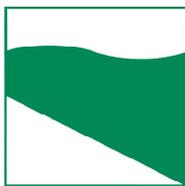




PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



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 Savigno



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

## Indice generale

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento .....</b>	<b>6</b>
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
<b>3</b>	<b>Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....</b>	<b>13</b>
3.1	Aspetti geologici e tettonici generali.....	13
3.2	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	14
3.2.1	Area “Capoluogo”.....	15
3.2.2	Area frazione Ca' Bortolani.....	18
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici.....</b>	<b>22</b>
4.1	Dati pregressi.....	22
4.2	Dati ex novo.....	22
<b>5</b>	<b>Modello di sottosuolo.....</b>	<b>26</b>
5.1	Area “Capoluogo”.....	26
5.2	Area “Ca' Bortolani”.....	29
<b>6</b>	<b>Interpretazioni e incertezze.....</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati.....</b>	<b>33</b>
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	33
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	34
7.3	Esiti della microzonazione di secondo livello.....	35
<b>8</b>	<b>Elaborati cartografici.....</b>	<b>36</b>
8.1	Carta delle indagini.....	36
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	36
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	39
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	40
8.4.1	Zone suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	40
8.4.2	Zone suscettibili di instabilità .....	46
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	47
8.6	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	47
<b>9</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>50</b>

## 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 Predosa<sup>1</sup>, 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 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 provincie 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 Savigno già dispone di uno studio<sup>2</sup> sismico dell'intero territorio comunale equiparabile al “primo livello”, elaborato a corredo del Quadro Conoscitivo per il Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata<sup>3</sup>, 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 cartografia<sup>4</sup> 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 sismica di secondo livello ha interessato solamente le aree urbanizzate e le aree di nuova previsione edificatoria individuate dal PSC di Savigno e cioè il Capoluogo e la frazione Ca'

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> <<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)

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

<sup>4</sup> <<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;

Bortolani e di un loro ulteriore intorno (“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 (prove pubblicate);
- 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).

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster fornito dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia, 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: 220132, 220133, 237011, 237012, 237013, 237014, 237022, 237023, 237024, 237051, 237052, 237053, 237054, 237061, 237063, 237064).



*Figura 1.1 – Localizzazione del territorio comunale di Savigno (evidenziato in giallo) e limite del territorio corrispondente all'“Area Bazzanese” (evidenziato con tratto grigio spesso) rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna.*

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 Savigno rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna: si tratta di un'Amministrazione situata in contesto montano (appenninico) di estensione areale complessiva pari a circa 5.483 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 (Capoluogo e frazione di Ca' Bortolani) sulla topografia regionale alla scala 1:25.000. Il limite dell'area studiata è stato sempre ben riportato nelle cartografie elaborate per lo studio di microzonazione.

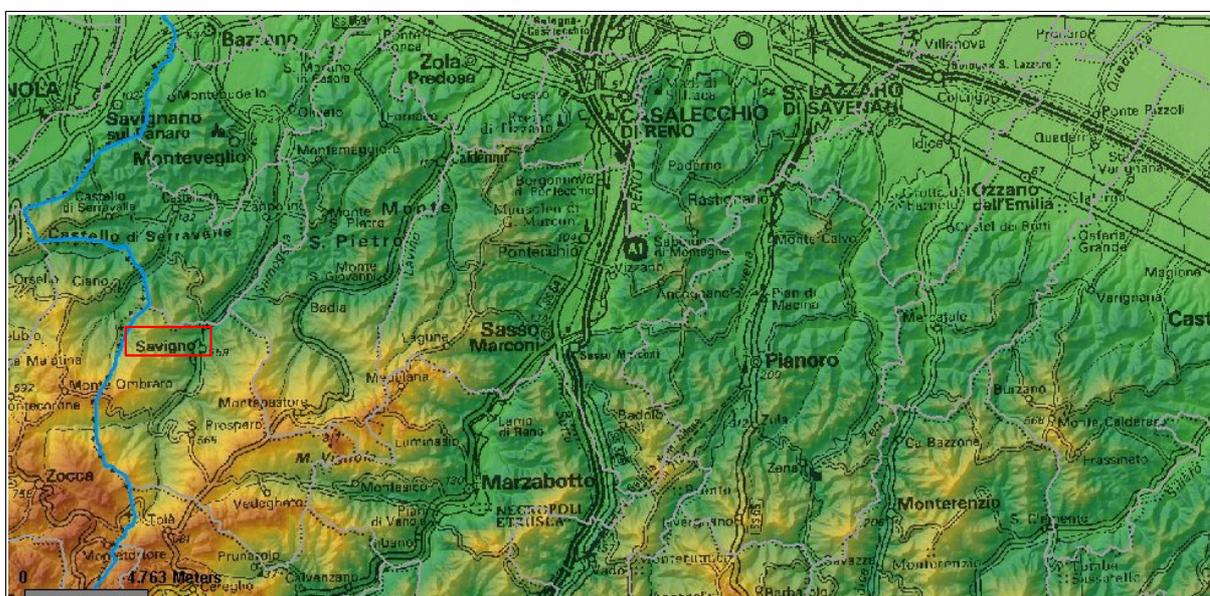


Figura 1.2- Corografia del territorio di Savigno e dei Comuni limitrofi a SO di Bologna (su base topografica alla scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna).

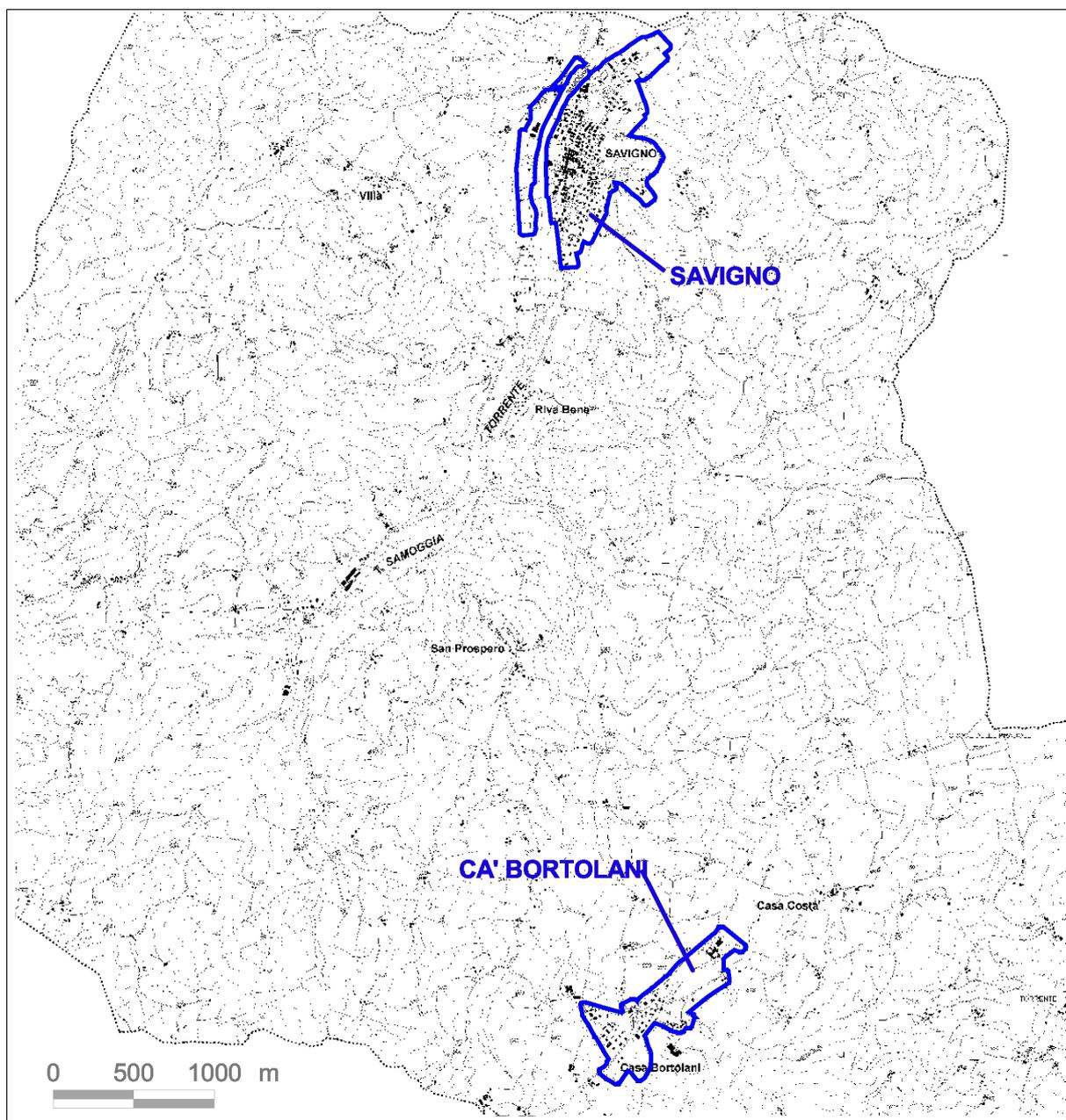


Figura 1.3- Delimitazione delle aree oggetto di indagine (su base topografica alla scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna).

## 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"<sup>5</sup>. 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 susseguitesi 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 CPTI<sup>6</sup>. La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Savigno 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 2.0<sup>7</sup> ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di

---

<sup>5</sup> 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)

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

<sup>7</sup> <<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 comune di riferimento per le stime di “rischio”.

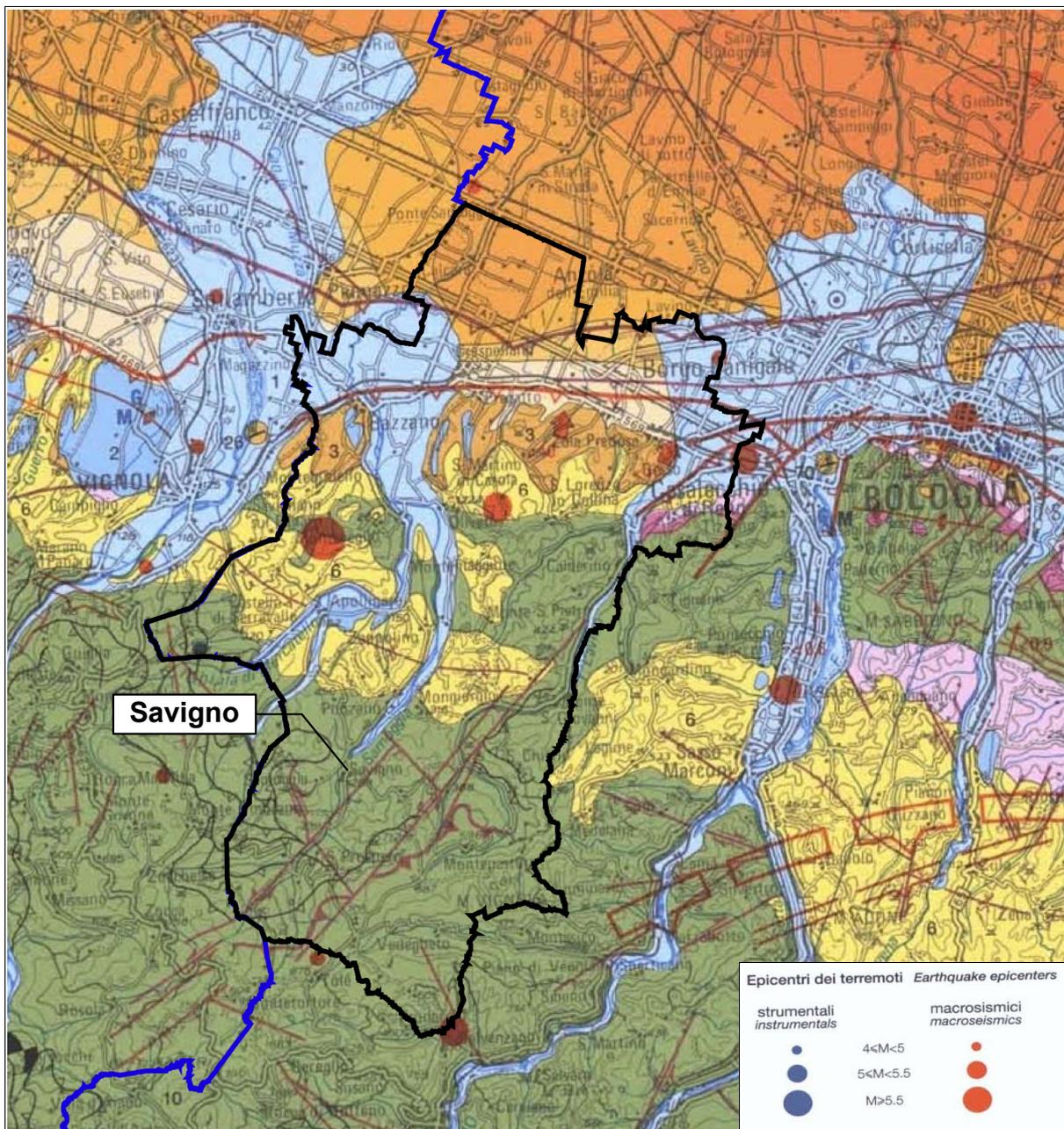


Figura 2.1- Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Savigno) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali di  $M_w > 4$  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.

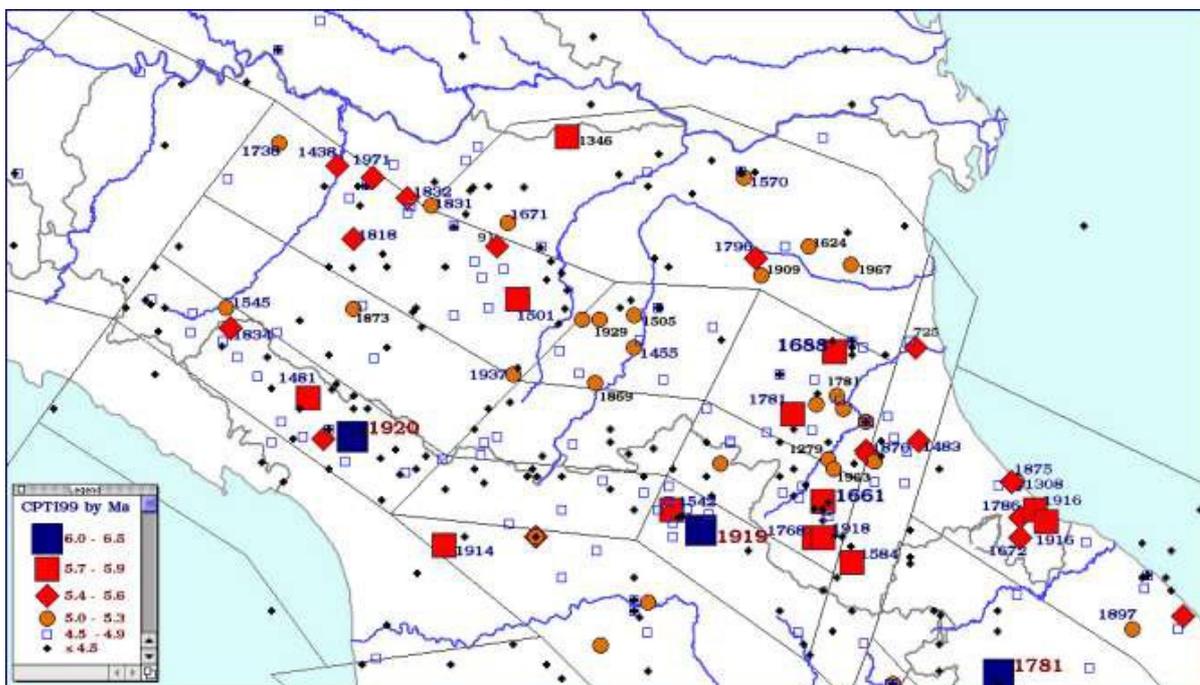


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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 dunque 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 (contenute nella zona 913 di ZS9) limitrofe all'area di studio:

- la ITCS027 che rappresenta una lunga fascia di territorio che comprende anche il territorio appenninico settentrionale di Savigno; 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 più a settentrione

rispetto all'area studiata e cioè i Comuni 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).

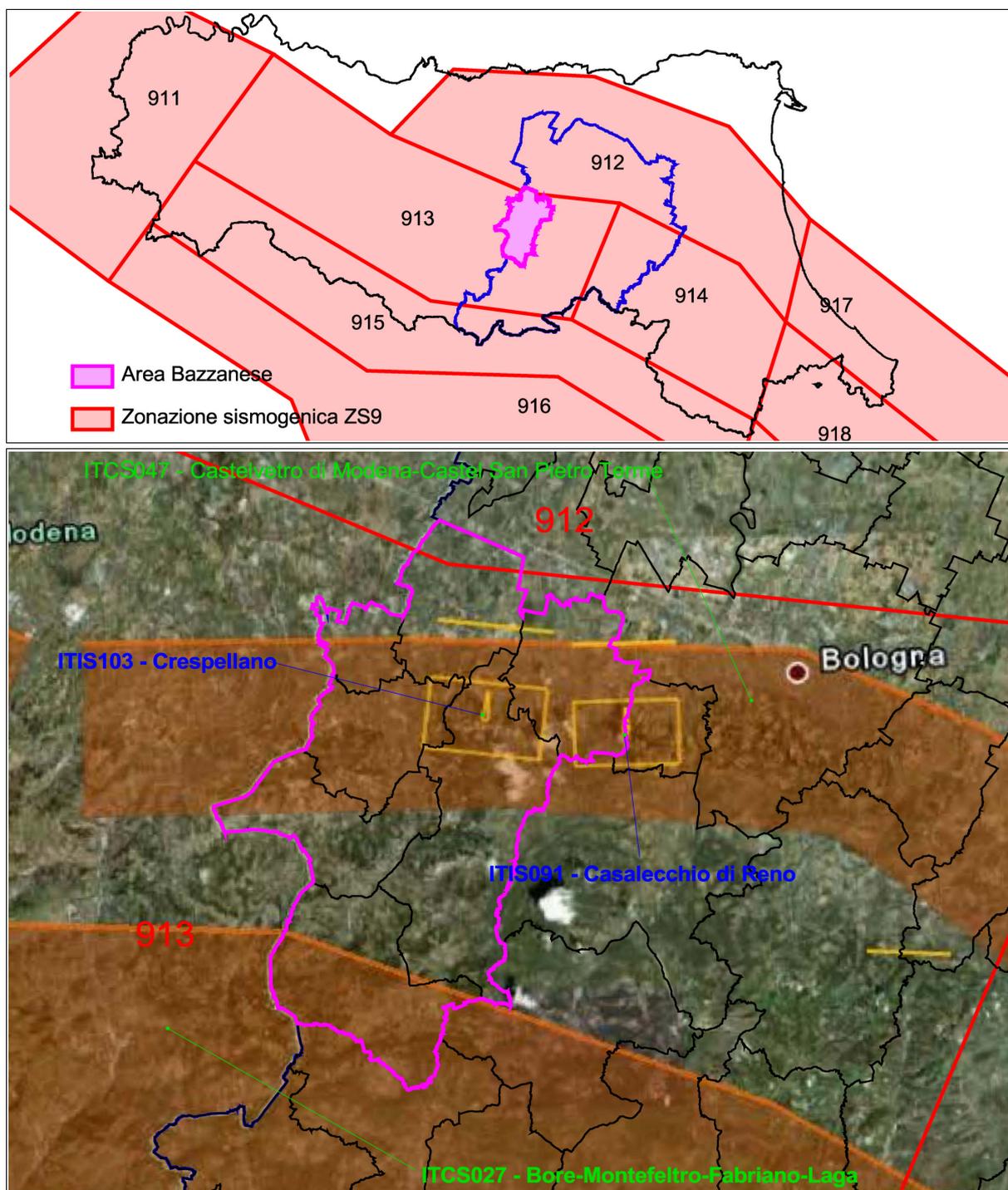


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

In particolare la banca dati DISS 3.1 evidenzia due sorgenti sismogenetiche che interessano l'Area Bazzanese e che risultano più a settentrione rispetto il territorio di Savigno:

- “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).

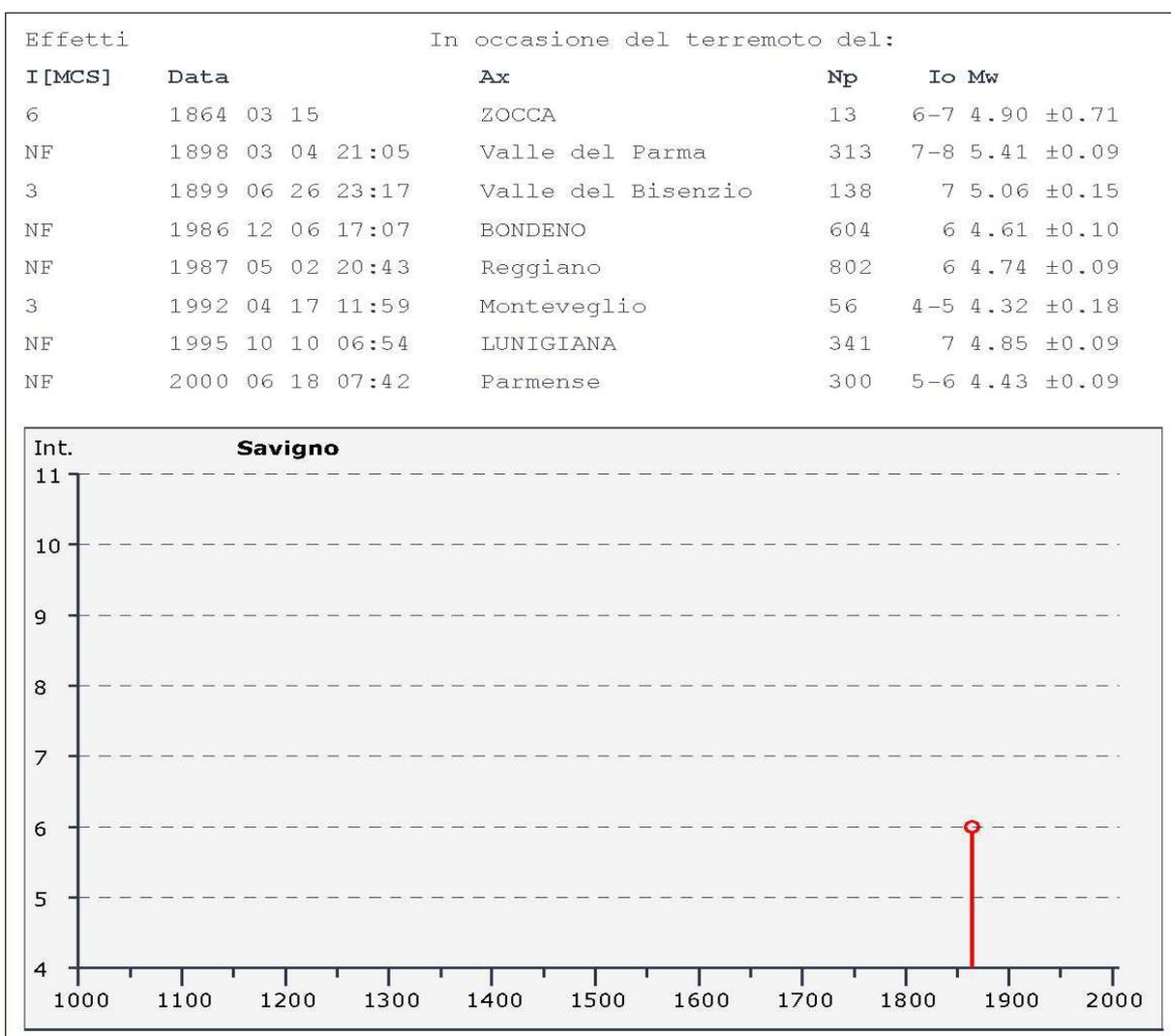


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Savigno e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

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, non direttamente il territorio di Savigno. In questo senso, la figura 2.4 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio di Savigno e le relative intensità macrosismiche stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: l'unico evento storico significativo appare il sisma con epicentro in località Zocca (appennino modenese) del 1864, con intensità massima stimate di sesto grado.

## **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 Savigno, la  $a_{refg}$  attribuita dalla Regione Emilia-Romagna risulta pari a 0,160g (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.

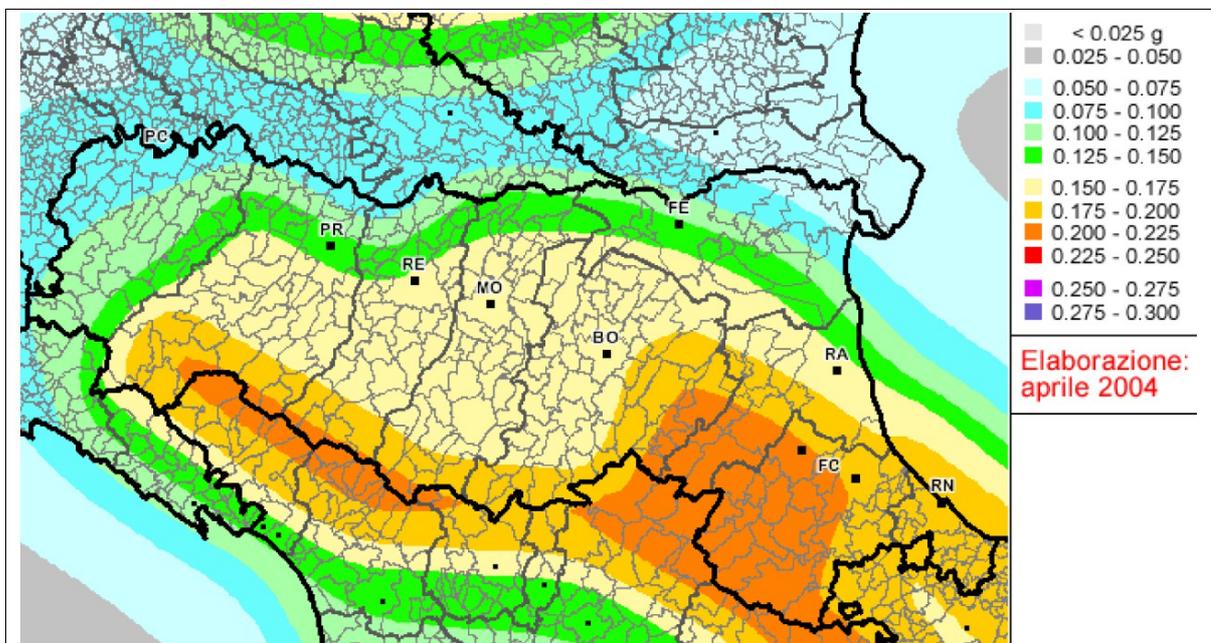
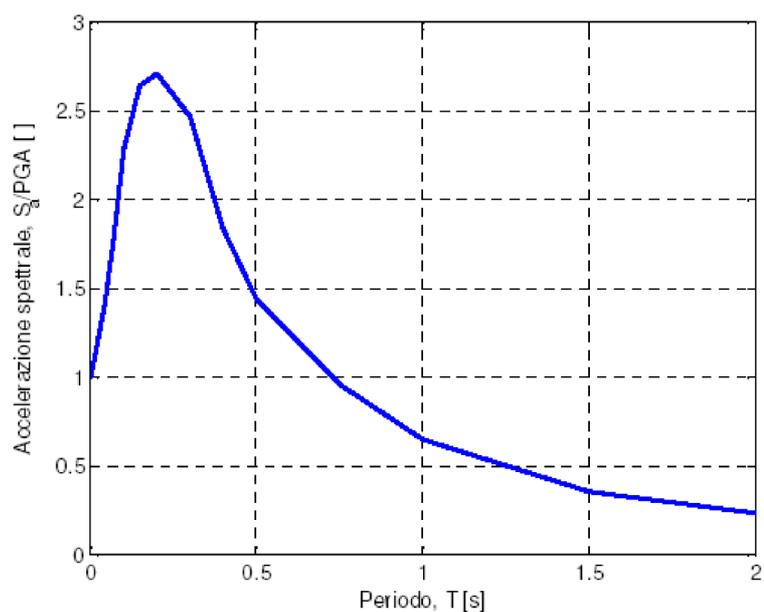


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

### 3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

#### 3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio di Savigno è quello tipico di “catena appenninica”. In figura 3.1 è inquadrato il contesto tettonico locale relativo al territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (che comprende anche Savigno).

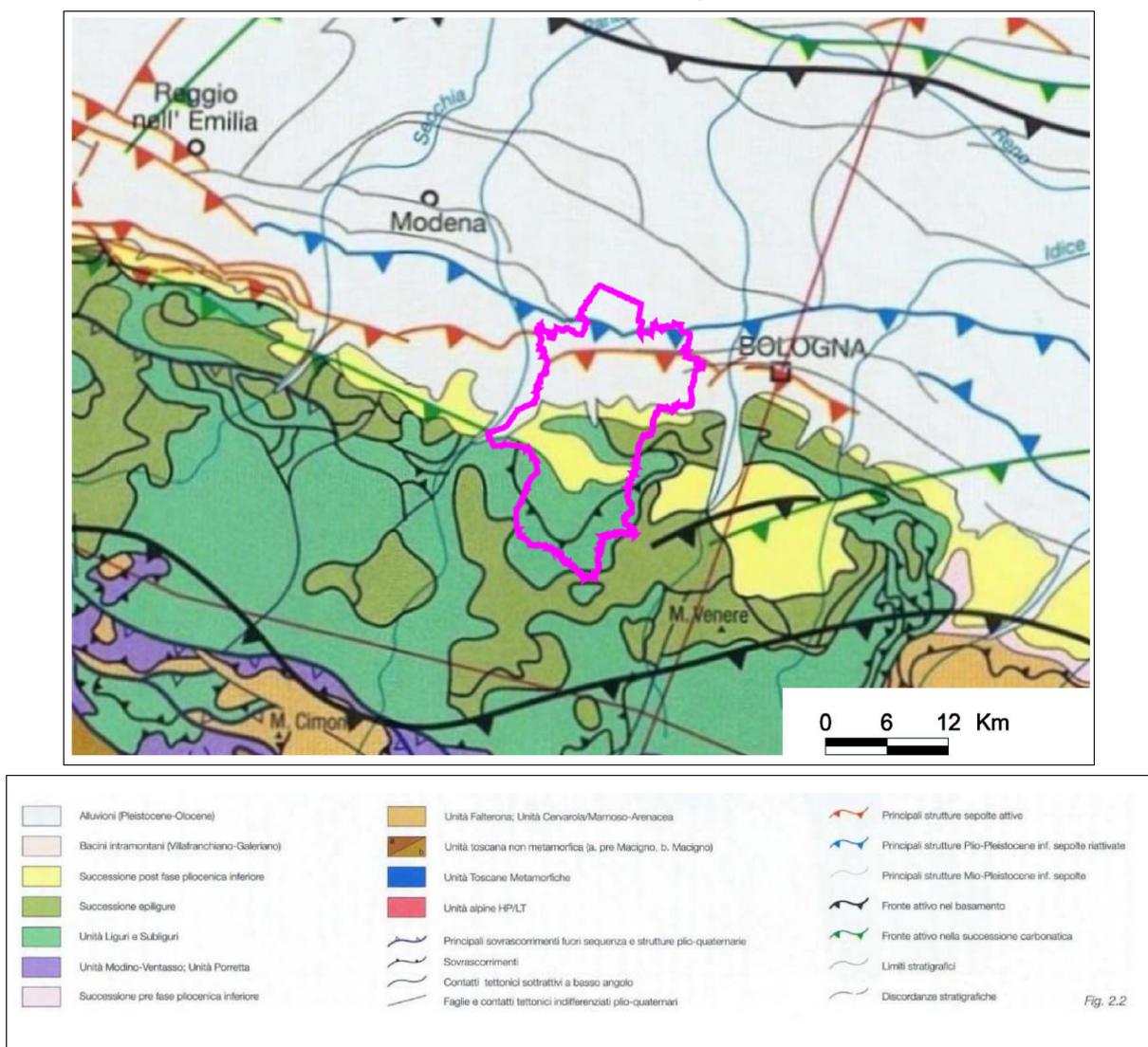


Figura 3.1 – Schema tettonico dell'area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell'area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

Il settore di catena appenninica del territorio in esame è caratterizzato da un generale assetto strutturale a falde sovrapposte, dislocate a partire dal Miocene inferiore fino al Plio-Pleistocene e con affioranti (figura 3.2) le unità geologiche dei Domini Liguri e Sub-Liguri (arenarie ARB affioranti nella porzione di territorio comunale più meridionale di Savigno).

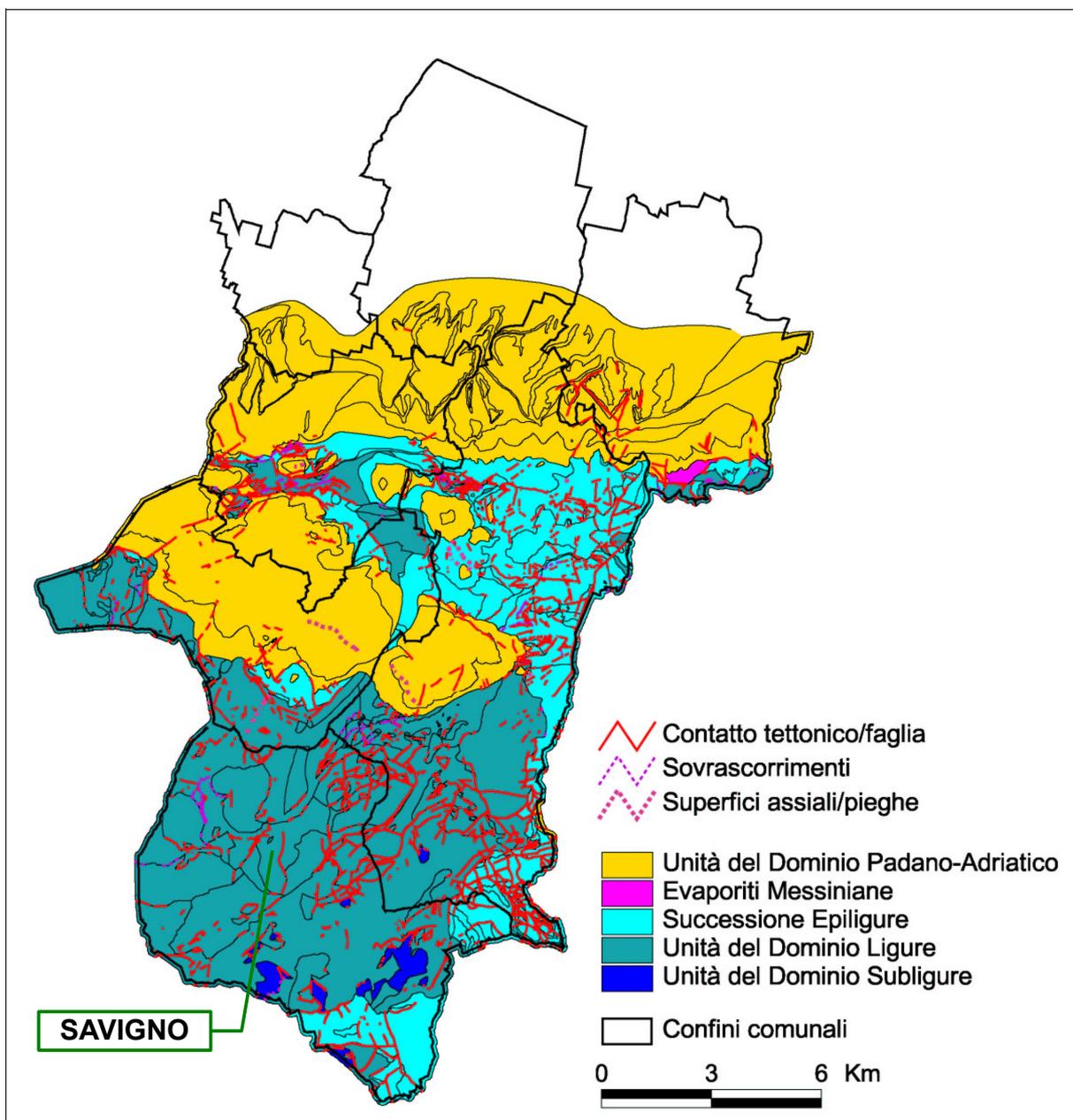


Figura 3.2 – Schema geo litologico del territorio montano e collinare di Savigno e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese.

### 3.2 Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate

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-Romagna<sup>8</sup>. Le figure 3.3 e 3.4 riportano uno stralcio della citata cartografia geologica regionale, comprendenti l'area di studio del

<sup>8</sup> Cartografia interattiva consultabile on line: [https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss](https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss).

Capoluogo e l'area della frazione Ca' Bortolani.

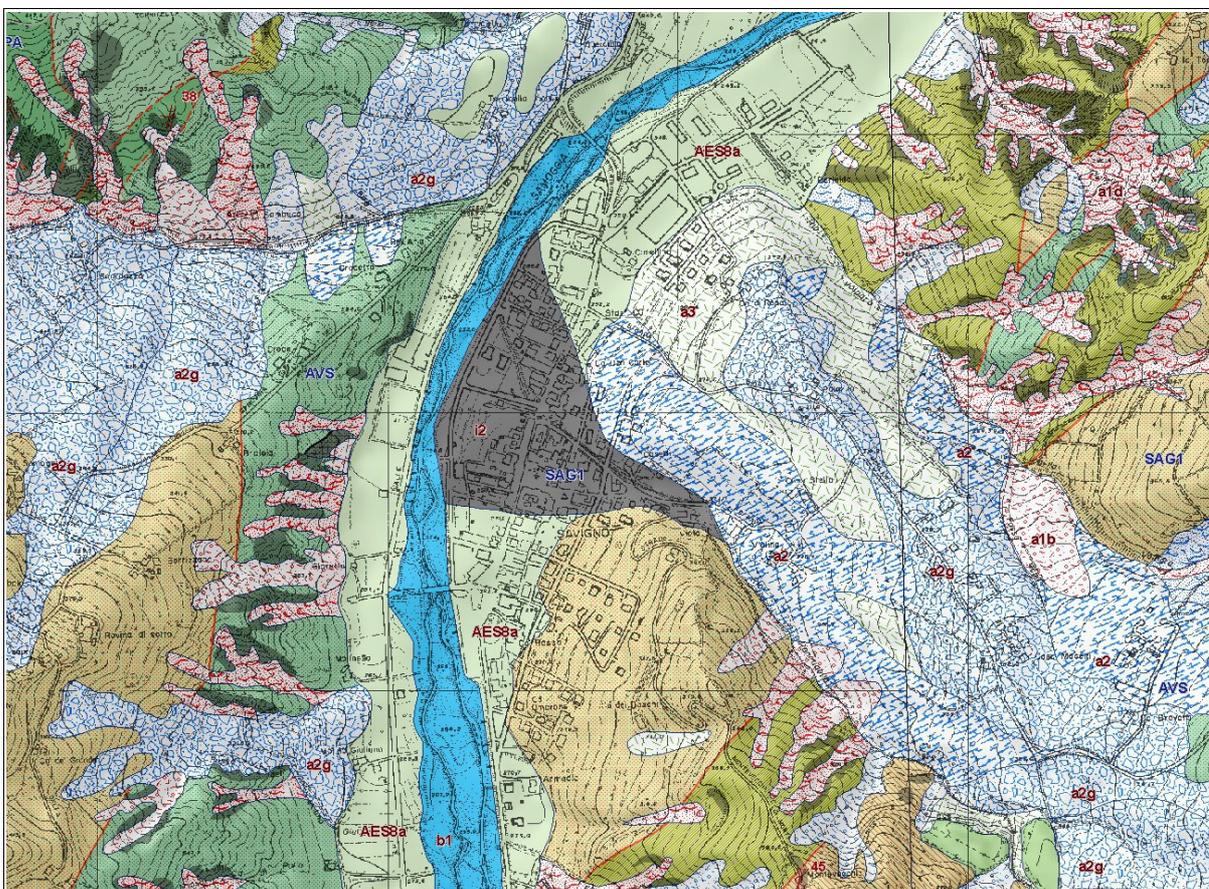


Figura 3.3 – Area di studio Capoluogo: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

### 3.2.1 Area “Capoluogo”

Per quanto riguarda il Capoluogo, l'area si estende in parte nel fondovalle del Torrente Samoggia, in particolare sulle sue alluvioni terrazzate di modesto spessore, e in parte nel sovrastante in versante caratterizzato dalla presenza di sedimenti del Dominio Ligure e da forme deposizionali recenti (depositi di conoide; depositi di versante; depositi di frana quiescenti e/o attivi). In particolare, i depositi in affioramento nell'area del Capoluogo sono riconducibili a:

1. UNITA' GEOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE LIGURE
  - FORMAZIONE DI SAVIGNO – Membro di Villa (SAG1) → si tratta di torbiditi arenaceo-pelitiche in strati medi, con rapporto A/P variabile tra 1/2 e 2/1; l'ambiente deposizionale risultava di mare aperto e profondo, con frequenti apporti torbiditici. Le arenarie sono quarzoso-feldspatiche, fini, da mediamente a poco cementate, di colore grigio o beige; le peliti sono generalmente siltose, di colore grigio scuro o marrone; sono presenti intervalli di strati sottili con arenarie nettamente subordinate.

Talora affiorano anche livelli da medi a spessi di calcilutiti silicee biancastre o grigio chiare, marroni se alterate. Età deposizionale: Ypresiano – Luteziano. Questi depositi costituiscono il substrato roccioso del fondovalle e del piede versante in destra Samoggia, sul quale si insedia gran parte dell'abitato di Savigno. Nel fondovalle risultano in contatto tettonico con le Argille Varicolori della Valsamoggia, mentre verso est (versante) il suo limite inferiore appare stratigrafico con i depositi pelitici della Formazione di Poggio (FPG1).

- FORMAZIONE DI POGGIO – Membro di Rio delle Praterie (FPG1) → è costituita da depositi di colata, intercalati in argilliti rossastre, con matrice argillosa simile ai depositi caotici della successione epiligure. L'ambiente deposizionale era di scarpata o di alto strutturale, con apporti torbiditici silicoclastici. La matrice di questa breccia poligenica è sempre grigio scura, con inclusi di calcilutiti biancastre, areniti e calcari marnosi; la dimensione del pezzame varia da qualche decimetro ad oltre un metro. Nell'area di studio, costituiscono il substrato roccioso del versante più elevato in destra idrografica del Samoggia, con limite superiore in contatto stratigrafico con i depositi torbiditici della Formazione di Savigno (SAG1). Età deposizionale: Paleocene – Eocene inf.
- ARGILLE VARICOLORI DELLA VAL SAMOGGIA (AVS) → argilliti, talora siltose, rosse, grigio scure, nere, verdi sottilmente stratificate, con intercalati sottili livelli di arenarie fini e medie grigio scure e violacee, marne verdi, grigie o biancastre, calcari micritici silicizzati grigio-verdastri, grigio chiari o biancastri, talora a patine manganesifere. L'ambiente deposizionale era pelagico, intervallato da correnti di torbidità distali. Nell'area studiata, sono affioranti nel versante in sinistra Samoggia, in contatto tettonico con i depositi dell'Unità di Savigno. Sono anche caratterizzate da presenza di brecce poligeniche grigie a matrice argillosa. Da: Cretacico inf. A: Eocene inf.

## 2. COPERTURE CONTINENTALI QUATERNARIE

- Depositi alluvionali recenti terrazzati “AES8a” (Subsistema di Ravenna – Unità di Modena) → si tratta di alluvioni del samoggia costituiti prevalentemente da ghiaie passanti a sabbie e limi. Il limite inferiore è erosivo sui depositi marini. L'età deposizionale è riconducibile all'Olocene – attuale.
- Depositi di frana → il versante in destra idrografica del Samoggia, sul quale è insediato parte dell'abitato di Savigno, viene considerato come un'ampia zona di accumulo di frana quiescente (sigle “a2” e “a2g”) : si tratta, con probabilità, di un ampio e antico dissesto attivato secondo differenti meccanismi di movimento (stile “complesso”, secondo Cruden & Varnes, 1994). Il materiale coinvolto, costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici, è quello che costituisce il versante interessato dal movimento e in particolare in corrispondenza del suo presumibile coronamento e cioè alternanze di depositi pelitici e lapidei (flysch) della Formazione di Savigno e Argille Varicolori).  
In sinistra del Samoggia, il versante a ridosso del fondovalle è caratterizzato da

movimenti franosi di modesta ampiezza, riconducibili per lo più a scivolamenti e/o colamenti della coltre più alterata del substrato marino affiorante (Argille Varicolori).

- Depositi di conoide torrentizia inattiva → (sigla “i2”) si tratta di depositi riconducibili all'attività alluvionale di un corso d'acqua secondario, in corrispondenza dello sbocco della sua vallecola, e che attualmente non risulta soggetta ad evoluzione. Questi depositi, costituiscono i sedimenti meno profondi della porzione centrale del piede versante in cui si è insediato l'abitato di Savigno; si evidenzia, peraltro, la possibile sovrapposizione con i depositi caotici che costituiscono il piede dell'ampio dissesto gravitativo quiescente già descritto e dunque una attribuzione genetica non definibile chiaramente.
- Depositi di versante (sigla a3)→ rilevati in destra del Samoggia (sigla “a3”) e costituiti anch'essi da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa. La genesi può essere dubitativamente gravitativa (peraltro, vengono classificati come depositi di versante porzioni versante probabilmente costituiti da accumuli eterometrici della frana già descritta), da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso (più verosimile nella porzione di versante più meridionale dell'area studiata).

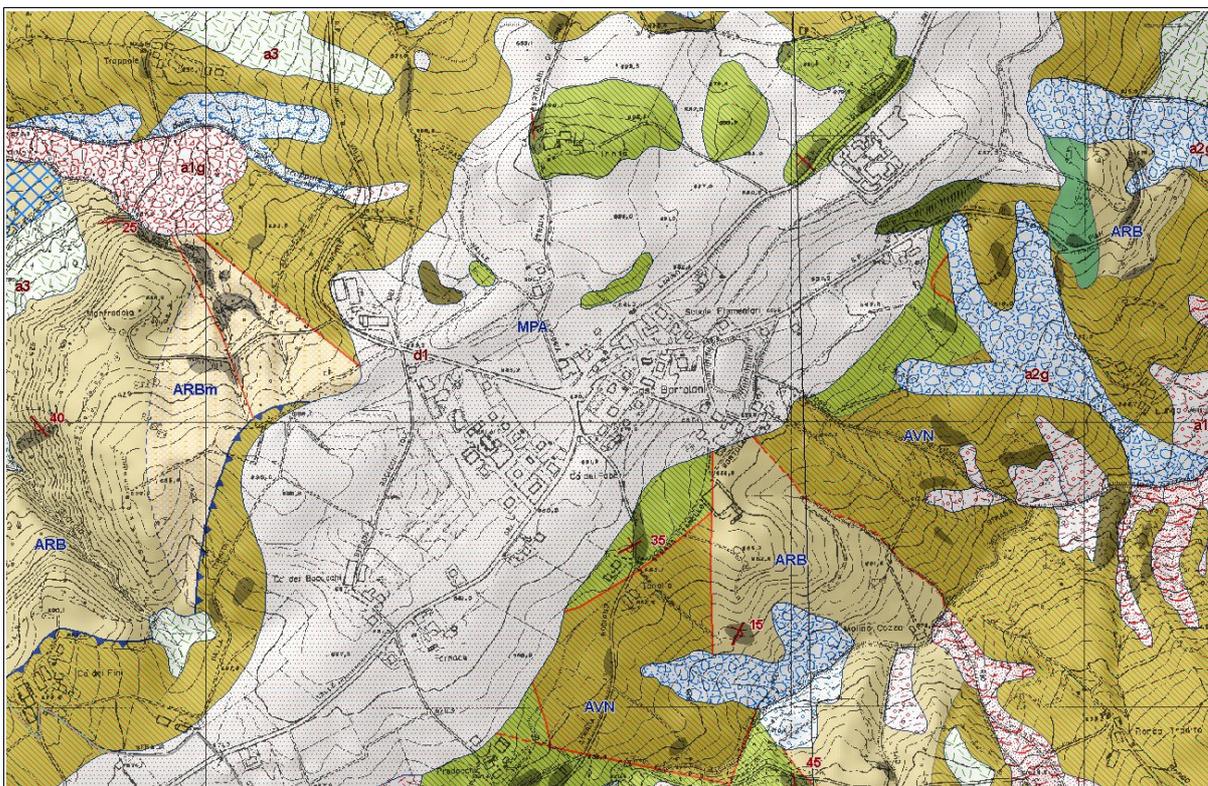


Figura 3.4 – Area di studio frazione Ca' Bortolani: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

### 3.2.2 Area frazione Ca' Bortolani

Per quanto riguarda la frazione Ca' Bortolani, l'area si estende in un ampio pianalto sub-pianeggiante che costituisce un'ampia superficie relitta che si sviluppa in direzione SO-NE e impostata su formazioni subliguri. In questo contesto, la carta geologica regionale rileva la presenza di estese coperture di origine eolica sovrastanti il substrato roccioso marino, prevalentemente pelitico (torbiditi della Formazione di Montepastore e Argille e Calcari del Torrente Lavinello) delle unità subliguri. In particolare, i depositi in affioramento nell'area di Ca' Bortolani sono riconducibili a:

#### 1. UNITA' GEOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE SUBLIGURE

FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (MPA) → si tratta di una placca affiorante di alternanze torbiditiche calcarenitico-marnose in strati da medi a molto spessi e in banchi, sovrapposta in contatto tettonico con le Argille e Calcari del Torrente Lavinello. La base degli strati biocalcarenitica, da fine a grossolana, passante a marna calcarea biancastra. Rari orizzonti di biocalciruditi e biocalcareniti a macroforaminiferi. Nei depositi, sebbene intensamente tettonizzati, è possibile ancora distinguere l'originario ordine stratigrafico. La potenza è riconducibile ad alcune decine di metri, mentre l'età deposizionale è compresa tra Ypresiano - Luteziano.

ARGILLE E CALCARI DEL TORRENTE LAVINELLO (AVN) → sono caratterizzate da argilliti rosse, rosate e grigie, con intercalati spezzoni di strato (da sottilissimi a molto spessi) e "boudins" di calcilutiti grigio chiare e verdastre e di calcareniti fini, biancastre e rosate o verdognole e marne grigio chiare. Nell'area di studio, risultano in contatto tettonico con le sovrastanti MPA e in affioramento soprattutto a SE di Ca' Bortolani. La formazione mostra nel complesso un aspetto caotico e la potenza stratigrafica non è valutabile a causa dell'intensa tettonizzazione e della mancanza di contatti stratigrafici. L'ambiente deposizione era di mare profondo, Età deposizionale: Campaniano sup.?- Ypresiano.

#### 2. COPERTURE CONTINENTALI QUATERNARIE

Depositi eolici (sigla d1) → la superficie relitta, sulla quale è insediato l'abitato di Ca' Bortolani, è caratterizzata da depositi affioranti di origine eolica (loess) a formare suoli fortemente pedogenizzati generalmente impostati su limi di colore giallo-arancio e con abbondanti concrezioni ferro-manganesifere. Si tratta di depositi che appaiono correlabili al periodo interglaciale Riss-Wurm (parte basale del Pleistocene superiore, circa 100.000 anni fa). Si tratta peraltro di modesti spessori (circa 1 ÷ 3 metri), che sovrastano substrato roccioso molto alterato, come risulta dagli esiti delle prove penetrometriche di repertorio: lo studio ha dunque tenuto conto dello

spessore complessivo in grado di amplificare il moto sismico (coperture eoliche e bedrock molto alterato).

Per gli aspetti più propriamente morfologici, necessari per valutare e delimitare le zone di possibile amplificazione topografica, lo studio di microzonazione ha considerato anche un modello digitale del terreno (DTM) elaborato dallo scrivente per le analisi geologiche del Piano Strutturale Comunale. Il DTM si basa su un “grid” di punti quotati e georeferenziati forniti dal Servizio Cartografico RER, ed è stato costruito con maglia quadrata di 5x5 metri. La modellazione morfologica ha dunque permesso la scomposizione della superficie topografica nelle tre classi di acclività (<15°; 15 ÷ 30°; >30°), considerate di riferimento anche per le normativa tecnica per le costruzioni a scala nazionale (NTC 2008).

La figura 3.5 riporta l'esito del modello morfologico relativo al territorio limitrofo il capoluogo, mentre la figura 3.6 riporta il DTM elaborato per la frazione Ca' Bortolani. Dalle due figure, si evince che l'abitato di Savigno ricade su un fondovalle sub-piano, a ridosso di versanti con acclività medie comprese entro i 30°. Anche l'abitato di Ca' Bortolani risulta insediato in un contesto morfologico sub-piano, cioè in un pianalto con modeste pendenze delle scarpate situate sia a NO, sia a SE della stessa frazione.

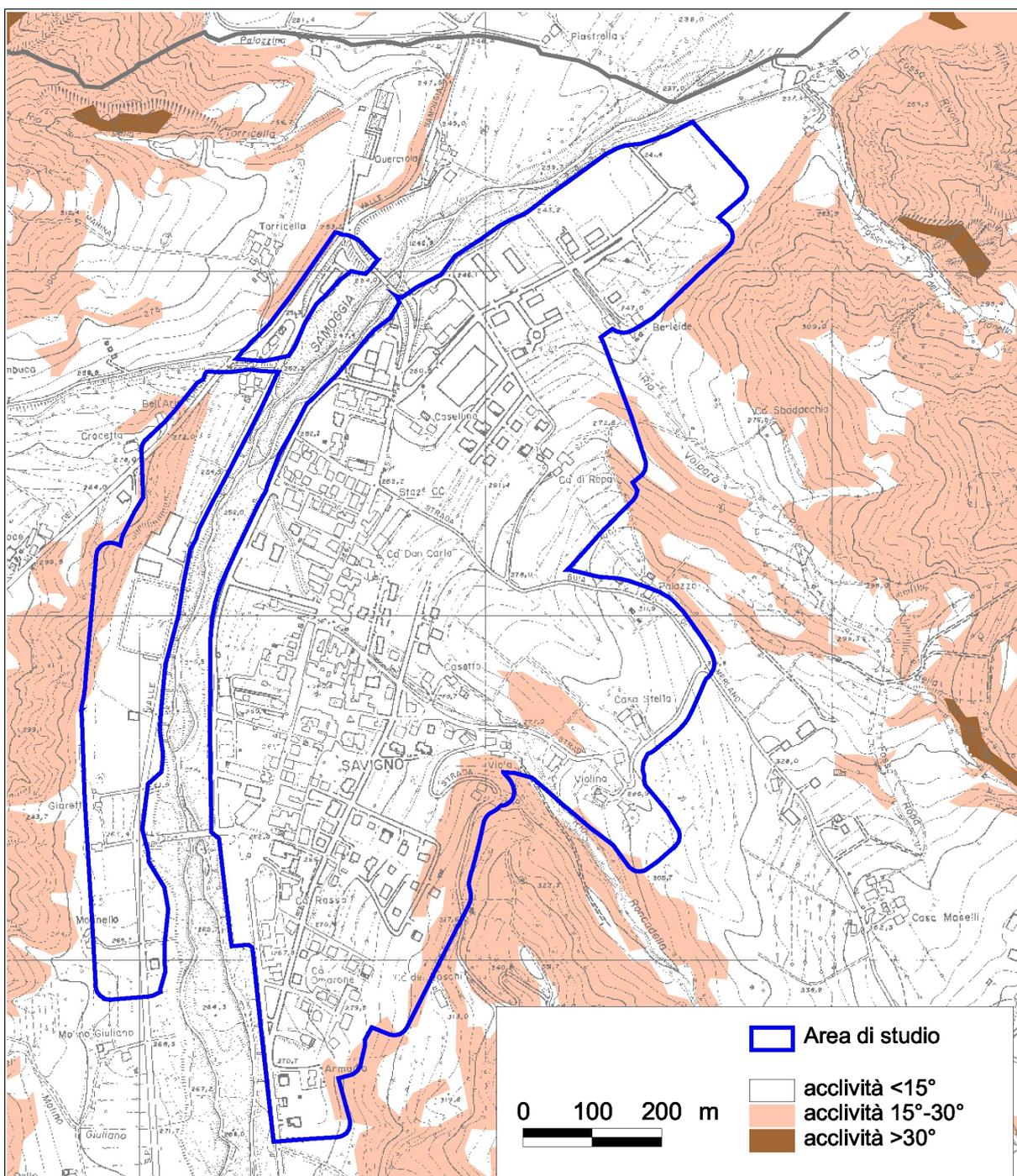


Figura 3.5- Area di studio Capoluogo: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

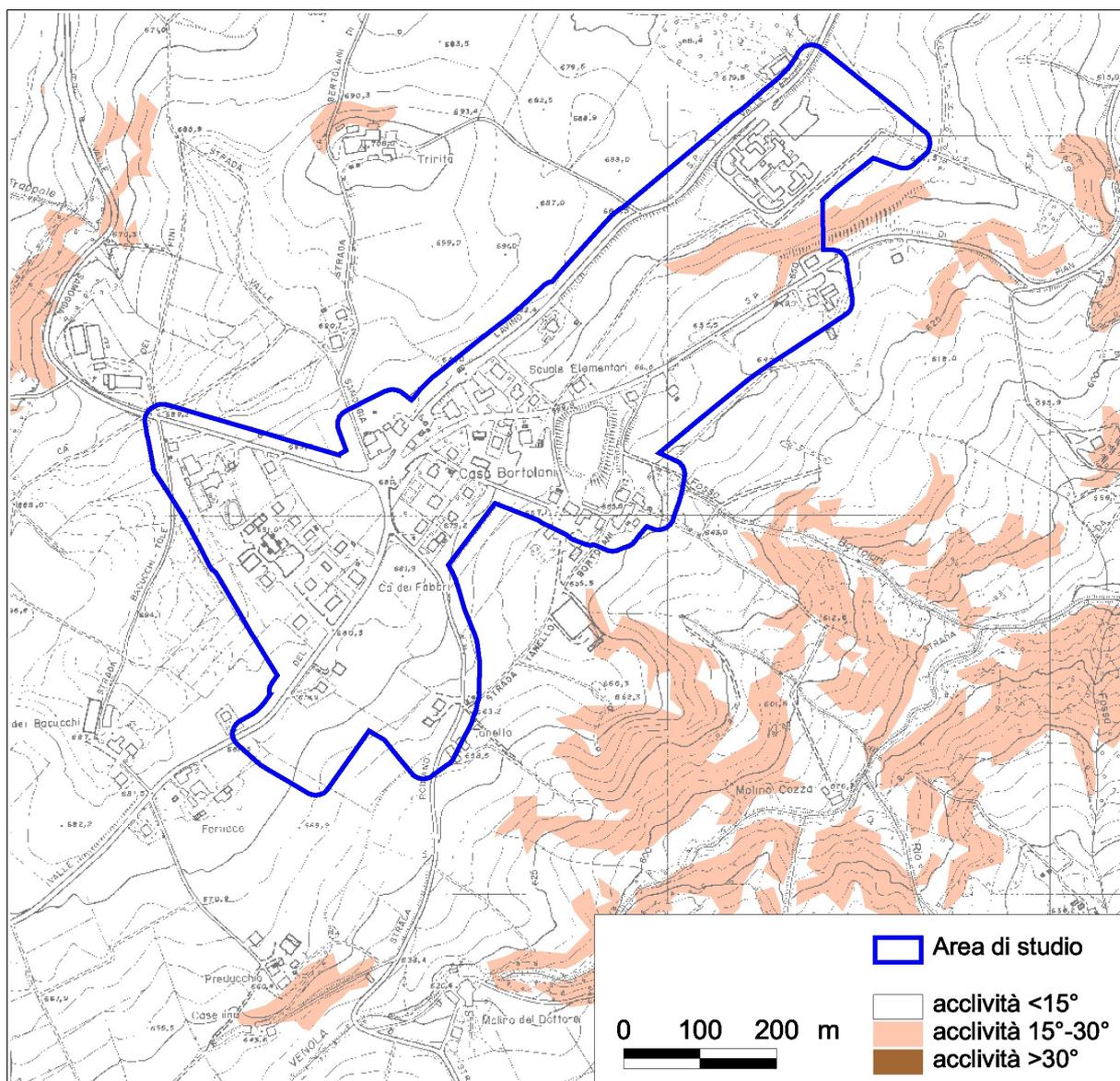


Figura 3.6- Area di studio frazione Ca' Bortolani: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

## 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 4.1 e 4.2 localizzano i siti puntuali e lineari ove sono state svolte le prove di riferimento per lo studio di Microzonazione sismica di Savigno (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 forniteci dall'Amministrazione comunale e dall'Unione dei Comuni Valle del Samoggia (ex Comunità Montana) 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 terebrazioni ((es. 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 41 prove, così distinte per tipologia:

- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo che hanno intercettato il substrato
- n. 6 sondaggi a distruzione di nucleo (di cui 2 hanno intercettato il substrato)
- n. 14 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 11 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- n. 1 prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
- n. 5 misure di microtremori a stazione singola (HVSR)

### 4.2 Dati ex novo

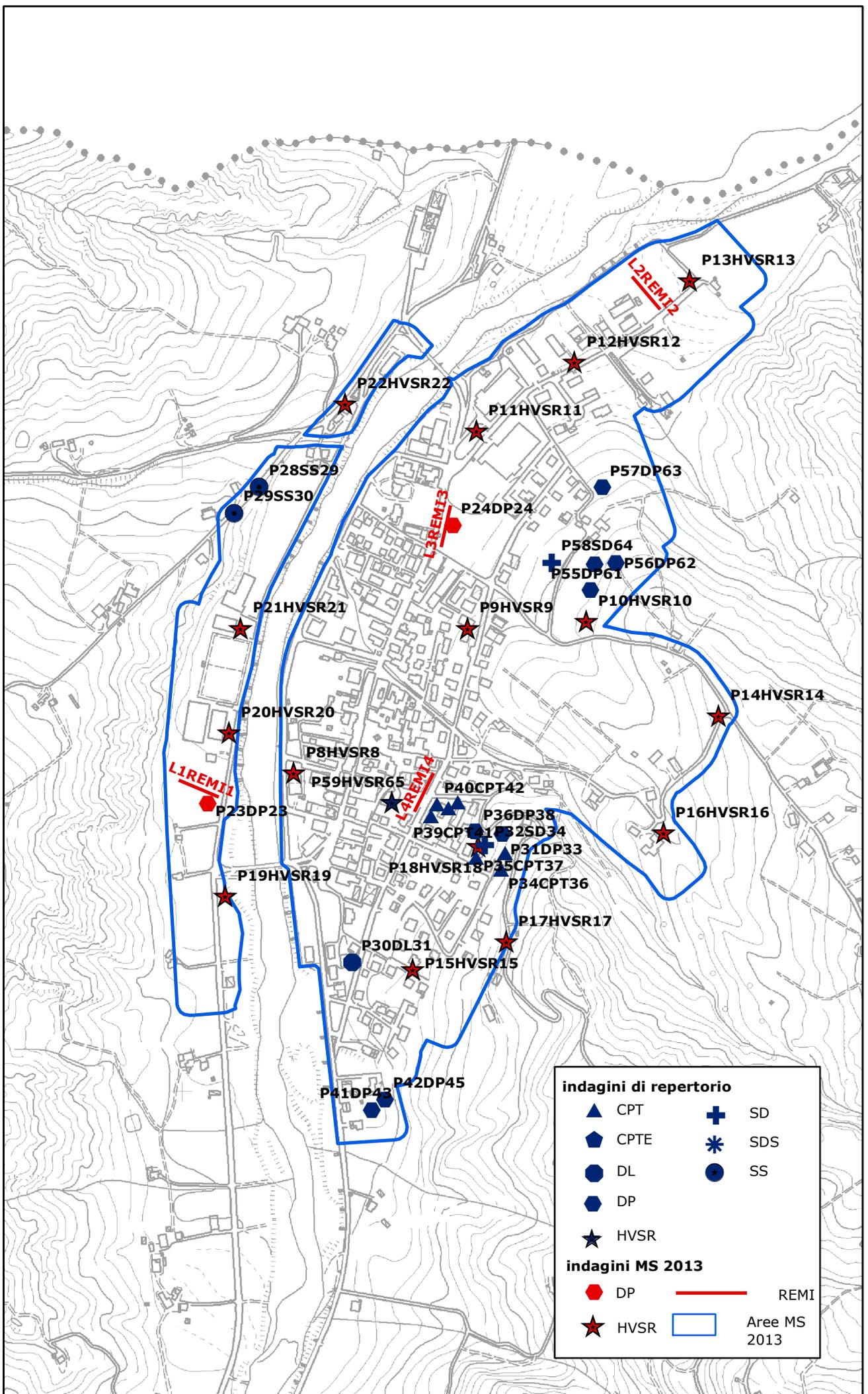
Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di microzonazione, e in particolare per definire i depositi di copertura superficiali (detrito di

versante; depositi alluvionali; ecc.) 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 Savigno 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 stati effettuate le seguenti prove in sito:

- n. 2 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH → realizzate con strumento penetrometrico di max contrasto pari a 200 kN, montato su semovente cingolato “Pagani” dotato di ancoraggi supplementari per migliorare l'ancoraggio al suolo e consentire il massimo approfondimento delle prove. Le penetrometrie sono state spinte fino a “rifiuto” strumentale.
- n. 22 registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR.
- n. 6 stendimenti geofisici tipo Re.Mi., disponendo 24 geofoni a 4.5 Hz con spaziatura regolare di 3 m. In allegato si riporta il grafico a isolinee sul quale è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh e sulla quale si esegue il picking del modo fondamentale.

I risultati (diagrammi e/o report) di tutte le indagini di repertorio e di tutte le indagini eseguite per questo studio, vengono riportati nei file <<Ind\_pu\_Savigno.pdf>> e <<Ind\_In\_Savigno.pdf>> all'interno della cartella <<Indagini\Documenti>> contenuta nel DVD allegato.



indagini di repertorio	
▲ CPT	⊕ SD
⬠ CPTe	⌘ SDS
● DL	● SS
⬠ DP	
★ HVSUR	
indagini MS 2013	
⬠ DP	— REMI
★ HVSUR	□ Aree MS 2013

Figura 4.1 Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

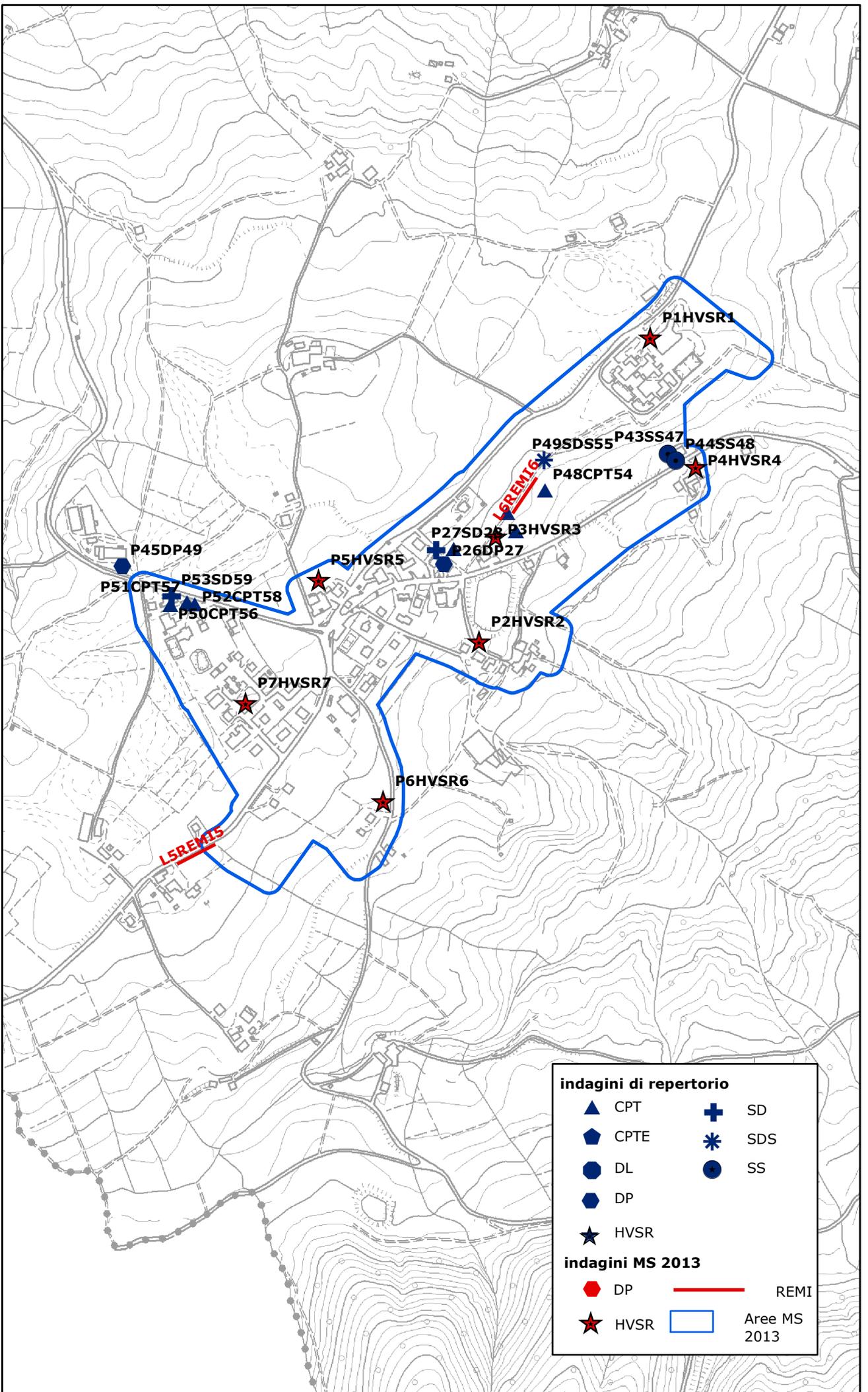


Figura 4.2 Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

## 5 Modello di sottosuolo

### 5.1 Area “Capoluogo”

Per l'area corrispondente all'abitato di Savigno si è elaborata la sezione geologica indicata con la sigla 1-1' (la localizzazione delle tracce è riportata sulle tavole di microzonazione sismica). La traccia (in appendice al testo) si sviluppa trasversalmente al fondovalle del Samoggia e permette di comprendere i rapporti stratigrafici del bedrock marino affiorante e/o sub-affiorante e le coltri quaternarie. Le indagini geognostiche e geofisiche, integrate con gli esiti del rilievo e della cartografia geologica regionale, hanno infatti permesso di approfondire le conoscenze per quanto riguarda gli spessori e le tessiture delle coperture meno profonde, mentre le indagini geofisiche offrono ulteriori elementi di valutazione riguardo gli spessori degli intervalli in grado di amplificare il moto sismico.

La sezione 1-1' offre, pertanto, uno spaccato del versante, caratterizzato prevalentemente da coperture quaternarie (depositi alluvionali; depositi di conoide “inattiva”; depositi di versante/falda detritica; accumuli di frana), sovrastanti il bedrock marino, costituito da unità riconducibili alla successione ligure (Formazione di Savigno; Formazione di Poggio; Argille Varicolori della Val Samoggia), le cui caratteristiche tessiturali sono state già descritte nel paragrafo 3.2.

Le indagini evidenziano che il fondovalle del Samoggia è caratterizzato da coperture alluvionali recenti (sigla AES8a) prevalentemente ghiaiose, potenti circa 4÷8 metri, attualmente incise dall'alveo attivo e con una velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ) stimata pari a circa 280 m/s (prova L1REM11). In sinistra idrografica, le alluvioni AES8a poggiano in contatto erosivo con il sottostante bedrock argilloso AVS, che risulta particolarmente alterato per alcuni metri<sup>9</sup>, prima di risultare impenetrabile alle prove penetrometriche dinamiche. Questa situazione di alterazione, è stata considerata, come vedremo, anche nella valutazione dello spessore complessivo, in grado di amplificare il moto sismico (coperture e/o bedrock molto alterato).

In destra idrografica, dove è insediato l'abitato storico di Savigno, le indagini geognostiche disponibili evidenziano la presenza di depositi caotici, a matrice prevalentemente argillosa e con clasti di varie dimensioni: si tratta di un'ampia zona di accumulo di frana quiescente (sigle “a2” e “a2g”), con probabilità un ampio e antico dissesto attivato secondo differenti meccanismi di movimento (stile “complesso”, secondo Cruden & Varnes, 1994). Il materiale coinvolto, costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici, è quello che costituisce il versante interessato dal movimento e in particolare in corrispondenza del suo

---

<sup>9</sup> 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 resistenze penetrometriche molto basse nei primi metri di bedrock, per poi rapidamente arrivare a “rifiuto” strumentale nel substrato roccioso meno alterato.

presumibile coronamento e cioè alternanze di depositi pelitici e lapidei (flysch) della Formazione di Savigno e dell'Unità delle Argille Varicolori).

La porzione centrale del capoluogo, è invece insediata sopra depositi di conoide torrentizia inattiva (sigla "i2"), riconducibili all'attività alluvionale di un corso d'acqua secondario, in corrispondenza dello sbocco della sua vallecchia, e che attualmente non risulta in evoluzione. Questi depositi costituiscono i sedimenti meno profondi della porzione centrale del piede versante in cui si è insediato l'abitato di Savigno, peraltro in sovrapposizione con i depositi caotici che costituiscono il piede del citato dissesto gravitativo. Gli esiti delle indagini geofisiche (registrazioni HVSR e stendimenti Re.Mi., in particolare le prove L2REMI2, L3REMI3, tarati con i risultati delle indagini geognostiche, permettono di stimare uno spessore delle descritte coperture caotiche sostanzialmente omogeneo nella porzione di fondovalle e pari a circa 20 m, con una Vs media di tale intervallo che risulta rispettivamente compresa tra 327 m/s e 345 m/s, dunque dimostrando un discreto grado di addensamento di tali spessori. Le registrazioni HVSR, confermano ulteriormente il contesto sopra descritto, in particolare evidenziano picchi di amplificazione nello spettro H/V a frequenze di 3,4÷4,3 Hz per la porzione centrale e settentrionale del fondovalle di Savigno.

La citata cartografia geologica regionale (§ 3.2), indica anche presenza di detrito di versante, in particolare è rilevato al piede del pendio sovrastante l'abitato storico: anche in questo caso si tratta di depositi comunque di carattere caotico, con clasti arenacei immersi in matrice pelitica e l'attribuzione è peraltro incerta, in quanto risulterebbero parte dell'accumulo franoso stabilizzato già descritto. Più certa è l'attribuzione del detrito di versante nella porzione di versante situato nella porzione più meridionale dell'abitato e che risulta infatti attraversato dalle prove penetrometriche di repertorio: le terebrazioni e le indagini geofisiche evidenziano che si tratta di depositi recenti e poco addensati, con valori medi di Vs che si attestano attorno a 200 m/S, con spessori variabili fino a poco oltre 10 metri.

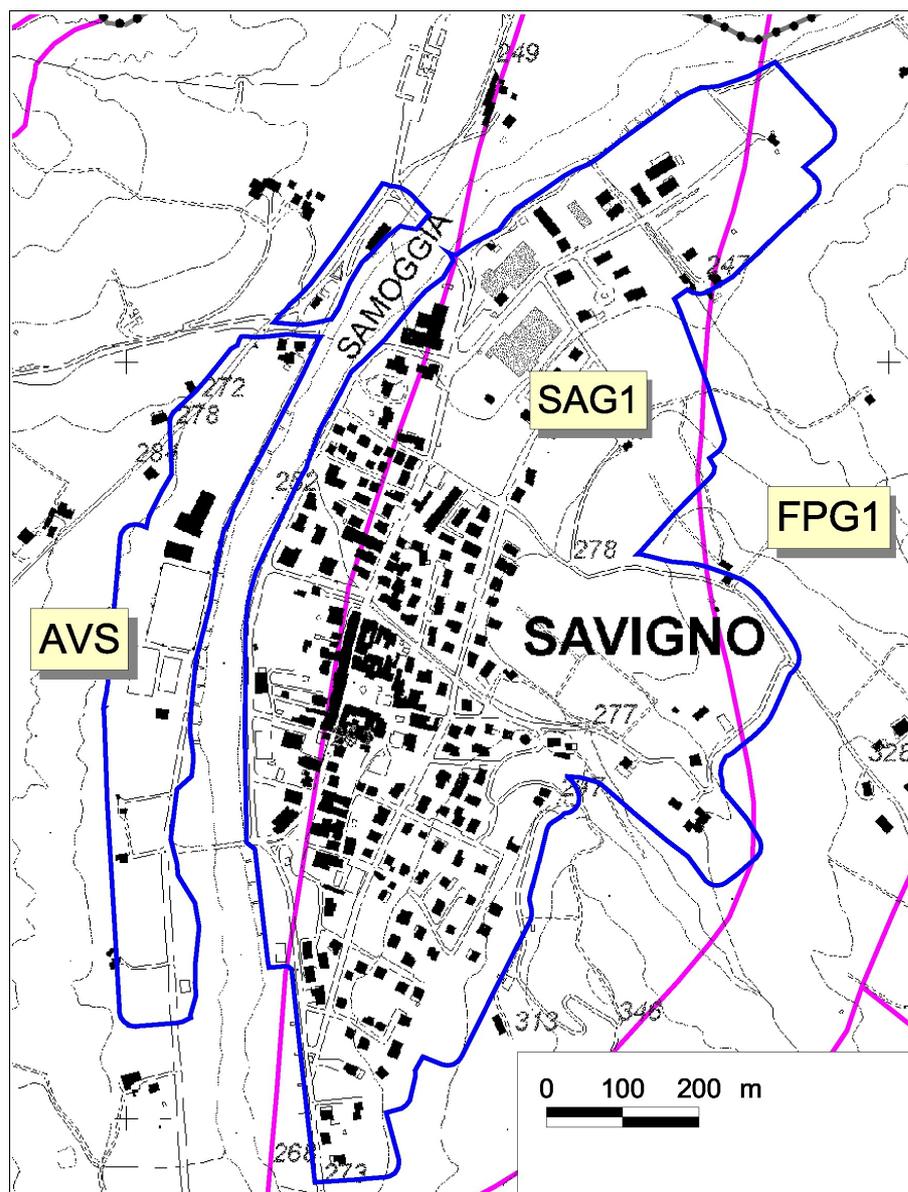


Figura 5.1 – Schema del substrato geologico pressì il Capoluogo senza coperture (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

La figura 5.1 propone invece uno schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo del Capoluogo: per una migliore comprensione, la figura non riporta le coperture quaternarie (già evidenziate nella figura 3.3). Come già scritto, il bedrock nel versante in destra idrografica è costituito dalla Formazione di Savigno e in particolare da litotipi riconducibili al suo Membro di Villa (sigla SAG1), caratterizzato da alternanze arenaceo-pelitiche. Le arenarie sono quarzoso-feldspatiche, fini, da mediamente a poco cementate, di colore grigio o beige, mentre le peliti appaiono generalmente siltose, di colore grigio scuro o marrone. Questi depositi, costituiscono il substrato roccioso del fondovalle e risultano in contatto tettonico con le Argille Varicolori della Valsamoggia (che costituiscono il versante in sinistra del Samoggia). Verso est, cioè nel versante in destra del Samoggia, le SAG1 sono

sovrastate dalle già descritte coperture detriche e, al limite più orientale dell'area di studio, risulterebbero in contatto di tipo stratigrafico con i depositi pelitici della Formazione di Poggio (FPG1). Le indagini geofisiche REMI2, REMI3 e REMI4 hanno stimato per il substrato SAG1 una distribuzione delle Vs variabile da 460 m/s a circa 600 m/s, pertanto riconducibile dal punto di vista sismico a “bedrock non rigido”.

Le Argille Varicolori della Valsamoggia (AVS) sono invece in affioramento nel pendio in sinistra idrografica e sono appaiono caratterizzate da argilliti siltose di colore rosse e/o grigio scuro, a volte anche nere e verdi, con intercalati sottili livelli di arenarie fini e medie grigio scure e violacee, e marne verdi, grigie o biancastre. Nel versante in sinistra, la litologia argillosa AVS determina una certa instabilità di carattere gravitativo, con presenza di movimenti franosi di modesta ampiezza, relativamente recenti, riconducibili per lo più a scivolamenti e/o colamenti della coltre più alterata del substrato marino affiorante. La prova LIREMI1 riscontra, per l'unità AVS, una distribuzione della Velocità di taglio in progressivo aumento con la profondità e una Vs media stimata di circa 450÷500 m/s: anche in questo caso si tratta di “bedrock non rigido”. Infine, il bedrock della Formazione di Poggio (Membro di Rio delle Praterie, sigla FPG1) lambisce come già detto la porzione più orientale del versante studiato, sempre in destra idrografica, costituito da depositi di colata, intercalati in argilliti rossastre, con matrice in breccia poligenica di colore grigio scuro (pezzame di dimensioni variabili da qualche decimetro ad oltre un metro). Le unità della FPG1 non sono affioranti nell'area di studio (sepolte da depositi di frana, e dalla coltre alluvionale del fondovalle; la carta geologica regionale riporta un contatto stratigrafico con i depositi torbiditici della Formazione di Savigno (SAG1). Anche in questo caso, la Vs media della formazione risulta (per le caratteristiche litologiche della stessa unità), un bedrock classificato “non rigido” ( $V_s < 800$  m/s).

## 5.2 Area “Ca' Bortolani”

Per l'area della frazione Ca' Bortolani si è elaborata la sezione geologica 2–2' (in appendice alla relazione): anche in questo caso la traccia consente di riassumere rapporti stratigrafici del substrato geologico e le coltri quaternarie. La sezione 2–2' evidenzia il substrato geologico prevalentemente pelitico, costituito sia da torbititi della Formazioni di Montepastore (Sigla MPA), sia dalle Argille e calcari del Torrente Lavinello (sigla AVN), le cui caratteristiche tessiturali sono state già descritte nel paragrafo 3.2.

Le coperture quaternarie sono riconducibili a coltri di origine eolica, fortemente pedogenizzati (suoli) e caratterizzate da limi di colore giallo-arancio con abbondanti concrezioni ferro-manganesifere, e a depositi riconducibili ad alterazione di versante (porzione NE dell'area studiata).

La figura 5.2 propone, anche per questa area studiata, lo schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo del Capoluogo, senza la sovrastanti coperture quaternarie (già evidenziate nella figura 3.3).

Il bedrock che costituisce la porzione sommitale della superficie relitta (sulla quale si insedia la frazione), è costituito da una placca della Formazione di Montepastore (MPA), caratterizzata prevalentemente da alternanze torbiditiche calcarenitico-marnose, sovrapposta in contatto tettonico con le Argille e Calcari del Torrente Lavinello (AVN); queste ultime, sono in affioramento nei blandi declivi circostanti l'abitato, soprattutto a SE di Ca' Bortolani. Le AVN mostrano un complessivo aspetto caotico per l'intensa tettonizzazione e contatti tettonici con MPA, in particolare, è presumibile un contatto netto per fagliazione (diretta?) tra le due unità nel versante SE della frazione. Presso la frazione di Ca' Bortolani sono state eseguite due prove geofisiche Re.Mi. (rispettivamente L5REMI5 e L6REMI6) e registrazioni HVSr che, tarate con le indagini geognostiche (penetrometrie statiche CPT e prove dinamiche) di repertorio hanno permesso di stimare lo spessore della coltre quaternaria e/o di bedrock molto alterato fino a circa 10 metri, con una Vs media di tale intervallo da circa 200 m/s a circa 230 m/s. Il sottostante bedrock è invece caratterizzato da una distribuzione delle Vs variabile da poco oltre 400 m/s a circa 550 m/s, pertanto riconducibile dal punto di vista sismico a "bedrock non rigido".

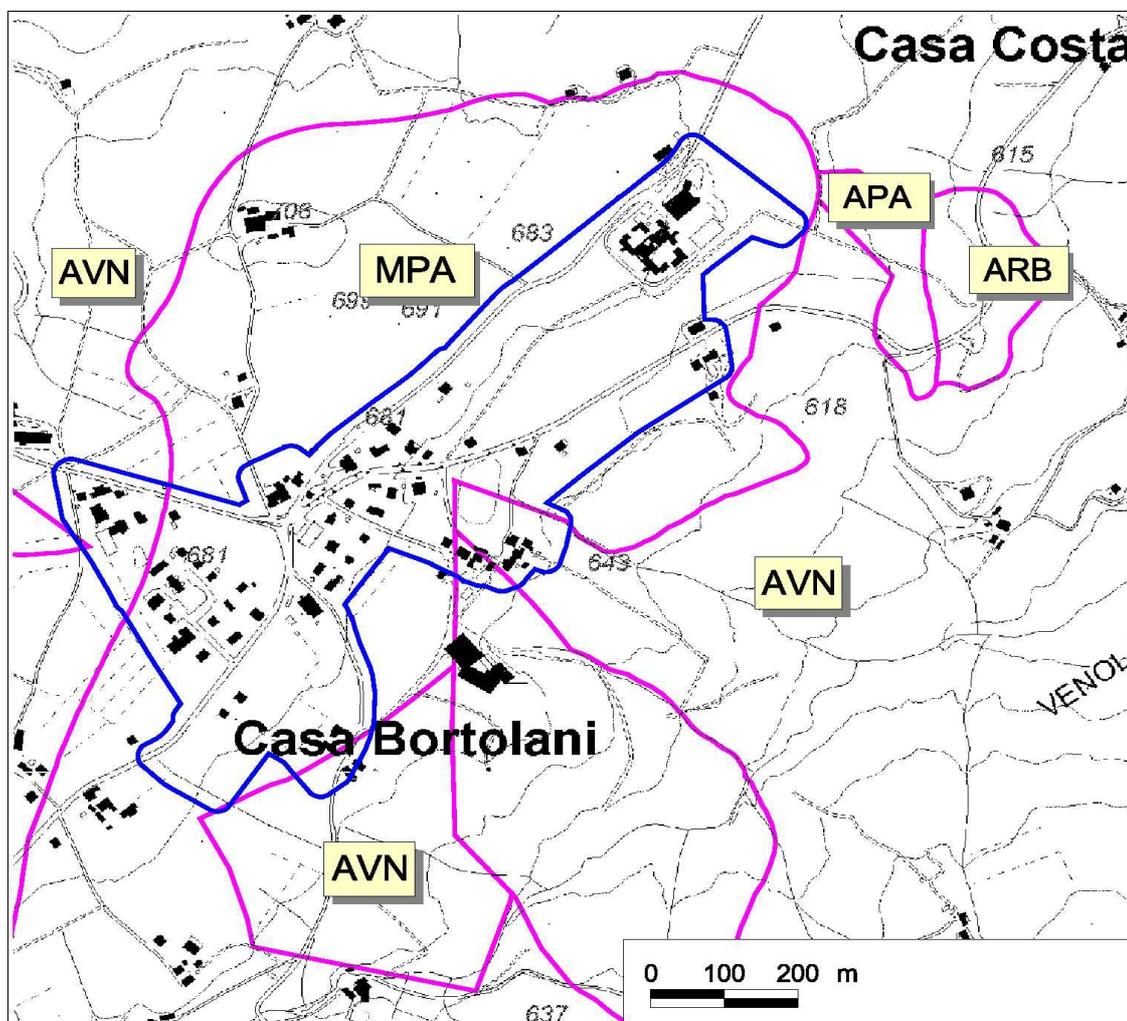


Figura 5.2 – Schema del substrato geologico presso la frazione Ca' Bortolani senza coperture (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

Parte della superficie relitta sulla quale si insedia Ca' Bortolani è inoltre stata considerata con substrato roccioso MPA affiorante (HVSR prive si contrasti significativi e penetrometrie a “rifiuto strumentale” entro 1 ÷ 2 m).

Nella porzione NE dell'area studiata, le indagini di repertorio (sondaggi P43SS47 e P44SS48) riscontrano spessori pari a circa 3 ÷ 6 m di depositi riconducibili a coperture di versante e/o di bedrock molto alterato: la Vs relativa a tale spessore è stata stimata pari a circa 200 m/s, sulla base degli esiti della registrazione HVSR (P4HVSR4) che indica un'amplificazione nello spettro h/V alla frequenza di 10,1 Hz. Per quanto riguarda l'unità AVN, le caratteristiche litologiche ne permettono una sicura classificazione come “bedrock non rigido” ( $V_s < 800$  m/s).

L'area studiata di Ca' Bortolani non appare interessata da movimenti di versante in atto, mentre si ritengono necessari ulteriori approfondimenti, come vedremo, relativamente alla porzione di versante situato a SE della frazione e in particolare nelle zone di contatto tettonico tra le l'unità MPA e il bedrock argilloso e molto fratturato AVN.

## 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.

Per quanto detto, gli aspetti più critici che potrebbero essere comunque oggetto di ulteriori approfondimenti possono ricondursi ai seguenti punti:

- 1) Area Capoluogo → maggiore dettaglio nella caratterizzazione e perimetrazione delle coperture (detritiche e/o corpo di frana stabilizzata), così come dei limiti delle unità geologiche sepolte (in particolare le formazioni AVS e SAG1), mediante indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) e geofisiche (stendimenti geoelettrici e sismici a rifrazione; ecc.), sebbene l'urbanizzazione costituisca un evidente limite alla esecuzione di tali prove;
- 2) Area Ca' Bortolani → maggiore dettaglio nella caratterizzazione del substrato roccioso non affiorante MPA (sottostante paleosuoli e coperture eoliche), anche in questo caso mediante indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) e geofisiche (stendimenti geoelettrici e sismici a rifrazione; ecc.).

## 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.

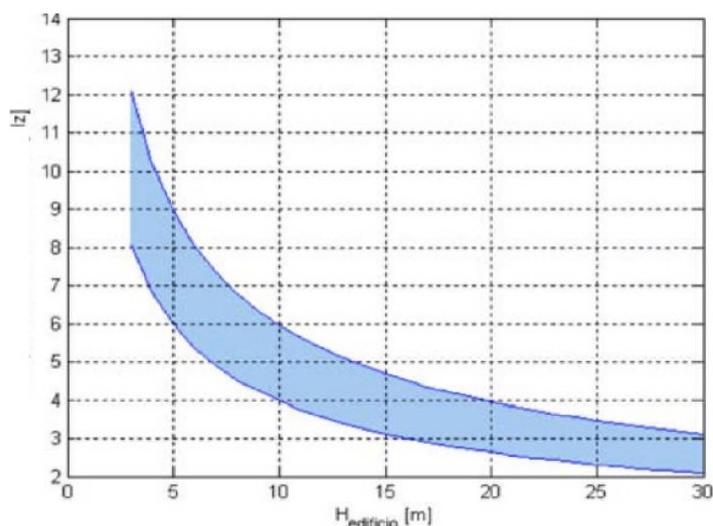
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro 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 (Aree “Capoluogo” e “Ca' Bortolani”) si è elaborata la <<Carta delle indagini>> scala 1:5.000, che localizza tutte le indagini di riferimento per lo studio di microzonazione sismica di Savigno, 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 1:3.000, 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 le due aree di studio (Capoluogo e Ca' Bortolani). 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.

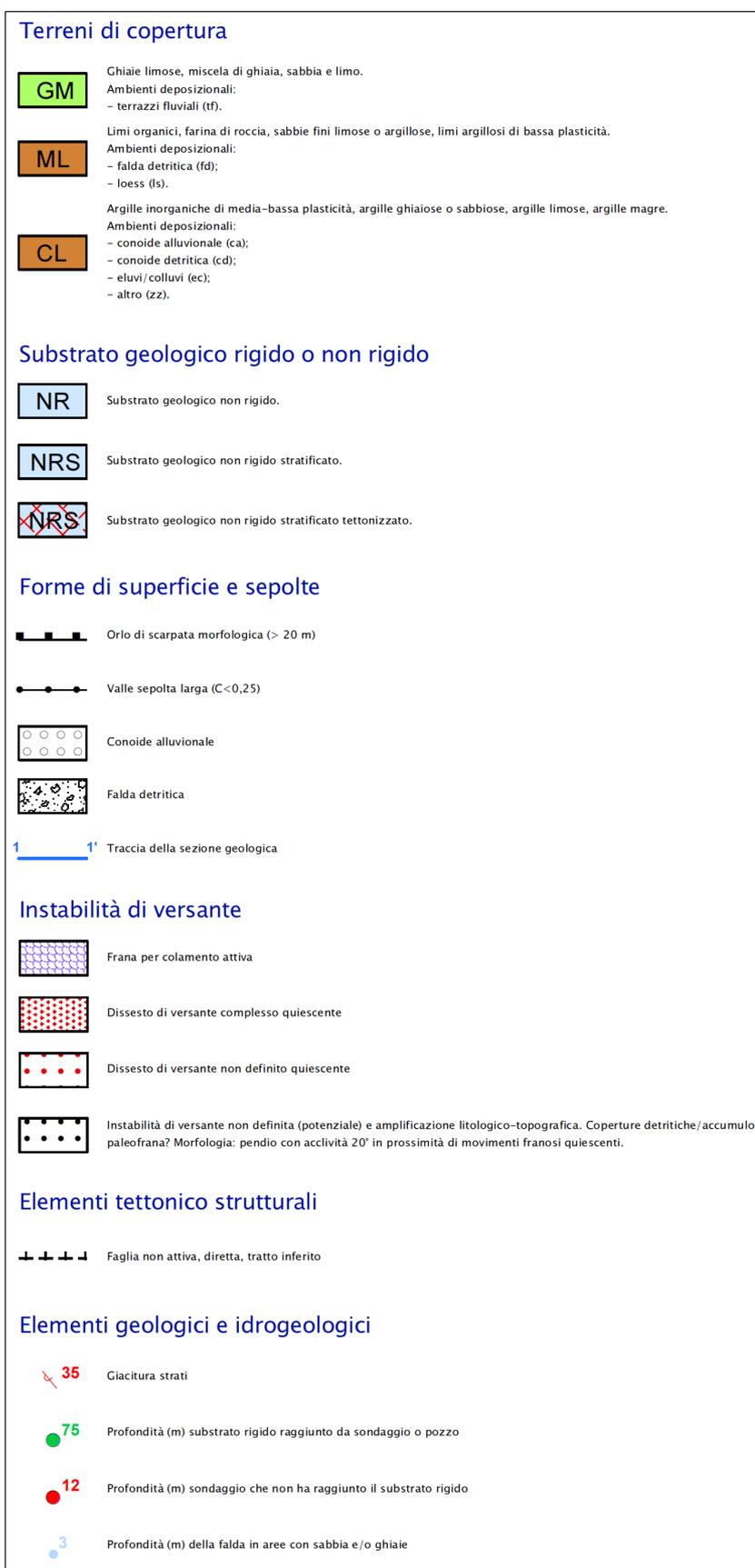


Figura 8.1 – Stralcio della legenda della <<Carta geologico-technica>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Savigno.

- Substrato geologico rigido o non rigido → in particolare si sono perimetrare le aree ove risulta affiorante<sup>10</sup> il bedrock geologico. In questo senso, la carta discrimina gli affioramenti del bedrock geologico “non rigido” (cioè con Vs medie <800 m/s) “NR” che nell'area di studio affiora a ovest del Capoluogo (Argille Varicolori della Valsamoggia –AVS–) dagli affioramenti di substrato geologico ancora definito “non rigido” ma stratificato (unità liguridi della formazione di Montepastore – MPA – e delle Argille e Calcari del torrente Lavinello – AVN –) affioranti presso la frazione Ca' Bortolani.
- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a orli di scarpata morfologica di altezza <20 metri (rilevata a SE del cimitero di Ca' Bortolani), valle sepolta larga (fondovalle del Samoggia nei pressi del Capoluogo), conoide alluvionale e falda detrica.
- Tracce delle sezioni geologiche → considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le sezioni 1–1' e 2–2' ricostruite per la modellazione geotecnica rispettivamente del Capoluogo e dell'Abitato di Ca' Bortolani.
- 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 che risultano allo stato di fatto stabili, con fattori di predisposizione al dissesto in condizioni sismiche (contesto litologico; l'acclività; parti di versante limitrofi ad aree già interessate da franamenti).
- Elementi tettonico strutturali → riconducibili a faglie presumibilmente dirette, già riportate nella cartografia geologica regionale, che risulterebbero “non attive”.
- la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- la localizzazione dei pozzi freatici (rilevati nel fondovalle del Samoggia, nei pressi del capoluogo), con indicata la relativa soggiacenza (in metri) misurata della falda.

---

<sup>10</sup> Il bedrock è stato considerato affiorante ove le coperture sono risultate di spessore <2 metri e con amplificazioni dello spettro H/V ricavato dalle registrazioni HVSR non significative

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Come già scritto nel paragrafo 7.2, la <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:5.000, localizza tutti i punti di misura dei microtremiti 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  $H/V^{11}$  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 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 1 Hz fino a circa 12 Hz)

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.

In sintesi, per il Capoluogo si evince una sostanziale possibilità di amplificazione del segnale sismico per un ampio range di frequenze, in particolare elevate (dunque con possibilità di risonanza per edifici bassi), così come per la frazione di Ca' di Bortolani. Tali esiti sono ben spiegabile per la presenza delle coperture cartografate, in grado di amplificare il moto sismico al suolo. 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.

---

<sup>11</sup> 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.

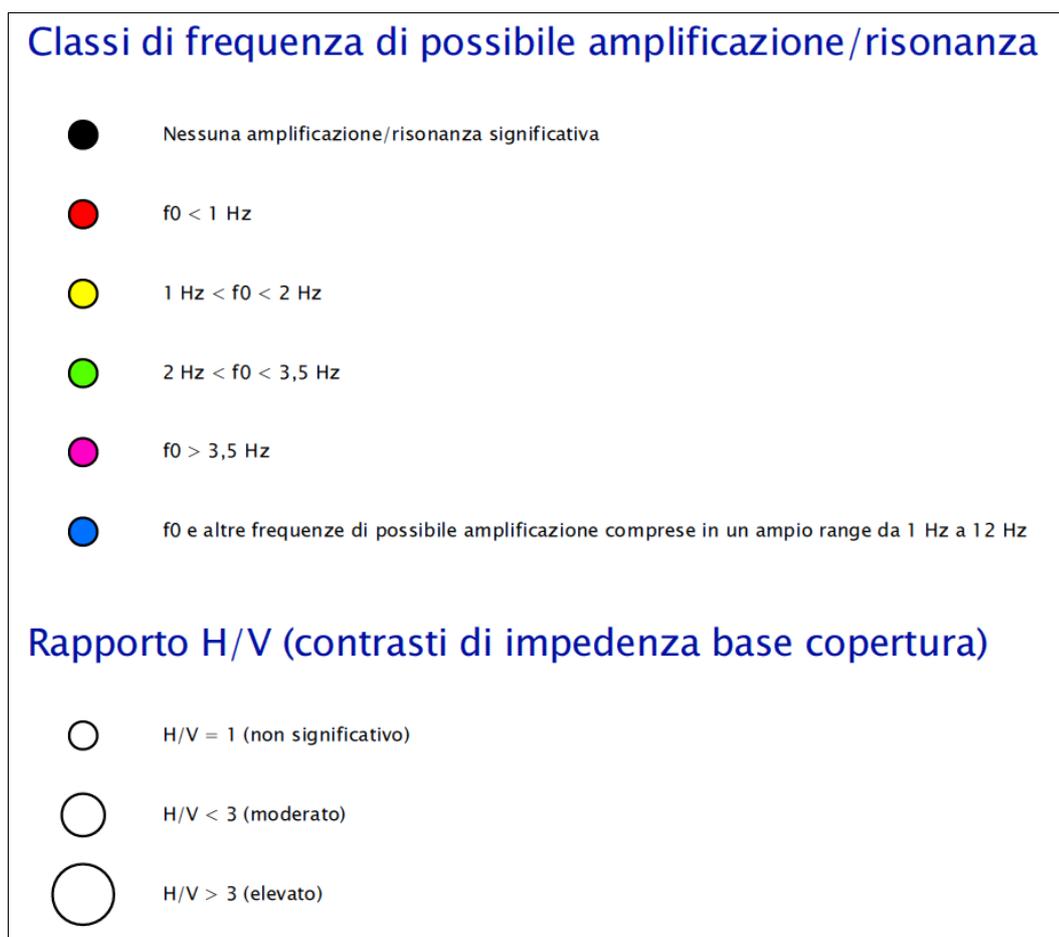


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Savigno.

#### 8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La <<carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica>> (MOPS), 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 Capoluogo Savigno e per la frazione Ca' Bortolani. In questo senso, la cartografia delle MOPS distingue e classifica le aree studiate in “zone 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 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”). Le seguenti figure 8.3 e 8.4 riportano

le colonne stratigrafiche di sintesi relative alle zone descritte.

*ZONA 2001 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (SAG1; FPG1; AVS)*

si tratta di sedimenti alluvionali recenti di contesto deposizionale torrentizio del Samoggia, prevalentemente ghiaiosi e sovrastanti (in contatto erosivo) bedrock non rigido attribuito alle unità liguridi della Formazione di Savigno (in particolare al suo Membro di Villa – sigla SAG1 – Torbiditi arenaceo pelitiche in strati medi, con rapporto A/P variabile da ½ a 2), della Formazione di Poggio (sigla FPG – Argilliti siltose) e, in sinistra idrografica, alle Argille Varicolori della Valsamoggia (sigla AVS – Argilliti, talora siltose). Sebbene il substrato geologico risulti differente dal punto di vista litologico, si tratta in ogni caso di bedrock non rigido ( $V_s < 800$  m/s), come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana. Le indagini geognostiche e geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano contrasti di impedenza poco profondi, per la presenza della coltre alluvionale ghiaiosa (potente circa 4÷6 metri) sovrastante uno spessore (potente 2÷3 metri) di substrato geologico molto alterato. Per quanto detto, il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

MACRO CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	$V_s$
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	10 m	$V_{sH} = 250$ m/s

*ZONA 2002 ≡ Bedrock non rigido affiorante (AVS)*

si tratta di bedrock affiorante attribuito alle Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia (sigla AVS – Argilliti, talora siltose), al piede di un pendio con acclività media pari a 20°–25°. Le indagini geofisiche (Re.Mi.) evidenziano la modesta rigidità che caratterizza questo substrato sismico ( $V_{s30} = 450$  m/s). Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	$V_s$
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	<2 m (substrato affiorante)	$V_{s30} = 450$ m/s

*ZONA 2003 ≡ Coperture detritiche di versante/accumulo paleofrana? sovrastanti bedrock non rigido (SAG1; AVS)*

si tratta di coperture detritiche che costituiscono il probabile piede di accumulo

(potente circa 20 metri), di una paleofrana ormai stabilizzata, sulla quale si insedia parte dell'abitato di Savigno, e con acclività media pari a 15°–20°.

Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo di tali coperture in grado di amplificare il moto sismico, approssimabile a 20 metri (spessore detritico), sovrastante il bedrock non rigido della Formazione di Savigno e in particolare al suo Membro di Villa (sigla SAG1 – Torbiditi arenaceo pelitiche in strati medi, con rapporto A/P variabile da ½ a 2) più alterato) e/o della Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia (sigla AVS – Argilliti, talora siltose) e con VsH misurato pari a 350 m/s. Il substrato geologico è considerato non rigido (Vs < 800 m/s), come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	VsH
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs < 800 m/s	20 m	VsH = 350 m/s

**ZONA 2004** ≡ Coperture detritiche di versante sovrastanti bedrock non rigido (FPG1).

*Morfologia: piede pendio con acclività 15°–20°*

si tratta di depositi di copertura detritiche di versante, sovrastanti il bedrock non rigido della Formazione di Savigno e in particolare al suo Membro di Villa (sigla SAG1 – Torbiditi arenaceo pelitiche in strati medi, con rapporto A/P variabile da ½ a 2), al piede di pendio con acclività media pari a 15°–20°.

Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 5 metri (costituito dalle coperture detritiche e dal sottostante bedrock più alterato) e con una VsH stimata pari a circa 200 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	VsH
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs < 800 m/s	5 m	VsH = 200 m/s

**ZONA 2005** ≡ Coperture detritiche di versante sovrastanti bedrock non rigido (SAG1)

si tratta ancora di coperture detritiche di versante, sovrastanti il bedrock non rigido della Formazione di Savigno e in particolare al suo Membro di Villa (sigla SAG1 – Torbiditi arenaceo pelitiche in strati medi, con rapporto A/P variabile da ½ a 2), al

piede di un pendio con acclività media  $<15^\circ$ .

Le indagini geofisiche (tomografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri. Tale spessore è costituito dalle coperture detritiche e dal sottostante bedrock più alterato, e con  $V_sH$  misurata pari a circa 200 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna - Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	$V_sH$
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	10 m	$V_sH = 200$ m/s

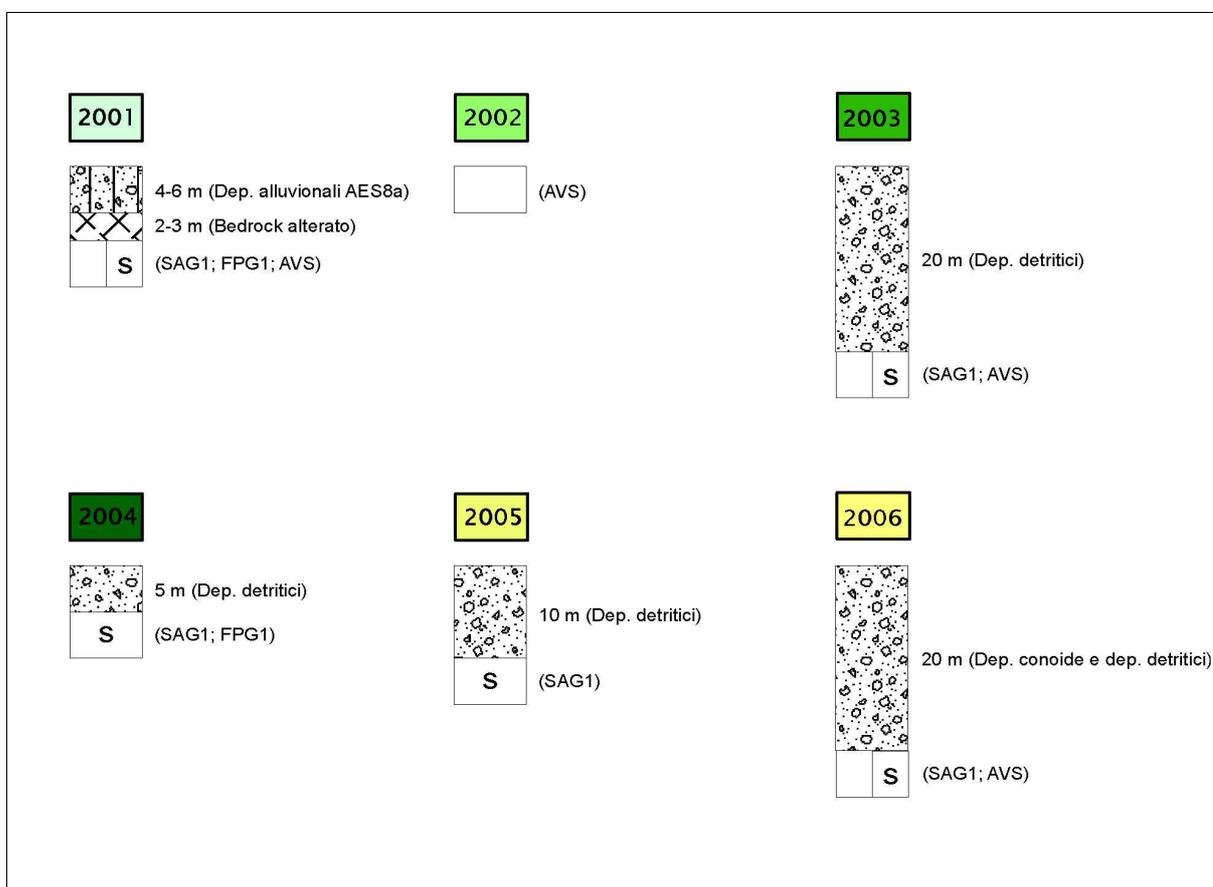


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

**ZONA 2006**  $\equiv$  Coperture di conoide torrentizia e detritiche di versante sovrastanti bedrock non rigido (AVS; SAG1)

si tratta di depositi attribuibili all'azione conoide di carattere torrentizio e/o detriti di versante, sovrastanti bedrock non rigido attribuito sia alla Formazione di Savigno e in particolare al suo Membro di Villa (sigla SAG1 - Torbiditi arenaceo pelitiche in strati

medi, con rapporto A/P variabile da  $\frac{1}{2}$  a 2), sia alle Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia (sigla AVS – Argilliti, talora siltose). La morfologia risulta sub-piana ( $<15^\circ$ ). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo e pressoché costante di queste delle coperture (probabilmente sovrapposte a depositi detritici e/o all'accumulo della già descritta frana stabilizzata), suscettibile di amplificazioni del moto sismico e approssimabile a 20 metri, con VsH misurato pari a 350 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	VsH
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs $<800$ m/s	20 m	VsH =350 m/s

**ZONA 2007**  $\equiv$  Coperture detritiche di versante sovrastanti bedrock non rigido (MPA)

si tratta ancora di coperture detritiche di versante, in questo caso sovrastanti il bedrock non rigido della Formazione di Monte Pastore (sigla MPA – Torbiditi arenaceo pelitiche), al piede di un pendio/scaricata con acclività sub piana ( $<15^\circ$ ). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico pari a circa 3÷6 m (costituito dalle coperture detritiche e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	VsH
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs $<800$ m/s	5 m	VsH =200 m/s

**ZONA 2008**  $\equiv$  Bedrock non rigido affiorante stratificato (MPA)

si tratta di bedrock affiorante attribuito alle Formazione di Monte Pastore (sigla MPA – Torbiditi arenaceo pelitiche). La morfologia è sub-piana ( $<15^\circ$ ). Le indagini geofisiche evidenziano la modesta rigidità locale che caratterizza questo substrato sismico, con Vs da poco oltre 400 m/s a circa 550 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna – Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	Vs
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato	$<2$ m (substrato)	Vs30

marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	affiorante)	=450 m/s
--	-------------	----------

**ZONA 2009**  $\equiv$  Coperture eoliche/paleosuoli sovrastanti bedrock non rigido (MPA)

si tratta di coperture fini attribuibili ad alterazione eolica o a paleosuoli, sovrastanti il bedrock non rigido della Formazione di Monte Pastore (sigla MPA - Torbiditi arenaceo pelitiche). La morfologia è sub-piana ( $< 15^\circ$ ). Il substrato geologico è considerato non rigido ( $V_s < 800$  m/s), come confermano le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.). Le prospezioni geofisiche evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture eoliche/paleosuoli e dal sottostante bedrock più alterato), con  $V_sH$  misurato pari a 250 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna - Allegato A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	$V_s$
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s	10 m	$V_sH = 250$ m/s

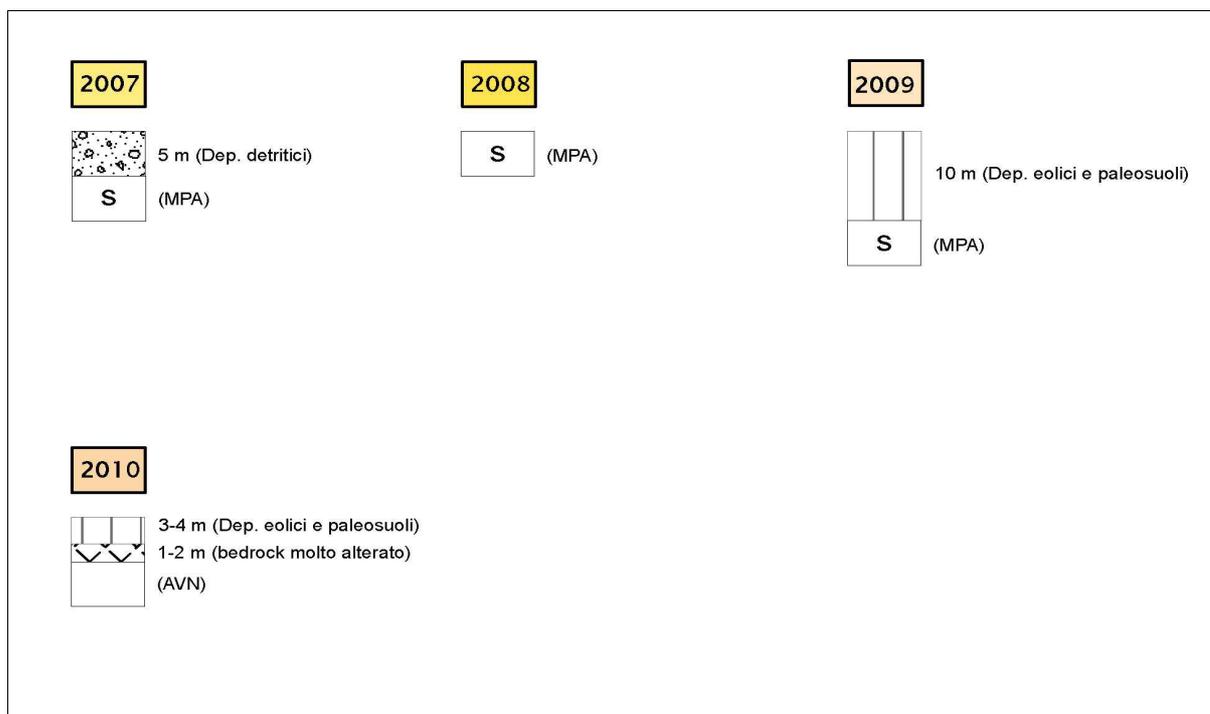


Figura 8.4 – Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007–2008–2009–2010.

**ZONA 2010**  $\equiv$  Coperture eoliche/paleosuoli sovrastanti bedrock non rigido (AVN)

si tratta di coperture fini attribuibili ad alterazione eolica o a paleosuoli, sovrastanti il bedrock non rigido dell'Unità delle Argille e calcari del Torrente Lavinello (sigla AVN -

Argilliti prevalenti). 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 5 metri (costituito dalle modeste coperture eoliche/paleosuoli e, soprattutto, dal sottostante bedrock più alterato), con VsH misurato pari a 200 m/s. Il modello semplificato di risposta sismica per tale zona è così definito (ai sensi della DAL 112/2007 Regione Emilia-Romagna - All. A2):

CONTESTO GEOLOGICO	COPERTURE H	Vs
Appennino e Margine Appenninico-Padano con substrato marino caratterizzato da Vs <800 m/s	5 m	VsH =200 m/s

#### 8.4.2 Zone suscettibili di instabilità

Nelle zone suscettibili di instabilità 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>> tali zone vengono contraddistinte, con diverso colore pieno, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. In particolare, per il territorio di Savigno, sono state perimetrare le seguenti aree, che dovranno necessariamente essere oggetto di ulteriori approfondimenti sismici di terzo livello:

- *Instabilità di versante attiva e/o 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;
- *Instabilità di versante non definita*  
Sono porzioni di versante prossimi a movimenti franosi già cartografati, con caratteristiche morfologiche e geolitologiche tali da includerle nelle aree di ulteriore approfondimento per valutare le condizioni di stabilità anche se sottoposte a impulsi ciclici - sisma)  
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*  
Si tratta di aree caratterizzate da bedrock molto fratturato, inoltre con possibile presenza di faglie dirette, classificate per questo lavoro come “non attive” ma necessariamente da verificare nel caso di interventi edificatori ricadenti entro tale zona. Queste zone sono state riscontrate e perimetrare nei pressi della Frazione di Ca' Bortolani. 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 rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici, analisi numerica della risposta sismica locale;

- *Cedimenti differenziali*

Per la presenza di coperture prevalentemente argillose di conoide torrentizia, di spessore variabile (non valutabile con uno studio generale e semplificato) e di presumibile scarsa consistenza. Per questa situazione, riscontrata nei pressi del Capoluogo, nel fondovalle del Samoggia in sinistra idrografica, gli ulteriori approfondimenti di terzo livello richiesti dovranno comprendere rilievi in sito di dettaglio, verifiche geotecniche e analisi numerica della risposta sismica locale.

## 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 1:5.000 e localizza tutti i punti di misura di Vs, con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore di Vs<sub>H</sub> (in m/s) e H (spessore delle coperture).

Nel caso di Savigno, le Vs sono desunte da indagini sismiche Re.Mi. eseguite per questo lavoro e 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 1:3.000, 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*  
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*  
Per condizioni di bedrock molto fratturato e presenza di faglie dirette non attive (da verificare), riscontrate nei pressi della Frazione di Ca' Bortolani. 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 rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici, analisi numerica della risposta sismica locale;
- *Cedimenti differenziali*  
Per la presenza di coperture prevalentemente argillose di conoide torrentizia, di spessore variabile (non valutabile con uno studio generale e semplificato) e di presumibile scarsa consistenza. Per questa situazione, riscontrata nei pressi del Capoluogo, nel fondovalle del Samoggia in sinistra idrografica, gli ulteriori approfondimenti di terzo livello richiesti dovranno comprendere rilievi in sito di dettaglio, verifiche geotecniche 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](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>>”.*