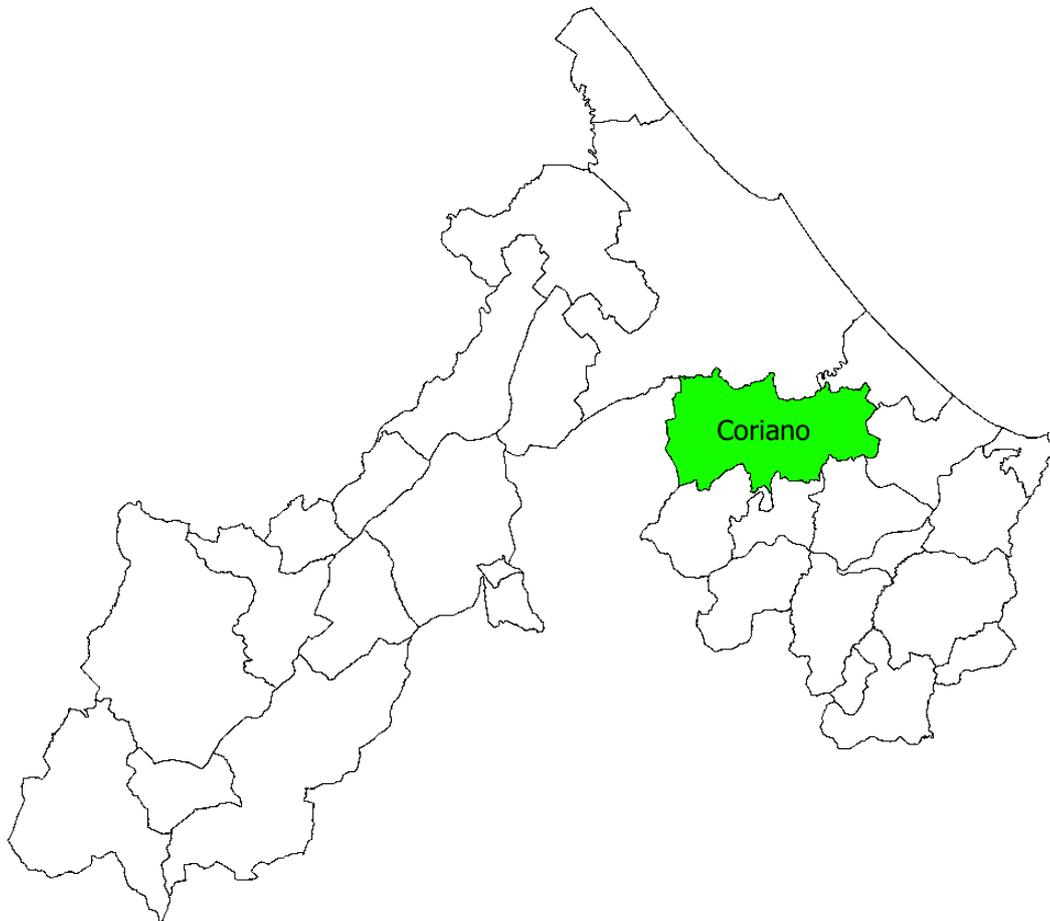




Studio di Microzonazione Sismica Comune di Coriano I & II livello di analisi



Novembre 2020

Relazione Tecnico-Illustrativa

Gruppo di Lavoro:

Dott. Geol. Alessandro Merli
Dott. Geol. Paolo Ciacci
Dott. Arch. Silvia Malpassi
Dott. Geol. Fabio Vannoni
Dott. Geol. Fausto Capacci

Responsabile Incaricato:

Dott. Geol. Carlo Copioli

INDICE

1. PREMESSA	1
2. INTRODUZIONE	2
3. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE	5
4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	17
4.1. Cartografia di base.....	17
4.2. Inquadramento Geomorfológico.....	17
4.3. Inquadramento Geologico-Strutturale	20
4.4. Assetto Stratigrafico	22
5. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	27
5.1. Indagini integrative di tipo geofisico.....	28
5.1.1. <i>Campagna di misure geofisiche integrative</i>	29
5.1.2. <i>Andamento delle Vs nel sottosuolo</i>	35
5.2. Indagini integrative di tipo geotecnico	36
5.2.1. <i>prove CPT</i>	36
6. MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I	37
6.1. Carta geologico-tecnica	37
6.2. Carta delle frequenze naturali del terreno.....	39
6.3. Carta delle MOPS (Microzone Omogene in prospettiva Sismica).....	41
7. MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO II	45
7.1. carta delle velocità delle onde di taglio Vs.....	45
7.2. Carta dei fattori di amplificazione sismica (FA)	46
7.3. Carta dei fattori di amplificazione Topografica (FT).....	49
7.4. Carta del parametro di scuotimento sismico assoluto “H _{SM} ”.....	56
8. CONCLUSIONI.....	57

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 Decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile del 04 agosto 2014 pubblicato sulla G.U. della Repubblica Italiana, n.258 del 6 novembre 2014, ha definito i criteri e le risorse finanziarie per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna.

Il comune di Coriano, pertanto, essendo in possesso dei requisiti indicati dall’ O.C.D.C.P. n. 171 del 19 giugno 2014: “contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l’anno 2013”, ha richiesto i contributi economici previsti per gli enti locali; in conseguenza di ciò con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1227/2015, sono state approvate le graduatorie di assegnazione dei contributi ai Comuni e alle Unioni dei Comuni della Regione Emilia-Romagna risultati in possesso dei requisiti indicati dall’ O.C.D.C.P. n. 171/2014 e quindi, con Determinazione dirigenziale del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della regione, sono poi stati assegnati i relativi contributi economici.

Gli studi che sono stati previsti per le aree urbanizzate e urbanizzabili del comune destinatario del contributo sono:

- Analisi delle Condizioni Limite di Emergenza (CLE)
- Microzonazione Sismica di I-II livello.

Il presente rapporto sintetizza i risultati degli studi multidisciplinari di Microzonazione Sismica realizzati in conformità ai criteri definiti dall’ All. “A” della deliberazione della Giunta Regionale n. 630/2019. 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 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 Coriano (RN), (figura 2.2). In Tabella 2.1 è riportata una sintesi della documentazione e degli elaborati cartografici redatti per gli studi di Microzonazione Sismica:

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

Titolo Elaborato	Scala	N° tavole
Carta delle Indagini	Scala 1:8.000	2
Carte delle Frequenze naturali dei Terreni (F0, A0 - F1, A1 - F2, A2)	Scala 1:25.000	1
Carta Geologico Tecnica	Scala 1:8.000	2
Carta delle Sezioni litotecniche	scala 1:2000	1
Carta delle MOPS	Scala 1:8.000	2
Carta delle Velocità delle onde di taglio S	Scala 1:8.000	2
Carte di Microzonazione sismica di II Livello	Scala 1:8.000	14

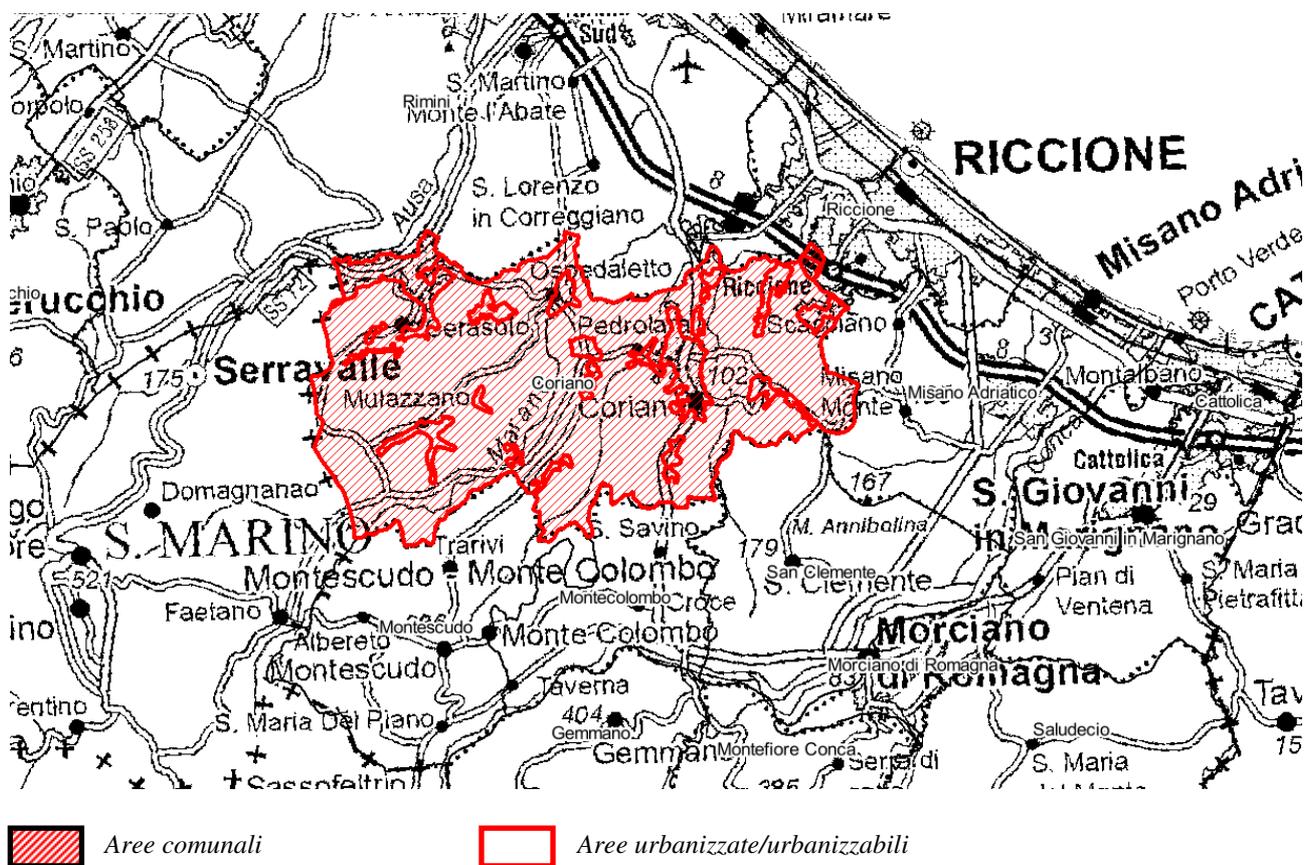


Figura 2.2- Zone urbanizzate e urbanizzabili nell'ambito del territorio comunale di Coriano.

3. SISMICITA' STORICA E PERICOLOSITA' DI BASE

Il territorio in studio del comune di Coriano si trova al margine centro-meridionale della Provincia di Rimini e si estende su un'area complessiva di 46.77 km quadrati, contando complessivamente 10529 abitanti (Figura 3.1), contraddistinto dal Codice Istat: 099003

Per la definizione della sismicità storica del territorio in studio è stato consultato il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15*). 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).

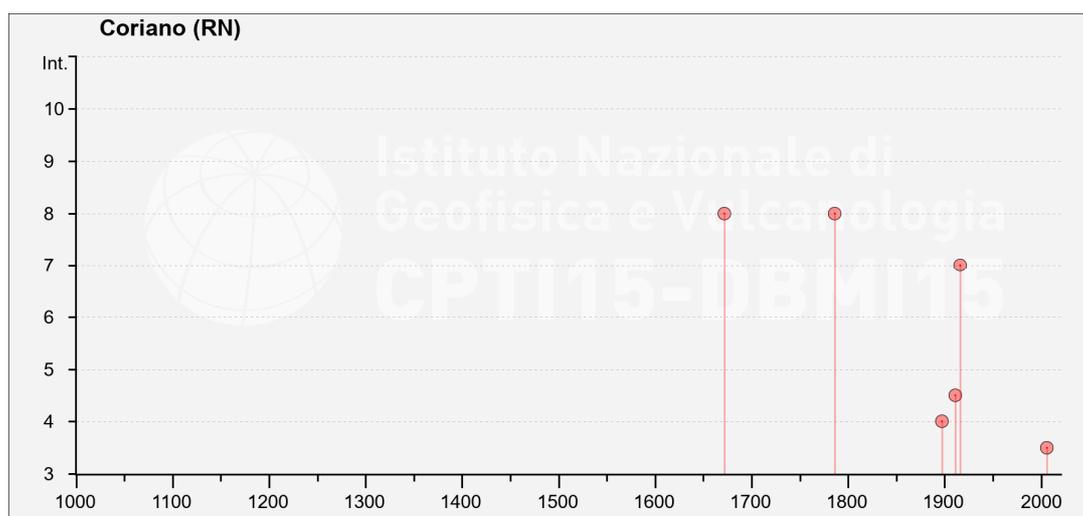


Figura- 3.1: Evidenziato in rosso il territorio appartenente al comune di Coriano al confine meridionale della Provincia di Rimini (RN) e con la repubblica di San Marino, oggetto del presente studio di MS.

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

Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
8	1672	04	14	15	45		Riminese	92	8	5.59
8	1786	12	25	01			Riminese	90	8	5.66
4	1897	12	18	07	24	20.00	Alta Valtiberina	132	7	5.09
F	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
4-5	1911	02	19	07	18	30.00	Forlivese	181	7	5.26
NF	1911	09	13	22	29	02.00	Chianti	115	7	5.08
NF	1913	07	21	22	35		Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
7	1916	08	16	07	06	14.00	Riminese	257	8	5.82
NF	1952	12	02	06	13	22.00	Appennino forlivese	53	5	4.42
NF	1965	08	04	11	49	53.00	Alta Valtiberina	44	5	4.48
NF	1969	01	10	16	17	32.00	Pianura Ravennate	22	5	4.38
3-4	2006	10	21	07	04	10.01	Anconetano	287	5	4.21

*N.F (not felt-non avvertito)



L'esame della storia sismica indica quali eventi di maggior rilevanza: il terremoto “Riminese” del 1672, 1786 e del 1916. Tali sismi hanno generato il massimo risentimento e danno ($VII \leq I_s \leq VIII$ MCS) in particolar modo quello del Riminese del 1672; 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 e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
 Relazione Tecnico Illustrativa

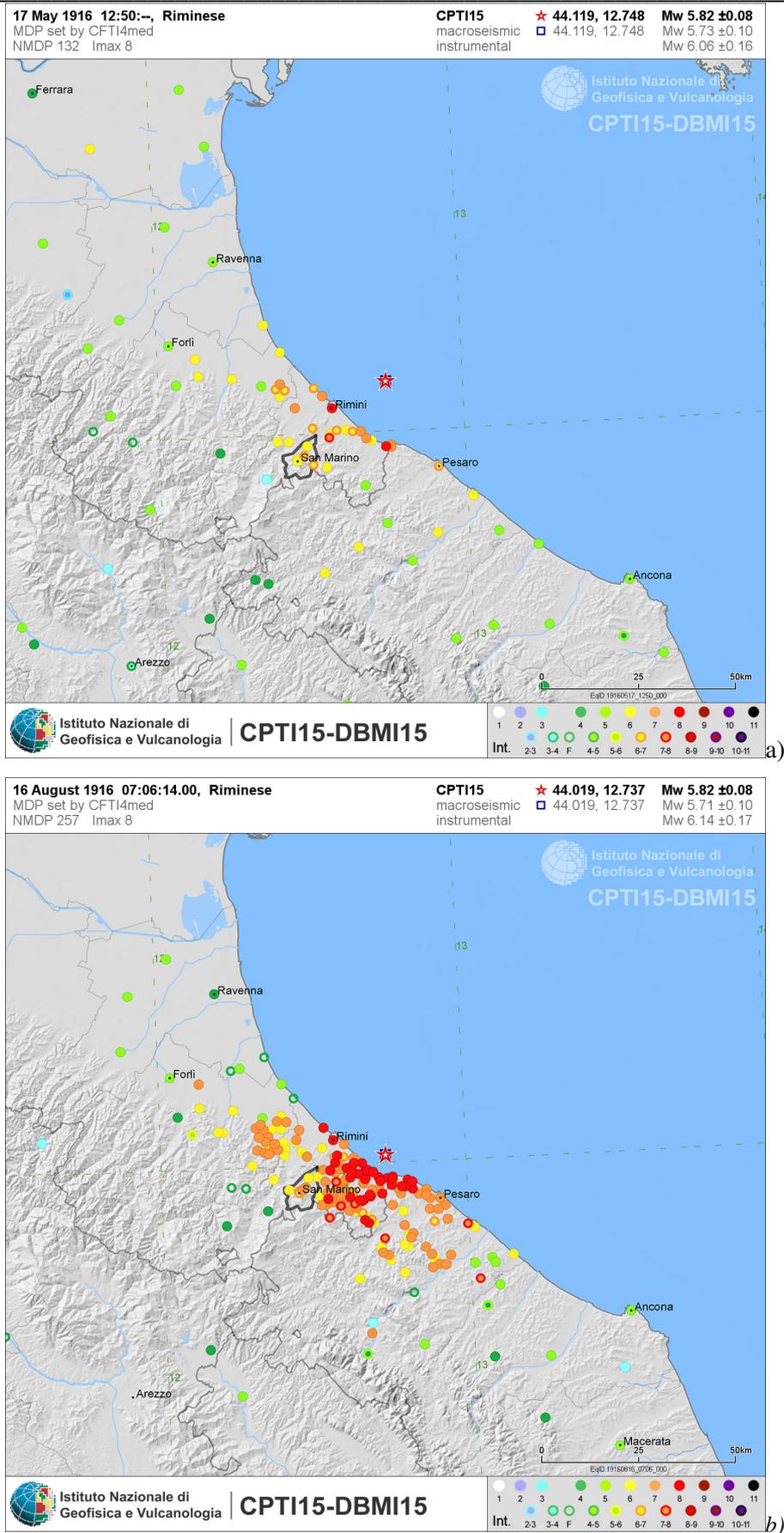
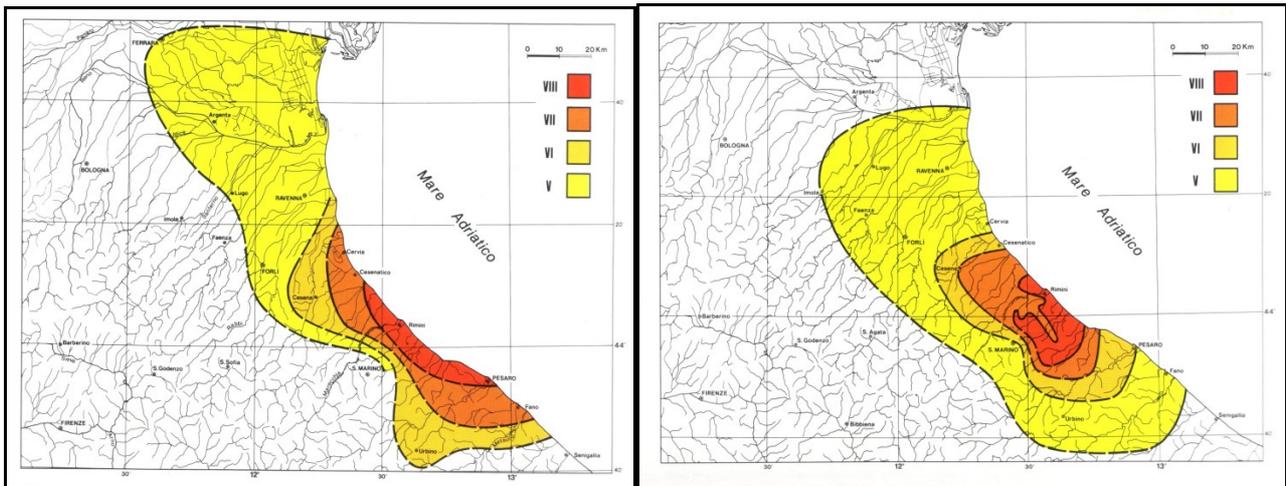
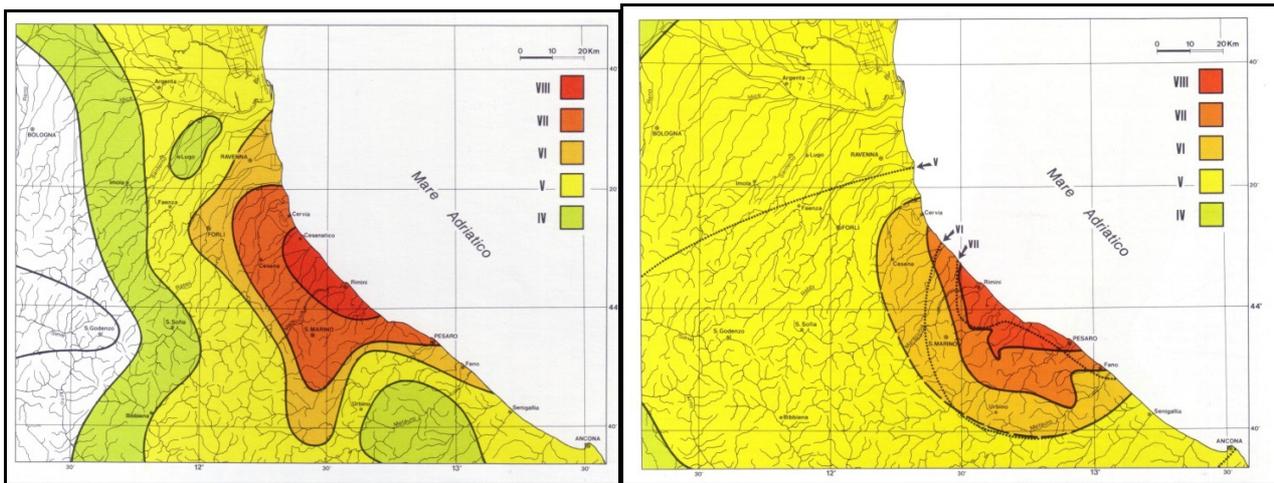


Figura- 3.2: Carta del risentimento macrosismico – terremoto Riminese eventi maggio/agosto 1916 - DBMI15 (a e b)



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 e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
 Relazione Tecnico Illustrativa

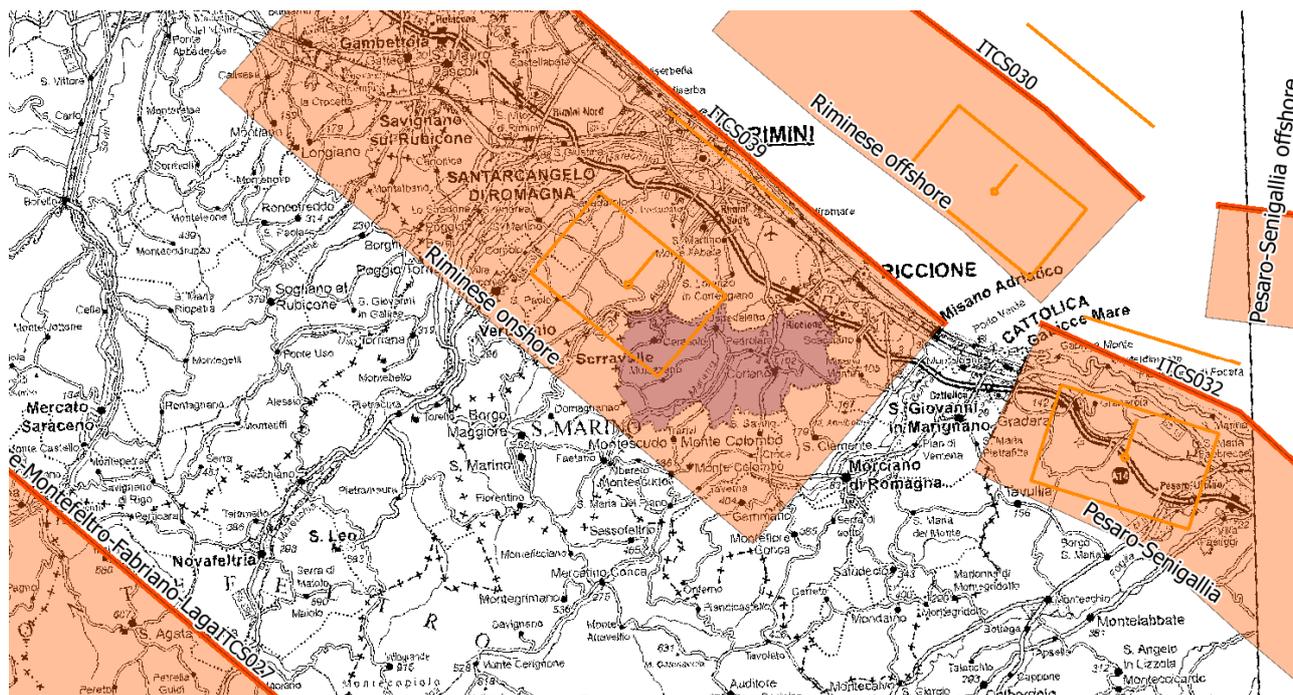
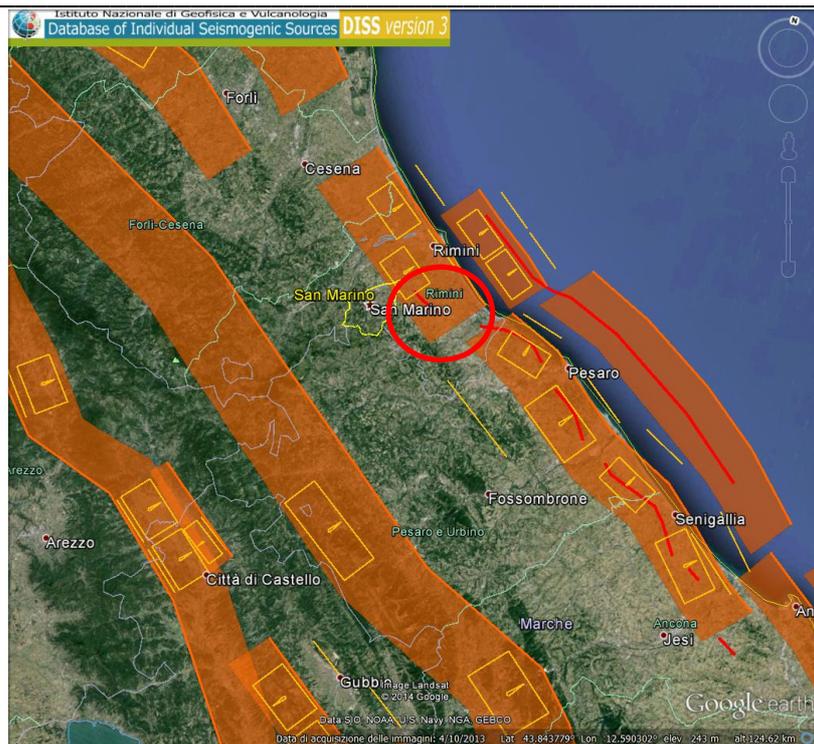


Figura – 3.4: Sorgenti sismogenetiche (Id-Nome-Max Magnitudo) individuate dal catalogo DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

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 delle Marche settentrionali mostra un comportamento complesso, caratterizzato da una notevole variabilità delle orientazioni degli assi di massima e minima compressione (Fig. 3.5)

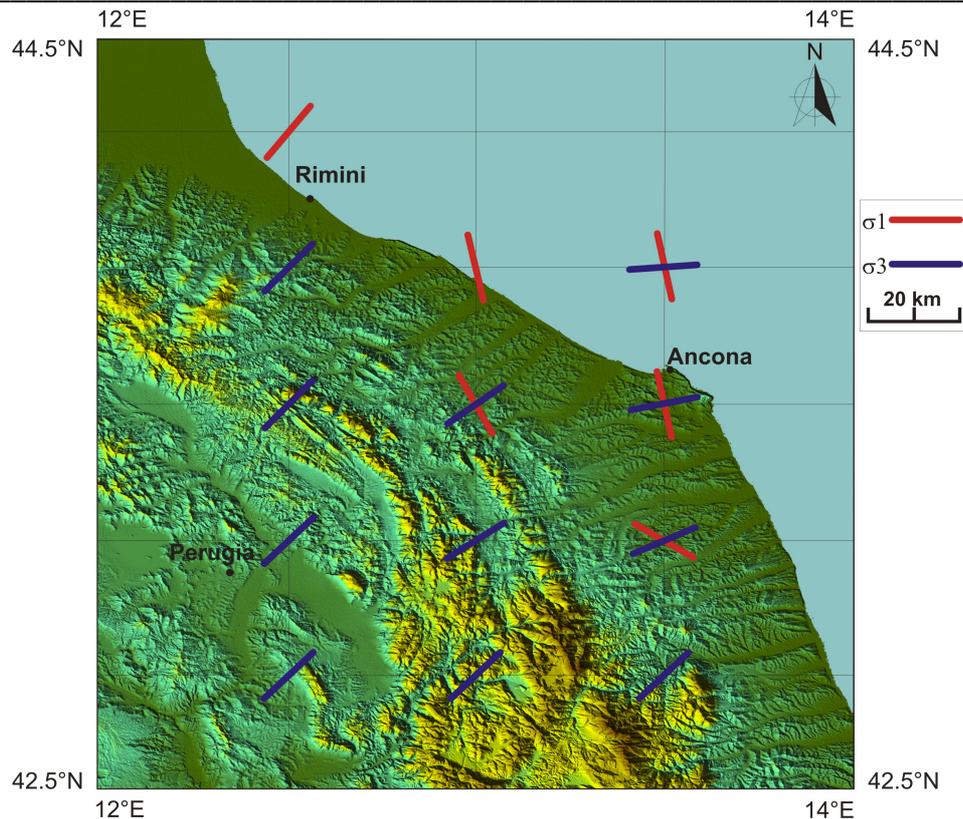


Figura 3.5 – Proiezione in mappa degli assi di massima compressione (σ_1) e minima compressione (σ_3) per l'area umbro-marchigiano-romagnola (da Macchiavelli et alii, 2012).

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.

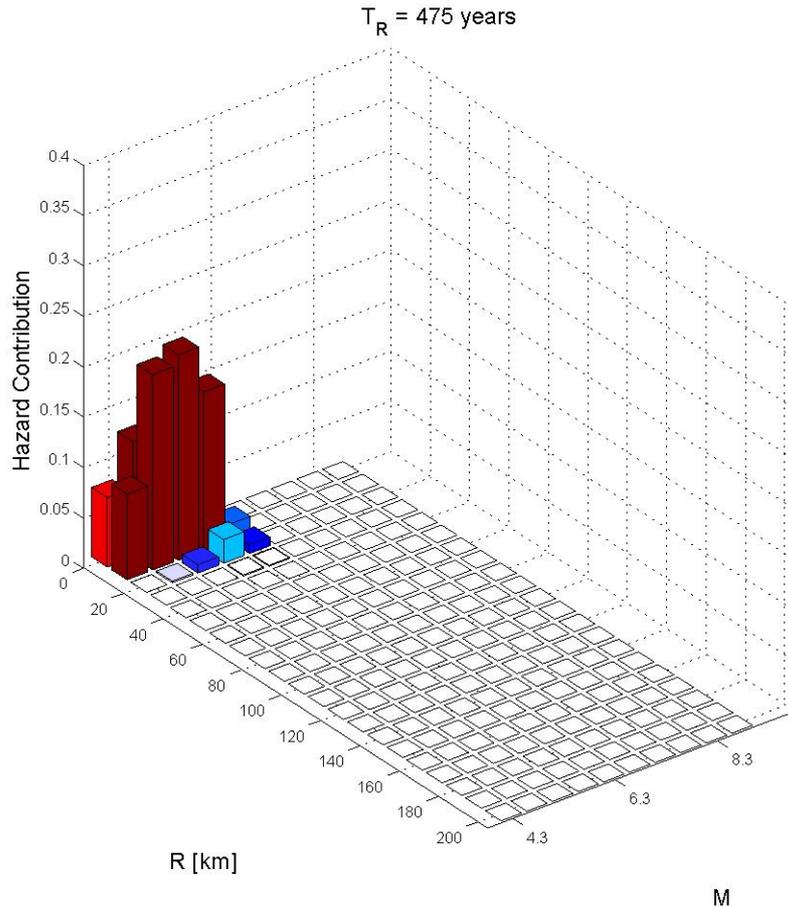
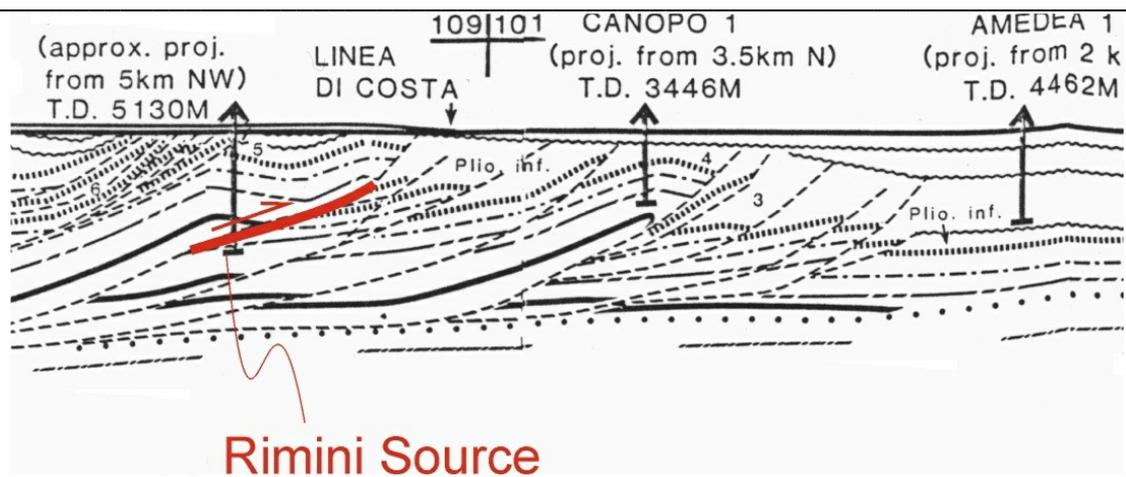


Figura 3.6–Diagramma di disaggregazione riferito all’area comunale di Coriano

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).

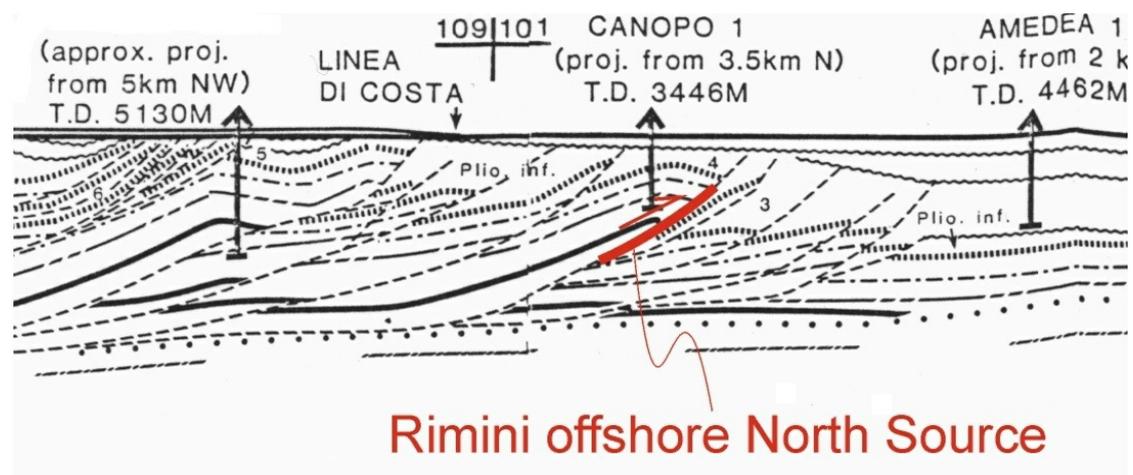
ITCS039 – RIMINESE ONSHORE	
Min Depth (km)	2
Max Depth (km)	10
Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	1.0 - 1.07
Max Magnitude (Mw)	5.9



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).

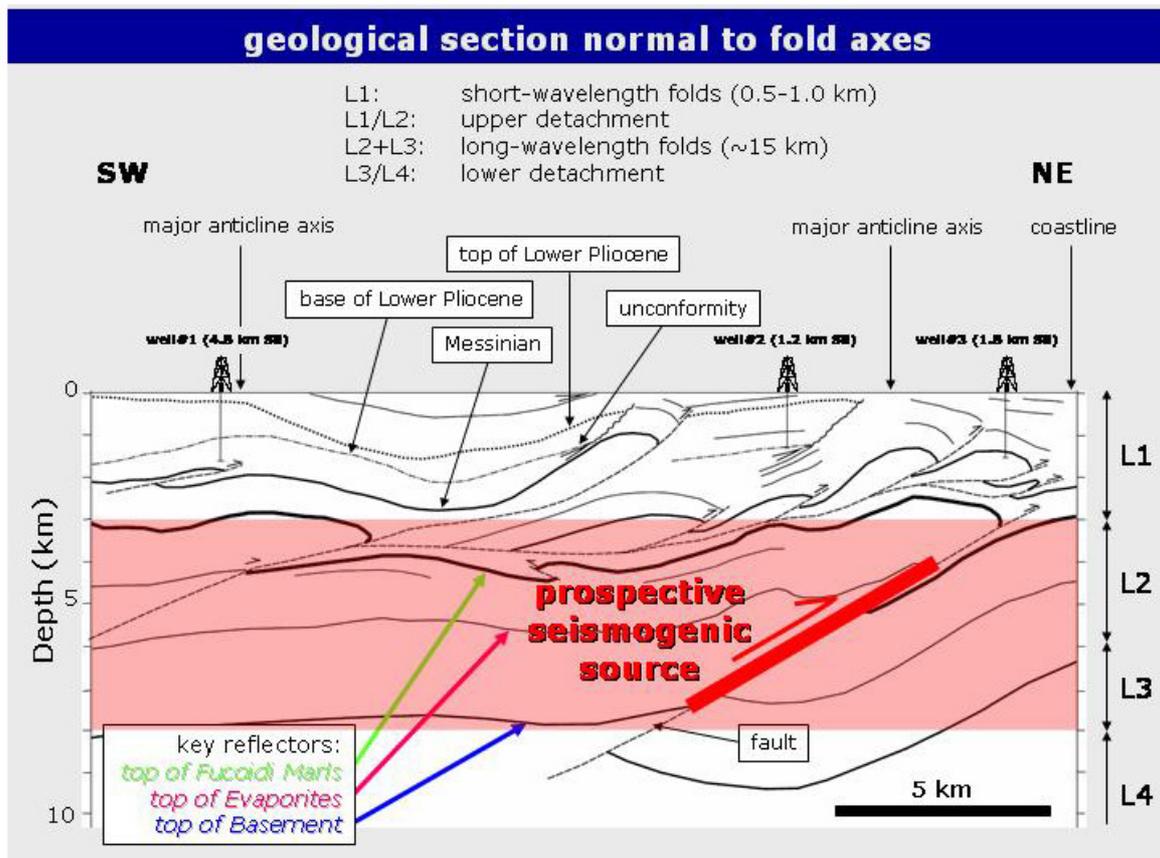
ITCS030 – RIMINESE OFFSHORE SOUTH	
Min Depth (km)	3
Max Depth (km)	7
Strike (deg)	120 - 140
Dip (deg)	25 - 35
Rake (deg)	80 - 100
Slip Rate (mm/y)	0.2 - 0.52
Max Magnitude (Mw)	6.1



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.

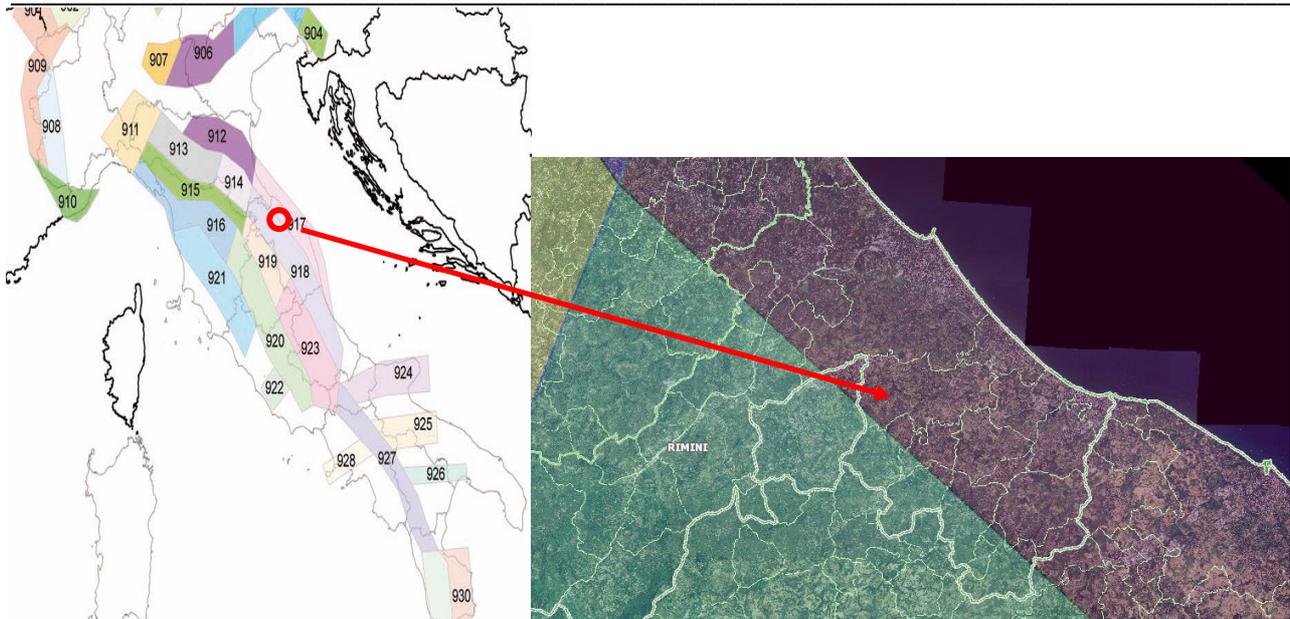


Figura 3.7–Dettaglio della Zonazione Sismogenetica ZS9 (“Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica” dell’INGV, 2004). Evidenziata in viola la ZS n. 917 “Rimini-Ancona” ed in celeste la ZS n. 918 “Medio-Marchigiana/Abruzzese”.

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

In figura 3.8 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>*).



Figura 3.8 – Dettaglio catalogo ITHACA delle faglie attive e capaci.

Da queste si evince come entro la zona in studio risulti un tratto di faglia che attraversa il comune in direzione NW-SE denominata “Monte Tauro” (Fault code 43806); tuttavia i dati disponibili nel catalogo ITHACA riportano una scarsa conoscenza di tale struttura, 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 di riferimento (in termini di PGA0 al bedrock) si basa sui valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi 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 3.9 viene illustrato uno stralcio di insieme della griglia di punti con i valori di PGA0 di riferimento sostanzialmente derivato dal progetto DPC-INGV-S1:

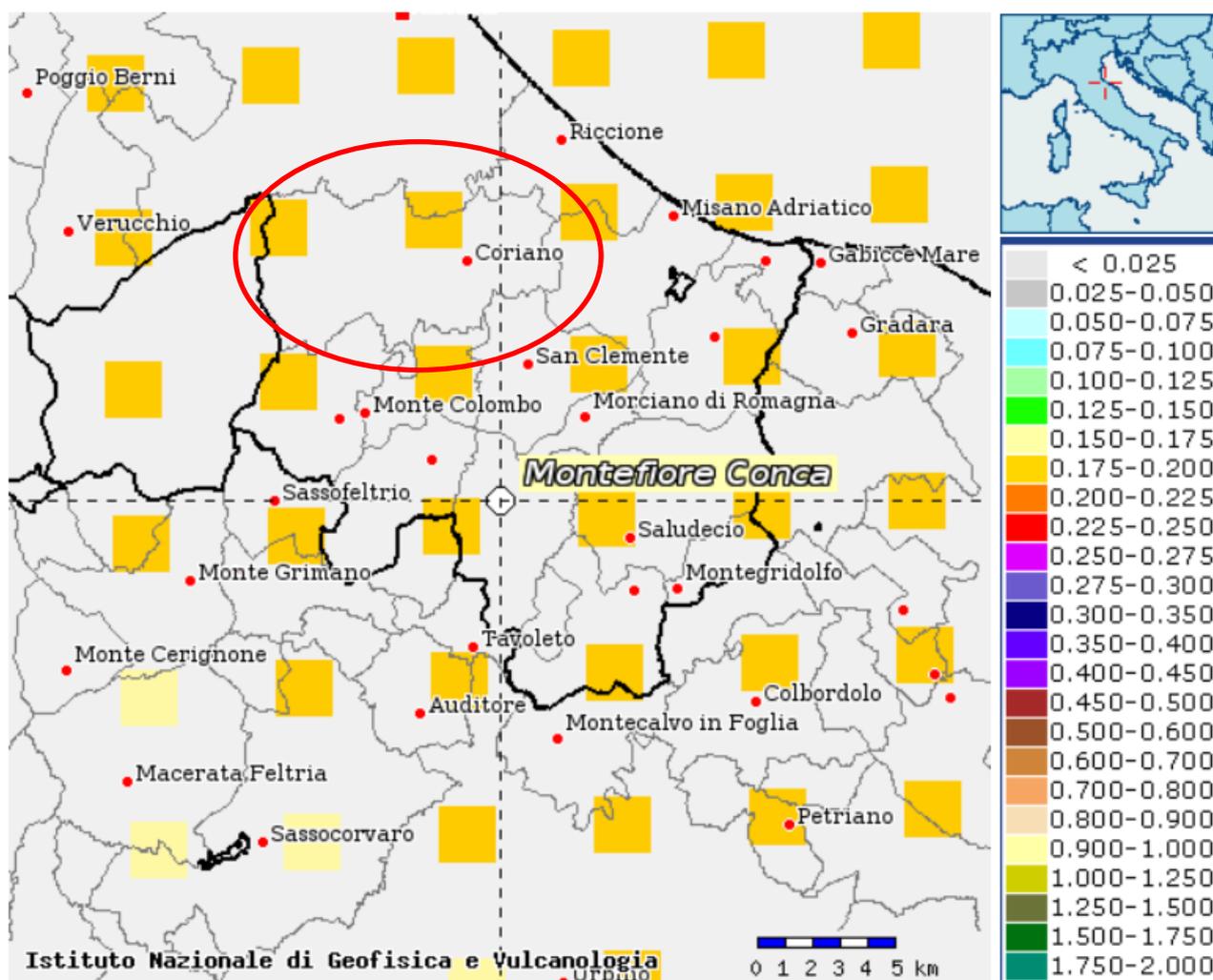


Figura 3.9 – Dettaglio griglia punti di analisi PGA0 attraverso disaggregazione, progetto DPC-INGV-S1 Web-Gis

4. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

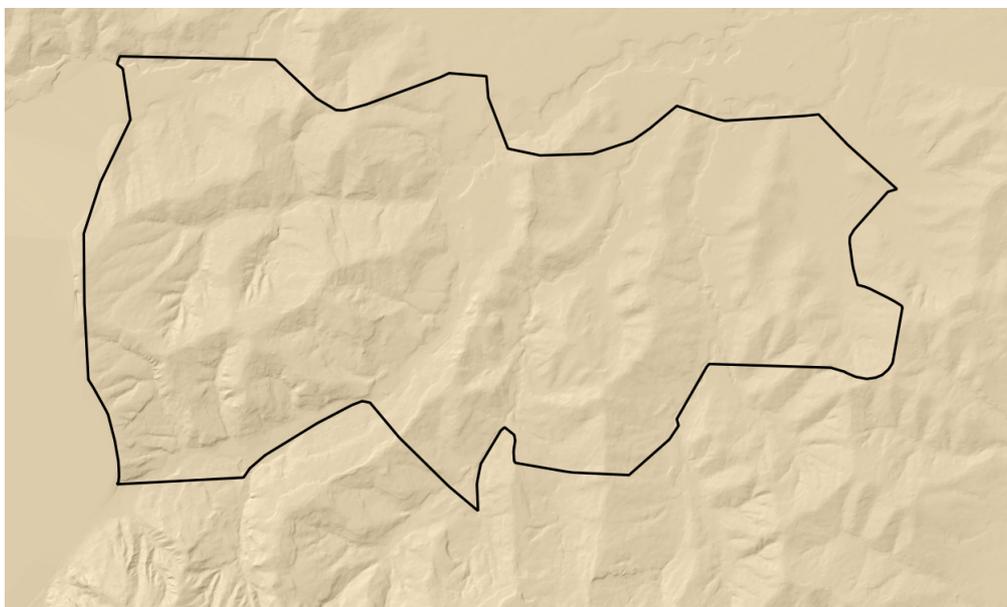
4.1. Cartografia di base

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

- Carta Geologica D'Italia Foglio 267 (San Marino) e 268 (Pesaro), scala 1:50.000 (Progetto Carg).
- Banca Dati della Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna.
- Quadro Conoscitivo PTCP2007 Rimini
- Il Paesaggio Geologico dell'Emilia-Romagna della Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, sismico e dei suoli Anno 2009.
- Piano Regolatore Generale e successive Varianti del Comune di Coriano.

4.2. Inquadramento geomorfologico

Il territorio del comune di Coriano è caratterizzato da una morfologia alquanto eterogenea che alterna aree pianeggianti intravallive a rilievi collinari, circoscritti rilievi rupestri ad aree calanchive.

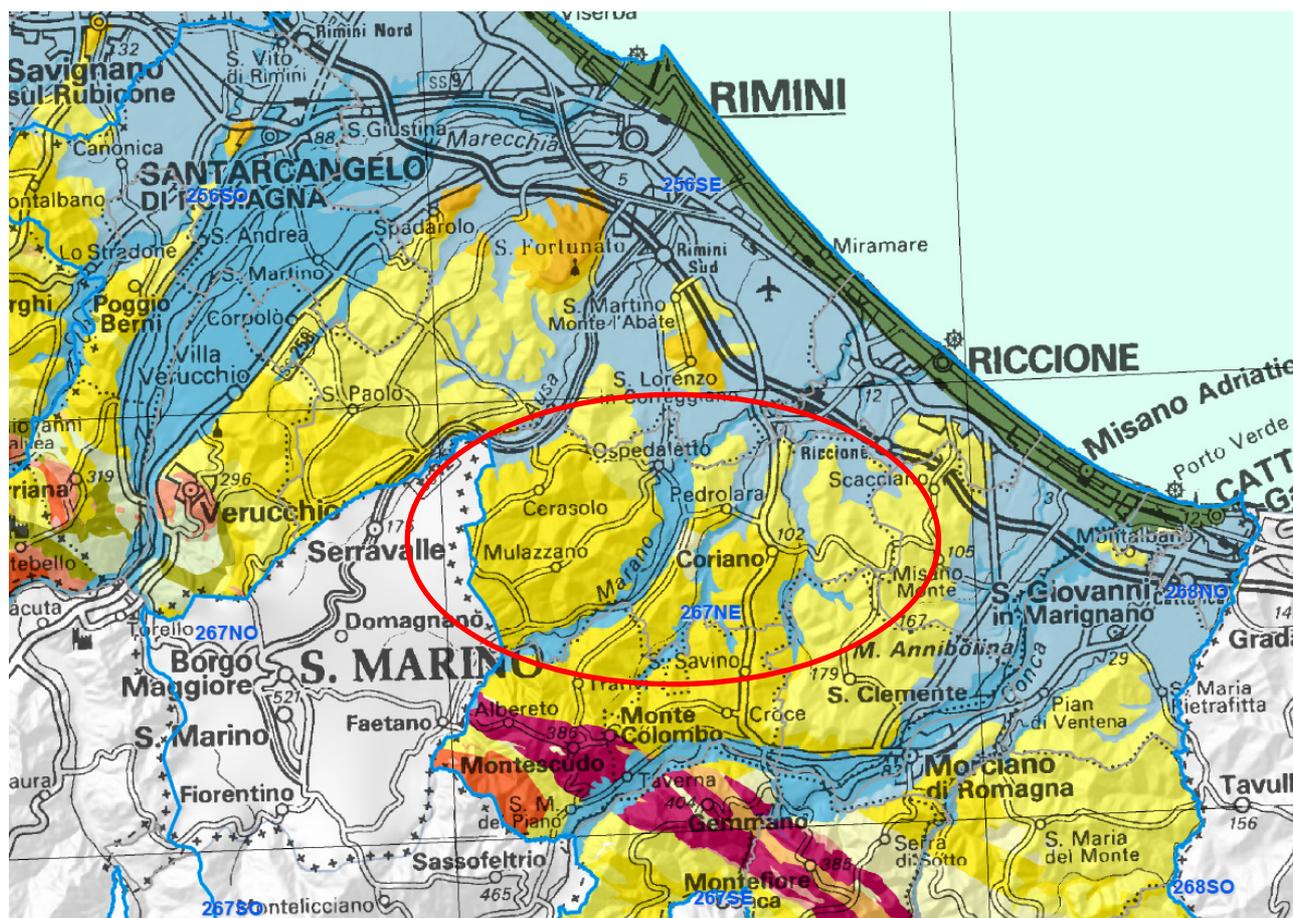


Carta della morfologia del territorio dell'Unione della Valconca

Come si può osservare dalla carta sopra riportata, la parte nord orientale del territorio dell'Unione è caratterizzata principalmente da una morfologia dominata da modesti rilievi collinari (quota massima 256 m) interclusi dal reticolo idrografico minore e dalle aree pianeggianti intravallive, specialmente quella maggiore relativa al Torrente Ausa, quindi quella relativa al Torrente Marano e, più a sud, il Rio Melo.

La morfologia collinare rappresenta gran 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 dell’Ausa e Marano e quello minore del Rio Melo. Lungo tali crinali si imposta altresì la viabilità principale di collegamento fra le varie frazioni località.

Il territorio collinare del comune è quindi caratterizzato dalla presenza di lineamenti geologico-strutturali (pieghe, contatti stratigrafici, ecc.) ad andamento prevalentemente appenninico orientato in direzione NW-SE impostati su formazioni geologiche plio-pleistoceniche marnoso-argilloso-arenacee (vedi figura sottostante), caratterizzate da coperture superficiali di spessore talora significativo.



Le quote massime e minime rilevabili nell’ambito del territorio comunale, espresse in metri sul livello del mare, sono riportate nella seguente tabella riassuntiva:

Comune	Altitudine Minima	Altitudine Massima	Altitudine Media
<u>Coriano</u>	15	256	102

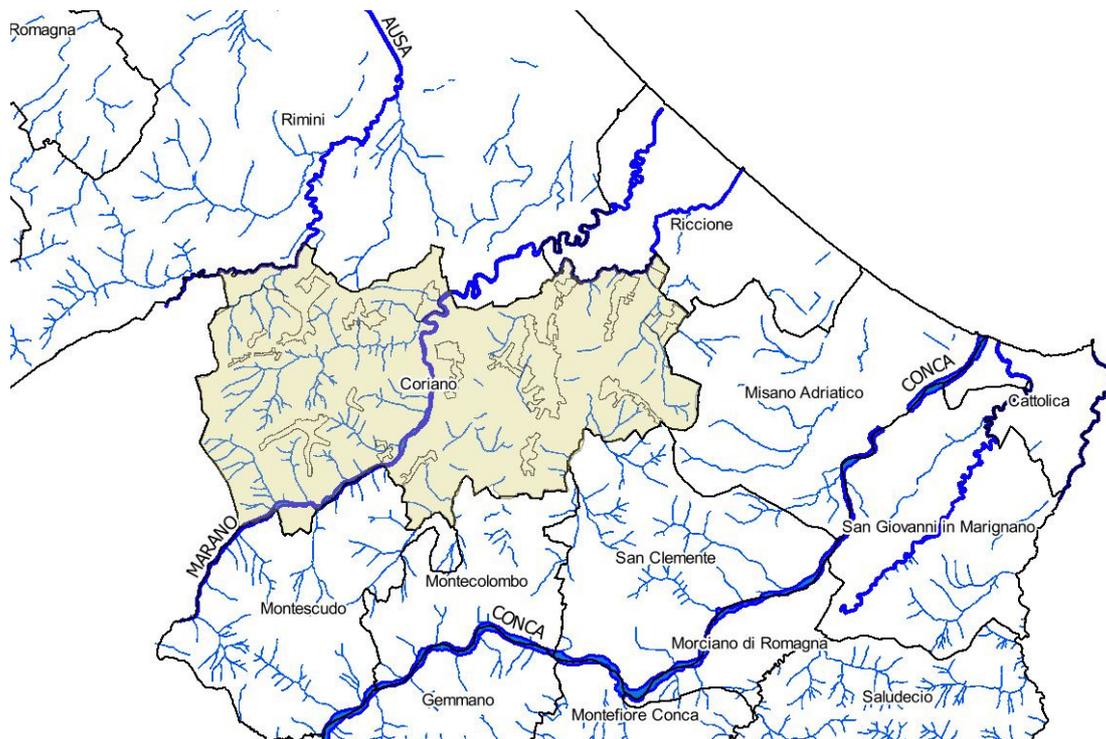
Nella parte sud occidentale del territorio si rileva infine la presenza di estese aree prettamente argillose, dominate talora da una morfologia calanchiva.

Le principali zone pianeggianti del territorio sono rappresentate dai settori di pianura alluvionale dell’Ausa e Marano, ove sono presenti le maggiori estensioni dei terrazzi alluvionali sui quali si sono sviluppate le

espansioni urbanistiche, specialmente del comparto artigianale e produttivo. Un'ulteriore ampia area di piana alluvionale è quella che va estendendosi con continuità verso N a partire dalla località di Ospedaletto e sino ai confini comunali.

Dal punto di vista idrografico, nel territorio studiato si possono distinguere tre corpi idrici principali, partendo da N verso S, con foce diretta in Adriatico: Ausa, Marano e Melo. Si evidenziano inoltre piccoli 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, 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.

4.3 Inquadramento geologico-strutturale

L'appennino romagnolo è sinteticamente costituito da una catena principale e da una fascia marginale. La catena principale presenta uno stile tettonico ad ampie strutture (pieghe fagliate, accavallamenti, ecc) con dominante orientamento appenninico: la successione è continua dal Langhiano al Messiniano per oltre 3.000 mt di spessore e cioè dalla Formazione Marnoso-Arenacea Romagnola con passaggio da una sedimentazione torbiditica ad una di ambiente lagunare a sedimentazione chimica e meccanica.

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)

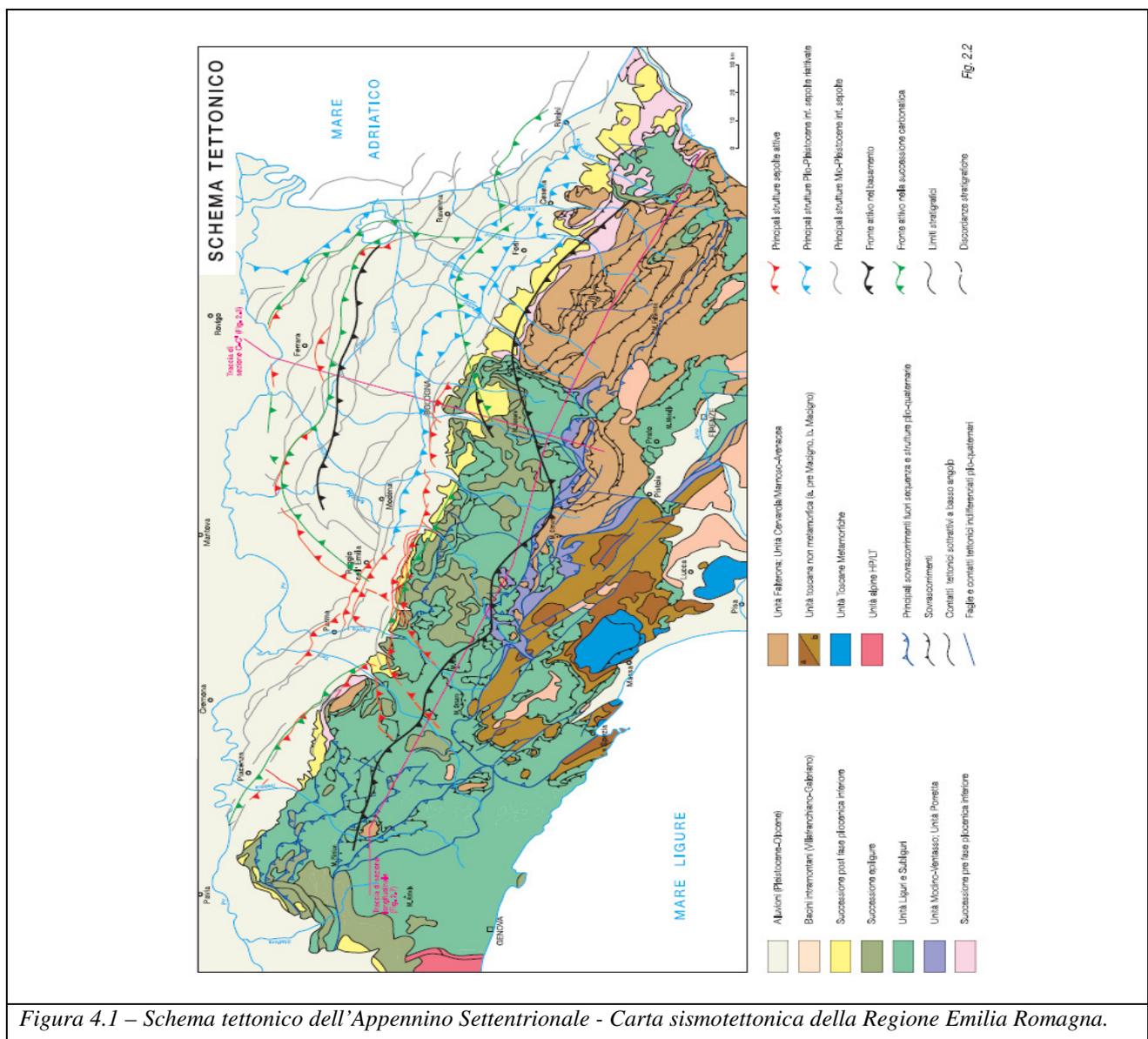


Figura 4.1 – Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale - Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna.

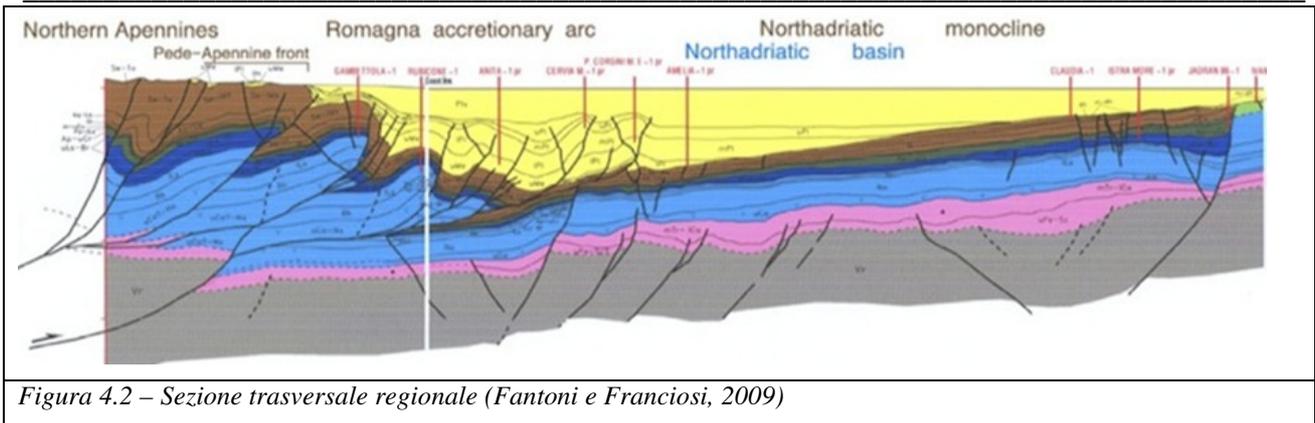


Figura 4.2 – Sezione trasversale regionale (Fantoni e Franciosi, 2009)

A livello regionale l'area costiera e di fondovalle risulta delimitata a SO da due megacolate gravitative della Coltre della Val Marecchia: la prima della fine del Tortoniano presenta numerosi ed ingenti esotici derivanti dai complessi "tosco-emiliani"; la seconda, originatasi per smembramento della prima dopo il sollevamento del paleoappennino interno nel pliocene inferiore, segue la regressione deposizionale (depositi marini per lo più di fase regressiva in Val Marecchia dello spessore anche di 1.700 mt) della successione pliocenica deposta sull'alloctono. Ad essa succedono le ultime spinte e faglie ad orientamento appenninico trasversale che hanno variamente dislocato i contatti della colata sia con il paleoautoctono che con il mesoautoctono e neoautoctono. Segue il ciclo pliocenico medio - superiore marino anch'esso con fase regressiva dominante e spessori anch'essi notevoli. Si succede poi un successivo ciclo pleistocenico inferiore marino sul cui tetto poggiano i depositi continentali-litorali del ciclo pleistocenico inferiore medio.

Gli eventi orogenetici che hanno portato alla successione stratigrafica attuale sono riconducibili alle spinte tettoniche, avvenute secondo direzione SW-NE, di origine appenninica e che hanno determinato, verso la fine del Miocene l'innalzamento dei depositi pliocenici. La linea di costa era collocata abbastanza vicino al limite di spartiacque che corrispondeva alla linea di cerniera tra aree in sollevamento e aree subsidenti. Tale linea era interrotta da faglie trasversali ad andamento antiappenninico (oggi ancora sismicamente attive) su cui si sono impostati i principali assi di erosione fluviale. Pertanto appare evidente come il bordo appenninico esterno e l'attuale fascia costiera siano il prodotto del sistema ad embrici e accavallamenti che ha regolato e regola il sollevamento e lo sviluppo della catena appenninica.

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 della zona di studio.

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, a cavallo dei quali ricade il territorio dell'Unione di Comuni, iniziano a delinearsi 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. 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'orogene (Pianura Padana, Adriatico) come è dimostrato dalla frequente attività sismica della regione.

4.4 Assetto stratigrafico

I litotipi del substrato sono in gran parte rappresentati dalla formazione marina delle argille azzurre e, in subordine nelle parti più interne dei rilievi, dai depositi messiniani pseudolitoidi della Formazione a Combacci (vedi figura 4.3 sottostante).

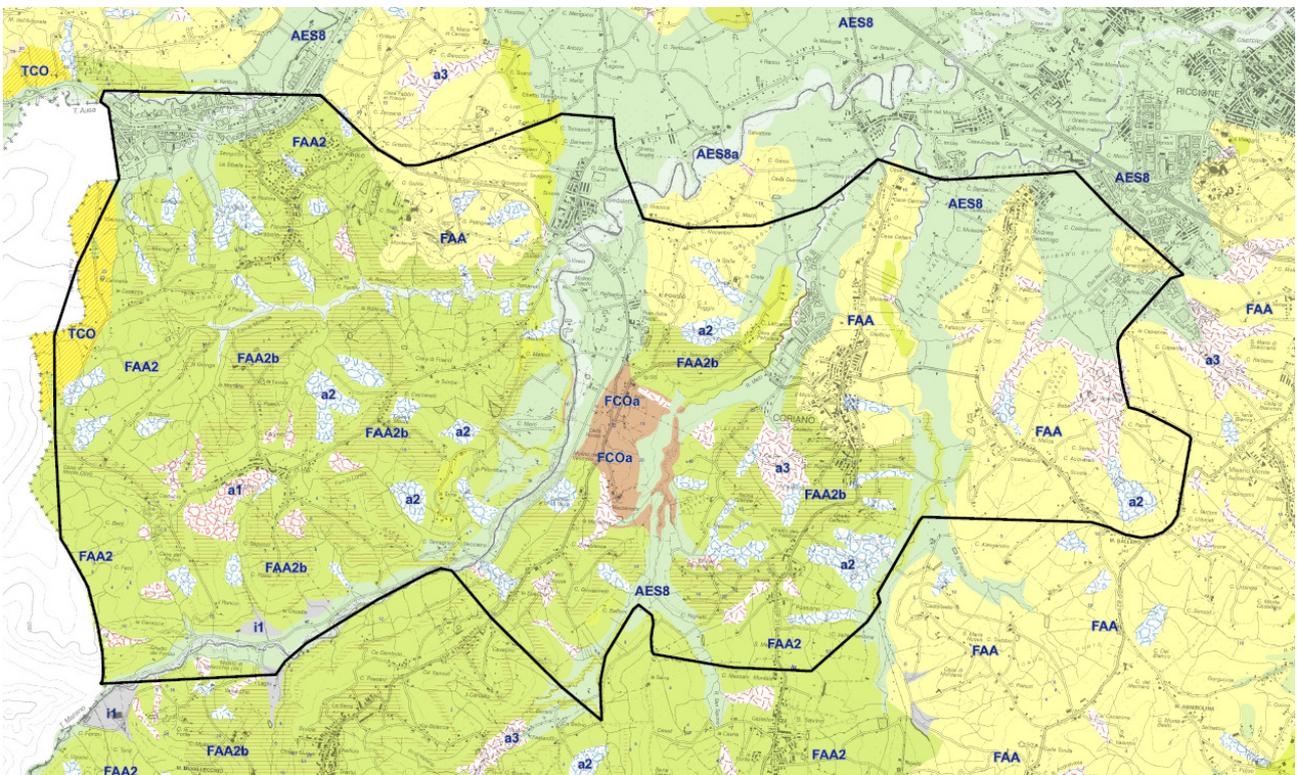


Figura 4.3 – Inquadramento geologico generale – stralcio progetto CARG (Web-Gis Emilia Romagna)

La morfologia del tetto del substrato prealluvionale presenta un fondo piano e debolmente ondulato, in cui talora sono riconoscibili alcune depressioni e solchi di paleoalvei. Una prima incisione segue un tracciato più o meno rettilineo coincidente nel tratto iniziale con l'alveo attuale dell'Ausa e Marano.

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, mediamente compreso tra i 3 ed i 7 m, verso il piede del versante ove può arrivare sino a 12 m. Talora, in concomitanza di particolari movimenti gravitativi o depositi di versante, le coperture possono mostrare localmente anche spessori maggiori. Nei settori di fondovalle, invece, i terreni del substrato sono ricoperti dai depositi quaternari della conoide del Torrente Ausa e Marano, il cui spessore raggiunge valore di circa 7÷12 metri.

Tali depositi, coincidenti con i terrazzi alluvionali del III e IV ordine, 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 corrispondenza dei terrazzi alti, presenti a tratti a margine delle valli alluvionali, sono rilevabili lembi appartenenti al Subsistema di Villa Verucchio (AES7).

I materiali alluvionali grossolani rappresentano il prodotto dell'erosione delle sequenze calcareo-marnose ed arenacee (Formazione del Bisciario, dello Schlier, della Gessoso-Solfifera, dell'Alberese, di S. Marino, ecc.), drenate nei tratti di bacino più a monte, mentre i sedimenti più fini hanno origine dalla degradazione delle formazioni argillose presenti nell'Alta Valle, dove il fiume scorre sui depositi della colata gravitativa della Valmarecchia e in pianura, sui depositi delle formazioni plioceniche.

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. Spessore: 0-10m.

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.

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 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;

SUCCESIONE NEOGENICO-QUATERNARIA DEL MARGINE PADANO

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 stratigrafiche 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

FAA2p - litofacies pelitico-arenacea.

Prevalenti argille ed argille marnose grigio-azzurre, siltose, fossilifere, in strati molto sottili e sottili, con livelli di sabbie fini e siltiti, caratterizzate da intensa bioturbazione; rari intervalli pelitico-arenacei, con arenarie giallastre, molto sottili, e $A/P < 1/2$.

FAA2ap - Litofacies arenaceo-pelitica

Alternanze di argille sabbiose grigie, 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).

FCO - Formazione a colombacci (FCO)

Argille, marne e marne argillose, grigie, grigio-scure, verdastre, viola o nere, in strati sottili e medi, con intercalati livelli carbonatici biancastri (colombacci), di spessore variabile da 2 a 40 cm fortemente laminati, e subordinate siltiti e arenarie grigie medio-fini in sottili strati lenticolari ($A/P < 1/3$), lamine calcaree o calcareo marnose.

Nelle arenarie sono presenti frustoli carboniosi, gusci di Gasteropodi e Lamellibranchi ed evidenze di bioturbazione. Sono state distinte alcune litofacies, sulla base del rapporto arenite/pelite, intercalate a più livelli all'interno della formazione e che formano dei corpi più o meno lenticolari. Limite inferiore discordante su GHT, GES e FMA, (dove affioranti) spesso complicato da frangimenti sinsedimentari. Potenza molto variabile, fino ad alcune centinaia di metri.

Messiniano medio e sup.

FCOa - litofacies arenacea

Alternanza arenaceo-marnosa (A/P da 2/1 a 10/1). Arenarie grigie medie e grossolane, con fitta laminazione piano-parallela, ondulata e incrociata, in strati medi, più raramente sottili o spessi, di colore grigio alterate in giallo o marrone. Marne e siltiti grigie in strati sottili e molto sottili, raramente medi. Formano corpi lenticolari di 2-40 m distribuiti ad altezze diverse entro FCO.

Di seguito si riporta altresì una sintesi grafica degli assetti geologico-strutturali e delle sezioni geologiche rappresentative per le aree in studio, dalle zone di crinale più rilevate sino ai fondovalle (fig. 4.4-4.5).

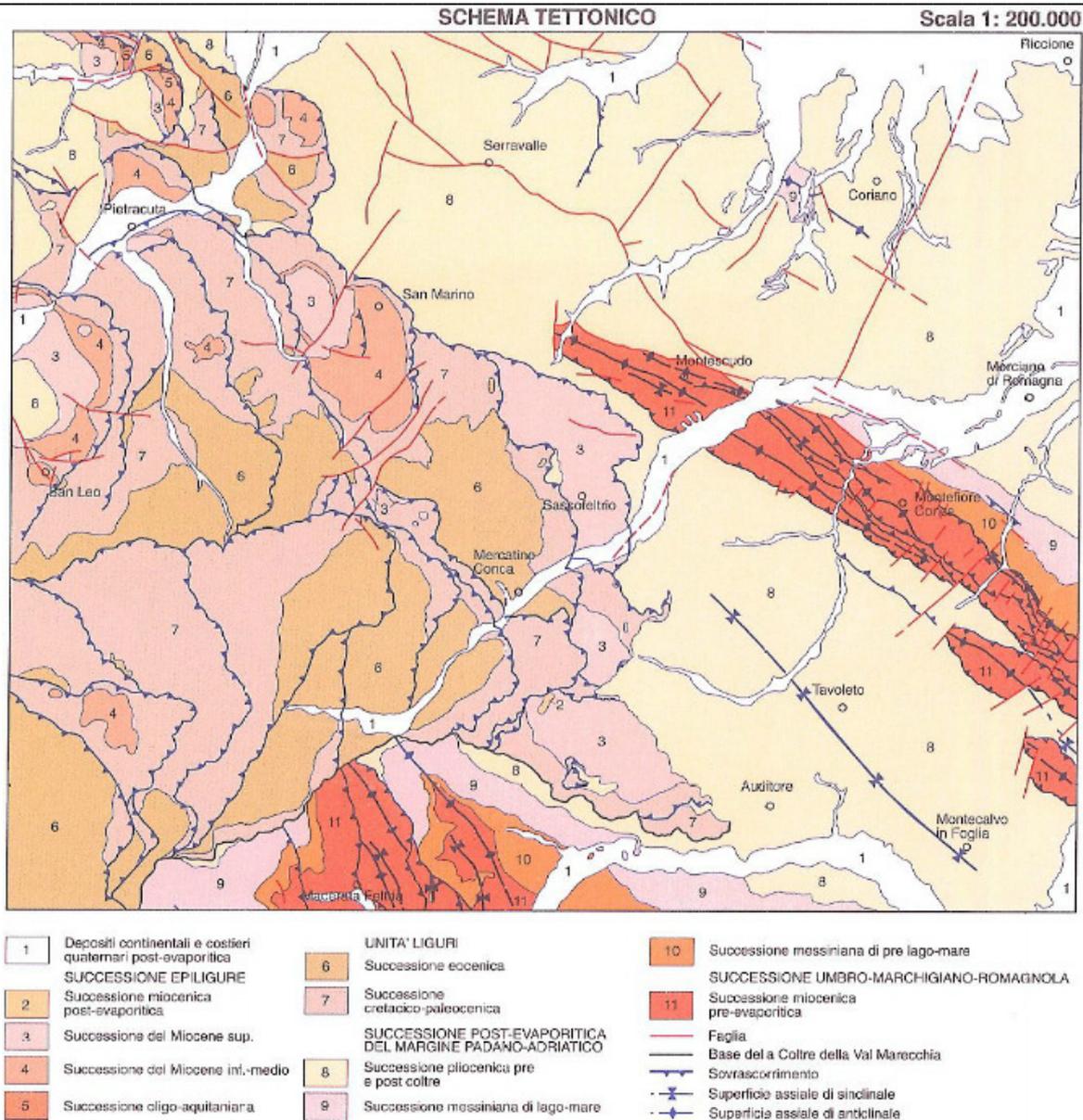


Figura 4.4 – Schema geologico e tettonico generale – progetto CARG (Foglio 267 San Marino)

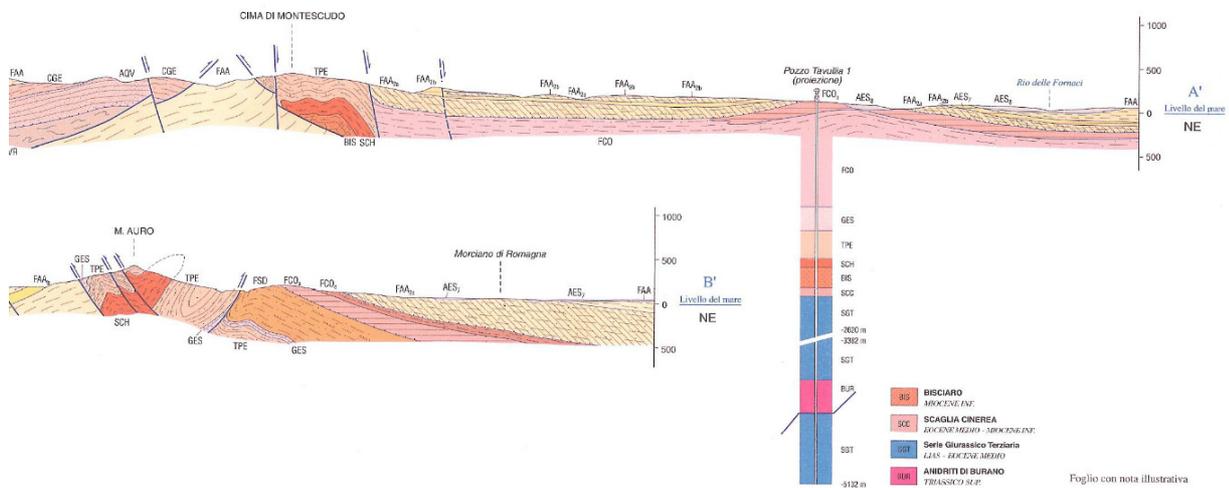


Figura 4.5 – Stralcio sezioni geologiche A-A' e B-B', direzione SW-NE, progetto CARG (Foglio 267 San Marino)

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 mentre la Regione Emilia Romagna ha commissionato una serie di prove volte alla conoscenza del territorio.

In dettaglio, si tratta di complessive N. 149 prove selezionate, di cui N. 115 di tipo geotecnico e N. 34 di tipo geofisico, per un totale di N.137 prove puntuali e n. 12 in array lineare distribuite sul territorio in studio (fig. 5.1).

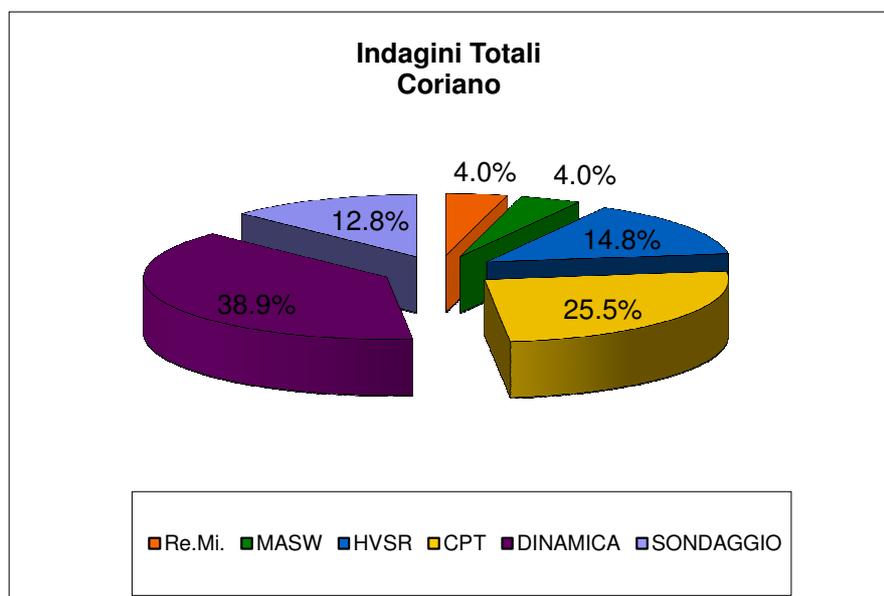


Figura 5.1 – Totale indagini geognostiche e geofisiche distribuite sul territorio del comune di Coriano ed utilizzate per lo studio di MS.

Tutte le tipologie di prospezioni sia integrative che pregresse sono state classificate e archiviate all'interno di un sistema informativo territoriale (G.I.S.) come previsto dagli standard di rappresentazione e archiviazione dati per la Microzonazione Sismica versione 4.1.

(http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/standard_studi_ms.wp).

Nella “Carta delle Indagini”, in allegato alla relazione, è possibile visualizzare l'ubicazione delle differenti indagini in sito; i risultati di ciascuna prova e le modalità di esecuzione sono riportate, a mezzo di semplici “report”, nel data-base associato alla mappa.

5.1. Indagini integrative di tipo geofisico

L'analisi dei fenomeni di amplificazione locale coincide con lo studio degli effetti di risonanza legati alle onde trasversali o di taglio. Per tale ragione, quantificare l'andamento delle velocità di propagazione di questa tipologia di onde nel primo sottosuolo (profilo Vs) rappresenta un'informazione essenziale ai fini della caratterizzazione meccanica (in campo dinamico) dei terreni. Stime del profilo Vs vengono realizzate in sito attraverso appropriate prospezioni di tipo geofisico condotte, in base alle condizioni logistiche e alle profondità da esplorare, con differenti modalità esecutive:

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 e con cono sismico). I principali svantaggi di tali metodologie risiedono, sia nell'esiguo volume di sottosuolo esplorato, sia nei costi d'indagine relativamente alti.

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 Vs 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, oltre ad essere applicata su stendimenti che prevedono l'utilizzo congiunto di più sensori (tipologia Re.Mi. – refraction microtremors), 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. Analizzando misure di questo tipo è possibile identificare, infatti, la principale frequenza di vibrazione del suolo definita di "risonanza" e sfruttarla per scopi stratigrafici.

5.1.1 Campagna di misure geofisiche integrative

Si tratta principalmente di prospezioni non invasive di tipo indiretto (basate sull'analisi delle fasi d'onda Superficiali) che sfruttano la propagazione delle onde superficiali, ben correlabili alle onde di taglio Vs.

In dettaglio, le indagini sismiche in modalità indiretta sono state realizzate sia con sorgente di energizzazione artificiale (MASW) sia attraverso registrazione delle vibrazioni ambientali (Re.Mi. e HVSR).

In Tabella 5.1 è riportata una suddivisione di dettaglio delle prospezioni svolte.

Tabella 5.1 – Suddivisione per tipologia delle indagini geofisiche integrative.

Indagini geofisiche di tipo indiretto realizzate in superficie	
Sismica Passiva	N. Prospezioni
Stazione Singola (HVSR)	22
Sismica Passiva	N. Prospezioni
Linea Sismica (Re.Mi.)	6
Sismica Attiva	N. Prospezioni
Linea Sismica (MASW)	6

Sismica attiva e passiva di superficie

Prove MASW

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali (in particolare, delle onde di Rayleigh) presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al.,1999). Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

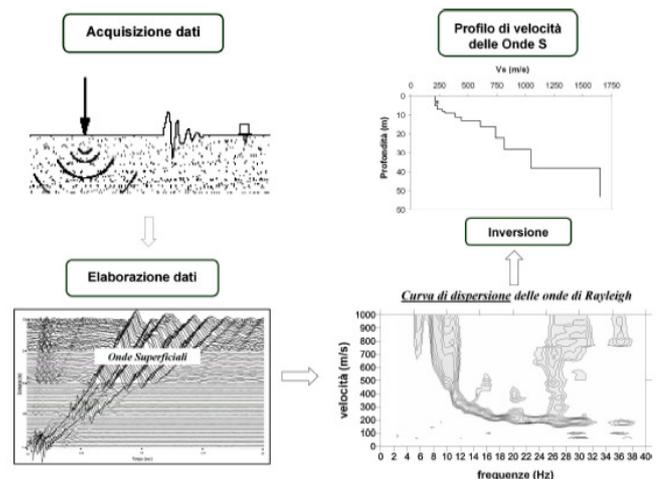
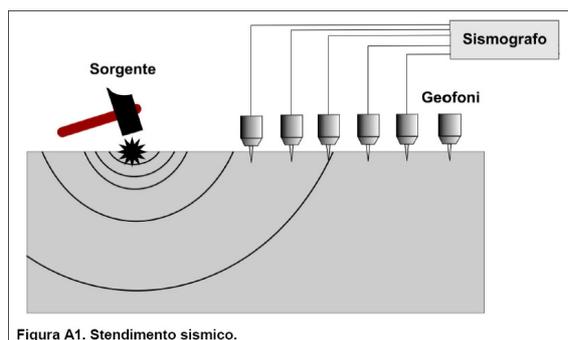
La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S.

Pertanto, utilizzando appositi formalismi (inversione) è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-parallelari.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curva di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità".

STRUMENTAZIONE USATA

- Numero dei canali 24
- A/D conversione 16 bit
- 24 Geofoni verticali da 4.5 hz



MODALITA' OPERATIVA

Si sono disposti **24 geofoni da 4,5 hz alla distanza media di 2.0 metri, ottenendo così una traccia lunga 46 metri**. Eseguendo poi varie battute di energizzazione tramite massa battente (mazza) ad una prefissata distanza dal primo geofono si sono ottenute più tracce per meglio analizzare le onde superficiali.

Il sismografo utilizzato è un dispositivo modulare da 24 canali GEODE (Geometrics); l'intervallo di campionamento è stato selezionato a 0.5 millisecon e il tempo di registrazione è stato fissato in 3 secondi.

La procedura MASW può sintetizzarsi quindi in tre stadi distinti:

1- acquisizione dei dati di campo;

2- estrazione della curva di dispersione;

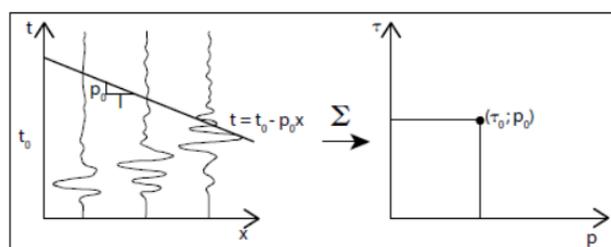
3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Prove Re.Mi.

Questo metodo venne introdotto da Louie (2001), e prevede una disposizione lineare dei geofoni verticali, del tipo comunemente usato per la sismica a rifrazione a piccola profondità (frequenza propria 8-10 Hz), allo specifico scopo di avere una profondità d'indagine dell'ordine di almeno 30 m, tipica degli studi per la valutazione degli effetti di sito legati alla distribuzione della VS (e quindi del modulo di rigidità μ o "G") fino a tale profondità. Com'è ormai chiaro, profondità d'indagine superiori possono essere raggiunte solo utilizzando frequenze proprie inferiori. L'acronimo Re.Mi. sta infatti per Refraction Microtremors. Il dispositivo di misura è sostanzialmente uguale a quello MASW e obbedisce agli stessi parametri di acquisizione, sia in termini di banda di frequenze analizzate che di spaziatura dei geofoni, per cui la spaziatura geofonica rappresenta una sorta di filtro in frequenza per il segnale che arriva da tutte le direzioni e maggiore è la spaziatura intergeofonica, minore è la frequenza del segnale utile campionabile (minor risoluzione), aumentando di conseguenza la profondità di investigazione.

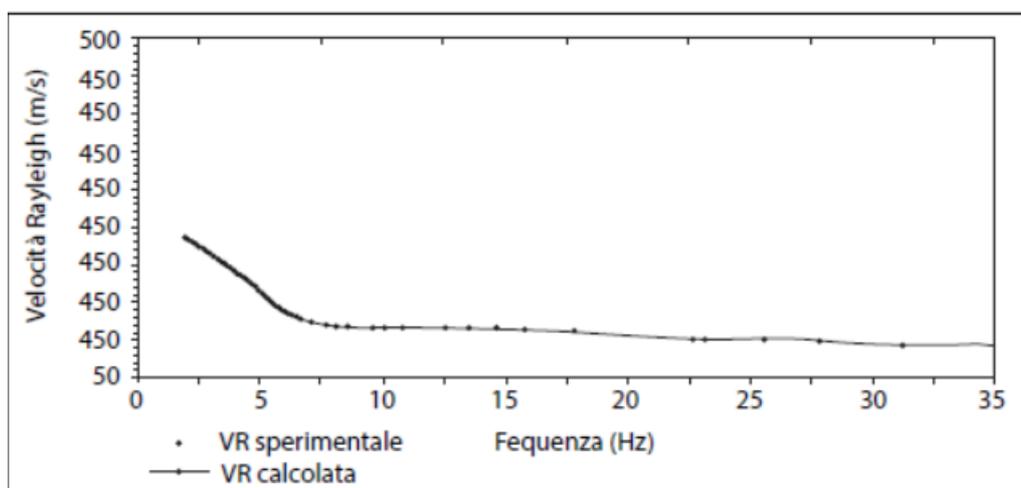
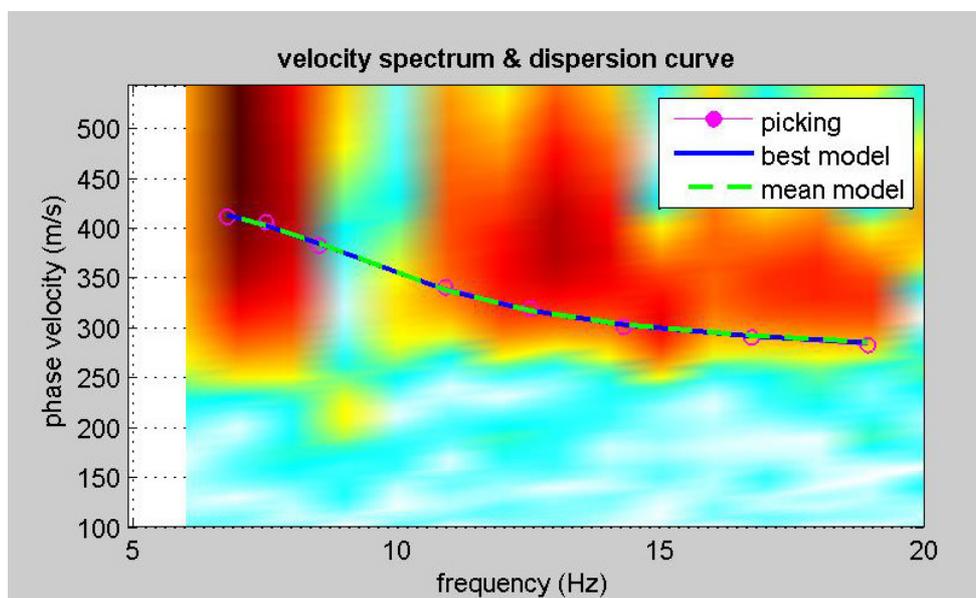
Inoltre se la linea in esame non varia orizzontalmente più del 5% della sua direzione e se non cambia la sua elevazione più del 5% della lunghezza totale della linea si può utilizzare una procedura standard semplificata mentre al contrario vanno impostati i parametri geometrici e di quota esatti.

L'elaborazione dei dati pur dovendo passare per una trasformazione di Fourier (T.F.) avviene in forma sostanzialmente diversa dalla tecnica MASW, in quanto in questo caso gli arrivi delle onde di Rayleigh non sono in sequenza crescente con la distanza dalla sorgente, ma casuali. La modifica sostanziale riguarda un'operazione preliminare alla T.F., che viene effettuata sui dati di campagna e chiamata slant-stack (ovvero "sovrapposizione obliqua").



Nel sismogramma acquisito sul campo, che giace nel piano x-t, si mandano tante rette di equazione: $t = \tau_0 - p_0x$, dove p_0 ha le dimensioni del reciproco della velocità (lentezza o “slowness”) e τ_0 è l’ordinata all’origine o “tempo intercetto”, variando τ_0 da 0 al tempo massimo di registrazione e p da 0 (velocità apparente d’arrivo del fronte infinita) a un valore p_{max} , reciproco del valore di VR minima attesa (poche decine di m/s in presenza di terreni sciolti). Lungo ciascuna di queste rette si sommano tutte le ampiezze di segnale incontrate sulle varie tracce e il risultato diventa un punto di coordinate (p_0, τ_0) nel piano p- τ .

La trasformata di Fourier viene eseguita per ogni p, lungo l’asse τ . Si ottiene lo spettro di Fourier nel piano frequenza-velocità di fase (reciproca di p), a cui segue l’inversione 1D della curva di fase del modo fondamentale e/o superiori, esattamente come nel metodo MASW.



Un limite concettuale di questo metodo è costituito dal fatto che soltanto le velocità di onde che si propagano nella direzione del profilo vengono restituite con precisione. mentre tutte le altre direzioni portano a velocità sovrastimate. Louie stesso si rese conto di questo limite e fece una valutazione statistica dell'errore, concludendo che si otteneva un ragionevole modello delle Vs invertendo non la linea di massimo spettrale nel grafico f-p, ma il suo bordo inferiore (v. picking della figura colorata).

Attraverso le procedure di inversione, variando il numero di strati, la loro velocità e la densità del materiale, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking. In sostanza, si tratta di una modellazione diretta, monodimensionale, che può accettare inversioni di velocità con la profondità nella quale è molto importante l'abilità e l'esperienza di interpretazione del geofisico.

L'elaborazione mediante tecnica Refraction Microtremor (Re.Mi.) è comunque in grado, specialmente se ben supportata da un'adeguata e corretta interpretazione dei dati, di differenziare con dettaglio (anche mediante inversione dei parametri con la profondità) le variazioni nel grado di consistenza (= variazioni dei parametri cinematici delle onde di taglio) del terreno; inoltre, con tale tecnica innovativa, si sopperisce alla possibile e diffusa presenza di fonti di rumore ambientale nel sito in esame che altrimenti potrebbero inficiare, come per altre tecniche sismiche, la ricerca stessa dei risultati.

In particolare l'inversione della curva di dispersione è stata effettuata in maniera congiunta ai rapporti spettrali H/V realizzati nel medesimo sito ed al profilo geomeccanico desumibile dalle CPT (per gli orizzonti più superficiali) in modo da avere un maggiore controllo sul fitting e quindi un dato sperimentale più efficiente.

Allo scopo si è utilizzata la medesima strumentazione hardware e software adottata per l'esecuzione delle prove MASW.

Prove HVSR

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito. Si assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovraccostato su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Questa metodologia presenta il vantaggio di poter essere adoperata pressoché ovunque, purché siano garantite l'assenza di forti vibrazioni indotte da attività umane nelle vicinanze del punto di misura.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations) ed a questo si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>). La sismica passiva a stazione singola fornisce quindi importanti informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

Nel caso specifico si è ritenuto adeguato l'utilizzo di tale metodologia in quanto è **possibile anche un'adeguata taratura "stratigrafica" e "geofisica" tramite le prove geognostiche in sito (CPT) ed un elaborazione congiunta con altre tecniche investigative del sottosuolo (Re.Mi. e MASW) al fine di ottenere una stima del profilo di VS sino elevate profondità con la maggior attendibilità e coerenza possibile.**

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico Tromino Zero con freq. propria 4.5 Hz, prodotto dalla ditta MICROMED srl.

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore. Lo strumento è stato posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno; inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, mediante il codice di calcolo Grilla, vengono archiviati, analizzati ed elaborati.

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V e delle SINGLE COMPONENT SPECTRA, ovvero l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S_E-O_Verticale) secondo la procedura descritta in Castellaro et altri (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20-30 s,
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V;

consentendo di definire il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Il certificato finale della prova presenta:

1. i criteri di attendibilità della misura;
2. i criteri di validità del picco di f_0 ;
3. i valori di soglia delle condizioni di stabilità;
4. l'analisi dei criteri in particolare con verifica rispetto alla frequenza del sensore ed alla presenza di rumore di origine industriale;
5. l'interpretazione di f_0 e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito.

Per gli scopi e finalità dell'indagine le misure HVSR offrono la possibilità di determinare:

1. valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
2. stima spessori della coltre di copertura e dell'andamento dei profili di Vs anche in profondità.

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 in sistemi multistrato.

Onde verificare la qualità della registrazione e, quindi, la corretta utilizzazione del dato acquisito ed elaborato, sono state valutate le caratteristiche di persistenza e direzionalità del segnale, necessarie a garantire il carattere stocastico della grandezza da misurare e, quindi, l'affidabilità del risultato.

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.

5.1.2. Andamento delle Vs nel sottosuolo

Come evidenziato nell'inquadramento geologico (Capitolo 4) le profondità del substrato geologico attese per l'area di studio sono dell'ordine della decina di metri. Per caratterizzare in termini di valori di velocità delle onde di taglio (profili Vs) spessori di tali dimensioni, sono state sfruttate tutte le indagini geofisiche realizzate come segue.

Le curve di dispersione, ricavate da indagini in Array (tipo MASW – Re.Mi.) e le curve dei rapporti spettrali computate da Indagini a Stazione Singola (HVSR), sono state utilizzate congiuntamente nelle simulazioni numeriche di “inversione dati” per una prima stima dei profili di velocità delle onde di taglio (Vs).

Le stime di VsH sono state realizzate tramite il software Grilla (Micromed) e WinMasw. Poiché le tecniche d'inversione non permettono di risalire ad un unico modello di velocità (non esiste l'univocità della soluzione), ciascuna elaborazione, porterà alla identificazione di un possibile profilo di velocità compatibile con i dati di campagna.

Ripetendo dunque, per tentativi, le procedure sarà possibile determinare, per ciascun sito in studio, un insieme di modelli equivalenti scegliendo un' unico profilo Vs in base alle seguenti caratteristiche:

- Buona compatibilità tra dato sperimentale e teorico (modello sintetico)
- Profondità e rigidità del sub-strato sismico prossimo ai valori attesi per il sito di studio

- Coerenza con i profili di velocità superficiali desunti da prove in foro e/o in array

- Coerenza con i profili stratigrafici rilevati tramite indagine geognostica.

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

5.2. Indagini integrative di tipo geotecnico

Le indagini geognostiche in sito sono state condotte dalla Ditta Intergeo Srl. Si tratta di prove penetrometriche con punta meccanica spinte a profondità variabile, sino a rifiuto nel substrato geotecnico, al fine di definire i caratteri stratigrafici e di resistenza meccanica delle aree di indagine geofisica.

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

La campagna geognostica realizzata "ex-novo" e le numerose informazioni pregresse hanno quindi permesso di definire un chiaro quadro litostratigrafico e geomeccanico dell'area 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.).

5.2.1 Prove penetrometriche statiche con punta meccanica

Le prove penetrometriche statiche con punta meccanica hanno fornito una valutazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni dell'area in studio.

Esse sono state eseguite con l'ausilio di penetrometro statico tipo "PAGANI" attrezzato con punta Begemann, spingendole fino a profondità massime di 15 m dal piano campagna rilevando, in maniera continua (ogni 20 cm), i valori di resistenza di punta "Rp" e resistenza di attrito laterale locale "Rl".

Le caratteristiche meccaniche della punta elettrica utilizzata dallo strumento sono le seguenti:

Angolo di apertura cono: 60° - Diametro: 36 mm - Sezione di spinta: 10 cm² - Superficie laterale: 150 cm²

Peso: 2,1 kg - Lunghezza: 413 mm

Oltre ad una caratterizzazione litologica della successione stratigrafica tramite la correlazione di Schmertmann, le penetrometrie statiche in terreni sabbiosi permettono di stimare i valori di angolo di attrito interno "Fi" e di densità relativa "Dr"; inoltre in terreni coesivi esse possono fornire, attraverso le esperienze pratiche di vari autori quali Begemann – Robertson - Mayne ed altri, i dati di resistenza del terreno in termini di tensioni totali (Su) e di sovraconsolidazione nonché di deformabilità (moduli di Young ed edometrici).

6. MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO I

6.1 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 nell’area di studio sono riferibili sia ad unità geo-litologiche alluvionali, rappresentate dal Sub-sintema di Ravenna (AES₈), di Villa Verucchio (AES7), che depositi di natura eluvio-colluviale 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 la posizione del substrato geotecnico;
- 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).

Studi di Microzonazione Sismica e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
Relazione Tecnico Illustrativa

- Sono stati cartografati gli elementi tettonico strutturali quali faglie, assi sinclinali ed assi anticlinali.
- sono state cartografate la giacitura degli strati, in corrispondenza degli affioramenti del substrato marino e l'indicazione dei sondaggi con la relativa profondità a cui è stato raggiunto il substrato geologico.
- 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 elaborate, ritenute rappresentative per l'ambito comunale, generalmente ortogonali 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 uno specifico elaborato alla scala 1:2000, permettendo di definire gli andamenti e lineamenti geologici principali nonché di definire le dinamiche evolutive dell'area e gli aspetti geomorfologici e strutturali salienti.

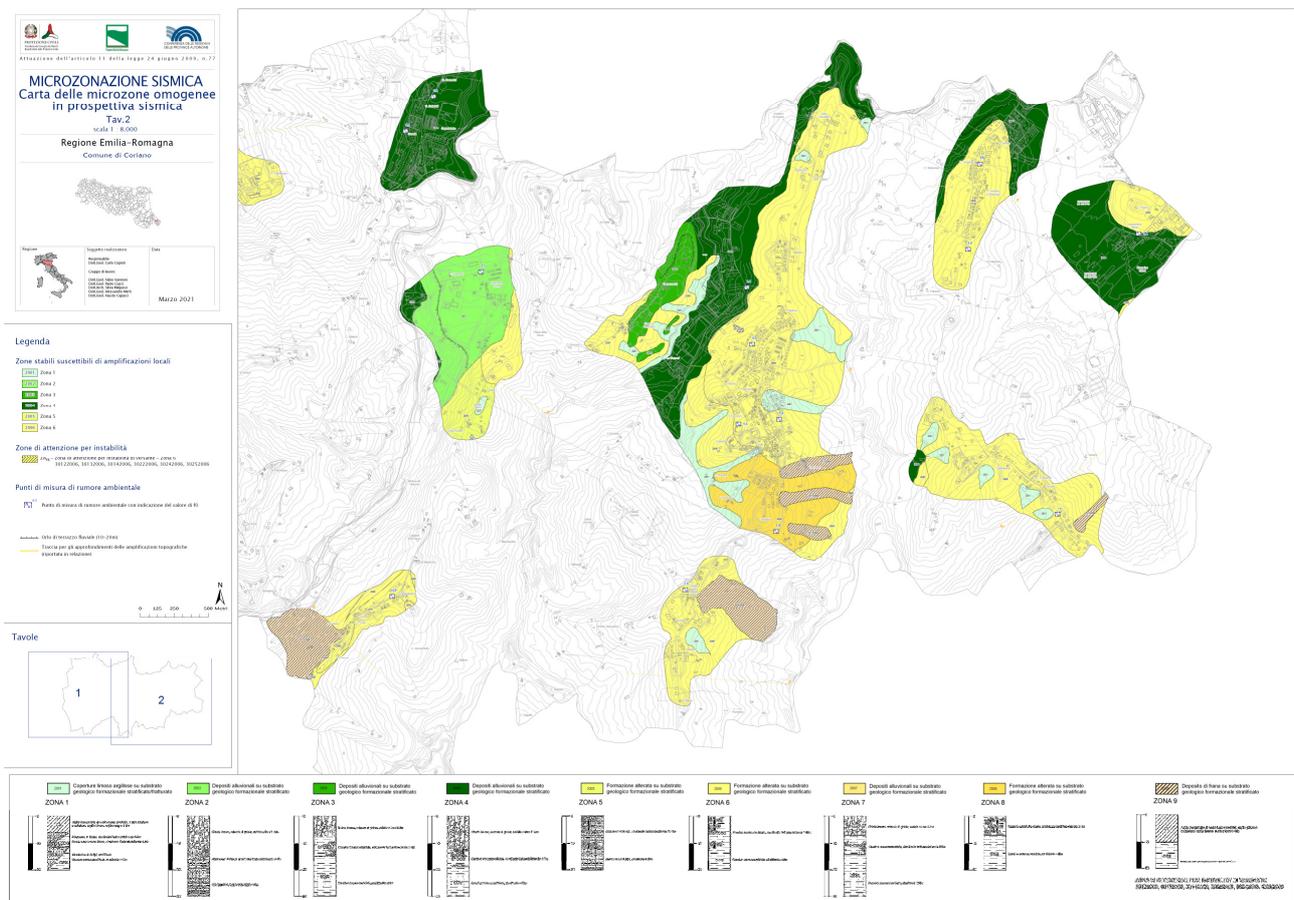


Figura 6.1 – Miniatura della Carta Geologico-Tecnica

6.2 Carta delle Frequenze Naturali del Terreno

Sulla base dei risultati delle 22 registrazioni a stazione singola HVSR, ritenute più rappresentative, sono state costruite 3 differenti mappe delle Frequenze Naturali dei terreni dell'ambito comunale studiato.

Nonostante, comunemente, negli studi di Microzonazione Sismica venga prodotta un'unica carta delle Frequenze Naturali, è stato scelto in questo caso di rilasciare 3 differenti elaborati per non perdere importanti informazioni legate a massimi risonanti secondari.

Al fine di chiarire quanto appena espresso viene di seguito riportato un esempio sui criteri di elaborazione adottati. In figura 6.2 è riportata, a titolo di esempio, la misura H07.

Ad es. la misura H01, così come la maggior parte dei rilievi realizzati, è caratterizzata da più massimi in Frequenza. Il primo indicato come F0 presenta una frequenza di circa 1.4 con ampiezza media di circa 2.2; il secondo, indicato con F1 presenta una frequenza di 3.6 Hz con ampiezza di circa 1.5; il terzo, indicato con F2 presenta una frequenza di 11.1 Hz con ampiezza di circa 2.6.

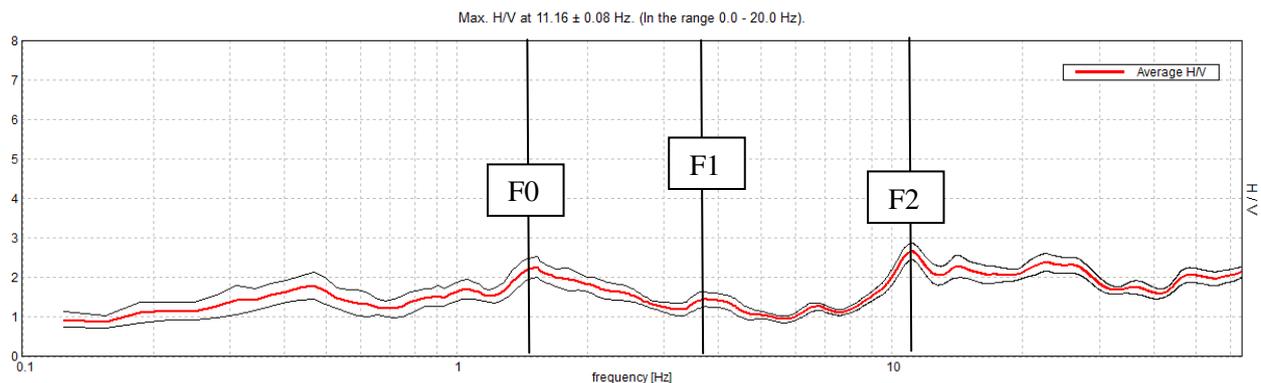


Figura 6.2-Curva dei rapporti spettrali relativa alla registrazione H07.

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. Il picco a più bassa frequenza F0 indica un "contrasto d'impedenza sismico" in profondità e risulta informativo ai fini della ricostruzione del sub-strato sismico dell'area.

I codici F0, F1 ed F2 assegnati ai 3 massimi non sono casuali, ma dipendono da classi di frequenza distinte dei caratteri geofisici rappresentativi delle aree studiate. Sebbene la DGR 630/2019 suggerisca determinati ambiti di frequenza a livello generale, per omogeneità territoriale e analogia nei criteri di valutazione si sono adottati gli stessi ambiti di frequenza ed ampiezza già adottati per gli studi di MS condotti presso gli altri comuni della limitrofa Unione di Comuni della Valconca, risultando:

- $F0 \leq 1.5$ Hz
- $1.5 \text{ Hz} < F1 \leq 4.5$ Hz
- $4.5 \text{ Hz} < F2 \leq 15.0$ Hz

Studi di Microzonazione Sismica e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
Relazione Tecnico Illustrativa

L'interpretazione che è stata adottata per la messa appunto delle mappe di frequenza, prevede, inoltre, che la frequenza fondamentale dell'area, indicata con codice F0, rappresenti la frequenza significativa più bassa fra tutte quelle riscontrate e che, generalmente, contribuisce con il maggior contenuto energetico in caso di sisma.

Il colore di ogni punto si riferisce al contenuto in Frequenza della misura a stazione singola HVSR in termini di F0, F1, F2 e la dimensione è riferita ad ulteriori classi realizzate per individuare i valori di ampiezza A (figura 6.3).

F<1.5Hz	1.5≤F≤4.5	F>4.5
• A≤2	• A≤2	• A≤2
• 2<A≤3	• 2<A≤3	• 2<A≤3
• A>3	• A>3	• A>3

Figura 6.3 - Codifiche per la visualizzazione in mappa delle Frequenze e della Ampiezze individuate dai rilievi HVSR.

In base a quanto esposto sono state realizzate 3 mappe e in figura 6.4 ne viene riportata esempio della tavola.



Figura 6.4 – Miniatura della Mappa delle Frequenze Naturali dei Terreni.

In realtà, è necessario precisare, che talora esistono anche ulteriori massimi con frequenza $F > 15$ Hz che, differentemente dai precedenti, non sono stati caratterizzati perché ritenuti non particolarmente significativi per la pericolosità sismica dell'area. Questa tipologia di massimi rappresenterebbe un contrasto molto superficiale che, considerando il normale piano di fondazione degli edifici, è stato ritenuto 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.

6.3 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 individuati, precedentemente descritti e già riportati nella Carta geologico tecnica è stata redatta la Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica, restituita alla 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.

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.

Di seguito si riporta una descrizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica con gli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi.

Per la copertura dell'area di studio sono state sviluppate 2 tavole dell'elaborato MOPS di cui nel seguito se ne riporta una miniatura.

Studi di Microzonazione Sismica e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
Relazione Tecnico Illustrativa

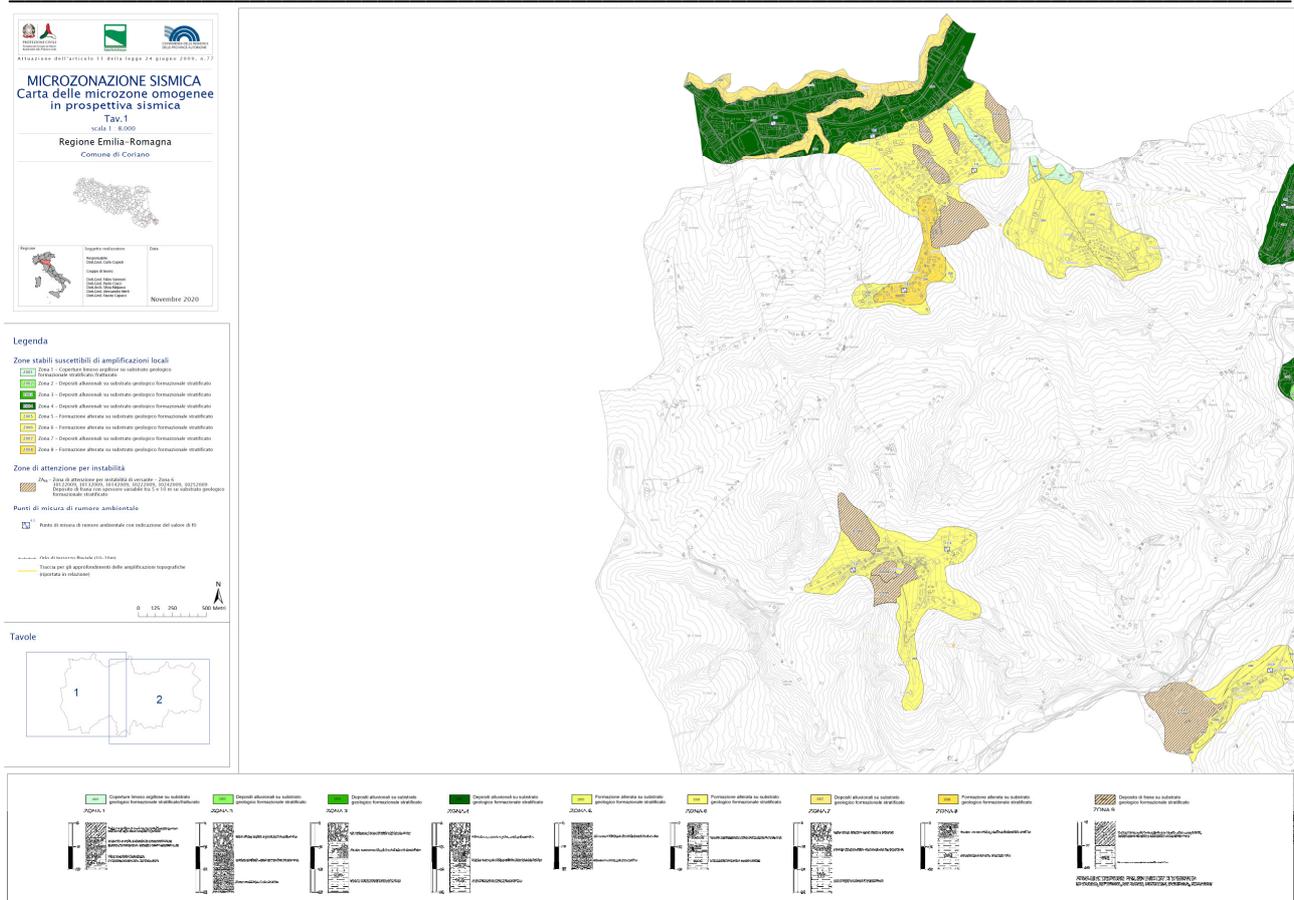


Figura 6.5 - Miniatura della Carta delle MOPS.

Zone stabili

All'interno del territorio del territorio comunale non sono state riscontrate microzone che è possibile definire stabili. Questo è dovuto in particolare al fatto che non è presente in affioramento 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 motivi stratigrafici rappresentate dalle colonnine stratigrafiche con codice 2001-2002-2003-2004-2005-2006-2007-2008.

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

codice colonnina	copertura
2001	CL
2002	GM
2003	GM
2004	GM
2005	SFALS
2006	SFCOS
2007	GM
2008	SFCOS

La litologia prevalente è sicuramente quella rappresentata dai limi argillosi di alterazione del substrato e/o di copertura per accumulo eluvio/colluviale con spessori variabili da alcuni m (3-7 m specialmente in sommità di versante) fino a 7-12 m nelle zone di impluvio e di fondovalle. Nei limitati tratti sub pianeggianti di fondovalle sono inoltre presenti depositi di copertura alluvionali soprastanti il bed-rock geologico, con orizzonti ghiaioso-sabbiosi, di spessore variabile da 3 a max 7-12 mt a partire dal piano campagna.

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. In particolare sono presenti le seguenti aree instabili per frana con stati di attività quiescenti, attivi, inattivi ed indeterminati:

Zone Instabili: n. 16

In particolare tra le diverse aree in dissesto si segnalano, per potenziale interferenza con le infrastrutture di collegamento e/o aree urbanizzate, quelle presenti in località: La Pastora, C. Grossi, Mulazzano, Cavallino, Capoluogo e Ghetto del Fabbro.

Per i dettagli delle singole zonazioni si rimanda 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.

Pertanto, le tabelle che seguono riassumono per ciascuna località in studio, le aree a comportamento sismico omogeneo individuate (ogni colonnina riporta le litologie prevalenti con una breve descrizione ed è associata ad una microzona in pianta):

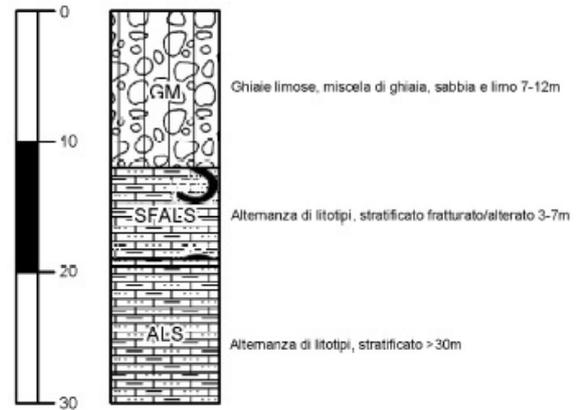
2001 Coperture limoso argillose su substrato geologico formazionale stratificato/fratturato

ZONA 1



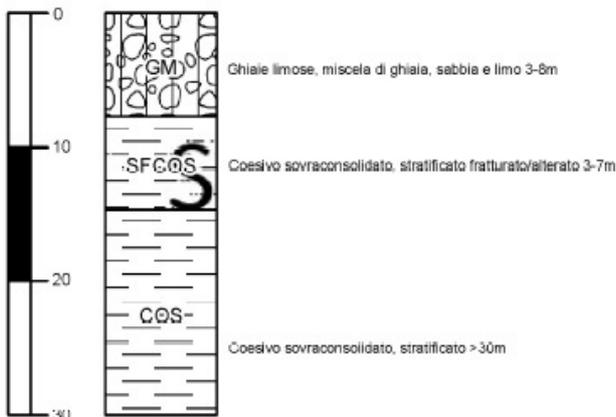
2002 Depositi alluvionali su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 2



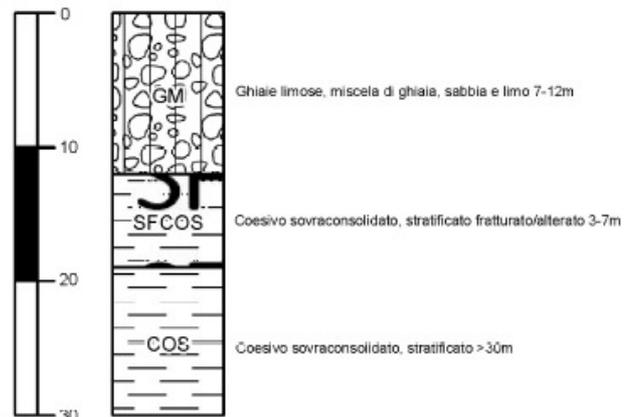
2003 Depositi alluvionali su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 3



2004 Depositi alluvionali su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 4



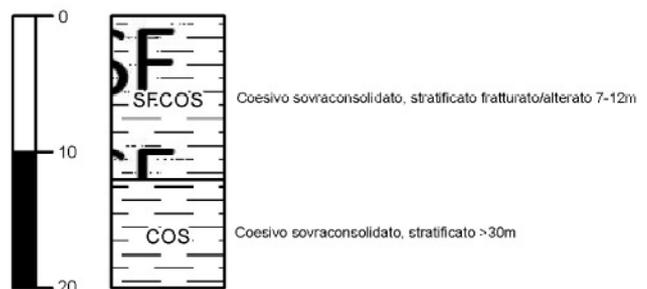
2005 Formazione alterata su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 5



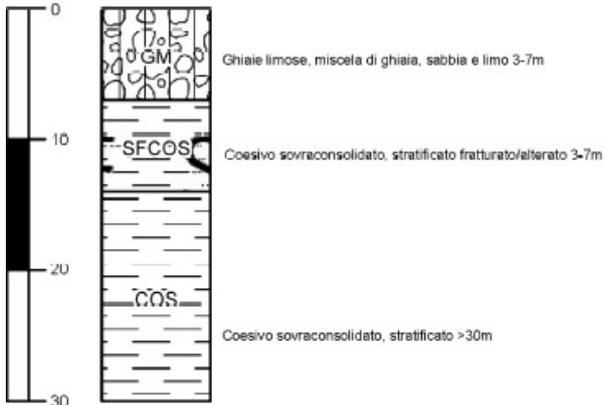
2006 Formazione alterata su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 6



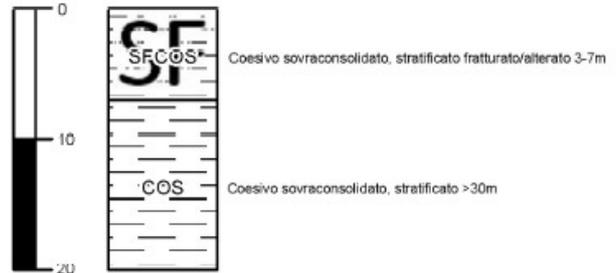
2007 Depositi alluvionali su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 7



2008 Formazione alterata su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 8



2009 Deposito di frana su substrato geologico formazionale stratificato

ZONA 9



ZONA DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSANTE
30122009, 30132009, 30142009, 30222009, 30242009, 30252009

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).

7. MICROZONAZIONE SISMICA AL II LIVELLO DI ANALISI

7.1 Carta delle velocità delle onde di taglio s

Per la costruzione della carta delle velocità delle onde di taglio sono stati utilizzati 34 nuovi test di misura geofisica suddivisi come segue:

- 22 prove HVSR;
- 6 Antenne Sismiche di tipo “passivo” (Re.Mi.);
- 6 Antenne Sismiche di tipo “attivo” (MASW).

In Figura 7.1 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 alla profondità del substrato geologico di misura e, considerato che il bedrock geofisico in sito presenta solitamente una $V_s \ll 800$ m/s, per ciascun sito si è valutato il valore rappresentativo di $V_s H$ in cui H generalmente non supera alcune decine di m.

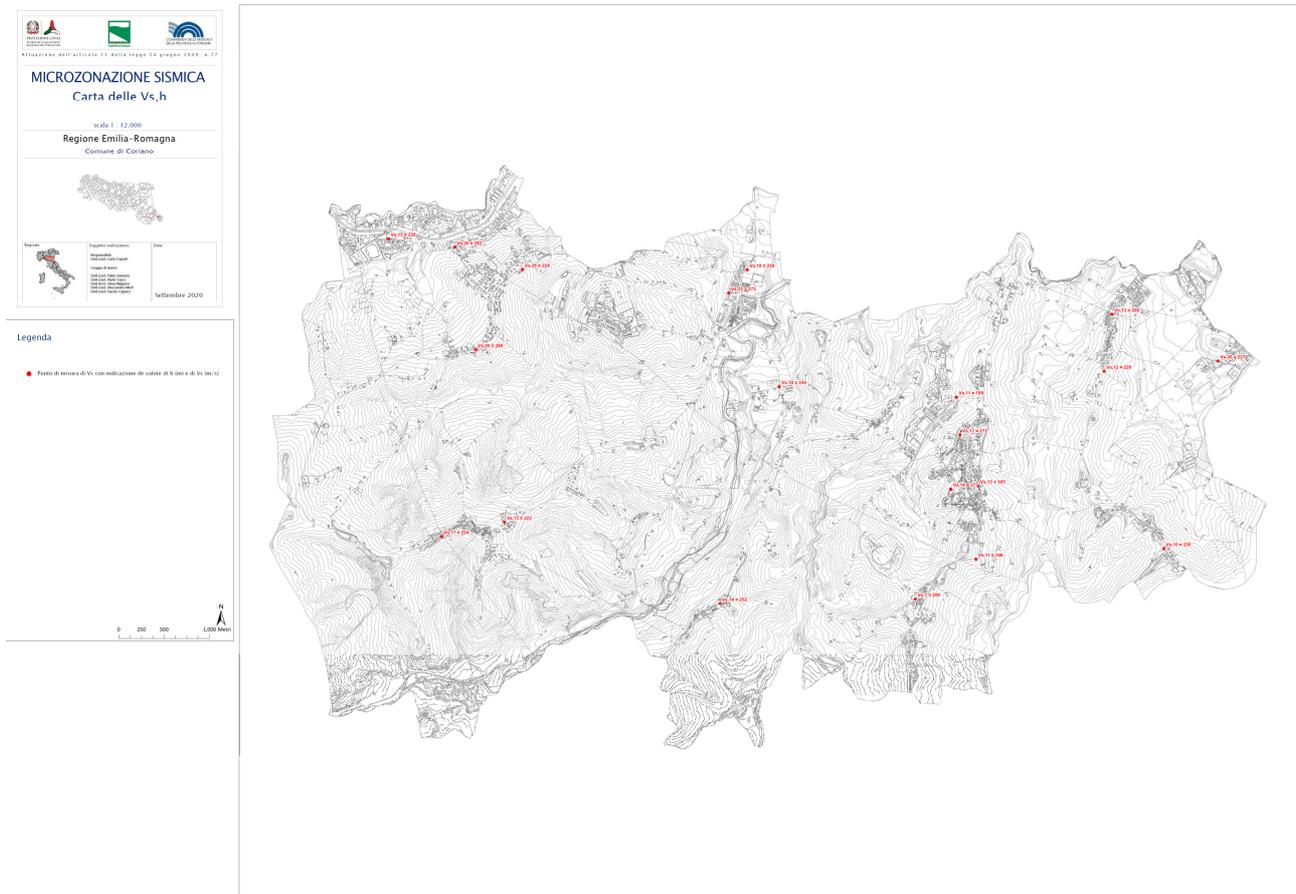


Figura 7.1 – Miniatura della carta delle velocità delle onde di taglio $V_s H$.

7.2 Carte dei Fattori di Amplificazione Stratigrafica

I terreni in studio di Coriano, nonostante presentino caratteristiche litologiche talora differenti (vedi Cap. 6), generalmente non mostrano sensibili variazioni nelle caratteristiche fisico-meccaniche delle coperture e dei substrati geologici superficiali alterati. Tuttavia, 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. In virtù degli spessori delle coperture nonché delle relative caratteristiche di rigidità e profondità del bedrock, le carte di Amplificazione in termini di accelerazione F_a_{PGA} nonché di amplificazione spettrale (sia in accelerazione che in velocità) relative ai bassi periodi F_a_{SA1} - F_a_{SI1} (Fa 0.1-0.5s) e F_a_{SA2} (Fa 0.4-0.8s), essendo maggiormente condizionate dalla risposta di sito nei range di alta-media frequenza, risultano maggiormente correlate tra loro rispetto a F_a_{SA3} (Fa 0.7-1.1s) e F_a_{SI2} (Fa 0.5-1.0s).

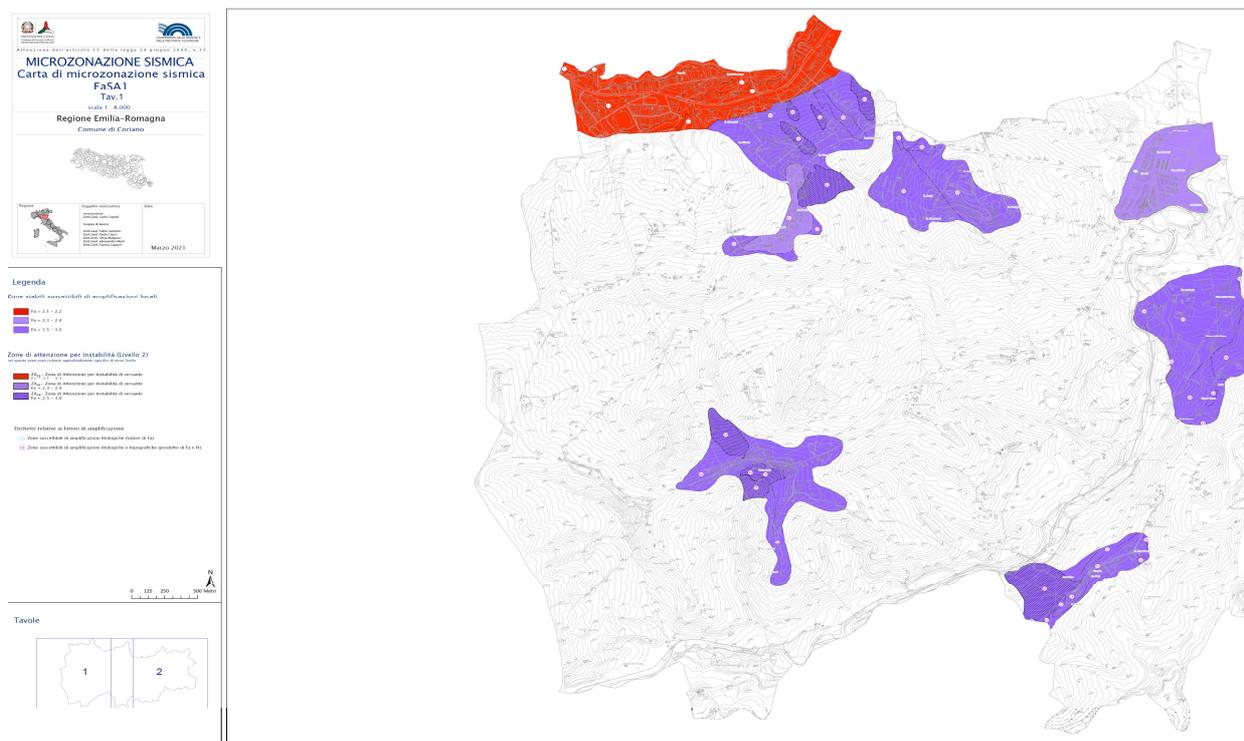


Figura 7.2 - Miniatura della carta di MS per periodi dello spettro di risposta in accelerazione tra 0.1-0.5 s (F_a_{SA1}).

In dettaglio, le 6 carte di Microzonazione (Fa-PGA - Fa_SA1 - Fa_SA2 - Fa_SA3 - Fa_SII - Fa_SI2) 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 VsH con bedrock geofisico caratterizzato da $V_s \ll 800$ m/s; al proposito si rileva come rigidità 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 (VsH) è stato successivamente possibile identificare e/o accoppiare Microzone con caratteristiche dinamiche simili suddividendo il territorio in zone a caratteristiche di amplificative omogene.
- In base all' abaco A 2.1.1 "APPENNINO" (riportato in Figura 7.3), per substrato non rigido con $V_s \ll 800$ m/s (pagina 33-35 dell'allegato A2 – DGR 630/2019), è stato quindi assegnato il Fattore di Amplificazione corrispondente alla classe di 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 SII (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)										

Figura 7.3 - Abaco "Appennino" per substrato non rigido con $V_s \ll 800$ m/s (rilasciato dalla Regione Emilia Romagna per il calcolo dei Fattori di Amplificazione al II livello di analisi di Microzonazione Sismica).

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 7.4 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 7.4-Classi di colore riferite ai Fattori di Amplificazione (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. 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.

7.3 Carte dei 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 7.5-7.6) e di cui, di seguito, si riportano anche i relativi abachi (tabella 7.2-7.3):

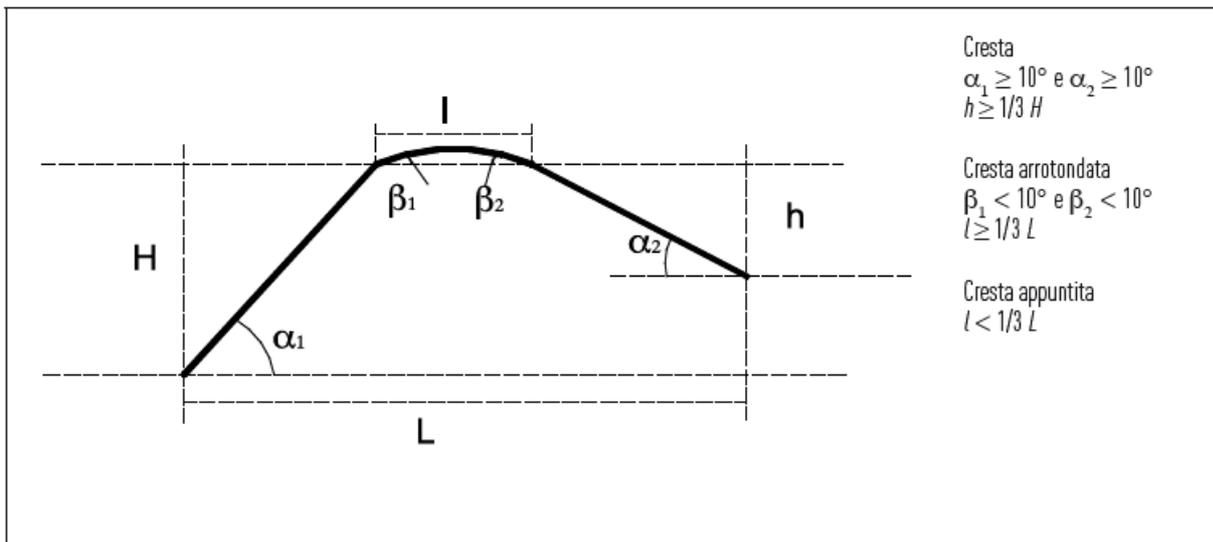


Figura 7.5 – Schema di riferimento per la cresta e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

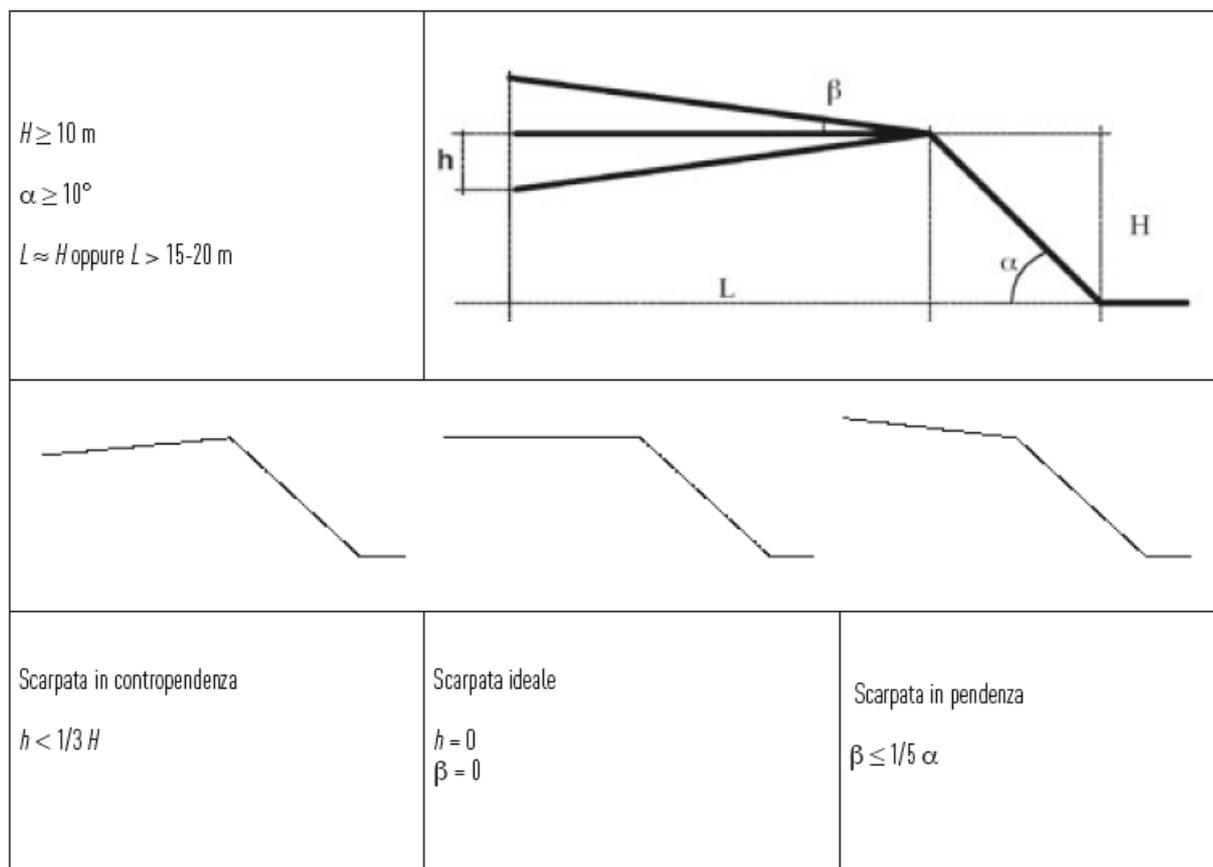
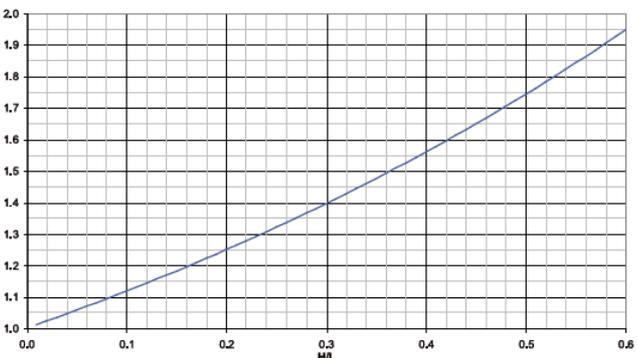
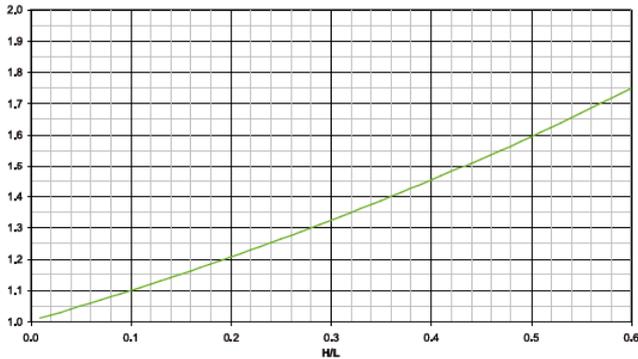
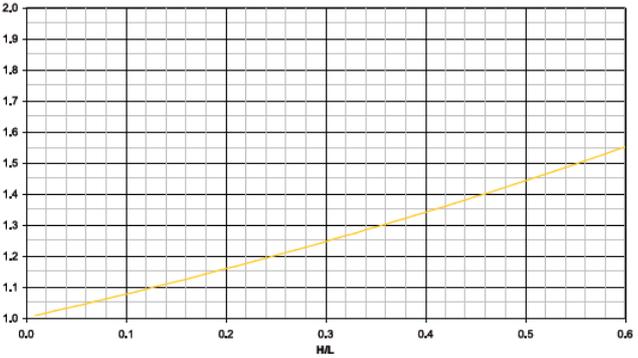


Figura 7.6 – Schemi di riferimento per la scarpata e criteri di riconoscimento (ICMS2008)

Studi di Microzonazione Sismica e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
Relazione Tecnico Illustrativa

Tabella 7.2 – 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 e CLE per il territorio del Comune di Coriano (RN)
Relazione Tecnico Illustrativa

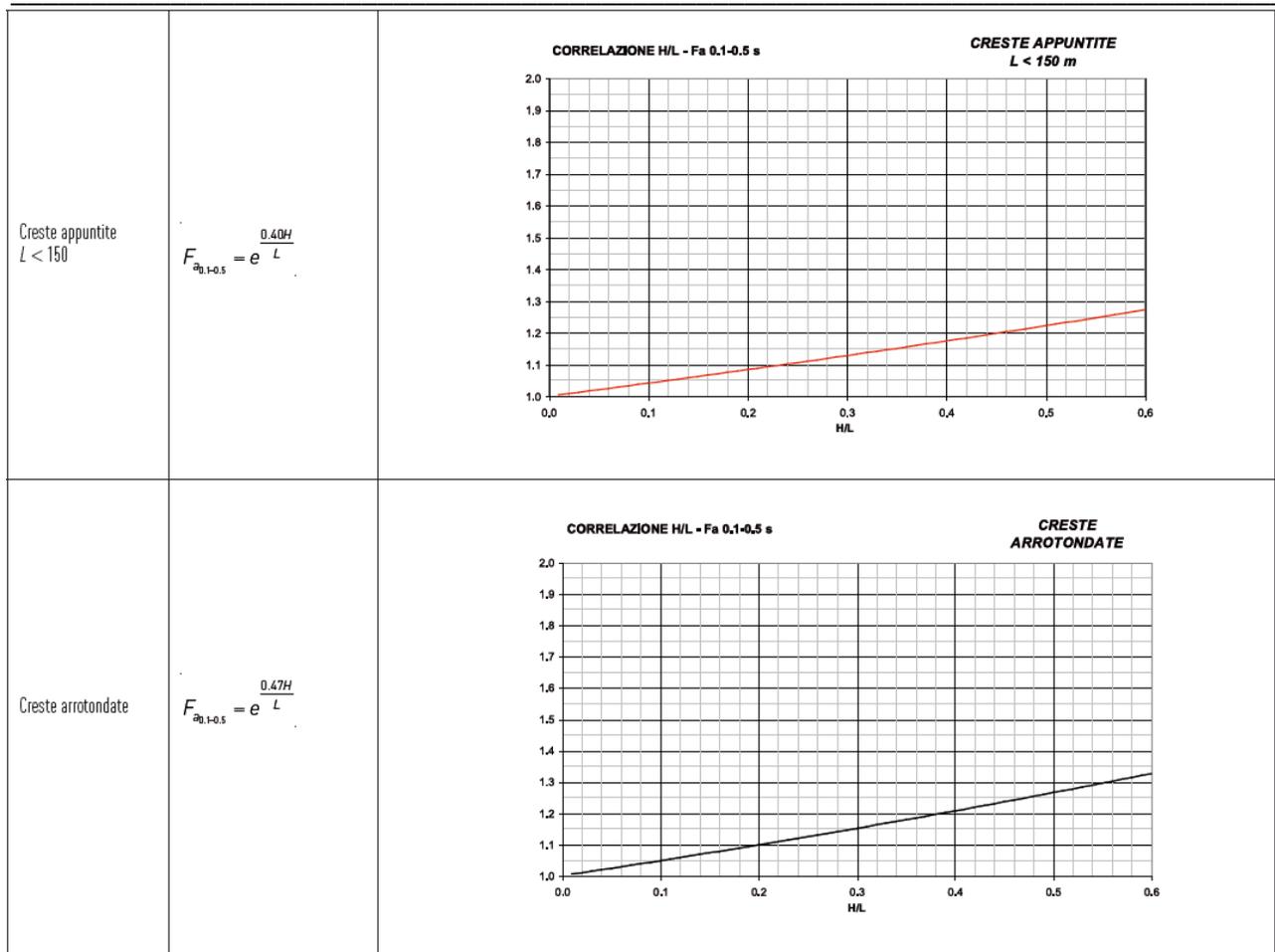


Tabella 7.3 – Abaco per scarpate rocciose (Tab. 3.3-2 - ICMS2008)

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 8.5) 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 8.6).

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 7.2).

Il valore di FA 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 Fa sino al margine della microzona in studio (ove questo risulti di estensione minore).

Analogamente per le scarpate (Tabella 7.3) si riporta il valore di Fa per ciascuna classe altimetrica (H) e classe di inclinazione (α) (Pergalani e Compagnoni, 2006b).

Un valore di Fa 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 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.

Coriano

Scala 1:10000

Profilo 1



Profilo 2



Profilo 3



Profilo 4



Profilo 5



Profilo 6



Profilo 7



Profilo 8



Profilo 9



Figura 7.7 – Sezioni topografiche rappresentative per l'analisi dei fattori di amplificazione topografica

Tabella 7.4 – Fattori di amplificazione topografica per il periodo 0.1-0.5 s

Sezione	tipo	H	L	Ft 0.1-0.5	SCA= Scarpata CAR= Cresta arrotondata CAP= Cresta appuntita (L>350 m)
Profilo - 1	CAP	51	846	1.1	
Profilo - 2	CAP	65	1102	1.1	
Profilo - 3	CAP	55	564	1.1	
Profilo - 4	SCA	32	219	1.2	
Profilo - 5	SCA	31	245	1.2	
Profilo - 6	CAP	43	749	1.1	
Profilo - 7	CAP	19	449	1.1	
Profilo - 8	SCA	39	205	1.2	
Profilo - 9	SCA	36	205	1.2	

In funzione delle pendenze rilevate e delle conformazioni dei versanti, sono stati complessivamente analizzati 9 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 1.2 e, pertanto, è stata disegnata una mappa della distribuzione dei valori di amplificazione con valori compresi tra 1 e 1,2.

Poiché, 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, tali fattori non sono stati adottati 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 e in aggiunta alla gradazione di colore, è stato riportato il valore numerico ottenuto tramite specifiche etichette sovrimposte; queste ultime risultano di colore differente laddove, in aggiunta al fattore di amplificazione stratigrafico, viene considerato anche il fattore di amplificazione derivante da particolari condizioni topografiche (Ft).

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 $F_a \times F_t$) in funzione delle locali condizioni topografiche, riportandone altresì il valore finale atteso ($F_a \times F_t$).

7.4 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 dal 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 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 7.5).

Tabella 7.5 – *Ipotetiche classi di intensità H_{SM} in relazione ad altri fenomeni fisici (Naso et al., 2019)*

seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
H_{SM} (cm/s^2)	≤ 180	$180 < H_{SM} \leq 340$	$340 < H_{SM} \leq 650$	$650 < H_{SM} \leq 1240$	> 1240
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 - Bramerini e Di Pasquale, 2002).

Nella rappresentazione cartografica si è utilizzata la vestizione adottata dalla Regione Emilia Romagna.

Di seguito si riporta uno stralcio esemplificativo della tavola relativa al parametro di scuotimento assoluto H_{SM} (figura 7.8), a cui si potrà fare riferimento per un maggior dettaglio.

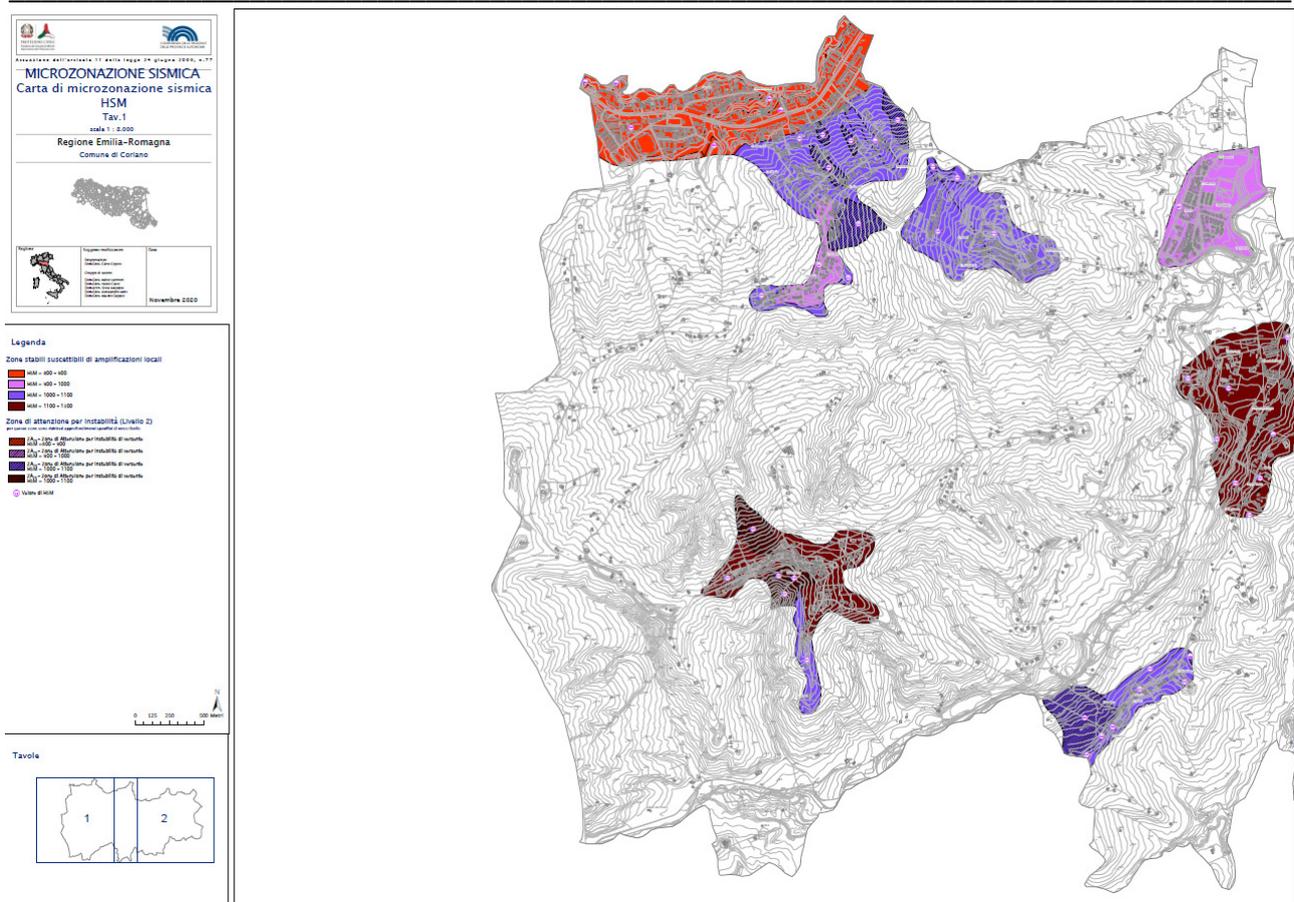


Figura 7.8– Miniatura della carta di scuotimento assoluto H_{SM} .

8. CONCLUSIONI

La microzonazione sismica effettuata sul territorio del comune di Coriano 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 dove non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura. 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 (grotte e cavità sia naturali che antropiche). Per situazioni di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non sono previsti studi di approfondimento di III° livello; mentre nelle zone suscettibili di instabilità è necessario eseguire studi di III° livello di approfondimento, che sono riconducibili prettamente a situazioni di instabilità gravitativa di varia tipologia.

Sul territorio sono presenti n. 16 aree instabili per frana con stati di attività quiescenti, attivi, inattivi ed indeterminati. Tra le diverse aree in dissesto si segnalano, per potenziale interferenza con le infrastrutture di collegamento e/o aree urbanizzate, quelle presenti in località: La Pastora, C. Grossi, Mulazzano, Cavallino, Capoluogo e Ghetto del Fabbro.

Pertanto si ribadisce la necessità di ulteriori approfondimenti di III Livello nelle aree rilevate in dissesto, generalmente caratterizzate da coperture di significativo spessore e scarse caratteristiche geomeccaniche, qualora interferenti con abitati e/o fabbricati/infrastrutture di collegamento strategici.

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.

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 (rispettivamente per intervalli compresi tra $0,1s \leq T \leq 0,5s$, $0,4s \leq T \leq 0,8s$, e $0,7s \leq T \leq 1,1s$) e dell'intensità di Housner denominati Fa_SI1 - Fa_SI2 (intervalli compresi tra 0,1-0,5 s e 0.5-1.0 s) nonché in virtù delle condizioni topografiche e morfologiche 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 e di analisi della stabilità dei versanti studiati.

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