



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Zola Predosa



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA UNIONE DEI COMUNI VALLE DEL SAMOGGIA  Unione di Comuni Valle del Samoggia	STUDIO SAMUEL SANGIORGI Via Valsellustra 32 40060 Dozza (BO)	16/07/2013

Indice generale

1	Introduzione.....	2
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	6
2.1	Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento.....	6
2.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	11
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	13
3.1	Aspetti geologici e tettonici generali.....	13
3.2	Depositi quaternari e substrato geologico marino nelle aree di studio.....	19
3.2.1	Coperture continentali quaternarie affioranti.....	19
3.2.2	Depositi continentali quaternari sepolti.....	20
3.2.3	Substrato geologico marino: Unità plioceniche di “Margine Appenninico”.....	21
3.3	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	22
3.3.1	Aree Frazioni Rivabella e Gesso.....	22
3.3.2	Area Frazione Madonna dei Prati.....	24
3.3.3	Area frazione Ponte Ronca.....	25
3.3.4	Area Capoluogo.....	26
3.3.5	Aree frazione Riale e Zona Industriale	27
4	Dati geotecnici e geofisici.....	30
4.1	Dati pregressi.....	30
4.2	Dati ex novo.....	31
5	Modello di sottosuolo.....	35
5.1.1	Aree frazioni Rivabella e Gesso.....	35
5.1.2	Frazione Madonna dei Prati.....	36
5.1.3	Frazione Ponte Ronca.....	36
5.1.4	Area Capoluogo.....	37
5.1.5	Aree frazioni Riale e Zona Industriale	39
6	Interpretazioni e incertezze.....	42
7	Metodologie di elaborazione e risultati.....	43
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	43
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	44
7.3	Esiti della microzonazione di secondo livello.....	45
8	Elaborati cartografici.....	46
8.1	Carta delle indagini.....	46
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	46
8.3	Carta delle delle frequenze naturali dei terreni.....	48
8.4	Carta delle delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	50
8.4.1	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	50
8.4.2	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	50
8.4.3	Zone suscettibili di instabilità	56
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	57
8.6	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	57
9	Bibliografia.....	60

1 Introduzione

L'Unione di Comuni Valle del Samoggia è risultata destinataria dei contributi per gli studi di Microzonazione sismica dei sei comuni di pertinenza (Bazzano; Castello di Serravalle; Crespellano; Monte San Pietro; Monteveglio) più il Comune di Zola Predosa¹, di cui all'OPCM n. 4007/2012 e succ. decreto del 16 marzo 2012 del capo del Dipartimento della Protezione Civile. L'Unione ha affidato allo Studio scrivente l'elaborazione delle analisi di Microzonazione sismica di “secondo livello” del territorio urbanizzato e urbanizzabile dei Comuni citati.

Il lavoro di microzonazione sismica del Comune di Zola Predosa è stato elaborato secondo i criteri generali dettati nell'OPCM 4007/2012 e secondo i criteri per gli studi di microzonazione sismica riportati negli allegati della deliberazione della Giunta Regionale (Emilia-Romagna) n. 1302 del 10/09/2012. Più nel dettaglio, si evidenzia che l'elaborazione dello studio di microzonazione e la redazione degli elaborati richiesti sono impostati secondo i contenuti tecnici degli <<Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica>> approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle regioni e delle province Autonome (di seguito indicate come “ICMS 2008”). Per i depositi e le forme che possono determinare effetti locali si è fatto riferimento agli Allegati della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 (di seguito indicata come “DAL 112/2007”).

Occorre rammentare che l'Amministrazione di Zola Predosa già dispone di uno studio² sismico dell'intero territorio comunale equiparabile al “primo livello”, elaborato a corredo del Quadro Conoscitivo per il Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata³, che ha individuato i potenziali scenari e gli “effetti cosismici”. La Provincia di Bologna ha inoltre elaborato nel 2012, a supporto del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), lo studio e la cartografia⁴ di pericolosità sismica preliminare, individuando alla scala amministrativa di pertinenza le zone suscettibili degli effetti locali.

Considerando gli studi pregressi, in accordo con il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della regione Emilia-Romagna e con la Provincia di Bologna, lo studio di microzonazione

¹ Il Comune di Zola Predosa ha aderito, con i Comuni dell'Unione Valle del Samoggia, alla elaborazione del Piano Strutturale Comunale in forma associata dell'“Area Bazzanese”, ai sensi della L.R. n.20/2000 e ss.mm.

² <<Piano Strutturale dei Comuni dell'Area Bazzanese – Documento preliminare: Quadro Conoscitivo. Allegato B – Sistema Naturale e Ambientale>> (analisi geologiche e sismiche a cura dello Studio Samuel Sangiorgi, 2010)

³ Ai sensi della LR n.20/2000 e ss.mm.

⁴ <<Tavola 2C – “Rischio Sismico – Carta degli Effetti Locali Attesi” >> alla scala 1:65.000 per la pianura e 1:25.000 per la collina e montagna;

sismica di secondo livello ha interessato solamente le aree urbanizzate e le aree di nuova previsione edificatoria individuate dal PSC di Zola Predosa: il Capoluogo, la Zona Industriale e le frazioni di Gessi, Madonna dei Prati, Ponte Ronca, Riale e Rivabella. Le aree studiate hanno incluso un'ulteriore fascia esterna ("buffer") variabile fino a circa 15 m. Nel Lavoro si è dunque tenuto conto degli esiti degli studi sismici preliminari, aggiornandoli sulla base dei contenuti richiesti dalla citata normativa sismica di riferimento per questo lavoro.

Lo studio di microzonazione si basa, infine, sugli esiti delle nuove indagini geognostiche e geofisiche espletate per questo lavoro (descritte nei successivi capitoli) e sugli esiti delle indagini pregresse che si sono potute acquisire nel corso del lavoro. In particolare, si è potuto disporre di informazioni geognostiche e geofisiche pregresse recuperate dai seguenti archivi:

- banca dati delle indagini "in situ" predisposta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) della regione Emilia-Romagna;
- uffici Tecnici e di Pianificazione dei Comuni interessati e archivio dell'Unione dei comuni (Relazioni Geologiche allegate a istanze di permessi di costruire e/o Relazioni Geologiche elaborate per la predisposizione di nuovi strumenti di pianificazione e/o Varianti).

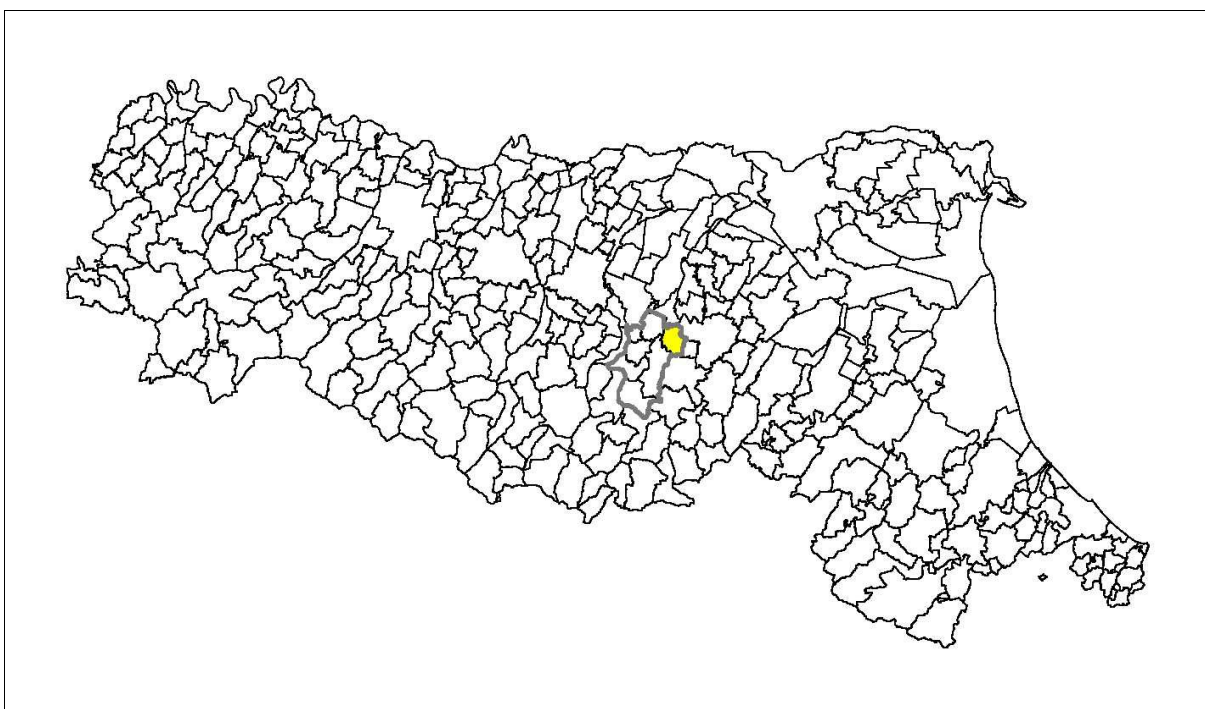


Figura 1.1 - Localizzazione del territorio comunale di Zola Predosa (evidenziato in giallo) e limite del territorio corrispondente all' "Area Bazzanese" (con tratto grigio spesso) rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster fornito dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia (utilizzato anche per le cartografie

prodotte per il Piano Strutturale di Zola Predosa), più aggiornato per quanto riguarda lo stato dell'urbanizzato (edifici e viabilità). La topografia raster è stata elaborata partendo dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 (elementi: 220071; 220072; 220073; 220074; 220111; 220112; 220113; 220114; 220124). Per questo lavoro, la base topografica vettoriale è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi delle analisi in coerenza con quanto richiesto dalla deliberazione regionale n.1302/2012.

La figura 1.1 propone un inquadramento del limite comunale di Zola Predosa rispetto ai Comuni dell'Emilia–Romagna: si tratta di un'Amministrazione situata in contesto che spazia da collinare a pianura, di estensione areale complessiva pari a circa 3.775 ettari.

La figura 1.2 propone uno stralcio della topografia regionale alla scala 1:250.000 del territorio comunale, mentre la figura 1.3 localizza le aree oggetto di microzonazione sismica sulla topografia regionale alla scala 1:25.000. Il limite dell'area studiata è stato sempre ben riportato nelle tavole elaborate per lo studio di microzonazione.

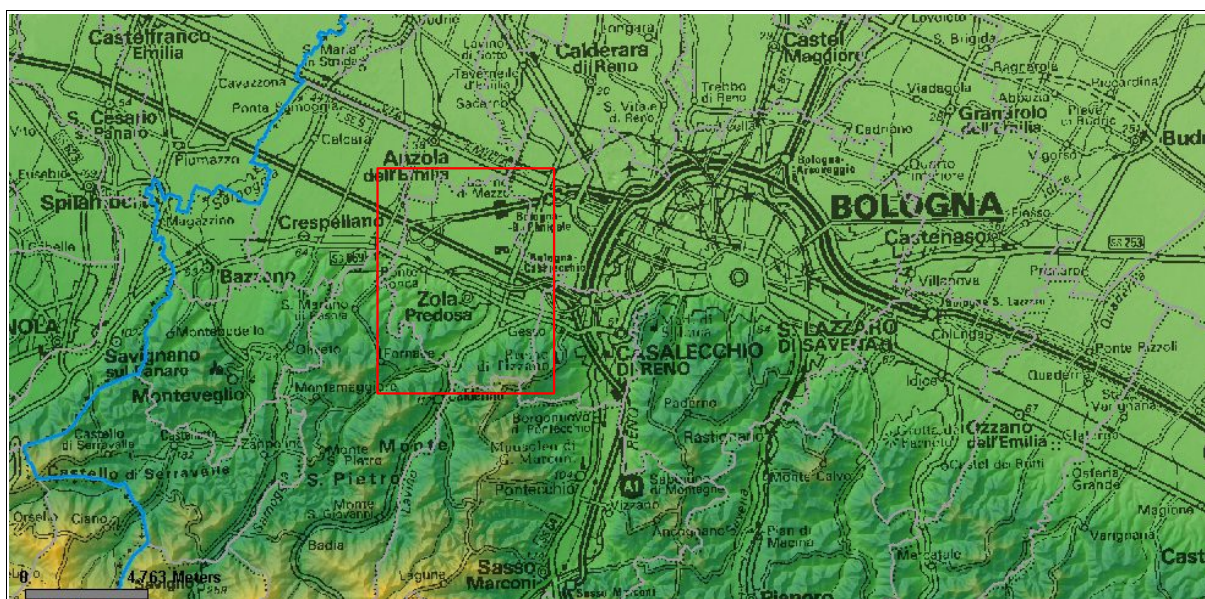


Figura 1.2– Corografia del territorio di Zola Predosa e dei Comuni limitrofi a SO di Bologna (su base topografica alla scala 1:250.000 della Regione Emilia–Romagna).

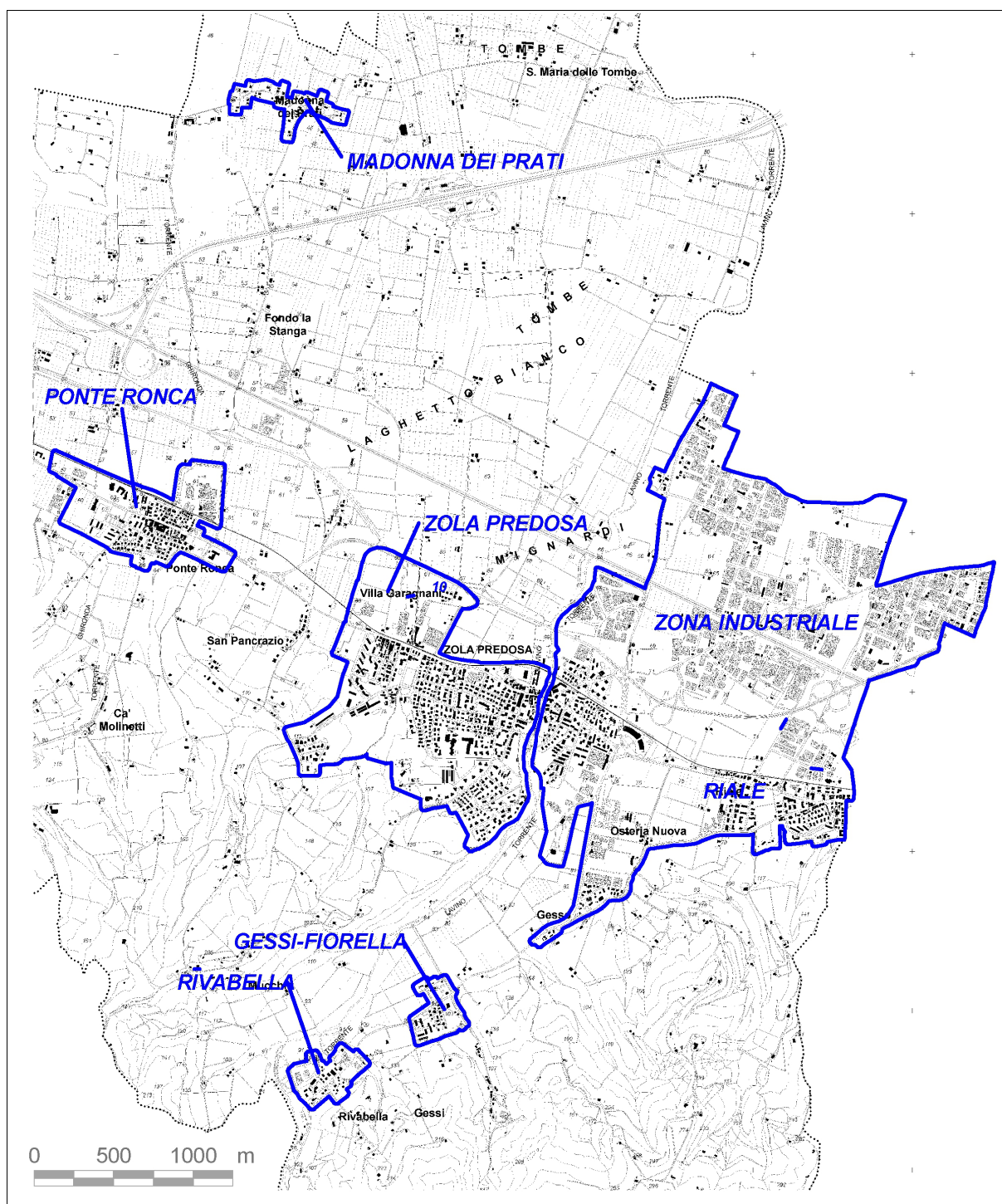


Figura 1.3- Delimitazione delle aree oggetto di indagine (su base topografica alla scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna).

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1 Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento

L'elevata sismicità che caratterizza la penisola italiana è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale e quindi alla presenza di strutture geologicamente "attive"⁵. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è dunque l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui sismi avvenuti nel passato e della geologia strutturale locale, entrambe strettamente connesse tra loro).

Le evoluzioni scientifiche e tecnologiche susseguitesesi in particolare dal 1800 hanno permesso catalogazioni sempre più dettagliate dei terremoti, analisi più raffinate dei meccanismi di innesco e di propagazione dei sisma e una progressiva migliore conoscenza delle zone o delle strutture responsabili della sismicità ("zone" o "sorgenti sismogenetiche") presenti nel territorio italiano.

Recentemente, la Regione Emilia-Romagna, a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso, ha prodotto la <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>>, edita nel 2004 alla scala 1:250.000, che riporta gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo $M > 4$, le strutture attive e quelle potenzialmente sismogenetiche (della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano-adriatico) ed i relativi meccanismi focali tettonici. La localizzazione degli epicentri si è basata sulla catalogazione nazionale dei terremoti CPTI⁶. La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Zola Predosa con la Carta Sismotettonica regionale, mentre la figura 2.2 riporta la cartografia degli epicentri dei terremoti della regione Emilia-Romagna, desunti dal catalogo CPTI e suddivisi per classi di magnitudo.

A livello nazionale si è invece giunti, attraverso varie fasi di studi e revisioni, all'ultima zonazione sismogenica del territorio nazionale, nota con la semplice sigla "ZS9" (2004), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche ai più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare le ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane: DISS 2.0⁷ ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di

⁵ La definizione di faglia <<attiva>> è ancora fonte di accese discussioni scientifiche tra i vari Autori, riferendosi alla possibilità di riattivazione in un intervallo temporale che possa interferire con la nostra società: dall'olocenico (circa 12.000 anni, secondo l'U.S. E.P.A., 1981), al "regime tettonico corrente" (Muir Wood & Mallard, 1992)

⁶ <<Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani>> (Gruppo di lavoro CPTI, 1999-2002)

⁷ <<Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M 5.5 in Italy>> (Valensise e Pantosti, 2001)

diversi gruppi di ricerca operativi nel settore della sismologia storica e della macrosismica (GNDT, INGV e SSN), rappresenta un catalogo parametrico dei terremoti nel territorio italiano e il primo prodotto di riferimento per le stime di “rischio”.

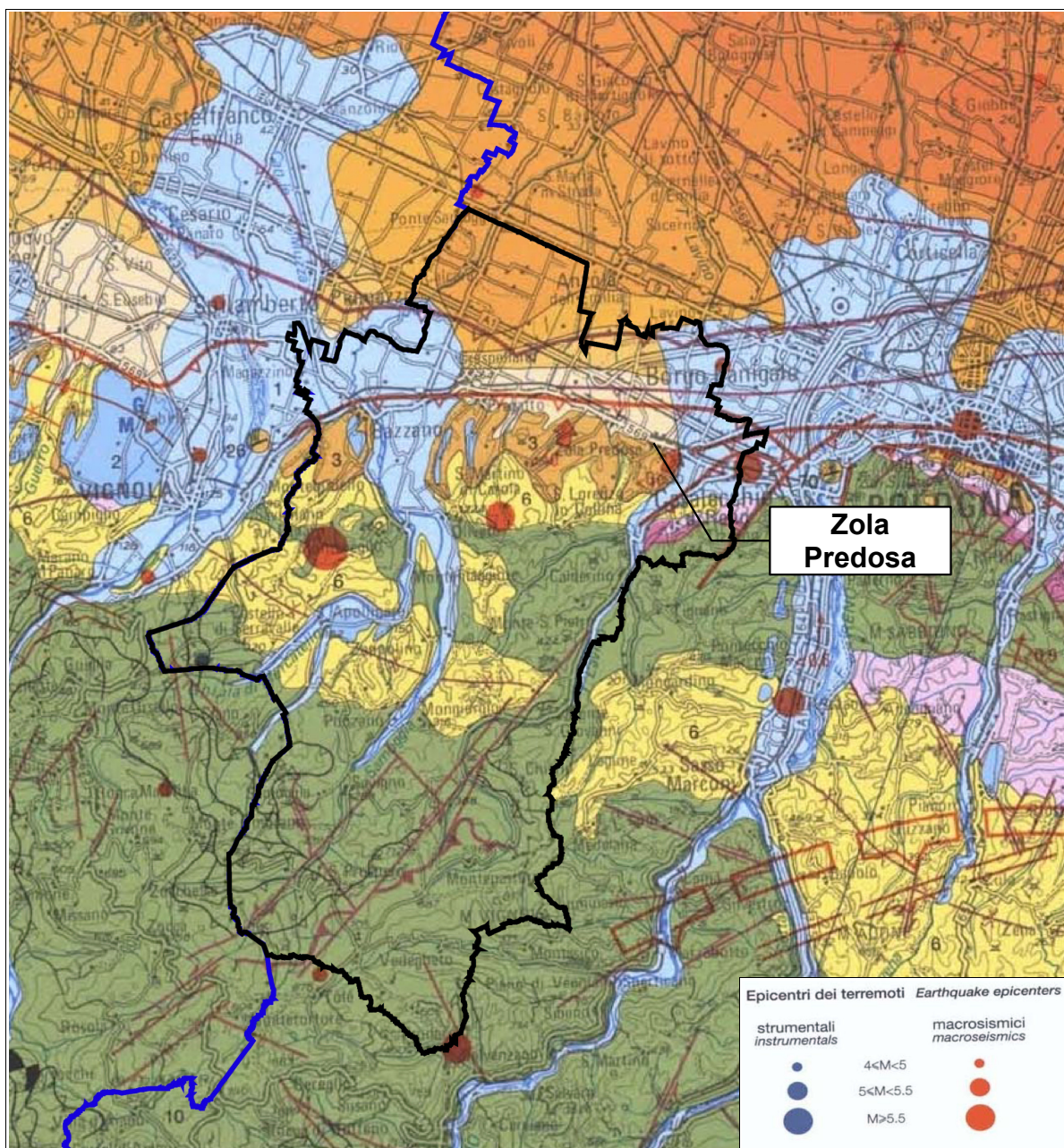


Figura 2.1- Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Zola Predosa) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali di $M_w > 4$ e l'epicentro dei più significativi effetti macrosismici. La fonte regionale degli eventi sismici riportati è il catalogo parametrico nazionale dei terremoti storici (CPTI, 1999).

Il catalogo CPTI, pur essendo un prodotto preliminare e in seguito affiancato da una ulteriore versione più aggiornata (2004), costituisce un riferimento fondamentale per le analisi di pericolosità e per le stime di rischio. Il database DISS 3.1 costituisce invece la versione più

aggiornata e disponibile di DISS, relativamente alla localizzazione, alla distribuzione e alle informazioni note delle sorgenti sismogeniche nel contesto italiano nazionale.

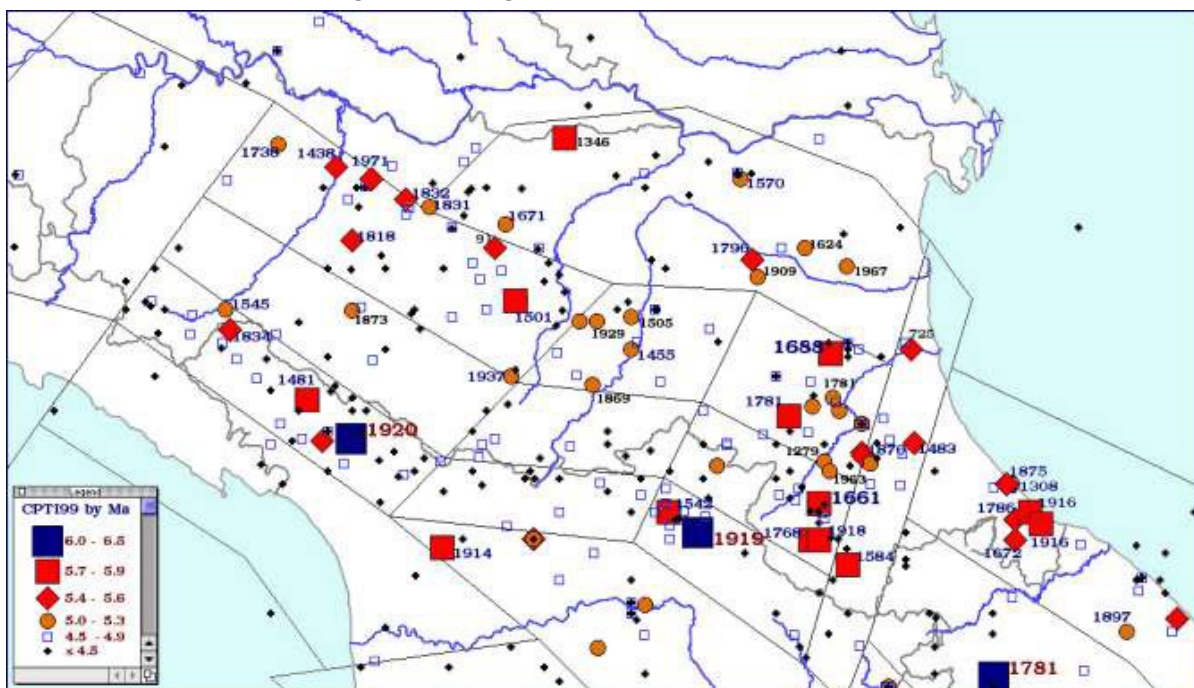


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

La figura 2.3 propone la sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese con la zonazione ZS9: si evince che l'area studiata ricade nella zona 913 (Appennino Emiliano-romagnolo) cioè in una delle zone in cui è stato scomposto longitudinalmente l'arco appenninico settentrionale e centrale da Parma fino all'Abruzzo. In questa zona si verificano terremoti prevalentemente compressivi fino al suo margine, ma anche per meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo della struttura appenninica e ad essa viene attribuita una magnitudo massima $M = 5,91$. Tutta la fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo (fonte: INGV).

La figura 2.3 offre anche la sovrapposizione con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS, nella sua versione più aggiornata e disponibile (DISS 3.1). Questo fondamentale database riporta le tre principali sorgenti sismogeniche limitrofe al territorio studiato:

- la ITCS027 che rappresenta una lunga fascia di territorio che risulta più a sud del territorio comunale di Zola Predosa; la sua magnitudo stimata è pari a $M_w = 6,2$ ed è derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi associati a questa zona e comunque lontani dall'area studiata: Fabriano, 1741, Cagli, 1781, Camerino, 1799, Sarnanno, 1873);
- la ITCS047 che interessa i territori appenninici e pedeappenninici di Castello di

Serravalle, Monteveglio, Monte San Pietro, Zola Predosa, Crespellano e Bazzano (con una magnitudo stimata di $M_w = 5,6$ derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi: bolognesi, 1505 e 1929, modenesi, 1399).

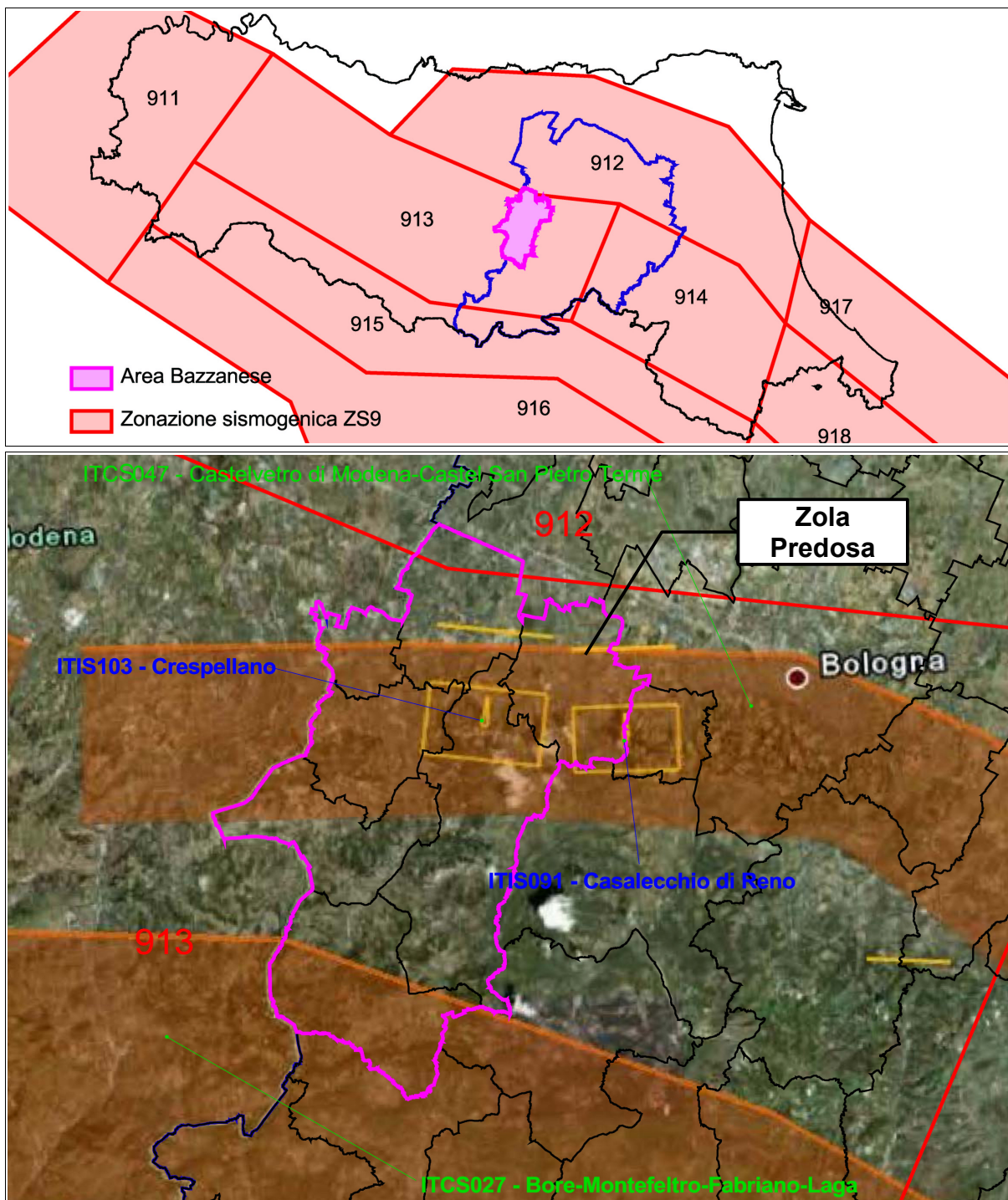


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

In particolare la banca dati DISS 3.1 evidenzia due sorgenti sismogenetiche che interessano

particolarmente l'Area Bazzanese e il territorio di Zola Predosa:

- “ITIS103 - Crespellano” a cui è attribuita una magnitudo $M_w = 5,6$ associata al terremoto del 20 aprile 1929 (fonte: CPTI, 2004); sono documentati danni ad edifici ed infrastrutture con intensità pari al grado VII della scala Mercalli (Zecchi, 1982) ed anche effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali, emissioni di gas (Boschi et al., 2000);
- “ITIS091 - Casalecchio di Reno” a cui è attribuita una $M_w = 5,5$ associata al terremoto bolognese del 3 gennaio 1505 (fonte: CPTI, 2004); la zona epicentrale è stata stimata tra Zola Predosa e Bologna e sono documentati danni più consistenti a Zola Predosa, Bologna e S. Lorenzo in Collina (grado IX della scala Mercalli, cfr. Zecchi, 1882) ed i seguenti effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali (Boschi et al., 2000), effetti di liquefazione a Zola Predosa (Prestininzi e Romeo, 2000)

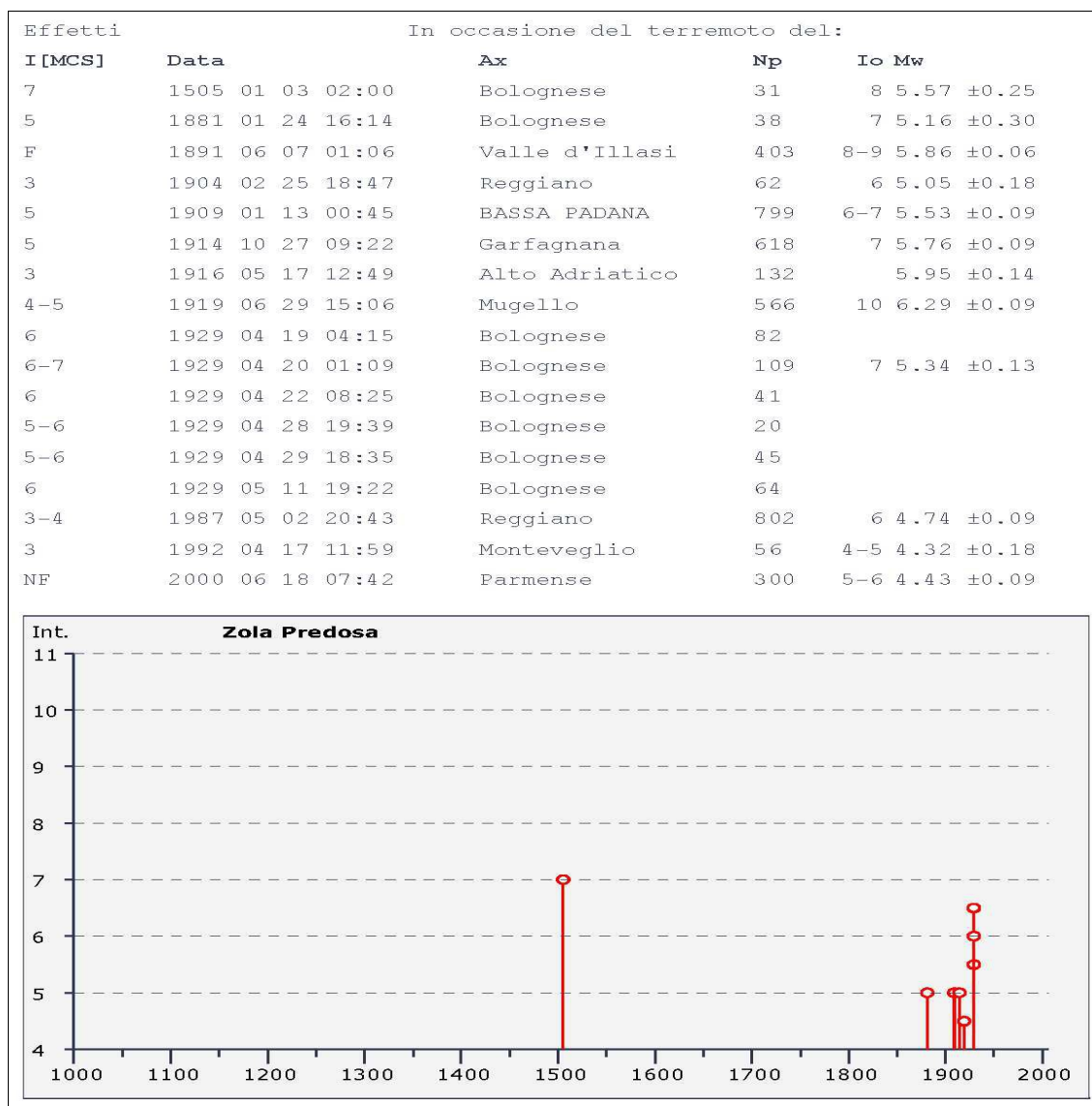


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Zola Predosa e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

Gli studi nazionali e quelli regionali attribuiscono al territorio studiato una pericolosità “media”, con terremoti locali moderatamente forti ed epicentri storici che hanno interessato località limitrofe al territorio di Zola Predosa. In questo senso, la figura 2.4 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio studiato e le relative intensità macrosismiche stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: gli eventi storici più significativi appaiono i vicini terremoti nel bolognese del 1929 (Crepellano) e del 1505 (Casalecchio di Reno), con intensità massima stimata fino al settimo grado MCS.

2.2 Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007

La Regione Emilia-Romagna ha elaborato ed approvato (con Delibera dell'Assemblea Legislativa n.112 del maggio 2007) gli <<Indirizzi per gli studi di Microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la L.R. n.20/2000 <<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio>>.

Gli Indirizzi, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale a partire dalla fine degli anni '70 del secolo scorso e assumendo come riferimento, per la pianificazione, la pericolosità di base elaborata da INGV (recepita a livello nazionale dall'OPCM 3519/2006). In questo senso, la delibera fornisce tabelle e formule propedeutiche alla valutazione semplificata (secondo livello) dell'amplificazione locale, dati che tengono conto delle caratteristiche sismiche riscontrate nel contesto regionale.

Il documento fornisce anche i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta sismica di terzo livello: lo spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna (per $T_r = 475$ anni cioè con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni), riportato in figura 2.5, e i valori di PGA anch'essi normalizzati (riferiti al suolo rigido) per ogni Comune della Regione ed i tre accelerogrammi di riferimento, selezionati dalla Banca dati ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali.

È così possibile ricavare lo spettro di risposta e gli accelerogrammi di riferimento per ogni Comune riscaldando lo spettro normalizzato di figura 2.5 con la a_{refg} attribuita allo stesso Comune (figura 2.6). Per il territorio amministrativo di Zola Predosa, la a_{refg} attribuita dalla Regione Emilia-Romagna risulta pari a 0,163g (vedi Allegato A4 della DAL 112/2007).

Figura 2.5- Spettro di risposta normalizzato impiegato per la selezione dei segnali di riferimento dalla banca dati accelerometrica ISESD.

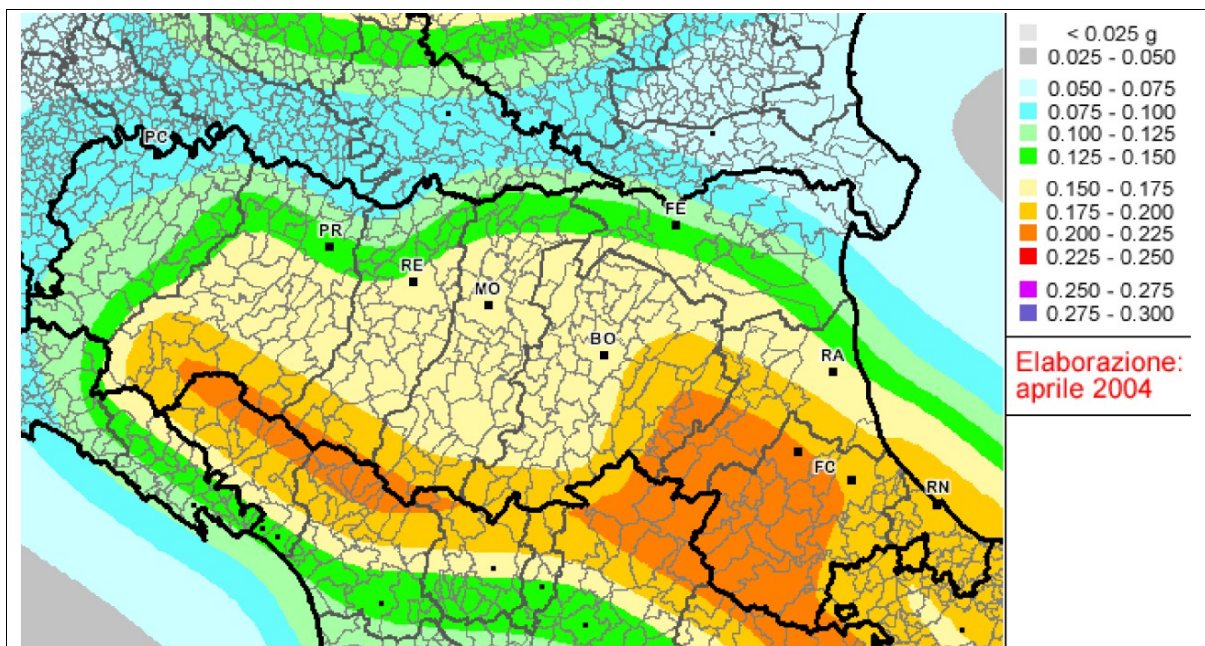
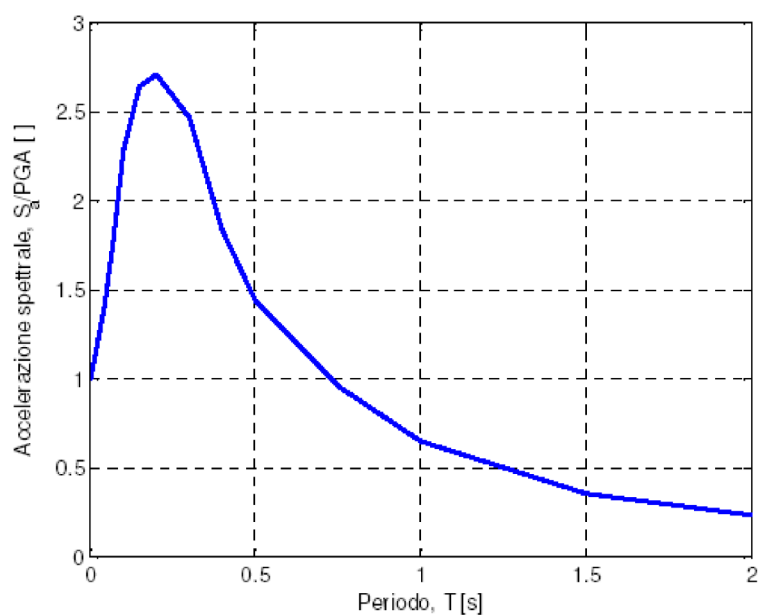


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio di Zola Predosa è quello di zona di transizione da “catena” a “margine” appenninico. Si rammenta che la zona in cui la pianura termina contro i primi declivi appenninici non rappresenta l’inizio della “catena”: infatti all’Appennino morfologico, visibile, segue in pianura un “Appennino in embrione” sepolto sotto i depositi alluvionali padani.

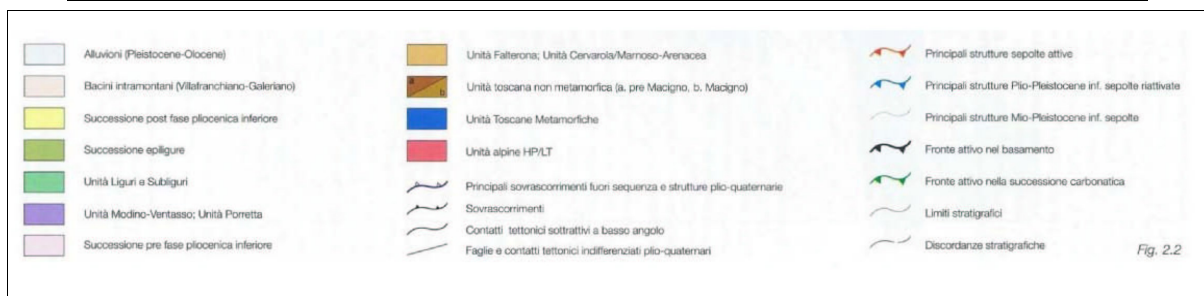
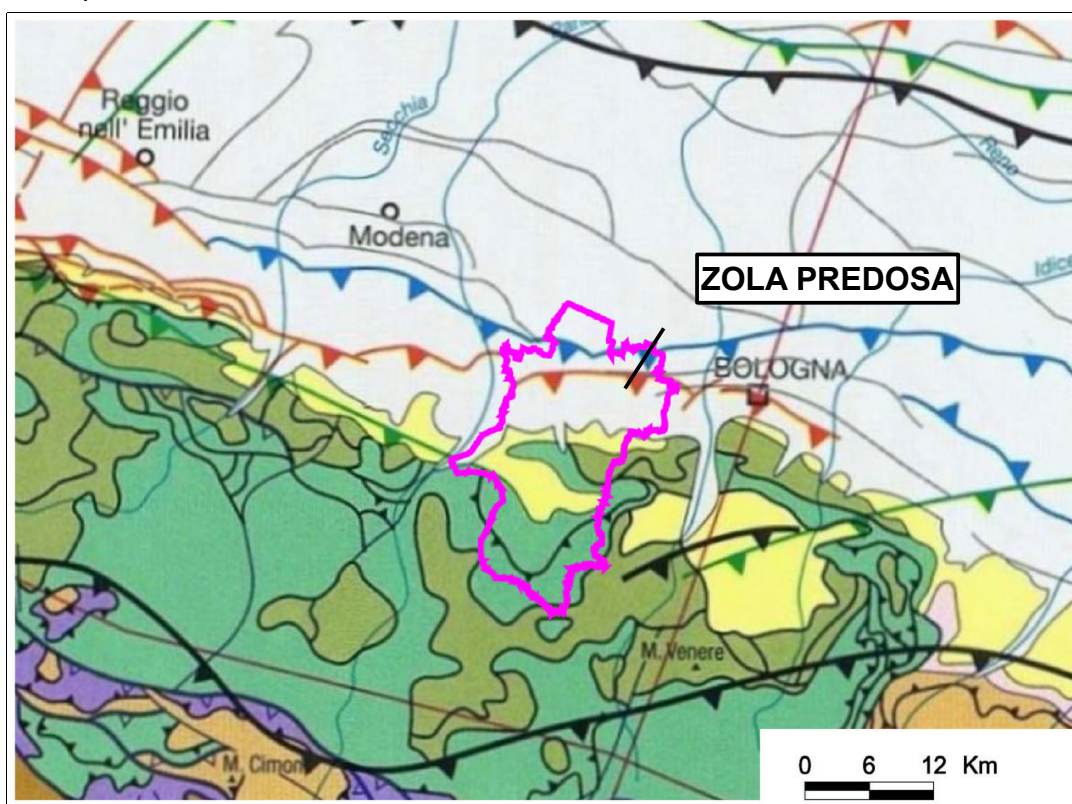


Figura 3.1 – Schema tettonico dell’area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell’area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

In figura 3.1 è inquadrato il contesto tettonico locale che identifica i rapporti tra catena e pianura nel territorio dei Comuni dell’Area Bazzanese (che comprende anche il Comune di

Zola Predosa), mentre la figura 3.2 rappresenta un profilo geologico che interessa l'area studiata.

Il sistema di sovrascorrimenti della pianura padana ha dunque indotto evidenti deformazioni e traslazioni nelle coperture sedimentarie tra il margine pedecollinare del bolognese fino al più esterno fronte ferrarese. Nella figura 3.1 si può così notare la presenza di una linea tettonica nella pianura, subparallela al margine morfologico della collina: si tratta di una faglia inversa (sovrascorrimento), la più interna delle "Pieghe Romagnole" (Pieri e Groppi, 1981), che disloca la catena e solleva il margine attuale, suturata ad oriente di Bologna solamente nel Quaternario (probabilmente medio), mentre ad occidente pare suturata già nel Pliocene medio superiore. La figura 3.2 offre uno schema di profilo trasversale dell'Appennino che interessa l'Area Bazzanese, poco a ovest rispetto all'area di studio (da Castello di Serravalle fino alla pianura padana, oltre Crespellano).

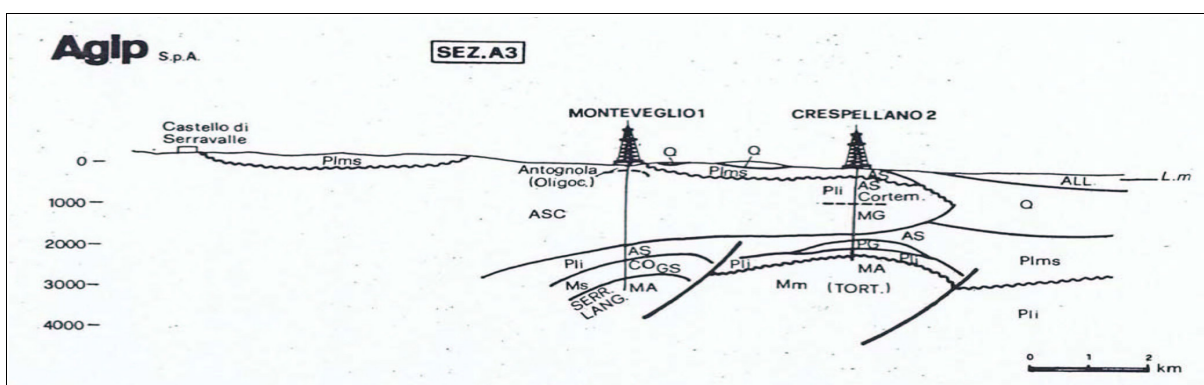


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino e del suo margine tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la "catena sepolta", la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale realizzata soprattutto dal Quaternario marino (Q in figura).

Nel Quaternario medio inferiore (Villafranchiano p.p.) i primi depositi paralicci di margine, in questo quadrante di catena, suturano definitivamente ogni struttura disgiuntiva (figura 3.2): ciò è importante anche per comprendere la "storia" sismica dell'area. Gli spessori delle facies quaternarie continentali (sigla ALL in figura 3.2, depositi del "Supersistema Emiliano-Romagnolo" che corrispondono al ciclo Qc di Ricci Lucchi et Alii, 1982) possono superare i 3000 metri di profondità, al passaggio verso la pianura. Il Supersistema Emiliano-Romagnolo raggruppa, tutti i depositi alluvionali affioranti (e sepolti) ed è caratterizzato alla sua base da una superficie di discontinuità che lo separa da tutti i depositi marini sottostanti. All'interno del Supersistema è stata riconosciuta una superficie di discontinuità (età: 350.000÷450.000 anni - Pleistocene medio) che separa tra loro due unità definite "sistemi": quello inferiore è denominato Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) affiora solamente allo sbocco in pianura di alcune aste vallive (non nell'area di studio) ed è caratterizzata da depositi di piana alluvionale o di conoide alluvionale. Quello superiore è denominato Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e affiora in tutti i settori

intravallivi che in pianura ed è costituito da sedimenti di piana intravalliva, di conoide e di piana alluvionale.

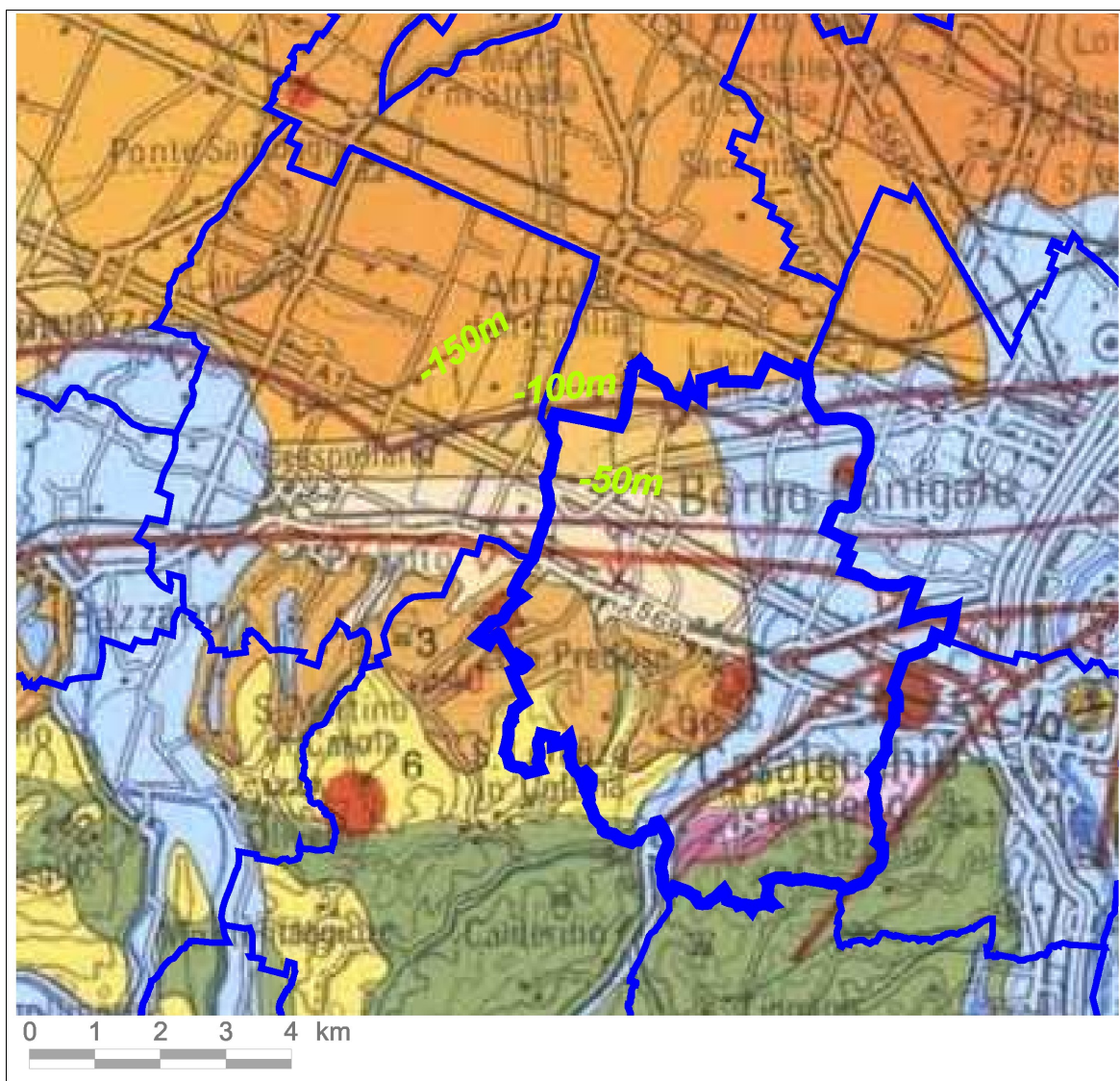


Figura 3.3 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004), sovrapposta al limite comune di Zola Predosa. Nella figura si sono evidenziate in verde chiaro le quote (in m slm) delle isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), mentre l'azzurro che comprende tutta la porzione nord-orientale del Comune indica i depositi di conoide sub affioranti (Fiume Reno e Torrente Lavino)

In tal senso, la figura 3.3 propone uno stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna⁸ che, per il settore di pianura di Crespellano, riporta le isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo (AES), dato di fondamentale importanza, come vedremo per la valutazione dei parametri di amplificazione locali desunti da questo lavoro. La profondità complessiva di AES risulta in progressivo aumento dalla zona di margine

⁸ <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>> scala 1:250.000 (a cura del SGSS della Regione Emilia-Romagna e CNR, ed. 2004)

affiorante verso la pianura a NO, fino a raggiungere poco meno di 100 metri.

Occorre anche rammentare che la più recente cartografia geologica regionale e nazionale distingue le coperture alluvionali comprese in AES secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale “Supersistema Emiliano-Romagnolo” (R.E.R., ENI-AGIP, 1998). I depositi alluvionali attribuiti AES sono suddivisi in quattro principali sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsistemi identificati con sigle da AES5 – più antichi – ad AES8 – più recenti).

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	-0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A ₀
	DILUVIUM p.p.		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE				A ₁
							A ₂
							A ₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	ORIZZONTE DI FOSSOLO	-0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B ₁		
FORMAZIONE DI OLMATELLO	UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE				B ₂		
UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI BORGO PANIGALE				B ₃		
UNITA' DI CA' DI SOLA	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI				B ₄		
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3*	-0.65	0.89	C	C ₁
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.		SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2				C ₂
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.		SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2				C ₃
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.		SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1				C ₄
P ₂	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	-2.2	1.72	C	C ₅
			PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	-3.3-3.6	3.55		
			PLIOCENE INFERIORE MIOCENE	-3.9			
							ACQUITARDO BASALE

Figura 3.4 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da: Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998, modif.). Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi.

La seguente figura 3.4, propone lo schema dei rapporti stratigrafici del margine appenninico e della pianura, basata sulla citata classificazione delle unità deposizionali alluvionali e il sottostante substrato geologico marino che costituisce il margine affiorante e sepolto della catena appenninica.

Non vi è dunque discontinuità strutturale tra pianura e appennino. Nella pianura però le unità geologiche marine fortemente sovraconsolidate sono sepolte sotto i depositi continentali alluvionali, tra cui i più recenti sono quelli superficiali, di maggiore interesse immediato per gli scopi di questo lavoro. L'evoluzione della pianura olocenica è riconducibile ad un modello semplice, almeno nelle linee generali: i corsi d'acqua appenninici, a valle delle

conoidi pedemontane poco attive durante l'Olocene (ultimi 12.000 anni) mentre oggi prevalentemente in erosione, tendono a proseguire verso il collettore principale su alvei pensili, formati da sedimenti che il corso d'acqua non è più in grado di portare in carico.

Nel caso di rotte e tracimazioni, frequenti in natura, le acque invadono la pianura circostante depositando dapprima i sedimenti più grossolani nelle vicinanze dell'alveo, poi più lontano i sedimenti più fini (limi sabbiosi e limi) ed infine nelle conche morfologiche, dove le acque possono rimanere a lungo e decantare, si depositano limi argillosi ed anche argille.

Per i corsi d'acqua di pianura non arginati artificialmente, le rotte e le tracimazioni sono un fenomeno ricorrente che crea condizioni per modifiche e divagazioni dell'alveo: ciò avviene con frequenza assai alta nei bacini subsidenti che caratterizzano la pianura padana. La velocità di subsidenza naturale condiziona la velocità di accrezione verticale, ma la sua variazione geografica condiziona anche la distribuzione spaziale dei corsi d'acqua. L'accrezione della pianura alluvionale avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente a causa dei continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Un immaginario profilo verticale della pianura risulterebbe dunque costituito da un intrecciarsi di lenti sabbiose – corrispondenti a corpi d'alveo sepolti (argini naturali) – e da sedimenti a tessitura fine, determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente condizionati dai processi geo-strutturali profondi (attività delle pieghe romagnole) e di sedimentazione ed alla loro disposizione nel tempo. Nell'alta e media pianura, da Bologna fino al modenese, la divagazione degli alvei dei principali corsi d'acqua Reno e Panaro verso oriente ed in parte verso nord è dovuta all'evoluzione geostrutturale profonda del margine appenninico sepolto e alla presenza dei rilievi costituiti dai depositi granulari (conoidi ed argini naturali) del fiume Po. Nell'area studiata, la disposizione più recente dell'alveo torrente Lavino risente soprattutto delle accrezioni delle conoidi del Fiume Reno; le altre aste fluviali secondarie presenti nel territorio comunale (Ghironda, Podice, ecc.) hanno invece decorsi fortemente condizionati dalle attività di regimazione e di bonifica.

Per quanto riguarda il settore catena appenninica, del territorio in esame è invece caratterizzato da un generale assetto strutturale a falde sovrapposte che si sono dislocate a partire dal Miocene inferiore fino al Plio-Pleistocene. Il territorio collinare in esame può essere schematicamente suddiviso nelle seguenti fasce (figura 3.5):

1. la fascia più settentrionale caratterizzata dalle peliti e dalle arenarie poco cementate del Pliocene inferiore-Pleistocene (unità affioranti IMO, FAA, ADO) che insieme si immergono sotto i sedimenti alluvionali dell'antistante pianura ("monoclinale pedeappenninica" nordvergente). Questo raccordo con la pianura in realtà cela, come già scritto, le

strutture geologiche sepolte che sono evidenziate in figura 3.1 e nel profilo di figura 3.2. Il sollevamento connesso alla tettonica attiva di “thrust” pedeappenninico ha determinato anche il basculamento/sollevamento delle coperture alluvionali più antiche (tardo Pleistocene) che ricoprono le Unità marine appenniniche. Le formazioni a tessitura prevalentemente argillosa (FAA) sono facilmente degradabili e possono evolvere in calanchi, ed altre forme di erosione superficiale;

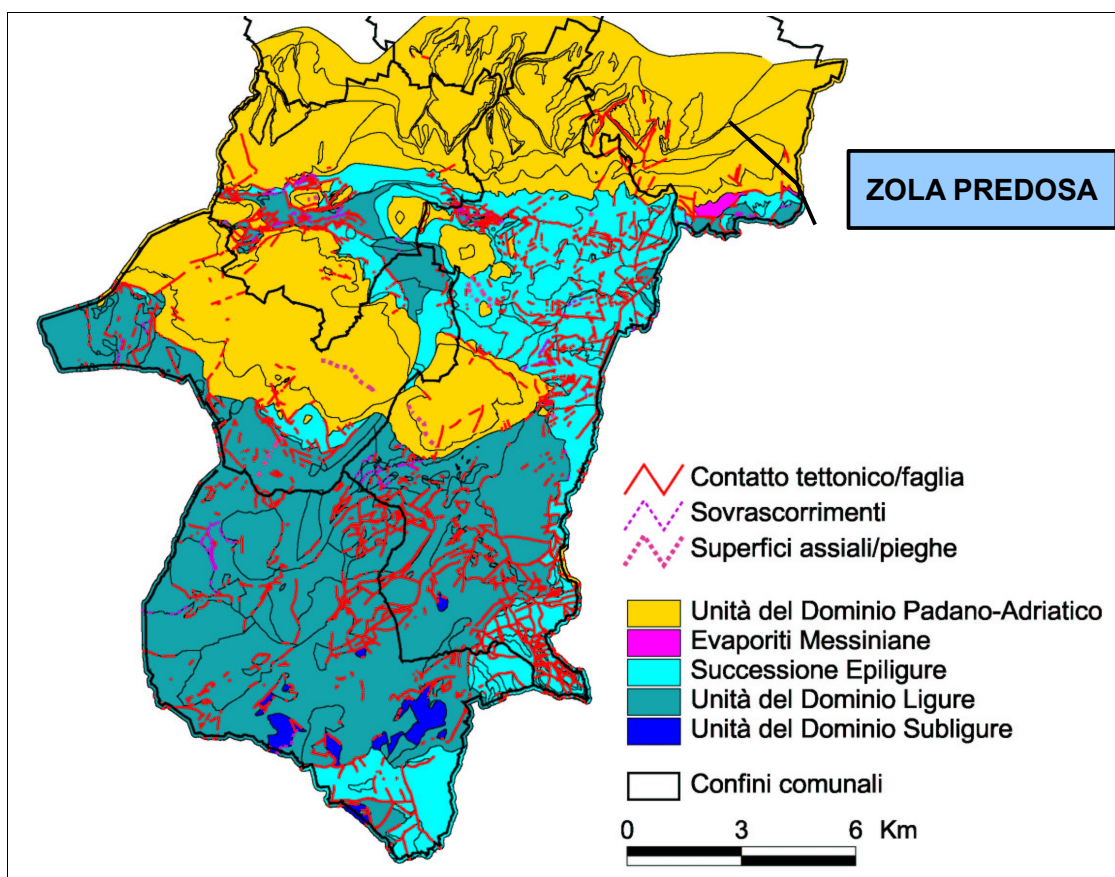


Figura 3.5 – Schema geolito logico del territorio montano e collinare di Zola Predosa e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

2. il lembo più orientale degli affioramenti di gessi messiniani bolognesi (Formazione Gessoso-Solfifera GES) presenti solamente nella porzione di territorio comunale di Zola Predosa, a sud est delle frazioni Gessi e Rivabella. Questa piccola dorsale gessosa, si sviluppa prevalentemente in direzione SO-NE ed è caratterizzata da forme di carsismo anche di rilievo geologico-naturalistico (es. dolina “Gortani”). Le azioni deformative tettoniche indotte dal sollevamento dei gessi (iniziato in concomitanza con l'avanzamento del fronte appenninico dal Messiniano superiore) e le diverse caratteristiche reologiche delle rocce coinvolte hanno prodotto “smembramenti” e dislocazioni nella stessa Formazione che risulta in contatto discordante oppure tettonico sia con i sedimenti soprastanti più recenti (FAA plioceniche ed FCO del Messiniano superiore), sia con i sottostanti depositi epiliguri e liguri;

3. una grande struttura anticlinale che lambisce il territorio comunale più meridionale (vedi profilo di figura 3.2) che al suo nucleo mostra unità geologiche più antiche e fortemente tettonizzate: Liguridi e unità Epiliguri. Questa anticlinale è distinta strutturalmente e stratigraficamente dalla “sinclinale intrappenninica bolognese” (che risulta parzialmente alloctona e con sedimenti attribuiti anche al Pliocene inferiore secondo Ricci Lucchi, 1982) ed è caratterizzata da unità geologiche fortemente tettonizzate a tessitura prevalentemente argillosa e caotica o caoticizzata ed interessate di norma da una notevole instabilità potenziale e da processi d’erosione che affliggono solo la loro porzione più superficiale (oltre più alterata).

3.2 Depositi quaternari e substrato geologico marino nelle aree di studio

Si riportano i principali elementi caratterizzanti delle unità deposizionali (marine e continentali) riscontrate nelle aree di studio di Zola Predosa. La base conoscitiva litostratigrafica e strutturale locale è rappresentata dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile anche on line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna⁹. Un ulteriore riferimento per questo lavoro, è rappresentato anche dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG)¹⁰.

I depositi alluvionali, sono distinte le unità affioranti e quelle sepolte (a formare i settori di conoide del Lavino, del Reno e della pianura di interconoide e di quella più esterna). Le coperture/depositi quaternari e le formazioni geologiche che interessano le aree studiate di Zola Predosa, sono riconducibili a:

3.2.1 Coperture continentali quaternarie affioranti

- Depositi alluvionali terrazzati “AES8” (Subsistema di Ravenna) → Si tratta di sedimenti che nei settori intravallivi del lavino risultano ghiaiosi passanti a sabbie e limi anche argillosi; nello sbocco vallivo del Lavino e nella relativa piana alluvionale di conoide sono caratterizzati ancora da ghiaie, sabbie, limi e argille. L'età deposizionale è attribuita al Pleistocene sup- Olocene. Si rileva inoltre un ordine di terrazzo di rango inferiore, attribuito alla più recente Unità di Modena (sigla AES8a), di età Olocene – Attuale. Questi depositi, risultano morfologicamente distinti dalle alluvioni AES8 da scarpate di erosione fluviale, di altezza generalmente modesta in pianura (fino a pochi metri) e spesso obliterata da interventi antropici; dal punto di vista tessiturale, queste alluvioni risultano prevalentemente ghiaiose e ciottolose nel settore vallivo, con matrice più fine (limi

⁹ Cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss.

¹⁰ E Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 220 – Casalecchio di Reno)

sabbiosi e argille) a formare anche strati di modesto spessore (decimetrici); verso pianura risultano ancora caratterizzati da ghiaie, sabbie, limi e argille, con corpi ghiaiosi presenti esclusivamente nelle zone limitrofe agli alvei principali.

- Depositi alluvionali terrazzati “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio → si tratta di sedimenti alluvionali costituiti da ghiaie sovrastate da limi più o meno sabbiosi, organizzate in alcuni ordini di terrazzi intravallivi, che nell'area di studio sono localizzati nel pedecollina di Zola Predosa, Ponte Ronca, in destra idrografica del Torrente Lavino e a Riale (zona produttiva). È possibile riconoscere due unità di rango inferiore: AES7a (Unità di Niviano) e AES7b (Unità di Vignola). La discriminazione di queste due sottounità non è peraltro ben evidente a causa della non continuità di affioramento tra i settori intravallivi e quelli di margine appenninico. Età deposizionale: Pleistocene sup.
- Depositi alluvionali terrazzati “AES6” (Subsistema di Bazzano) → affiorano nel settore intravallivo a prospiciente Zola Predosa e la Frazione di Ponte Ronca. Sono caratterizzati da ghiaie passanti a sabbie e limi e il limite inferiore erosivo e discordante sui sottostanti depositi marini. Età deposizionale: Pleistocene medio.
- Depositi di conoide torrentizia inattiva → si tratta dei depositi prevalentemente ghiaiosi ghiaie, sabbie, limi e argille riscontrabili allo sbocco vallivo del Lavino. Anche l'area studiata della frazione di Ponte Ronca, situata allo sbocco vallivo del Torrente Ghironda, è caratterizzata da depositi che possono essere più propriamente riconducibili a facies di conoide inattiva del citato corso d'acqua. Il bacino idrogeologico del Ghironda, impostato nelle formazioni plio-pleistoceniche delle Argille Azzurre e Sabbie Gialle (facilmente erodibili), ha determinato il trasporto e la deposizione verso la pianura di sedimenti a tessiture prevalentemente fini (da argille a sabbie).
- Depositi eluvio-colluviali → riscontrabili al piede del versante prospiciente l'area studiata delle frazioni di Rivabella e Gessi, e costituiti da litotipi prevalentemente fini (sabbie, limi e peliti), prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità.
- Depositi di frana → nell'area studiata vi risulta già cartografato un solo movimento di frana: si tratta di un dissesto quiescente con meccanismo d'innescio per scivolamento e che coinvolge l'unità prevalentemente pelitica delle Sabbie gialle (IMO2).

3.2.2 Depositi continentali quaternari sepolti

- Depositi alluvionali “AES8” (Subsistema di Ravenna) → la base di AES8 è caratterizzata da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di entità variabile, maggiormente evidente nel margine appenninico dove la base di AES8 poggia su paleosuoli al tetto delle ghiaie di AES7; spostandosi dal margine verso la pianura, tale lacuna sembra diminuire e la base di AES8 (età: anche pre-oloceniche) si spinge a profondità fino a circa 20 m dal p.c. Nel settore bolognese, e in particolare anche nell'area di studio, la base di AES8 viene convenzionalmente posta al tetto dei corpi ghiaiosi situati nella porzione sommitale di AES7 (ghiaie del Reno e del Lavino).

- Depositi alluvionali “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio → nel sottosuolo AES7 corrisponde complessivamente a un ciclo caratterizzato da una porzione inferiore prevalentemente fine (limi argillosi e limi sabbiosi) di piana alluvionale, passante verso l'alto ad una porzione prevalentemente ghiaiosa (in matrice sabbiosa) di conoide alluvionale che, nell'area di studio, può essere ricondotta al Lavino (sottosuolo nella porzione centrale del territorio comunale e al Reno (parte est). In particolare, le ghiaie presentano una prevalente geometria tabulare, che rappresentano i lobi di conoide alluvionale del Reno e del Lavino. Lo spessore granulare risulta potente fino a circa 50 m nella zona centrale della principale conoide del Reno, per poi ridursi lateralmente fino a spessori di 15÷20 m nell'area orientale del Comune di Zola Predosa. Nelle porzioni di interconoide, i depositi fini si ispessiscono sino ad occupare l'intero ciclo, con la presenza di isolati corpi granulari ghiaiosi. La base dell'unità è posta in corrispondenza del brusco passaggio tra i sottostanti depositi ghiaiosi di conoide alluvionale attribuiti ad AES6, mentre lo spessore massimo raggiunge in aperta pianura circa 90 metri. Età: Pleistocene superiore.
- Depositi alluvionali “AES6” (Subsistema di Bazzano) → nel sottosuolo, questa unità corrisponde a un ciclo formato da una porzione inferiore prevalentemente fine, potente fino a circa 20 m nella pianura più aperta, costituita da limi e argille di piana alluvionale; la porzione superiore è invece costituita da depositi grossolani di conoide alluvionale e di spessore pluridecamentrico e di notevole continuità laterale; nella zona più prossimale alla catena, lo spessore ghiaioso occupa tutto l'intervallo stratigrafico. Il suo limite superiore è dato dal contatto netto con i sovrastanti depositi fini di base AES7, mentre il limite inferiore corrisponde al contatto netto con depositi grossolani sottostanti. Lo spessore massimo raggiunge i 70 metri circa in aperta pianura. Età: parte finale del Pleistocene medio.
- Depositi alluvionali “AES5” (Subsistema di Torre Stagni) e “AES4” (Subsistema di Liano) → queste unità corrisponderebbero rispettivamente al terzo e quarto ciclo (il più profondo) tra quelli che costituiscono l'intero spessore di AES. Età: Pleistocene medio.

3.2.3 Substrato geologico marino: Unità plioceniche di “Margine Appenninnico”

- SABBIE DI IMOLA (IMO) → in particolare depositi marini riconducibili al Membro di Fossoveggia (IMO2) e al Membro di Monte Castellaccio (IMO1).
Le IMO2 sono caratterizzati da peliti prevalenti di colore grigio scuro, grigio azzurro e subordinatamente giallastro e rare intercalazioni centimetriche o decimetriche di peliti sabbiose. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali o da paleosuoli. L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e di palude, passante a piana deltizia, mentre l'età deposizionale è riconducibile al Pleistocene medio. Contatto inferiore netto con IMO1. Lo spessore va da pochi metri a 50m circa.
Le IMO1 sono invece caratterizzate da sabbie ed arenarie gialle fini e finissime, subordinatamente medie e grossolane in strati generalmente amalgamati, rare intercalazioni pelitiche discontinue di spessore centimetrico e decimetrico. Queste sabbie

passano verso l'alto ad alternanze in strati medi e spessi di ghiaie poligeniche, spesso caratterizzate da colori di alterazione bruno-violacei, con diametro massimo fino a 12 centimetri e subordinate sabbie. L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia (dalla battigia, alla spiaggia sommersa). Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA. Spessore massimo di poche decine di metri.

- **FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA)** → si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Alla base, possono essere localmente presenti marne biancastre ricchissime in Foraminiferi planctonici per uno spessore massimo di 10 m. L'ambiente deposizionale è variabile da scarpata a piattaforma. Il suo limite inferiore è netto, discordante su unità più antiche, in particolare nell'area di studio si trova in rapporto di eteropia con ADO.
- **FORMAZIONE DI MONTE ADONE – Membro delle Ganzole (ADO2)** → sono caratterizzate da areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi, di geometria tabulare, cuneiforme e concava. La comparsa di livelli pelitici rende più marcata la stratificazione, passando a una litofacies pelitico-arenacea (ADO2a) di transizione verso le sovrastanti FAA.

3.3 Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate

3.3.1 Aree frazioni Rivabella e Gesso

Le due frazioni sono situate nel contesto di fondovalle del Torrente Lavino, dunque caratterizzato da depositi fluviali terrazzati. Le coperture alluvionali che interessano l'area studiata sono riconducibili principalmente all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna), sul quale si insediano le due frazioni, e ai depositi più recenti AES8a (Unità di Modena), come evidenziato nella figura 3.6. Si tratta di sedimenti ghiaiosi e ciottolosi, passanti a sabbie e limi anche argillosi nell'area di studio, di età deposizionale attribuita al Pleistocene sup-Olocene. Il terrazzo di ordine inferiore, situato nella porzione NO dell'area di Rivabella, è invece attribuito alla più recente Unità di Modena (sigla AES8a) di età Olocene – Attuale. Questi depositi, risultano morfologicamente distinti dalle alluvioni AES8 da una scarpata di erosione fluviale che nell'area in questione risulta di circa 14÷16 metri; dal punto di vista tessiturale, queste alluvioni risultano prevalentemente ghiaiose e ciottolose con matrice più fine (limi sabbiosi e argille) a formare anche strati di modesto spessore (decimetrici).

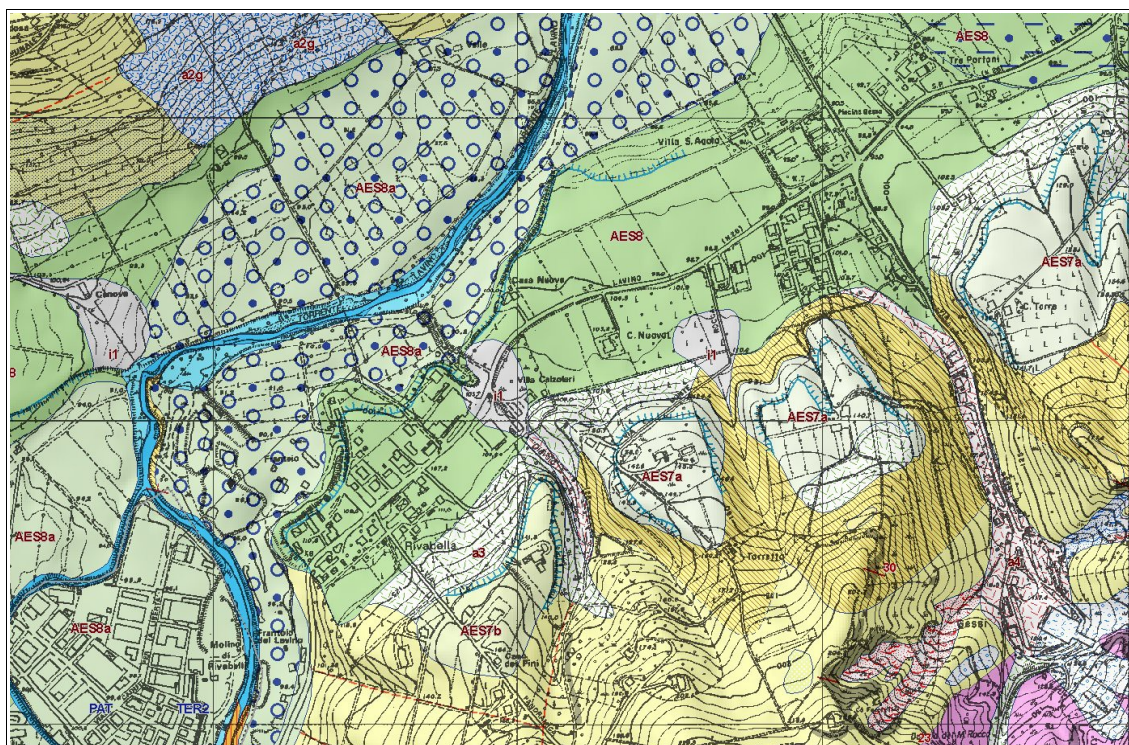


Figura 3.6 – Aree di studio Rivabella e Gesso: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

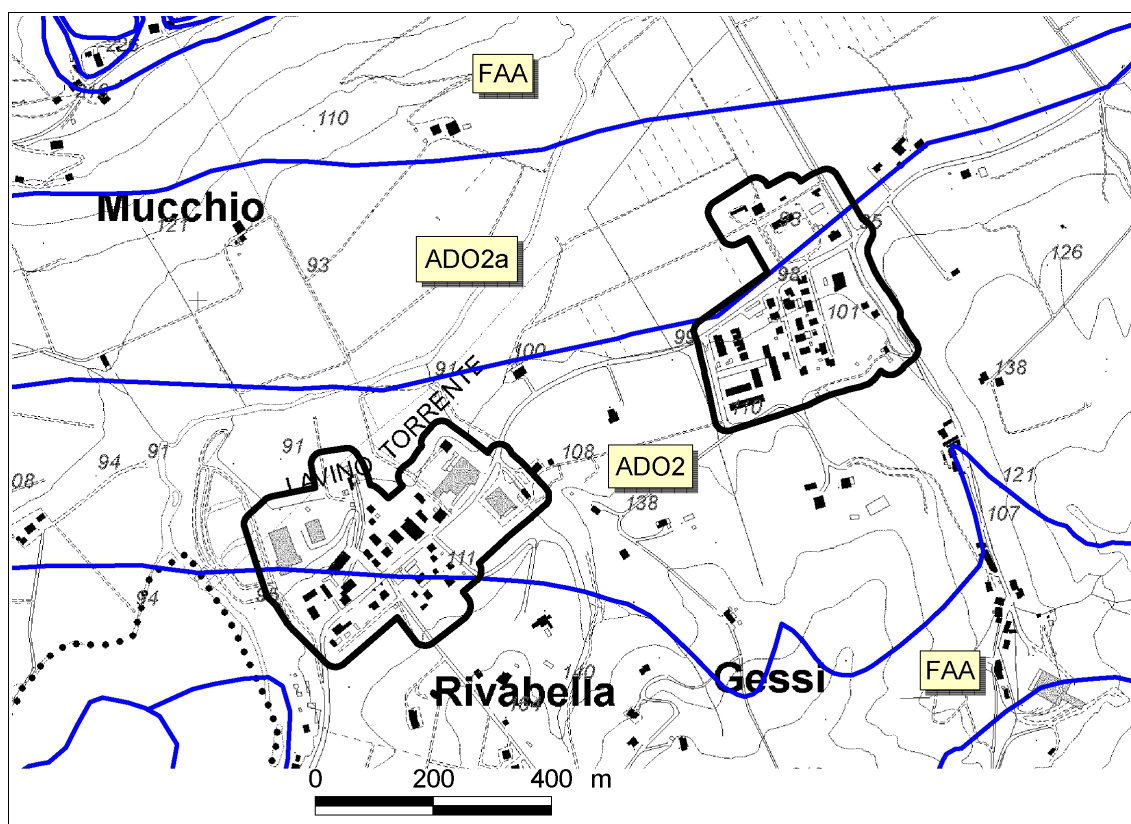


Figura 3.7 – Schema del substrato geologico senza coperture dell'area di Rivabella e Gesso (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

Si segnala, peraltro, che la porzione di terrazzo AES8a è parte di un'ex area di cava di ghiaie, già ripristinata: sulla superficie tombata, vi sono insediati fabbricati di un'attività produttiva.

Le due aree di studio, comprendono a monte dei depositi terrazzati AES8, il piede di una scarpata, anch'essa attribuita a erosione fluviale, che la carta geologica regionale indica caratterizzata da depositi di versante; si tratta più propriamente di coperture di tipo eluvio-colluviali, derivate dalla degradazione del substrato geologico che costituisce il versante a monte e di alterazione e rideposizione di sedimenti provenienti dal soprastante terrazzo alluvionale pensile AES7, che rimane esterno all'area di studio.

Il substrato geologico sepolto dalle coperture alluvionali ed eluvio colluviali è riconducibile a unità plioceniche di Margine Appenninico e in particolare al “Membro delle Ganzole” (ADO2) della Formazione di Monte Adone, caratterizzato da areniti e peliti sabbiose, e alle Argille Azzurre (FAA), caratterizzate prevalentemente da argille e argille marnose. Le unità geologiche che interessano le aree studiate, sono già state descritte nel precedente paragrafo 3.2, mentre la figura 3.7 propone lo schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo sepolto delle due aree di fondovalle considerate: la figura non riporta le coperture quaternarie, già rappresentate nello stralcio della cartografia geologica regionale.

3.3.2 Area Frazione Madonna dei Prati

La frazione di Madonna dei Prati ricade nel contesto di pianura alluvionale a nord del capoluogo, con depositi affioranti riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna) e attribuiti a facies interfluviale (figura 3.8). I sedimenti riscontrabili in superficie e nei primi metri di sottosuolo sono pertanto prevalentemente fini (limi e argille).



Figura 3.8 – Area frazione Madonna dei Prati: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

3.3.3 Area frazione Ponte Ronca

La frazione Ponte Ronca è situata al margine della catena affiorante con la pianura bolognese. La carta geologica regionale (figura 3.9) rileva depositi alluvionali affioranti, a tessiture prevalentemente fini, attribuiti all'unità di Ravenna (AES8) e al terrazzo di rango inferiore e più recente AES8a (Unità di Modena); la scarpata d'incisione che delimita le due unità, risulta mal rilevabile e obliterata anche dagli interventi di urbanizzazione. L'area risulta distante dai principali apparati distributori locali (Torrenti Samoggia e Lavino) e il contesto deposizionale generale è da attribuirsi ad ambiente interfluviale, caratterizzato da depositi affioranti sostanzialmente fini (argille e limi). Peraltro, l'abitato ricade allo sbocco della valle del Torrente Ghironda, un corso d'acqua secondario caratterizzato da un bacino idrogeologico inciso nelle unità geologiche plioceniche di Margine Appenninico e prevalentemente nell'unità delle Sabbie di Imola (che affiorano nelle scarpate intravallive, a monte dell'area studiata) e nei sovrastanti terrazzi fluviali pleistocenici AES6. Per quanto detto, considerando anche la facile erodibilità dei depositi che caratterizzano i versanti incisi a monte dell'area di studio, la frazione di Ponte Ronca può considerarsi insediata sui sedimenti del modesto apparato di conoide inattivo del Torrente Ghironda, con tessiture che possono pertanto variare da argille e limi a sabbiose.

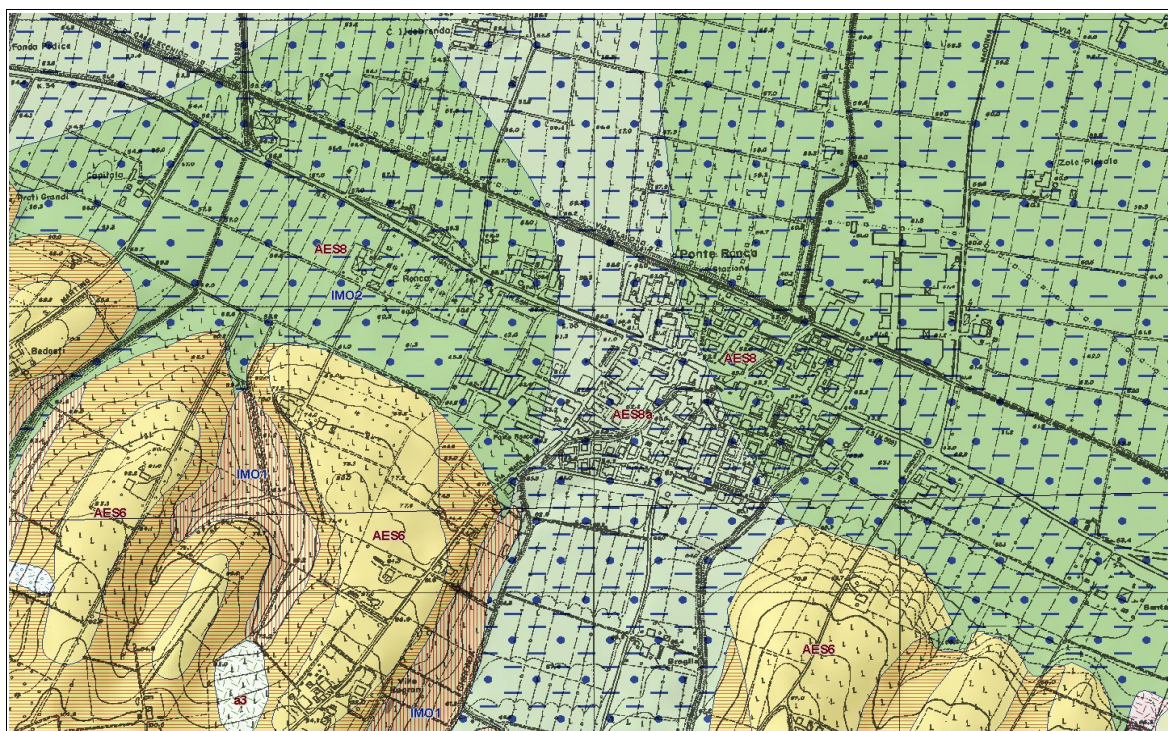


Figura 3.9 – Area di studio Ponte Ronca: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

3.3.4 Area Capoluogo

L'abitato di Zola Predosa ricade in un contesto che da margine di catena appenninica affiorante (a sud) passa rapidamente a pianura nella porzione più settentrionale.

Nella parte meridionale, la cartografia geologica regionale (figura 3.10) evidenzia come una parte dell'abitato risulti situato su depositi pressoché affioranti del bedrock marino delle Sabbie Gialle e in particolare sui sedimenti pelitici che costituiscono il Membro di Fossoveggia (IMO2). Verso nord, ai depositi IMO2 si sovrappongono, in contatto erosivo, le coltri continentali pelistoceniche (alluvioni delle Unità AES6 – Subsistema di Bazzano – e AES7 – Subsistema di Villa Verrucchio) che, in sostanza vanno a chiudere la porzione di catena monoclinica e nordvergente affiorante. La carta geologica regionale riporta depositi riconducibili a IMO1 in affioramento nelle scarpate sottostanti il pianoro più a SE del Capoluogo (localizzabile dal toponimo San Giuseppe), peraltro le indagini geognostiche (e geofisiche) eseguite nel pianoro e i sondaggi eseguiti più a valle (P199PA210; P200PA211) riscontrano tessiture pelitiche riconducibili alle IMO2.

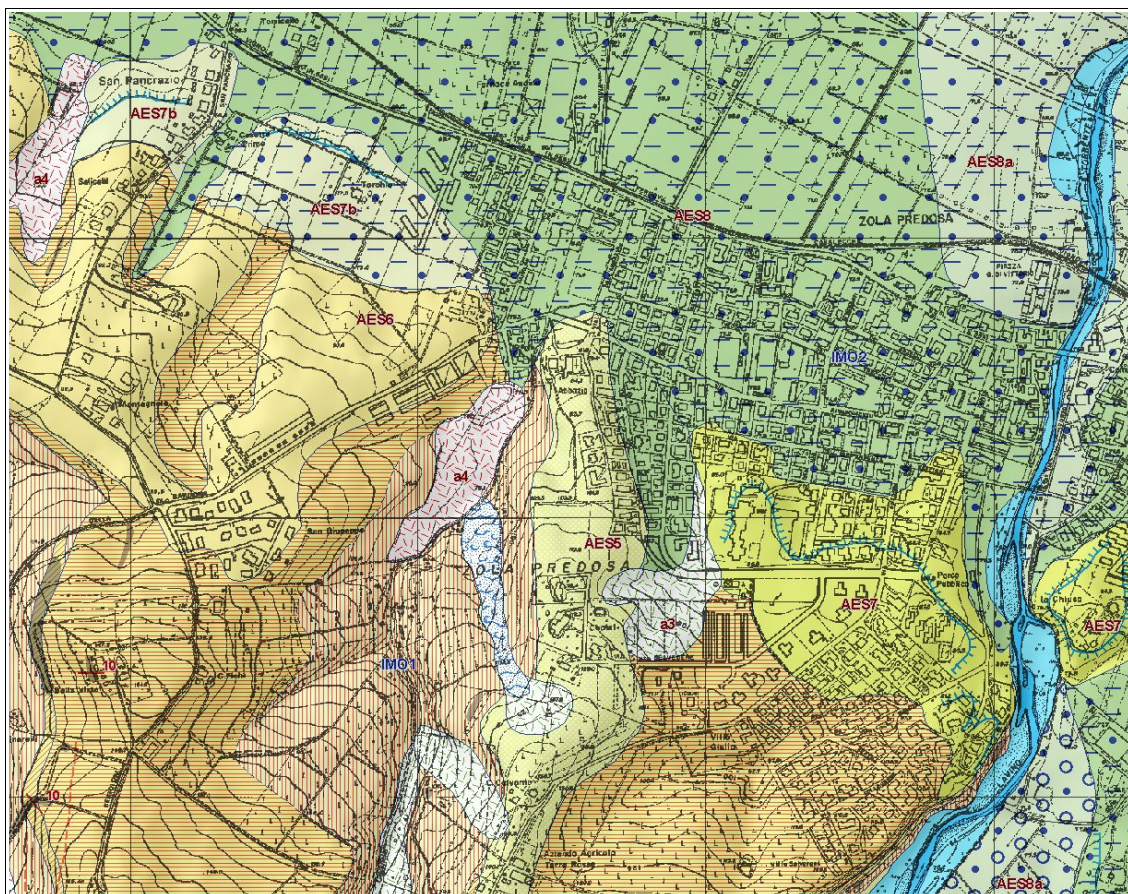


Figura 3.10 – Area Capoluogo: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Più a nord, a quote topograficamente sub-pianeggianti (grossomodo a settentrione della via Indipendenza), l'abitato di Zola Predosa è insediato sulle alluvioni affioranti più recenti (AES8

e AES8a) riconducibili alla sedimentazione dell'apparato di conoide più superficiale del Torrente Lavino, con alternanze di ghiaie sabbiose anche sub-affioranti e livelli più fini. La presenza di ghiaie sub-affioranti è dimostrata anche dalla presenza di un ampio polo estrattivo a nord della ferrovia Vignola-Casalecchio.

3.3.5 Aree frazione Riale e Zona Industriale

L'ampia porzione orientale del territorio comunale è ancora caratterizzata da un contesto che da margine di catena appenninica affiorante passa rapidamente a pianura nella porzione più settentrionale (zona industriale), inoltre le ulteriori frazioni di Gesso e Osteria Nuova ricadono nella zona di sbocco vallivo del Torrente Lavino.

La porzione più meridionale di Riale è caratterizzata da depositi alluvionali affioranti riconducibili all'Unità AES6 (Subsistema di Bazzano), come riportato nella figura 3.10, che sovrastano il substrato geologico marino, in contatto erosivo, costituito dalle Argille Azzurre plioceniche (FAA); questi depositi, chiudono il margine appenninico affiorante. Nel fondovalle a nord di Gesso il substrato geologico è invece attribuito alle prevalenti peliti che caratterizzano la porzione sommitale della Formazione di Monte Adone (ADO2 - Membro delle Ganzole), come riportato in figura 3.13. La porzione principale dell'abitato di Riale e la sua area produttiva a nord della ferrovia Vignola-Casalecchio sono invece insediati su depositi alluvionali riconducibili all'Unità AES7 (Subsistema di Villa Verrucchio).

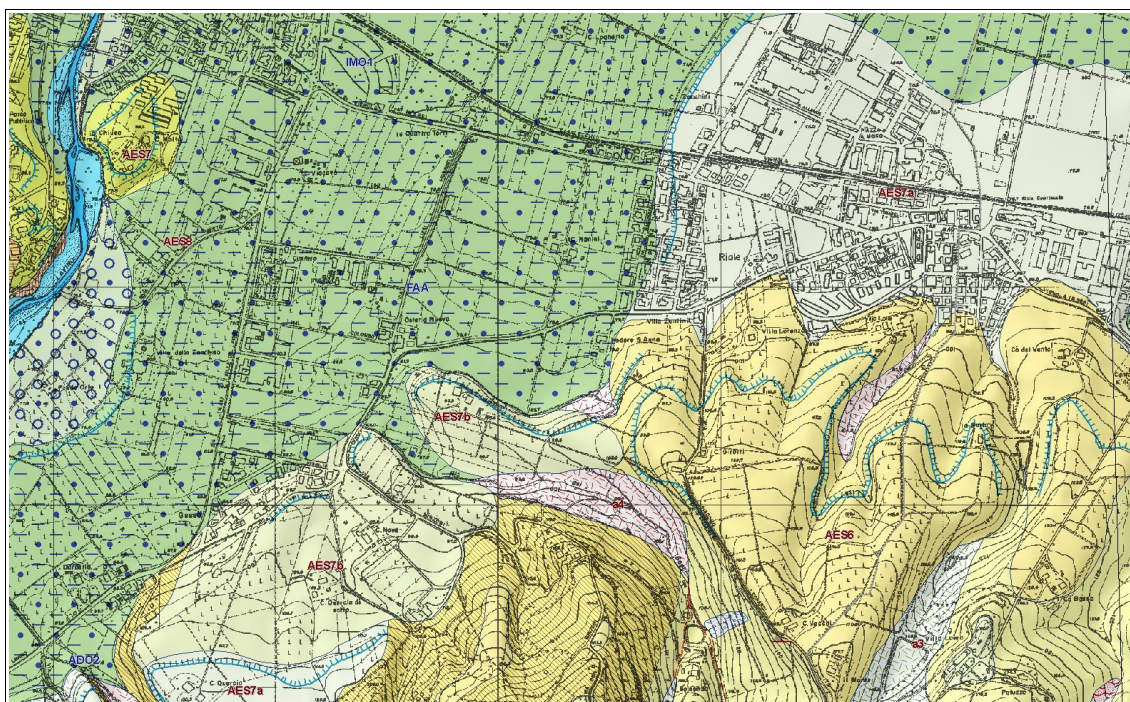


Figura 3.11 – Area frazione Riale: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.



Figura 3.12 - Area Zona Industriale Zola Predosa: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

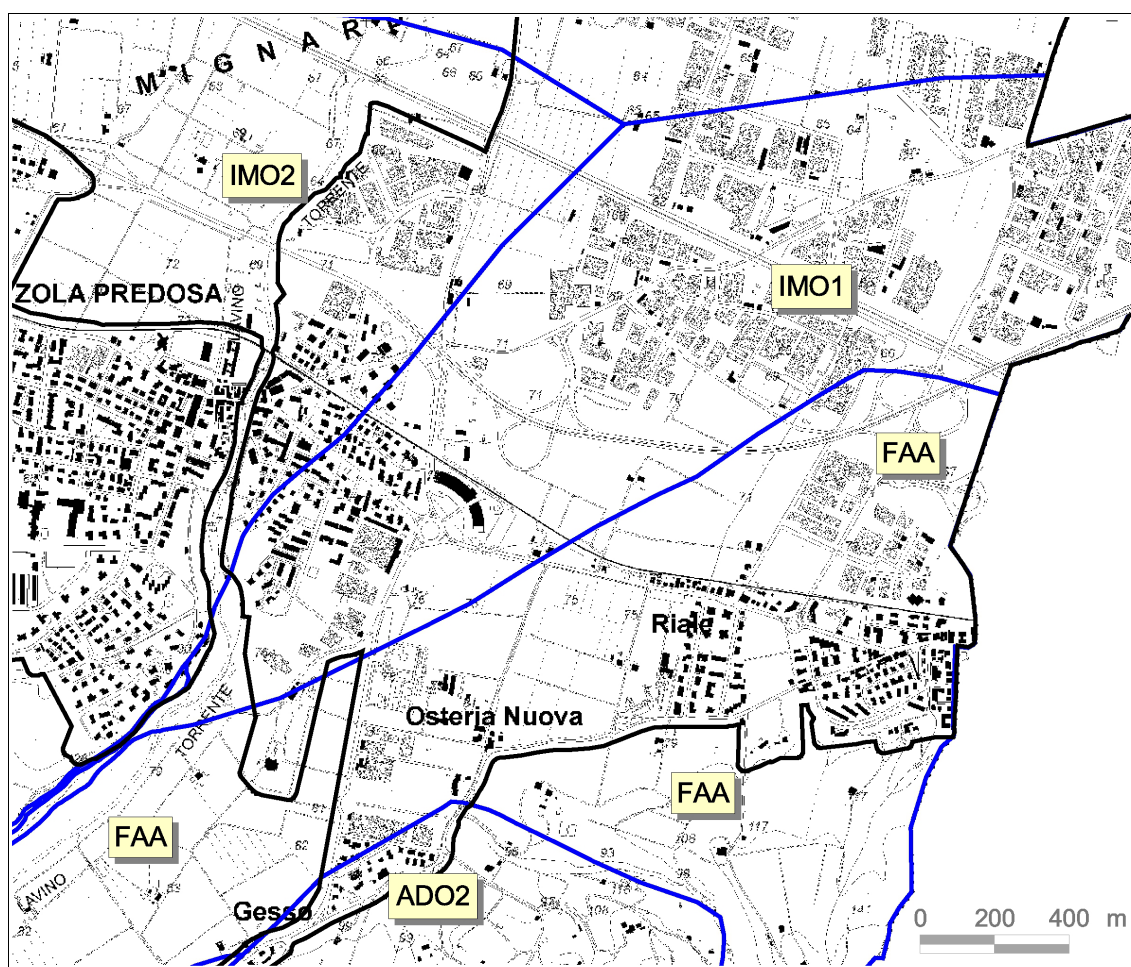


Figura 3.13 - Schema del substrato geologico senza coperture Riale e Zona Industriale (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

Lo sbocco vallivo del torrente Lavino, l'insediato di Gesso e Osteria Nuova e la Zona Industriale di Zola Predosa ricadono invece sui depositi alluvionali più recenti del Lavino (Unità AES8 e AES8a). Queste ultime sono caratterizzate da sedimenti più superficiali fini con intervalli ghiaioso-sabbiosi anche sub-affioranti con abbondante matrice fine. Il contesto deposizionale generale di quest'area studiata è peraltro di conoide alluvionale del Torrente Lavino e del Fiume Reno nella porzione NE.

La figura 3.13, propone uno schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo (sepolto) delle aree studiate presso lo sbocco vallivo del Lavino e presso la frazione Riale: la figura non riporta le coperture quaternarie, già rappresentate nelle precedenti figure.

4 Dati geotecnici e geofisici

4.1 Dati pregressi

Lo studio di Microzonazione ha consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse (Banca dati delle indagini geognostiche della Regione Emilia-Romagna; archivio Ufficio Tecnico comunale; ecc.), fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio. In tal senso, le figure da 4.1 a 4.3 localizzano i siti puntuali e lineari ove sono state svolte le prove di riferimento per lo studio di Microzonazione sismica di Zola Predosa (secondo il criterio di archiviazione della Protezione Civile), utile per l'individuazione delle stesse indagini. I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in formato *.pdf nella cartella Indagini\documenta nel DVD.

La selezione delle prove di repertorio ha considerato che molte prove risultano eseguite con attrezzature fuori standard (fornendo quindi esiti inutilizzabili o non interpretabili), oppure altre sono risultate troppo superficiali per poter essere pienamente usate per gli scopi del presente lavoro. In conclusione, i dati utilizzati sono quelli delle stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi che hanno anche raggiunto o meno il substrato marino, le CPT di profondità (generalmente spinte fino a profondità maggiori di 10 metri oppure giunte a “rifiuto” strumentale), le penetrometrie dinamiche standard (pesanti; leggere).

In sintesi, il totale delle prove pregresse, considerate per lo studio di Microzonazione (e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro), risulta pari a 100 prove, così distinte per tipologia:

- n. 6 carotaggi continui (S) di cui 4 hanno intercettato il bedrock (SS)
- n. 13 sondaggi a distruzione di nucleo (SD) di cui 7 hanno intercettato il bedrock (SDS)
- n. 39 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 1 prova penetrometrica con punta elettrica e piezocono (CPTU)
- n. 28 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- n. 4 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- n. 7 misure di microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 1 stendimento MASW
- n. 1 stendimento a rifrazione (SR)

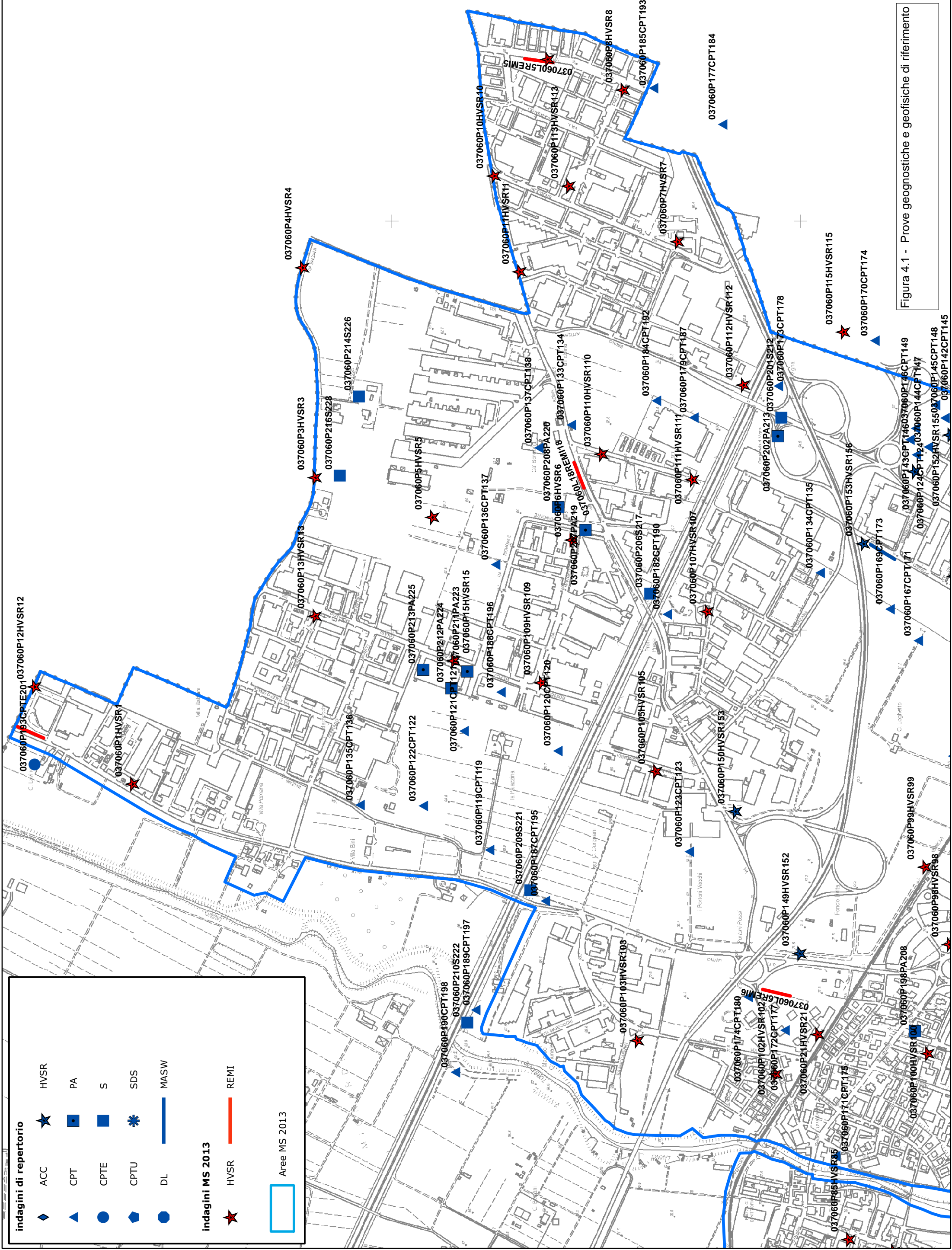
4.2 Dati ex novo

Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di microzonazione, e in particolare per definire i depositi di copertura superficiali e la parametrizzazione geofisica di tali coltri e del bedrock sottostante, si è reso indispensabile effettuare ulteriori indagini in sito, sia di tipo geofisico, sia di tipo geognostico. Sulla base degli obiettivi dell'incarico avuto dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia, le indagini si sono concentrate nelle aree di studio (urbanizzate e urbanizzabili) forniteci dall'Ente committente. Per il Comune di Zola Predosa si è pertanto deciso di eseguire stendimenti geofisici tipo Re.Mi. (per la stima della distribuzione delle Vs nel sottosuolo), registrazioni del rumore sismico passivo con tecnica HVSR e penetrometrie dinamiche superpesanti (tipo DPSH).

Più in dettaglio, per questo lavoro sono state effettuate le seguenti prove in sito:

- Più in dettaglio, per questo lavoro sono stati effettuate le seguenti prove in sito:
- n. 4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH → realizzate con strumento penetrometrico di max contrasto pari a 200 kN, montato su semovente cingolato "Pagani". Le penetrometrie sono state spinte fino a "rifiuto" strumentale.
- n. 54 registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR.
- n. 10 stendimenti geofisici tipo Re.Mi., disponendo 24 geofoni a 4.5 Hz con spaziatura regolare di 3 m. In allegato si riporta il grafico ad isolinee sul quale è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh e sulla quale si esegue il picking del modo fondamentale.

In allegato si riportano i diagrammi e/o report delle prove eseguite.



indagini di repertorio

- ◆ ACC
- ▲ CPT
- CPTU
- DL

indagini MS 2013

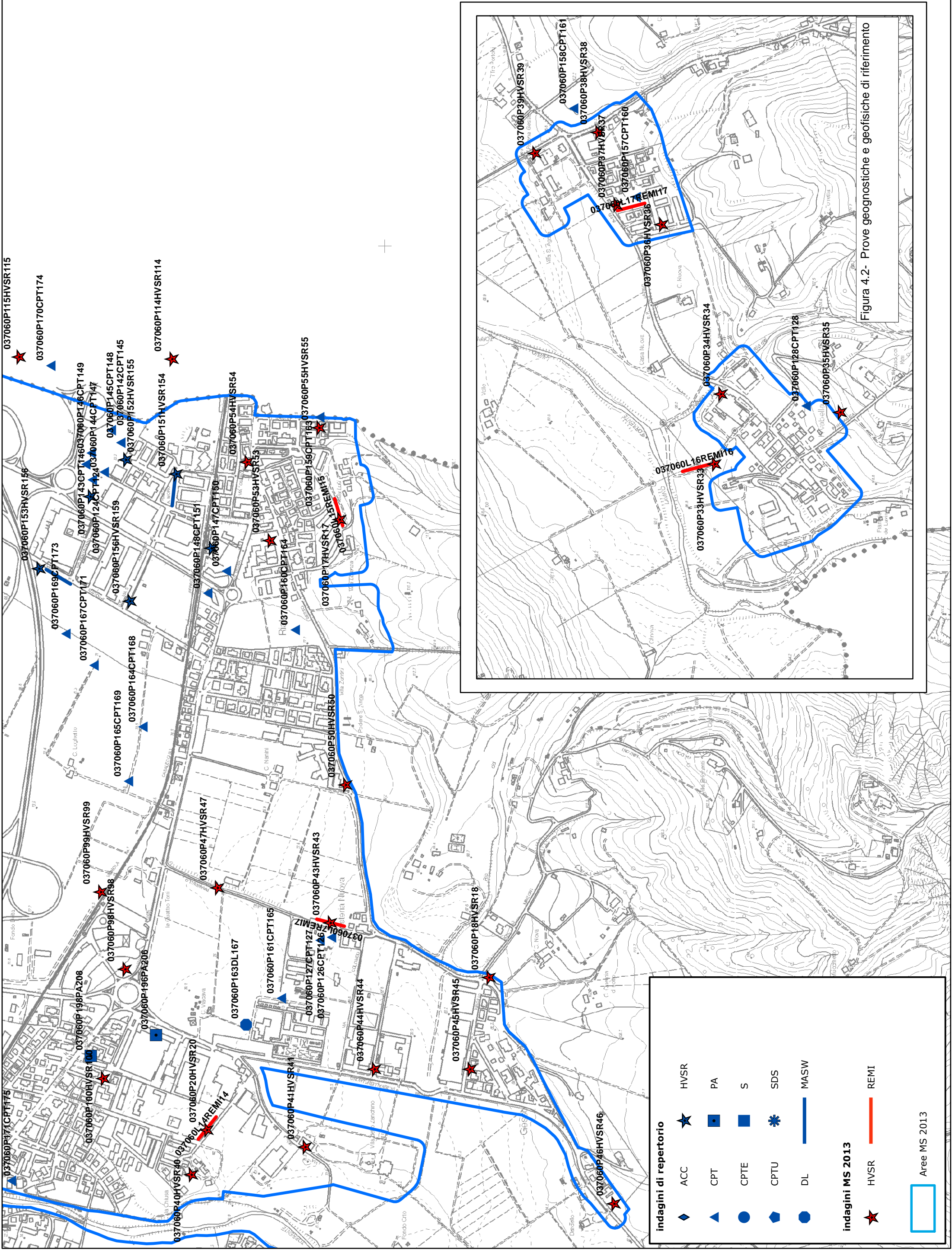
- ★ HVS
- PA
- S
- ✱ SDS
- MASW

indagini MS 2013

- ★ HVS
- REMI

Area MS 2013

Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento



indagini di repertorio

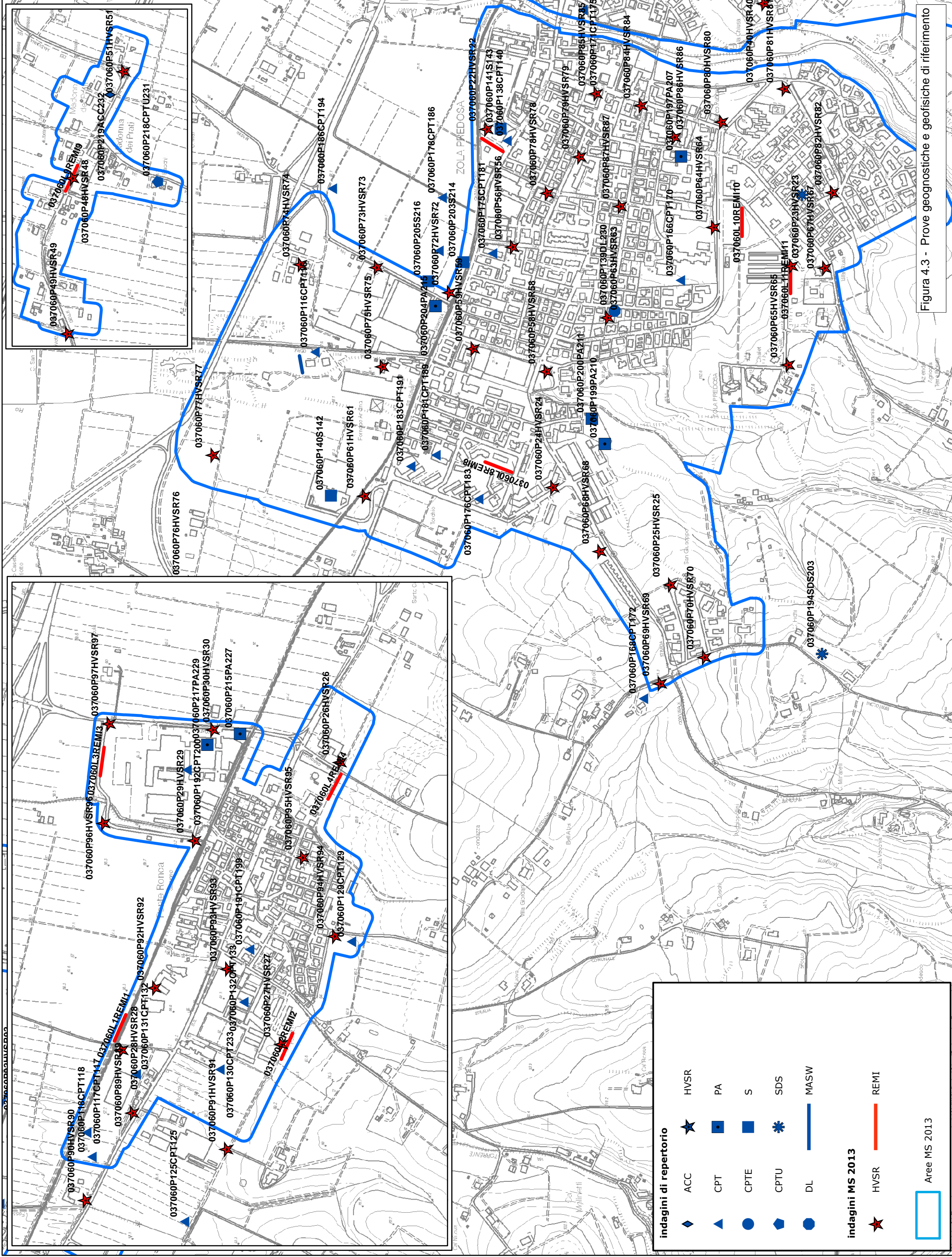
- ◆ ACC
- ▲ CPT
- CPTe
- ◆ CPTU
- DL

indagini MS 2013

- ★ HVSR
- PA
- S
- ◆ SDS
- MASW
- ★ REMI

□ Aree MS 2013

Figura 4.2- Prove geognostiche e geofisiche di riferimento



indagini di repertorio	
◆	ACC
▲	CPT
●	CPTe
◐	CPTU
●	DL
★	HVSR
■	PA
■	S
✱	SDS
—	MASW

indagini MS 2013	
★	HVSR
—	REMI
□	Aree MS 2013

Figura 4.3 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

5 Modello di sottosuolo

5.1.1 Aree frazioni Rivabella e Gesso

Come già scritto, le due frazioni sono situate nel fondovalle del Torrente Lavino, caratterizzato da depositi fluviali terrazzati e riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna). Le indagini geognostiche di repertorio e le indagini geofisiche eseguite per questo lavoro, evidenziano una coltre di sedimenti alluvionali, ghiaioso-ciottolosi, con matrice argillosa, sovrastanti in contatto erosivo le formazioni geologiche ADO2 e FAA (§ paragrafo 3.2): si tratta di bedrock che, per l'area di studio, sono da considerarsi in entrambi i casi "non rigidi" ($V_s < 800$ m/s), come confermano le indagini geofisiche espletate localmente, in particolare le prove Re.Mi. In questo senso, i due stendimenti Re.Mi. (L16REMI16; L17REMI17), eseguiti nel fondovalle rilevano uno spessore più superficiale, potente circa 10 metri, e caratterizzato da basse velocità di propagazione delle onde di taglio e, più in profondità (bedrock), esiti di V_s abbastanza differenti e comunque riconducibili a una V_s media < 800 m/s.

Peraltro, il principale fattore di amplificazione è fornito dalle sovrastanti coperture alluvionali. In questo senso, le indagini geofisiche, in particolare lo stendimento Re.Mi. (L17REMI17) ha riscontrato, come già scritto, uno spessore superficiale potente circa 10 metri con V_s riferita a tale intervallo pari a 258 m/s: questo intervallo è riconducibile alle "coperture", costituite dalla coltre di sedimenti alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato¹¹. Anche le registrazioni HVSR, effettuate su questa porzione di terrazzo, hanno evidenziano come le principali amplificazioni del segnale nello spettro H/V siano riscontrate a frequenze comprese tra 5,5 e 7,8 Hz, coerenti con la presenza di un riflettore sismico alla profondità di circa 10 metri.

La porzione di terrazzo a quota inferiore (AES8a) a NO di Rivabella, risulta una ex cava tombata, sulla quale è insediata da tempo attività produttive. In ogni caso, le caratteristiche del tombamento non risultano note e, dal punto di vista sismico, la caratterizzazione di questa porzione di terrazzo non può che essere demandata a studi geologici e sismici più approfonditi.

Il piede del versante in destra idrografica è invece caratterizzata da coperture prevalentemente fini, riconducibili a depositi di alterazione eluvio-colluviale; le prove geognostiche di repertorio (es. P128CPT128) consentono stimare uno spessore di queste coperture pari a circa 3÷6 metri.

¹¹ Frequentemente, la coltre alluvionale ghiaiosa induce una significativa degradazione al sottostante substrato roccioso marino per la presenza di falda acquifera, in particolare se il bedrock risulta prevalentemente pelitico. Le prove penetrometriche statiche e dinamiche, in grado di oltrepassare lo spessore alluvionale, evidenziano generalmente resistenze penetrometriche molto basse nei primi metri di bedrock, per poi rapidamente arrivare a "rifiuto" strumentale nel substrato roccioso meno alterato.

5.1.2 Frazione Madonna dei Prati

La frazione di Madonna dei Prati ricade nel contesto di pianura, con depositi alluvionali affioranti riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna). Le indagini geognostiche di repertorio riscontrano in superficie sedimenti prevalentemente limoso argillosi, tipicamente di facies deposizionale interfluviale. La prova penetrometrica CPTU eseguita a sud della frazione (identificata con sigla P218CPTU231), conferma quanto scritto, attraversando fino a circa -13 metri sedimenti fini (limi e limi argillosi), con esiti di resistenza normalizzata Q_t che risultano sostanzialmente superiori ai 1.000 kPa. La prova CPTU riscontra la presenza di un intervallo granulare (sabbie limose) da circa -13 metri a -15 metri, pertanto con un grado di confinamento tale da non risultare suscettibile a liquefazioni.

Per questo studio, l'area in questione è stata investigata da indagini geofisiche, in particolare sono stati eseguiti uno stendimento Re.Mi. (L9REMI9) e registrazioni HVSR. La prova REMI9 ha permesso di stimare la distribuzione delle velocità delle onde di taglio V_s nei sedimenti fino a una profondità di circa 35 m e in particolare di valutare la velocità equivalente fino a 30 m di profondità (V_{s30}), che risulta pari a 235 m/s. Le registrazioni HVSR hanno riscontrato amplificazioni significative nello spettro H/V solamente a basse frequenze (0,7÷0,8 Hz), legate a riflettori sismici più profondi. In questo senso, la Carta Sismotettonica della regione Emilia-Romagna colloca l'area in questione di poco all'interno del limite della isobata -100 m s.l.m. del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), cioè la profondità da considerare come pseudo bedrock sismico, risulterebbe poco meno profondo di 100 metri: tale profondità è stata assunta, cautelativamente, come riferimento per la valutazione dei parametri di amplificazione. Peraltro, le registrazioni HVSR dimostrerebbero una maggiore profondità del pseudo bedrock (oltre 100 metri), che risulterebbe coerente anche con il "basso strutturale" che risulterebbe individuato, nella citata cartografia, tra Ponte Samoggia e Anzola dell'Emilia (base AES da -150 a -200 m s.l.m.).

5.1.3 Frazione Ponte Ronca

Come scritto nel precedente capitolo, la frazione Ponte Ronca è situata in pianura al margine della catena affiorante, in particolare è insediata sui sedimenti del modesto apparato di conoide inattivo del Torrente Ghironda. Questo corso d'acqua, è caratterizzato da un bacino idrogeologico inciso prevalentemente nell'unità geologica delle Sabbie Gialle (IMO1 - Membro di Monte Castellaccio. La facile erodibilità dei depositi sabbiosi che costituiscono il margine della catena appenninica affiorante ha pertanto comportato la deposizione di sedimenti granulari allo sbocco vallivo. In questo senso, i dati di sottosuolo di repertorio disponibili in grado di fornire esiti tessiturali più "raffinati" (penetrometrie CPT), dimostrano la presenza di intervalli significativi di limi sabbiosi e/o sabbie più o meno limose nei primi 10 metri di profondità, in particolare si riscontrano strati sabbiosi tra 5÷7

metri di profondità nelle penetrometrie eseguite in prossimità del nucleo abitato storico (P129CPT129) e nelle penetrometrie eseguite anche nella porzione nord occidentale dell'area urbana (es. prove P118CPT118; P117CPT117; P131CPT132). Mancano, peraltro una sufficiente densità di terebrazioni in grado di poter ricostruire la presenza di eventuali corpi granulari sepolti. L'area di studio è inoltre caratterizzata da una falda con modeste soggiacenze locali (2÷3 m), come appurato dallo studio idrogeologico espletato il Piano Strutturale di Zola Predosa (S. Sangiorgi, 2010). In questo senso, la presenza diffusa di intervalli granulari significativi (spessori superiori a 60÷80 cm) nei primi 10 metri e in falda, ha ineludibilmente imposto la classificazione dell'area studiata come suscettibile di liquefazioni in caso di impulsi sismici, da verificare con indagini più approfondite. Per quanto riguarda il sottosuolo più profondo, le indagini penetrometriche note sono state spinte fino a 25 m nella porzione NO dell'abitato e fino a 20 m nella porzione NE, dimostrando l'assenza di intervalli granulari ghiaiosi. Le poche terebrazioni più profonde (pozzi per acqua (P215PA227; P217PA229), seppur con una certa incertezza nelle valutazioni stratigrafiche, evidenziano una profondità del bedrock marino tra 55 m e circa 80 m). Le indagini Re.Mi. espletate per questo studio (sono state eseguite a Ponte Ronca quattro stendimenti) hanno permesso di stimare la distribuzione delle Vs fino a circa 35 m di profondità, peraltro senza evidenziare intervalli con rigidità tali da risultare bedrock sismico con esiti molto simili tra loro: le Vs30 calcolate sono infatti risultate comprese tra 226 m/s e 272 m/s, a dimostrazione di un contesto sismico omogeneo ed estrapolabile a tutta l'area di studio. A conferma di quanto scritto, anche le numerose registrazioni HVSR non hanno riscontrato amplificazioni significative nello spettro H/V, con frequenze fondamentali comprese tra 0,8 hz e 1 hz.

5.1.4 Area Capoluogo

L'abitato di Zola Predosa è stato oggetto di numerose indagini geofisiche (stendimenti Re.MI. e registrazioni HVSR) espletate per questo lavoro, integrando le informazioni di sottosuolo già reperibili dalle indagini geognostiche di repertorio. In questo senso, le prove espletate nell'area più a sud dell'abitato, ove la cartografia geologica regionale indica in affioramento il substrato geologico prevalentemente pelitico che costituisce il membro IMO2 delle Sabbie Gialle, hanno in realtà evidenziato uno spessore più superficiale caratterizzato da scarse qualità di rigidità/velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs). Questo spessore, corrisponde all'intervallo costituito dalle peliti delle IMO2. Ciò non appare una novità a chi scrive: altre indagini sismiche espletate per studi di microzonazione sismica nei limitrofi Comuni di Bazzano, Crespellano e Monte San Pietro, nel medesimo contesto di margine di catena, hanno evidenziato che il Membro di Fossoveggia non può considerarsi bedrock sismico affiorante, con Vs che risultano generalmente inferiori a 400 m/s. Per quanto detto, il bedrock sismico di riferimento è da collocarsi al tetto del sottostante

membro IMO1, caratterizzato da banchi di arenarie poco cementate e con strati anche ghiaiosi e con velocità di taglio notoriamente superiori a 450÷500 m/s. Pur con una carenza di dati di sottosuolo, la profondità delle IMO1 è facilmente ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici che gli affioramenti nella scarpata sottostante l'abitato e a ridosso dell'alveo del Lavino, consentono di rilevare: nella scarpata è infatti visibile il limite tra IMO2 e il sottostante membro IMO1. Lo stesso concetto è estrapolabile anche alle coperture alluvionali antiche (AES5; AES6 e AES7), caratterizzate da pochi metri di ghiaie e livelli limoso sabbiosi, fortemente alterate per pedogenesi, e che risultano sovrapposte alle IMO2. Per quanto detto, gli stendimenti Re.Mi (L8REMI8; L10REMI10; L11REMI11) eseguiti in questa ultima porzione di catena affiorante, urbanizzata, hanno evidenziato spessori variabili da 40 metri a circa 14 metri, caratterizzati da V_s mediocri (da 364 m/s a 281 m/s per lo spessore meno potente): oltre tale profondità i sedimenti assumono caratteristiche di rigidità tali da essere assunti come bedrock sismico ($V_s > 400 \div 450$ m/s). Anche le registrazioni HVSR confermano la modellazione di sottosuolo sopra descritta, evidenziando amplificazioni del segnale spettrale H/V a frequenze correlabili a tali profondità (frequenze fondamentali a circa 2 Hz ÷ 4 Hz).

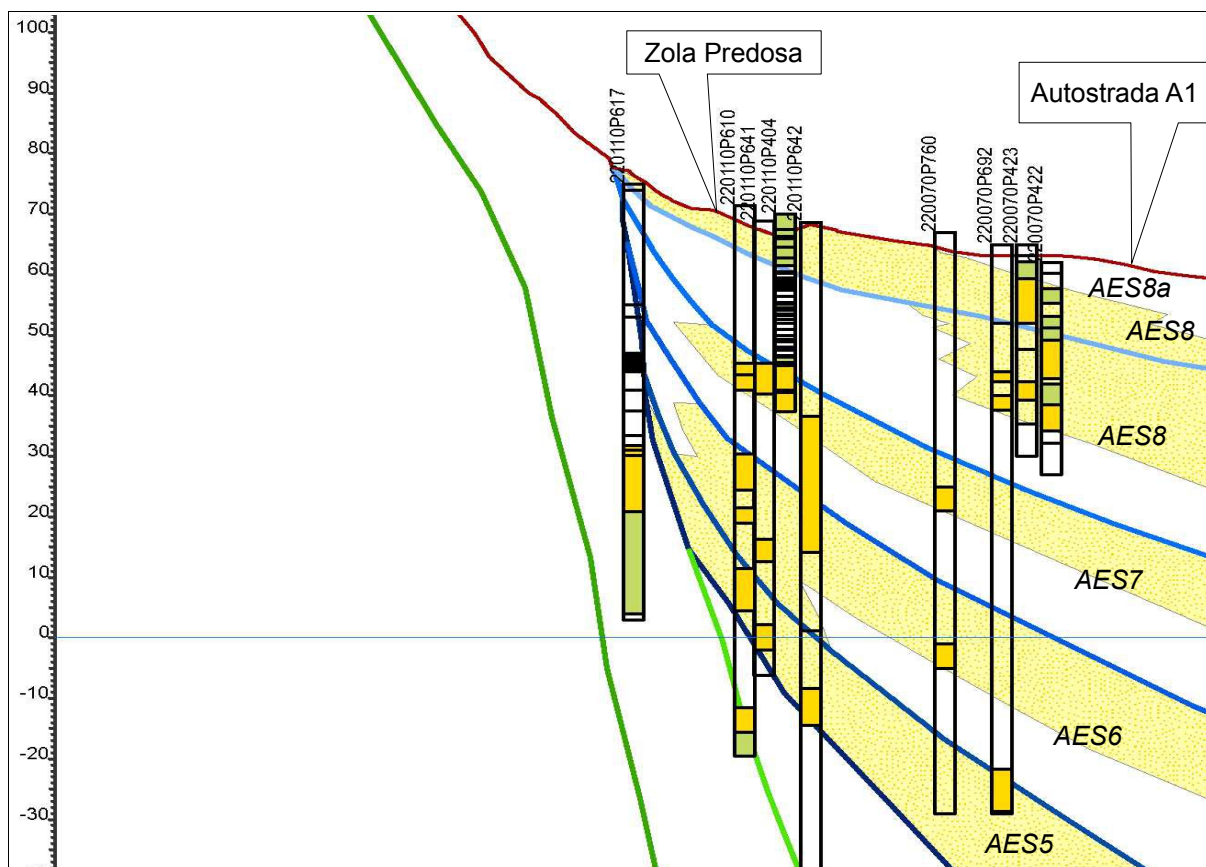


Figura 5.1 - Sezione geologica schematica 1-1' (stralcio della sezione RER n.122 pubblicata anche on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER).

Per quanto riguarda la porzione di abitato più a nord, corrispondente ad alluvioni in

affioramento (ghiaie poco potenti e livelli limoso sabbiosi) e riconducibili alle Unità AES8, le terebrazioni di repertorio (sondaggi profondi) eseguiti in vicinanza della ferrovia Vignola-Casalecchio (P203Ps214 P204PA215; P205PA216; P141S143) evidenziano intervalli ghiaiosi di potenza decametrica a profondità di oltre 25 m; inoltre la prova L12REMI12 evidenzia oltre tale quota depositi caratterizzati da $V_s > 450$ m/s, tali da poter essere considerata quota del pseudo bedrock. Si tratta, con probabilità di ghiaie antiche della conoide del Lavino (AE5e AES5 fuse?) sovrapposte in contatto erosivo al bedrock pliocenico marino. Per meglio comprendere i rapporti stratigrafici da “coperture” e bedrock sismico, la figura 5.1 propone uno stralcio della sezione geologica regionale n.122, che si sviluppa da SE a NO, attraversando l'abitato del Capoluogo.

5.1.5 Aree frazioni Riale e Zona Industriale

La porzione di “margine di catena” ancora affiorante sulla quale si insedia la porzione dell'abitato più meridionale di Riale, non è riconducibile a un modello di sottosuolo¹² come quello quello descritto per il margine pedecollinare del Capoluogo. Infatti, le indagini geofisiche (es. L15REMI15; L7REMI7 eseguite nella porzione di area ove affiorano le alluvioni ascrivibili alle unità AES6 e AES7, in contatto erosivo con la Formazione delle Argille Azzurre, e con le prevalenti peliti dell'Unità ADO2, evidenziano un progressivo incremento delle V_s , sebbene a circa 30÷35 metri risultino ancora inferiori a 400 m/s. Le indagini HVSR eseguite in queste porzioni di area di studio, non hanno riscontrato particolari amplificazioni del segnale nello spettro H/V, cioè non evidenziano particolari riflettori sismici: questo esito è dunque imputabile al progressivo incremento delle V_s . In questo caso, si è estrapolata la distribuzione delle velocità di taglio più in profondità, ricavando che l'intervallo di sottosuolo caratterizzato da un adeguato grado di rigidità ($V_s > 450$ m/s) si rinviene a una profondità di circa 40 metri dal p.c.; questo spessore è stato, pertanto, assunto cautelativamente come intervallo potenzialmente amplificabile per la fascia sud di Riale, per l'area nei pressi di Gesso e per parte di Osteria Nuova. Il modello così ricostruito, appare piuttosto cautelativo, peraltro occorre rammentare che in simili contesti (V_s basse, in aumento progressivo con la profondità), è possibile avere esiti che tendono a sottostimare gli effetti di amplificazione¹³

La porzione principale dell'abitato di Riale e la sua area produttiva, a nord della ferrovia Vignola-Casalecchio sono invece insediati su depositi alluvionali riconducibili all'Unità AES7 (Subsistema di Villa Verrucchio) e in questo caso, le indagini geognostiche e geofisiche (es. L21MASW21 e L22MASW22) evidenziano un significativo contrasto di impedenza a profondità variabili da circa 8 m fino a circa 15 m, legato alla presenza di intervalli ghiaiosi in contatto erosivo con il sottostante bedrock marino. Gli esiti delle registrazioni HVSR

¹² Finalizzato alla definizione di risposta sismica locale

¹³ Da <<Risposta Sismica Locale – Teoria ed Esperienze>> (G. Lanzo & F. Silvestri, 1999 ed. Hevelius)

confermano, oltretutto, le amplificazioni delle coperture a frequenze comprese tra 3,6 Hz e 8 Hz), coerenti con la profondità del riflettore sismico fornito dal tetto delle ghiaie citate. Per quanto riguarda la porzione di pianura/conoide del Lavino, da nord di Osteria Nuova verso la zona industriale di Zola Predosa, le indagini geognostiche evidenziano la presenza di depositi alluvionali caratterizzati da frequenti passaggi da intervalli ghiaioso-sabbiosi sub affioranti (più ciottolosi in prossimità dell'alveo attuale), con molta matrice fine a livelli più fini (prevalentemente limi sabbiosi). Le terebrazioni più profonde e le indagini geofisiche espletate per questo lavoro, peraltro, individuano un principale riflettore sismico collocato a profondità maggiori: si tratta di livelli ghiaiosi amalgamati, nel complesso più potenti e a formare sheet ghiaiosi di ampia estensione laterale, che rappresentano i lobi della conoide più antica (pleistocene superiore?) del Torrente Lavino. Il tetto di questo ampio apparato laterale è situato a profondità da circa $-18 \div 20$ metri a nord di Osteria Nuova, fino a raggiungere i -30 metri circa nella porzione più a nord dell'area industriale di Zola Predosa. Le indagini geofisiche evidenziano che il tetto di queste ghiaie è da ritenersi il principale riflettore sismico (pseudo bedrock) di questa porzione di area studiata: in particolare le prove le prove (L14REMI14 e L6REMI6 riscontrato $V_s > 450 \div 500$ m/s a profondità rispettivamente di 20 metri e 25 metri circa, mentre la prova L13REMI13 riscontra V_s intorno a 400 m/s solamente a $-30 \div 35$ metri, coerentemente con la ricostruzione sopra descritta.

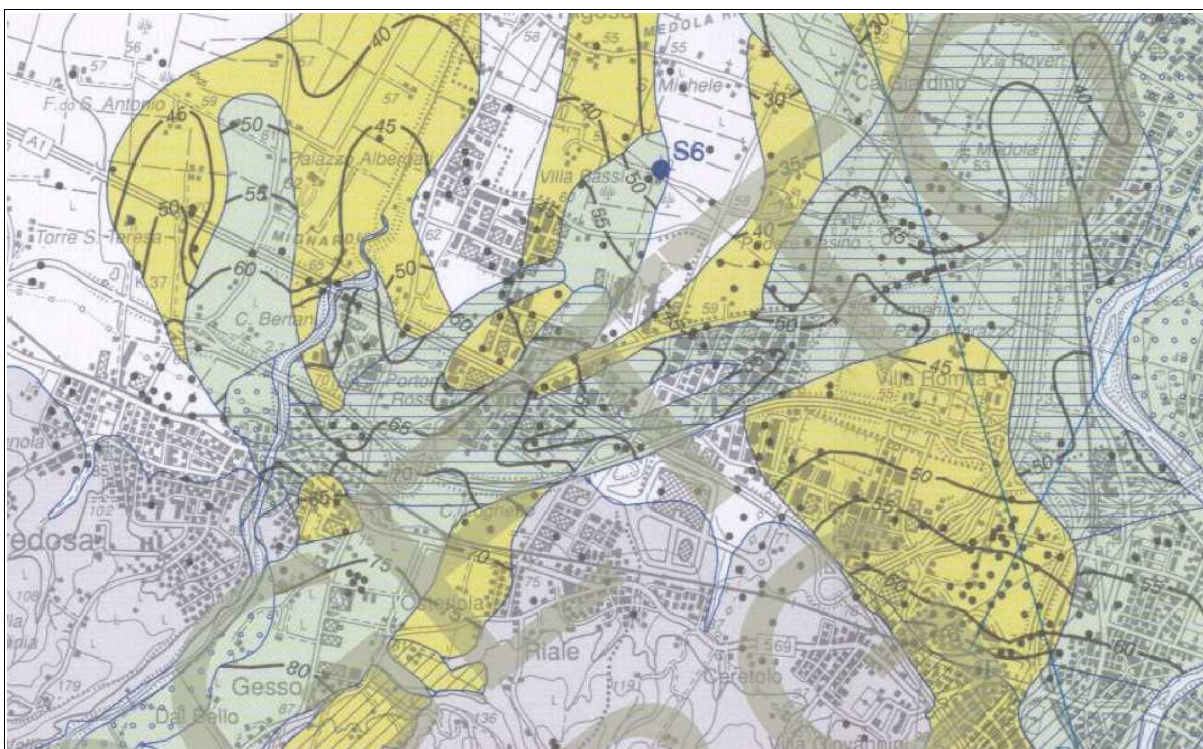


Figura 5.2 – Stralcio della “Carta del tetto delle Ghiaie” elaborata a corredo della Carta Geologica d'Italia – Foglio 220 Casalecchio di Reno (ISPRA e a cura del SGGS della Regione Emilia-Romagna). In giallo le isobate del tetto delle ghiaie AES7; in grigio-verde il tetto delle soprastanti ghiaie AES8.

La figura 5.2 riporta inoltre uno stralcio della <<Carta del tetto delle ghiaie>> elaborata a corredo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000¹⁴; questa cartografia ricostruisce il tetto delle ghiaie, attribuite alle Unità AES8 e AES7, dei principali involuipi di paleoalvei granulari e degli apparati distributori sepolti principali (nel nostro caso: Lavino e Reno). In particolare, si evince una buona correlazione con il tetto delle ghiaie AES7 e il modello di sottosuolo proposto per lo studio di microzonazione. La cartografia del tetto delle ghiaie evidenzia, nella porzione orientale dell'area di studio, la presenza depositi granulari più grossolani, ciottolosi e di maggior potenza, attribuiti all'apparato di conoide del Reno; queste ghiaie sepolte si propagano nel sottosuolo della zona industriale di Zola Predosa, verso N e NE. Occorre segnalare che le ghiaie attribuite al Reno, offrono un elevato contrasto di impedenza riscontrato nelle registrazioni HVSr, soprattutto nella zona più orientale (a ridosso del confine comunale con quello di Casalecchio di Reno), a frequenze comprese tra 3,3 Hz e circa 4 Hz e con “picchi” ben marcati nello spettro H/V (rapporto >3). Anche nella restante porzione di conoide, le registrazioni HVSr riscontrano significative amplificazioni a frequenze tra circa 2 Hz a 2,7 Hz, coerentemente con il modello sopra descritto (ghiaie oìu profonde).

Infine, la figura 5.3 propone uno stralcio della sezione geologica regionale n.120, che si sviluppa da SO a NE, attraversando l'abitato di Riale e parte della zona industriale di Zola Predosa.

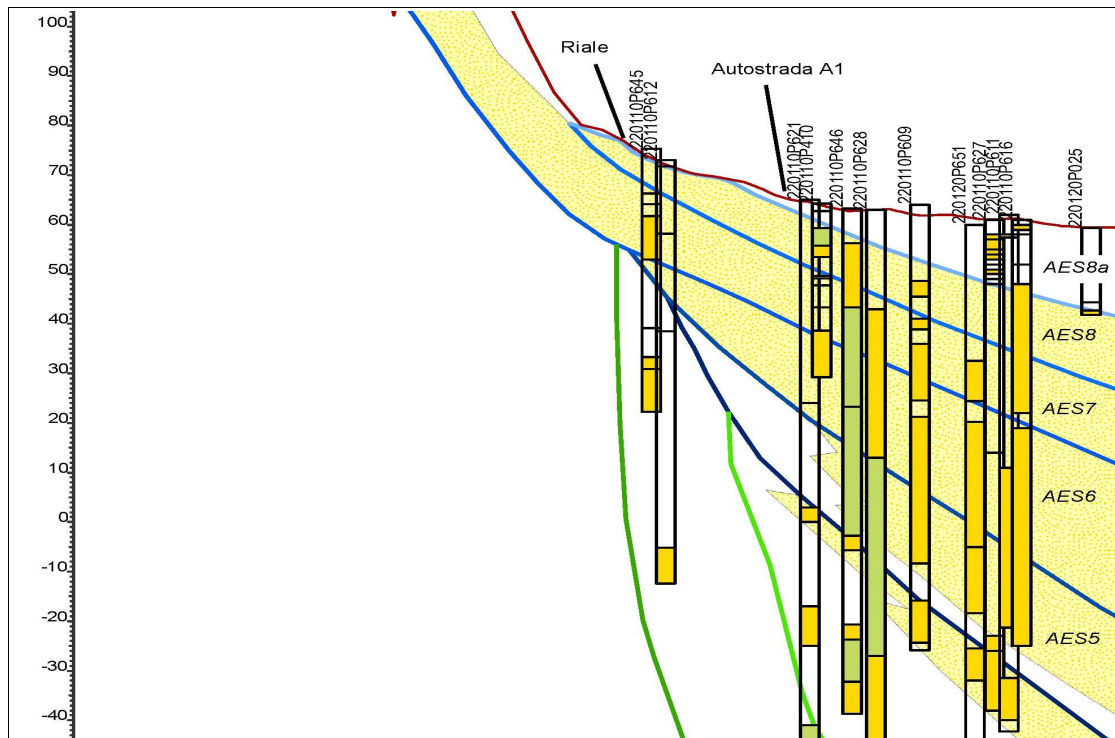


Figura 5.3 - Sezione geologica schematica 2-2' (stralcio della sezione RER n.120 pubblicata anche on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

¹⁴ Foglio 220 - Casalecchio di Reno (pubblicata dall'ISPRA ma a cura del SGSS della Regione Emilia-Romagna)

6 Interpretazioni e incertezze

Lo studio di microzonazione sismica ha permesso una preliminare cernita delle indagini di repertorio eseguite con attrezzature fuori standard (fornendo quindi esiti inutilizzabili o non interpretabili). Peraltro, i dati geognostici considerati offrono una sufficiente “copertura” conoscitiva delle aree studiate e le indagini geofisiche espletate ex novo per questo studio di microzonazione (stendimenti Re.Mi e registrazioni HVSR) consentono una modellazione del sottosuolo esaustiva per l'elaborazione della risposta sismica locale semplificata (secondo livello) e che le incertezze siano comunque accettabili in funzione del grado di approfondimento che si è inteso espletare. Lo studio, come vedremo, ha inoltre ben definito le aree che dovranno ineludibilmente approfondire gli aspetti di pericolosità sismica.

7 Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 I fattori di amplificazione considerati

Per i depositi e le forme che possono determinare effetti locali si è fatto riferimento agli Allegati della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della regione Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007 (DAL 112/2007). La delibera regionale propone la definizione semi quantitativa degli effetti di amplificazione locale semplificata (secondo livello di approfondimento) per le aree urbane e urbanizzabili comprese <<nelle aree pianeggianti o sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti con acclività $\leq 15^\circ$, in cui il deposito ha spessore costante>>.

Per le aree stabili suscettibili di amplificazione, la risposta sismica locale è stata quantificata secondo i seguenti parametri FA riferiti alla superficie:

- FA_{PGA} → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza f . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- FA_{SI} – Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità; nel nostro caso, si sono determinati i fattori di amplificazione per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s e da $0.5 < T_0 < 1$ s ($FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,1-0,5s}$)

I fattori di amplificazione sopra descritti, sono desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

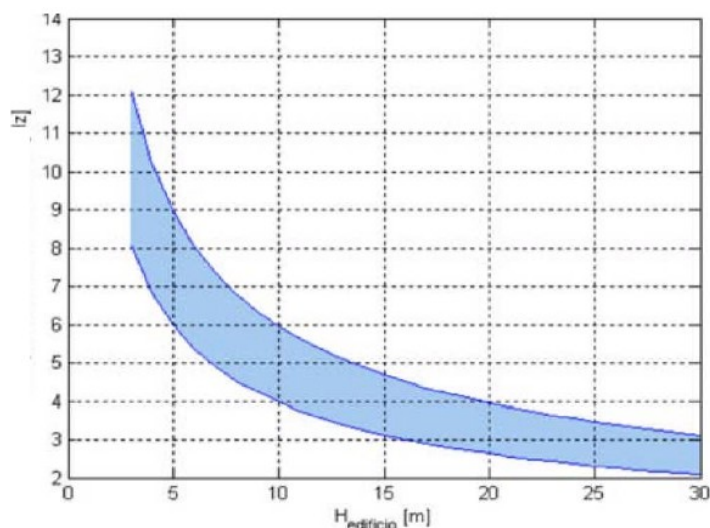
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro contesto morfologico-stratigrafico è stata inoltre giustificata, come vedremo, dagli esiti delle indagini geofisiche di registrazione dei microtrempi sismici con tecnica HVSR espletati nel territorio comunale.

7.2 L'analisi del rumore sismico locale

La risposta sismica locale deve essere anche valutata in funzione delle amplificazioni del moto di vibrazione in termini frequenze dell'impulso sismico. Infatti, il moto sismico può essere amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali f_n di vibrazione della colonna stratigrafica. In questo senso, molto importante risulta la prima frequenza naturale di vibrazione f_1 denominata frequenza fondamentale, in corrispondenza della quale la funzione di amplificazione assume un valore massimo.

Per quanto scritto, lo studio di microzonazione ha compreso anche una serie di misurazioni del rumore sismico con tecnica HVSR e l'analisi degli spettri di amplificazione H/V ricavati dalle registrazioni. Occorre comunque premettere che tale analisi deve intendersi puramente indicativa, e certamente non può consentire una quantificazione certa delle amplificazioni in termini di frequenze. Peraltro, le indagini HVSR rappresentano un utile strumento per valutazioni riguardo la possibile presenza di riflettori sismici e per le prime indicazioni riguardo la vulnerabilità dei manufatti di previsione e/o esistenti rispetto agli effetti di amplificazione locale del moto sismico. È infatti noto come le strutture siano caratterizzate da differenti modi di vibrazione, in funzione di molti parametri tra cui l'elevazione, la tipologia, il materiale costruttivo, etc. Dal punto di vista analitico, la vibrazione di un edificio è governata soprattutto dalla sua altezza: la figura 7.1 riporta un abaco di possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza propria.

Figura 7.1 – Abaco di relazione tipica tra altezza edificio in c.a. – primo modo flessionale (da Masi et al., 2007)



Un'ulteriore relazione empirica che lega la frequenza di vibrazione di un edificio e la sua altezza è la seguente: $f = (10 \div 12)/n$.piani.

La coincidenza tra frequenze di risonanza naturale del terreno e frequenze di vibrazione delle strutture può dunque causare pericolose amplificazioni nel caso di impulsi ciclici dovuti ad un evento sismico (effetto di "doppia risonanza").

7.3 Esiti della microzonazione di secondo livello

I dati ricavati dalle indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di elaborare i modelli di sottosuolo già descritti nel precedente capitolo 5. Per una migliore comprensione, gli esiti conclusivi della microzonazione sono demandati alla lettura del capitolo 8 e ai contenuti descrittivi degli elaborati cartografici prodotti per questo lavoro, in particolare al paragrafo 8.4 per l'analisi delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

8 Elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini

Lo studio di microzonazione ha consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse, fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio ed ex novo realizzate per questo lavoro. Per le aree oggetto di studio si è elaborata la <<Carta delle indagini>> scala 1:7.000, che localizza tutte le indagini di riferimento per lo studio di microzonazione sismica di Zola Predosa, identificando la tipologia con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>> (Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica, giugno 2012).

Per una maggiore completezza, la cartografia riporta sia le prove di repertorio, sia le nuove indagini puntuali e lineari eseguite per questo lavoro, in particolare indica le localizzazioni delle indagini suddivise per tipologie e per codice di riferimento all'indagine in oggetto (identificativi sito puntuale "ID_SPU" e sito lineare "ID_SLN").

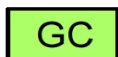
8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione alla scala 1:5.000, costituisce una revisione delle cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti e in particolare della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000 (realizzata, come già scritto, dal Servizio geologico Sismico e dei Suoli della RER). Tale revisione si è basata sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche analizzate (di repertorio ed ex novo) e sugli ulteriori rilevamenti di controllo espletati per aree di studio. Per quanto detto, si è posta particolare attenzione alla perimetrazione delle aree caratterizzate da bedrock geologico affiorante, alle coperture e alla perimetrazione di tutti gli elementi geologici e morfologici locali che si ritengono potenzialmente in grado di modificare il moto sismico. La figura 8.1 riporta lo stralcio della relativa legenda.

La cartografia riporta:

- Terreni di copertura → la tavola perimetra le aree interessate da coperture significative dal punto di vista sismico (con spessori maggiori di 2 metri), discriminate in unità litologiche in base alle prevalenti caratteristiche tessiturali medie riscontrabili nel suo spessore.

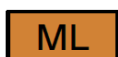
Terreni di copertura



Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla.
Ambienti deposizionali:
– conoide alluvionale (ca);
– terrazzi fluviali (tf).



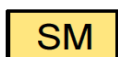
Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo.
Ambienti deposizionali:
– terrazzi fluviali (tf).



Limi organici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità.
Ambienti deposizionali:
– argini/barre/canali (es).



Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre.
Ambienti deposizionali:
– eluvio/colluviali (ec).

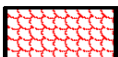


Sabbie limose, miscela di sabbia e limo.
Ambienti deposizionali:
– conoide alluvionale (ca).

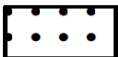


Terreni contenenti resti di attività antropica.

Instabilità di versante

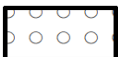


Frana per colamento quiescente

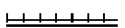


Instabilità di versante non definita (potenziale)

Forme di superficie e sepolte



Conoide alluvionale



Orlo di terrazzo fluviale (10-20 m)



Traccia della sezione geologica

Elementi geologici e idrogeologici



Profondità (m) substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo



Profondità (m) sondaggio che non ha raggiunto il substrato rigido



Profondità (m) della falda in aree con sabbia e/o ghiaie

Figura 8.1 – Stralcio della legenda della <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Zola Predosa.

- Forme di superficie e sepolte → riconducibili depositi di conoide alluvionale (corsi d'acqua Lavino, Reno e Ghironda), orli di scarpata fluviale di altezza compresa tra 10 metri e 20 m rilevati a rivabella e Capoluogo.
- Tracce delle sezioni geologiche → considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le due sezioni (nominate 1-1' a 2-2') ricostruite per la modellazione geotecnica.
- Instabilità di versante → in particolare le frane sono state perimetrare e classificate sulla base della tipologia di movimento e dello stato di attività con i differenti retini come riportato negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>>. In questo senso, occorre segnalare che la tavola riporta cautelativamente come “instabilità di versante non definita” anche alcune porzioni di pendio (situati nei pressi del Capoluogo) che risultano allo stato di fatto stabili, ma con fattori di predisposizione al dissesto in condizioni sismiche (contesto litologico; l'acclività; parti di versante limitrofi ad aree già interessate da franamenti).
- la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- la localizzazione dei pozzi freatici (rilevati nel fondovalle del Lavino e nella Pianura), con indicata la relativa soggiacenza (in metri) misurata della falda.

8.3 Carta delle delle frequenze naturali dei terreni

Come già scritto nel paragrafo 7.2, la <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:7.000, localizza tutti i punti di misura dei microtremori sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSR). Ad ogni punto, nella cartografia viene indicato il valore stimato di F_0 (valore del “picco” più significativo a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale); sono anche riportate le eventuali ulteriori frequenze ove lo spettro H/V^{15} evidenzia altri “picchi” di amplificazione del segnale passivo registrato.

Lo studio di microzonazione ha dunque permesso di proporre una classificazione delle frequenze di possibile amplificazione/risonanza distinguendo le seguenti classi (con colori differenti):

- registrazioni senza amplificazioni significative (traccia spettrale H/V priva di picchi)
- registrazioni con $f_0 < 1$ hz (indica la presenza di riflettori sismici profondi (oltre 50 m) e possibilità di risonanza, in caso di sisma, per edifici/manufatti molto elevati (oltre 10

¹⁵ L'analisi delle prove HVSR, ha ovviamente comportato anche il controllo dell'andamento delle singole componenti spettrali registrate (N-S; E-O; up-down), in grado di fornire ulteriori elementi di valutazione delle possibili amplificazioni del moto sismico locale.

- piani)
- registrazioni con $1 < f_0 < 2$ hz
 - registrazioni con $2 < f_0 < 3,5$ hz
 - registrazioni con $f_0 > 3,5$ hz (possibilità di risonanza per edifici/manufatti di modesta altezza – certamente inferiore a due piani – che rappresentano la tipologia di abitazione più diffusa)
 - f_0 e altre frequenze di possibile amplificazione comprese in un più ampio range (da 0,7 Hz fino a circa 12 Hz)

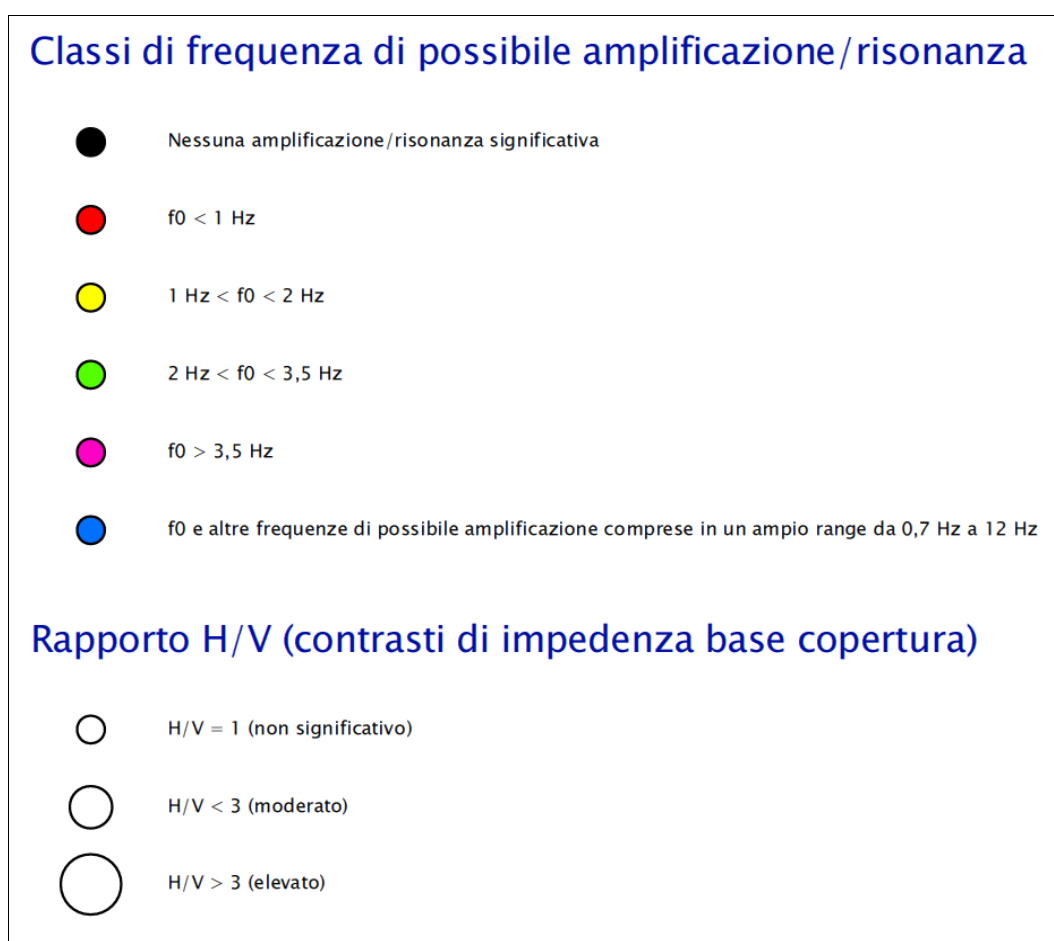


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Zola Predosa.

La tavola permette di discriminare le misure anche in base all'entità del rapporto spettrale H/V riferito a contrasti di impedenza alla base delle coperture, in particolare discriminando le prove che hanno ricavato rapporti H/V minori di 1, compresi da 1 a 3 e maggiori di 3.

Ulteriori elementi relativi agli esiti delle registrazioni HVSR sono riportati nel successivo paragrafo 8.4, mentre la figura 8.2 riporta uno stralcio della legenda elaborata per la rappresentazione cartografica.

8.4 Carta delle delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La <<carta delle aree suscettibili di effetti locali>>, elaborata alla scala 1:3.000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di Microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari per il le aree richieste di Zola Predosa. In questo senso, la cartografia delle MOPS distingue e classifica le aree studiate in “zone stabili suscettibili si amplificazioni” (ove è sufficiente un approfondimento sismico di secondo livello) e in zone “suscettibili di instabilità” (ove è invece ritenuto opportuno un ulteriore approfondimento di terzo livello).

8.4.1 Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico)

La <<carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica>> (MOPS), elaborata alla scala 1:5.000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari per il le aree di Zola Predosa. In questo senso, la cartografia delle MOPS distingue e classifica le aree studiate in “zone stabili suscettibili si amplificazioni” (ove è sufficiente un approfondimento sismico di secondo livello) e in zone “suscettibili di instabilità” (ove è invece ritenuto opportuno un ulteriore approfondimento di terzo livello).

8.4.2 Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico)

Nelle zone suscettibili di amplificazioni, sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale. Queste zone sono state distinte con numero arabo a quattro cifre, secondo le disposizioni di standard di rappresentazione e archiviazione informatica (formato numerico: “20xy”).

ZONA 2001 ≡ Coperture alluvionali antiche (AES5) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di sedimenti alluvionali antichi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 25 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2002 ≡ Coperture eluviali (paleosuoli?) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di coperture di alterazione eluviale, probabilmente anche paleosuoli sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche

(tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 20 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2003 ≡ Coperture alluvionali antiche (AES6; AES7) e coperture eluviali sovrastanti bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di coperture di alterazione eluviale, probabilmente anche paleosuoli sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico che giunge fino a 40 m (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock pelitico più alterato e poco rigido) e con VsH misurato pari a 350 m/s.

ZONA 2004 ≡ Coperture alluvionali (AES7) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di coperture di alterazione eluviale, probabilmente anche paleosuoli sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico pari a 15 m (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock pelitico più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2005 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di sedimenti alluvionali, sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico pari a 20 m (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock pelitico più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2006 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di sedimenti alluvionalirecenti, sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come

confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico pari a 25 m (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock pelitico più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

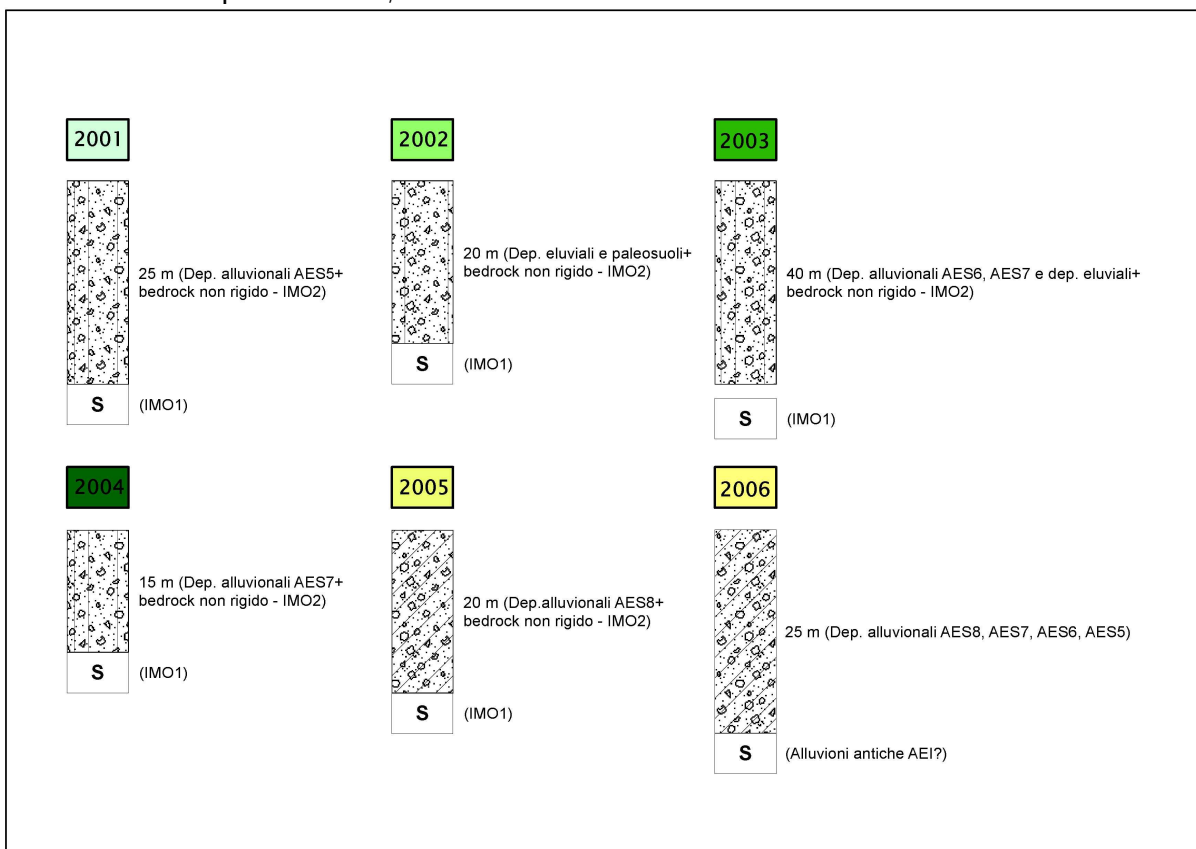


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

ZONA 2007 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8; AES8a) di Pianura 1

si tratta di sedimenti alluvionali di pianura, attribuibili al contesto di Pianura 1 (DAL n.112/2007) con spessori complessivamente <100 metri. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) consentono di stimare per tale zona una Vs30 riconducibile a circa 250 m/s.

ZONA 2008 ≡ Coperture alluvionali prevalentemente ghiaiose (AES7; AES8) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; ADO2)

si tratta di sedimenti alluvionali prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne) e alla formazione di Monte Adone, in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose. Òa

morfologia è sub-piana (<15°). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano un potente spessore di bedrock caratterizzato da scarsa rigidità, con spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 40 metri (coperture alluvionali e bedrock più alterato e/pelitico), con VsH misurato pari a 350 m/s.

ZONA 2009 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti ghiaie alluvionali del Lavino e/o bedrock non rigido (IMO1; IMO2; FAA)

si tratta di sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sovrastanti intervalli ghiaiosi di potenza metrica attribuibili al Lavino e/o sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti a IMO1, IMO2 e FAA. La morfologia è piana. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo di sedimenti suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 20 metri (coperture alluvionali e/o bedrock più alterato), con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2010 ≡ Coperture alluvionali (AES7a?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)

si tratta di sedimenti alluvionali sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne). La morfologia è piana. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo di sedimenti suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (coperture alluvionali e/o bedrock più alterato), con VsH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2011 ≡ Coperture alluvionali (AES7a?) sovrastanti ghiaie alluvionali antiche e/o bedrock non rigido (IMO2)

si tratta di sedimenti alluvionali prevalentemente fini, sovrastanti intervalli ghiaiosi non differenziati e/o sovrastanti bedrock non rigido attribuito a IMO2. La morfologia è piana. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo di sedimenti suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 15 metri (coperture alluvionali e/o bedrock più alterato?), con VsH misurato pari a 200 m/s.

ZONA 2012 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti ghiaie alluvionali del Reno

si tratta di sedimenti alluvionali recenti prevalentemente fini sovrastanti ghiaie antiche e potenti attribuibili al Reno. La morfologia è piana. Questo limite offre un

forte contrasto come si evince dalle indagini geofisiche espletate localmente (tromografie e prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche evidenziano, infatti, uno spessore significativo di sedimenti prevalentemente fini e suscettibile di amplificazioni del moto sismico, approssimabile a 15 metri e con VsH misurato pari a 200 m/s.

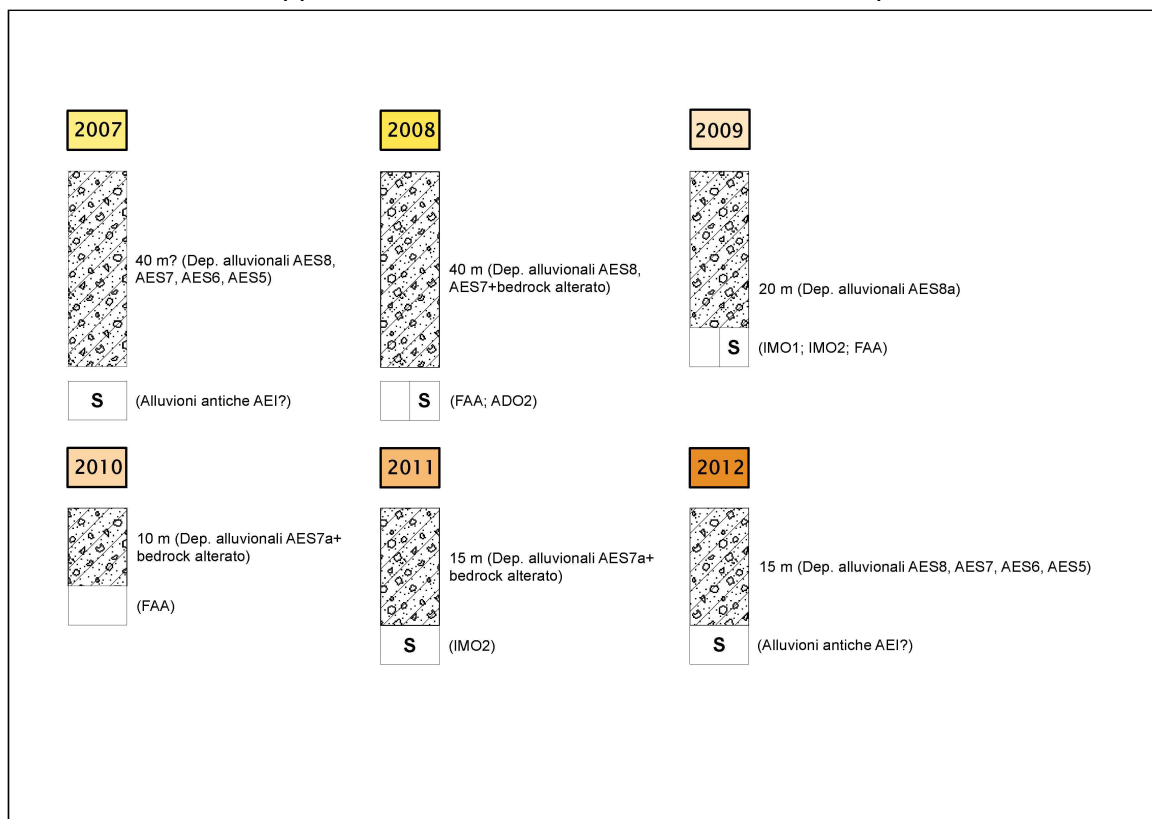


Figura 8.4 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007-2008-2009-2010-2011-2012.

ZONA 2013 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti ghiaie alluvionali del Reno/Lavino

si tratta di sedimenti alluvionali recenti prevalentemente fini sovrastanti ghiaie antiche e potenti attribuibili al Reno e/o al Lavino. La morfologia è piana. Questo limite offre un buon contrasto come si evince dalle indagini geofisiche espletate localmente (tromografie e prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche evidenziano, infatti, uno spessore significativo di sedimenti prevalentemente fini e suscettibile di amplificazioni del moto sismico, approssimabile a 25 metri e con VsH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2014 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti ghiaie alluvionali del Reno/Lavino

si tratta ancora di sedimenti alluvionali recenti prevalentemente fini sovrastanti ghiaie antiche e potenti attribuibili al Reno e/o al Lavino. La morfologia è piana. Questo

limite offre ancora un discreto contrasto come si evince dalle indagini geofisiche espletate localmente (tromografie e prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche evidenziano, infatti, uno spessore significativo di sedimenti prevalentemente fini e suscettibile di amplificazioni del moto sismico, approssimabile a 30 metri e con VsH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2015 ≡ Coperture alluvionali prevalentemente recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; ADO2)

si tratta di sedimenti alluvionali prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne) e alla formazione di Monte Adone, in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose. La morfologia è sub-piana (<15°). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (coperture alluvionali e bedrock più alterato e/pelitico), con VsH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2016 ≡ Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (FAA; ADO2)

si tratta di coperture colluviali sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne) e alla formazione di Monte Adone, in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose. La morfologia è sub-piana (<15°). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 5 metri (coperture e bedrock più alterato e/pelitico), con VsH misurato pari a 200 m/s.

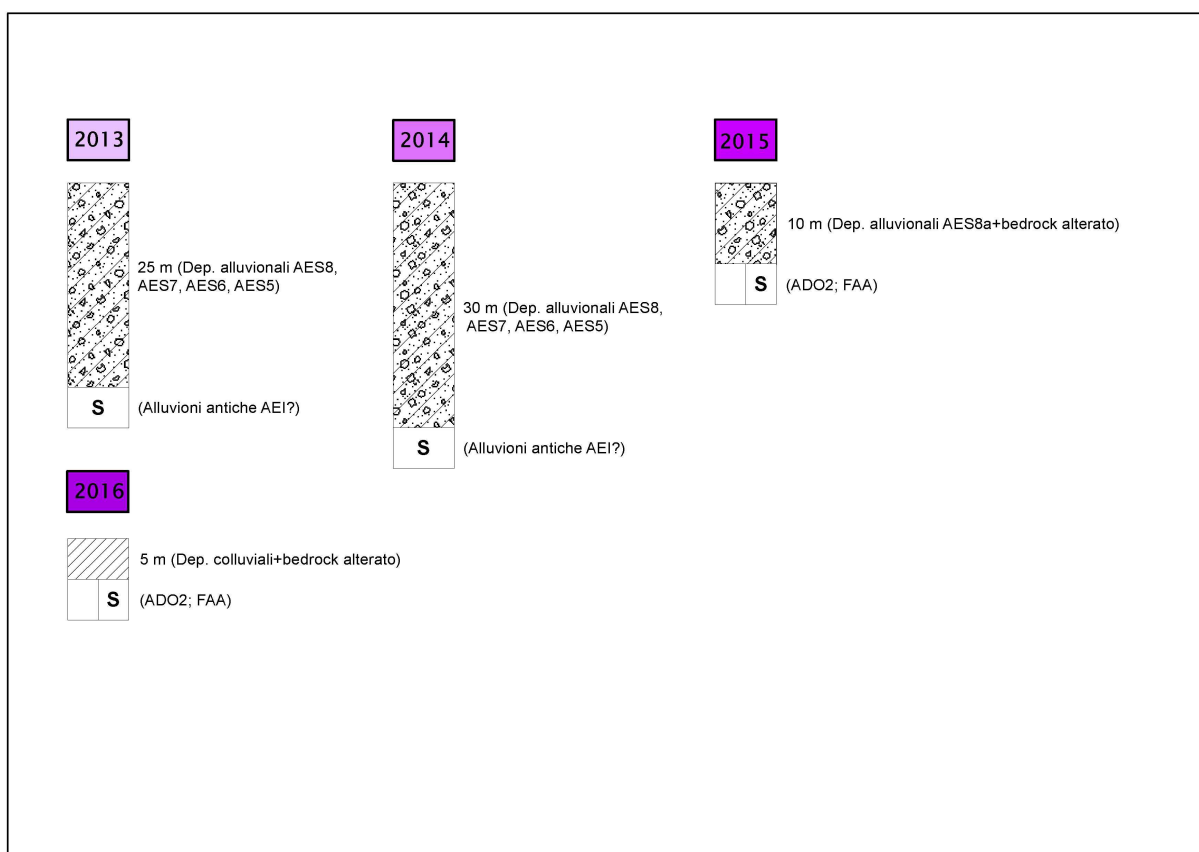


Figura 8.5 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2013-2014-2015-2016.

8.4.3 Zone suscettibili di instabilità

Nelle zone suscettibili di instabilità oltre oltre ai fenomeni di amplificazione stratigrafica e/o morfologica, sono attesi effetti sismici riconducibili a deformazioni permanenti del territorio. Nella <<Carta delle aree suscettibili di effetti locali>> vengono contraddistinte con diverso colore pieno, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. In particolare, per il territorio di Zola Predosa, sono state perimetrare le seguenti aree, che dovranno necessariamente essere oggetto di ulteriori approfondimenti sismici di terzo livello:

Instabilità di versante quiescente

Instabilità di versante non definita → sono porzioni di versante con acclività variabile da 15° a 20° caratterizzate da coperture colluviali e/o bedrock alterato; inoltre, comprendono anche zone si possibile evoluzione di movimenti franosi limitrofi.

Liquefazioni → presenza di intervalli significativi di sabbie limose e limi sabbiosi e/o argillosi in falda (conoide alluvionale di corsi d'acqua minori, caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle Sabbie di Imola)

Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti → comprendono tombamenti di ex cava, con effetti attesi di deformazioni/cedimenti differenziali e amplificazione del

moto sismico).

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

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, è stata elaborata alla scala 1:7.000 e localizza tutti i punti di misura di Vs, con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore di VsH (in m/s) e H (spessore delle coperture).

Nel caso di Zola Predosa, le Vs sono desunte da indagini sismiche Re.Mi. e MASW, eseguite per questo lavoro e di repertorio; la cartografia riporta per ognuna di esse (nell'etichetta creata per ogni singola prova di riferimento) la profondità del bedrock sismico considerato e la stima della relativa VsH.

Peraltro, lo studio di microzonazione semplificata (secondo livello) ha tenuto anche conto degli esiti delle registrazioni HVSR, che opportunamente tarati con gli esiti delle prove dirette (penetrometrie e/o sondaggi) hanno consentito la stima della VsH degli intervalli corrispondenti a coperture potenzialmente amplificabili riscontrate per alcune microzone omogenee e che non sono risultate investigate da indagini geofisiche di altra tipologia. Ulteriori informazioni relativamente agli esiti delle Vs misurate nelle aree di studio, e in particolare nelle singole microzone omogenee dal punto di vista sismico, sono riportate nel paragrafo 8.4, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

8.6 Carta di Microzonazione sismica livello 2

La <<carta di microzonazione sismica livello 2>>, elaborata alla scala 1:4.000, riporta:

1. le <<zone stabili suscettibili di amplificazione>> (individuate nella carta delle MOPS), con gli esiti dell'amplificazione tramite procedura semplificata (secondo livello). L'amplificazione è stata quantificata riferendosi agli Allegati della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della regione Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007 (DAL 112/2007). Per tali aree, l'amplificazione è stata quantificata secondo i seguenti parametri FA riferiti alla superficie:

- FA_{PGA} → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza f . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- FA_{SI} – Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso si sono determinati i fattori di amplificazione per i due intervalli di frequenze,

rispettivamente da $0.1 < T_0 < 0.5$ s e da $0.5 < T_0 < 1$ s ($FA_{0,1-0,5s}$ e $FA_{0,1-0,5s}$)

I fattori di amplificazione sopra descritti, sono desunti dagli abachi riportati nella DAL 112/2007 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

Dal punto di vista cartografico, sono state dunque prodotte tre differenti carte: ognuna di esse riporta, per una migliore comprensione, un solo fattore di amplificazione e cioè FA_{PGA} , FA_{SI} per l'intervallo $0.1s < T_0 < 0.5s$ e FA_{SI} per l'intervallo $0.5s < T_0 < 1s$. Gli esiti dell'amplificazione, per ogni fattore, sono stati ordinati in classi crescenti secondo quanto richiesto dagli <<standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> (v.2.0, giugno 2012) che consentono di evidenziare con dovuta chiarezza quali aree risultano più critiche dal punto di vista della risposta sismica. Occorre precisare che, poiché i fattori di amplificazione di riferimento per la Regione Emilia-Romagna differiscono da quelli riportati dagli ICMS 2010 (§ volume 2, parte terza), gli shapefile poligonali "Stab" e "Instab", contenuti nel database per l'archiviazione dei dati della microzonazione sismica, sono stato oggetto delle seguenti modifiche nella struttura delle rispettive tabelle degli attributi:

- nel campo <<Fx>> (già previsto per riportare un altro valore di amplificazione rispetto a quelli indicati dagli ICMS 2010) si è riportato il valore FA_{PGA} valutato per tale poligono/microzona;
 - si è aggiunto il nuovo campo <<Fy>> nel quale è riportato il valore di $FA_{0,1-0,5s}$ valutato per tale poligono/microzona;
 - si è aggiunto il nuovo campo <<Fz>> nel quale è riportato il valore di $FA_{0,5-1s}$ valutato per tale poligono/microzona.
2. Le <<zone suscettibili di instabilità>> (individuate nella carta delle MOPS), sono state anch'esse perimetrate e distinte, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. Nello specifico, si distinguono le seguenti zone:
- *Instabilità di versante quiescente*
In tali aree sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici, analisi numerica della risposta sismica locale;
 - *Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti*
In considerazione degli effetti potenzialmente attesi (deformazioni e/o cedimenti differenziali; instabilità di versante; amplificazione del moto sismico) per tali aree sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare verifiche dei cedimenti post sisma, analisi numerica della risposta sismica locale;

- *Liquefazioni*
per la presenza di intervalli significativi di sabbie limose e limi sabbiosi e/o argillosi in falda (conoide alluvionale di corsi d'acqua minori, caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle Sabbie di Imola). In considerazione degli effetti potenzialmente attesi sono richiesti approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare verifiche di liquefazione/densificazione, verifiche dei cedimenti post sisma e analisi numerica della risposta sismica locale.

Per ogni ulteriore descrizione delle zone suscettibili di instabilità si rimanda ai precedenti capitoli e in particolare al paragrafo 8.4.

9 Bibliografia

Basili R., G (>1 m) Classificazione Inella li, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008) – The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics.

Elmi, Zecchi (1982) – *Note sulla sismicità dell'appennino emiliano-romagnolo*. In Guida alla geologia del margine appenninico-padano. Società Geologica Italiana – Guide Geologiche regionali, Bologna.

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.

INGV – DISS Working Group (2010) – *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>.

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) – Risposta Sismica Locale. Edizioni Hevelius

Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.

Meletti, Valensise (2004) – *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo*. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Ministero delle Infrastrutture (2008) – D.M. 14/01/2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni, Roma

Oikos Ricerche srl – (2010) – *Piano Strutturale dei Comuni dell'Area Bazzanese – Relazione Geologica e Sismica* (a cura di Sangiorgi S.).

Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse (2004) – *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna – scala 1:250.000*. Ed. SELCA, Firenze.

Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – *Carta Geologica in scala 1:10.000 della regione Emilia-Romagna* – cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss

Regione Emilia Romagna – *Legge Regionale n.20/2000 – “Disciplina generale sulla tutela e*

l'uso del territorio”.

Regione Emilia Romagna – Delibera Regionale n.112/2007 – “Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>”.