

03. QUADRO CONOSCITIVO E DIAGNOSTICO (QCD)

Relazione generale

Allegato 4:

Analisi di pericolosità sismica
del territorio provinciale, ai
sensi della dgr 564/2021

Proposta di Piano adottata

Delibera di Consiglio Provinciale n.

documento

03/5

PIANO TERRITORIALE DI AREA VASTA DELLA PROVINCIA DI RIMINI TERRE DI ACCOGLIENZA, CULTURE, CITTÀ, RESILIENZA.

PROVINCIA DI RIMINI

Jamil Sadegholvaad, presidente
Fabrizio Piccioni, consigliere provinciale delegato
Maria Lamari, segretario generale
Roberta Laghi, responsabile dell'Ufficio di Piano

GRUPPO DI LAVORO DEL PIANO TERRITORIALE DI AREA VASTA

UFFICIO DI PIANO

Roberta Laghi
Alberto Guiducci
Giancarlo Pasi
Massimo Filippini
Paolo Setti

Garante della Partecipazione e della Comunicazione del piano

Alessandra Rossini (fino al 28/02/23)
Alberto Guiducci (dal 01/03/23)

Supporto tecnico-organizzativo

Chiara Berton

con la collaborazione di

Ufficio Statistica
Cristiano Attili
**Ufficio Sviluppo organizzativo e
trasformazione digitale**
Stefano Masini

COORDINAMENTO SCIENTIFICO

UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA
Dipartimento di Culture del Progetto
Francesco Musco, coordinatore

ricercatori responsabili di progetto

Giulia Lucertini
Denis Maragno
Filippo Magni

collaboratori

Federica Gerla
Laura Ferretto
Gianmarco Di Giustino
Katia Federico
Elena Ferraioli
Giorgia Businaro
Nicola Romanato
Matteo Rossetti
Alberto Bonora
Gianfranco Pozzer
Alessandra Longo

CONTRIBUTI SPECIALISTICI

Mobilità

META srl
Andrea Debernardi
Ilario Abate Daga
Silvia Ornaghi
Francesca Traina Melega
Chiara Taiariol
Arianna Travaglini

Aspetti giuridici

Giuseppe Piperata
Gabriele Torelli

Paesaggio e cambiamento climatico

Elena Farnè

Sistema Informativo Territoriale

Massimo Tofanelli

PARTECIPAZIONE E COMUNICAZIONE

coordinamento

Elena Farnè

segreteria tecnica

Elisa Giagnolini

sito web

Stefano Fabbri
Elena Farnè

fotografia e identità visiva

Laura Conti
Emilia Strada

collaborazioni

ARPAE

**agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e
l'energia**
Monica Bertuccioli

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Direzione Generale Cura del Territorio e dell'Ambiente
**Settore difesa del territorio – Area geologia, suoli e
sismica**

Dissesto idrogeologico

Marco Pizziolo
Mauro Generali, collaboratore

Pericolosità sismica

Luca Martelli

Cartografia digitale

Alberto Martini

Geologia di sottosuolo

Paolo Severi

Risorse idriche

Maria Teresa De Nardo

indice

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO	5
3. SISMICITÀ	8
4. SISMOTETTONICA	11
5. LA PERICOLOSITÀ SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA E LA PROGETTAZIONE	16
5.1. Pericolosità sismica di base	16
5.2. Effetti locali e microzonazione sismica	17
5.3. L'analisi della condizione limite di emergenza	18
6. RAPPRESENTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE A SCALA PROVINCIALE	21
6.1. Criteri cartografici adottati	21
6.2. Carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali	24
6.3. Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali	27
7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	31

1. PREMESSA

Dall'osservazione degli effetti dei terremoti è noto che alcune condizioni geologiche e morfologiche possono modificare il moto sismico in superficie. Per una più efficace strategia di riduzione del rischio sismico è quindi di particolare interesse conoscere dove sono presenti terreni e forme del paesaggio che possono aumentare lo scuotimento atteso e determinare fenomeni di instabilità sismoindotta, quali, per esempio, la riattivazione di frane, fenomeni di liquefazione, ecc. ... con conseguenti cedimenti, spostamenti e rotture del terreno. Nella letteratura tecnica di settore, l'amplificazione del moto sismico e i fenomeni di instabilità sismoindotta sono noti come "effetti locali" o "effetti di sito".

Per questi motivi, la normativa urbanistica richiede la preventiva analisi della pericolosità sismica del territorio per l'approvazione dei piani e che le scelte urbanistiche siano compatibili con gli effetti locali attesi.

Già con la LR 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" era richiesta l'analisi della pericolosità sismica a scala di area vasta con finalità di indirizzo per la pianificazione a scala comunale (v. DAL 112/2007 «Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"»). Tale aspetto è stato ribadito dalla LR 19/2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico" (artt. 6 e 7) e quindi confermato dalla LR 24/2017 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio" (art. 22 e DGR 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)").

La Provincia di Rimini ha effettuato una prima analisi della pericolosità sismica del proprio territorio per il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale del 2007 (PTCP 2007), approvato con Deliberazione di Consiglio Provinciale n. 6 del 23.10.2008, realizzando la "Carta delle zone suscettibili di effetti di sito" e la "Carta provinciale delle zone suscettibili degli effetti locali" (Martelli et al., 2006; Martelli et al., 2007); tale cartografia, realizzata alla scala 1:25.000, è stata poi integrata nel 2012 a seguito del passaggio dei Comuni dell'alta Val Marecchia dalla Regione Marche (Provincia di Pesaro) alla Regione Emilia Romagna (Provincia di Rimini) (v. "Carta delle zone suscettibili di effetti di sito e instabilità dei terreni" e la "Carta delle zone suscettibili degli effetti locali", PTCP 2007 – Variante 2012 approvata con DCP n. 12 del 23.04.2013).

In questi ultimi anni sono stati pubblicati numerosi nuovi dati sulla sismicità dell'area, ad esempio l'aggiornamento dei cataloghi della sismicità e delle strutture sismogenetiche a cura di INGV (DISS Working Group 2021; Locati et al., 2021; Rovida et al., 2022) e la carta sismotettonica regionale (Martelli et al., 2017a), e pertanto si è ritenuto utile aggiornare la cartografia di pericolosità sismica per il nuovo Piano Territoriale di Area Vasta per fornire ai Comuni e alle Unioni di Comuni una documentazione tecnico-scientifica di base e una linea d'indirizzo per gli approfondimenti a scala urbana richiesti dalla LR 24/2017 (art. 22).

2. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO

Il territorio della Provincia di Rimini è per lo più costituito dai rilievi appenninici del Montefeltro e solo la porzione settentrionale, corrispondente all'estremità sud-est della Pianura Padana e alla fascia costiera, è pianeggiante (Figura 1). Il limite Appennino–pianura coincide all'incirca con la SS9 via Emilia nel tratto compreso tra Santarcangelo di Romagna a Rimini e con la SS16 Adriatica tra Rimini a Cattolica.

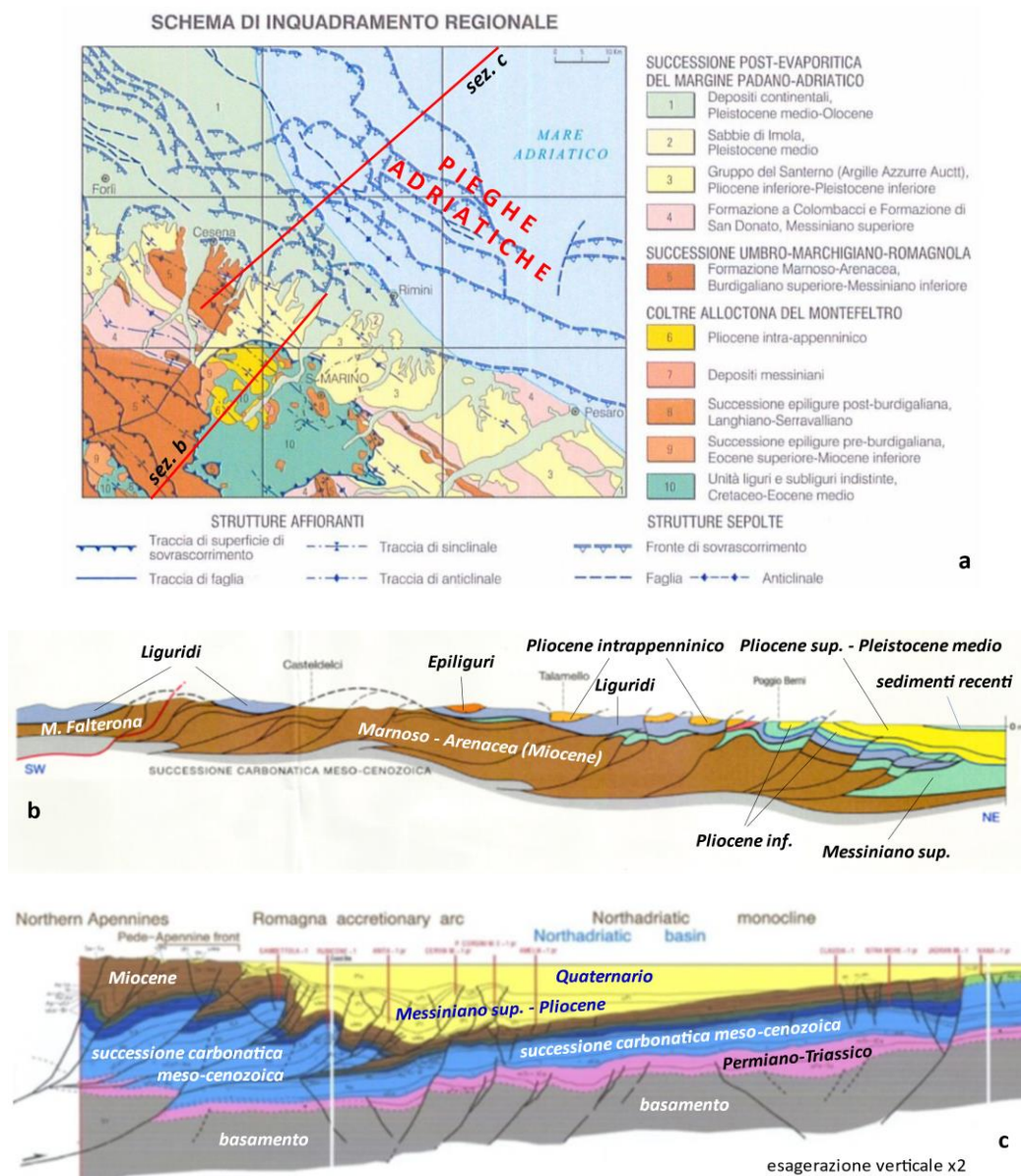
L'altimetria diminuisce piuttosto gradualmente da sud-ovest verso nord-est; la quota massima è data dal Monte Carpegna (m 1415 slm).



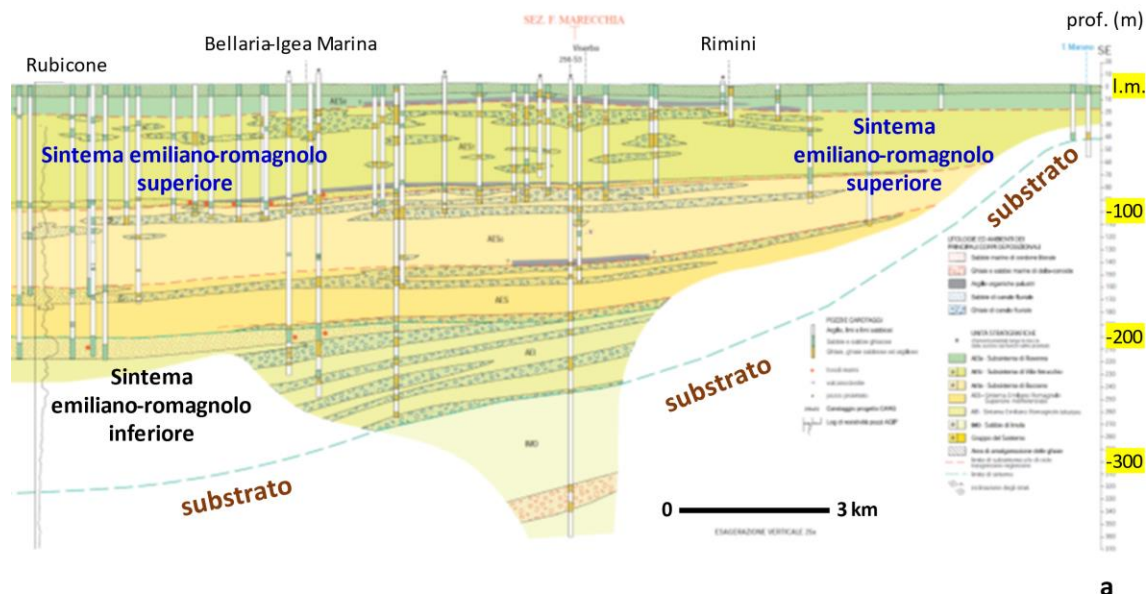
All. 4 Figura 1: inquadramento geografico dell'area d'interesse

Geologicamente (si veda Tav 08 QCD), il Montefeltro è costituito da varie unità tettoniche alloctone, ovvero originate in zone paleogeografiche diverse, impilate una sull'altra da sud-ovest verso nord-est, a seguito dell'orogenesi che, a partire dall'Oligocene (circa 30 milioni di anni fa), ha portato alla strutturazione dell'Appennino settentrionale (Figura 2). Le unità tettoniche impilate poggiano su un basamento costituito da rocce metamorfiche, risultato dell'orogenesi precedente, individuato a profondità variabile tra 8 e 14 km (Figura 2c). La pianura e la fascia costiera adriatica, data la morfologia pianeggiante, si presentano come ambienti apparentemente indisturbati. In realtà, sotto i sedimenti recenti padani e adriatici, il substrato è deformato da faglie inverse e pieghe (Figura 2) che danno origine alle cosiddette "Pieghe

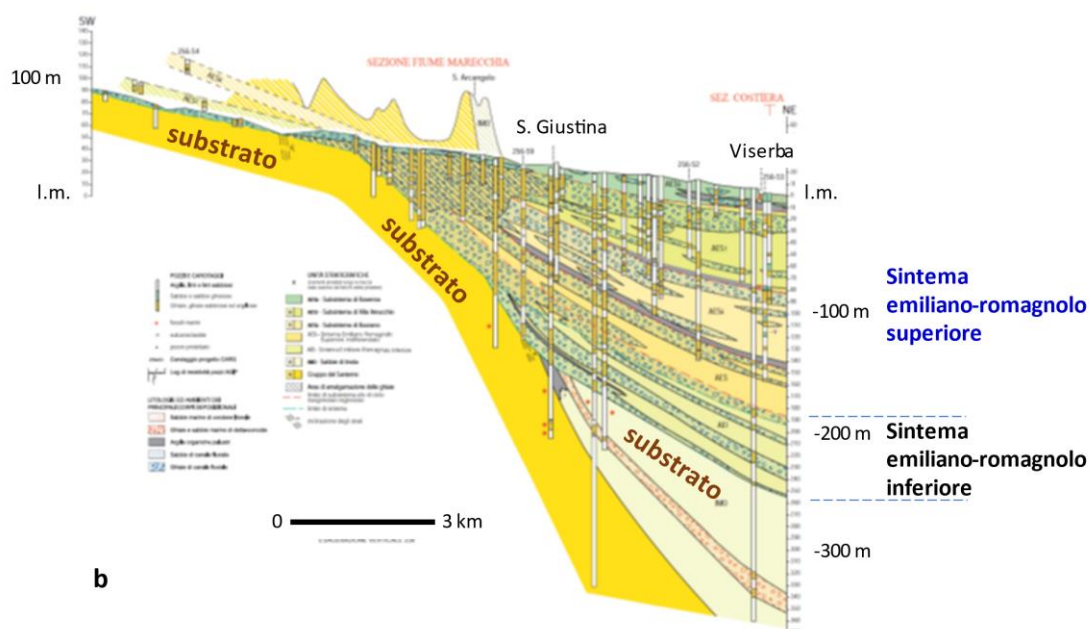
Adriatiche” (Pieri e Groppi, 1981). La successione di sedimenti recenti che ricopre le unità del substrato è costituita da sedimenti alluvionali e costieri depositatesi negli ultimi 650.000 anni. Lo spessore di questi sedimenti recenti aumenta rapidamente verso nord e arriva a superare i 300 m tra Bellaria e il Rubicone (Figura 3). In pratica, il vero fronte della catena appenninica non coincide con il passaggio morfologico collina-pianura, osservabile a sud della via Emilia e della fascia costiera, bensì con l’arco più esterno delle Pieghe Adriatiche, che si sviluppano nel sottosuolo del Mar Adriatico (Figura 2). L’attività tettonica è tuttora in corso, come testimoniato dalla frequente attività sismica (Figura 4, Figura 5).



ALL. 4 Figura 2: a) Schema geologico di sintesi dell’area d’interesse (da Carta Geologica d’Italia 1:50.000, Foglio 256 “Rimini”), con tracce delle sezioni b e c; b) Sezione geologica dal crinale toscano-romagnolo a Santarcangelo di Romagna (da Cerrina Feroni et al., 2002); c) sezione geologica dall’Appennino Romagnolo al Mar Adriatico (da Fantoni e Franciosi, 2010)



a



b

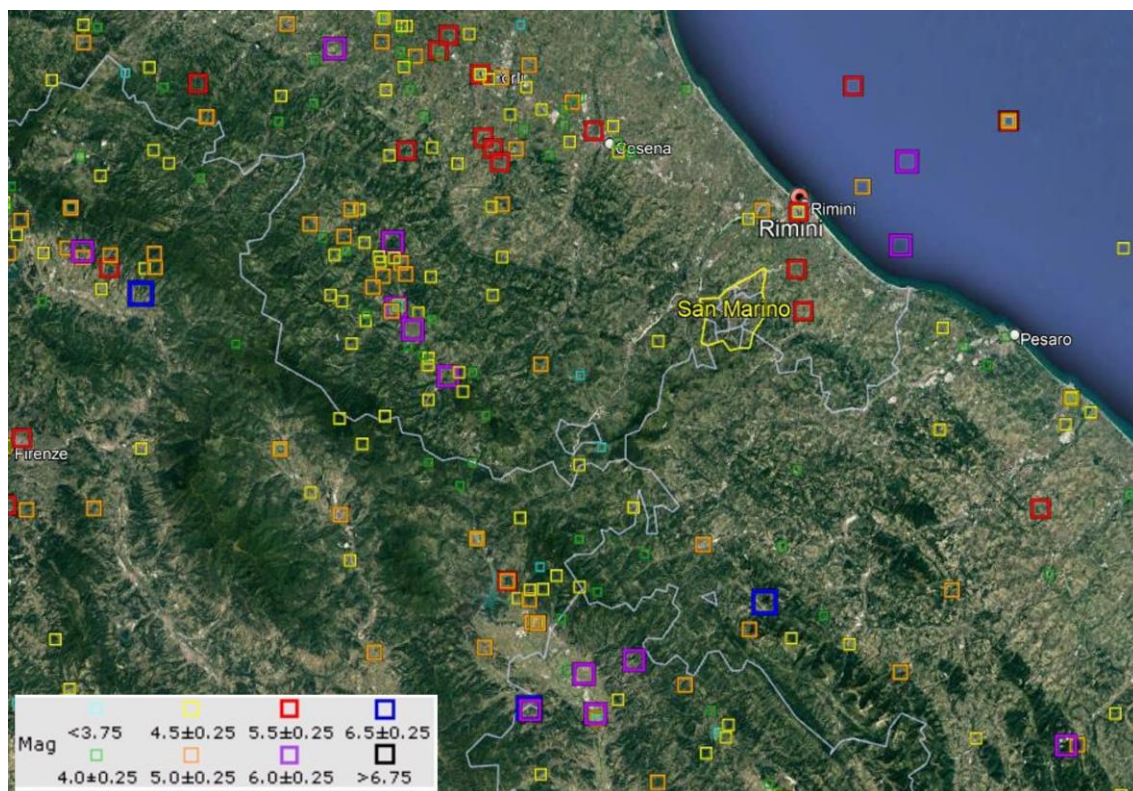
ALL. 4 Figura 3: a) sezione lungo la costa dal Rubicone al Marano, b) sezione geologica attraverso la Val Marecchia (da Carta Geologica d'Italia 1:50.000, Foglio 256 "Rimini")

3. SISMICITÀ

La Provincia di Rimini è interessata da una sismicità non particolarmente elevata, con terremoti di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6. Tuttavia, data l'importante esposizione urbana e l'elevata vulnerabilità di gran parte dei centri abitati, il rischio sismico risulta comunque elevato. Infatti, i cataloghi dei terremoti (Rovida et al., 2022; Locati et al., 2022) riportano che nel riminese sono stati rilevati effetti di intensità macrosismica fino all'VIII grado (terremoti del 1672, 1786, 1875 e 1916) mentre nel Montefeltro gli effetti macrosismici

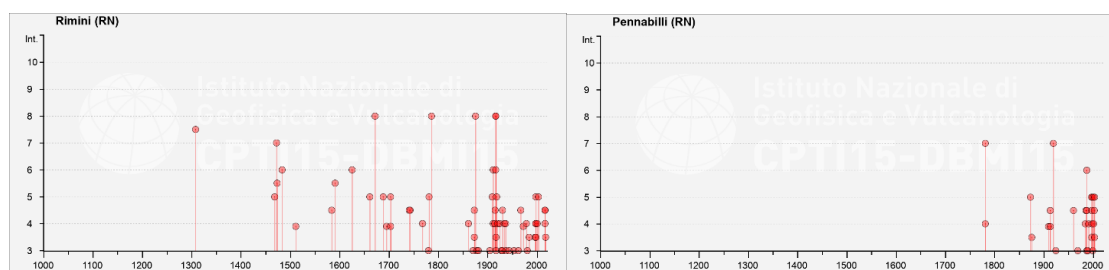
hanno raggiunto il VII grado (terremoti del Cagliese del 1781 e del Mugello del 1919).

In Figura 4 sono rappresentati gli epicentri dei principali terremoti che hanno interessato il territorio provinciale a partire dall'anno 1000.



All. 4 Figura 4: Epicentri dei principali terremoti a partire dall'anno 1000 (da Rovida et al, 2022)

In Figura 5 sono rappresentate in forma grafica le storie sismiche più significative per la pianura e la costa (Rimini) e il Montefeltro (Pennabilli).



All. 4 Figura 5: Rappresentazione grafica delle storie sismiche più rappresentative della Provincia di Rimini (cfr tab. 1) (da Rovida et al, 2022)

In Tabella 1 sono elencati i terremoti che hanno causato risentimenti di intensità macrosismica almeno del VI grado (valore che generalmente indica la presenza di danni diffusi).

Come si nota dalla Figura 4, i terremoti più forti che hanno interessato il territorio provinciale si concentrano soprattutto nelle colline riminesi, lungo la costa e nel Mar Adriatico. È in questi settori che si sono verificati i terremoti più forti, ovvero quelli del 1672 (MW=5.59), 1786 (MW=5.66), 1875 (MW=5.74) e 1916 (17 maggio e 16 agosto, entrambi MW=5.82) che hanno causato ingenti danni (intensità macrosismica dell'VIII grado).

La Tabella 1 indica inoltre che parte del territorio ha risentito in maniera importante anche di forti terremoti con epicentri oltre il confine provinciale (v. aree epicentrali in corsivo). In particolare, nell'alto Montefeltro sono noti danni a seguito dei forti terremoti del 1781 del Cagliese (MW=6.51), del 1918 nell'Appennino forlivese (MW=5.96), del 1919 in Mugello (MW=6.38) e del 1948 nell'alta Val Tiberina (MW=5.04).

INTENSITÀ LOCALE	ANNO	MES E	GIORNO	AREA EPICENTRALE	LAT.	LONG.	INTENSITÀ ALL'EPICENTRO	MW
7-8	1308	1	25	RIMINI	44,059	12,568	7-8	5,33
7	1472			RIMINI	44,059	12,568	7	5,1
6	1483	8	11	ROMAGNA	44,155	12,229	8	5,69
6	1625	12	5	RIMINI	44,059	12,568	6	4,63
8	1672	4	14	RIMINESE	43,941	12,576	8	5,59
7	1781	6	3	CAGLIESE	43,596	12,512	10	6,51
8	1786	12	25	RIMINESE	43,991	12,565	8	5,66
8	1875	3	17	COSTA ROMAGNOLA	44,209	12,659	8	5,74
6	1911	3	26	RIMINESE	44,061	12,508	5	5,04
8	1916	5	17	RIMINESE	44,119	12,748	8	5,82
6	1916	6	16	RIMINESE	44,089	12,674	6	4,82
8	1916	8	16	RIMINESE	44,019	12,737	8	5,82
6	1918	11	10	APPENNINO FORLIVese	43,917	11,933	9	5,96
7	1919	6	29	MUGELLO	43,957	11,482	10	6,38
6	1948	6	13	ALTA VALTIBERINA	43,598	12,127	7	5,04
6	1987	7	5	MONTEFELTRO	43,758	12,208	6	4,44

ALL. 4 Tabella 1: Terremoti che hanno causato risentimenti di intensità macrosismica almeno del VI grado nel territorio provinciale (da Rovida et al., 2022)

Con Decreto Ministeriale del 23 luglio 1983 tutti i Comuni della Provincia di Rimini sono stati classificati in zona sismica 2 (Figura 6), classe indicativa di media sismicità. Tale classificazione è stata confermata dalla riclassificazione sismica nazionale del 2003 (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri

n. 3274) e da quella regionale del 2018 (Deliberazione di Giunta Regionale n. 1164). Va ricordato che la classificazione sismica italiana prevede 4 zone a pericolosità sismica decrescente (zona 1: sismicità alta; zona 4: sismicità molto bassa).

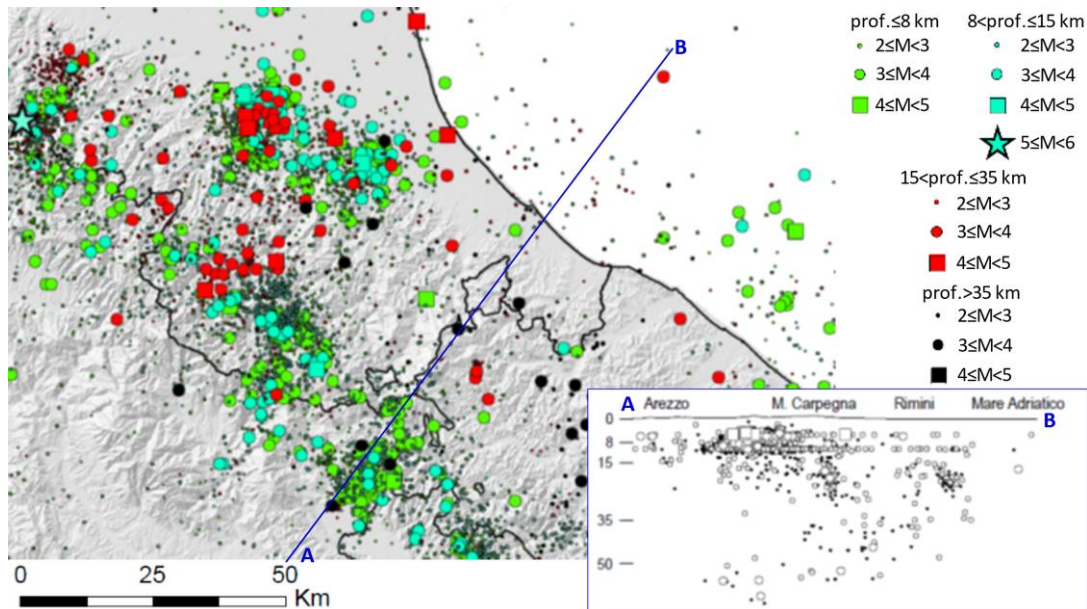
Tuttavia, va tenuto presente che alcuni Comuni del riminese erano stati classificati sismici di II categoria già nel 1927 ma poi declassificati nel 1938 per favorire lo sviluppo economico legato al turismo. Questo comporta una potenziale criticità relativamente alla vulnerabilità sismica delle costruzioni in quanto gran parte degli interventi di urbanizzazione realizzati tra il 1938 e il 1983, periodo di massimo sviluppo del territorio e forte espansione urbanistica, sono stati realizzati senza criteri antisismici.



All. 4 Figura 6: Classificazione sismica del territorio provinciale (OPCM 3274/2003, DGR 1164/2018)

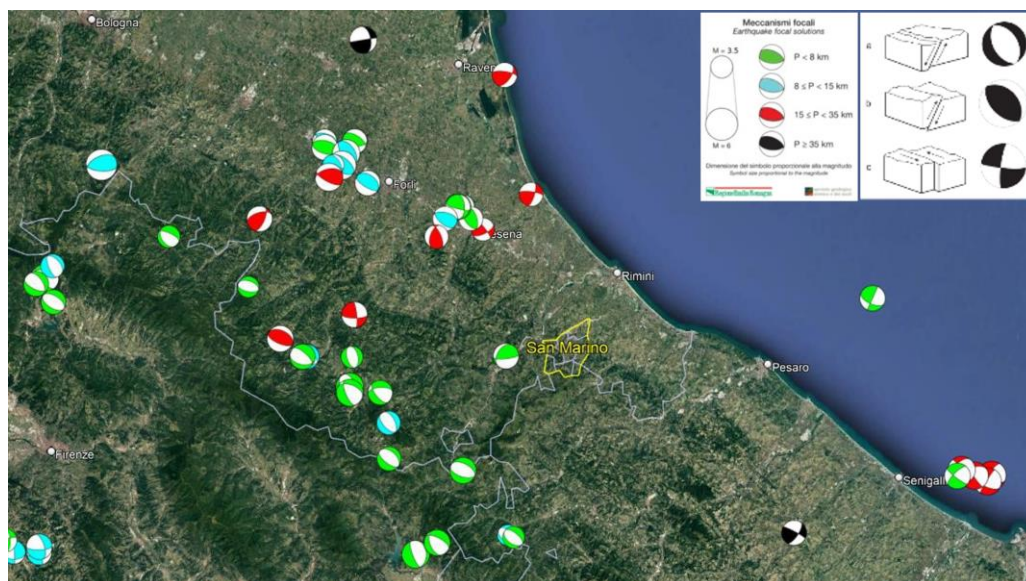
4. SISMOTETTONICA

I dati strumentali, relativi ai terremoti dal 1981 in avanti (Figura 7), indicano che nell'area d'interesse la sismicità è per lo più superficiale (profondità ipocentrale generalmente minore di 15 km) e che i terremoti più profondi si concentrano soprattutto nel settore appenninico.



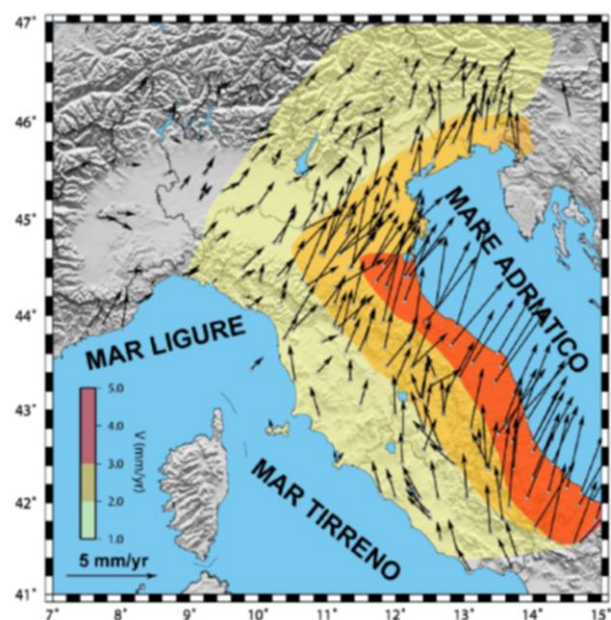
All. 4 Figura 7: Epicentri dei principali terremoti strumentali dal 1981 al 2015 (da ISIDe Working Group, 2015)

I meccanismi focali (Figura 8), ovvero le rappresentazioni grafiche delle modalità di rottura e scorrimento delle faglie sismogeniche, sono di tipo prevalentemente estensionale nell'alto Appennino e trascorrente e compressivo nel resto del territorio, ovvero nel basso Appennino, lungo il margine appenninico-padano e la costa.



ALL. 4 Figura 8: meccanismi focali del territorio bolognese e aree limitrofe (da Martelli et al., 2017a, e <http://terremoti.ingv.it>). Simboli: i colori indicano le classi di profondità, le zone a campitura piena i quadranti in estensione [v. legenda: a) meccanismo estensionale, b) meccanismo inverso, c) meccanismo trascorrente]

L'analisi dei dati geodetici acquisiti tramite GPS nel periodo 2001-2012 (Cenni et al., 2012) indica che la costa adriatica è in movimento verso NNE con una velocità dell'ordine dei 3-7 mm/anno (Figura 9).



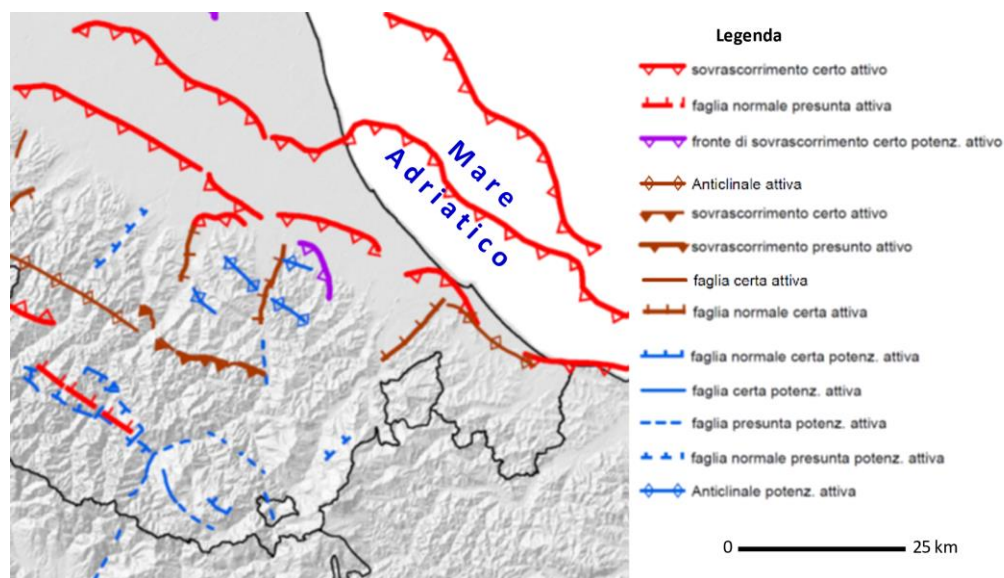
ALL. 4 Figura 9: velocità orizzontali medie dei siti GPS ottenute dall'analisi dei dati acquisiti nel periodo 2001-2012 (da Cenni et al., 2012). I vettori rappresentano la velocità dei siti rispetto all'Eurasia. I colori identificano le zone caratterizzate da ampiezza uniforme della velocità

La Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (Martelli et al., 2017a) individua le strutture tettoniche con evidenze di attività recente (<450.000 anni) nella zona del margine Appennino-pianura, tra Santarcangelo di Romagna e Riccione, lungo la costa e in mare (Pieghe Adriatiche) (Figura 10). È infatti nelle colline riminesi e in mare che sono stati localizzati i principali terremoti del riminese (Figura 4).

La localizzazione più aggiornata delle sorgenti sismiche capaci di generare forti terremoti ($MW > 5.5$) è disponibile grazie al Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), versione 3.3.0, di INGV (DISS Working Group, 2021) (Figura 11). Nella cartografia associata a questo catalogo sono rappresentate le proiezioni in superficie delle aree in cui si possono generare forti terremoti. Per ogni zona è disponibile una scheda che descrive le principali caratteristiche in termini di studi disponibili, geometria e profondità della sorgente, terremoti associati, magnitudo massima attesa, modalità di fagliazione, ecc.

In sintesi, dalle informazioni disponibili (v. lavori citati), emerge che la sismicità più importante che interessa l'area riminese si origina nei primi 15-20 km della crosta terrestre e che le faglie sismogenetiche sono prevalentemente estensionali nella zona dell'alto Appennino e del crinale toso-romagnolo mentre sono prevalentemente compressive, trascorrenti e inverse, nel basso Appennino, lungo la costa e in mare.

Nell'appennino romagnolo è presente anche una sismicità più profonda (> 15 km) di tipo compressivo.



All. 4 Figura 10: Strutture attive e potenzialmente attive dell'area d'interesse e aree limitrofe (Martelli et al., 2017a)



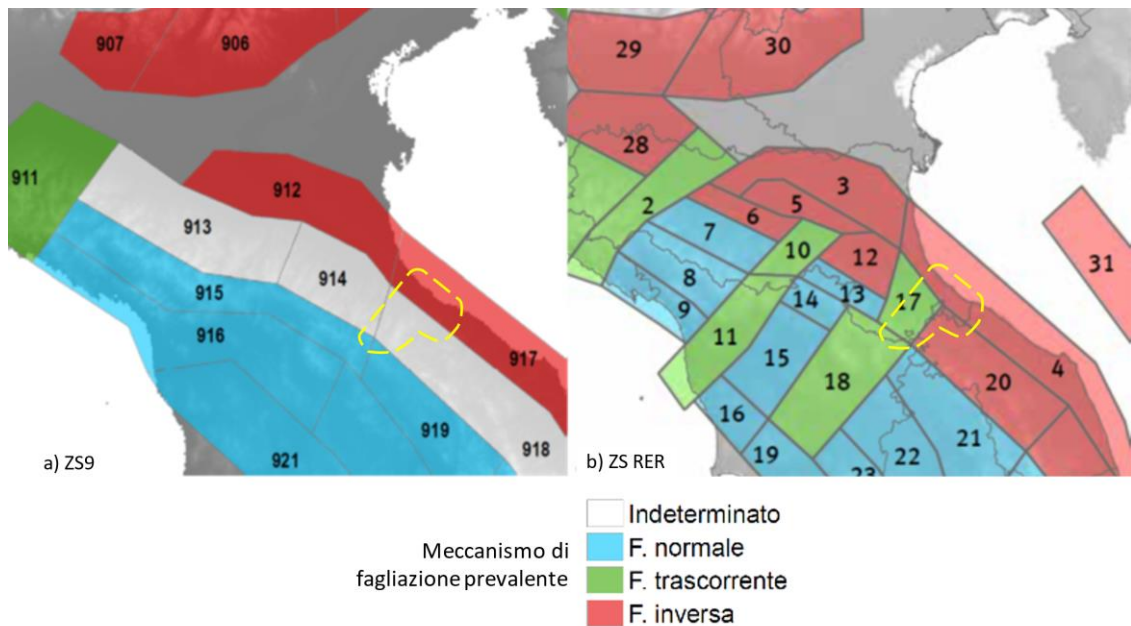
All. 4 Figura 11: Strutture sismogenetiche capaci di generare di forti terremoti ($MW \geq 5.5$), da DISS 3.3.0 (DISS Working Group, 2021)

Sulla base della distribuzione, frequenza ed energia dei terremoti, dei meccanismi di fagliazione e delle caratteristiche geologiche il territorio nazionale è stato suddiviso in zone sismogenetiche. L'attuale zonazione sismogenetica di riferimento a scala nazionale è la ZS9 di Meletti e Valensise (2004) (Figura 12a).

Secondo questa zonazione, il territorio riminese si colloca per lo più a cavallo di 2 zone: la 917 e la 918.

In particolare, il Montefeltro ricade nella zona 918 e, in minor misura, nella zona 914 caratterizzate entrambi da meccanismi di fagliazione indeterminati, ovvero si ritengono possibili terremoti sia estensionali che compressivi e trascorrenti. L'alto Montefeltro e il crinale toso-romagnolo ricadono in parte anche nelle zone 915 e 919 dove i meccanismi di fagliazione attesi sono prevalentemente estensionali (distensivi o normali). La costa invece si colloca interamente nella zona 917 dove i meccanismi di fagliazione sono prevalentemente compressivi. La magnitudo massima attesa è pari a 6.14 per le zone 917 e 914 mentre è pari a 6.37 per le zone 918 e 919 e pari a 6.6 per la zona 915.

Secondo la ZS9 le zone sismogenetiche dell'Appennino settentrionale hanno uno sviluppo prevalentemente parallelo all'asse della catena e non sono considerate zone con sviluppo trasversale, sebbene alcuni limiti tra zone siano posti in corrispondenza di importanti strutture trasversali.



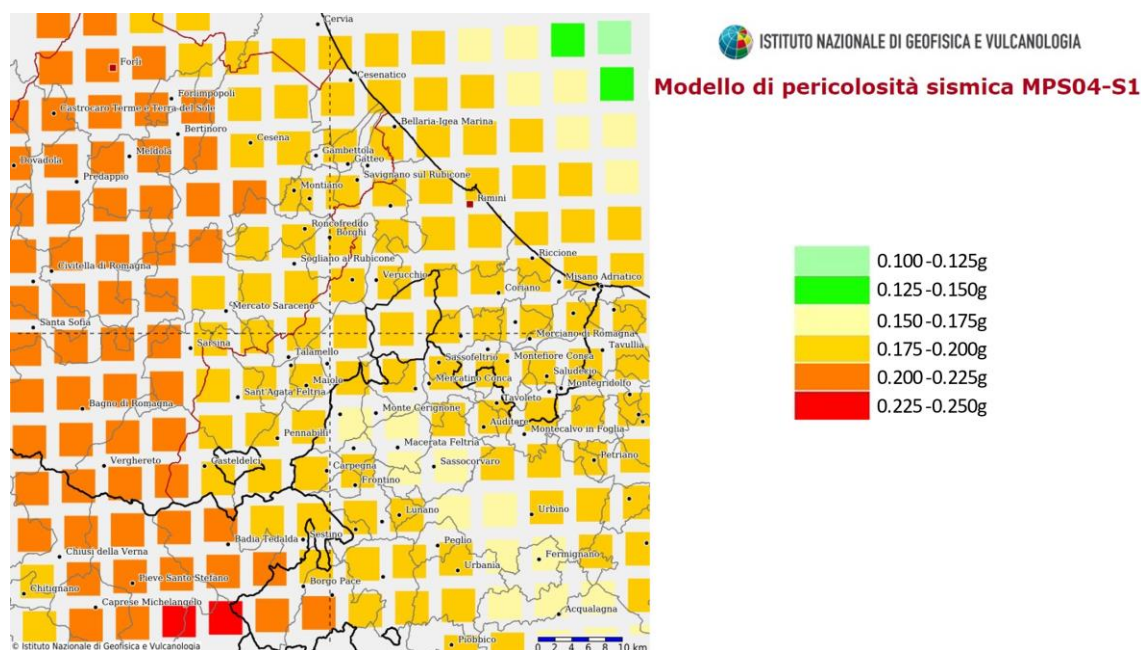
All. 4 Figura 12: a) particolare della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004); b) particolare della zonazione sismogenetica proposta dalla Regione Emilia-Romagna (Martelli et al., 2017b); il perimetro tratteggiato giallo indica l'area d'interesse

Maggiore importanza alle strutture tettoniche trasversali è data invece dalla zonazione proposta da Martelli et al. (2017b) per l'Appennino settentrionale e aree limitrofe (Figura 12b). Tale zonazione restituisce zone meno ampie, per ognuna delle quali è però indicato un meccanismo prevalente di fagliazione. Secondo tale zonazione, il territorio del Montefeltro riminese ricade pressoché interamente nella zona 17, caratterizzata da media sismicità (magnitudo storica massima pari a 6) e dalla presenza di strutture sismogenetiche trasversali con componente trascorrente; in questa zona i meccanismi focali sono di tipo trascorrente ed estensionale nei primi 15 km e di tipo compressivo a profondità maggiori di 15 km. La zona collinare e la costa ricadono nella zona 4 anch'essa caratterizzata da sismicità media (magnitudo storica massima pari a 6.1), con ipocentri superficiali (< 15 km) e meccanismi di tipo compressivo.

5. LA PERICOLOSITÀ SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE URBANISTICA E LA PROGETTAZIONE

5.1. Pericolosità sismica di base

Sulla base delle conoscenze sismologiche e geologiche disponibili, nel 2004 è stata realizzata la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, denominata MPS04 (Gruppo di lavoro MPS, 2004), riferimento per il calcolo dell'azione sismica per la progettazione¹. Tale studio fornisce i valori di accelerazione di picco al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, i.e. categoria di sottosuolo A delle NTC2018) per vari periodi di ritorno; l'accelerazione di picco su suolo rigido e pianeggiante è considerata il parametro indicativo della pericolosità sismica di base per la progettazione². La versione della MPS04 per periodo di ritorno di 475 anni è stata assunta anche come riferimento per la riclassificazione sismica del territorio (OPCM 3519/2006) e nella pratica è diventata riferimento anche per gli studi di microzonazione sismica. In Figura 13 è mostrata tale mappa per il territorio provinciale e aree limitrofe.



All. 4 Figura 13: mappa di pericolosità sismica di base per la Provincia di Rimini e aree limitrofe, TR= 475 anni (Gruppo di lavoro MPS, 2004); i colori indicano le classi di ag, accelerazione di picco su suolo rigido e pianeggiante, espressa in percentuale dell'accelerazione di gravità g

¹ <http://esse1.mi.ingv.it/>.

² EuroCode8: Bisch et al., 2012.

Per la stima dell'effettiva pericolosità sismica al sito, valutazione richiesta sia per la pianificazione urbanistica che per la progettazione al fine di indirizzare le scelte insediative verso le aree a minore pericolosità e/o ridurre la vulnerabilità delle costruzioni, occorre considerare anche i potenziali effetti locali attesi.

5.2. Effetti locali e microzonazione sismica

Come anticipato sopra, il moto sismico può essere notevolmente modificato dalle condizioni geologiche che caratterizzano il sottosuolo e dalla topografia, con il risultato che in superficie il moto può risultare sensibilmente amplificato. In particolare, i terreni poco consolidati/addensati (terreni coesivi poco consolidati, depositi di detriti sciolti, ...) e alcune morfologie, sia sepolte che superficiali (rapide variazioni del tetto del substrato e della superficie topografica), possono modificare l'ampiezza, la frequenza e la durata del moto di input. Ai fini della riduzione del rischio sismico, interessa soprattutto individuare e cartografare tutti quegli elementi del territorio che possono produrre un aumento dello scuotimento. L'amplificazione del moto può anche indurre fenomeni di instabilità quali frane, fenomeni di liquefazione e fratturazione del terreno, con conseguenti cedimenti e spostamenti.

È evidente che la conoscenza della distribuzione sul territorio degli elementi geologici e topografici che possono determinare effetti locali è uno strumento di grande importanza ed efficacia per la riduzione del rischio sismico, in quanto permette di attuare strategie di prevenzione già dalle prime fasi della programmazione territoriale.

Per tali motivi da anni le norme nazionali e regionali richiedono la realizzazione di studi per la definizione della pericolosità locale e la microzonazione sismica del territorio.

In particolare, la microzonazione sismica, ovvero la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento del terreno durante e a seguito di un terremoto, si è rivelata uno degli strumenti più efficaci di rappresentazione della pericolosità sismica locale, soprattutto se applicata in fase di pianificazione urbanistica.

In Emilia-Romagna l'analisi della pericolosità sismica per la programmazione territoriale e la microzonazione del territorio per la pianificazione urbanistica sono regolate da specifiche linee guida fino dal maggio 2007, quando è entrato in vigore il primo atto d'indirizzo ai sensi della normativa urbanistica vigente (DAL n. 112/2007). Questi primi indirizzi sono stati aggiornati nel 2015, con DGR n. 2193, e, a seguito della nuova LR n. 24/2017, con DGR n. 630/2019 e successivamente con DGR n. 476/2021, integrata con DGR n. 564/2021. Tali indirizzi sono vincolanti per la formazione dei piani territoriali e urbanistici e la microzonazione sismica è riferimento necessario per la VALSAT preventiva alle singole scelte del piano.

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio, durante o a seguito di un terremoto, possono determinare amplificazioni del

moto sismico e innescare o riattivare fenomeni di instabilità. Le conoscenze territoriali oggi disponibili in Emilia-Romagna, soprattutto grazie alla cartografia geologica, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali (Allegato A1 DGR 476/2021).

Per quanto non indicato negli indirizzi regionali costituiscono riferimento per l'analisi della pericolosità locale e la microzonazione sismica:

- gli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” (Gruppo di Lavoro MS, 2008), pubblicati nel 2008 dal Dipartimento della Protezione Civile, in collaborazione con la Conferenza delle Regioni e PA;
- i successivi aggiornamenti e integrazioni promossi dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del DPC, relativi alle procedure di analisi della pericolosità sismica locale in condizioni di particolare criticità (instabilità di versante, faglie attive e capaci, liquefazione)³;
- gli standard di archiviazione e rappresentazione dei dati⁴.

In figura 14 è illustrato lo stato dell'arte degli studi di microzonazione sismica nel territorio della Provincia di Rimini.

Gli studi di microzonazione sismica completati e adeguati agli standard regionali e nazionali sono pubblicati in formato pdf nel sito web⁵. Gli stessi studi sono disponibili in formato GIS editabile per gli operatori di protezione civile in un sito dedicato della piattaforma regionale MOKA.

5.3. L'analisi della condizione limite di emergenza

Dal 2012, agli studi di microzonazione sismica vengono associate le analisi della condizione limite di emergenza (CLE), ovvero le analisi della vulnerabilità e della pericolosità dei siti delle strutture ritenute necessarie per la gestione dell'emergenza (edifici di coordinamento dei soccorsi, presidi sanitari, aree di emergenza, viabilità di accesso e collegamento) affinché i centri abitati, in caso di sisma, conservino l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche.

In pratica, l'analisi della CLE offre una fotografia dello stato dell'arte della funzionalità delle strutture strategiche e costituisce quindi anche uno strumento di verifica e aggiornamento dei piani di protezione civile.

La funzionalità delle strutture strategiche è valutata anche in base alle condizioni geologiche e morfologiche dei siti in cui hanno sede le strutture strategiche.

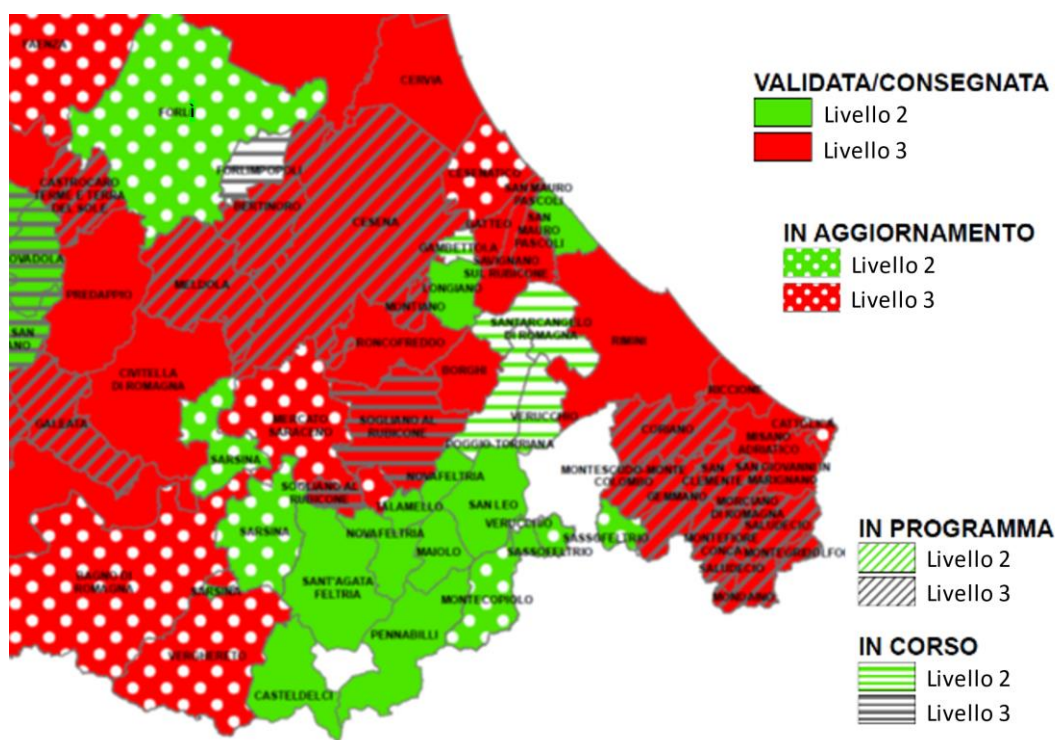
³<http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/commissione-supporto-mnitoraggio-studi-microzonazione>.

⁴ <https://centromicrozonazione.sismica.it/it/download/category/3-linee-guida>.

⁵ <http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/>

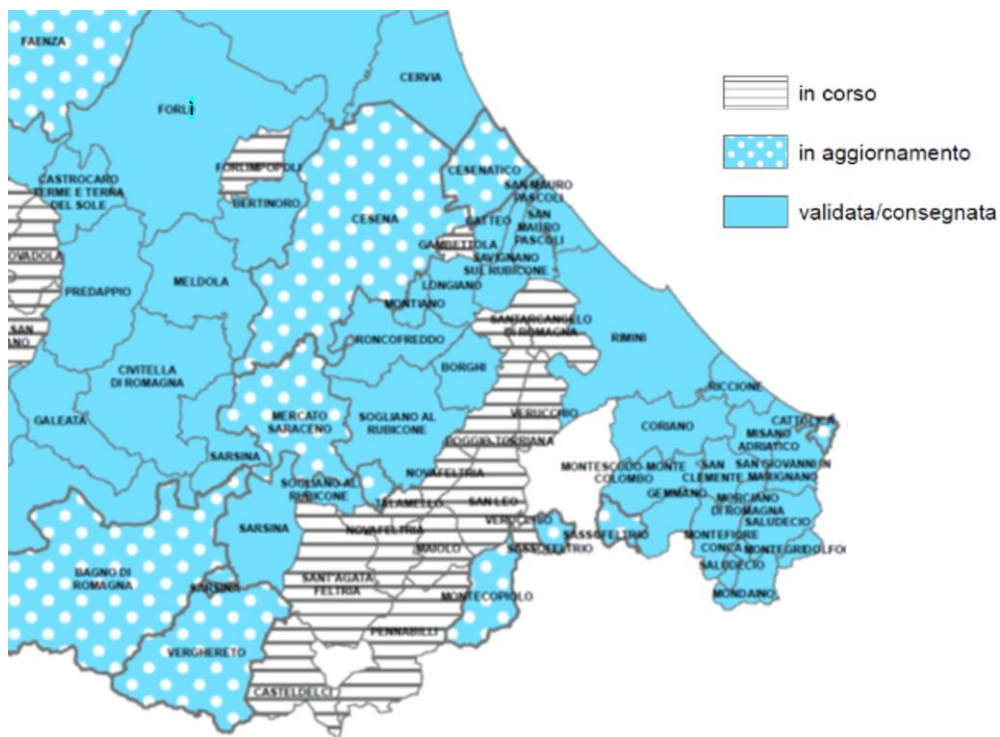
Il semplice confronto tra le carte di analisi della CLE e quelle di microzonazione sismica consente di individuare facilmente le zone in cui sono presenti elementi di pericolosità locale che potrebbero compromettere la funzionalità del sistema durante l'emergenza.

In sintesi, l'analisi della CLE, associata alla microzonazione sismica, fornisce elementi essenziali per valutare l'opportunità di conservare nei siti scelti le funzioni strategiche, programmare eventuali interventi di miglioramento e/o messa in sicurezza degli edifici strategici e degli edifici interferenti con la viabilità di accesso e connessione, o in alternativa delocalizzare in siti più idonei le funzioni strategiche; permette anche di individuare facilmente le zone potenzialmente instabili che interferiscono con la viabilità e quindi programmare eventuali interventi di manutenzione in tempo di "pace" o interventi prioritari di controllo in caso di emergenza sismica.



ALL. 4 Figura 14: Stato dell'arte degli studi di microzonazione sismica

In Figura 15 è illustrato lo stato dell'arte delle analisi della condizione limite di emergenza.



All. 4 Figura 15: Stato dell'arte delle analisi della condizione limite di emergenza

Anche le analisi della condizione limite di emergenza completate e adeguate agli standard regionali e nazionali sono pubblicate in formato pdf nel sito web <http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/> e disponibili in formato GIS editabile per gli operatori di protezione civile in un sito dedicato della piattaforma regionale MOKA.

6. RAPPRESENTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE A SCALA PROVINCIALE

6.1. Criteri cartografici adottati

Di seguito vengono sinteticamente descritti i criteri e le varie fasi di realizzazione della cartografia di pericolosità sismica locale a supporto del Ptav, rappresentata nelle tavole di QCD Tav. 08 - Carta Geologica, Tav. 09 - Elementi geologici che possono determinare effetti locali, Tav. 10 - Aree suscettibili di effetti locali.

Gli studi di microzonazione sismica hanno confermato la validità dell'analisi e degli elaborati di pericolosità sismica realizzati per il PTCP; perciò, anche per questa nuova analisi sono stati seguiti gli stessi criteri e procedure. Gli elementi geologici e morfologici potenzialmente capaci di produrre effetti locali sono stati selezionati dalle cartografie geologiche e geotematiche disponibili, seguendo le indicazioni contenute nell'Allegato A1 degli indirizzi regionali (DGR 476/2021).

Si è poi tenuto conto dei dati sismotettonici e sismologici pubblicati nell'ultimo decennio (Martelli et al., 2017a; Locati et al., 2022; Rovida et al., 2022).

Sono poi stati effettuati i seguenti specifici aggiornamenti:

- estensione della cartografia fino a comprendere anche i Comuni di Montecopiolo e Sassofeltrio;
- revisione cartografica delle aree instabili e potenzialmente instabili del settore appenninico;
- revisione cartografica della distribuzione dei corpi ghiaiosi affioranti e sepolti nelle aree di conoide alluvionale, ovvero lungo il margine appenninico-padano e la costa;
- revisione cartografica delle zone potenzialmente soggette a liquefazione.

I dati di base utilizzati per questa cartografia derivano da:

- banca dati della cartografia geologica alla scala 1:25.000 per la Carta Geologica d'Italia 1: 50.000;
- banca dati regionale delle prove geognostiche;
- studi di microzonazione sismica validati dalla Commissione Tecnica DPC;
- Inventario delle frane a scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna;
- aree a rischio di frana perimetrate dal PSAI - Piano stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico del Bacino interregionale Marecchia - Conca (adottato dal Comitato Istituzionale con deliberazione n. 2 del 30 marzo 2004, e successivamente modificato e integrato varie volte);

- cave e discariche del territorio provinciale come cartografate negli strumenti di pianificazione territoriale (PIAE) e comunale (PAE);
- modello digitale del terreno con celle di 10 m x 10 m.

L'aggiornamento principale è derivato dalla verifica della geometria delle unità geologiche di conoide alluvionale. La distribuzione dei terreni grossolani sepolti è molto importante in quanto influenza in maniera significativa lo scuotimento sismico in superficie, come dimostrato, ad esempio, dallo specifico approfondimento effettuato per la microzonazione sismica a supporto del PSC di Rimini (Albarello et al., 2011; Copioli et al., 2011).

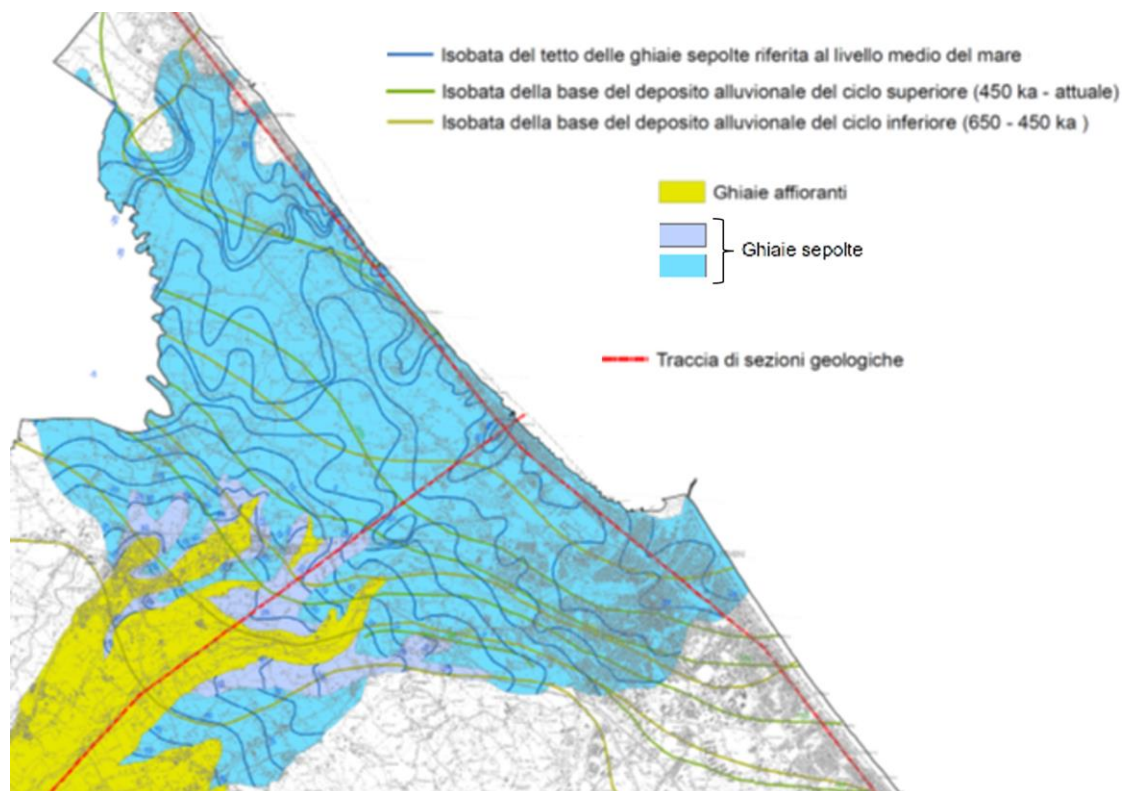
Va tenuto presente che non di rado le ghiaie pleistoceniche hanno Vs elevata, talora da essere assimilate a bedrock sismico, o comunque tale da indicare un comportamento molto più rigido delle ghiaie oloceniche o dei terreni fini soprastanti (quando presenti). Quindi, il tetto delle ghiaie pleistoceniche sepolte costituisce spesso un'importante discontinuità sismostratigrafica di cui occorre tenere conto nelle analisi di risposta sismica locale e nella scelta delle tabelle nel caso di stima semplificata dell'amplificazione (approfondimenti di livello 2), in particolar modo se gli spessori dei corpi ghiaiosi rigidi (i.e. con Vs elevata) sono significativi (maggiori di 5 m) e i depositi soprastanti risultano scarsamente consistenti.

La cartografia del tetto delle ghiaie è stata realizzata tramite i dati stratigrafici di sottosuolo disponibili, soprattutto sondaggi a carotaggio continuo, pozzi per acqua e prove penetrometriche. Sulla base di tali dati vengono ricostruite sezioni geologiche il cui obiettivo è identificare i diversi livelli di ghiaie presenti nel sottosuolo ed attribuirne la posizione stratigrafica. Questa interpretazione viene condotta attraverso la correlazione geometrica dei corpi sepolti, le datazioni assolute al carbonio 14 (dove disponibili) e la correlazione tra i corpi grossolani sepolti e le porzioni affioranti della conoide, per le quali l'attribuzione stratigrafica è nota. Una volta individuati e correlati i corpi ghiaiosi in tutte le sezioni geologiche, si passa alla loro cartografia, rappresentando il tetto delle ghiaie con isobate riferite al livello del mare.

Quest'analisi ha permesso di individuare e mappare nel sottosuolo dell'area di interesse il tetto delle ghiaie di due unità stratigrafiche distinte: il subsistema di Villa Verucchio, AES7, di età tardo pleistocenica (generalmente da 40.000 a 18.000 anni circa), e il subsistema di Ravenna, AES8, di età prevalentemente olocenica (generalmente da 12.000 a 7.000 anni circa).

La verifica effettuata ha confermato che i corpi grossolani sepolti di maggiore rilevanza e cartografabili alla scala provinciale sono quelli appartenenti alle conoidi alluvionali dei fiumi Marecchia e Conca. La verifica ha inoltre confermato la geometria dei terreni grossolani della conoide del fiume Marecchia già rappresentati nella cartografia PTCP; quindi, la cartografia del Ptav in questo settore non ha introdotto sostanziali novità (Figura 16). Come si vede in figura 16, le ghiaie di AES8 sono presenti solamente nella porzione più prossimale della conoide del Marecchia, mentre la restante parte del sottosuolo è costituita dalle ghiaie di AES7, sedimentate durante l'ultimo acme

glaciale. Si osservi inoltre che queste ultime ghiaie proseguono oltre la linea di costa, al di sotto del Mare Adriatico.

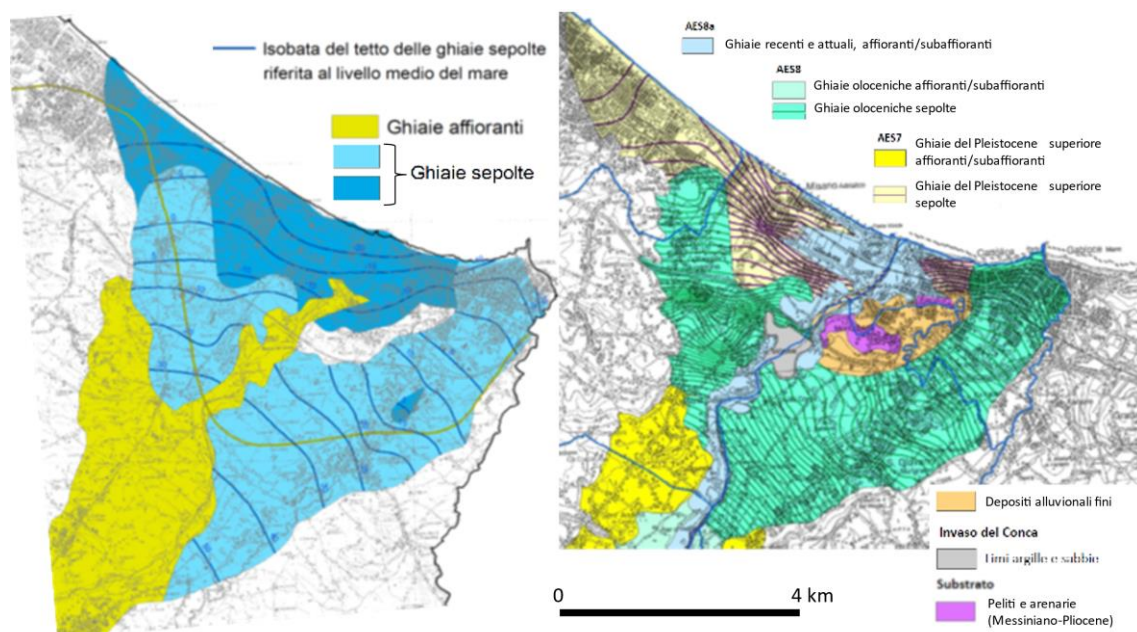


ALL. 4 Figura 16: Carta della conoide alluvionale del fiume Marecchia (da Quadro Conoscitivo PTCP di Rimini 2007, Sistema Ambientale Rischio sismico, Tavola S.A.10.a. "Carta del tetto delle ghiaie e della base dei depositi alluvionali"); le tracce delle sezioni geologiche si riferiscono alle sezioni di figura 3

È stata invece meglio dettagliata la cartografia dei terreni grossolani della conoide del fiume Conca (Figura 17), tramite uno studio originale di tutti i dati di superficie e di sottosuolo disponibili. Sono state analizzate le carte geologiche alle diverse scale e le stratigrafie presenti nella banca dati geognostici regionale. Lo studio, condotto secondo le modalità sopra descritte, ha confermato la presenza delle ghiaie delle unità stratigrafiche AES8 ed AES7, già mappate nel PTCP. L'analisi effettuata ha consentito di rivedere in parte la distribuzione di queste ghiaie ed il loro andamento.

Come per il Marecchia, anche nel Conca le ghiaie di AES8 sono presenti solo nella parte più prossimale della conoide, mentre le ghiaie di AES7 proseguono oltre la linea di costa al di sotto dell'Adriatico.

In Figura 17 è mostrato il confronto tra la cartografia per il PTCP e quella per il Ptav.



ALL. 4 Figura 17: Carta della conoide alluvionale del fiume Conca; confronto tra la cartografia per PTCP, a sinistra (da Quadro Conoscitivo PTCP di Rimini 2007, Sistema Ambientale Rischio sismico, Tavola S.A.10.a. “Carta del tetto delle ghiaie e della base dei depositi alluvionali”), e quella per il Ptav a destra

6.2. Carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali


La Tavola 09 di QCD, “Carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali”, in scala 1:50.000, comprende tutto il territorio provinciale.

Rappresenta la sintesi cartografica dell’analisi ed elaborazione dei dati geologici disponibili ed individua per tutto il territorio i principali elementi geologici e morfologici potenzialmente capaci di modificare il moto sismico in superficie e determinare effetti locali. La finalità di questa carta è fornire una documentazione di base per realizzare la cartografia delle aree suscettibili di effetti locali a scala di area vasta. I contenuti informativi della carta, e le relative banche dati, rese disponibili dal SIT del Ptav, costituiscono la base per gli approfondimenti alla scala urbana e di maggior dettaglio, da condurre nell’ambito della redazione degli strumenti urbanistici.

In questa cartografia sono rappresentati:

- il substrato geologico considerato rigido (rocce lapidee), che non dovrebbe essere soggetto ad effetti locali (b);
- il substrato geologico considerato non rigido (formazioni argillose poco consolidate, alternanze pelitico-arenitiche con rapporto arenite/pelite

molto basso, areniti poco cementate, sabbie poco addensate, ...), potenzialmente suscettibile di amplificazione (p);

- i depositi alluvionali, potenzialmente suscettibili di amplificazione (a);
- i depositi di versante s.l. (eluvio-colluviali, di falda, ...) potenzialmente suscettibili di amplificazione (d);
- i depositi di frana, distinti in base al grado di attività della frana (attiva f e $f > 15$ o quiescente q e $q > 15$), potenzialmente suscettibili di amplificazione e instabilità;
- i depositi granulari costieri, potenzialmente suscettibili di amplificazione e instabili per liquefazione (fattori predisponenti) (s);
- i rilievi con acclività maggiore di 15° , potenzialmente suscettibili di amplificazione per cause topografiche ($15 < b < 50$, $p > 15$, $a > 15$, $d > 15$, $f > 15$, $q > 15$);
- le scarpate, ovvero i rilievi con acclività almeno di 50° , potenzialmente suscettibili di amplificazione topografica e instabilità di versante ($b > 50$);
- le aree di cava e gli accumuli o riempimenti di origine antropica (cave tombate e/o parzialmente tombate, discariche, accumuli di terre di scavo), potenzialmente suscettibili di amplificazione, anche complesse per questioni di morfologie sepolte, e di instabilità per densificazione e/o di versante (h);
- le aree con cavità ipogee che, indipendentemente dall'origine, possono modificare in modo anche complesso il moto sismico e determinare effetti locali la cui valutazione richiede specifiche analisi (simbolo .

Nel settore di pianura e lungo la costa sono state riportate anche informazioni relative agli elementi sepolti che possono influenzare il moto sismico in superficie. Si tratta delle isobate (quote riferite al livello del mare) del tetto dei depositi grossolani (ghiaie prevalenti appartenenti al subsistema di Villa Verucchio-AES7 e al subsistema di Ravenna-AES8) e le isobate delle superfici di base delle due principali unità stratigrafiche del sottosuolo, ovvero il Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (AES, 450.000 anni – presente) e il Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore (AEI, 650.000 - 450.000 anni) che, come dimostrato da numerosi studi di microzonazione sismica e indagini geofisiche, costituiscono anche importanti superfici di discontinuità della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s).

Si noti che la fascia costiera di terreni suscettibili di liquefazione rappresentata in questa cartografia differisce localmente da quella rappresentata per il PTCP in quanto il perimetro è stato disegnato sulla base delle cartografie di primo livello degli studi di microzonazione sismica comunale, non disponibili all'epoca del PTCP.

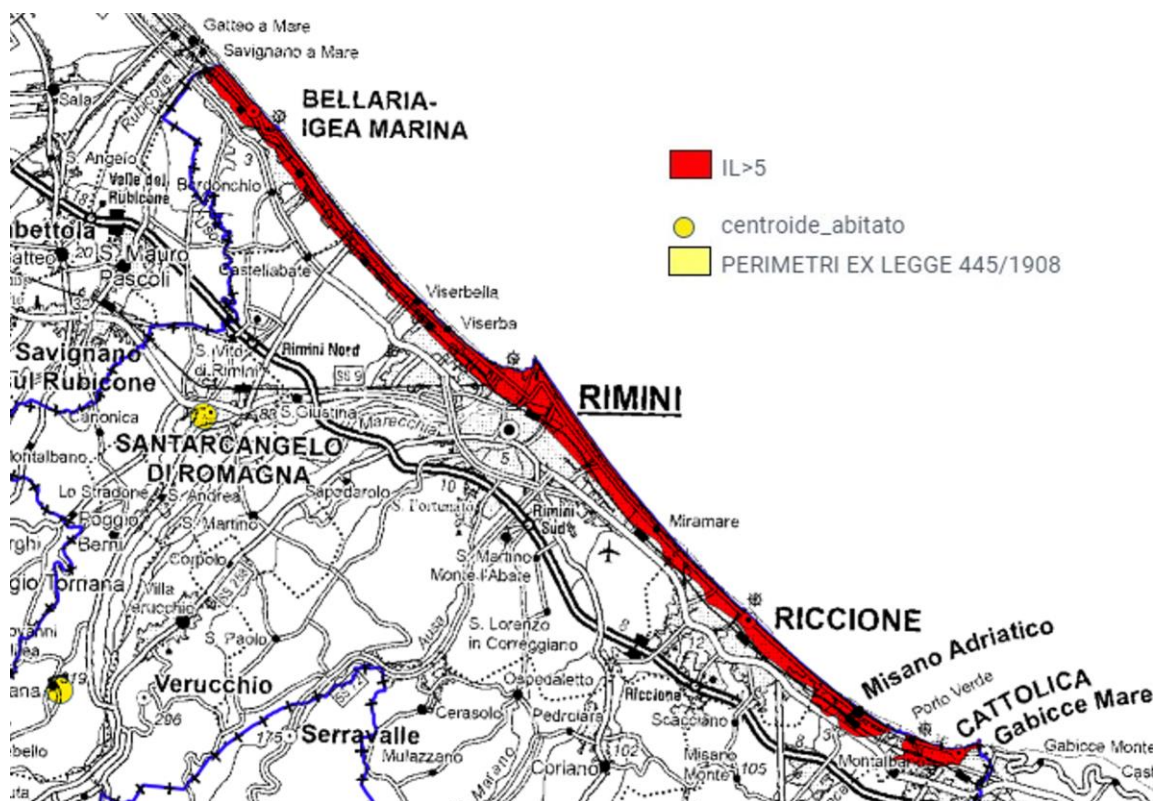
Infine, si noti anche che tale fascia è localmente più estesa della fascia con indice potenziale di liquefazione elevato ($IL > 5$) rappresentata nella carta allo stato pubblicata dalla Provincia (v. mappa "Liquefacibilità di sito e abitati da

consolidare” nel sito web del Sistema Informativo Territoriale Urbanistico Ambientale (SITUA)⁶.

La carta provinciale delle aree con $IL > 5$ nasce come supporto tecnico per l’attuazione di quanto richiesto dalla DGR 1814/2020, recante gli atti di indirizzo per l’individuazione degli interventi strutturali in zone sismiche. L’Allegato 1 di questo atto regionale elenca tra gli interventi rilevanti – e cioè che necessitano dell’acquisizione dell’autorizzazione sismica prima dell’inizio dei lavori – le nuove costruzioni in Zona 2 che si discostino dalle usuali tipologie o particolarmente complesse. Tra queste, sono rubricate, alla lettera d) del paragrafo A.2 dell’Allegato 1, anche le strutture realizzate su terreni suscettibili di liquefazione con l’indice del potenziale di liquefazione IL maggiore di 5. La Provincia si è quindi dotata di una carta riportante il dato del potenziale liquefazione di $IL > 5$ (Figura 18) realizzata considerando tutte le stime dell’indice del potenziale di liquefazione IL presenti negli studi di microzonazione sismica e pericolosità sismica locale effettuate per l’approvazione di strumenti urbanistici comunali. Va ricordato che le verifiche del rischio di liquefazione per la microzonazione sismica tengono conto della presenza delle condizioni predisponenti (terreni granulari saturi) e delle condizioni scatenanti (accelerazione e durata dello scuotimento) considerando tempi di ritorno del terremoto atteso (TR) pari a 475 anni.

Nella cartografia di analisi della pericolosità sismica per il P_{tav} si è invece ritenuto utile rappresentare la distribuzione di tutte le aree con presenza di condizioni predisponenti (terreni granulari saturi) indipendentemente dalle condizioni scatenanti, al fine di offrire l’opportunità di conoscenza per un’applicazione più ampia e generale. Sarà poi cura delle successive fasi della pianificazione urbanistica e della progettazione stimare il rischio di liquefazione in funzione dell’importanza degli interventi da realizzare.

⁶ <https://www.provincia.rimini.it/prvcnrmn/zf/index.php/servizi-aggiuntivi/index/index/idtesto/38>.



All. 4 Figura 18: Carta delle aree con indice potenziale di liquefazione elevato ($IL > 5$) da microzonazione sismica (da: http://opensitua.provincia.rimini.it/webgis/16_Sismica_Ambiti/)

6.3. Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali

La Tavola 10 di QCD, “Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali”, in scala 1:50.000, comprende tutto il territorio provinciale.

Come indicato nel precedente paragrafo, diversi elementi geologici possono determinare effetti locali analoghi e pertanto è possibile fare accorpamenti in prospettiva degli effetti attesi e delle procedure richieste per l’analisi della pericolosità sismica locale.

La “Carta delle aree suscettibili di effetti locali” opera quindi una prima distinzione delle aree sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico e, per ciascuna classe, indica gli approfondimenti che devono essere effettuati a supporto degli strumenti di pianificazione alla scala urbana.

Questo elaborato cartografico identifica gli scenari di pericolosità sismica locale dell’intero territorio provinciale e fornisce quindi prime indicazioni sui limiti e sulle condizioni di sicurezza per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale verso ambiti meno esposti alla pericolosità sismica. In particolare, è un documento di attenzione e indirizzo per le elaborazioni richieste agli strumenti urbanistici comunali e per la Valutazione di Sostenibilità Ambientale e Territoriale preventiva delle singole scelte di pianificazione. Anche in questo caso, i contenuti informativi della carta costituiscono la base per gli approfondimenti alla scala urbana e di maggior dettaglio, da condurre alla scala locale.

Di seguito vengono descritte con maggior dettaglio le classi di pericolosità riportate nella suddetta cartografia.

S – Substrato rigido affiorante/subaffiorante

Questa classe comprende il substrato geologico lapideo o ben cementato affiorante o sub-affiorante (spessore delle coperture minore di 3 m) con inclinazione del pendio non superiore a 15°.

Si tratta di zone stabili e potenzialmente non soggette ad effetti locali. In queste aree sono comunque richieste indagini per la verifica di Vs30. In caso di Vs30 non inferiore a 800 m/s non è richiesta nessuna ulteriore indagine o approfondimento. In caso di Vs30 inferiore a 800 m/s l'area dovrà essere considerata come costituita da terreni tipo A e dovranno essere effettuati gli accertamenti conseguenti.

S15 – Substrato rigido affiorante/subaffiorante 15°<i<50°

Questa classe comprende i terreni del tipo della classe precedente (S) ma con inclinazione del pendio compresa tra 15° e 50°.

Queste zone, in caso di differenza di quota (dislivello) maggiore di 30 m, sono potenzialmente soggette ad amplificazione topografica. In tal caso, dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione topografica (sono ritenuti sufficienti gli approfondimenti di livello 2). Occorrerà verificare anche il valore di Vs30. In caso Vs30 inferiore a 800 m/s l'area dovrà essere considerata come costituita da terreni tipo A15 e dovranno essere effettuati gli accertamenti conseguenti.

S50 – Substrato affiorante/subaffiorante i≥50°

La zona include i terreni del substrato con inclinazione del pendio non inferiore a 50°.

La distinzione di questa classe trova motivazione dal fatto che dai pendii molto acclivi (scarpate), in occasioni di scosse forti, sono stati osservati distacchi di massi, crolli e ribaltamenti. In presenza di scarpate, nelle aree al piede e sui bordi superiori, dovranno essere attentamente valutati i coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica e la stabilità della parete in condizioni sismiche (approfondimenti di livello 3).

In caso di instabilità dovrà essere valutata anche l'area d'influenza secondo quanto indicato nelle "Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) versione 2.1" predisposte dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del DPC⁷.

A – Aree stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica

Questa classe comprende le aree costituite da substrato geologico prevalentemente pelitico o poco consolidato o alterato o fratturato, affiorante

⁷ disponibili online nel sito web: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/commissione-supporto-monitoraggio-studi-microzonazione>.

o sub-affiorante, o da corpi detritici di varia origine (alluvionale, eluvio-colluviale, coltri di alterazione, ecc.), generalmente a granulometria mista (da fine a grossolana), con spessore delle coltri di copertura non inferiore a 3 m. Inclinazione del pendio non maggiore di 15°. In queste aree è richiesta la stima dell'amplificazione (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2). Nei fondivalle stretti e nelle conche, in caso di spessore dei sedimenti maggiore di 1/8 dell'ampiezza della valle o della conca, occorre valutare l'amplificazione con analisi almeno 2D.

A15 – Aree stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica e topografica

Questa classe comprende i terreni del tipo della classe precedente (A) ma con inclinazione del pendio maggiore di 15°. Queste aree sono suscettibili di amplificazione stratigrafica e topografica. È quindi richiesta la stima dell'amplificazione (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2) e, in caso di differenze di quota (dislivello) maggiori di 30 m, dovrà essere valutata anche l'amplificazione topografica e la sua area d'influenza.

C – Zona di attenzione per cavità sotterranee

La presenza di cavità può influenzare il moto sismico in superficie causando amplificazione complesse (2D e/o 3D) e cedimenti. In caso di interventi in queste aree dovranno essere effettuate approfondite indagini per la determinazione delle dimensioni e della geometria e la caratterizzazione degli effetti locali, che dovranno essere attentamente valutati con specifiche analisi di risposta sismica (approfondimenti di livello 3).

F – Zone di attenzione per instabilità di versante

Questa classe comprende i corpi di frana (attivi e quiescenti) con spessori della coltre non inferiore a 3 m e acclività della superficie topografica non superiore a 15°. In queste condizioni sono attese amplificazione stratigrafica e potenziali spostamenti/cedimenti per instabilità di versante. Per queste zone dovranno essere quindi valutate l'amplificazione e il grado di stabilità del versante, tenendo adeguatamente conto delle sollecitazioni sismiche (approfondimenti di livello 3).

F15 – Zone di attenzione per instabilità di versante $i > 15^\circ$

Questa classe comprende tutte le coltri detritiche di versante potenzialmente instabili in condizioni sismiche (corpi di frana attivi, quiescenti e stabilizzati, accumuli detritici di versante s.l., depositi alluvionali e riporti antropici) con spessori della coltre non inferiori a 3 m e acclività della superficie topografica maggiore di 15°. In queste zone sono attese amplificazioni, stratigrafica e topografica, e potenziali spostamenti/cedimenti per instabilità di versante. Per queste zone dovranno essere valutate, oltre all'amplificazione, anche il grado di stabilità del versante, tenendo adeguatamente conto delle sollecitazioni sismiche (approfondimenti di livello 3). Nella stima dell'amplificazione dovrà essere valutata anche la componente topografica e la sua area d'influenza.

L – Zone di attenzione per instabilità da liquefazione/densificazione

In questa classe sono inclusi le aree caratterizzate dalla presenza, nei primi 20 metri dal p.c., di depositi granulari non coesivi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose), saturi.

La presenza di depositi prevalentemente sabbiosi saturi, di spessore almeno pluridecimetrico, costituisce caratteristica predisponente il fenomeno della liquefazione, che può essere indotto da forti scosse sismiche ($PGA > 0,1g$ e magnitudo almeno pari a 5, condizioni scatenanti ovunque verificate nel riminese). Negli intervalli sabbiosi sopra falda e poco addensati si può comunque verificare il fenomeno della densificazione.

In queste zone dovranno essere valutati, oltre al coefficiente di amplificazione, la reale presenza di condizioni predisponenti la liquefazione e/o densificazione; quindi, dovranno essere stimati il potenziale di liquefazione/densificazione e i cedimenti attesi (approfondimenti di livello 3).

R – Zone di attenzione per escavazioni e accumuli di origine antropica

Questa classe comprende le aree interessate da modifiche della topografia e della stratigrafia, derivate da attività dell'uomo (cave, riempimenti, discariche, depositi di terre di scavo, terreni di riporto. ...), per le quali occorre un'attenta valutazione delle condizioni geologiche e morfologiche. In queste aree si dovrà valutare il coefficiente di amplificazione e, nel caso di pendii, anche il grado di stabilità in condizioni sismiche. I materiali di riempimento hanno spesso proprietà meccaniche più scadenti (materiali generalmente poco addensati) dei terreni circostanti e ciò può determinare amplificazioni, anche elevate. Inoltre, tali siti, data la morfologia del riempimento, possono essere soggetti ad effetti 2D o 3D. Infine, in caso di forti scosse gli accumuli antropici poco addensati possono rivelarsi instabili ed essere soggetti a cedimenti e spostamenti. Per queste aree si dovrà valutare l'amplificazione, anche con modellazioni 2D o 3D, e nel caso di pendii anche il grado di stabilità in condizioni sismiche (approfondimenti di livello 3).

Vista l'importanza che riveste la profondità del bedrock sismico nelle analisi di risposta sismica locale e la difficoltà di acquisire tale dato, con indagini di tipo corrente, in caso di forti spessori di copertura, si è ritenuto opportuno rappresentare anche in questa carta le isobate delle principali superfici del sottosuolo che costituiscono superfici discontinuità delle Vs. Sono state perciò riportate le isobate (quote riferite al livello del mare) del tetto dei depositi grossolani e delle superfici di base del Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (AES) e del Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore (AEI) già rappresentate nella cartografia "Carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali".

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Albareello D., Lunedei E., Pileggi D., Copioli C., Filippini M., Martelli L. (2011): Extensive ambient vibration survey supporting a “level 2” seismic microzoning of an urban area: the case of Rimini. 30° conv. GNGTS, sess. 2.2, Trieste 14-17/11/2011.

Bisch P., Carvalho E., Degee H., Fajfar P., Fardis M., Franchin P., Kreslin M., Pecker A., Pinto P., Plumier A., Somja H., Tsionis G. (2012): Eurocode 8: Seismic Design of Buildings. Worked Examples. European Commission, Joint Research Centre. 515 pp. Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, ISBN 978-92-79-23068-4, doi:10.2788/91658

Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P., Ottria G. (2002): Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Con note illustrative. Regione Emilia-Romagna - C.N.R., Pisa. S.EL.CA., Firenze.

Copioli C., Carlini R., Albareello D., Filippini M. Martelli L. (2011): Relazione di microzonazione sismica di secondo livello. Quadro Conoscitivo PSC, Sistema Ambientale e Naturale. https://www.comune.rimini.it/sites/comune.rimini.it/files/b.rel_.sis_.1304501251.pdf

DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>

Gruppo di Lavoro MPS (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Gruppo di Lavoro MS (2008): Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom.
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137

ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database. <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022): Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>

Martelli L., Filippini M., Bagli S., Severi P., Tomasetti F. (2006): Riduzione del rischio sismico nella pianificazione territoriale e urbanistica in Emilia-Romagna: definizione e rappresentazione della pericolosità sismica locale. *Il Geologo dell'Emilia-Romagna*, Boll. Uff. d'Inf. OGER, anno VI/2006, n. 24, 7-17.

Martelli L., Filippini M., Bagli S., Severi P., Tomasetti F. (2007): Seismic risk reduction: a local effects map for territorial and urban planning. The example of the Rimini Territorial Plan. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, Vol. 48, N. 2, June 2007, 151-126.

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

Martelli L., Santulin M., Sani F., Tamaro A., Bonini M., Rebez A., Corti G., Slejko D. (2017b): Seismic hazard of the Northern Apennines based on 3D seismic sources. *Journal of Seismology*, 21, 1251–1275. DOI 10.1007/s10950-017-9665-1

Meletti C., Valensise G. (eds) (2004): Zonazione sismogenetica ZS9. In: Gruppo di Lavoro, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, App 2, 38 pp.

Pieri M., Groppi G. (1981): Subsurface geological structure of the Po Plain. *Pubbl.414, PF Geodinamica*. C.N.R. pp. 23.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds) (2022): Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15), version 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
<https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

- **TERRE DI CULTURA,**
- **ACCOGLIENZA, CITTÀ,**
- **RESILIENZA.**