



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Regione Emilia Romagna Comune di Coli



Regione



Studio realizzato con il contributo regionale (determina n. 13338/2021) reso disponibile con DGR 566/2021

Soggetto realizzatore



GEOINVEST s.r.l.
Geologia-Geofisica
Via della Conciliazione 45/A Piacenza
geoinvest@geoinvest.it - 0523 593622

Data

gennaio 2023

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Inquadramento geografico.....	4
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	Caratteristiche sismotettoniche.....	4
2.2	Sismicità del territorio.....	9
2.3	Classificazione sismica comunale.....	10
3	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	12
3.1	Inquadramento geologico.....	12
3.2	Inquadramento geomorfologico.....	19
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	21
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	22
6	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	24
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	24
8	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	25
8.1	Carta delle indagini.....	25
8.2	Carta Geologico-Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS).....	26
8.3	Carta delle frequenze naturali (f_0) dei terreni.....	28
8.4	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS).....	30
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s).....	34
8.6	Carte di Microzonazione Sismica di secondo livello (Carta di MS).....	35
8.7	Carte della distribuzione dei valori di H_{SM}	39
9	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	40
10	BIBLIOGRAFIA.....	40
11	ALLEGATI.....	42

1 INTRODUZIONE

A seguito dell'incarico ricevuto dall' Unione Montana Valli Trebbia e Luretta - Bobbio (PC), con Determina n.63 del 05/10/2021, sono state condotte le analisi geologiche e geofisiche a supporto del presente Studio di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 2, per il territorio del Comune di Coli (Provincia di Piacenza).

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza nonché alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla distribuzione degli eventuali fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma e di amplificazione sismica stratigrafica, legati cioè alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle aree considerate.

L'insieme di queste conoscenze riguardanti il comportamento dei terreni durante un evento sismico e gli effetti indotti dall'evento stesso è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace se realizzato e applicato durante la fase di pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

Tutte le attività svolte, in particolare l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.2, Roma, dicembre 2020.
- “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” (ICMS) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome nel 2008 più le successive modifiche e integrazioni.

Il presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 2, in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati, mira a:

- approfondire le indagini nelle aree zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e nelle zone suscettibili di instabilità, definite al Livello 1 di approfondimento.
- quantificare, per le zone di cui sopra, l'amplificazione locale del moto sismico di base mediante differenti fattori di amplificazione.
- fornire una stima del parametro di pericolosità H_{SM} .

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato il plugin MzSTools di QGIS, sviluppato nel Laboratorio GIS dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) del CNR di Roma (<https://plugins.qgis.org/plugins/MzSTools/>).

I dati cartografici sono stati allestiti in formato vettoriale (*shapefile*) e gli elaborati sono stati prodotti in versione digitale (pdf con risoluzione di 300 dpi).

Le aree oggetto di MS presentano una superficie complessiva di 4.36 km², corrispondente a circa il 4.3% dell'intero territorio comunale (101.59 km²).

1.1 Inquadramento geografico

Il territorio del Comune di Coli (Fig. 1), situato nel settore sud-occidentale della provincia di Piacenza, ricade nell'ambito dei primi contrafforti montani dell'Appennino piacentino, con una altimetria compresa tra 182 e 1.428 m s.l.m.

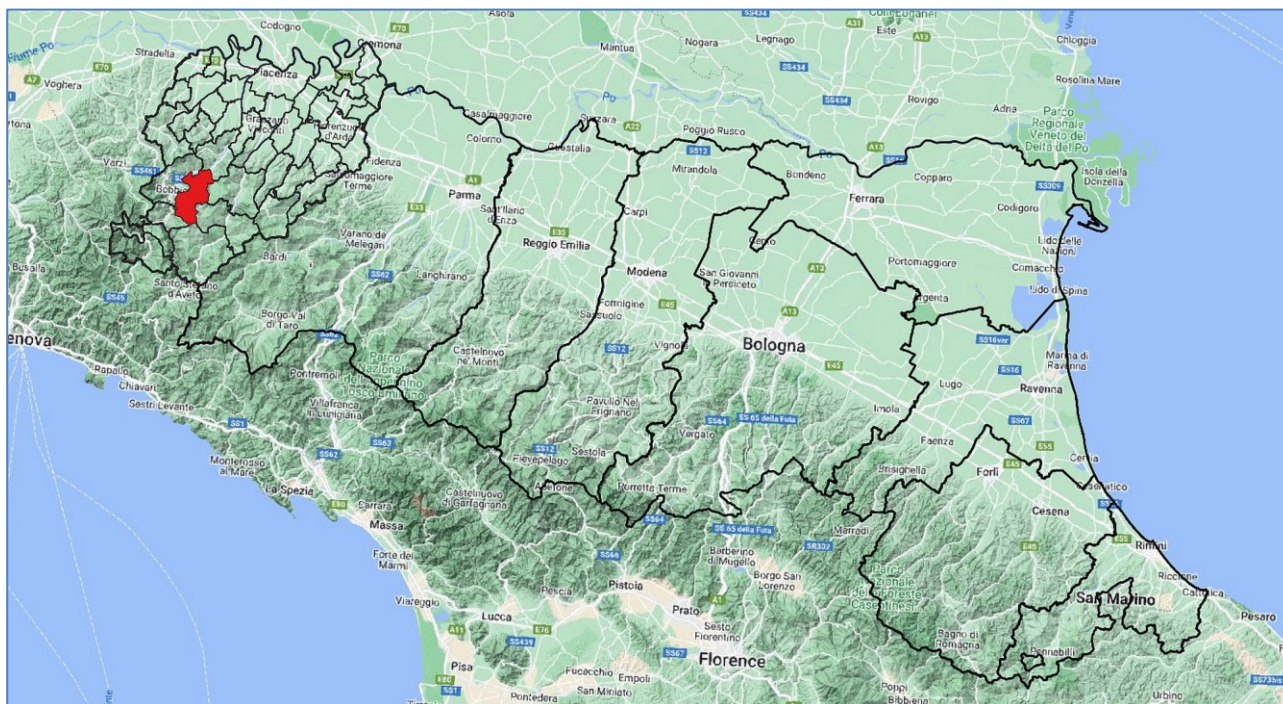


Fig. 1. Ubicazione su mappa del rilievo Google Earth dell'area oggetto di studio (in rosso).

Dal punto di vista amministrativo confina:

- a nord, con il Comune di Travo;
- a est, con il Comune di Bettola;
- a sud-est, con il Comune di Farini;
- a sud, con il Comune di Ferriere
- a sud-ovest, con il Comune di Corte Brugnatella;
- a ovest con il Comune di Bobbio.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Caratteristiche sismotettoniche

Un elemento fondamentale nella valutazione del rischio sismico di un'area è l'identificazione delle faglie attive: infatti, molte di esse sono considerate sorgenti sismiche, sebbene esistano anche strutture a scorrimento lento asismico (fault creep o tectonic creep).

Nelle faglie attive lo scorrimento istantaneo dei due blocchi, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni: a tali strutture sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Normalmente, una faglia si definisce attiva se vi è la possibilità che essa si muoverà in futuro. D'altra parte, le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono attivate nelle fasi più recenti della storia geologica.

Perciò, una delle definizioni più comunemente accettate è quella della U.S Nuclear Regulatory Commission (1982), che definisce attive le faglie che presentano: un'attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due attivazioni negli ultimi 500.000 anni.

La Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:250.000, che può essere considerata lo schema di sintesi dell'attività neotettonica in Emilia-Romagna, oltre che individuare le strutture potenzialmente sismogenetiche offre anche un quadro delle relazioni esistenti fra l'attività tettonica attuale e i rischi naturali (Fig.2).

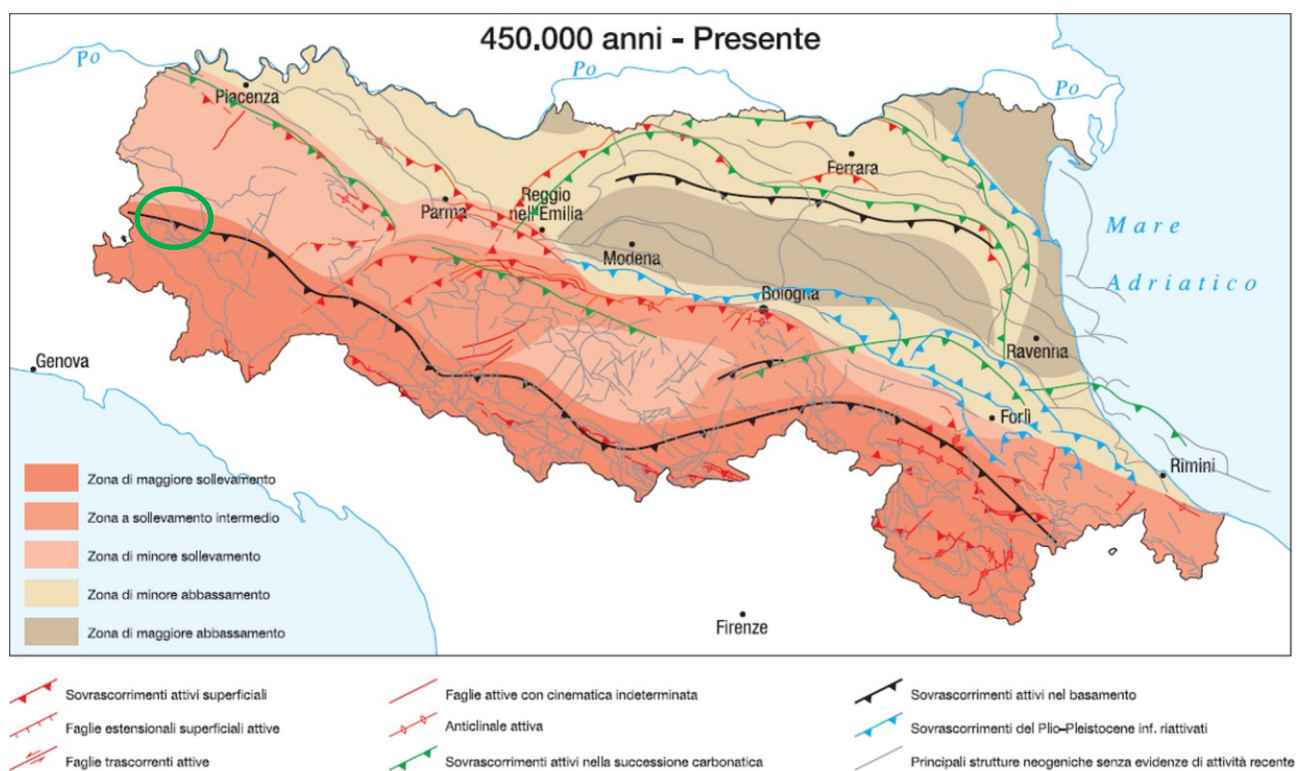


Fig. 2. Schema di sintesi sull'attività neotettonica in Emilia-Romagna; con ellisse verde è individuata l'area di Coli.

Esaminando la Carta Sismotettonica emerge che le zone a maggiore sollevamento, con tassi >1 mm/anno, sono situate nella parte alta della catena appenninica, che corrisponde al settore a monte del principale raddoppio crostale, a conferma dell'attività di questa struttura.

L'area a sollevamento intermedio, con tassi ≥ 1 mm/anno, corrisponde al settore immediatamente retrostante la struttura superficiale che da Bologna si estende verso NW fino alla valle del Taro.

Le aree a minore sollevamento (<1 mm/anno) si collocano immediatamente a valle del raddoppio crostale.

In pianura, le zone di minore abbassamento, con tassi <1 mm/anno, corrispondono alle aree maggiormente interessate dalle strutture attive sepolte. In particolare, il sistema attivo delle Pieghe Emiliane a nord di Parma corrisponde al limite tra la zona di minore sollevamento della catena e la zona di minore abbassamento della pianura.

La sismicità legata alle strutture superficiali, con ipocentri a una profondità mediamente inferiore a 15 km, risulta molto diffusa in catena e più localizzata in pianura, soprattutto in corrispondenza della dorsale ferrarese. I meccanismi focali calcolati risultano compressivi e trascorrenti e indicano direzioni di compressione sia NE-SW che NW-SE. I meccanismi focali distensivi sono nettamente secondari; si ha quindi che la cinematica delle principali strutture attive superficiali è di tipo transpressivo.

La sismicità crostale, con ipocentri mediamente compresi tra 15 km e 35 km, mostra una distribuzione simile a quella più superficiale, ma con una densità inferiore. Anche in questo caso i meccanismi focali risultano compressivi e trascorrenti, con direzioni di compressione sia NW-SE che NE-SW, e i meccanismi distensivi sono rari e ben localizzati.

La sismicità più profonda, con ipocentri oltre i 35 km, è sempre diffusa nel settore di catena e in corrispondenza del margine appenninico-padano e decisamente meno diffusa in pianura. I meccanismi focali calcolati sono in accordo con quanto riscontrato nei livelli strutturali superiori. Ne risulta così un modello geodinamico attivo, in cui le strutture superficiali delle coperture, quelle crostali nonché quelle del mantello, sebbene tra loro distinte, sono tutte coerenti fra loro e ascrivibili a un sistema transpressivo.

In Fig. 3 è riportata la distribuzione delle strutture attive della copertura, della crosta e del mantello, quindi una zonazione delle aree che maggiormente risentono della loro attività (in rosso).

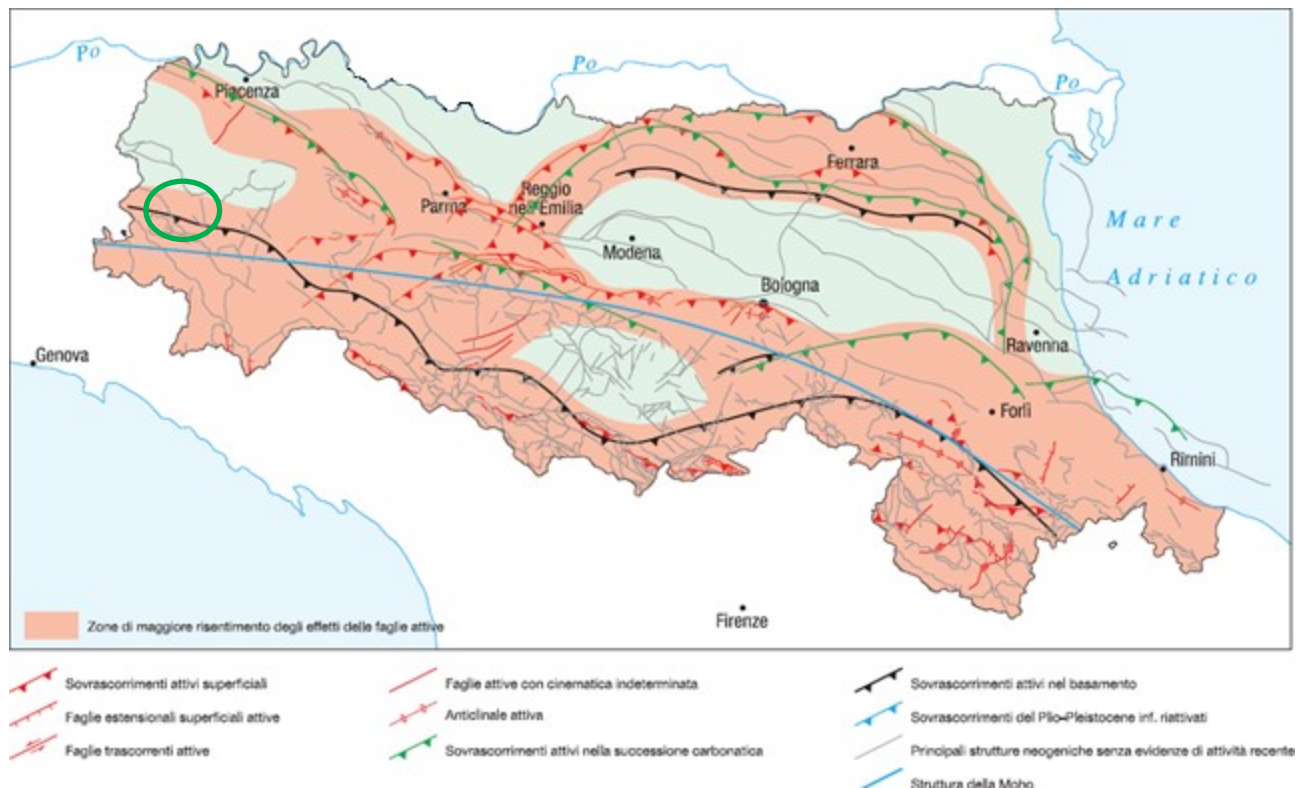


Fig. 3. Zonazione delle aree che maggiormente risentono delle faglie attive; con ellisse verde è individuata l'area di Coli.

Per questa zonazione gli autori hanno tenuto in considerazione anche gli effetti superficiali quali: il sollevamento in catena, l’abbassamento in pianura e la frequenza dei fenomeni franosi. Il comune di Coli è situato in buona parte in una zona di maggior risentimento degli effetti delle faglie attive.

Lo stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna comprendente il Comune di Coli è riportato in Fig. 4.

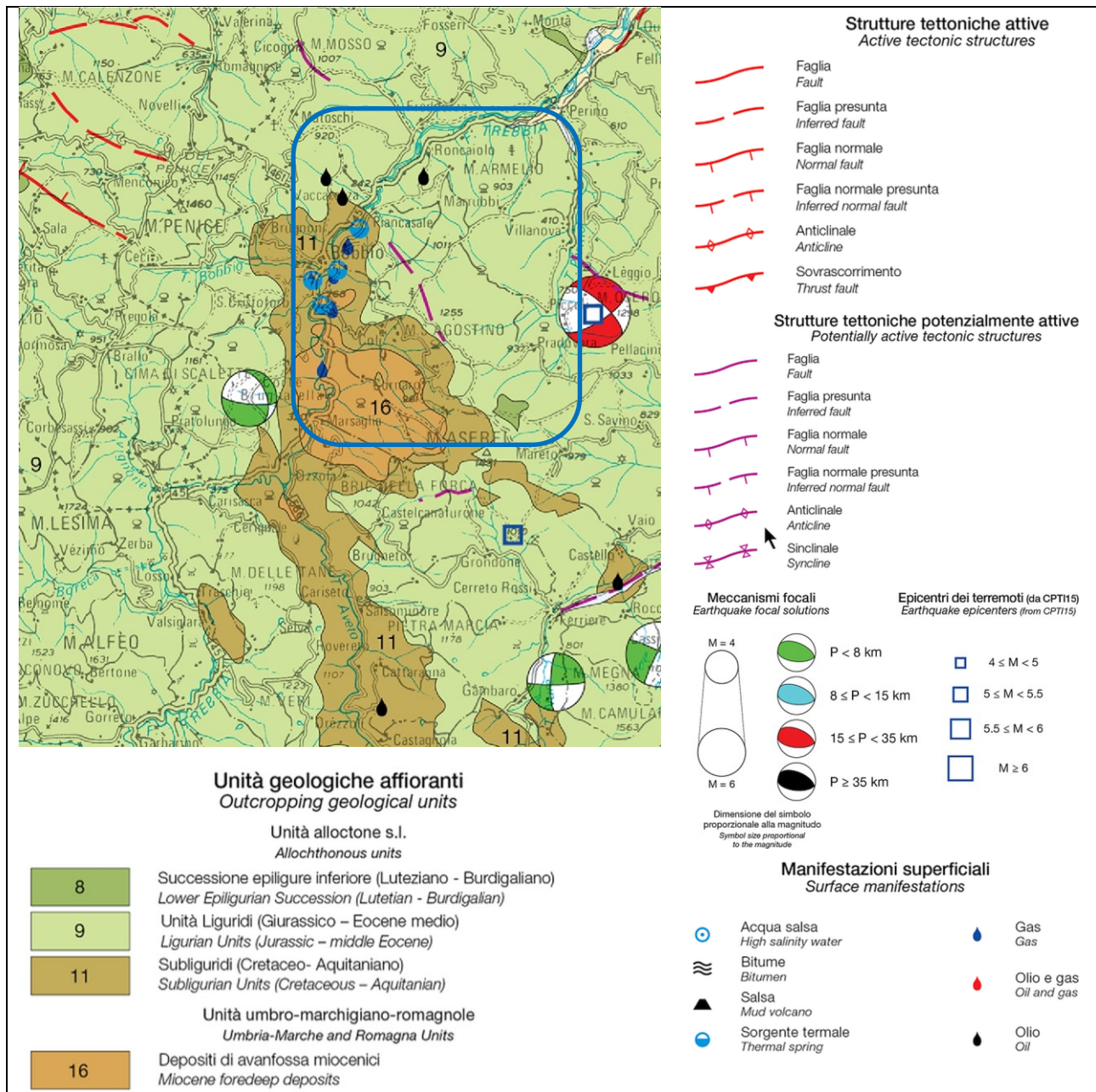


Fig. 4. Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna comprendente il Comune di Coli.

Un catalogo delle sorgenti sismogenetiche e delle faglie attive e capaci è costituito dal DISS 3.3.0 (rev. dicembre 2021), ossia il “Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane”, che comprende le sorgenti potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a Mw 5.5 nell’area italiana.

Con riferimento all’immagine di

Fig. 5, le sorgenti sismogenetiche nell'intorno dell'area di studio, le quali sono connesse con la subduzione denominata [ITSD002](#), sono le seguenti:

- [ITCS018 - Rivanazzano-Stradella](#), con magnitudo massima attesa $M_W = 6.8$;
- [ITCS044 - Portalbera-Cremona](#), con una magnitudo massima attesa $M_W = 6.7$;
- [ITCS045 - San Giorgio Piacentino-Fornovo di Taro](#), con una magnitudo massima attesa $M_W = 7.2$;
- [ITCS026 - Lunigiana](#), con una magnitudo massima attesa $M_W = 7.0$.

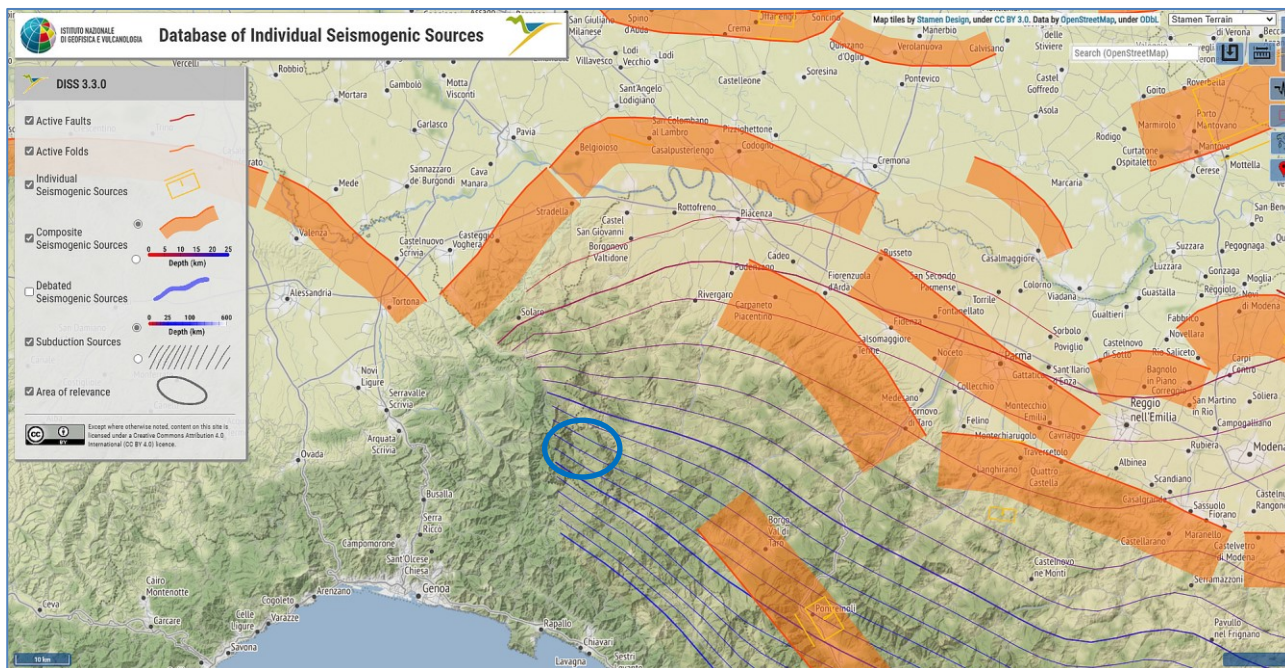
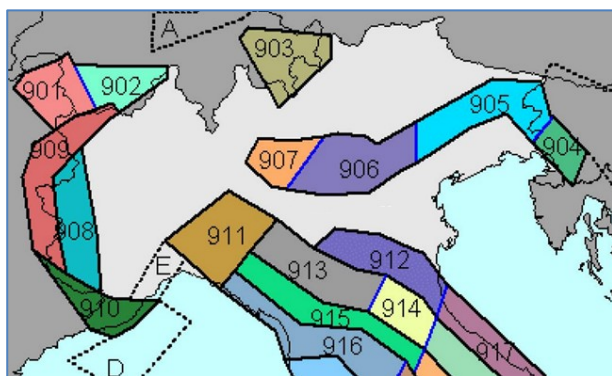


Fig. 5. Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.3.0; con ellisse blu l'area oggetto di interesse.

Allo scopo di associare la sismicità dell'area ai meccanismi responsabili dell'innescio dei terremoti, si è fatto riferimento alla Zonazione Sismogenetica ZS9 (a cura del gruppo di lavoro coordinato da C. Meletti e G. Valensise, 2004).

Il Comune di Coli ricade nella zona 911 (Fig. 6), che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso relative. Si suppone che la funzione delle strutture comprese all'interno di tale zona sia di "svincolo" cinematico del sistema supposto in migrazione.



L'area mostra una non trascurabile sismicità (magnitudo massima osservata $M_W \approx 5,7$), la fagliazione è prevalentemente di tipo trascorrente lungo strutture trasversali.

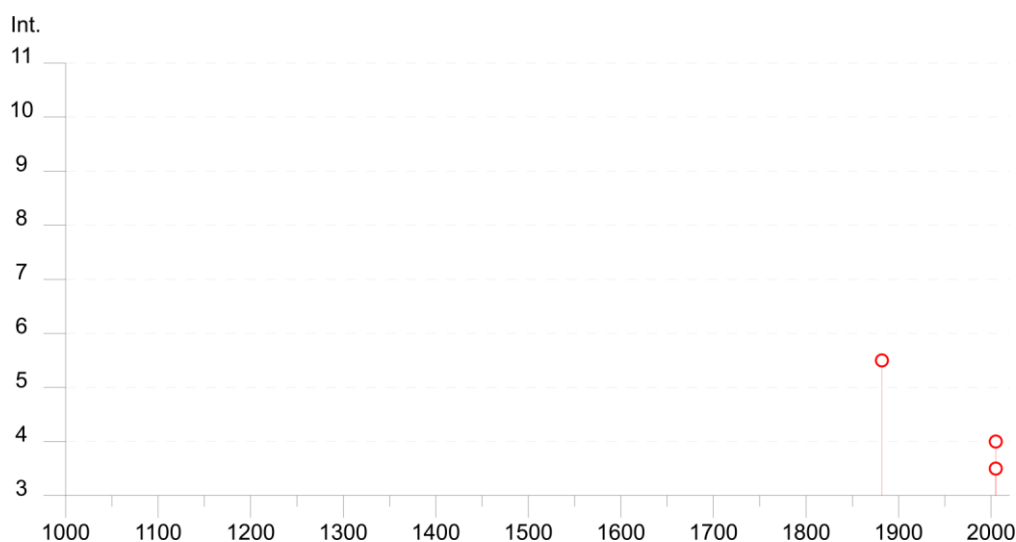
Fig. 6. Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9.

2.2 Sismicità del territorio

Nella valutazione della pericolosità sismica di una determinata area occorre, in primo luogo, definire la pericolosità di base attraverso una corretta analisi della sismicità, evidenziando sia la distribuzione spazio-temporale degli eventi sia l'intensità degli stessi; in secondo luogo, occorre effettuare una valutazione della pericolosità locale determinata dagli aspetti geologico-morfologici del territorio.

La storia sismica comunale è stata dedotta dal database DBMI15 (v. 4.0, aggiornato al gennaio 2022), utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15 v4.0, aggiornato al gennaio 2022), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative all'abitato di Coli.

Nella tabella di Fig. 7 sono elencati gli eventi che hanno interessato il comune di Coli; per ciascuno di essi è indicato: l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Ho), il minuto (Mi) ed, eventualmente, il secondo (Se) in cui l'evento si è verificato, nonché la denominazione dell'area epicentrale, il numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	1882	02	15	05			Val Borbera	18	6	4.77
4	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
3-4	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Fig. 7. Eventi sismici verificatisi con effetti in corrispondenza del territorio di Coli (DBMI15).

Dalla lettura delle informazioni tabellate si evidenzia che per Coli la massima intensità al sito secondo la scala MCS (colonna Int.) si è registrata in occasione dell'evento del 15/02/1882 con area epicentrale in Val Borbera.

Tale valutazione trova riscontro anche in un altro studio elaborato per il Dipartimento dalla Protezione Civile, a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise: "Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani", determinate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA.

La valutazione fatta da Regione Emilia-Romagna inserisce il territorio di Coli nella classe “6-7” (Fig. 8).

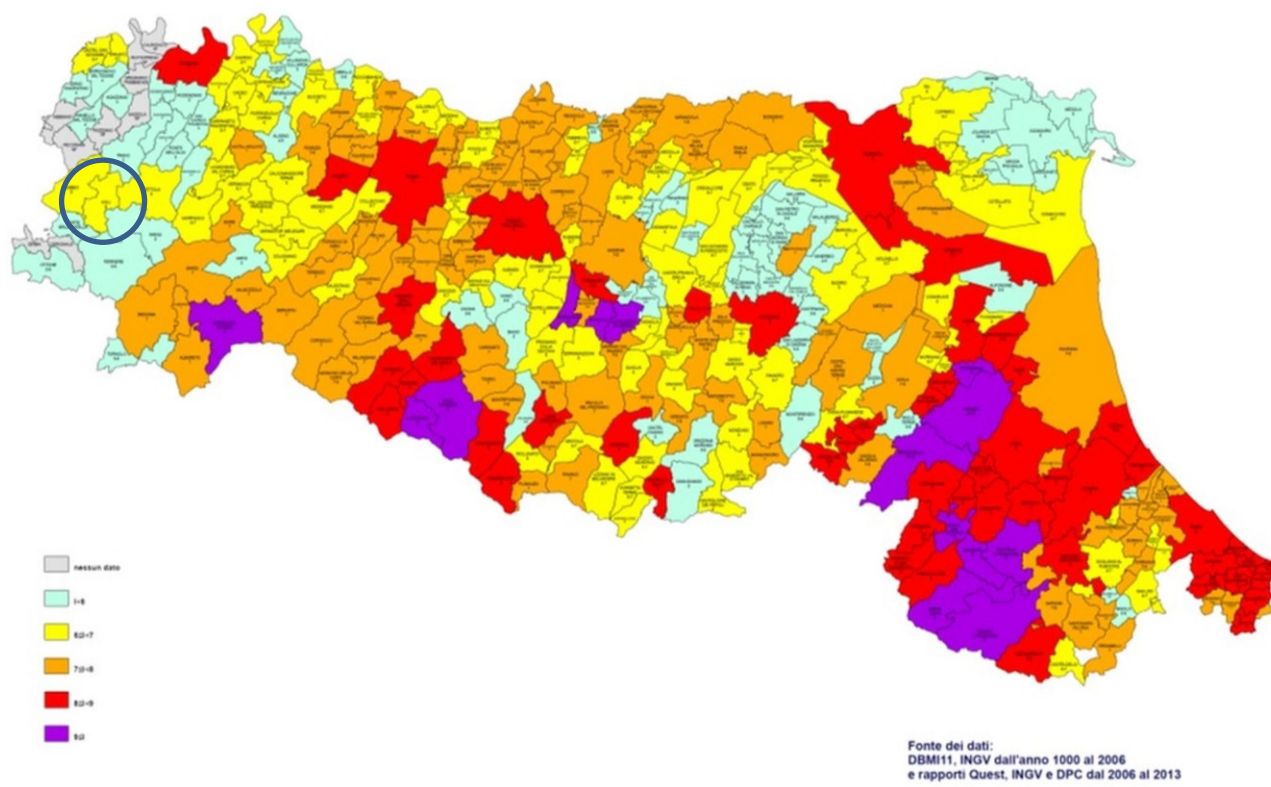


Fig. 8. Carta delle massime intensità macrosismiche risentite in Emilia-Romagna (1000-2017).

2.3 Classificazione sismica comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, che utilizza e aggiorna la precedente, proposta nel 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), contemplate nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione. Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Fig. 9).

Di fatto, vengono eliminate le aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, ad ogni area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

La Regione Emilia-Romagna, con [DGR 1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"](#), ha aggiornato quanto definito nella precedente classificazione (Fig. 10).

La classificazione vigente identifica il Comune di Coli in zona 3, a cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0,05g e 0,15g.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15g
4	$\leq 0,05g$	0,05g

Fig. 9. Zona sismica - Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g).

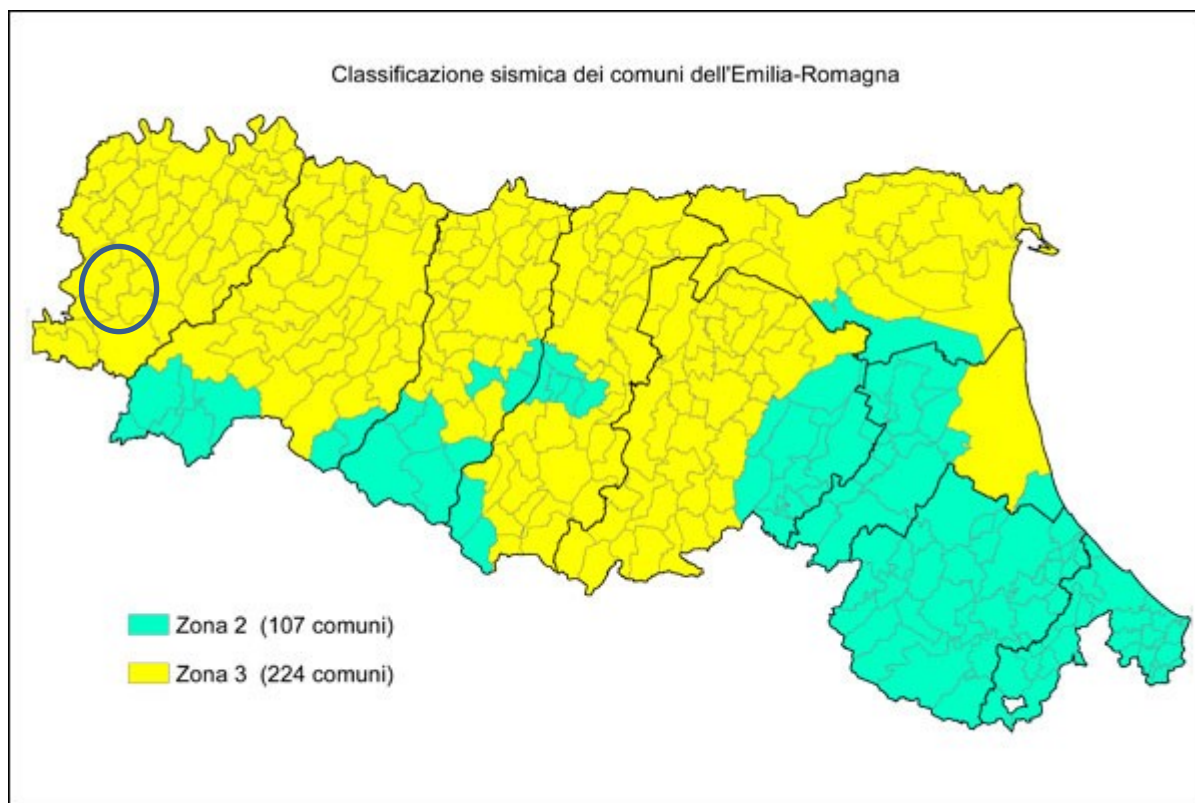


Fig. 10. Classificazione sismica della Regione Emilia-Romagna, 2018.

Con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico, in adempimento agli obblighi della normativa nazionale, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 112 del 2 maggio 2007, ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000: "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". L'atto di indirizzo è stato aggiornato con DGR n° 2193/2015 e, più recentemente, con DGR n° 630/2019, cui seguono aggiornamenti parziali del solo Allegato 4 con DGR n° 476/2021 (e integrazione DGR 564/2021).

Scopo di tali documenti è quello di fornire i criteri per la microzonazione sismica del territorio, in modo da orientare le scelte verso le aree caratterizzate da minore pericolosità sismica, e per l'individuazione delle aree per soggette a effetti locali.

In questi documenti si afferma che la pericolosità sismica dipende sia dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, ossia dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti (aspetti comunemente indicati come "pericolosità sismica di base"), sia dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio. Queste ultime infatti possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire

elementi predisponenti al verificarsi di effetti locali quali: fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (aspetti comunemente indicati come “pericolosità sismica locale”).

Conseguentemente, gli studi della pericolosità sismica hanno come obiettivo:

- l'individuazione delle aree dove, in occasione dei terremoti attesi, possono verificarsi effetti locali;
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale (Microzonazione Sismica, MZ);
- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine (Analisi della Risposta Sismica Locale, RSL).

Per questi studi sono previsti diversi livelli di approfondimento:

- Livello 1: volto a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè a identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

Sulla base dei risultati della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

- Livello 2: un'analisi semplificata è richiesta per la predisposizione e approvazione degli strumenti generali di pianificazione urbanistica comunale.
- Livello 3: un'analisi approfondita
 - può essere svolta dal Comune nell'ambito della predisposizione e approvazione degli strumenti generali di pianificazione urbanistica comunale, al fine di accertare gli effettivi fattori limitanti o condizionanti le trasformazioni urbane presenti in detti areali;
 - è comunque richiesta obbligatoriamente per la predisposizione e approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica attuativa che prevedano la localizzazione e l'attuazione in detti areali dei seguenti interventi:
 - 1. nuove urbanizzazioni;
 - 2. l'addensamento e la sostituzione urbana
 - 3. la ristrutturazione urbanistica
 - 4. edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli interventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

3 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico

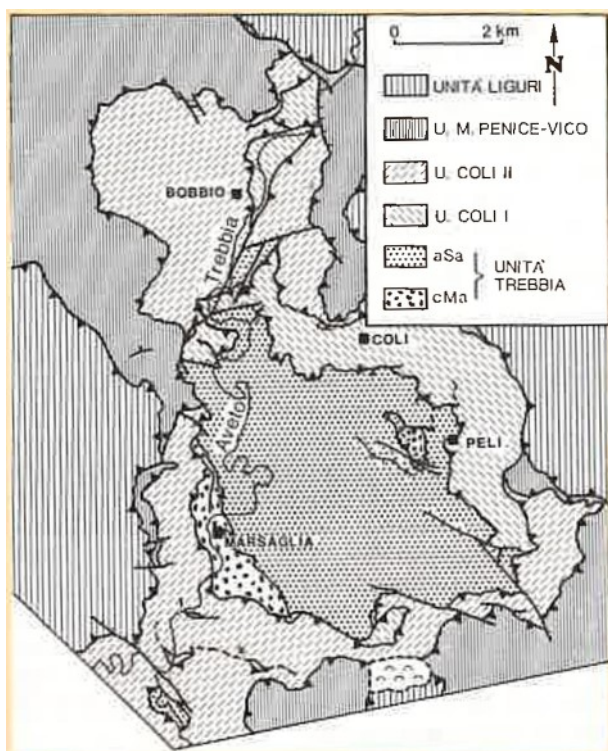
L'Appennino Settentrionale è il risultato della sovrapposizione tettonica di due grandi insiemi, diversi per litologia, struttura ed origine paleogeografica: un Insieme Esterno Umbro-toscano e un Insieme Interno Ligure-emiliano.

L'insieme Esterno è costituito essenzialmente da uno zoccolo continentale appartenente alla Placca Apula (Adriatico-Padana) su cui poggiano, anche se scollate e deformate, le successioni mesozoico-terziarie che ne rappresentano l'originale copertura sedimentaria.

L'insieme Interno consta di una serie di unità tettoniche che si sono invece originate in un oceano – e per questo motivo si riscontra la presenza di ofioliti, rocce ignee basiche e ultrabasiche tipiche della litosfera oceanica - e sulla parte più assottigliata dei margini continentali adiacenti.

Queste unità hanno comunque abbandonato il loro substrato originario, che è scomparso in subduzione, per sovrascorrere da ovest verso est (vergenza appenninica) l'Insieme Esterno, il quale ha avuto il ruolo di avampaese, andando a costituire una coltre alloctona.

La catena deriva quindi dalla complessa deformazione di sedimenti deposti in differenti domini paleogeografici meso-cenozoici: il **Dominio ligure**, corrispondente in larga misura all'area oceanica, il **Dominio epiligure**, che si imposta a partire dall'Eocene medio sulle unità liguri già tettonizzate, il **Dominio subligure**, sviluppato sulla crosta assottigliata africana adiacente alla zona oceanica, e il **Dominio tosc-umbro**, di pertinenza africana.



Dal punto di vista strutturale, il Comune di Coli insiste in parte su di una delle strutture più significative dell'Appennino settentrionale, definita "Finestra di Bobbio".

Tale struttura è immaginabile come una vasta antiforمة di unità tettoniche orientata in direzione NNW-SSE in corrispondenza della quale affiorano i livelli strutturali più profondi. Ecco che, al di sotto delle Unità Liguri e Subliguri più antiche, affiorano le unità più recenti riferibili al Dominio Toscano, come rappresentato in Fig. 11.

Fig. 11. Schema geologico della "Finestra di Bobbio", in cui sono rappresentate: Unità liguri, Unità Subliguri (U.M. Penice e Vico) e Unità Toscane (Unità Trebbia con le sottounità di Coli e di Bobbio).

In Fig. 12 è riportato un estratto della Carta Geologica di Sintesi della Regione Emilia-Romagna, in cui è possibile osservare che l'area oggetto di studio è costituita da domini prevalentemente liguri nella maggior parte del suo areale e da domini subliguri e tosc-umbri nella sua porzione meridionale ("Finestra di Bobbio").

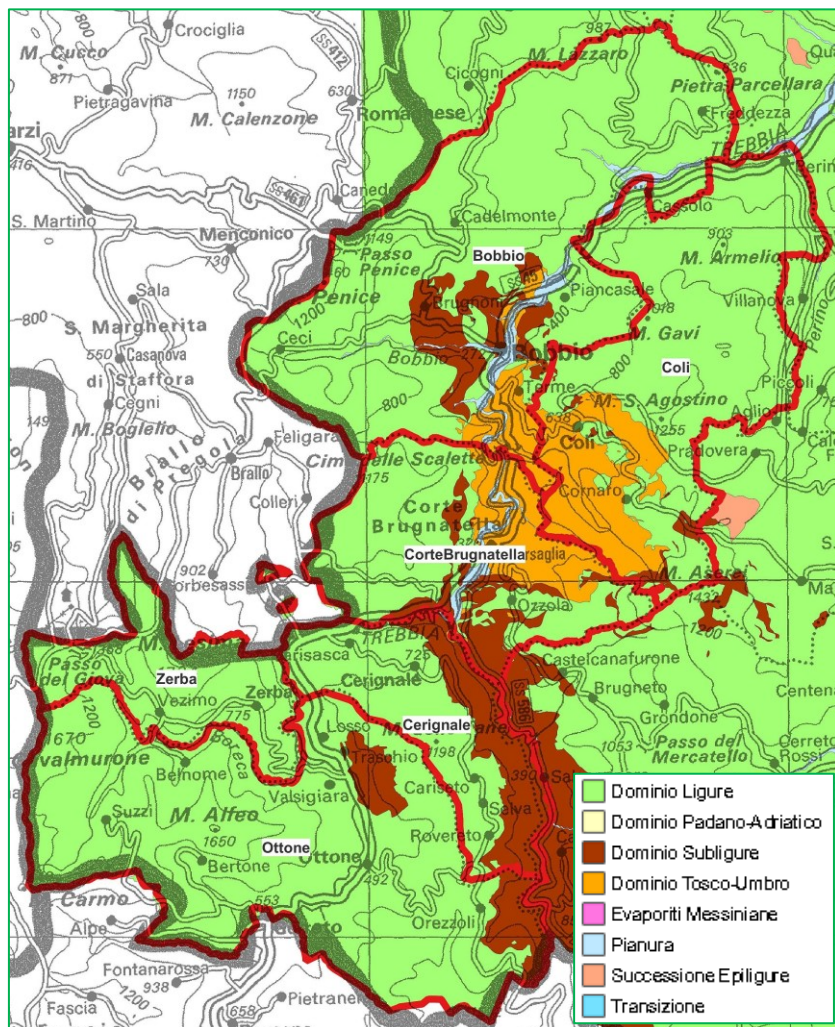


Fig. 12. Estratto della Carta Geologica di sintesi della Regione Emilia-Romagna (fuori scala).

Nell'ambito del territorio comunale tali domini sono rappresentati, da nord a sud, dalle seguenti unità litostratigrafiche principali (Fig. 13):

- Unità appartenenti al Dominio Toscano

Unità Tettonica Trebbia: comprendente una Sottunità Coli (Miocene inf.) costituita da **Marne di Monte La Croce (MMC)** affiorante nell'area occidentale del territorio ed una Sottunità Bobbio (Miocene inf.), costituita dalla **Formazione di Bobbio (BOB)** e presente nella zona sud-occidentali del territorio comunale ("Finestra di Bobbio").

- Unità appartenenti al Dominio Ligure

Unità Tettonica di Bettola, comprendente **Flysch di Bettola (BET)** (Cretacico sup.), la **Formazione di Val Luretta (VLU)** (Paleocene-Eocene), affioranti solo nell'area settentrionale del territorio in esame;

Unità Tettonica Cassio: Arenarie di Scabiazza (**SCB**) (Cretacico Sup.) che si individua nella parte nord-occidentale del territorio comunale assieme alle Argille a Palombini (**APA**);

Unità Tettonica Monte delle Tane: comprendente il **Complesso del Monte Ragola (MRA)** (Cretacico sup.), presente a livello comunale nell'area centrale;

- Unità appartenenti al Dominio Subligure:

Unità Tettonica Canetolo: comprendente una Sottounità Penice (Paleocene – Eocene medio), costituita dal **Flysch di Monte Penice (PEN)** e affiorante nell'area occidentale del territorio, ed una Sottounità Vico (Eocene inf. - medio), costituita dal **Flysch di Vico (FVI)** e dalle **Argille e Calcari di Canetolo (ACC)**, presenti nelle zone occidentali e sud-orientali del Comune ("Finestra di Bobbio").

Di seguito vengono descritte le unità principali sopracitate, insieme ad altre unità che affiorano in lembi isolati sul territorio comunale:

Il **Flysch di Bettola (BET)** è caratterizzato da marne calcaree, calcari marnosi e marne grigie a base arenitica in strati prevalentemente spessi, molto spessi e in frequenti banchi. Sono presenti intercalazioni di argilliti scure prive di carbonato di calcio in strati molto sottili e di arenarie medio-fini e peliti in strati medio-sottili. Al tetto della formazione vi sono calcilutiti e calcari marnosi bianchi in strati spessi e molto spessi. Si tratta quindi di torbiditi carbonatiche, torbiditi silicoclastiche ed emipelagiti bacinali.

La **Formazione di Val Luretta (VLU)**, appartenente al Dominio ligure, è costituita torbiditi di bacino relativamente profondo ed è una formazione arenaceo-marnosa e calcareo-marnosa. All'interno del territorio comunale affiora il **Membro di Poviago VLU₁**, membro basale costituito da arenarie grigio-nocciola, medie e fini, localmente gradate, e marne siltose in strati medi e spessi. Localmente è stata distinta una litofacies arenaceo-pelitica (**VLU_{1a}**).

Le **Arenarie di Scabiazza (SCB)** sono dei depositi torbiditici strutturalmente ordinati, costituiti da alternanze di livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti) e di livelli pelitici, con livelli pelitici prevalenti.

Le **Argille a Palombini (APA)** sono costituite in prevalenza da argille che, a causa della loro storia tettonica, risultano intensamente piegate e fratturate dalla scala dell'affioramento fino alla scala del campione (cosiddette "Argille Scagliose"). In particolare, si tratta di strati argillosi con rari interstrati calcarei e calcareo-silicei (Palombibni) abitualmente disarticolati.

La relativamente elevata permeabilità di questi interstrati può localmente consentire l'infiltrazione di acque superficiali, favorendo l'ammollimento delle argille, con conseguente innesco di frane anche in corrispondenza di versanti a debole pendenza. Trattandosi di una formazione rocciosa facilmente erodibile e predisposta a dissesti idrogeologici, lo sviluppo del suolo vegetale è alquanto ridotto.

Il **Complesso del Monte Ragola (MRAb)** è costituito da litofacies a breccie mono e poligeniche ad abbondante matrice pelitica con clasti eterometrici da angolari a subarrotondati. Gli strati sono molto spessi e a geometria lenticolare. Le breccie monogeniche sono costituite da clasti calcarei e lembi formazionali intensamente fratturati riferibili alle Argille a Palombini. Le breccie poligeniche contengono invece clasti di calcari, serpentiniti, ultramafiti, oficalciti, calcareniti, graniti granitoidi, granuliti quarzo-feldspatiche e basiche e basalti.

Le **Arenarie di Casanova (CSU)** sono caratterizzate da ruditi, peliti e areniti verdastre o grigio scure medio-grossolane a composizione marcatamente ofiolitica e subordinatamente sedimentaria, in strati gradati da medi a molto spessi. Frequenti le intercalazioni di areniti medio-fini e peliti scure, in strati gradati da medio-

sottili a spessi, e di calcari marnosi e marne in strati spessi e molto spessi. Le Arenarie di Casanova affiorano in lembi nel settore nord-occidentale.

Le **Serpentiniti (Sigma)** sono caratterizzate da materiale lapideo massiccio non stratificato o con bancate di spessore >3m. Possono rientrare in questa classe anche le brecce ed i conglomerati ad elevato grado di cementazione, le peridotiti lherzolitiche serpentizzate di colore scuro (verde chiaro all'alterazione). Le serpentiniti affiorano in corrispondenza dei rilievi più elevati: Monte Tre Sorelle, Poggio Fontanella, Monte Armelio a nord-ovest, Monte Parrocchiale, Monte Tre Abati e Monte S. Agostino nella zona centrale del territorio comunale, Monte Capra, Poggio Vaccari, Poggio Croce, Monte Mangiapane, Poggio Alto, Monte Concrena, Monte Gonio, Monte Filipazzi, Monte Belvedere, nella zona orientale del Comune e nei pressi del Passo S. Barbara.

L' **Unità Tettonica Farini** comprende il **Flysch di Farini d'Olmo (FAR)** e in corrispondenza delle località Ghini, Cascine e Poggio (settore orientale) affiora il **Membro di Rigolo (FAR₂)**, costituito da calcari marnosi e marne chiare in strati da medi a molto spessi e locali banchi alternati a subordinate areniti e peliti grigie in strati sottili e medi con rapporto A/P>2.

Il **Flysch di Monte Caio (CAO)** si presenta costituito da torbiditi calcareo-marnose, grigio-scure, in strati da medi a molto spessi con una base arenitica media o fine passante a marna; a tetto sono presenti intervalli sottili e medi di argilla nerastra. Si alternano a pacchi di torbiditi arenaceo-pelitiche da sottili a medie e a torbiditi calcareo-pelitiche chiare in strati sottili e medi. A livello comunale affiora un unico lembo nel settore occidentale.

Il **Flysch di Monte Penice (PEN)** risulta caratterizzato da calcari marnosi, calcari e marne a base arenitica, talora biocalcarenitica, in strati gradati generalmente spessi e molto spessi. Sono presenti intercalazioni di peliti grigio-verdi non carbonatiche in strati sottili, di areniti fini silicoclastiche in strati gradati medi e sottili e di argilliti di colore rosso vinato.

Il **Flysch di Vico (FVI)** è costituito da calcari, calcari marnosi e marne, in genere a base arenitica, talora biocalcarenitica, in strati gradati da medi a molto spessi e banchi. Sono presenti intercalazioni subordinate di arenarie fini e peliti in strati medio-sottili e di peliti nere non carbonatiche in strati molto sottili.

Le **Argille e Calcari di Canetolo (ACC)** sono caratterizzate da argilliti grigio-nere in strati medi e spessi alternate a calcilutiti grigie o grigio-scure in strati medio-sottili e calcari marnosi in strati spessi e molto spessi. Sono presenti intercalazioni di areniti, spesso bioclastiche, e siltiti in strati gradati e laminati medio-sottili.

L'**Unità tettonica Sanguinetto**, appartenente al Dominio subligure, comprende l'Unità **Arenarie di Rio Fuino (ARF)**, affioranti solamente in due lembi nella porzione meridionale del territorio in esame. Si tratta di arenarie da medie a molto fini e peliti grigio-verdi (A/P<1) in strati gradati medio-sottili, talora spessi. Gli strati frequentemente mostrano intensa bioturbazione per tutto il loro spessore. Alla base sono presenti corpi di ACC e FVI interpretabili come base stratigrafica di questa formazione o come olistoliti all'interno di essa.

Le **Marne di Monte La Croce (MMC)** si presentano costituite da marne grigio-azzurre (alterate con patine giallastre) a stratificazione indistinta, frequentemente alternate a strati sottili e medi di marne con alla base pochi mm di silt o di arenaria finissima. Frequenti sono le intercalazioni di brecce mono- e poligeniche a matrice pelitica: litofacies a brecce argillose – **MMC_{ol}**.

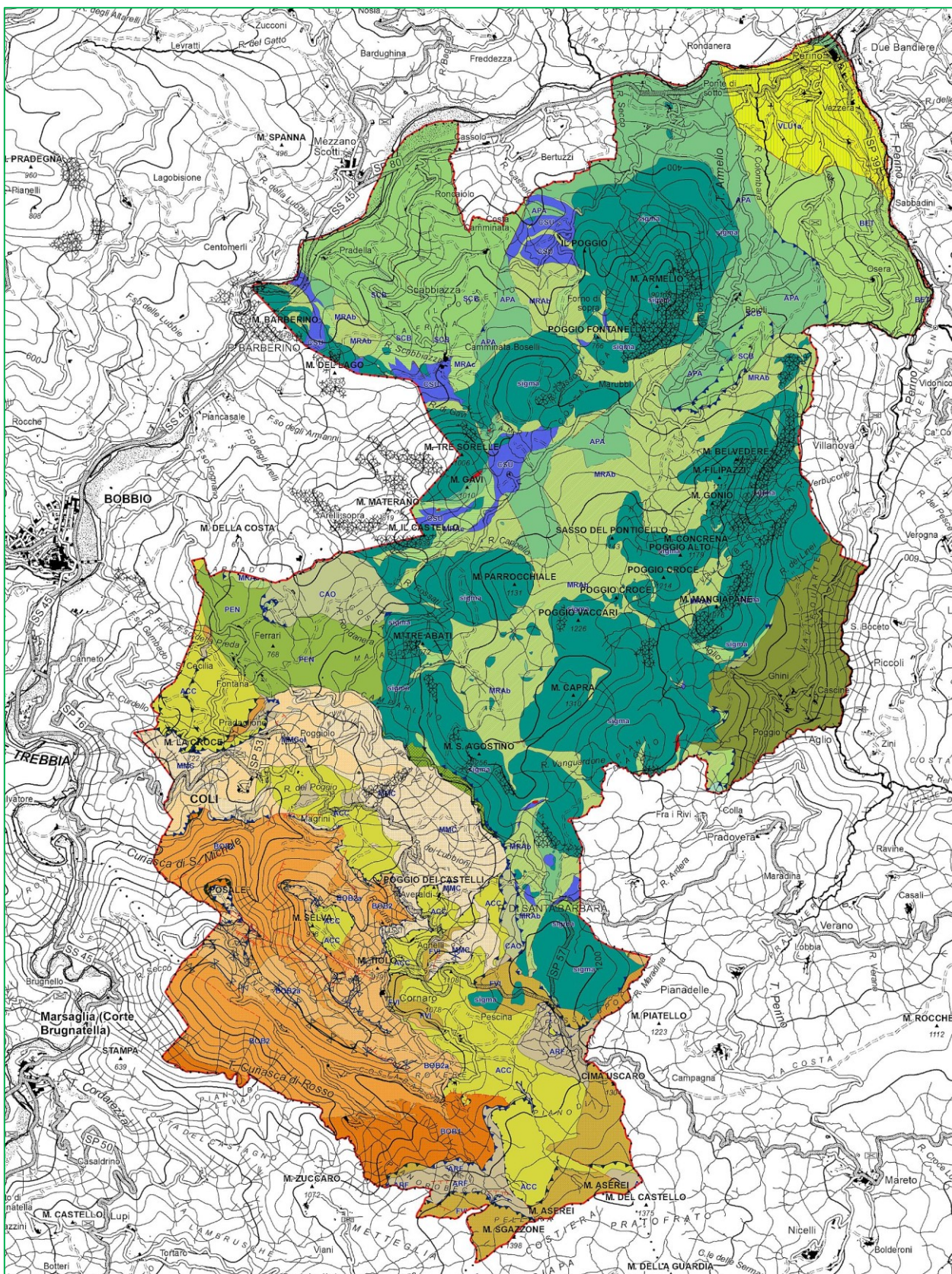


Fig. 13. Estratto della Carta Geologica 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna (fuori scala).

contatti tra serpentiniti, brecce poligeniche e Arenarie di Casanova, tra cui si apre la Grotta di San Colombano”.

3.2 Inquadramento geomorfologico

Di seguito vengono descritti i principali lineamenti geomorfologici che caratterizzano il territorio comunale di Coli che appare irregolare e variamente acclive, ed è, chiaramente, in stretta connessione con l'assetto geolitologico del sottosuolo.

Difatti, i rilievi più aspri ed accentuati, così come i crinali si sono impostati dove il substrato roccioso è presente in condizioni affioranti e/o sub-affioranti (come SIGMA Serpentiniti), mentre dove il paesaggio è modellato in terreni a facile erodibilità come la Formazione di Val Luretta (VLU), la Formazione di Bettola (BET), le Arenarie di Scabiazza (SCB) E le Argille a Palombini (APA), assume forme generalmente più addolcite.

La facile erodibilità superficiale di quest'ultime litologie giustifica gli accumuli detritici di origine eluvio-colluviale che si rinvencono alla base dei versanti più acclivi, ovvero lungo i versanti a debole pendenza, ove all'azione della gravità si somma quella delle acque superficiali. Su queste litologie gli accumuli di frana risultano arealmente estesi anche se prevalentemente quiescenti.

In corrispondenza del substrato roccioso talora sono presenti depositi dovuti a movimento gravitativo in massa complesso e profondo che interessa grandi ammassi rocciosi, talora con relative coperture superficiali, e si attua attraverso una deformazione per lo più lenta e progressiva della massa rocciosa, senza una superficie di scorrimento ben determinabile, e vengono identificati come depositi di frana per scivolamento in blocco o DGPV (a2h). Si individuano lungo il versante nord-occidentale del Monte Capra (dove affiora l'Unità Sigma Serpentiniti) ed al limite meridionale del Comune lungo il versante in destra orografica rispetto al T. Curiasca di Rosso (dove affiora il Membro di S. Salvatore BOB₂ della Formazione di Bobbio).

Sono presenti sul territorio altri depositi di frana per scivolamento in blocco o DGPV che hanno manifestato evidenze recenti di movimenti in atto nell'ultimo ciclo stagionale (a1h) ad esempio lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno smosso (se presenti trattasi di movimenti di frane lenti o estremamente lenti). Un deposito rappresentativo di questa tipologia di frana profonda si riscontra in corrispondenza dell'Unità SIGMA Serpentini lungo il versante ovest del Monte Parrocchiale.

I fenomeni di dissesto sul territorio comunale come si può osservare in Fig. 15 sono numerosi e di vario genere e grado, la spiegazione di un così diffuso fenomeno va ricondotta a molteplici cause:

- 1) Le caratteristiche litologiche rivestono importanza primaria, in quanto formazioni a componente prevalentemente pelitica e ricche di minerali argillosi facilmente rigonfiabili e plasticizzabili, se posti a contatto con acqua, sono maggiormente soggette a fenomeni di dissesto;
- 2) Il disarticolamento delle successioni stratificate, dovuto alle spinte orogenetiche che hanno prodotto dei campi di stress, con conseguenti fenomeni deformativi, sia di tipo duttile, sia di tipo fragile, che le hanno profondamente scompaginate alterandone le caratteristiche reologiche originarie.
- 3) l'infossamento dei corsi d'acqua;
- 4) I fenomeni sismici susseguitisi nel tempo (anche se di intensità rilevabile unicamente a livello strumentale).

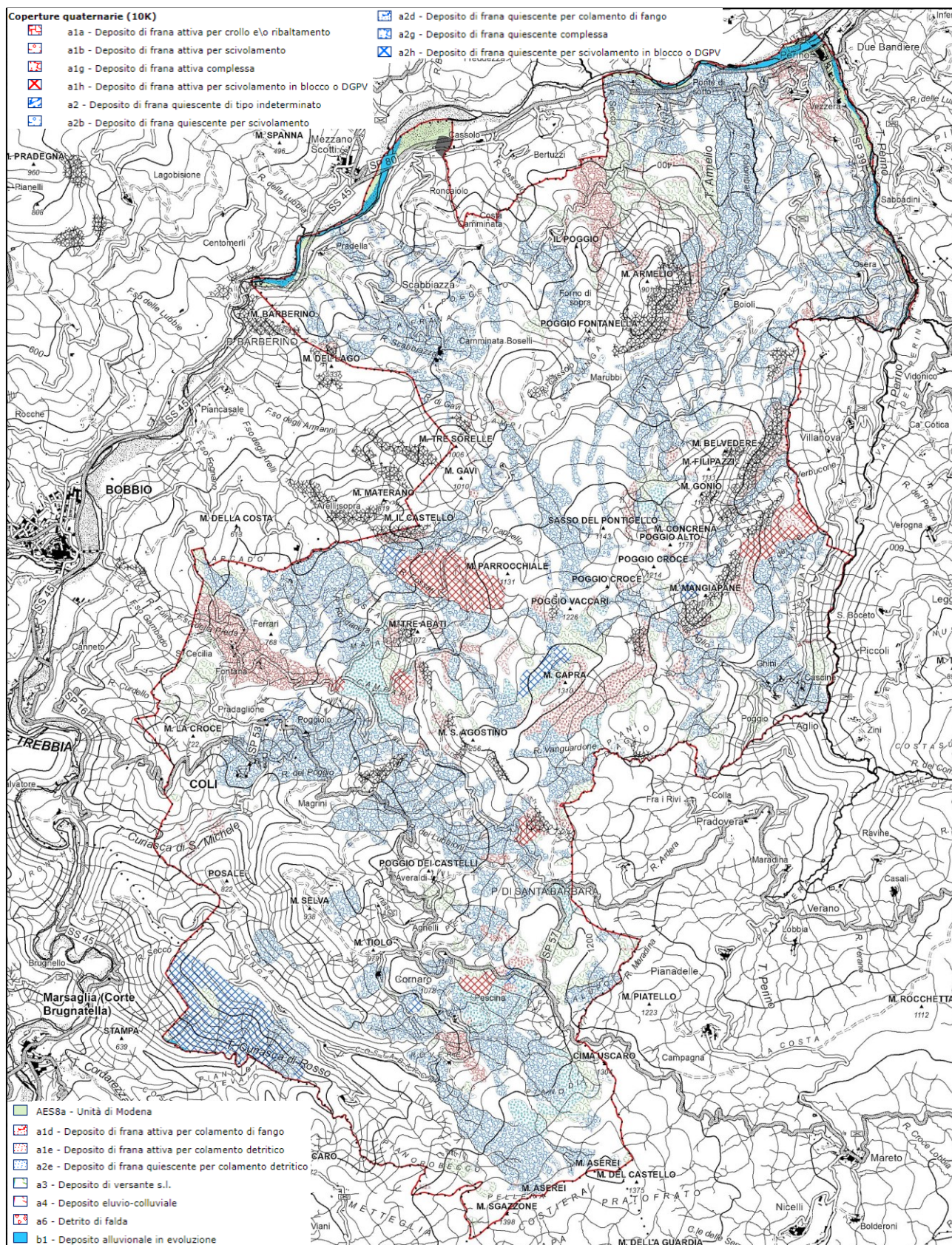


Fig. 15. Estratto delle coperture quaternaria della Carta Geologica 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna (fuori scala).

Di seguito si elencano le forme deposizionali e i processi di versante presenti nel territorio comunale.

Le principali forme deposizionali sono ubicate lungo l'asta del F. Trebbia:

- Alluvioni attuali mobilizzabili dell'alveo attivo (b1).
- Alluvioni medio recenti (AES): caratterizzate da ghiaie prevalenti in scarsa matrice sabbioso limosa con copertura di suolo poco sviluppata e sopraelevati di circa 1–2 m rispetto alle alluvioni attuali.

I depositi dovuti all'azione combinata della gravità e delle acque superficiali, che scorrono lungo i versanti, spesso risultano di tipo misto e sono i seguenti:

- Frane in evoluzione (a1): Accumuli caotici di elementi litoidi in matrice pelitica. Presentano evidenze di movimenti in atto;
- Frane quiescenti (a2): Accumuli caotici di elementi litoidi in matrice pelitica, attualmente quiescenti;
- Depositi di versante (a3): Depositi eterogenei ed eterometrici accumulati per gravità e ruscellamento lungo i versanti;
- Depositi eluvio colluviali (a4): Coperture detritiche costituite prevalentemente da frammenti litici immersi in matrice pelitica, talora sabbiosa;
- Depositi di falda (a6): Accumulo detritico costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, generalmente a quote elevate o molto elevate, con frammenti litoidi di dimensioni variabili, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica alterata e pedogenizzata, di origine gravitativa frequentemente alla base di scarpate e lungo i versanti più acclivi;
- Depositi di frana per scivolamento in blocco o DGPV (a1h, a2h): movimento gravitativo in massa complesso e profondo che interessa grandi ammassi rocciosi, talora con relative coperture superficiali, e si attua attraverso una deformazione per lo più lenta e progressiva della massa rocciosa, senza una superficie di scorrimento ben determinabile.

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Ai fini della ricostruzione dettagliata del Modello geologico di sottosuolo, della realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e della Carta delle frequenze naturali (f0) dei terreni, tutti prodotti nel livello 1, è stata effettuata un'approfondita ricerca bibliografica dei dati geotecnici e geofisici presenti negli areali oggetto di studio e sono state acquisite 16 prove HVSR.

In particolare, sono stati consultati:

- “Carta Geologica d'Italia” alla scala 1: 50.000, Foglio 197 “Bobbio”, Foglio 196 “Cabella Ligure” e relative Note Illustrative;
- Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna, scala 1: 10.000 e portale cartografico online (database prove sottosuolo);
- Portale del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA), in particolare l'archivio 'Indagini del sottosuolo' (L. 464/84);
- Archivi comunali ed Indagini geologico-tecniche di supporto agli strumenti urbanistici vigenti forniti dall'Ufficio Tecnico o studi di frane

Nel secondo livello sono state integrate nuove indagini: sono state dunque acquisite 55 nuove prove HVSR e 14 prove MASW.

Sulla base di questi nuovi dati, sono stati revisionati e aggiornati i prodotti di primo livello; sono state inoltre realizzate: la Carta delle velocità delle onde di taglio Vs, le Carte di Microzonazione sismica di secondo livello e la Carta della distribuzione dei valori di H_{SM} .

In totale, sono stati inseriti (Fig. 16) i dati relativi a:

- n. 183 indagini puntuali
- n. 57 indagini lineari

Le ubicazioni delle indagini raccolte, sia pregresse che di nuova realizzazione, sono state riportate nella Tav.01 - Carta delle Indagini, realizzata in formato digitale (pdf) in scala 1: 10.000. I dati sono stati rappresentati in forma simbolica e per tipologia, utilizzando la legenda e le simbologie previste dagli 'Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica' redatti dal DPC (versione 4.2, dicembre 2020).

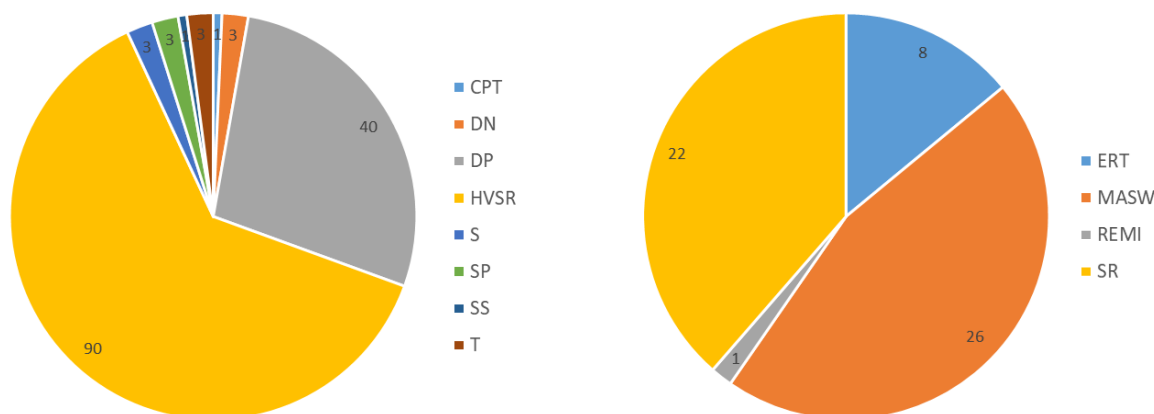


Fig. 16. Suddivisione per tipologia delle informazioni raccolte (indagini puntuali a sinistra e lineari a destra).

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, sviluppata al fine di ricostruire la successione stratigrafica del sottosuolo delle aree in esame e la profondità del substrato.

Per l'area comunale di Coli, il modello del sottosuolo è stato ricostruito sulla base dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche pregresse disponibili e delle differenti cartografie tematiche del Servizio Geologico regionale, a diverse scale di dettaglio.

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale, nella Tavola allegata alla presente Relazione, sono proposte 19 sezioni geologico-tecniche (Fig. 17) orientate sia trasversalmente che longitudinalmente ai principali elementi geologici/geomorfologici riscontrabili nelle aree di approfondimento.

A titolo esemplificativo, è riportata una sezione fra quelle riportate nella tavola allegata (Fig. 18).

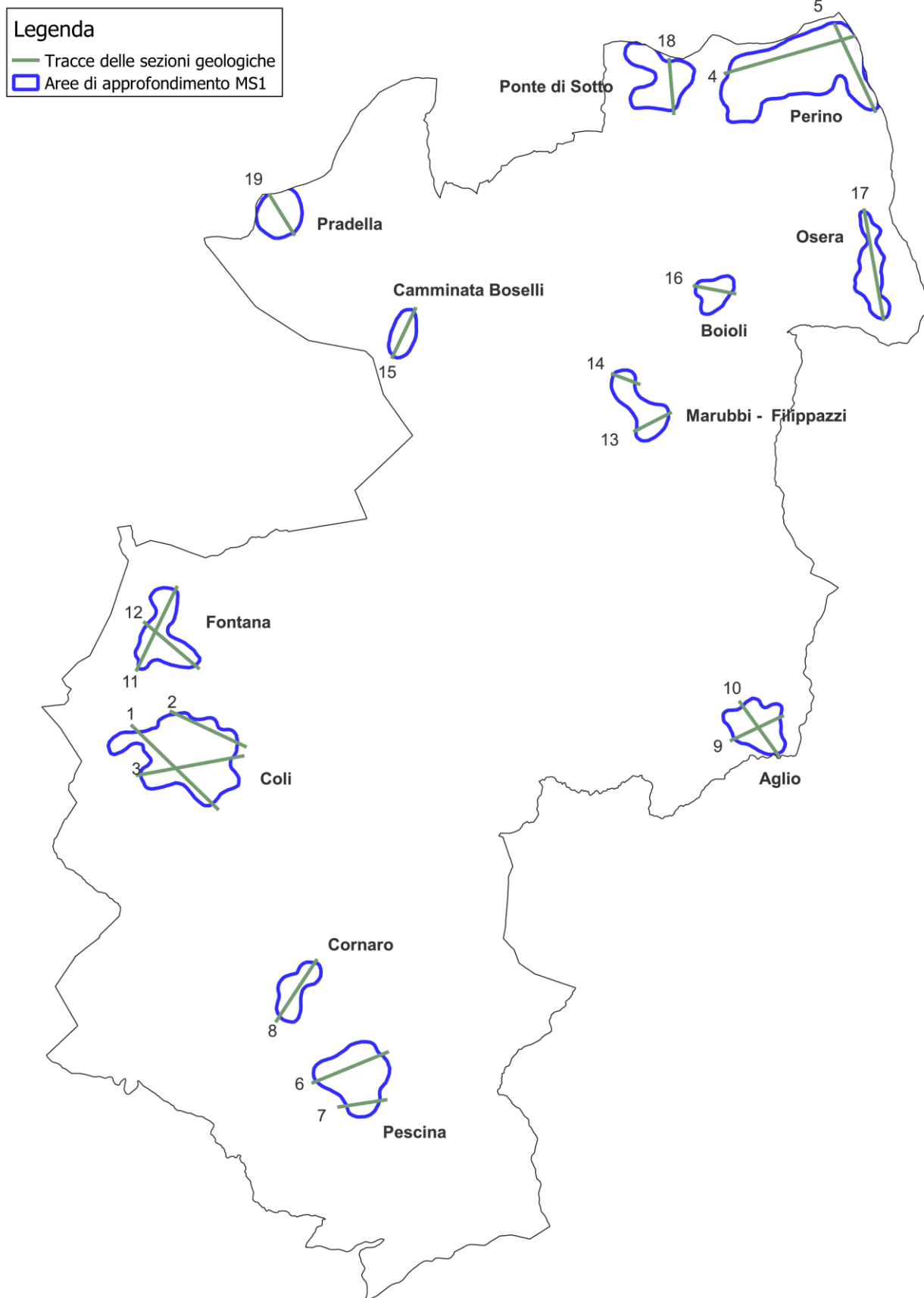


Fig. 17. Mappa d'insieme delle aree di approfondimento e relative sezioni geologico-tecniche.

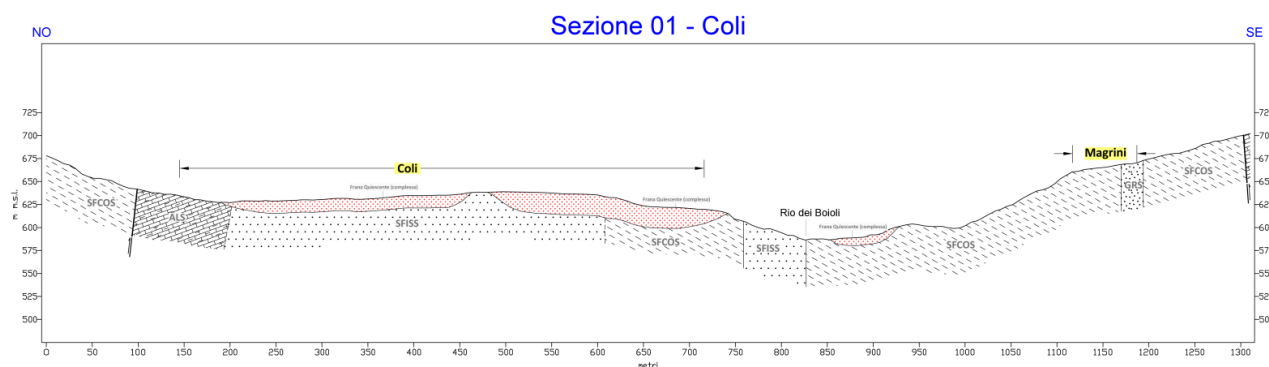


Fig. 18. Stralcio della Sezione n. 1 (Coli).

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La definizione del modello del sottosuolo, descritto nel capitolo precedente, deriva dal combinato disposto dei seguenti dati:

- geologia di vasta area del contesto comunale e intercomunale in esame;
- indagini dirette e indirette eseguite nel territorio comunale nel corso degli anni, loro numerosità e posizione;
- studi precedenti su scala regionale realizzati da altri autori a supporto di altri lavori;
- prove acquisite ex novo: misure di microtremore ambientale (HVSr) e prove in array tipo MASW.

L'analisi combinata di tali dati ha dunque permesso di differenziare le coperture presenti sulla base delle loro caratteristiche litotecniche: l'area oggetto di studio presenta un'estrema mutevolezza morfologica, dunque importanti incertezze legate, in particolare, a:

- estensione del territorio, dunque considerevole variabilità geologica, tipica del contesto appenninico;
- talvolta esiguo numero di indagini disponibili all'interno delle aree oggetto di approfondimento;
- livello di affidabilità delle prove raccolte, talora non sufficiente all'ottenimento di informazioni precise.

Comunque, l'acquisizione di nuove prove ha consentito di ricavare informazioni aggiuntive, quindi di aggiornare il modello del terreno che era stato proposto nel primo livello.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

La ricostruzione del modello del sottosuolo, lo studio geomorfologico dell'area e l'analisi dei dati geofisici e geotecnici esistenti e di nuova acquisizione (par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), hanno permesso di produrre i diversi elaborati e prodotti cartografici richiesti dal secondo livello di approfondimento. Tutti i prodotti cartografici sono stati realizzati in scala 1:10.000.

Sulla base degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome (Versione 4.2), i risultati dello studio di Microzonazione Sismica (Livello 1 e 2) sono rappresentati dai seguenti prodotti:

- **Carta delle Indagini**, dove sono riportate le indagini pregresse e quelle acquisite nel corso della campagna di raccolta dati effettuata.
- **Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)**, in cui è rappresentata una sintesi degli elementi geologici e geomorfologici presenti all'interno dell'area di studio, tale da poter visualizzare la distribuzione dei terreni di copertura.
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni f_0** , che riporta l'ubicazione dei punti di misura delle prove di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e l'indicazione del valore f_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale del terreno.
- **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)**, che mostra la divisione del territorio in: zone stabili, zone suscettibili di amplificazioni e zone suscettibili di instabilità.
- **Carta delle velocità delle onde di taglio S**, che contiene l'ubicazione delle prove MASW e l'indicazione, per ciascuna di esse, del valore di V_{sH} , che corrisponde alla velocità dello spessore equivalente di copertura al di sopra del bedrock sismico o alla velocità del substrato se affiorante.
- **Carte di Microzonazione Sismica (MS)**: si tratta di carte che rappresentano le amplificazioni stimate, per ciascuna MOPS, tramite procedure semplificate.
- **Carta della distribuzione dei valori di H_{SM}** , parametro che esprime lo scuotimento atteso in superficie, espresso in frazione di g.

8 ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 Carta delle indagini

La carta delle indagini è comprensiva di tutte le indagini, pregresse e di nuova esecuzione, che sono comprese all'interno del territorio comunale. Esse sono state distinte, in base alla tipologia, in:

- Indagini puntuali
 - CPT prova penetrometrica statica con punta meccanica
 - DN prova penetrometrica dinamica media
 - DP prova penetrometrica dinamica pesante
 - HVSR misura di microtremore a stazione singola
 - S sondaggio a carotaggio continuo
 - SP sondaggio con piezometro
 - T trincea / pozzetto esplorativo
- Indagini lineari
 - ERT Electrical Resistivity Tomography (tomografia elettrica)
 - MW Multichannels Analysis Surface Waves (Prova M.A.S.W.)
 - RM Refraction Microtremor (Prova Re.Mi.)
 - SR Seismic Refraction (sismica a rifrazione)

Al fine di apprezzare visivamente la distribuzione delle indagini puntuali, si riporta una mappa di densità delle informazioni puntuali raccolte sul territorio comunale (Fig. 19).

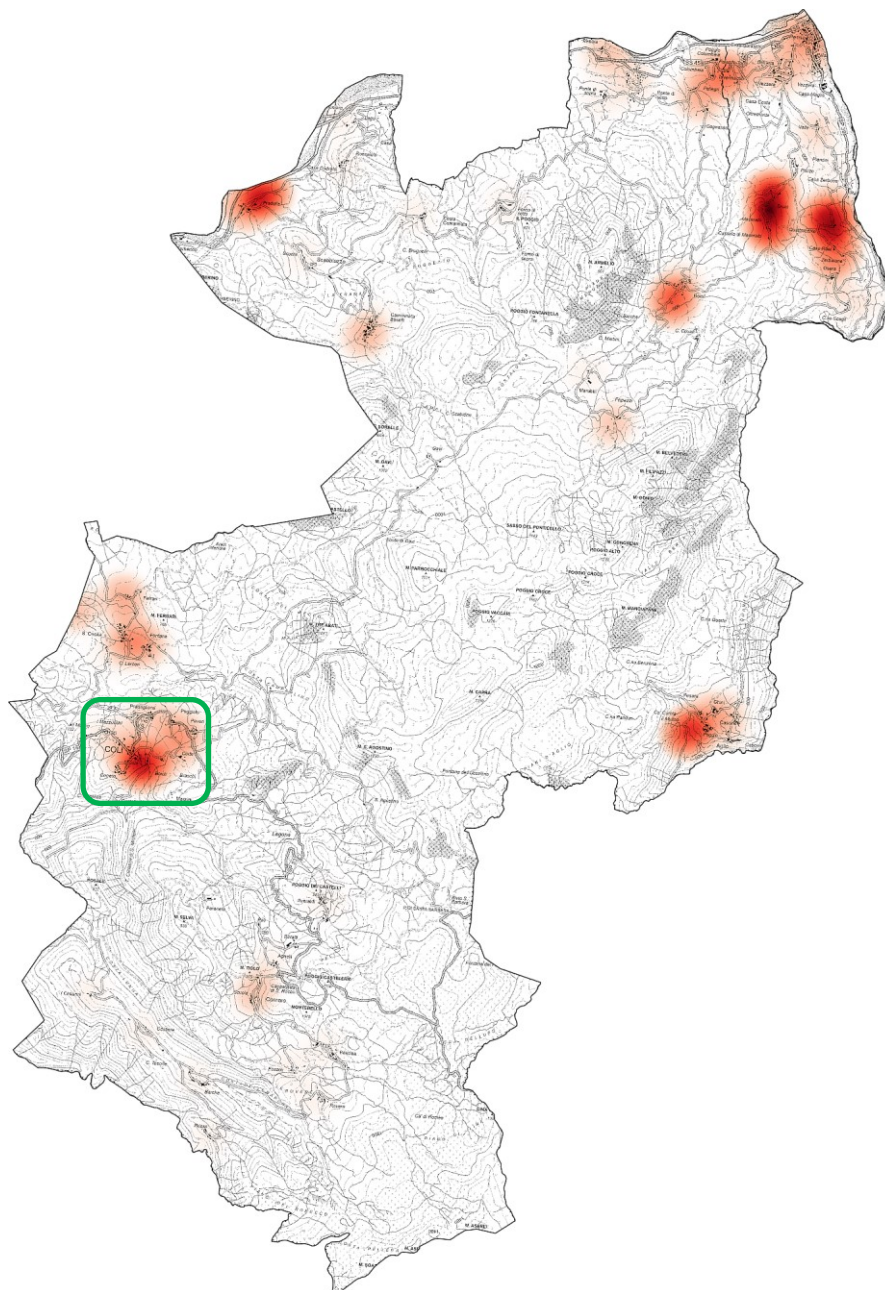


Fig. 19. Mappa di densità delle indagini puntuali raccolte (con riquadro verde Coli).

8.2 Carta Geologico-Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche/geofisiche pregresse. Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carta delle MOPS (Livello 1).

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- elaborati del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale vigente;

- “Carta Geologica d’Italia” alla scala 1: 50.000, Foglio 197 “Bobbio”, Foglio 196 “Cabella Ligure”, realizzati secondo le indicazioni del Progetto CARG;
- Carta Geologica dell’Emilia-Romagna, scala 1: 10.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- Cartografia del dissesto della Regione Emilia-Romagna (webgis e geoportale);
- indagini puntuali (si veda il paragrafo precedente).

Nelle Carta Geologico-Tecnica (Fig. 20) sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni di copertura cartografati, classificati sulla base della tessitura prevalente e della loro genesi.

Le unità geologiche dell’area oggetto di indagine sono state ricondotte alle seguenti unità geotecniche:

- ALS Alternanza di litotipi stratificato
- COS Coesivo sovraconsolidato stratificato
- GRS Granulare cementato stratificato
- LP Lapideo
- LPS Lapideo stratificato
- SFCOS Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
- SFISS Substrato geologico incoerente o poco consolidato, stratificato fratturato / alterato
- SFLP Substrato geologico lapideo fratturato / alterato

Sono inoltre rappresentati i terreni di copertura, classificati sulla base della tessitura prevalente e della loro genesi. Sulla base degli Standard di rappresentazione, sono state distinte le seguenti unità di copertura:

- CL Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre, associate a depositi eluvio-colluviali (ec) e falda detritica (fd)
- GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo, associate a depositi fluvio-glaciali (fg) e di conoide alluvionale (ca)
- GW Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie, associate ai terrazzi fluviali (tf)
- LC Litoide di copertura, associato a falda detritica (fd)
- PT Torbe ed altre terre fortemente organiche, associate ad ambienti palustri (pa)
- SM Sabbie limose, miscela di sabbia e limo, associate a depositi fluvio-glaciali (fg)
- SW Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose, associabili a depositi di terrazzo fluviale (tf)

Infine, nella Carta sono stati riportati:

- giaciture di strato, da banca dati Geologia 10.000 Regione Emilia-Romagna,
- faglie/fratture, da banca dati Geologia 10.000 Regione Emilia-Romagna,
- sondaggi che hanno raggiunto il substrato geologico,
- i depositi franosi, suddivisi per tipologia,
- la traccia della sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo

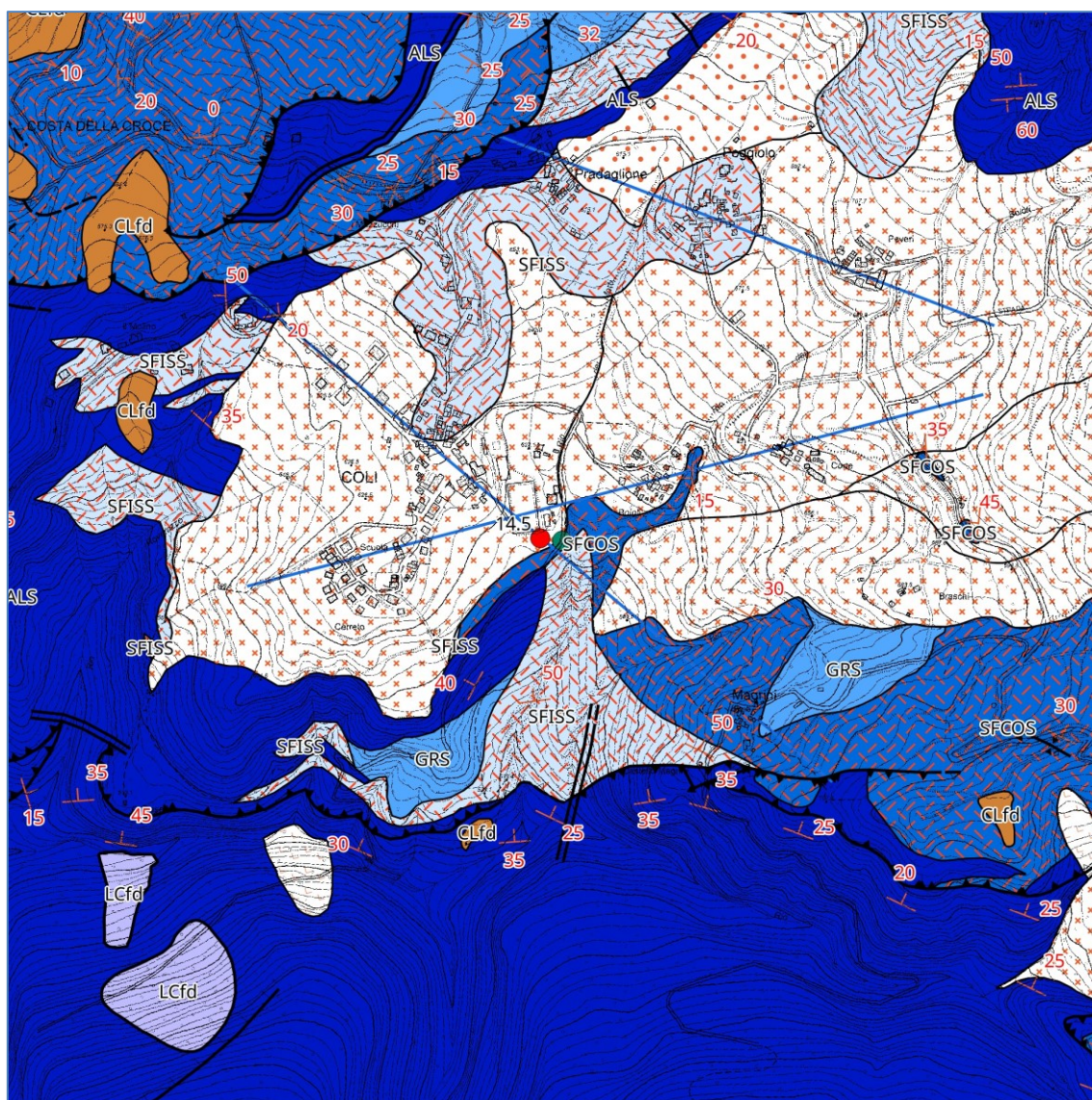


Fig. 20. Estratto della Carta Geologico-Tecnica (CGT_MS) (fuori scala).

8.3 Carta delle frequenze naturali (f_0) dei terreni

Sulla base dei dati HVSr acquisiti, è stata aggiornata la Carta delle frequenze naturali (f_0) dei terreni, nella quale sono state riportate le ubicazioni dei 90 punti di misura e i valori delle frequenze fondamentali (Fig. 21). Per ogni sito di misura, il valore di f_0 si riferisce al picco, fra quelli eventualmente presenti, avente minore frequenza. Non sono stati presi in considerazione i picchi con frequenze superiori a 20 Hz, essendo questi non significativi in prospettiva sismica.

Gli indirizzi tecnici di riferimento prescrivono di utilizzare colori differenti a seconda del valore della frequenza fondamentale e diverse dimensioni del simbolo in relazione all'ampiezza del picco. In particolare, si è fatto riferimento allo schema di legenda proposto dal plugin MzStools (Fig. 22).

Dalla Carta delle frequenze naturali (f_0) dei terreni si evince che, all'interno del Comune di Coli, sono presenti picchi presso: Bolioli (frana), Coli paese (frana), Colombaia (frana), Cornaro (frana), Filippazzi (frana), Fontana

(frana), Fossoli (frana), Ghini (frana), Perino est, Pescina (frana), Case Ruei (frana), Pianoni (frana), Poggiolo (frana), Pradaglione (frana), Pradella (frana), Rovere (frana) e Ponte di sotto (frana).

Tali picchi sono stratigrafici e rappresentano i riflettori che segnano il passaggio fra il substrato e le coperture, siano esse costituite da materiale eluviale/colluviale o ghiaioso-sabbioso alluvionale oppure da depositi di instabilità gravitativa di versante.

Al contrario, non sono presenti picchi significativi presso: Aglio (frana), Agnelli, Averalde, Barche, Boioli, Bellaria (frana), Camminata Boselli (frana), Case Scagli, Cascine (frana), Cimarini, Cognasso (frana), Colombaia (frana), Cornaro, Costa Camminata, Costiere, Ferrari, Forno di Sotto, Larceri, Marubbi (frana), Mazzucchi, Osera, Palazzina, Pellegrini (frana), Pesara (frana), Perino nord, Peveri (frana), Poggio (frana), Ponte di sopra, Ponte di sotto, Pradella, Pozzo, Quattrocchio (frana), Roncaiolo, Rosso, S. Cecilia (frana), Trebbia, Valle e Vezzerà.

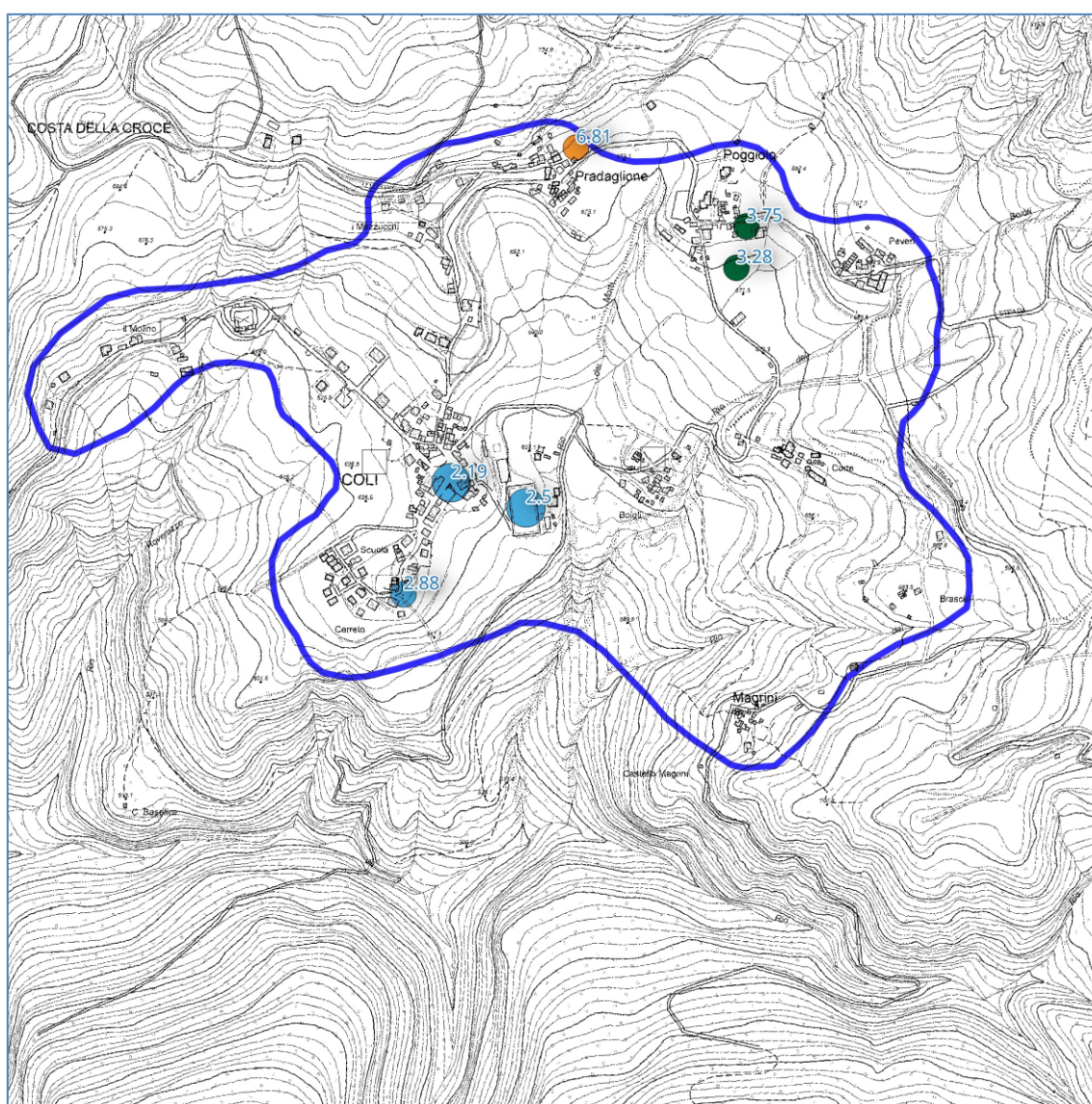


Fig. 21. Estratto della Carta delle Frequenze naturali (f_0) dei terreni (fuori scala).

Si evidenzia il fatto che i depositi di instabilità gravitativa di versante non risentano necessariamente una frequenza di risonanza (o più). L'assenza del picco di risonanza è da intendersi come un'assenza del contrasto di impedenza fra il bedrock e il deposito franoso, che si traduce spesso in un ridotto spessore del deposito stesso, circostanza che si verifica prevalentemente in corrispondenza delle frane stesse.

All'interno del comune di Coli si osserva che la maggior parte dei siti in cui si ha risonanza è costituita dalle frane, le quali raggiungono anche spessori ragguardevoli. Unico caso di amplificazione stratigrafica che non sia su frana è dato dai terrazzi fluviali del Torrente Perino, alla confluenza con la Trebbia.

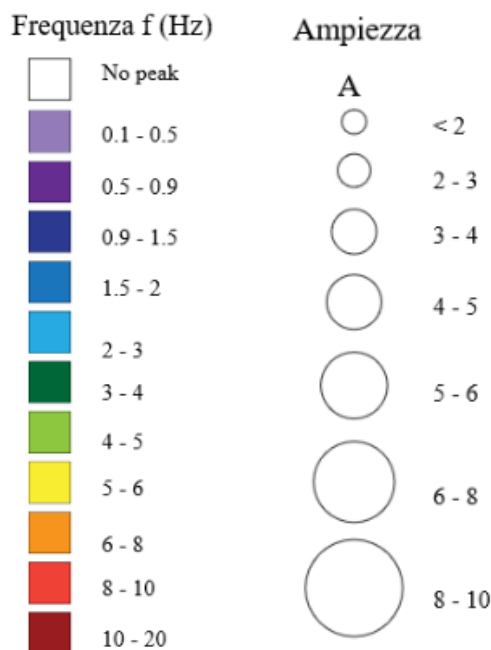


Fig. 22. Estratto della legenda della carta delle Frequenze naturali (f_0) dei terreni.

8.4 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. La Carta individua, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e di dati geognostici e geofisici, le microzone in cui possono verificarsi gli effetti locali o di sito prodotti dall'azione sismica.

Nel presente studio di secondo livello, la Carta delle MOPS prodotta nel primo livello è stata aggiornata, sulla base dei nuovi dati geofisici disponibili (Fig. 22).

Nella Carta delle MOPS, il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti categorie:

1. **zone stabili:** zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:** zone in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

3. **zone di attenzione (ZA) per instabilità:** zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali: liquefazioni, densificazione, faglie attive e capaci e/o fenomeni di instabilità gravitativa. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

La Carta delle MOPS è stata realizzata per le aree urbanizzate e urbanizzabili ritenute più significative in base al numero di residenti e/o villeggianti (individuate dal Comune) e per quelle designate come zone di emergenza dal Piano di Emergenza Comunale.

La cartografia e il geodatabase ad essa associato sono stati realizzati tenendo conto delle indicazioni fornite negli ICMS/08, nelle specifiche tecniche regionali e negli “Standard di rappresentazione e archiviazione Informatica” - Versione 4.2.

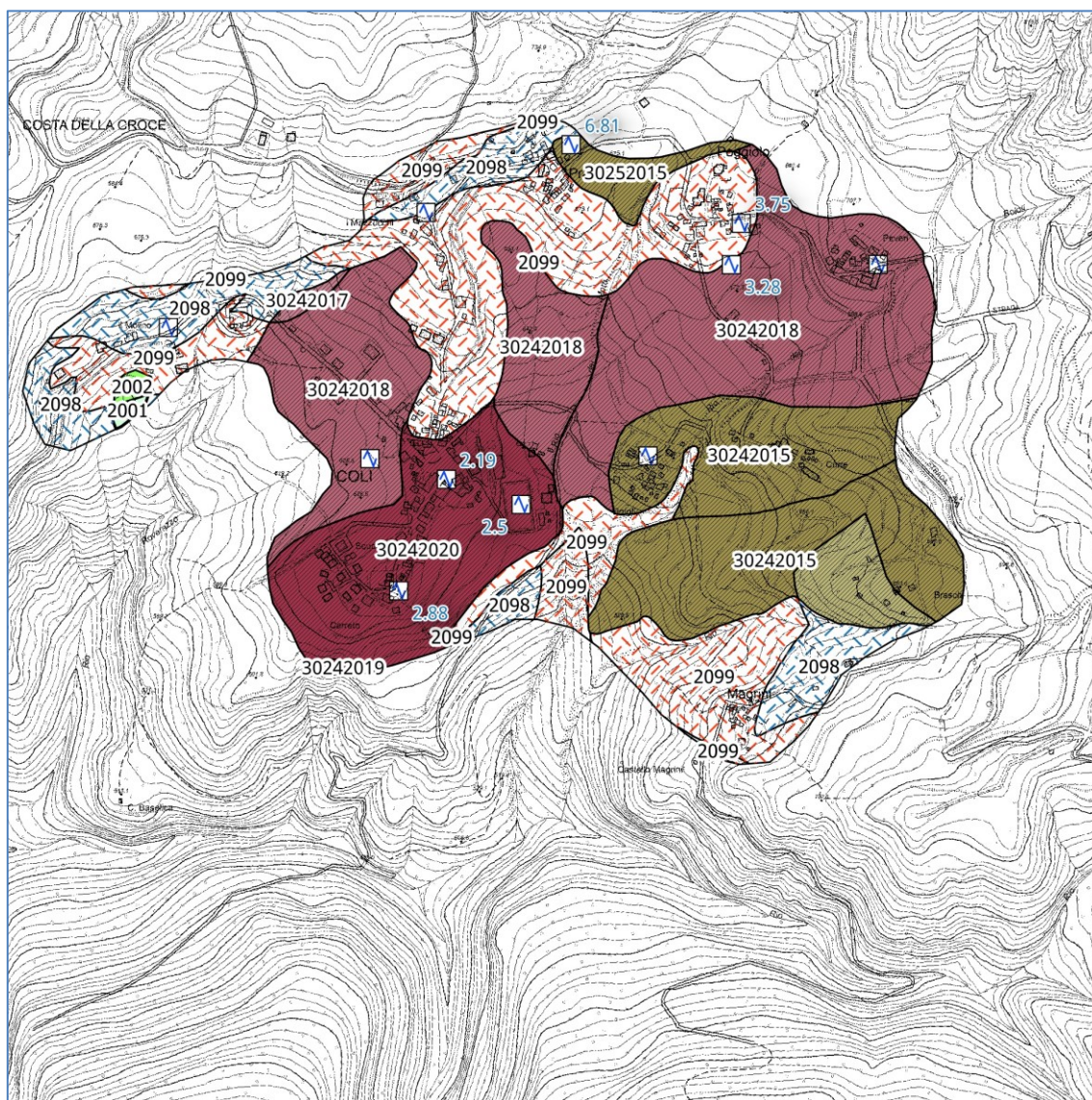


Fig. 22. Estratto della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) (fuori scala).

Zone stabili

Alla luce delle indagini integrative svolte per la seconda fase, questa classe non risulta rappresentata nel territorio di Coli. L'analisi dei profili Vs desunti dalle prove MASW ha permesso di verificare che il substrato roccioso dell'area in esame non può definirsi rigido dal punto di vista sismico, non raggiungendo velocità > 800 m/s.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali ¹

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate 15 Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica. Esse sono distinte in coperture prevalentemente fini o grossolane, differenziate sulla base degli spessori e, a seguire, dei substrati prevalenti.

Per il substrato affiorante non rigido è stata istituita una specifica classe (2098), in analogia con la classe 2099 che identifica il substrato alterato/fratturato (anch'esso di fatto non rigido).

Per ogni zona è stata redatta una specifica colonna stratigrafica tipo, riferita ai primi 30 m di sottosuolo (Fig. 23). Di seguito viene fornita una breve descrizione di ciascuna microzona; sono evidenziate in **giallo** quelle presenti nel territorio comunale di Coli.

- **Zona 2001**: Materiali tendenzialmente fini su substrato marino non rigido, spessori 3÷10 m.
- **Zona 2002**: Materiali tendenzialmente fini su substrato fratturato/alterato, spessori 3÷10 m.
- **Zona 2003**: Materiali tendenzialmente fini su substrato rigido, spessori 3÷10 m.
- **Zona 2004**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato marino non rigido, spessori 3÷10 m.
- **Zona 2005**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato fratturato/alterato, spessori 3÷10 m.
- **Zona 2006**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato rigido, spessori 3÷10 m.
- **Zona 2007**: Materiali tendenzialmente fini su substrato marino non rigido, spessori 10÷20 m.
- **Zona 2008**: Materiali tendenzialmente fini su substrato fratturato/alterato, spessori 10÷20 m.
- **Zona 2009**: Materiali tendenzialmente fini su substrato rigido, spessori 10÷20 m.
- **Zona 2010**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato marino non rigido, spessori 10÷20 m.
- **Zona 2011**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato fratturato/alterato, spessori 10÷20 m.
- **Zona 2012**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato rigido, spessori 10÷20 m.
- **Zona 2013**: Materiali tendenzialmente grossolani su substrato rigido, spessori oltre 20 m.
- **Zona 2098**: Substrato marino non rigido.
- **Zona 2099**: Substrato fratturato / alterato.

¹ Poichè il presente studio di Microzonazione Sismica è stato eseguito contemporaneamente per tutti i comuni facenti parte dell'Unione Montana dei Comuni della Val Trebbia e Val Luretta, al fine di garantire omogeneità di lettura, si è scelto di predisporre un'unica classificazione delle zone per l'intero territorio dell'Unione. Da ciò ne deriva che alcune zone di seguito elencate non sono presenti nella Carta delle MOPS di questo Comune.

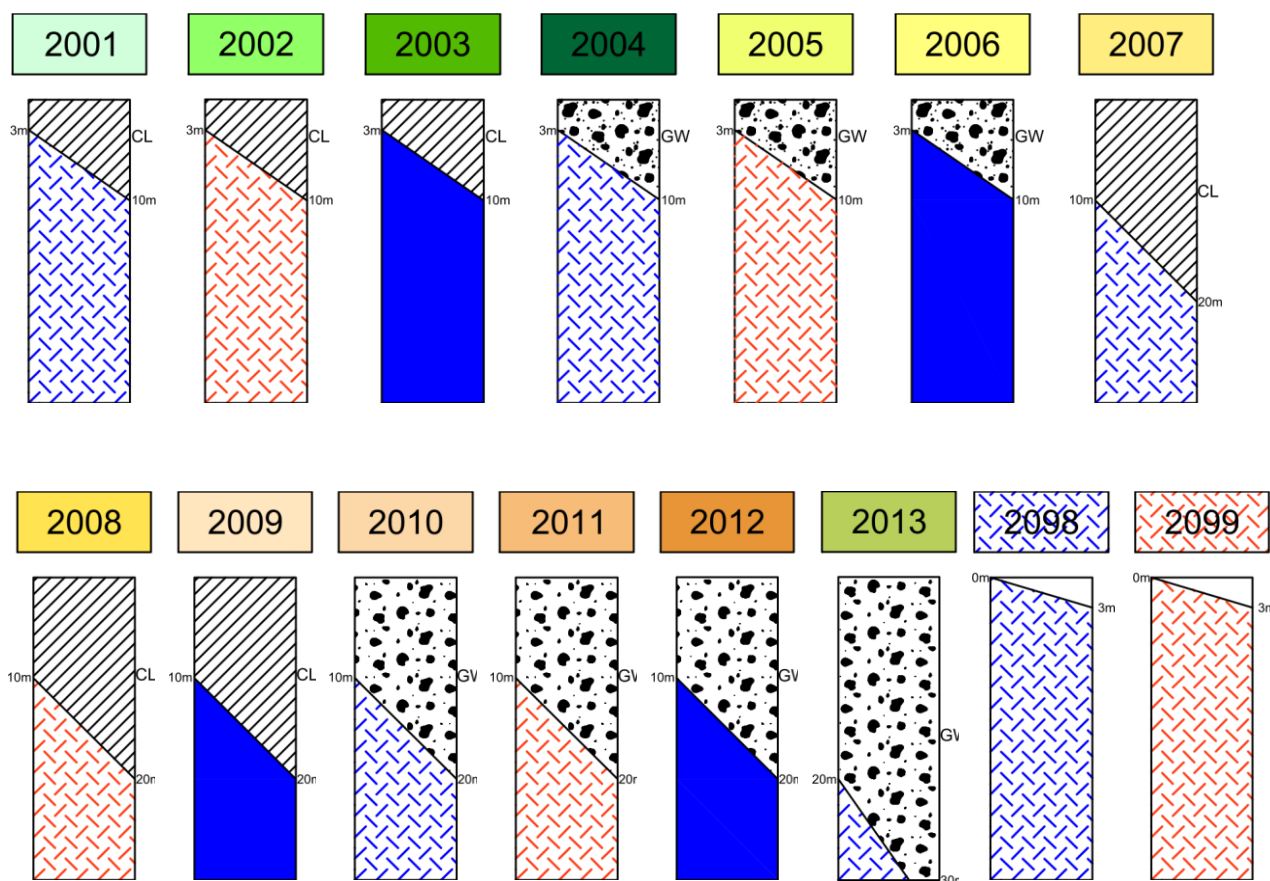


Fig. 23. Rappresentazione schematica della stratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.

Zone di Attenzione per instabilità di versante Z_{FR}^2

Sulla base delle caratteristiche litostratimetriche, sono state identificate 7 Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica. Si tratta di zone caratterizzate da instabilità gravitative di versante, quiescenti o attive, che coinvolgono materiali prevalentemente fini con presenza eventuale di materiale più grossolano.

Le zone sono state distinte in funzione dello spessore del materiale instabile e del differente basamento su cui esso insiste. Gli spessori sono stati valutati sulla base delle indagini pregresse disponibili e delle registrazioni di microtremore ambientale di nuova esecuzione (HVSR), realizzate a tale scopo.

Per ogni zona è stata redatta una specifica colonna stratigrafica tipo, riferita ai primi 30 m di sottosuolo. La simbologia prevista per i fenomeni di dissesto dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione Informatica” (Versione 4.2) consiste in un retino obliquo nero, dove il colore di fondo dipende dallo spessore del materiale coinvolto e dal tipo di substrato (Fig. 24).

Di seguito viene fornita una breve descrizione di ciascuna microzona; sono evidenziate in **giallo** quelle presenti nel territorio comunale di Coli.

² Poiché il presente studio di Microzonazione Sismica è stato eseguito contemporaneamente per tutti i comuni facenti parte dell’Unione Montana dei Comuni della Val Trebbia e Val Luretta, al fine di garantire omogeneità di lettura, si è scelto di predisporre un’unica classificazione delle zone per l’intero territorio dell’Unione. Da ciò ne deriva che alcune zone di seguito elencate non sono presenti nella Carta delle MOPS di questo Comune.

- **Zona 2014:** Materiali tendenzialmente fini su substrato marino non rigido, spessori fino a 10 m.
- **Zona 2015:** Materiali tendenzialmente fini su substrato fratturato/alterato, spessori fino a 10 m.
- **Zona 2016:** Materiali tendenzialmente fini su substrato rigido, spessori fino a 10 m.
- **Zona 2017:** Materiali tendenzialmente fini su substrato marino non rigido, spessori tra 10 e 20 m.
- **Zona 2018:** Materiali tendenzialmente fini su substrato fratturato/alterato, spessori tra 10 e 20 m.
- **Zona 2019:** Materiali tendenzialmente fini su substrato marino non rigido, spessori oltre 20 m.
- **Zona 2020:** Materiali tendenzialmente fini su substrato fratturato/alterato, spessori oltre 20 m.

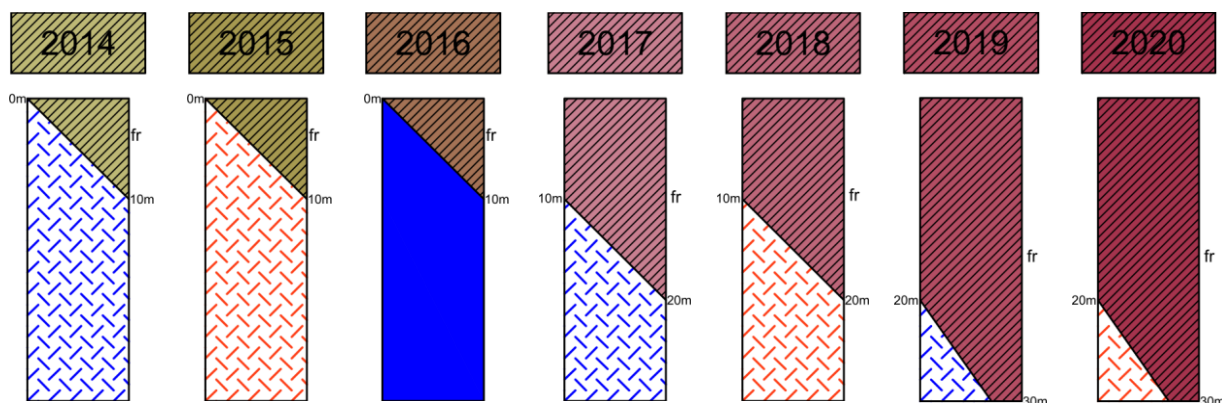


Fig. 24. Rappresentazione schematica della stratigrafia delle Zone di Attenzione per instabilità di versante ZA_{FR}.

8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

Nella Carta è riportata l'ubicazione delle misure effettuate (26 prove MASW) per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio nei terreni compresi all'interno delle aree di approfondimento (Fig. 25). In particolare, l'analisi dei dati geofisici ha permesso di ricostruire un contesto caratterizzato da coperture su un substrato non rigido, avente $V_s < 800$ m/s: tale è il comportamento sismico dei terreni presenti all'interno del Comune di Coli.

L'analisi congiunta dei diversi dati geofisici a disposizione ha quindi permesso di definire lo spessore totale (H in m) dei terreni di copertura e la velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_{sH} in m/s) del deposito di copertura, con V_{sH} definita dalla seguente equazione:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove N è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura (fino al bedrock sismico), h_i è lo spessore (in m) dello strato i-esimo, V_{s_i} è la velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino al bedrock sismico).

Per l'area di studio, lo spessore H è da intendersi come: spessore del terreno di copertura poggiante su un substrato non rigido, avente $V_s < 800$ m/s. L'analisi dei dati mette in luce valori di V_{sH} variabili e compresi tra 185 m/s e 388 m/s, rispettivamente misurati presso le località Peveri e Colombaia (frana). Proprio presso Colombaia si ha inoltre lo spessore massimo di copertura su bedrock: H=30 m.

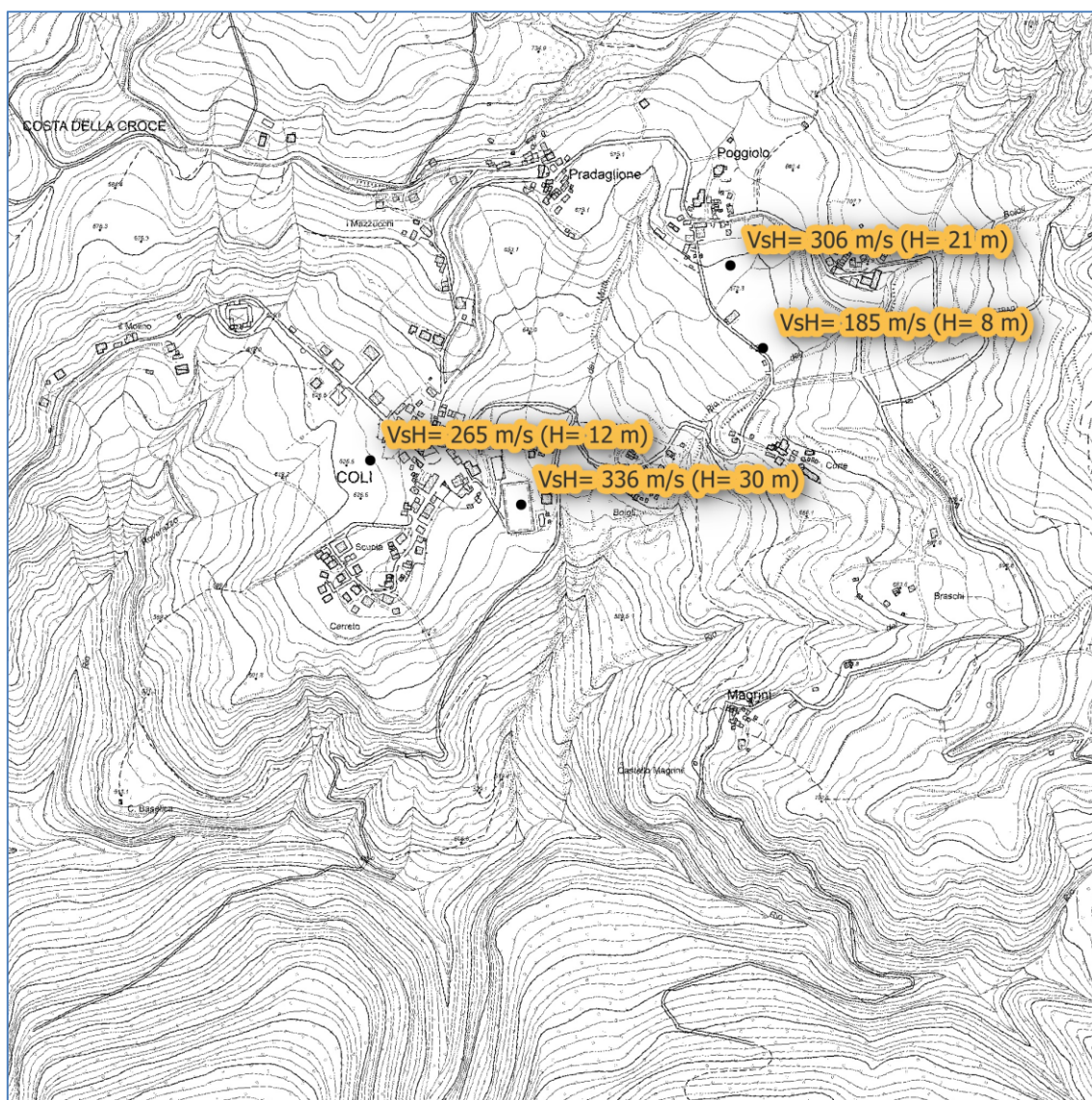


Fig. 25. Estratto della Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s) (fuori scala).

8.6 Carte di Microzonazione Sismica di secondo livello (Carta di MS)

Le Carte di Microzonazione Sismica hanno lo scopo di quantificare, per ciascuna MOPS, l'amplificazione locale del moto sismico di base mediante differenti fattori di amplificazione (FA). La stima dell'amplificazione stratigrafica è stata effettuata tramite procedure semplificate, attraverso la consultazione di degli appositi Abachi regionali (DGR 476/2021), dopo aver definito H e V_{sH} (cfr. Paragrafo 8.5).

Le tabelle relative al settore appenninico, con coperture poggianti su substrato non rigido, sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia Romagna, come nel caso delle aree di approfondimento comprese all'interno del Comune di Coli (Fig. 26).

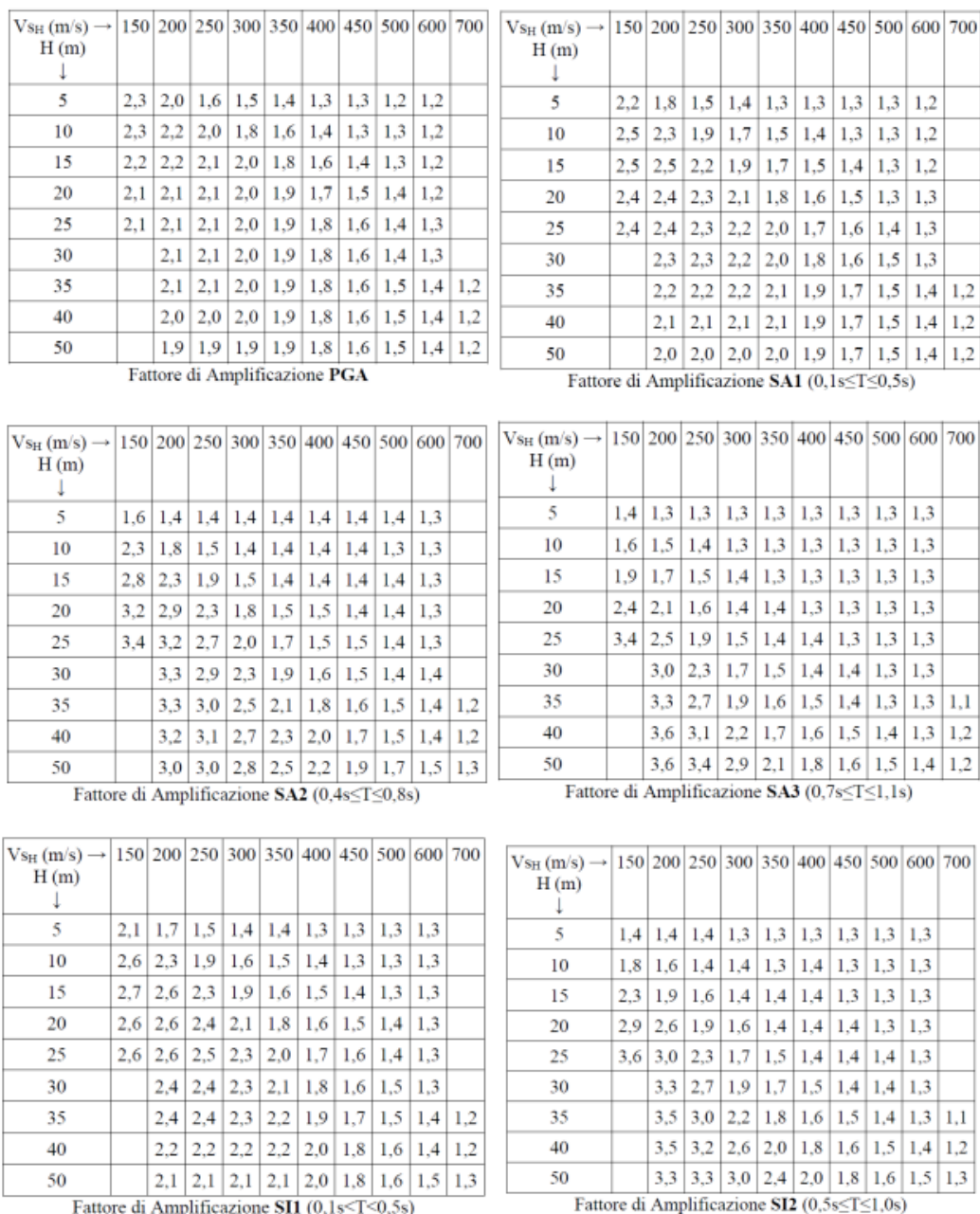


Fig. 26. Abachi utilizzati per la stima dei FA, relativi al settore Appennino con coperture su substr. non rigido avente Vs < 800 m/s.

I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno TR=475 anni, con smorzamento ζ=5%, e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- **accelerazione di picco orizzontale, PGA** (Fig. 28);
- **intensità spettrale SA** = $\int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$ (Fig 29);

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T, ottenendo tre valori di intensità spettrale:

- **SA1 o FA₀₁₀₅**: T₁ = 0,1 s e T₂ = 0,5 s
- **SA2 o FA₀₄₀₈**: T₁ = 0,4 s e T₂ = 0,8 s
- **SA3 o FA₀₇₁₁**: T₁ = 0,7 s e T₂ = 1,1 s

- intensità spettrale $SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$ (Fig. 30)

dove V è lo spettro di risposta in velocità, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento; sono stati considerati due intervalli di periodo proprio T, ottenendo due valori di intensità spettrale:

- **SI1 o FH₀₁₀₅**: $T_1 = 0,1$ s e $T_2 = 0,5$ s
- **SI2 o FH₀₅₁₀**: $T_1 = 0,5$ s e $T_2 = 1,0$ s

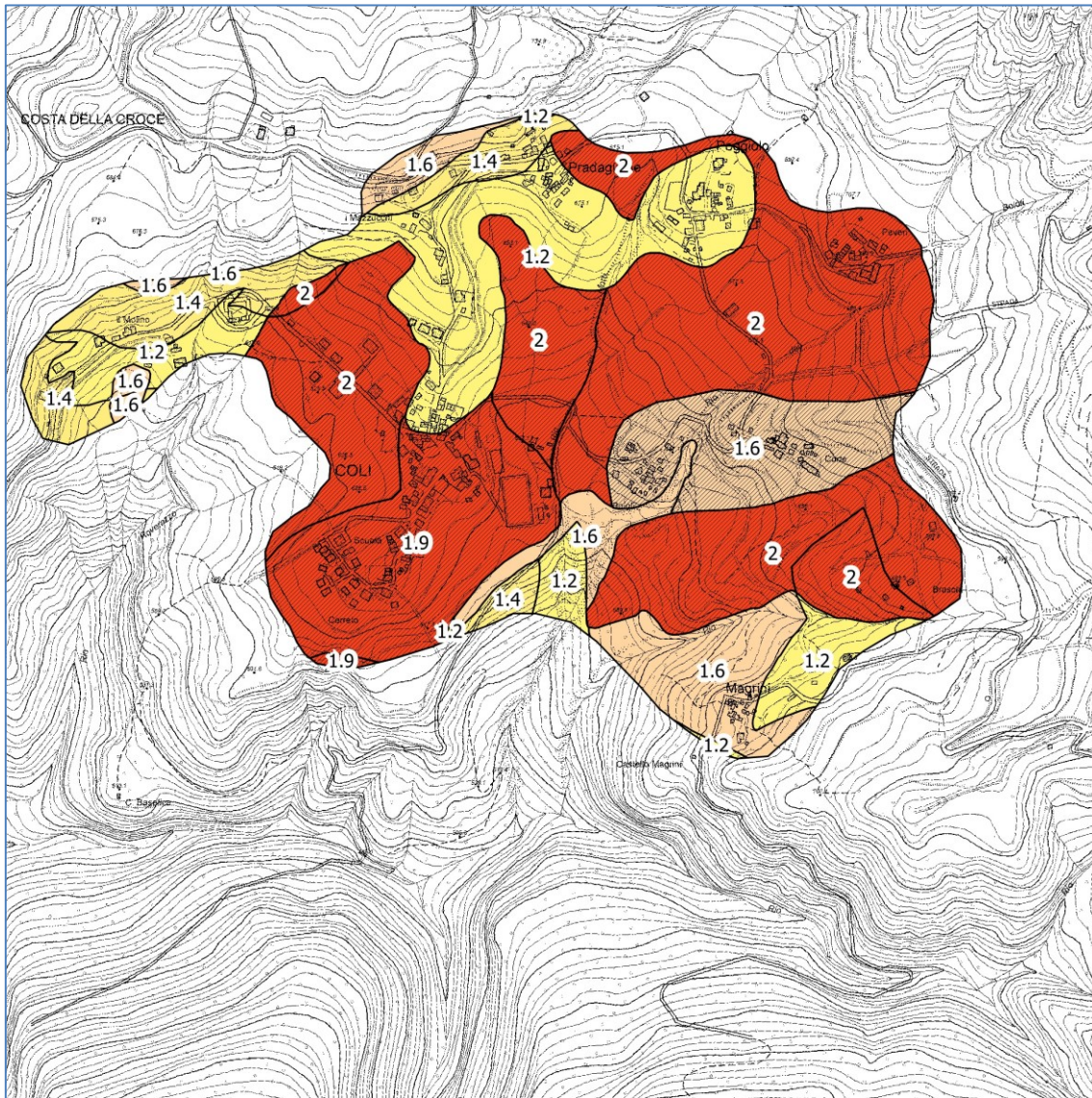


Fig. 27. Estratto della Carta di Microzonazione Sismica F(PGA) (fuori scala).

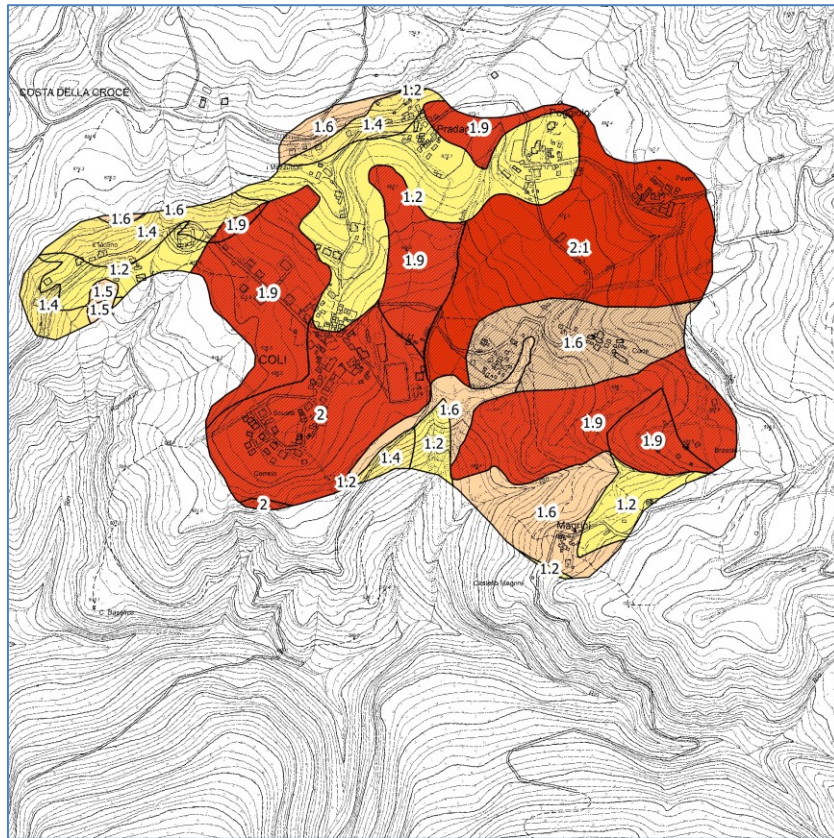


Fig. 28. Estratto della Carta di Microzonazione Sismica FA0105 (fuori scala).

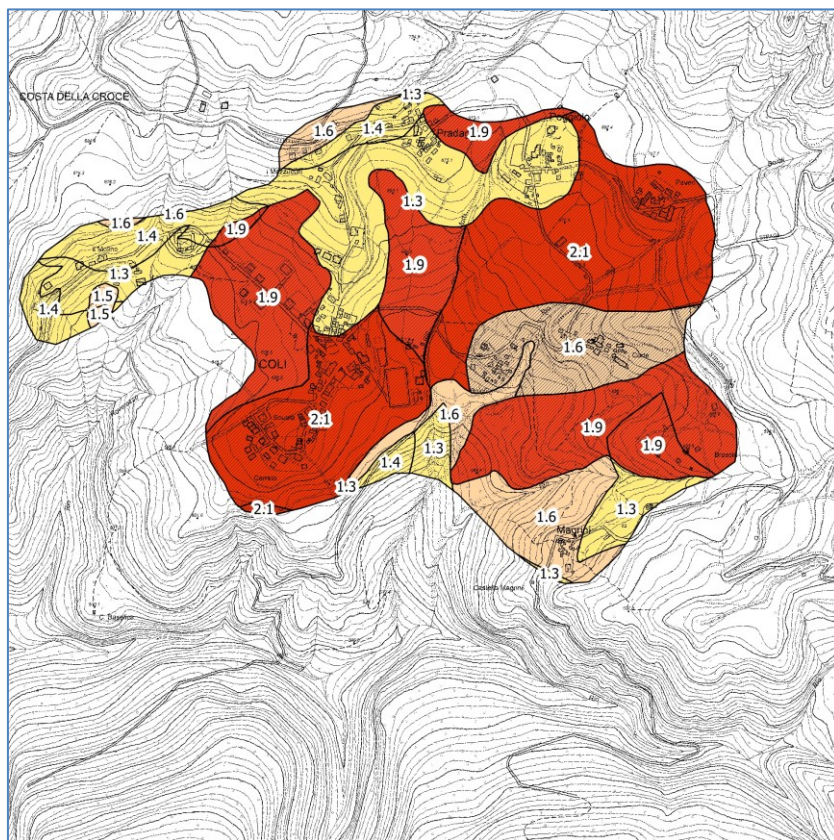


Fig. 29. Estratto della Carta di Microzonazione Sismica FH0105 (fuori scala).

8.7 Carte della distribuzione dei valori di H_{SM}

E' stata infine prodotta una carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in %g), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), 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 0,4 s), per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodo.

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$ derivano dal file *all_4_coord.kmz* messo a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna. I valori puntuali della griglia di riferimento RER sono stati interpolati linearmente al fine di creare un grid continuo e quindi interrogati in funzione del centroide calcolato per ogni microzona omogenea (Fig. 30).

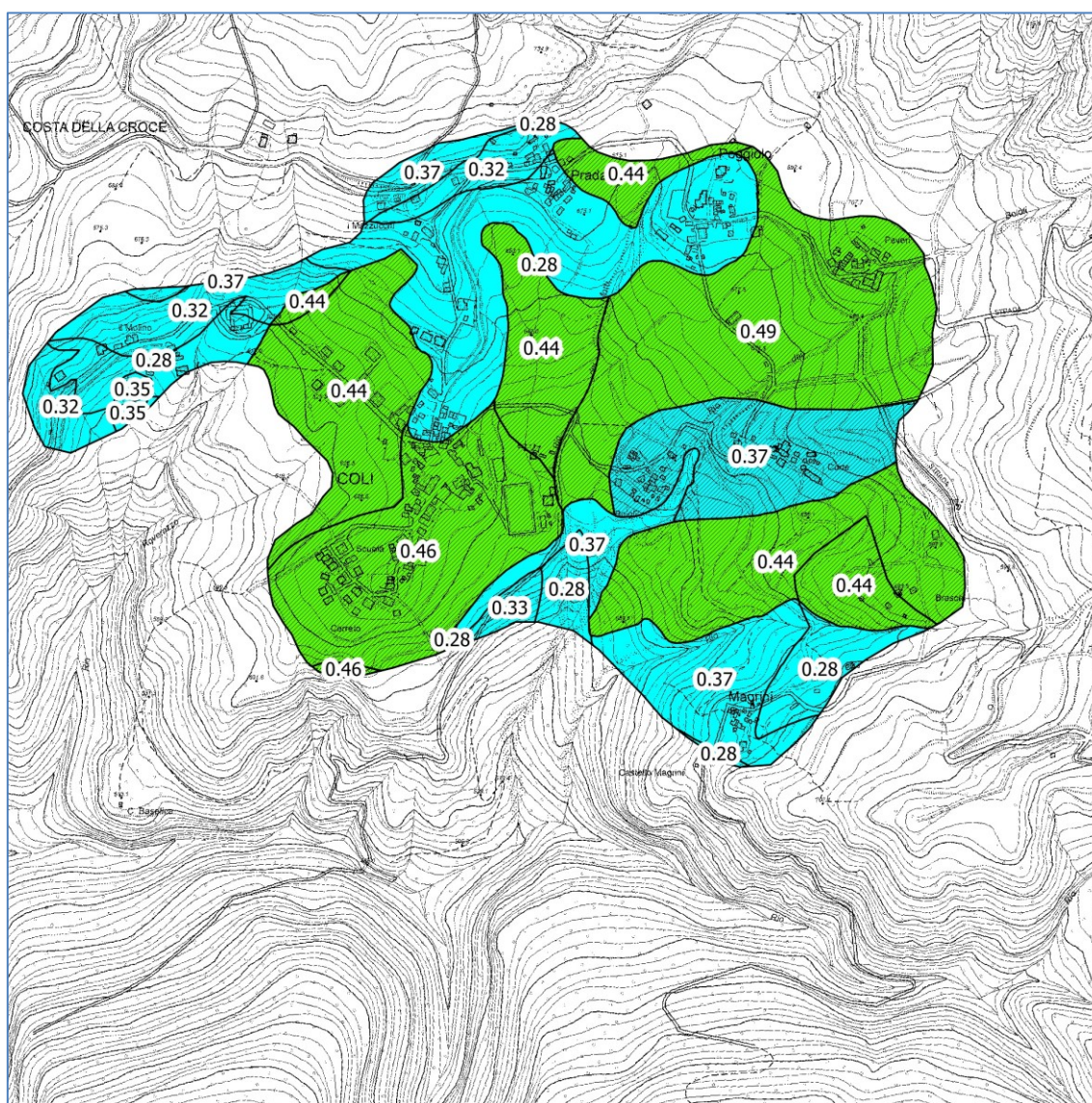


Fig. 30. Estratto della Carta della distribuzione dei valori di H_{SM} (fuori scala).

9 CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DAMNI DEGLI EVENTI PASSATI

Per tentare un confronto tra quanto emerso dal presente studio e la distribuzione dei danni degli eventi passati si è provveduto a verificare le informazioni riportate nel Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFTI), di cui si riporta un estratto in Fig. 31.

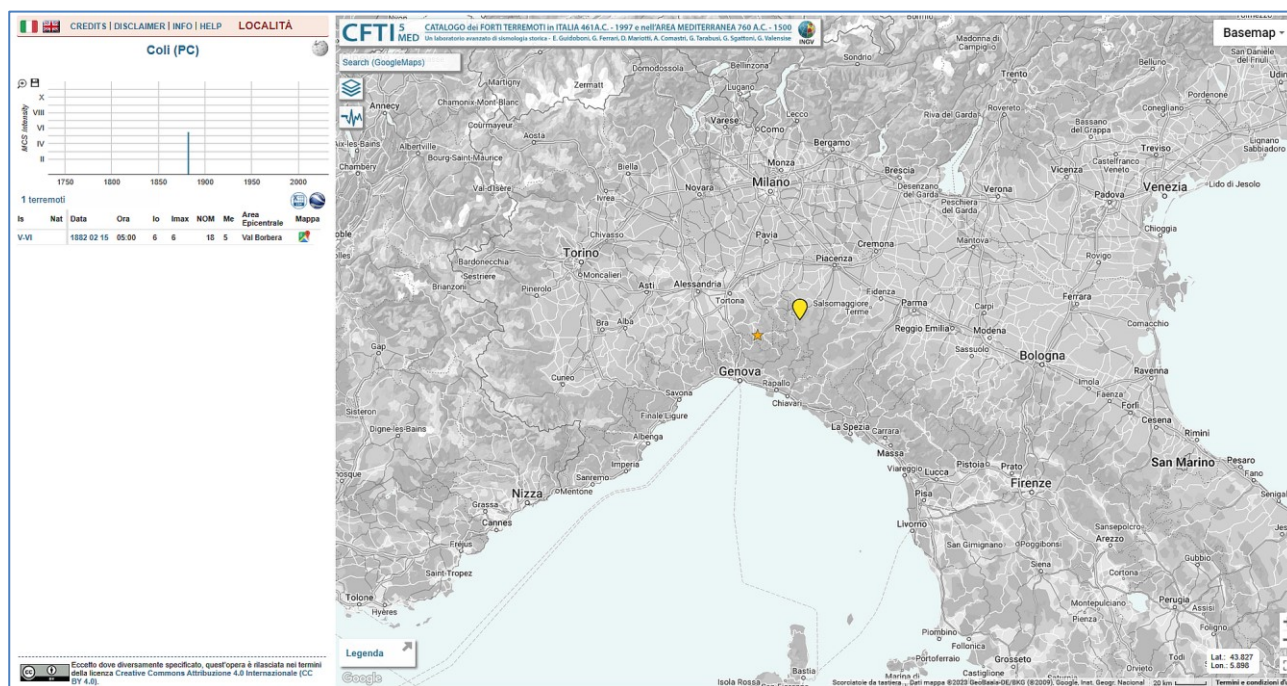


Fig. 31. Estratto del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFTI) per il Comune di Coli.

Da questo catalogo emerge che, storicamente, presso il Comune di Coli è stato risentito un solo terremoto, ossia quello con area epicentrale in Val Borbera del 15/02/1882. In questo caso, “*i commenti storico-critici su questa sequenza sismica e le descrizioni degli effetti nelle varie località non sono attualmente disponibili*”, ma è possibile osservare che il sisma in questione non ha raggiunto a Coli la soglia del danno agli edifici ($I_s \geq 6$).

È dunque possibile concludere che, allo stato attuale delle conoscenze bibliografiche, non è possibile effettuare un confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.

10 BIBLIOGRAFIA

- Albarelo D. & Castellaro S. (2011). *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. Ingegneria Sismica, Anno XXVIII - n. 2, Appendice I e II, pp 50-62.
- DISS Working Group (2021). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>
- Gruppo di lavoro MS (2008). *Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G. & Valensise G. (2018). *CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>

- Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G. & Valensise G. (2019). *CFT15Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area*. Nature, Scientific Data 6, No. 80 (2019). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>
- 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>
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S. & Antonucci A. (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4>
- Madaia C., Facciorusso J. Vannucchi G. & Martelli L. (2012) – *Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna*. RER 2012.
- Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi G., Madaia C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E. & Laurenzano G. (2014). *Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9)*. Atti del 32 convegno GNGTS 2013.
- Martelli L., Severi P., Biavati G., Rosselli S., Camassi R., Ercolani E., Marcellini A., Tenta A., Gerosa D., Albarello D., Guerrini F., Lunedei E., Pileggi D., Pergalani F., Compagnoni M., Fioravante V. & Giretti D. (2014). *Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy)*. Boll. Geof. Teor. Appl., 55, 119-134.
- Meletti C. & Valensise G. (2004). *Zonazione Sismogenetica ZS9-APP. 2 Al rapporto conclusivo*. In: Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Molin D., Stucchi M. & Valensise G. (1996). *Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani*. Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile.
- Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V. & Ercolessi G. (2019). *Maps for land management: from geology to seismic hazard*. Boll. Geof. Teor- Appl., Vol. 60.
- Regione Emilia-Romagna – ENI, Agip (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio.
- Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. *Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna, Foglio 179 "Ponte dell'Olio", alla scala 1: 50.000*.
- Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze (2004). *Carta Sismotettonica della regione Emilia-Romagna – Scala 1:250.000*.
- Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (2012). *Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna*.
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C. G. & Penna A. (2012). *Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms*. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.
- SESAME European research project (2004). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration measurements, processing and interpretation*.

11 ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti anche i seguenti elaborati:

- All. 1 – Tavola Sezioni geologico-tecniche rappresentative, scala 1: 2.500
- All. 2 – Monografie prove MASW eseguite
- All. 3 – Monografie prove HVSR eseguite

Piacenza, gennaio 2023

Dr. Geol. Davide Roverselli

