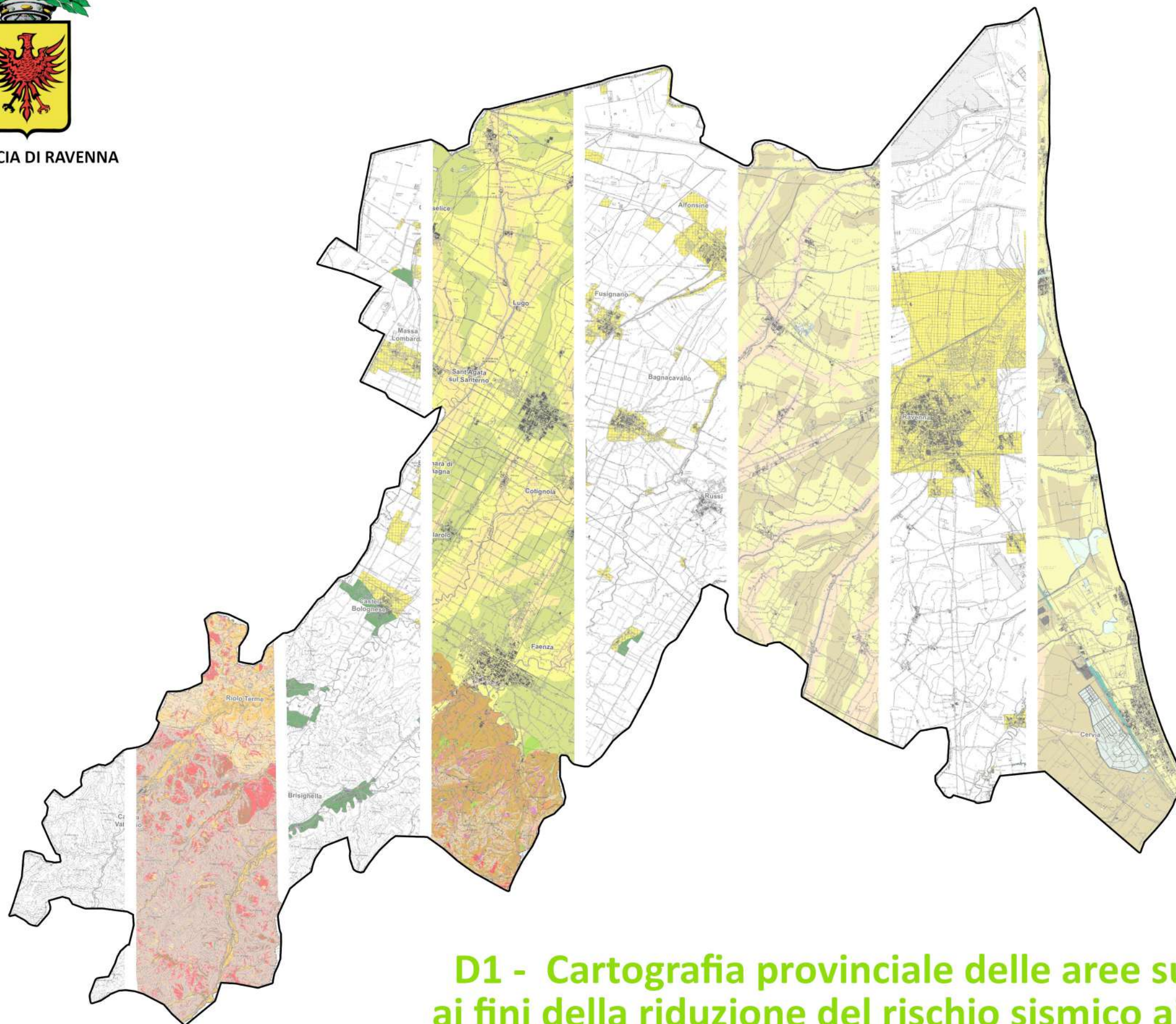




PROVINCIA DI RAVENNA



**D1 - Cartografia provinciale delle aree suscettibili di effetti locali  
ai fini della riduzione del rischio sismico ai sensi della L.R. 19/2008  
Relazione illustrativa e descrittiva  
per l'avvio della consultazione preliminare - Dicembre 2021**

#### **PRESIDENTE DELLA PROVINCIA DI RAVENNA**

**Michele de Pascale**

#### **CONSIGLIERE PROVINCIALE CON DELEGA ALLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

**Nicola Pasi**

#### **UFFICIO DI PIANO**

Settore LL.PP - Servizio Programmazione Territoriale

-**Fabio Poggioli**, Responsabile dell'Ufficio di Piano (pianificazione territoriale e urbanistica)

-**Valeria Biggio** (pianificazione territoriale e urbanistica)

-**Giulia Dovadoli** (pianificazione territoriale e urbanistica)

-**Tullio Bagnari** (aspetti geologici e sismici)

Settore risorse finanziarie, umane e reti

**Silvia Bassani**, Dirigente del Settore (aspetti economici e finanziari)

Settore risorse finanziarie, umane e reti - Servizio Ricerca e Innovazione Statistica

**Roberta Cuffiani** (aspetti statistici e socio-demografici)

Settore risorse finanziarie, umane e reti - Ufficio Relazioni con il Pubblico

**Gianni Berardi** (garante della comunicazione)

Settore Affari Generali

**Anita Tampieri** (aspetti giuridici)

#### **COLLABORAZIONE SPECIALISTICA ESTERNA**

**ARPAE direzione Tecnica** (Valsat e aspetti ambientali)

#### **CONTRIBUTO SPECIALISTICO ESTERNO**

**Benedetti Gianluca** (microzonazione sismica)

**Berisha Erblin** (programmazione sovralocale)

**Casavola Donato** (programmazione sovralocale)

**Puntillo Erika** (programmazione sovralocale)



# Indice

	pagina
<b>1. Premessa</b>	4
<b>2. Documentazione di riferimento</b>	5
<b>3. Inquadramento geografico</b>	5
<b>4. Inquadramento strutturale</b>	6
<b>5. Inquadramento geologico-geomorfologico</b>	7
<b>5.1 Montagna e colline romagnole</b>	7
<b>5.2 Pianura e costa</b>	8
<b>6. Sismicità</b>	9
<b>6.1 Sismicità storica</b>	10
<b>7. Raccolta e omogenizzazione dei dati</b>	10
<b>7.1 Indagini disponibili</b>	11
<b>8 Layer informativi</b>	11
<b>8.1 Elementi che possono determinare effetti locali</b>	11
8.1.1 Struttura dei dati	11
8.1.2 Analisi dei dati	12
<b>8.2 Carta delle aree suscettibili di effetti locali</b>	13
8.2.1 Struttura dei dati	13
8.2.2 Analisi dei dati	14
<b>8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni</b>	15
8.3.1 Struttura dei dati	15
8.3.2 Analisi dei dati	15
<b>8.4 Carta delle velocità delle onde di taglio VS</b>	16
8.4.1 Struttura dei dati	16
8.4.2 Analisi dei dati	16
<b>8.5 Carta delle microzone omogenee (MOPS)</b>	17
8.5.1 Struttura dei dati	17
8.5.2 Analisi dei dati	18

# 1. Premessa

Il presente documento descrive ed illustra le risultanze sia del lavoro di omogeneizzazione dei dati di microzonazione sismica a scala comunale sia dell'analisi del progetto "Adeguamento alla DAL RER 112/2007 del PTCP della Provincia di Ravenna (2011)". Lo scopo del lavoro era quello di generare delle mappe in formato GIS, utili alla predisposizione di una cartografia di pericolosità sismica a livello provinciale.

Gli studi di microzonazione sismica hanno lo scopo principale di valutare e discretizzare la pericolosità sismica del territorio sul quale vengono eseguiti, con particolare riferimento alle aree urbanizzate o urbanizzabili. Infatti, la microzonazione sismica entra in gioco in fase di pianificazione urbanistica con l'intento di ridurre il rischio sismico derivante dal verificarsi di un terremoto. Questo poiché anche in aree poco distanti tra loro il comportamento dei terreni, in termini di amplificazione del segnale sismico e quindi degli effetti sui manufatti, risulta molto variabile, in funzione delle caratteristiche geologiche, stratigrafiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio.

Si coglie pertanto l'importanza di avere a disposizione uno strumento, a scala provinciale, che riassume i dati provenienti dalle singole realtà comunali (o di unioni di comuni) al fine di fornire una visione complessiva del territorio, in termini di microzonazione sismica.

I dati analizzati riguardano i primi due livelli di approfondimento degli studi di Microzonazione Sismica comunali, relativi ai 18 comuni che formano il territorio provinciale (Figura 1).

L'incarico ricevuto aveva, in particolare, lo scopo di produrre cinque elaborati, sottoforma di layers informativi, di seguito elencati, partendo dai dati di Microzonazione Sismica comunali:

1. Carta degli elementi che possono determinare effetti locali;
2. Carta delle aree suscettibili di effetti locali;
3. Carta delle frequenze naturali dei terreni;
4. Carta della velocità delle onde di taglio Vs;
5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

Per quanto concerne gli elaborati 1 e 2, considerati come il dato di base principale a livello provinciale, questi sono basati sul progetto di microzonazione sismica a scala provinciale denominato "Adeguamento alla DAL RER 112/2007 del PTCP della Provincia di Ravenna (2011)". La descrizione di questi tematismi è pertanto tratta dalla relazione allegata al suddetto progetto.

In riferimento al punto 5 si è invece deciso di accorpare in esso l'elaborato relativo alle aree a rischio liquefazione, essendo queste un sottoinsieme diretto di questo tematismo. Di conseguenza a livello di produzione cartografica è stato prodotto un unico elaborato, mantenendo comunque una distinzione dei layers su base GIS.

Di seguito, oltre ad un necessario inquadramento delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche provinciali, si andranno dunque ad analizzare e descrivere le risultanze di questo lavoro di omogeneizzazione, con particolare riguardo ai tematismi oggetto di produzione.

I dati, oltre che in formato digitale (shapefile, database e progetto MXD) sono presentati anche in formato PDF mediante apposita cartografia. In particolare, per ogni layer informativo, sono presenti 22 tavole a scala 1: 25.000 con base raster (CTR scala 1:25.000) ed 1 tavola di inquadramento alla scala 1:100.000 con base raster (ctr scala 1:50.000).



Figura 1. Comuni della provincia di Ravenna



## 2 Documentazione di riferimento

Ai fini della produzione della cartografia oggetto del presente incarico sono stati consultati ed acquisiti i seguenti documenti:

- DGR 630 del 29/04/2019 Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) – Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione cartografica versione 4.1, novembre 2018
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) – Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione cartografica versione 4.0b, ottobre 2015
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) – Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione cartografica versione 3.0, ottobre 2013
- Studi di microzonazione forniti dalle amministrazioni comunali e dalle unioni dei comuni.
- Dott. Geol. Valeriano Franchi – Adeguamento alla DAL RER 112/2007 del PTCP della Provincia di Ravenna (2011)
- Dott. Geol. Tullio Bagnari e Dott. Geol. Stefano Marabini – Cartografia dei versanti potenzialmente instabili per fenomeni di grande dimensione con particolare riferimento alle frane traslative in blocco – N. 71 elementi della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 riferiti al territorio dei comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Riolo Terme, Faenza e Castel Bolognese – Originali d'autore inediti.

## 3 Inquadramento geografico

La provincia di Ravenna occupa un territorio pari a circa 1860 km<sup>2</sup>. Il territorio può essere suddiviso in tre settori principali, in funzione delle sue caratteristiche morfologico-altimetriche (Figura 2):

1. Pianura;
2. Collina romagnola;
3. Montagna romagnola.

L'ultimo settore (3) comprende la parte più meridionale della provincia, sino al confine con la Toscana e presenta quote comprese tra 500 e 950 m.s.l.m. Procedendo verso nord si incontra l'area collinare (2) che digrada velocemente verso la fascia pedemontana fino ad arrivare alla porzione di pianura (1), la quale costituisce oltre l'85% del territorio provinciale e comprende interamente 13 dei 18 comuni facenti parte della provincia (Unione dei comuni della Bassa Romagna, Russi, Cervia e Ravenna).

I comuni che insistono nell'areale collinare-montano sono invece 3 (Brisighella, Riolo Terme e Casola Valsenio) e infine 2 sono quelli posti tra i settori 1 e 2 (Faenza e Castel Bolognese).

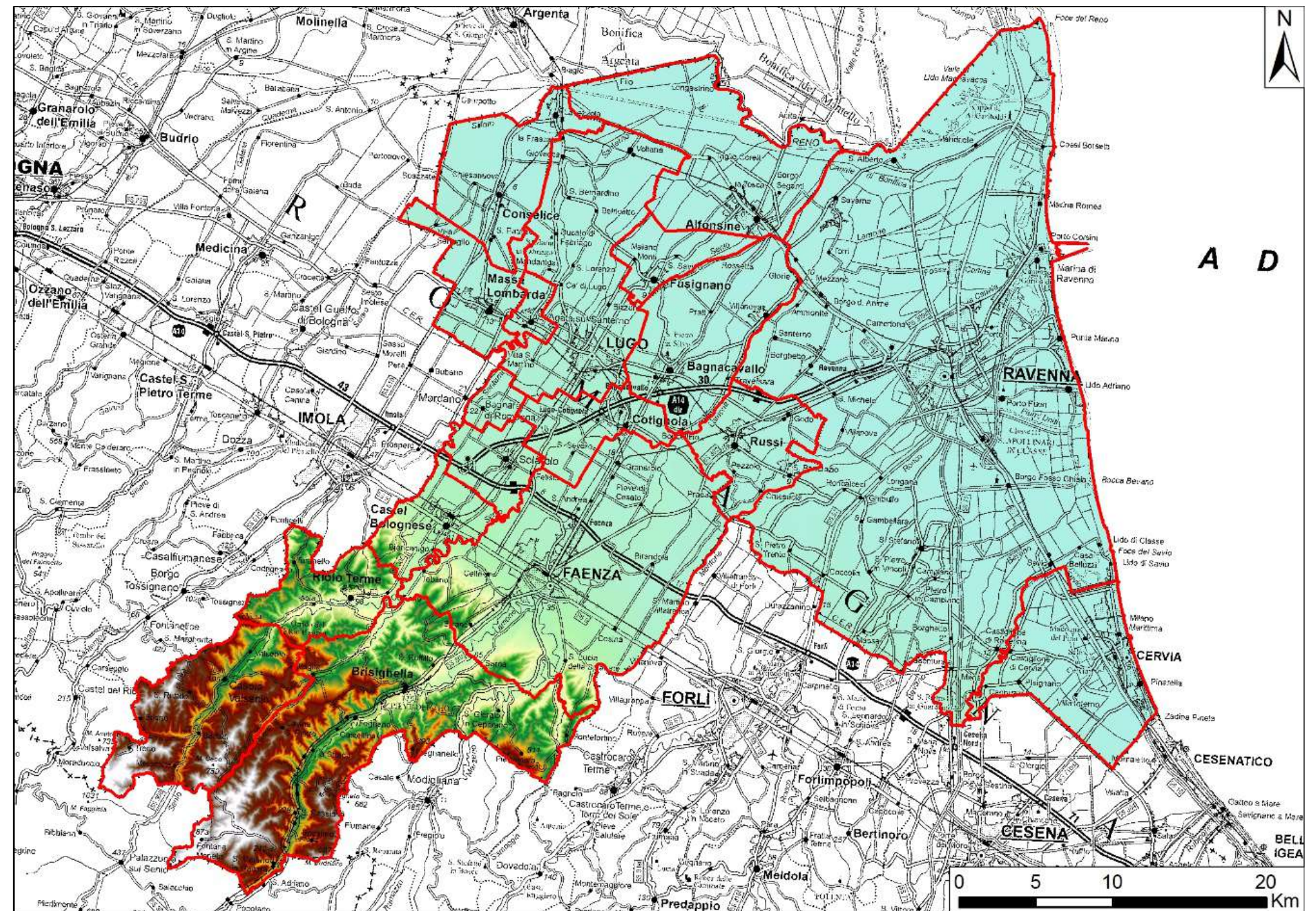


Figura 2. Inquadramento con sfumo altimetrico della provincia di Ravenna (DTM risoluzione 5 metri). Scala grafica.



# 4 Inquadramento strutturale

L'areale provinciale di Ravenna si colloca nella porzione orientale della Pianura Padana, un ampio bacino d'avanfossa subsidente compreso tra la catena appenninica a sud e la catena alpina a nord che, a partire dal Terziario, ha raccolto i sedimenti provenienti dallo smantellamento delle catene in formazione. L'assetto strutturale di tale bacino, noto attraverso lo studio dei dati derivanti dalle indagini profonde per ricerche idriche e di idrocarburi (sondaggi, indagini geofisiche, perforazioni petrolifere), spinti sino ad alcuni chilometri di profondità, appare assai complesso e strettamente legato alle dinamiche evolutive della catena sudalpina e di quella appenninica.

In particolare, la fascia posta tra la pianura e le prime colline dell'Appennino è stata ed è sede di intensi e complessi movimenti tettonici per la sua particolare posizione quasi "a cerniera" tra la catena appenninica in sollevamento e la pianura soggetta a subsidenza.

Lo stile tettonico compressivo ed il conseguente accorciamento crostale per convergenza e collisione tra la placca europea e quella africana è accompagnato in quest'area da un pattern deformativo e da un'attività sismica molto complessi (Figura 3).

L'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca di idrocarburi mostra che dal punto di vista strutturale la Pianura Padana a sud del Po è caratterizzata dalla presenza di faglie inverse e sovrascorrimenti sepolti nord-vergenti associati ad anticlinali e costituenti i fronti più esterni della catena appenninica (Pieri e Groppi, 1975). A tal riguardo si possono distinguere due archi di pieghe principali, che da ovest verso est sono l'Arco delle Pieghe Emiliane e l'Arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole, ed un motivo strutturale sepolto di pieghe pedeappenniniche che marca il margine pedemontano della Regione, delimitando la zona collinare in sollevamento dall'antistante pianura subsidente.

Il fascio di pieghe pedeappenniniche è spesso interrotto da numerose faglie con carattere di trascorrenza e con direzione NE-SO, riscontrabili anche nella morfologia di superficie della porzione collinare/montuosa della provincia ravennate.

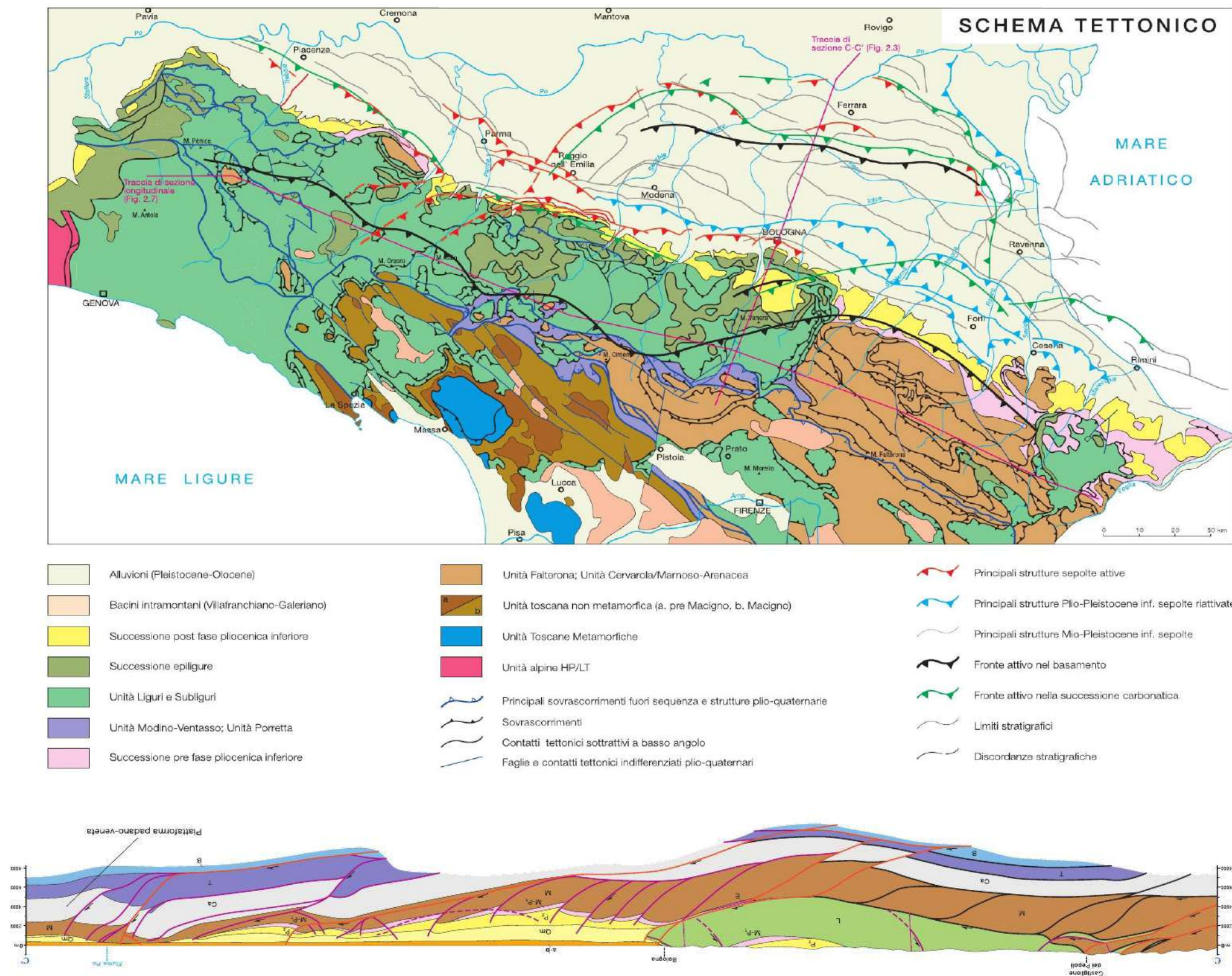


Figura 3. Principali strutture sepolte dell'Appennino settentrionale (da Pieri & Groppi, 1981. modificata).  
Sezione C-C' si possono osservare le faglie inverse e i sovrascorrimenti sepolti nord-vergenti che costituiscono i fronti più esterni della catena appenninica



## 5 Inquadramento geologico-geomorfologico

Dal punto di vista geologico è possibile suddividere il territorio provinciale in due unità:

1. Colline romagnole e Appennino romagnolo;
2. Pianura e costa

Di seguito verranno descritte le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e stratigrafiche che caratterizzano queste unità e che possono costituire un elemento di criticità nei confronti dell'amplificazione del moto sismico.

### 5.1 Montagna e collina romagnole

La parte montana della Provincia è caratterizzata dalla presenza della formazione rocciosa della Marnoso-Arenacea. La parte collinare è formata invece da tre unità principali che si susseguono procedendo da sud verso nord. Scendendo verso valle si incontrano infatti prima la Formazione Gessoso-Solfifera, con la caratteristica Vena del Gesso Romagnola, le Argille Azzurre entro cui si sviluppano le principali forme calanchive ed infine i depositi di più recente origine marina e continentale (Sabbie di Imola del Pleistocene medio e depositi appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore del Pleistocene-Olocene).

Le aree contraddistinte dall'affioramento delle formazioni rocciose (es: formazione Marnoso-Arenacea) sono caratterizzate da fenomeni di instabilità di versante per movimenti traslativi in blocco, generati dall'alternanza di peliti ed arenarie, che favorisce lo sviluppo di scivolamenti, in corrispondenza dell'interfaccia tra le due litologie.

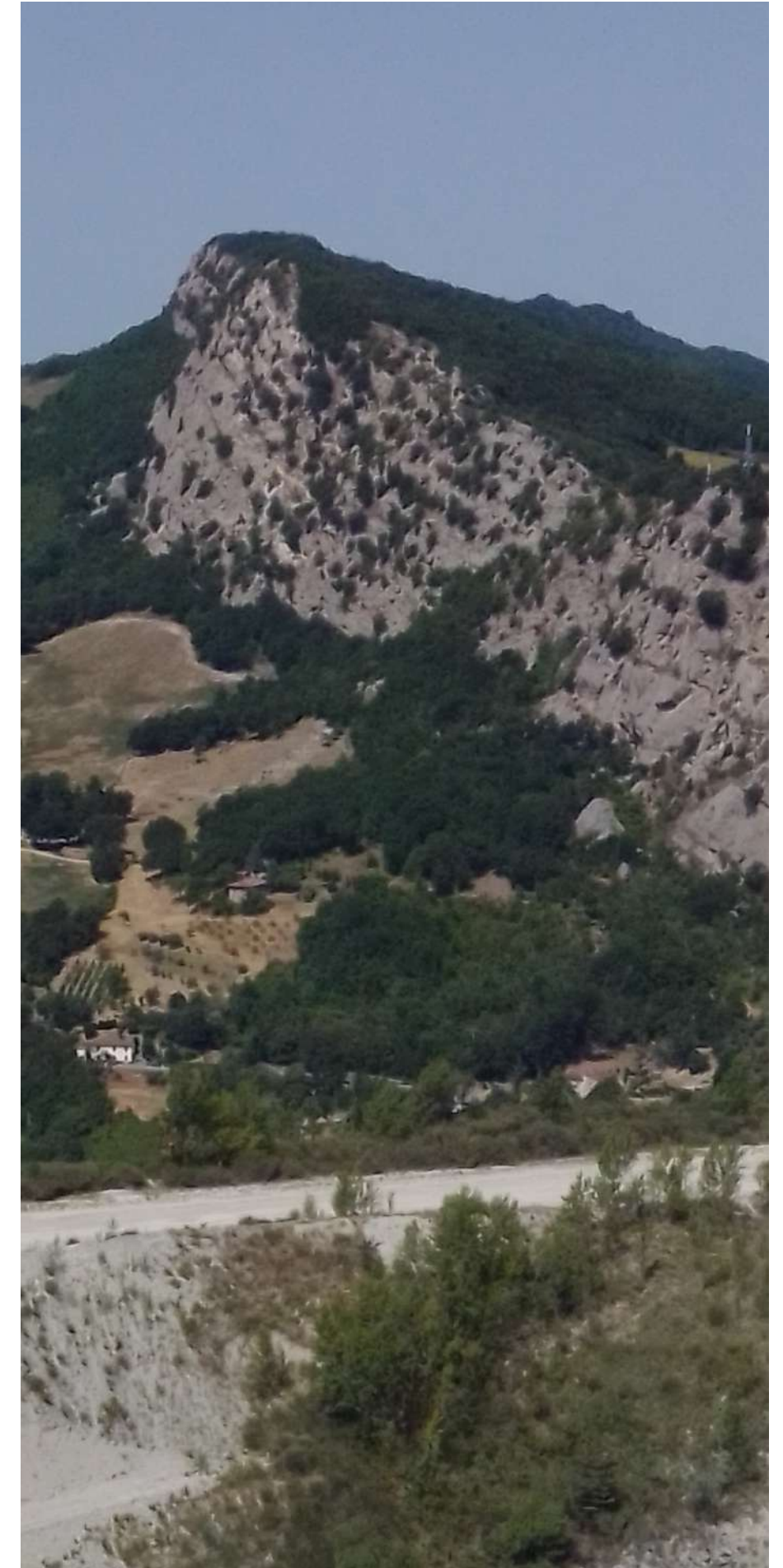
In corrispondenza delle scarpate più ripide sono presenti frane di crollo, frequenti smottamenti e piccoli scivolamenti di detrito (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico dei Fiumi Romagnoli, 2003). L'assetto strutturale ed i lineamenti tettonici principali che caratterizzano la Formazione Marnoso-Arenacea presentano un andamento con orientamento NW-SE, coerente con lo schema tettonico generale di questa porzione di Appennino. Questo assetto contrasta con l'orientazione delle linee di drenaggio primarie che tagliano i principali elementi tettonici con asse circa SW-NE. Al contrario, il reticolo secondario risulta maggiormente condizionato dall'assetto strutturale, con lo sviluppo di valli asimmetriche (pendii ripidi e brevi in corrispondenza delle giaciture a reggipoggio e versanti lunghi e meno pendenti in presenza di giaciture a franapoggio (Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio, 2001).

La Formazione Gessoso-Solfifera (Messiniano inf.) e la Formazione a Colombacci (Messiniano sup.) costituiscono la Successione Evaporitica Messiniana. Si tratta rispettivamente di gesso macrocristallino per la prima e marne argillose con inclusi gessosi risedimentati e calcari micritici di origine evaporitica per la F.ne a Colombacci. La natura di

queste formazioni comporta la definizione di una morfologia caratterizzata da pendii acclivi e scarpate con evidenti "testate" costituite dai banchi gessosi maggiormente competenti. Ciò comporta una franosità localizzata per crollo e ribaltamento.

Procedendo verso nord, nell'area collinare, l'affioramento di formazioni argillose è causa della presenza di forme morfologiche caratteristiche quali i calanchi, frutto di un'erosione di tipo concentrato e con tendenza continua alla retrogressione del loro coronamento.

Le valli principali entro cui scorrono i corsi d'acqua maggiori, come il Senio o il Lamone mostrano morfologie caratterizzate da terrazzi fluviali posti a quote più alte di quelle degli alvei attuali. Allo sbocco delle valli i fondivalle si raccordano ai depositi di pianura attraverso morfologie di conoide alluvionale costituiti principalmente da ghiaie e sabbie.



## 5.2 Pianura e costa

La pianura ravennate si colloca interamente nella porzione sud-orientale della Pianura Padana, uno dei più grandi bacini sedimentari plio-quadernari subsidenti, costituito da una spessa coltre di sedimenti marini in profondità e fluviali più in superficie che sono stati depositati dai corsi d'acqua alpini ed appenninici nell'antico Golfo Padano (insenatura del Mare Adriatico presente tra le Alpi e gli Appennini).

Il ritiro delle acque dal Golfo Padano è avvenuto da Ovest verso Est e dai margini delle catene verso l'asse della pianura (Gasperi e Pellegrini, 1984) e non è stato né progressivo né univoco, ma è senz'altro avvenuto con movimenti alterni che hanno determinato nel sottosuolo un'alternanza di depositi marini e/o di transizione e di episodi di deposizione continentale (Colombetti e altri, 1975).

La profondità del bacino di sedimentazione è sempre stata limitata, e l'accumulo di migliaia di metri di sedimenti è stato determinato da un'elevata velocità di subsidenza (progressivo abbassamento del terreno dovuto allo spontaneo costipamento dei sedimenti causato dal peso di quelli sovrastanti e a movimenti tettonici del substrato roccioso).

Le particolari condizioni strutturali instauratesi nei diversi settori della Pianura e la subsidenza differenziata in conseguenza all'evoluzione tettonica dell'intero bacino terziario, hanno condizionato la sedimentazione che presenta frequenti variazioni di facies sia laterali che verticali. È tuttavia possibile riconoscere una sedimentazione prevalentemente grossolana e torbiditica distribuita al centro del bacino ed una sedimentazione più fine e pelitica nella porzione marginale. L'alternarsi di facies è inoltre legato alle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario a causa di cambiamenti climatici avvenuti a partire dalla fine del Pliocene e a variazioni globali del livello del mare.

Il riempimento del bacino è avvenuto con sedimenti in massima parte terrigeni, di notevole spessore, che denotano una subsidenza molto accentuata e un apporto detritico imponente. La maggior parte di questi depositi è sepolta al di sotto delle alluvioni fluviali del Pleistocene medio-superiore - Olocene, depositate principalmente dal fiume Po e dai relativi affluenti.

La successione Plio-quadernaria ha carattere regressivo con alla base peliti e sabbie seguite da un corpo sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Come sopra accennato, il riempimento del bacino marino, fino alle condizioni di continentalità, avviene attraverso eventi tettonico-sedimentari separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale. Questo andamento ad impulsi successivi è testimoniato da numerose superfici di discontinuità stratigrafica che "marcano" le diverse fasi ed affiorano sul margine appenninico. La ricostruzione del loro andamento nel sottosuolo permette di definire il quadro

stratigrafico secondo i criteri della stratigrafia sequenziale.

Si possono distinguere tre sequenze deposizionali (cicli sedimentari o deposizionali - Figura 4) composte a loro volta da sequenze o cicli base (Unità stratigrafiche) comprendenti un episodio sedimentario, solitamente ripetitivo, che determina il sistema deposizionale:

1. Sequenza deposizionale inferiore (Supersistema del Pliocene medio-superiore, Di Dio, 1998; P1 e P2, Ricci Lucchi e al., 1982);
2. Sequenza deposizionale intermedia (Supersistema del Quaternario marino, Di Dio, 1998; Qm, Ricci Lucchi e al., 1982);
3. Sequenza deposizionale superiore (Supersistema Emiliano-Romagnolo, Di Dio, 1998; Qc, Ricci Lucchi e al., 1982).

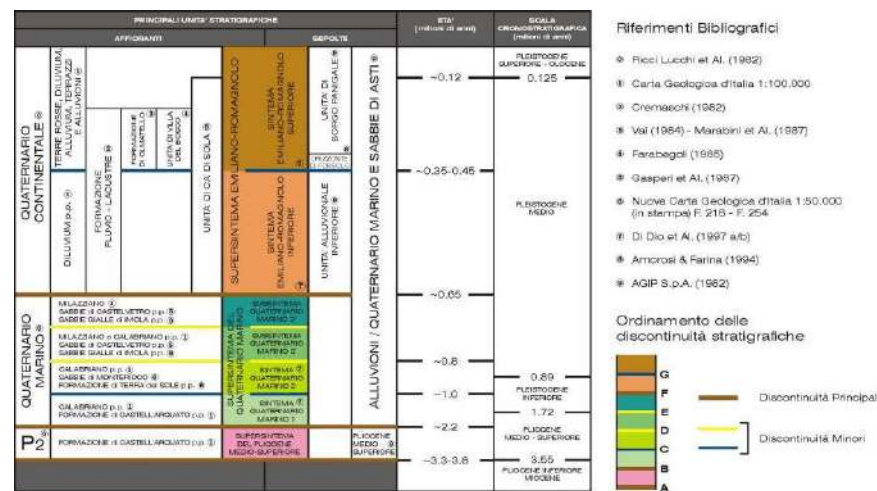


Fig. 4 - Inquadramento geologico-stratigrafico dell'area di studio.

Figura 4. Inquadramento geologico stratigrafico dell'area in oggetto

1. È delimitata da due discontinuità che la separano inferiormente, attraverso una superficie di erosione e/o non deposizione, con la sequenza miocenico-pliocenico inferiore, e superiormente, attraverso una superficie di discontinuità conforme, con la sequenza deposizionale intermedia. Costituisce la risposta sedimentaria ad una fase di quiescenza tettonica durante la quale prevale la subsidenza bacinale con depositi ciclici di facies prevalentemente fini, successiva all'evento tettonico di sollevamento regionale della fase precedente. All'interno del ciclo avvengono fasi di sollevamento che non alterano però sostanzialmente il carattere generale di subsidenza bacinale, mantenendosi nel complesso con caratteristiche di blanda regressione. La sedimentazione, prevalentemente argilloso-siltosa avviene in ambiente neritico infralitorale di piattaforma, è rapida, ma viene compensata da un'elevata subsidenza. Avviene probabilmente a spese di un sistema fluvio-deltizio o marino marginale progradante verso mare che determina l'instaurarsi delle condizioni per la creazione della sequenza deposizionale intermedia;
2. È delimitata sia superiormente sia inferiormente da superfici di

discontinuità conformi. È legata a un evento tettonico di sollevamento che determina un'importante regressione regionale e la conseguente sedimentazione di un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante. La sedimentazione, prevalentemente argillosa di fronte deltizio o costiera, costituisce nell'insieme una sequenza regressiva con passaggio da condizioni marine di piattaforma a depositi continentali;

3. In seguito ad una nuova fase di subsidenza bacinale e quiescenza tettonica avviene la deposizione di una sequenza costituita da depositi di piana alluvionale e conoide distale di alimentazione appenninica. L'alternanza delle facies fini e grossolane è dovuta ad oscillazioni cicliche climatiche ed eustatiche che portano progressivamente alla massima espansione dell'area deposizionale. La sequenza deposizionale viene interrotta da limitati sollevamenti tettonici con spostamento verso la pianura delle cerniere strutturali che causano la fine della trasgressione e l'inizio del terrazzamento alluvionale.

Dal punto di vista geomorfologico una delle caratteristiche principali dell'areale di pianura della provincia è costituito dalla presenza di corsi d'acqua prevalentemente pensili, che scorrono in corrispondenza di dossi fluviali posti a quota leggermente superiore rispetto al territorio circostante. Le aree limitrofe si caratterizzano invece per la presenza di corpi sabbiosi sepolti generati da rotte fluviali antiche o facenti parte di antichi alvei fluviali abbandonati.

Infine, Il passaggio dalla pianura alluvionale alla piana costiera avviene attraverso una serie di cordoni sabbiosi e dune allungati parallelamente alla linea di riva ben sviluppati in passato, ma che attualmente sono ridotti ad isolati affioramenti a causa principalmente dello sviluppo infrastrutturale ed insediativo.

Il restringimento della fascia dunosa verso sud rispecchia la marcata differenza di assetto topografico tra il settore costiero ravennate-ferrarese e quello a sud (settore riminese). Il primo è caratterizzato da un'ampia pianura a bassa pendenza; l'altro da una pianura confinata a sud-ovest dalla catena appenninica e inclinata verso mare. Nel settore ravennate-ferrarese, le trasgressioni marine hanno generato estesi depositi di piana costiera e barriera litoranea, mentre le regressioni marine hanno permesso alle fronti deltizie ed ai cordoni litorali di avere ampio sviluppo verso mare.



6 Sismicità

La conoscenza delle caratteristiche di sismicità di un territorio e della sua storia sismica è strettamente connessa con l’assetto tettonico-strutturale dell’area.

Come visibile in Figura 5 il territorio della provincia di Ravenna mostra valori di pericolosità sismica, espressi in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, crescenti spostandosi da nord (area costiera al confine con la provincia di Ferrara) verso sud (Appennino romagnolo al confine con la Toscana) passando da valori attorno a 0.1 g fino ad accelerazioni superiori a 0.2 g.

Tale mappa è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'OPCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

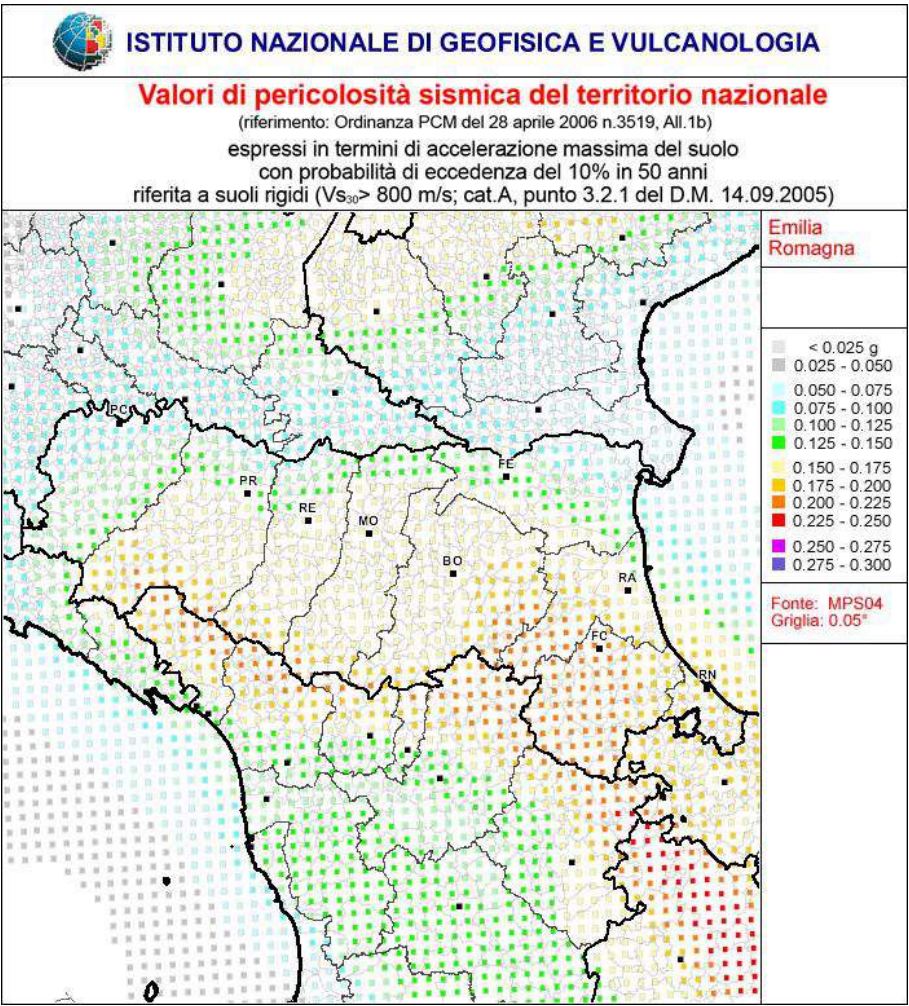


Figura 5. Valori di pericolosità sismica del territorio Emiliano- Romagnolo (da INGV)

Come mostrato in Figura 6, tratta dalla versione 3.2.1 del DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) il territorio provinciale è interessato dalla presenza di più sorgenti sismogenetiche composite in grado di generare terremoti superiori a magnitudo 5.5 che, procedendo da Nord verso Sud, risultano essere le seguenti:

- ITCS012: Malalbergo-Ravenna;
- ITCS011: Ascensione-Armaia;
- ITCS001: Castel San Pietro Terme-Meldola;
- ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga.

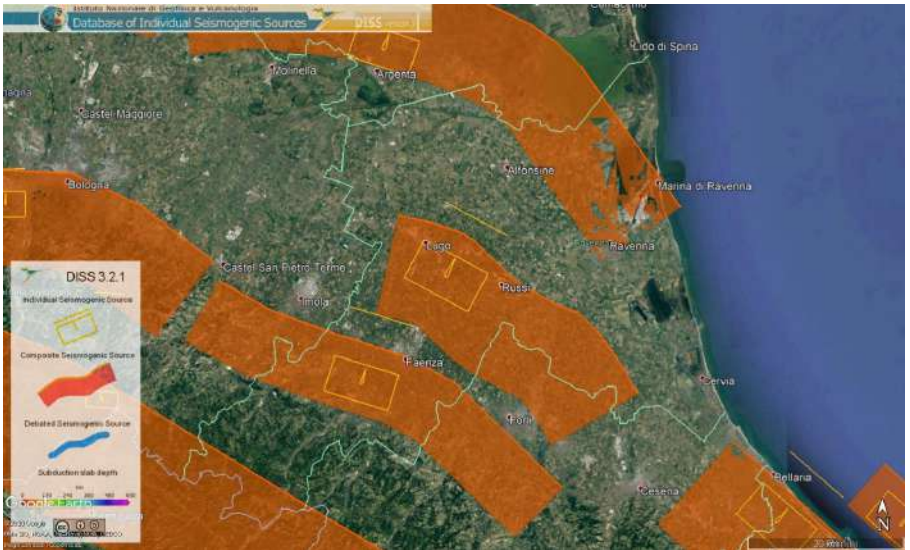


Figura 6. Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche individuali (rettangoli gialli) e composite (strisce arancioni piene) da DISS 3.2.1

La sorgente composita più meridionale nel territorio provinciale è quella presente lungo il confine sud-occidentale, denominata ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga, che costituisce l’area sismogenetica nord-appenninica, localizzata tra 12 e 21 km di profondità sulla rampa di un thrust regionale principale che emerge lungo la linea di costa adriatica.

La seconda CSS che attraversa il territorio collinare è denominata ITCS001 Castel San Pietro Terme-Meldola e appartiene al fronte di thrust pedeappenninico. In questa fascia, i cataloghi storici e strumentali registrano una densa concentrazione di sismi da intermedi (4.5 < Mw < 5.0) a dannosi.

La terza CSS attraversa la media e alta pianura ed è denominata ITCS011 Ascensione-Armaia. Forma parte del fronte di thrust dell’Arco di Ferrara. I cataloghi storici e strumentali registrano una sparsa sismicità intermedia (4.5 < Mw < 5.0), con la sola eccezione del terremoto dell’11 aprile 1688 (Mw 5.9, Romagna).

L’ultima e più settentrionale CSS è denominata ITCS012 Malalbergo-Ravenna ed anch’essa appartiene al fronte di thrust dell’Arco di Ferrara. I cataloghi storici e strumentali registrano, in questa fascia, un certo numero di sismi da intermedi (4.5 < Mw < 5.0) a dannosi.

Di seguito si riportano le schede delle sorgentiITCS012 Malalbergo-Ravenna

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	LD	Based on data of instrumental seismicity
Max depth [km]	8.0	LD	Based on data of instrumental seismicity
Strike [deg] min... max	85...150	OD	Based on consideration on regional geological data
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on consideration on regional geological data
Rake [deg] min... max	80...120	OD	Based on geological data, constrained by orientation of T axes
Slip Rate [mm/y] min... max	0.49...0.55	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015)
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Based on geological data and analysis of regional seismicity

Figura 7. Dati relativi alla sorgente ITCS012 Malalbergo-Ravenna

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	LD	Based on geological data from various Authors
Max depth [km]	10.0	LD	Based on geological data from various Authors
Strike [deg] min... max	110...140	LD	Based on geological data from various Authors
Dip [deg] min... max	25...45	LD	Based on geological data from various Authors
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional tectonic data
Slip Rate [mm/y] min... max	0.16...0.33	LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015)
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Based on the strongest earthquake occurred in the region

Figura 8. Dati relativi alla sorgente ITCS011 Ascensione-Armaia

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors
Strike [deg] min... max	110...140	LD	Based on geological data from various authors
Dip [deg] min... max	30...40	LD	Based on geological data from various authors
Rake [deg] min... max	80...100	LD	Based on geological data from various authors
Slip Rate [mm/y] min... max	0.24...0.63	EJ	Inferred from geological data on adjacent structures
Max Magnitude [Mw]	5.8	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s)

Figura 9. Dati relativi alla sorgente ITCS001 Castel San Pietro Terme-Meldola

PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	12.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints
Max depth [km]	22.0	OD	Based on structural geology and geodynamic constraints
Strike [deg] min... max	90...160	OD	Based on geological constraints and structural geology
Dip [deg] min... max	20...55	OD	Based on geological constraints and structural geology
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological data
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints
Max Magnitude [Mw]	6.2	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s)

Figura 10. Dati relativi alla sorgente ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga



6.1 Sismicità storica

L’analisi storica degli eventi sismici verificatisi nel territorio provinciale o in aree circostanti è stata dedotta dai dati contenuti nel CPTI15-DBMI15 V 2.0 (Figura 11).

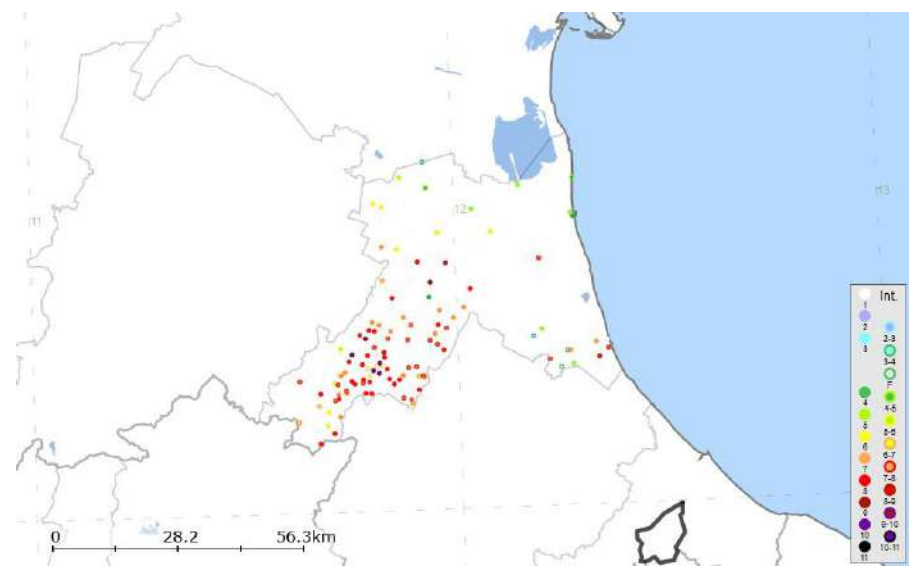


Figura 11. Principali terremoti verificatisi nel territorio provinciale.  
(Fonte DBMI15 V 2.0)

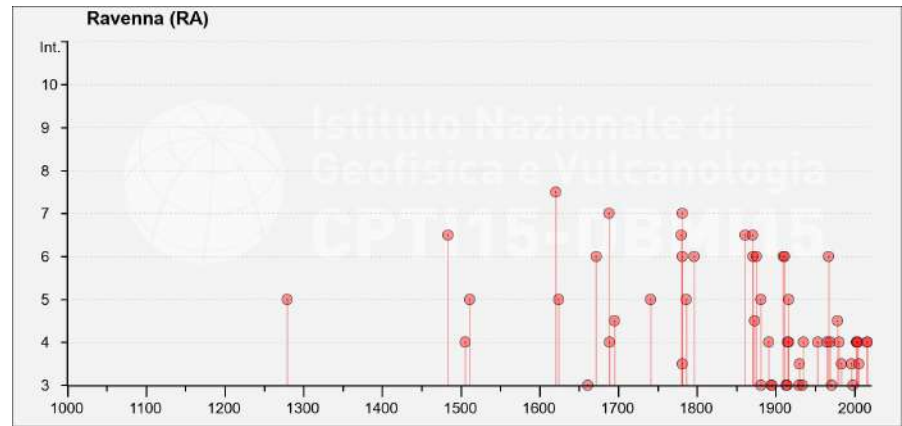


Figura 12. Grafico dei terremoti con effetti rilevanti (scala MCS) nel territorio ravennate

Da notare come l’ultimo evento sismico rilevante, oltre a quello del maggio 2012 con epicentro nelle pianure tra Modena e Ferrara, si sia verificato il 15 gennaio 2019, con magnitudo momento Mw = 4.6 ed epicentro a 11 km dalla città di Ravenna, ad una profondità di circa 25 km (Figura 13).

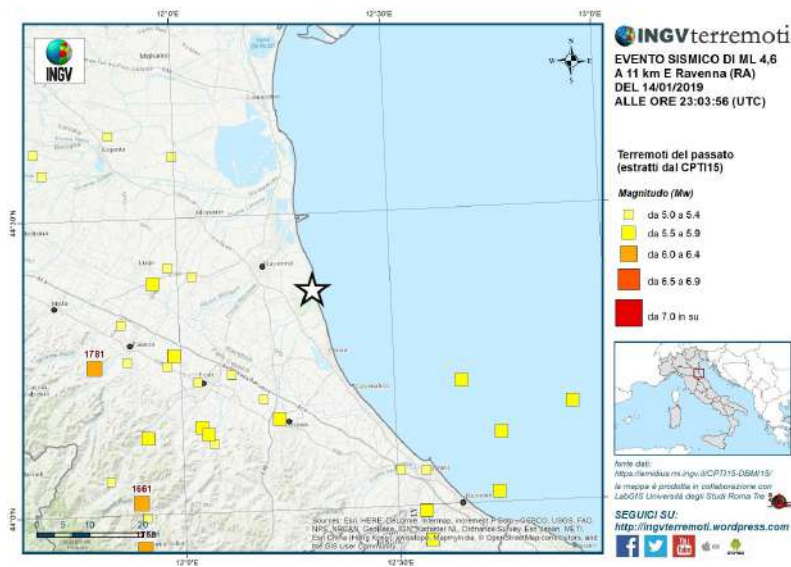


Figura 13. Principali terremoti verificatisi nel territorio provinciale. (Fonte DBMI15 V 2.0)

7 Raccolta e omogeneizzazione dei dati

Per la redazione del presente documento, degli elaborati in formato digitale (shapefile) e della cartografia in formato PDF a corredo, sono stati messi a disposizione degli scriventi i seguenti livelli di approfondimento di studi di microzonazione sismica:

Unione	Comune	Livello di approfondimento
	Ravenna	3
	Cervia	3
Bassa Romagna	Alfonsine	3
	Bagnacavallo	3
	Bagnara di Romagna	3
	Conselice	3
	Cotignola	3
	Fusignano	3
	Lugo	3
	Massa lombarda	3
Romagna Faentina	S. Agata sul Santerno	3
	Brisighella	2
	Casola Valsenio	2
	Castel Bolognese	2
	Faenza	3
	Riolo Terme	2
	Solarolo	3
	Russi	-

Per quanto concerne il comune di Russi i dati a disposizione sono relativi ad un precedente progetto finalizzato alla redazione di un PSC in forma associata per l’unione di comuni della Bassa Romagna del 2007. Da questo è stato possibile estrarre dati, conformemente alle attuali linee guida sulla microzonazione sismica, relativi agli elaborati di cui ai punti 3 e 4 del capitolo 1.

Come già indicato al capitolo 1, un ulteriore fonte di dati, utile per la definizione degli elaborati relativi agli “Elementi che possono determinare effetti locali” e alle “Aree suscettibili di effetti locali”, è stato quello relativo al progetto di microzonazione sismica “Adeguamento alla DAL RER 112/2007 del PTCP della Provincia di Ravenna (2011)”.

Di seguito si descriveranno dunque brevemente le caratteristiche principali del territorio provinciale in termini di elementi che possono determinare effetti locali, di aree suscettibili di effetti locali, di frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni, di velocità delle onde di taglio, di definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), con particolare riferimento alle aree soggette a rischio di liquefazione.



## 8 Layer informativi

Di seguito si analizzeranno le caratteristiche dei singoli layers informativi elencati al capitolo 1 e facenti parte del Database GIS creato.

Da notare come gli shapefile generati, con l'esclusione dei tematismi a scala provinciale relativi agli elementi che determinano effetti locali e alle aree suscettibili di effetti locali, risultino identici, in termini di contenuti, alle cartografie ufficiali prodotte dai comuni. Infatti, durante la redazione degli stessi studi a scala comunale, alcuni dati, non coerenti con l'assetto e le caratteristiche geologico-stratigrafiche, pur se presenti nei database di indagine, sono stati scartati e non utilizzati per le finalità di studio e dunque non riportati nei documenti ufficiali.

### 8.1 Elementi che possono determinare effetti locali

#### 8.1.1 Struttura dei dati

Questo tematismo, raccolto nel feature dataset "Elementi\_Aree", contiene al suo interno una serie di feature class che identificano le diverse condizioni geologico-geomorfologiche del territorio. In funzione di queste caratteristiche si definiscono quelli che possono essere gli effetti attesi in termini di amplificazione sismica causata da una determinata configurazione stratigrafico-geologica.

Dal punto di vista della struttura il dato è caratterizzato da singole feature relative ai diversi elementi individuati, corredati da un ulteriore insieme di file relativi alle caratteristiche geologico-morfologiche del terreno, in termini di pendenze, morfologie, aste fluviali e lineamenti tettonici.

In Figura 14 uno stralcio cartografico estratto dal progetto, relativo al comune di Castel Bolognese, con la relativa legenda (Figura 15) che verrà discussa nel paragrafo seguente.

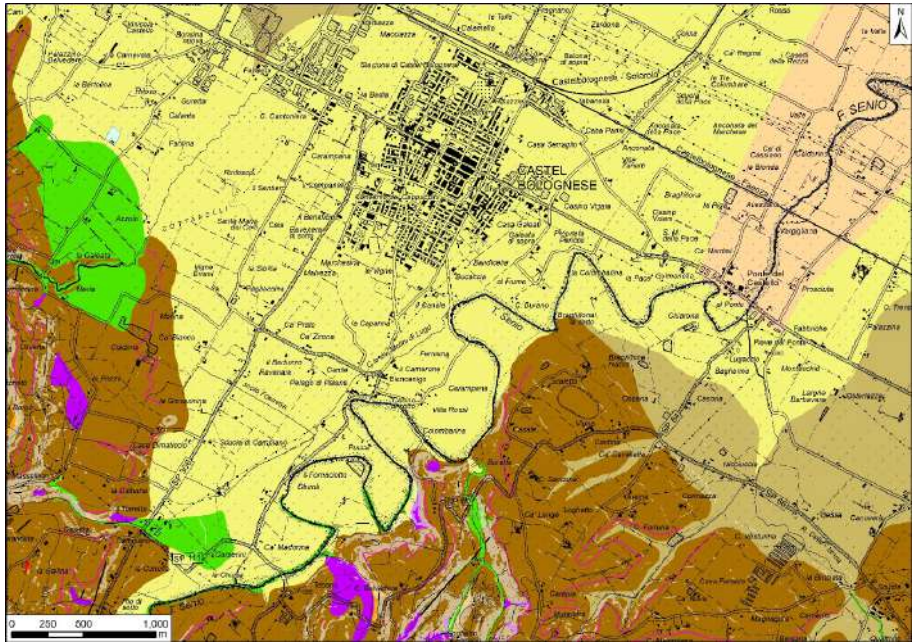


Figura 14. Estratto del tematismo degli Elementi che possono determinare effetti locali del comune di Castel Bolognese



Figura 15. Legenda del tematismo presentato in Figura 14

### 7.1 indagini disponibili

L'unificazione dei dati provenienti dai singoli studi comunali ha previsto la definizione di un database di indagini, costituite sia da prove geognostiche derivate dal Database regionale della Regione Emilia-Romagna sia eseguite ad-hoc per i vari studi di MS. Nell'ambito del presente lavoro non sono state eseguite ulteriori indagini ma ci si è limitati ad analizzare il dato bibliografico.

In totale si sono raccolte le seguenti indagini di tipo geofisico utili soprattutto alla definizione dei tematismi di velocità delle onde di taglio Vs e di frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni:

- 572 prove di microtremore a stazione singola HVSR;
- 15 prove sismiche in foro Down-Hole;
- 31 prove ESAC-SPAC;
- 58 prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- 3 prove Re.Mi. (Refraction Microtremor);
- 48 prove penetrometriche con cono sismico (SCPT-SCPTU).

Le prove HVSR sono state utilizzate per la creazione di un dato unificato relativo alle frequenze di vibrazione dei terreni, mentre le rimanenti prove geofisiche sono state impiegate per la definizione di un database relativo alla velocità delle onde di taglio VS.

Per la definizione delle caratteristiche lito-stratigrafiche dei terreni indagati e la conseguente analisi delle proprietà di amplificazione del moto sismico e suddivisione del territorio in microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) gli studi comunali si sono basati su indagini geotecniche puntuali quali:

- Prove penetrometriche statiche a punta meccanica o elettrica (CPT-CPTU);
- Prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH);
- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- Sondaggi a distruzione;
- Trincee e pozzetti esplorativi;
- Prove geotecniche di laboratorio.

In questo caso, il presente lavoro ha previsto la sola presa in carico del dato già elaborato in termini di MOPS e aree suscettibili di effetti locali senza ulteriori analisi delle singole prove e definizione di nuove categorie di terreni o aree.

Per quanto concerne i due elaborati relativi alle aree suscettibili di effetti locali e degli elementi che possono determinare effetti locali lo studio di riferimento, precedentemente citato, è basato su dati geologici, sismici e neotettonici a scala regionale indispensabili per la definizione del potenziale sismico di un territorio vasto come quello in studio.



### 8.1.2 Analisi dei dati

Il dato di base per la cartografia in oggetto è costituito dalla carta geologica di dettaglio (scala 1:10.000) per il settore appenninico e della carta geologica di pianura della Regione Emilia-Romagna per il resto della provincia. La carta della zona appenninica è stata utilizzata per distinguere i substrati rocciosi, sulla base delle loro presunte caratteristiche geomeccaniche, raggruppandoli in due grandi unità litostratigrafiche di seguito descritte:

1. Rocce presumibilmente caratterizzate da  $V_{s30} \geq 800$  m/s (materiale lapideo costituito da un unico tipo non stratificato; materiale lapideo stratificato; alternanze flyschoidi arenitico-pelitiche);
2. Rocce presumibilmente caratterizzate da  $V_{s30} < 800$  m/s (unità evaporitiche, unità argillose, unità eterogenee, unità pelitico-marnose, conglomerati, unità caotiche, argille con inclusi, areniti poco cementate o sabbie, litotipi intensamente fratturati rilevabili nelle zone cataclastiche e nelle zone di faglia).

Le rocce del gruppo 2 sono spesso caratterizzate da valori di  $V_s$  paragonabili a quelli delle coperture per profondità talora importanti, di qualche decina di metri. Di conseguenza tali rocce vanno considerate come dei veri e propri depositi di copertura in grado di generare fenomeni di amplificazione sismica.

Grazie alla carta delle coperture, in scala 1: 10.000, e alla carta regionale di inventario delle frane è stato possibile suddividere le aree con coperture in 4 categorie:

1. Frane attive;
2. Frane quiescenti, stabilizzate e relitte;
3. Depositati di versante, eluvio-colluviali, falde detritiche, depositi di travertino e depositi antropici, cave attive e ripristinate;
4. Conoidi torrentizie in evoluzione e inattive; depositi alluvionali in evoluzione.

Nelle aree montuose e collinari un'importante, ulteriore distinzione, si è eseguita in funzione dell'acclività dei pendii classificando i terreni in relazione alla loro pendenza. In particolare, si sono distinte le aree con inclinazioni maggiori o minori di  $15^\circ$  che costituiscono un limite anche per l'assegnazione dei valori di categoria topografica nell'ambito delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Spostandosi nel settore di pianura e costiero si è invece proceduto alla realizzazione di due cartografie ad hoc, una carta dei depositi affioranti e una dei depositi sepolti, derivanti rispettivamente dai rilevamenti della Regione per la nuova Carta geologica d'Italia e dall'interpolazione di dati derivanti dalla banca dati geognostica regionale. Nel caso dei depositi sepolti l'attenzione è stata focalizzata sulla profondità dei depositi sabbiosi e sul loro spessore. Questo dato, in unione con quello rappresentato dall'andamento della piezometria (o, meglio, della soggiacenza) della falda acquifera, permette, inoltre, di identificare quelle aree ove possono verificarsi fenomeni di

liquefazione dovuti all'intersezione proprio tra la falda acquifera e i livelli sabbiosi, per profondità non superiori ai 15 metri. Tale aspetto è stato successivamente approfondito, a scala comunale, e verrà descritto nei paragrafi successivi.

I depositi della pianura sono stati distinti sulla base delle classi granulometriche prevalenti:

1. Ghiaie;
2. Sabbie;
3. Limi e argille.

I depositi delle classi 1, 2 e 3 sono tutti suscettibili di amplificazione; la distinzione nelle 3 classi si è resa necessaria poiché nelle aree con terreni della classe 2 potrebbero essere presenti le condizioni predisponenti alla liquefazione (sabbie fini e medie ben classate nei primi 20 m di profondità con tetto della falda acquifera nei primi 15 m dalla superficie) mentre nella classe 3 potrebbero essere presenti terreni con proprietà meccaniche scadenti e quindi, in caso di forti scosse, soggetti a cedimenti.

Infine, sono riportati i principali orli di terrazzo fluviale e i principali lineamenti tettonici.

Utilizzando i criteri sin qui esposti è stato dunque possibile discretizzare tutto il territorio provinciale seguendo la descrizione delle categorie rappresentate nella carta degli "Elementi che possono determinare effetti locali" in caso di sisma.

1) Aree caratterizzate da depositi prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e dei cordoni ghiaioso-sabbiosi litoranei Flandriani. Zone potenzialmente soggette ad amplificazione litostratigrafica.

2) Aree in cui sono presenti depositi prevalentemente sabbiosi, dati da riempimenti di canale alluvionale, da depositi di piana costiera e di cordone litoraneo: la presenza di sabbie, soprattutto se incoerenti e ben classate, nei primi 20 m dal p.c. e della falda acquifera a profondità inferiore a 15 m dal p.c. costituiscono caratteri predisponenti al verificarsi del fenomeno della liquefazione in caso di forti scosse sismiche (magnitudo uguale o maggiore di 5). In queste aree, pertanto, oltre all'amplificazione litostratigrafica, possono verificarsi fenomeni di liquefazione e cedimenti.

3) Aree in cui affiorano terreni prevalentemente limosi, argillosi e limo-argillosi di piana alluvionale. Aree potenzialmente soggette ad amplificazione litostratigrafica e cedimenti.

4) Aree di dosso, paleodosso fluviale e cordoni dunosi. Sono aree che dal punto di vista granulometrico e compositivo risultano molto simili a quelle della classe 2), seppur con una maggior percentuale di materiale fine, ma sono stati evidenziati in carta con una simbologia differente per segnalarne la forma e la particolare genesi.

5) Aree corrispondenti a corpi di frana attivi, ossia con evidenze di movimenti in atto o recenti. La distinzione dei corpi di frana attivi dagli altri depositi di versante si è ritenuta opportuna a causa della

condizione di instabilità già in essere dei primi, condizione che può essere ulteriormente aggravata dalle scosse sismiche. In queste aree, oltre all'amplificazione litostratigrafica, possono verificarsi, pertanto, fenomeni di instabilità più o meno diffusi.

6) Aree corrispondenti a corpi di frana quiescenti, stabilizzate e relitte, ossia che non hanno dato segni di attività almeno negli ultimi trenta anni, compresi i relativi coronamenti, e per le quali il fenomeno può essere riattivato dalle sue cause originali. In queste aree, suscettibili di amplificazione litostratigrafica, si possono verificare anche fenomeni più o meno diffusi di instabilità.

7) Aree corrispondenti a conoidi torrentizie in evoluzione e inattive ed a depositi alluvionali in evoluzione. Queste aree, nel territorio in esame sono costituite da granulometrie molto variabili, dalle ghiaie ai limi. Sono state distinte per evidenziarne il minor grado di compattazione che possono ragionevolmente mostrare se comparate ai depositi alluvionali di pianura con simile composizione granulometrica: sia per la continua evoluzione dei processi geomorfologici che per la posizione in aree a maggiore energia del rilievo. Tali aree possono determinare amplificazione litostratigrafica.

8) Aree corrispondenti a depositi di versante, fluvio-colluviali, falde detritiche, depositi di travertino e depositi antropici. In tali aree si possono avere amplificazione topografica e possibile instabilità, essendo generalmente collocate alla base di versanti.

9) Aree corrispondenti a cave attive ripristinate. Sono aree in cui i fronti di scavo, in particolare, possono essere soggetti a possibili instabilità che, in caso di sisma, può chiaramente essere maggiormente favorita. Può esservi anche amplificazione litostratigrafica a causa delle deteriorate condizioni geomeccaniche della roccia interessata dallo scavo.

10) Aree cataclase. Sono aree in cui l'azione meccanica conseguente ai movimenti tettonici ha deteriorato la roccia fino a farne assumere caratteristiche geomeccaniche scadenti. In tali aree, pertanto, si può determinare amplificazione litostratigrafica.

11) Aree caratterizzate da substrato roccioso sub-affiorante con  $V_{s30} < 800$  m/sec. Sono aree in cui il terreno di fondazione è costituito da terreni riferibili al substrato marino con caratteristiche litologiche e meccaniche tali da lasciare ipotizzare  $V_s < 800$  m/sec anche a profondità di alcune decine di metri e perciò potenzialmente soggette ad amplificazione litostratigrafica.

12) Aree caratterizzate da substrato roccioso sub-affiorante con  $V_{s30} \geq 800$  m/sec. Sono aree in cui il terreno di fondazione è costituito da roccia affiorante o subaffiorante, cioè a profondità minore di 5 m, con  $V_s$  indicativamente  $\geq 800$  m/s. Queste aree possono quindi essere considerate bedrock sismico affiorante; inoltre non presentano elementi topografici che possano determinare amplificazione. In queste zone, pertanto, non sono attesi effetti di sito.

13) Orlo di terrazzo fluviale. In prossimità di tali elementi morfologici



può determinarsi amplificazione topografica e/o instabilità.

14) Aree con acclività > 15°. Sui pendii con acclività maggiore di 15° e dislivello superiore a 30 m possono verificarsi effetti locali per cause topografiche. Pertanto, nel caso che il dislivello sia maggiore di 30 m, e nelle aree prossime ai bordi superiori delle scarpate o in quelle immediatamente superiori, in queste aree dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione topografica.

15) Faglie e sovrascorrimenti certi e sepolti. In prossimità di tali elementi si può verificare amplificazione litostratigrafica nonché possibili deformazioni della superficie topografica.

## 8.2 Carta delle aree suscettibili di effetti collaterali

### 8.2.1 Struttura dei dati

Questo tematismo, raccolto nel feature dataset “Elementi\_Aree”, contiene al suo interno una serie di feature class che identificano aree omogenee, caratterizzate da simili effetti locali a causa delle loro diverse caratteristiche litologiche e morfologiche e nelle quali potranno essere necessari ulteriori approfondimenti e studi.

Dal punto di vista della struttura il dato è caratterizzato da singole feature relative alle diverse aree omogenee individuate.

In Figura 16 è mostrato uno stralcio cartografico estratto dal progetto GIS relativo al comune di Castel Bolognese.

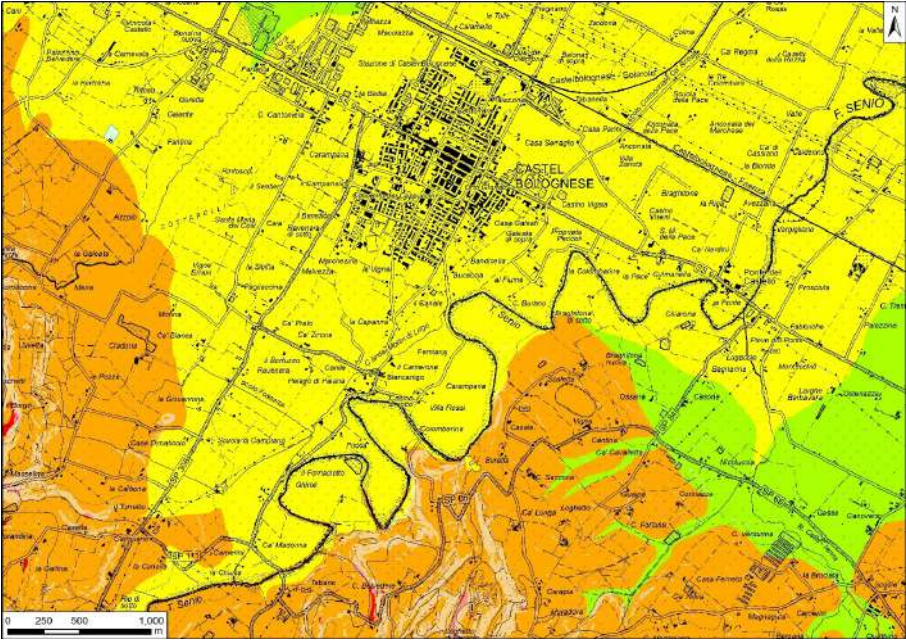


Figura 16. Estratto del tematismo delle Aree suscettibili di effetti locali del comune di Castel Bolognese

In Figura 17 è rappresentata la legenda cartografica di riferimento che verrà discussa nel seguito.



Figura 17. Legenda del tematismo presentato in Figura 16



### 8.2.2 Analisi dei dati

I depositi franosi, sia attivi che quiescenti, sono stati distinti come soggetti ad amplificazione e instabilità a causa delle scadenti condizioni meccaniche dei terreni; i depositi di versante, le ghiaie e i depositi con Vs30 < 800 m/s come soggetti ad amplificazione; le argille e i limi di piana alluvionale come soggetti ad amplificazione e cedimenti a causa della natura fine dei sedimenti e delle caratteristiche meccaniche scadenti; le sabbie soggette ad amplificazione e liquefazione.

In seguito, si è introdotto anche il fattore della topografia e in tutto si è arrivati a distinguere 5 tipi diversi di effetti di sito attesi:

- 1. Amplificazione stratigrafica;
- 2. Amplificazione topografica;
- 3. Instabilità di versante;
- 4. Cedimento;
- 5. Liquefazione.

Nella Carta delle aree suscettibili di effetti locali sono quindi state distinte le zone che presentano simili effetti in risposta ad un evento sismico. Ognuna di queste classi prevede diverse indagini geologiche e livelli di analisi più o meno approfonditi.

a) Aree caratterizzate da instabilità di versante e suscettibili di amplificazione litostratigrafica. Corrispondono alle aree dei depositi di frana attivi e quiescenti. In queste aree gli utilizzi del territorio sono in genere già limitati, ma nel caso di eventuali interventi, gli studi dovranno valutare il coefficiente di amplificazione stratigrafico e il grado di stabilità del versante. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, è richiesto un approfondimento di 3° livello.

a.1) Aree caratterizzate da instabilità di versante e suscettibili di amplificazione lito-stratigrafica e topografica per acclività maggiore di 15°.

Sono qui ricomprese le aree interessate dagli elementi del gruppo a) ma con acclività maggiore di 15°. Sono richiesti studi per la valutazione del coefficiente di amplificazione lito-stratigrafico e topografico e delle condizioni di stabilità del versante in condizioni sia pseudo statiche sia dinamiche, qualora fossero ammessi interventi di trasformazione urbanistica. Viene richiesto un approfondimento di 3° livello.

b) Aree suscettibili di amplificazione lito-stratigrafica.

Corrispondono ai depositi di versante, eluvio-colluviali, alluvionali, ghiaiosi e antropici, alle conoidi torrentizie, ai detriti di falda e ai depositi di travertino, alle zone di intensa fatturazione e ai depositi del substrato con Vs30 minori di 800 m/s. In queste aree è sufficiente la

valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, è richiesto un approfondimento di 2° livello.

b.1) Aree suscettibili di amplificazione lito-stratigrafica e topografica per acclività maggiore di 15°.

Sono qui ricomprese le aree interessate dagli elementi del gruppo b) ma con acclività maggiore di 15°. In queste aree sono richiesti studi per la valutazione del coefficiente di amplificazione lito-stratigrafico e topografico. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, è richiesto un approfondimento di 2° livello.

c) Aree con nessun effetto atteso.

Corrispondono ai depositi del substrato caratterizzato da Vs30 maggiori/uguali di 800 m/s. In queste aree dovranno essere realizzate solo le indagini per la valutazione di Vs30. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, è richiesto un approfondimento di 1° livello.

c.1) Aree potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche topografiche (acclività maggiore di 15°).

Sono qui ricomprese le aree interessate dagli elementi del gruppo c) ma con acclività maggiore di 15°. In queste aree sono richieste indagini per la determinazione della Vs30 e valutazione del coefficiente di amplificazione topografico. Viene richiesta la valutazione del coefficiente di amplificazione topografico e qualora la Vs30 dovesse risultare inferiore a 800 m/sec dovrà essere eseguita anche una valutazione del coefficiente di amplificazione lito-stratigrafico con approfondimenti di 2° livello.

d) aree suscettibili di amplificazione lito-stratigrafica e di potenziali cedimenti.

Corrispondono ai depositi limosi, argillosi e limo-argillosi di piana alluvionale. In queste aree i depositi sono soggetti ad amplificazione e cedimenti dovuti ai sedimenti di natura fine con caratteristiche meccaniche scadenti. Oltre alla valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico dovranno essere stimati i potenziali cedimenti. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, sono ritenuti sufficienti approfondimenti di 2° livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico, e approfondimenti di 3° livello per la stima degli eventuali cedimenti.

e) aree suscettibili di amplificazione lito-stratigrafica e possibile liquefazione.

Corrispondono ai depositi prevalentemente sabbiosi di piana alluvionale, ai dossi, paleodossi fluviali e cordoni dunosi. In queste aree oltre alla valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico, dovranno essere stimati il potenziale di liquefazione e gli eventuali cedimenti. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, è richiesto approfondimento di 3° livello.

f) aree potenzialmente interessate da instabilità.

Corrispondono alle aree di cava, dove si riscontrano amplificazioni topografiche e condizioni di instabilità per l'acclività dei versanti. In queste aree dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione topografica e calcolata la stabilità dei versanti in condizioni dinamiche o pseudostatiche. Per quanto riguarda la microzonazione sismica, sono ritenuti sufficienti approfondimenti di 2° livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico, e approfondimenti di 3° livello per la stima del grado di stabilità.

Al fine di riassumere i tipi di instabilità e i livelli di approfondimento di studio richiesti si riporta una tabella di sintesi delle considerazioni fin qui esposte (Tabella 1).

	EFFETTI ATTESI					
CLASSI	Amplificazione stratigrafica	Amplificazione topografica	Instabilità di versante	Potenziali cedimenti	Liquefazione	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO
a	x		x			3°
a1	x	x	x			3°
b	x					2°
b1	x	x				2°
c						1°
c1		x				2°
d	x			x		2° - 3°
e	x				x	3°
f		x	x			2° - 3°

tabella 1.Effetti attesi in funzione delle classi omogenee individuate e relativi approfondimenti di studio richiesti.

(tratto da “Adeguamento alla DAL RER 112/2007 del PTCP della Provincia di Ravenna (2011)”)



8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

8.3.1 Struttura dei dati

Questo tematismo, raccolto nel file “Frequenze”, indica le frequenze fondamentali (F0) di vibrazione dei terreni indagati mediante tecnica di sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). All’interno della tabella attributi del file (Tabella 2) sono presenti, oltre ai dati riguardanti il valore di F0, quello relativo all’ampiezza di picco (A0), l’identificativo (ID) della prova HVSR da cui deriva il dato e il comune di appartenenza.

	FID *	Shape *	Comune	ID	f0	A0
►	1	Point	Ravenna	HVSR1A	8.4	1.7
	2	Point	Ravenna	HVSR2A	41.5	5.9
	3	Point	Ravenna	HVSR3A	0.6	2
	4	Point	Ravenna	HVSR4A	53.7	2.1
	5	Point	Ravenna	HVSR5A	36.3	2.8
	6	Point	Ravenna	HVSR6A	36.3	2.8
	7	Point	Ravenna	HVSR7A	61.5	2.3
	8	Point	Ravenna	HVSR8A	0.6	2
	9	Point	Ravenna	HVSR9A	64	2.8
	10	Point	Ravenna	HVSR10A	64	2.5
	11	Point	Ravenna	HVSR11A	64	2.4
	12	Point	Ravenna	HVSR12A	1.6	2.3
	13	Point	Ravenna	HVSR13A	48.4	2.1
	14	Point	Ravenna	HVSR14A	2.3	2.1
	15	Point	Ravenna	HVSR15A	0.6	1.7
	16	Point	Ravenna	HVSR16A	0.8	2.1
	17	Point	Ravenna	HVSR17A	0.3	1.5
	18	Point	Ravenna	HVSR18A	0.5	2

Tabella 2. Estratto della tabella attributi dello shp “Frequenze\_HVSR\_Provincia\_Ravenna”.

Si è deciso di discretizzare visivamente le misure in funzione del valore dell’ampiezza del picco di frequenza fondamentale, a seconda che questa (A0) fosse maggiore o minore di 3 (Figura 18). Le misure che non mostrano picchi con ampiezza evidente, invece, sono indicate con un ulteriore simbolo di colore nero e non presentano etichetta in cartografia. Di seguito un estratto della cartografia da ambiente GIS (Figura 19).

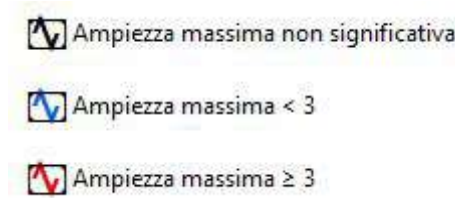


Figura 18. Discretizzazione dei valori in base all’ampiezza della frequenza fondamentale

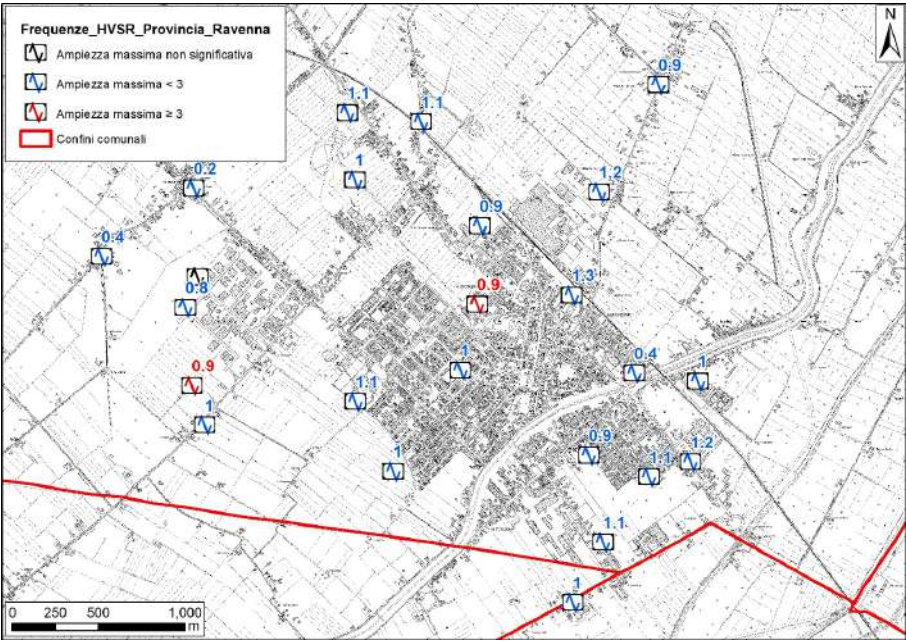


Figura 19. Estratto del tematismo delle frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni per il comune di Alfonsine.

8.3.2 Analisi dei dati

L’analisi dei dati relativi alle frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni nel territorio provinciale risulta assai eterogenea. Si nota infatti come nel territorio del Comune di Cervia nelle curve HVSR spesso non siano presenti picchi: infatti generalmente non si identifica la presenza di un bedrock sismico profondo al di sotto dei depositi sabbiosi e sabbioso-limosi che caratterizzano la fascia costiera. Al contrario i valori di frequenza molto elevati, superiori a 20 Hz, come spesso registrati nel territorio del comune di Ravenna, sono indice di contrasti di impedenza molto superficiali (entro 1 metro di profondità) che risultano di scarso interesse ai fini degli studi sull’amplificazione del moto sismico nonché sugli effetti che possono avere sugli edifici, le cui fondazioni sono impostate a profondità generalmente superiore. Inoltre, si nota come i picchi caratterizzati da ampiezza maggiore, e quindi maggiormente accentuati, si rinvenivano generalmente nei comuni della collina e montagna romagnola (Casola Valsenio, Brisighella). Ciò si verifica a causa del netto contrasto, in termini di velocità delle onde sismiche, esistente tra le coperture quaternarie dei principali fondovalle e il bedrock sismico costituito dalla formazione rocciosa della Marnoso-Arenacea o della Vena del Gesso Romagnola. Nei due succitati comuni i picchi HVSR si rinvenivano generalmente a profondità limitate entro i primi 10 metri dalla superficie, con frequenze superiori ai 7-8 Hz e ampiezze superiori a 3. Spostandosi verso la pianura invece, con le eccezioni descritte nel caso di Ravenna e riscontrate parzialmente anche nel comune di Faenza, i valori di ampiezza dei picchi tendono a smorzarsi così come si nota il netto approfondimento dell’interfaccia posta tra i depositi quaternari alluvionali e il bedrock sismico, con picchi localizzati a frequenza basse, attorno a 0.6-1 Hz, corrispondenti a profondità comprese tra 200 e 80 metri dalla superficie e talvolta anche superiori, fino ad assenti come visto in molte misure del comune di Cervia. Anche i valori di ampiezza dei picchi tendono a smorzarsi a causa di un minor contrasto di impedenza tra i depositi superficiali e il bedrock o pseudo-bedrock sismico rappresentato da formazioni quali le Argille Azzurre, con velocità delle onde di taglio generalmente comprese tra 400 e 600 m/s.



8.4 Carta delle velocità delle onde di taglio vs

8.4.1 Struttura dei dati

Questo tematismo, raccolto nel file “Vs” mostra i valori di velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) calcolate per ogni punto di misura. I dati provengono da diversi tipi di prove, tra cui MASW, Re.Mi, ESAC, Down-Hole, SCPT ed SCPTU. Per il comune di Russi il dato è stato derivato dall’analisi delle prove HVSr già utilizzate per la redazione del tematismo relativo alle frequenze di vibrazione naturali dei terreni. La tabella attributi dello shapefile (Tabella 3) contiene, oltre al valore di Vs,30, un attributo relativo al comune di appartenenza, alla

FID *	Shape *	comune	Vs30	Prof_sub_m	Tipo	ID	Livello
139	Point	Cervia	182	30	SCPT		0
42	Point	Bagnacavallo	205	30	SCPT	62_Bagnacavallo_SCPT	0
146	Point	Cervia	181	30	SCPT		0
44	Point	Bagnara di Romagna	223	30	SCPT	253_Bagnara_SCPT	0
45	Point	Cotignola	211	30	SCPT	Via_dante_Cotignola_SCPTU	0
46	Point	Lugo	211	30	SCPT	PSC_SCPT	0
151	Point	Cervia	178	30	SCPT		0
10	Point	Faenza	219	30	SCPT		0
134	Point	Cervia	184	30	SCPT		0
12	Point	Faenza	217	30	SCPT		0
7	Point	Faenza	224	30	SCPT		0
160	Point	Cervia	176	30	SCPT		0

Tabella 3.Estratto della tabella attributi del file “Vs\_Provincia\_Ravenna”

profondità del substrato, al tipo di prova, al suo ID e al livello di approfondimento a cui la prova si riferisce (solo per il comune di Ravenna)  
In presenza di substrato sismico posto a profondità inferiori ai 30 metri da p.c. è stata riportata la profondità dello stesso accanto alla scritta Vs. Per substrato oltre i 30 metri si è indicato il valore generico di Vs,30.  
Di seguito è mostrato un estratto da ambiente GIS del tematismo delle onde di taglio Vs (Figura 20).

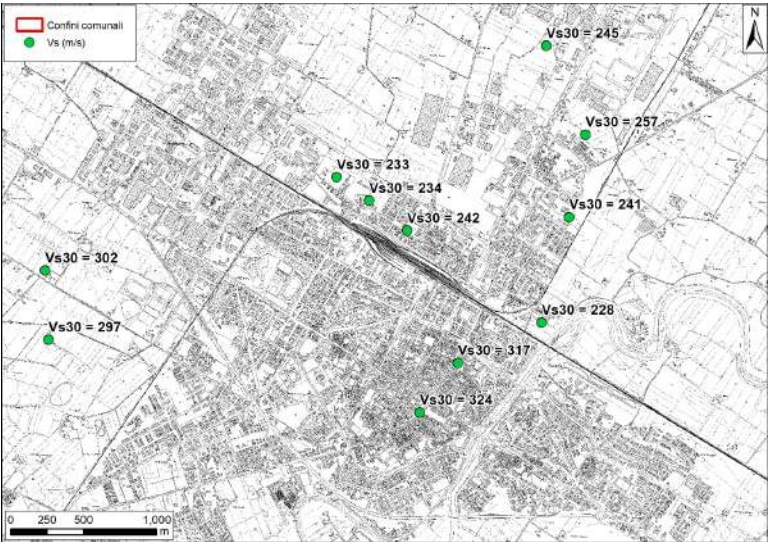


Figura 20. Estratto del tematismo Vs per l’area urbana del comune di Faenza.

8.4.2 analisi dei dati

Analizzando i dati relativi alla velocità delle onde sismiche di taglio VS,30, calcolati secondo le NTC 2008, che prevedono il computo di questo parametro riferendosi ad una profondità standard fissata di 30 metri, si possono effettuare le seguenti considerazioni.  
Le aree più settentrionali ed orientali della Provincia, localizzate entro i territori di pianura e costa romagnole mostrano dei valori di velocità delle onde di taglio piuttosto bassi, indice di terreni a grana fine (limi e argille) da mediamente a scarsamente consistenti con profondità del substrato sismico ben superiore ai 30 metri.  
In particolare, nei comuni di Ravenna, Alfonsine, Conselice, Lugo e Cervia si presentano numerose prove con valori di Vs inferiori a 180 m/s cioè ricadenti entro categoria di suolo “D”, definita secondo NTC 2008 come segue:

“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30< 15 nei terreni a grana grossa e cu,30< 70 kPa nei terreni a grana fina)”.

Nelle NTC 2018, attualmente in vigore, tale definizione non è cambiata significativamente se non per l’esclusione di utilizzo dei parametri NSPT e Cu,30 per la determinazione del parametro Vs e per la definizione di un limite inferiore di velocità pari a 100 m/s, già peraltro utilizzato nelle NTC 2008 come limite di velocità superiore per la categoria speciale S1.

I rimanenti valori di Vs ricadono, come lecito aspettarsi in aree di pianura, entro la categoria di suolo “C” definita come segue secondo le NTC 2008 e rimasta invariata con le nuove NTC se non per quanto già visto precedentemente:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT, 30< 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu, 30<250 kPa nei terreni a grana fina)”

In generale si nota un trend di aumento delle Vs spostandosi dalla pianura settentrionale verso le aree più prossime alla collina come Faenza e Castel Bolognese che registrano valori medi di VS,30 attorno ai 300 m/s, contro i 220 m/s registrati nelle aree di pianura.

Questi valori però si registrano anche in corrispondenza delle aree collinari e montuose dei comuni di Brisighella, Casola Valsenio, Riolo Terme e Faenza dove il substrato, sottoforma di Vena del Gesso o Marnoso-Arenacea si ritrova a profondità inferiori ai 30 metri da p.c.. Perciò, in questi casi, si è ricorsi al calcolo di una cosiddetta VsH o Vs,eq come previsto peraltro dalle nuove NTC 2018, definita sino

all’incontro con il bedrock-sismico la cui profondità, come descritto al paragrafo 8.4.1, viene riportata nelle etichette dello shapefile e varia dai 4.7 m registrati a nord dell’abitato di Casola Valsenio fino ai 21 m di profondità definiti nell’area pedecollinare a sud di Faenza.  
Solo due misure di Vs hanno mostrato valori di velocità delle onde di taglio superiori ai 360 m/s, nel comune di Castel Bolognese, collocandosi entro la categoria di suolo “B” definita, secondo le NTC 2008 come segue:  
“Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30> 50 nei terreni a grana grossa e cu,30>250kPa nei terreni a grana fina)”



8.5 Carta delle microzone omogenee (MOPS)

Questo tematismo identifica le microzone ove, sulla base di osservazioni geologico/geomorfologiche e della valutazione dei dati litostratigrafici, è possibile definire l’insorgere o meno di effetti prodotti dal moto sismico quali l’instabilità di versante, la liquefazione o l’amplificazione dello scuotimento.

La carta delle MOPS costituisce la sintesi di tutte le informazioni di base, con particolare attenzione a quelle di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e geofisico.

8.5.1 Struttura dei dati

Il tematismo, rappresentato nel file “MOPS” presenta tre grandi classi così suddivise:

- 1. Zone stabili: aree in cui si registra la presenza di un substrato geologico rigido affiorante o sub-affiorante che non permette il verificarsi di fenomeni locali di amplificazione del moto sismico; in queste zone non si ipotizzano dunque effetti di alcuna tipo a parte lo scuotimento dovuto all’energia dell’evento;
- 2. Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: aree in cui si ipotizza il verificarsi di fenomeni di amplificazione dell’azione sismica dovuti a particolari condizioni geologiche, geomorfologiche o stratigrafiche;
- 3. Zone suscettibili di instabilità: aree caratterizzate dal verificarsi di deformazioni permanenti dovute ad eventi sismici quali liquefazione, instabilità di versante, cedimenti differenziali o sovrapposizione di effetti dei precedenti fenomeni.

Le aree soggette ad amplificazione locale sono state identificate con un codice progressivo a 4 cifre, da 2001 a 2027. Ogni codice corrisponde ad una stratigrafia di riferimento, utilizzata come base stratigrafica per le successive fasi di analisi sismica. Infine, il codice 2099, utilizzato nei comuni collinari della Romagna Faentina (Brisighella, Casola Valsenio e Riolo Terme) indica la presenza di un substrato alterato e fratturato che può quindi dare origine a fenomeni di amplificazione locali.

Da notare come la discretizzazione, essendo il frutto di studi diversi svolti a scala comunale, associ talvolta, ad un medesimo codice, una colonna stratigrafica di riferimento diversa. Per tale ragione è necessario, in assenza di una completa riorganizzazione e reinterpretazione delle microzone, tenere sempre in considerazione il codice numerico in abbinamento al comune che ha condotto lo studio al fine di poter rintracciare la sezione stratigrafica di riferimento.

Le aree suscettibili di instabilità sono rappresentate, per la maggior parte, da fenomeni di liquefazione e in misura minore da fenomeni di instabilità di versante, cedimenti differenziali e da sovrapposizione dei precedenti.

Il codice numerico a 4 cifre che descrive le zone di attenzione per fenomeni di liquefazione è 3050. Accompagnato a questo, come previsto dagli attuali standard di rappresentazione e archiviazione informatica di Microzonazione Sismica 4.1, si indica con ulteriori quattro cifre la zona di riferimento dal punto di vista stratigrafico, al fine di avere comunque un riferimento ad una determinata situazione stratigrafica da utilizzare per le analisi di risposta sismica locale.

Questo standard di archiviazione non è però stato utilizzato dai comuni appartenenti all’Unione della Bassa Romagna (il cui studio del 2015, risulta basato sui precedenti Standard di rappresentazione e archiviazione informatica 3.0) che hanno indicato solo il codice di 4 cifre (3050) relativo al tipo di instabilità, operando comunque una successiva divisione delle zone dal punto di vista della successione litologica (a, b, c, d, e, f). Per omogeneizzare il dato con quello derivante dagli altri comuni è stata assegnato ad ognuna delle lettere un codice standard a 4 cifre indicante la zona di appartenenza.

Così da ottenere le seguenti corrispondenze:

- Zona 3050(a) = 30502002;
- Zona 3050(b) = 30502003;
- Zona 3050(c) = 30502004;
- Zona 3050(d) = 30502011;
- Zona 3050(e) = 30502012;
- Zona 3050(f) = 30502013;

Le zone caratterizzate da instabilità di versante sono localizzate esclusivamente nelle porzioni collinari e montuose dei comuni della Romagna Faentina. Questo tipo di instabilità è descritta da un codice numerico a 4 cifre che indica lo stato e il tipo di fenomeno franoso secondo la Tabella 4:

Zone di Attenzione per Instabilità di versante ZAFR	1 - crollo o ribaltamento	2 - scorrimento	3 - colata	4 - complessa	5 - non definito
1 – attiva (FR_A)	301120xy	301220xy	301320xy	301420xy	301520xy
2 – quiescente (FR_Q)	302120xy	302220xy	302320xy	302420xy	302520xy
3 – inattiva (FR_I)	303120xy	303220xy	303320xy	303420xy	303520xy
4 – non definita (FR_ND)	304120xy	304220xy	304320xy	304420xy	304520xy

Tabella 4. Codifiche delle zone suscettibili di instabilità di versante (Standard di rappresentazione informatica MS 4.1)

Le ulteriori 4 cifre indicano la zona omogenea di appartenenza, in funzione di un determinato assetto litostratigrafico. Per i comuni in studio non sono presenti riferimenti alle zone omogenee e si è dunque fatto riferimento ad una codifica che mostra solo le prime quattro cifre, relative al tipo di instabilità.

Ulteriori tipi di instabilità riscontrati sono quelli relativi a Cedimenti Differenziali (ZACD) rappresentati dal codice 3080 e a sovrapposizione di Instabilità Differenti (ZAID) rappresentati dal codice 3070.

In Figura 21 è mostrato un estratto della carta delle MOPS.

L’attribute table (Tabella 5) dello shapefile contiene, oltre ai dati relativi alla zona (tipo\_z) e all’instabilità (tipo\_i), una descrizione testuale del tipo di zona (Tipo\_zona) e dell’eventuale tipo di instabilità presente (Descr\_i), nonché l’indicazione del comune di riferimento e dell’unione di cui risulta parte.

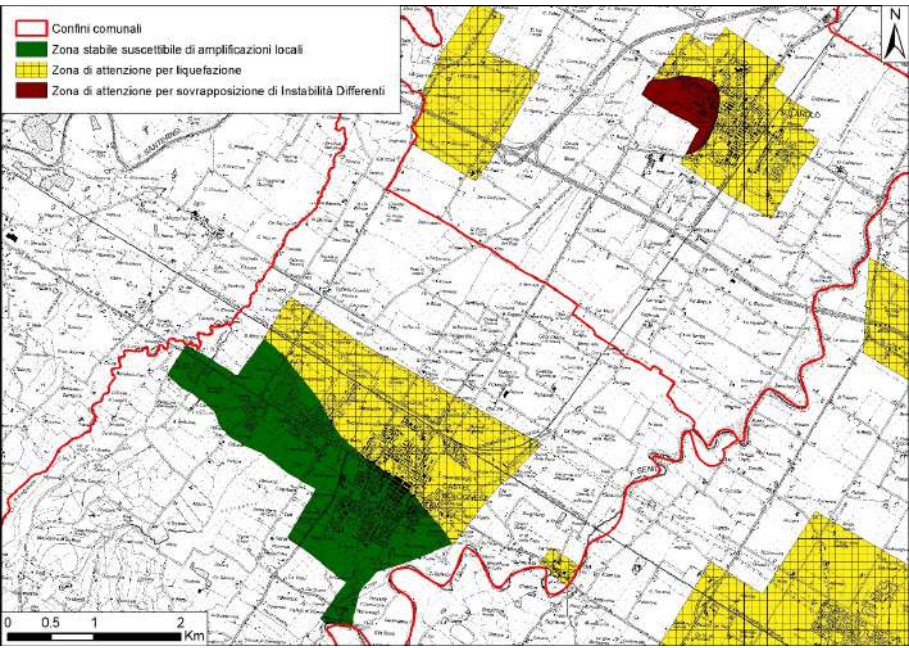


Figura 21. Estratto della carta delle MOPS tra i comuni di Faenza, Castel Bolognese e Solarolo

ID	Shape *	Comune	Unione	Tipo_z	Tipo_i	Descr_i	Tipo_Zona
176	Polygon	Brisighella	Romagna Faentina	2301	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
171	Polygon	Castel Bolognese	Romagna Faentina	2311	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
172	Polygon	Casola Valsenio	Romagna Faentina	2301	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
173	Polygon	Casola Valsenio	Romagna Faentina	2355	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
174	Polygon	Faenza	Romagna Faentina	2304	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
175	Polygon	Faenza	Romagna Faentina	2307	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
176	Polygon	Riolo Terme	Romagna Faentina	2305	0		Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
221	Polygon	Brisighella	Romagna Faentina	0	3011	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
222	Polygon	Brisighella	Romagna Faentina	0	3011	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
223	Polygon	Brisighella	Romagna Faentina	0	3011	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
276	Polygon	Faenza	Romagna Faentina	0	3012	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
371	Polygon	Riolo Terme	Romagna Faentina	0	3012	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
372	Polygon	Riolo Terme	Romagna Faentina	0	3012	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
373	Polygon	Riolo Terme	Romagna Faentina	0	3012	ZAFR_A	Zona di attenzione per instabilità di versante attiva

Tabella 5.Attribute table dello shapefile relativo alle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)



## 8.5.2 Analisi dei dati

Analizzando i dati relativi alla suddivisione delle aree provinciali indagate e discretizzate su base MOPS è possibile definire una presenza molto limitata di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, peraltro, concentrate quasi esclusivamente nel territorio dei comuni della Romagna Faentina, ovvero in ambito collinare. Ciò si verifica poiché nelle aree di pianura e costiere, in cui ricadono i comuni della Bassa Romagna, di Cervia e Ravenna le caratteristiche geologico-stratigrafiche dei terreni non permettono di definire la presenza estesa di zone stabili ma, al contrario, identificano molte aree come zone suscettibili di instabilità per liquefazione.

Ad esempio, i comuni di Ravenna, Alfonsine, Fusignano, Bagnacavallo e Solarolo non presentano nessuna zona stabile suscettibile di amplificazione locale ma solo zone suscettibili di instabilità per liquefazione.

In particolare, su circa 283 km<sup>2</sup> di territorio indagato (inteso come aree urbanizzate o urbanizzabili su cui si sono concentrati gli studi di MS comunale) non si registra nessuna area considerata stabile, ovvero con substrato rigido affiorante, solo 34 km<sup>2</sup> di zone stabili suscettibili di amplificazione locale e ben 249 km<sup>2</sup> di zone suscettibili di instabilità.

All'interno di questi 249 km<sup>2</sup> di zone di attenzione per instabilità è possibile eseguire una suddivisione dei tipi di instabilità come segue:

- Instabilità per liquefazione: 248 km<sup>2</sup>;
- Instabilità di versante: 0.3 km<sup>2</sup>;
- Instabilità per sovrapposizione di instabilità differenti: 0.4 km<sup>2</sup>;
- Instabilità per cedimenti differenziali: 0.06 km<sup>2</sup>.

### 8.5.2.1 Attenzione per instabilità e liquefazione

Questo tipo di instabilità, riprodotto con apposito tematismo a sé stante, rappresenta la caratteristica più frequente dei territori di pianura della provincia di Ravenna.

Tale criticità si verifica in presenza di orizzonti più o meno spessi di depositi granulari, che se saturi risultano potenzialmente liquefacibili.

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

Il fenomeno della liquefazione può essere ritenuto poco probabile e dunque non significativo ai fini degli effetti sulla stabilità di un terreno sottoposto ad azione sismica solo in presenza di almeno una tra le seguenti condizioni individuate dal D.M. 14/01/2008.

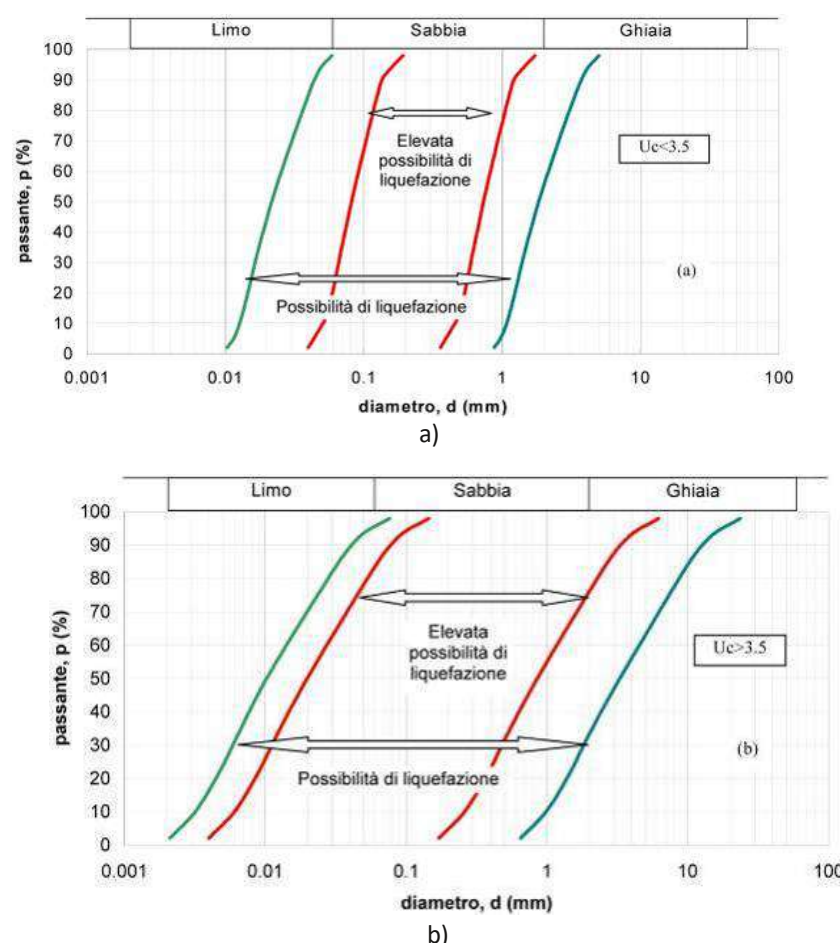
1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;

2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1g;

3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

4. Depositi costituiti da sabbie pulite, con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$ , dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e  $qc1N$  è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche statiche (CPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

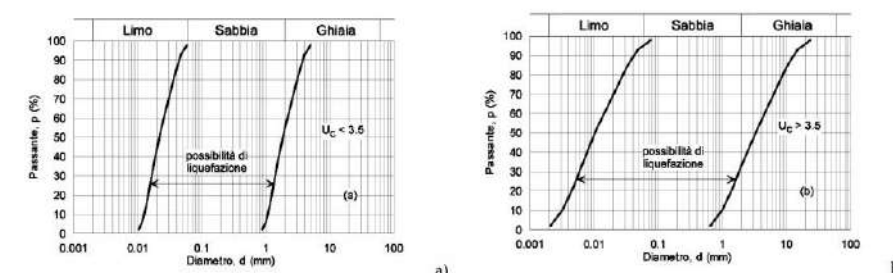


Il D.M. 17/01/2018, attualmente vigente, invece recita:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite, con resistenza penetrometrica

normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$ , dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e  $qc1N$  è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico (a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel grafico (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



In particolare, gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008) risultano maggiormente cautelativi in merito alla possibilità che un terreno manifesti instabilità per liquefazione in seguito ad un sisma, indicando, inoltre, due tipi di zone di attenzione per instabilità (ZALQ1 e ZALQ2).

Le ZALQ1 sono le zone nelle quali gli studi di livello 1 hanno verificato che esistono 4 condizioni predisponenti:

1. Terreni sabbiosi;
2. Falda a profondità inferiore a 15 m;
3.  $M_w$  attesa al sito  $> 5$ ;
4. Accelerazioni massime in superficie ( $PGA$ )  $> 0.1g$ .

Le ZALQ2 sono zone in cui sussistono solo le prime 3 condizioni, mentre per la quarta ( $PGA > 0.1g$ ) è necessaria una verifica nei livelli di approfondimento superiori.

Il territorio in studio, ad esclusione delle aree classificate come stabili suscettibili di amplificazione locale, ricade, in base alle condizioni predisponenti appena descritte, all'interno delle zone di attenzione per liquefazioni di tipo 1 (ZALQ1).

Si rimanda dunque agli approfondimenti di Microzonazione Sismica di 3 livello, a scala comunale, per l'analisi puntuale delle verticali di indagine e delle caratteristiche, in termini di potenziale di liquefazione, per le aree individuate in questo livello di studio.



### 8.5.2.2 Attenzione per instabilità di versante

Le zone di attenzione per instabilità di versante si concentrano ovviamente nei comuni di Casola Valsenio, Brisighella, Riolo Terme e Faenza e rappresentano aree piuttosto limitate in termini di estensione, entro le quali lo scuotimento sismico può generare situazioni ad alto rischio legate all'innescò di fenomeni franosi collegati comunque a contesti di versante instabile.

Come già visto le zone di attenzione per instabilità di versante sono state suddivise in funzione dello stato di attività dei fenomeni (attivi o quiescenti) mostrati con diversa colorazione (Figura 22 relativa al comune di Brisighella). Si nota in questo caso come l'area di attenzione per instabilità attiva interessi proprio la parte alta e più antica dell'abitato, in corrispondenza della rupe che sovrasta il paese, formata da un affioramento di Evaporiti Messiniane appartenenti alla Vena del Gesso Romagnola, instabili per fenomeni di crollo e/o ribaltamento di blocchi. Situazione analoga si registra sulle rive del Lamone in località Fognano, dove le sponde del corso d'acqua risultano instabili per crollo e/o ribaltamento di blocchi.

Una situazione critica si è registrata infine a sud dell'abitato di Casola Valsenio, dove anche la cartografia di MS indica una zona di attenzione per instabilità attiva legata al movimento traslativo in blocco in Marnoso-Arenacea che ha coinvolto, nel febbraio 2015, la sponda sinistra del Fiume Senio, coinvolgendo anche parte del campo da calcio. In caso di evento sismico quest'area costituisce senza dubbio una zona di attenzione per il verificarsi di eventuali ulteriori fenomeni o di arretramenti dell'attuale coronamento di frana.

Gli ulteriori fenomeni attivi, localizzati principalmente nel comune di Riolo Terme, non risultano, allo stato attuale, interessare direttamente porzioni di territorio urbanizzato o di infrastrutture viarie principali.

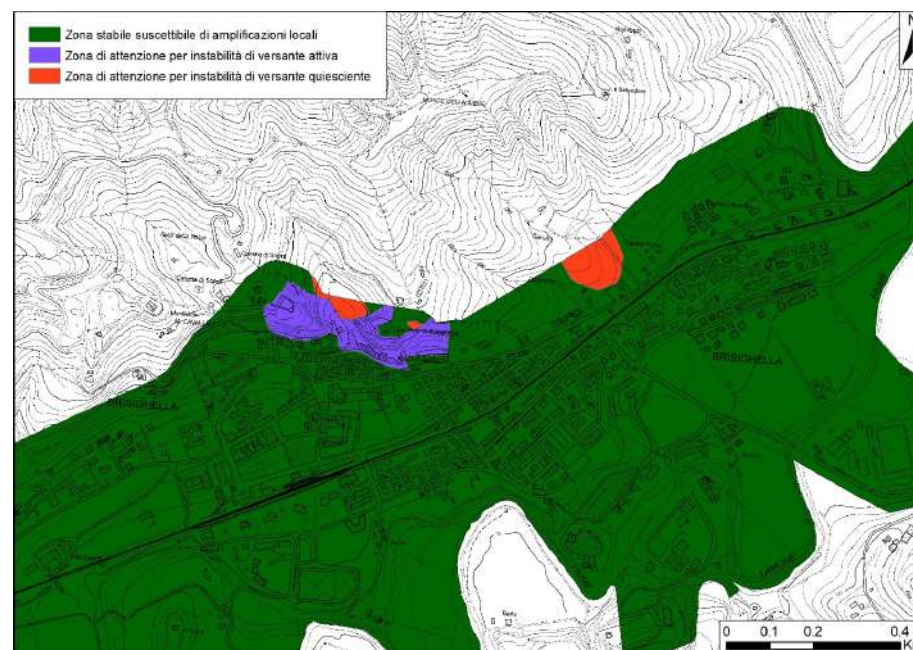


Figura 22. Esempio di cartografia di zone di attenzione per instabilità attiva e quiescente

### 8.5.2.3 attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti

Questo tipo di instabilità si presenta esclusivamente entro il territorio urbanizzato del comune di Solarolo. Quest'area, visibile in colore marrone in Figura 21, rappresenta una zona di attenzione per liquefazione e per cedimenti post-sisma. I terreni mostrano tessiture prevalentemente fini, poco consistenti e probabilmente a componente organica con presenza di livelli liquefacibili (>40 cm) fino a 10 metri di profondità.

### 8.5.2.4 Attenzione per instabilità da cedimenti differenziali

Questo tipo di instabilità viene rilevata esclusivamente in due piccole porzioni di territorio nel comune di Faenza. Alla base di questa perimetrazione di zona instabile vi è la presenza di aree contraddistinte da terreni di riporto di origine antropica costituiti da materiali generalmente grossolani (es: scarti di materiali edili) frammisti a materiale fine. Essi sono il risultato del ritombamento di vecchie aree di cava. Ovviamente, a causa dell'eterogeneità dei materiali e del grado di compattazione variabile, in caso di sisma questi depositi possono sviluppare fenomeni di cedimento differenziale che compromettono la stabilità delle strutture.