazione sono stati calcolati attraverso modellazioni numeriche della RSL.

definite dagli studi. Le modellazioni numeriche, rappresentative delle MOPS “stabili con amplificazioni” e “instabili”, sono state eseguite con specifico software in grado di effettuare calcoli monodimensionali secondo l'approccio analitico lineare equivalente. Le simulazioni hanno implementato i set di input sismici (accelerogrammi) indicati dalla DGR 476/2021 e scariabili dalla piattaforma WebGIS all'indirizzo <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html>, scalati per un tempo di ritorno pari a $T_r = 475$ e con smorzamento $\zeta = 5\%$.

3.4 Sintesi dei risultati

Gli studi di microzonazione sismica comunali hanno evidenziato, per tutto il territorio dell'Unione, una suscettibilità all'amplificazione di carattere stratigrafico. Estesi settori del territorio dell'Unione risultano anche caratterizzati da una potenziale propensione alla liquefacibilità dei sedimenti indotta da scuotimento sismico. Questo effetto cosismico è correlabile alla presenza nel sottosuolo meno profondo (fino a 20 metri) di paleoalvei sepolti prevalentemente attribuiti al Savena nonché al Reno in limitati settori più settentrionali del territorio di Malalbergo e Baricella. Sono state delimitate, inoltre, alcune “zone di attenzione” riconducibili ad accumuli/tombamenti di origine antropica.

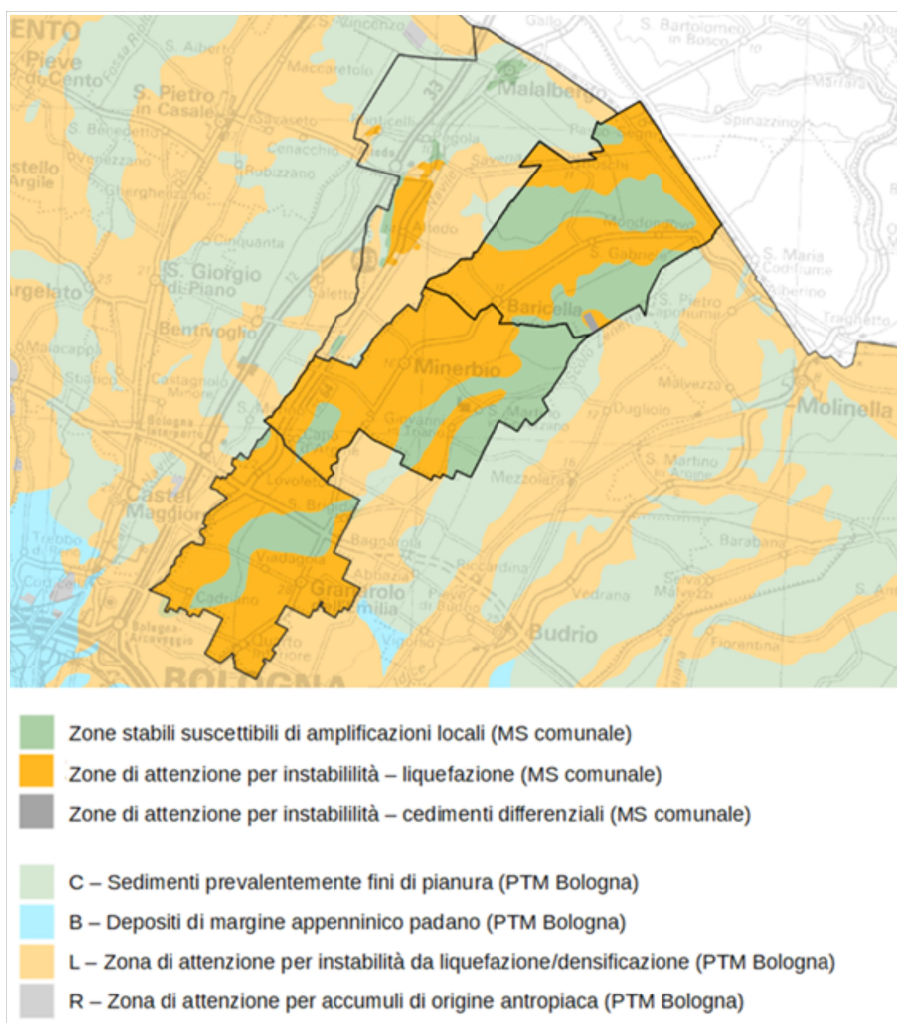


Figura 2.6 - Sintesi della pericolosità sismica (aree suscettibili di effetti locali) nel territorio dell'Unione. Gli areali interessati dagli approfondimenti alla scala comunale sono distinguibili con il colore maggiormente saturo

La figura 2.6 offre una rappresentazione di sintesi delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS). Occorre rammentare che per i Comuni di Baricella, Granarolo e Minerbio le indagini disponibili hanno consentito di estendere l'approfondimento di "livello 1" (individuazione delle MOPS) a tutto il territorio comunale, introducendo alcune revisioni alle delimitazioni degli areali suscettibili di effetti locali già riportati nella Tav. 4 del PTM.

Per quanto riguarda la risposta sismica locale, il territorio dell'Unione è stato ampiamente investigato da registrazioni accelerometriche eseguite con tecnica HVSR per evidenziare in modo spedativo la presenza nel sottosuolo di strutture sismostratigrafiche sepolte in grado di condizionare le caratteristiche dell'amplificazione delle onde sismiche al suolo. In questo senso, gli esiti delle registrazioni HVSR riportati nelle cartografie delle "frequenze naturali dei terreni", hanno evidenziato basse frequenze fondamentali di vibrazione (F_0 compresi tra 0,6 Hz e 1,0 Hz) in tutto il territorio dell'Unione, dimostrando la presenza di riflettori sismici relativamente profondi (indicativamente >80 metri).

Gli esiti della risposta sismica, sono risultati sostanzialmente omogenei nel territorio studiato. Occorre precisare che per i Comuni di Baricella, Granarolo e Minerbio gli approfondimenti di "livello 3" hanno consentito di effettuare analisi numeriche della RSL. Le simulazioni numeriche indicano una maggiore variabilità dei risultati in termini di amplificazioni rispetto all'approccio semplificato (l'uso degli abachi RER), come prevedibile in conseguenza all'incrementate delle variabili sismostratigrafiche che sono state considerate per la caratterizzazione sismica del sottosuolo.

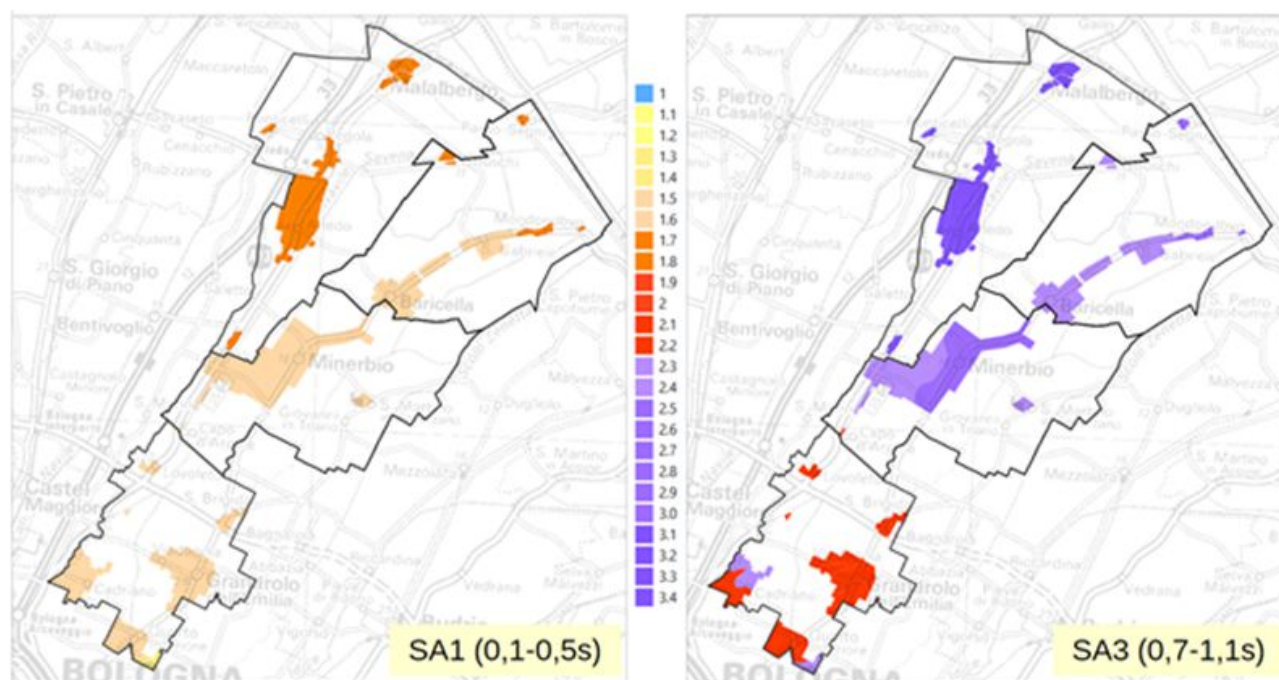


Figura 2.7 - Sintesi della pericolosità sismica (aree suscettibili di effetti locali) nel territorio dell'Unione. Gli areali interessati dagli approfondimenti alla scala comunale sono distinguibili con il colore maggiormente saturo

A titolo esemplificativo, la figura 2.7 riporta un confronto sintetico tra gli esiti dei fattori di amplificazione in termini di intensità spettrali SA1 (per l'intervallo di periodo $0.1s \div 0.5s$, generalmente più rappresentativo per l'edificazione di elevazione media-bassa) e SA3 (per l'intervallo di periodo $0.7s \div 1.1s$, generalmente più rappresentativo per l'edificazione di maggiore elevazione cioè oltre 8÷10 piani). I fattori di amplificazione SA3 risultano diffusamente più elevati nel territorio dell'Unione rispetto ai fattori di amplificazione SA1, coerentemente con i risultati di frequenze fondamentali riscontrate ai bassi periodi.

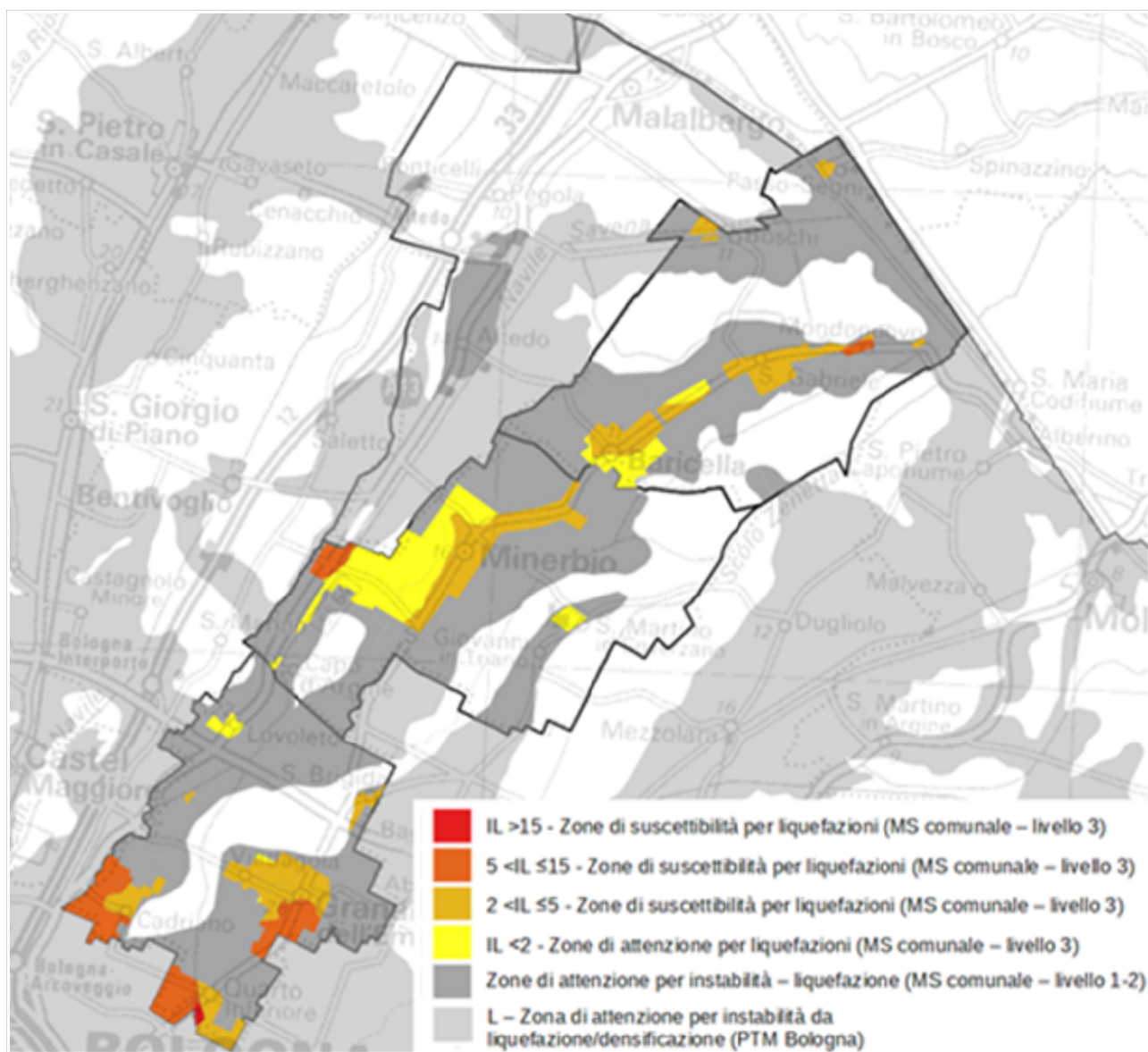


Figura 2.8 - Zone di attenzione e di suscettibilità per liquefazioni nel territorio dell'Unione Terre di Pianura

Gli approfondimenti della MS fino al “livello 3” espletati per Baricella, Granarolo dell'Emilia e Minerbio, hanno consentito di effettuare ulteriori verifiche quantitative (suscettibilità) della liquefazione nelle “zone di attenzione” individuate con il primo livello di analisi. Tali verifiche si sono ovviamente concentrate nelle aree urbanizzate e nel territorio limitrofo e hanno consentito di clas-

sificare gli areali suscettibili di liquefazione secondo classi di pericolosità in funzione dell'Indice Potenziale di liquefazione (Sonmez, 2003).

Le verifiche della suscettibilità alla liquefazione hanno evidenziato per tutti i Comuni areali a differente pericolosità in funzione delle caratteristiche stratigrafiche (spessori e confinamento degli strati granulari/incoerenti) e idrogeologiche (soggiacenza della falda), con più estesi settori di maggiore pericolosità nel territorio urbanizzato di Granarolo dell'Emilia (figura 2.8).

Gli studi di MS hanno inoltre consentito di calcolare i valori di "Hazard" (Naso et al., 2019¹), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in [g]). Per la MS di "livello 2" di Malalbergo, indirizzi regionali indicano di produrre una carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM, ricavati con calcolo semplificato ovvero considerando il parametro "Acceleration Spectrum Intensity" (ASIUHS), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a $0,4s$), moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi. I valori di $ASIUHS/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono già disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Per la MS ("livello 3") di Baricella, Granarolo dell'Emilia e Minerbio, la stima dell'"Hazard" si è basata sugli esiti delle analisi numeriche della RSL. Più in particolare i valori di H sono stati calcolati mediante il rapporto tra i valori integrali degli spettri in accelerazione (S_a) medi di output ricavati dalla modellazione numerica della RSL per gli intervalli di periodo $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (H_{SM}), $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (H_{0408}), $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (H_{0711}) e $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (H_{0515}) e i rispettivi ΔT di riferimento e cioè $0,4s$ (H_{SM}), $0,4s$ (H_{0408}), $0,4s$ (H_{0711}), $1,0s$ (H_{0515}). Gli esiti di H sono calcolati e rappresentati, come unità di misura, in [g]. I risultati di H_{SM} , in linea generale, evidenziano risultati di "Hazard" relativamente omogenei, con un blando incremento dei risultati verso nord (Baricella).

Per una più esaustiva descrizione riguardante la metodologia e i risultati ottenuti dalle analisi sismiche, si rimanda alla Relazione descrittiva e alle cartografie e agli ulteriori allegati prodotti per gli studi di MS.

La "pericolosità sismica locale" diviene, dunque, un'altrettanta componente essenziale per l'analisi del rischio sismico. La crescente sensibilità delle Amministrazioni comunali verso il tema della sicurezza sismica permette di incrementare, anche grazie agli studi di microzonazione, il livello di cognizione complessiva con positive ricadute sulla programmazione urbanistica e sulla progettazione delle costruzioni.

Nel primo caso, l'individuazione di "zone di attenzione" consente di ponderare fin da subito eventuali limitazioni alle previsioni d'uso del territorio, valutare alternative di sedime (eventuale delocalizzazione, se necessario e possibile), oppure valutare azioni di mitigazione, con vantaggi

1 "Maps for land management: from geology to seismic hazard" - Maso G.; Martelli L.; Baglione M.; Brammerini F.; Castenetto S.; D'Intinosante V.; Ercolessi G. (2019).

sulle tempistiche e sull'economia degli interventi da programmare. Gli esiti della microzonazione sismica consentono, oltretutto, di individuare eventuali priorità (e dunque programmare) interventi migliorativi o di consolidamento per edifici esistenti, in particolare per edifici pubblici, anche con funzionalità strategiche.

Per quanto riguarda la progettazione delle costruzioni, gli studi di microzonazione sismica sono fondamentali strumenti conoscitivi per espletare gli approfondimenti necessari, con un "piano delle indagini" adeguato. In questo senso, le esperienze già maturate nel territorio regionale confermano come gli studi di MS abbiano oggettivamente contribuito, negli ultimi 10-15 anni, a un effettivo incremento della qualità delle indagini geognostiche/geofisiche effettuate sia per la caratterizzazione sismica, sia per quella geotecnica del sottosuolo.

Per le estese "zone di attenzione" per liquefazione vi è, infatti, un'ulteriore necessità di approfondimenti sito specifici. Anche i risultati della risposta sismica ottenuti dalle registrazioni delle frequenze di vibrazione naturali dei terreni permettono di valutare, già in fase di progettazione preliminare, la possibilità di effetti di "risonanza" in relazione alle tipologie di costruzioni da realizzare.

4. ELABORATI CARTOGRAFICI

4.1 Carta delle Indagini (Tavole 1)

Gli studi di microzonazione sismica già espletati hanno permesso di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse, fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio e realizzate per gli studi di MS.

In questo senso, la “Carta delle Indagini”, realizzata alla scala 1:5.000/1:10.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio comunale.

La cartografia identifica il tipo di prova con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> CTMS (v.4.2), distinguendo la tipologia delle prove e indicando il sito oggetto delle indagini.

4.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (Tavole 2)

La <<Carta geologico-tecnica>>, elaborata alla scala 1:10.000, ha lo scopo di fornire ulteriori elementi per la definizione del modello di sottosuolo meno profondo, necessario per lo studio di microzonazione sismica.

In particolare, la cartografia geologico-tecnica ha suddiviso il territorio studiato sulla base del controllo dei dati tessiturali desunti dalle terebrazioni disponibili.

L'elaborazione di questa cartografia è basata sul criterio delle classi tessiturali USCS/AGI definite secondo gli “standard di microzonazione sismica” (v.4.2).

La cartografia geologico-tecnica inoltre riporta:

- gli elementi geologici e idrogeologici (sondaggi/pozzi; punti controllo falda in aree con sabbia)
- forme di superficie e sepolte (es. assi di paleoalvei)
- le tracce delle sezioni geologico tecniche di riferimento per questo lavoro.

4.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavole 3)

La <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:10.000, riporta la suddivisione del territorio comunale in aree per classi di frequenza, secondo quanto richiesto nella DGR 476/2021:

0,6 hz <f₀ ≤1 hz

1 hz <f₀ ≤2

$2\text{Hz} < f_0 \leq 8\text{ Hz}$

$f_0 > 8\text{ Hz}$

Lo studio di microzonazione ha dunque permesso di proporre una classificazione delle frequenze di possibile amplificazione/risonanza distinguendo le classi sopra indicate con colori differenti.

La cartografia permette di discriminare, con specifica simbologia, le misure anche in base all'entità del rapporto spettrale H/V riferito a contrasti di impedenza alla base delle coperture, in particolare discriminando le prove che hanno ricavato rapporti:

$H/V < 2$ (ampiezze basse)

$2 \leq H/V < 3$ (ampiezze moderate)

$H/V \leq 3$ (ampiezze elevate)

4.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavole 4)

La cartografia MOPS, elaborata alla scala 1:10.000, rappresenta la suddivisione del territorio comunale in "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" e in "Zone di attenzione per instabilità".

Occorre ulteriormente precisare che, ai fini del recepimento nel PUG degli studi di MS, si è espletato un aggiornamento delle mappe, recependo all'esterno degli ambiti di studio comunali, gli areali di pericolosità sismica derivati dal PTM di Bologna (cfr. tavola 4 - "Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali", scala 1:65.000 per la pianura).

La carta riporta anche le "forme di superficie e sepolte" (paleovalvei, già presenti nella carta geologico-tecnica), i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e limiti delle aree interessate dalla microzonazione sismica comunale.

La carta riporta, inoltre, le "forme di superficie e sepolte" (paleovalvei, già presenti nella carta geologico-tecnica), i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e limiti delle aree interessate dalla microzonazione sismica di livello superiore.

4.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavole 5)

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura di Vs. La velocità delle onde di taglio risulta di fondamentale importanza per la caratterizzazione della risposta sismica locale.

La rappresentazione utilizzata dagli Autori degli studi di MS consente di localizzare tutti i punti di controllo, con etichetta riferita velocità di taglio equivalente (Vs30).

4.6 Carta di microzonazione sismica di livello 2 (Tavole da 6 a 13)

Come già descritto, ai fini della redazione del PUG e dell'effettivo recepimento degli studi di MS, è stato necessario aggiornare le mappe di microzonazione sismica del Comune di Malalbergo ("livello 2") per un adeguamento dei contenuti e delle rappresentazioni rispetto agli Indirizzi regionali attualmente vigenti. I più recenti Indirizzi regionali (DGR 630/2019; DGR 476/2021) e i nuovi "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – Versione 4.2", redatti dalla Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (dicembre 2020) richiedono, infatti, nuove rappresentazioni cartografiche dei fattori di amplificazione in termini di intensità spettrali SA e SI e l'elaborazione della cartografia di pericolosità sismica ("carta della distribuzione dei valori di H").

Ciò detto, le cartografie di microzonazione sismica rappresentano gli elaborati finali di sintesi degli studi svolti in quanto riportano per ogni zona i fattori di amplificazione calcolati. In questo senso è tuttavia necessario specificare che, in coerenza con quanto definito dagli Autori della MS pregressa, la quantificazione dei fattori di amplificazione FA per Malalbergo si è basata sull'approccio semplificato (abachi RER), mentre per gli ambiti di studio relativi ai Comuni di Baricella, Granarolo dell'Emilia e Minerbio i fattori di amplificazione derivano da specifiche modellazioni numeriche della RSL.

La cartografia di microzonazione rappresenta, inoltre, le "zone di attenzione" e le "zone di suscettibilità", queste ultime derivate dagli approfondimenti di "livello 3" (per i Comuni di Baricella, Granarolo dell'Emilia e Minerbio) e riconducibili a instabilità per liquefazione.

Il territorio studiato è stato rappresentato suddiviso in classi di amplificazione, come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.2).

La grafica standard (colore pieno) consente di attribuire alle microzone i rispettivi parametri di amplificazione. Le "zone di attenzione/suscettibilità" per liquefazioni vengono invece rappresentate con uno specifico retino sovrapposto. Le "zone di suscettibilità" sono inoltre classificate in termini di potenziale di liquefazione.

In sintesi, sono state elaborate le seguenti otto cartografie di microzonazione sismica:

- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 6 - FAPGA → riporta il fattore di amplificazione FA PGA (rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA0));
- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 7 - FA0.1-0.5s → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- Carta di microzonazione sismica di livello 2 Tavola 8 - FA0.4-0.8s → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,4 e 0,8 secondi);
- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 9 - FA0.7-1,1s → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock

sismico per periodo compreso tra 0,7 e 1,1 secondi);

- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 10 - FA0.5-1.5s → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi);

- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 11 - FH0.1-0.5s → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);

- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 12 - FH0.5-1.0s → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi);

- Carta di microzonazione sismica livello 2 Tavola 13 - FH0.5-1.5s → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi).

4.7 Carta della distribuzione dei valori di H (Tavole da 14 a 17)

Per il Comune di Malalbergo (MS di “livello 2” si è prodotta la mappa “ Distribuzione dei valori di H – HSM” alla scala 1:10.000.

Per i Comuni con MS comprendente approfondimenti di “livello 3” (Baricella, Granarolo dell’Emilia e Minerbio), sono state prodotte la seguenti mappe di pericolosità sismica:

- Distribuzione dei valori di H – HSM
- Distribuzione dei valori di H – H_{0408}
- Distribuzione dei valori di H – H_{0711}
- Distribuzione dei valori di H – H_{0515}

Si rammenta che il valore di H rappresenta un parametro di pericolosità che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in [g]).

5. BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2005) - Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. Deliverable D23.12 of the SESAME project, 62 pp, April 2005. Available at <http://www.SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr>.

AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n.2.

Albarello D. e Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n.2.

Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucci G. (2004): Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Con note illustrative. Regione Emilia-Romagna-SGSS, CNR-IGG. SELCA, Firenze.

Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2004) - *Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes*. Proc., 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., ed Stallion Press, Vol. 1, 32-56.

Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2007) – *Evaluation of cyclic softening in silts and clays*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133(6): 641-52.

Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2014) – *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures*. Report No. UCD/CGM.-14, 2014 – ce.memphis.edu.

Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) - Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. *Geologia e tecnica ambientale*, 3.

Castellaro S. e Mulargia F. (2011) - Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.

Castellaro S. (2012) - H/V: un contributo oltre Vs30. In "Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici" a cura di Mucciarelli M.

Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P. & Ottria G. (2002) - Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Georisorse e Geoscienze, Pisa. S.EL.CA., Firenze.

Città Metropolitana di Bologna – Tavola 4 - *Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali* (foglio 1, scala 1:65.000)

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (dicembre 2020) - Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2. <https://www.centromicrozonationesismica.it/it/download/category/23-standard-ms-e-cle>.

Crespellani, Nardi, Simoncini (1991) – *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*. Zanichelli, Bologna.

DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Elmi, Zecchi (1982) – *Note sulla sismicità dell'appennino emiliano-romagnolo*. In Guida alla geologia del margine appenninico-padano. Società Geologica Italiana – Guide Geologiche regionali, Bologna.

Facciorusso, J., Madiati C., Vannucchi G., Martelli, L. (2012). *Analisi di dettaglio finalizzata alla valutazione della pericolosità di liquefazione: il caso della costa adriatica romagnola*. In: “La microzonazione sismica per la gestione del territorio. L’esperienza della regione Emilia-Romagna”. Regione Emilia-Romagna Eds.

Facciorusso, J., Madiati C., Vannucchi G., (2013). *Confronto tra metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione da prove CPT e CPTU*. Università degli Studi di Firenze – Facoltà di Ingegneria – Sezione geotecnica.

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012) – *Terremoti dell'Emilia – maggio 2012 – Rilievo Macrosismico MCS speditivo – Rapporto finale*. Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico.

Galli, Meloni, Rossi (1999) - *Historical liquefaction in Italy: relationship between epicentral distance and seismic parameters*. European Geophysical Society XXIII General Assembly Natural Hazards NH3, The Hague, Netherlands.

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. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area “Rischio Sismico” all'indirizzo: http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018) - *CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), *CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area*, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>

ISide Working Group (2010) - Italian Seismological Instrumental and parametric database. [Online], Available: <http://iside.rm.ingv.it>.

ISPRA (2009) - *Carta Geologica d'Italia, Foglio 203*. Coord. Scientifico: Regione Emilia-Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma. <https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>.

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S., Marcuson III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R., and Stokoe, K.H. - *Liquefaction*

Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) – *Risposta Sismica Locale*. Edizioni Hevelius.

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., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>.

Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017): *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Con note illustrative*. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.

Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi C., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Bramerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffrè M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V. Con Il Contributo Di Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C. e Ricci L. (2013) - *Microzonazione sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura Emiliana del 2012 (Ord. 70/2012)*. Atti del 32° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Fisica della Terra Solida, Trieste, ISBN: 978-88-902101-7-4.

Martelli (2015) - *I terremoti dell'Appennino Bolognese*. La geologia. Nueter, XLI, n. 82, 387-395.

Meletti M., Valensise G (a cura di) (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto conclusivo*. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>.

Ministero delle Infrastrutture (2018) – D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Mucciarelli M. (a cura di) (2012) - *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali*. Edizioni Aracne.

Naso G., Martelli L., Baglione M., Bramerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): *Maps for land management: from geology to seismic hazard*, Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

RER – ENI, Agip (1998): *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ENI Agip Divisione Esplorazione e Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120.

Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Carta Geologica in scala 1:10.000 della regione Emilia-Romagna – cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss.

Regione Emilia Romagna - Legge Regionale n.19/2008 - *“Norme per la riduzione del rischio sismico, con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009, n.6 "Governo e riqualificazione solidale del territorio”*. BURER n. 184 del 30/10/2008.

Regione Emilia Romagna - Legge Regionale n.24/2017 - *“Disciplina regionale sulla tutela e l’uso del territorio”*. BURERT n. 304 del 21/12/2017.

Regione Emilia Romagna - *Delibera Regionale n.112/2007 - “Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>”*. BURER n. 64 del 17 maggio 2007.

Regione Emilia Romagna – *Delibera della Giunta Regionale n. 2193/2015 - “Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>, di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112”*. BURER n. 4 del 8 gennaio 2016 parte seconda.

Regione Emilia Romagna – *Delibera della Giunta Regionale n. 630/2019 - “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017”*. BURER. n. 143 del 6 maggio 2019 parte seconda.

Regione Emilia Romagna – *Delibera della Giunta Regionale n. 476/2021 (e DGR integrativa n.564/2021)- Aggiornamento dell’“Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017”*. Di cui alla *Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019 n.630*. BURERT n. 137 del 12/5/2021 (parte seconda) e BURERT n. 111 del 20/04/2021.

Robertson P.K. - *Performance based earthquake design using the CPT* - Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, 2009.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2019). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.

Sonmez H. - *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*. 2003. Environ Geology 44(7): 862–871

Zhang G., Robertson P.K., and Brachman R.W.I. - *Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground, 2001*. Canadian Geotechnical Journal, 2002, 39(5) :1168-1180, 10.1139/t02- 047.