



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Monte San Pietro



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

Indice generale

1	Introduzione.....	2
2	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	6
2.1	Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento.....	6
2.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	11
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	13
3.1	Aspetti geologici e tettonici generali.....	13
3.2	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	16
3.2.1	Area Chiesa Nuova.....	16
3.2.2	Area San Martino.....	17
3.2.3	Area Calderino.....	18
3.2.4	Area frazione Monte San Giovanni.....	21
3.2.5	Area frazioni Oca e Badia.....	23
3.2.6	Area Montepastore.....	25
3.2.7	Depositi quaternari e bedrock marino rilevanti per le aree di studio.....	27
4	Dati geotecnici e geofisici.....	32
4.1	Dati pregressi.....	32
4.2	Dati ex novo.....	32
5	Modello di sottosuolo.....	39
5.1.1	Area Chiesa Nuova.....	39
5.1.2	Area San Martino.....	40
5.1.3	Area Calderino.....	41
5.1.4	Area frazione Monte San Giovanni.....	42
5.1.5	Area frazioni Oca e Badia.....	43
5.1.6	Area Montepastore.....	44
6	Interpretazioni e incertezze.....	46
7	Metodologie di elaborazione e risultati.....	47
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	47
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	48
7.3	Esiti della microzonazione di secondo livello.....	49
8	Elaborati cartografici.....	50
8.1	Carta delle indagini.....	50
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	50
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	52
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	54
8.4.1	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	54
8.4.2	Zone suscettibili di instabilità.....	62
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	63
8.6	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	63
9	Bibliografia.....	66

1 Introduzione

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

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

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

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

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

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

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

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

sismica di secondo livello ha interessato solamente le aree urbanizzate e le aree di nuova previsione edificatoria individuate dal PSC di Monte San Pietro: Calderino (sede del Municipio) e le frazioni di Chiesa Nuova, San Martino, Monte San Giovanni, Oca, Badia e Montepastore. Le aree studiate hanno incluso un'ulteriore fascia esterna (“buffer”) variabile fino a circa 15 m. Nel Lavoro si è dunque tenuto conto degli esiti degli studi sismici preliminari, aggiornandoli sulla base dei contenuti richiesti dalla citata normativa sismica di riferimento per questo lavoro.

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

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



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

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster fornito dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia (utilizzato anche per le cartografie prodotte per il Piano Strutturale di Monteveglio), più aggiornato per quanto riguarda lo stato

dell'urbanizzato (edifici e viabilità). La topografia raster è stata elaborata partendo dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 (elementi: 220062; 220073; 220101; 220102; 220113; 220114; 220141; 220142; 220143; 220144; 220153; 220154; 237021; 237022; 237023; 237024).

Per questo lavoro, la base topografica vettoriale è stata e georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS_1984_UTM_Zone_33N", per produrre tutti gli strati informativi delle analisi in coerenza con quanto richiesto dalla deliberazione regionale n.1302/2012.

La figura 1.1 propone un inquadramento del limite comunale di Monte San Pietro rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna: si tratta di un'Amministrazione situata in contesto collinare (appenninico) e vallivo, di estensione areale complessiva pari a circa 7.465 ettari.

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

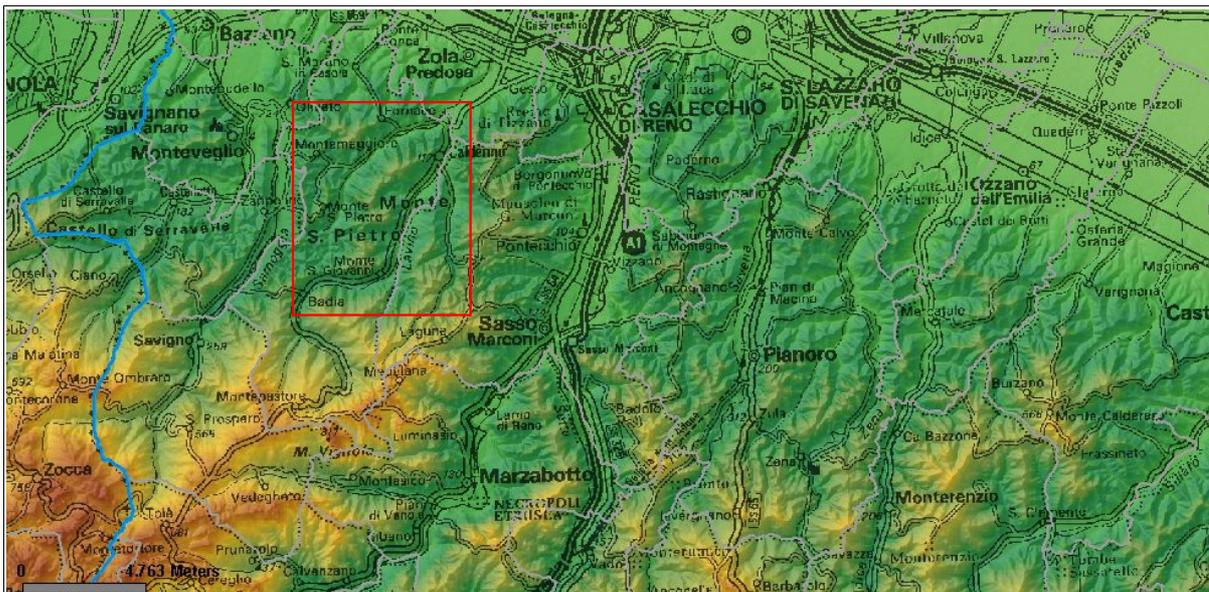


Figura 1.2- Corografia del territorio di Monte San Pietro e dei Comuni limitrofi a SO di Bologna (su base topografica alla scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna).

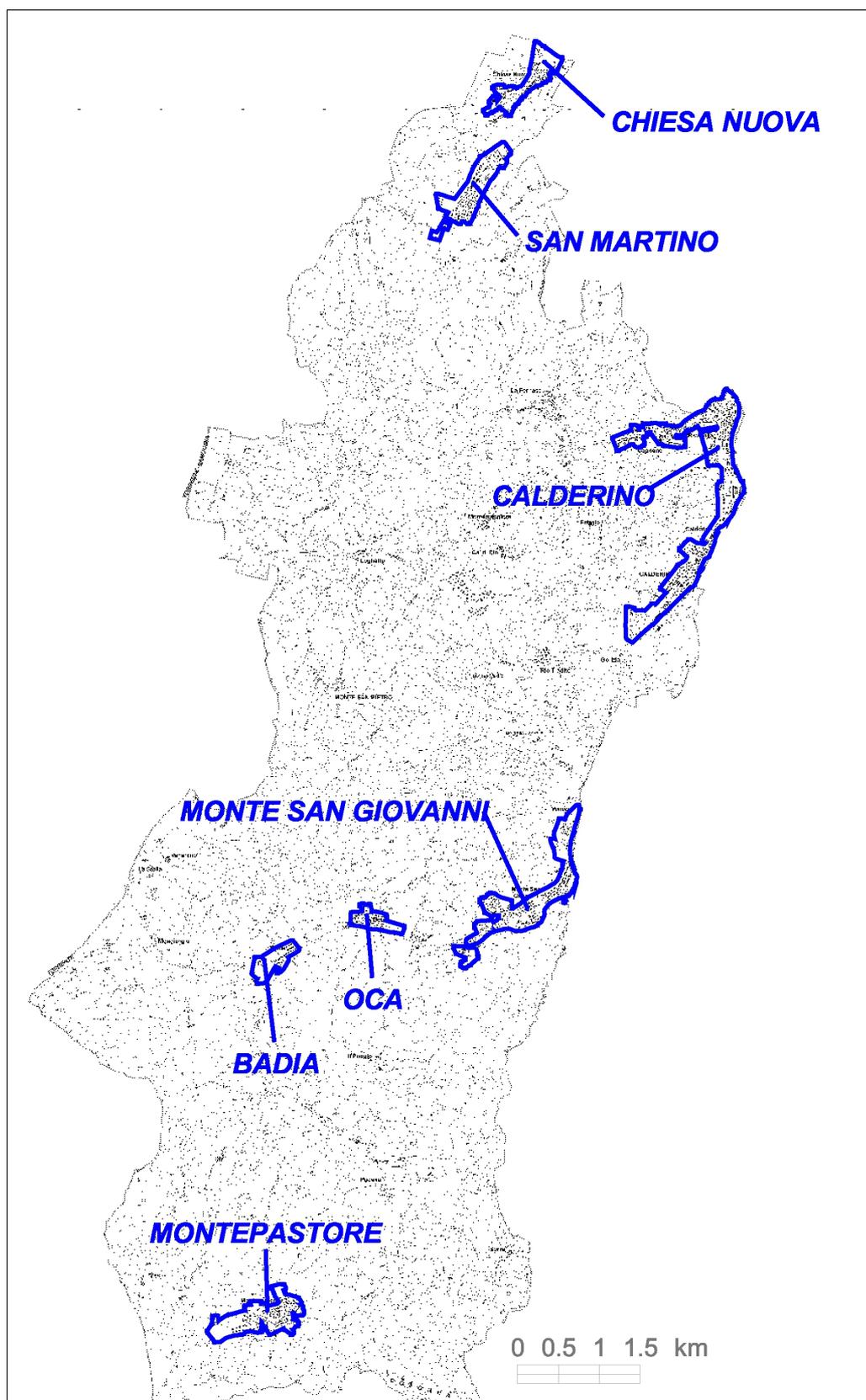


Figura 1.3- Delimitazione delle aree oggetto di indagine (su base topografica alla scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna).

2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1 Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento

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

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

Recentemente, la Regione Emilia-Romagna, a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso, ha prodotto la <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>>, edita nel 2004 alla scala 1:250.000, che riporta gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo $M > 4$, le strutture attive e quelle potenzialmente sismogenetiche (della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano-adriatico) ed i relativi meccanismi focali tettonici. La localizzazione degli epicentri si è basata sulla catalogazione nazionale dei terremoti CPTI⁶. La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di 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 2.0⁷ ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di

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

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

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

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

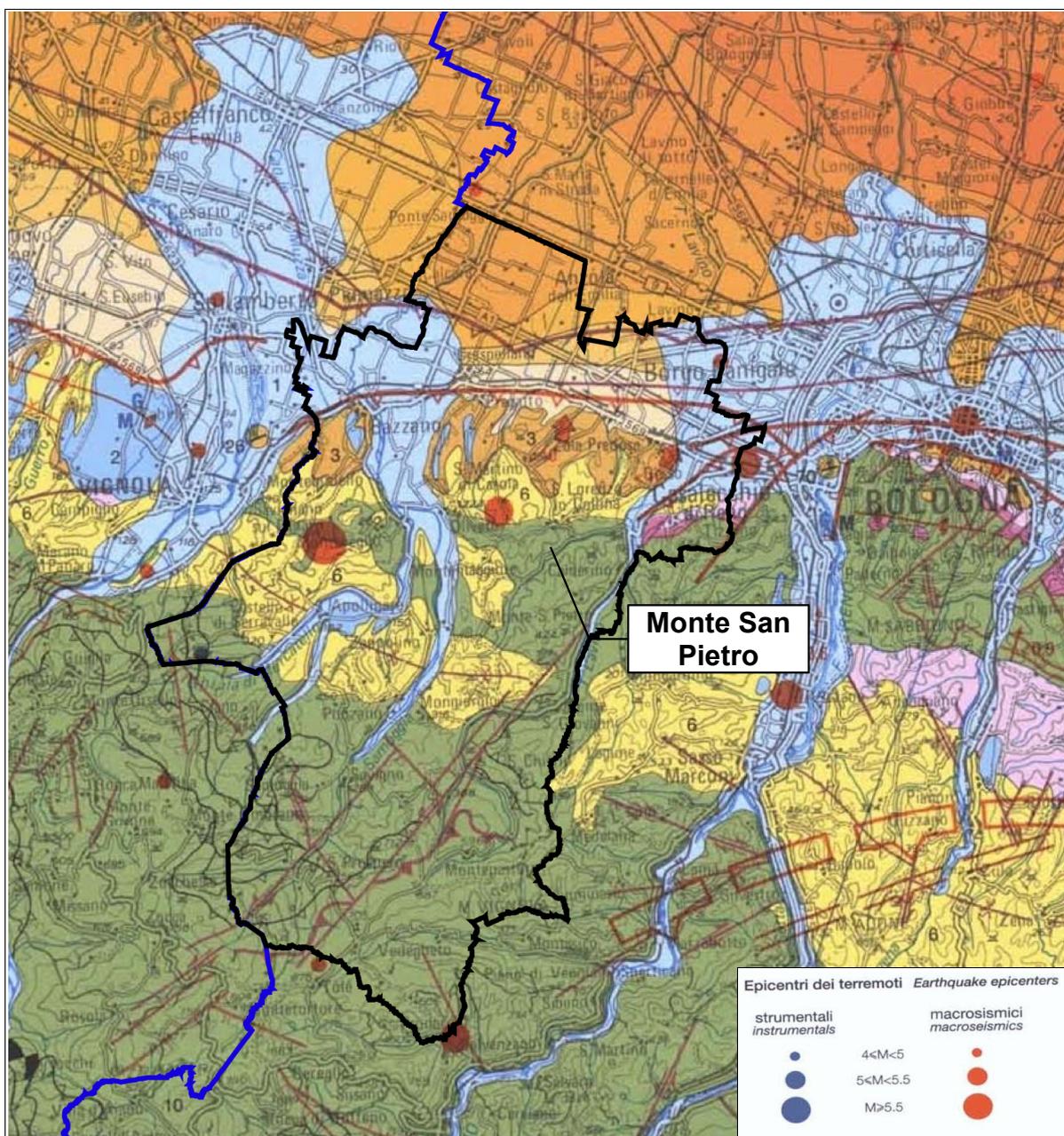


Figura 2.1- Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Monte San Pietro) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali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

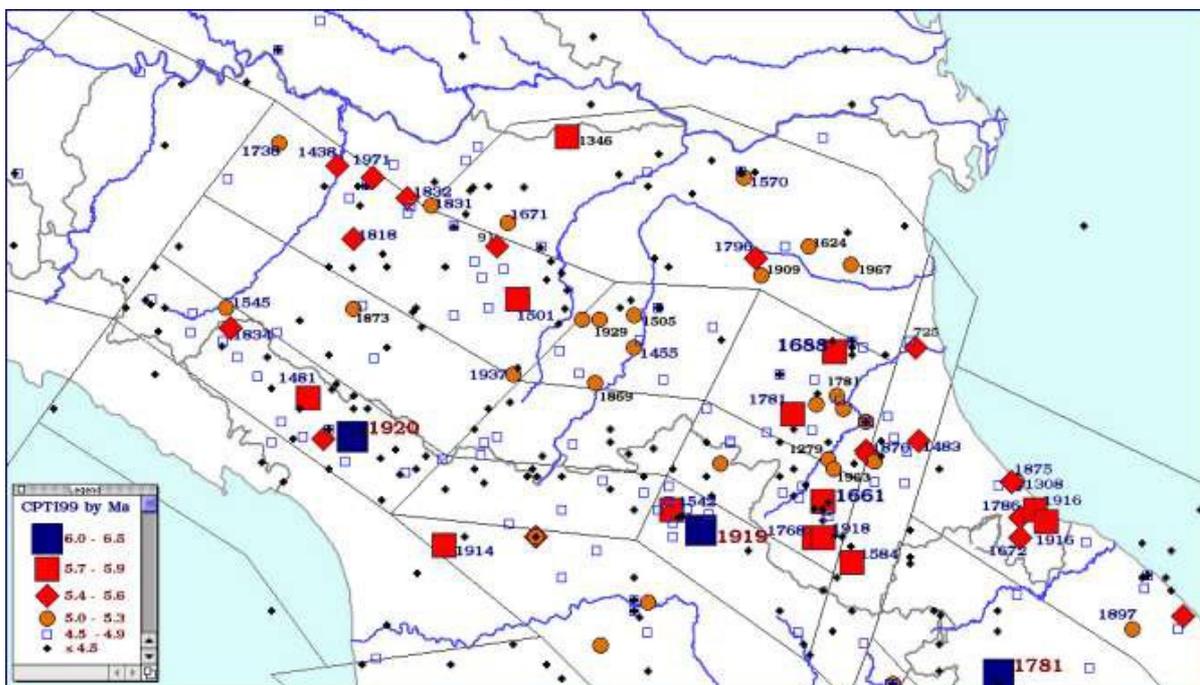


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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, Sarnanno, 1873);
- la ITCS047 che interessa i territori appenninici e pedeappenninici di Castello di

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

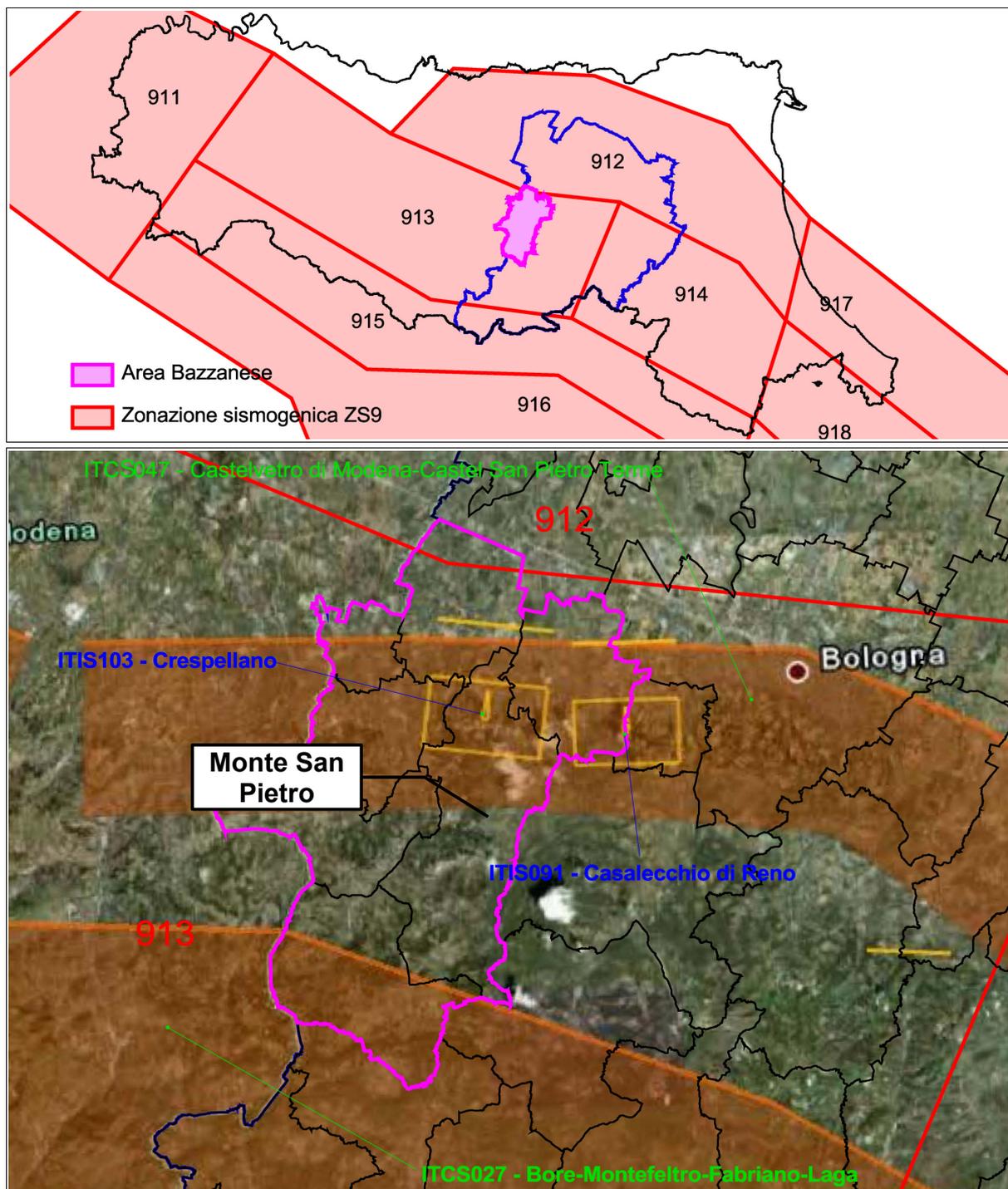


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

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

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)

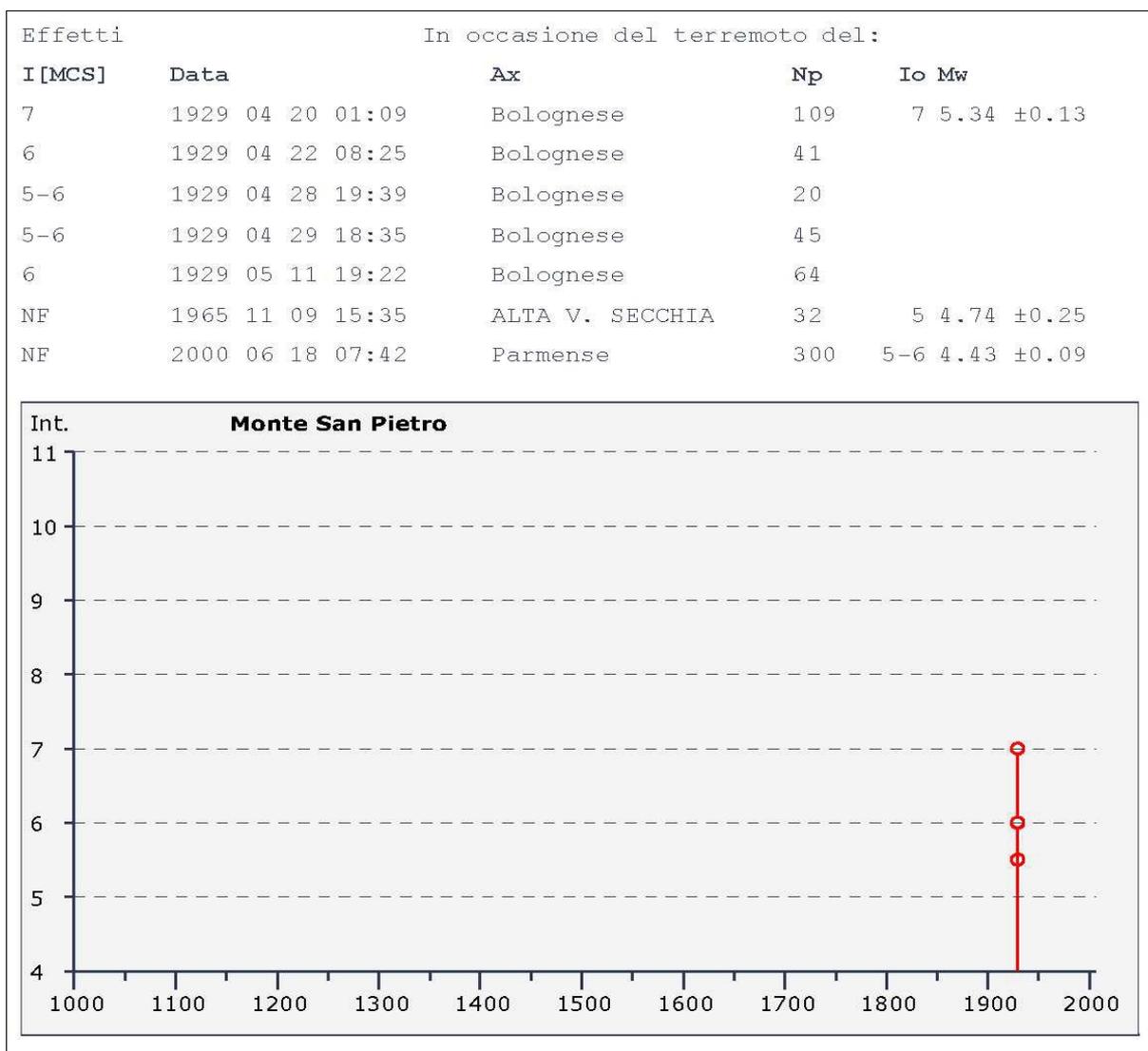


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Monte San Pietro e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

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 ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali.

È così possibile ricavare lo spettro di risposta e gli accelerogrammi di riferimento per ogni Comune riscaldando lo spettro normalizzato di figura 2.5 con la a_{refg} attribuita allo stesso Comune (figura 2.6). Per il territorio amministrativo di 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 ISESD.

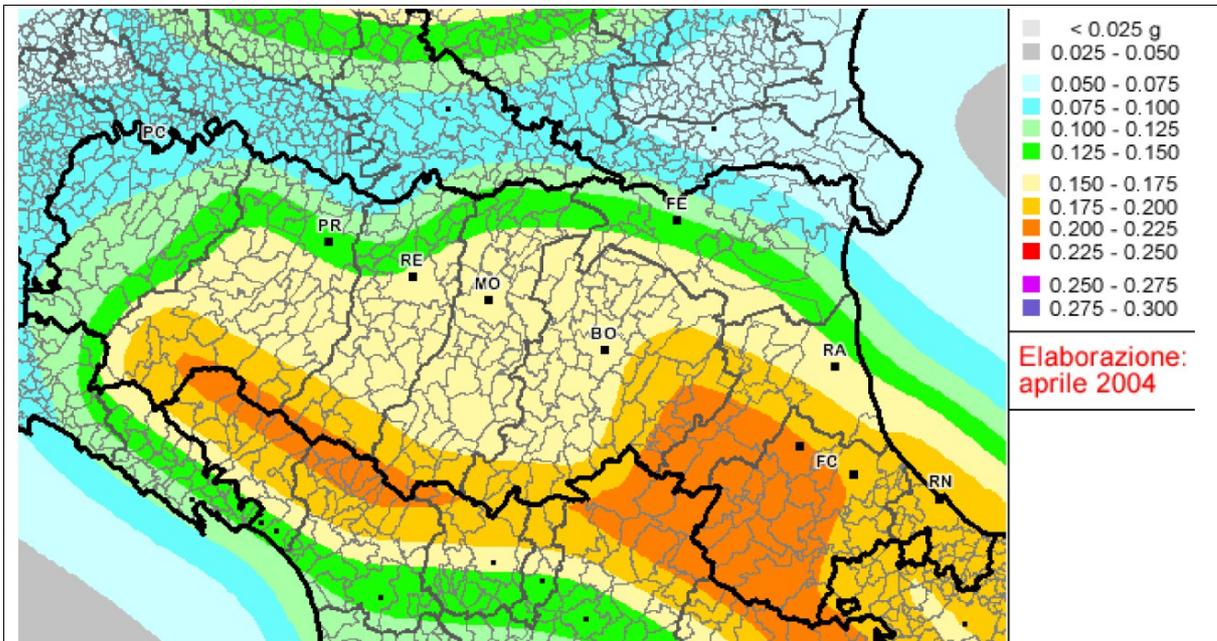
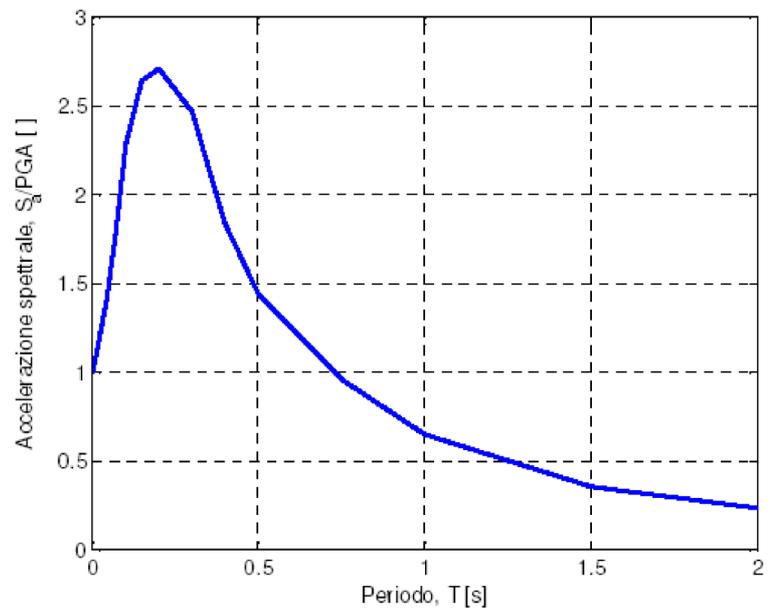


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio di Monte San Pietro Monteveglio è quello di zona di transizione da “catena” a “margine” appenninico. In figura 3.1 è inquadrato il contesto tettonico locale relativo al territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (che comprende anche il Comune di Monte San Pietro).

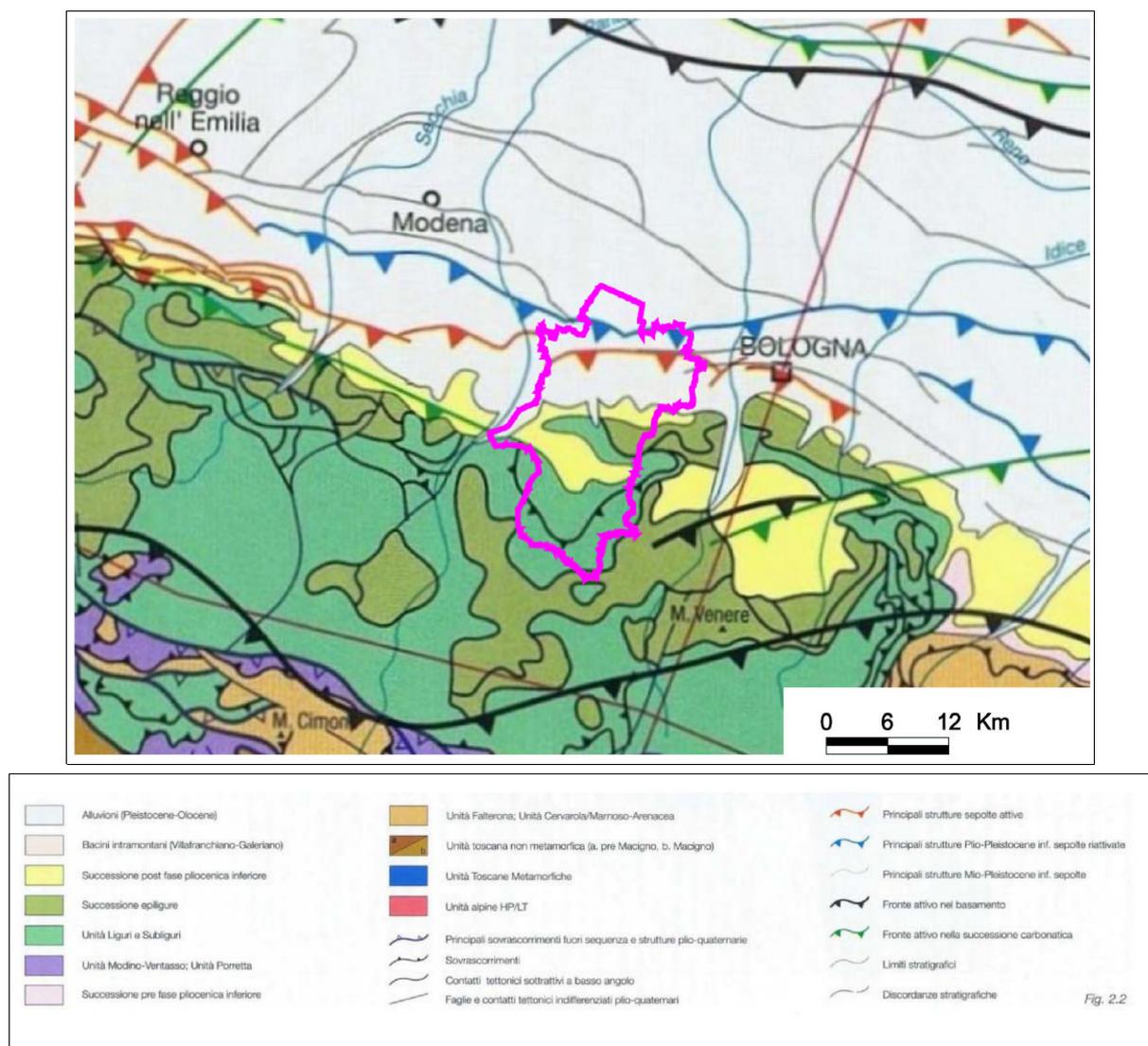


Figura 3.1 – Schema tettonico dell'area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell'area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

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 “Pieghie 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).

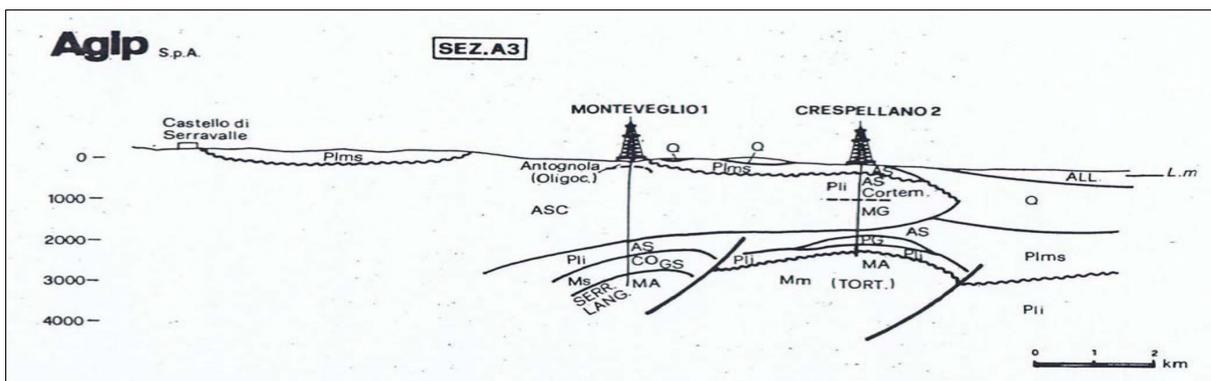


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino e del suo margine tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la “catena sepolta”, la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale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

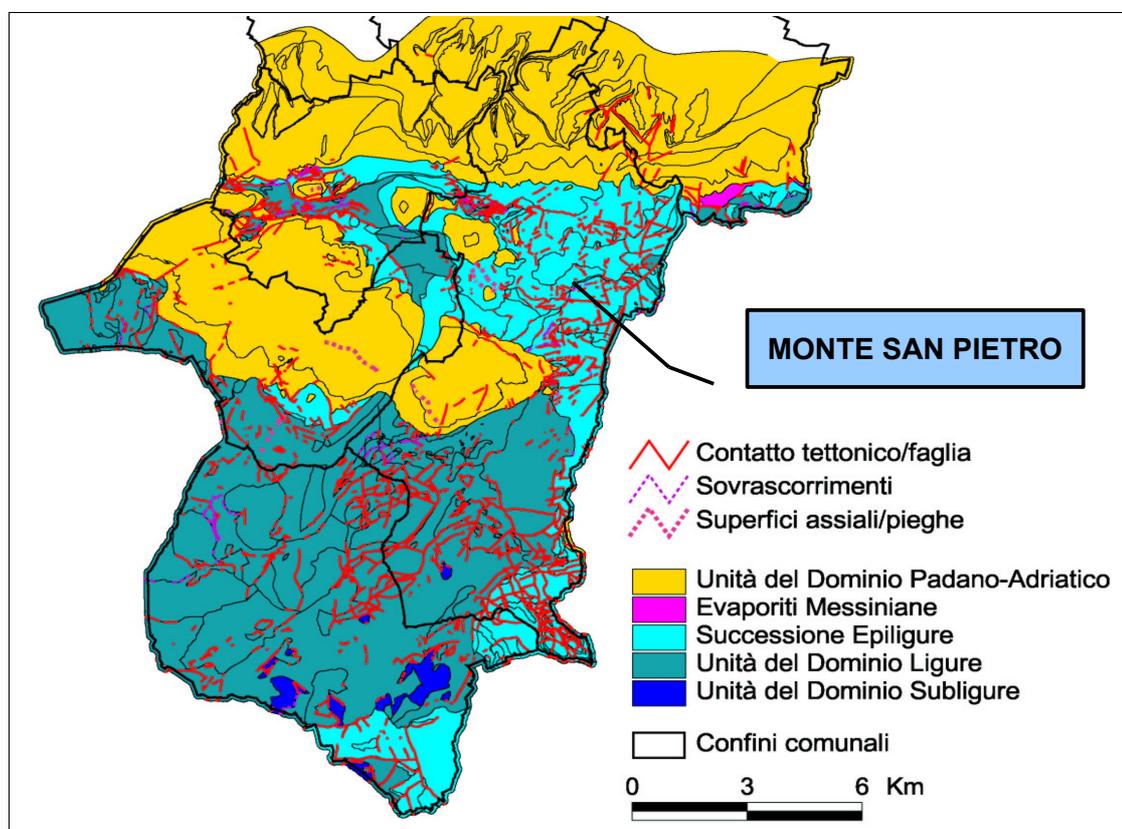


Fig. 3.3 Schema geo litologico del territorio montano e collinare di Monte San Pietro e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

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;
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-Romagna⁸.

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 vallecola 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.

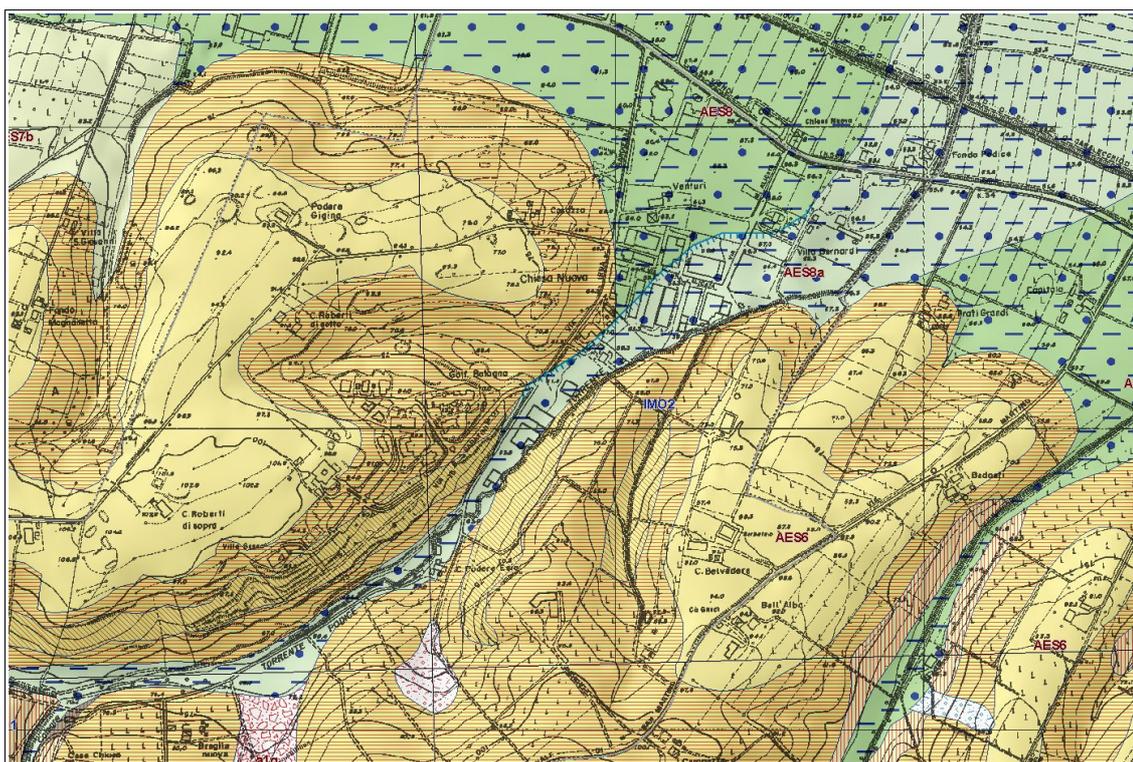


Figura 3.4 – Area di studio Chiesa Nuova: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Occorre rammentare che la cartografia geologica (figura 3.4) distingue le coperture alluvionali secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli

⁸ Cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss.

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

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 invisita dal rio Casella) offrono buoni elementi per la ricostruzione della stratigrafia locale (figura 3.5).

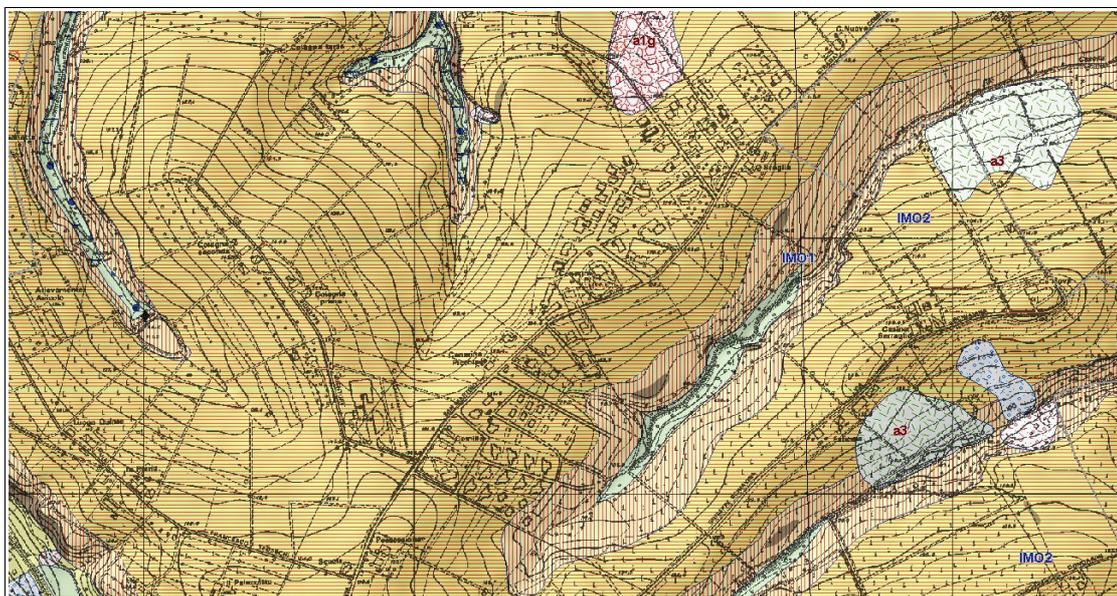


Figura 3.5 - Area di studio San Martino: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

In particolare si evince come l'assetto stratigrafico sia chiaramente a “monoclinali” 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.

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 3.7) 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.

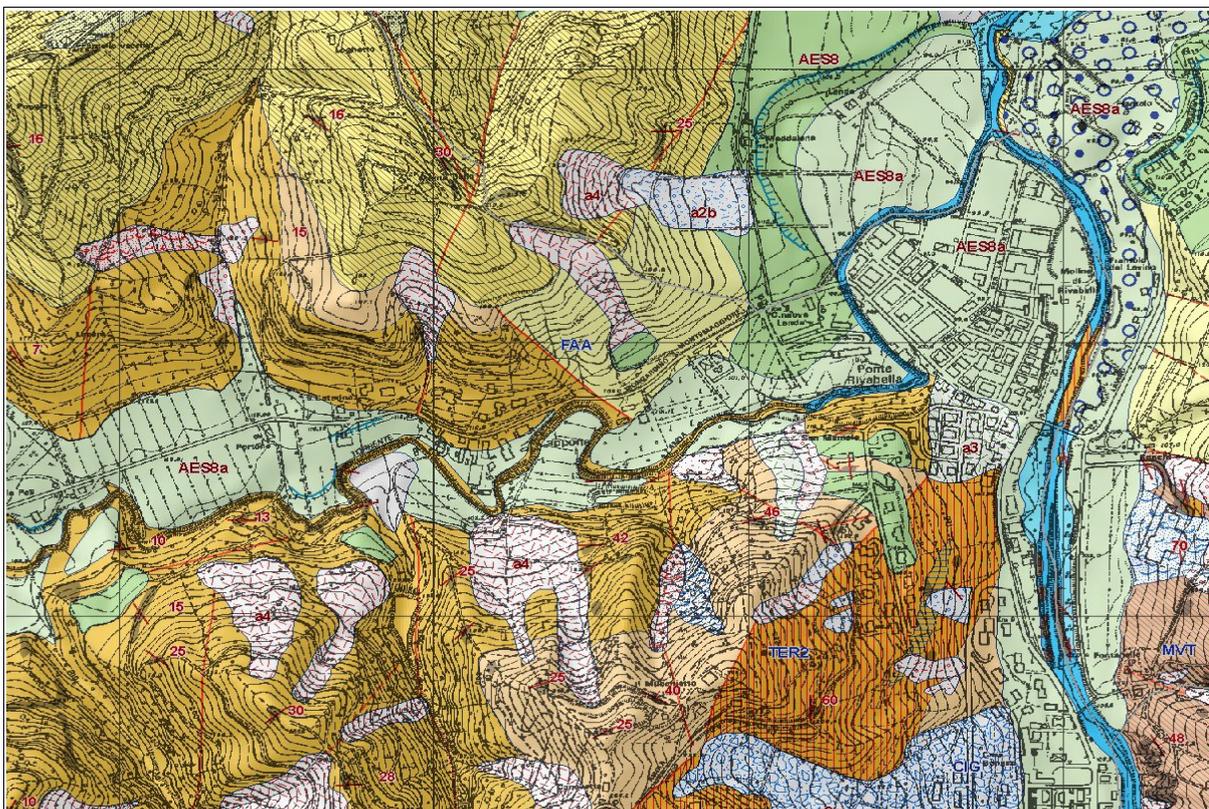


Figura 3.6 – Area Calderino (nord): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

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).

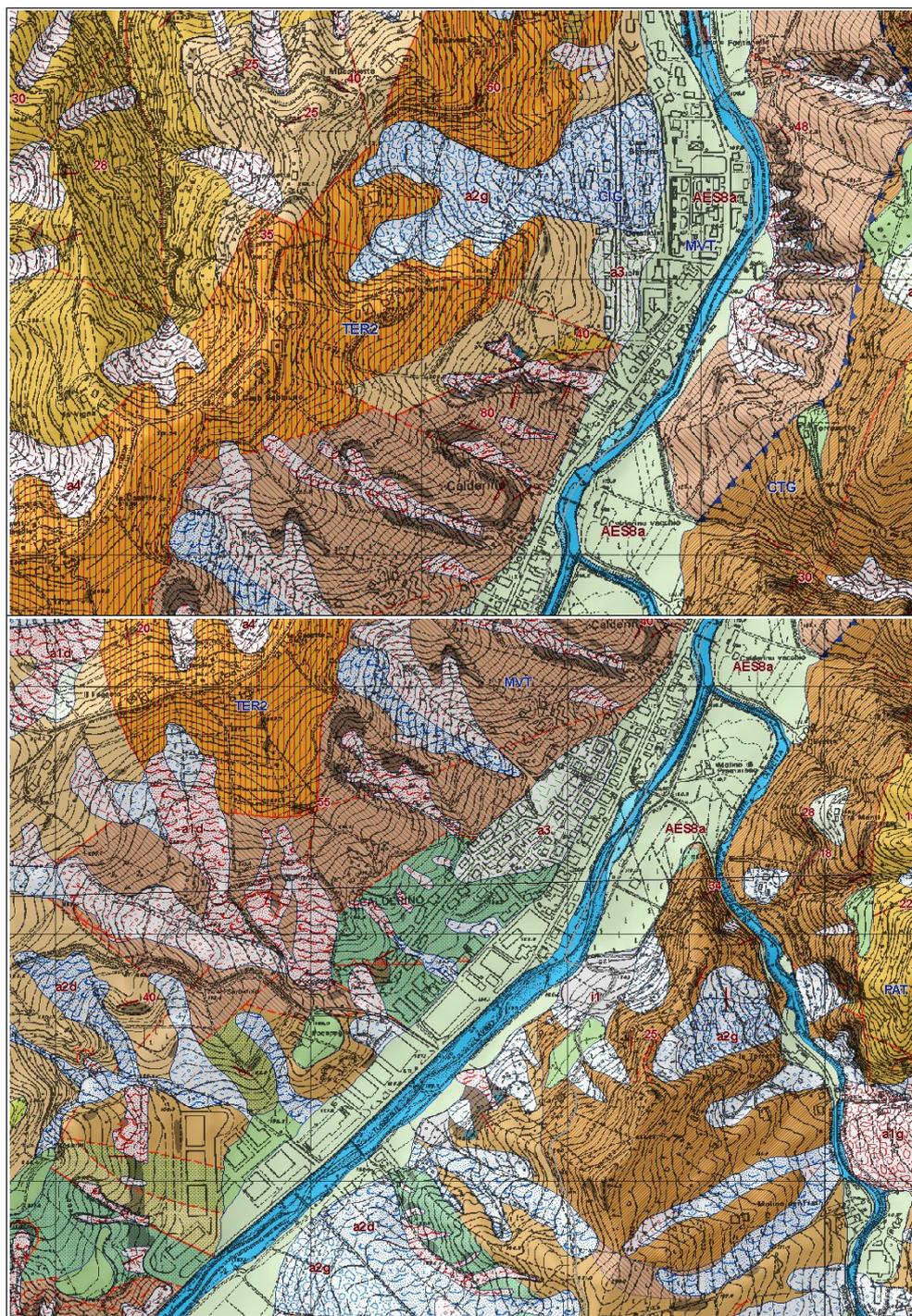


Figura 3.7- Area Calderino (centro e sud): stralci della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

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.

La figura 3.8, propone uno schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo (affiorante e sepolto) delle aree studiate di Calderino: la figura non riporta le coperture quaternarie, già rappresentate nelle precedenti figure 3.6 e 3.7. I depositi in affioramento nell'area di studio vengono inoltre descritti più in dettaglio nei successivi paragrafi.

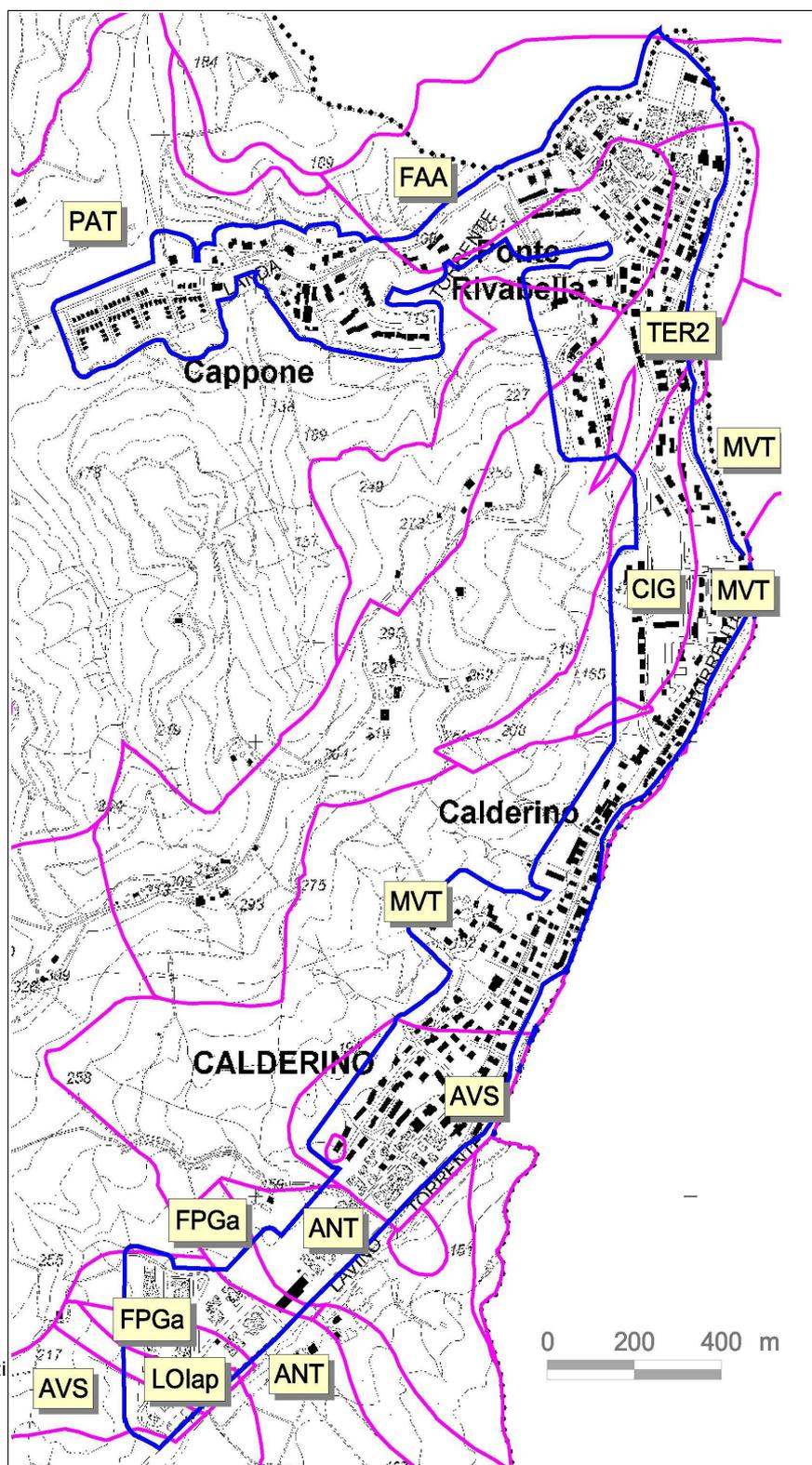


Figura 3.8 – Schema del substrato geologico senza coperture dell'area Calderino (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

3.2.4 Area frazione 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 3.9 e 3.10) 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. 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).

La figura 3.11 propone, infine uno schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo (affiorante e sepolto) dell'area di Monte san Giovanni: la figura non riporta le coperture quaternarie, già rappresentate nelle precedenti figure 3.9 e 3.10. I depositi in affioramento nell'area di studio vengono inoltre descritti più in dettaglio nei successivi paragrafi.

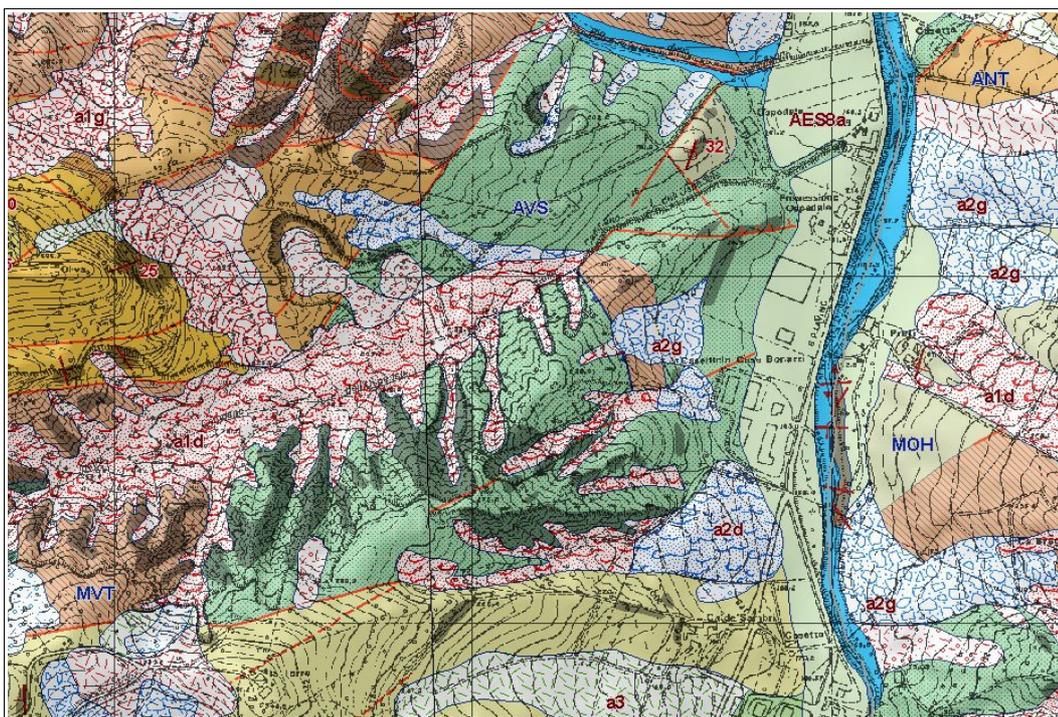


Figura 3.9- Area Monte San Giovanni (nord): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

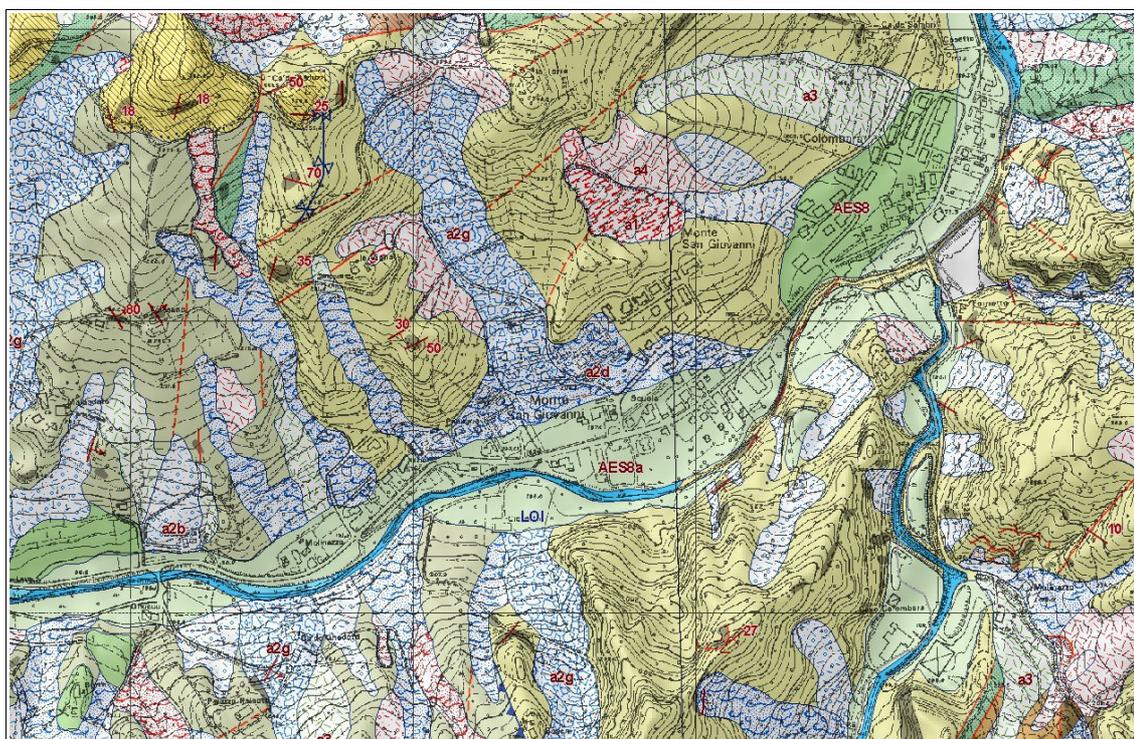


Figura 3.10- Area Monte San Giovanni (centro-sud): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

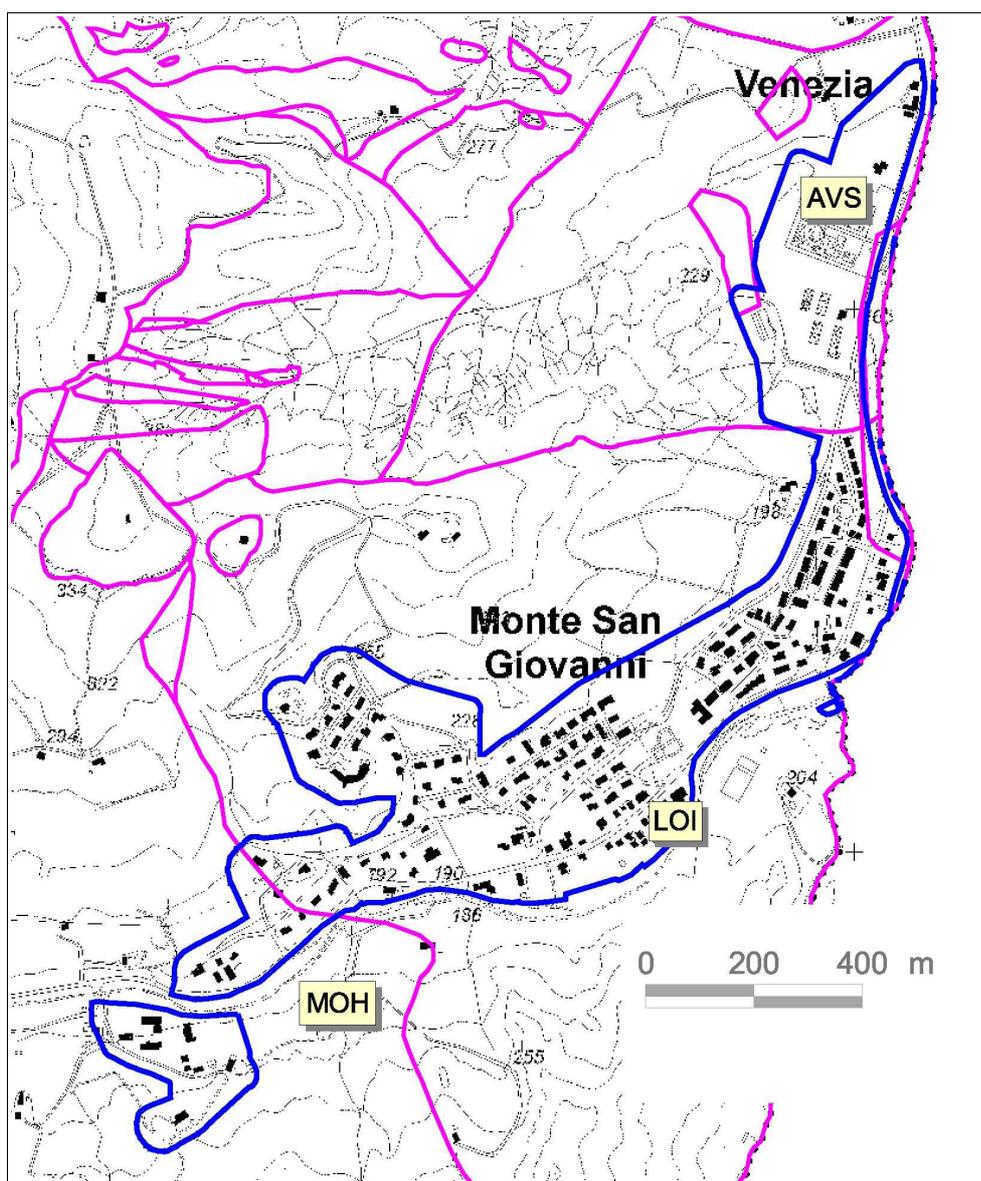


Figura 3.11 – Schema del substrato geologico senza coperture dell'area Monte San Giovanni (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

3.2.5 Area frazioni 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, attribuiti all' geologica regionale (figure 3.9 e 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 (figura 3.12) 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).

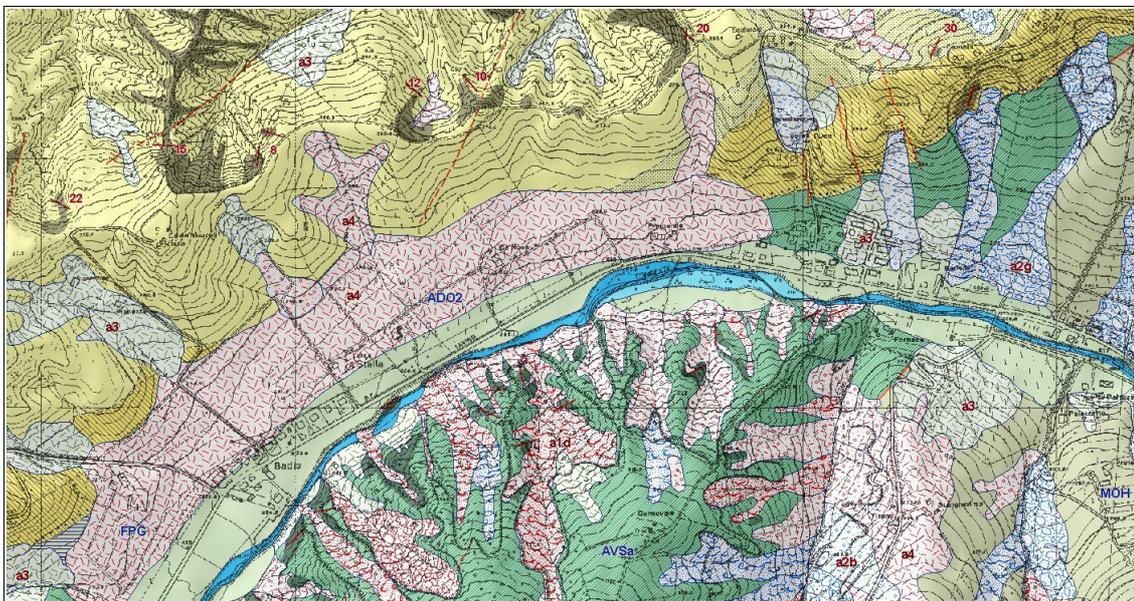


Figura 3.12- Area frazioni Oca e Badia: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

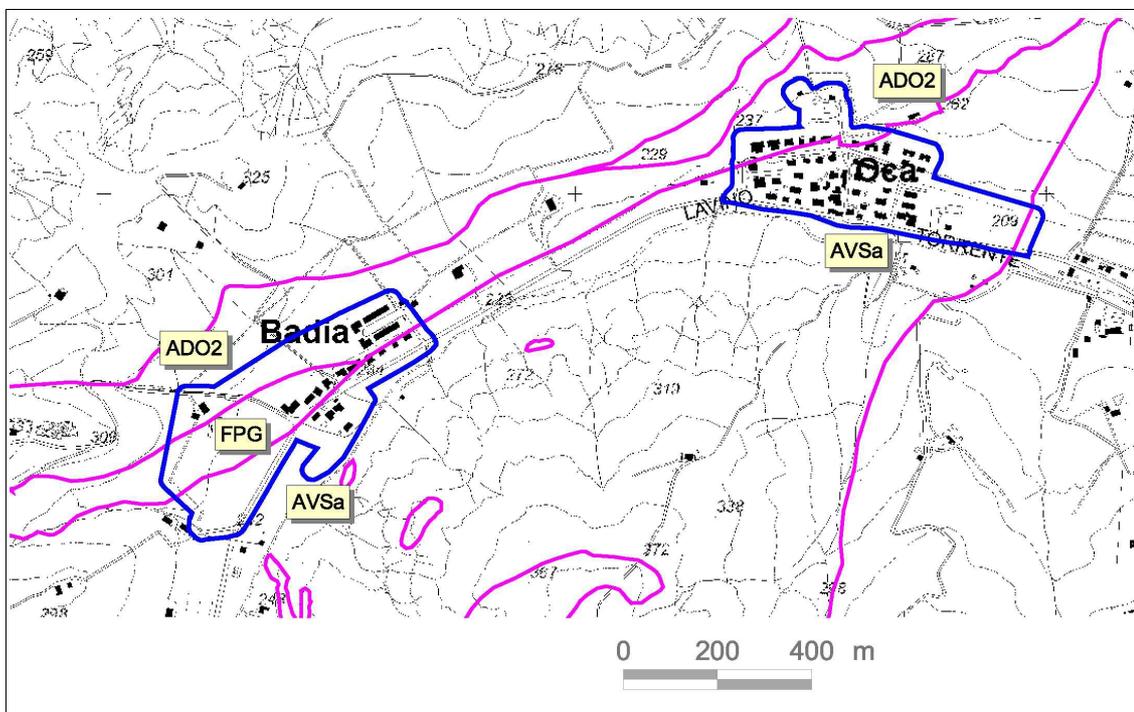


Figura 3.13 - Schema del substrato geologico senza coperture delle aree Oca e Badia (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

sepolto dell'area in questione: anche in questo caso, la figura non riporta le coperture quaternarie, già rappresentate nella figura 3.14. I depositi in affioramento nell'area di studio vengono descritti più in dettaglio nei successivi paragrafi.

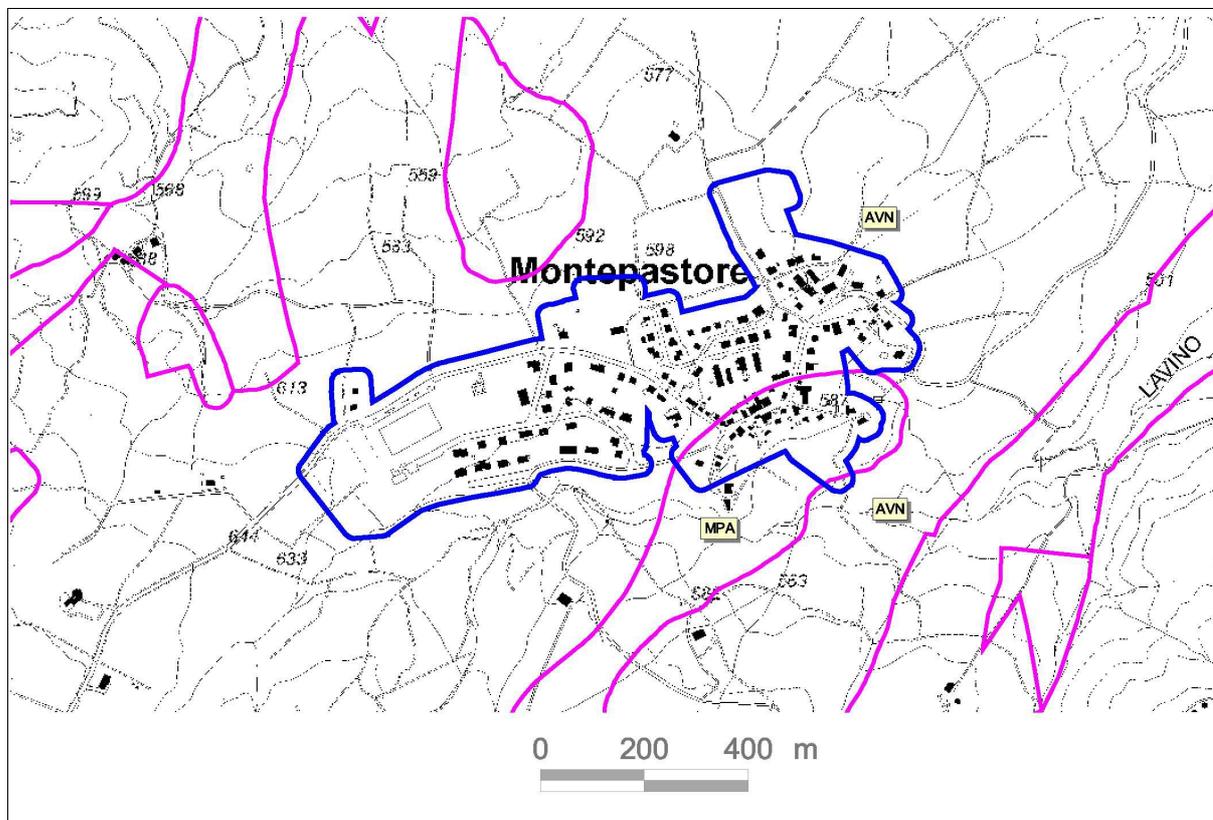


Figura 3.15 – Schema del substrato geologico senza coperture nell'area di studio Montepastore (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

Per gli aspetti più propriamente morfologici, necessari per valutare e delimitare le zone di possibile amplificazione topografica, per l'area di Montepastore 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°; 15÷30°; >30°), considerate di riferimento anche per la normativa tecnica per le costruzioni a scala nazionale (NTC 2008). La figura 3.16 riporta l'esito del modello morfologico.

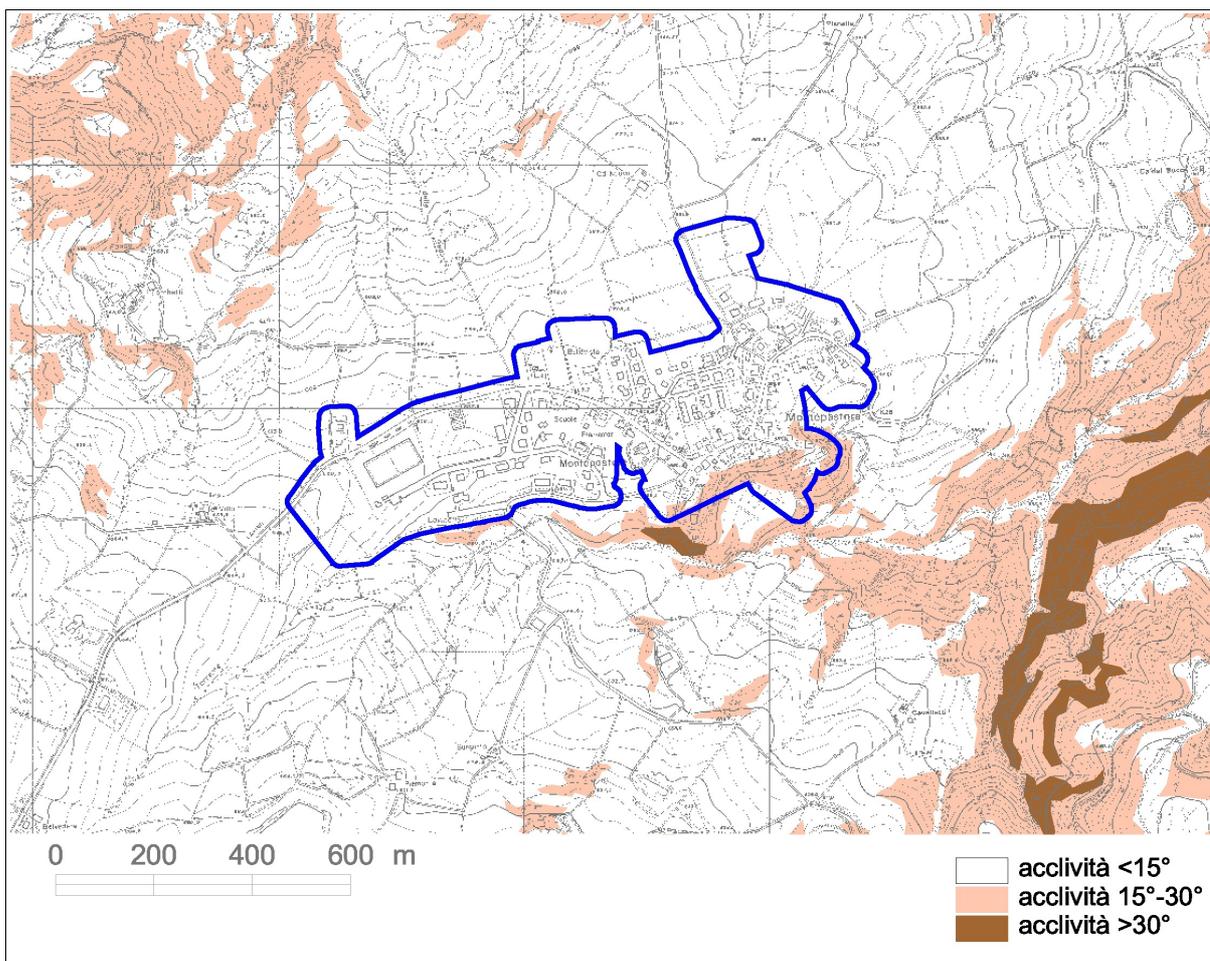


Figura 3.16- Area di studio frazione di Montepastore: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

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 ocre 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 EPILIGURE

- FORMAZIONE DEL TERMINA – Membro di Montebaranzone (TER2) → sono torbiditi arenaceo-pelitiche 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 beiges 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.
- BRECCIE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO-CANOSSA (MVT) → sono breccie a matrice argillosa grigia o grigio-scuro, 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 manganeseifere; 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, interdigidate 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 fucoidi. 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 ≥ 1 a < 1 con frequenti intercalazioni di strati sottili di calcilutiti marnose con Fucoidi. 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 (secondo il criterio di archiviazione della Protezione Civile), utile per l'individuazione delle stesse indagini. I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in formato *.pdf nella cartella Indagini\documenta nel DVD.

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

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

4.2 Dati ex novo

Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di microzonazione, e in particolare per definire i depositi di copertura superficiali 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 state effettuate le seguenti prove in sito:

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

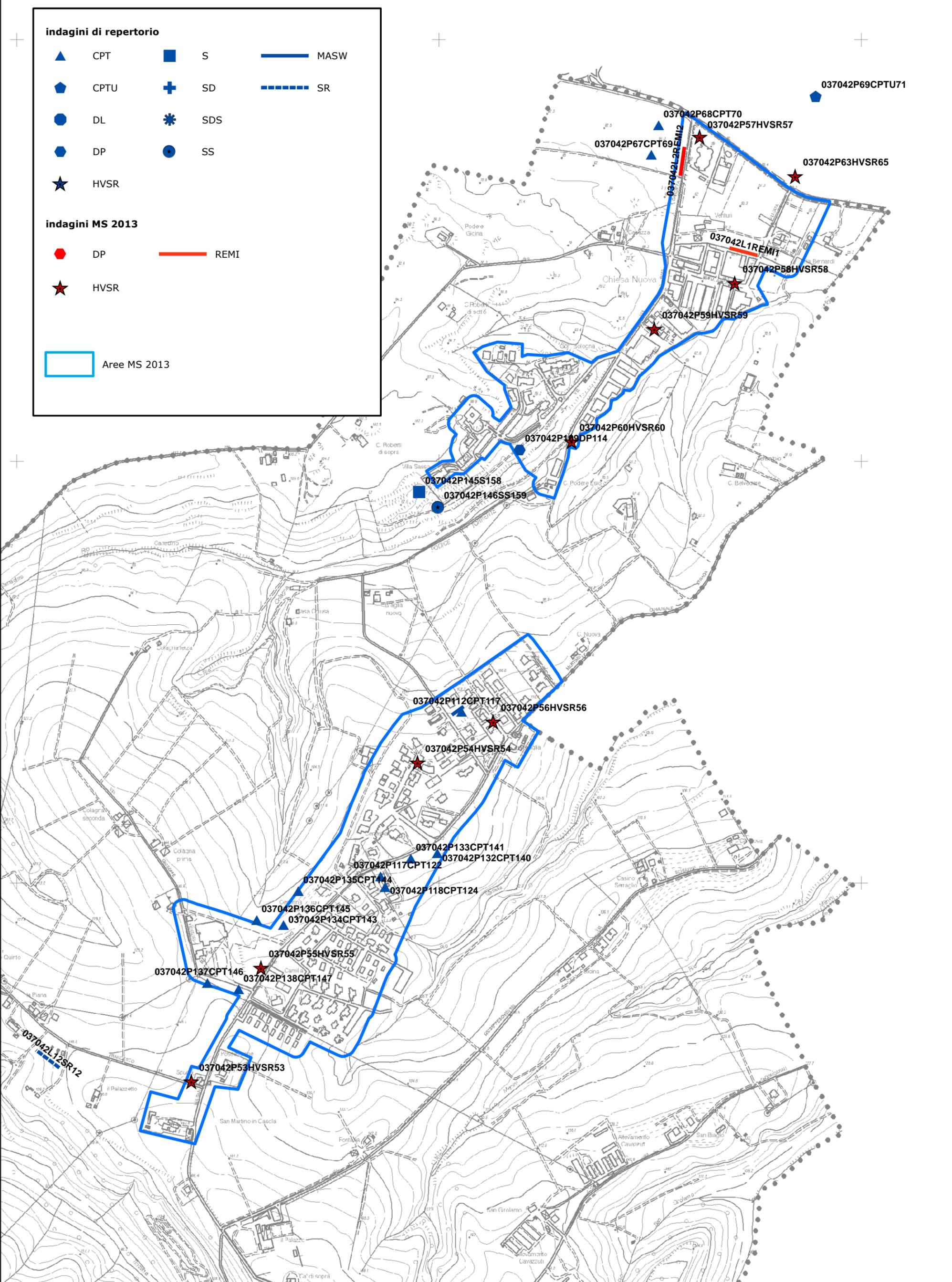


Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

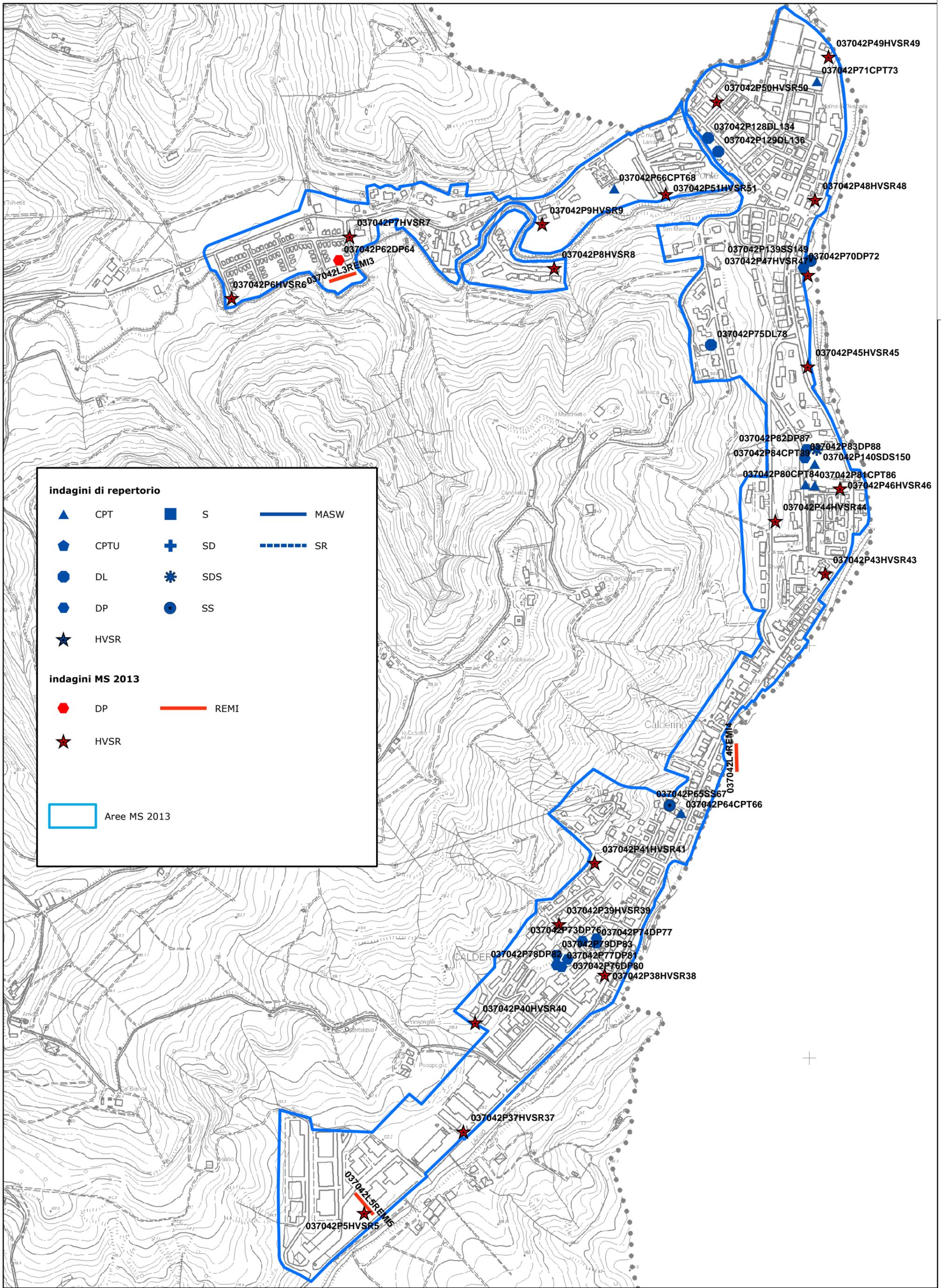


Figura 4.2 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

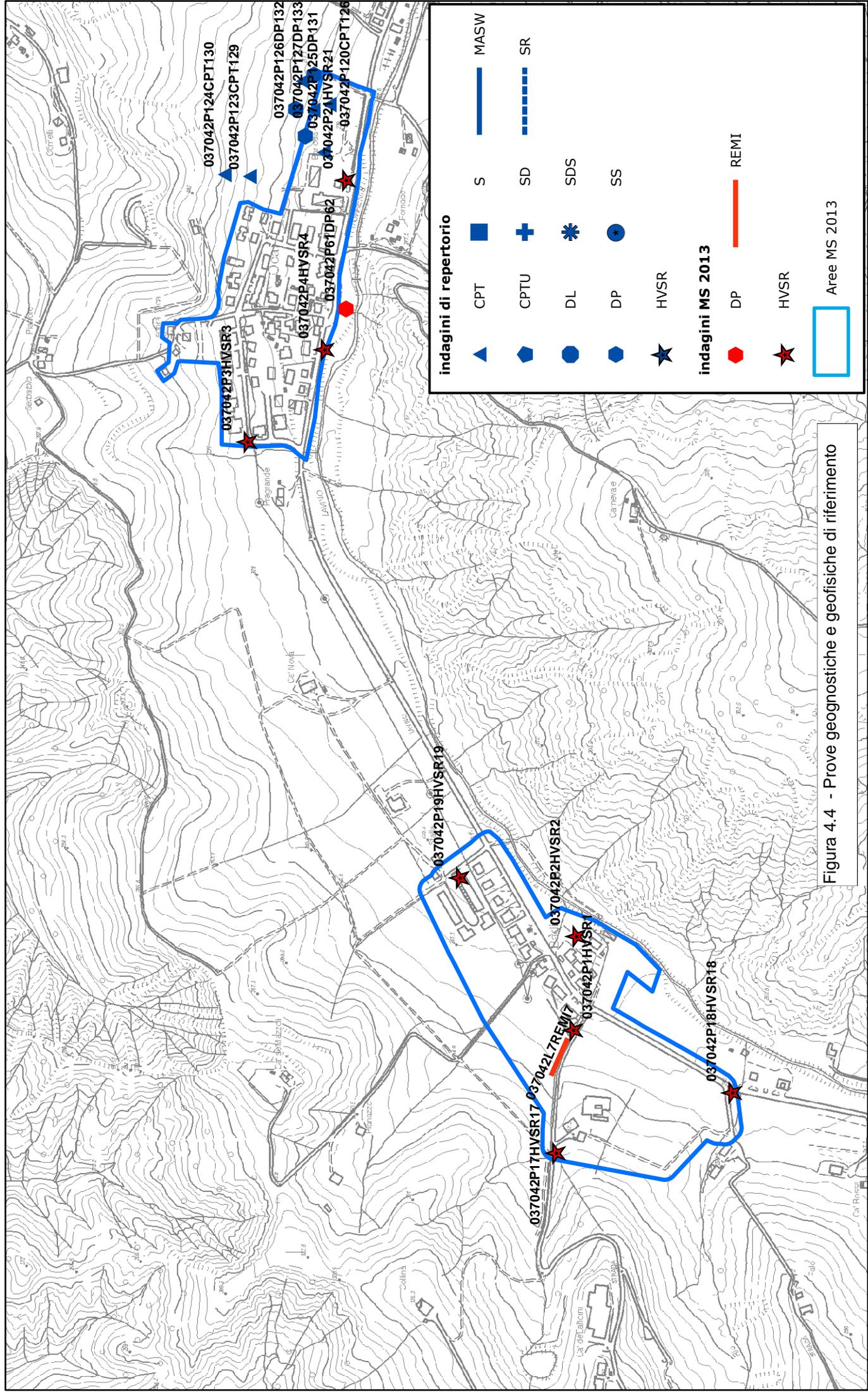


Figura 4.4 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

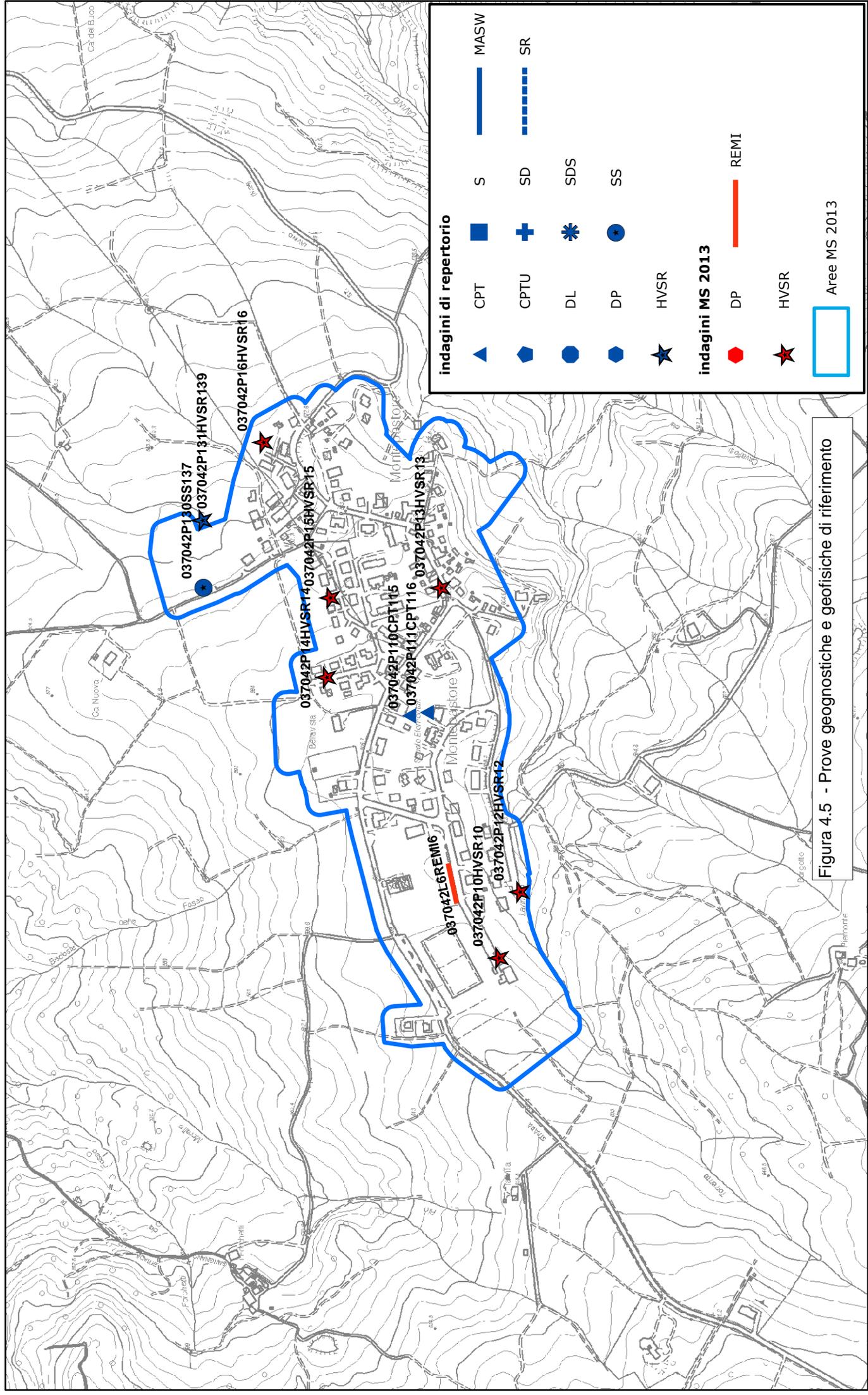


Figura 4.5 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

5 Modello di sottosuolo

5.1.1 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

rigidezza, 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 geofisiche⁹ 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.

5.1.2 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 rigidezza, 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 rigidezza. 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 invisita 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 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

⁹ 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)

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).

Per meglio comprendere l'assetto litostratigrafico dell'area di San Martino, si è elaborata la sezione geologica indicata con la sigla 1-1' (riportata in calce alla Relazione): la traccia si sviluppa parallelamente al fondo valle sul quale è insediato l'abitato. La sezione 1-1' offre, pertanto, uno spaccato del versante, evidenziando lo spessore di IMO2 che è ritenuto in grado di amplificare significativamente il moto sismico in superficie.

5.1.3 Area Calderino

Per l'area corrispondente all'abitato Calderino, si sono elaborate due sezioni geologiche indicate con le sigle 2-2' e 3-3' riportate in calce alla Relazione (la localizzazione delle tracce è riportata sulle tavole di microzonazione sismica). La traccia 2-2' si sviluppa in modo parallelo al fondo valle del Torrente Landa, interessando anche la località Rivabella alla confluenza con il Lavino; la sezione 3-3' è stata invece elaborata trasversalmente al fondo valle del Torrente Lavino. In entrambi i casi, si è tentato di schematizzare i rapporti stratigrafici del bedrock marino e le coltri quaternarie del fondo valle e, nel caso della sezione 3-3', anche del piede del versante in sinistra idrografica (oggetto dello studio di microzonazione). Le indagini geognostiche e geofisiche, integrate con gli esiti del rilievo e della cartografia geologica regionale, hanno infatti permesso di approfondire le conoscenze per quanto riguarda gli spessori e le tessiture delle coperture meno profonde, mentre le indagini geofisiche offrono ulteriori elementi di valutazione riguardo gli spessori degli intervalli in grado di amplificare il moto sismico.

Per quanto detto, le terebrazioni effettuate nel fondo valle 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- Arenite 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 alterato¹⁰ e una V_sH misurata pari a circa 200 m/s. L'area studiata di fondo valle 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

¹⁰ 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.

in sinistra idrografica viene valutato cautelativamente pari a 5 metri, con una V_s 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 Calderino (prove L4REMI4 e L5REMI5), rilevano un intervallo corrispondente alle "coperture" rispettivamente potente 11,5 m e 10 m (e con V_sH 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.

5.1.4 Area frazione Monte San Giovanni

Anche la frazione di Monte San Giovanni ricade nel fondovalle del Torrente Lavino, e per questa frazione si è elaborata la sezione geologica indicata con sigla 4-4' e riportata in calce alla Relazione (la localizzazione della traccia è riportata sulle tavole di microzonazione sismica), trasversale al fondovalle. 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 Epiliguri (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 picco 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 picco 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).

5.1.5 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 VsH 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 VsH 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).

5.1.6 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. Per quest'area di studio si è elaborata una sezione geologica indicata con la sigla 5-5' riportata in calce alla Relazione (la localizzazione della traccia è riportata sulle tavole di microzonazione sismica). La sezione si sviluppa parallelamente alla dorsale, per meglio schematizzare i rapporti stratigrafici locali. 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 il cuneo di dell'Unità 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 V_s media di 277 m/s. Peraltro, l'esito geofisico evidenzia come oltre tale profondità il bedrock è comunque da considerarsi substrato "non rigido" (V_s 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.

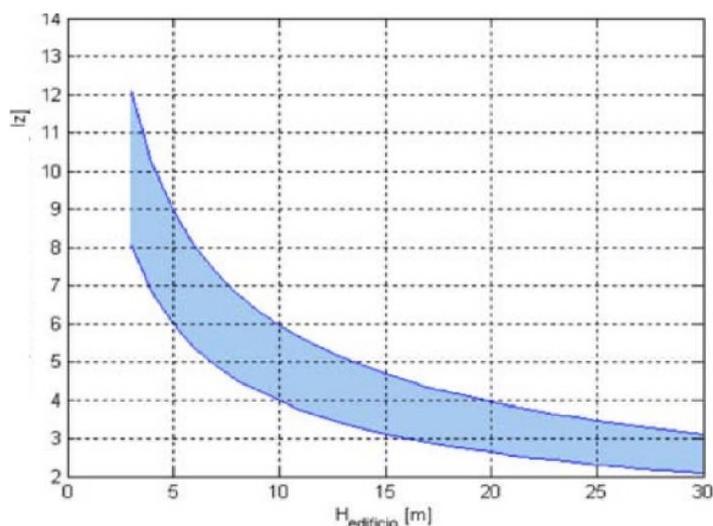
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro 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: $f = (10 \div 12)/n \cdot \text{piani}$.

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

7.3 Esiti della microzonazione di secondo livello

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

8 Elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini

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

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

8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione alla scala 1:4.000, 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.

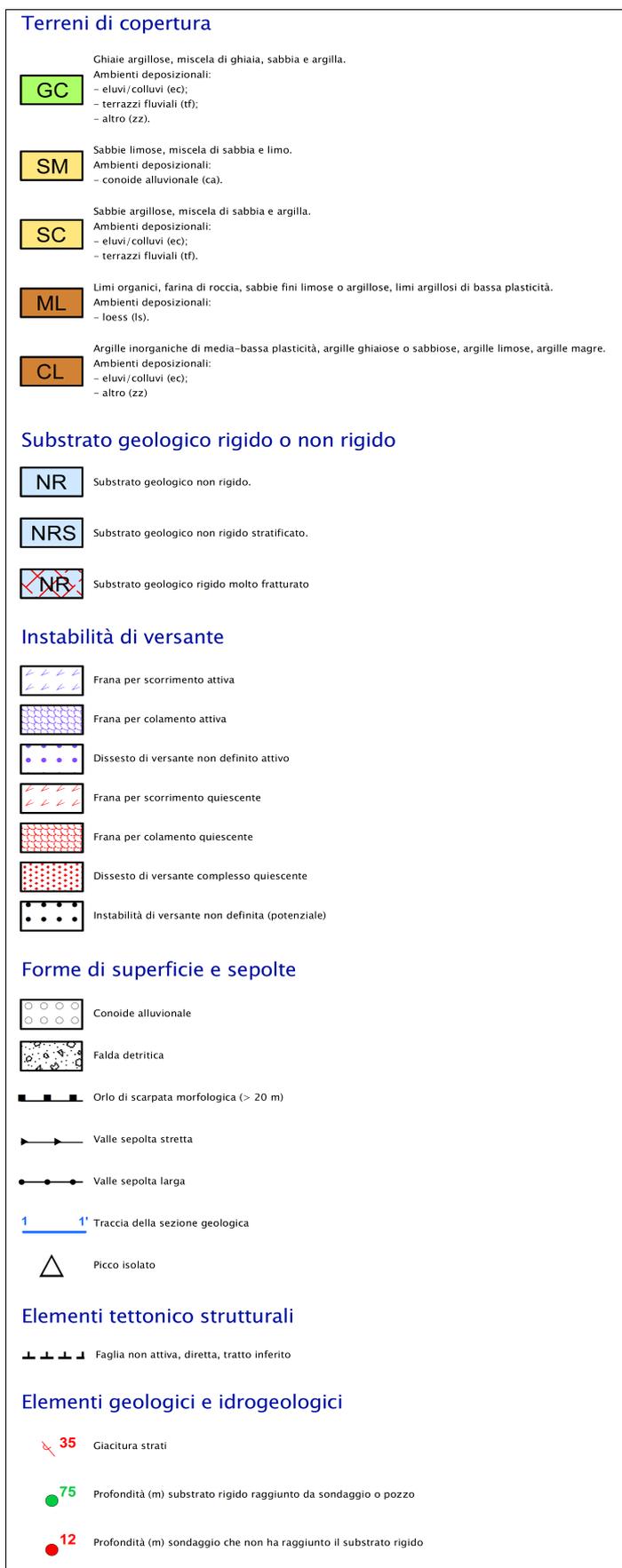


Figura 8.1 – Stralcio della legenda della <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Monte San Pietro

- Substrato geologico rigido o non rigido → in particolare si sono perimetrare le aree ove risulta affiorante¹¹ il bedrock geologico. In questo senso, la carta discrimina gli affioramenti del bedrock geologico “non rigido”, anche fratturato (cioè con Vs medie <800 m/s) “NR” che nell'area di studio risultano presso San Martino (IMO2), Calderino (AVS; MVT) e Monte San Giovanni (LOI) e “NRS” non rigido stratificato che affiora ancora Monte San Giovanni (MOH).
- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a orli di scarpata morfologica di altezza >20 m rilevati nei pressi di Monte San Giovanni, picchi isolati (ancora a Monte san Giovanni), depositi di conoide alluvionale e di falda detritica.
- Tracce delle sezioni geologiche → considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le cinque sezioni (nominate da 1-1' a 5-5') ricostruite per la modellazione geotecnica.
- Instabilità di versante → in particolare le frane sono state perimetrare e classificate sulla base della tipologia di movimento e dello stato di attività con i differenti retini come riportato negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>>. In questo senso, occorre segnalare che la tavola riporta cautelativamente come “instabilità di versante non definita” anche vaste porzioni di pendio (es. a Calderino e Monte San Giovanni situati) che risultano allo stato di fatto stabili, ma con fattori di predisposizione al dissesto in condizioni sismiche (contesto litologico; l'acclività; parti di versante limitrofi ad aree già interessate da franamenti).
- la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.

8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Come già scritto nel paragrafo 7.2, la <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:5.000, localizza tutti i punti di misura dei 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 ¹² evidenzia altri “picchi” di amplificazione del segnale passivo registrato.

Lo studio di microzonazione ha dunque permesso di proporre una classificazione delle

¹¹ 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

¹² 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.

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)

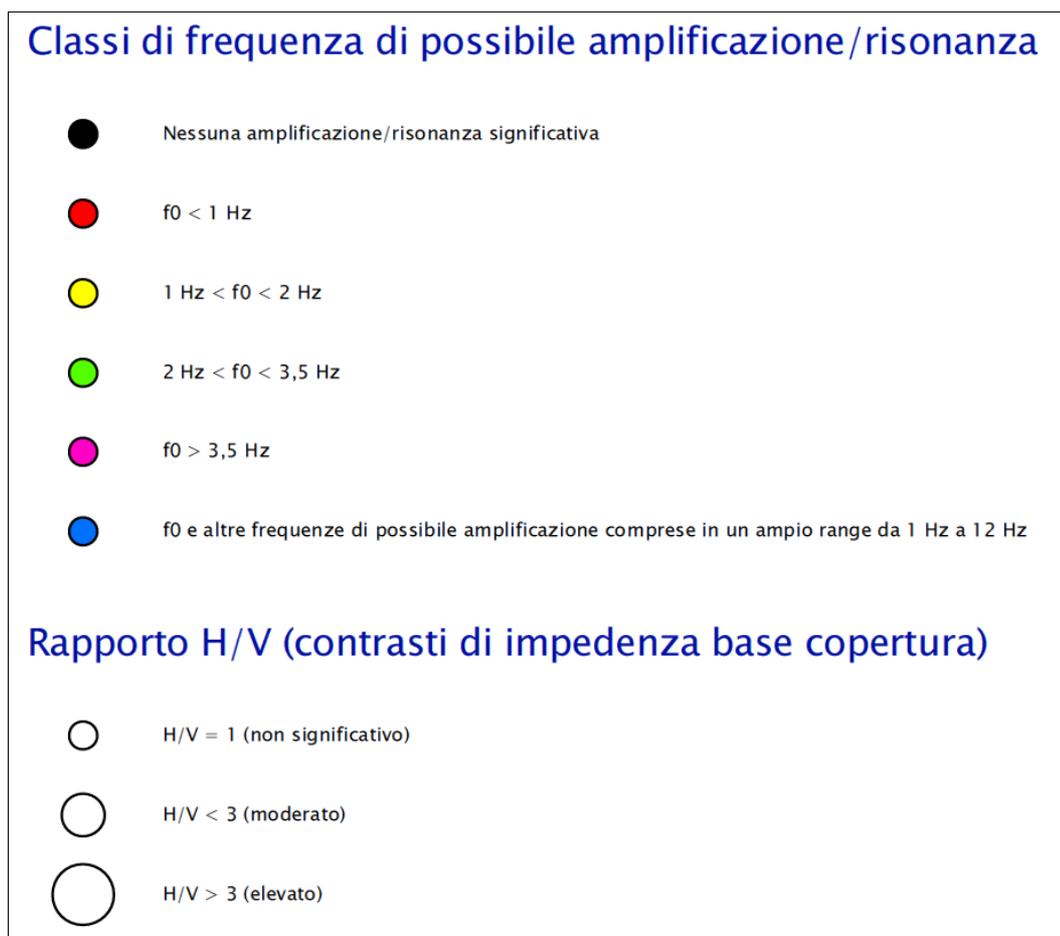


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Monte San Pietro.

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.

8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La <<carta delle aree suscettibili di effetti locali”, elaborata alla scala 1:3.000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di Microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari le aree studiate. In questo senso, la cartografia delle MOPS distingue e 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).

8.4.1 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”). 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)

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)

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 ($<15^\circ$). 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)

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 ($<15^\circ$). 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)

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 ($<15^\circ$). 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)

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 ($<15^\circ$). 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)

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.

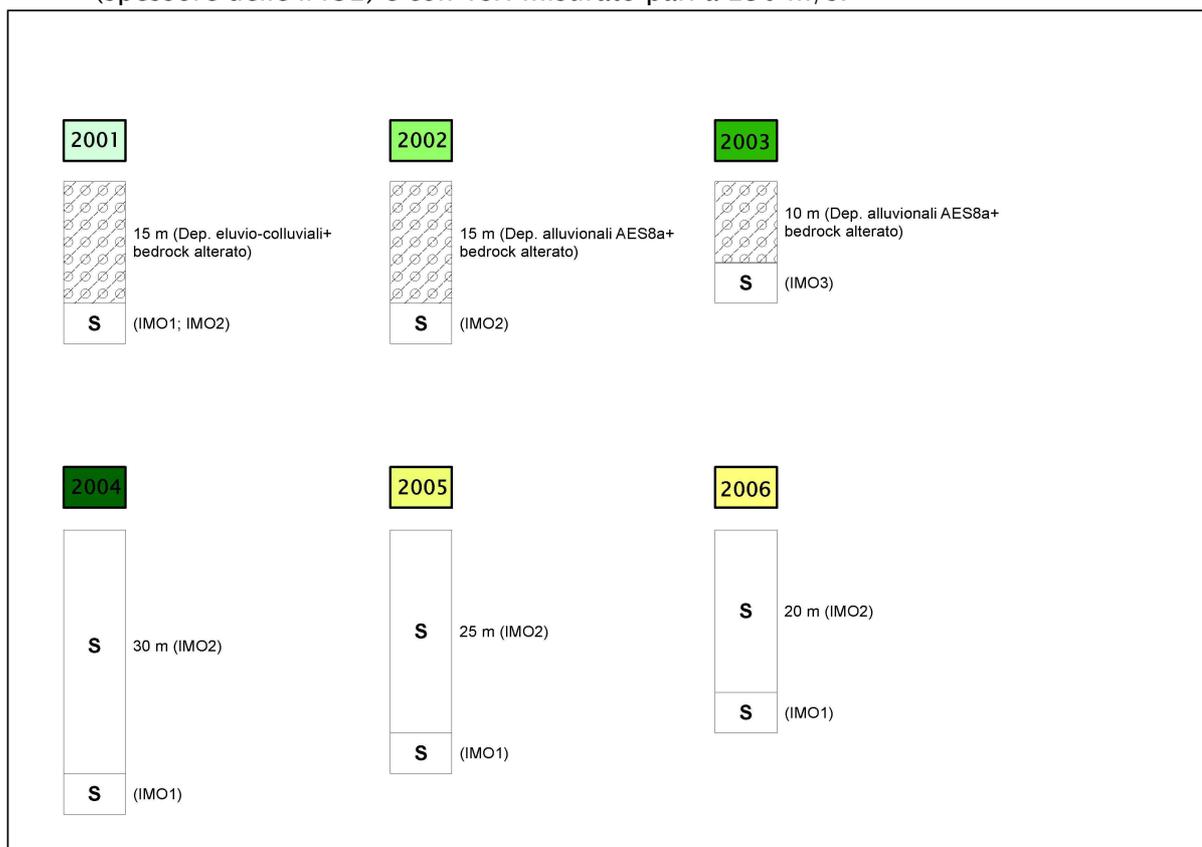


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

ZONA 2007 ≡ Bedrock non rigido affiorante (IMO2) sovrastante IMO1 (pseudo-bedrock sismico)

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)

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)

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)

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)

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 10 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

ZONA 2012 \equiv Coperture alluvionali ghiaiose recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; PAT; TER2; CIG; MVP; AVS)

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.

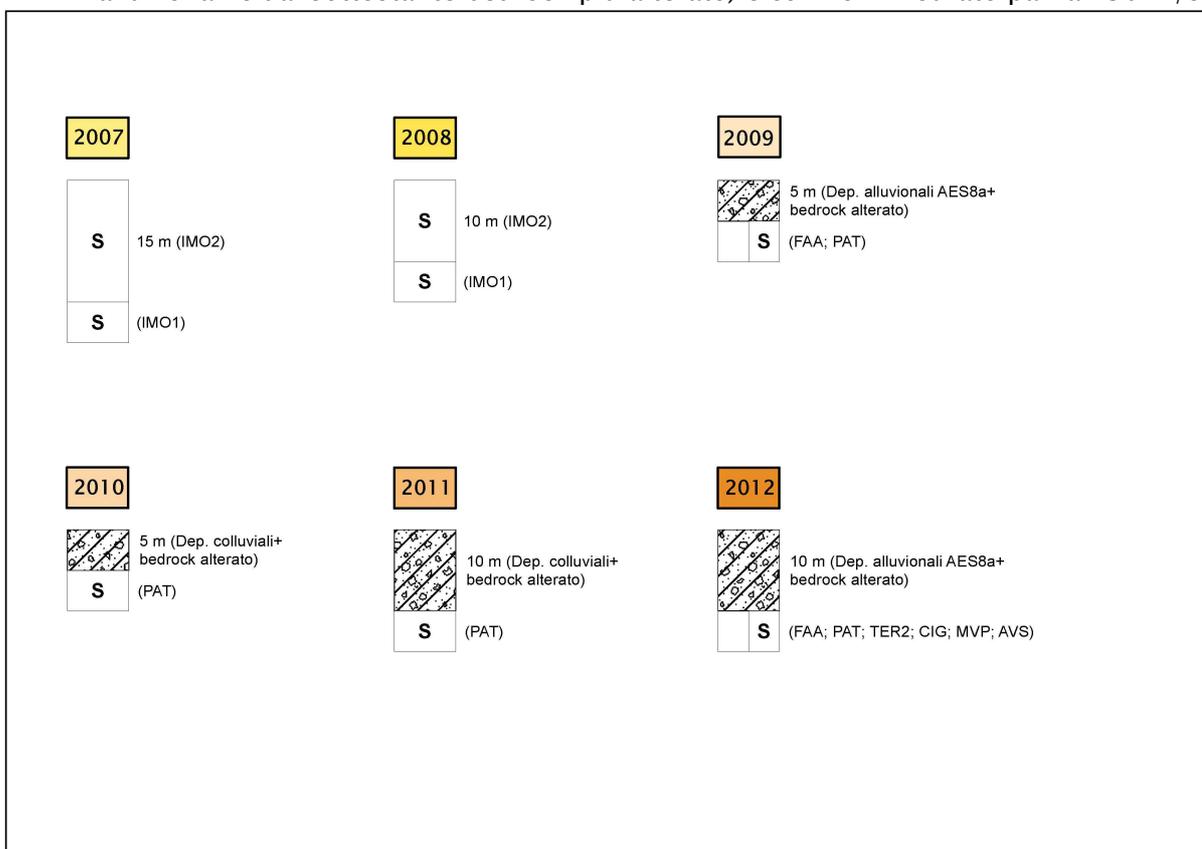


Figura 8.4 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007-2008-2009-2010-2011-2012.

ZONA 2013 \equiv Coperture alluvionali ghiaiose recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (AVS; LOI; MOH)

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)

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)

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)

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).

ZONA 2017 ≡ Bedrock non rigido affiorante (LOI)

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 ≡ Bedrock non rigido affiorante (MOH)

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).

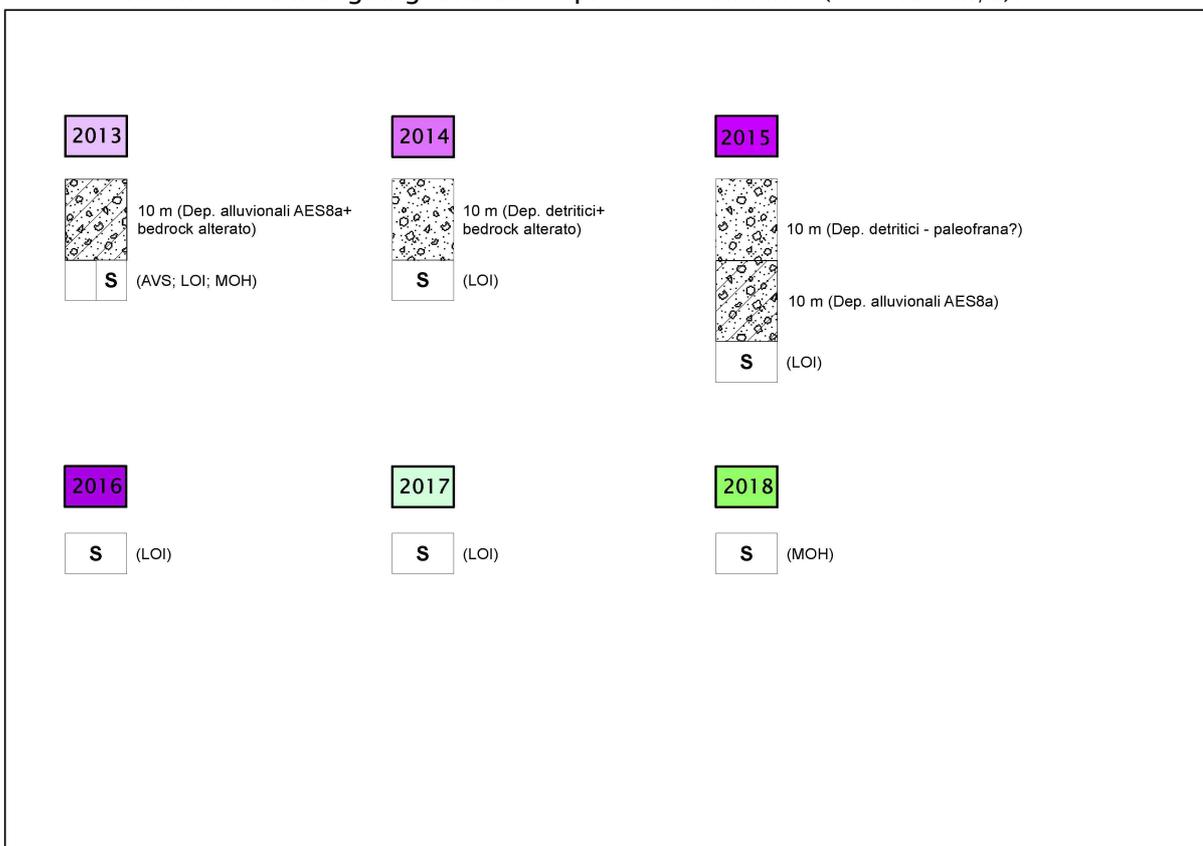


Figura 8.5 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2013-2014-2015-2016-2017-2018.

ZONA 2019 \equiv Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (ADO2; FPG; AVSa)
 si tratta di coperture di alterazione colluviale, prevalentemente fini e sovrastanti bedrock non rigidi in morfologia sub-piana ($<15^\circ$). 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 V_sH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2020 \equiv Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) e coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (AVSa; FPG)

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)

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)

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.

ZONA 2023 ≡ Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (AVN)

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 ≡ Coperture eoliche e paleosuoli sovrastanti bedrock non rigido (MPA?)

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 (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.

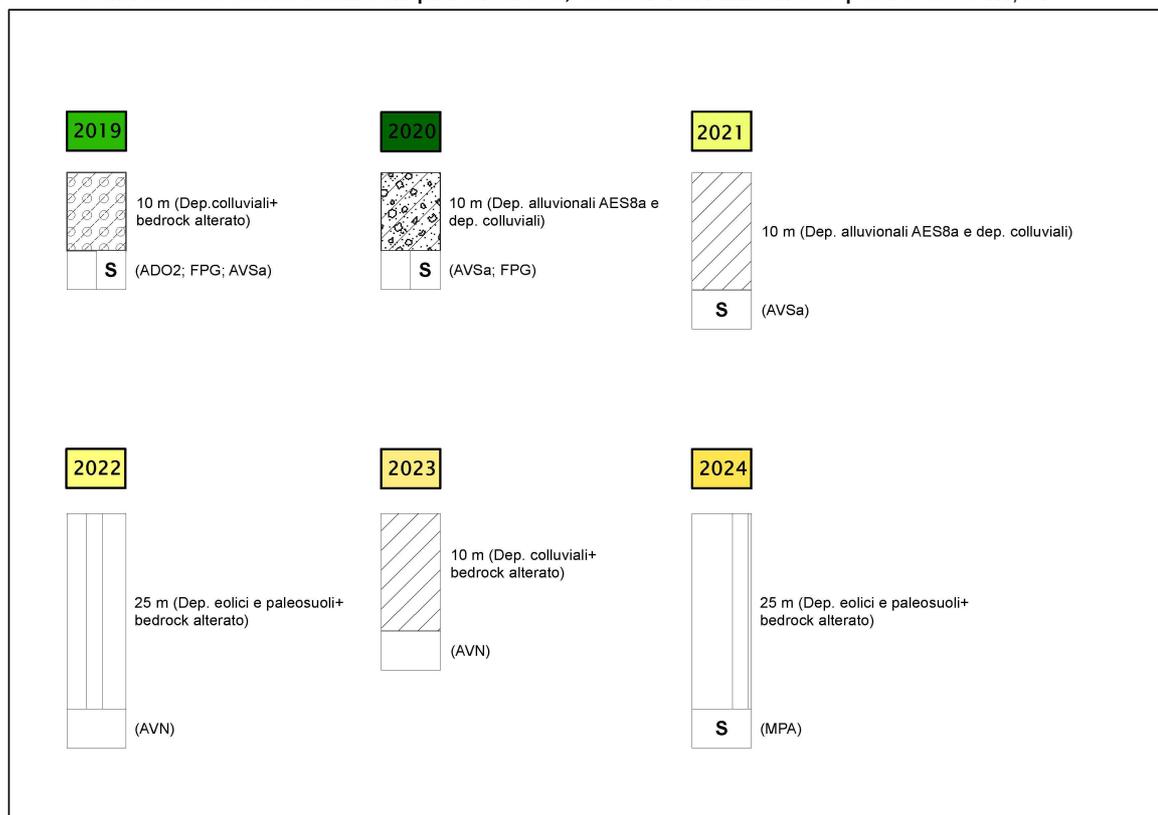


Figura 8.6 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2019–2020–2021–2022–2023–2024.

8.4.2 Zone suscettibili di instabilità

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

Instabilità di versante attiva

Instabilità di versante quiescente

Instabilità di versante non definita → sono state distinte le seguenti sub zone “A” (pendii

con acclività variabili da 15° a 35° in prossimità di movimenti franosi attivi e/o quiescenti), “B” (pendii con acclività fino a 25° con coperture detritiche e o accumuli di paleofrana, in prossimità di movimenti franosi attivi e/o quiescenti), “C” (zone di potenziale interferenza ovvero possibile evoluzione o influenza, possibile arrivo/accumulo di movimenti franosi limitrofi)

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

Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti → per la presenza di faglie dirette classificate “non attive” ma da verificare e/o bedrock molto fratturato.

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

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, è stata elaborata alla scala 1:7.000 e localizza tutti i punti di misura di Vs, con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore di Vs_H (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 microzone omogenee dal punto di vista sismico, sono riportate nel paragrafo 8.4, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

8.6 Carta di Microzonazione sismica livello 2

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

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

parametri FA riferiti alla superficie:

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

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

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

- nel campo <<Fx>> (già previsto per riportare un altro valore di amplificazione rispetto a quelli indicati dagli ICMS 2010) si è riportato il valore FA_{PGA} valutato per tale poligono/microzona;
- si è aggiunto il nuovo campo <<Fy>> nel quale è riportato il valore di $FA_{0,1-0,5s}$ valutato per tale poligono/microzona;
- si è aggiunto il nuovo campo <<Fz>> nel quale è riportato il valore di $FA_{0,5-1s}$ valutato per tale poligono/microzona.

2. Le <<zone suscettibili di instabilità>> (individuate nella carta delle MOPS), sono state anch'esse perimetrate e distinte, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. Nello specifico, si distinguono le seguenti zone:

- *Instabilità di versante*
In tali aree sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici, analisi numerica della risposta sismica locale;
- *Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti*
per la presenza di faglie dirette classificate “non attive” ma da verificare e/o bedrock molto fratturato. In considerazione degli effetti potenzialmente attesi (deformazioni e/o cedimenti differenziali; instabilità di versante; amplificazione del moto sismico) per tali aree sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici, analisi numerica della risposta sismica locale;
- *Liquefazioni*
per la presenza di intervalli significativi di sabbie limose e limi sabbiosi e/o argillosi in falda (conoide alluvionale di corsi d'acqua minori, caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle Sabbie di Imola). In considerazione degli effetti potenzialmente attesi sono richiesti approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare verifiche di liquefazione/densificazione, verifiche dei cedimenti post sisma e analisi numerica della risposta sismica locale.

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

9 Bibliografia

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

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

Gruppo di lavoro MS (2008) – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

l'uso del territorio".

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