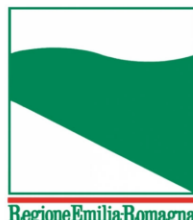




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Livello 2

Regione Emilia–Romagna

Comune di Rimini



Regione	Soggetto realizzatore Responsabile: Dott. Geol. Alessandro Merli	Data
Emilia–Romagna	Gruppo di lavoro: Geotema S.r.l. Dott Geol. Paolo Ciacci Ismgeo S.r.l. Ing. Marco Rinaldi	Maggio 2021

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INTRODUZIONE	4
3. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE	7
4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	22
4.1. Cartografia di base.....	22
4.2. Inquadramento Geomorfológico.....	23
4.3. Inquadramento Geologico-Strutturale	26
4.4. Assetto Stratigrafico	28
5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	46
5.1. Indagini di tipo geofisico.....	47
5.2. Indagini di tipo geotecnico	49
6. MODELLO DI SOTTOSUOLO	50
6.1. <i>Andamento delle Vs nel sottosuolo</i>	50
7. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	50
8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	51
9. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	52
9.1 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I	52
9.1.1 Carta geologico-tecnica	52
9.1.2 Carta delle frequenze naturali del terreno.....	54
9.1.3 Carta delle MOPS (Microzone Omogene in prospettiva Sismica).....	57
9.2 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO II	65
9.2.1. carta delle velocità delle onde di taglio Vs.....	65
9.2.2. Carta dei fattori di amplificazione stratigrafica (FA)	66
9.2.3 Fattori di amplificazione Topografica (FT).....	71
9.2.4 Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto “H _{SM} ”.....	76
10. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	78
11 CONCLUSIONI	87
12. BIBLIOGRAFIA	
ALLEGATI:	
- ALLEGATO 1: Prove geognostiche/geofisiche di nuova realizzazione	
- ALLEGATO 2: Sezioni geolitologiche	

1. PREMESSA

La microzonazione sismica, cioè la suddivisione dettagliata del territorio in base alla differente risposta rispetto ad un ipotetico terremoto, è 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 quelle zone a minore pericolosità e programmare interventi di mitigazione del rischio nelle zone in cui sono presenti particolari criticità.

La L.R. 20/2000 “Disciplina generale sulla tutela e uso del territorio” e la L.R. 19/2008 “Norme per la riduzione del rischio sismico”, richiedono l’esecuzione di studi di microzonazione sismica per la redazione e l’approvazione dei piani urbanistici comunali.

In data 02/05/07 la Regione Emilia-Romagna con deliberazione dell’Assemblea Legislativa n.112/2007 ha approvato gli “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”. Successivamente tali indirizzi sono stati aggiornati con l’atto di indirizzo e coordinamento tecnico approvato con Del. G.R. 2193/2015 ed in ultimo la più recente Del. G.R. 630/2019 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)”.

Anche il Dipartimento della Protezione Civile e la Conferenza delle Regioni e Province Autonome in data 13 novembre 2008 ha approvato gli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”, e con O.C.D.C.P. n. 293 del 26 ottobre 2015 e Deliberazione della Regione Emilia Romagna 573/2016 , sono stati definiti i criteri e le risorse finanziarie per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna.

Il comune di Rimini, pertanto, essendo in possesso dei requisiti indicati dall’ O.C.D.C.P. n. 293 del 26 ottobre 2015 ha ottenuto il relativo finanziamento e gli studi che sono stati previsti per le aree urbanizzate e urbanizzabili del comune destinatario del contributo sono relativi agli approfondimenti di Microzonazione Sismica di III livello; tuttavia, preliminarmente a tale approfondimento, si procede all’adeguamento degli studi di Microzonazione Sismica di primo e di secondo livello (inizialmente redatti nell’ambito del PSC comunale), secondo gli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” contemplati nella medesima DGR 630/2019, in conformità ai criteri definiti al relativo All. “A”. Lo studio sarà accompagnato dall’analisi della Condizione Limite di Emergenza (CLE) oltre che dall’archiviazione informatica di primo e secondo livello secondo le indicazioni dell’allegato “A” della medesima delibera. Per migliorare ed aggiornare il livello di rappresentazione ed archiviazione dei dati, entrambi gli studi CLE ed MS sono stati adeguati rispettivamente ai più recenti Standard 3.1 e 4.1.1 del 2019.

2. INTRODUZIONE

A seguito di un terremoto, si ha spesso modo di osservare come la distribuzione dei danni sul territorio sia assai eterogenea a parità di vulnerabilità dell'edificato. Le condizioni geologico-tecniche degli strati più superficiali, nonché le caratteristiche geomorfologiche possono concorrere, infatti, a modificare localmente lo scuotimento indotto da un terremoto. Per un'efficace azione di prevenzione, in materia di rischio sismico, è necessario tener conto non solo, quindi, della zonazione sismica nazionale, ma anche di eventuali sfavorevoli condizioni locali, a scala comunale o sub comunale. Particolarmente rilevanti sono i cosiddetti effetti di amplificazione di sito, ossia l'insieme delle variazioni in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, rispetto ad una formazione rocciosa di base, subisce attraversando gli strati sovrastanti, fino alla superficie. Tali effetti sono causati, essenzialmente, da un processo di intrappolamento e risonanza dell'energia del terremoto all'interno di un volume di sottosuolo costituito da materiali sedimentari a bassa impedenza sismica (IS: prodotto della velocità di propagazione dell'onda per la densità del mezzo attraversato) e posto sopra ad un dominio con più alta IS, per esempio un substrato roccioso o un suolo particolarmente rigido. L'identificazione delle aree soggette ad amplificazione sismica è dunque di fondamentale importanza per la pianificazione e lo sviluppo urbanistico comunale. Uno studio di questo genere prende il nome di Microzonazione Sismica ed ha lo scopo di individuare porzioni del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo.

La messa a punto di una procedura condivisa per lo studio di questi fenomeni è stata recentemente oggetto di un intenso lavoro di coordinamento e sintesi delle conoscenze finora disponibili da parte della Conferenza delle Regioni che, con il coordinamento del Dipartimento della Protezione Civile, ha messo all'opera una grande quantità di tecnici ed esperti per la messa a punto, nel 2008, degli **“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”** (figura 2.1).

Le prime esperienze regionali sulla microzonazione dopo vari eventi sismici e alcune normative regionali su tale ambito hanno rappresentato le condizioni preliminari per creare delle basi comuni e condivise, recependo quanto è stato elaborato e sperimentato a livello scientifico e sviluppando le istanze espresse in vario modo dalle Regioni e dalle amministrazioni.

Il gruppo di lavoro, coadiuvato anche dalle osservazioni da parte di soggetti esterni (Consiglio nazionale dei Geologi, Consiglio nazionale degli Ingegneri, Associazione Geotecnica Italiana, ecc.), nel corso della sua attività ha evidenziato che la sperimentazione e l'applicazione degli **“Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”** rientra a pieno titolo nei programmi nazionali di previsione e prevenzione previsti dall'articolo 4 della legge n°225 del 24 Febbraio 1992.

Questo testo, che rappresenta un punto di riferimento per tutte le attività di microzonazione sismica ad opera degli Enti territoriali, definisce una serie di protocolli e tecniche di indagine del sottosuolo applicabile ai

settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.



Figura 2.1- Copertina dell'elaborato "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica"

In funzione dei diversi contesti, dei diversi obiettivi e delle disponibilità economiche le linee guida (Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica) prevedono 3 differenti livelli di approfondimento, con complessità, impegno e costi crescenti.

Livello 1: è un livello propedeutico ai veri e propri studi di microzonazione sismica, in quanto consiste nella messa a punto di un quadro conoscitivo generale in base a dati preesistenti ed indagini a basso costo realizzate ex-novo. L'obiettivo è l'individuazione in pianta di una serie di settori definiti "microzone" all'interno dei quali è possibile ipotizzare un comportamento sismico dei terreni omogeneo.

Livello 2: introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee definite nel livello 1. A ciascuna microzona viene associato un fattore di amplificazione (FA) computato attraverso appositi abachi realizzati "ad hoc" per tutto il territorio regionale in base alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche.

Livello 3: restituisce una carta di microzonazione sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari (p.es. fenomenologie legate a cedimenti e liquefazione).

Nel presente rapporto tecnico-scientifico vengono illustrati gli elaborati e i prodotti informatici relativi alle indagini e agli studi svolti nell'ambito della Microzonazione Sismica sino al II livello di analisi, delle aree urbanizzate e urbanizzabili presenti nel territorio comunale di Rimini (RN), (figura 2.2). In Tabella 2.1 è riportata una sintesi della documentazione e degli elaborati cartografici redatti per il presente studio:

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
 Relazione Illustrativa

Tabella 2.1 – sintesi della documentazione e degli elaborati cartografici in allegato alla relazione

Titolo Elaborato	Scala	N° tavole
Carta delle Indagini	Scala 1:10.000	3
Carte delle Frequenze naturali dei Terreni (F0, A0 - F1, A1 - F2, A2)	Scala 1:10.000	12
Carta Geologico Tecnica	Scala 1:10.000	3
Carta delle MOPS	Scala 1:10.000	3
Carta delle Velocità delle onde di taglio S	Scala 1:10.000	3
Carte di Microzonazione sismica di II Livello	Scala 1:10.000	27

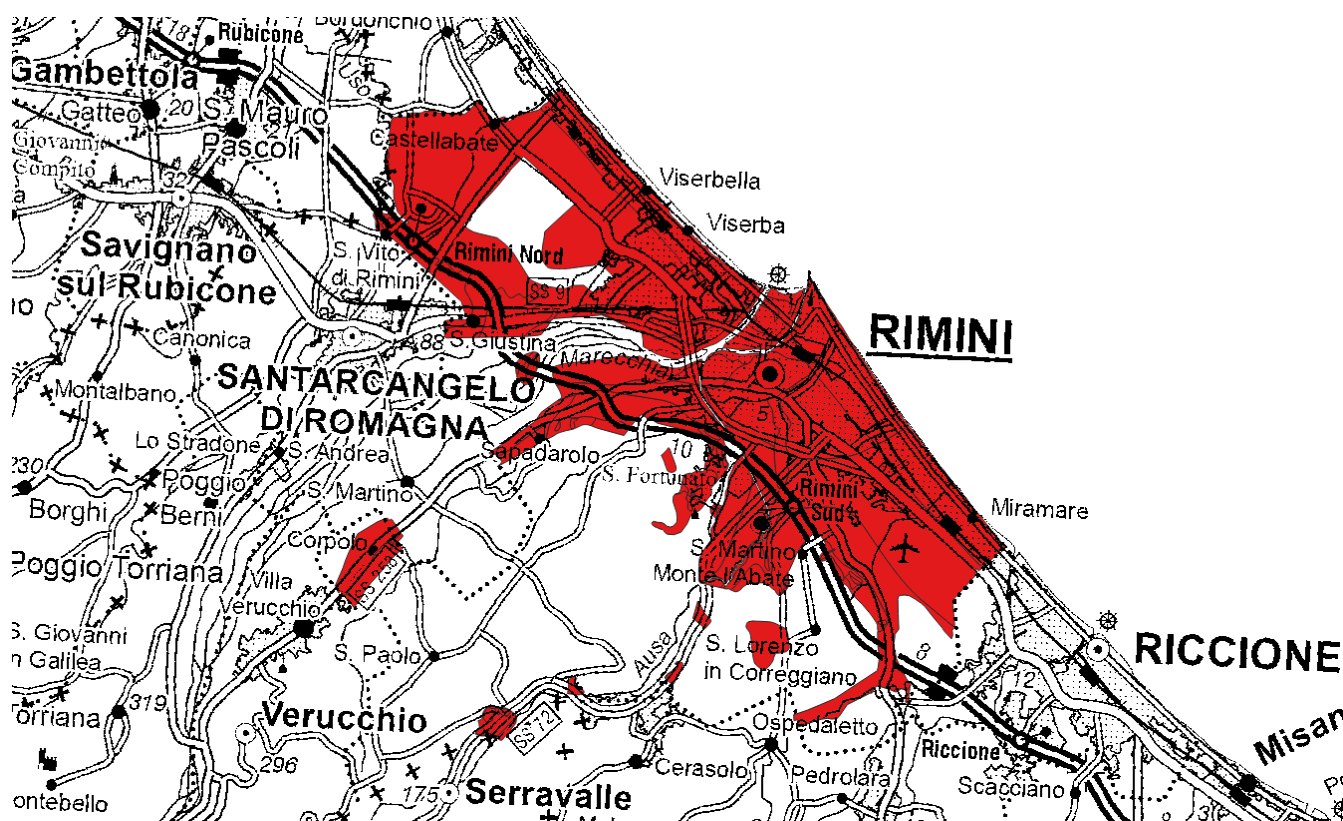


Figura 2.2- Zone oggetto di studio nell'ambito del territorio urbanizzato/urbanizzabile del comune di Rimini.

3. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE

Il territorio in studio del comune di Rimini interessa una vasta ed articolata area della Provincia di Rimini e si estende su un'area complessiva di 135,71 km², contando 148 688 abitanti (Figura 3.1), contraddistinto dal Codice Istat: 099014.

Per la definizione della sismicità storica del territorio in studio è stato consultato il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (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. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>). La successiva Tabella 3.1 riporta i principali eventi sismici (scosse principali "mainshock") risentiti nel comune in esame. Per ogni evento sismico sono riportate: data, area epicentrale, intensità epicentrale I_0 (valori in scala MCS), magnitudo momento M_w (stimata da correlazioni empiriche o misurata) e intensità al sito I_s (MCS).



Figura- 3.1: Evidenziato in rosso il territorio appartenente al comune di Rimini esteso dalla costa sino alla Repubblica di San Marino, oggetto del presente studio di MS.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

Tabella 3.1 – Storia sismica del Comune di **RIMINI** (estratta dal DBMI15).

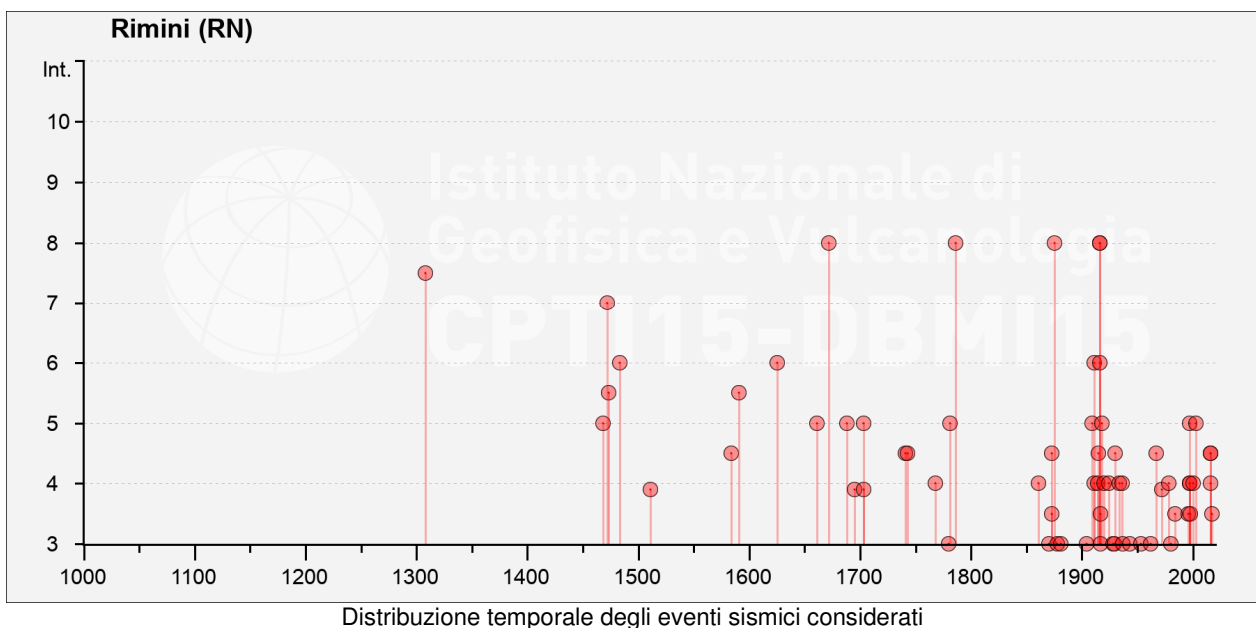
Effetti	In occasione del terremoto del			NMDP	Io	Mw
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale				
7-8	1308 01 25 17 15	Rimini	1	7-8	5.33	
5	1468 06 06 10 30	Romagna	3	4	3.70	
7	1472	Rimini	1	7	5.10	
5-6	1473 02 02	Rimini	1	5-6	4.40	
6	1483 08 11 19 40	Romagna	14	8	5.69	
F	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9	6.32	
4-5	1584 09 10 20 30	Appennino forlivese	17	9	5.97	
5-6	1591 07 10	Romagna	6	6-7	5.13	
6	1625 12 05	Rimini	1	6	4.63	
5	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9	6.05	
8	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.59	
5	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5.84	
F	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6.40	
F	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92	
5	1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6.67	
4-5	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6.17	
4-5	1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9	6.68	
4	1768 10 19 23	Appennino forlivese	45	9	5.99	
3	1780 05 25	Romagna	5	5-6	4.40	
5	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6.12	
8	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5.66	
4	1861 10 16	Romagna	10	6-7	5.13	
3	1870 10 30 18 34	Forlivese	41	8	5.61	
4-5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85	
3-4	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29	
NF	1874 10 07	Imolese	60	7	4.96	
8	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74	
3	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4.84	
3	1881 09 28	Cesena	24	6-7	4.71	
3	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.10	
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34	
4	1911 02 19 07 18 30	Forlivese	181	7	5.26	
6	1911 03 26 13 51	Riminese	9	5	5.04	
NF	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4.65	
4	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63	
4-5	1915 01 13 06 52 43	Marsica	1041	11	7.08	
8	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82	
6	1916 06 16 01 27	Riminese	17	6	4.82	
8	1916 08 16 07 06 14	Riminese	257	8	5.82	
2	1916 11 16 06 35	Alto Reatino	40	8	5.50	

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1917	04	26	09	35	59	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99
3-4	1917	12	02	17	39		Appennino forlivese	32	6-7	5.09
5	1918	11	10	15	12	28	Appennino forlivese	187	9	5.96
4	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	750	10	6.53
4	1924	01	02	08	55	13	Senigallia	76	7-8	5.48
2	1926	01	01	18	04	03	Carniola interna	63	7-8	5.72
3	1928	05	30	20	01		Senigallia	17	5	5.02
3	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05
4-5	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83
4	1934	11	30	02	58	23	Adriatico settentrionale	51	5	5.30
4	1936	10	18	03	10		Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3	1937	11	26	21	58	30	Costa pesarese	7	5	4.16
3	1943	10	03	08	28	29	Ascolano	170	8	5.67
3	1953	12	14	07	11	06	Appennino forlivese	48	5-6	4.70
2	1961	05	08	22	45	51	Forlivese	40	5	4.37
3	1962	01	23	17	31		Costa pesarese	49	5	4.35
NF	1962	08	30	06	27	07	Montefeltro	23	6-7	4.76
4-5	1967	12	30	04	19		Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
F	1972	11	30	11	25	2	Costa pesarese	30		4.52
4	1978	12	05	15	39	04	Romagna	34	4-5	4.61
3	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
2	1983	11	09	16	29	52	Parmense	850	6-7	5.04
3-4	1984	04	29	05	02	59	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1993	11	07	23	21	1	Cesenate	36	4-5	3.95
3-4	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5	1997	09	26	09	40	0	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
2	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
2-3	2000	05	08	12	29	0	Faentino	126	5	4.67
2-3	2000	05	10	16	52	0	Faentino	151	5-6	4.82
4	2000	08	01	02	34	31	Montefeltro	84	5-6	4.27
2	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
5	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
NF	2006	10	21	07	04	1	Anconetano	287	5	4.21
4-5	2016	08	24	01	36	32	Monti della Laga	221	10	6.18
4	2016	10	26	19	18	0	Valnerina	77		6.07
4-5	2016	10	30	06	40	1	Valnerina	379		6.61
3-4	2017	01	18	10	14	9	Aquilano	280		5.70

Estratto della tabella esplicativa riportante i parametri che costituiscono il formato sintetico del database:

Field Description	Se Origin time: seconds
N Record number (in chronological order)	EpicentralArea Epicentral area or area of the largest macroseismic effects
Year Origin time: year	Mw moment magnitude
Mo Origin time: month	NMDP Number of macroseismic data point
Da Origin time: day	Imax Maximum intensity
Ho Origin time: hour	Io Epicentral intensity
Mi Origin time: minutes	*N.F (not felt-non avvertito)



L'esame della storia sismica indica quali eventi di maggior rilevanza: il terremoto "Riminense" del 1308, 1472, 1672, 1786, 1875 e del 1916. Tali sismi hanno generato in prossimità della zona epicentrale il massimo risentimento e danno ($VII \leq I_s \leq VIII$ MCS); l'ultimo evento, in termini temporali, di maggior risentimento significativo è stato quello del Riminese 1916, di cui in fig. 3.2 a) e b) viene riproposto lo stralcio della carta dei risentimenti macrosismici INGV rispettivamente per gli eventi principali del 17 maggio e 16 agosto 1916. Inoltre in fig. 3.3 si propongono le carte delle isosisme ricostruite da INGV per i maggiori terremoti storici della Romagna.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

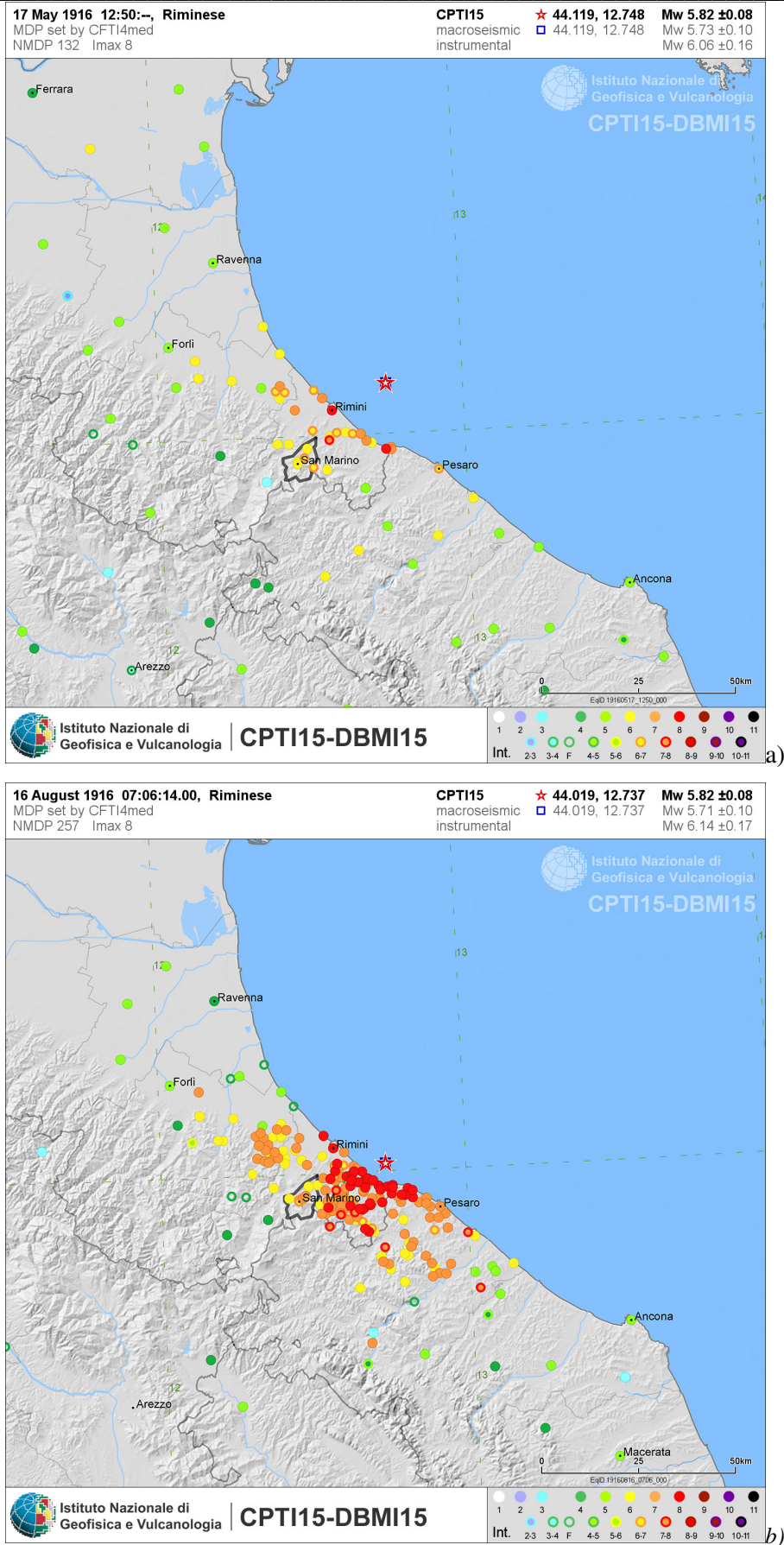
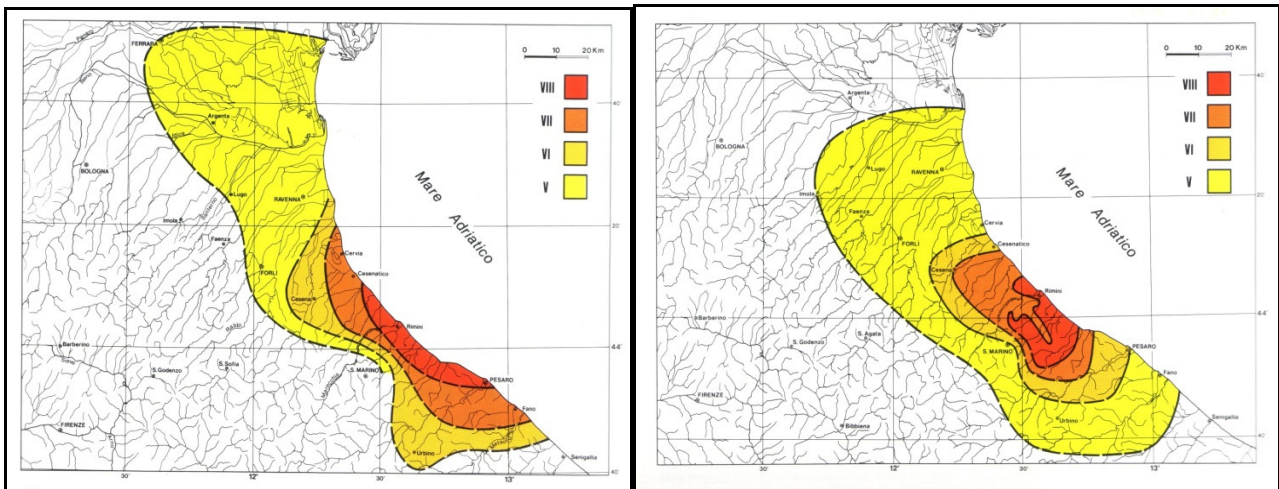


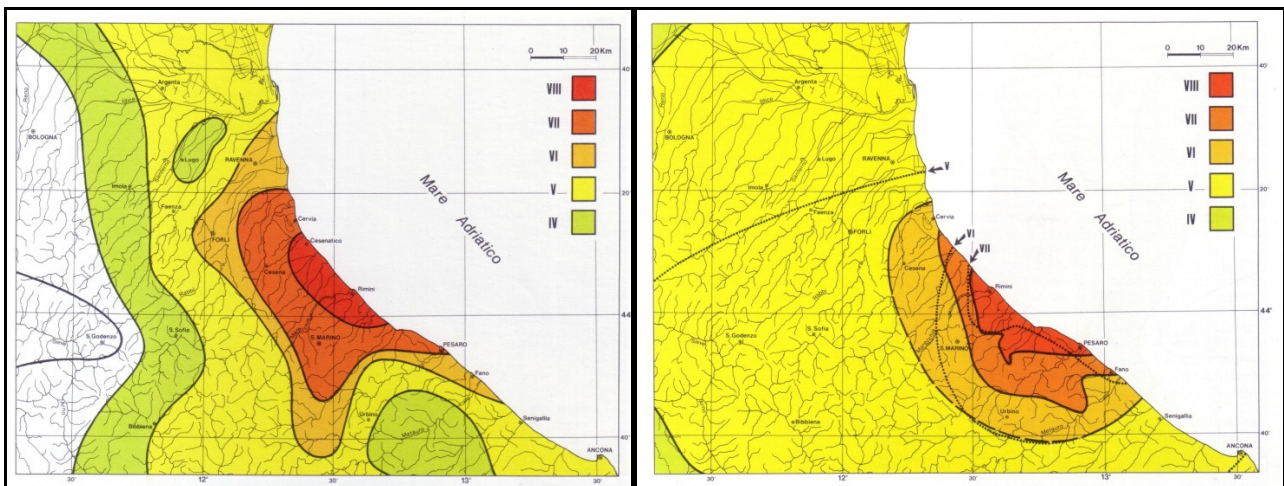
Figura- 3.2: Carta del risentimento macrosismico – terremoto Riminese eventi maggio/agosto 1916 - DBMI15 (a e b)

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa



Terremoto del 14 aprile 1672

Terremoto del 25 dicembre 1786



Terremoto del 17 marzo 1875

Terremoto del 17 maggio – 16 agosto 1916

Figura - 3.3: Carte delle isosisme in cui le aree colorate dal rosso al verde corrispondono a parti di territorio colpite da effetti di severità decrescente. (DISS3/INGV).

In base alla disposizione degli epicentri, nonché da una verifica sul database DISS 3.2 (Database of Individual Seismogenic Sources) realizzato dall'INGV, è possibile risalire alle aree sismogenetiche che hanno contribuito alla sismicità storica della zona in studio ed alla pericolosità sismica dell'area (vedi fig. 3.4); in tal caso si tratta di sistemi di faglia appenninici e costieri prevalentemente di natura compressiva.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

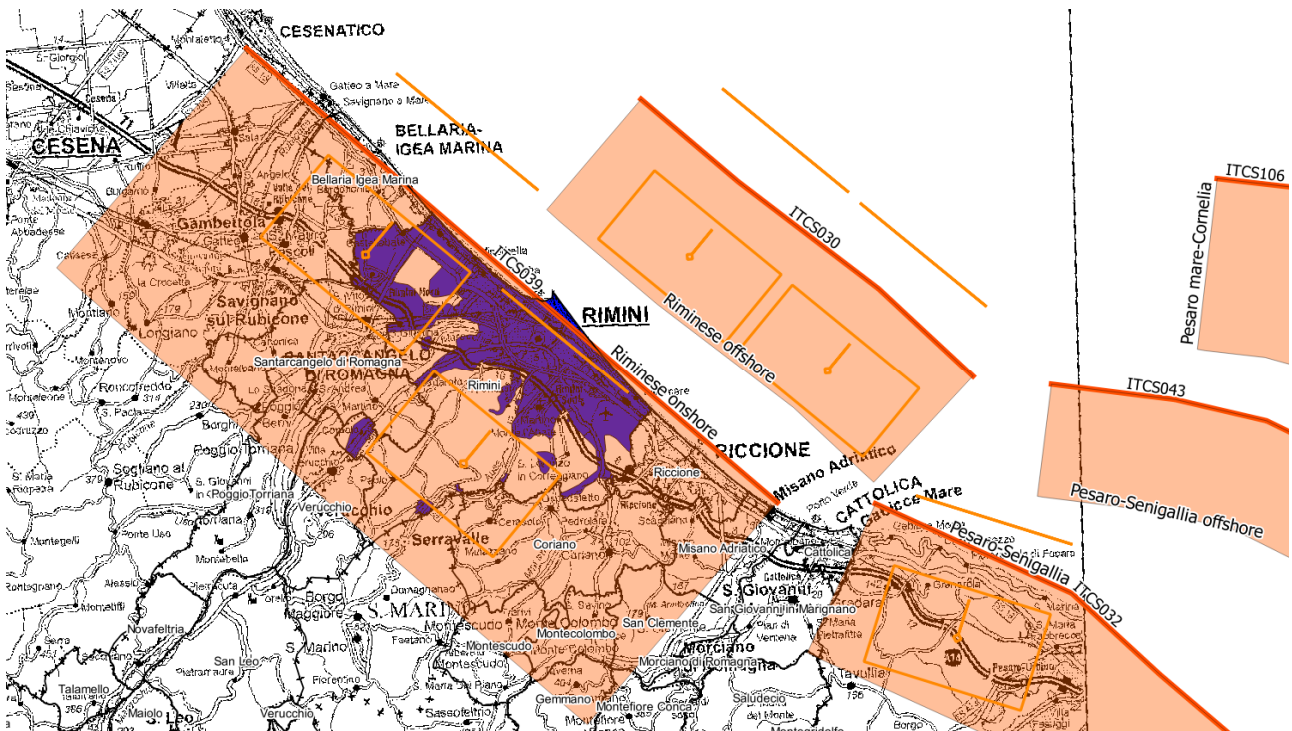
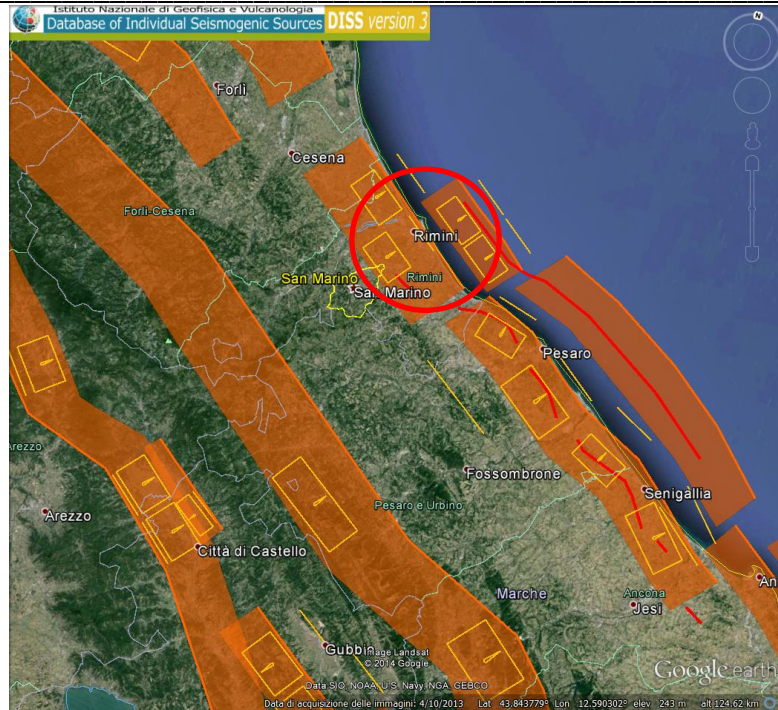


Figura – 3.4: Sorgenti sismogenetiche (Id-Nome-Max Magnitudo) individuate dal catalogo DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Come riportato da “La sismicità della zona costiera adriatica nord-marchigiana di Stefano Mazzoli e Chiara Macchiavelli” si trae che studi effettuati in tempi recenti da gruppi di ricerca (Borraccini et alii, 2002, 2005; Di Bucci et alii, 2003; Santini et alii, 2011; Macchiavelli et alii, 2012), la sismicità della zona costiera e delle Marche settentrionali mostra un comportamento complesso, caratterizzato da una notevole variabilità delle orientazioni degli assi di massima e minima compressione (Fig. 3.5)

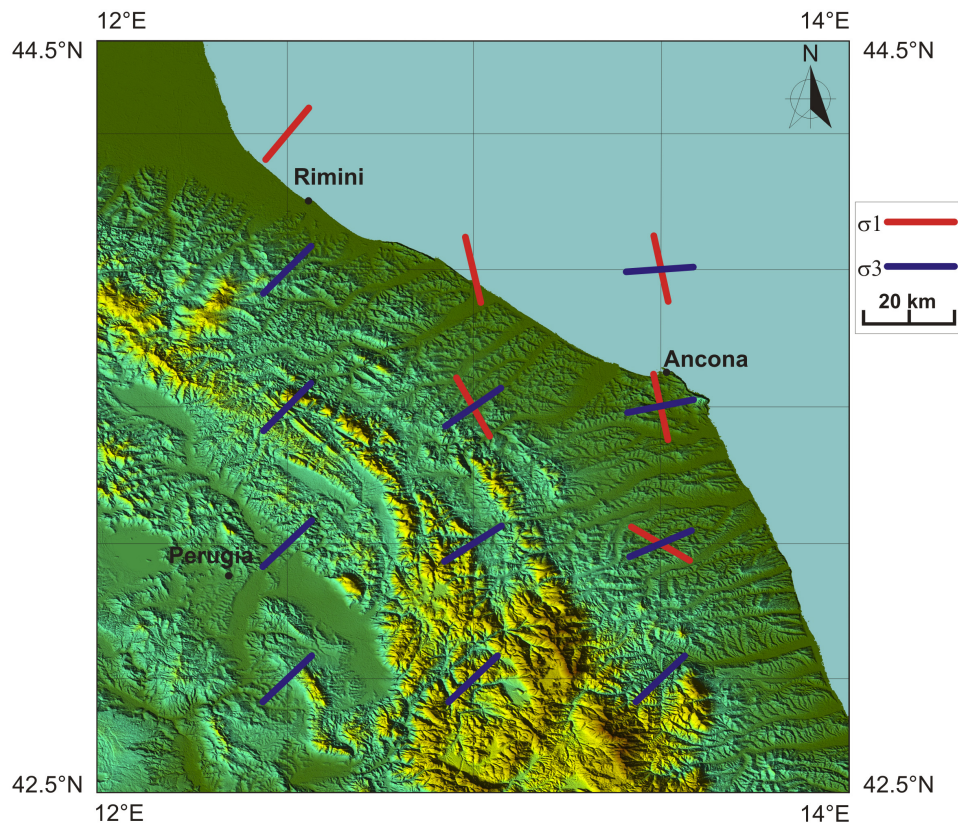


Figura 3.5 – Proiezione in mappa degli assi di massima compressione (σ_1) e minima compressione (σ_3) per l'area umbro-marchigiano-romagnola (da Macchiavelli et alii, 2012).

Nonostante un notevole dibattito scientifico esista circa la cinematica delle faglie attive ed campo di stress attualmente dominante nell'area d'interesse (Frepoli & Amato, 1997, 2000; Montone et alii, 1999, 2004, 2012; Boncio et alii, 2000; Di Bucci & Mazzoli, 2002; Vannoli et alii, 2004; Chiarabba et alii, 2005; Pondrelli et alii, 2006; Basili et al., 2007; Boncio & Bracone, 2009; Piccinini et alii, 2009; Pierdominici et alii, 2012; Macchiavelli et alii, 2012), tutti gli Autori concordano sul fatto che le faglie attive principali che controllano la sismicità dell'area siano rappresentate da strutture con direzione circa parallela alla costa e immersione dominante verso sud-ovest (costituite, almeno originalmente, da faglie inverse).

Inoltre dai diagrammi di disaggregazione per magnitudo (M) e distanza (R) in Figura 3.6 (T_r 475 anni), desunti dal Progetto DPC-INGV-S1 (2006) e Iervolino et Al. 2011, si osserva come i maggiori contributi alla pericolosità dell'area siano legati al sistema di faglie costiere adriatiche (onshore e offshore) entro i 20 Km di distanza (valore medio $R < 10$ km). In maniera minore sembrano intervenire, quindi, i grandi sistemi appenninici conosciuti in letteratura come Etrurian Fault System (EFS) e Umbria Fault System.

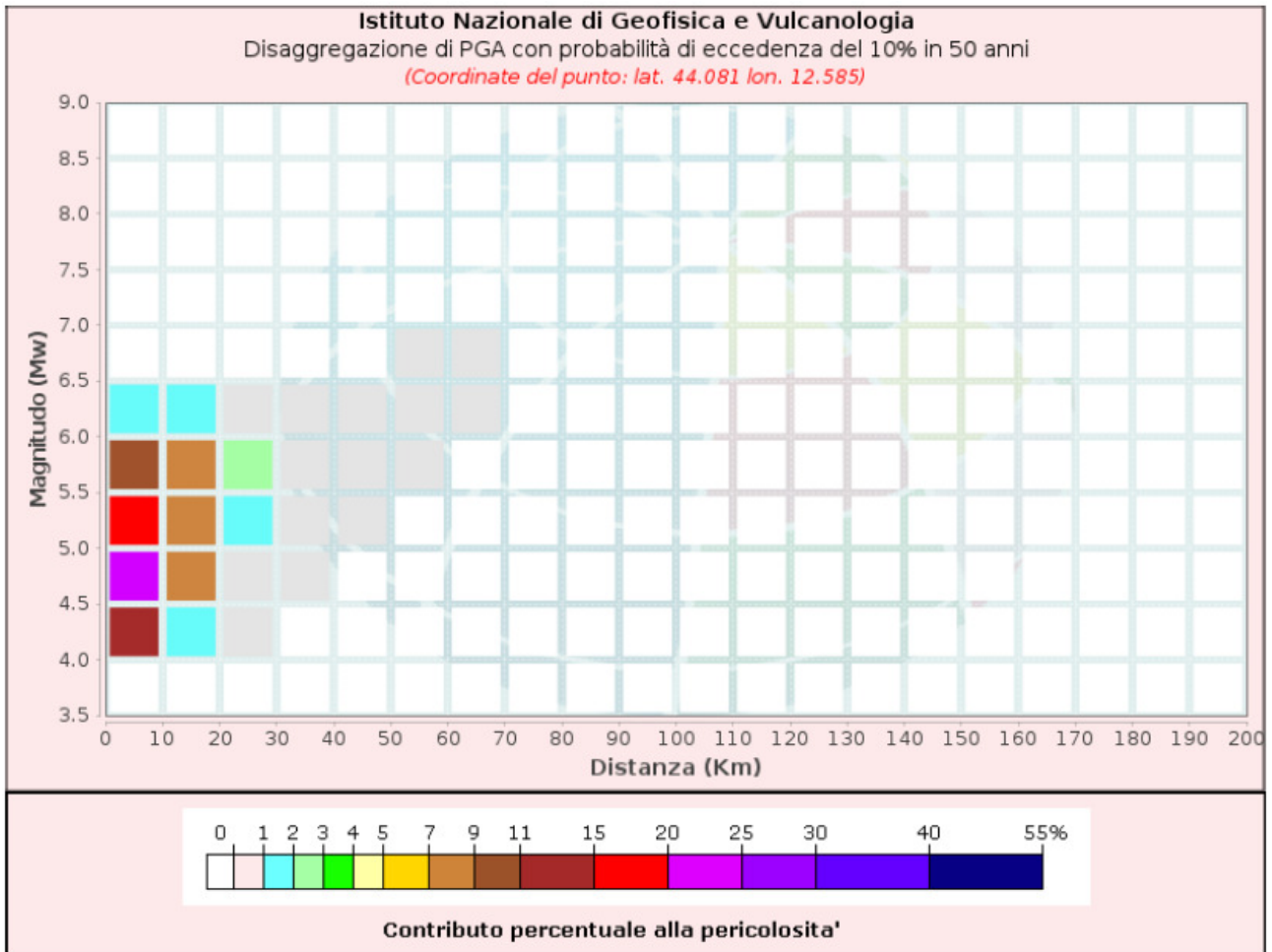
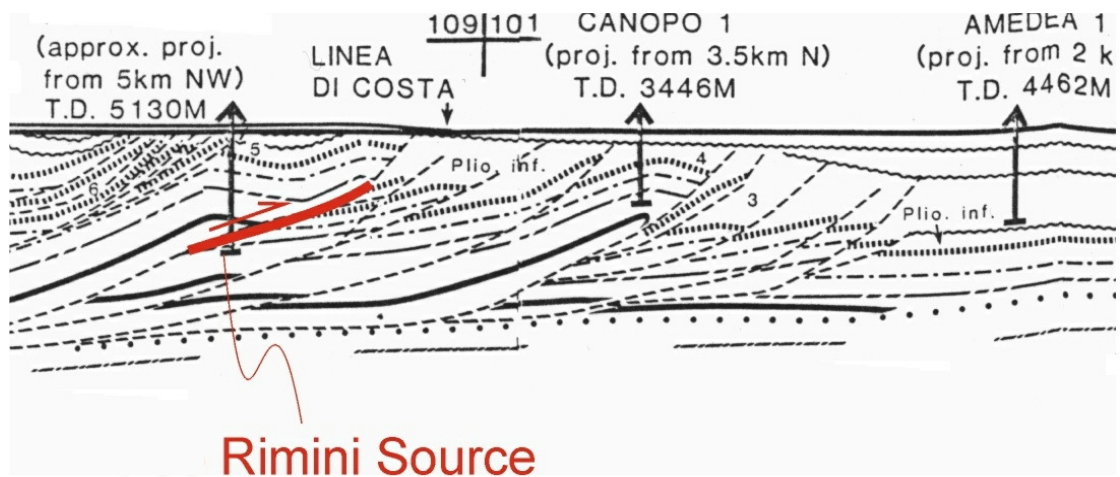


Figura 3.6–Diagramma di disaggregazione riferito alla zona baricentrale dell’area comunale di Rimini

Nelle tabelle 3.7, 3.8 e 3.9 vengono indicate le caratteristiche generali dei principali sistemi sismogenetici composti **ITCS030-032-039** sulla base di evidenze empiriche e dati di letteratura da catalogo DISS 3.2:

Tabella 3.7 Principali parametri della sorgente sismogenetica ITCS039 (da DISS 3.2).

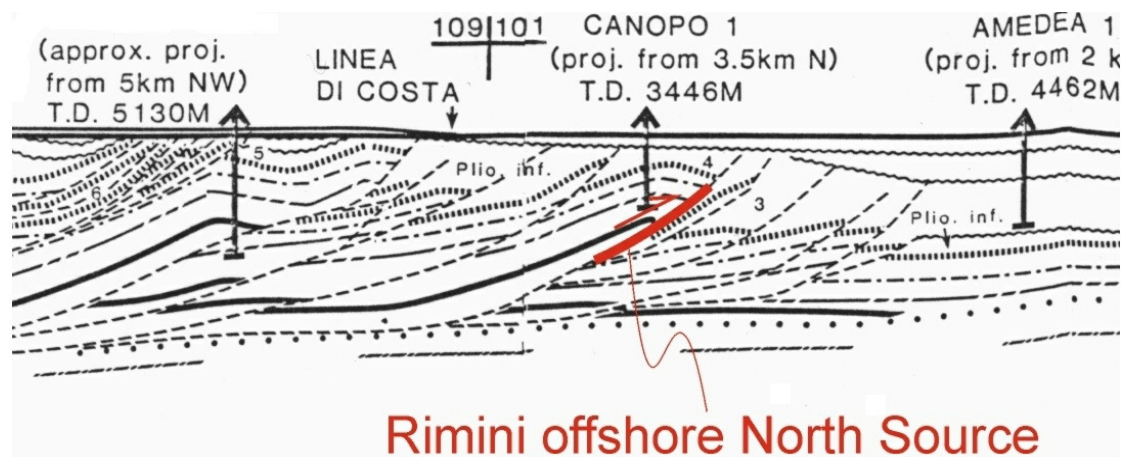
ITCS039 – RIMINESE ONSHORE	
Min Depth (km)	2
Max Depth (km)	10
Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	1.0 - 1.07
Max Magnitude (Mw)	5.9



Sorgente sismogenetica ITC039 - Riminese "on-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006

Tabella 3.8 Principali parametri della sorgente sismogenetica ITCS030 (da DISS 3.2).

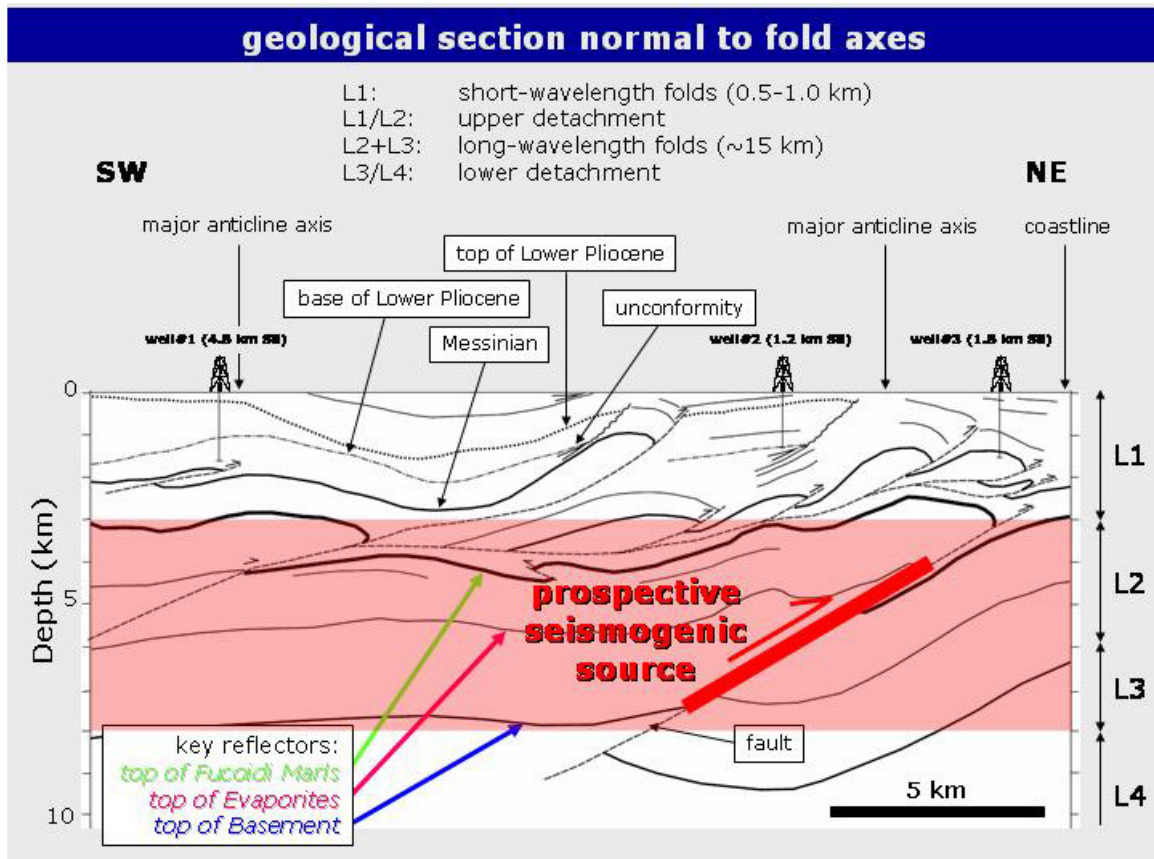
ITCS030 – RIMINESE OFFSHORE SOUTH	
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	7
Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.2 - 0.52
Max Magnitude (Mw)	6.1



Sorgente sismogenetica ITC030 - Riminese "off-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006.

Tabella 3.9 Principali parametri della sorgente sismogenetica ITCS032 (da DISS 3.2).

ITCS032 – PESARO-SENIGALLIA	
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	7.5
Strike (deg)	105 - 145
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.2 – 0.52
Max Magnitude (Mw)	6.1



Hypothetical location of the Senigallia earthquake source based on a seismic reflection profile. The correlative fault is a main thrust which generates long-wavelength folds, (From Basili et al. [2004]).

Infine per quanto attiene la stima dei valori di Mw attesi nell'area può essere utilizzato lo studio ZS9 del 2004 ("Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV), il quale è una rielaborazione della precedente sismozonazione ZS4 (Meletti et al, 2000), ripensata in base sia a nuove valutazioni del potenziale sismogenetico sia rispetto a nuove analisi eseguite sui terremoti storici e considerazioni statistiche.

La zona di studio ricade prevalentemente entro la zona "Rimini-Ancona" definita come ZS n. 917 (ad est), tuttavia una piccolissima porzione sudoccidentale risulta rientrare nella n. 918 denominata "Medio-Marchigiana/Abruzzese" (ad ovest), come evidenziato in figura 3.7.

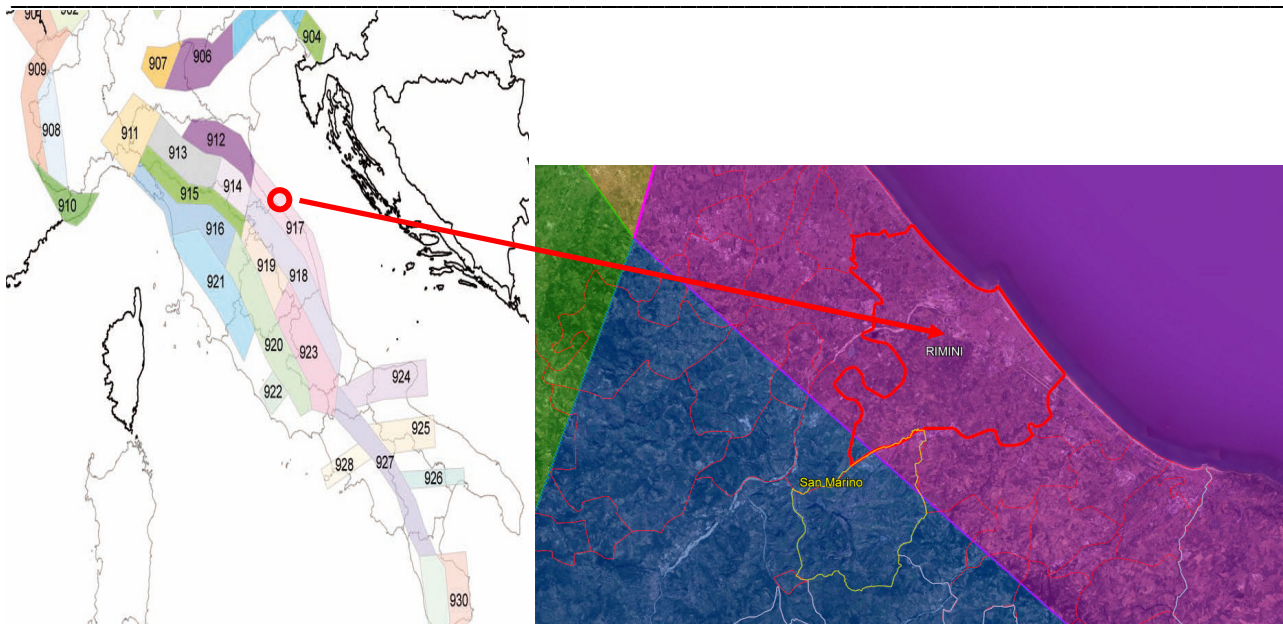


Figura 3.7–Dettaglio della Zonazione Sismogenetica ZS9 (“Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica” dell’INGV, 2004). Evidenziata in viola la ZS n. 917 “Rimini-Ancona” ed in celeste la ZS n. 918 “Medio-Marchigiana/Abruzzese”.

Le caratteristiche associate a tali zone prevedono:

- Un meccanismo focale prevalente.
- Una Magnitudo Momento Massima “Osservata” ($M_w\text{-max1}$) definita sia dalle analisi legate agli eventi storici sia su basi geologiche legate al Database of Individual Seismogenic Sources (DISS).
- Una Magnitudo Momento Massima “Cautelativa” ($M_w\text{-max2}$) definita aggiungendo un margine di sicurezza rispetto alla $M_w\text{-max1}$ in relazione alle conoscenze strutturali, geofisiche e sismologiche.

Zone	917	918
Meccanismo focale	inverso	indeterminato
Mw-Max	6.14	6.37

Tali valori risultano sostanzialmente in linea con la recente carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Edizione 2016, di cui in figura 3.8a e 3.8b se ne riporta uno stralcio illustrativo.

Anche in quest’ultima zonazione proposta dalla regione le aree in studio ricadono pienamente nella Zona 4 (mentre una piccolissima appendice meridionale del territorio comunale ricade a cavallo delle zone 17 e 20), per la quale i meccanismi focali associabili alle principali faglie attive risultano prevalentemente di tipo inverso, con una orientazione caratteristica SW/30 (direzione di immersione) e profondità ipocentrali comprese fra 5-15 km; la magnitudo massima ivi osservata storicamente risulta pari a $M_w=6.1$, mentre quella massima calcolata per scenari futuri, sulla base dei modelli di analisi adottati, porta a valori pari a $M_w\text{max}= 6.16\pm 0.21$.



Fig. 3.8 - Stralcio cartografia zonazione carta sismotettonica 2016 Emilia Romagna (a-b)

In conclusione si può osservare come ben pochi dei terremoti significativi verificatisi nella storia sismica del riminese e lungo la costa del Comune di Rimini abbiano presentato delle magnitudo inferiori a 5/5.5 e grado di intensità MCS<7-8. Pertanto, considerati i cataloghi storici e le relative incertezze, gli studi dell'INGV, la zonazione ZS9 e le indicazioni I.C.M.S. nonché la recente Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, in relazione alle finalità e tipologia di studio, si ritiene adeguata una magnitudo momento massima di riferimento pari a **Mw=6.16**.

In figura 3.10 invece viene riportato un ulteriore dettaglio dell'area. Oltre alle zone sismogenetiche individuate dal DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia, in quest'altra figura vengono visualizzati gli andamenti delle principali faglie attive e capaci tratte dal catalogo *ITHACA* (ITHACA Working Group (2019). *ITHACA (Italy HAZard from Capable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>*).

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

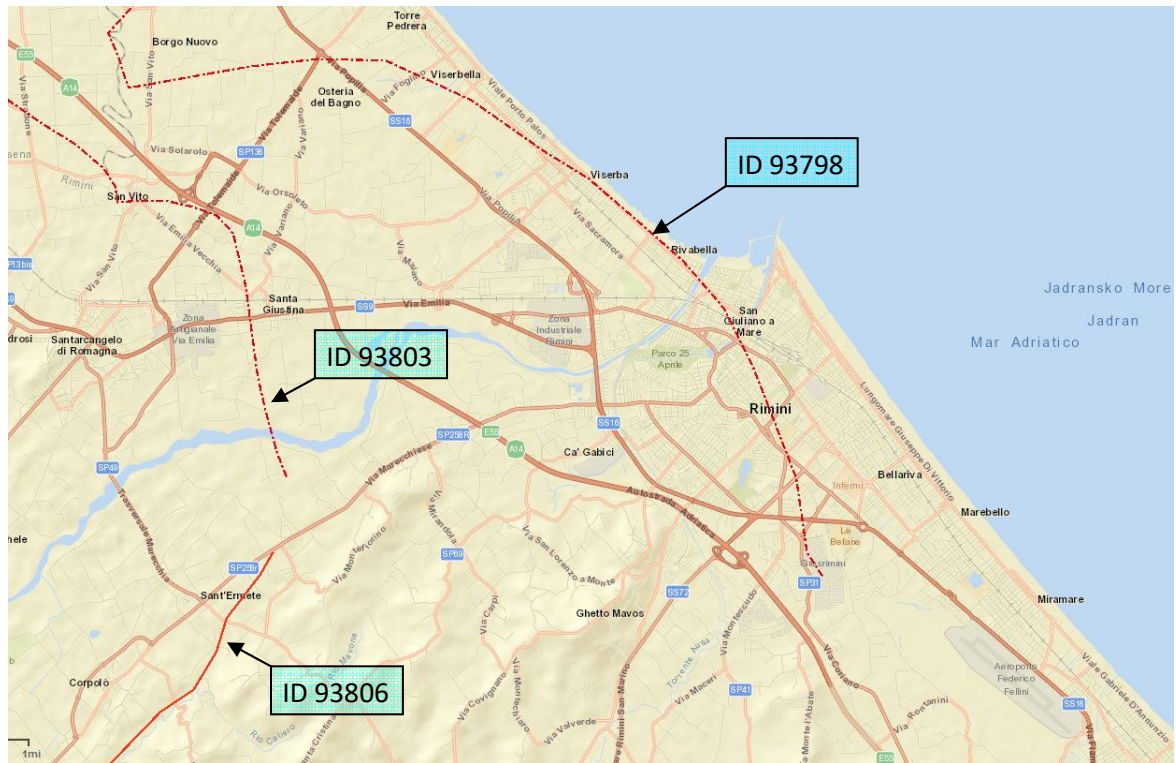


Figura 3.10 – Dettaglio catalogo ITHACA delle faglie attive e capaci e relativo codice identificativo.

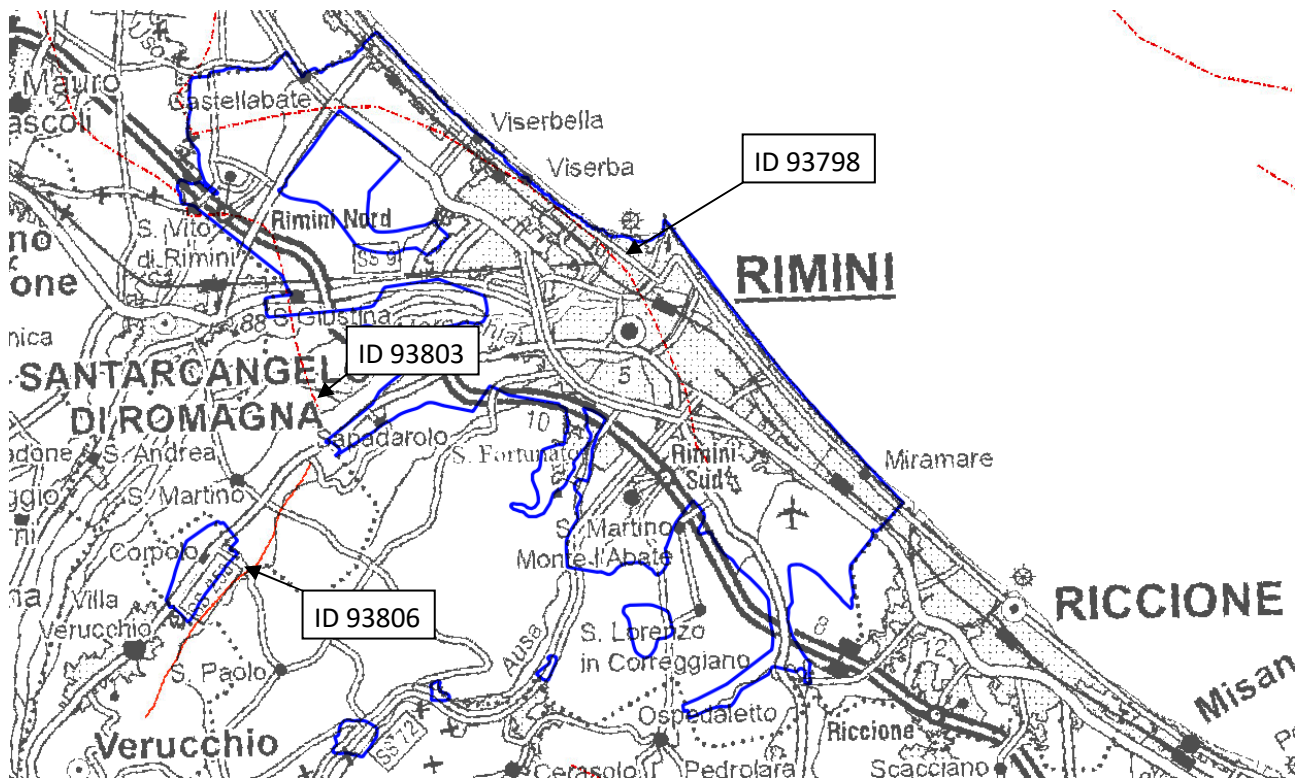


Figura 3.11 – Sovrapposizione faglie capaci ITHACA con le aree oggetto di studio (poligoni blu).

Dalle figure 3.10-3.11 si evince come entro il territorio comunale venga interessato da due strutture di faglia con cinematismo “inverso”, con direzione NW-SE, denominate “Rimini-Ravenna” (Fault code 93798) e “Sant’Arcangelo di Romagna - Ravenna” (Fault code 93803), nonché da un elemento minore a cinematismo “normale”, orientato NE-SW, denominato “F. Marecchia – Ravenna” (Fault code 93806); tuttavia i dati disponibili nel catalogo ITHACA riportano una scarsa conoscenza di tali strutture, trattandosi di sovrascorrimenti profondi post-tortoniani dedotti (secondo carta geologica Web-Gis Emilia Romagna), così come non ci sono evidenze superficiali né elementi noti su recenti attività, per cui la qualità delle informazioni è ritenuta bassa.

In conseguenza di ciò si può affermare che nel territorio oggetto di studio non vi siano situazioni accertate riconducibili a “zone di faglia attiva e capace” in grado di condizionare la pericolosità sismica locale e che, pertanto, possano essere segnalate negli studi di Microzonazione Sismica, come previsto negli I.C.M.S. (gruppo di lavoro MS 2008), nella versione 1.0 a titolo “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci FAC”.

Per completare l’inquadramento sismico dell’area, in accordo con quanto descritto nell’Allegato A4 alla Delibera di G.R. 630/2019 della Regione Emilia-Romagna, per ciascuna zona significativa interna al Comune in studio è possibile, infine, calcolare lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) a partire da un moto di riferimento al bedrock (*PGA0*).

La definizione del moto sismico di riferimento (in termini di *PGA0* al bedrock) si basa sui valori di pericolosità elaborati da INGV per il territorio nazionale resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi (circa 5.5 km) nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema “Sismica Microzonazione Sismica”.

Il valore di *arefg* relativo a ciascun sito analizzato si ottiene interpolando i valori di *arefg* definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. Tale valore corrisponde all’accelerazione di ancoraggio prevista al bedrock per lo spettro elastico normalizzato regionale e per cui:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato è rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%);
- i valori di *arefg* di ogni comune sono riferiti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni;

In figura 3.12 viene illustrato uno stralcio di insieme della griglia di punti con i valori di *PGA0* di riferimento sostanzialmente derivato dal progetto DPC-INGV-S1:

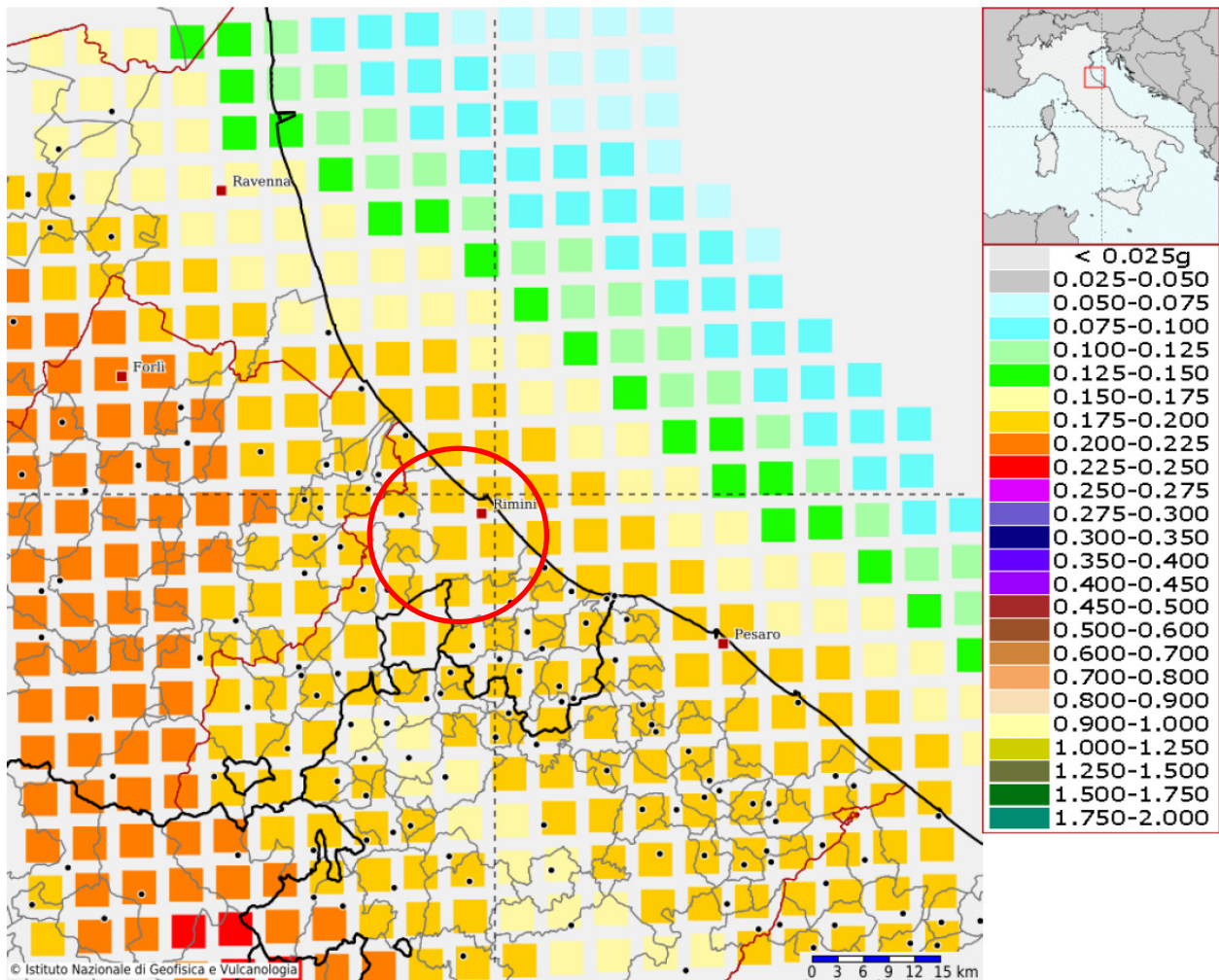


Figura 3.12 – Dettaglio griglia punti di analisi PGA0 attraverso disaggregazione, progetto DPC-INGV-SI Web-Gis

4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

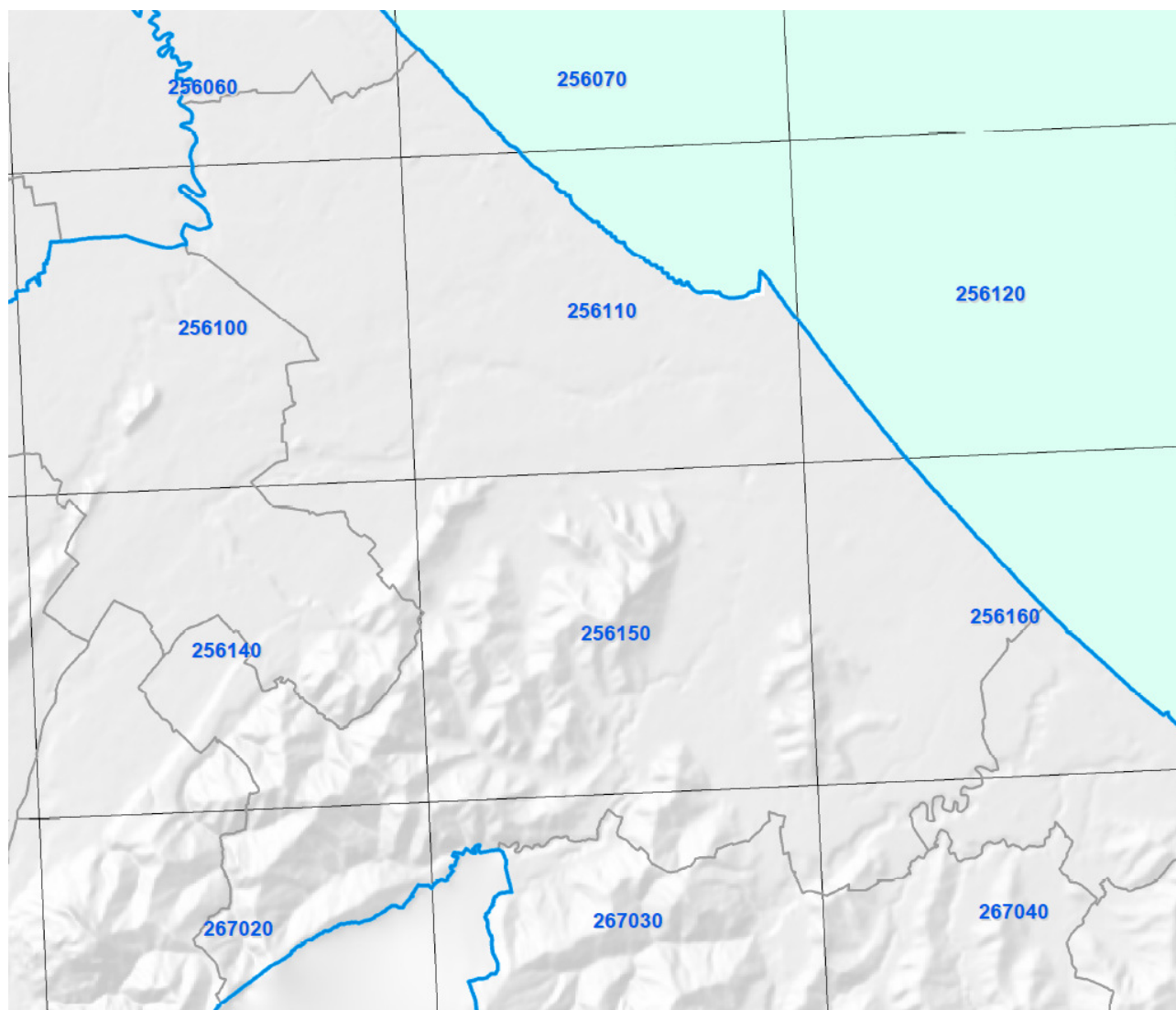
4.1. Cartografia di base

Al fine di realizzare un corretto inquadramento del sito di interesse, è stata reperita la seguente documentazione pregressa:

- Carta Geologica D'Italia Foglio 256 (Rimini) e 267 (San Marino) scala 1:50.000 (Progetto Carg).
- Banca Dati della Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna.
- Quadro Conoscitivo PTCP2007-Variante 2012 Rimini
- Il Paesaggio Geologico dell'Emilia-Romagna della Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, sismico e dei suoli Anno 2009.
- PSC del Comune di Rimini.

4.2. Inquadramento geomorfologico

Il territorio del comune di Rimini è caratterizzato da una morfologia alquanto eterogenea che interessa aree di piana costiera, pianeggianti intravallive e rilievi collinari.



Assetto morfologico del territorio del Comune di Rimini

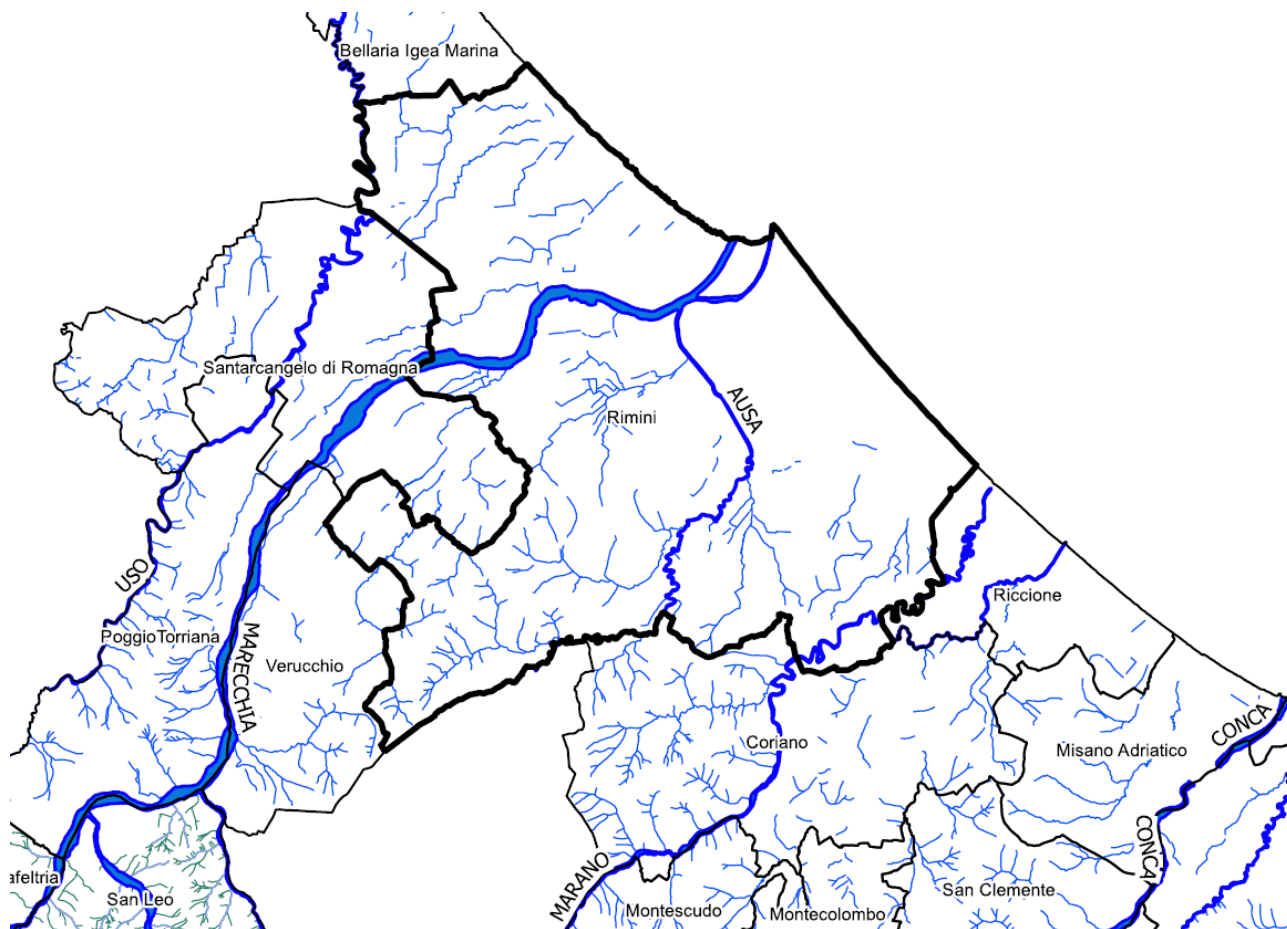
Come si può osservare dalla carta sopra riportata, la parte nord orientale del territorio in studio è caratterizzata principalmente da una morfologia costiera prossima al livello del mare, modellata dai processi fluviali e dall'interazione con le correnti costiere. Subito alle spalle (procedendo verso SW) si ergono i primi rilievi collinari, interclusi dal reticolo idrografico principale e minore e dalle aree pianeggianti intravallive; tra queste ultime, procedendo da nord verso sud, si rilevano quelle principali relative al Torrente Uso, al Fiume Marecchia, al Torrente Ausa e, più a sud, al Torrente Marano.

La morfologia di piana costiera ed alluvionale rappresenta la maggior parte del territorio comunale. Parallelamente allo sviluppo delle valli alluvionali sopracitate, in direzione SW-NE si osservano le linee di crinale collinare che fungono da spartiacque tra i bacini idrografici principali del Marecchia ed Ausa e

produttivo. La fascia costiera, congiuntamente al centro storico, ospita la maggior densità urbanistica e le principali infrastrutture ferroviarie, portuali ed aeroportuali della Provincia.

Dal punto di vista idrografico, nel territorio studiato si possono distinguere quattro corpi idrici principali, partendo da N verso S, con foce diretta in Adriatico: Uso, Marecchia, Ausa, e Marano. Si evidenziano inoltre rii e fossi affluenti dei corsi d'acqua principali appartenenti alla rete scolante secondaria.

Lo schema generale del reticolo idrografico nel territorio comunale è riportato nella seguente carta di inquadramento generale.



Carta del reticolo idrografico principale

In linea generale, anche per i corsi d'acqua principali, si tratta di corsi d'acqua a carattere torrentizio con forti magre estive e piene straripanti nei periodi autunno-invernali. Tale situazione di portate estreme è dovuta principalmente al regime pluviometrico (deflussi legati agli afflussi meteorici) ed alla presenza di terreni scarsamente permeabili (argille, marne, argille marnose).

La rete idrografica minore è caratterizzata da criticità connesse a problematiche assai dissimili a quelle relative alle aste principali: negli areali di pianura le situazioni di pericolosità sono infatti essenzialmente legate a difficoltà nello smaltimento delle acque piovane in occasione di eventi di pioggia particolarmente intensi, in relazione ai tombinamenti dei tratti urbani, mentre nel territorio montano-collinare si evidenziano

criticità spesso connesse a fenomeni di sovralluvionamento o di erosione di sponda. Merita attenzione il tratto terminale del Fiume Marecchia (circa due chilometri) il cui corso storico transitava sotto al ponte di Tiberio (situato all'ingresso settentrionale della città storica) per poi sfociare in mare tramite il porto canale. Tra il 1924 e il 1930, per evitare le periodiche esondazioni, fu costruito un alveo artificiale denominato "Deviatore del Fiume Marecchia". A seguito di questa deviazione, la foce attuale è situata nei pressi di San Giuliano Mare e Rivabella.

4.3 Inquadramento geologico-strutturale

Il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera sono il prodotto del sistema ad embrici e accavallamenti che regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica.

Secondo le recenti ricerche dell'AGIP (Pieri e Groppi, 1981) la Pianura Padana meridionale costituisce una stretta fascia allungata parallelamente ai rilievi del bordo appenninico entro cui si è verificato un consistente accumulo di depositi soprattutto neogenici. La presenza di strutture tettoniche sepolte drappeggiate ed annegate da tali depositi, storicamente ipotizzata, è stata accertata attraverso la realizzazione di "sezioni sismiche".

Lungo il bordo appenninico esterno e la fascia di pianura antistante gli elementi strutturali accatastati vengono a formare un prisma di accrezione che per la complessa interferenza tra l'attività tettonica e quella sedimentaria assume i caratteri di una pronunciata fossa tettonica (Scandone, 1980) denominata "Avanfossa appenninico-adriatica" (Ori G.G., Roveri M.e Vannoni F., 1986). L'intrecciarsi di complessi meccanismi sedimentari e tettonici hanno dato luogo alla formazione di bacini alla fronte e sulla parte retrostante degli accavallamenti traslando con essi all'interno della avanfossa. Il risultato finale è quello di un consistente impilamento di sedimenti caratteristici della successione sedimentaria plio-peistocenica sino a quelli olocenici della zona di studio.

Di seguito si riporta uno schema tettonico dell'Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna (Servizio Geologico, 2004) e una sezione trasversale regionale (Fantoni e Franciosi, 2009) (Figure 4.1 e 4.2).

La tettonogenesi della nostra area inizia nel Tortoniano, in corrispondenza di una fase tettonica molto accentuata ad occidente, quando la fascia romagnolo - marchigiana interna, ubicata sul fronte della catena, costituisce una depressione fortemente articolata in piccoli bacini con sviluppo parallelo all'asse appenninico ("Bacini minori intrappenninici"; Ricci Lucchi, 1975). Il bordo appenninico esterno e l'avanfossa appenninico - adriatica propriamente detta, iniziano a delinarsi durante il Messiniano migrando nella fascia esterna e trovano il loro massimo sviluppo nel pliocene inferiore quando la tettonogenesi appenninica raggiunge il suo acme e la catena si estende ormai su tutta l'area.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
 Relazione Illustrativa

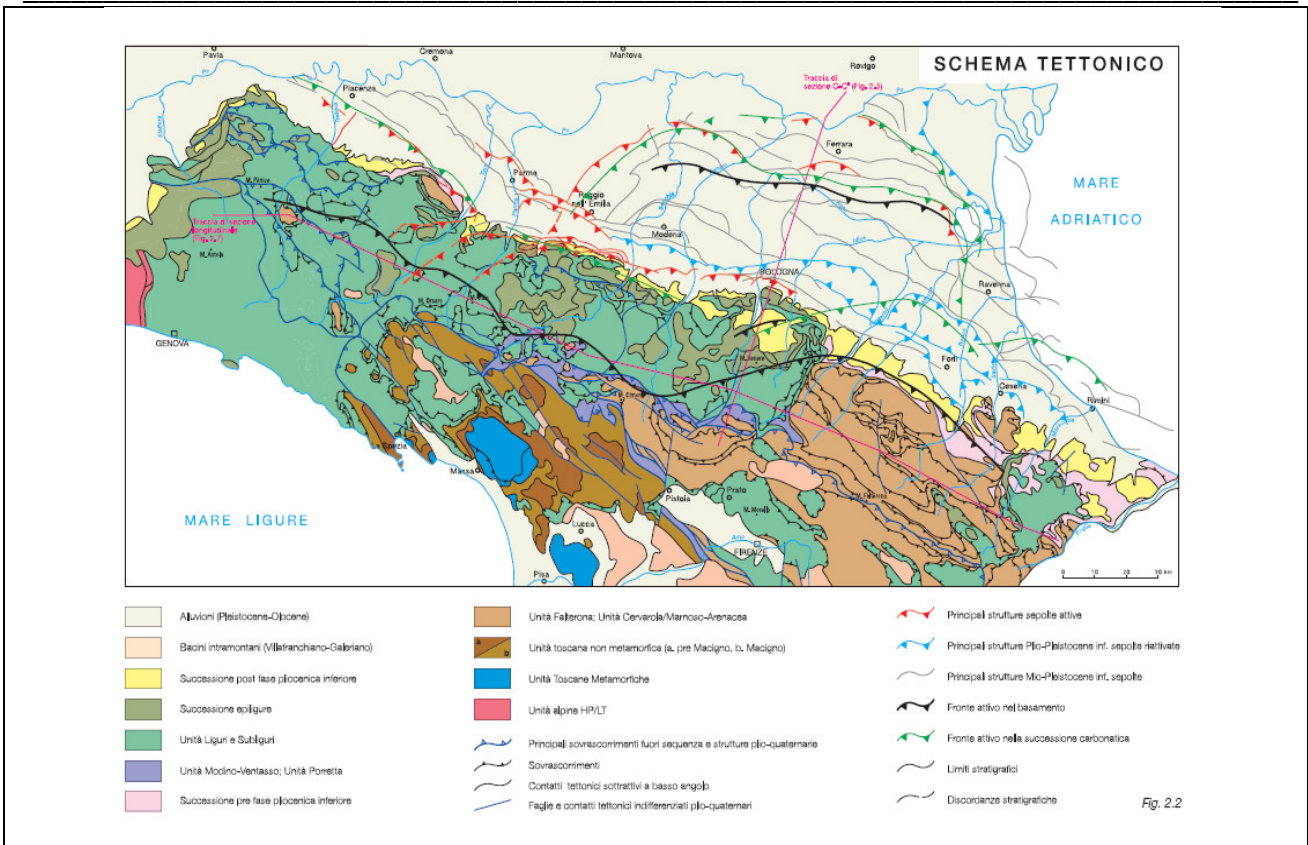


Figura 4.1 – Schema tettonico dell’Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna.

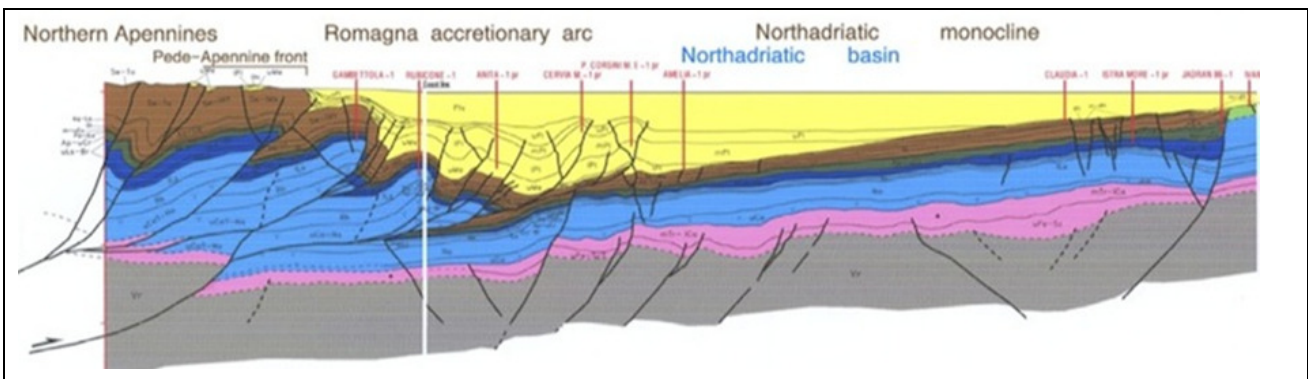


Figura 4.2 – Sezione trasversale regionale (Fantoni e Franciosi, 2009)

Durante il pliocene medio - superiore la distensione, legata all’avanzamento del fronte estensionale tirrenico, comincia ad interessare la parte più interna della catena mentre i principali fronti compressivi sono ubicati nella fascia romagnolo - marchigiana esterna determinandone il sollevamento e la parziale emersione.

Nel pleistocene inferiore - medio i fronti compressivi migrano in Adriatico. Si hanno movimenti differenziali verticali delle aree che continuano anche nel “Pleistocene glaciale” influenzando lo sviluppo e la tipologia della sedimentazione. L’attività tettonica non si è ancora esaurita, almeno nella fase avanzata dell’orogenesi (Pianura Padana, Adriatico) come è dimostrato dalla frequente attività sismica della regione.

4.4 Assetto stratigrafico

Le caratteristiche geologiche del territorio comunale non risultano di particolare complessità; esso comprende infatti le ultime pendici collinari di età sostanzialmente Pliocenica-Pleistocenica, le alluvioni continentali terrazzate della pianura (Pleistocene- Olocene) e i depositi costieri (Olocene-attuali). I terreni affioranti si sono venuti costituendo in posto (a differenza ad esempio di quelli affioranti nella vicina Valmarecchia che sono migrati in senso orizzontale) e pertanto si presentano in successione stratigrafica normale, con termini più antichi in basso e i più recenti in alto.

Il territorio riminese è caratterizzato per la parte collinare dai depositi di origine Plio-pleistocenica prevalentemente di natura argillosa. Ben rappresentato risulta anche il cosiddetto “Gruppo del Santerno”, comprendente le marne, argille e tripoli di Corpolò (TCO), le argille e arenarie di Borello (FAA2) le arenarie e argille di Savignano (SVG), le sabbie di Imola (IMO). Queste formazioni comprendono termini che vanno dal Pliocene inf. (5,2 - 3,5 m.a.) al Pleistocene inf. (1,8-0,7 m.a.).

Nei colli di San Martino Monte l’Abate, San Lorenzo in Correggiano e Covignano compaiono soprattutto le litologie SVG, SVGa, IMO; in zona di Covignano, nella parte sommitale, affiorano le caratteristiche “sabbie gialle” debolmente cementate (comunemente e impropriamente chiamate “tufo”) appartenenti alle sabbie di Imola (IMO) del Pleistocene medio. Sulle formazioni plioceniche poggiano i depositi argillosi e sabbiosi del Pleistocene sui quali sono stati deposti dai corsi d’acqua, nel corso delle loro divagazioni, sedimenti limosi, sabbiosi e ghiaiosi di origine alluvionale.

Verso mare questi sono interrotti dal gradino morfologico della paleofalesia, a valle della quale sono presenti depositi sabbiosi di transizione di origine litorale, lagunare e marina. Tali depositi costituiscono la piana costiera, estesa tra la falesia fossile e l’attuale linea di costa, secondo una tipica morfologia pianeggiante, caratterizzate da un’ampia piana sabbiosa originata dall’interazione tra processi continentali (alluvionali) e marini (litorali). La quota altimetrica è compresa tra lo zero del livello marino medio e +3,0/3.7 ml s.l.m..

Per il territorio comunale di Rimini sono, dunque, state individuate 3 principali macro-aree:

- **MACROAREA LITORALE:** comprende la zona litorale e di piana costiera.
- **MACROAREE ALLUVIONALI:** comprende la piana alluvionale del sistema Marecchia-Ausa, prevalente su tutto il territorio e quelle marginali del Torrente Uso e del Melo-Marano che si sviluppano rispettivamente verso le ultime propaggini settentrionali e meridionali del territorio comunale.
- **MACROAREA COLLINARE:** riguarda tutta la zona collinare che si estende nel settore sudoccidentale del territorio interessata dall’affioramento delle formazioni geologiche Plio-Pleistoceniche.

Di seguito è riportata una breve descrizione delle caratteristiche geo-litologiche di ciascuna macro-area rilevata.

MACROAREA LITORALE

L'estensione lineare del tratto costiero consente un'azione piuttosto regolare da parte delle correnti litorali e la formazione di una fascia sabbiosa estesa anche a distanza dalle foci fluviali che hanno costituito e costituiscono attualmente in misura meno rilevante, le fonti di alimentazione per lo sviluppo del sistema deposizionale litorale. In conseguenza dell'intensa urbanizzazione, talora spinta fino al limite della zona di azione del moto ondoso di tempesta, alcune caratteristiche morfologiche del paesaggio costiero quali cordoni e dune sabbiose sono scomparse, lasciando spazio ad estese aree urbanizzate ed ad un diffuso appiattimento degli arenili a seguito dell'intensa attività turistico-balneare.

La larghezza dell'arenile dipende dalle correnti marine che determinano zone di deposizione e d'erosione, dalla migrazione delle foci nel tempo, dalla presenza di manufatti trasversali quali porti, moli, scogliere ed in genere tutte le opere antropiche, che modificano il regolare sviluppo delle correnti stesse, infine dalla presenza di manufatti longitudinali che condizionano la deposizione in particolare a seguito di mareggiate.

Spostandosi verso l'entroterra, ad una distanza variabile da circa 600 ml sino ad oltre 1250 ml dalla linea di riva, al di là della fascia di lidi (ora urbanizzata), è evidente un gradino morfologico di alcuni metri. Tale salto di pendenza determina un terrazzamento costiero linearmente esteso dal Comune di Cattolica (a S.E.) fino a quello di Igea Marina (a N.O.) se si eccettua l'interruzione centrale da parte del cono alluvionale del Fiume Marecchia.

I depositi sabbiosi di litorale sono riconducibili all'ultima glaciazione che abbassò il livello marino circa 100 mt al di sotto del livello attuale. La linea di costa si trovava tra Pescara e Zara nord, dalla quale si sviluppava un'ampia pianura alluvionale solcata dai corsi d'acqua che erano affluenti del Po. Le conoidi create dai fiumi sono costituite da elevati spessori ed attualmente le loro terminazioni si ritrovano in mare a distanze notevoli dall'attuale linea di costa. Con l'alternarsi di fasi di glaciazioni e di seguenti miglioramenti climatici (scioglimento dei ghiacci) il livello del mare subì abbassamenti ed innalzamenti determinando conseguenti regressioni e trasgressioni delle acque marine sulle terre emerse e viceversa.

La falesia, composta da depositi limo-argillosi recenti, rappresenta il limite tra la pianura alluvionale a S.O. ed il prisma sedimentario sabbioso litorale a N.E. riferibile alla trasgressione Flandriana (Olocene) successiva all'ultima glaciazione (Wurm). La scarpata rappresenta il prodotto dell'azione erosiva del mare durante la fase di massima ingressione verificatasi circa 5.000 anni fa (Veggiani, "La linea di spiaggia"). Successivamente le variazioni oloceniche del livello marino hanno portato la linea di riva a lambire più volte la falesia.

La regressione marina dell'ultimo millennio ha creato lo scenario attuale dove l'avanzata della spiaggia sul mare è stata nettamente prevalente almeno fino agli ultimi decenni. Essa ha comportato un accrescimento dell'arenile per un valore medio di circa 2.3 mt tra il 1820 e il 1970 ("L' Erosione Marina tra i Litorali di Cervia e Pesaro"; Antoniazzi A., 1976) nel tratto costiero a sud del porto canale con indubbio vantaggio per l'attività turistico-balneare.

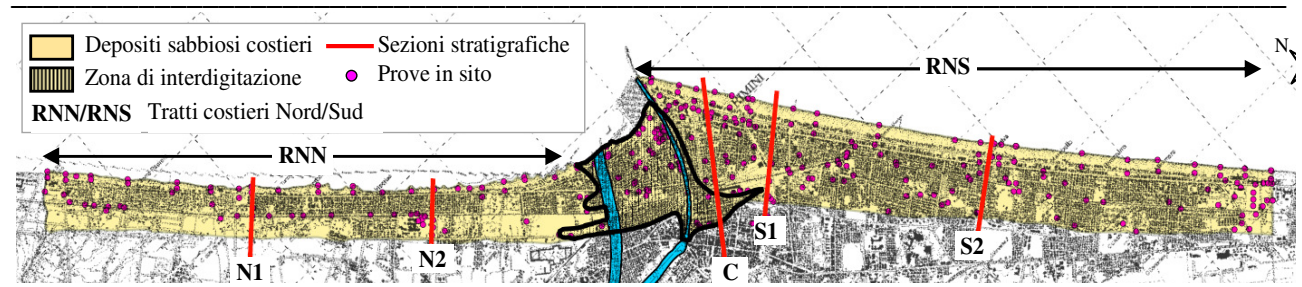
La serie marina che ricopre in contatto discordante quella alluvionale (trasgressione Flandriana) è costituita da sabbie medie o medio-fini, generalmente ben classate, con laminazione a basso angolo cuneiforme o concavo - convessa, talora evidenziata da allineamenti di livelli di frustoli vegetali. Localmente si possono rinvenire alternanze sabbioso-limose e limo-argillose, che denunciano un'elaborazione incompleta dei sedimenti di apporto alluvionale da parte del moto ondoso. Le strutture sedimentarie rivelano una situazione di media-elevata energia deposizionale, in ambienti di mare basso o litorale dominati dal moto ondoso e/o da correnti lungocosta. La presenza occasionale di ghiaie in livelli organizzati e con ciottoli ben arrotondati, denota sia la vicinanza di fonti d'apporto grossolano, sia elaborazione da parte delle correnti costiere e del moto ondoso.

La scarpata netta della paleofalesia incide i depositi continentali in modo riconoscibile soprattutto nella zona nord del territorio comunale, da Rivabella al confine con il Comune di Bellaria-Igea Marina, mentre in corrispondenza dell'abitato di Rimini risulta occultata dall'urbanizzazione e a sud appare poco percettibile.

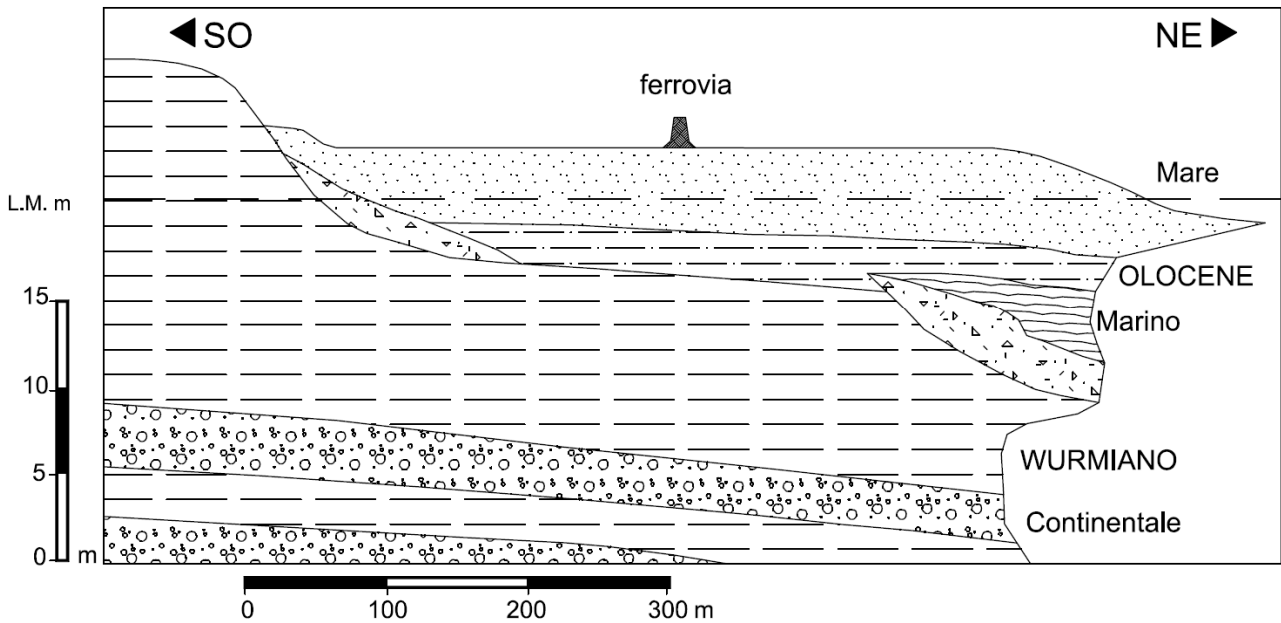
Il prisma sabbioso marino, coerentemente a quanto rilevato in Merli A. (Tesi di dottorato, 2019), è generalmente organizzato secondo due unità stratigrafiche e litotecniche arealmente continue e sovrapposte denominabili, partendo dall'alto, rispettivamente come A e B (vedi Figura 4.3 e 4.4). Tuttavia questo assetto stratigrafico superficiale costiero presenta significative anomalie nell'areale compreso fra l'attuale foce del Fiume Marecchia ed il Portocanale di Rimini, dovute alle ripetute diversioni fluviali succedutesi storicamente nonché al susseguirsi fenomeni di esondazione, rotte d'argine e/o alla deposizione di depositi grossolani in corrispondenza di strutture di palo canale e/o di barra di foce. In tale zona si riscontra una vera e propria interdigitazione di facies deposizionali marine intercalate a depositi fluviali localizzati, conseguenza dell'interazione delle dinamiche fluviali con lo sviluppo ed avanzamento della linea di costa. Questa *Zona di Interdigitazione*, stratigraficamente irregolare e di transizione, separa arealmente le zone costiere litologicamente più omogenee presenti a nord e sud della stessa, definibili rispettivamente come RNN e RNS (vedi figura 4.3 sottostante).

Nel litorale studiato l'Unità A, (corrispondente all'unità stratigrafica superficiale AES8a) è presente sino a profondità di circa 2.5-4.0 mt da p.c., risultando costituita da sabbie generalmente cernite, omogenee, maggiormente addensate e con diametro medio leggermente superiore rispetto ai depositi caratteristici della sottostante Unità B, sempre caratterizzata da prevalenti sabbie ma organizzate secondo alternanze con livelli a maggior contenuto in fine congiuntamente ad un minor grado di addensamento (vedi profili penetrometrici e curve granulometriche in Figura 4.5 e 4.6). Nel settore di chiusura a pinch-out contro la paleofalesia, alla base del cuneo sabbioso, sono sovente presenti depositi ghiaiosi addensati (presso Rimini Nord) o depositi sabbiosi più grossolani (a tratti con ghiaietto) ed addensati, talora con presenza di frammenti conchigliari (presso Rimini Nord)

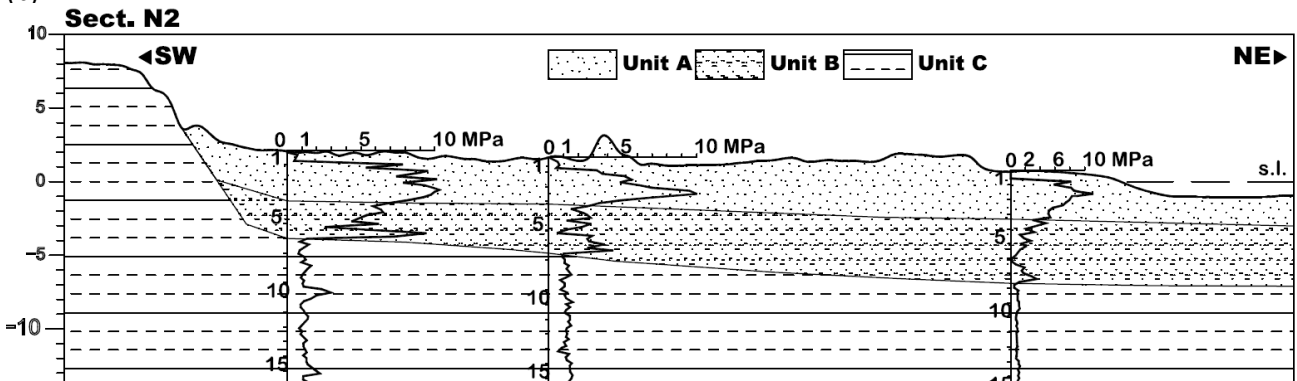
Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa



(a)

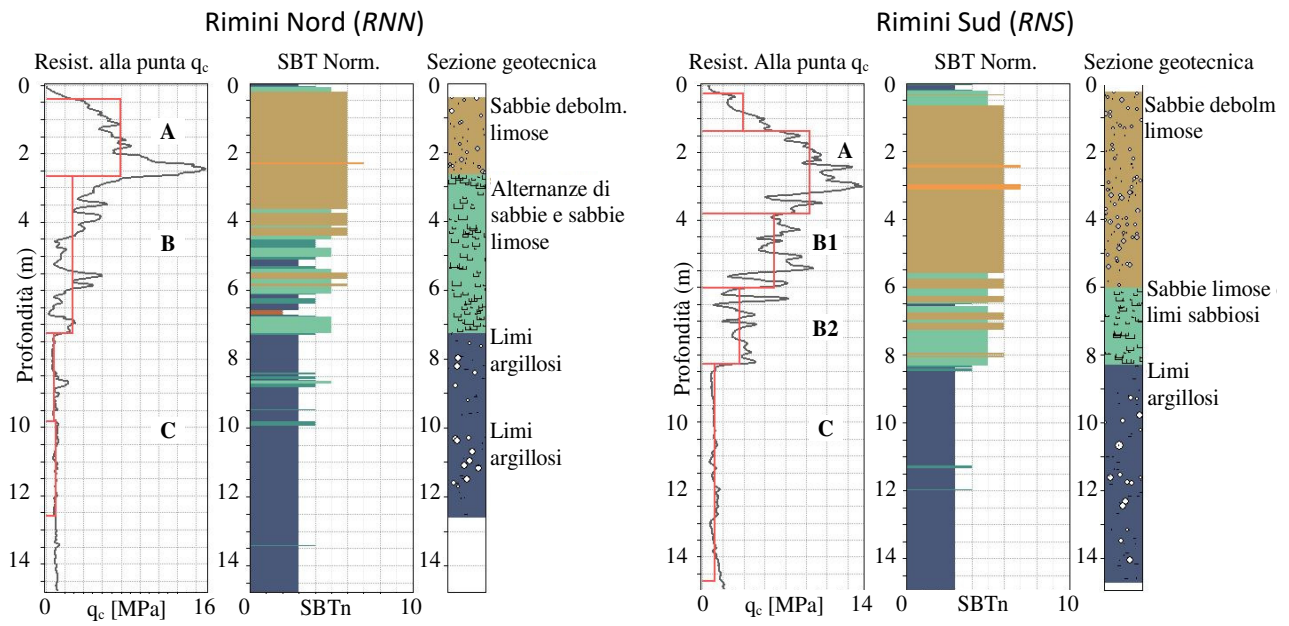


(b)

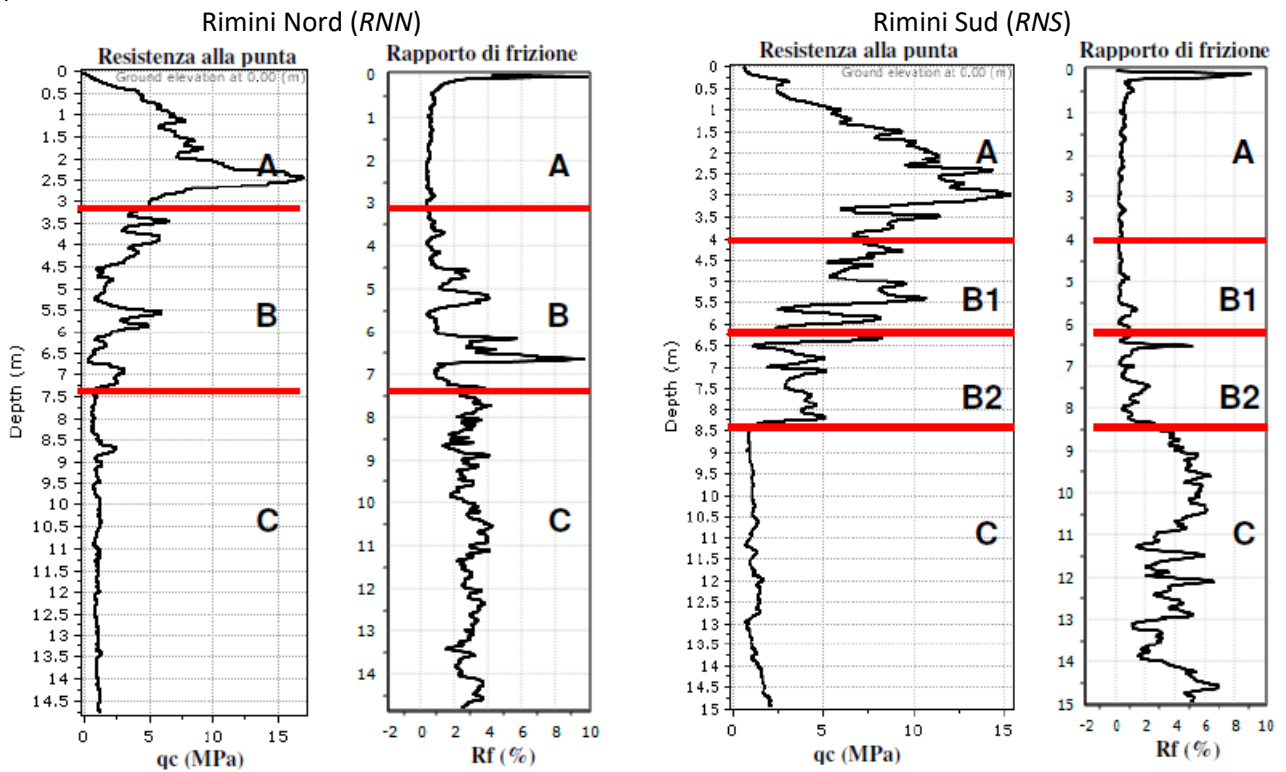


(c)

Figura 4.3 - (a) Assetto dei depositi costieri (tratta da Merli A., 2019) con rappresentazione delle prove in sito utilizzate, le tracce di sezione e la perimetrazione dei depositi marini costieri; (b) Tipica sezione geologica costiera (Veggiani, 1982); (c) Sezione geotecnica N2 lungo il tratto di Rimini Nord (RNN) (Merli A., 2019).



a)



b)

Figura 4.4 - a) Tipica sequenza litotecnica costiera (Unità A-B-C) per le macroaree Rimini Nord (RNN) e Rimini Sud (RNS) in termini di resistenza alla punta q_c e indice I_c SBTn (Normalized Soil Behavior Type). b) Tipico andamento di q_c e rapporto di frizione (friction ratio) riscontrabile in RNN e RNS (Merli A., 2019).

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

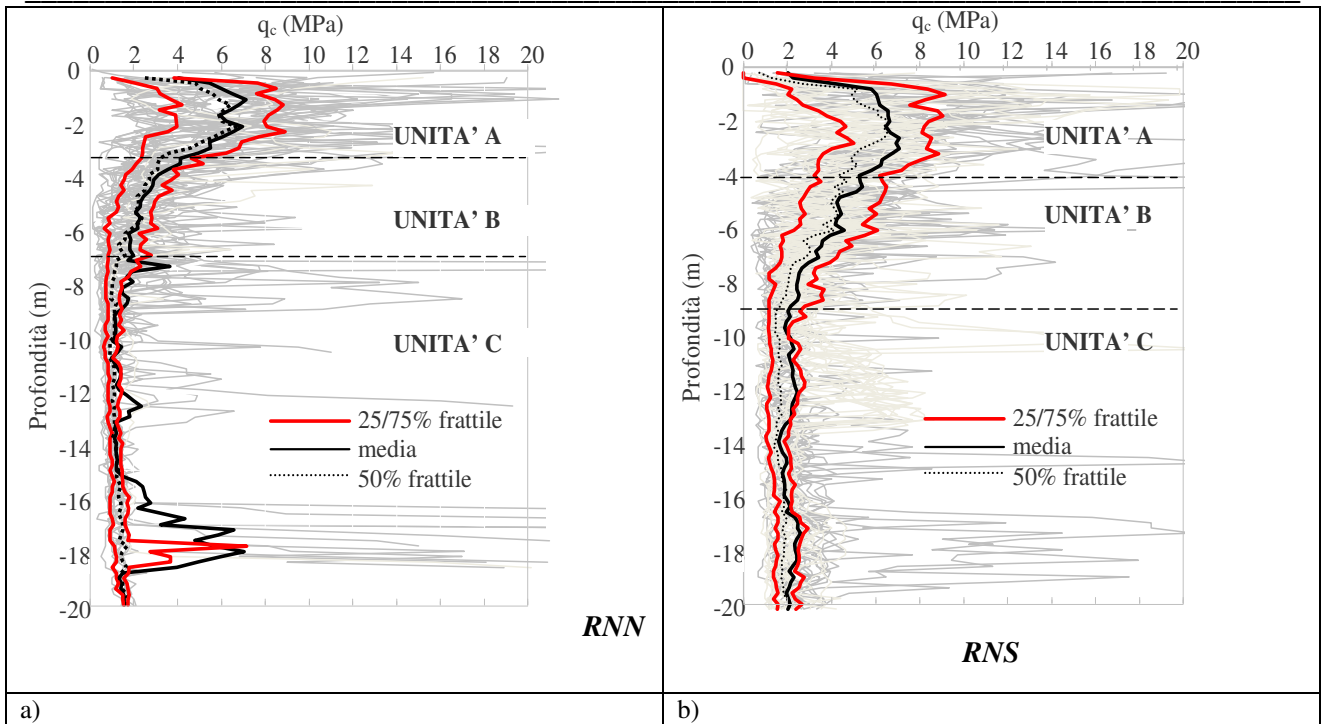


Figura 4.5 Profilo medio, 25°, 50° e 75° percentile della distribuzione di q_c sovrimposti al dataset complessivo delle CPT analizzate per le aree RNN (a) e RNS (b) (Merli A., 2019).

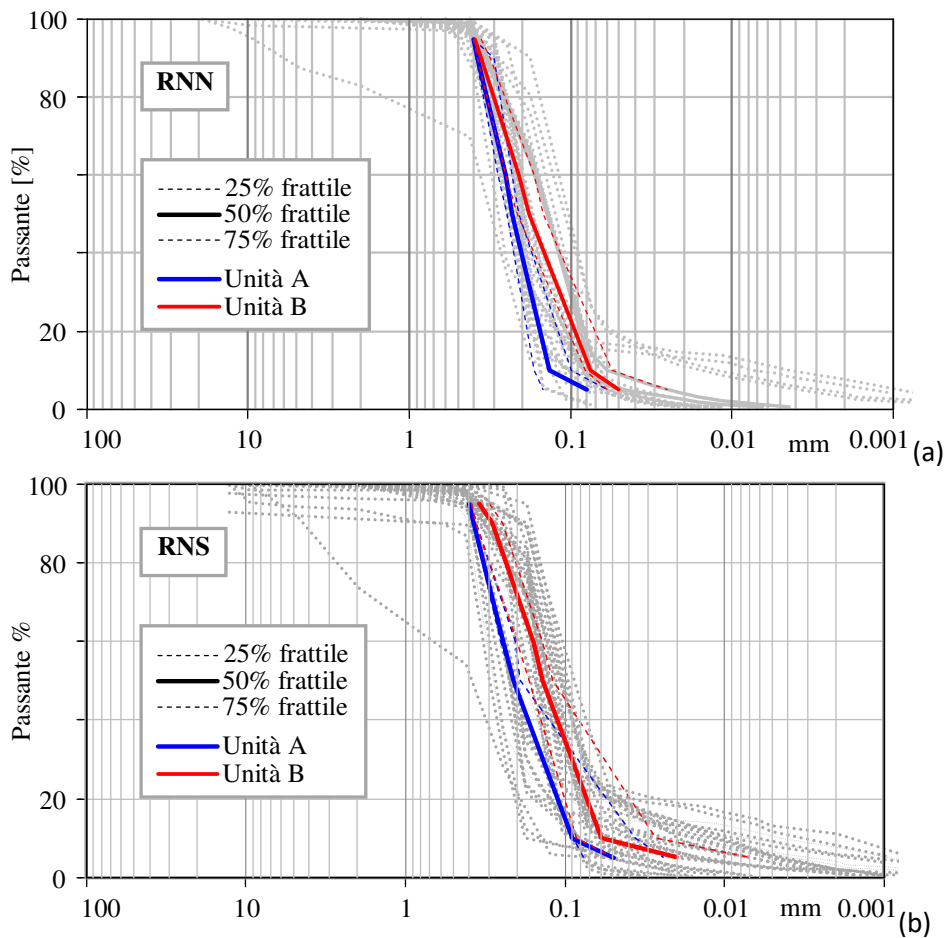


Figura 4.6 - Distribuzione granulometrica caratteristica delle Unità A e B di RNN (a) e RNS (b) (Merli A., 2019).

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

La distribuzione granulometrica generale di entrambe le unità A e B (Fig. 4.6) evidenzia una tessitura generalmente un po' più fine e meno cernita per il tratto costiero di Rimini Sud (RNS) rispetto a quello di Rimini Nord (RNN).

I depositi alluvionali di letto, a livello litotecnico, vengono identificati quale Unità C, alla cui sommità possono talora presenti circoscritti orizzonti metrici di ghiaie, quali strutture relitte di paleoalveo dei corsi d'acqua locali e/o di barra di foce. Le sezioni litostratigrafiche/litotecniche superficiali di riferimento, rappresentative per i vari settori del territorio costiero studiato, unitamente alla loro ubicazione, sono riportate in allegato alla presente e denominate F-F', L-L', O-O', Q-Q', R-R', in cui le sopracitate Unità litotecniche A, B e C sono rispettivamente identificabili con i litotipi SW, SM, ML come codificati nella tabella di classificazione dei terreni (par. 2.1.9.1 degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.1.1); in tali sezioni gli orizzonti ghiaiosi presenti talora al tetto dell'Unità C sono individuabili con la sigla GC. Tale assetto viene altresì schematizzato nelle colonnine stratigrafiche 2014 - 2015 - 2016 - 2017 di cui alla carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) ed al successivo Capitolo 9.

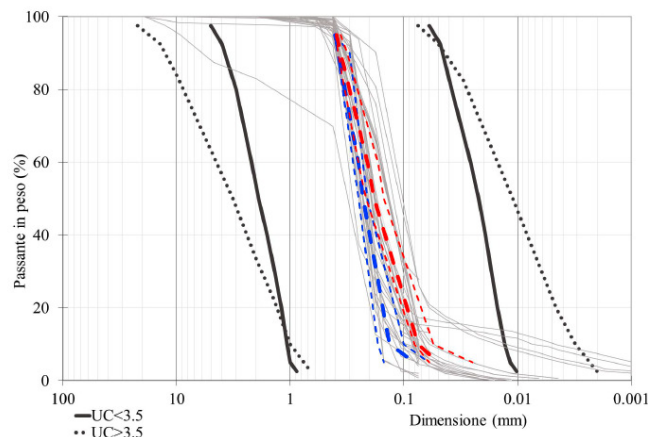
Tali terreni superficiali costieri, secondo il criterio geologico di Youd e Perkins (1978), basato su natura ed età del deposito, presentano una moderata-alta suscettibilità alla liquefazione (vedi fig. 4.7).

Tipo di deposito	Probabilità di liquefazione di depositi sedimentari durante terremoti Strong Motion			
	< 500 anni	Olocene	Pleistocene	Pre-Pleistocene
a) Depositi continentali				
Canale fluviale	Molto alta	Alta	Bassa	Molto bassa
Pianura di esondazione	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pianura e conoidi alluvionali	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Spigolate e terrazzi marini		Bassa	Bassa	Molto bassa
Deltatici	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Lacustri	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Dune	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Loess	Alta	Alta	Alta	Sconosciuta
Terreni residuali	Bassa	Bassa	Molto bassa	Molto bassa
b) Zone costiere				
Deltatici	Molto alta	Alta	Bassa	Molto bassa
Di estuario	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Di spiaggia	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
Lagunari	Alta	Moderata	Bassa	Molto bassa
c) Riempimenti artificiali				
Non compattati	Molto alta			
Compattati	Bassa			

Figura 4.7 - Criterio geologico di verifica della suscettibilità alla liquefazione secondo Youd e Perkins (1978).

Come evidenziato anche in Merli A. (Tesi di dottorato, 2019), è evidente come le sabbie litorali di entrambe le unità A e B, sia a nord che a sud del porto canale (rispettivamente RNN e RNS), ricadano entro i fusi granulometrici di potenziale liquefazione (vedi Fig. 4.8).

**FUSI GRANULOMETRICI DI SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE
- TRATTO RNN -**



a)

**FUSI GRANULOMETRICI DI SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE
- TRATTO RNS -**

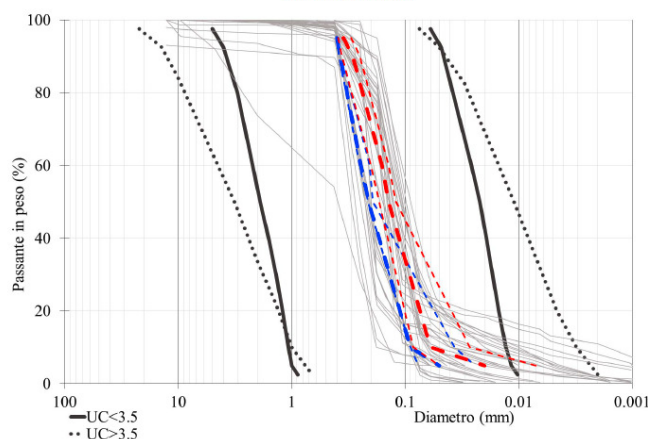


Figura 4.8 - Fusi granulometrici di suscettibilità alla liquefazione (Tsuchida, 1970) per le zone RNN (a) e RNS (b).

MACROAREE ALLUVIONALI

I depositi continentali sono per lo più sedimentati per opera delle acque del Fiume Marecchia, principale corso d'acqua del riminese, che con le improvvise e notevoli piene ha originato alternanze di ghiaie più o meno grossolane, limi, argille e sabbie. Gli spessori maggiori si hanno nella zona nord di Rimini (fino a 300 mt), mentre a sud dell'abitato il substrato si solleva bruscamente passando a spessori di poche decine di metri. Soprattutto nel settore centrale e settentrionale della piana alluvionale e costiera, nell'ambito dei depositi di copertura superficiali, si rilevano frequenti strutture ghiaiose di paleolaveo (vedi figura 4.9 sottostante). Essi formano corpi a geometria nastriforme, larghi qualche centinaio di metri, che incidono con contatto netto ed erosivo le tracimazioni fluviali adiacenti (canali singoli di piana alluvionale).

Talora i singoli depositi di canale si saldano lateralmente e verticalmente e formano dei corpi composti con geometria d'insieme relativamente tabulare e spessore fino a 15 metri.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

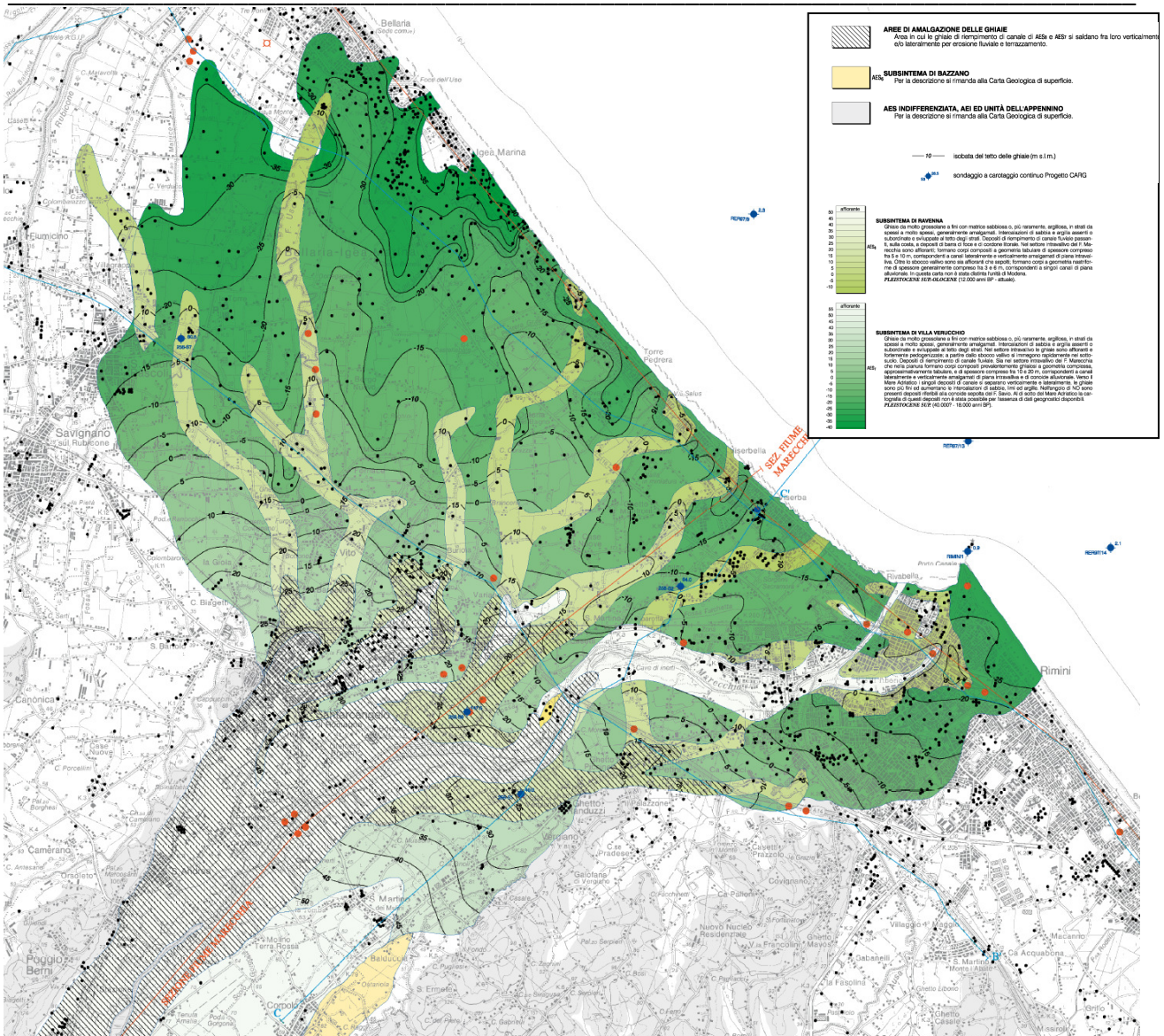


Figura 4.9 – Estratto della carta del tetto delle ghiaie della conoide alluvionale del Fiume Marecchia.

Depositi alluvionali di minore entità si hanno per opera del Fiume Uso che in territorio riminese si interdigita con quelli del Fiume Marecchia. I depositi dei Torrenti Ausa e Marano presentano granulometrie più fini, soprattutto sabbiose e limose, con spessori dell'ordine delle poche decine di metri.

I depositi alluvionali appartengono al Sintema Emiliano - Romagnolo superiore (AES), all'interno del quale vengono individuati il Subsistema di Ravenna (AES₈) e l'Unità di Modena (AES_{8a}), costituiti essenzialmente da materiali grossolani (sabbie e ghiaie) alternati a materiali a granulometria più fine (limi e argille); questi ultimi, in corrispondenza del terrazzo superiore, occupano la parte più superficiale del deposito. In profondità ed al crescere dell'età dei cicli deposizionali (e corrispondenza dei terrazzi più alti, presenti a tratti a margine delle valli alluvionali), sono rilevabili orizzonti appartenenti al Subsistema di Villa Verucchio (AES7) ed al Subsistema di Bazzano (AES6).

L'insieme dei depositi ghiaiosi e sabbiosi di canale fluviale, affioranti e sepolti lungo la valle del F. Marecchia, a ridosso dello sbocco vallivo e nella pianura antistante, costituisce un serbatoio idrico di notevole importanza, ampiamente sfruttato sia per fini pubblici (idropotabili), che privati (agricoli, industriali, zootecnici).

La conoide del F. Marecchia è infatti costituita da una zona apicale in cui le ghiaie sono amalgamate tra loro e formano un acquifero freatico monostrato compreso tra la superficie topografica ed il substrato marino prevalentemente argilloso. La zona di amalgamazione delle ghiaie è quella in cui si verifica la ricarica diretta di tutta la conoide, sia dalle infiltrazioni efficaci, sia dall'alveo.

A valle della zona di amalgamazione i diversi lobi di conoide si separano e tra essi si interpongono dei depositi fini di spessore crescente procedendo verso mare. I diversi acquiferi sono quindi disconnessi dalla superficie e acquisiscono tutte le condizioni di artesianità. I principali acquiferi, ovvero quelli più spessi ed arealmente più continui, corrispondono alle porzioni regressive terminali dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, caratterizzate per l'appunto dallo sviluppo di estesi lobi di conoide alluvionale.

Gli acquitardi più estesi corrispondono invece alle argille e limi presenti nella parte inferiore di ciascuna unità idrostratigrafica di sottosuolo. Le Unità Idrostratigrafiche presenti in sito sono infatti formate da più sequenze deposizionali caratterizzate da alternanze cicliche di depositi fini, o aquitardi (presenti alla base) e grossolani (al tetto) molto spessi sede degli acquiferi. Una sequenza deposizionale è una successione di sedimenti geneticamente legati tra loro (sono depositi durante lo stesso intervallo di tempo e con meccanismi della sedimentazione legati tra loro), compresi alla base e al tetto da superfici di discontinuità della sedimentazione e da superfici di continuità ad esse correlate.

All'interno di ciascun "Gruppo Acquifero", partendo dalla superficie, vengono distinti diversi "Complessi Acquiferi" gerarchicamente inferiori (a cui comunque corrisponde un'unità stratigrafica della Carta Geologica) identificate dal nome del Gruppo Acquifero di appartenenza, seguito da un numero progressivo (A0, A1 ecc.).

Per quanto riguarda la corrispondenza tra le unità geologiche, a cui i diversi corpi ghiaiosi sono attribuiti e quelle idrostratigrafiche, si fa riferimento alla sottostante Tabella 4.1 (tratta da Severi et al., 2014).

AES	AES8	GRUPPO ACQUIFERO A	COMPLESSO ACQUIFERO A0
	AES7		COMPLESSO ACQUIFERO A1
	AES6		COMPLESSO ACQUIFERO A2
	AES indistinto		COMPLESSO ACQUIFERO A3+A4
AEI		GRUPPO ACQUIFERO B	
IMO		GRUPPO ACQUIFERO C	

Tabella 4.1 – Corrispondenza tra Unità Geologiche e Unità Idrostratigrafiche

Inoltre la conoide alluvionale, in funzione dell'assetto e interconnessione dei livelli ghiaiosi e del rapporto con le zone di alimentazione entro il bacino di ricarica, viene distinta in tre zone principali denominate da monte verso valle rispettivamente come: pianura intravalliva, conoide amalgamata e conoide multistrato (vedi figura 4.10 a e b).

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

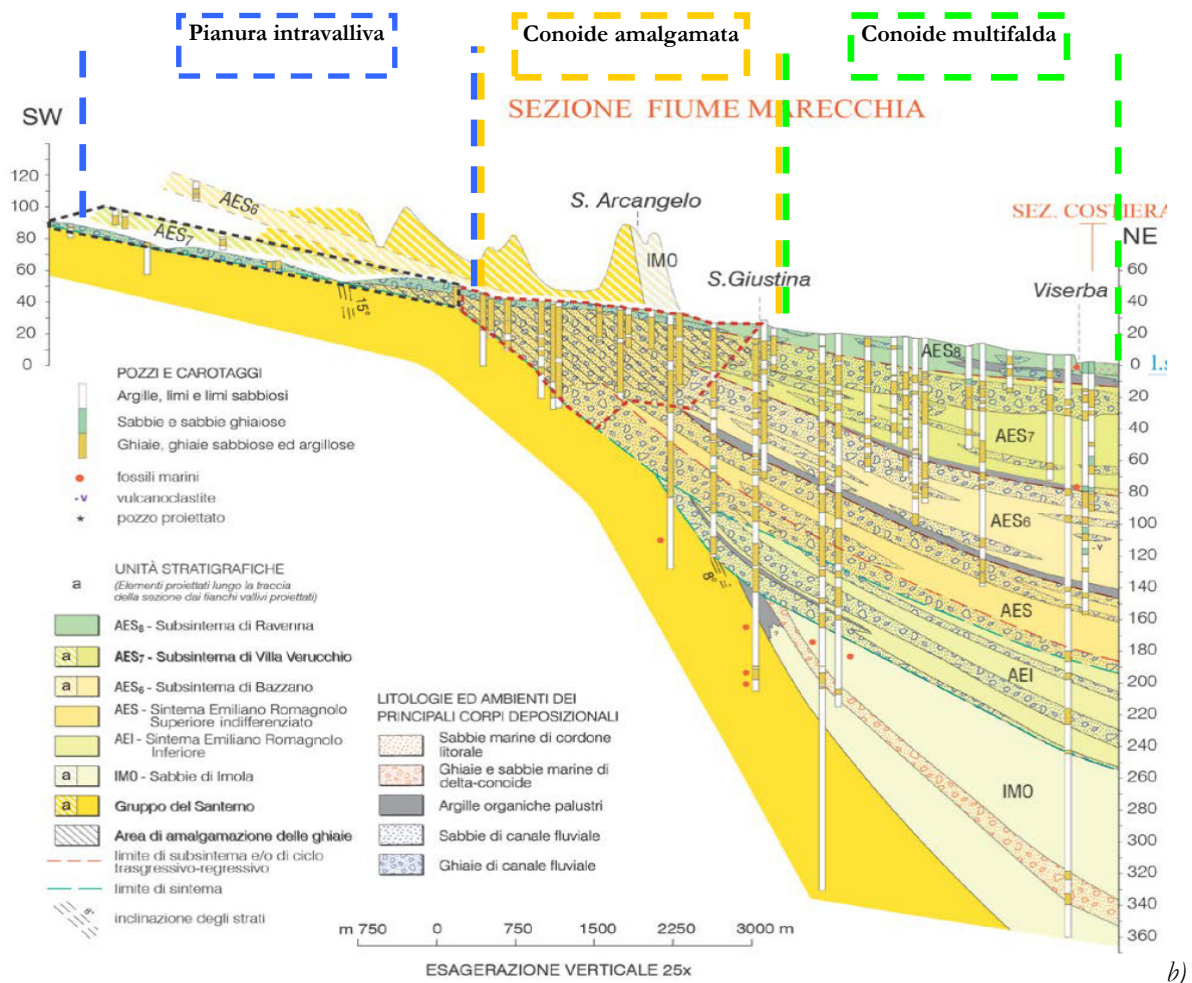
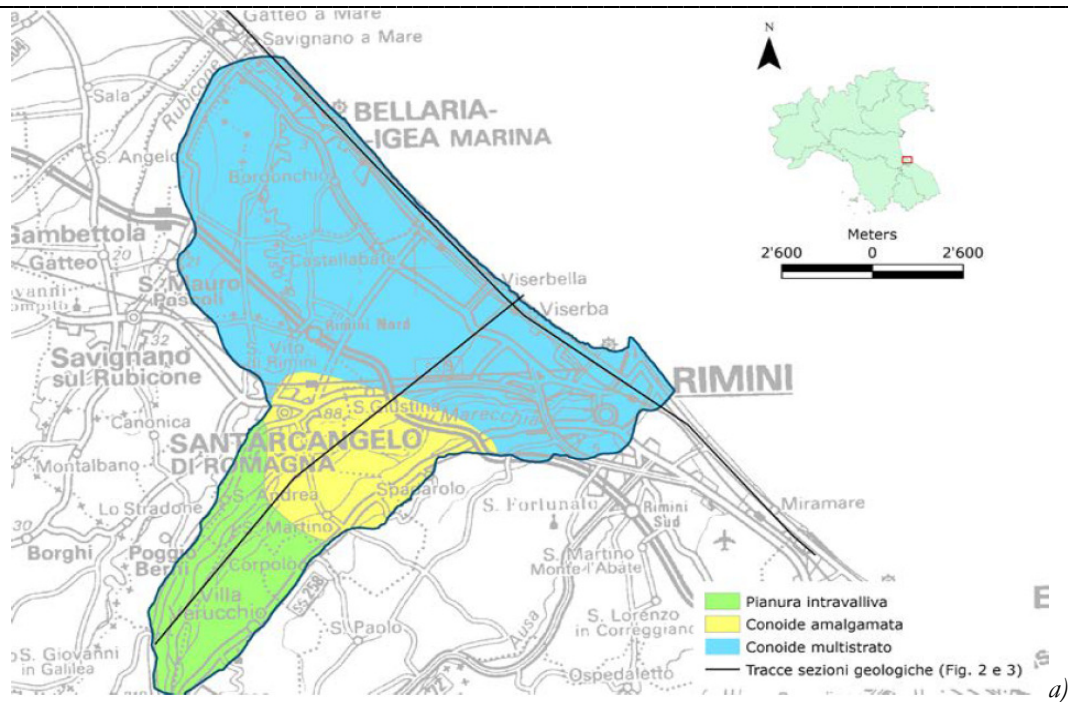


Figura 4.10 – Ambiti della conoide del Marecchia (a); sezione geologica rappresentativa della conoide del Marecchia perpendicolare alla costa e passante per il tratto costiero di Rimini Nord (b).

Il conoide del Fiume Marecchia ha una forma vagamente ellittica con inflessione verso la destra idrografica ed ha uno spessore dei materiali alluvionali che varia da circa 2 mt all'altezza dell'apice a Ponte Verucchio, a circa 230 mt nella zona di piana e costiera di Rimini Nord. La diffusione dei materiali pselitici e psammitici costituiti da ghiaie e sabbie grossolane, consente una notevole permeabilità sia verticale che orizzontale con conseguente comunicazione tra i livelli più superficiali della falda acquifera e valorizzazione delle portate in emungimento. La falda acquifera assume caratteri di spiccata freaticità per i primi per i primi 20-30 mt di profondità dal p.c. e semiartesianità/artesianità a profondità maggiori a causa dei primi consistenti strati di materiali a granulometria fine avente una notevole impermeabilità e continuità.

L'alternanza poi di livelli a diversa permeabilità determina condizioni di artesianità a varia profondità in relazione con le tre falde acquifere profonde, che appaiono non comunicanti per la discontinuità dei vari corpi idrogeologici grossolani che le inglobano, essendo questi isolati da potenti strati di depositi fini che li avvolgono quasi sempre completamente preservandoli anche dal punto di vista batteriologico e parzialmente dal punto di vista chimico.

Le quattro fondamentali falde acquifere congiuntamente alle due probabili molto profonde, sembrano sufficientemente protette da spessori di materiali fini impermeabili, ad esclusione di quella più superficiale a maggiore permeabilità verticale che risulta essere anche la maggiormente sfruttata e quindi anche la più esposta all'azione di agenti inquinanti di natura chimica e organica.

In particolare le quattro principali geometrie di falde acquifere rinvenute ad esclusione della falda superficiale, sono distinguibili nel modo seguente: una prima più superficiale dai 30 ai 50 mt di profondità dal p.c., una seconda dai 55 ai 65 mt di profondità dal p.c., una terza da 70 a 90 mt di profondità dal p.c. con un lieve intervallo di discontinuità sugli 80 mt, una quarta tra i 100 ed i 110 mt di profondità dal p.c.

L'alimentazione di queste falde distribuite nell'area della conoide sembra avvenire quasi esclusivamente ad opera di acque fluenti lungo il corso del Fiume Marecchia e di superficie a valle della stretta di Ponte Verucchio e subordinatamente ad opera di numerose sorgenti, a volte confluenti in corsi d'acqua laterali al corso d'acqua principale, disposte secondo l'asse Villa Verucchio - Poggio Berni - Santarcangelo di Romagna e relative a falde acquifere inserite nella sabbie e limi del Pliocene superiore e nei conglomerati regressivi plio-pleistocenici. Seguono poi nell'ordine altri fattori quali le precipitazioni meteoriche almeno per la falda più superficiale ed altri ancora scarsamente influenti.

MACROAREA COLLINARE

Nelle zone collinari i terreni del substrato geologico sono ricoperti da coltri di alterazione e depositi quaternari (depositi di frana, di versante ed eluvio-colluviali) di variabile spessore, generalmente crescente dalla sommità dei rilievi verso il piede del versante, mediamente compreso tra i 3 ed i 7 m, ove si ritrova il maggior spessore. Alla stregua delle coltri di alterazione i posto, in corrispondenza delle aree in studio, si rinvencono anche alcuni depositi detritici di versante e/o di accumulo eluvio-colluviale, prettamente attestati

su tratti di versante conformati ad impluvio morfologico, anch'essi con spessore massimo sino a 7 m. I movimenti gravitativi rilevati, di tipo sia attivo che quiescente, presentano una dinamica prevalente per scorrimento e spessori massimi sino a 7 m, solitamente nella parte bassa del versante; tali movimenti, in presenza di particolari condizioni al contorno (pendenza del versante, circolazioni idriche nel sottosuolo, sovraccarichi, ecc.) tendono ad innescarsi ed a svilupparsi all'interno degli orizzonti a minor resistenza geomeccanica quali le coltri alterate o i depositi eluvio/colluviali e/o di versante, presentando una natura litologica prevalentemente limo-argillosa.

Le unità geologiche di base della conoide alluvionale così come quelle affioranti sulle aree collinari in studio sono di età Plio-Pleistocenica e rappresentate, cronologicamente dalle più recenti a quelle più antiche, dalle Sabbie di Imola (IMO), le Arenarie e Argille di Savignano (SVG) e la Formazione delle Argille Azzurre (FAA) nelle sue litofacies "pelitico arenacea" (FAA2pa) e "arenaceo-pelitica" (FAA2ap).

Si vuol segnalare altresì la presenza di numerose cavità di tipo antropico scavate storicamente nel primo sottosuolo arenaceo in corrispondenza del rilievo di Covignano, quale pratica diffusa dagli abitanti in quell'area, di cui però si hanno scarse informazioni circa ubicazione, sviluppo, caratteristiche geometriche, stabilità, ecc.

Di seguito si fornisce una descrizione dettagliata delle formazioni geologiche presenti nei territori studiati, tratta dal Catalogo dei Dati Geografici del Servizio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romagna.

DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI

a1 Frane attive

Depositi di litotipi eterogenei più o meno caotici, delle dimensioni dai blocchi alle argille, con contenuto in matrice variabile; frane di diverse tipologie con evidenze di movimenti in atto o recenti.

a2 Frane quiescenti

Depositi di litotipi eterogenei più o meno caotici, delle dimensioni dai blocchi alle argille, con contenuto in matrice variabile; frane di diverse tipologie senza evidenze di movimenti in atto o recenti.

a3 Detriti di versante

Depositi eterometrici, angolosi, con matrice in proporzione variabile, a luoghi stratificati e/o cementati. Origine gravitativa e/o ruscellamento.

a4 Depositi eluvio-colluviali

Depositi eterometrici, spesso siltoso-sabbiosi, generalmente privi di strutture sedimentarie e non cementati.

b1 Alluvioni attuali

Depositi dei fondovalle attuali, eterometrici (dalle ghiaie alle argille), che costituiscono le forme di letto dei fiumi e che vengono rimaneggiati durante gli eventi alluvionali principali.

SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO - SUPERIORE (AES).

Sabbie e ghiaie con subordinati limi argillosi costituenti terrazzi intravallivi e conoidi, talora con indizi di pedogenesi, e i depositi attualmente in evoluzione nei fondovalle.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

Sintema parzialmente suddiviso in subsintemi limitati, in affioramento, dalle principali scarpate di terrazzo fluviale e paleosuoli e, nel sottosuolo della pianura, da bruschi contatti fra depositi trasgressivi marino-marginali e palustri su depositi di conoide e di piana alluvionale. Contatto inferiore erosivo e discordante sui vari terreni prequaternari.

Pleistocene superiore-Olocene

AES8 - Subsintema di Ravenna.

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a.

Pleistocene superiore-Olocene

AES8a - Unità di Modena.

Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro al tetto. Limite inferiore dato da una superficie cie di erosione fluviale nelle aree intravallive.

Olocene

Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale affioranti nei settori intravallivi. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale prevalenti (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione di c.a. 10 per mille: Limite superiore dato da un suolo non calcareo spesso fino a 2 m di colore bruno scuro e bruno rossastro (7,5-5YR). Limite inferiore dato, in affioramento, da una superficie di erosione fluviale che incide AES6 ed i depositi marini preesistenti.

Pleistocene medio-superiore

Subsintema di Bazzano (AES6)

ghiaie, sabbie, limi ed argille di origine fluviale affioranti nei settori intravallivi. Nella valle del F. Marecchia ghiaie di canale fluviale passanti a limi ed argille di origine fluviale e/o eluvio-colluviale di versante (piana intravalliva e conoide alluvionale) organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione di c.a. 18 per mille. Limite superiore coincidente, in affioramento, con il piano topografico e dato da 2 suoli non calcarei sovrapposti: uno inferiore sviluppato su ghiaie (colore bruno scuro; 7,5YR) e uno superiore, policiclico, sviluppato su limi ed argille (colore giallo olivastro; 2,5Y); spessore complessivo del fronte di alterazione di 5-6 m. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale che incide, in discordanza, i depositi marini preesistenti ;

Pleistocene medio;

SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE PADANO

SABBIE DI IMOLA (IMO)

Arenarie e sabbie da medie a finissime, generalmente poco cementate, in strati spessi e molto spessi, mal definiti, frequentemente amalgamati fra loro, con livelli di ghiaia contenente abbondanti ciottoli silicei. Stratificazione incrociata

ad alto e basso angolo, piano-parallela e con strutture tipo hummocky. Sono presenti rare intercalazioni, centimetriche e decimetriche, di peliti, talora fortemente bioturbate, con locali laminazioni ondulate tipo ripples da onda.

Nella parte alta, sono localmente presenti intercalazioni conglomeratiche a matrice sabbiosa (IMOa) con ciottoli derivanti da unità liguridi e dalla successione epiligure.

Potenza massima affiorante circa 60 metri, superiore ai 150 m nel sottosuolo.

Limite inferiore discordante su SVG e SVGa. Limite superiore erosivo discordante con AEI e AES.

Depositi di ambiente litorale.

Pleistocene medio (0,8-0,65 MA)

ARENARIE E ARGILLE DI SAVIGNANO (SVG)

Alternanza di strati sottili e molto sottili, raramente medi, di argille grigie chiare, beige all'alterazione, e arenarie fini e finissime, poco cementate, talora lenticolari, A/P da $\ll 1$ crescente verso l'alto e lateralmente; verso SW l'aumento delle arenarie è tale da permettere la distinzione di una litofacies sabbiosa (SVGa).

Potenza massima affiorante circa 200 metri.

Limite inferiore graduale su AAS per aumento della frazione pelitica. Limite superiore graduale, parzialmente eteropico, con SVGa e discordante con IMO.

Depositi di piattaforma.

Pleistocene inferiore

Litofacies della Grotta Rossa (SVGa)

Arenarie medie e fini, mal cernite, in strati spessi e molto spessi frequentemente amalgamati, con tritume conchigliare associato a laminazione ondulata. Sono presenti intercalazioni metriche e decimetriche di peliti grigio-azzurre contenenti faune marino-marginali.

Potenza estremamente variabile, fino ad una massimo di circa 100 metri.

Limite inferiore graduale rapido, parzialmente eteropico, con SVG. Limite superiore discordante con IMO.

Pleistocene inferiore

FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA)

Argille di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di arenarie giallastre in letti da sottili a spessi, e argille marnose e siltose grigie in letti sottili e molto sottili.

Sono fossilifere ricche in foraminiferi e macrofossili, spesso bioturbate, a stratificazione poco marcata. Sono talora diffusi slumps con olistoliti di gesso derivati da unità evaporitiche. Limite inferiore netto, probabilmente discontinuo, su FAA2; paraconcordante su FCO. Depositi di scarpata e base scarpata. Potenza complessiva affiorante di circa 700 m.

Piacenziano-Gelasiano

Membro arenaceo di Borello (FAA2).

Membro interamente suddiviso in litofacies caratterizzate da variabilità del rapporto A/P e spessore medio degli strati, che si ripetono a più altezze stratigrafi che e mostrano rapporti di eteropia. Passaggio rapido a FAA. Spessore estremamente variabile, raggiunge i 1000 m e localmente si riduce fino ad annullarsi.

Pliocene inferiore

FAA2pa - litofacies pelitico-arenacea.

Alternanza tra argille e argille sabbiose grigio azzurre, ricche in foraminiferi e macrofossili (Lamellibranchi, Scafopodi, radioli di Echinidi etc.), spesso bioturbate, a stratificazione poco marcata, con alterazione biancastra e con veli e laminazioni sabbiose; rari gli strati di sabbie, grigio giallastre gialle generalmente molto sottili. Rapporto A/P generalmente < 1/2..

FAA2ap - Litofacies arenaceo-pelitica

Alternanze di argille sabbiose grige, localmente marnose, fortemente fossilifere, biancastre all'alterazione, e arenarie silicoclastiche grigio-giallastre in livelli sottili e medi, poco cementate, con A/P variabile da 1/2 a 2; talora arenarie prevalenti in strati da spessi a molto spessi, mal definiti, a laminazione inclinata e con livelli di tritume conchigliare; sono presenti livelli siltosi; le arenarie, solitamente poco cementate presentano nuclei a maggiore cementazione (cogoli).

Di seguito si riporta altresì una sintesi grafica degli assetti geologico-strutturali e dell'assetto cronostratigrafico del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), rappresentativi per la definizione del contesto geologico delle aree in studio, dalle zone di crinale più rilevate sino ai fondovalle (fig. 4.11-4.12-4.13). Le sezioni geologiche rappresentative vengono riportate in allegato, mentre la relativa traccia viene individuata planimetricamente nella Carta Geologico-Tecnica.

SCHEMA DI INQUADRAMENTO REGIONALE

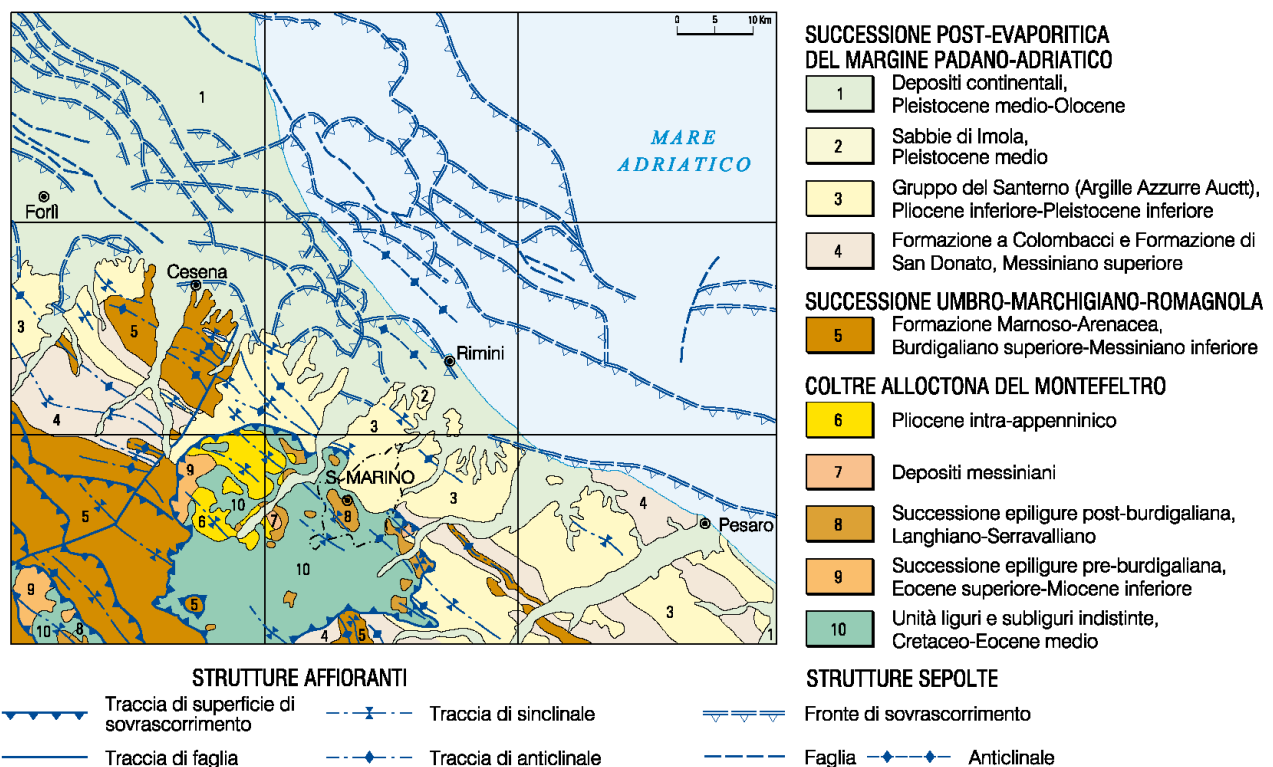


Figura 4.11 – Schema di inquadramento generale – progetto CARG (Foglio 526 Rimini)

SCHEMA TETTONICO

Scala 1:200.000

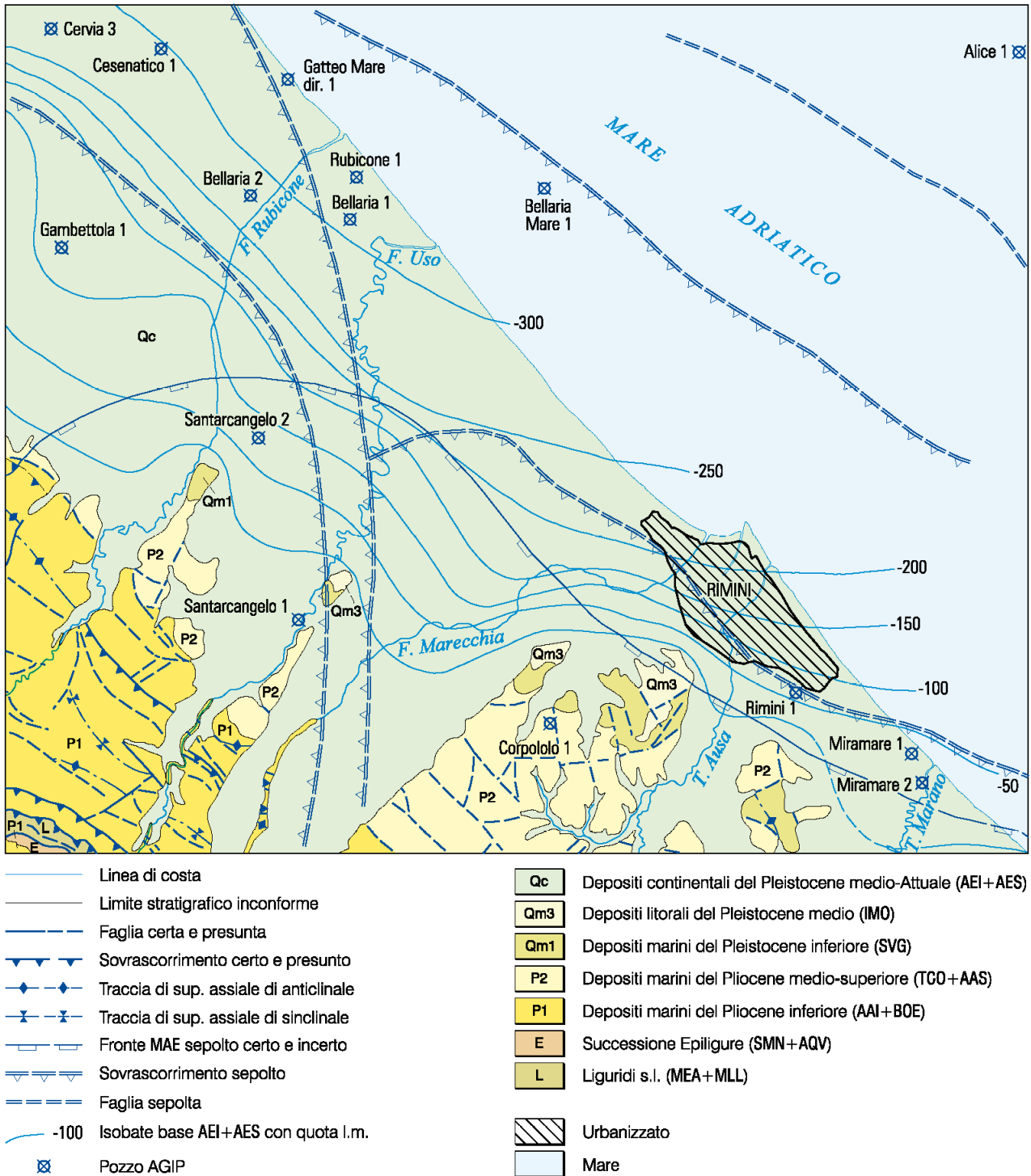


Figura 4.12 – Schema tettonico generale – progetto CARG (Foglio 526 Rimini)

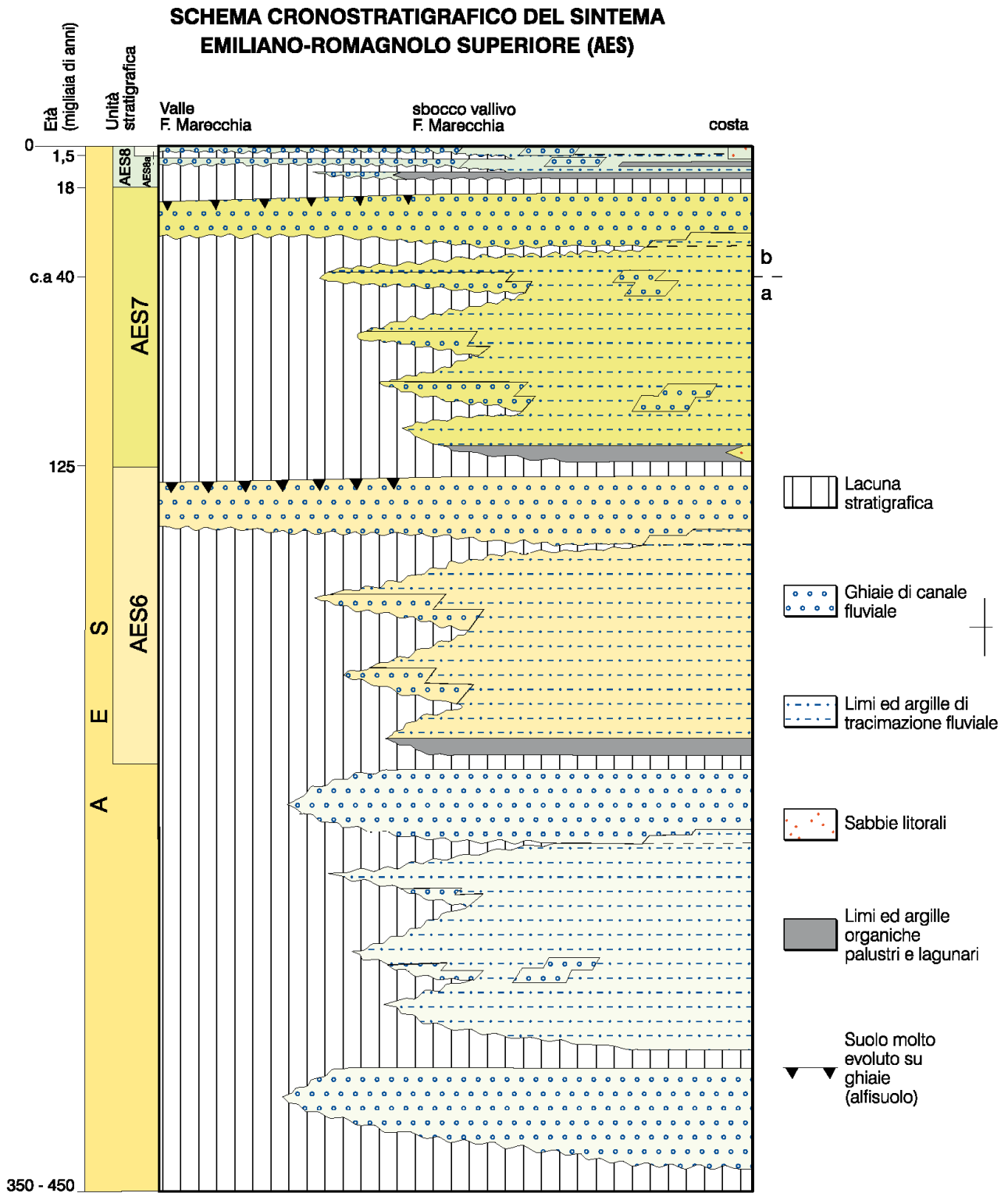


Figura 4.13 – Schema cronostatigrafico del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), Foglio 256 Rimini-CARG

5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Le indagini realizzate ex novo, associate a quelle degli strumenti urbanistici ed a quelle realizzate da privati e dalla Regione Emilia Romagna, hanno permesso di delineare un quadro conoscitivo preliminare del territorio, indispensabile per gli approfondimenti del di I e II livello della Microzonazione Sismica.

Nel corso degli anni, le amministrazioni hanno sia realizzato nuove indagini (per lo più finalizzate all'edilizia pubblica) sia raccolto ed archiviato indagini dell'edilizia privata, così come la Regione Emilia Romagna ha supportato una serie di prove volte alla conoscenza del territorio. Anche in occasione del presente studio sono state condotte ulteriori prove geognostico-geofisiche ad integrazione del quadro conoscitivo e delle esigenze dell'amministrazione.

In dettaglio, si tratta di complessive N. 1301 prove selezionate, di cui N. 950 di tipo geotecnico e N. 351 di tipo geofisico, per un totale di N.1288 prove puntuali (compresi array 2D) e n. 13 in array lineare distribuite sul territorio in studio (fig. 5.1).

Ad integrazione del presente studio sono state realizzate ex novo n. 3 prove CPT , n. 1 prova DPSH e n. 4 prove HVSR (vedi prove in allegato 1).

IND. GEOTECNICHE	
TIPO	NUMERO
CPT	367
CPTe	29
CPTU	76
DL	2
DMT	5
DN	1
DP	5
DS	19
PA	105
S	305
SC	7
SMS	17
CR	12

TOTALE	950
---------------	------------

IND. GEOFISICHE	
TIPO	NUMERO
CH	2
DH	14
MASW	4
REMI	6
SR	3
ESAC_SPAC	21
HVSR	281
SCPT	16
SDMT	4

TOTALE	351
---------------	------------

Indagini sismiche di tipo diretto: Come dice il nome stesso questa tipologia di prospezioni ha il non trascurabile vantaggio di fornire una stima “diretta” delle velocità delle onde S. La tecnica d’indagine consiste nel generare, attraverso una sorgente artificiale (colpo di martello o piccoli esplosivi) un treno d’onde nel sottosuolo e misurare i tempi di arrivo della perturbazione in corrispondenza di una serie di sensori (geofoni) posti sulla superficie del terreno (indagine di sismica a rifrazione) o all’interno di un foro di perforazione appositamente attrezzato (indagine down-hole, con cono sismico e cross-hole). I principali svantaggi di tali metodologie risiedono, sia nell’esiguo volume di sottosuolo esplorato, sia nei costi d’indagine relativamente alti. Tuttavia tali tecniche risultano essere quelle a maggiore accuratezza e ripetibilità.

Indagini sismiche di tipo indiretto: Sono metodologie basate sull’analisi delle proprietà dispersive delle onde Superficiali (onde di Rayleigh) nei mezzi stratificati. Lo scopo di questa tipologia di prospezioni è risalire ad una funzione caratteristica del terreno (curva di dispersione) univocamente correlata alla struttura meccanico-stratigrafica del sito. Considerando che le onde Superficiali sono essenzialmente un prodotto delle onde di Volume e in particolar modo delle onde trasversali (S) è possibile, a partire dalla curva di dispersione, risalire in maniera indiretta al profilo di velocità V_s attraverso opportune procedure numeriche di inversione dati.

Le indagini di tipo indiretto vengono spesso diversificate, in base alla sorgente energizzante utilizzata per sollecitare i sensori, in “attive” e “passive”:

Indirette Attive: Come le più comuni tecniche dirette, sfruttano sorgenti di tipo artificiale (colpo di martello) e una distribuzione lineare dei sensori sul terreno (MASW). Il principale vantaggio di questa tipologia di acquisizione consiste, oltre alla velocità ed al basso costo della prova, nell’ottima risoluzione che si ottiene nel caratterizzare gli strati di terreno maggiormente superficiali.

Indirette Passive: Utilizzano come fonte di energia la continua vibrazione del terreno, sia di origine antropica sia naturale, definita Rumore Sismico Ambientale o semplicemente Vibrazione Ambientale. I rilievi di tipo passivo sono generalmente realizzati attraverso distribuzioni bidimensionali dei sensori e raggiungono profondità di esplorazione dell’ordine delle centinaia di metri. Il principale svantaggio di questa tipologia di prova consiste in una scarsa risoluzione per gli strati più superficiali e in un’ambiguità interpretativa, spesso, non trascurabile. Tuttavia, tali indagini, se associate ad una conoscenza preliminare delle condizioni del sito che ne “guidi” l’interpretazione, risultano essere strumenti conoscitivi molto potenti. La sismica passiva può essere applicata su stendimenti monodimensionali che prevedono l’utilizzo congiunto di più sensori (elaborazione Re.Mi. – refraction microtremors - Louie, 2001) oppure stendimenti bidimensionali a interspaziatura geofonica anche variabile, a formare una vera e propria antenna sismica di significative dimensioni, elaborandone i dati registrati con tecnica ESAC per la computazione della curva di dispersione legata alle onde di Rayleigh (Ohori et al, 2002). può essere inoltre, realizzata attraverso un’unica stazione di misura. Questa ultima tecnica, conosciuta come metodologia HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*),

differentemente da ogni altra prospezione di tipo indiretto non ha lo scopo di ricavare le proprietà dispersive dei materiali bensì le modalità di vibrazione del terreno (Nakamura 1983-2008). Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare, infatti, le principali frequenze di vibrazione del suolo (fra cui la più importante “f0”, detta frequenza fondamentale) e sfruttarle per scopi stratigrafici. Tale tecnica consente di effettuare altresì interpretazioni congiunte con altri metodi geofisici e la conoscenza di vincoli stratigrafici per la definizione di profili profondi di Vs. Inoltre è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli sintetici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali, basato sulla propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori.

Dall’analisi congiunta di prove sismiche attive in media alta risoluzione, sulla scorta delle conoscenze stratigrafiche locali da prove geognostiche in sito, sono stati stimati i valori di VsH (i profili associati alle misure sono visualizzabili nei report associati al DB della Microzonazione Sismica) utilizzati per le carte di MS delle Vs e dei fattori di amplificazione attesi mediante approccio semplificato tabellare.

5.2. Indagini di tipo geognostico/geotecnico

Le indagini geognostiche in sito sono costituite da sondaggi meccanici a carotaggio continuo, prove CPT con punta meccanica, elettrica e talora piezocono, infine da prove penetrometriche dinamiche e, talora, stratigrafie di pozzi per lo sfruttamento delle acque di falda.

I sondaggi meccanici (indagini geognostiche di tipo diretto) hanno consentito di valutare l’effettivo assetto stratigrafico dei terreni sino alle profondità raggiunte e, talora, il prelievo di campioni e relative analisi di laboratorio per la caratterizzazione granulometrica nonché dei parametri di resistenza meccanica e deformabilità. Tale metodologia ha consentito di attraversare gli orizzonti competenti e ghiaiosi spesso presenti nel primo sottosuolo alluvionale.

Al proposito anche le stratigrafie dei pozzi per acqua hanno consentito di superare gli orizzonti ghiaiosi raggiungendo talora profondità elevate.

Le prove penetrometriche (indagini geognostiche di tipo indiretto) risultano spinte a profondità variabile, spesso sino a rifiuto nel substrato geotecnico, consentendo di desumere i caratteri stratigrafici e di resistenza meccanica alla penetrazione.

La caratterizzazione geomeccanica delle coperture ed i relativi spessori risultano di estrema importanza anche per l’elaborazione ed interpretazione delle prove geofisiche limitrofe.

Tra le indagini geotecniche sono riportate anche prove di laboratorio in colonna risonante, di particolare interesse comprendere il comportamento dinamico dei terreni nel campo delle basse medie deformazioni.

La campagna geognostica realizzata “ex-novo” e le numerose informazioni pregresse hanno quindi permesso di definire un chiaro quadro litostratigrafico e geomeccanico delle aree in esame (l’ubicazione di

ciascuna prova è visualizzabile nella Carta delle Indagini ed i risultati di ciascuna prova sono riportati nell'apposito database secondo le modalità definite negli standard di archiviazione dei dati.).

6. MODELLO DI SOTTOSUOLO

6.1. Andamento delle Vs nel sottosuolo

Come evidenziato nell'inquadramento geologico (Capitolo 4) le profondità del substrato geologico attese per l'area di studio vanno dall'ordine della decina di metri sino a centinaia di metri di profondità nella zona più profonda della conoide del Marecchia. Data la quantità di informazioni geofisiche distribuite sul territorio si sono sfruttate le prove HVSR congiuntamente ai dati geognostici profondi per individuare i picchi di frequenza di maggior rilevanza per la risposta sismica locale, tra cui quelli associabili ad interfacce compatibili con un bedrock geofisico. Invece per caratterizzare i depositi di copertura (e talora del bedrock geologico) in termini di valori di velocità delle onde di taglio (profili Vs), si è potuto fare riferimento sia a prove di sismica attiva in foro (a cui si è riconosciuto maggior peso e coerenza) che a indagini sismiche indirette attive (tipo MASW, Rifrazione), passive in Array (tipo Re.Mi – ESAC) o stazione singola (HVSR). Chiaramente sviluppando lo studio di I e II Livello tramite approccio semplificato tabellare si è data priorità, ove possibile (es. in assenza di orizzonti ghiaiosi superficiali), alle misure effettuate in foro ed in array per la definizione dei profili di velocità e la stima di V_{seq} sino alle profondità richieste dai modelli di riferimento per la stima dei fattori di amplificazione; tuttavia ove assenti si è fatto riferimento ai valori stimati tramite inversione delle curve H/V. In presenza di coperture di elevato spessore, le tabelle utilizzate hanno previsto l'utilizzo di valori di velocità equivalente sino a 30 mt di profondità (VS30), mentre per profondità inferiori, soprattutto in corrispondenza dei rilievi collinari e presso le prime zone pedecollinari, si sono stimati valori di V_{seq} sino all'interfaccia copertura-substrato formazionale (generalmente caratterizzato da un sensibile incremento di rigidezza sismica sebbene con $V_s \ll 800$ m/s).

I risultati ottenuti per i siti in studio sono visualizzabili nei report associati alla Carta delle Vs e delle Indagini (Data-Base- Microzonazione Sismica).

7. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

L'areale studiato risulta caratterizzato da un assetto geologico/morfologico estremamente articolato e spazialmente variabile, passando da ambiti costieri a contesti alluvionali e quindi collinari e relative aree di transizione, contesti frequentemente caratterizzati da assenza di evidenze o affioramenti geologici superficiali. La ricostruzioni di tali assetti richiede, pertanto, una diffusa e capillare rete di informazioni geognostiche, talora non sempre possibile, soprattutto nelle aree meno urbanizzate e quelle collinari. A livello geologico altri elementi di incertezza sono relativi all'elevato spessore dei depositi di copertura

alluvionale lungo la fascia pedecollinare e costiera, interessata da frequenti ed articolate interdigitazioni di litotipi differenti, talora sino a diverse centinaia di metri di profondità, ampliando i margini di incertezza sull'interpretazione degli assetti geologici profondi. Diversamente gli assetti geologici superficiali, soprattutto lungo la fascia costiera, si ritengono adeguatamente investigati, a meno di anomalie geologiche/morfogenetiche locali, determinate soprattutto dall'azione dei corsi d'acqua locali ed in prossimità delle relative foci.

Tale aspetto riveste particolare importanza anche per quanto riguarda poi la definizione dei modelli geofisici e di comportamento dinamico di riferimento; infatti la mancanza di un adeguato numero e distribuzione di sondaggi sufficientemente profondi e relative indagini geofisiche dirette in foro, nelle aree alluvionali e costiere *non consente di rilevare "direttamente"* la posizione e caratteristiche del bedrock sismico così come definito e richiesto dalle norme di settore. Pertanto ivi è stato possibile solo attraverso l'utilizzo di metodi di indagine congiunta (soventi indiretti), basati sul prevalente utilizzo di rumore ambientale quale forzante/eccitazione energetica. Chiaramente tali metodi e le relative metodologie di elaborazione, portano con se una certa aliquota di incertezze attribuibili sia a fattori strumentali quanto ai modelli numerici interpretativi; per cui nelle analisi di tali dati sperimentali e relative valutazioni di sintesi si ritiene sempre e comunque estremamente necessario attribuire un significativo peso alle conoscenze/evidenze geologiche disponibili ed alla coerenza con il modello geologico di riferimento.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato, oltre che al problema sismico e geotecnico, anche ai codici di calcolo impiegati nelle analisi numeriche (Microzonazione Sismica di livello superiore al 1°) nonché all'accuratezza dei modelli utili ad affrontare le diverse problematiche di pericolosità sismica (analisi della risposta sismica locale, stima del potenziale di liquefazione, analisi della stabilità dei pendii, valutazione dei cedimenti).

8. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di studio, sono stati acquisiti tutti i dati bibliografici e d'archivio riguardanti la cartografia geologica, geomorfologica, e le indagini geognostiche pregresse nel Comune di Rimini. Nella seconda fase sono state definite, di concerto con l'amministrazione comunale ed in funzione delle risorse disponibili agli approfondimenti di indagine, le aree da sottoporre con maggior attenzione allo studio di Microzonazione Sismica; chiaramente l'attenzione prioritaria è stata volta alle zone urbanizzate ed urbanizzabili così come previste nei piani urbanistici comunali e/o di previsione, definendo quindi i settori territorio sul quale eseguire la campagna di nuove indagini geognostiche/geofisiche di approfondimento per le finalità di MS.

Chiaramente tali indagini sono state progettate e pianificate nell'ottica di un perfezionamento ed approfondimento, per quanto possibile, delle conoscenze sui vari assetti geologici e, quindi, per la partizione

del territorio di interesse in macro/microzone a comportamento sismico omogeneo sulla scorta di una base di dati sufficientemente robusta.

Quindi i dati sperimentali di nuova e mirata acquisizione, così come quelli derivati dagli archivi pubblici e privati (ritenuti adeguatamente rappresentativi), sono stati utilizzati per analizzare problematiche di MS attraverso modelli numerici di riconosciuta validità scientifica nonché secondo le procedure ed indicazioni raccomandate dalle linee guida regionali e della Protezione Civile.

I risultati di tali elaborazioni sono stati esplicitati, quindi, attraverso le basi dati numeriche allegate al presente studio e gli elaborati grafici di sintesi richiamati al successivo Par. 9.

9. ELABORATI CARTOGRAFICI

9.1 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I

9.1.1 Carta Geologico-Tecnica

La “Carta Geologico-Tecnica” rappresenta un modello integrato di sottosuolo funzionale alle valutazioni sismiche legate agli studi di Microzonazione Sismica, che permette di individuare in modo semplice ed efficace, i rapporti stratigrafici tra le litologie che rappresentano il substrato formazionale e le coperture.

Tale elaborato, in generale, è costruito in base ad un’attenta valutazione delle Carte Geologiche e Litologiche di riferimento e da un’accurata analisi delle prove geognostiche, geotecniche e geofisiche a disposizione.

In dettaglio, la carta viene costruita codificando le litologie e le formazioni affioranti in differenti unità litotecniche specificate dagli standard di archiviazione informatica 4.1 allegati alle linee guida “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”.

Nel caso specifico, è necessario ricordare (come già descritto al capitolo 4) che i depositi di superficie affioranti nelle aree di studio risulteranno sostanzialmente omogenei in funzione delle MACROAREE di appartenenza (LITORALE, ALLUVIONALE, COLLINARE), in virtù degli ambiti de posizionali, processi sedimentari e aspetti litogenetici caratteristici.

Pertanto mentre i depositi superficiali litorali sono prettamente assimilabili a depositi recenti di Piana costiera, fronte deltizia e piana di sabbia prevalentemente riferibili all’Unità AES8a, mentre la macroarea alluvionale è rappresentata da unità geo-litologiche alluvionali, rappresentate dal Sub-Sintema di Ravenna (AES₈), di Villa Verucchio (AES7) e in minor misura di Bazzano (AES6); infine nella macroarea collinare dominano i terreni appartenenti alle formazioni geologiche plio-pleistoceniche della SUCCESSIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE PADANO congiuntamente a depositi di copertura di natura eluvio-colluviale, depositi di versante e di accumulo gravitativo.

Pertanto, per ottenere un Carta Geologico-Tecnica che rappresentasse adeguatamente le condizioni del territorio in esame, è stato scelto di procedere come segue:

- Dai risultati dei numerosi dati geognostici sono state estrapolate le stratigrafie che consentivano di caratterizzare ed individuare con certezza (ove possibile) la posizione del substrato geotecnico;
- Per i settori di pianura con substrato profondo ci si è avvalsi di dati e informazioni desumibili dalle sezioni geologiche profonde CARG e dagli studi sulla conoide del Marecchia;
- E' stata valutata, in ciascun log stratigrafico estrapolato, la litologia prevalente, la natura geologica e il possibile ambiente deposizionale;
- Le differenti litologie evidenziate, derivate dai dati puntuali di sondaggio, sono state interpolate in pianta per ottenere una realistica distribuzione sul territorio;
- Ciascuna litologia (ed ovviamente ciascun poligono ad essa associato) è stato codificato in unità litotecnica per la realizzazione della Carta Geologico-Tecnica.
- Sono stati cartografati i rari affioramenti del substrato marino visibili in corrispondenza di scarpate o scavi, prevalentemente antropici, lungo le sponde di erosione fluviali od in corrispondenza delle zone in dissesto.
- Sono stati cartografati i terreni di copertura (con spessori > 3 metri) suddivisi su base granulometrica con l'indicazione dell'ambiente genetico/deposizionale.
- Sono state cartografate le instabilità di versante con distinzione dello stato di attività e della tipologia di movimento.
- Sono state cartografate le forme di superficie e sepolte (es. conoidi alluvionali e falde detritiche).
- Sono stati cartografati gli elementi tettonico strutturali quali faglie, assi sinclinali ed assi anticlinali.
- Sono stati cartografati gli orli di terrazzo fluviale.

Questi dati si sono resi necessari alla definizione del modello geologico del sottosuolo per l'intero territorio e propedeutici per la definizione in chiave sismica degli effetti attesi al suolo.

In ciascuna carta sono inoltre rappresentate le tracce delle sezioni litotecniche (di superficie e profonde) elaborate e/o ritenute rappresentative per l'ambito comunale, generalmente ortogonali fra loro e passanti per gli abitati principali. Tali sezioni, sviluppate a partire dal modello digitale del terreno e lungo una rete di sondaggi, vengono rappresentate in allegato alla presente relazione ed a scala varia, in funzione del grado di risoluzione necessario ad illustrare l'assetto locale, permettendo di definire gli andamenti e lineamenti geologici principali nonché di definire le dinamiche evolutive dell'area e gli aspetti geomorfologici e strutturali salienti.

In particolare, mentre le sezioni litotecniche superficiali costiere (denominate F-F', L-L', O-O', Q-Q', R-R') risultano particolarmente importanti per la definizione delle problematiche legate al potenziale di

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

liquefazione dei depositi sabbiosi costieri, le sezioni geologiche profonde risultano un importante ausilio per la stima della profondità del bedrock geologico lungo la costa e attraverso la conoide del Marecchia, nonché un robusto riferimento per la correlazione dei picchi di frequenza H/V con strutture geologiche profonde e, all'occorrenza, poter individuare il bedrock sismico di riferimento nei vari punti di verifica.

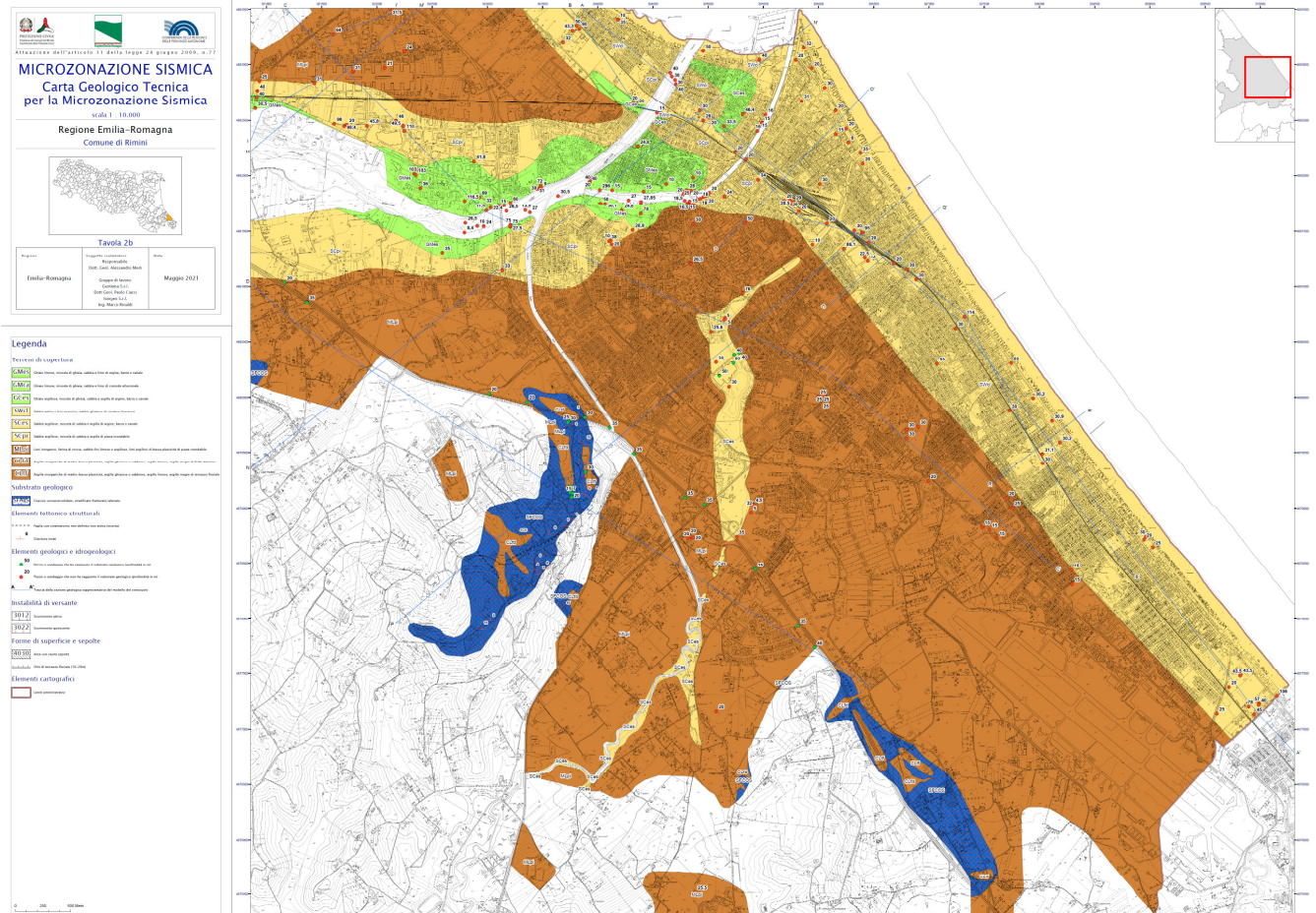


Figura 9.1.1 – Miniatura esemplificativa di una Carta Geologico-Tecnica

9.1.2 Carta delle Frequenze Naturali del Terreno

Sulla base dei risultati delle registrazioni a stazione singola HVSR, ritenute più rappresentative (sia di nuova realizzazione che pregresse), si è sviluppata la mappa delle Frequenze Naturali dei terreni dell'ambito comunale studiato. In particolare, data la diffusa presenza di un substrato geologico profondo si è conferito maggior peso alle misure effettuate con dispositivi di registrazione a bassa frequenza di risonanza strumentale.

Nonostante, comunemente, negli studi di Microzonazione Sismica venga prodotta un'unica carta delle Frequenza Naturali, è stato scelto in questo caso di rilasciare 4 differenti elaborati (range di frequenze) per non perdere importanti informazioni legate a massimi risonanti secondari, talora significativi per l'assetto geologico locale e/o in presenza di spessi depositi di copertura con importanti orizzonti risonanti interclusi

(es. orizzonti ghiaiosi di rilevante spessore ed estensione, talora coalescenti, presenti spesso in prossimità del tetto di ogni sintema).

Al fine di chiarire quanto appena espresso viene di seguito riportato un esempio sui criteri di elaborazione adottati; talora, a seguito degli effetti di smorzamento indotti da depositi soffici e profondi e/o dalla presenza di situazioni stratigrafiche con inversioni di velocità, il giudizio e la definizione dei picchi di frequenza sono stati guidati anche dal reciproco andamento delle singole componenti verticali ed orizzontali del moto registrato. In figura 9.1.2 è riportata, a titolo di esempio, la misura 099014P527HVSR604.

Ad es. la misura con codice 099014P527HVSR604, così come la maggior parte dei rilievi realizzati, è caratterizzata da più massimi in Frequenza. Quello a massima ampiezza e di minor valore in frequenza viene indicato come F0 che, nell'esempio, presenta una frequenza di circa 0.5 con ampiezza media di circa 2.1.

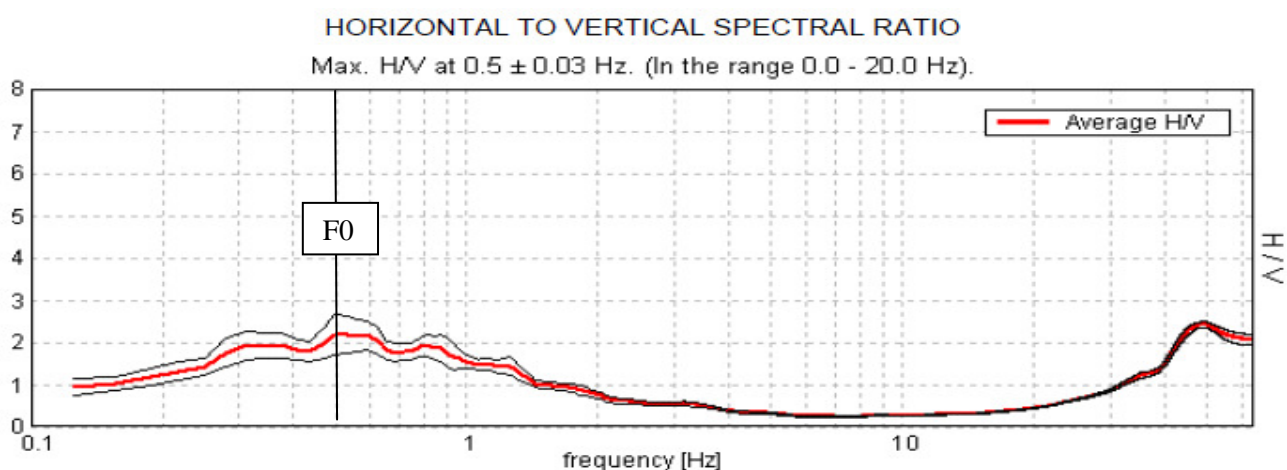


Figura 9.1.2-Curva dei rapporti spettrali relativa alla registrazione 099014P527HVSR604.

Tutti i picchi di frequenza rappresentativi ricadono nell'intervallo di Frequenze ingegneristico di risonanza delle strutture (compreso all'incirca tra 0.5 e 15 Hz) e, dunque, risultano potenzialmente pericolosi per fenomenologie di amplificazione locale o, comunque, di alterazione del moto sismico atteso. Il picco a più bassa frequenza F0 indica il "contrasto d'impedenza sismico" più significativo in profondità ed a cui è associata la maggior aliquota di trasferimento dell'energia del moto vibratorio/sismico e, pertanto, risulta informativo ai fini della ricostruzione del substrato sismico dell'area. Inoltre tutti i valori di frequenza individuati con tale tecnica, essendo il frutto di medie statistiche, sono affetti da una deviazione standard che ne può comportare uno scostamento talora di entità pari al 20-25% del valore definito.

Nella definizione dei picchi/range di frequenza rappresentativi si è tenuto in considerazione quanto già emerso in occasione dello studio di microzonazione sismica a supporto del PSC di Rimini (stesura 2011) ed in significativa coerenza con le analisi e modelli definiti in Mascandola et al., 2019. Al proposito, quale elemento distintivo riconoscibile su tutto il territorio, si constata la presenza in bassissima frequenza, di un

massimo con ampiezza variabile da misura a misura, presente in quasi tutte le acquisizioni a stazione singola realizzate nel Comune. Tuttavia un modesto trend di incremento nel valore assoluto di f_0 è generalmente rilevabile procedendo lungo costa verso sud (in prossimità del confine comunale con Riccione) e nell'entroterra verso SW, coerentemente allo sviluppo dell'alto strutturale individuabile nelle sezioni geologiche profonde in prossimità del margine comunale e zone pedecollinari meridionali ed all'andamento delle isobate della Base AEI-AES rappresentate in Figura 4.12 (prog. CARG).

Pertanto sebbene la DGR 630/2019 e successivo aggiornamento DGR 476/2021 suggerisca determinati ambiti di frequenza a livello generale, data l'estensione territoriale e la grande variabilità degli assetti geologici ivi presenti, si potrà fare riferimento alle specifiche carte che rappresentano in modo omogeneo i valori di F_0 all'occorrenza rilevati in ciascun punto di misura. Invece per una stima indicativa e puntuale delle profondità associabili a ciascun valore di frequenza ci si potrà riferire ai range rappresentativi riportati al par. 3.1.1 della succitata DGR e successivo aggiornamento.

Lo schema interpretativo per la stesura delle mappe di frequenza prevede che la frequenza fondamentale dell'area, indicata con codice F_0 , rappresenti la frequenza significativa più bassa ed a maggior ampiezza fra tutte quelle riscontrate nel campo di interesse ingegneristico. Diversamente i valori di ampiezza rappresentativi per ciascuna classe di frequenza, vengono illustrati tramite diversa colorazione dei simboli secondo specifici range caratteristici per l'area (es. vedi figura 9.1.3).

Punti di misura della frequenza (f_0)

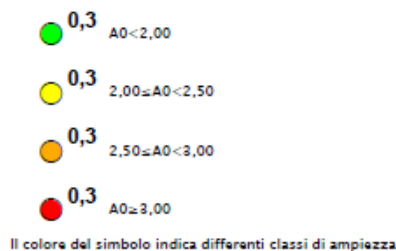


Figura 9.1.3 - Codifiche per la visualizzazione in mappa delle Frequenze e della Ampiezze individuate dai rilievi HVSR.

In base a quanto esposto in figura 9.1.4 ne viene riportata un esempio in miniatura della tavola.

E' necessario precisare che, talora, esistono anche ulteriori massimi con frequenza $F > 10-16$ Hz che, diversamente dai precedenti, non sono stati caratterizzati perché ritenuti non particolarmente significativi per la pericolosità sismica dell'area. Questa tipologia di massimi rappresenterebbe infatti contrasti di impedenza molto superficiali che, in relazione al normale piano di fondazione degli edifici, è ragionevolmente non significativo.

E' opportuno comunque ricordare che esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute) e può essere sensibilmente influenzata da altre variabili naturali e strumentali.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

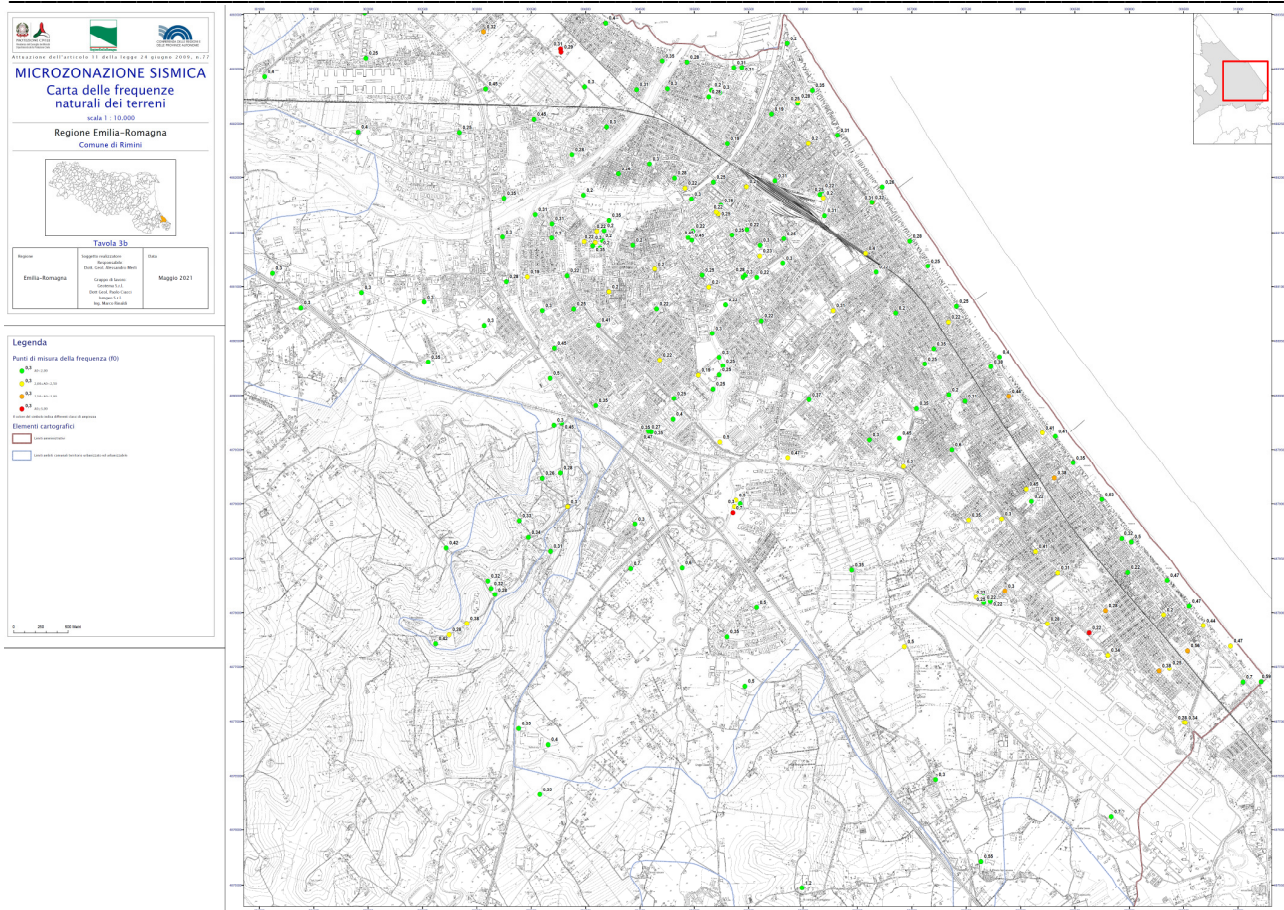


Figura 9.1.4 – Miniatura esemplificativa di una Mappa delle Frequenze Naturali dei Terreni (F0).

9.1.3 Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di Livello 1 costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc...). Sulla base degli elementi geologico-morfologici individuati, precedentemente descritti e già riportati nella Carta Geologico Tecnica e delle colonne litostratigrafiche desumibili dalle prove geognostiche, è stata redatta la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, restituita a scala 1:10.000.

In funzione delle informazioni rappresentate, la legenda è distinta nelle seguenti parti:

- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.
- Zone suscettibili di instabilità.
- Forme di superficie e sepolte.
- Tracce di sezione topografica.
- Punti di misura del rumore ambientale.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento di Protezione Civile e gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica MS versione. 4.1, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica.

Per la copertura dell'area di studio sono state sviluppate 3 tavole dell'elaborato MOPS di cui nel seguito se ne riporta una miniatura.

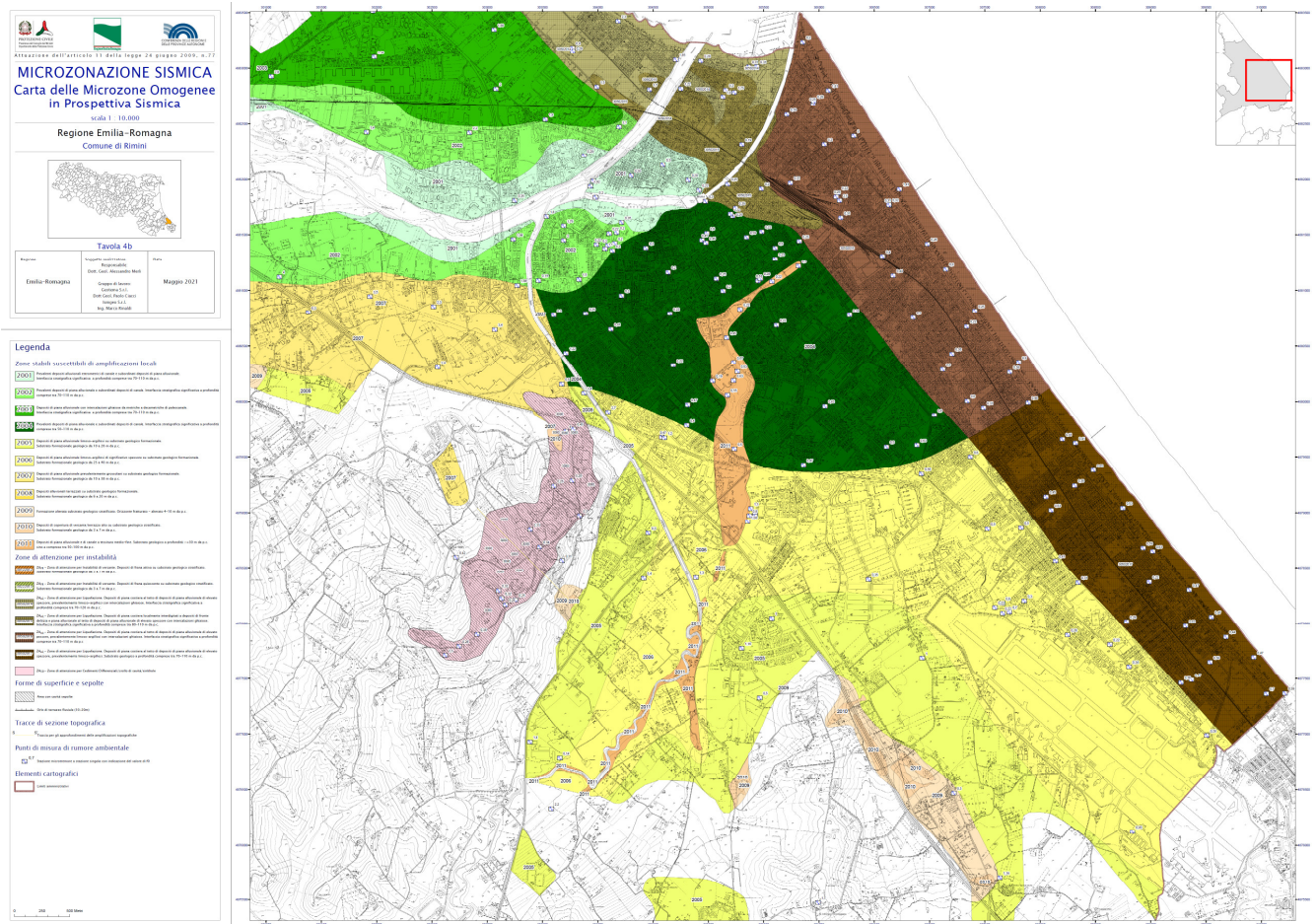


Figura 9.1.5 - Miniatura esemplificativa di una Carta delle MOPS.

Le microzone possono essere classificate in tre categorie:

- a) zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura (substrato geologico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata – pendii con inclinazione inferiore a circa 15°);
- b) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, per effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;
- c) zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio. I principali tipi di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali.

In base a tale modalità di classificazione ed alle peculiarità del territorio studiato si possono trarre le seguenti considerazioni:

Zone stabili

All'interno del territorio del territorio comunale non sono state riscontrate microzone definibili come "stabili". Questo è dovuto in particolare al fatto che non è presente in affioramento a bassa acclività il bedrock sismico ne quello geologico inalterato.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

All'interno dei territori in studio sono presenti Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali per soli motivi stratigrafici rappresentate dalle colonnine stratigrafiche con codice 2001-2002-2003-2004-2005-2006-2007-2008-2009-2010-2011.

La corrispondenza tra elementi di copertura geologico-tecnici prevalenti e le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali della Carta delle MOPS diventano quindi le seguenti:

Zone stabili: n. 11

codice colonnina	copertura
2001	GM/ML
2002	SC
2003	CL/ML
2004	ML
2005	SC/ML
2006	ML
2007	ML/SC
2008	CL
2009	SFCOS
2010	CL
2011	SC

La litologia prevalente delle coperture è sicuramente influenzata dai processi deposizionali e genetici di messa in posto dei sedimenti. Come si può notare la maggior parte delle aree stabili suscettibili di amplificazione per motivi stratigrafici appartiene alla Macroarea Alluvionale, costituita da depositi di piana alluvionale prevalentemente limoso-argillosi di significativo spessore (dell'ordine da alcune decine di metri sino ad oltre 200 mt nei settori più profondi della conoide alluvionale) con subordinati depositi di canale localmente più grossolani (strutture di canale e paleoalveo). In ambito collinare invece (rappresentato dalle colonnine 2009-2010), le coperture superficiali sono rappresentate da limi argillosi di alterazione del substrato e/o di copertura per accumulo eluvio/colluviale o detritico con spessori variabili da alcuni m (3-5 m specialmente in sommità di versante) fino a 7-10 m nelle zone di impluvio e/o di fondovalle. In tale fattispecie vengono ricompresi altresì modesti lembi di terrazzo alto. Lungo limitati tratti sub pianeggianti di

fondovalle immediatamente prospicienti le pendici dei versanti, sono inoltre presenti depositi di copertura alluvionali direttamente poggianti sul bed-rock geologico (colonnine 2005-2006-2007-2008).

Zone suscettibili di instabilità

Le zone suscettibili di instabilità individuate all'interno delle aree urbanizzate e urbanizzabili del comune fanno riferimento prettamente ad aree con presenza di fenomeni di instabilità gravitativa su aree collinari o di instabilità per liquefazione lungo la zona costiera. Le aree instabili per frana presentano stati di attività sia quiescenti che attivi:

Zone Instabili: n. 6

	codice colonnina	copertura
2012		CL
2013		CL
2014		SW
2015		SC/GC
2016		SW
2017		SW

Mentre le aree in dissesto individuate risultano sostanzialmente marginali alle infrastrutture ed aree urbanizzate dell'ambito collinare (e talora a case sparse), le problematiche di instabilità per liquefazione risultano interessare gran parte dell'urbanizzato e delle strutture/infrastrutture strategiche (viabilità, linea ferroviaria, stazioni ferroviarie, portocanale, scuole, caserme, ecc.) presso le località costiere, nonché parte dell'area urbana storica.

Inoltre, poiché si ha notizia di cavità antropiche, generalmente di bassa-media profondità, realizzate storicamente ed a livello puntuale nell'ambito dei terreni arenacei della località Covignano, in via cautelativa, su tutta l'area di potenziale interesse è stata segnalata la presenza di cavità sepolte; data la scarsità di informazioni disponibili e la natura puntuale degli interventi antropici, non si hanno sufficienti elementi conoscitivi per un'appropriata valutazione tecnica e stima dell'effettiva pericolosità puntuale.

Per i dettagli delle singole zonazioni si rimanda pertanto alla tavola delle MOPS.

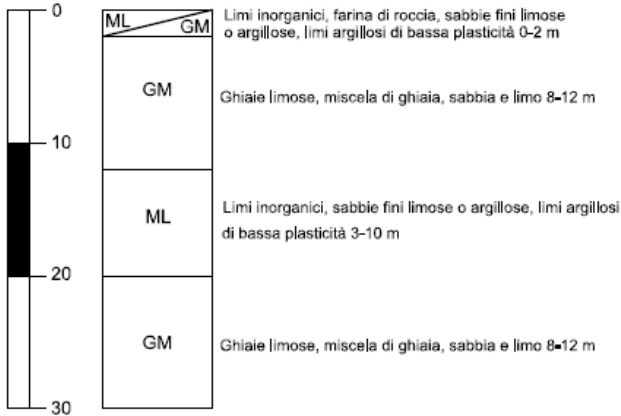
Nell'area di studio, con particolare riferimento alle zone urbanizzate ed urbanizzabili, non sono presenti elementi strutturali (faglie, ecc..) certi, in quanto dalla consultazione del database Itaca non è stato rilevato alcun elemento tettonico attivo e capace, certo e documentato, che possa determinare effetti superficiali nelle aree urbanizzate in oggetto.

Di seguito si riporta una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica, definibili per le aree in esame, con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi (ogni colonnina riporta le litologie prevalenti con una breve descrizione ed è associata ad una microzona in pianta):

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

2001 Prevalenti depositi alluvionali eterometrici di canale e subordinati depositi di piana alluvionale

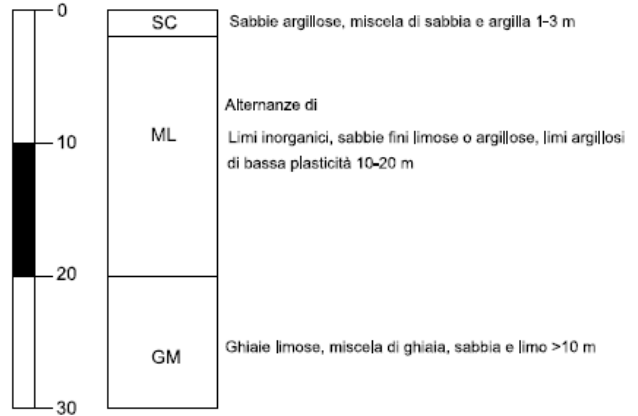
ZONA 1



Interfaccia stratigrafica significativa a profondità comprese tra 70-110 m da p.c.

2002 Prevalenti depositi di piana alluvionale e subordinati depositi di canale

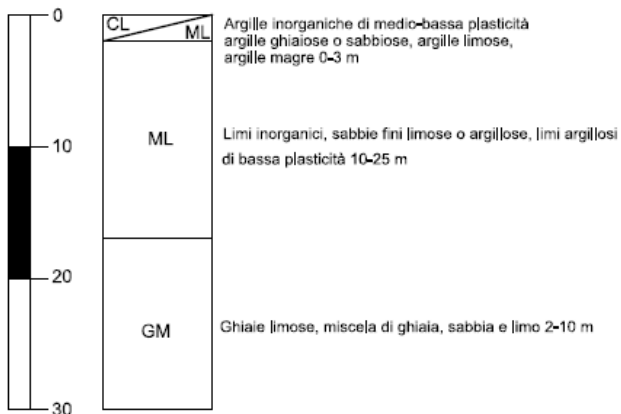
ZONA 2



Interfaccia stratigrafica significativa a profondità comprese tra 70-110 m da p.c.

2003 Depositi di piana alluvionale con intercalazioni ghiaiose da metriche a decametriche di paleocanale

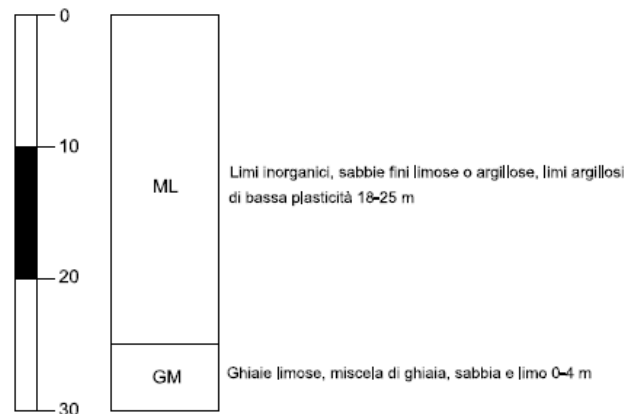
ZONA 3



Interfaccia stratigrafica significativa a profondità comprese tra 70-110 m da p.c.

2004 Prevalenti depositi di piana alluvionale e subordinati depositi di canale

ZONA 4

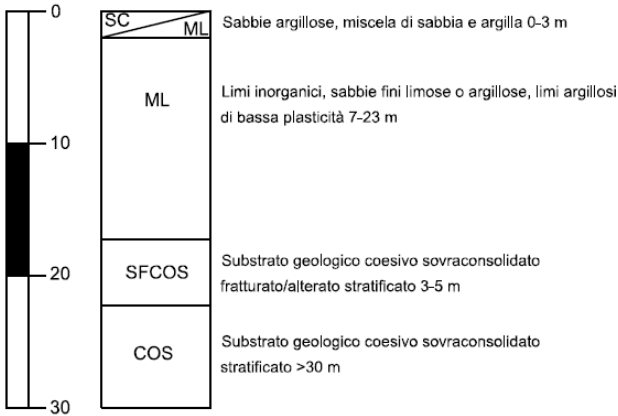


Interfaccia stratigrafica significativa a profondità comprese tra 50-110 m da p.c.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

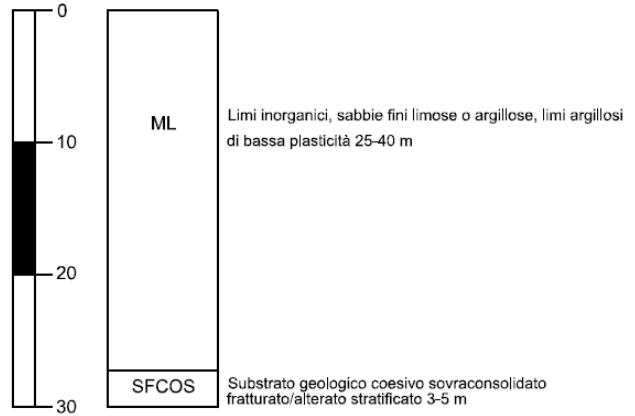
2005 Depositi di piana alluvionale limoso-argillosi su substrato geologico formazionale

ZONA 5



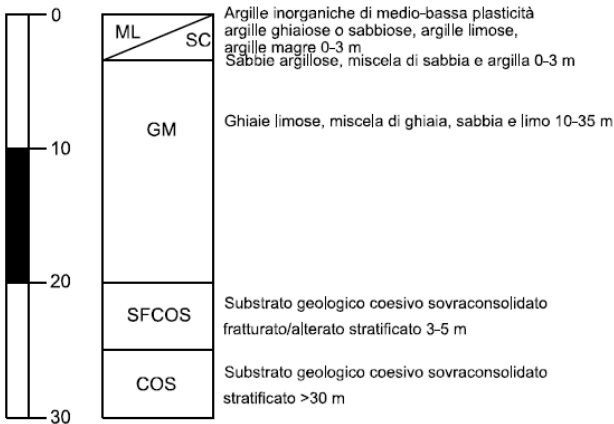
2006 Depositi di piana alluvionale limoso-argillosi di significativo spessore su substrato geologico formazionale

ZONA 6



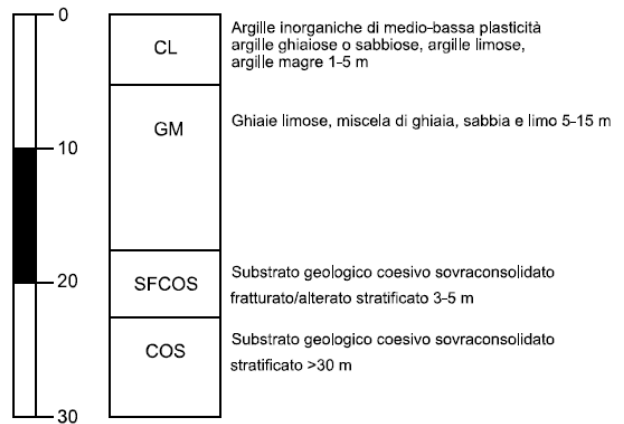
2007 Depositi di piana alluvionale prevalentemente grossolani su substrato geologico formazionale

ZONA 7



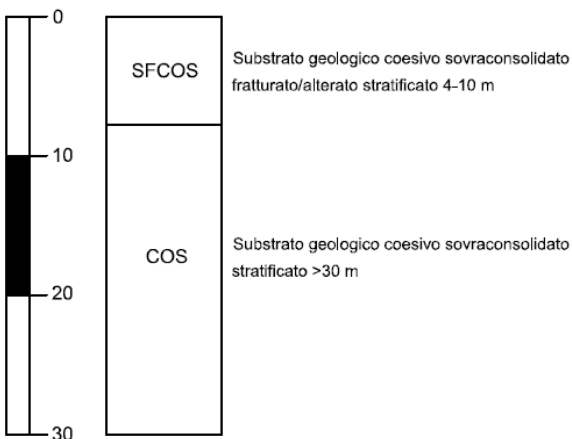
2008 Depositi alluvionali terrazzati su substrato geologico formazionale

ZONA 8



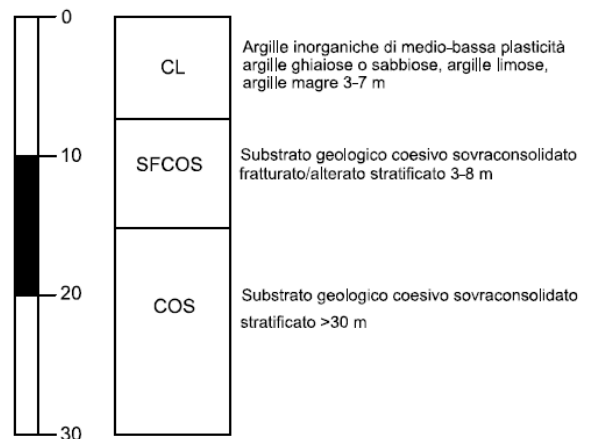
2009 Formazione alterata su substrato geologico stratificato

ZONA 9



2010 Depositi di copertura di versante/terrazzo alto su substrato geologico stratificato

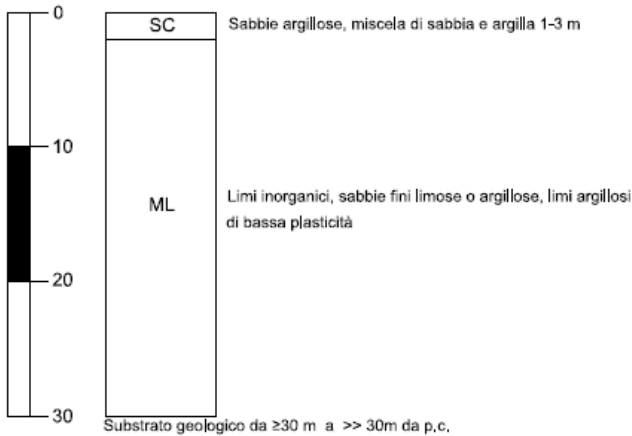
ZONA 10



Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

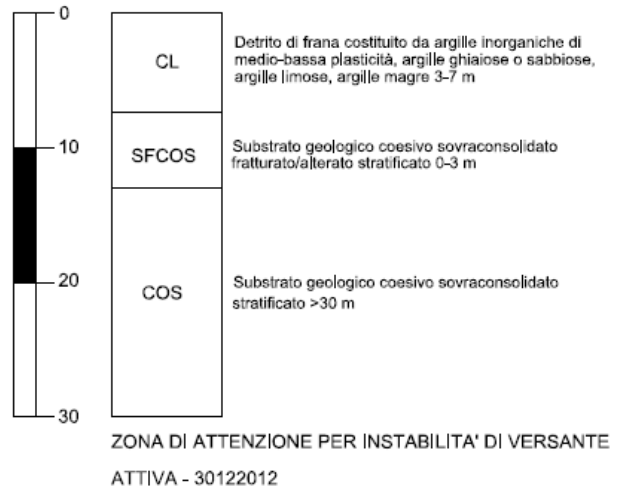
2011 Depositi di piana alluvionale e di canale a tessitura medio-fine

ZONA 11



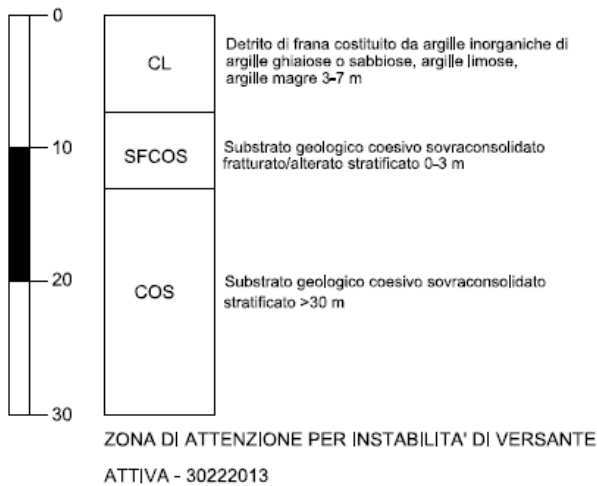
2012 Depositi di frana attiva su substrato geologico stratificato

ZONA 12



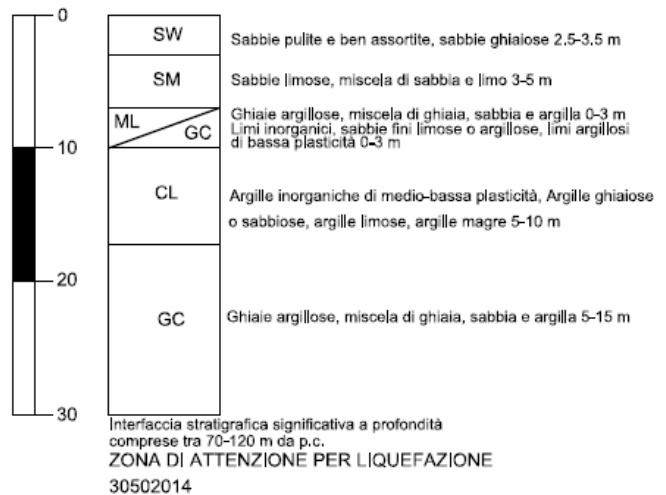
2013 Depositi di frana quiescente su substrato geologico stratificato

ZONA 13



2014 Depositi di piana costiera al tetto di depositi di piana alluvionale di elevato spessore, prevalentemente limoso-argillosi con intercalazioni ghiaiose

ZONA 14



Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

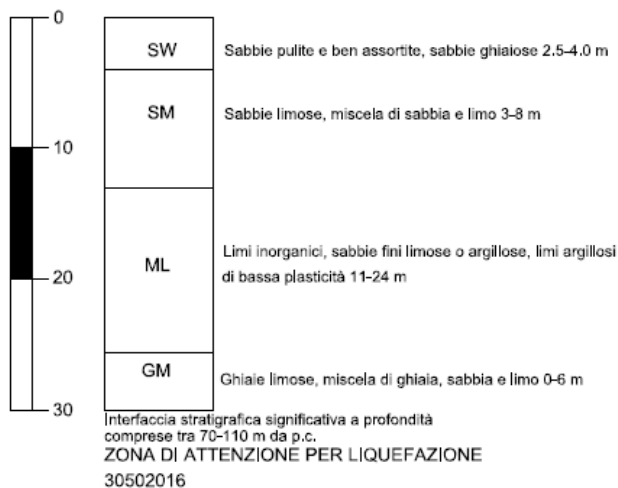
2015 Depositi di piana costiera localmente interdigitati a depositi di fronte deltata e piana alluvionale al tetto di depositi di piana alluvionale di elevato spessore con intercalazioni ghiaiose

ZONA 15



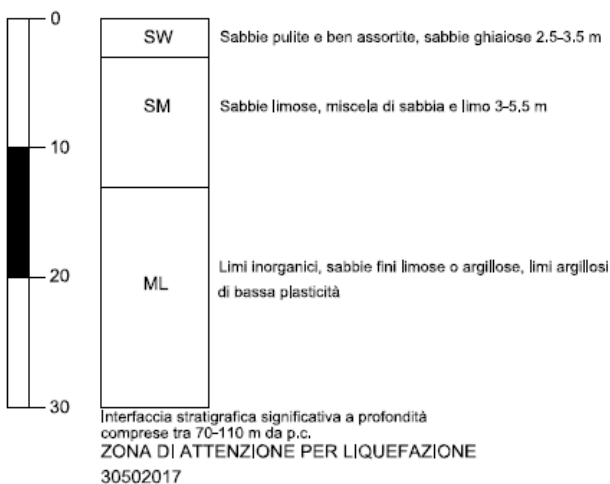
2016 Depositi di piana costiera al tetto di depositi di piana alluvionale di elevato spessore, prevalentemente limoso-argillosi con intercalazioni ghiaiose

ZONA 16



2017 Depositi di piana costiera al tetto di depositi di piana alluvionale di elevato spessore, prevalentemente limoso-argillosi

ZONA 17



Per tutte le zone illustrate sono attese amplificazioni del moto sismico per motivi stratigrafici e talora topografici.

A tal proposito nella carta delle MOPS vengono altresì riportate le tracce di sezione topografica utili a verificare localmente la presenza ed entità di eventuali fenomeni di amplificazione topografica. Tali fenomeni, ove ipotizzabili, sono stati successivamente quantificati tramite gli approcci semplificati indicati nelle ICMS 2008 per scarpate e versanti con conformazione a cresta (paragrafo 3.3, pag. 158-160, Volume 3).

9.2 MICROZONAZIONE SISMICA AL II LIVELLO DI ANALISI

9.2.1 Carta delle velocità delle onde di taglio “Vs”

Per la costruzione della carta delle velocità delle onde di taglio sono state utilizzate le indagini di misura diretta maggiormente rappresentative che hanno consentito di raggiungere profondità ≥ 30 m, avvalendosi a titolo correlativo di tutte le altre prove a minor penetrazione.

I test di misura geofisica diretta utilizzati risultano suddivisi come segue:

- 58 prove Puntuali (DH, CH, SCPT, SDMT, Array 2D ed HVSR dove assenti misure dirette);
- 12 Lineari (Masw, ReMi.);

In Figura 9.2.1 è possibile osservare la distribuzione sul territorio delle differenti indagini sismiche: ogni rilievo è stato codificato come riportato negli standard di archiviazione e rappresentazione informatica 4.1 riferiti a “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”.

In base alle caratteristiche dei depositi di copertura ed alla profondità del substrato geologico di misura, per ciascun sito si è valutato il valore rappresentativo di Vs30 o all’occorrenza VsH (H=spessore delle coperture) in corrispondenza dei terreni collinari con coperture su substrato non rigido, caratterizzato da Vs \ll 800 m/s.

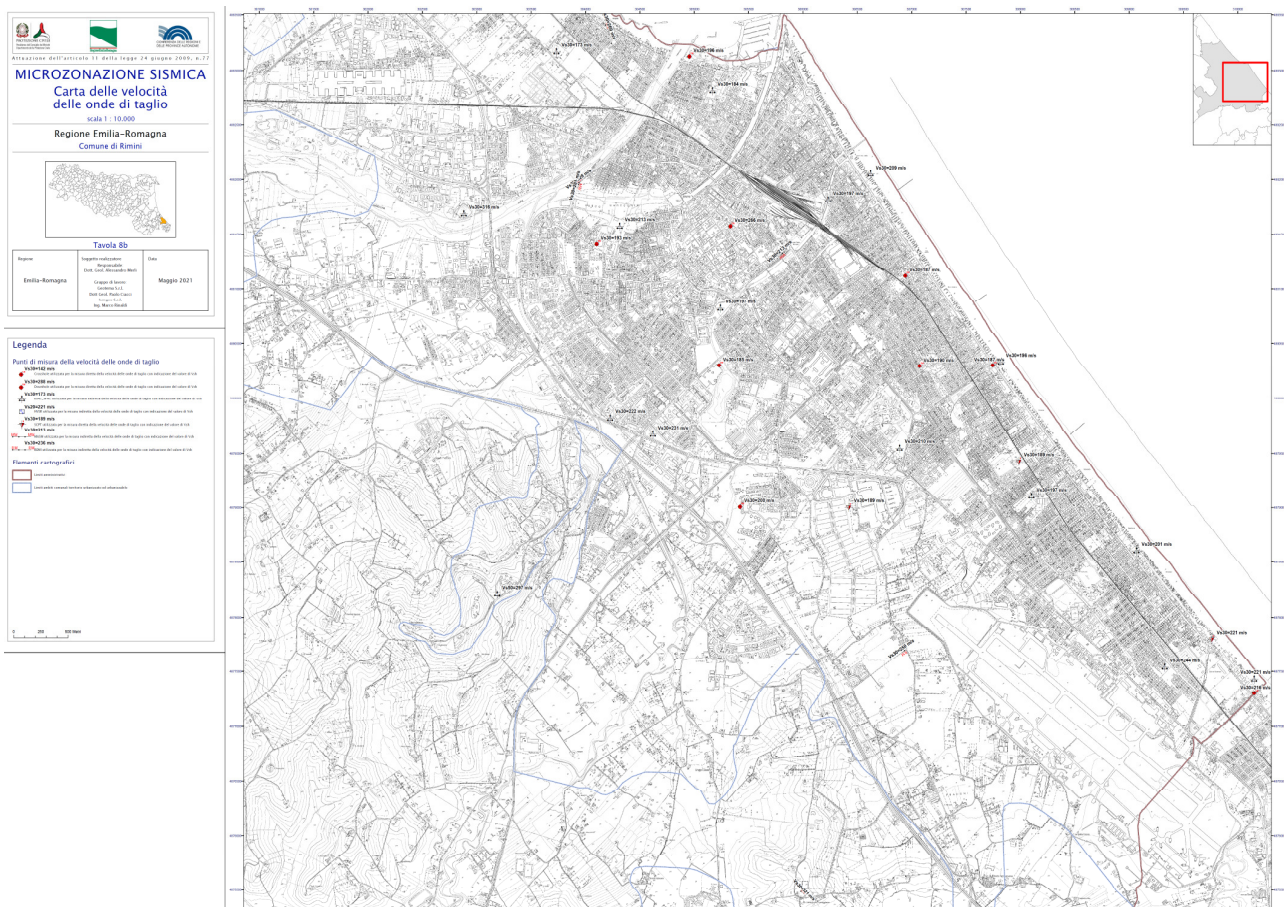


Figura 9.2.1 – Miniatura esemplificativa di una carta delle velocità delle onde di taglio VsH.

9.2.2 Carte dei Fattori di Amplificazione Stratigrafica

I terreni in studio di Rimini, data la conformazione ed estensione del territorio comunale, presentano caratteristiche litologiche a tratti differenti (vedi Cap. 4), talora con sensibili variazioni nelle caratteristiche fisico-meccaniche delle coperture e dei substrati geologici superficiali alterati.

A tal proposito il territorio in studio è stato discretizzato schematizzando situazioni geologiche omogenee al fine di poter stimare in maniera consona i fattori di amplificazione sismica tramite metodo semplificato tabellare proposto nella DGR 630/2019 e successivo aggiornamento DGR 476/2021. Quindi sulla base della descrizione del contesto geologico di applicazione di ciascuna tabella e delle profondità attese per il substrato, si sono utilizzati i parametri di amplificazione definiti nelle tabelle denominate: Appennino (coperture su substrato non rigido), Margine A, Margine B, Pianura 1 e Pianura 2. In figura 9.2.2 viene illustrato lo schema di applicazione delle tabelle succitate per i diversi ambiti geologici.

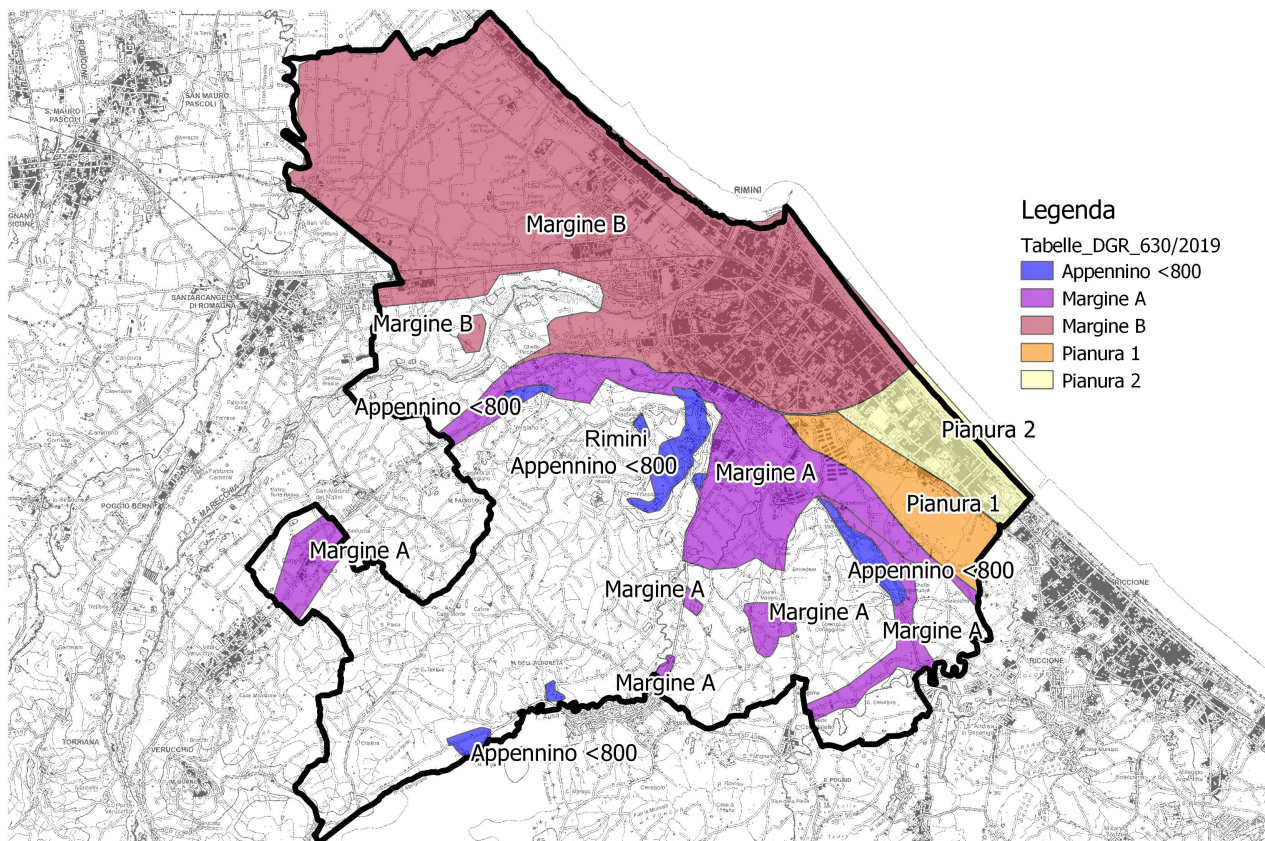


Figura 9.2.2 – Schema di applicazione delle tabelle di approccio semplificato per la stima dei fattori di amplificazione sismica nei diversi ambiti geologici del territorio comunale.

In ambito collinare, per cogliere in modo maggiormente significativo a livello locale la variazione dei fattori di amplificazione (FA) in funzione degli effetti stratigrafici, l'assegnazione di tali coefficienti è stata definita attraverso la stima puntuale del parametro di velocità equivalente V_{sH} , secondo la seguente formulazione:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i/V_{si}}$$
dove N è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura, H è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato, h_i = spessore (in m) dello strato i-esimo (fino al substrato), V_{si} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al substrato).

In particolare, date le caratteristiche di rigidità sismica delle formazioni geologiche locali, per la stima di H si è assunta la profondità del tetto del substrato “non rigido”, ovvero il substrato geologico inalterato contraddistinto da una $V_s \ll 800$ m/s.

Un cenno particolare merita anche la modalità di applicazione dei parametri relativi alla Tabella “Margine A” in quanto, nei contesti pedecollinari, data la modesta variabilità dello spessore dei depositi di copertura su materiali di base più rigidi (generalmente compreso tra 25 e 40 m), si è optato di adottare il parametro V_{s30} (valore di profondità massima), al fine di ottenere una lettura omogenea e calibrata sullo specifico contesto geologico/territoriale.

Per tutte le altre tabelle (Margine B, Pianura 1 e Pianura 2) ci si è avvalsi del valore di V_{s30} per la stima dei fattori di amplificazione sismica di ciascuna relativa microzona.

Tali scelte sono state guidate anche sulla scorta delle considerazioni ed esperienze illustrate nello studio “Revisione della suddivisione del territorio regionale in ambiti geo-litologici omogenei (A. Tento, L. Martelli, A. Marcellini, 2015)”, alla base della definizione delle nuove tabelle di approccio semplificato per MS2.

Gli ambiti vengono quindi caratterizzati dai seguenti Fattori di amplificazione per effetto stratigrafico che intervengono sulle ampiezze spettrali (in accelerazione e velocità):

$F_{PGA} = PGA/PGA0$, dove $PGA0$ è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;

$FA = SA/SA0$, dove $SA0$ è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: $SA1$ per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, $SA2$ per $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $SA3$ per $0,7s \leq T \leq 1,1s$, $SA4$ per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;

$FH = SI/SI0$, dove $SI0$ è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T: $SI1$ per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, $SI2$ per $0,5s \leq T \leq 1,0s$, $SI3$ per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

A tal proposito si evidenzia come per gli ambiti caratterizzati dalle Tabelle Appennino e Margine A, in virtù degli spessori delle copertura e della tipologia di risposta sismica caratteristica, non vengano definiti i fattori di amplificazione SA4 ed SI3, venendo pertanto stralciati dalle relative carte di MS2.

In dettaglio, le 8 carte di Microzonazione (Fa-PGA - Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 - Fa_SA4 - Fa_SI1 - Fa_SI2 - Fa_SI3) sono state costruite come segue:

- A ciascuna Microzona individuata nella carta delle MOPS è stato assegnato, in base ai rilievi disponibili riportati nella mappa delle velocità, un unico valore rappresentativo di Vs. Tale valore è stato assegnato in termini di Vs30 o VsH (in funzione del contesto geologico e profondità del bedrock geofisico o contrasti di impedenza significativi); al proposito si rileva come rigidzze proprie di substrati con $V_s \geq 800$ m/s si possano riscontrare solo a profondità elevate.
- In base a ciascun valore Vs assegnato alle varie zone (Vs30 o VsH) è stato successivamente possibile identificare e/o accoppiare Microzone con caratteristiche dinamiche simili, suddividendo il territorio in zone a caratteristiche amplificative omogenee.
- In base agli abachi proposti nella DGR 630/2019 e successivo aggiornamento DGR 476/2021 (riportati in Figura 9.2.3) denominati rispettivamente A 2.1.1 “APPENNINO” (per substrato non rigido con $V_s \ll 800$ m/s) - A 2.1.2: “PIANURA 1”, “PIANURA 2” - “MARGINE di Tipo A” e “MARGINE di Tipo B”, sono stati quindi assegnati i Fattori di Amplificazione corrispondenti alla classe di Vs30 o VsH precedentemente determinata.

VsH (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	VsH (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	VsH (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2		5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3		5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2		10	2.3	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3		10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2		15	2.8	2.3	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3		15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2		20	3.2	2.9	2.3	1.8	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3		20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3		25	3.4	3.2	2.7	2.0	1.7	1.5	1.5	1.4	1.3		25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3		30		3.3	2.9	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.4		30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	35		3.3	3.0	2.5	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	40		3.2	3.1	2.7	2.3	2.0	1.7	1.5	1.4	1.2	40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	50		3.0	3.0	2.8	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.3	50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3
Fattore di Amplificazione PGA											Fattore di Amplificazione SA2 (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)											Fattore di Amplificazione SI1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)										
VsH (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	VsH (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	VsH (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.2	1.8	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2		5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3		5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.5	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2		10	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3		10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.5	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2		15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3		15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	1.3		20	2.4	2.1	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3		20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	2.4	2.4	2.3	2.2	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3		25	3.4	2.5	1.9	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3		25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		2.3	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3		30		3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3		30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		2.2	2.2	2.2	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	35		3.3	2.7	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.1	35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		2.1	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	40		3.6	3.1	2.2	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	50		3.6	3.4	2.9	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3
Fattore di Amplificazione SA1 (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)											Fattore di Amplificazione SA3 (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)											Fattore di Amplificazione SI2 (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)										

a)

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

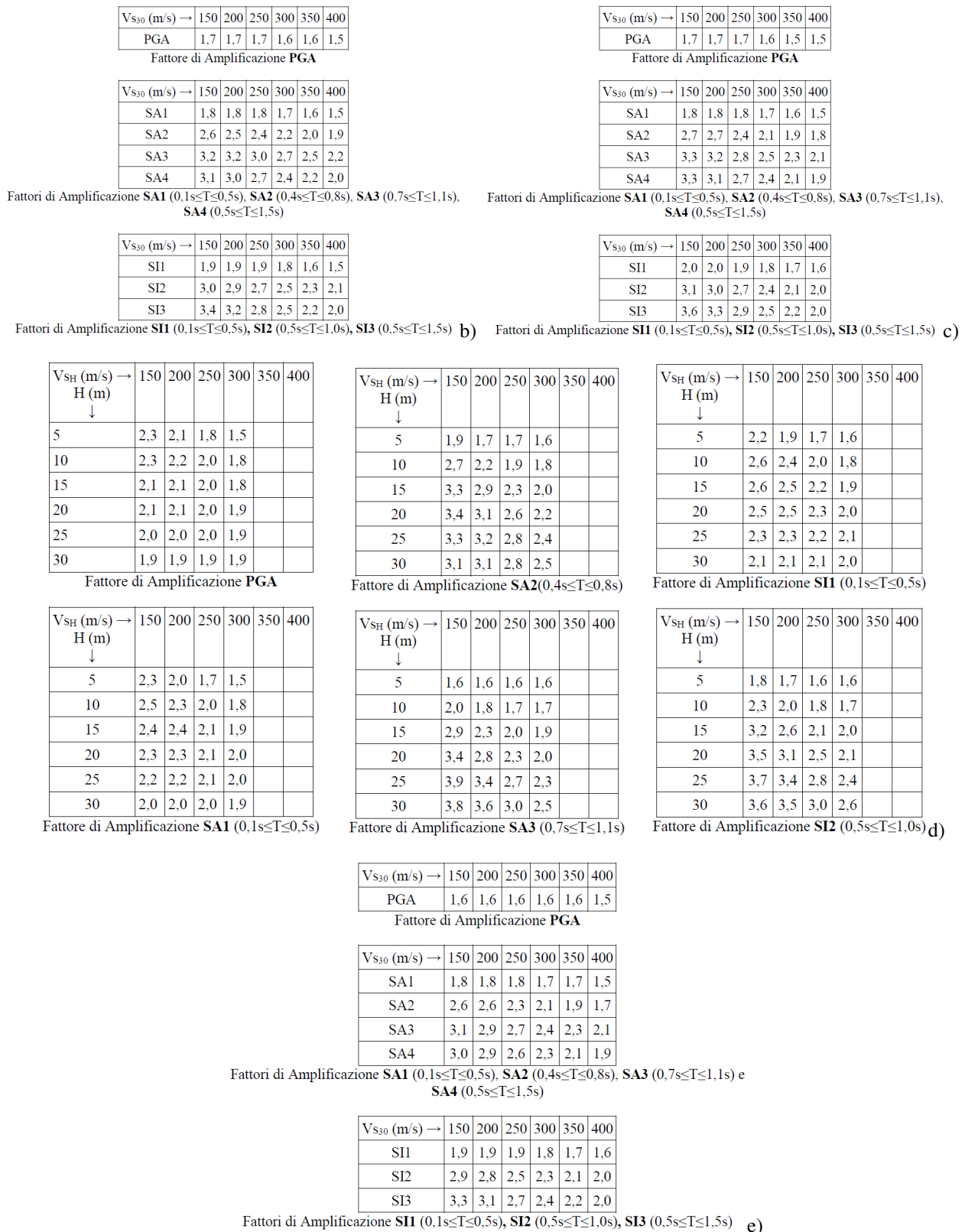


Figura 9.2.3 - Abachi definiti dalla Regione Emilia Romagna per il calcolo dei Fattori di Amplificazione al II livello di analisi di Microzonazione Sismica: “Appennino” per substrato non rigido con VS<<800 m/s (a), Pianura 1 (b), Pianura 2 (c), Margine di tipo A (d), Margine di tipo B (e).

Quindi gli elaborati finali sono stati realizzati accoppiando aree con valori di FA simili, come riportato negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica 4.1 in allegato alle linee guida per la Microzonazione Sismica. In Figura 9.2.4 vengono mostrate le classi di colore assegnate per ciascun range di amplificazione ottenuto.











Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione) ¹⁴	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3,5

Figura 9.2.4-Classi di colore riferite ai Fattori di Amplificazione (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. MS. Versione 4.1)

Per ciascuna microzona, tramite specifiche etichette sovrimposte a livello grafico, è stato altresì riportato il relativo valore numerico del Fa ottenuto sia per le zone stabili che di attenzione per instabilità, nonostante possano essere caratterizzate da complessi fenomeni di amplificazione sismica e, spesso, da forti deformazioni e condizioni di comportamento non lineare, per cui è opportuno svolgere approfondite verifiche tramite specifici approfondimenti di III Livello.

In linea generale nelle aree di piana alluvionale e costiera, data la profondità del bedrock e la natura/rigidezza dei depositi superficiali, i fattori di amplificazione (sia in accelerazione che in velocità) tendono a risultare maggiormente correlati tra loro, sia nei range spettrali di media-alta frequenza (PGA, 0.1-0.5s, 0.5-1.0s, 0.7-1.1s) che a bassa frequenza (0.5-1.5s). Una differenza progressivamente maggiore si riscontra tra le zone costiere ed alluvionali presenti a Nord e a Sud del portocanale, in quest'ultimo caso prevalentemente per l'assenza di intercalazioni ghiaiose di significative dimensioni all'interno delle alluvioni normal consolidate e per il progressivo assottigliamento delle coperture alluvionali poggianti sul bedrock geologico in prossimità della zona Aeroporto e del confine comunale con Riccione (sebbene ancora con spessori dell'ordine del centinaio di metri in zona costiera). Diversamente procedendo verso le zone pedecollinari e collinari, in cui le coperture al di sopra del bedrock rigido vanno sensibilmente assottigliandosi, si evidenzia un maggior incremento degli effetti amplificativi nell'ambito delle alte e medie frequenze; al proposito in corrispondenza delle zone di Margine tipo A e Appennino, la direttiva regionale non prevede la stima (e conseguente mappatura) dei parametri di amplificazione nel range 0.5-1.5s (SA4 ed SI3).

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

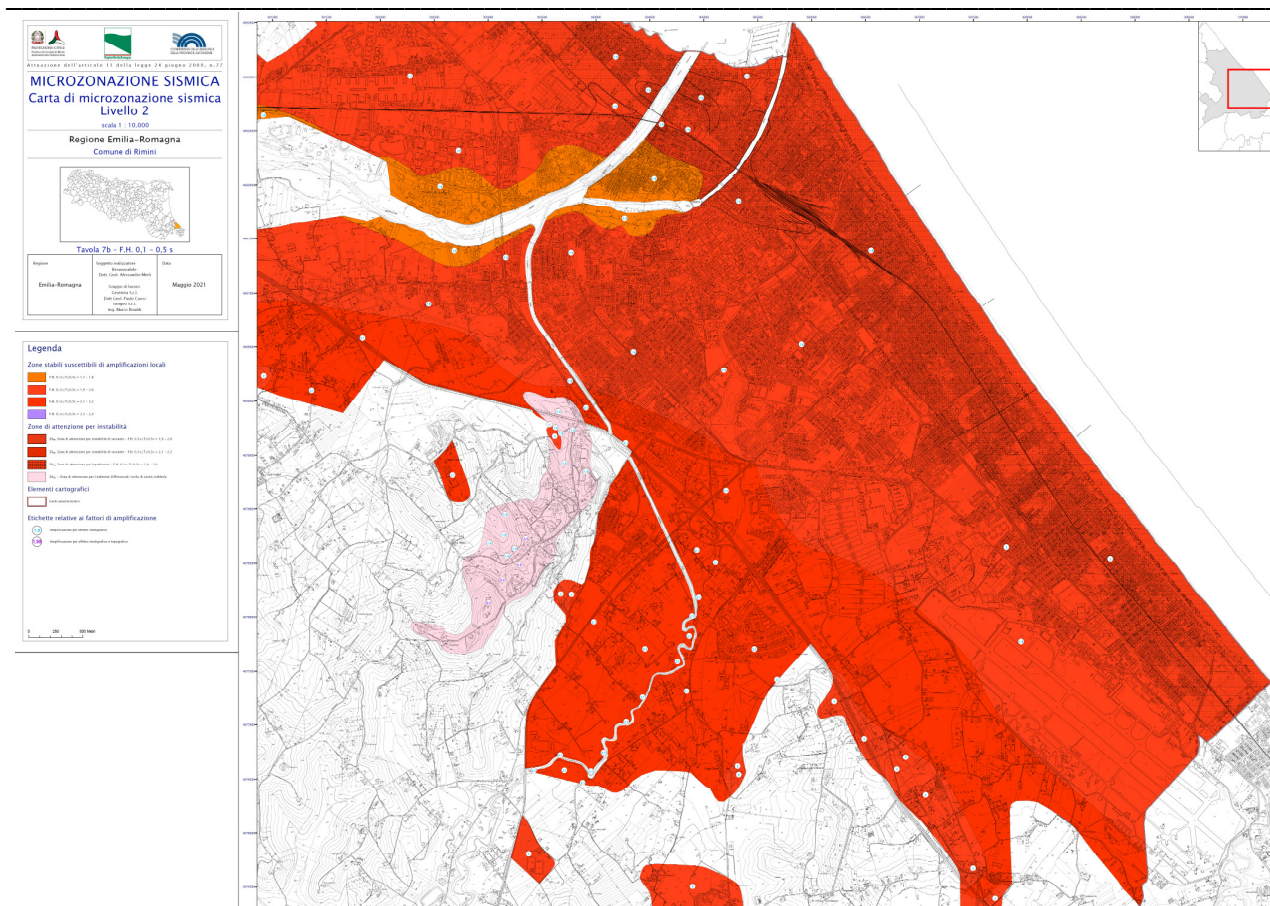


Figura 9.2.5 - Miniatura di una carta di MS per periodi dello spettro di risposta in velocità (Housner) tra 0.1-0.5 s (Fa_S11).

9.2.3 Fattori di Amplificazione Topografica

Considerata la presenza di conformazioni morfologiche potenzialmente comportanti fenomeni di amplificazione di tipo topografico, una stima di tali fattori di amplificazione attesi è stata desunta dall'applicazione degli approcci semplificati indicati nelle ICMS 2008 per scarpate rocciose e versanti con conformazione a cresta (paragrafo 3.3, pag. 158-160, Volume 3).

Tale scelta è stata assunta a seguito di una verifica preliminare, confrontando i risultati anche con il metodo semplificato proposto al Par. A2.2 nella Del. G.R. 630/2019 R.E.R. Tuttavia poiché i risultati risultavano sostanzialmente confrontabili, in virtù della specifica conformazione morfologica dei rilievi locali e delle creste (frequentemente arrotondate) su cui sorgono i centri abitati principali si è optato per il metodo ICMS2008 in quanto ritenuto maggiormente rappresentativo per gli assetti locali.

Caso per caso, dall'analisi delle varie configurazioni morfologiche individuate lungo specifiche sezioni topografiche rappresentative, si sono applicate le formulazioni semplificate per creste e scarpate rocciose di cui al par. 3.3.1 e 3.3.2 ICMS 2008 (vedi figura 9.2.6-9.2.7) e di cui, di seguito, si riportano anche i relativi abachi (tabella 9.2.1–9.2.2):

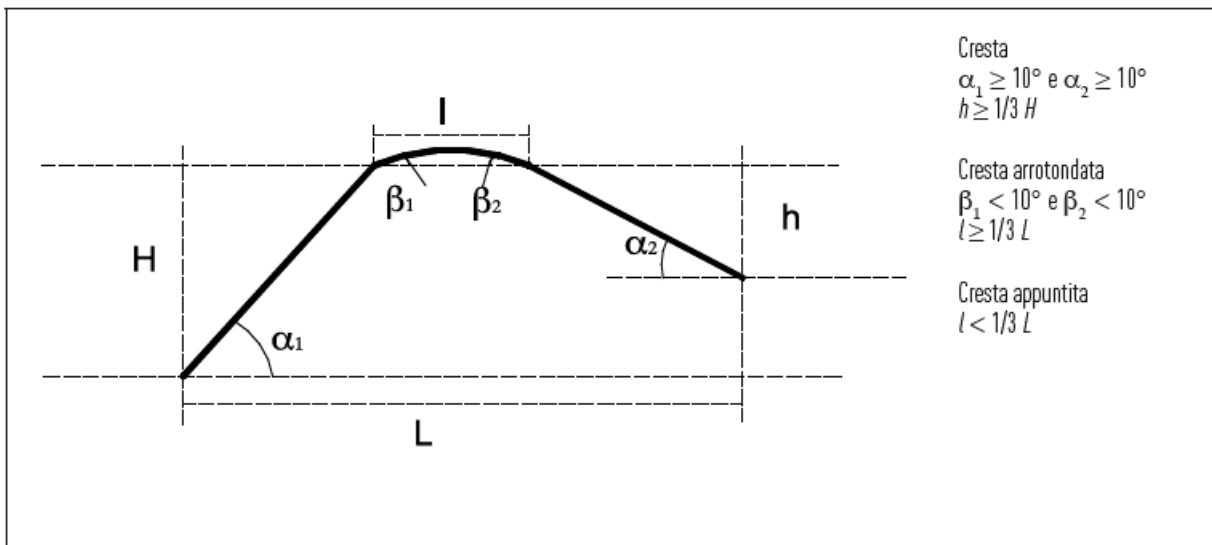


Figura 9.2.6 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

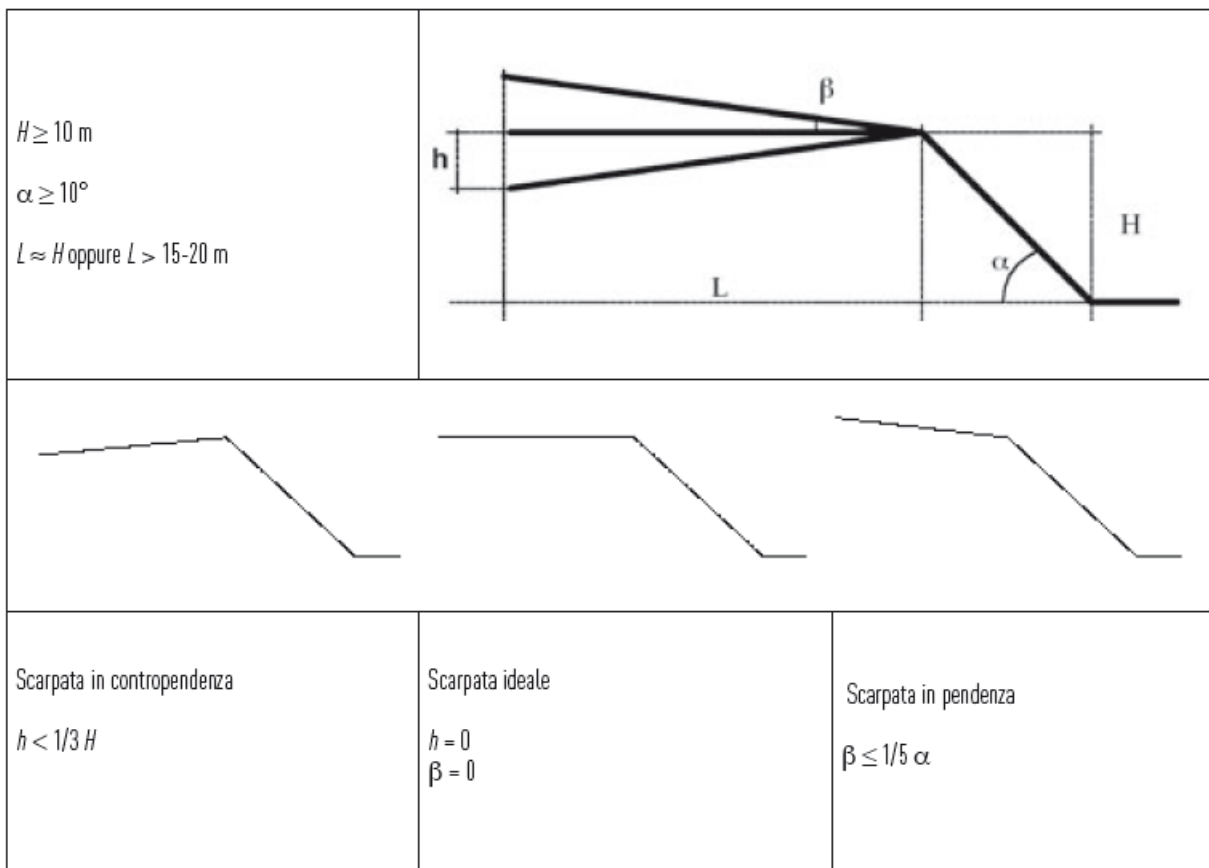
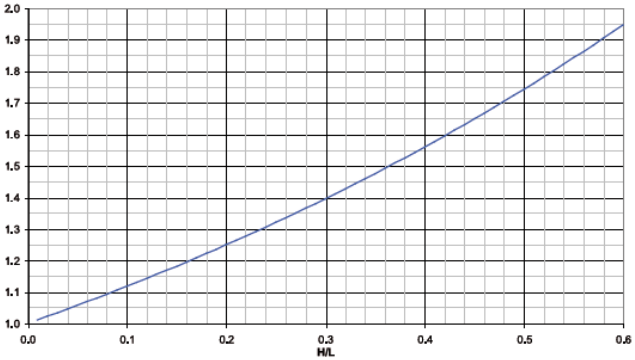
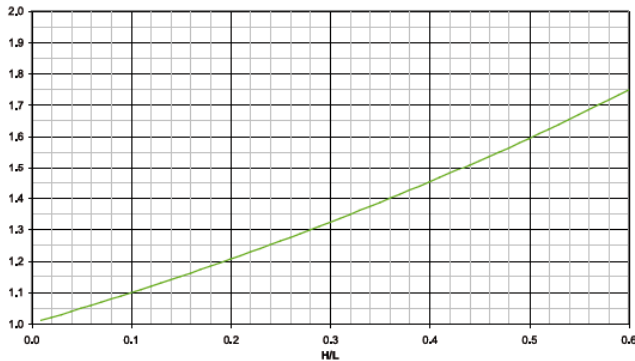
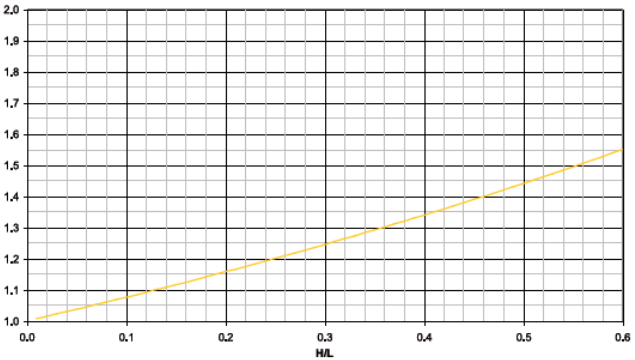


Figura 9.2.7 – Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
 Relazione Illustrativa

Tabella 9.2.1– Abaco per creste rocciose (Tab. 3.3-1 - ICMS2008)

<p>Creste appuntite $L > 350$</p>	$F_{a_{0,1-0,5}} = e^{\frac{1,1H}{L}}$	<p style="text-align: center;">CORRELAZIONE H/L - Fa 0,1-0,5 s CRESTE APPUNTITE $L > 350$ m</p> 
<p>Creste appuntite $250 < L < 350$</p>	$F_{a_{0,1-0,5}} = e^{\frac{0,93H}{L}}$	<p style="text-align: center;">CORRELAZIONE H/L - Fa 0,1-0,5 s CRESTE APPUNTITE 250 m < $L < 350$ m</p> 
<p>Creste appuntite $150 < L < 250$</p>	$F_{a_{0,1-0,5}} = e^{\frac{0,73H}{L}}$	<p style="text-align: center;">CORRELAZIONE H/L - Fa 0,1-0,5 s CRESTE APPUNTITE 150 m < $L < 250$ m</p> 

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

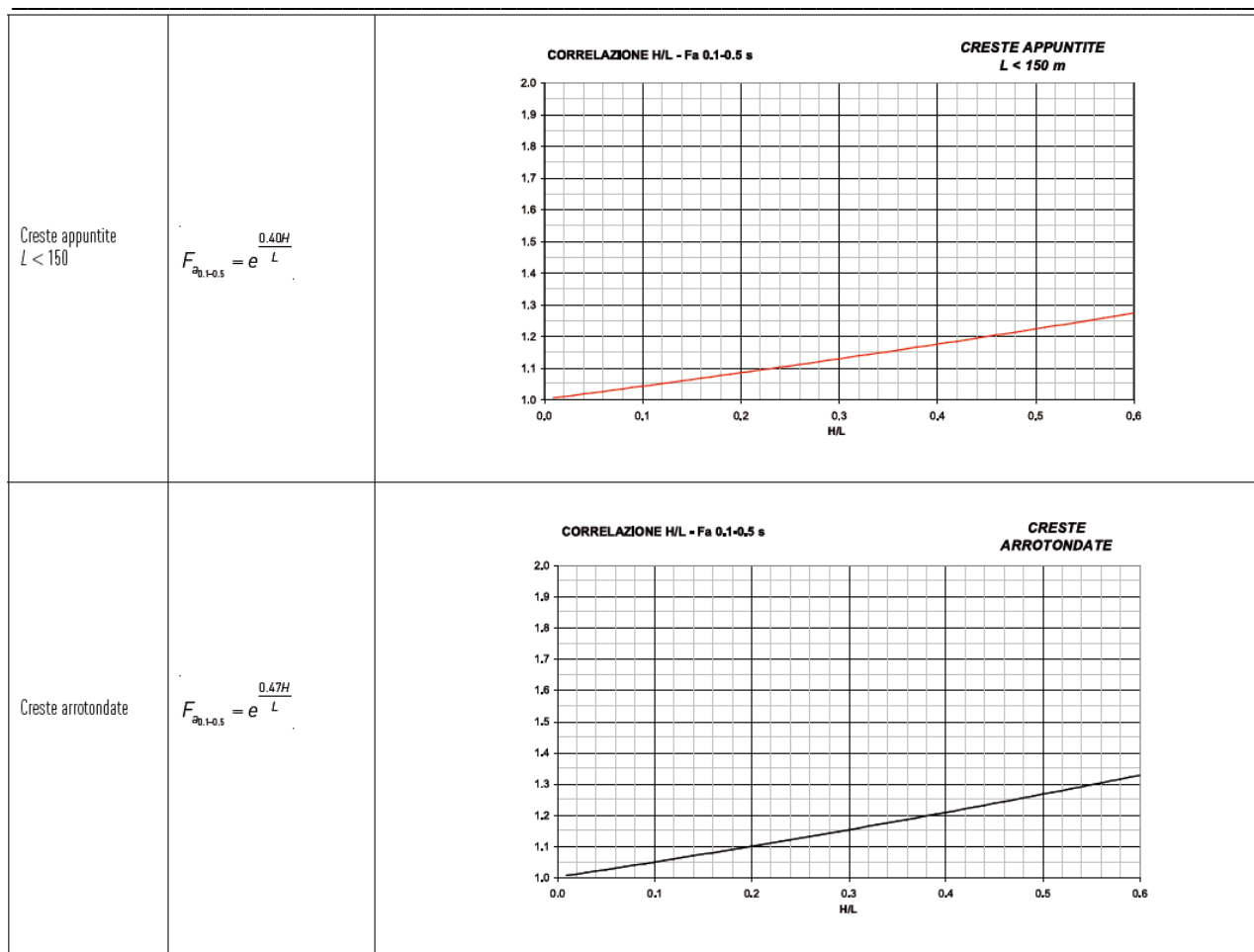


Tabella 9.2.2 – Abaco per scarpate rocciose (Tab. 3.3-2 - ICMS2008)

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_a	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{3}{4} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Tali abachi sono utilizzabili per il calcolo di fattori di amplificazione (F_a) per le creste rocciose (bedrock sismico affiorante) caratterizzate da pendii con inclinazione media maggiore o uguale ai 10° (Figura 9.2.6 - Tabella 9.2.1) e per scarpate rocciose caratterizzate da fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m e inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10° (Figura 9.2.7 - Tabella 9.2.2).

In funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a in base al valore del coefficiente di forma H/L (Tabella 9.2.1).

Il valore di F_a determinato è stato approssimato alla prima cifra decimale (indicazioni ICMS 2008) ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta, mentre lungo i versanti tale valore è stato scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante e, in ogni caso, stimando il F_a sino al

marginale della microzona in studio (ove questo risulti di estensione minore).

In modo analogo gli ICMS riportano (Tabella 9.2.2) il valore di F_a per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) delle scarpate (Pergalani e Compagnoni, 2006b).

Un valore di F_a caratteristico è assegnato a ogni tipologia di scarpata potendo individuare anche l'estensione della relativa area di influenza (A_i) in funzione dell'altezza del pendio.

Di seguito (Figura 9.2.8) si riportano schematicamente i profili analizzati completi delle caratteristiche geometriche rappresentative. Tali profili sono stati individuati sulla base di caratteri geomorfologici ritenuti rilevanti ai fini di una potenziale amplificazione sismica.

PROFILI PER LA STIMA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

SEZ. S – S'



SEZ. T – T'



Figura 9.2.8 – Sezioni topografiche rappresentative per l'analisi dei fattori di amplificazione topografica

Tabella 9.2.3 – Fattori di amplificazione topografica per il periodo 0.1-0.5 s

Sezione	tipo	H	L	Ft 0.1-0.5	SCA= Scarpata
Profilo – S-S'	CAP	76	1290	1.1	CAR= Cresta arrotondata
Profilo – T-T'	CAP	44	831	1.1	CAP= Cresta appuntita (L>350 m)

In funzione delle pendenze rilevate e delle conformazioni dei versanti, sono stati complessivamente analizzati 2 profili ritenuti potenzialmente amplificanti e sui quali è stato calcolato l'effetto della topografia (situazione di cresta o versante).

Considerati l'estensione (L) e dislivelli (H) delle sezioni rilevate, in relazione all'estensione delle microzone ed alle indicazioni ICMS, si sono individuate le zone di massima amplificazione in sommità delle aree studiate ed i valori scalati all'interno di ciascuna microzona.

In ogni caso i valori rilevati, in virtù delle conformazioni morfologiche, risultano non eccedere mai la soglia massima di 1.1 e, pertanto, è stata disegnata una mappa della distribuzione dei valori di amplificazione con valori compresi tra 1 e 1,1. *Taluni rilievi minori sono stati esclusi dalla stima del fattore di amplificazione*

topografico in quanto di altezza minore di 30 mt rispetto alle aree circostanti di fondovalle e/o con pendenze medie minori di 10°.

Come desumibile dalle linee guida ICMS, i fattori topografici semplificati sono generalmente elaborati ed indicati per condizioni lineari elastiche e/o comunque di modesta non linearità; pertanto tali fattori andranno ulteriormente valutati puntualmente per le coperture instabili in quanto, in condizioni sismiche, risultano potenzialmente affette da fenomeni di marcata non linearità e/o spostamenti sensibili, in grado di alterarne le modalità amplificazione sismica attesa, generalmente tali da richiedere uno specifico approfondimento di indagine di III livello.

Allo scopo di rappresentare cartograficamente le informazioni relative al fattore di amplificazione, per ciascuna microzona, in aggiunta alla gradazione di colore, è stato riportato il valore numerico ottenuto tramite specifiche etichette sovrimposte; in queste ultime l'etichetta e relativo colore evidenzia se trattasi di sola amplificazione per effetto stratigrafico (S) o effetto congiunto di stratigrafia e fattore topografico (SxT). Questa modalità di rappresentazione consente di mantenere una buona leggibilità del supporto cartografico, indicando inoltre in quale fascia di territorio è possibile stimare il fattore di amplificazione complessivo (moltiplicando $F_{strat} \times F_t$) in funzione delle locali condizioni topografiche, riportandone altresì il valore finale atteso.

9.2.4 Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto “ H_{SM} ”

Per rappresentare in maniera assoluta e più realistica la pericolosità sismica del territorio, tenendo conto sia della pericolosità di base sia degli effetti di sito, la DGR 630/2019 richiede altresì una carta della distribuzione sul territorio dei valori di intensità sismica H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dall'integrale dello spettro in accelerazione calcolato nell'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$ e diviso per ΔT , cioè per 0,4s. In assenza di analisi RSL, il parametro H_{SM} può essere calcolato come prodotto del parametro di intensità spettrale ASI_{UHS} (*Acceleration Spectrum Intensity*), 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) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

I valori di riferimento $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file `all_4_coord.kmz` sviluppato a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, adottando di volta in volta quelli del nodo più vicino. Tale parametro consente una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio, la zonazione del territorio in termini di H_{SM} permette di stabilire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed è quindi un elemento conoscitivo fondamentale per una più realistica valutazione del rischio sismico; in particolare l'intervallo di periodi compreso tra 0,1 s e 0,5 s, risulta di grande interesse per il governo del territorio e per la

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

pianificazione urbanistica, in quanto è noto da vari studi che i periodi propri della maggior parte degli edifici dei centri storici, e dei centri abitati in generale, sono compresi in questo intervallo e, pertanto, consente anche eventuali valutazioni preliminari sul danneggiamento potenziale atteso.

Al proposito Naso et al., 2019 propongono una discretizzazione secondo classi di valori di H_{SM} in relazione all'intensità macrosismica e danneggiamento potenziale attesi (vedi Tabella 9.2.4).

Tabella 9.2.4 – Ipotetiche classi di intensità H_{SM} in relazione ad altri fenomeni fisici (Naso et al., 2019 modificato)

Seismic hazard	low-very / low	moderate / low	moderate	high	very high
H_{SM} (g)	≤ 0.183	$0.183 < H_{SM} \leq 0.347$	$0.347 < H_{SM} \leq 0.663$	$0.663 < H_{SM} \leq 1.264$	> 1.264
Potential damage	none – very light	very light – moderate	moderate – heavy	heavy	very heavy
Instrumental intensity	$\leq VI$	VII	VIII	IX	$\geq X$

Secondo gli autori infatti tale relazione empirica, correlata alla PGA ed ai fattori di amplificazione, risulta congrua con i risultati ed altri parametri sismici adottati per la classificazione sismica del territorio (Gomez Capera et al. 2007, 2015 - Faenza e Michelini, 2010 - Brammerini e Di Pasquale, 2002).

Nella rappresentazione cartografica si sono adottate le classi di pericolosità e relativa vestizione indicate dalla Regione Emilia Romagna in conformità alle recenti “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni” – versione 2.0 (2022). In tabella 9.2.5. si riportano le classi di H_{SM} di riferimento:

Tabella 9.2.5 – Classificazione di H_{SM} per i 3 intervalli di periodo spettrale (LG “Amplificazioni”–versione 2.0, 2022).

Intervalli di periodo	Classificazione H_{SM} [g]			
	Basso (ZS_{4SM})	Medio (ZS_{3SM})	Alto (ZS_{2SM})	Molto alto (ZS_{1SM})
$T1_{(0.1-0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T2_{(0.4-0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T3_{(0.7-1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

Di seguito si riporta uno stralcio esemplificativo della tavola relativa al parametro di scuotimento assoluto H_{SM} (figura 9.2.9), a cui si potrà fare riferimento per un maggior dettaglio.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

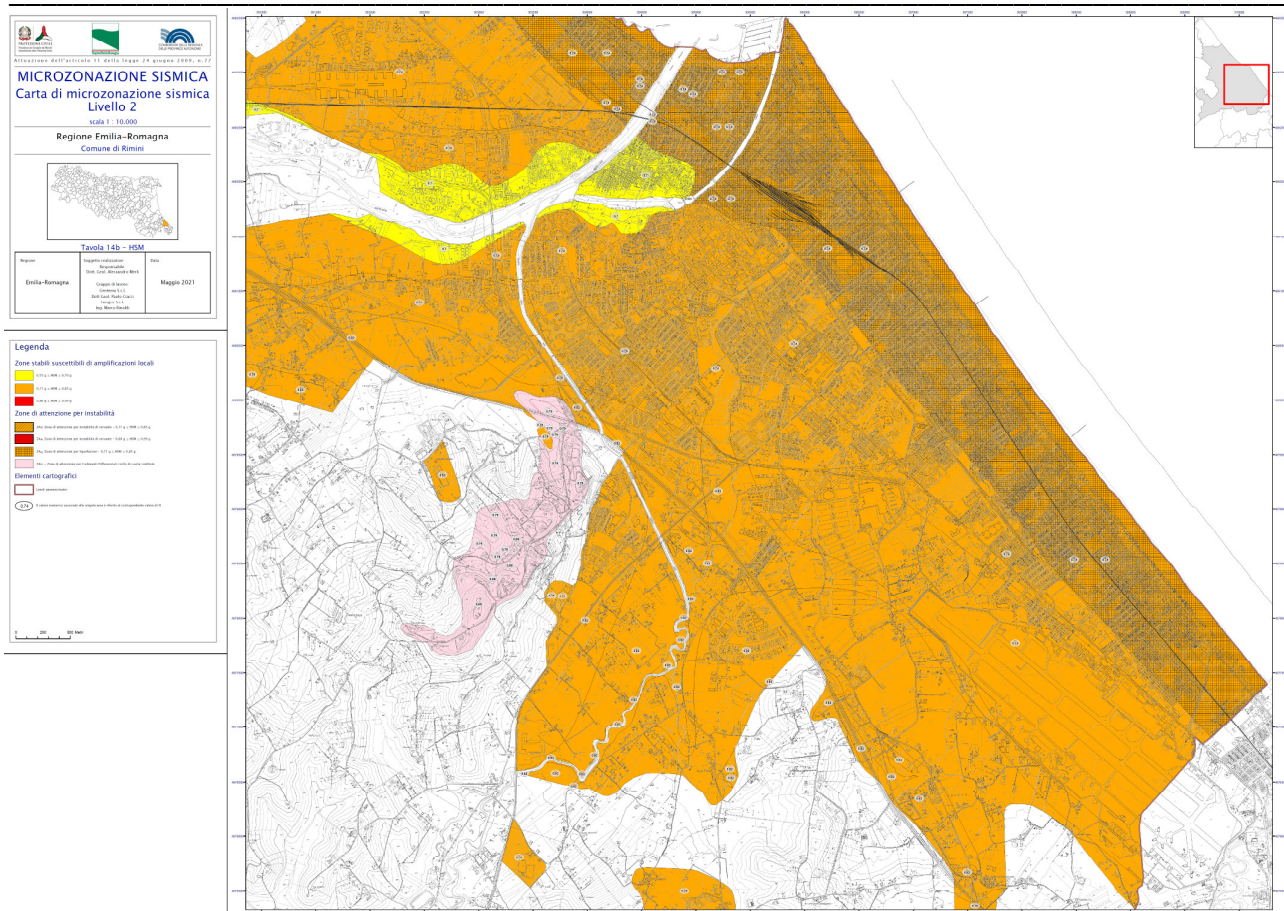


Figura 9.2.9 – Miniatura esemplificativa di una carta di scuotimento assoluto H_{SM} .

10. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 3, le informazioni relative agli eventi sismici di riferimento per il territorio comunale di Rimini, sono state desunte prioritariamente dall'analisi del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) che fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima > 5 o magnitudo > 4.0 di interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2019 e che si riferisce al DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) vers. 3.0. La consultazione per località di tale catalogo, disponibile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>, ha fornito i risultati già mostrati nel Capitolo 3.

La costa romagnola è stata colpita in passato da terremoti rovinosi, i cui effetti sul tessuto economico-sociale e sull'ambiente costruito sono descritti in modo dettagliato nelle cronache e nei documenti coevi a partire dal XVII° secolo, sebbene vi siano informazioni significative già a partire dal sisma del 1308. In particolare vi è testimonianza dei danni ai monumenti ed ai beni storico-culturali prodotti dai terremoti del 1672, del 1786, del 1875 e del 1916. A titolo di esempio in Figura 10.1 sono localizzati gli edifici di culto e i palazzi di Rimini danneggiati dal terremoto del 1672 (Guidoboni e Ferrari, 1986).

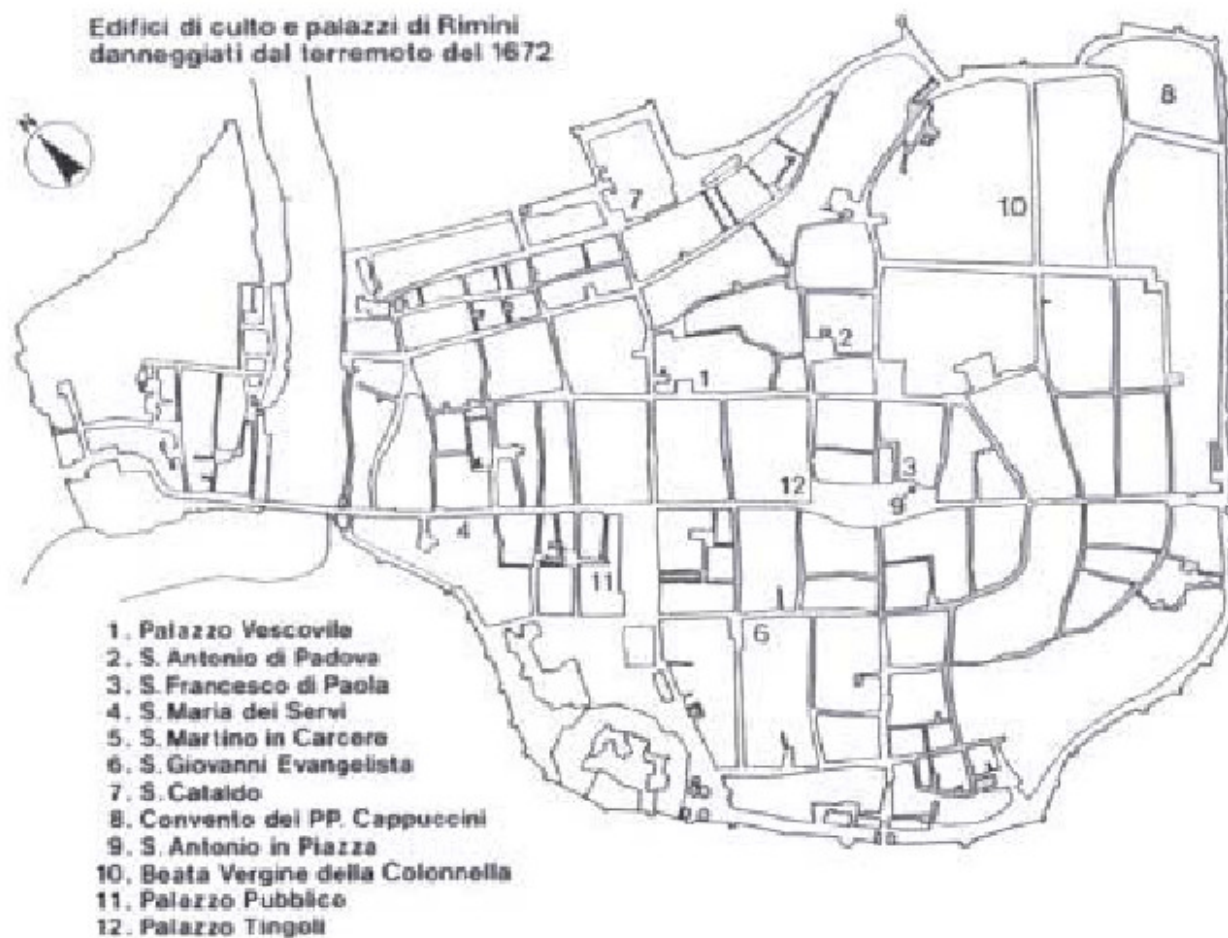


Figura 10.1: Localizzazione degli edifici di culto e dei palazzi maggiormente colpiti dal terremoto del 14 aprile 1672 nella città storica di Rimini (da Guidoboni et al., 1986)

Ulteriori informazioni sui terremoti storici di Rimini sono reperibili in altre pubblicazioni quali: "Il terremoto di Rimini e della costa romagnola: 25 dicembre 1786" e "San Marino e il terremoto".

In sintesi, il territorio riminese è soggetto ad una sismicità rilevante sia in termini di frequenza che di energia. Dai cataloghi storici (Stucchi et al., 2007) risulta infatti che negli ultimi secoli la città di Rimini è stata interessata da vari terremoti di magnitudo stimata tra 5,5 e 6, che hanno causato effetti di intensità fino a IMCS = VIII (PSC Rimini, 2009).

Nell'areale comunale però i dati macrosismici sufficientemente dettagliati e con una densità spaziale tale da poter distinguere e quantificare aree a differente comportamento di risposta sismica locale, ciò in virtù sia delle diverse tipologie edificatorie oggetto di segnalazione che dello stato di conservazione del patrimonio edilizio riferibili alle singole cronache storiche. In queste ultime tuttavia, in alcuni casi, è possibile individuare descrizioni di effetti cosismici distintivi come ad es. fenomeni di liquefazione e/o idrogeologici particolari, frane, eventi di maremoto, ecc. (CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500) - INGV).

Chiaramente le informazioni più estese e dettagliate, seppur sostanzialmente descrittive, si possono desumere dagli eventi sismici più recenti quale il terremoto del 1916. Al proposito risultano particolarmente

interessanti le descrizioni di G. Alfani (Note ed osservazioni sui terremoti della regione litoranea Adriatica nell'agosto 1916, Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi, n.122. Firenze 1916), il quale percorrendo il luoghi del terremoto da Nord a Sud (da Rimini a Fano) e raccogliendo le modeste informazioni strumentali dell'epoca, annota la situazione generale ed i particolari effetti cosismici caratteristici di cui, in particolare per l'areale costiero fra Rimini e Cattolica, ne riportiamo alcuni cenni:

Credo di poter rispondere con una certa sicurezza, che la più intensa fu quella del 16 agosto. Infatti (a parte i danni più gravi i quali potevano essere anche dovuti alle lesioni sofferte nei fabbricati per la scossa precedente), l'ampiezza dei tracciati risulta rispettivamente nelle macchine dell'Osservatorio Ximeniano, e di Imola come segue :

OSSERVATORIO XIMENIANO

IMOLA

17 Maggio 1916, ampiezza 194 mm.

17 Maggio, 128 mm.

16 Agosto 1916, - » 200 »

16 Agosto, 138 »

ho semplicemente adottata la nota relazione di West; la quale si attaglia assai bene e fornisce dei risultati assai buoni. Con essa, dunque, ho ricavato che il valore di accelerazione in quel punto fu di circa 1590 mm. sec.²

Questo valore è del resto molto verosimile, quando si rifletta ai danni causati e si faccia un confronto sommario con i valori e con le rovine dei terremoti di Messina e di Avezano, dove le accelerazioni furono calcolate rispettivamente 2000 e 3500 mm. sec.²

All'esterno i fabbricati hanno apparentemente sofferto poco, sicchè un osservatore superficiale riterrebbe Rimini quasi intatta. Ma all'interno degli edifici quale gravità! Tutte le case, pochissime eccettuate, hanno internamente nei tramezzi, nelle volte, nei soffitti, lesioni gravissime e in alcune irrimediabili. I tetti sono sconnessi: alcuni sono slittati nella strada, facendo vittime, e ferendo cittadini. Fortunatamente le scosse molto forti del giorno precedente, avevano fatto abbandonare ai più le case, sicchè è per questa ragione che il numero dei morti e dei feriti è relativamente minimo.

Nelle zone macrosismiche in generale, ma più particolarmente in quelle costiere, si nota di frequente un modo di manifestarsi degli effetti del terremoto a prima vista assai strano e complesso. Si nota, cioè, come vicinissimo a rovine complete vi sono delle località incolumi o quasi. Questo ho osservato molte volte, e anche recentemente. Non vi è dubbio che molta causa di ciò debba attribuirsi all'eventuale migliore sistema di costruzione; ma ritengo che in buona parte il fatto debba avere la sua origine geologica e fisica.

Ora anche a Riccione, dove il suolo è formato da sabbia, potrebbe essere intervenuto un simile fatto, e spiegare come mai alcuni punti abbiano meno sofferto di altri.

Non mancarono qua e là, anche in occasione di questo terremoto, di manifestarsi delle sorgenti che il popolino si affrettò a battezzare per vulcanelli, e la notizia di essi, passando da persona a persona, come sempre avviene in simili casi, crebbe, fino a farli divenire enti pericolosi, anzi, cause del terremoto!

Volli recarmi a visitare anche quelli; ma come mi era accaduto per Avezzano, non mi restò che raccogliere della rena, quale appunto si trova nel sottosuolo di quelle regioni. La ragione di tali emissioni di acqua e rena o di acqua fangosa è presto detta. Si sa che nel sottosuolo si hanno degli strati acquiferi a profondità variabili. Sotto l'impeto della scossa, l'acqua interclusa, che, come è noto dalla fisica, è incomprimibile, cerca uno sfogo, e se lo procura attraverso il mantello superficiale del terreno, trasportando con sé la rena o il fango che tiene già disciolto, o che la violenza dell'agitazione gli mescola. Di quei vulcanelli di fango ne ho veduti quasi sempre nelle zone macrosismiche; sicché si può ritenere come un fenomeno comune nei terremoti più violenti.

Le case pure sconquassate e in parte rovinare. Assai più gravi i danni sono a Tavollo. Il terreno, sebbene in imminente prossimità del mare, è ondulato in modo che molte case si trovano in pendio. Se a questo si aggiunge, oltre la forza del fenomeno sismico, la solita ragione delle costruzioni molto cattive, e si tira la somma, risulteranno più che legittimi i danni avvenuti! Ho riscontrato case intere nelle quali la metà superiore era letteralmente slittata per centimetri sulla parte inferiore, con strapiombi. Ciò dimostra che le fondazioni, oltre ad avere ceduto, hanno anche camminato verso il mare a causa della spinta tellurica. Verso il mare si trovano molte ville e villini che hanno grandemente sofferto.

Per ciò che si riferisce all'ubicazione delle località maggiormente colpite, i danni più gravi si riscontrano nei paesi che si trovano o sullo sprone montagnoso che da Riccione a Pesaro si protende in mare, o nelle vallate dei torrenti, sicchè la zona macrosismica sembra che tenda a irraggiarsi lungo le valli nelle quali scorrono i torrenti.

Innanzitutto, le cattive costruzioni, poi il *confine geologico*. Infatti, da Riccione a Coriano e ad Ospedaletto, si hanno moltissime rovine. Tutti gli edifizj, che si trovano su queste due linee sono precisamente sul terreno alluvionale, al contatto con l'ossatura montuosa. Così pure nella valle Conca, e a Tavollo, presso Cattolica ; mentre Tomba, Saludecio, Mondaino, Pozzo Alto, sebbene egualmente interni rispetto alla costa (e perciò alla stessa distanza lineare del punto epicentrale), hanno sofferto assai meno, perchè posti su terreno o roccioso od omogeneo.

Quest'ultimo poi ricordando gli studi del Serpieri, nel valutare i sismi storicamente occorsi nell'area, testualmente riporta:

Nel rileggere tutto quel poderoso lavoro, dopo aver messo insieme il materiale per gli appunti presenti, rimasi meravigliato fortemente dalla somiglianza, dirò anzi, dalla identità del modo col quale questo nuovo terremoto si è manifestato. Si direbbe quasi che i due terremoti, del 1875 e del 1916, sono lo stesso fenomeno colla data cambiata, tanto si rassomigliano !

Oltre a ciò, come sotto riportato da Baratta M., (I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana (ristampa anastatica, Sala Bolognese 1979) per il terremoto del 1875, si manifestarono anche modesti fenomeni di maremoto (peraltro rilevati anche in occasione del sisma riminese del 1916):

i) Nella strada Cervia - Cesenatico si aprì una fenditura lunga Km. 1 circa e larga in certi punti 15 cm.

l) Al momento della scossa un maremoto violento ebbe luogo a poca distanza dalla spiaggia di Rimini-Cervia.

Al netto dei gravi danneggiamenti occorsi agli edifici ed al contesto antropico in occasione dei vari sismi storici, sulla base del catalogo *CFT15Med*, *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997)* e nell'*area Mediterranea (760 a.C.-1500)-(INGV)*, per l'areale del riminese si riporta una sintetica descrizione degli effetti registrati anche sul solo ambiente naturale:

- **Evento 1672**

La costa antistante Rimini fu interessata da un leggero maremoto: le acque furono osservate prima allontanarsi dalla riva e poi tornare verso la spiaggia inondandola per un tratto di circa 15 m (20 passi). La forte agitazione del mare fu notata anche da alcuni marinai che si trovavano a bordo di navi a poca distanza dalla costa.

- **Evento 1786**

Nel territorio circostante Rimini si aprirono fenditure nel terreno, che risultò smosso così in profondità da facilitare i successivi lavori agricoli. Nelle cave di gesso della zona collinare attorno alla città molti massi franarono e la roccia risultò sconnessa. Non sono ricordate variazioni sensibili nel regime delle acque, se non un livello dei pozzi piuttosto basso rispetto agli anni precedenti, né fenomeni di intorbidamento; fenomeni simili furono invece registrati a Faetano e a San Marino.

Non furono osservate effetti di maremoto o onde anomale: è da rilevare che l'area abitata distava circa 1 km dalla costa e che la scossa accadde durante una festività e a tarda ora della notte.

- **Evento 1875**

I pescatori che si trovavano sulle barche per il lavoro notturno osservarono una forte agitazione anomala del mare in diverse località: a Rimini, Pesaro e Ancona e nelle acque dei canali di Cervia e Cesenatico. Nel tratto di mare tra Cervia e Cesenatico fu osservata la formazione di alcune onde di maremoto, che però, sulla costa, non fecero danni (1). Lungo la strada fra Cervia e Cesenatico si aprì una fenditura lunga 1 km e larga fino a 15 cm (2). Nella piazza di Cesenatico si aprì una spaccatura parallela al canale lunga parecchi metri. A Cervia e a Cesenatico si formarono inoltre numerose cavità a forma di imbuto, da cui fuoriuscirono getti d'acqua.

A Fermo, anche a causa delle abbondanti piogge, si attivarono delle frane. A Porretta Terme fu notato un abbassamento delle acque di un pozzo di 25 mm (2).

Fenomeni luminosi furono osservati a Cervia, Cesenatico, Cagli e San Marino.

- **Evento 1916**

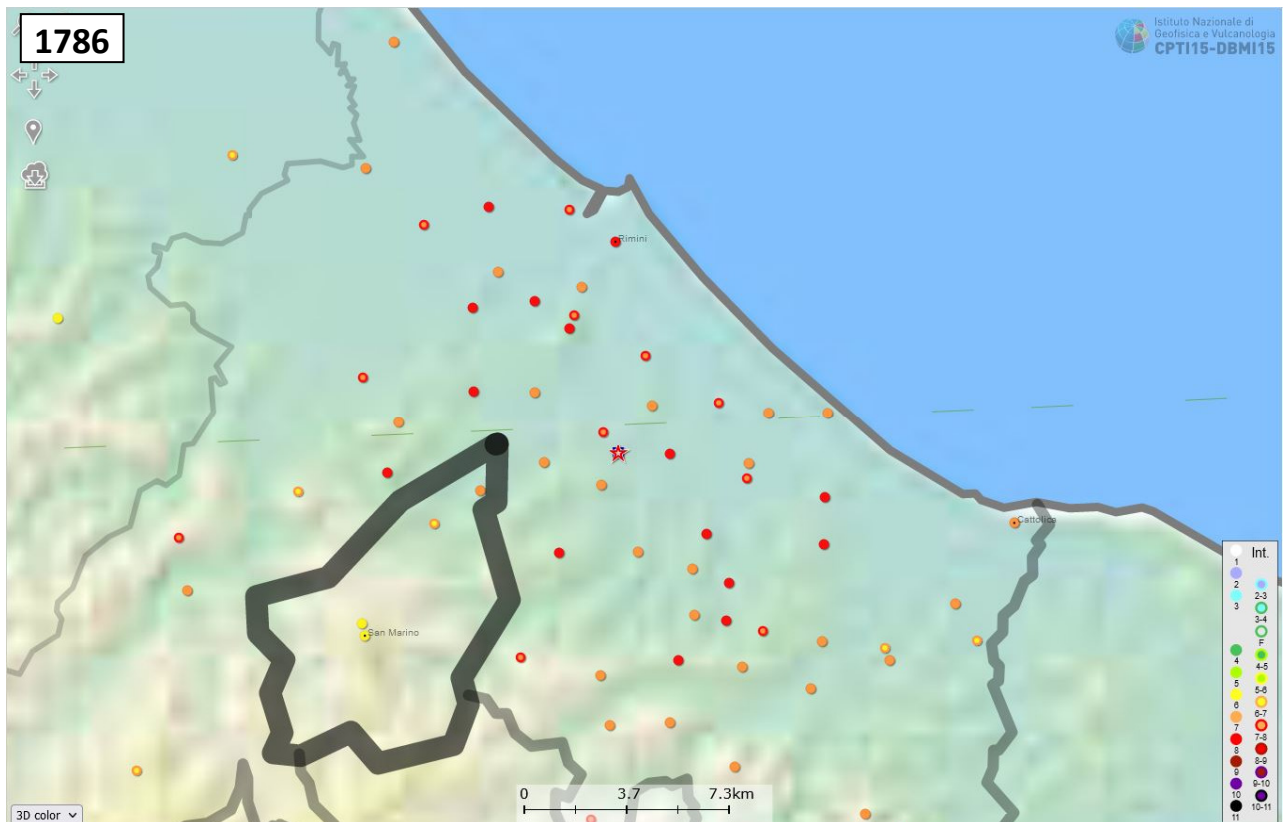
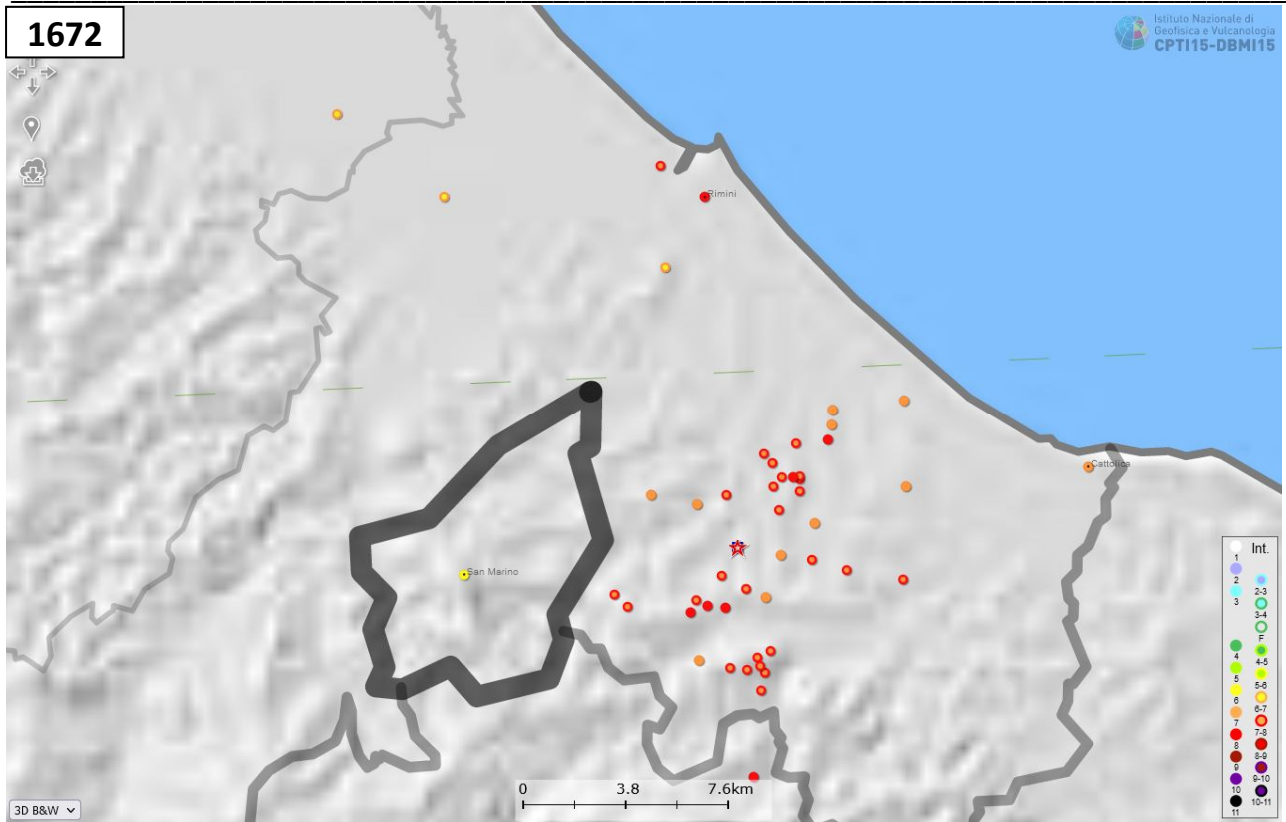
Il 17 maggio a Bertinoro le acque sorgive si intorbidarono e aumentarono la loro portata; presso Retinella in un canale si formarono onde anomale; a Savignano le acque dei pozzi si intorbidarono e furono molto agitate.

Il 16 giugno a Savignano fu rilevata agitazione nelle acque dei pozzi.

Il 16 agosto a Cattolica si formarono piccole spaccature nel suolo e si formarono 4 sorgenti in mare a circa 50 metri dalla spiaggia; a Tavollo furono osservate ondulazioni nel terreno in prossimità del mare e un blando effetto di maremoto; a Bertinoro aumentarono la portata d'acqua e si intorbidarono le acque di 3 fonti; a San Giovanni in Marignano si intorbidarono le acque di pozzi profondi circa 15 metri; a Savignano fu rilevata agitazione nelle acque dei pozzi.

Chiaramente confrontando le mappe di risentimento macrosismico del DBMI15 (vedi Figura 11.2), per i terremoti di cui si hanno sufficienti informazioni a livello areale, è possibile apprezzare come storicamente, sulla base degli elementi acquisibili, la distribuzione ed intensità del danneggiamento risultino prioritariamente condizionate dalle distanze epicentrali e le manifestazioni locali influenzate significativamente dall'assetto geologico/stratigrafico dei vari siti.

Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa



Studi di Microzonazione Sismica per il territorio del Comune di Rimini (RN)
Relazione Illustrativa

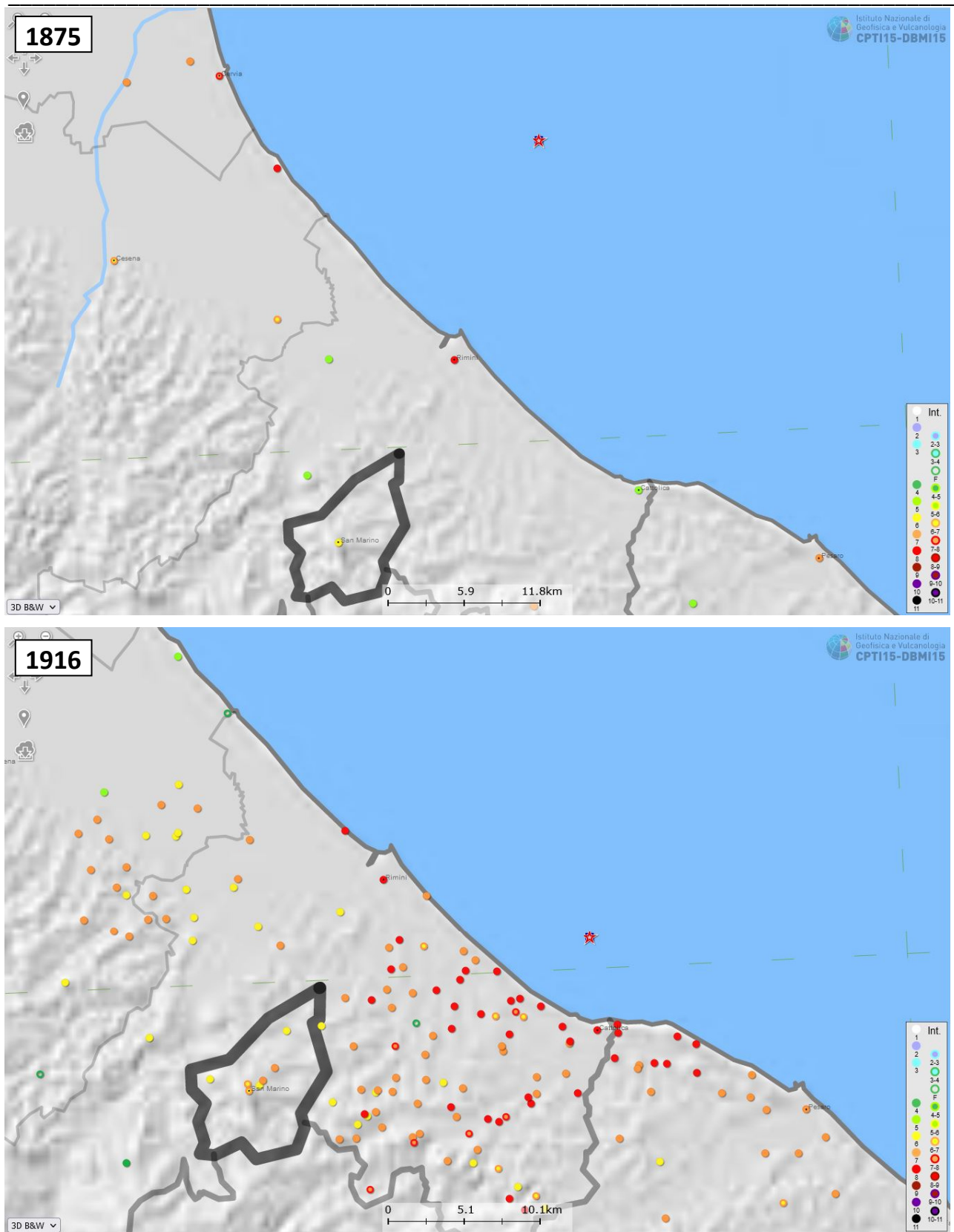


Figura 11.2: Mappe di risentimento macrosismico, comparazione eventi del 1672-1786-1875-1916, database CPTI15-DBMI15

Tuttavia, a mero titolo qualitativo, può risultare interessante un parallelismo fra la narrazione descrittiva di G. Alfani e le mappe di amplificazione sismica di MS riferite ai periodi spettrali medio-alti, in cui i maggiori fattori amplificativi vengono rilevati proprio in corrispondenza delle coperture alluvionali intravallive e della piana costiera, ove l'autore descrive i maggiori danneggiamenti e più intensi effetti cosismici.

Contestualizzando quindi il rischio sismico alla situazione attuale, caratterizzata da un'elevata concentrazione di attività e popolazione nonché da una spiccata vocazione turistica della città, si può asserire come il rischio sismico possa essere decisamente elevato soprattutto nei mesi estivi. A ciò va aggiunto come il comune nonostante nel 1927 fosse stato classificato come "sismico", nel 1938 fu declassificato per "favorirne lo sviluppo" e ripresa economica, venendo poi riclassificato nuovamente sismico solo a partire dal 1983. Pertanto durante la forte espansione urbanistica del periodo post-bellico ciò ha presumibilmente comportato un'elevata vulnerabilità del tessuto urbano, essendosi sviluppato in carenza di criteri antisismici e, spesso, secondo criteri dettati più dalla contingenza piuttosto che da una mirata programmazione, elementi che contribuiscono ad aggravare ulteriormente il rischio sismico dell'area urbana.

11. CONCLUSIONI

La microzonazione sismica effettuata sul territorio del comune di Rimini ha consentito di valutare la pericolosità sismica sia nelle aree urbane che in quelle di prevista urbanizzazione. Inoltre data anche l'abbondanza delle conoscenze litostratigrafiche e vista la estesa campagna geognostica/geofisica di riferimento, la microzonazione sismica è stata estesa anche a porzioni del territorio rurale limitrofo.

Non sono state individuate zone stabili con assenza di effetti amplificativi. Sono presenti zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, con effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale e zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio e nel primo sottosuolo. In tal caso si tratta da un lato di circoscritte zone, ai margini dell'area collinare, soggette ad instabilità per movimenti gravitativi attivi e quiescenti e dall'altro del potenziale rischio per liquefazione a cui risulta soggetto gran parte dell'area costiera.

Sebbene non si abbiano elementi conoscitivi di dettaglio, in località Covignano si segnala la presenza di cavità sepolte, di origine antropica, realizzate in epoca storica ed a livello puntuale nei terreni arenacei locali; tuttavia data la scarsità di informazioni disponibili e la natura puntuale degli interventi antropici, non risulta possibile esprimere un'appropriata valutazione tecnica circa gli effetti attesi sulla risposta sismica di sito e/o stima dell'effettiva pericolosità puntuale. Pertanto in occasione di interventi edilizi e/o infrastrutturali che si sviluppino entro tale areale si raccomanda un'attenta verifica entro un congruo intorno dell'area di interesse.

In sintesi sul territorio studiato sono presenti n. 6 aree instabili per frana con stati di attività quiescenti e attivi di cui n. 2 di essi arrivano a lambire solo marginalmente tratti di viabilità secondaria e/o gruppi di case

sparse nell'ambito del contesto collinare in località Montalbano - Ghetto Randuzzi, mentre in località La Dogana - Il Palazzo non risultano interferire direttamente con alcun elemento infrastrutturale e/o edilizio significativo. Diversamente le problematiche di instabilità per liquefazione risultano interessare gran parte dell'urbanizzato e delle strutture/infrastrutture strategiche (viabilità, linea ferroviaria, stazioni ferroviarie, portocanale, scuole, caserme, ecc.) presso le località costiere, nonché parte dell'area urbana storica.

Per situazioni di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non sono previsti studi di approfondimento di III° livello. Diversamente nelle zone suscettibili di instabilità all'occorrenza sarà necessario eseguire studi di III° livello di approfondimento, con particolare attenzione al rischio liquefazione considerato il significativo grado di interferenza con l'area urbanizzata costiera e la presenza di strutture/infrastrutture strategiche.

Dalla consultazione del database Itaca, inoltre, non risultano presenti elementi tettonici attivi e capaci, certi e documentati, che possano determinare effetti superficiali nelle aree urbanizzate in studio.

Infine le carte di microzonazione sismica riportano i valori dei Fattori di Amplificazione (FA) individuati per tutto il territorio comunale a cui riferirsi anche per eventuali studi di approfondimento di III° livello e, comunque, di riferimento generale per tutte le valutazioni di carattere urbanistico.

In base alle condizioni stratigrafiche e topografiche locali ed ai relativi profili di Vs il moto sismico atteso è stato definito secondo specifici fattori di amplificazione della PGA (FA_PGA), dello spettro elastico in accelerazione, denominati Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 e localmente anche Fa_SA4 (rispettivamente per intervalli compresi tra $0,1s \leq T \leq 0,5s$, $0,4s \leq T \leq 0,8s$, $0,7s \leq T \leq 1,1s$ e $0,5s \leq T \leq 1,5s$) e dell'intensità di Housner denominati Fa_SI1 - Fa_SI2 e localmente Fa_SI3 (intervalli compresi tra 0,1-0,5 s, 0,5-1.0 s e 0,5-1.5 s) nonché in virtù delle condizioni topografiche e morfologiche all'occorrenza rilevate (FT).

Per una rappresentazione assoluta della pericolosità sismica del territorio si è definita anche una zonazione del territorio in termini di intensità sismica assoluta H_{SM} al fine di consentire una reale graduatoria di pericolosità tra le varie zone omogenee ed una più diretta valutazione semi-quantitativa del rischio sismico.

Qualora si voglia procedere ad approfondimenti di particolare dettaglio attraverso analisi di risposta sismica locale (RSL), eseguite con criteri di innegabile scientificità e supportate da adeguate indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio, le risultanze ottenute saranno di grande utilità nel confronto con i dati ottenuti nelle carte di microzonazione e potranno essere utilizzate in sostituzione dei valori di FA ed FT previsti sul territorio oggetto di RSL nonché a supporto di approfondite analisi circa le aree a potenziale instabilità.

Tutte le analisi e verifiche sono state condotte in ottemperanza alla DGR 630/2019 e successivo aggiornamento DGR 476/2021 della Regione Emilia Romagna nonché alle indicazioni nazionali ICMS 2008, trattando i dati secondo gli standard di rappresentazione ed archiviazione 4.1.

12. BIBLIOGRAFIA

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 CPTI15 <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>

Dipartimento della Protezione Civile, "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", 2008

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017)"

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 476/2021 "Aggiornamento dell' Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla deliberazione della giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630"

Regione Emilia Romagna, Del. G.R. 564/2021 del 26/04/2021, INTEGRAZIONE DELLA PROPRIA DELIBERAZIONE N. 476 DEL 12 APRILE 2021 MEDIANTE APPROVAZIONE DELL'ALLEGATO A, "ATTO DI COORDINAMENTO TECNICO SUGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA (ARTT. 22 E 49, L.R. N. 24/2017)"

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. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>

DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) - vers. 3.2.1 <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>

EMIDIUS http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html

INGV <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>

ISIDE <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>

ITHACA (ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>)

PROTEZIONE CIVILE <http://www.protezionecivile.gov.it>

Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni – versione 2.0, anno 2022 <https://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download/category/24-linee-guida>

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>

Alfani G., *Note ed osservazioni sui terremoti della regione litoranea Adriatica nell'agosto 1916*, Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi, n.122. Firenze 1916

Baratta M., *I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana (ristampa anastatica, Sala Bolognese 1979)*. Torino 1901