



**ASSOCIAZIONE INTERCOMUNALE AREA BAZZANESE**  
Comuni di Bazzano, Castello di Serravalle, Crespellano, Monte  
San Pietro, Monteveglio, Savigno, Zola Predosa  
Provincia di Bologna



**PIANO STRUTTURALE DEI COMUNI  
DELL'AREA BAZZANESE**

**MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI MONTE SAN PIETRO**  
Relazione illustrativa

Adozione: Del. C.C. n. ... del .....

Approvazione: Del. C.C. n. ... del .....

**ASSOCIAZIONE INTERCOMUNALE AREA BAZZANESE**

**Presidente del comitato di Pianificazione Associata: ALFREDO PARINI**

	Sindaci	Assessori
<i>Bazzano</i>	Elio RIGILLO	Moreno PEDRETTI
<i>Castello di Serravalle</i>	Milena ZANNA	Cesare GIOVANARDI
<i>Crespellano</i>	Alfredo PARINI	Alfredo PARINI
<i>Monte San Pietro</i>	Stefano RIZZOLI	Pierluigi COSTA
<i>Monteveglio</i>	Daniele RUSCIGNO	Daniele RUSCIGNO
<i>Savigno</i>	Augusto CASINI ROPA	Augusto CASINI ROPA
<i>Zola Predosa</i>	Stefano FIORINI	Stefano FIORINI

***Responsabile dello studio***

dr. geol. Samuel Sangiorgi

***Ufficio di Piano***

Marco LENZI (Coordinamento)

**OTTOBRE 2013**

## Indice generale

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Definizione della pericolosità sismica di base.....</b>	<b>5</b>
2.1	Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento.....	5
2.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	10
<b>3</b>	<b>Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....</b>	<b>12</b>
3.1	Aspetti geologici e tettonici generali.....	12
3.2	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	15
3.2.1	Area Chiesa Nuova.....	15
3.2.2	Area San Martino.....	16
3.2.3	Area Calderino.....	17
3.2.4	Area Monte San Giovanni.....	19
3.2.5	Aree Oca e Badia.....	21
3.2.6	Area Montepastore.....	22
3.2.7	Depositi quaternari e bedrock marino rilevanti per le aree di studio.....	23
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici.....</b>	<b>28</b>
4.1	Dati pregressi.....	28
4.2	Dati ex novo.....	28
<b>5</b>	<b>Modello di sottosuolo.....</b>	<b>35</b>
5.1	Area Chiesa Nuova.....	35
5.2	Area San Martino.....	36
5.3	Area Calderino.....	37
5.4	Area frazione Monte San Giovanni.....	38
5.5	Area frazioni Oca e Badia.....	39
5.6	Area Montepastore.....	40
<b>6</b>	<b>Interpretazioni e incertezze.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati.....</b>	<b>42</b>
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	42
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	43
<b>8</b>	<b>Elaborati cartografici.....</b>	<b>44</b>
8.1	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	44
8.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	46
8.3	Carta delle aree suscettibili di effetti locali.....	47
8.3.1	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	48
8.3.2	Zone suscettibili di instabilità .....	57
8.4	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	58
8.5	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	59
<b>9</b>	<b>Appendice al RUE: prescrizioni normative in materia di pericolosità sismica</b>	
	.....	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>65</b>

## 1 Introduzione

La Regione Emilia-Romagna, attraverso uno specifico apparato normativo (LR 20/2000 e delib. Regionale n.112/2007 (“Indirizzi per gli studi di Microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”) ha imposto l'elaborazione degli studi di pericolosità e di Microzonazione sismica nella pianificazione territoriale, definendo criteri di approfondimento differenziati (<<livelli>>) a seconda delle fasi di programmazione affrontate e del contesto di pericolosità locale riscontrato.

La componente geologica del quadro conoscitivo (QC) del Piano Strutturale elaborata per l'Associazione intercomunale “Area Bazzanese” include nozioni per una conoscenza dei parametri geologici del territorio indagato, quali:

- assetto morfologico, strutturale generale; idrogeologia e idrologia
- pericolosità territoriale generale (sismicità; esondabilità; subsidenza; criticità di versante)
- pericolosità sismica preliminare (primo livello ai sensi della DAL 11272007).

La scala d'esecuzione delle analisi citate varia per ogni tema trattato a seconda del grado di accuratezza delle informazioni disponibili. Ad esempio, le analisi territoriali sismiche scontano la scarsità delle conoscenze di sottosuolo oltre che l'assenza delle necessarie informazioni per la valutazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ): il quadro normativo del PS Associato rimanda infatti alla fase di elaborazione dei PSC. L'approvazione del PSC di Monte San Pietro è comunque subordinata all'elaborazione degli approfondimenti sismici richiesti dalla DAL 112/2007 (approfondimenti della pericolosità sismica e Microzonazione di secondo livello).

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

Il lavoro di approfondimento sismico per i Comuni citati 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, 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 infine rammentare che la Provincia di Bologna ha recentemente proceduto alla elaborazione degli studi di pericolosità sismica preliminare del territorio amministrativo competente. Gli esiti di tali studi sono contenuti nella <<Variante al PTCP in materia di Rischio Sismico>> che, al momento della stesura del presente lavoro, risulta già adottata (delibera n.4 del Consiglio provinciale del 14/01/2013). In sintesi, la Provincia di Bologna ha elaborato la nuova Tavola di Piano, denominata “TAV. 2.C – Rischio sismico – Carta degli effetti Locali Attesi”, alla scala 1:25.000 per quanto riguarda i Comuni della collina e montagna. Tale tavola costituisce il primo livello di approfondimento sismico richiesto dalla DAL 112/2007, identificando gli scenari di pericolosità sismica locale dell'intero territorio provinciale. La Variante al PTCP ha introdotto specifiche norme in materia di riduzione del rischio sismico (nuovo art.6.14 delle NTA del PTCP), con disposizioni sugli ulteriori approfondimenti da espletarsi nelle fasi di pianificazione comunale.

In conclusione, lo studio si è basato, come riferimento conoscitivo, sulle analisi già espletate per il PSC in forma associata e per il PTCP, considerando anche le nuove disposizioni della Provincia di Bologna in materia di rischio sismico. Lo studio ha aggiornato il quadro pregresso sulla base degli esiti delle nuove indagini geognostiche e geofisiche espletate per questo lavoro (descritte nei successivi capitoli) e sulla base degli esiti delle indagini pregresse acquisiti nel corso del lavoro. In particolare, si è potuto disporre di informazioni geognostiche pregresse recuperate dai seguenti archivi:

- banca dati delle indagini “in situ” predisposta dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) della regione Emilia–Romagna e gentilmente messi a disposizione;
- uffici Tecnici e di Pianificazione dei Comuni interessati (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).

Il presente lavoro ha dunque consentito un ulteriore affinamento della caratterizzazione sismica locale e in particolare ha prodotto:

1. un approfondimento della pericolosità sismica locale delle aree urbane e urbanizzabili, attraverso la definizione di <<zone omogenee>> dal punto di vista sismico;
2. la cartografia di Microzonazione sismica di <<secondo livello>>, elaborata per le

parti di territorio che comprendono l'urbanizzato e le aree di nuova previsione edificatoria del PSC;

3. una proposta normativa propedeutica al prosieguo degli studi geologici e sismici che dovranno accompagnare le successive fasi di pianificazione (POC e PUA) e progettuali di massima ed esecutive, coerenti con i contenuti della DAL 112/2007 e con le recenti disposizioni del PTCP (art. 6.14 delle NTA).

## 2 Definizione della pericolosità sismica di base

### 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>1</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>2</sup>. La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Monte San Pietro 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>3</sup> ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di

---

<sup>1</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>2</sup> <<Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani>> (Gruppo di lavoro CPTI, 1999-2002)

<sup>3</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”.

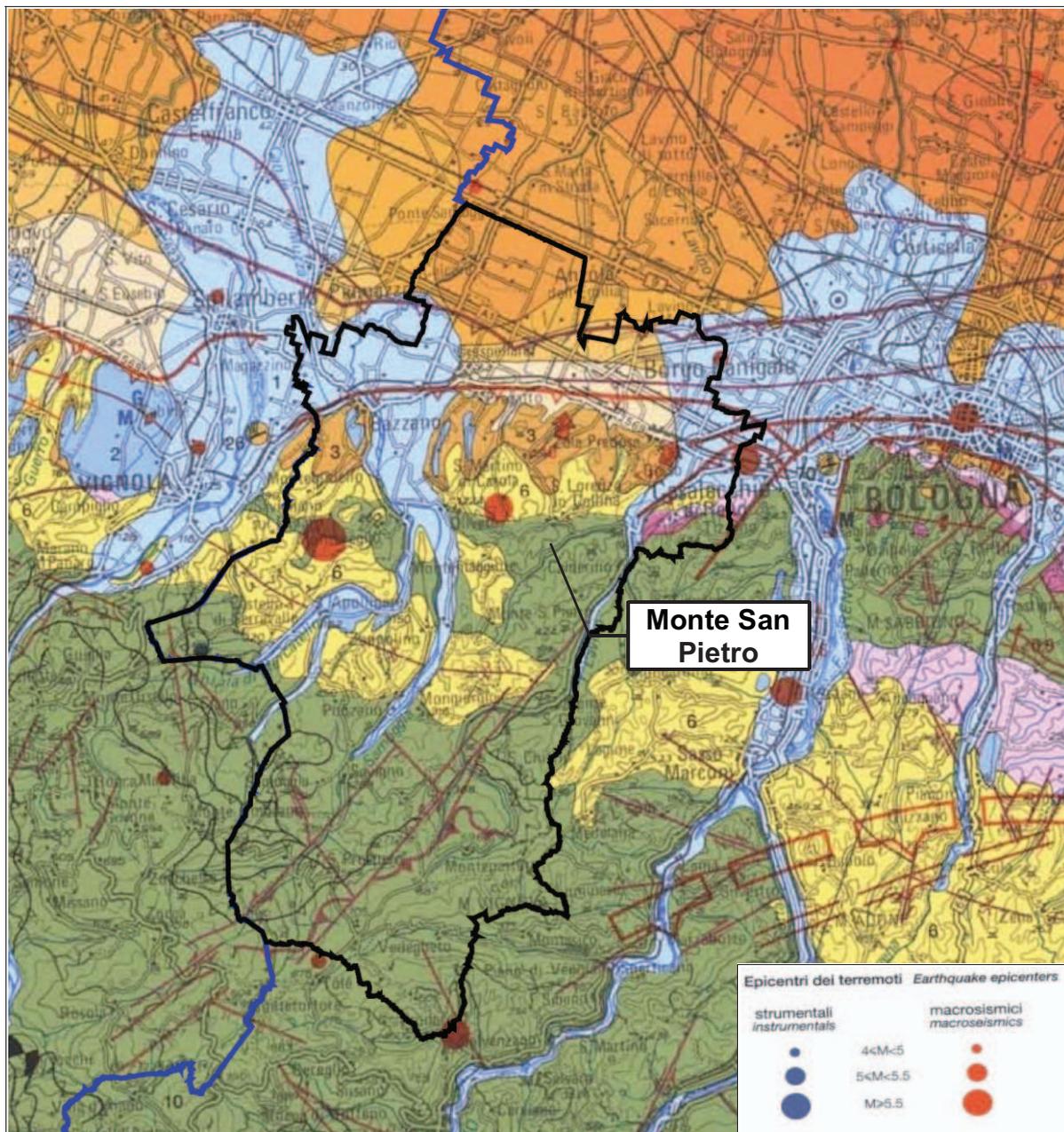


Figura 2.1– Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Monte San Pietro) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia–Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali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

Il catalogo CPTI, pur essendo un prodotto preliminare e in seguito affiancato da una ulteriore versione più aggiornata (2004), costituisce un riferimento fondamentale per le analisi di

pericolosità e per le stime di rischio. Il database DISS 3.1 costituisce invece la versione più aggiornata e disponibile di DISS, relativamente alla localizzazione, alla distribuzione e alle informazioni note delle sorgenti sismogeniche nel contesto italiano nazionale.

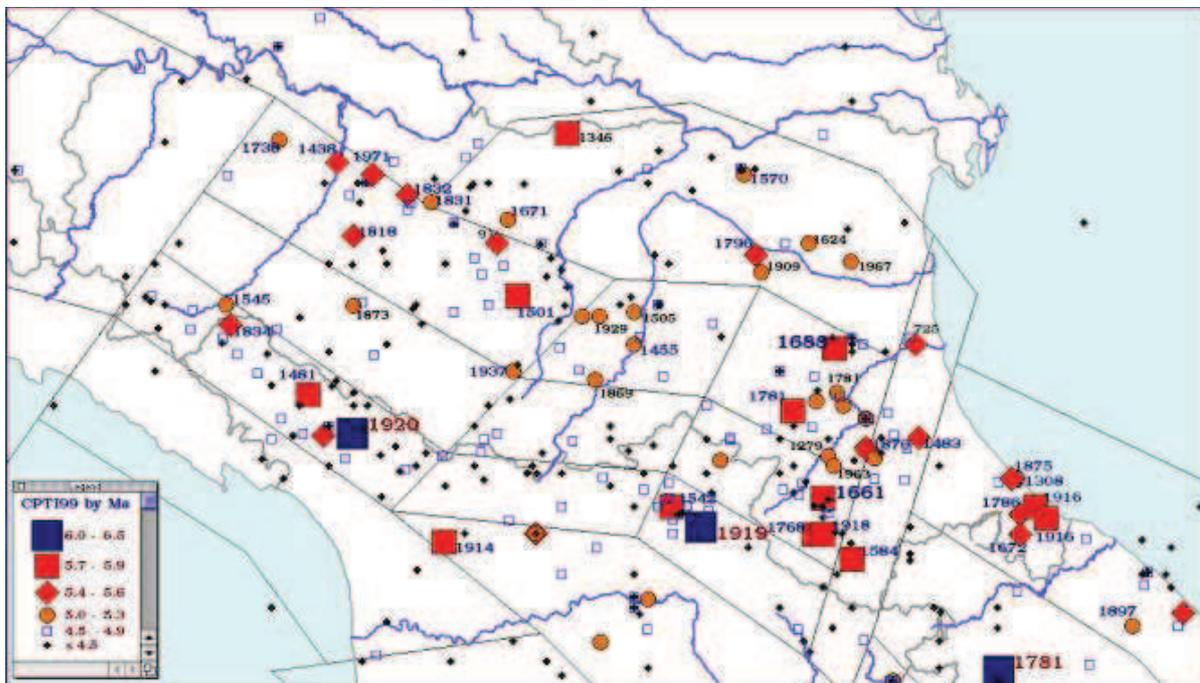


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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

La figura 2.3 offre anche la sovrapposizione con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS, nella sua versione più aggiornata e disponibile (DISS 3.1). Questo fondamentale database riporta le tre principali sorgenti sismogeniche (contenute nella zona 913 di ZS9) limitrofe all'area di studio:

- la ITCS027 che rappresenta una lunga fascia di territorio che lambisce il territorio comunale più meridionale di Monte San Pietro; 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, Sarnano, 1873);

- la ITCS047 che interessa i territori appenninici e pedeappenninici di Castello di Serravalle, Monteveglio, Monte San Pietro, Zola Predosa, Crespellano e Bazzano (con una magnitudo stimata di  $M_w = 5,6$  derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi: bolognesi, 1505 e 1929, modenesi, 1399).

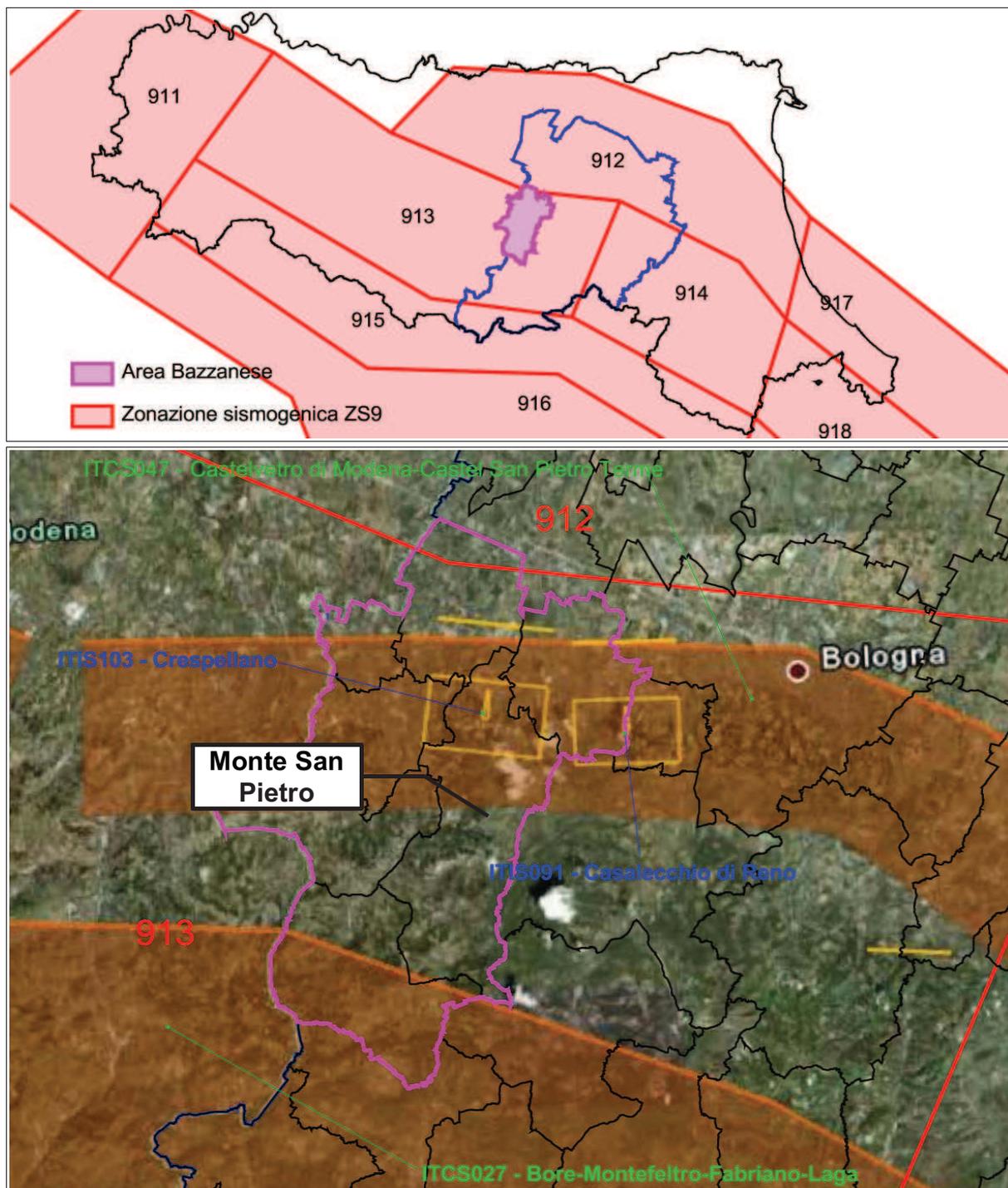


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

In particolare la banca dati DISS 3.1 evidenzia due sorgenti sismogenetiche che interessano l'Area Bazzanese e il territorio di Monte San Pietro:

- “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)

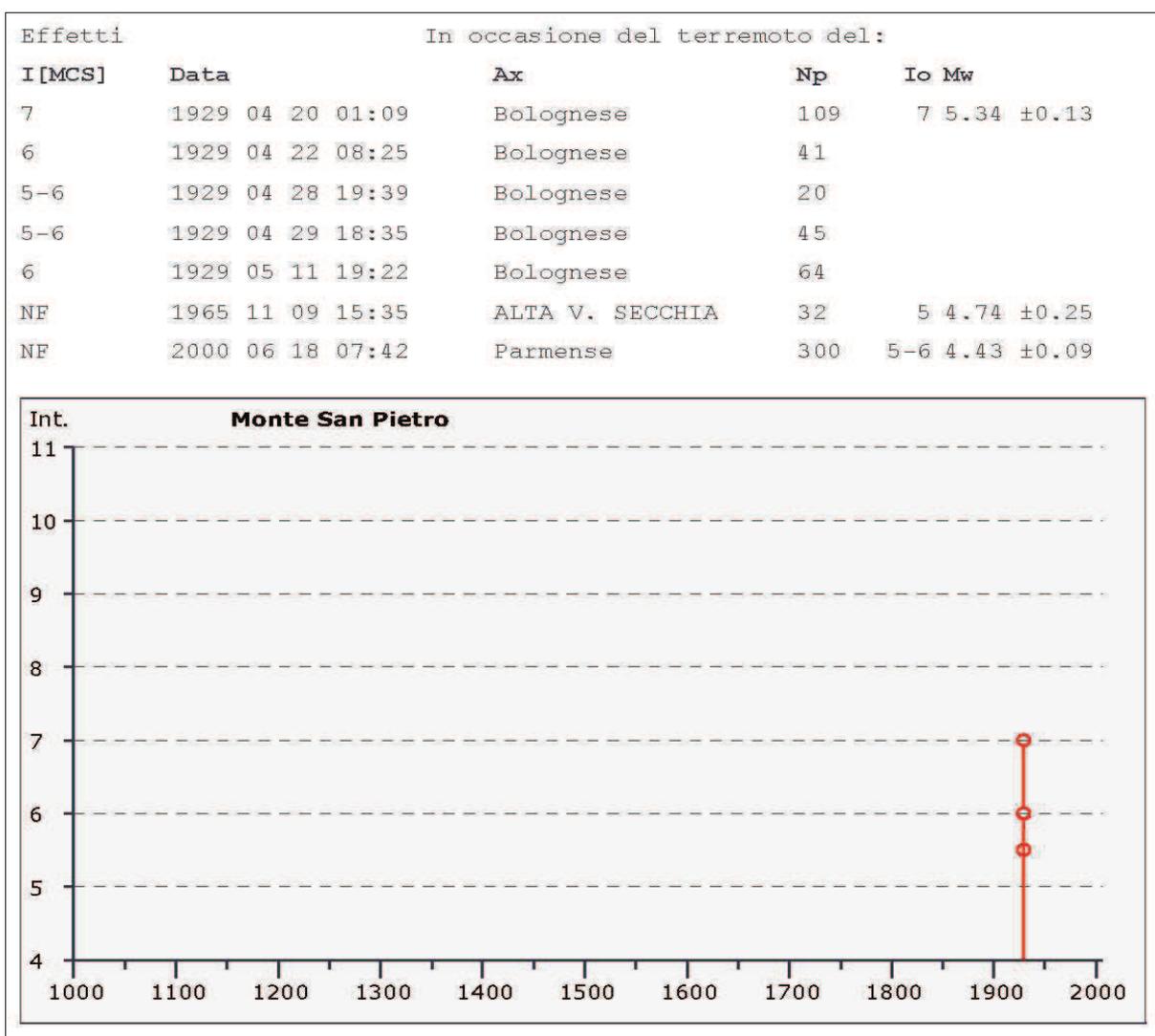


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Monte San Pietro e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

Gli studi nazionali e quelli regionali attribuiscono al territorio studiato una pericolosità “media”, con terremoti locali moderatamente forti ed epicentri storici che hanno interessato località limitrofe al territorio di Monte San Pietro. In questo senso, la figura 2.4 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio Studiato e le relative intensità macrosismiche stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: il sisma storico più significativo appare il sisma bolognese del 1929, con intensità massima stimata fino al settimo grado MCS.

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

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

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

Il documento fornisce anche i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta sismica di terzo livello: lo spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna (per  $T_r = 475$  anni cioè con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni), riportato in figura 2.5, e i valori di PGA anch'essi normalizzati (riferiti al suolo rigido) per ogni Comune della Regione ed i tre accelerogrammi di riferimento, selezionati dalla Banca dati IESD 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 Monte San Pietro, la  $a_{refg}$  attribuita dalla Regione Emilia-Romagna risulta pari a 0,163g (vedi Allegato A4 della DAL 112/2007).

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

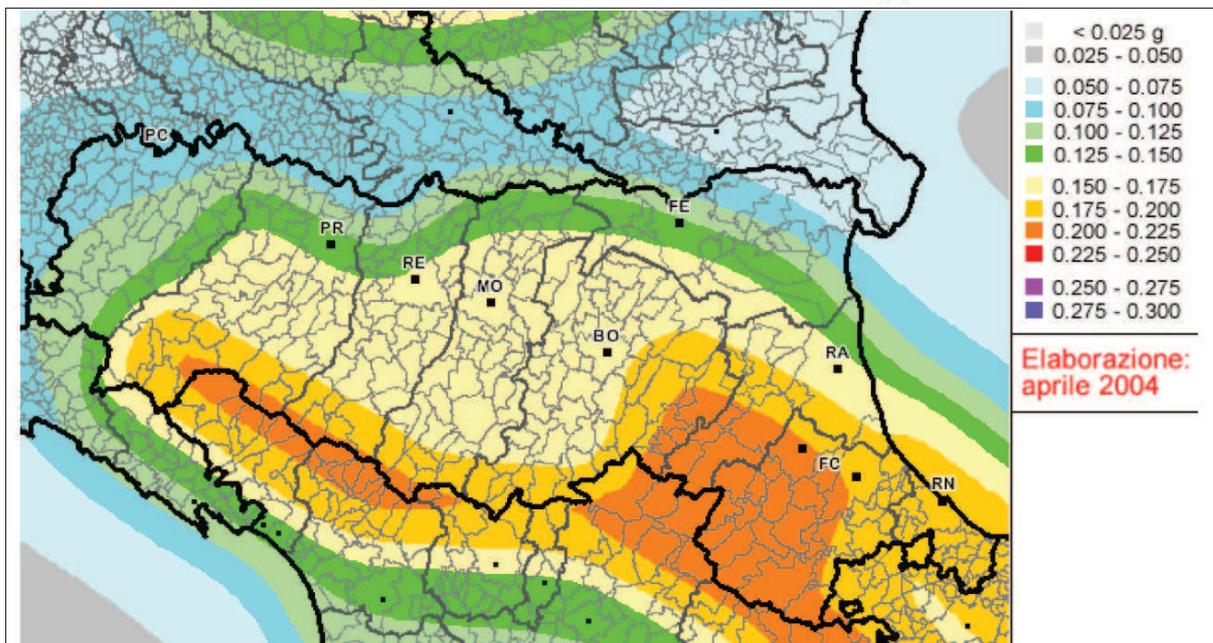
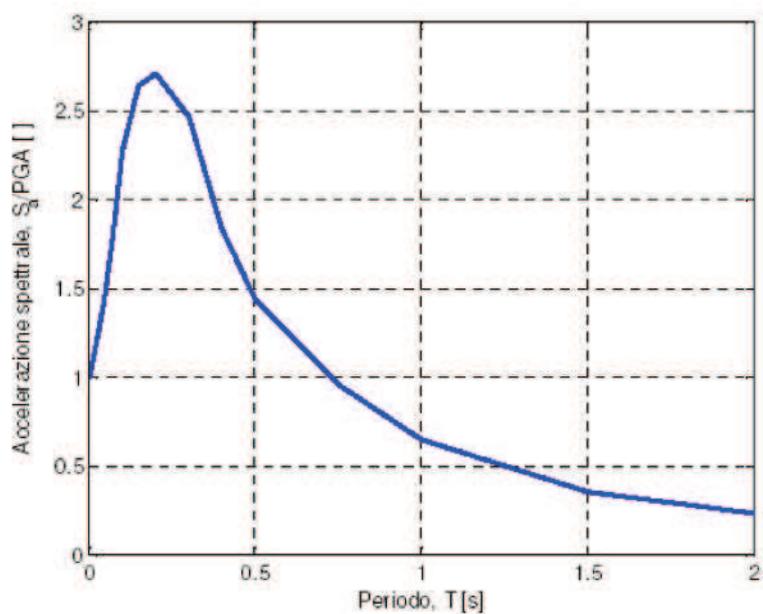


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

### 3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

#### 3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio dell'Area Bazzanese varia da quello di “catena appenninica” a quello del suo “margine” (la zona in cui la pianura termina contro i primi declivi appenninici non rappresenta l'inizio della “catena”: infatti all'Appennino morfologico, visibile, segue in pianura un “Appennino in embrione” sepolto sotto i depositi alluvionali padani).

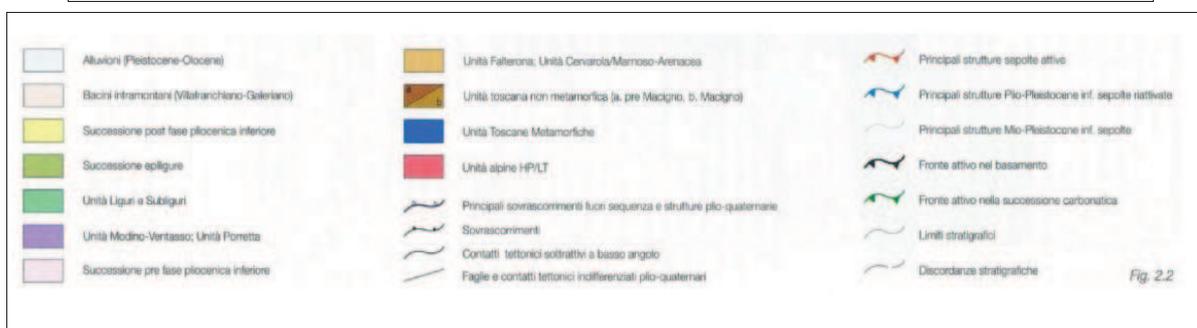
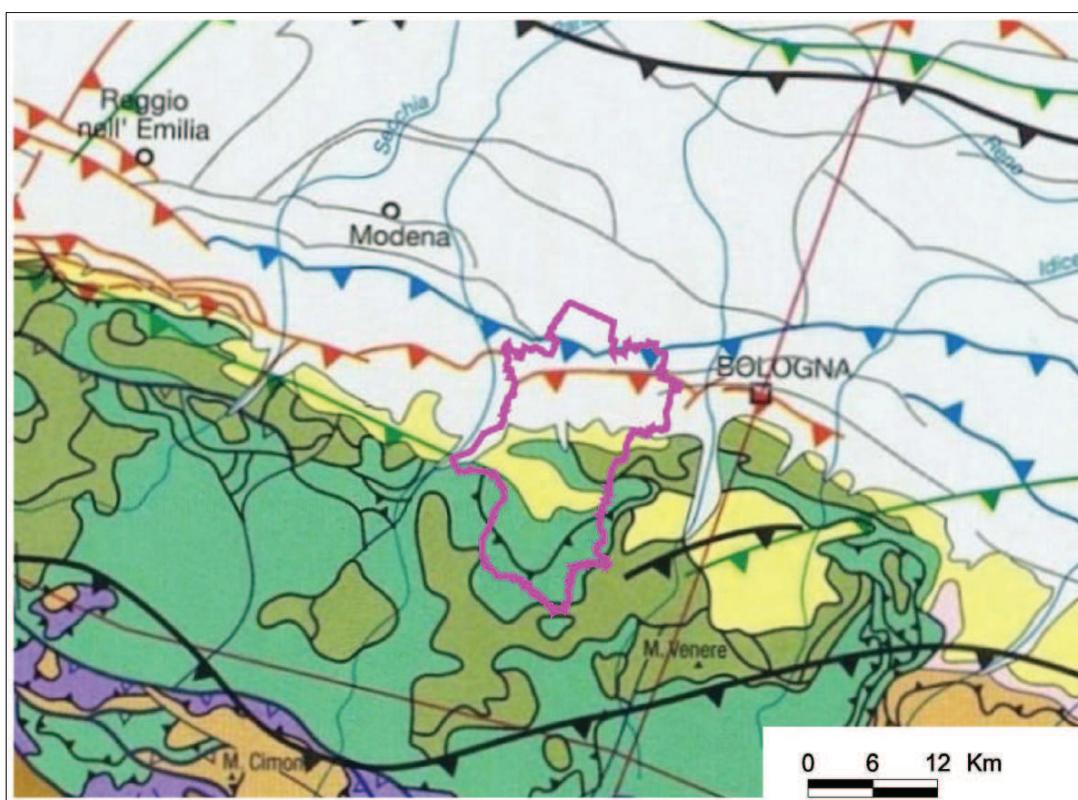


Figura 3.1 – Schema tettonico dell'area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell'area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

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

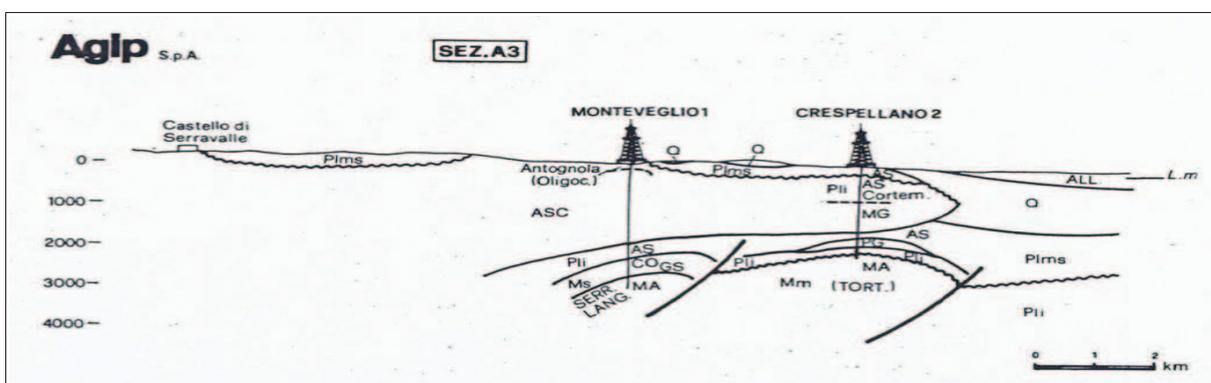


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino e del suo margine tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la “catena sepolta”, la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale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

Il settore di catena appenninica del territorio in esame è caratterizzato da un generale assetto strutturale a falde sovrapposte che si sono dislocate a partire dal Miocene inferiore fino al Plio-Pleistocene. Il territorio collinare e montano in esame può essere schematicamente zonizzato nelle seguenti fasce (figura 3.3):

1. la fascia più settentrionale, caratterizzata dalle peliti e dalle arenarie poco cementate del Pliocene inferiore-Pleistocene (unità affioranti IMO, FAA, ADO) che insieme si immergono sotto i sedimenti alluvionali dell'antistante pianura (“monoclinale pedeappenninica” nordvergente). Questo raccordo con la pianura in realtà cela, come già scritto, le strutture geologiche sepolte che sono evidenziate in figura 3.1 e nel profilo di figura 3.2. Il sollevamento connesso alla tettonica attiva di “thrust” pedeappenninico ha determinato anche il basculamento/sollevamento delle coperture alluvionali più antiche (tardo Pleistocene) che ricoprono le Unità marine appenniniche. Le formazioni a tessitura prevalentemente argillosa (FAA) sono facilmente degradabili e possono evolvere in calanchi, ed altre forme di erosione superficiale;

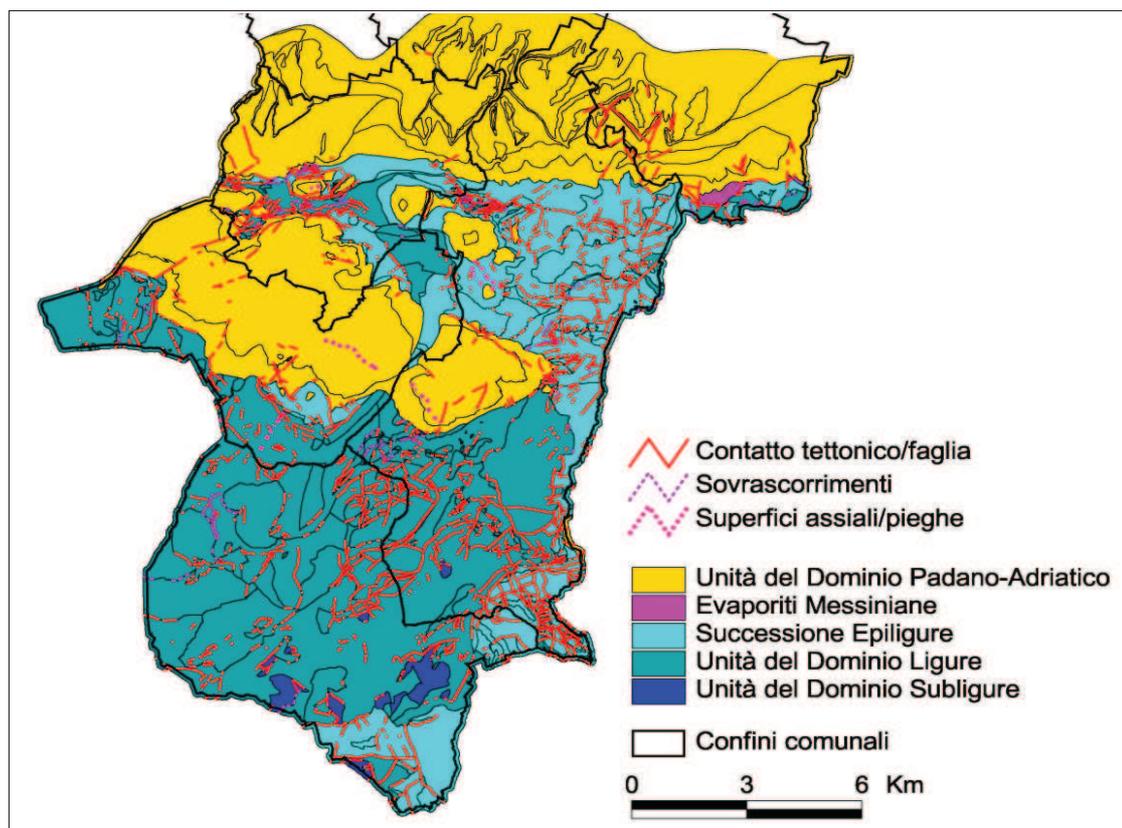


Fig. 3.3 Schema geo litologico del territorio montano e collinare di Monte San Pietro e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

2. una struttura anticlinale evidente nella porzione centro-orientale del territorio comunale (figura 3.3) che al suo nucleo mostra unità geologiche più antiche e fortemente tettonizzate prevalentemente attribuite alla Successione Epiligure (ANT, PAT, CTG, LOI, MVT). Questa anticlinale è distinta strutturalmente e stratigraficamente dalla “sinclinale intrappenninica bolognese” (che risulta parzialmente alloctona e con sedimenti attribuiti anche al Pliocene inferiore secondo Ricci Lucchi, 1982) ed è caratterizzata da unità geologiche fortemente tettonizzate a tessitura prevalentemente argillosa e caotica o caoticizzata ed interessate di norma da una notevole instabilità potenziale e da processi d’erosione che affliggono solo la loro porzione più superficiale (coltre più alterata);
3. a meridione della sinclinale (nella porzione centro-occidentale del territorio comunale di Monte San Pietro) ricompare una fascia di territorio nella quale affiorano nuovamente le unità geologiche plioceniche (ADO, FAA) a chiudere la struttura nordvergente sopra descritta;
4. infine tutta la porzione meridionale del territorio studiato (quella più interna alla catena) è caratterizzata dalle unità geologiche dei domini sub-ligure, ligure ed epiligure (affioranti in destra idrografica del torrente Lavino). Le tessiture prevalenti sono pelitiche, fortemente caoticizzate e facile sede d’innesco di dissesti gravitativi

per scivolamento e per colamento (particolarmente coinvolte le formazioni argillose AVS e AVN); la loro facile erodibilità è anche causa di evidenti processi d'erosione e di trasporto solido in alveo. Eccezioni al quadro di generalizzata facile degradabilità dei suoli collinari, sono costituite dalle zone e dai crinali formati dalle plaghe delle formazioni più arenacee. L'intensa tettonizzazione di queste formazioni più litoidi ha comunque indotto anche in queste unità una elevata densità del dissesto per gravità con frane per scivolamento spesso antiche che hanno coinvolto grandi volumi di roccia.

## 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>4</sup>.

### 3.2.1 Area Chiesa Nuova

La frazione è situata nella porzione di territorio comunale più settentrionale, al margine dell'Appennino con la pianura bolognese. In particolare, l'area di studio ricade allo sbocco di una vallecchia incisa dal Torrente Podice, un corso d'acqua secondario caratterizzato da un bacino idrogeologico formato nelle unità geologiche plioceniche, facilmente erodibili, di Margine Appenninico (Argille Azzurre; Sabbie di Imola). Un'ampia parte di dell'area di interesse si colloca sulle alluvioni di fondovalle e in parte sul versante in sinistra idrografica del Podice.

Occorre rammentare che la cartografia geologica (figura 3.4) distingue le coperture alluvionali secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale "Supersistema Emiliano-Romagnolo" (R.E.R., ENI-AGIP, 1998). I depositi alluvionali affioranti vengono attribuiti al "Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore" (AES) e sono suddivisi in sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsistemi identificati con sigle da AES5 - più antichi - ad AES8 - più recenti) delimitati in genere da scarpate di erosione. Ciò detto, le coperture alluvionali che interessano l'area studiata sono riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna) e ai depositi più recenti AES8a (Unità di Modena). Si ritiene, inoltre che lo sbocco vallivo è da considerarsi come un modesto apparato di conoide (inattiva) del Torrente Podice.

La porzione di versante è invece caratterizzato da bedrock marino delle Sabbie di Imola (membri IMO1 e IMO2): in realtà per le loro caratteristiche di facile erodibilità e alterazioni il

---

<sup>4</sup> Cartografia interattiva consultabile on line: [https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss](https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss).

substrato geologico è da considerarsi sub-affiorante in quanto si riscontrano, come dimostrato dalle indagini geognostiche, coltri attribuibili alla degradazione eluvio-colluviale.

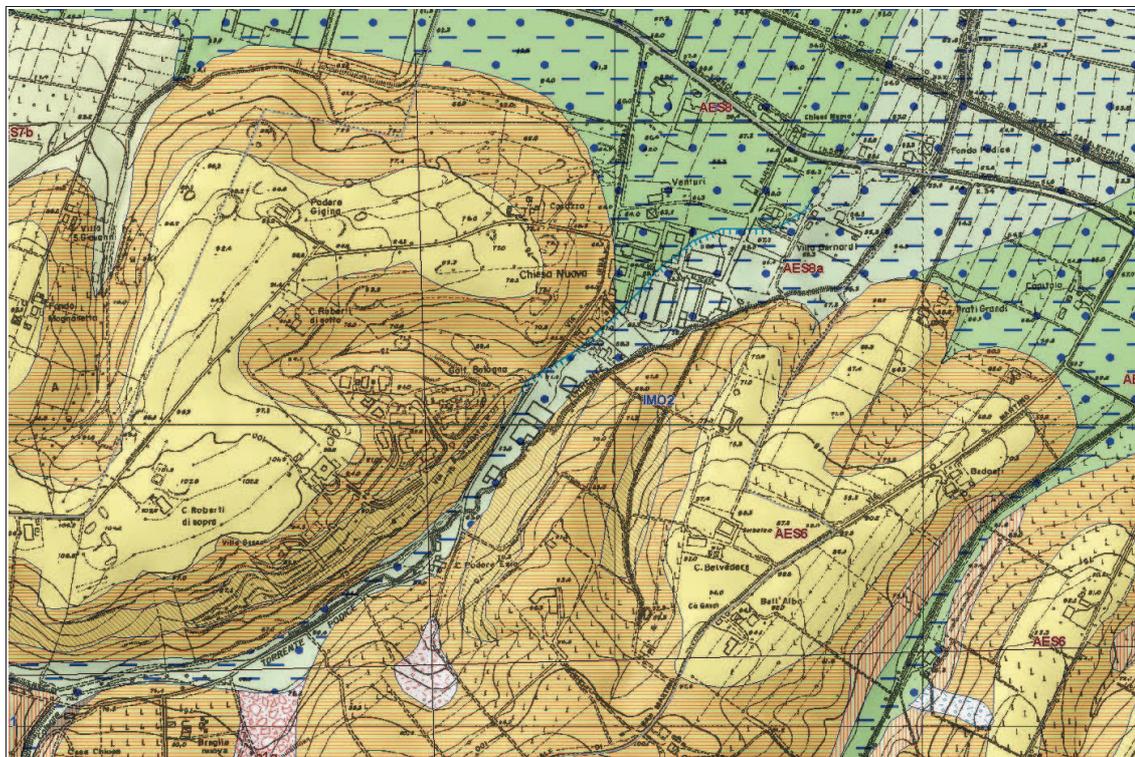


Figura 3.4 – Area di studio Chiesa Nuova: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

### 3.2.2 Area San Martino

L'abitato di San Martino ricade su un modesto crinale che si sviluppa da SO a NE e formato sulle unità di Margine appenninico delle Sabbie di Imola. Gli affioramenti rilevati nel versante orientale rispetto all'abitato (valle invasa dal rio Casella) offrono buoni elementi per la ricostruzione della stratigrafia locale (figura 3.5).

In particolare si evince come l'assetto stratigrafico sia chiaramente a “monoclinal” con strati immergenti verso NE; inoltre, si riscontra un passaggio litologico da sabbie fini e medie debolmente cementate (attribuite al più antico Membro di Monte Castellaccio – IMO1) riscontrate al piede della scarpata, a depositi prevalentemente pelitici e sovraconsolidati (attribuiti al Membro di Fossoveggia – IMO2) che costituiscono la porzione superiore del versante, su cui poggia anche l'abitato in questione.

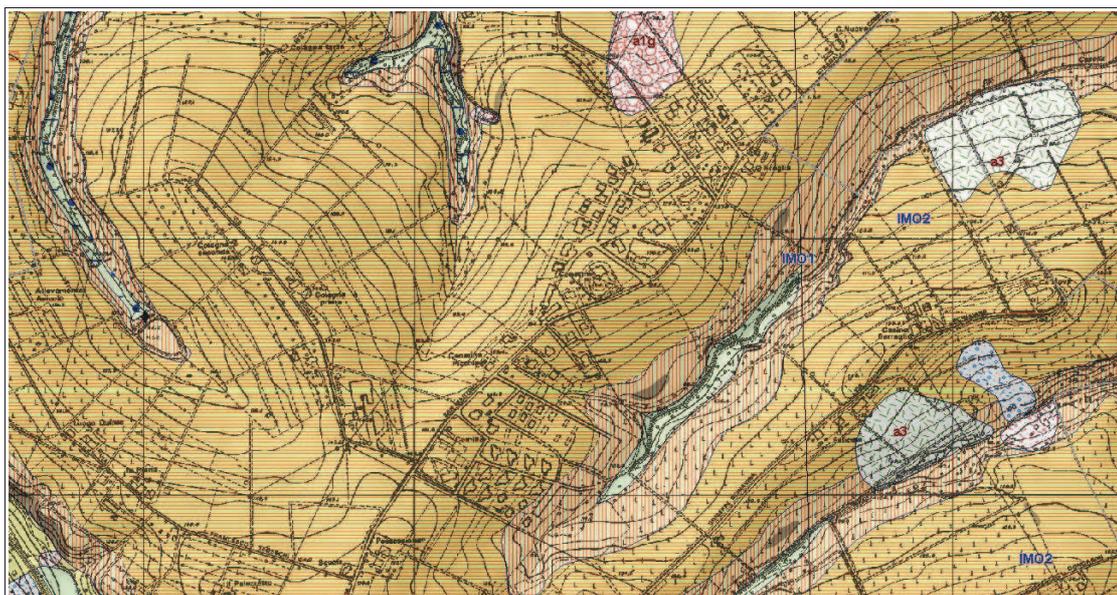


Figura 3.5 – Area di studio San Martino: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

### 3.2.3 Area Calderino

L'abitato di Calderino ricade nel contesto di fondovalle del Torrente Lavino. A nord vi è la confluenza del Torrente Landa nel Lavino, nei pressi della località Ponte Rivabella. Il fondovalle del Torrente Landa e quello del Torrente Lavino sono entrambi caratterizzati da depositi fluviali terrazzati che la cartografia geologica regionale (figure 3.6 e 3.7a/b) attribuisce all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna) e alle unità più recenti AES8a (Unità di Modena). Si tratta di coltri alluvionali a scheletro prevalentemente ghiaioso e ciottoloso. Il bedrock sottostante tali coltri alluvionali è ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici riscontrati sui versanti: vi risulta una complessa attribuzione a unità geologiche della successione Epiligure e Ligure, con contatti prevalentemente di tipo tettonico.

Nella zona di fondovalle e versante del Torrente Landa sono affioranti litotipi riconducibili anche alle Argille Azzurre plioceniche e areniti/peliti della Formazione di Pantano in contatto tettonico, mentre nella valle del Lavino e nel versante di interesse (in sinistra idrografica) sono affioranti litotipi riconducibili a unità epiliguri (TER2; CIG; PAT; MVT; ANT; LOI) e liguri (nella porzione più meridionale di Calderino: FPG e AVS).

Le caratteristiche litologiche delle unità affioranti nel versante retrostante l'abitato di Calderino, prevalentemente pelitiche e fortemente caoticizzate sono causa di numerosi dissesti di versante attivi e quiescenti e caratterizzati da meccanismi di movimento per lo più di scivolamento e di colamento. La loro facile erodibilità è anche causa di evidenti processi d'erosione e di trasporto solido in alveo.

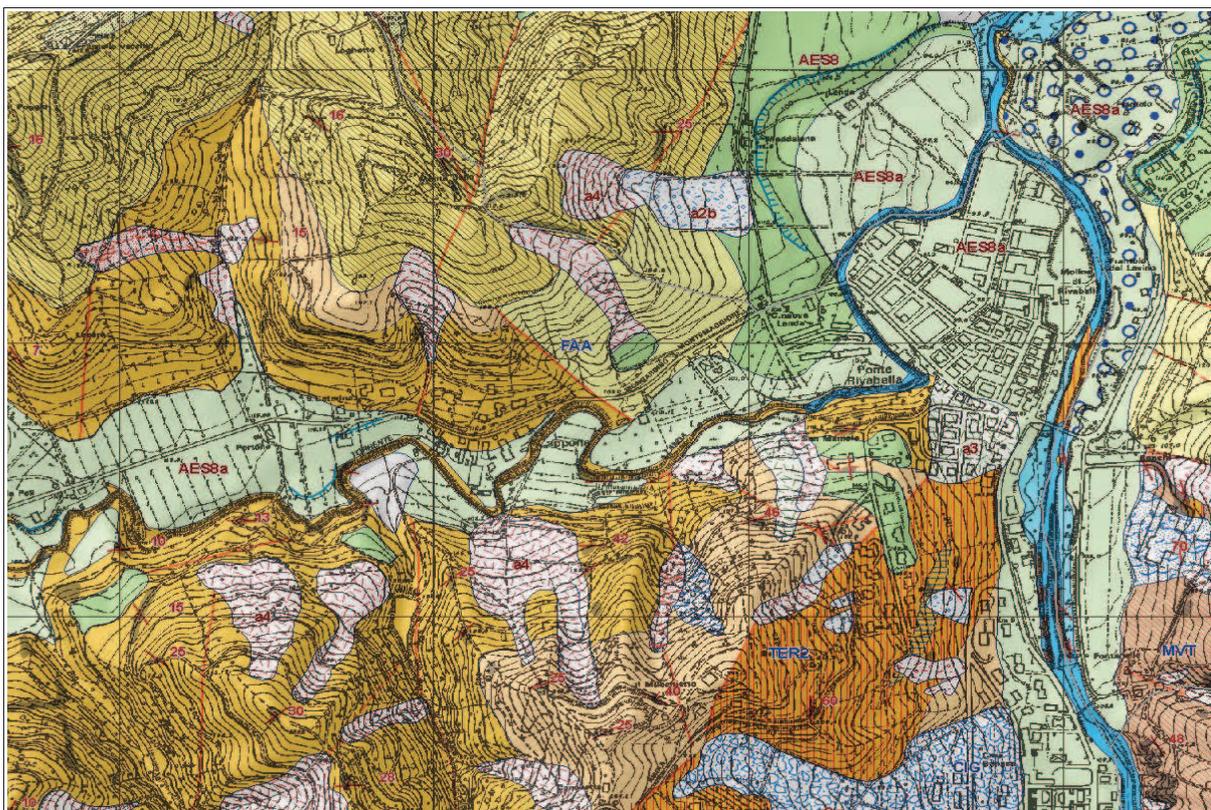


Figura 3.6 – Area Calderino (settore nord): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

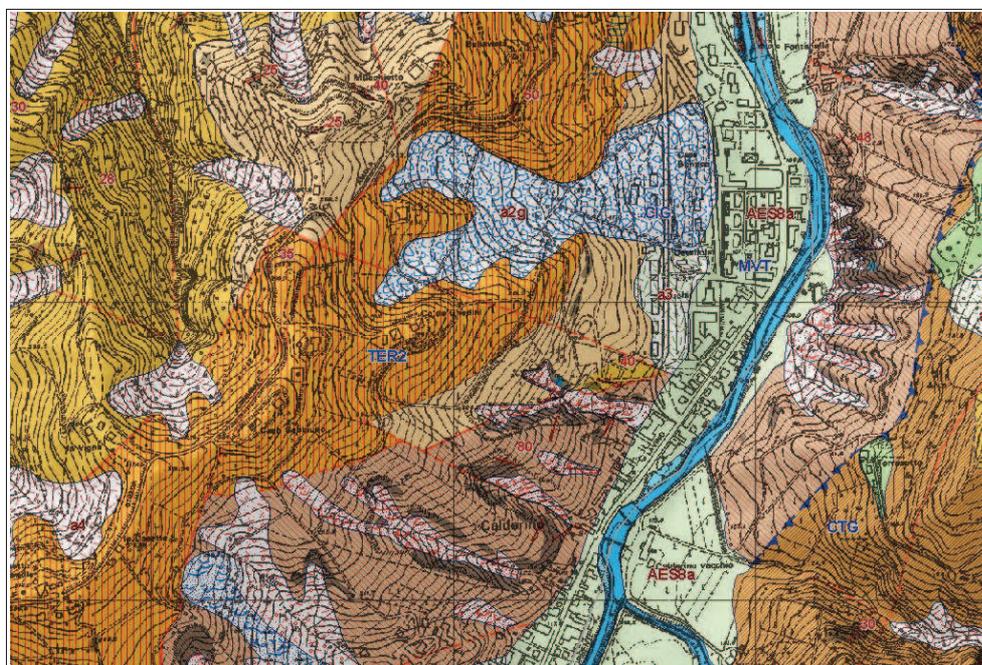


Figura 3.7a- Area Calderino (settore centrale): stralci della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

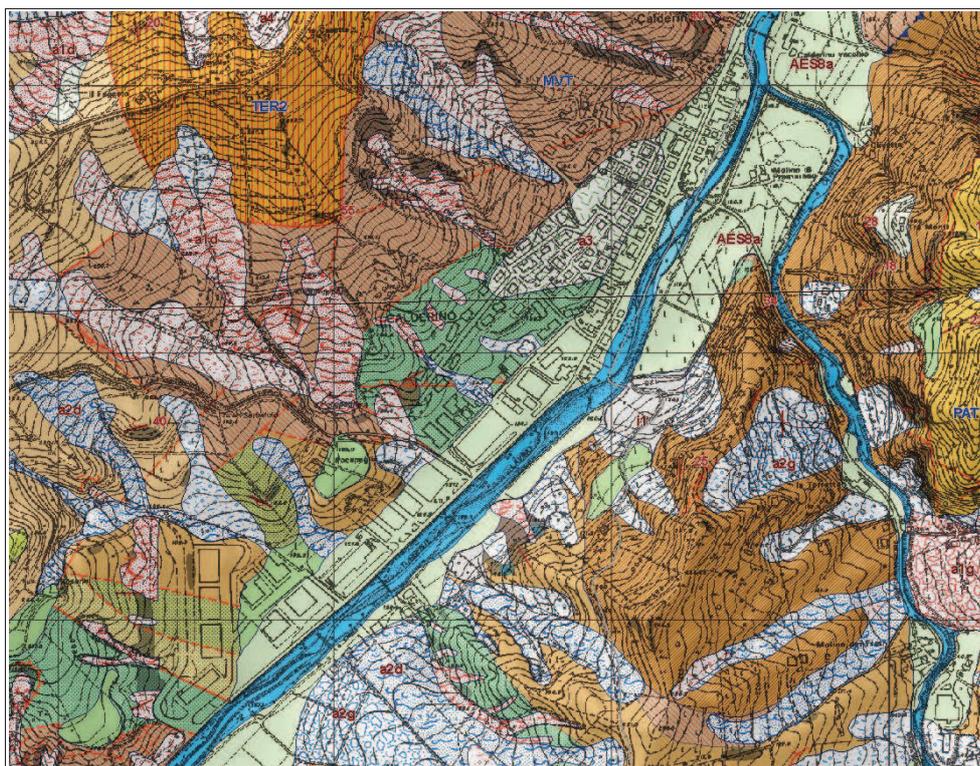


Figura 3.7b- Area Calderino (settore sud): stralci della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

#### 3.2.4 Area Monte San Giovanni

Anche la frazione di Monte San Giovanni ricade nel contesto di fondovalle del Torrente Lavino, caratterizzato da depositi fluviali terrazzati, che la cartografia geologica regionale (figure 3.8 e 3.9) attribuisce all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna) e alle unità più recenti AES8a (Unità di Modena). Si tratta ancora di coltri alluvionali a scheletro prevalentemente ghiaioso e ciottoloso. Il bedrock sottostante tali coltri alluvionali, ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici riscontrati sui versanti, è caratterizzato da unità geologiche della successione Ligure (Argille della Valsamoggia – AVS – a nord; torbiditi arenaceo pelitiche della Formazione di Monghidoro – MOH – nella porzione più meridionale dell'area) ed Epiligure (depositi arenitici della Formazione di Loiano – LOI). I contatti tra queste unità risultano prevalentemente di tipo tettonico.

Come già scritto, le caratteristiche litologiche delle unità affioranti nel versante retrostante l'abitato Monte San Giovanni, sono causa di numerosi dissesti di versante attivi e quiescenti e caratterizzati da meccanismi di movimento per lo più di scivolamento e di colamento. In queste unità, si riscontra un'elevata densità del dissesto per gravità, con frane per scivolamento spesso antiche che hanno coinvolto grandi volumi di roccia. In questo senso, tutta la parte centrale del fondovalle di quest'area appare riconducibile ad ampie zone di

accumulo di fenomeni di dislocazione più antichi (paleofrane), attivati secondo differenti meccanismi di movimento (stile “complesso”, secondo Cruden & Varnes, 1994) e complessivamente stabilizzati.

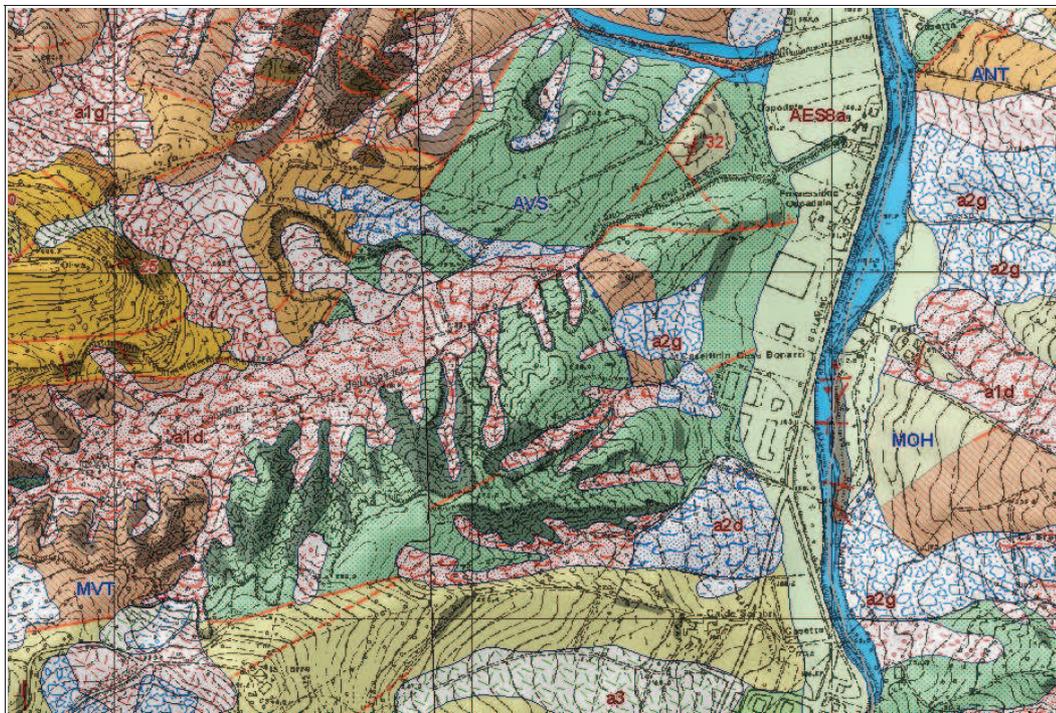


Figura 3.8– Area Monte San Giovanni (nord): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

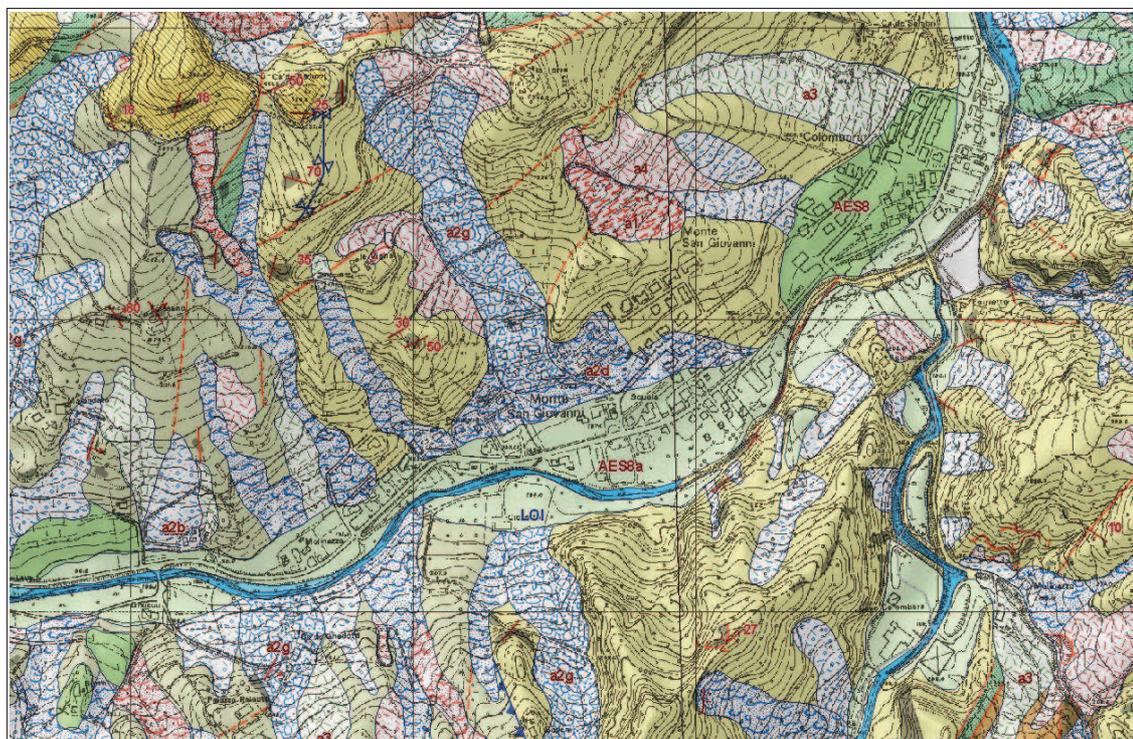


Figura 3.9– Area Monte San Giovanni (centro-sud): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Il materiale coinvolto, è quello che costituisce il versante a monte e in particolare è riconducibile a flysch della Formazione di Loiano. A supporto di questa interpretazione vi è la presenza a monte di depositi che la cartografia geologica regionale già rileva come “a2g” (deposito di frana complessa, quiescente) e “a3”. Sempre a monte dell'area studiata sono rilevati anche movimenti di dissesti attivi (a1).

### 3.2.5 Aree Oca e Badia

Le due piccole frazioni di Oca e Badia, ricadono ancora nel contesto di fondovalle del Torrente Lavino, sempre caratterizzato da depositi fluviali terrazzati che la carta geologica regionale (figura 3.10) attribuisce all'unità AES8a (Unità di Modena). Si tratta ancora di coltri alluvionali a scheletro prevalentemente ghiaioso e ciottoloso. Per quanto riguarda il fondovalle di Badia, le indagini di repertorio e le indagini eseguite per questo lavoro evidenziano, come vedremo, una coltre più potente e caratterizzata in superficie da depositi fini, prevalentemente pelitici e sabbiosi, che appaiono da attribuirsi a deposizione per degradazione eluvio-colluviale del bedrock che costituisce il sovrastante versante. In questo senso, anche la cartografia geologica riporta al piede del versante meno acclive in sinistra idrografica, tra Oca e Badia, coperture eluvio-colluviali. Queste coltri sono legate alla facile erodibilità che caratterizza il bedrock che forma il versante più elevato (soprattutto Argille Azzurre e ADO2).

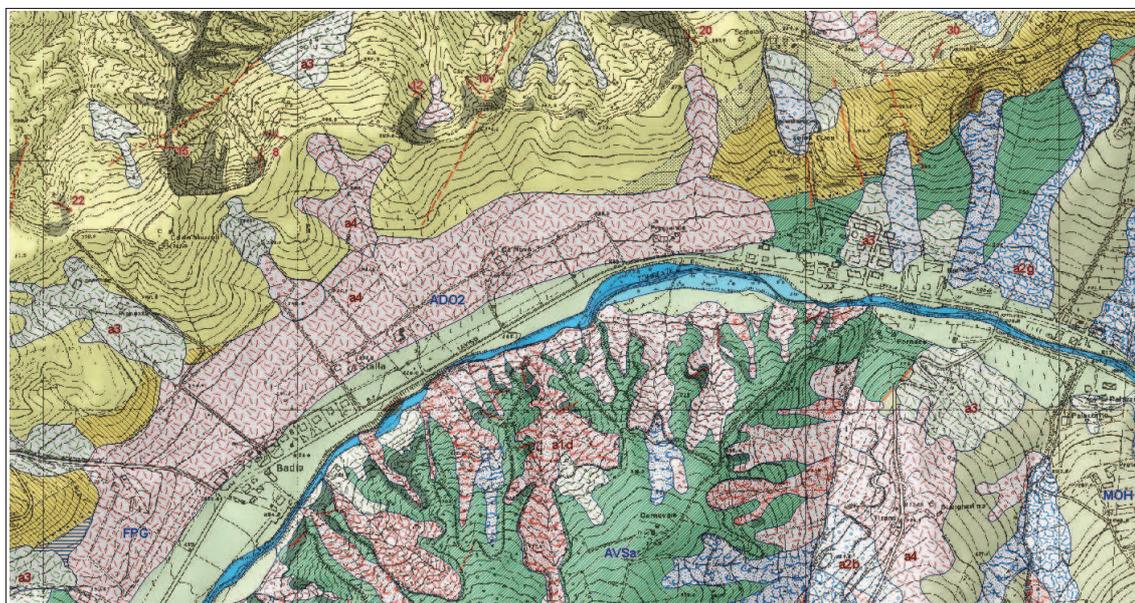


Figura 3.10- Area frazioni Oca e Badia: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Il substrato geologico sepolto, nel fondovalle, è anche in questo caso ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici delle rocce affioranti riscontrati sui versanti: in sintesi, è costituito da unità liguri (Argille della Valsamoggia - AVS - e argilliti della Formazione di

Poggio presso Oca), mentre al piede del versante il bedrock sepolto dalle coltri eluvio-colluviali è da attribuirsi all'unità pliocenica della Formazione di M. Adone. I contatti tra queste unità risultano prevalentemente di tipo tettonico. Solamente a est di Badia, il piede del versante di interesse risulta argilloso (il bedrock è costituito da Argille Azzurre – FAA) e caratterizzato da depositi di frana quiescenti (colamenti?).

### 3.2.6 Area Montepastore

La frazione di Montepastore, è insediata su un'ampia dorsale sub-pianeggiante che costituisce una evidente superficie relitta e che si sviluppa in direzione SO-NE, impostata su formazioni subliguri. In questo contesto, la carta geologica regionale (figura 3.11) rileva la presenza di estese coperture di origine eolica sovrastanti il substrato roccioso marino, prevalentemente pelitico (Argille e Calcari del Torrente Lavinello e torbiditi della Formazione di Montepastore).

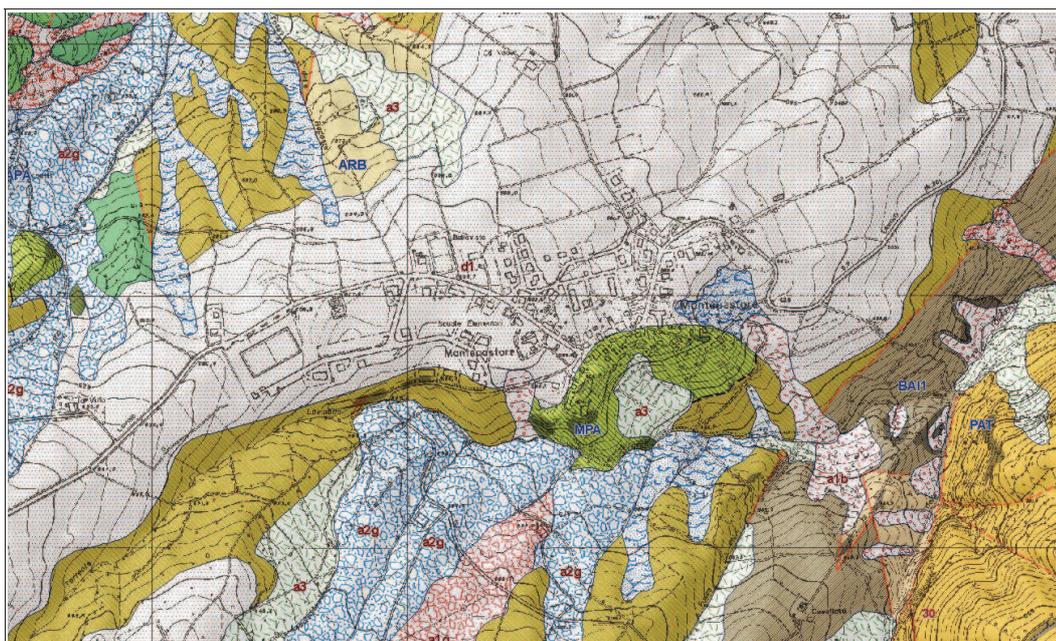


Figura 3.11- Area frazione Montepastore: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Per gli aspetti più propriamente morfologici, necessari per valutare e delimitare le zone di possibile amplificazione topografica, lo studio di microzonazione ha considerato 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 costruito con maglia quadrata di 5x5 metri.

La modellazione morfologica ha dunque permesso la scomposizione della superficie topografica nelle tre classi di acclività ( $<15^\circ$ ;  $15\div 30^\circ$ ;  $>30^\circ$ ), considerate di riferimento anche per la normativa tecnica per le costruzioni a scala nazionale (NTC 2008). La figura 3.12 riporta l'esito del modello morfologico.

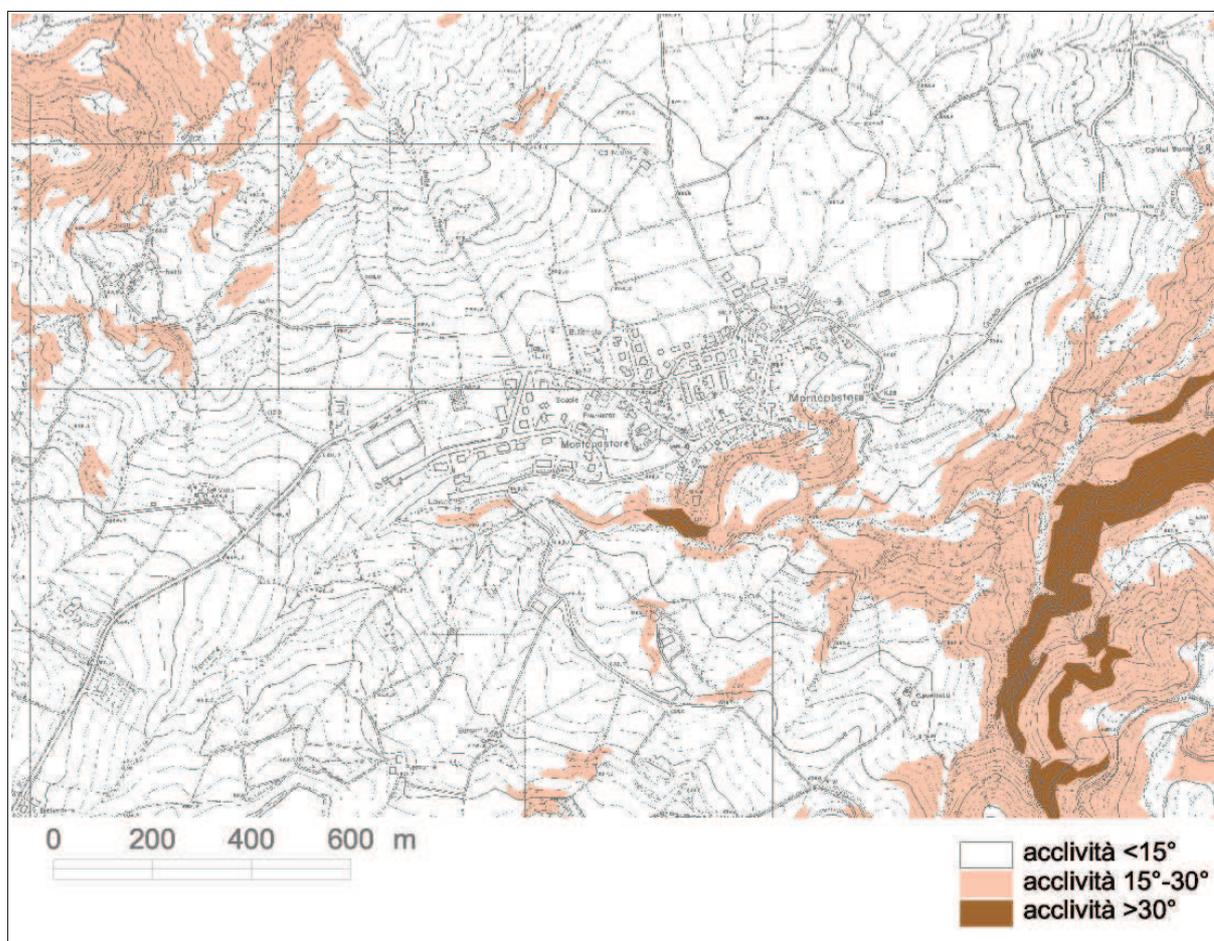


Figura 3.12- Area di studio frazione di Montepastore: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

### 3.2.7 Depositi quaternari e bedrock marino rilevanti per le aree di studio

Le coperture quaternarie e le formazioni geologiche (affioranti o sepolte dalle stesse coperture) che interessano le aree studiate di Monte San Pietro, sono riconducibili a:

#### 1. COPERTURE CONTINENTALI QUATERNARIE

- Depositi alluvionali terrazzati "AES8" (Subsistema di Ravenna) → Si tratta di sedimenti ghiaiosi passanti a sabbie e limi anche argillosi nell'area di studio, di età deposizionale attribuita al Pleistocene sup- Olocene e attribuiti all'attività deposizionale del Torrente Lavino Landa (a Ponte Rivabella). Sono inoltre rilevati ordini di terrazzi inferiori, attribuiti alla più recente Unità di Modena (sigla AES8a) di età Olocene - Attuale. Questi depositi,

risultano morfologicamente distinti dalle alluvioni AES8 da scarpate di erosione fluviale, di altezza generalmente modesta (pochi metri) e spesso obliterata da interventi antropici; dal punto di vista tessiturale, queste alluvioni risultano prevalentemente ghiaiose e ciottolose con matrice più fine (limi sabbiosi e argille) a formare anche strati di modesto spessore (decimetrici).

- Depositi di conoide torrentizia inattiva → si tratta di depositi riscontrabili allo sbocco vallivo del Torrente Podice (presso la frazione Chiesa Nuova), il cui bacino idrogeologico impostato nelle formazioni plio-pleistoceniche delle Argille Azzurre e Sabbie Gialle, facilmente erodibili, ha determinato il trasporto e la deposizione verso la pianura di sedimenti a tessiture fini e/o sabbiose
- Depositi di versante → riscontrabili in ampi tratti del fondovalle del lavino, presso Monte San Pietro, e costituiti da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici, a matrice abbondantemente fine. La genesi, come già scritto, è peraltro dubitativamente gravitativa (depositi di frane antiche stabilizzate; ruscellamento superficiale e/o da soliflusso).
- Depositi di frana → come già scritto, il versante del fondovalle Lavino è caratterizzato da unità geologiche fortemente tettonizzate e a tessiture prevalentemente argillosa, caotiche; il pendio è dunque interessato da notevole instabilità di versante e da processi d'erosione. Anche le aree di studio lambiscono versanti con dissesti gravitativi con meccanismi di innesco per lo più di scivolamento e per colamento (particolarmente coinvolte le formazioni argillose AVS e AVN). Sono anche riscontrate accumuli di frane antiche, ormai stabilizzate, sul cui piede si è sviluppato l'insediato di Monte San Pietro.

## 2. UNITA' GEOLOGICHE PIOCENICHE DI "MARGINE APPENNINICO"

- SABBIE DI IMOLA (IMO) → in particolare depositi marini riconducibili al Membro di Fossoveggia (IMO2) e al Membro di Monte Castellaccio (IMO1).  
Le IMO2 sono caratterizzati da peliti prevalenti di colore grigio scuro, grigio azzurro e subordinatamente giallastro e rare intercalazioni centimetriche o decimetriche di peliti sabbiose. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali o da paleosuoli. L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e di palude, passante a piana deltizia, mentre l'età deposizionale è riconducibile al Pleistocene medio. Contatto inferiore netto con IMO1. Lo spessore va da pochi metri a 50m circa.  
Le IMO1 sono invece caratterizzate da sabbie ed arenarie gialle fini e finissime, subordinatamente medie e grossolane in strati generalmente amalgamati, rare intercalazioni pelitiche discontinue di spessore centimetrico e decimetrico. Queste sabbie passano verso l'alto ad alternanze in strati medi e spessi di ghiaie poligeniche, spesso caratterizzate da colori di alterazione bruno-violacei, con diametro massimo fino a 12 centimetri e subordinate sabbie. L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia (dalla battigia, alla spiaggia sommersa). Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA. Spessore massimo di poche decine di metri.
- FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA) → si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e

subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Alla base, possono essere localmente presenti marne biancastre ricchissime in Foraminiferi planctonici per uno spessore massimo di 10 m. L'ambiente deposizionale è variabile da scarpata a piattaforma. Il suo limite inferiore è netto, discordante su unità più antiche, in particolare nell'area di studio si trova in rapporto di eteropia con ADO.

- FORMAZIONE DI MONTE ADONE – Membro delle Ganzole (ADO2) → sono caratterizzate da areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi, di geometria tabulare, cuneiforme e concava. La comparsa di livelli pelitici rende più marcata la stratificazione, passando a una litofacies pelitico-arenacea (ADO2a) di transizione verso le sovrastanti FAA.

### 3. UNITA' GEOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE EPIIGURE

- FORMAZIONE DEL TERMINA – Membro di Montebaranzone (TER2) → sono torbiditi arenaceo-pelitici cui si intercalano, nella parte alta, livelli calcarei. Il rapporto A/P generalmente  $>1$ ; sono presenti intervalli decametrici di strati da medi a molto spessi con base erosiva e, talora, con impronte di fondo, alternati a intervalli di strati caratterizzati da stratificazione sottile. Le areniti sono da mediamente a poco cementate, di colore grigio, marrone se alterate, gradate da medie a fini che passano ad argille marnose parzialmente siltose grigio scuro o grigio verde. Sono presenti livelli discontinui di slump e livelli di argille marnoso-siltose scure per l'abbondanza di materiale proveniente da AVS o APA, a struttura anch'essa caotica e matrice argillosa clastica.
- FORMAZIONE DI CIGARELLO (CIG) → si tratta di marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beige se alterate, bioturbate e fossilifere. La stratificazione è generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di slump e di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con rapporti A/P  $<1$ . Localmente, verso la base, possono esser presenti livelli discontinui di vulcanoclastiti ricche di cristalli millimetrici di biotite, o calcareniti grossolane giallastre in strati spessi. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. L'età deposizionale è attribuita al Langhiano – Serravalliano.
- FORMAZIONE DI PANTANO (PAT) → si tratta di areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; la stratificazione è generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione, quando visibile di spessore medio; sono presenti resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi. Alla base talora affiorano delle areniti glauconitiche. Talora la parte alta degli strati arenacei è gradata e con laminazione ondulata. Localmente si intercalano strati arenacei risedimentati medi, mal strutturati, di colore nocciola. Verso l'alto affiorano livelli di marne siltose grigio-azzurre laminate. La facies deposizionale è di ambiente da litorale a piattaforma esterna, mentre l'età deposizionale è attribuita al

Burdigaliano sup. – Langhiano inf.

- **BRECCE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO-CANOSSA (MVT)** → sono brecce a matrice argillosa grigia o grigio-scura, talora varicolore, con clasti decimetrici o di dimensioni maggiori di prevalenti calcilutiti biancastre tipo "palombino", calcari marnosi, marne, argilliti, siltiti e arenarie, e inclusi da decametrici ad ettometrici di formazioni liguri o epiliguri. La matrice può essere prevalente. I blocchi di maggiori dimensioni, talora cartografabili, sono presenti per lo più alla base. Questa unità presenta evidenti rapporti di eteropia con ANT e risulta anche sovrapposta ad unità epiliguri e liguri più antiche. Depositi di colata gravitativa (*mud e debris flow*). Età deposizionale: Aquitaniano.
- **MARNE DI ANTOGNOLA (ANT)** → si tratta di marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; presentano fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. La stratificazione varia da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione. Sono presenti rari livelli torbiditici di arenarie vulcanoclastiche, arcosiche e quarzoso-feldspatiche, da sottili a medi, e strati sottili e sottilissimi, discontinui, di cineriti biancastre, tipicamente alterate in giallo o giallo oca. Il limite inferiore è in eteropia con MVT. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna, scarpata e base scarpata con apporti torbiditici. L'età deposizionale è attribuita al Rupeliano terminale – Burdigaliano?
- **FORMAZIONE DI LOIANO (LOI)** → sono arenarie arcosiche, da fini a molto grossolane, a luoghi microconglomeratiche, in genere scarsamente cementate, con subordinati conglomerati, in strati medi e banchi frequentemente amalgamati, di colore biancastro o grigio chiaro (marrone chiaro se alterate). Sono presenti intercalazioni, spesso discontinue, di torbiditi sottili arenaceo-pelitiche grigie o verdastre (rapporti A/P sempre >1). Frequenti anche i "cogoli". Nella porzione basale sono presenti slump intraformazionali di spessore ed estensione assai limitata ed argille rosso-mattone e grigio-verdastre, localmente marnose, interdigitate con brecce argillose a matrice nerastra, inglobanti blocchi calcilutitici di dimensioni massime decimetriche. Localmente distinta una litofacies arenaceo-pelitica (LOlap) caratterizzata da strati medi arenaceo-pelitici con  $A/P \geq 1$ . Sedimentazione torbiditica in bacino confinato profondo. Il limite inferiore è discordante su MOH o risulta tettonizzato. Età deposizionale: dal Luteziano al Priaboniano.

#### 4. UNITA' GEOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE LIGURE

- **FORMAZIONE DI MONGHIDORO (MOH)** → sono torbiditi arenaceo-pelitiche in strati generalmente spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P circa 2/1. Si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto  $A/P = 1/2$ . Le arenarie sono gradate con base a granulometria da media a grossolana, talora microconglomeratica, localmente poco cementate, di colore grigio scuro ma generalmente marroni o giallastre per alterazione ed ossidazione dei minerali femici; passano ad argilliti più o meno siltose di colore nerastro. Nella parte bassa della formazione sono presenti torbiditi a base

arenacea e tetto calcareo–marnoso con abbondanti tracce di fuoidi. Torbiditi di piana bacinale. Limite inferiore graduale tettonizzato. L'età deposizionale è attribuita al Maastrichtiano sup. – Paleocene.

- **FORMAZIONE DI POGGIO (FPG)** → sono argilliti siltose rosso mattone, grigie e subordinatamente verdognole, con strati sottili di feldspatoareniti a granulometria fine, di colore biancastro e grigio, scarsamente cementati, frequentemente in boudins. Sono presenti spezzoni di strati calcarenitici e marnosi. Presenti ichnofossili di dimensioni da centimetriche a decimetriche. Ambiente deposizionale di scarpata o di alto strutturale, con apporti torbiditici silicoclastici. I contatti sono generalmente meccanici con AVS. Si distingue, inoltre, una litofacies arenacea (FPGa) caratterizzata da torbiditi in strati sottili e medi con basi feldspatoarenitiche e tetto pelitico verdastro e grigio con patine manganesifere; rapporto A/P da  $\geq 1$  a  $< 1$  con frequenti intercalazioni di strati sottili di calcilutiti marnose con Fuoidi. Età: 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. Sono anche caratterizzate da presenza di breccie poligeniche grigie a matrice argillosa. Si distingue, inoltre, una litofacies arenacea (AVSa) caratterizzata da intervalli arenacei, con arenarie in strati da molto sottili a medi, talora gradate, a granulometria da fine a finissima, di colore grigio (beige o rossastro se alterate), alternate a peliti ed argille marnose grigio scuro; rapporto A/P generalmente  $< 1/3$ . Contatti tettonizzati con AVS. Età deposizionale: da Cretacico inf. a Eocene inf.
5. UNITA' GEOLOGICHE SUBLIGURI
- **FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (MPA)** → si tratta di alternanze torbiditiche calcarenitico–marnose, in strati da medi a molto spessi e in banchi. La base degli strati è biocalcarenitica, da fine a grossolana, passante a marna calcarea biancastra. Rari orizzonti di biocalciruditi e biocalcareniti a macroforaminiferi. Contatti tettonici con le formazioni circostanti. Età: 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. 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.

## 4 Dati geotecnici e geofisici

### 4.1 Dati pregressi

Lo studio di Microzonazione ha consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse (Banca dati delle indagini geognostiche della Regione Emilia-Romagna; archivio Ufficio Tecnico comunale; ecc.), fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio. In tal senso, le figure da 4.1 a 4.5 localizzano i siti puntuali e lineari ove sono state svolte le prove di riferimento per lo studio di Microzonazione sismica di Monte San Pietro, utile per l'individuazione delle stesse indagini. I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in allegato.

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

In sintesi, il totale delle prove pregresse, considerate per lo studio di Microzonazione (e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro), risulta pari a 87 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 microtremiti a stazione singola (HVSR)

### 4.2 Dati ex novo

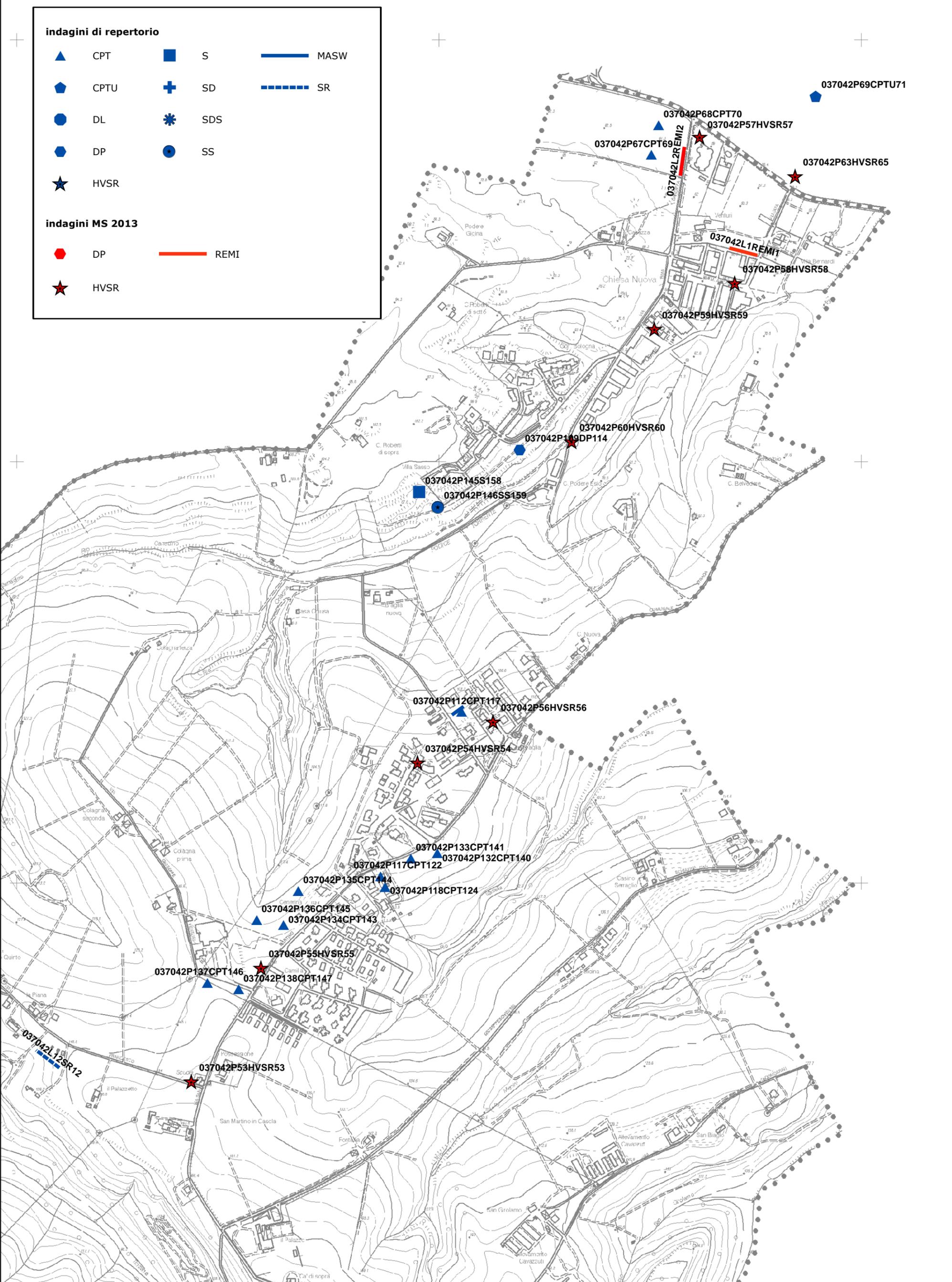
Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di microzonazione, e in particolare per definire i depositi di copertura superficiali e la parametrizzazione geofisica di tali coltri e del bedrock sottostante, si è reso indispensabile effettuare ulteriori indagini in sito, 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 Monte San Pietro 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. 4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH → realizzate con strumento penetrometrico di max contrasto pari a 200 kN, montato su semovente cingolato "Pagani". Le penetrometrie sono state spinte fino a "rifiuto" strumentale.
- n. 54 registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR.
- n. 10 stendimenti geofisici tipo Re.Mi., disponendo 24 geofoni a 4.5 Hz con spaziatura regolare di 3 m. In allegato si riporta il grafico ad isolinee sul quale è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh e sulla quale si esegue il picking del modo fondamentale.

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



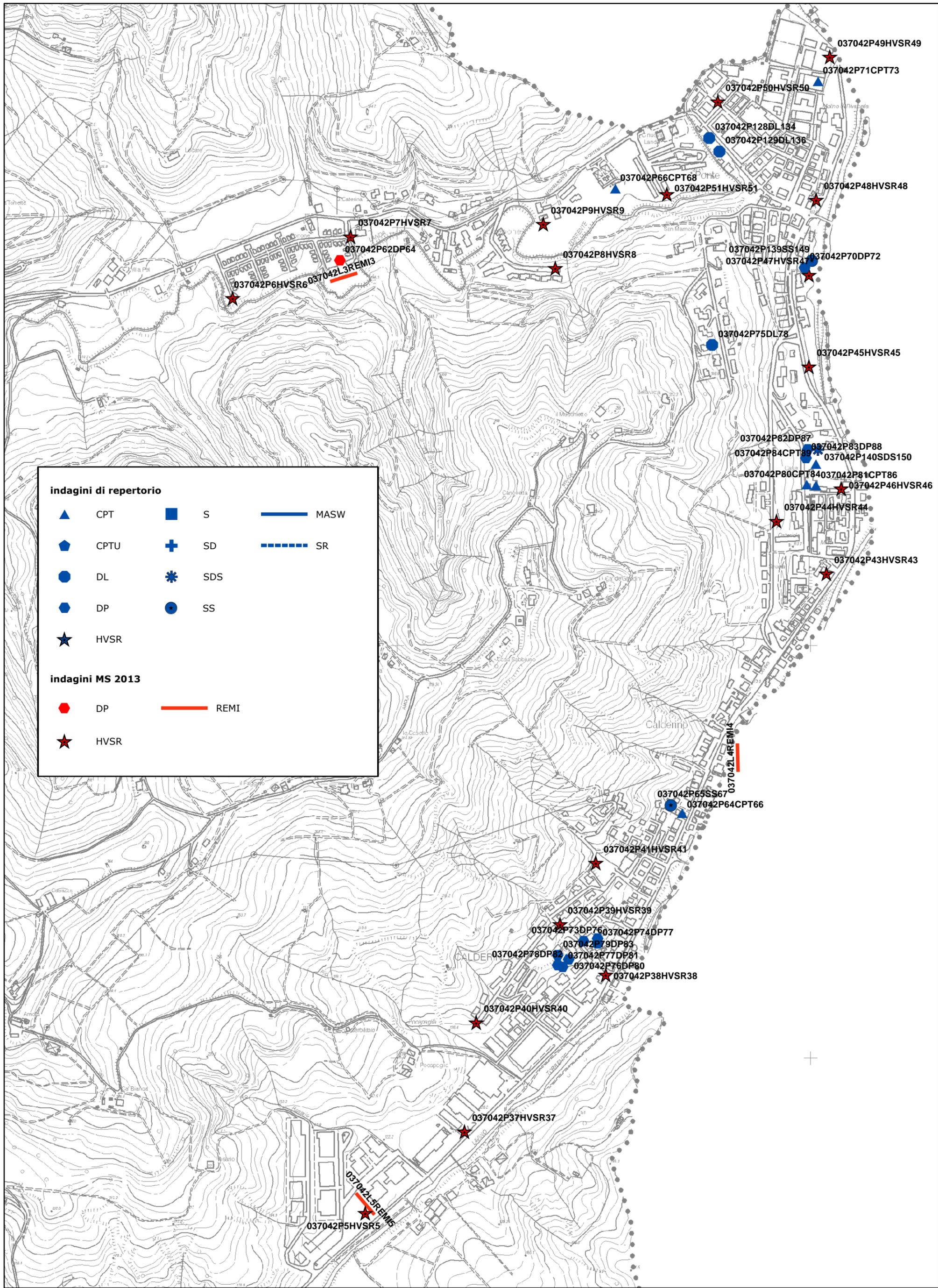
**indagini di repertorio**

▲ CPT	■ S	— MASW
⬠ CPTU	+ SD	- - - SR
● DL	* SDS	
⬡ DP	● SS	
★ HVSR		

**indagini MS 2013**

● DP	— REMI
★ HVSR	

Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento



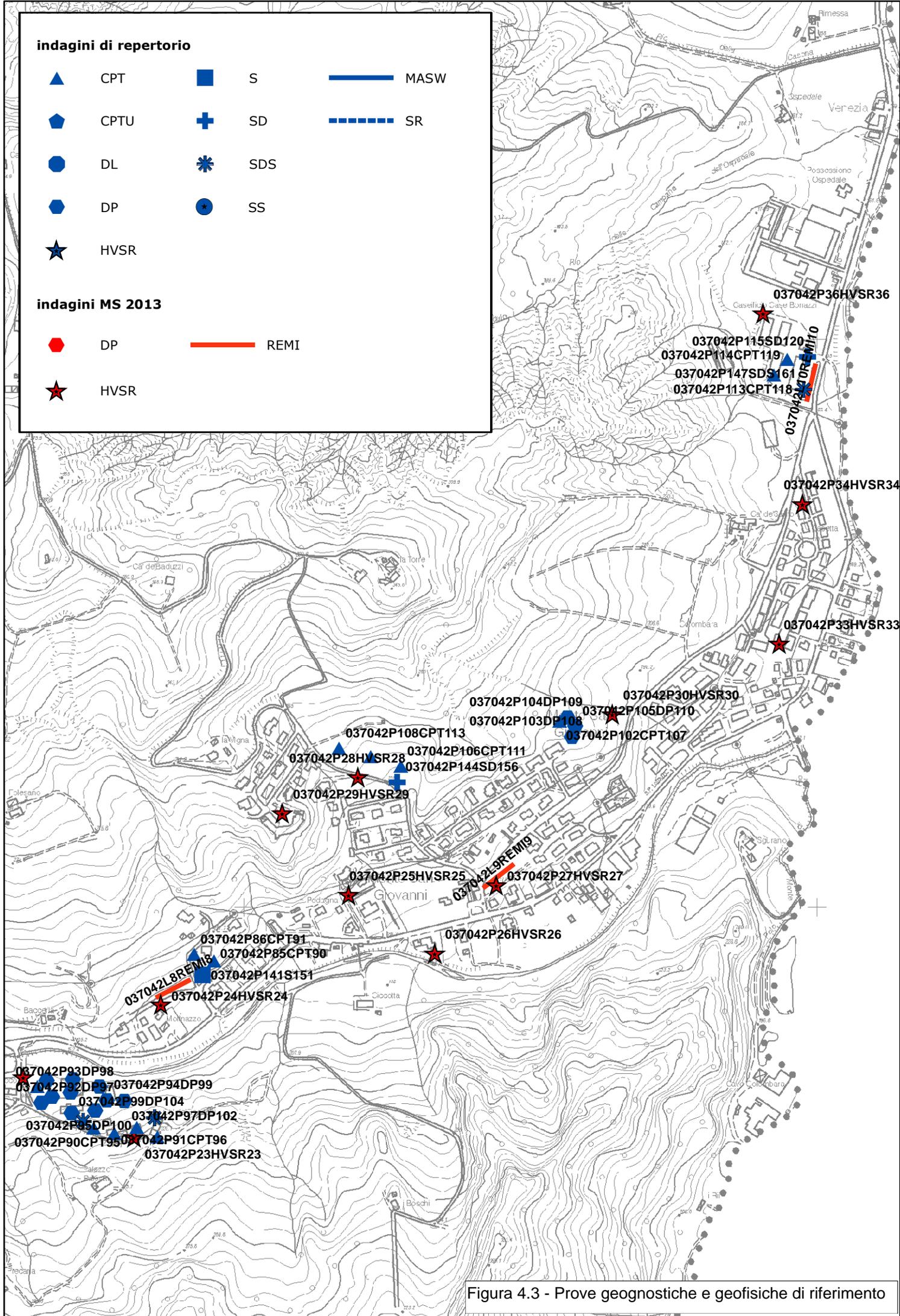
**indagini di repertorio**

▲	CPT	■	S	—	MASW
◆	CPTU	+	SD	- - -	SR
●	DL	✱	SDS		
●	DP	●	SS		
★	HVSR				

**indagini MS 2013**

●	DP	—	REMI
★	HVSR		

Figura 4.2 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento



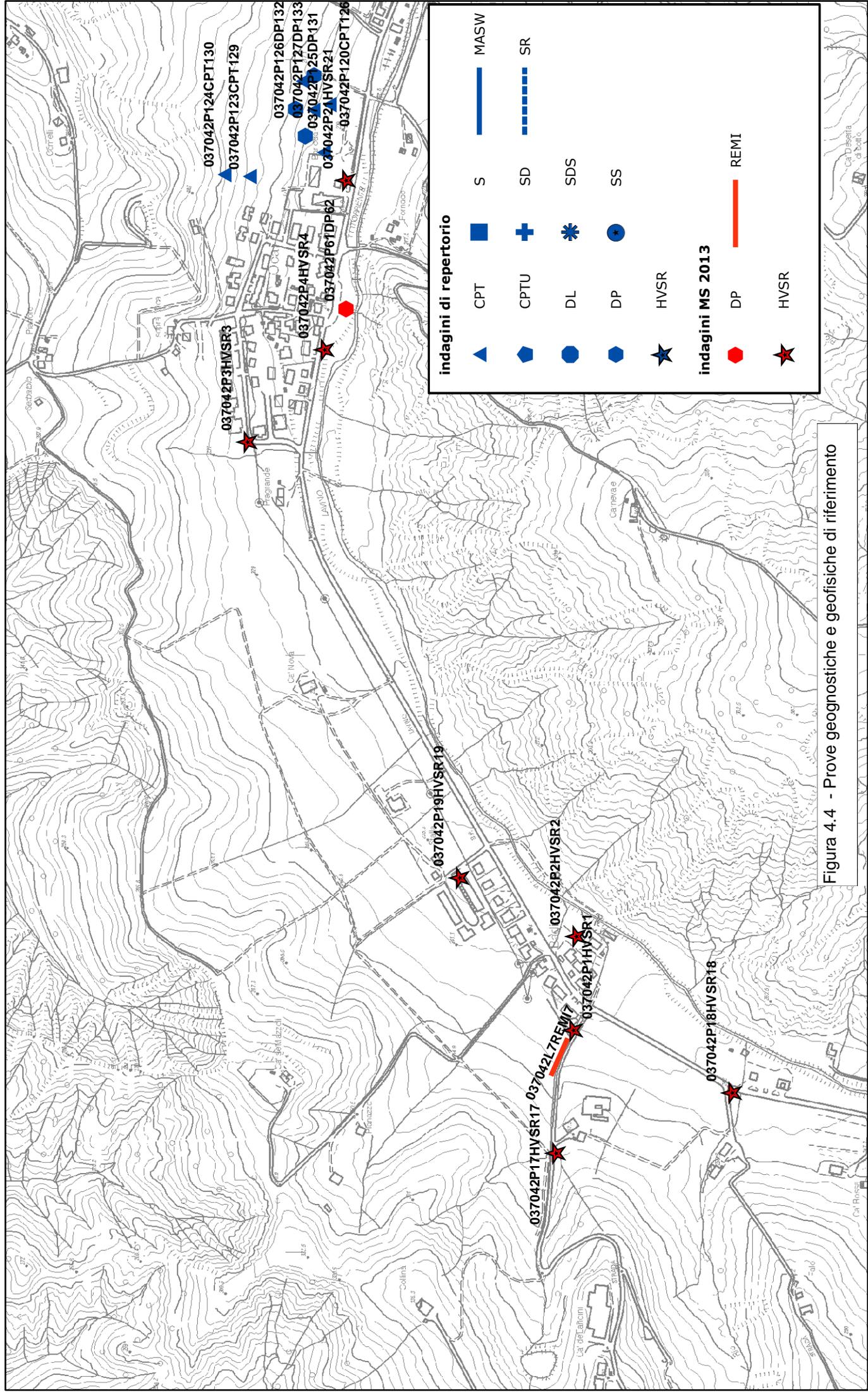
**indagini di repertorio**

- |   |      |   |     |         |      |
|---|------|---|-----|---------|------|
| ▲ | CPT  | ■ | S   | —       | MASW |
| ⬠ | CPTU | + | SD  | - - - - | SR   |
| ● | DL   | ✱ | SDS |         |      |
| ⬡ | DP   | ⊙ | SS  |         |      |
| ★ | HVSR |   |     |         |      |

**indagini MS 2013**

- |   |      |   |      |
|---|------|---|------|
| ⬠ | DP   | — | REMI |
| ★ | HVSR |   |      |

Figura 4.3 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

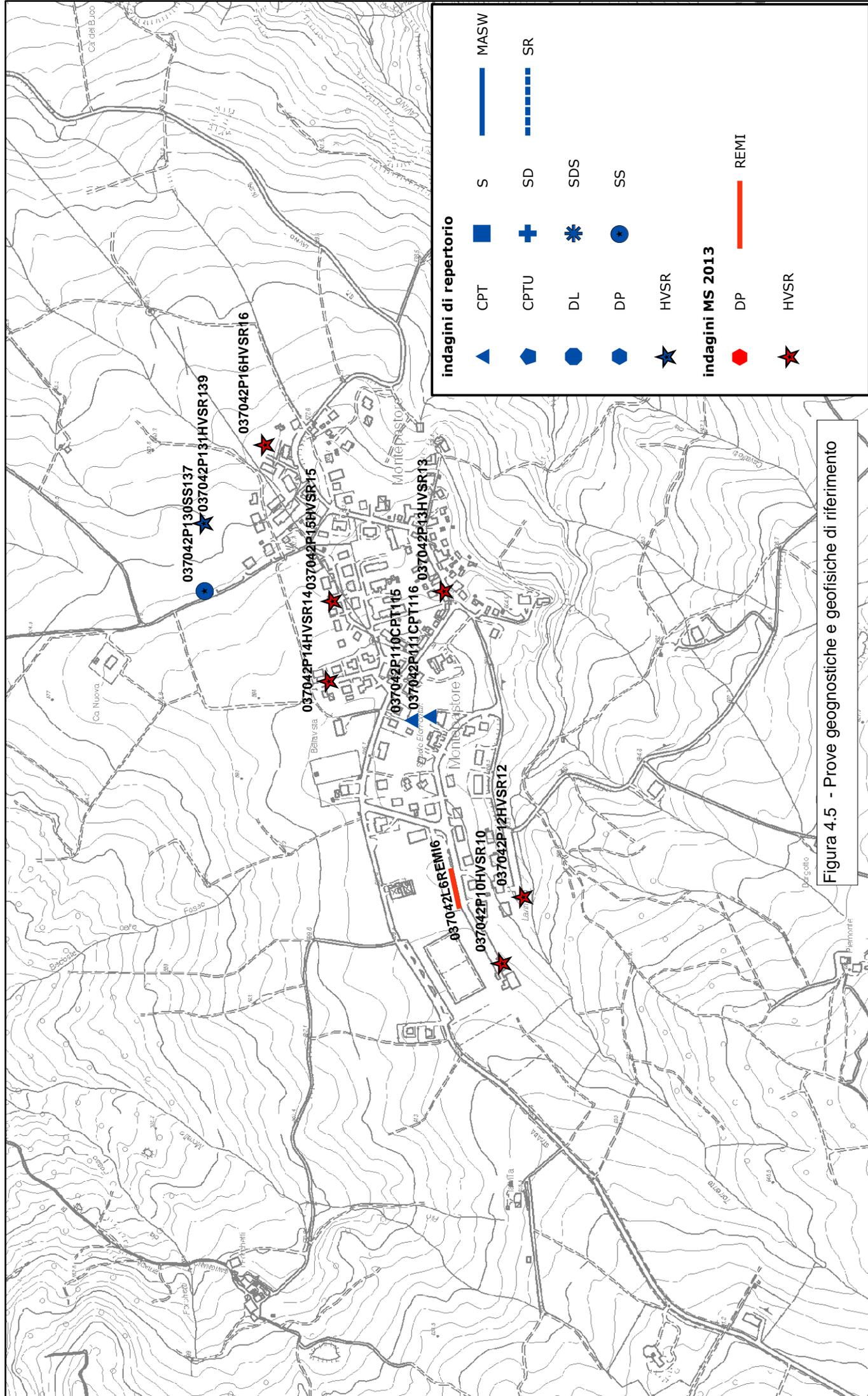


indagini di repertorio	
	CPT
	CPTU
	DL
	DP
	HVSR
	S
	SD
	SDS
	SS
	HVSR
	MASW
	SR

indagini MS 2013	
	DP
	HVSR
	REMI

Figura 4.4 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento



indagini di repertorio	
	CPT
	CPTU
	DL
	DP
	HVSR
	S
	CPTU+
	DL*
	DP*
	HVSR*
	MASW
	SR
	SDS
	SS
indagini MS 2013	
	DP
	REMI
	HVSR

Figura 4.5 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

## 5 Modello di sottosuolo

### 5.1 Area Chiesa Nuova

L'area di studio corrispondente alla frazione di Chiesa Nuova ricade allo sbocco verso pianura di una vallecchia incisa dal Torrente Podice: si tratta, come già scritto, di un corso d'acqua secondario, caratterizzato da un bacino idrogeologico impostato nelle unità geologiche facilmente erodibili delle Argille Azzurre e delle Sabbie di Imola. Ciò detto, un'ampia parte di dell'area di interesse si colloca sulle alluvioni di fondovalle, che la cartografia geologica regionale classifica come AES8 (Subsistema di Ravenna) e ai depositi più recenti AES8a (Unità di Modena), mentre una porzione meno ampia si colloca sul versante in sinistra idrografica del Podice, caratterizzato da bedrock marino subaffiorante delle Sabbie di Imola (membro IMO2). Lo sbocco vallivo è stato inoltre considerato un modesto apparato di conoide (inattiva) del Torrente Podice.

Le indagini geognostiche di repertorio (DPSH; CPT e CPTU eseguita poco a nord dell'area di studio) evidenziano come i sedimenti attraversati di fondovalle siano caratterizzati da intervalli significativi di sabbie limose e limi sabbiosi, seppur alternati a depositi più argillosi: questo contesto tessiturale è coerente con le caratteristiche litologiche del bacino idrogeologico del Torrente Podice. Per questo motivo, come vedremo, la zona cartografata come conoide è stata classificata come suscettibile di liquefazioni in caso di impulsi sismici, da verificare con indagini più approfondite. In questa porzione d'area, sono state eseguite due prove Re.Mi. (L1REMI1; L2REMI2) che hanno consentito la stima della distribuzione delle Vs fino a una profondità di circa 35 metri: entrambe le prove stimano una Vs30 pari a 274 m/s, senza raggiungere sismostrati con Vs tali da essere considerati come "pseudobedrock" (cioè strati caratterizzati da Vs >400÷450 m/s). Sono state eseguite anche registrazioni HVSR che, nella citata conoide, non hanno evidenziato amplificazioni significative nello spettro H/V, probabilmente anche a causa delle evidenti caratteristiche di smorzamento dei sedimenti fini e/o sabbiosi meno profondi. Nel fondovalle più interno, comunque ancora compreso nell'area studiata di Chiesa Nuova, le terebrazioni hanno raggiunto profondità fino a circa 12 metri, mentre la registrazione HVSR (P58HVSR58) evidenzia un'amplificazione più significativa a circa 5,5 Hz: l'esito geofisico, opportunamente tarato con i dati di sottosuolo diretti, evidenzia un riflettore sismico a circa 10÷12 m di profondità che corrisponderebbe al tetto delle Sabbie Gialle (un banco arenitico?). Per quanto riguarda l'area di studio posta in versante, le indagini penetrometriche e i sondaggi evidenziano chiaramente come il Membro IMO2 delle Sabbie Gialle non può considerarsi bedrock sismico affiorante: sulle peliti che caratterizzano questo substrato roccioso vi risulta una coltre di sedimenti fini (argilloso-sabbiosi) riconducibili alla degradazione eluvio-colluviale dello stesso versante. Occorre

anche rammentare che il substrato geologico IMO2 non presenta chiare caratteristiche di rigidità, tali da essere considerato bedrock sismico: ciò è confermato, come vedremo, dalle prove geofisiche di riferimento per l'area di San Martino e anche dagli esiti di altre prove geofisiche<sup>5</sup> eseguite nel medesimo contesto di margine appenninico e dove tali sedimenti affiorano o sub-affiorano: in tutti i casi, le indagini geofisiche hanno evidenziato Vs medie di questi depositi inferiori a 400 m/s. In questo contesto, il bedrock sismico di riferimento è da collocarsi al tetto del sottostante membro IMO1, caratterizzato da banchi di arenarie poco cementate e con strati anche ghiaiosi: la profondità delle IMO1, ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici evidenziati anche nella cartografia geologica regionale, è dunque riscontrabile a circa 15 m dal p.c.

## 5.2 Area San Martino

L'abitato di San Martino ricade su un modesto di crinale che si sviluppa da SO a NE e costituito da substrato geologico affiorante riconducibile al membro prevalentemente pelitico delle Sabbie Gialle (IMO2 – Membro di Fossoveggia). L'assetto tettonico di questa unità e delle sottostanti unità plioceniche di margine appenninico è, come già scritto, monoclinale, con immersione degli strati nordvergente. Le indagini geognostiche di repertorio hanno sostanzialmente investigato sedimenti riconducibili a questa formazione geologica pelitica, dimostrandone le modeste caratteristiche di consistenza e rigidità, come già spiegato precedentemente anche per l'area di Chiesa Nuova; in tal senso, le due prove geofisiche di repertorio, una MASW eseguita nella parte più settentrionale dell'abitato (L11MASW11) e un profilo sismico a rifrazione (L12SR12) realizzato esternamente all'area di studio, poco a NO di essa, evidenziano spessori superficiali di potenza molto variabile e caratterizzati da Vs >450÷500 m/s, rispettivamente a profondità di circa 8 metri e 26÷30 m. Tali esiti evidenziano come il Membro IMO2 delle Sabbie Gialle non può considerarsi bedrock sismico affiorante, in quanto non presenta sufficienti caratteristiche di rigidità. Per quanto detto, anche in questo caso il bedrock sismico di riferimento è da collocarsi al tetto del sottostante membro IMO1, caratterizzato da banchi di arenarie poco cementate e con strati anche ghiaiosi e con velocità di taglio superiori a 450÷500 m/s. La profondità delle IMO1 è facilmente ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici che gli affioramenti rilevati nel versante orientale, rispetto all'abitato (valle invisa dal rio Casella), consentono di appurare. In conclusione, per l'area di studio è stato possibile ricostruire lo spessore H delle “coperture” (corrispondente, in questo caso, allo spessore delle IMO2) con

---

<sup>5</sup> Prova “Down-Hole” e stendimento sismico a rifrazione eseguiti a Bazzano, inoltre prove Re.Mi, e MASW eseguite a Crespellano, Zola Predosa e ancora a Bazzano. Queste indagini sono risultate di riferimento anche per gli studi di microzonazione sismica comunale, elaborata ai sensi dell'attuazione dell'art.11 della L. n.77/2009 (S. Sangiorgi, 2013)

maggiore accuratezza; tali spessori risultano variabili da circa 30 metri a 10 m. A ulteriore conferma di quanto descritto, le registrazioni HVSR eseguite nella frazione hanno riscontrato amplificazioni nello spettro H/V in alcuni casi anche significative ( $H/V > 3$ ), e a frequenze che risultano coerenti con la profondità del riflettore sismico corrispondente al tetto delle sabbie cementate IMO1 (da 2 Hz a circa 5 Hz).

### 5.3 Area Calderino

Le terebrazioni effettuate nel fondovalle del Torrente Landa evidenziano spessori delle coperture alluvionali prevalentemente ghiaiose, con abbondante matrice argillosa, sovrastanti in contatto erosivo bedrock attribuito sia alla Formazione di Pantano (sigla PAT-Areniti siltose fini e finissime alternate a peliti), sia alla Formazione delle Argille Azzurre (FAA – argille e marne). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (es. prova Re.Mi. L3REMI2), che evidenziano uno spessore medio suscettibile di amplificazioni del moto sismico di circa 5 metri, costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato<sup>6</sup> e una VsH misurata pari a circa 200 m/s. L'area studiata di fondovalle del Landa, comprende anche alcune piccole porzioni di piede versante sia in sinistra idrografica che in destra, e che risultano caratterizzate da coperture di alterazione colluviale, prevalentemente fini e sovrastanti bedrock non rigido attribuito ancora all'unità PAT. Lo spessore medio di tali coltri in sinistra idrografica viene valutato cautelativamente pari a 5 metri, con una Vs media minore di 200 m/s. In destra idrografica, l'esito della registrazione HVSR (P8HVSR8), che evidenzia amplificazione a circa 6 Hz e dimostrerebbe una potenza maggiore delle coperture, che viene stimato cautelativamente pari a 10 metri.

Per quanto riguarda il fondovalle del Torrente Lavino, le indagini geognostiche di repertorio e le indagini geofisiche eseguite per questo lavoro evidenziano una coltre di sedimenti alluvionali, ghiaioso-ciottolosi, ancora con matrice argillosa, sovrastanti in contatto erosivo formazioni geologiche riconducibili a unità epiliguri (TER2; CIG; PAT; MVT; ANT; LOI) e liguri (solamente nella porzione più meridionale di Calderino: FPG e AVS). Si tratta di bedrock che sono da considerarsi “non rigidi” ( $V_s < 800$  m/s) per le caratteristiche litologiche e per l'intensa tettonizzazione, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente, in particolare le prove Re.Mi. Peraltro, il principale fattore di amplificazione è fornito dalle sovrastanti coperture alluvionali. In questo senso, indagini geognostiche evidenziano una potenza media delle coperture (considerando anche il sottostante bedrock più alterato) pari a circa 10 metri. I due stendimenti Re.Mi., eseguiti nel fondovalle Lavino e nei pressi di

---

<sup>6</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.

Calderino (prove L4REMI4 e L5REMI5), rilevano un intervallo corrispondente alle “coperture” rispettivamente potente 11,5 m e 10 m (e con VsH di 228 m/s e 226 m/s), esiti pertanto coerenti con quanto scritto. Anche le registrazioni HVSR evidenziano come i principali picchi di amplificazione nello spettro H/V risultino a frequenze comprese tra 5,8 Hz e 7 Hz, anch'esse compatibili con riflettori sismici collocati a una profondità di circa 10 m.

Il piede del versante in sinistra idrografica del torrente Lavino, per le caratteristiche litologiche delle unità affioranti (prevalentemente pelitiche e fortemente caoticizzate) è interessato da numerosi dissesti di versante con meccanismi di movimento di scivolamento e di colamento. La facile erodibilità di questi versanti è anche causa di evidenti processi d'erosione e di trasporto solido in alveo. Per quanto detto (anche nel precedente capitolo 4), tutta la fascia di versante e di fondovalle prospiciente viene sostanzialmente demandata a studi geologici e sismici più approfonditi.

#### **5.4 Area frazione Monte San Giovanni**

Il fondovalle è ancora caratterizzato da depositi alluvionali terrazzati recenti (AES8a), sebbene le tessiture, rispetto al fondovalle di Calderino, risultino più eterogenee e caotiche (con tessitura comunque prevalentemente ghiaiose e con abbondante matrice fine). Il substrato geologico, ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici riscontrati sui versanti, è caratterizzato da unità geologiche della successione Ligure (Argille della Valsamoggia – AVS – a nord; torbiditi arenaceo pelitiche della Formazione di Monghidoro – MOH – nella porzione più meridionale dell'area) ed Epiligure (depositi arenitici della Formazione di Loiano – LOI), in contatto prevalentemente di tipo tettonico. Si tratta di bedrock da considerarsi “non rigidi” ( $V_s < 800$  m/s) per le caratteristiche litologiche e per l'intensa tettonizzazione, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente, in particolare le prove Re.Mi. Inoltre, queste unità geologiche, affioranti nel versante retrostante l'abitato Monte San Giovanni, sono causa di un'elevata densità di dissesto di versante (scivolamenti e colamenti) e per questo motivo gran parte del piede del pendio viene sostanzialmente demandato a studi geologici e sismici più approfonditi.

A differenza di Calderino, tutta la parte centrale del fondovalle in questione pare riconducibile ad ampie zone di accumulo di fenomeni di dislocazione più antichi (paleofrane), attivati secondo differenti meccanismi di movimento e complessivamente stabilizzati. Il materiale coinvolto, è quello che costituisce il versante a monte e in particolare è riconducibile a flysch della Formazione di Loiano. Il piede dell'accumulo, sul quale è insediato gran parte dell'abitato, è stato successivamente rimodellato dall'azione trattiva del Torrente Lavino. Ciò detto, i dati geognostici disponibili (CPT e penetrometrie dinamiche) e le ulteriori indagini geofisiche eseguite per questo lavoro riscontrano spessori delle coperture di circa 10 metri, cioè pressoché simili alla zona di fondovalle di Calderino; in

particolare a lo stendimento Re.Mi. eseguito a nord (L10REMI10) evidenzia uno spessore circa 12 metri ( $V_sH = 271$  m/s) mentre la Re.Mi. eseguita nella parte sud dell'abitato (L8REMI8) riscontra spessori riconducibili a coperture di circa  $7 \div 8$  metri (con  $V_sH = 244$  m/s). Unica importante eccezione è la porzione centrale del fondovalle, correlabile alla già citata zona di accumulo di frana stabilizzata: qui la Re.Mi. eseguita (L9REMI9) riscontra uno spessore più superficiale e meno rigido, potente circa 20 metri (con  $V_sH$  pari a 327 m/s), mentre le registrazioni HVSR evidenziano contrasti d'impedenza relativamente modesti, ma comunque con amplificazioni del segnale a circa  $4 \div 4,2$  Hz, coerenti con lo spessore della “copertura” (alluvioni e accumulo di palefrana stabilizzata?) stimata.

Per quanto riguarda il versante a ridosso del fondovalle, in sinistra idrografica il piccolo morfologico già oggetto di urbanizzazione, a valle del toponimo “La Vigna”, è costituito da substrato roccioso arenaceo affiorante (LOI). La registrazione HVSR non riscontra contrasti di impedenza significativi, mentre gli esiti dello stendimento L9REMI9 (eseguita nel fondovalle sul medesimo substrato geologico sepolto) ha permesso di attribuire a questo bedrock una  $V_{s30}$  pari a 520 m/s. In destra idrografica, vi risulta un altro piccolo isolato (presso “Ca' de Ghedotti), caratterizzato anch'esso da bedrock non rigido (torbiditi arenaceo pelitiche della Formazione di Monghidoro): la  $V_{s30}$  risulta pari a 470 m/s (estrapolabile dalla prova L8REMI8 eseguita nel fondovalle ma sul medesimo substrato geologico sepolto).

## 5.5 Area frazioni Oca e Badia

Le due piccole frazioni di Oca e Badia, ricadono sempre nel contesto di fondovalle del Torrente Lavino. Per quanto riguarda Oca, il fondovalle è caratterizzato da sedimenti alluvionali ghiaioso argillosi, affioranti nelle scarpate d'erosione fluviale a est della strada provinciale e sovrastanti bedrock non rigido (AVSa; FPG). Le indagini HVSR evidenziano tracce del segnale H/V correlabili con le altre prove eseguite nel fondovalle del Lavino e pertanto si attribuisce anche a questo settore uno spessore delle coperture amplificabili (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) pari a 10 metri, con una  $V_sH$  riconducibile a circa 300 m/s. Il pendio sovrastante Oca è invece caratterizzato da coperture eluvio-colluviali che sovrastano bedrock “non rigido” (ADO2; FPG; AVSa), come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). In tal senso, le prove HVSR e in particolare la prova L7REMI7 evidenziano uno spessore delle coperture (depositi eluvio-colluviali e bedrock molto alterato), suscettibile di amplificazioni del moto sismico, approssimabile di circa 10 metri e con una  $V_sH$  misurata per questo intervallo pari a 279 m/s.

Per la frazione di Badia, le indagini di repertorio e la prova DPSH eseguita per questo lavoro (P61DP62) nel fondovalle, evidenziano una coltre di maggior spessore e costituita da

sedimenti prevalentemente fini: la prova citata termina a 12 metri, con esiti di resistenza alla penetrazioni (n. colpi) in aumento ma tali da non raggiungere il bedrock definibile sismico (che viene estrapolato a circa 15÷16 m). I depositi di fondovalle presso Badia sono quindi attribuiti sia a deposizione alluvionale, sia a deposizione per degradazione eluvio-colluviale del bedrock che costituisce il sovrastante versante, sebbene il maggior spessore riscontrato può essere interpretato anche come accumulo di un movimento franoso ormai stabilizzato (sul quale si insediano gran parte delle abitazioni della frazione). Il substrato geologico sepolto, ricostruibile sulla base dei rapporti stratigrafici e tettonici delle rocce affioranti riscontrati sui versanti è costituito da unità liguri delle Argille della Valsamoggia (AVS). Il retrostante versante è invece correlabile per caratteristiche stratigrafiche e litotecniche, al pendio limitrofo e sovrastante Oca, cioè è costituito da uno spessore di coperture eluvio-colluviali pari a circa 10 metri e con VsH stimata sulla base della prova L7REMI7 (VsH =279 m/s). Il bedrock al piede del versante, sepolto dalle coltri eluvio-colluviali è da attribuirsi all'unità pliocenica della Formazione di M. Adone (ADO2) e, come già rammentato, classificato come bedrock “non rigido” (Vs <800 m/s).

## 5.6 Area Montepastore

La frazione di Montepastore si insedia su un'ampia dorsale sub-pianeggiante che costituisce una evidente superficie relitta e che si sviluppa in direzione SO-NE. Le indagini di repertorio evidenziano una estesa copertura di sedimenti fini e di origine eolica, potente circa 2÷4 metri, sovrastanti il substrato roccioso marino che risulta pelitico e riconducibile alle Argille e Calcari del Torrente Lavinello (AVN), unità caratterizzata da struttura caotica. Nella porzione più meridionale la carta geologica regionale rileva come substrato roccioso un cuneo di sedimenti torbiditici calcarenitico-marnosi, in strati da medi a molto spessi e in banchi, attribuiti all'unità di Montepastore, Occorre evidenziare che le indagini geofisiche HVSR di repertorio e quelle ex novo, realizzate nell'area contraddistinta da coperture eoliche, evidenziano, in realtà, picchi più significativi nello spettro H/V a frequenze comprese tra 2,4÷3,5 Hz: tali frequenze, opportunamente tarate con gli esiti delle indagini dirette (CPT e sondaggi a carotaggio continuo), evidenziano dunque un riflettore sismico che si collocherebbe a una profondità di circa 25 metri, quota estrapolabile per un'ampia porzione dell'area studiata. Questa ricostruzione è coerente anche con l'esito dello stendimento Re.Mi. (L6REMI6) che riscontra uno spessore di depositi meno rigidi potente circa 23 metri e caratterizzato da una Vs media di 277 m/s. Peraltro, l'esito geofisico evidenzia come oltre tale profondità il bedrock è comunque da considerarsi substrato “non rigido” (Vs attribuibile: 550 m/s).

## 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). Pertanto, le possibili incertezze si ritengono comunque accettabili in funzione del grado di approfondimento che si è inteso espletare. Lo studio, come vedremo, ha inoltre ben definito le aree che dovranno ineludibilmente approfondire gli aspetti di pericolosità sismica.

## 7 Metodologie di elaborazione e risultati

### 7.1 I fattori di amplificazione considerati

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

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

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

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

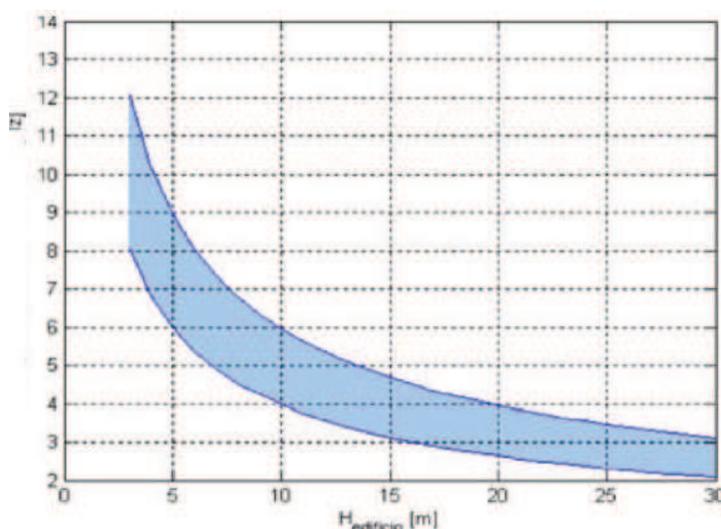
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro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

## 7.2 L'analisi del rumore sismico locale

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

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

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



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

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

## 8 Elaborati cartografici

### 8.1 Carta geologico–tecnica per la microzonazione sismica

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

La cartografia riporta:

- Terreni di copertura → la tavola perimetra le aree interessate da coperture significative dal punto di vista sismico (con spessori maggiori di 2 metri), discriminate in unità litologiche in base alle prevalenti caratteristiche tessiturali medie riscontrabili nel suo spessore
- Substrato geologico rigido o non rigido → in particolare si sono perimetrato le aree ove risulta affiorante<sup>7</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 risultano affiorare presso il nucleo storico di Castello di Serravalle e a Zappolino (Formazione di Monte Adone – Membro delle Ganzole ADO2)
- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a orli di scarpata fluviale di altezza compresa tra 10 metri e 20 m rilevati nel fondovalle del Chiaie presso Castelletto di Serravalle ), cresta (Castello di Serravalle e Zappolino), conoide alluvionale (torrentizia) presso la zona industriale di Castelletto
- Tracce delle sezioni topografiche → sono state elaborate tre sezioni per l'analisi delle condizioni di amplificazione morfologica (nominate da progressivamente da A–A' a C–C') , rispettivamente a Castello di Serravalle e Zappolino

---

<sup>7</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

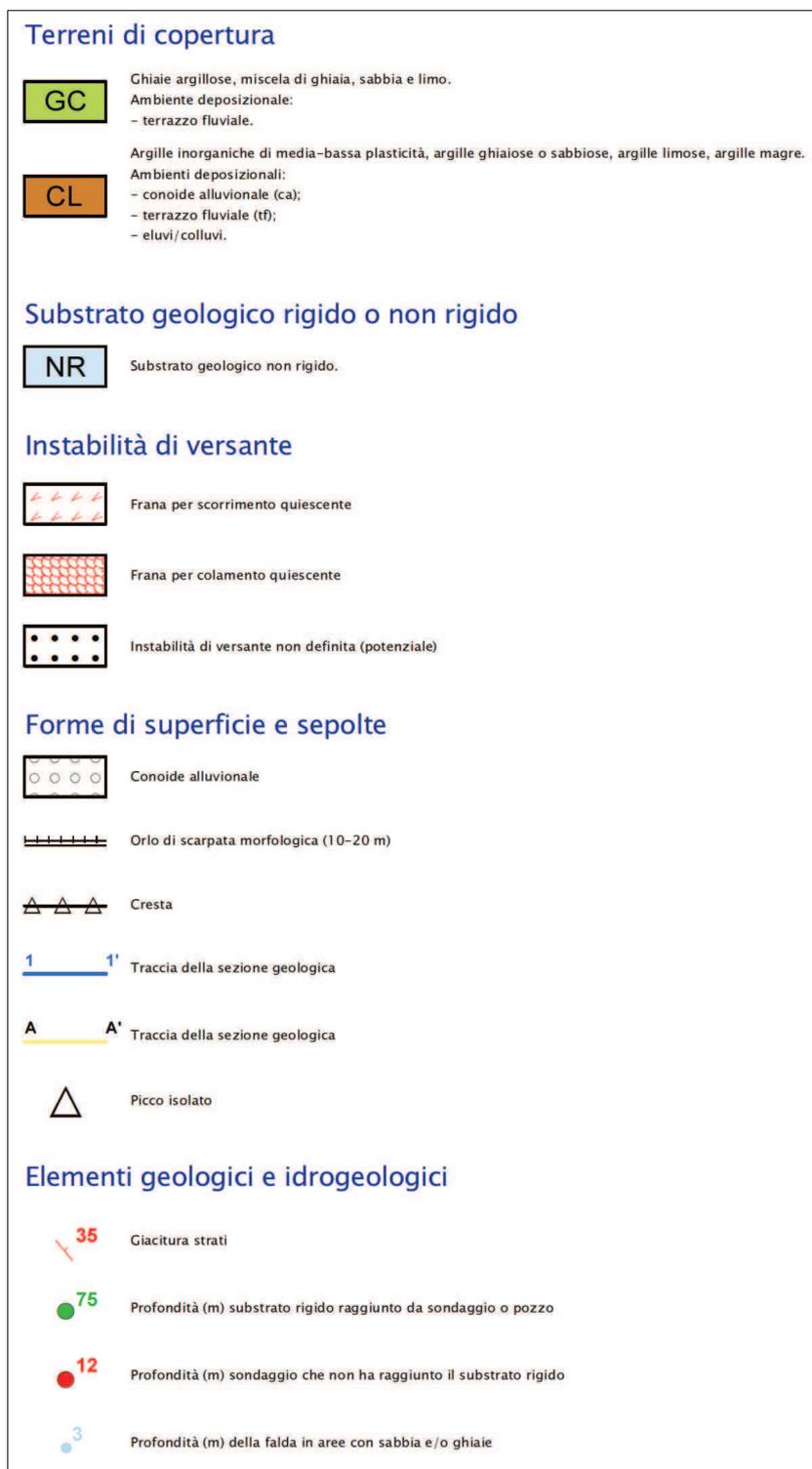


Figura 8.1 – Stralcio della  
 legenda della <<Carta  
 geologico-tecnica>>  
 elaborata per lo studio di  
 microzonazione sismica di  
 Monte San Pietro

- **Instabilità di versante** → in particolare le frane sono state perimetrare e classificate sulla base della tipologia di movimento e dello stato di attività con i differenti retini come riportato negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>>. In questo senso, occorre segnalare che la tavola riporta cautelativamente come “instabilità di versante non definita” anche alcune porzioni di pendio (situati a Bersagliera e a

Zappolino) 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)

- Localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- Localizzazione dei pozzi freatici (rilevati nel fondovalle del Chiaie (a Castelletto di Serravalle e Bersagliera), con indicata la relativa soggiacenza (in metri) misurata della falda.

## 8.2 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 microtremori sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSR). Ad ogni punto, nella cartografia viene indicato il valore stimato di  $F_0$  (valore del “picco” più significativo a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale); sono anche riportate le eventuali ulteriori frequenze ove lo spettro  $H/V^8$  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)

---

<sup>8</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.

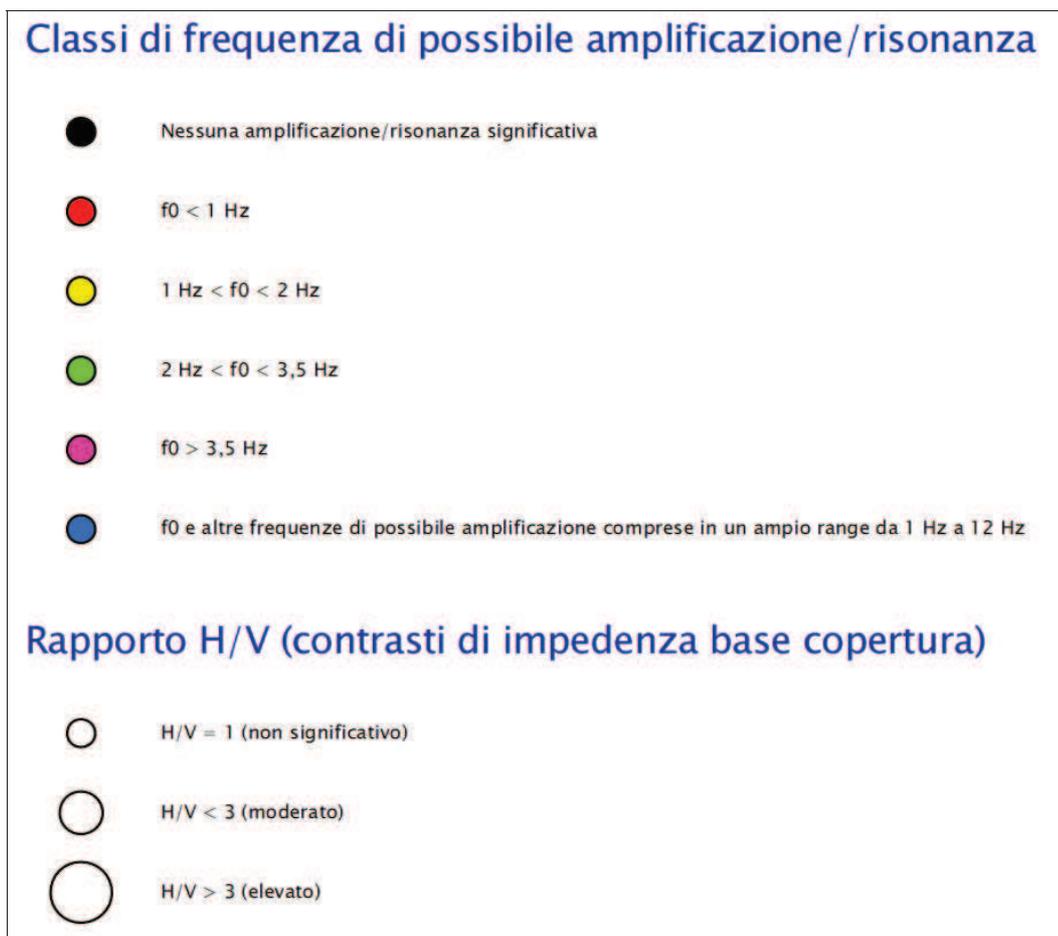


Figura 8.2 – Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Monte San Pietro.

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

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

### 8.3 Carta delle aree suscettibili di effetti locali

La <<carta delle aree suscettibili di effetti locali>>, elaborata alla scala 1:5000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di Microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari per le aree studiate. In questo senso, la cartografia distingue il territorio studiato e lo classifica in “*zone stabili suscettibili si amplificazioni*” (ove è sufficiente un approfondimento sismico di secondo livello) e in “*zone*

*suscettibili di instabilità*” (ove è invece ritenuto opportuno un ulteriore approfondimento di terzo livello).

### *8.3.1 Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico)*

Nelle zone suscettibili di amplificazioni, sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale. Queste zone sono state distinte con numero arabo a quattro cifre, secondo le disposizioni di classificazione della Protezione Civile (formato numerico: “20xy”). Per ogni zona si è infine riportata la relativa equivalenza rispetto alle macrozone definite dal PTCP e come richiesto dalla nuova normativa attuativa provinciale (art. 6.14 NTA). La cartografia elaborata per il Comune di Monte San Pietro distingue le seguenti zone:

- *ZONA 2001 ≡ Coperture eluvio-colluviali sovrastanti bedrock non rigido (IMO2; IMO1) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*  
si tratta di coperture di alterazione eluvio-colluviale, prevalentemente fini e sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio) e alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 15 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.
- *ZONA 2002 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*  
si tratta di sedimenti alluvionali recenti, prevalentemente fini e sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 15 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.
- *ZONA 2003 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (IMO3) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di sedimenti alluvionali recenti, prevalentemente fini e sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sotto unità arenacea IMO3 (Membro di Castel San Pietro). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

- *ZONA 2004* ≡ *Bedrock non rigido affiorante (IMO2) sovrastante IMO1 (pseudo-bedrock sismico) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di bedrock affiorante prevalentemente pelitico attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare al suo Membro di Fossoveggia (IMO2) e che risulta sovrastare di circa 30 metri la sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 30 metri (spessore delle IMO2) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

- *ZONA 2005* ≡ *Bedrock non rigido affiorante (IMO2) sovrastante IMO1 (pseudo-bedrock sismico) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di bedrock affiorante prevalentemente pelitico attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare al suo Membro di Fossoveggia (IMO2) e che risulta sovrastare di circa 25 metri la sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 25 metri (spessore delle IMO2) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

- *ZONA 2006* ≡ *Bedrock non rigido affiorante (IMO2) sovrastante IMO1 (pseudo-bedrock sismico) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di bedrock affiorante prevalentemente pelitico attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare al suo Membro di Fossoveggia (IMO2) e che risulta sovrastare di circa 20 metri la sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini

geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 20 metri (spessore delle IMO2) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

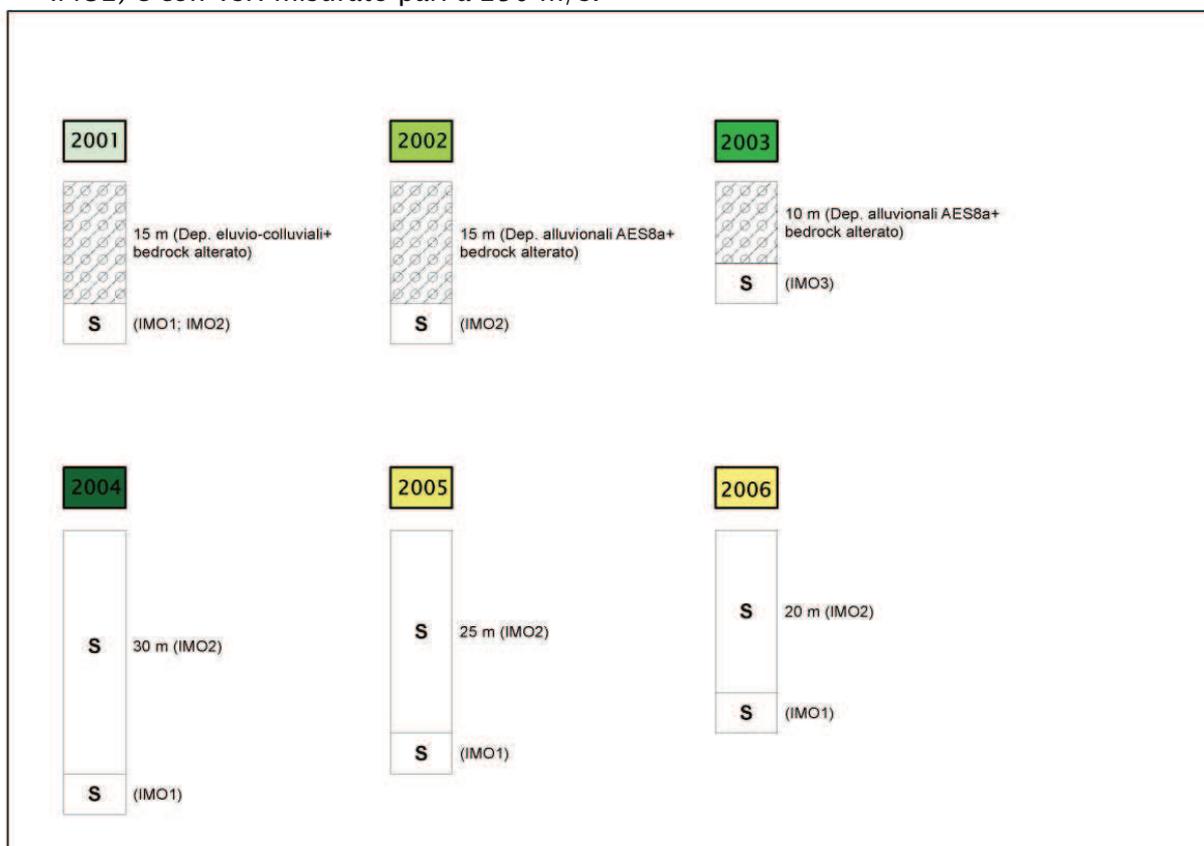


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

- ZONA 2007** ≡ *Bedrock non rigido affiorante (IMO2) sovrastante IMO1 (pseudo-bedrock sismico) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di bedrock affiorante prevalentemente pelitico attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare al suo Membro di Fossoveggia (IMO2) e che risulta sovrastare di circa 15 metri la sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 15 metri (spessore delle IMO2) e con VsH misurato pari a 250 m/s.
- ZONA 2008** ≡ *Bedrock non rigido affiorante (IMO2) sovrastante IMO1 (pseudo-bedrock sismico) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad*

*amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di bedrock affiorante prevalentemente pelitico attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare al suo Membro di Fossoveggia (IMO2) e che risulta sovrastare di circa 10 metri la sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (spessore delle IMO2) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

- *ZONA 2009 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (PAT; FAA) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito sia alla Formazione di Pantano (sigla PAT- Areniti siltose fini e finissime alternate a peliti), sia alla Formazione delle Argille Azzurre (FAA - argille e marne). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 5 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

- *ZONA 2010 ≡ Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (PAT) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di coperture di alterazione colluviale, prevalentemente fini e sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Pantano (sigla PAT - Areniti siltose fini e finissime alternate a peliti), in pendio con acclività <15°. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 5 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

- *ZONA 2011 ≡ Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (PAT) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di coperture di alterazione colluviale, prevalentemente fini e sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Pantano (sigla PAT - Areniti siltose fini e

finissime alternate a peliti ), in pendio con acclività <math><15^\circ</math>. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

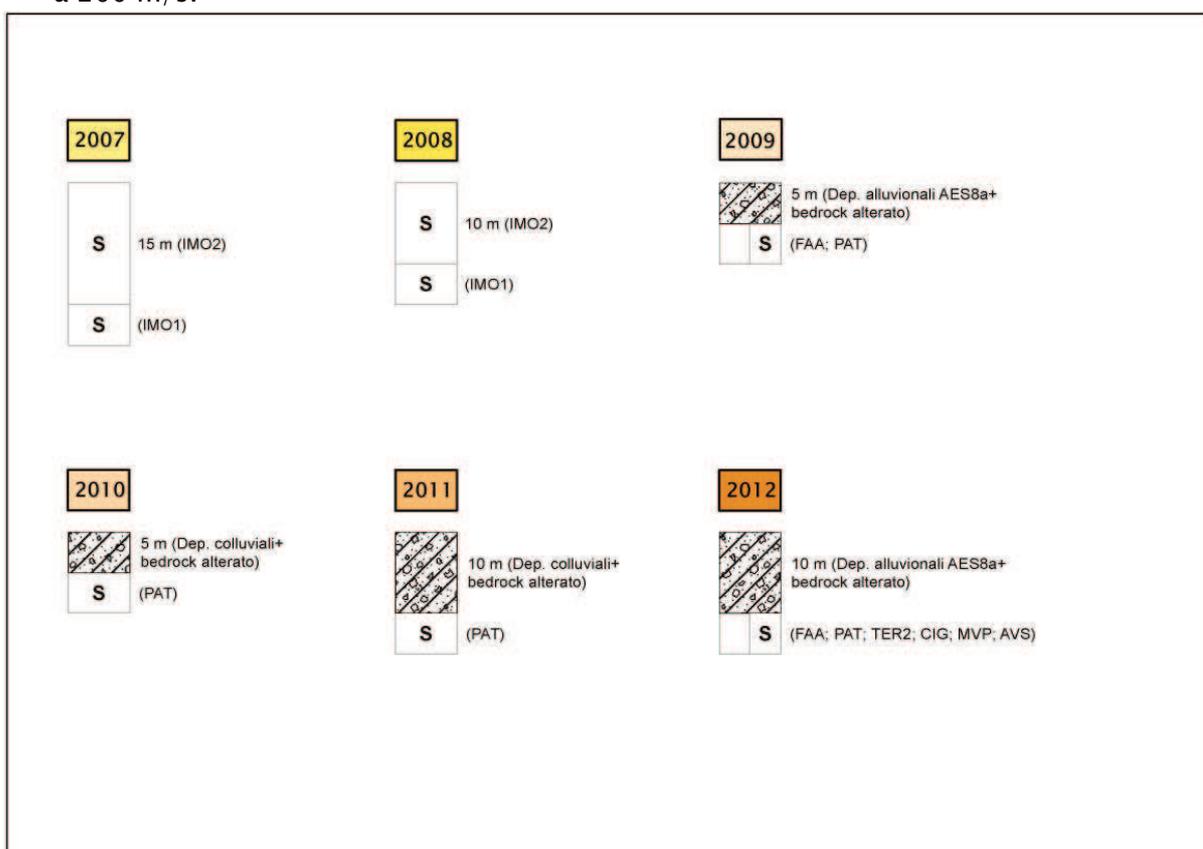


Figura 8.4 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007-2008-2009-2010-2011-2012.

- ZONA 2012  $\equiv$  Coperture alluvionali ghiaiose recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; PAT; TER2; CIG; MVP; AVS)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>> si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.
- ZONA 2013  $\equiv$  Coperture alluvionali ghiaiose recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (AVS; LOI; MOH)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta

*ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

- *ZONA 2014 ≡ Coperture detritiche sovrastanti bedrock non rigido (LOI) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di coperture detritiche di versante sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Loiano (sigla LOI – arenarie da fini a grossolane, anche conglomeratiche). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

- *ZONA 2015 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) e detritiche (paleofrana?) sovrastanti bedrock non rigido (LOI) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di coperture alluvionali ghiaioso argillose e detritiche (forse accumulo di paleofrana stabilizzata) sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Loiano (sigla LOI – arenarie da fini a grossolane, anche conglomeratiche). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 20 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 350 m/s.

- *ZONA 2016 ≡ Bedrock non rigido affiorante (LOI) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Loiano (sigla LOI – arenarie da fini a grossolane, anche conglomeratiche) a costituire picco isolato (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,2$  di cui non si è tenuto conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente ( $V_s = 500$  m/s).

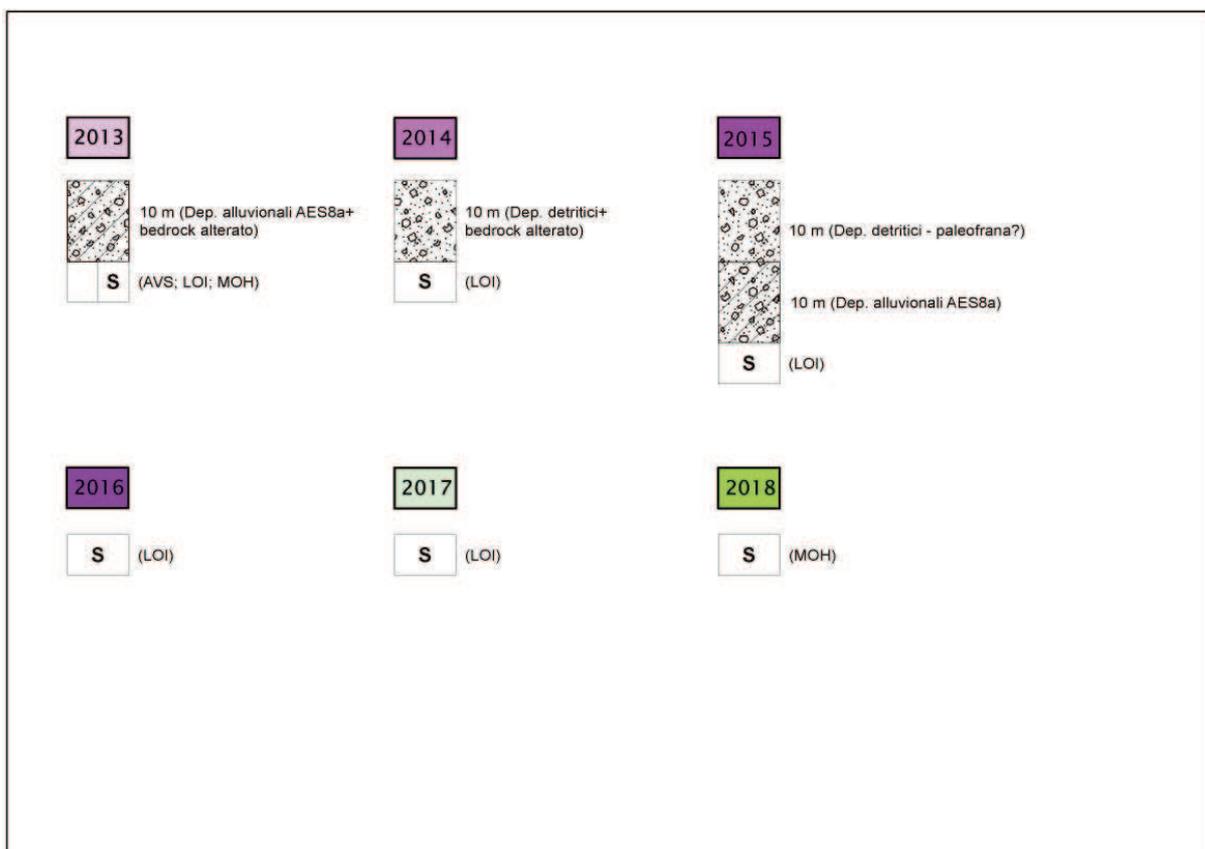


Figura 8.5 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2013-2014-2015-2016-2017-2018.

- **ZONA 2017**  $\equiv$  Bedrock non rigido affiorante (LOI)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>  
 si tratta di bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Loiano (sigla LOI - arenarie da fini a grossolane, anche conglomeratiche) in pendio con acclività da 15° a 30° (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,1$  di cui non si è tenuto conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente ( $V_s = 500$  m/s).
- **ZONA 2018**  $\equiv$  Bedrock non rigido affiorante (MOH)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>  
 si tratta di bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Monghidoro (sigla MOH) a costituire picco isolato sovrastante un pendio con 15° a 40° (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,1$  di cui non si è tenuto conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente ( $V_s = 450$  m/s).
- **ZONA 2019**  $\equiv$  Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (ADO2; FPG; AVSa)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per

*caratteristiche litologiche>>*

si tratta di coperture di alterazione colluviale, prevalentemente fini e sovrastanti bedrock non rigidi in morfologia sub-piana (<15°). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

- *ZONA 2020 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) e coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (AVSa; FPG) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di sedimenti alluvionali ghiaioso argillosi e di coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti sia all'Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia e in particolare alla sia litofacies arenacea (sigla AVSa), sia alla Formazione di Poggio (sigla FPG - Argilliti siltose). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

- *ZONA 2021 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) e coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (AVSa) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di sedimenti alluvionali ghiaioso argillosi e di coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti all'Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia e in particolare alla sia litofacies arenacea (sigla AVSa). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigidi, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 15 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

- *ZONA 2022 ≡ Coperture eoliche e paleosuoli sovrastanti bedrock non rigido (AVN) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*

si tratta di sedimenti fini di alterazione eolica e di paleosuoli sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti all'Unità delle Argille e calcari del torrente Lavinello (sigla AVN - Argilliti). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini

geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 25 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

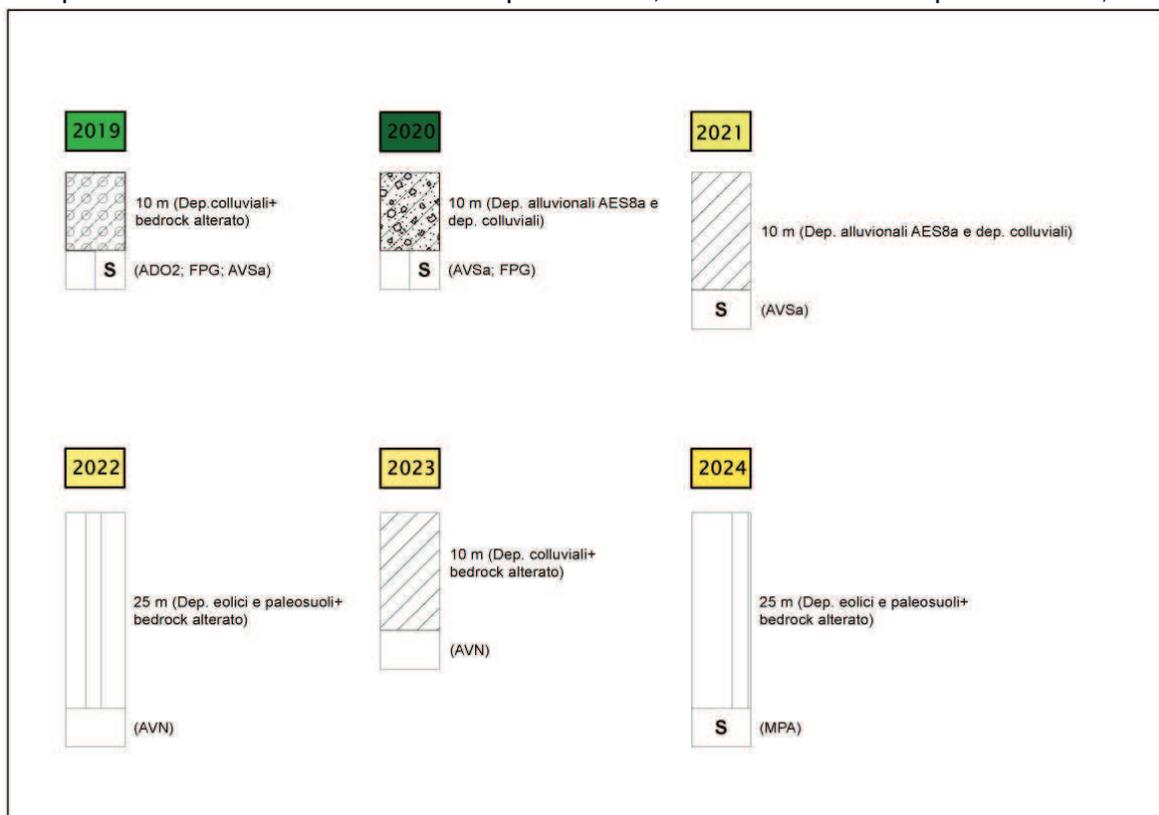


Figura 8.6 – Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2019–2020–2021–2022–2023–2024.

- **ZONA 2023**  $\equiv$  Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (AVN)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di coperture di alterazione/deposizione colluviale sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti all'Unità delle Argille e calcari del torrente Lavinello (sigla AVN – Argilliti). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

- **ZONA 2024**  $\equiv$  Coperture eoliche e paleosuoli sovrastanti bedrock non rigido (MPA?)  $\equiv$  equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di sedimenti fini di alterazione eolica e di paleosuoli sovrastanti bedrock non

rigidi attribuiti alla Formazione di Monte Pastore (sigla MPA ), in pendio con acclività pari a 15°–20°. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tomografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 25 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

### 8.3.2 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>> vengono contraddistinte con diverso colore, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. La cartografia riporta anche le <<aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate>> ai sensi dell'art. 6.2 dell'NTA del PTCP di Bologna.

Per ogni zona è riportata la relativa equivalenza rispetto alle macrozone definite dal PTCP, come richiesto dalla nuova normativa attuativa provinciale (art. 6.14 NTA). In conclusione per il territorio di Monte San Pietro, sono state definite le seguenti aree, che dovranno necessariamente essere oggetto di ulteriori approfondimenti sismici di terzo livello:

- Instabilità di versante attiva  $\equiv$  equivalente a FP (PTCP) cioè <<Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche>>  
si tratta di frane classificate attive situate in pendio con acclività  $\geq 15^\circ$ .
- Instabilità di versante quiescente  $\equiv$  equivalente a Q (PTCP) cioè <<Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>> o QP (PTCP) cioè <<Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche>>  
si tratta di frane classificate quiescenti situate in pendii con acclività  $< 15^\circ$  e/o  $\geq 15^\circ$ .
- Instabilità di versante non definita  $\equiv$  definire equivalenza con macrozone PTCP sulla base degli ulteriori approfondimenti di terzo livello  
sono state distinte le seguenti sub zone potenzialmente instabili in condizioni sismiche:  
“A”  $\rightarrow$  pendii con acclività variabili da 15° a 35° in prossimità di movimenti franosi attivi e/o quiescenti);  
“B”  $\rightarrow$  pendii con acclività fino a 30° con coperture detritiche e o accumuli di paleofrana, in prossimità di movimenti franosi attivi e/o quiescenti);  
“C”  $\rightarrow$  zone di potenziale interferenza ovvero possibile evoluzione o influenza, possibile arrivo/accumulo di movimenti franosi limitrofi;  
“D”  $\rightarrow$  pendii con acclività fino a 30° potenzialmente instabili per condizioni litologiche (coperture e/o bedrock alterato) e/o morfologiche.

- Liquefazioni  $\equiv$  *equivalente a L1 (PTCP) cioè <<Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione>>*  
si tratta di zone caratterizzate da presenza di intervalli significativi di sabbie limose e limi sabbiosi e/o argillosi in falda (conoide alluvionale di corsi d'acqua minori, caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle “Sabbie di Imola”).
- Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti  $\equiv$  *equivalente a D (PTCP) cioè <<Fascia soggetta ad amplificazione e potenziali cedimenti differenziali>>*  
si tratta di aree caratterizzate da bedrock molto fratturato, con presenza di faglie dirette, classificate per questo lavoro come “non attive” ma necessariamente da verificare nel caso di interventi edificatori ricadenti entro tale zona.
- Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate  
oltre alla aree omogenee di pericolosità sismica sopra descritte, si sono riportate le aree a rischio di frana già zonizzate e perimetrate e soggette a specifica normativa (si demanda all'art. 6.2 delle NTA del PTCP di Bologna).

#### 8.4 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

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

Nel caso di Monte San Pietro, 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 zone omogenee dal punto di vista sismico, sono riportate nel paragrafo 8.3, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

## 8.5 Carta di Microzonazione sismica livello 2

La <<Carta di Microzonazione sismica livello 2>>, elaborata alla scala 1:5.000, riporta per tutte le “zone stabili suscettibili di amplificazione” (individuate nella già descritta <<Carta delle aree suscettibili di effetti locali>>) 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 pertanto 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 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  $0.1 < T_0 < 0.5$  s e  $FA_{SI}$  per l'intervallo  $0.5 < T_0 < 1$  s. 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) della Protezione Civile, che consentono di evidenziare con dovuta chiarezza quali aree risultano più critiche dal punto di vista della risposta sismica.

La cartografia di Microzonazione riporta nuovamente le “zone suscettibili di instabilità”, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. Si rammenta che, per quanto riguarda le situazioni di instabilità di versante, la cartografia di Microzonazione non discrimina le differenti tipologie di dissesto in termini di stato di attività: per questa ulteriore informazione si rimanda alla consultazione della precedente <<Carta delle aree suscettibili di effetti locali>> ove si riportano anche i principali approfondimenti richiesti nelle successive fasi di pianificazione.

## **9 Appendice al RUE: prescrizioni normative in materia di pericolosità sismica**

Le seguenti prescrizioni si intendono applicabili a tutti i Comuni dell'Area Bazzanese.

### **Art .\_1 – Norme e indirizzi di riferimento per le indagini e gli approfondimenti sismici**

1. Delibera Assemblea Legislativa Regione E.R. n.112 del 2 maggio 2007: approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 *“Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio” in merito a “Indirizzi per gli studi microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale”*.
2. 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.
3. Linee guida AGI sulle costruzioni in zone sismiche (pubblicate in forma provvisoria e in corso di stesura definitiva).
4. Variante 2013 al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale in materia sismica: nuovo art. 6.14 delle NTA (definisce le macrozone di pericolosità sismica; fornisce le prime indicazioni sui limiti e sulle condizioni per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale). La normativa, indica per le macrozone il dettaglio di approfondimento richiesto e le eventuali limitazioni edificatorie di riferimento per la pianificazione comunale .
5. PSC dei Comuni dell'Area Bazzanese: Norme (capo 1 “valutazione del rischio sismico e adempimenti relativi”). Le norme riportano ulteriori disposizioni di carattere tecnico per gli approfondimenti sismici da espletare.

### **Art .\_2 – Studi sismici conoscitivi di riferimento per la pianificazione comunale e per gli interventi diretti**

1. Per le aree urbane e urbanizzabili costituiscono riferimento conoscitivo e cartografico gli approfondimenti della pericolosità sismica e lo studio di microzonazione sismica di “secondo livello” elaborati a scala comunale (vedi successivo Art. .\_3).
2. Per le aree escluse dallo studio di microzonazione sismica costituiscono riferimento conoscitivo e cartografico i seguenti elaborati:

<<*Tavola 2.C – Rischio sismico – Carta provinciale degli effetti locali attesi*>> (elaborato della Variante 2013 al PTCP in materia sismica, alla scala 1:60.000 per la pianura e alla scala 1:25.000 per la collina/montagna). Costituisce un primo livello di approfondimento sismico dell'intero territorio provinciale, identificando gli scenari di pericolosità sismica).

<<Tavola AB.B2.04a/b - Pericolosità sismica preliminare>> (elaborato del PSC in forma associata, alla scala 1:25.000). Anch'essa costituisce un primo livello di approfondimento sismico dell'intero territorio comunale)

Per tali aree si dovranno assumere, come riferimento per le eventuali ulteriori indagini sismiche, il contesto di pericolosità sismica più gravoso (cautelativo) che emerge dal confronto delle due citate tavole. Si rimanda, infine, alle disposizioni dettate dall'art. 6.14 del PTCP per il contesto di pericolosità sismica riscontrato, in particolare per il dettaglio di approfondimento richiesto e per le eventuali limitazioni edificatorie.

### **Art .3 Microzonazione sismica elaborata in sede di Piano Strutturale Comunale**

1. Il PSC ha elaborato, esclusivamente per le aree urbanizzate e urbanizzabili (e per alcune porzioni o fasce ristrette di territorio limitrofo), gli approfondimenti di pericolosità e la microzonazione sismica, così come richiesto dalla DAL 112/2007 e dal nuovo art. 6.14 delle NTA del PTCP.
2. Per ogni Comune si sono prodotti i seguenti elaborati:
  - Relazione illustrativa;
  - Carta Geologico-tecnica; Carta delle frequenze naturali dei terreni; Carta delle velocità delle onde di taglio Vs (a scale variabili da 1:5.000 a 1:10.000);
  - Carta delle aree suscettibili di effetti locali (alla scala 1:5.000);
  - Carta di microzonazione sismica livello 2 (scala 1:5.000).
3. La tavola <<Carta delle aree suscettibili di effetti locali>> (scala 1:5.000) suddivide il territorio studiato in zone omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale. In particolare, tale cartografia distingue:
  - “Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”, per le quali è sufficiente un approfondimento di “secondo livello” (già espletato per le zone urbane e urbanizzabili), ai sensi della DAL 112/2007. La cartografia riporta, in legenda, il contesto geologico sintetico caratteristico. Le zone vengono distinte con un numero progressivo (codice tipo “20xy”). Per ogni zona è riportata la relativa equivalenza rispetto alle macrozone definite dal PTCP, come richiesto dalla nuova normativa attuativa provinciale (art. 6.14 NTA).
  - “Zone suscettibili di instabilità”, per le quali sono ineludibili gli ulteriori approfondimenti sismici spinti fino al “terzo livello” conoscitivo, ai sensi della DAL 112/2007. La cartografia riporta, in legenda, il contesto di criticità sintetico per ogni zona e gli approfondimenti sismici necessari per le ulteriori fasi di pianificazione. Per ogni zona è riportata la relativa equivalenza rispetto alle macrozone definite dal PTCP, come richiesto dalla nuova normativa attuativa provinciale (art. 6.14 NTA): ad essa si rimanda per ulteriori disposizioni sul livello di approfondimento richiesto e per le eventuali limitazioni edificatorie.

4. La tavola <<*Carta di microzonazione sismica livello 2*>> (scala 1:5.000) riporta gli esiti di risposta sismica semplificata (secondo livello) elaborata per territorio urbano e urbanizzabile, secondo i criteri dettati dalla DAL n.112/2007, ovvero stimando i seguenti fattori di amplificazione (FA):

- FA (Pga)
- FA S.I. (intervallo da 0,1s a 1,0s)
- FA S.I. (intervallo da 0,5s a 1,0s)

I tre fattori di amplificazione vengono riportati separatamente in altrettante cartografie, suddivisi in classi di intensità (rappresentate da diverso colore pieno), per discriminare gli esiti di risposta sismica locale ricavati dalla modellazione semplificata.

#### **Art \_4 Aree individuate dallo studio di microzonazione comunale che richiedono approfondimenti sismici di “terzo livello”**

1. Per le aree urbane/urbanizzabili ricadenti completamente o parzialmente nelle “Zone suscettibili di instabilità”, individuate cartograficamente nella tavola comunale <<*Carta delle aree suscettibili di effetti locali*>> alla scala 1:5.000 (vedi precedente art. \_3), sono ineludibili i seguenti approfondimenti di carattere sismico, così come dettato anche dall'art. 6.14 delle NTA del PTCP che li richiama in funzione della definizione dell'ammissibilità degli interventi di previsione ammessi per tali aree:

- nelle zone con “instabilità di versante” attiva, quiescente e non definita (per ogni Comune, la legenda discrimina e descrive sinteticamente le situazioni localmente riscontrate), sono richiesti rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici e analisi numerica della risposta sismica locale. Per le zone con instabilità non definita, gli approfondimenti consentiranno di attribuire l'area studiata alla macrozona del PTCP (vedi art. 6.14 delle NTA), necessario per definire le eventuali limitazioni edificatorie.
- nelle aree con “cedimenti differenziali” (comprese le zone caratterizzate da terreni con valori di  $c_u \leq 70$  kPa), sono richiesti rilievi in sito di dettaglio, verifiche geotecniche, analisi numerica della risposta sismica locale;
- nelle aree con “liquefazioni” (per ogni Comune, la legenda discrimina e descrive sinteticamente le situazioni localmente riscontrate), sono richieste verifiche quantitative della liquefazione/densificazione (con prove CPTU), stima dei cedimenti post-sisma e analisi numerica della risposta sismica locale;
- nelle aree con “sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti” (per ogni Comune, la legenda discrimina e descrive sinteticamente le situazioni localmente riscontrate), sono richiesti rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi

pseudo-statici e/o dinamici e analisi numerica della risposta sismica locale anche bidimensionale se necessaria.

2. Per le aree urbane/urbanizzabili ricadenti completamente nelle zone stabili “suscettibili di effetti locali” (con amplificazione del moto sismico), è invece sufficiente l'approfondimento di “secondo livello” già espletato per il PSC. Peraltro, se ulteriori indagini geologiche riscontrassero, per determinati ambiti o siti, condizioni locali significative di potenziale instabilità di versante, di potenziale liquefacibilità e/o di potenziali cedimenti in caso di evento sismico, allora sarà ineludibile procedere con gli ulteriori approfondimenti di “terzo livello”. In tal senso, si rammenta che la presenza di spessori significativi di depositi fini poco coesivi ( $c_u \leq 70$  kPa) e poco consistenti impone la stima dei cedimenti post-sisma, come indicato dalla DAL 112/2007 (allegato A3.E).
3. I riferimenti tecnici (indirizzi e linee guida) e normativi per espletare gli ulteriori approfondimenti di terzo livello sono richiamati nel precedente Art. 5.1.

#### **Art 5.5 Adempimenti e prescrizioni per la pianificazione operativa e attuativa (POC e PUA)**

1. La tavola <<Carta delle aree suscettibili di effetti locali>> (scala 1:5.000) elaborata per il PSC costituisce il riferimento conoscitivo per le aree urbane e urbanizzabili: la cartografia distingue per quali aree si richiedono ulteriori approfondimenti sismici di “terzo livello” da espletarsi nelle successive fasi di pianificazione (POC e/o PUA se previsto) e per quali aree sono sufficienti gli approfondimenti di “secondo livello” (microzonazione sismica semplificata).
2. In fase di elaborazione dei Piani Operativi Comunali (e delle eventuali varianti) e/o dei Piani Urbanistici Attuativi, si dovranno espletare le analisi di massimo approfondimento sulla sismica, ovvero il “terzo livello” come previsto dagli indirizzi regionali (DAL 112/2007), se l'area di interesse è compresa o intersecante le zone che necessitano di questi ulteriori studi. In ogni caso, il POC dovrà stabilire un programma di indagini (scelta degli strumenti d'indagine da utilizzare e densità minima delle prove da svolgere), in relazione all'ampiezza del territorio interessato e in funzione del contesto geologico e sismico di riferimento.
3. Per gli approfondimenti sismici di “terzo livello”, costituiscono fondamentale riferimento tecnico e normativo gli elaborati richiamati nel precedente Art. 5.1.

#### **Art 5.6 Adempimenti e prescrizioni per gli interventi diretti**

1. Il riferimento normativo fondamentale è costituito dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC) vigenti. Peraltro, gli studi di pericolosità sismica elencati nel precedente Art. 5.2 costituiscono base conoscitiva anche per gli interventi diretti. In questo senso, se tali interventi ricadono in zone per le quali sono richiesti

approfondimenti sismici di “terzo livello”, il permesso a costruire è ineludibilmente subordinato agli esiti delle analisi di dettaglio, coerentemente con quanto indicato nelle NTC vigenti, ed elaborate in funzione delle caratteristiche prestazionali del manufatto/i di progetto.

#### **Art x.7 Aree di rilevante interesse pubblico**

1. Per le aree di rilevante interesse pubblico (classificate strategiche in base alla DGR 1661/2009, a prescindere dal contesto di pericolosità sismica in cui ricadono, è comunque necessario effettuare approfondimenti di “terzo Livello” (art. 4.2 DAL 112/2007). In questo senso, gli studi elaborati alla scala provinciale (PTCP) e comunale (PSC) costituiranno base conoscitiva essenziale e propedeutica agli ulteriori approfondimenti.

#### **Art x.8 Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate (PSAI)**

1. La tavola <<*Carta delle aree suscettibili di effetti locali*>> (scala 1:5.000) riporta le aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate (PSAI e Comuni), che risultano soggette a specifica normativa sovraordinata. Si rimanda alla normativa attuativa del PTCP e in particolare all'art. 6.2 e all'art. 6.14 per gli aspetti di valutazione sismica.

## 10 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>>”.*