



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 Monteveglio



Regione
EMILIA-ROMAGNA
UNIONE DEI COMUNI
VALLE DEL SAMOGGIA



Unione di Comuni
Valle del Samoggia

Soggetto realizzatore

STUDIO SAMUEL SANGIORGI
Via Valsellustra 32
40060 Dozza (BO)

Data

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.....	15
3.2.1	Area frazione Ziribega.....	16
3.2.2	Area Montevoglio Alto.....	16
3.2.3	Area frazioni Oliveto e Stiore.....	17
3.2.4	Area Capoluogo.....	18
3.2.5	Aree Montevoglio Nuovo, Zona Industriale, Cassolina Nuova, Abitazione e Formica.....	20
3.2.6	Depositi quaternari e bedrock marino interessanti le aree di studio.....	20
4	Dati geotecnici e geofisici.....	26
4.1	Dati pregressi.....	26
4.2	Dati ex novo.....	26
5	Modello di sottosuolo.....	30
5.1	Area frazione Ziribega.....	30
5.2	Area Montevoglio Alto.....	30
5.3	Area frazioni Oliveto e Stiore.....	31
5.4	Area Capoluogo.....	31
5.5	Aree Montevoglio Nuovo, Zona Industriale, Cassolina Nuova, Abitazione e Formica.....	32
6	Interpretazioni e incertezze.....	34
7	Metodologie di elaborazione e risultati.....	35
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	35
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	36
7.3	Esiti della microzonazione di secondo livello.....	37
8	Elaborati cartografici.....	38
8.1	Carta delle indagini.....	38
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	38
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	40
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	42
8.4.1	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	42
8.4.2	Zone suscettibili di instabilità.....	48
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	49
8.6	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	49
9	Bibliografia.....	52

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 Monteveglio 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 Monteveglio 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 Monteveglio: Monteveglio Alto (nucleo storico e abbazia), Monteveglio, Monteveglio Nuovo; Ziribega, Stiore, Oliveto, Casolina Nuova, Formica, Abitazione e Monteveglio Zona Industriale. 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).

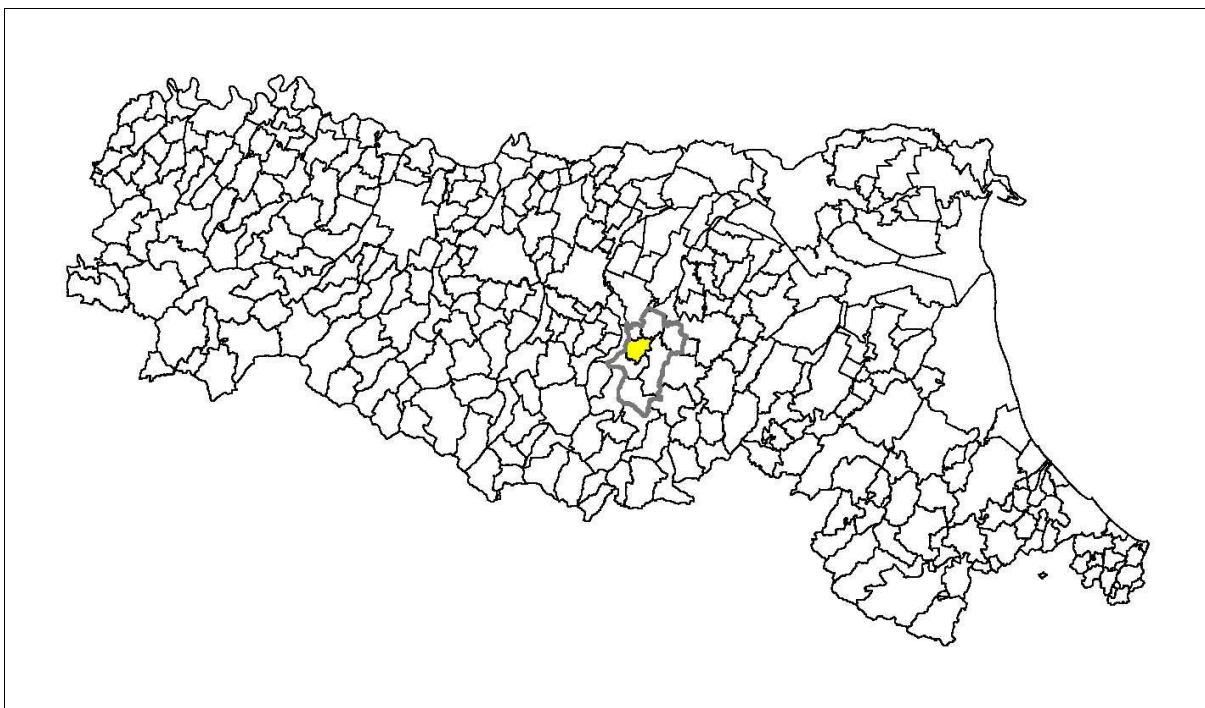


Figura 1.1 - Localizzazione del territorio comunale di Monteveglio (evidenziato in giallo) e limite del territorio corrispondente all'“Area Bazzanese” (con tratto grigio spesso) rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna.

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: 220091; 220092; 220293; 220010; 220002; 220103; 220104; 220131; 220144).

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 Monteveglio 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 3.257 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.

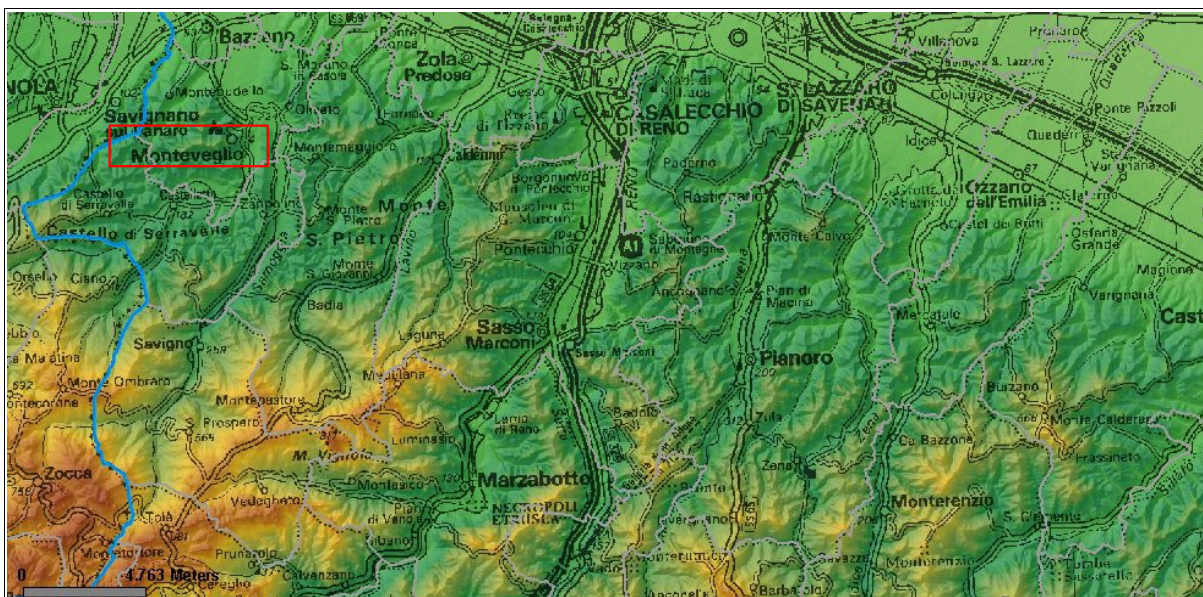


Figura 1.2- Corografia del territorio di Monteveglio e dei Comuni limitrofi a SO di Bologna (su base topografica alla scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna).

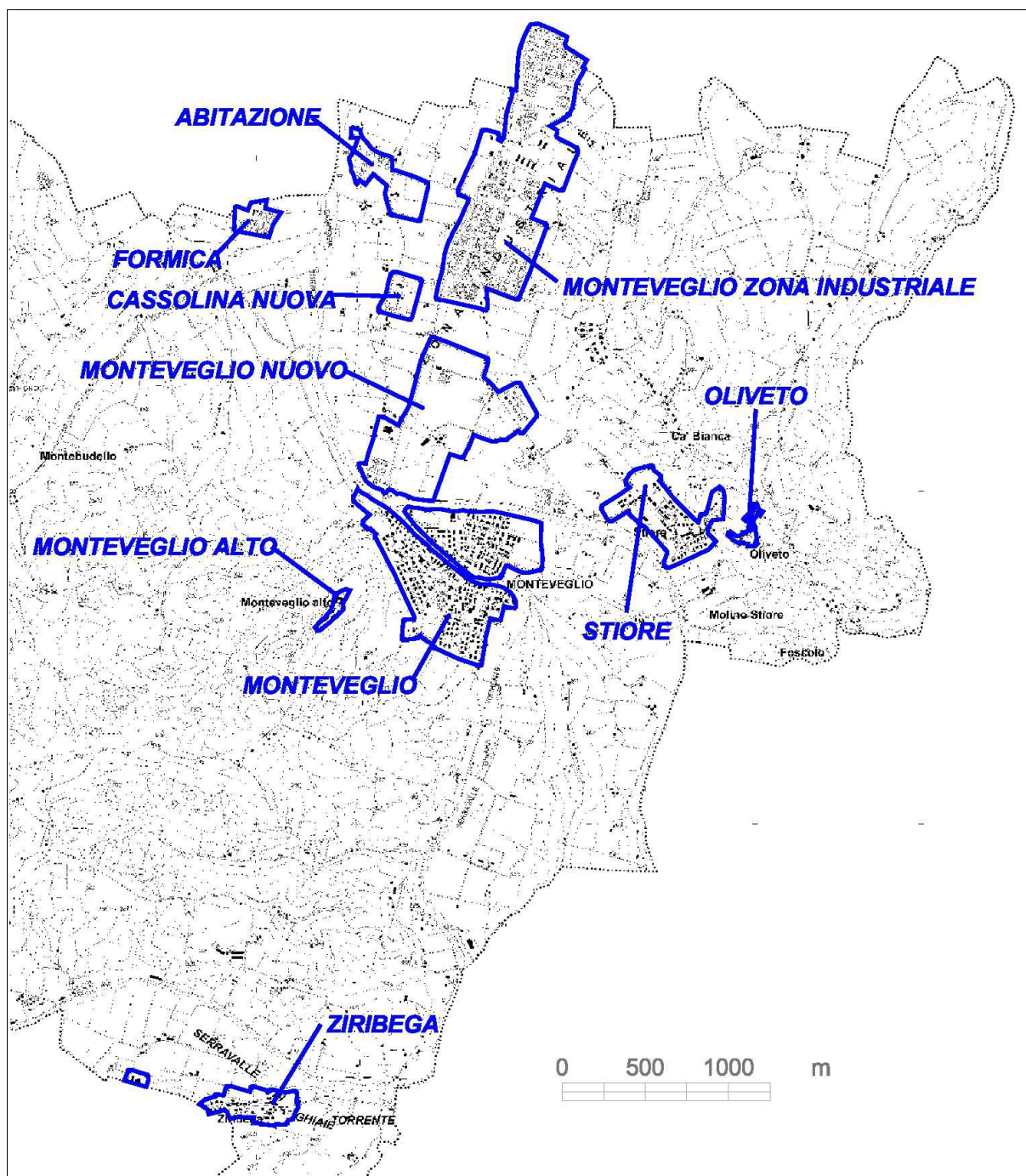


Figura 1.3- Delimitazione delle aree oggetto di indagine (su base topografica alla scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna).

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 Montevoglio 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”.

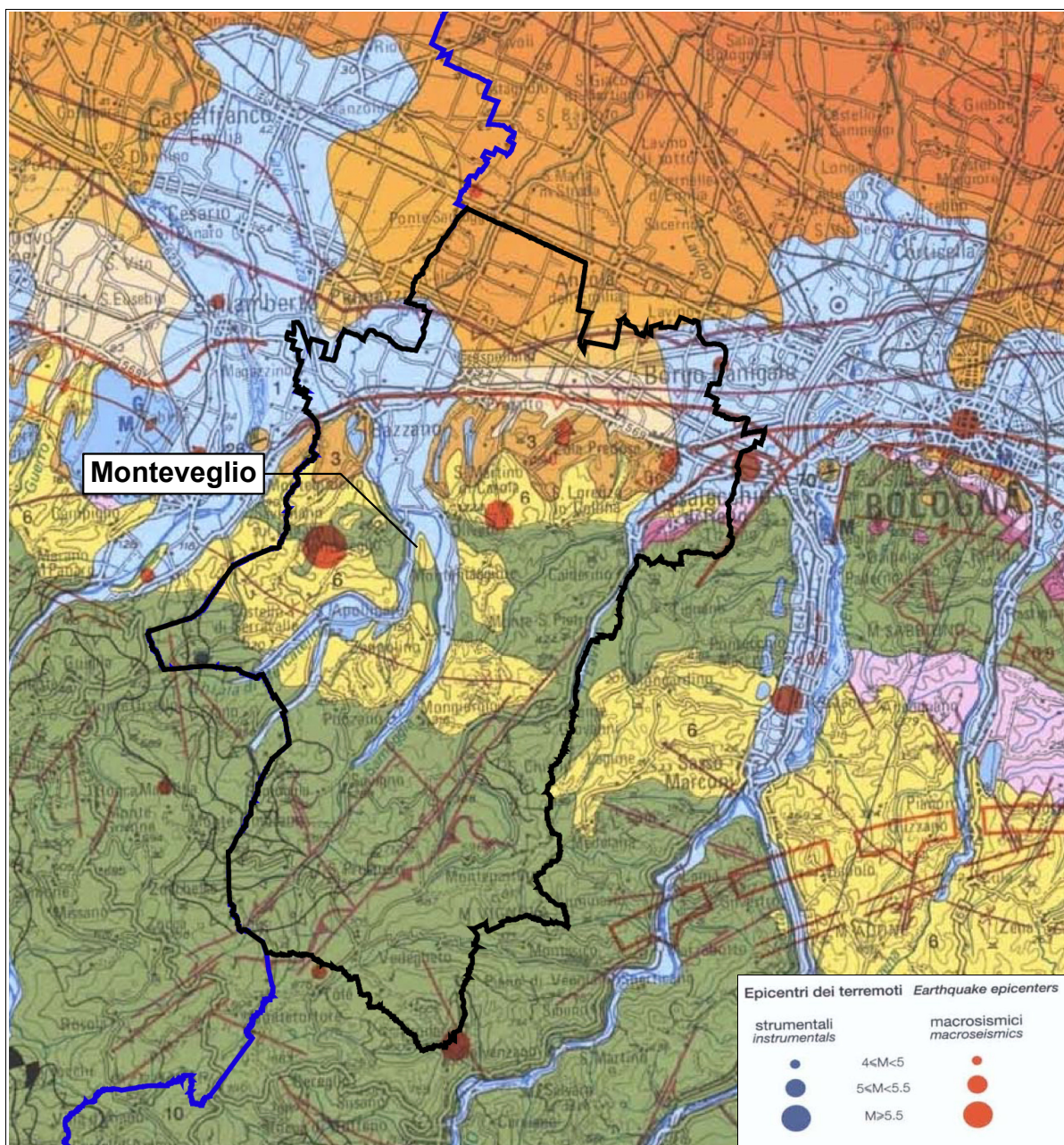


Figura 2.1- Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Monteveglia) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali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

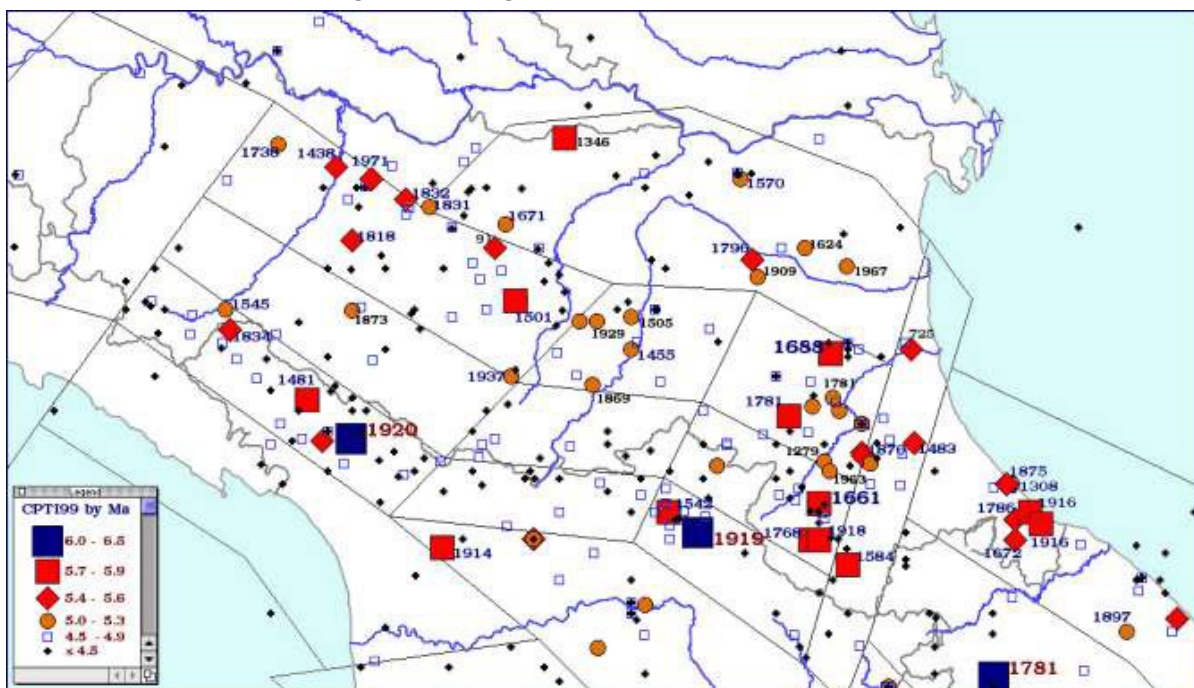


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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 più a sud rispetto il territorio di Monteveglio; 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).

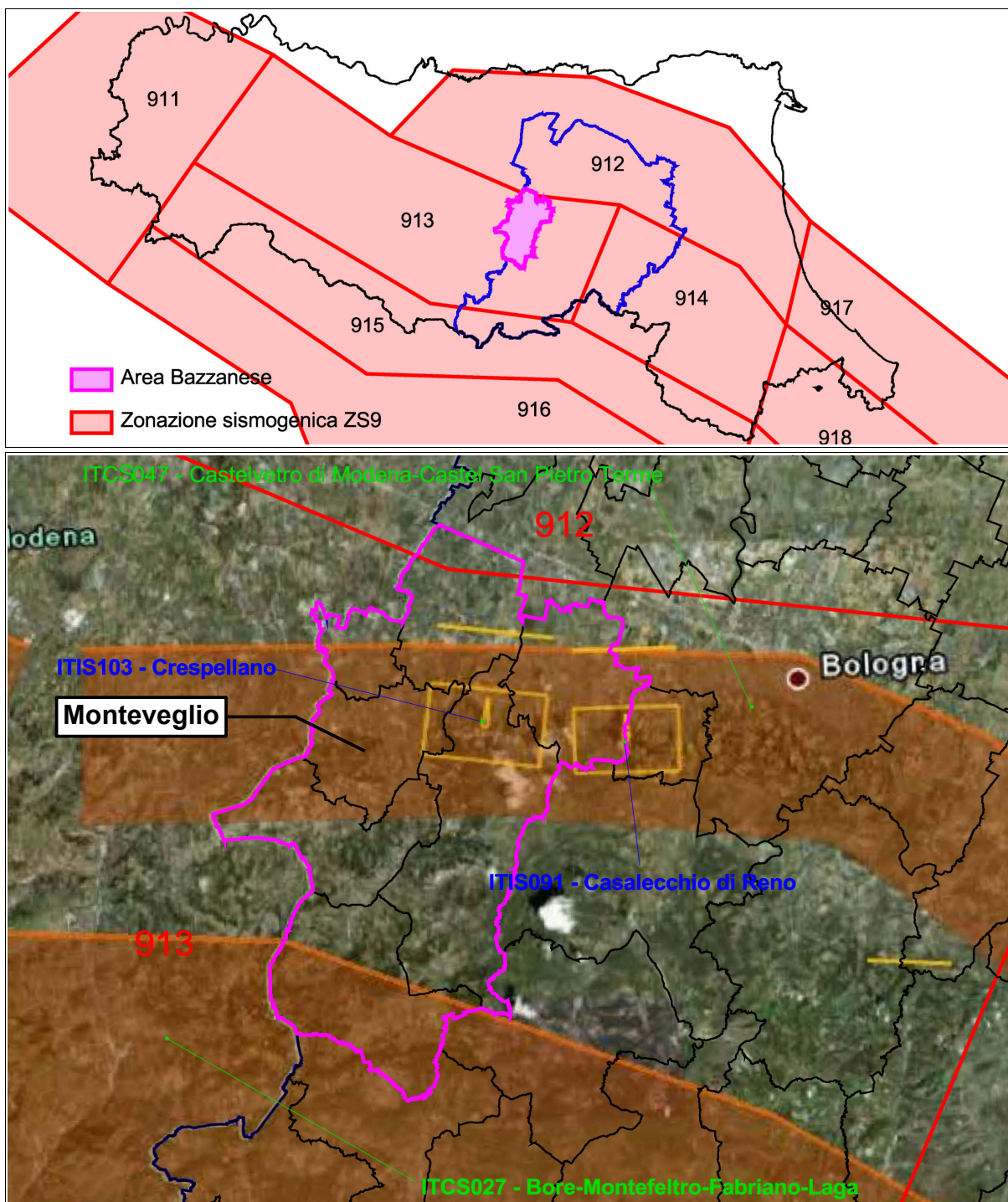


Figura 2.3 – Zonazione sismogenica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

In particolare la banca dati DISS 3.1 evidenzia due sorgenti sismogenetiche che interessano l'area di studio:

- “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)

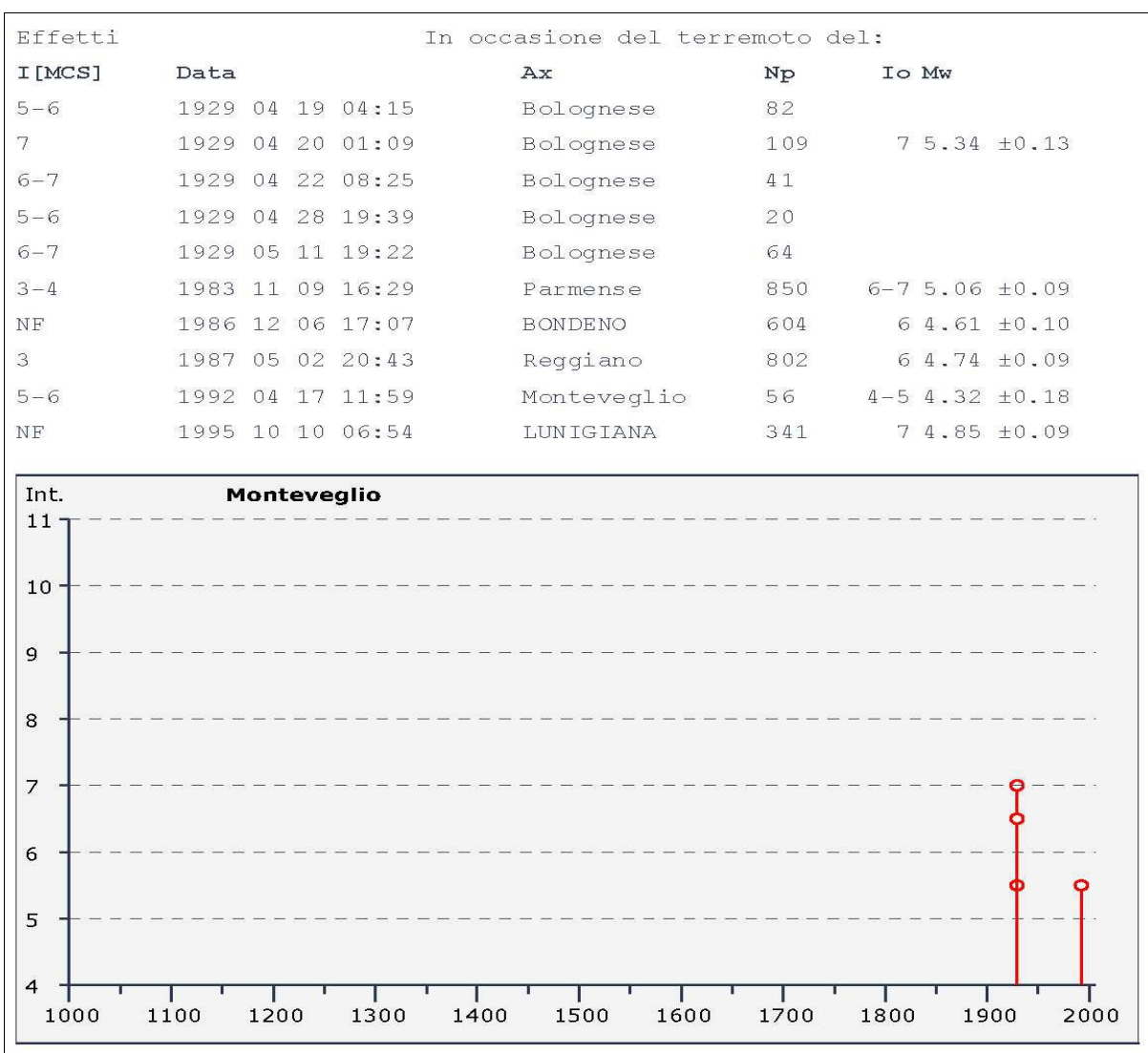


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Monteveglia e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

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 e il territorio occidentale del Comune di Monteveglio (sisma del 1992, con intensità stimata tra il quinto–sesto grado MCS. 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: oltre all'evento già citato, il sisma storico più significativo appare il sisma bolognese del 1929, con intensità massima stimate di sesto–settimo grado.

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

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

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

Il documento fornisce anche i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta sismica di terzo livello: lo spettro di risposta normalizzato per l'Emilia–Romagna (per $T_r = 475$ anni cioè con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni), riportato in figura 2.4, 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 Monteveglio, 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.

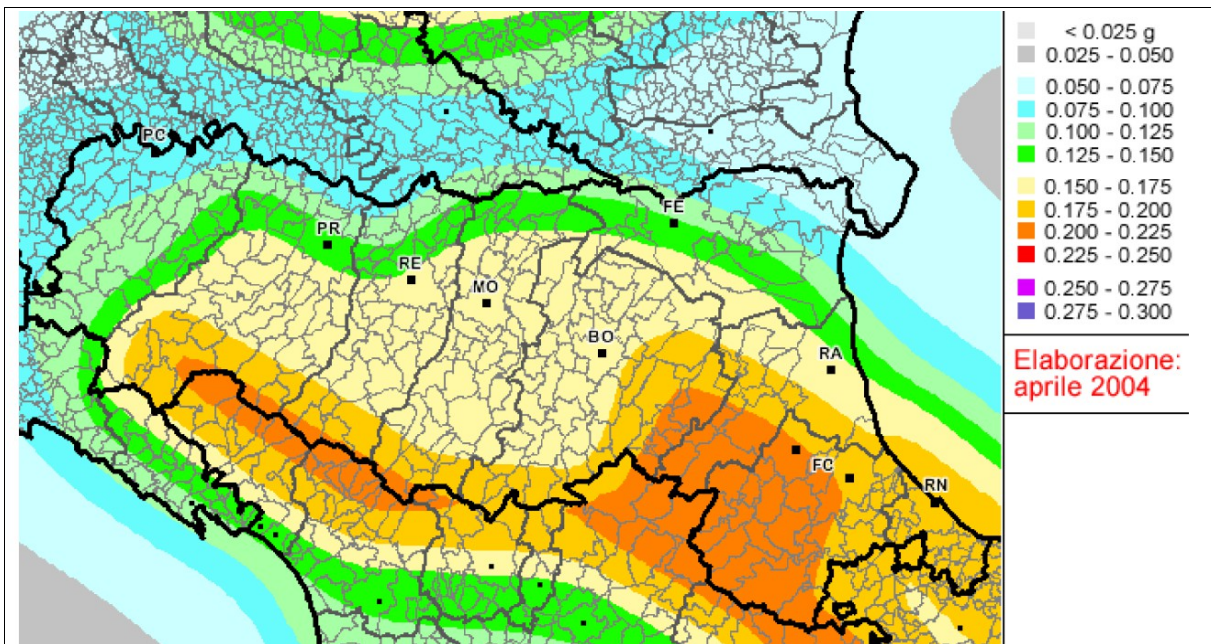
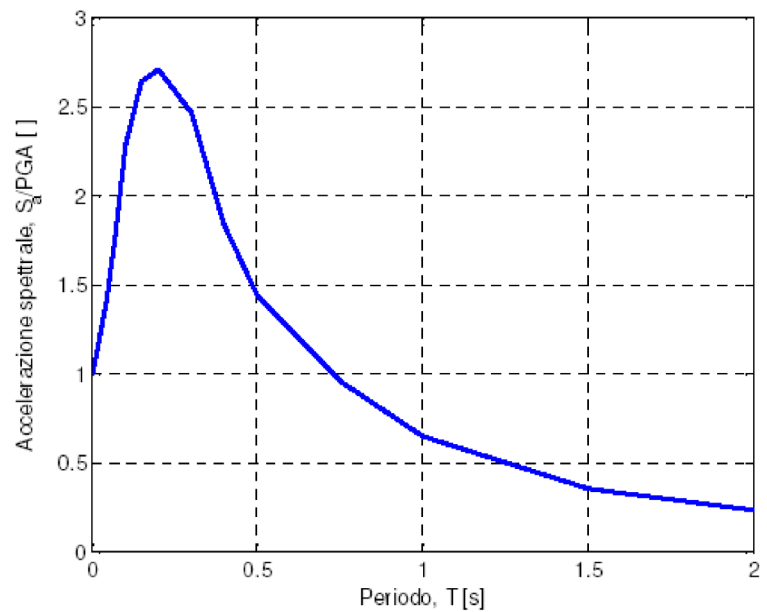


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio di Montevoglio 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 Montevoglio).

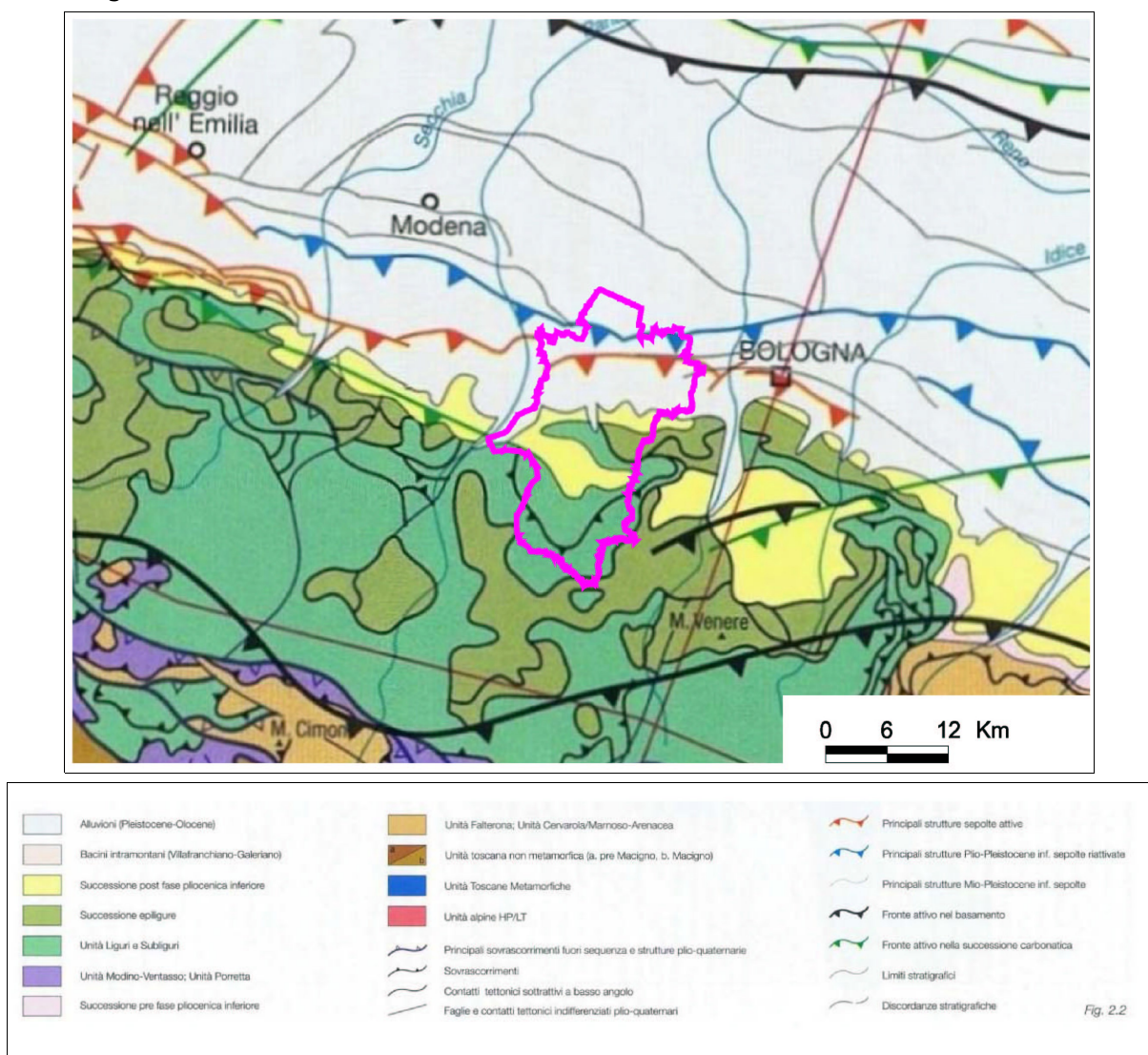


Figura 3.1 – Schema tettonico dell'area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell'area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

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 da Castello di Serravalle fino alla pianura padana, oltre Crespellano.

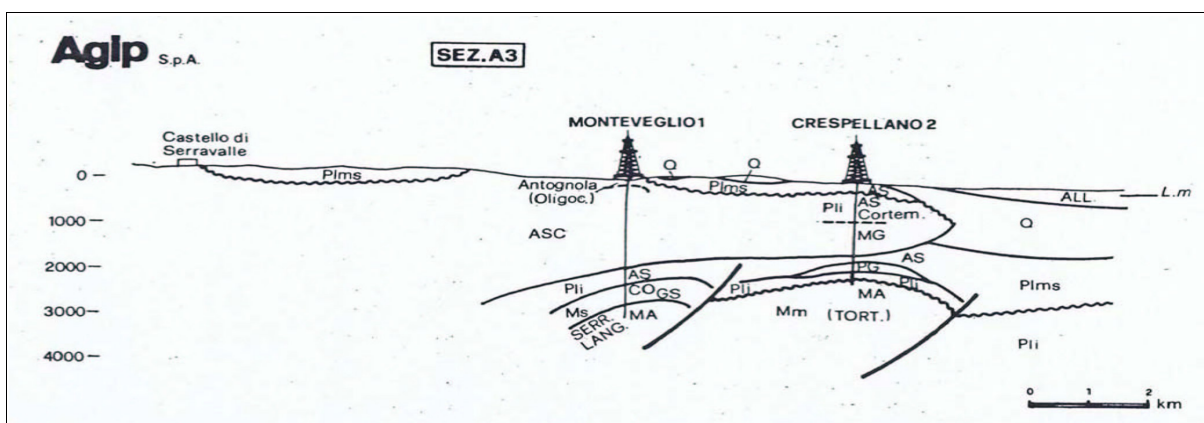


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino e del suo margine tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la “catena sepolta”, la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale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

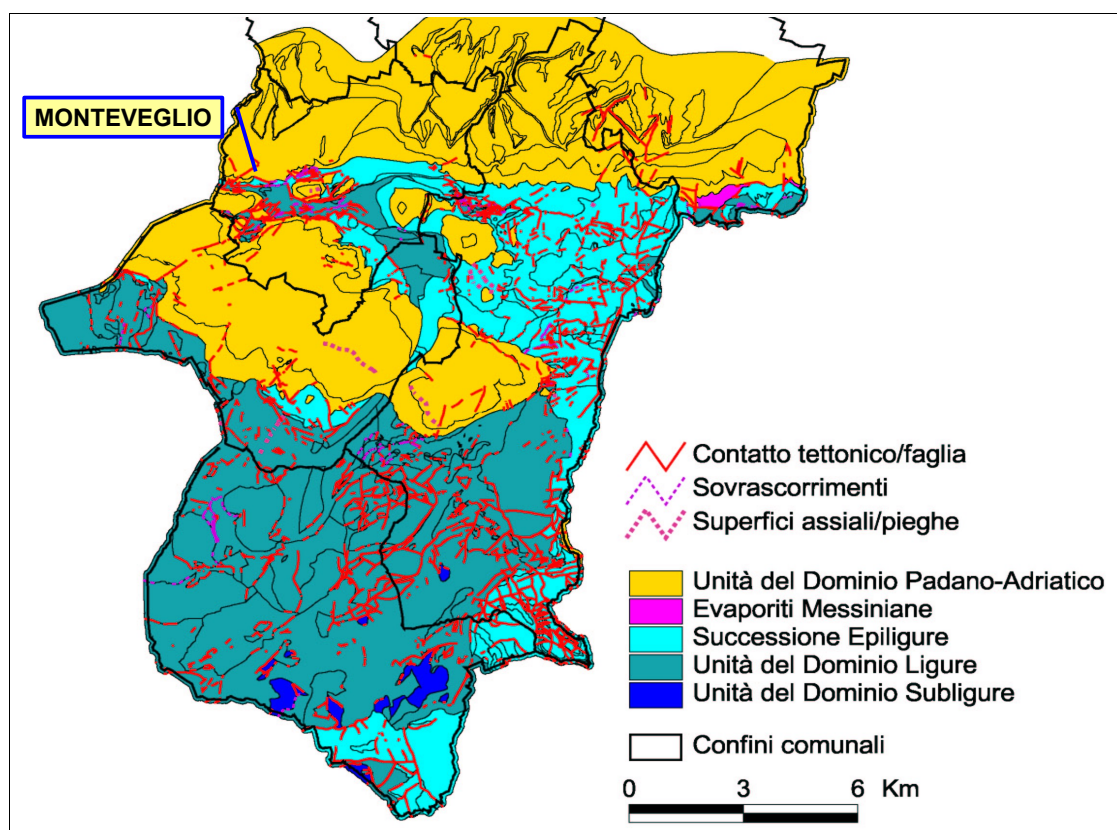


Fig. 3.3 Schema geo litologico del territorio montano e collinare di Monteveglio e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

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 nei pressi del Capoluogo (vedi profilo di figura 3.2) che al suo nucleo mostra unità geologiche più antiche e fortemente tettonizzate: Liguridi (AVS, SAG, FPG) e unità Epiliguri (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 (porzione sud del territorio comunale di Monteveglio) ricompare una fascia di territorio nella quale affiorano nuovamente le unità geologiche plioceniche (ADO, FAA) a chiudere la struttura nordvergente sopra descritta;

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.

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

3.2.1 Area frazione Ziribega

La frazione situata al limite sud del territorio comunale, si estende nel contesto di fondovalle del Torrente Ghiaie, che solca le sue alluvioni poco a nord dell'abitato. La cartografia geologica (figura 3.4) distingue le coperture alluvionali secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale “Supersistema Emiliano–Romagnolo” (R.E.R., ENI–AGIP, 1998). I depositi alluvionali affioranti vengono attribuiti al “Sistema Emiliano–Romagnolo Superiore” (AES) e sono suddivisi in sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsistemi identificati con sigle da AES5 – più antichi – ad AES8 – più recenti) delimitati in genere da scarpate di erosione.

Le coperture alluvionali sulle quali si insedia Ziribega sono attribuite all'unità di Vignola (AES7b) e sovrastano il bedrock marino costituito da litotipi attribuiti alla formazione pliocenica delle Argille Azzurre; il substrato affiora al piede della vallecchia secondaria a sud di Ziribega.

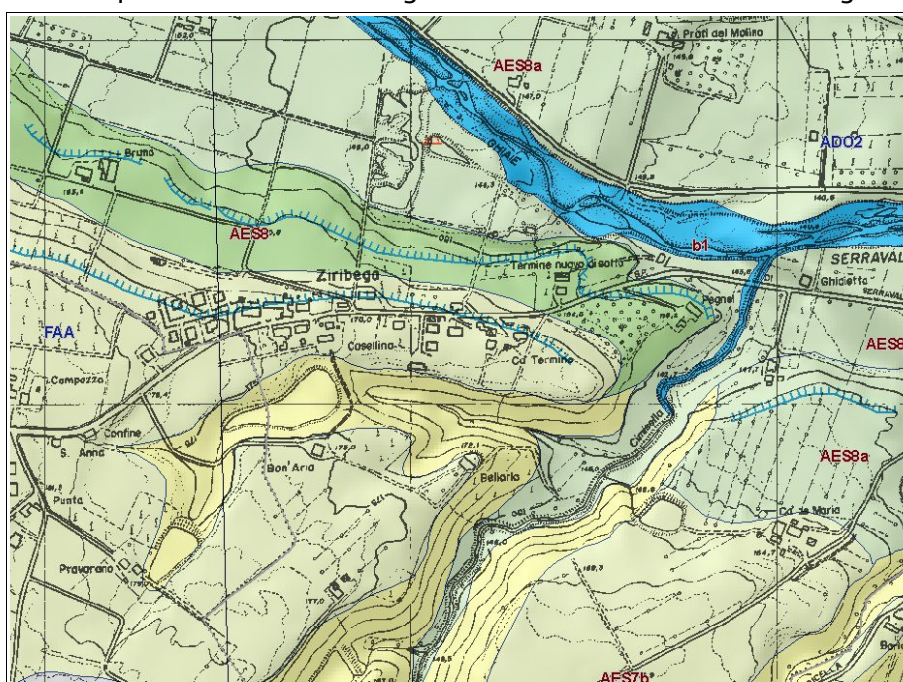


Figura 3.4 – Area di studio Ziribega: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia–Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

3.2.2 Area Monteveglio Alto

Per quanto riguarda il piccolo abitato storico di Monteveglio e la sua Abbazia (figura 3.5), l'area studiata si insedia su una cresta costituita da bedrock affiorante della Formazione pliocenica di Monte Adone e in particolare del suo Membro delle Ganzole. Si tratta di areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi e a geometria prevalentemente tabulare.

3.2.3 Area frazioni Oliveto e Stiore

Anche la piccola frazione di Oliveto è insediata su una cresta costituita da bedrock affiorante della Formazione pliocenica di Monte Adone (figura 3.6) e in particolare del suo Membro delle Ganzole (ADO2). Si tratta ancora di areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi e a geometria prevalentemente tabulare.

Figura 3.5 - Area di studio Monteveglio
Alto: 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.

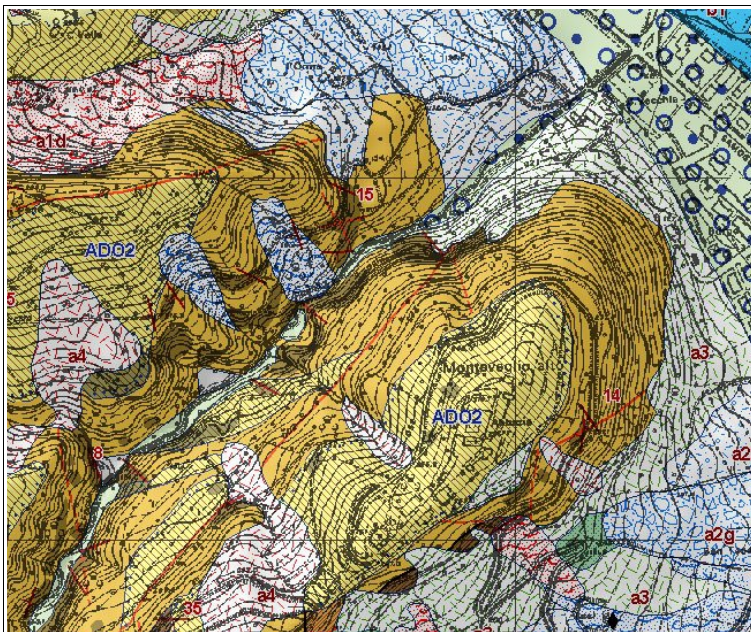
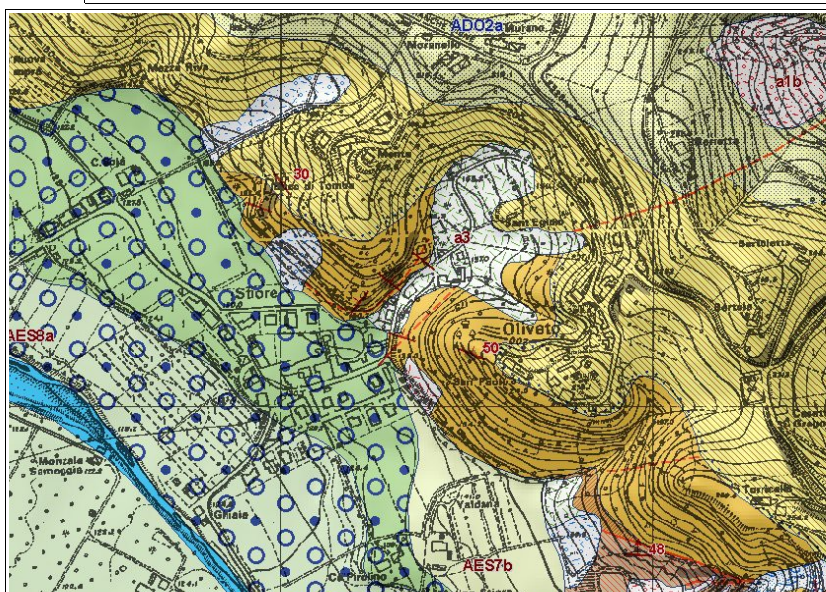


Figura 3.6 - Area di Oliveto e Stiore: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.



La frazione di Stiore si colloca invece sul fondovalle terrazzato del Torrente Samoggia, prevalentemente sulle unità alluvionali classificate come AES8 (Subsistema di Ravenna), sebbene la posizione stratigrafica rispetto alle quote topografiche può giustificare un'attribuzione di tali sedimenti all'Unità più antica AES7b (Unità di Vignola). Una fascia di territorio studiato della frazione di Stiore ricade anche nel terrazzo più recente classificato AES8a, prossimo all'alveo attuale del Samoggia e caratterizzato da depositi prevalentemente ghiaiosi. Il bedrock marino sottostante le coltri alluvionali è attribuito alla formazione di

Pantano (PAT) e in parte alla Formazione di Monte Adone (ADO2).

3.2.4 Area Capoluogo

L'abitato di Montevoglio ricade nel contesto di fondovalle, in particolare nella zona di confluenza del torrente Chiaie con il torrente Samoggia (figura 3.7), su depositi fluviali terrazzati prevalentemente attribuiti all'Unità di Modena (AES8a), mentre tra i due corsi d'acqua si riscontra un lembo terrazzato più antico, che la cartografia geologica regionale attribuisce all'Unità di Vignola (AES7b), con scarpate caratterizzate da coperture eluvio-colluviali.

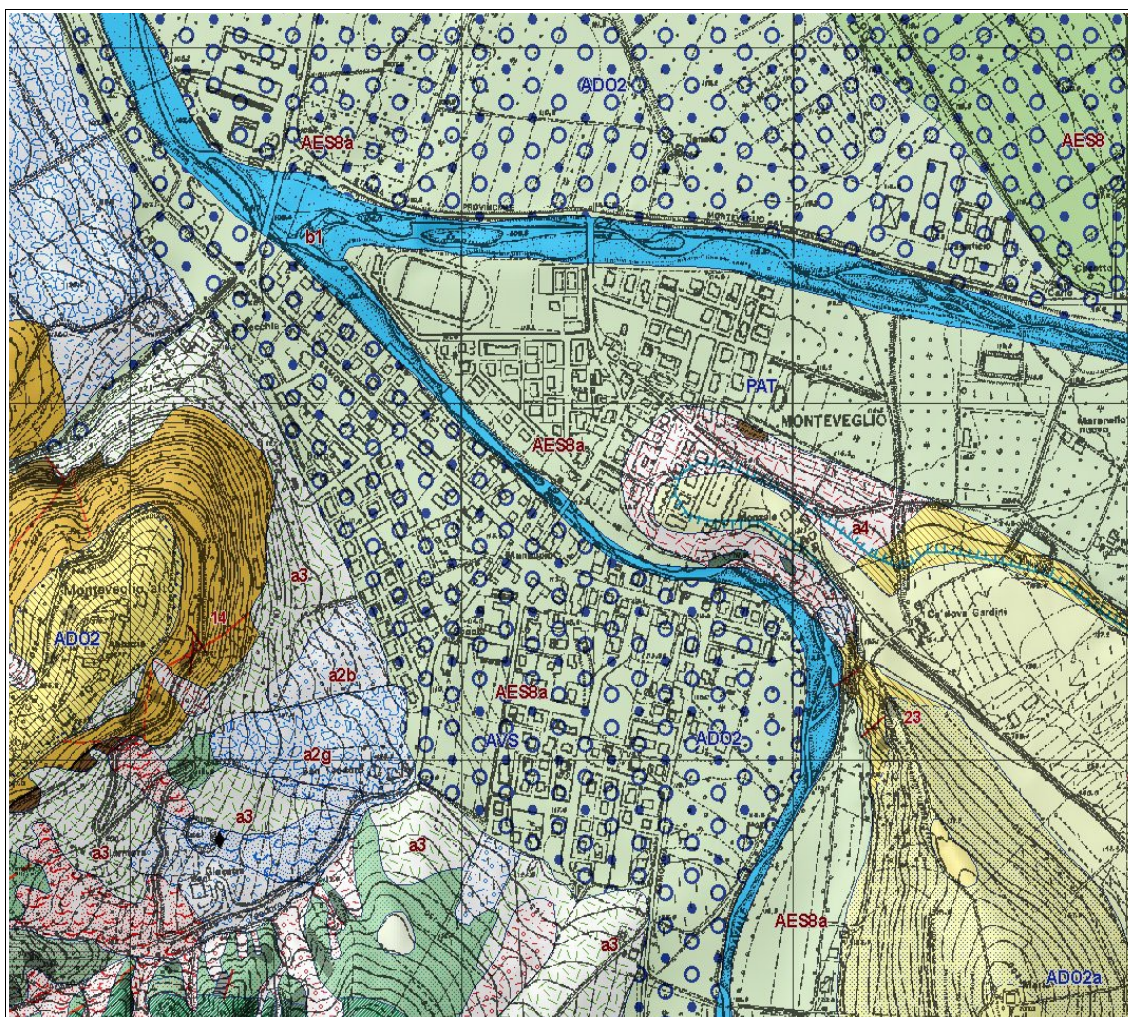


Figura 3.7 – Area Capoluogo: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Al piede del versante in destra idrografica del Chiaie si riscontrano coperture di versante e accumuli di frana quiescenti. Il substrato geologico sottostante le coltri alluvionali è di complessa attribuzione, con una ricostruzione sostanzialmente basata sui rapporti stratigrafici riscontrabili negli affioramenti rilevati sul versante: un'ampia parte dell'area più

setentrionale è riconducibile a unità epiliguri marnose e/o arenitiche (Formazione di Pantano e Formazione di Contignaco); nella porzione meridionale, il bedrock sottostante le coltri alluvionali è invece riconducibile alle Argille Varicolori della Valsamoggia (AVS) e a livelli pelitici e arenitici della formazione di Monte Adone (ADO2).

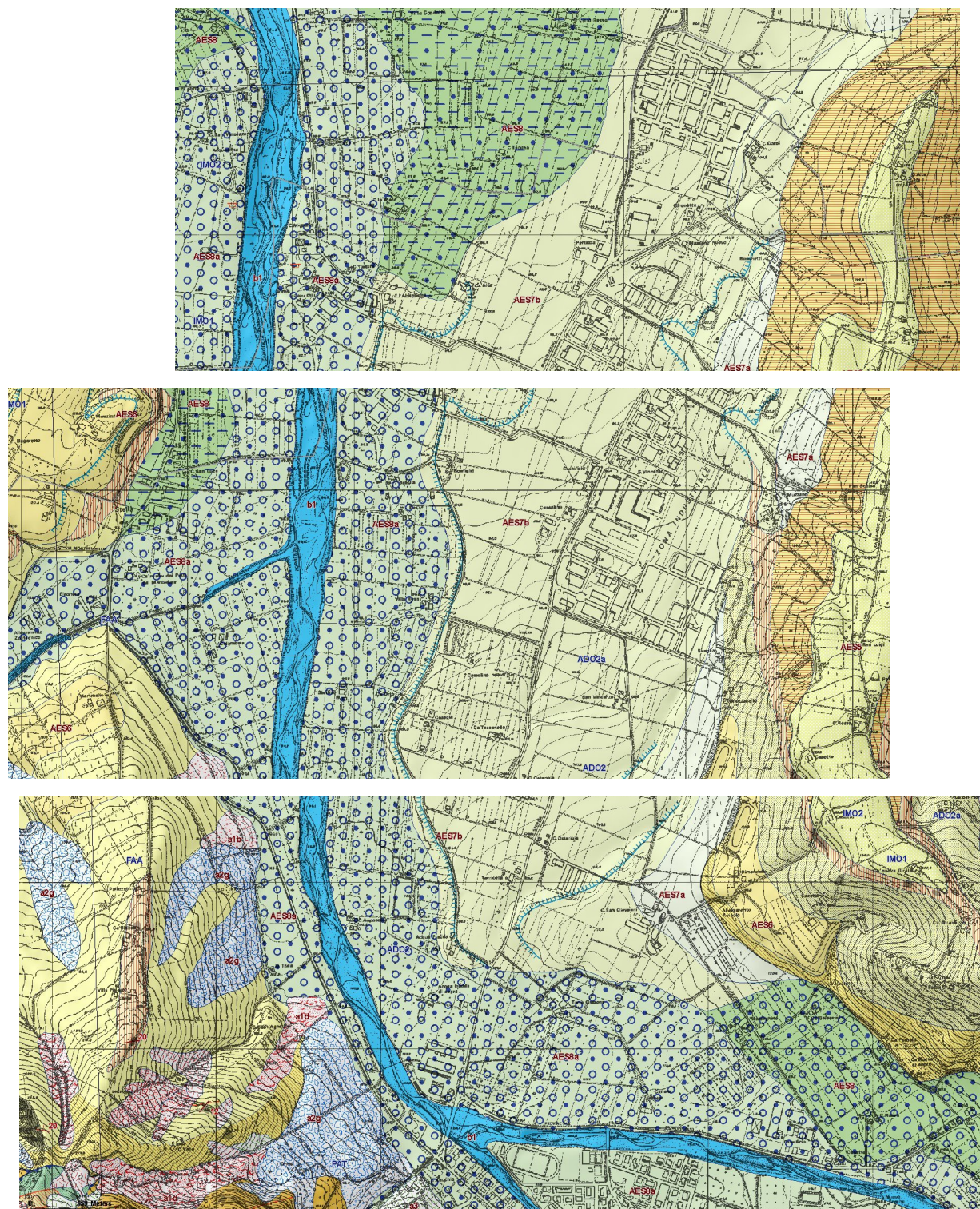


Figura 3.8 – Aree Monteveglio Nuovo, Zona Industriale, Cassolina Nuova, Abitazione e Formica: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 .

3.2.5 Aree Monteveglio Nuovo, Zona Industriale, Cassolina Nuova, Abitazione e Formica

Le aree di studio sopra riportate, ricadono nel contesto di fondovalle del Samoggia, a nord del Capoluogo. La figura 3.8 propone stralci della cartografia geologica regionale, per meglio comprendere l'assetto deposizionale delle aree di studio e i relativi terrazzi fluviali. In sintesi, le citate aree si insediano su coperture alluvionali terrazzate di differente ordine: AES8 (Unità di Ravenna) non differenziato, AES8a (Unità di Modena) e AES7b (Unità di Vignola). Il substrato geologico sottostante le coltri alluvionali sono invece riconducibili: nella porzione di fondovalle ancora a ridosso del capoluogo (ancora compresa nella già citata struttura anticlinale) a unità della successione Epiligure della Formazione di Pantano (PAT), mentre verso nord (sbocco valle) il bedrock sepolto è riconducibile a peliti e arenarie poco cementate del Pliocene inferiore-Pleistocene del margine appenninico (M. Adone; Argille Azzurre e Sabbie di Imola).

3.2.6 Depositi quaternari e bedrock marino interessanti le aree di studio

Le figure 3.9 e 3.10, in calce al paragrafo, propongono uno schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo delle aree studiate di Monteveglio (escluso Ziribega, in quanto interessato solamente da Argille Azzurre): per una migliore comprensione, le figure non riportano le coperture quaternarie, già rappresentate nelle precedenti figure. I depositi in affioramento nelle aree di studio sono pertanto 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 Samoggia e del Torrente Ghiaie. Sono inoltre rilevati ordini di terrazzi inferiori, attribuiti alla più recente Unità di Modena (sigla AES8a) di età Olocene - Attuale. Questi depositi, risultano morfologicamente ben distinti dalle alluvioni AES8 da una scarpata di erosione fluviale, di altezza generalmente contenuta entro i 10 metri; dal punto di vista tessiturale, le alluvioni attribuite al Torrente Ghiaie (parte sud del Capoluogo) risultano prevalentemente meno ghiaiose, con una componente prevalentemente limoso argillosa, mentre i depositi del Samoggia, caratterizzato da maggiore capacità trattiva, risultano prevalentemente ghiaiosi.
- Depositi alluvionali terrazzati “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio) → in particolare le alluvioni affioranti, riconducibili all'attività deposizionale del torrente Samoggia, sono attribuite all'Unità di Vignola (AES7b), caratterizzate da ghiaie passanti a sabbie e limi (anche argillosi nell'area di studio).

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 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.
- **FORMAZIONE DI CONTIGNACO (CTG)** → sono caratterizzate da marne carbonatiche e

selciose, più o meno siltose, di colore grigio-verdognolo o grigio azzurro, con patine manganesifere nerastre e ocracee, o arenarie risedimentate fini grigie. Gli strati sono generalmente di spessore medio, spesso poco evidenti; sono presenti intervalli arenacei biancastri, gradati, da sottili a spessi, con base netta. Diffusa fratturazione scheggiosa. Nella parte alta, localmente, aumenta la frequenza delle arenite e si può osservare una stratificazione tabulare. L'ambiente di sedimentazione è di scarpata e piattaforma esterna, con sporadici apporti torbiditici. L'età deposizionale è riconducibile all'Aquitaniense terminale – Burdigaliano

4. UNITA' GEOLOGICHE DELLA SUCCESSIONE LIGURE

- 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. Età deposizionale: da Cretacico inf. a Eocene inf.

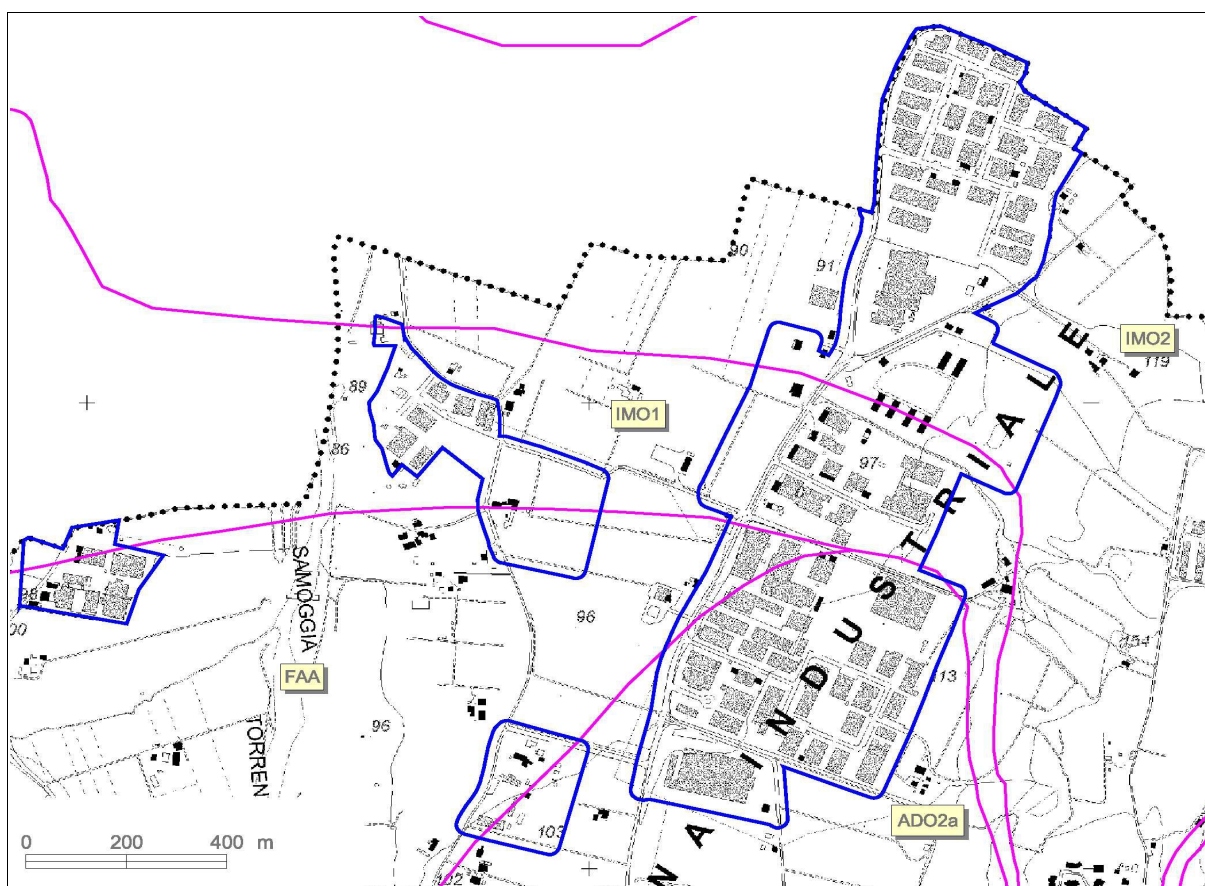


Figura 3.9 – Schema del substrato geologico senza coperture – aree di studio settentrionali (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

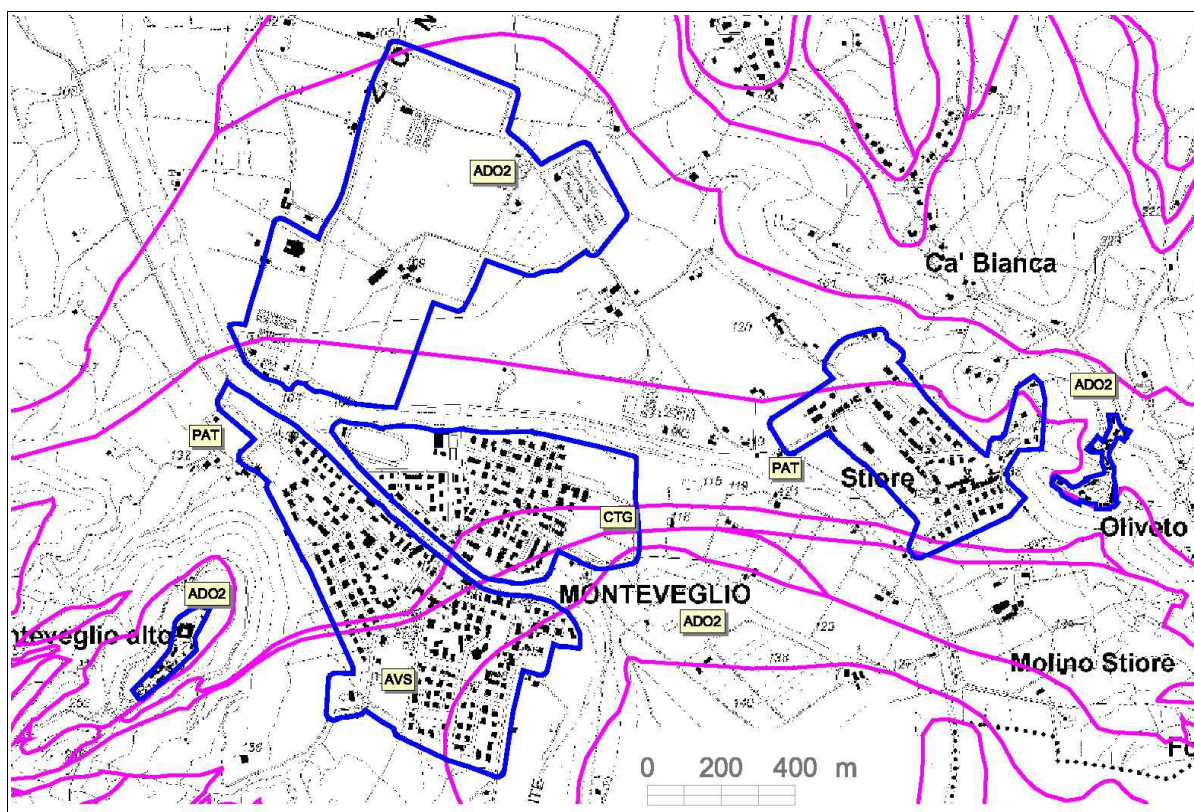


Figura 3.10 – Schema del substrato geologico senza coperture – aree di studio meridionali (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

Per gli aspetti più propriamente morfologici, necessari per valutare e delimitare le zone di possibile amplificazione topografica (creste), sono state elaborate cinque sezioni topografiche di dettaglio, denominate con sigla da A-A a E-E' (le tracce sono localizzate nelle tavole di microzonazione), basate sulle quote topografiche e sulle isoipse riportate nella cartografia topografica. La figura 3.11 riporta le due sezioni elaborate per l'area di studio Monteveglio Alto, mentre la figura 3.12 riporta le tre sezioni elaborate l'area della frazione di Oliveto.

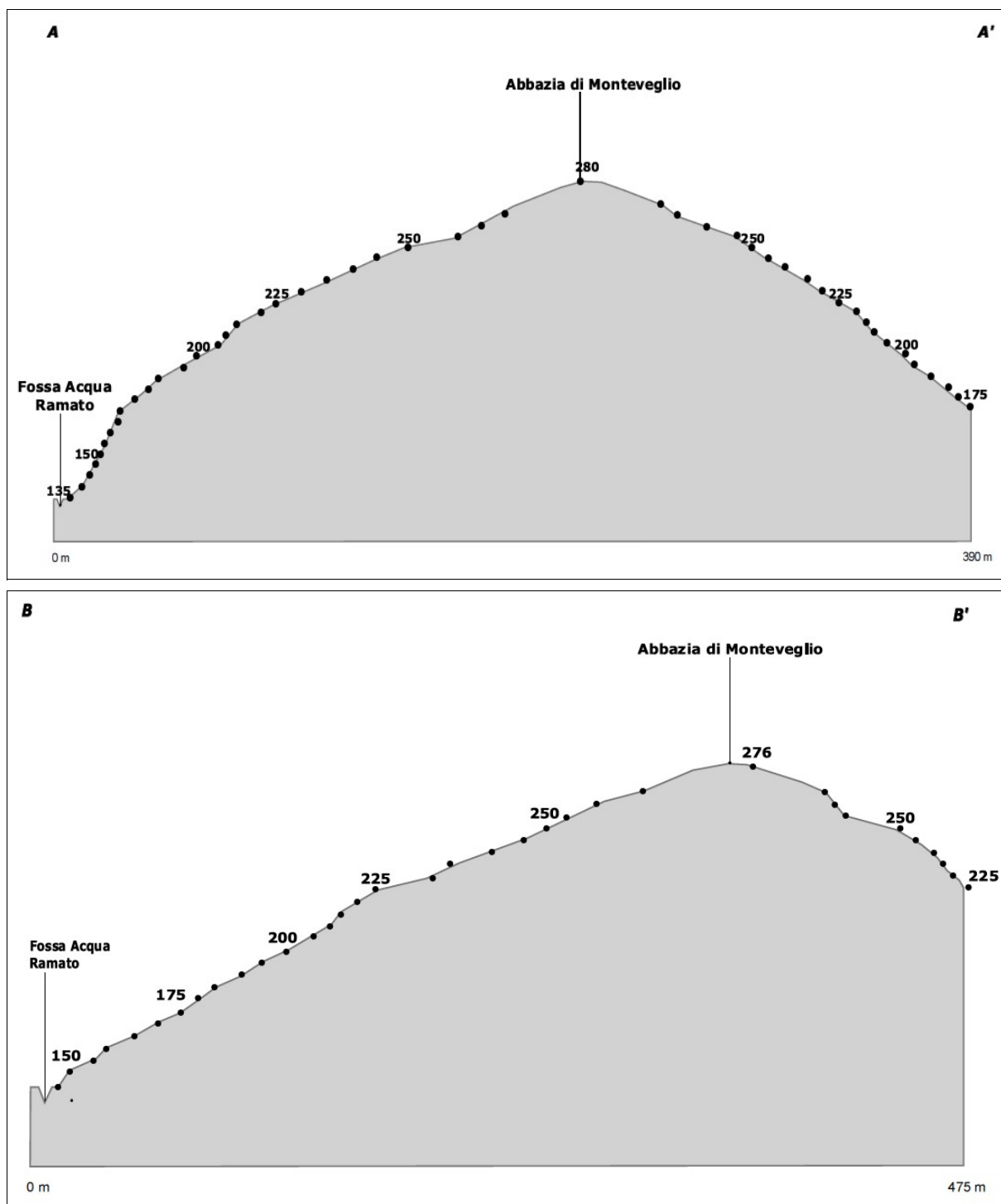


Figura 3.11 – Profili topografici elaborati per l'area di studio Monteveglio Alto (le tracce sono localizzate sulle tavole di microzonazione)

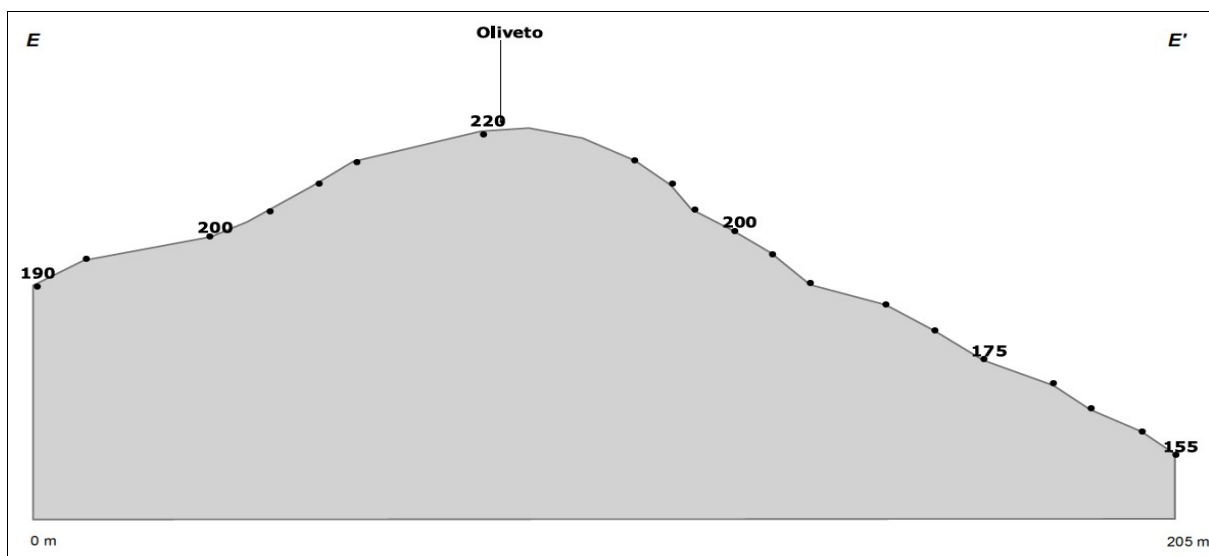
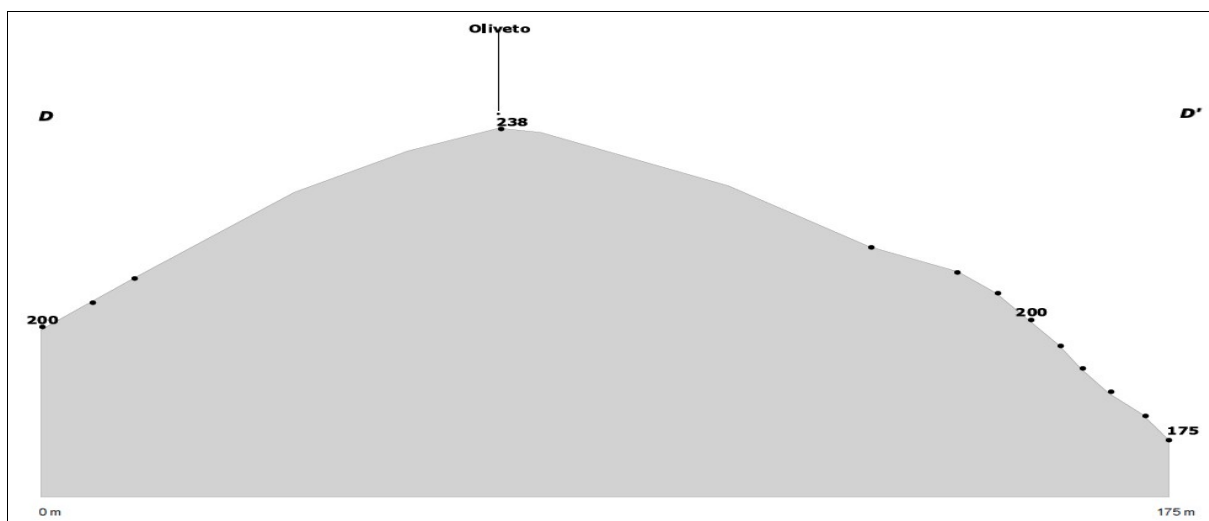
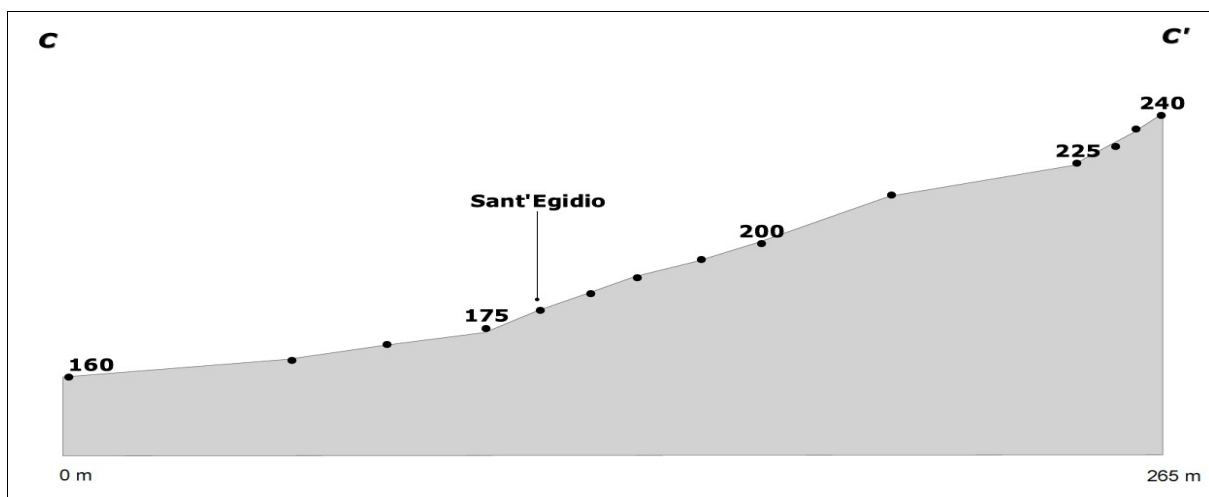


Figura 3.12 - Profili topografici elaborati per l'area di studio frazione Oliveto (le tracce sono localizzate sulle tavole di microzonazione)

4 Dati geotecnici e geofisici

4.1 Dati pregressi

Lo studio di Microzonazione ha consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse (Banca dati delle indagini geognostiche della Regione Emilia-Romagna; archivio Ufficio Tecnico comunale; ecc.), fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio. In tal senso, le figure 4.1 e 4.2 localizzano i siti puntuali e lineari ove sono state svolte le prove di riferimento per lo studio di Microzonazione sismica di Savigno (secondo il criterio di archiviazione della Protezione Civile), utile per l'individuazione delle stesse indagini. I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in formato *.pdf nella cartella Indagini\documenta nel DVD.

La selezione delle prove di repertorio 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 50 prove, così distinte per tipologia:

- n. 4 sondaggi a distruzione di nucleo (SD)
- n. 9 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 14 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- n. 4 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- n. 11 misure di microtremori a stazione singola (HVSR)
- n. 4 trincee o pozzi esplorativi (T)
- n. 4 stendimenti MASW

4.2 Dati ex novo

Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di Microzonazione, 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, si sono concentrate le indagini geognostiche nelle aree di studio (urbanizzato e urbanizzabili) forniteci dall'Ente committente. Per il Comune di Montevoglio si è pertanto deciso di eseguire stendimenti geofisici tipo Re.Mi. (per la stima della distribuzione delle Vs nel sottosuolo), registrazioni del rumore sismico passivo con tecnica HVSR e penetrometrie dinamiche superpesanti (tipo DPSH).

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

- n. 6 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH → realizzate con strumento penetrometrico di max contrasto pari a 200 kN, montato su semovente cingolato "Pagani". Le penetrometrie sono state spinte fino a "rifiuto" strumentale.
- n. 38 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.

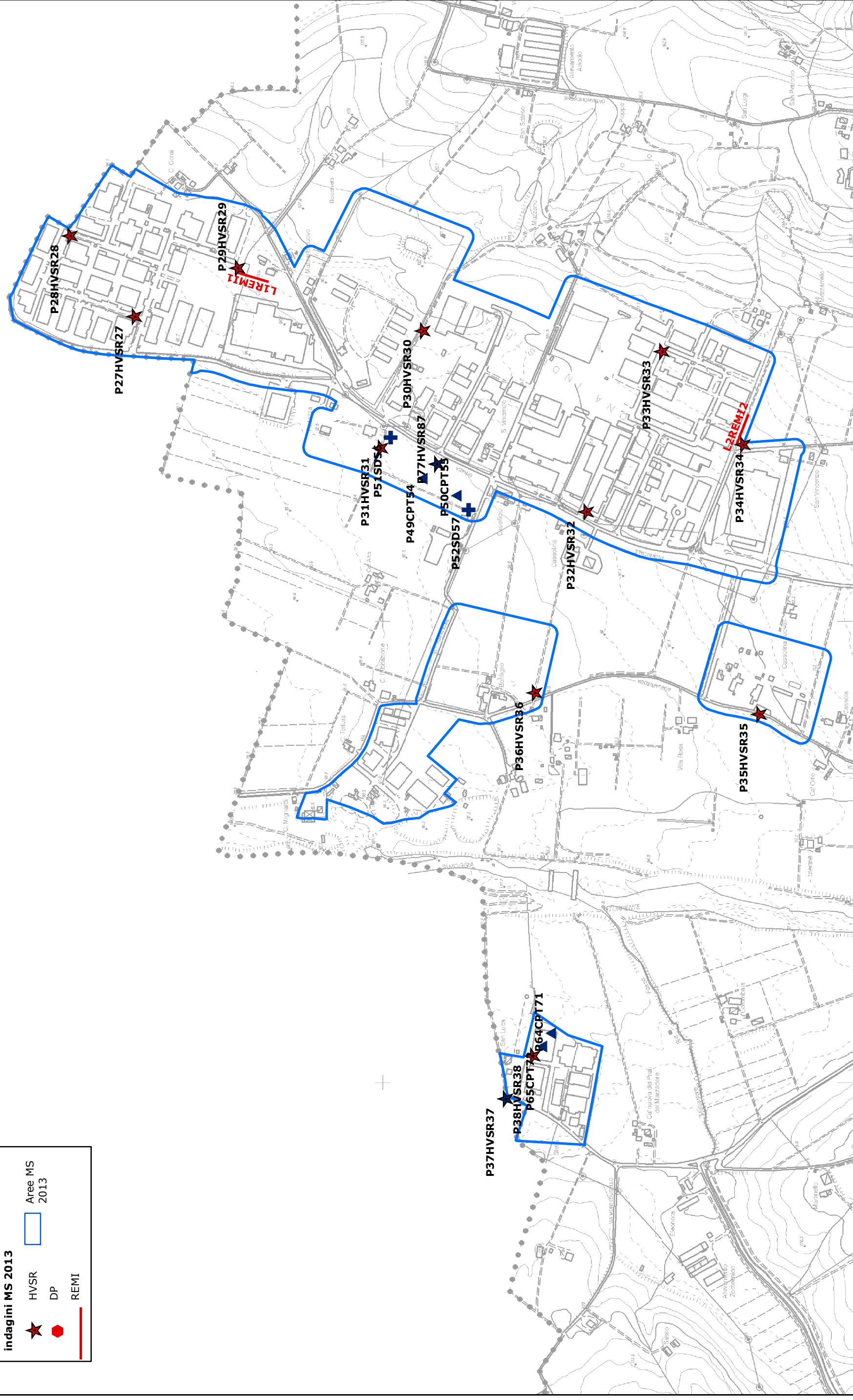
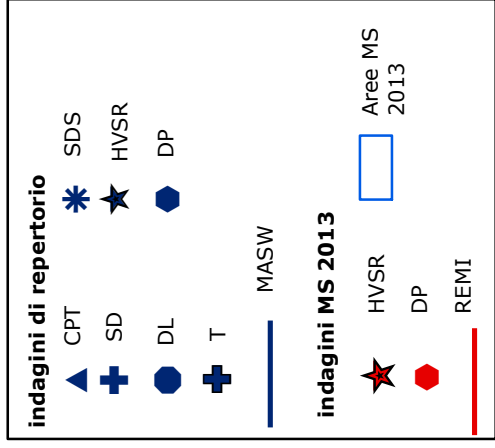


Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

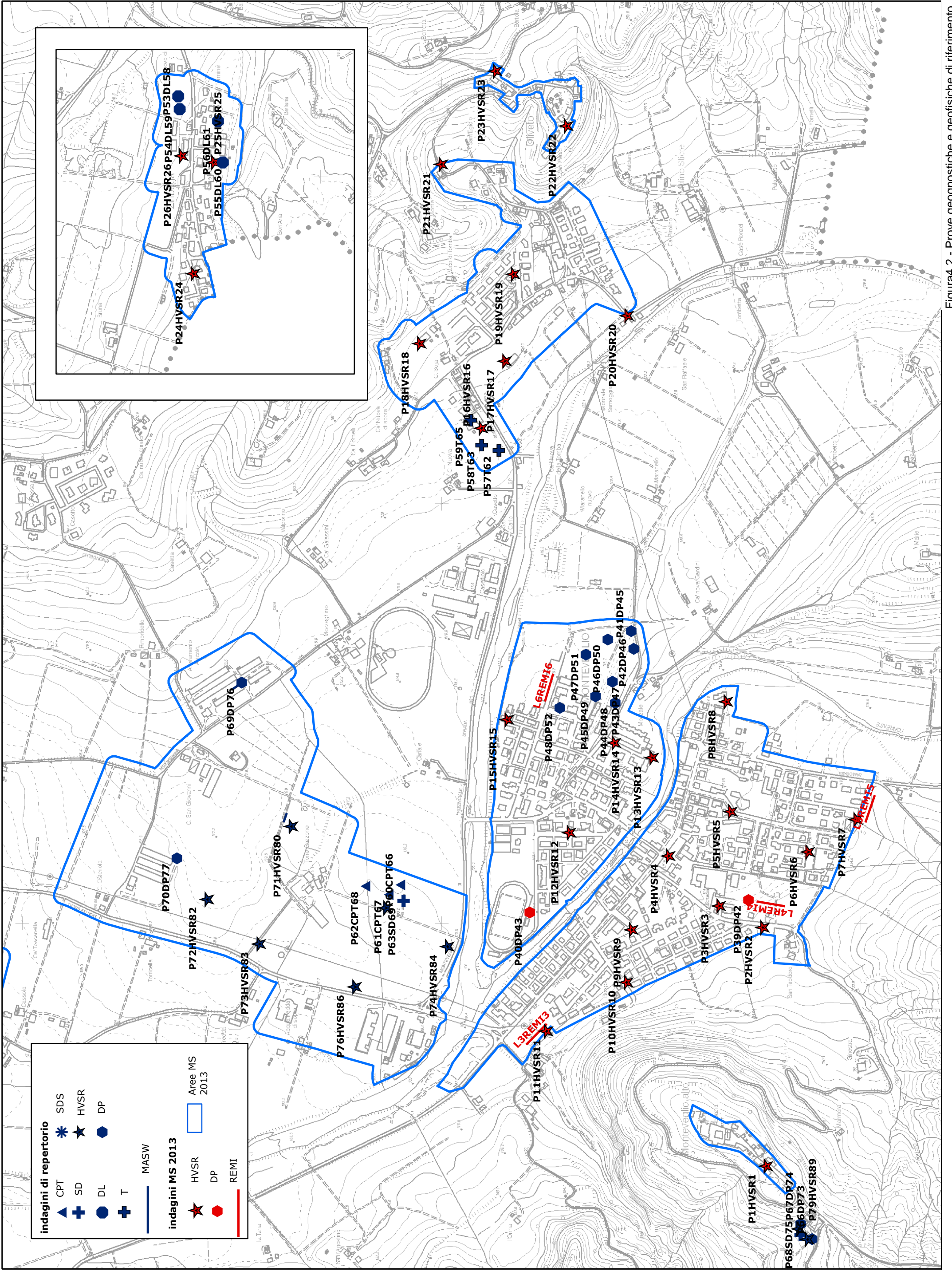


Figura 4.2 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

5 Modello di sottosuolo

5.1 Area frazione Ziribega

L'abitato di Ziribega si insedia sulla porzione nord orientale del medesimo terrazzo alluvionale (Unità di Vignola – AES7b) che ospita l'area industriale di Castelletto di Serravalle⁹. Le prove geognostiche e geofisiche di repertorio e realizzate ex novo dallo Scrivente nel Comune di Castello di Serravalle¹⁰, indicano uno spessore pressoché costante di alluvioni (caratterizzate da ghiaie passanti verso l'alto a limi e anche argille) e di bedrock pliocenico (Argille Azzurre) molto alterato e che viene ancora inteso come copertura (con $V_s < 400$ m/s), in particolare la prova Re.Mi eseguita nella parte NE dell'area produttiva di Castelletto evidenzia uno spessore di circa 20 m caratterizzato da V_s media di 325 m/s; tale esito è ulteriormente confermato dalla MASW di repertorio, eseguita a NO della stessa zona produttiva (qui lo spessore delle coperture risulta pari a circa 22 m con V_s media di tale intervallo pari a 320 m/s). Le registrazioni HVSR evidenziano che le amplificazioni più marcate nello spettro H/V a frequenze comprese tra 2,8 Hz fino a circa 4 Hz. Al di sotto di tali profondità, la velocità di taglio del bedrock marino supera i 450–500 m/s, pertanto a tale quota viene considerato raggiunto il “substrato geologico non rigido”.

5.2 Area Monteveglio Alto

L'abitato storico di Monteveglio e la sua Abbazia si insediano su una cresta costituita da bedrock affiorante della Formazione pliocenica di Monte Adone e in particolare del suo Membro delle Ganzole. Si tratta di areniti fini (che qui appaiono predominanti) e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi e a geometria prevalentemente tabulare. Le caratteristiche geolitologiche di questa formazione in affioramento consentono di attribuirlo localmente a “substrato geologico granulare cementato”; gli esiti delle indagini geofisiche confermano questa attribuzione in quanto registrazione HVSR eseguita nell'area di studio non evidenzia picchi significativi nello spettro H/V, mentre prove geofisiche di repertorio (es stendimento Masw denominato per questo lavoro L9MASW9, realizzato a Monteveglio Nuovo), eseguite su depositi ADO2, evidenziano V_s approssimabili a circa $700 \div 800$ m/s.

⁹ La zona produttiva ricade nel limitrofo Comune di Castello di Serravalle

¹⁰ Microzonazione sismica Comune di Castello di Serravalle in attuazione dell'art. 11 della L. n.77/2009 (S. Sangiorgi 2013)

5.3 Area frazioni Oliveto e Stiore

La frazione di Oliveto si insedia anch'essa su una cresta costituita da bedrock affiorante della Formazione pliocenica di Monte Adone e in particolare del suo Membro delle Ganzole (ADO2): sono areniti fini prevalenti e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi e a geometria prevalentemente tabulare. Anche in questo caso (come per l'Abbazia), le caratteristiche geolitologiche della formazione affiorante consentono di attribuirlo localmente a “substrato geologico granulare cementato”, come già spiegato nel precedente paragrafo e con Vs approssimabili a circa 700÷800 m/s. Le registrazioni HVSR eseguite nell'area di studio non evidenziano picchi significativi nello spettro H/V.

La frazione di Stiore è invece situata nel fondovalle terrazzato del Torrente Samoggia e in particolare su alluvioni prevalentemente fini e attribuite all'Unità più antica AES7b (Unità di Vignola); la fascia orientale ricade invece su un terrazzo più recente con ghiaie alluvionali sub affioranti (Subsistema di Ravenna – AES8). Le indagini geognostiche e geofisiche (trincee esplorative e registrazioni HVSR) evidenziano uno spessore complessivo delle coperture (coltri alluvionali e bedrock molto alterato, prevalentemente PAT e anche ADO2) fino a circa 10 metri; in particolare tale profondità è giustificata dai più significativi picchi di amplificazione riscontrati dalle registrazioni HVSR a frequenze comprese tra 6,5 Hz e 8,6 Hz e coerenti con tale profondità. Il versante a monte del terrazzo fluviale (PAT in affioramento) è peraltro caratterizzato da dissesto di versante (piccoli crolli e scivolamenti). Occorre inoltre segnalare che la vallecola stretta (in parte compresa nell'area di studio) è caratterizzata da accumuli di detrito (di spessore ignoto e probabilmente molto variabile) e con ripide scarpate con dissesti gravitativi puntuali.

5.4 Area Capoluogo

L'abitato di Monteveglio è situato su coperture alluvionali terrazzate, principalmente attribuiti all'Unità di Modena (AES8a); l'area studiata ricade alla confluenza del torrente Ghiaie con il torrente Samoggia e pertanto le caratteristiche litotecniche di questi sedimenti risentono delle differenti caratteristiche trattive e deposizionali dei due corsi d'acqua: in particolare, le indagini geognostiche evidenziano per la parte nord orientale dell'abitato depositi prevalentemente ghiaiosi e ciottolosi, anche sub affioranti, mentre la restante porzione di terrazzo è caratterizzato da coltri alluvionali prevalentemente fini (limi sabbiosi e argille). Le quattro penetrometrie DPSH eseguite per questo lavoro (P41DP41; P42DP42; P43DP43; P44DP44) hanno consentito di appurare uno spessore delle coperture alluvionali è variabile da 5 a 8 metri; le prove hanno peraltro evidenziato un sottostante intervallo di substrato geologico molto alterato (prevalentemente pelitico) fino a circa 9÷11 metri di

profondità. Per questo motivo, si è deciso di considerare come “copertura” non soltanto la coltre alluvionale, ma anche il sottostante intervallo di bedrock molto alterato, per un complessivo spessore di 10 metri. Anche le indagini geofisiche espletate, confermano il modello di sottosuolo descritto, in particolare le quattro prove Re.Mi. effettuate sul terrazzo pertinente il Capoluogo (REMI3; REMI4; REMI5; REMI6) hanno riscontrato un primo intervallo di sottosuolo (coperture) che offrono un significativo contrasto di impedenza, di potenza variabile da 10 m a 11,5 m e con Vs calcolate per tale intervallo comprese tra 237 m/s e 273 m/s, sovrastanti substrato geologico con Vs molto variabili (da 500 m/s a 700 m/s) e che è stato complessivamente considerato, a titolo cautelativo, come “bedrock non rigido” (<800 m/s). Tra i corsi d'acqua Ghiaie e Samoggia, si riscontra una superficie terrazzata di rango superiore (più antica), i cui sedimenti sono stati attribuiti all'Unità di Vignola (AES7b), con scarpate caratterizzate da coperture eluvio-colluviali: anche in questo caso, lo spessore delle coperture, viene considerato pari a circa 10 metri, sulla base degli esiti delle numerose prove penetrometriche di repertorio. In conclusione, anche le registrazioni HVSR evidenziano che i più significativi picchi di amplificazione, nello spettro H/V, risultano a frequenze comprese tra 6 Hz e 7 Hz, cioè coerenti con gli spessori delle coperture sopra descritte.

Quest'area di studio, è schematizzata anche nella sezione geologica 2-2' di figura 5.1 (la localizzazione delle tracce è riportata sulle tavole di microzonazione sismica), elaborata per consentire di comprendere i rapporti stratigrafici del bedrock marino e le coltri quaternarie sovrastanti.

5.5 Aree Montevoglio Nuovo, Zona Industriale, Cassolina Nuova, Abitazione e Formica

Queste aree di studio, ricadenti nel fondovalle del Samoggia e in prossimità del suo sbocco verso la pianura, sono anch'esse caratterizzate da coperture alluvionali terrazzate di differente ordine: AES8 (Unità di Ravenna) non differenziato, AES8a (Unità di Modena) e AES7b (Unità di Vignola). Il substrato geologico, nella porzione di fondovalle più a ridosso del capoluogo è riconducibile a unità della successione Epiligure e in particolare alle alternanze arenitiche e pelitiche della Formazione di Pantano (PAT) che ancora emergono nella struttura sinclinalica che caratterizza tettonicamente il sottosuolo del Capoluogo. Verso nord, cioè verso lo sbocco della valle verso la pianura, il bedrock sepolto è riconducibile alle unità del “Margine Appenninico”: areniti e peliti della Formazione di Monte Adone (Membro delle Ganzole – ADO2), argille e marne sovraconsolidate delle Argille Azzurre; sabbie debolmente cementate e peliti sovraconsolidate dell'Unità delle sabbie di Imola (IMO1 e IMO2).

Le indagini geognostiche di repertorio e le prove DPSH eseguite per questo lavoro

attraversano depositi alluvionali fino a profondità variabili da 4 metri fino a circa 8 metri circa: si tratta di sedimenti prevalentemente fini (in particolare i terrazzi AES7b sono costituiti da limi e argille con strati per lo più decimetrici sabbioso-gliaiosi più frequenti al letto della coltre alluvionale) oppure ghiaiosi sub affioranti (in particolare nel terrazzo classificato AES8a). Le terebrazioni più profonde (sondaggi a percussione) evidenziano, inoltre, un sottostante intervallo di substrato geologico molto alterato (prevalentemente pelitico) fino a circa 9÷12 metri di profondità. Per questo motivo, si è deciso di considerare come “copertura” non soltanto la coltre alluvionale, ma anche il sottostante intervallo di bedrock molto alterato, per un complessivo spessore di 10 metri. Le indagini geofisiche espletate, confermano questo modello di sottosuolo, pressochè omogeneo ed estrapolabile a tutto il fondovalle studiato: in particolare, le due prove MASW di repertorio eseguite nella zona Montevoglio Nuovo riscontrano un primo intervallo di sottosuolo (coperture) con Vs minori e in grado di offrire un significativo contrasto di impedenza, pari a circa 10 metri di spessore (Vs media dell'intervallo rispettivamente di 270 m/s e 276 m/s). più a nord sono state eseguite per questo lavoro tre ulteriori stendimenti Re.Mi. che hanno confermato uno spessore superficiale, potente circa 10 metri, con Vs medie variabili da 287 m/s a 321 m/s. Infine, le registrazioni HVSR riscontrano le amplificazioni più significative nello spettro H/V a frequenze coerenti con lo spessore delle coperture considerato. Sebbene le indagini dirette non consentano una caratterizzazione di dettaglio del bedrock sepolto dalle coperture alluvionali, gli esiti delle indagini geofisiche e le caratteristiche litotecniche note, consentono di attribuire cautelativamente a tutte le aree in oggetto un “bedrock non rigido” (<800 m/s).

Per quanto riguarda l'area di studio presso la località Formica, essa ricade in un contesto di conoide torrentizia secondaria del Rio Marzatore, il cui bacino idrogeologico è impostato in unità litologiche facilmente erodibili e fini (Argille Azzurre e Sabbie di Imola). le indagini penetrometriche di repertorio (CPT), evidenziano resistenze alla punta molto modeste (<1.000 kPa) e tessiture corrispondenti a sedimenti prevalentemente argillosi; le registrazioni HVSR eseguite nell'area evidenziano amplificazioni abbastanza marcate (H/V >2) a frequenza comprese tra 3,4 Hz e circa 4 Hz: questi esiti, opportunamente tarati con i dati delle indagini dirette, consentono valutare la profondità del riflettore sismico, corrispondente a coperture (e bedrock alterato?), alla profondità di circa 15 metri e una VsH attribuita a tale intervallo di circa 200 m/s.

In conclusione, il contesto di sottosuolo delle aree sopra descritte è schematizzato anche nelle due sezioni geologiche (identificate con sigla 1-1' e 2-2') riportate in calce alla Relazione (la localizzazione delle tracce è riportata sulle tavole di microzonazione sismica), elaborate in senso trasversale al fondovalle del Torrente Samoggia per consentire di comprendere i rapporti stratigrafici del bedrock marino e le coltri quaternarie sovrastanti di questa porzione di territorio comunale studiato.

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 eventuali incertezze si ritengono 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.

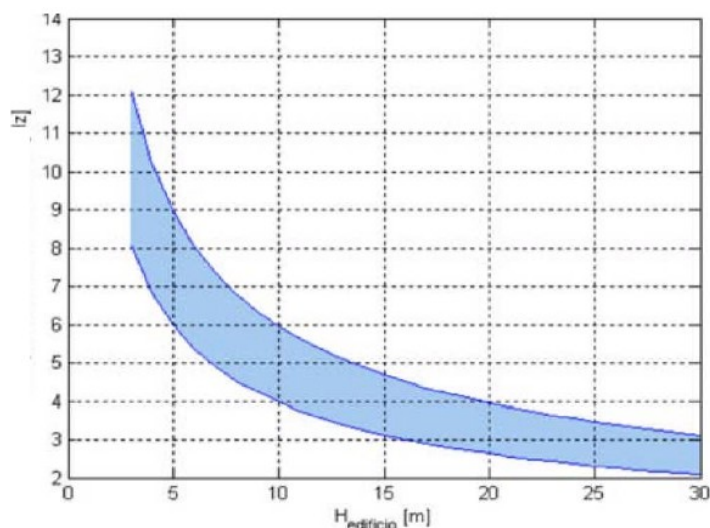
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro 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 1:5.000, che localizza tutte le indagini di riferimento per lo studio di microzonazione sismica di Montevoglio, 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.

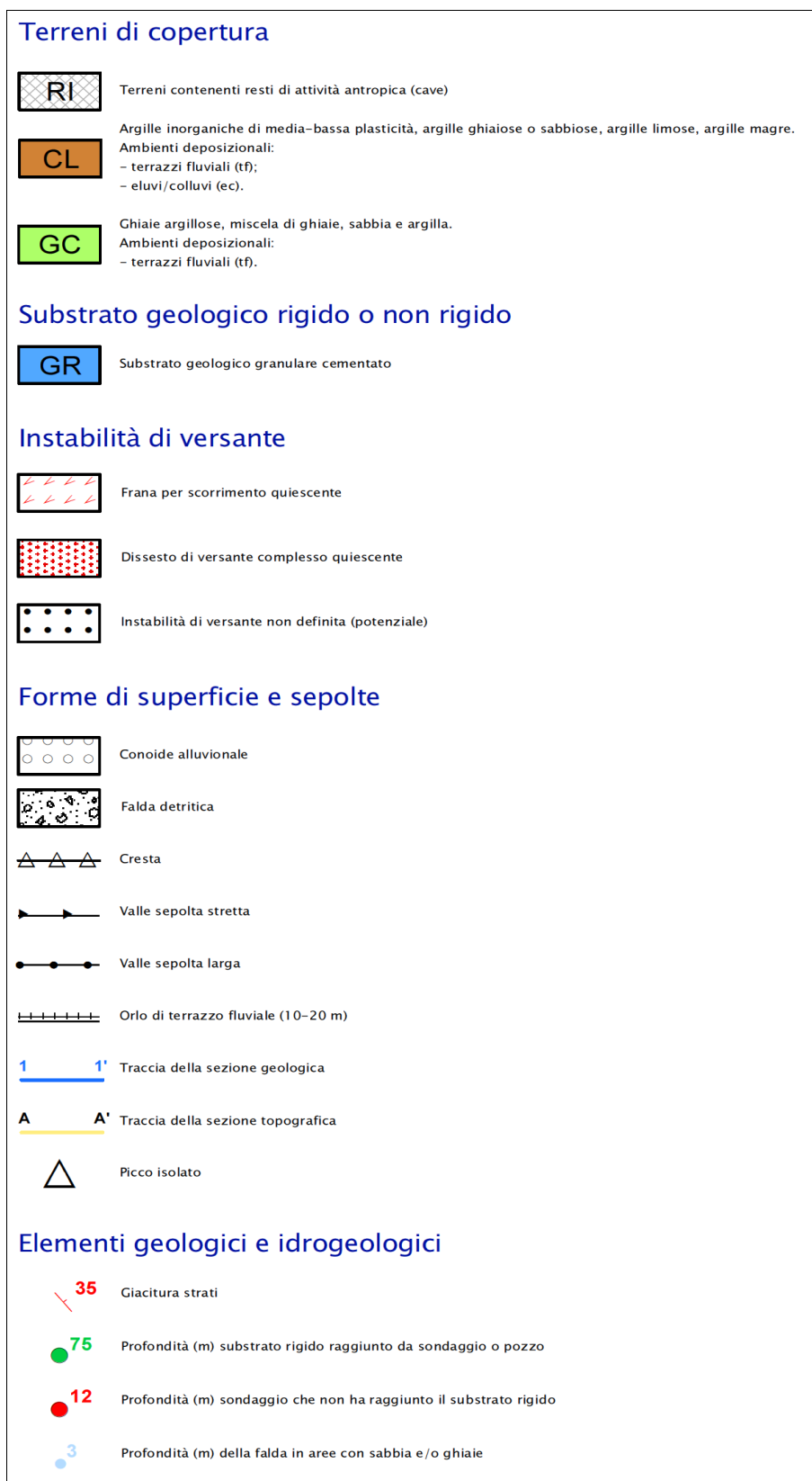


Figura 8.1 – Stralcio della legenda della <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Montevoglio.

- 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 “rigido” (cioè con Vs medie approssimabili a 800 m/s) che nell'area di studio risultano affiorare presso il nucleo storico di Montevoglio – Abbazia e Oliveto (Formazione di Monte Adone – Membro delle Ganzole ADO2).
- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a orli di scarpata fluviale di altezza compresa tra 10 metri e 20 m rilevati nel fondovalle del Samoggia presso il Capoluogo e nel fondovalle del Ghiaie (presso Ziribega), creste appuntite (Abbazia e Oliveto, conoide alluvionale (torrentizia) presso Formica; falda detritica presso Stiore; infine l'individuazione di “valle larga” e “valle stretta” ancora presso Stiore.
- Tracce delle sezioni geologiche → considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le due sezioni (nominate da 1-1' a 2-2') ricostruite per la modellazione geotecnica rispettivamente trasversalmente al fondovalle presso la zona industriale e nel fondovalle presso il Capoluogo.
- Tracce delle sezioni topografiche → sono state elaborate cinque sezioni per l'analisi delle condizioni di amplificazione morfologica (nominate da progressivamente da A-A' a E-E') ad Abbazia e a Oliveto.
- Instabilità di versante → in particolare le frane sono state perimetrare e classificate sulla base della tipologia di movimento e dello stato di attività con i differenti retini come riportato negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>>. In questo senso, occorre segnalare che la tavola riporta cautelativamente come “instabilità di versante non definita” anche alcune porzioni di pendio (situati a monte della frazione Stiore) che risultano allo stato di fatto stabili, con fattori di predisposizione al dissesto in condizioni sismiche (contesto litologico; l'acclività; parti di versante limitrofi ad aree già interessate da franamenti).
- la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- la localizzazione dei pozzi freatici (rilevati nel fondovalle del Ghiaie e del Samoggia, con indicata la relativa soggiacenza (in metri) misurata della falda

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

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

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.

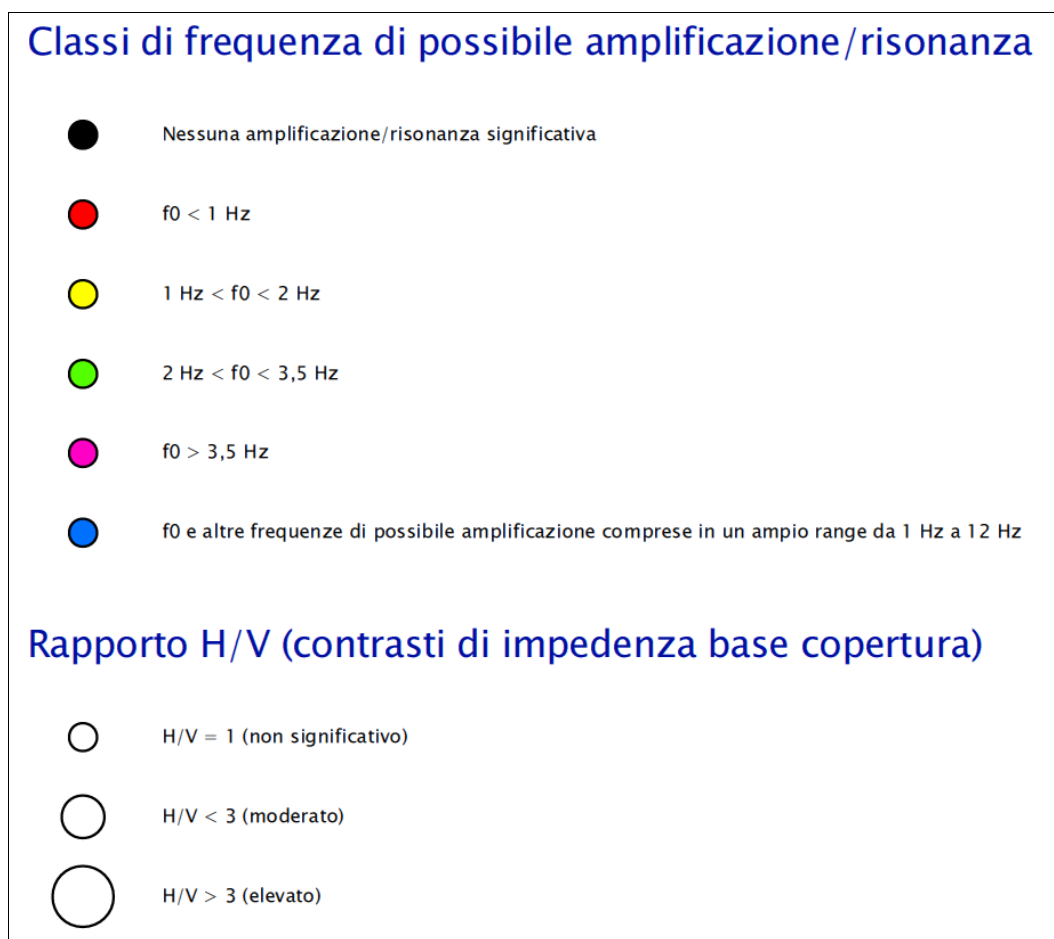


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Montevoglio.

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

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

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.

piani)

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

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

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 tavola elaborata alla scala 1:4.000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di Microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari per il territorio di Montevoglio. In questo senso, la cartografia delle MOPS distingue e classifica le aree studiate di Montevoglio in “zone stabili suscettibili di amplificazione” (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 stabili suscettibili di amplificazione, 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 Montevoglio distingue le seguenti zone:

ZONA 2001 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente fini e sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA – Argille e marne). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le

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

ZONA 2002 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente fini e sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 15 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2003 ≡ Bedrock rigido affiorante (ADO2)

si tratta di bedrock affiorante attribuito alle Formazione di Monte Adone e in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose), in cresta appuntita (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a $F_t = 1,4$ di cui si terrà conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Le indagini geofisiche evidenziano la discreta rigidità locale che caratterizza questo substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

ZONA 2004 ≡ Bedrock non rigido affiorante (ADO2)

anche in questo caso si tratta di bedrock affiorante attribuito alla Formazione di Monte Adone e in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose), in cresta appuntita (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a $F_t = 1,3$ di cui si terrà conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Le indagini geofisiche evidenziano la discreta rigidità locale che caratterizza questo substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

ZONA 2005 ≡ Bedrock non rigido affiorante (ADO2)

si tratta ancora di bedrock affiorante attribuito alla Formazione di Monte Adone e in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose), in cresta appuntita (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a $F_t = 1,2$ di cui si terrà conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Le indagini geofisiche evidenziano la discreta rigidità locale che caratterizza questo substrato sismico ($V_s 800$ m/s).

ZONA 2006 ≡ Bedrock non rigido affiorante (ADO2)

si tratta di bedrock affiorante attribuito alla Formazione di Monte Adone e in

particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 – Areniti fini e subordinate peliti sabbiose), in pendio con acclività media 25° (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a $F_t = 1,2$ di cui si terrà conto nella stima dei fattori di amplificazione della MS). Le indagini geofisiche evidenziano la discreta rigidità locale che caratterizza questo substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

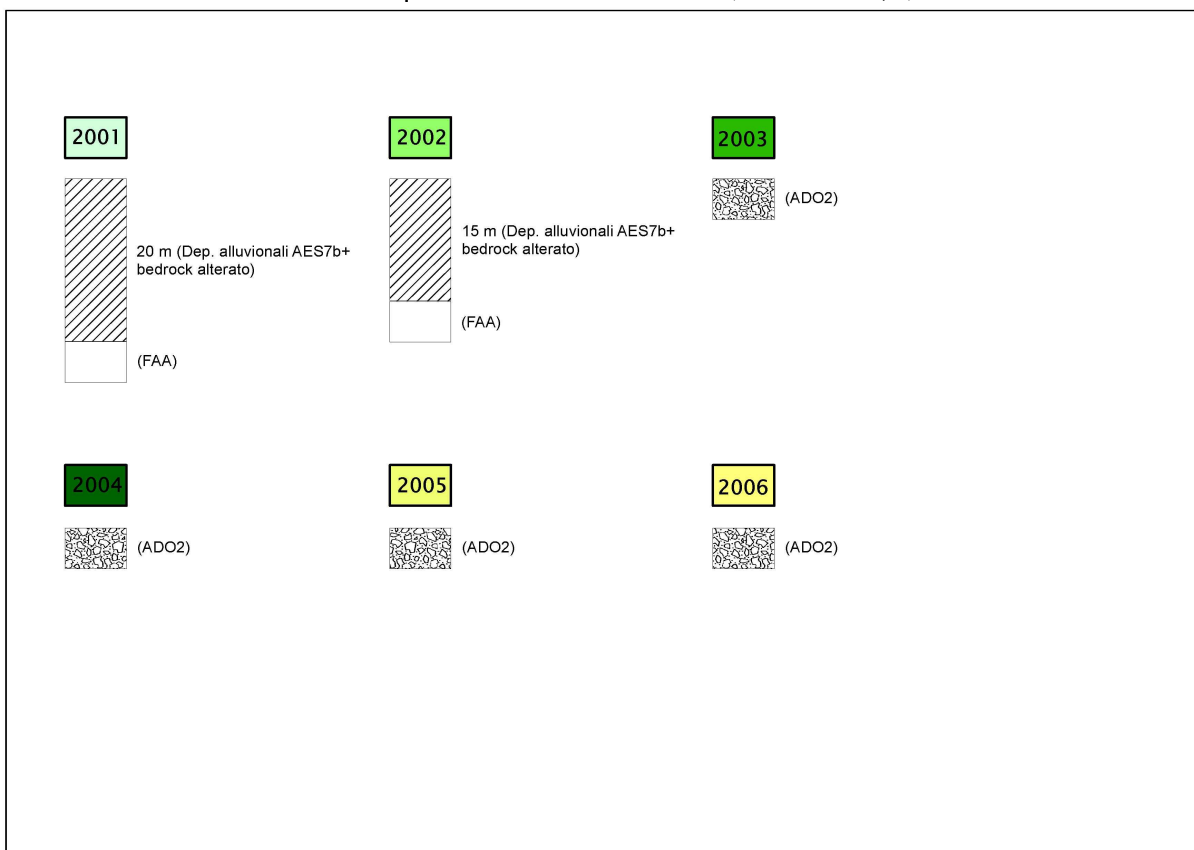


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

ZONA 2007 \equiv Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (AVS; CTG)

si tratta di sedimenti alluvionali sovrastanti in contatto erosivo con bedrock non rigidi attribuiti sia all'Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia (sigla AVS - Argilliti, talora siltose), sia alla Formazione di Cotignaco (sigla CTG - Marne carbonatiche selciose, più o meno siltose). 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 (tomografie 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 V_sH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2008 \equiv Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (AVS; CTG)

si tratta di coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti sia all'Unità delle Argille Varicolori della Valsamoggia (sigla AVS – Argilliti, talora siltose), sia alla Formazione di Cotignaco (sigla CTG – Marne carbonatiche selciose, più o meno siltose), in pendio $<10^\circ$. 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 VsH misurato pari a 200 m/s.

ZONA 2009 ≡ Coperture alluvionali ghiaiose recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (PAT)

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Pantano (sigla PAT- Areniti siltose fini e finissime alternate a peliti). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2010 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (PAT; AVS; ADO2 alterato?)

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigidi attribuiti alla Formazione di Pantano, alle Argille Varicolori della Valsamoggia e al Membro delle Ganzole della Formazione di Monte Adone. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

ZONA 2011 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (PAT)

si tratta ancora di sedimenti alluvionali, prevalentemente fini e sovrastanti in contatto erosivo con il bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Pantano (sigla PAT- Areniti siltose fini e finissime alternate a peliti). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). 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 300 m/s.

ZONA 2012 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (PAT; ADO2 alterato?)

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alle Formazioni di Pantano e al Membro delle Ganzole della Formazione di Adone. 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 250 m/s.

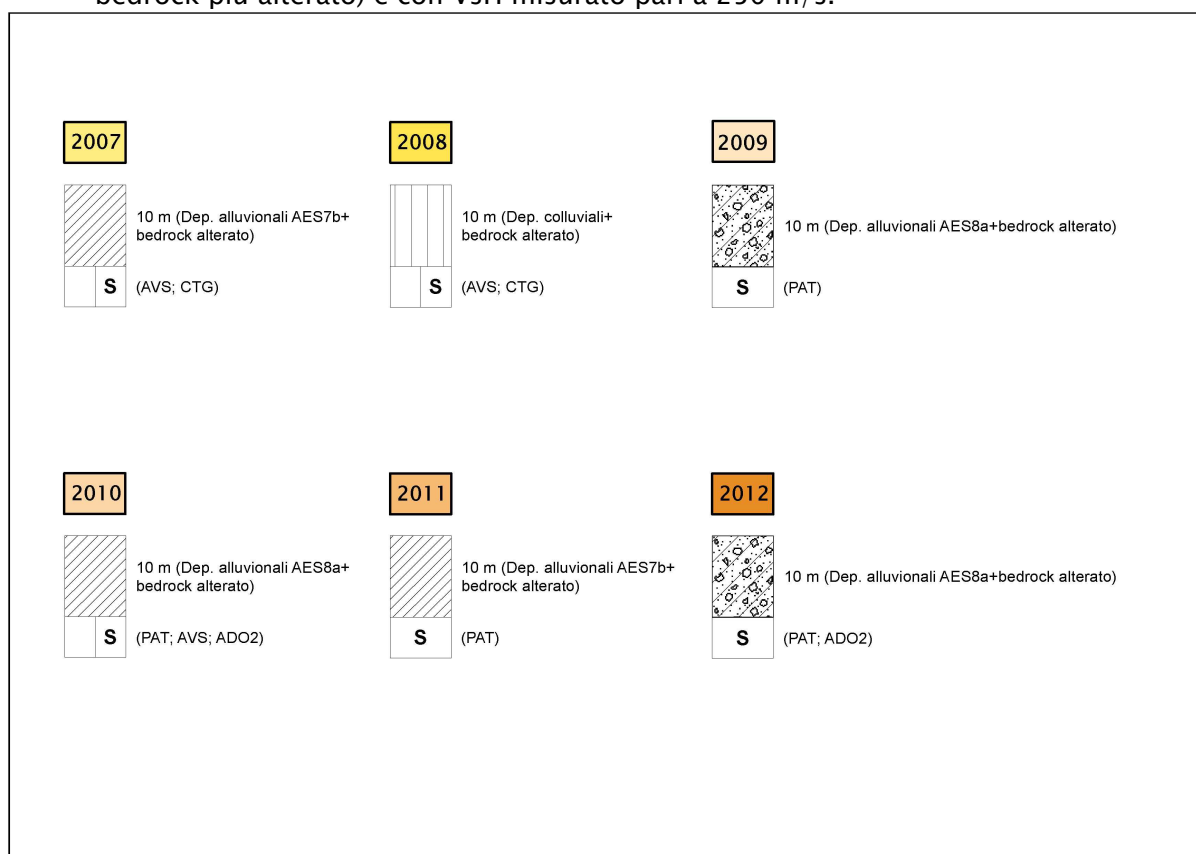


Figura 8.4 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007-2008-2009-2010-2011-2012.

ZONA 2013 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (ADO2 alterato?)

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito al Membro delle Ganzole della Formazione di Adone. Si tratta in ogni caso di Bedrock localmente 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 300 m/s.

ZONA 2014 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (IMO1; IMO2; ADO2 molto alterato?)

si tratta di sedimenti alluvionali, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigidi attribuiti sia alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sottounità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio) e maggiormente pelitiche IMO2 (Membro di Fossoveggia), oltre che al Membro delle Ganzole della Formazione di Adone. Si tratta in ogni caso di Bedrock localmente 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 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

ZONA 2015 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (IMO1)

si tratta di sedimenti alluvionali recenti sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sottounità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). 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 2016 ≡ Coperture fini di conoide torrentizia e alluvioni recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; IMO1)

si tratta di depositi sedimenti alluvionali recenti sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sottounità più arenacea IMO1 (Membro di Monte Castellaccio) e alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne). 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 e dal sottostante

bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

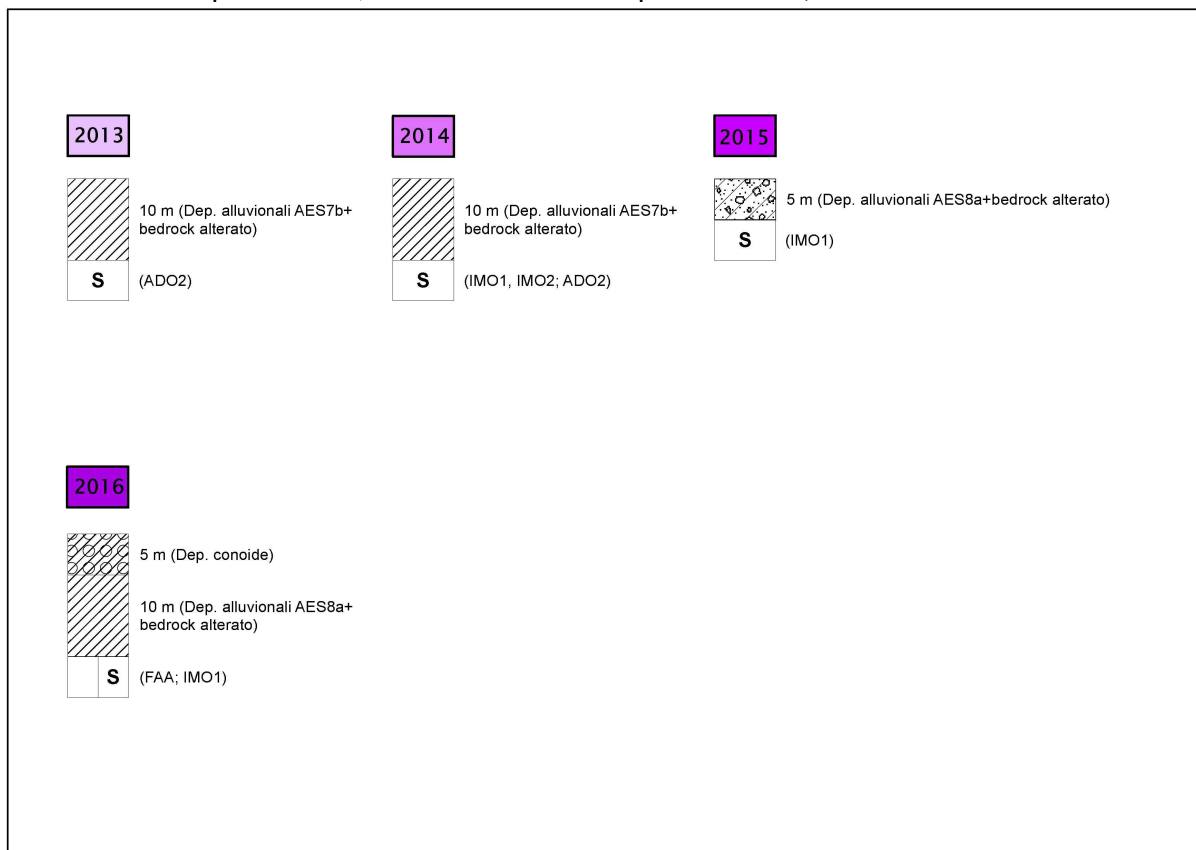


Figura 8.5 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2013-2014-2015-2016.

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 MONteveglío, sono state perimetrare le seguenti aree, che dovranno necessariamente essere oggetto di ulteriori approfondimenti sismici di terzo livello:

Instabilità di versante quiescente

Instabilità di versante non definita → sono porzioni di versante prossimi a movimenti franosi già cartografati, con caratteristiche morfologiche e geolitologiche tali da includerle nelle aree di ulteriore approfondimento per valutare le condizioni di stabilità anche se sottoposte a impulsi ciclici - sisma)

Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti → sono state distinte le seguenti sub zone "A" (tombamenti di ex cava, con effetti attesi di deformazioni/cedimenti differenziali e amplificazione del moto sismico) e sub zone "B"

(aree di accumulo di detriti di versante, in valle stretta, con effetti attesi di possibile instabilità di versante, amplificazione del moto sismico), incluse nelle aree di ulteriore approfondimento di terzo livello.

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

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, è stata elaborata alla scala 1:5.000 e localizza tutti i punti di misura di Vs, con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore di Vs_H (in m/s) e H (spessore delle coperture).

Nel caso di Montevoglio, le Vs sono desunte da indagini sismiche Re.Mi. e Masw eseguite per questo lavoro e anche di repertorio, 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 (amax,r) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (amax,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*
sono state distinte le seguenti sub zone "A" (tombamenti di ex cava, con effetti attesi

di deformazioni/cedimenti differenziali e amplificazione del moto sismico) e sub zone “B” (aree di accumulo di detriti di versante, in valle stretta, con effetti attesi di possibile instabilità di versante, amplificazione del moto sismico), incluse nelle aree di ulteriore approfondimento di terzo livello. 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.

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>>”.