



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



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 Castello di Serravalle



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

## Indice generale

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....</b>	<b>6</b>
2.1	Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento.....	6
2.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	11
<b>3</b>	<b>Assetto geologico generale dell'Area Bazzanese.....</b>	<b>13</b>
3.1	Schema geologico e strutturale.....	13
3.2	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	15
3.2.1	Area "Castello di Serravalle".....	15
3.2.2	Area Castelletto di Serravalle e zona Industriale.....	16
3.2.3	Area frazione Bersagliera.....	17
3.2.4	Area frazione Zappolino.....	19
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici.....</b>	<b>25</b>
4.1	Dati pregressi.....	25
4.2	Dati ex novo.....	25
<b>5</b>	<b>Modello di sottosuolo.....</b>	<b>29</b>
5.1	Area Castello di Serravalle.....	29
5.2	Area Castelletto di Serravalle e zona industriale.....	29
5.3	Area frazione di Bersagliera.....	31
5.4	Area frazione Zappolino.....	31
<b>6</b>	<b>Interpretazioni e incertezze.....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati.....</b>	<b>34</b>
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	34
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	35
7.3	Esiti della microzonazione di secondo livello.....	36
<b>8</b>	<b>Elaborati cartografici.....</b>	<b>37</b>
8.1	Carta delle indagini.....	37
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	37
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	39
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	41
8.4.1	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	41
8.4.2	Zone suscettibili di instabilità.....	47
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	48
8.6	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	48
<b>9</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>51</b>

## 1 Introduzione

L'Unione di Comuni Valle del Samoggia è risultata destinataria dei contributi per gli studi di Microzonazione sismica dei sei comuni di pertinenza (Bazzano; Castello di Serravalle; Crespellano; Monte San Pietro; Monteveglio) più il Comune di Zola Predosa<sup>1</sup>, di cui all'OPCM n. 4007/2012 e succ. decreto del 16 marzo 2012 del capo del Dipartimento della Protezione Civile. L'Unione ha affidato allo Studio scrivente l'elaborazione delle analisi di Microzonazione sismica di “secondo livello” del territorio urbanizzato e urbanizzabile dei Comuni citati.

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

Occorre rammentare che l'Amministrazione di Castello di Serravalle già dispone di uno studio<sup>2</sup> sismico dell'intero territorio comunale equiparabile al “primo livello”, elaborato a corredo del Quadro Conoscitivo per il Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata<sup>3</sup>, che ha individuato i potenziali scenari e gli “effetti cosismici”. La Provincia di Bologna ha inoltre elaborato nel 2012, a supporto del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), lo studio e la cartografia<sup>4</sup> di pericolosità sismica preliminare, individuando alla scala amministrativa di pertinenza le zone suscettibili degli effetti locali.

Considerando gli studi pregressi, in accordo con il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della regione Emilia-Romagna e con la Provincia di Bologna, lo studio di microzonazione sismica di secondo livello ha interessato solamente le aree urbanizzate e le aree di nuova previsione edificatoria individuate dal PSC di Castello di Serravalle: si è dunque spletato lo

---

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

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

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

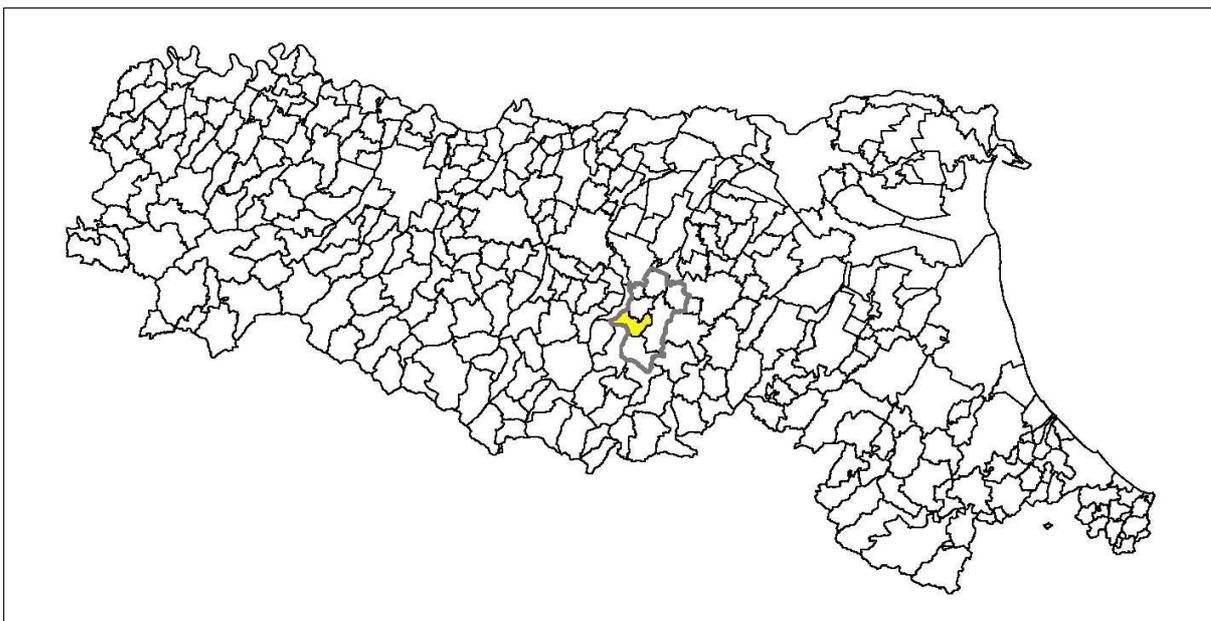
<sup>4</sup> <<Tavola 2C – “Rischio Sismico – Carta degli Effetti Locali Attesi” >> alla scala 1:65.000 per la pianura e 1:25.000 per la collina e montagna;

studio per il nucleo storico del Capoluogo, per la principale frazione Castelletto di Serravalle (ove ha sede l'Amministrazione comunale) e per le ulteriori località Bersagliera e Zappolino. 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 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).

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 Castello di Serravalle), 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: 220092; 220293; 220131; 220132; 220133; 220134; 220141; 220143; 220144; 234011; 237024).



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

Per questo lavoro, la base topografica vettoriale è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate “WGS\_1984\_UTM\_Zone\_33N”, per produrre tutti gli strati informativi delle analisi in coerenza con quanto richiesto dalla deliberazione regionale n.1302/2012.

La figura 1.1 propone un inquadramento del limite comunale di Castello di Serravalle rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna: si tratta di un'Amministrazione situata in contesto montano (appenninico) di estensione areale complessiva pari a circa 3.922 ettari.

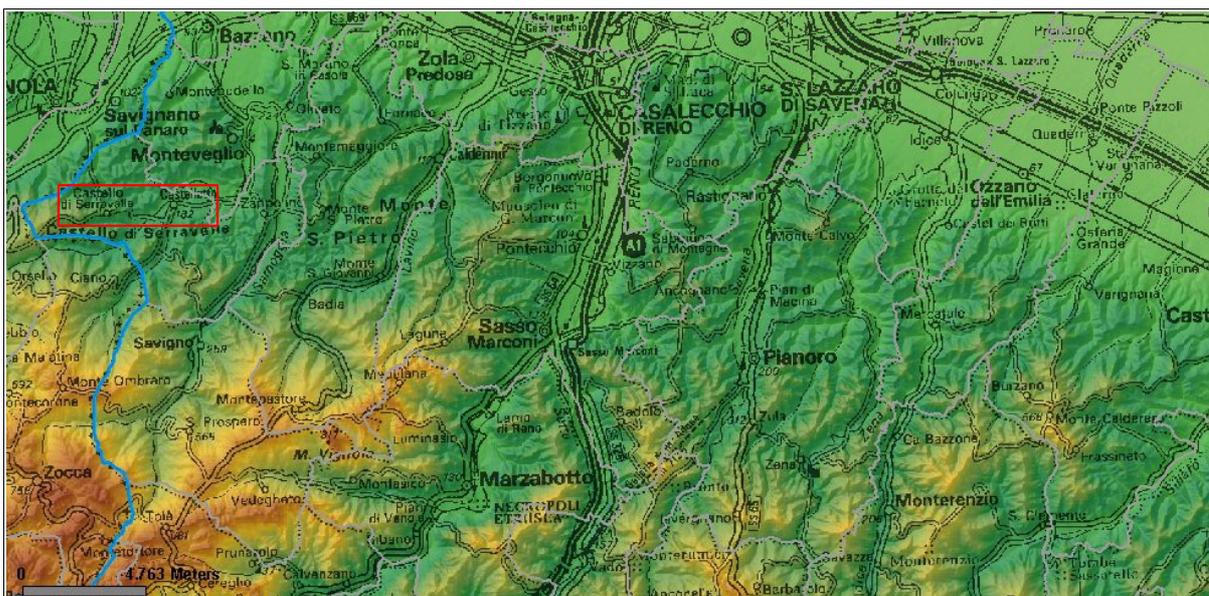


Figura 1.2- Corografia del territorio di Castello di Serravalle e dei Comuni limitrofi a SO di Bologna (su base topografica alla scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna).

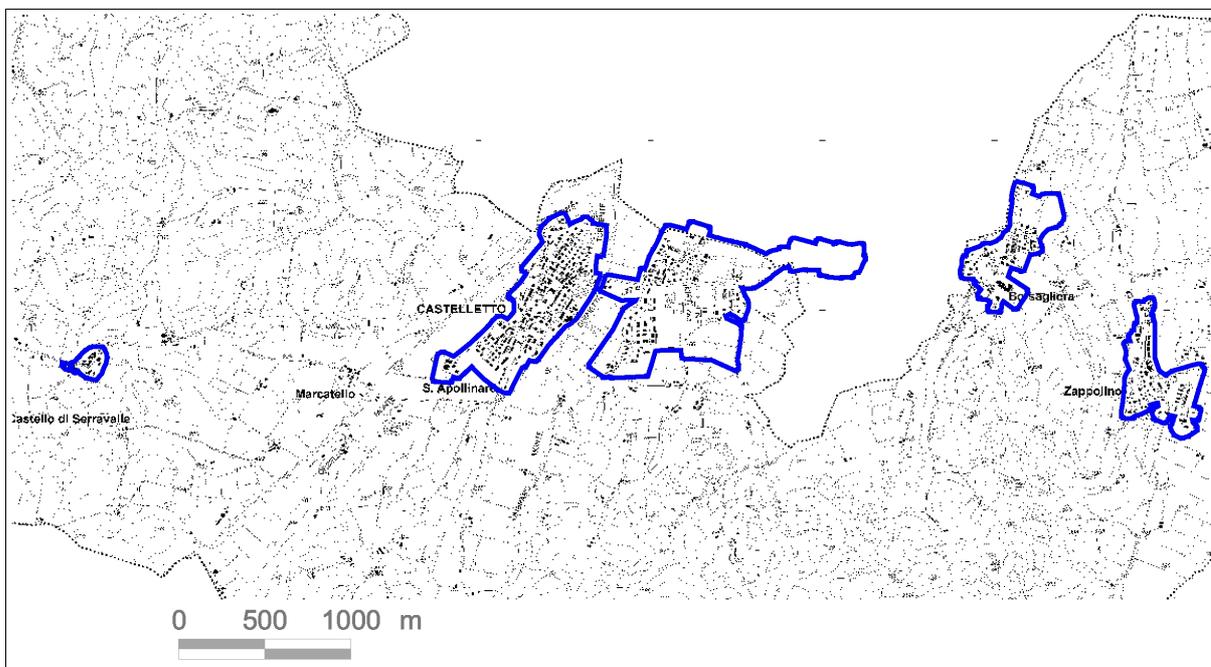


Figura 1.3- Delimitazione delle aree oggetto di indagine (su base topografica alla scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna).

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.

## 2 Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

### 2.1 Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento

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

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

Recentemente, la Regione Emilia-Romagna, a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso, ha prodotto la <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>>, edita nel 2004 alla scala 1:250.000, che riporta gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo  $M > 4$ , le strutture attive e quelle potenzialmente sismogenetiche (della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano-adriatico) ed i relativi meccanismi focali tettonici. La localizzazione degli epicentri si è basata sulla catalogazione nazionale dei terremoti CPTI<sup>6</sup>. La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Castello di Serravalle con la Carta Sismotettonica regionale, mentre la figura 2.2 riporta la cartografia degli epicentri dei terremoti della regione Emilia-Romagna, desunti dal catalogo CPTI e suddivisi per classi di magnitudo.

A livello nazionale si è invece giunti, attraverso varie fasi di studi e revisioni, all'ultima zonazione sismogenica del territorio nazionale, nota con la semplice sigla "ZS9" (2004), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche ai più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare le ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane: DISS 2.0<sup>7</sup> ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di

---

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

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

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



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

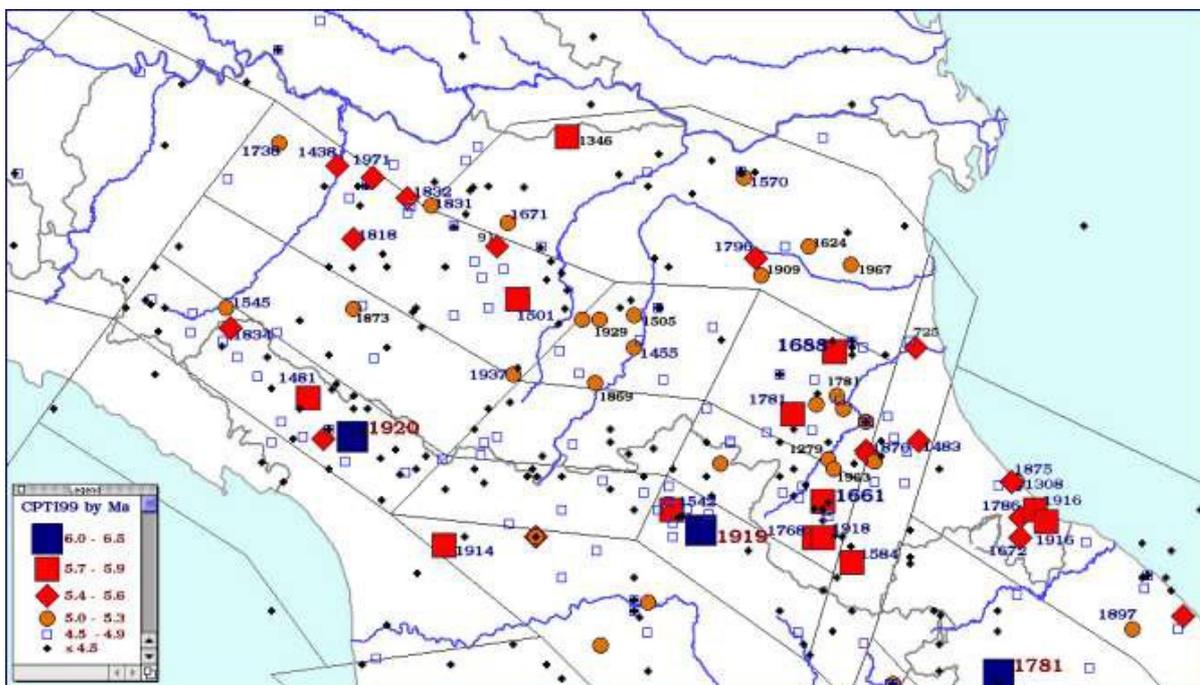


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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

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

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

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

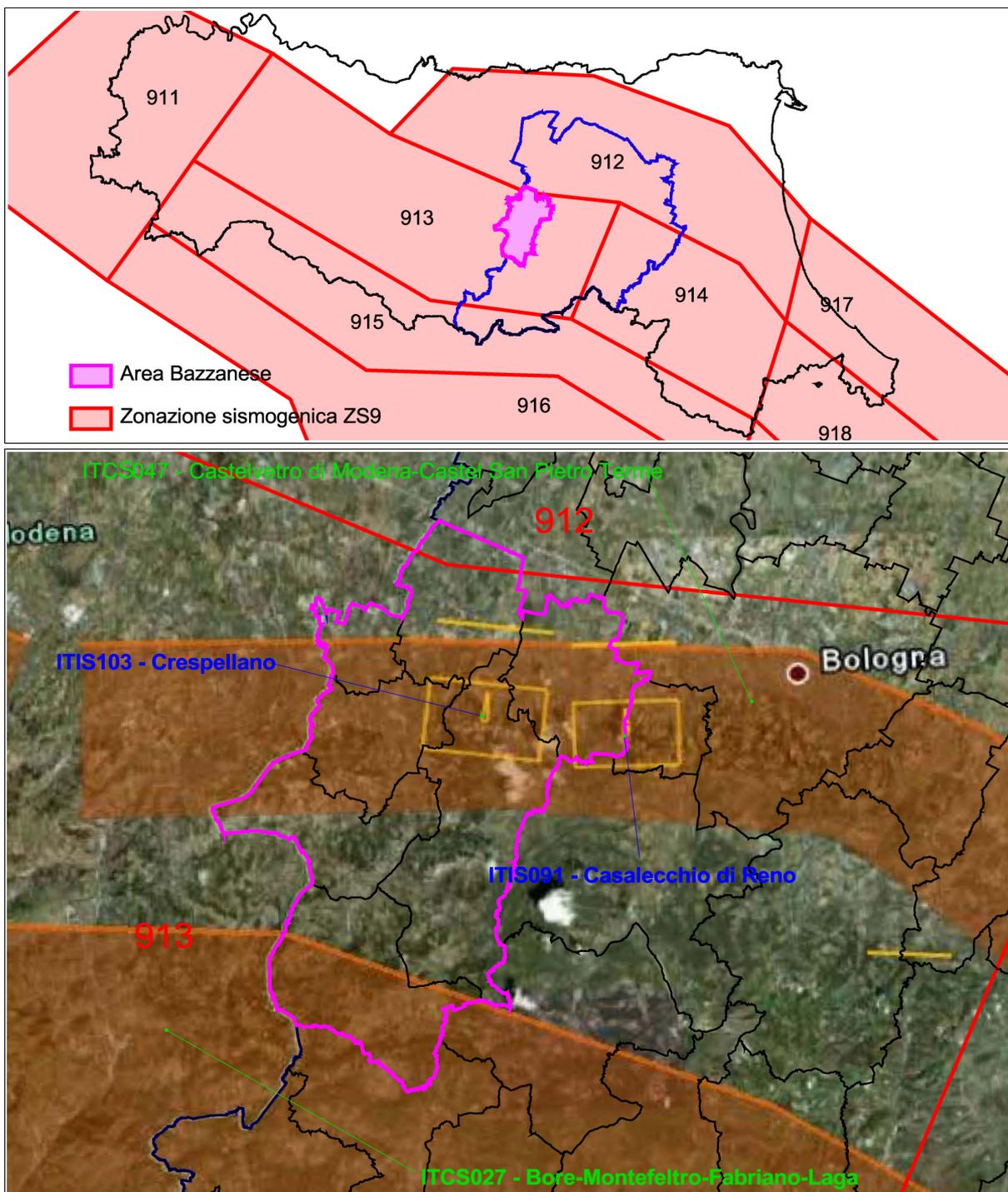


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

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

## l'Area Bazzanese :

- “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)

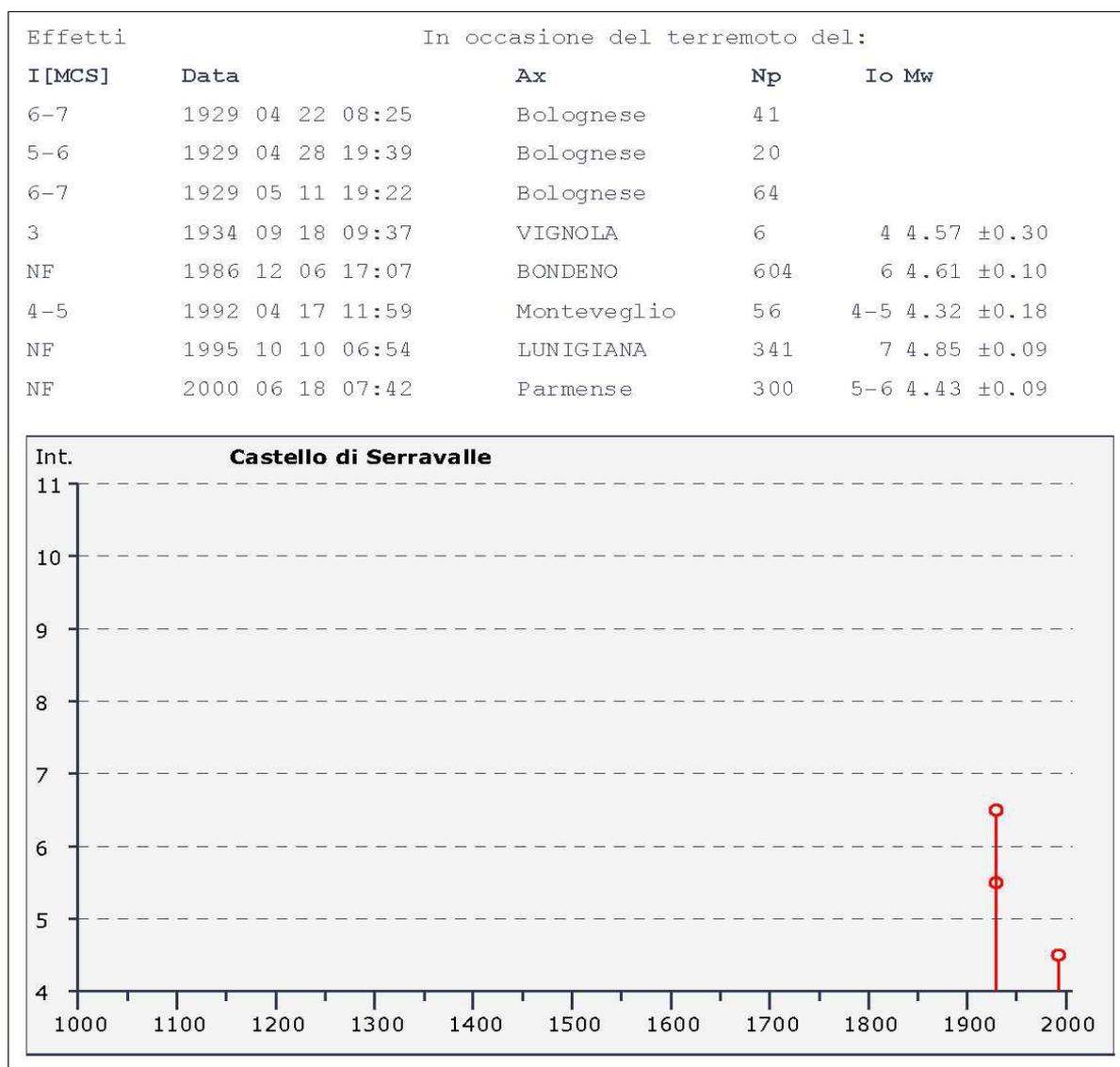


Figura 2.4 – Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Castello di Serravalle e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

Gli studi nazionali e quelli regionali attribuiscono al territorio studiato una pericolosità “media”, con terremoti locali moderatamente forti ed epicentri storici che hanno interessato località limitrofe, non direttamente il territorio di Castello di Serravalle. In questo senso, la figura 2.4 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio di Savigno e le relative intensità macrosismiche stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: l'evento 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 Castello di Serravalle, la  $a_{refg}$  attribuita dalla Regione Emilia-Romagna risulta pari a 0,160g (vedi Allegato A4 della DAL 112/2007).

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

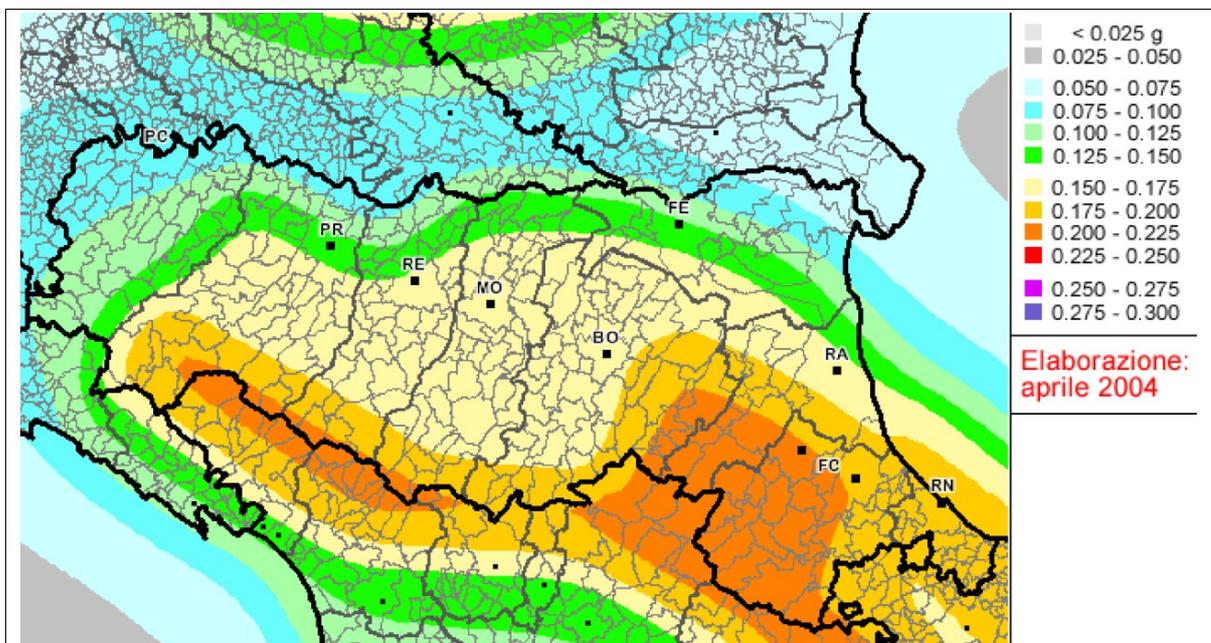
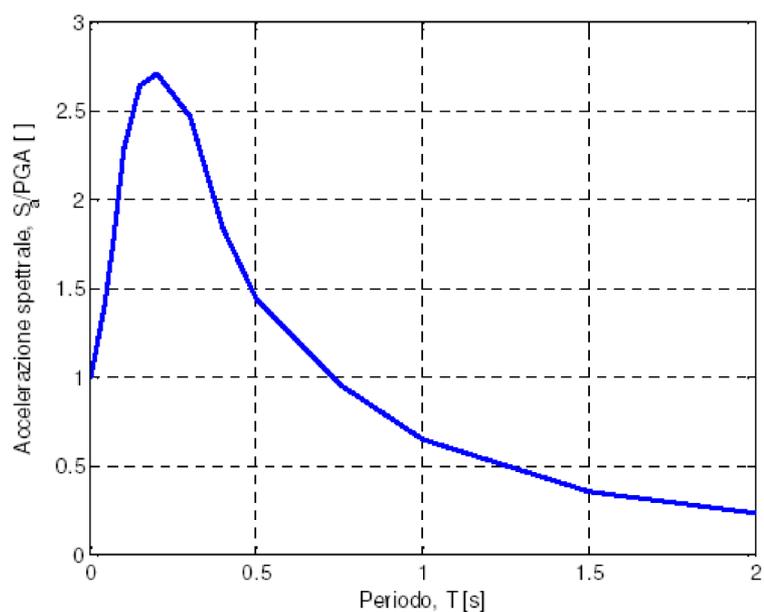


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

### 3 Assetto geologico generale dell'Area Bazzanese

#### 3.1 Schema geologico e strutturale

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

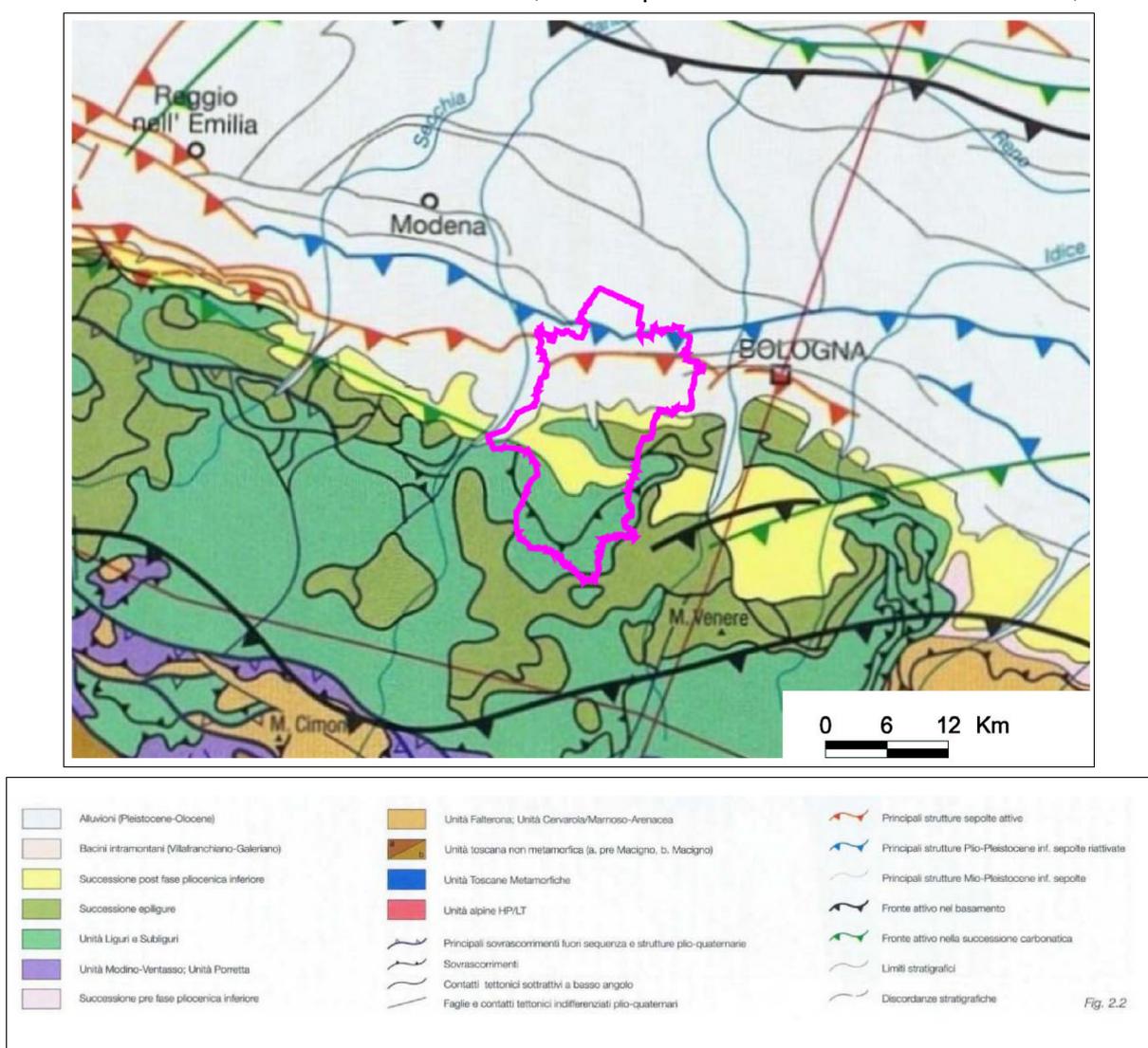


Figura 3.1 – Schema tettonico dell'area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell'area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

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, sub parallela al margine morfologico della collina: si tratta di una

faglia inversa (sovrascorrimento), la più interna delle “Pieghe Romagnole” (Pieri e Groppi, 1981), che disloca la catena e solleva il margine attuale, suturata ad oriente di Bologna solamente nel Quaternario (probabilmente medio), mentre ad occidente pare suturata già nel Pliocene medio superiore. La figura 3.2 offre uno schema di profilo trasversale dell'Appennino da Castello di Serravalle fino alla pianura padana, oltre Crespellano.

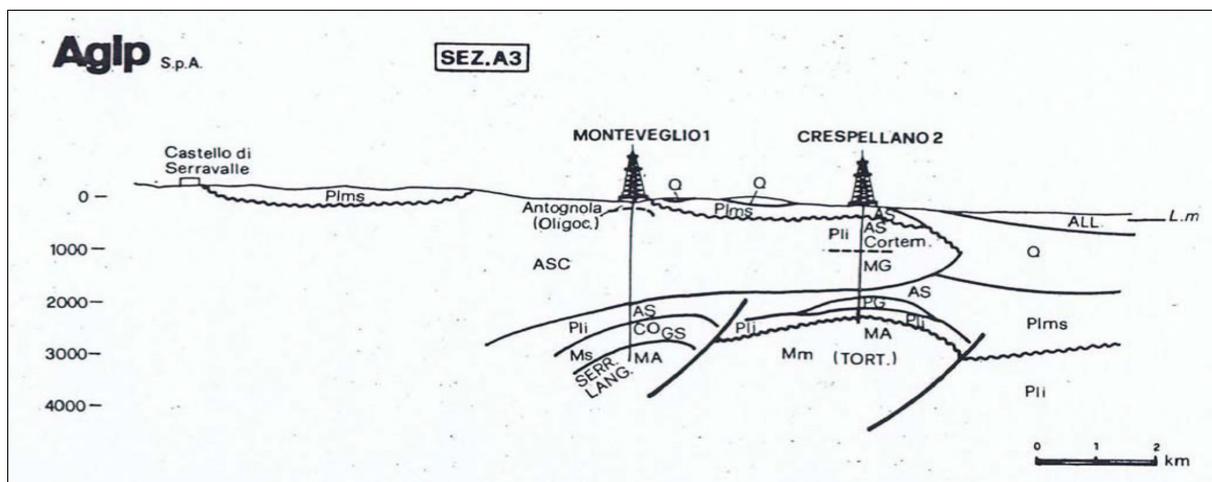


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la “catena sepolta”, la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale realizzata soprattutto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

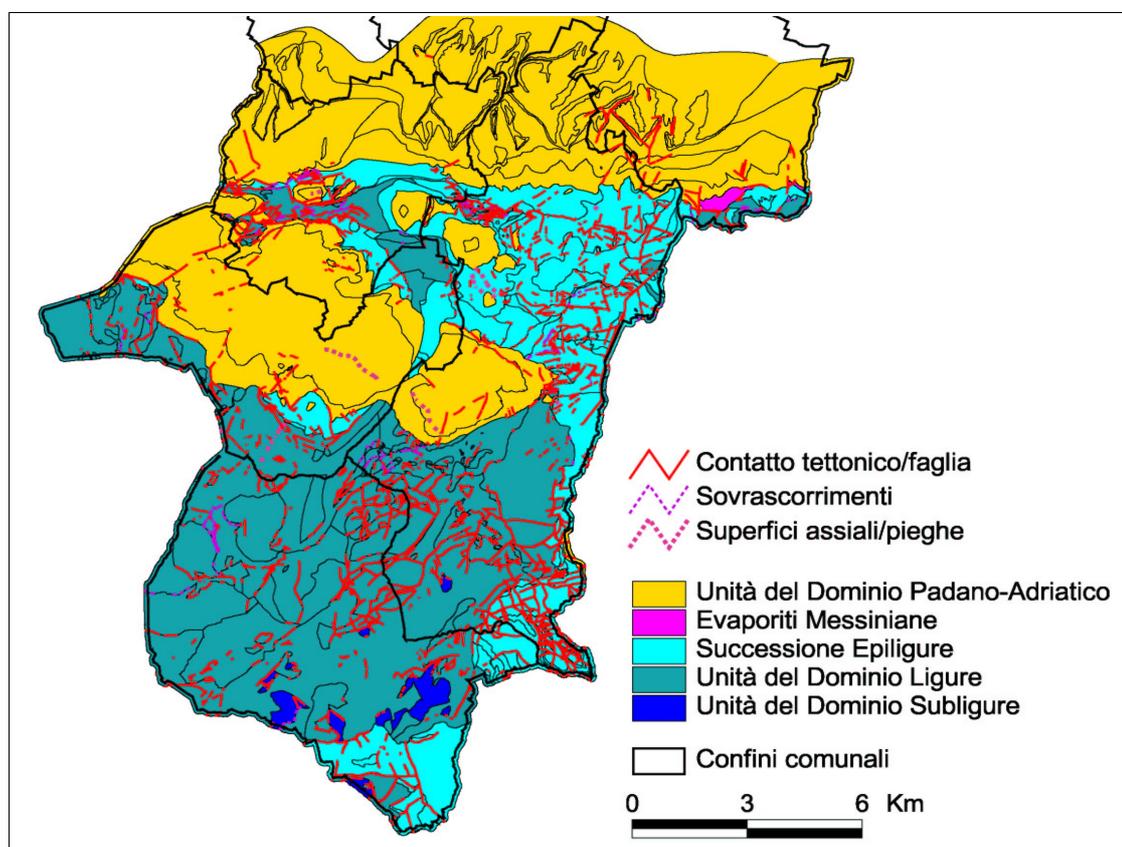


Fig. 3.3 Schema geo litologico del territorio montano e collinare di Castello di Serravalle e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

1. 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 fasce proposte nella figura 3.3:
2. una blanda struttura sinclinalica (a sud della più evidente anticlinale di Monteveglio ove affiorano depositi attribuiti alla successione Ligure ed Epiligure), che comprende gran parte del territorio comunale di Castello di Serravalle (vedi profilo di figura 3.2) nella quale affiorano le unità geologiche plioceniche (ADO, FAA);
3. la porzione meridionale del territorio studiato, caratterizzata da unità geologiche dei domini ligure ed epiligure affioranti. Le tessiture prevalenti in quest'ultima fascia di territorio sono pelitiche, fortemente caoticizzate e facile sede d'innescio di dissesti gravitativi per scivolamento e per colamento.

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

La base conoscitiva litostratigrafica e strutturale locale è rappresentata dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile anche on line nel sito del servizio geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna<sup>8</sup>.

#### 3.2.1 Area "Castello di Serravalle"

Per quanto riguarda il piccolo abitato storico di Castello di Serravalle (figura 3.4), l'area si insedia su un rilievo isolato costituito 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, con giaciture che risultano immergenti verso ovest. La frequenza e lo spessore delle peliti aumentano verso l'alto.

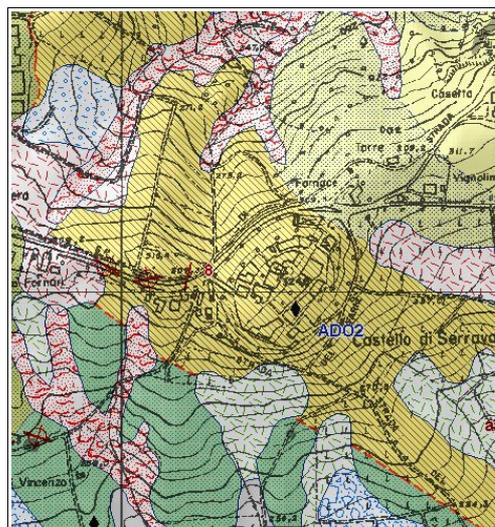


Figura 3.4 - Area di studio Castello di Serravalle: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

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

### 3.2.2 Area Castelletto di Serravalle e zona Industriale

L'area di studio più importante (è l'insediato urbano e produttivo principale) si estende nel contesto di fondovalle del Torrente Ghiaie, che solca le sue alluvioni a ovest di Castelletto, per poi virare verso est immediatamente a nord della frazione. Tra l'abitato di Castelletto e la sua zona produttiva vi è una modesta vallecola con sedimenti alluvionali di fondocalle recenti attribuiti al più modesto Torrente Ombraro. La cartografia geologica (figura 3.5) 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.

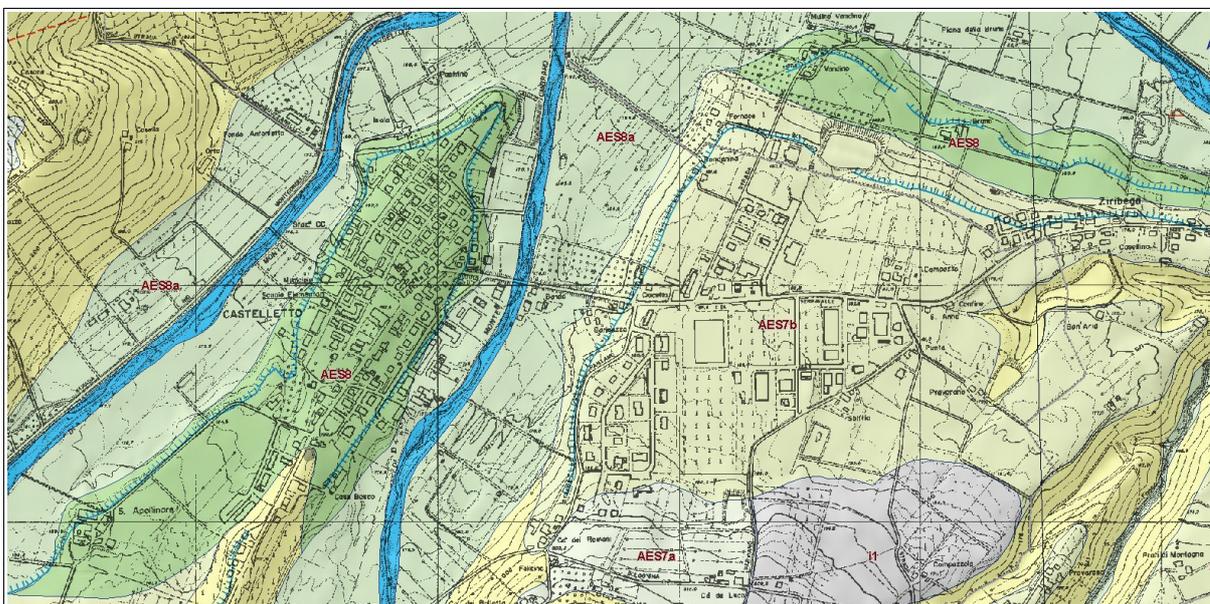


Figura 3.5 – Area di studio Castelletto di Serravalle e Zona Industriale: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Le coperture alluvionali sovrastano il bedrock marino (non affiorante nell'area in questione), costituito da litotipi attribuiti alla formazione pliocenica delle Argille Azzurre. Più nel dettaglio, i depositi in affioramento nell'area in questione sono riconducibili a:

#### 1. UNITA' GEOLOGICHE PIOCENICHE DI “MARGINE APPENNINICO”

FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA) → si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Alla base, possono essere localmente presenti marne biancastre ricchissime

in Foraminiferi planctonici per uno spessore massimo di 10 m. L'ambiente deposizionale è variabile da scarpata a piattaforma. Il suo limite inferiore è netto, discordante su unità più antiche, in particolare nell'area di studio si trova in rapporto di eteropia con ADO. Nell'area di studio affiorano al piede delle scarpate di incisione fluviale. L'età deposizionale è compresa tra il Pliocene inferiore e il Pleistocene inferiore.

## 2. COPERTURE CONTINENTALI QUATERNARIE

- Depositi alluvionali terrazzati “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio) → nell'area corrispondente al terrazzo fluviale ove è insediato la principale zona produttiva di Castelletto, le alluvioni affioranti sono riconducibili nella porzione settentrionale all'Unità di Niviano (AES7a), caratterizzate da ghiaie passanti a sabbie e limi anche argillosi nell'area di studio, di età deposizionale attribuita al Pleistocene sup. Nella porzione più ampia del terrazzo, le alluvioni sono invece attribuite all'Unità di Vignola (AES7b), caratterizzate anch'esse da ghiaie passanti a sabbie e limi anche argillosi nell'area di studio.
- Depositi alluvionali terrazzati “AES8” (Subsistema di Ravenna) → in particolare sembrano costituire le alluvioni terrazzate nella zona dell'insediato urbano di Castelletto (sebbene la posizione stratigrafica rispetto alle quote topografiche può giustificare un'attribuzione di tali sedimenti ancora all'Unità AES7b). Si tratta di depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi anche argillosi nell'area di studio, di età deposizionale attribuita al Pleistocene sup- Olocene. 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 (a ovest di Castelletto) risultano prevalentemente ghiaiose, mentre il più modesto apporto del Torrente Ombraro (tra Castelletto e la sua zona produttiva) ha depositato prevalentemente limi e argille.
- Depositi di conoide torrentizia in evoluzione → (sigla “i1”) si tratta di depositi riportati sulla cartografia geologica regionale (peraltro di dubbia attribuzione, appaiono allo scrivente da attribuire più propriamente al contesto alluvionale terrazzato AES7a)

### 3.2.3 Area frazione Bersagliera

La frazione Bersagliera si insedia sostanzialmente nei depositi alluvionali terrazzati del fondovalle del Torrente Ghiaie (figura 3.6), in destra idrografica e depositi di conoide torrentizia inattiva di due corsi d'acqua secondari (Rivo Fondamenti e Rio del Malpasso).

Il bedrock marino sottostante le coltri alluvionali è prevalentemente attribuito alle Unità delle Argille Azzurre (FAA), mentre nella parte settentrionale si riscontrerebbero unità litologiche attribuite anche alla Formazione di Monte Adone (ADO2), mentre ancora più a settentrione

l'area appare caratterizzata da bedrock attribuibile alla successione Epiligure (Formazione di Pantano). Più nel dettaglio, i depositi in affioramento sono riconducibili a:

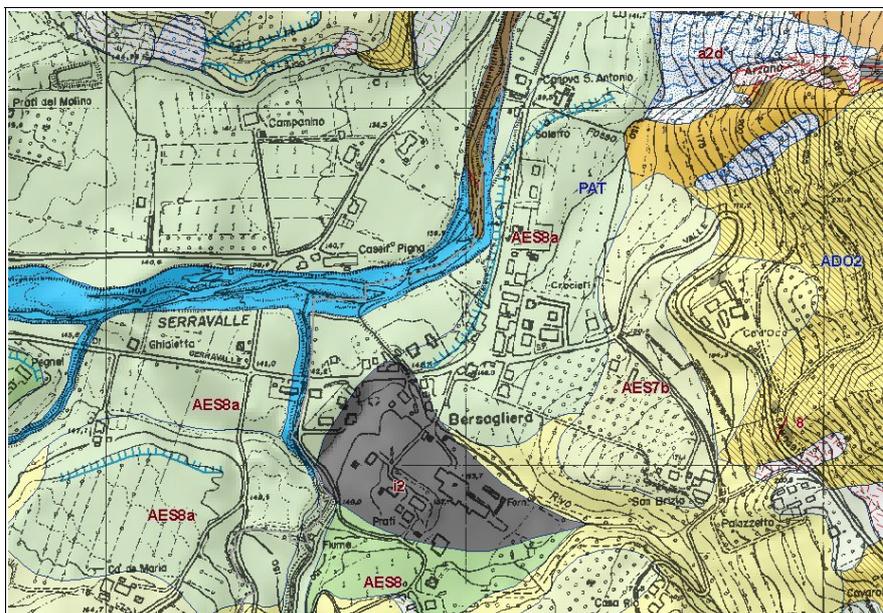


Figura 3.6 - Area di studio frazione Bersagliera: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

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

FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA) → si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, già descritte per l'area di Castelletto. Nell'area di studio costituiscono il substrato geologico di tutta la porzione centro-meridionale dell'area in questione. 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.

## 2. 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, affiorano in un lembo di versante sovrastante l'area studiata; la stratificazione 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 riconducibile ad ambiente da litorale a piattaforma esterna. L'età deposizionale è attribuita al Burdigaliano sup. – Langhiano inf.

### 3. COPERTURE CONTINENTALI QUATERNARIE

La frazione Bersagliera risulta insediarsi su coltri alluvionali recenti del Torrente Chiaie, in particolare su depositi terrazzati classificati AES8a (Unità di Modena). Si tratta di alluvioni che risultano prevalentemente ghiaiose nel sub terrazzo che rimane a valle della SP "Samoggia", mentre risultano ghiaiose passanti a sabbie e limi anche argillosi nella sovrastante porzione di terrazzo. L'area meridionale della frazione risulta invece insediarsi su depositi di conoide torrentizia inattiva (i2), coalescente, di due corsi d'acqua secondari (Rivo Fondamenti e Rio del Malpasso); la conoide è caratterizzata da sedimenti con tessiture prevalentemente fini (limi e argille), coerentemente con le caratteristiche litologiche del bedrock eroso a monte dei rispettivi sbocchi vallivi (Argille Azzurre).

#### 3.2.4 Area frazione Zappolino

La frazione Zappolino si insedia in parte su un modesto crinale caratterizzato da substrato affiorante pliocenico della Formazione di Monte Adone, in parte sul versante caratterizzato da coperture eluvio-colluviali e alluvionali (terrazzo alluvionale classificato AES7a del Torrente Samoggia). Più nel dettaglio, i depositi in affioramento sono riconducibili a (figura 3.7):

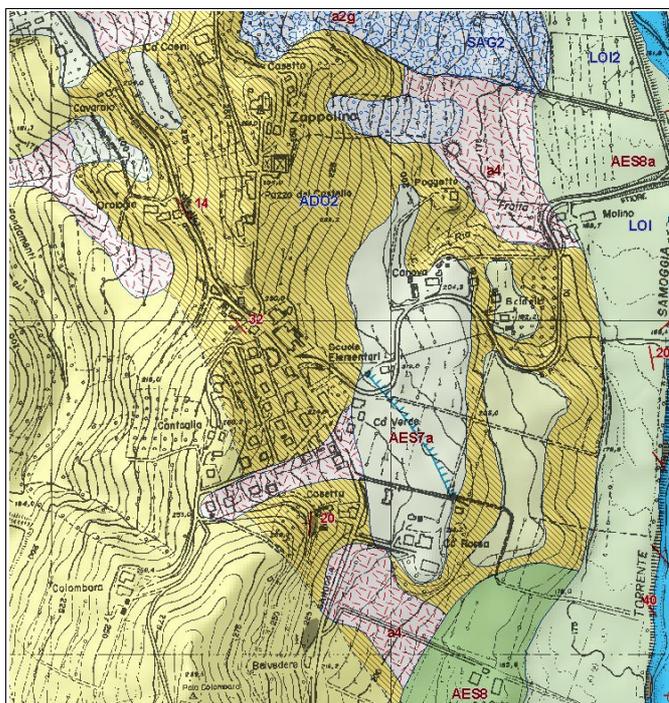


Figura 3.7 - Area di studio frazione Zappolino: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

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

- FORMAZIONE DI MONTE ADONE - Membro delle Ganzole (ADO2) → come già scritto, 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, che infatti è caratterizzata da un'immersione degli strati verso E-SE. Questa unità costituisce il substrato geologico affiorante nella porzione sommitale del crinale che si sviluppa da SO a NE.

## 2. COPERTURE CONTINENTALI QUATERNARIE

le coperture riscontrate nell'area studiata son riconducibili a depositi terrazzati classificati nella cartografia geologica regionale come AES7a (Unità di Niviano). Si tratta di alluvioni del Torrente Samoggia, ghiaiose, passanti a sabbie e limi anche argillosi in superficie. La carta geologica RER rileva, nel versante sovrastante il terrazzo, coperture classificate come depositi eluvio-colluviali. In realtà le indagini geognostiche (penetrometrie e sondaggi) evidenziano che tali coperture eluvio-colluviali sono estrapolabili, come vedremo, a tutta la porzione di pendio (esposto a est) oggetto di studio: ciò è coerente anche con le caratteristiche di facile erodibilità/degradazione del substrato geologico che costituisce il versante (Argille Azzurre; ADO2 con strati peliti prevalenti). Infine la porzione di versante a est della chiesa risulta interessata da movimenti di versante, quiescenti, con zone di coronamento che lambiscono l'area di studio.

La figura 3.8 propone invece uno schema delle unità geologiche che costituiscono il sottosuolo del Capoluogo: per una migliore comprensione, la figura non riporta le coperture quaternarie, comunque già evidenziate nelle precedenti figure 3.5, 3.6 e 3.7). si evidenzia che, rispetto a quanto riportato nella cartografia geologica regionale, nell'area di studio di Zappolino il substrato geologico è attribuibile unicamente alla Formazione di Monte Adone (ADO2), mentre l'Unità delle Argille Azzurre (che le sovrastano stratigraficamente) risultano affioranti nel versante più a ovest rispetto a quanto riportato anche nella figura 3.8.

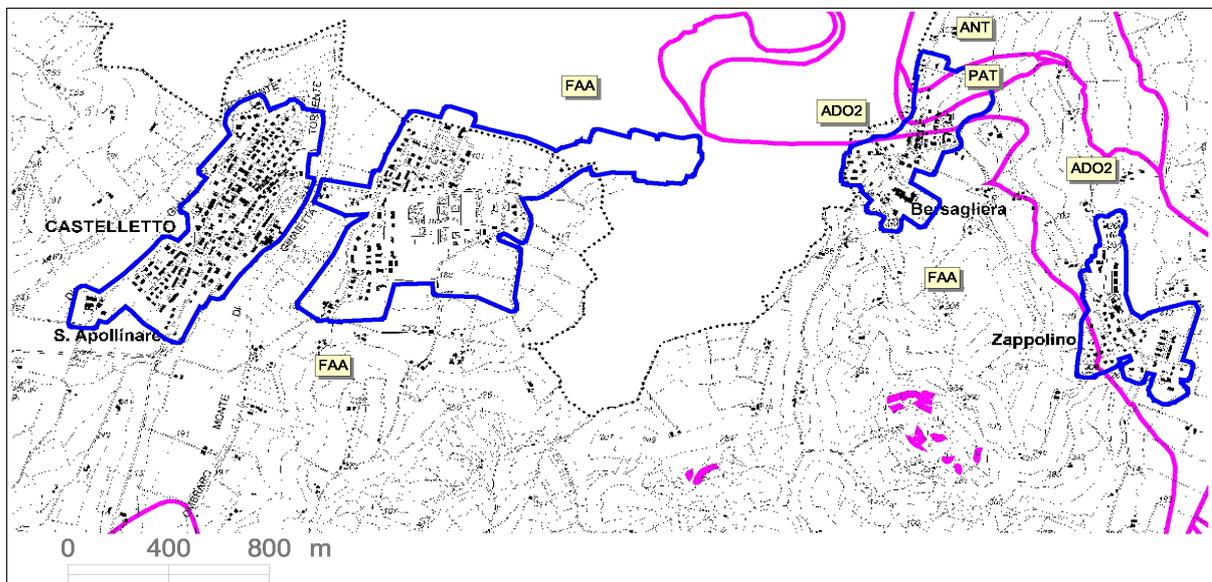


Figura 3.8 - Schema del substrato geologico senza coperture (metadati forniti dal SGSS della regione Emilia-Romagna).

Per gli aspetti più propriamente morfologici, necessari per valutare e delimitare le zone di possibile amplificazione topografica, lo studio di microzonazione ha considerato anche un modello digitale del terreno (DTM) elaborato dallo scrivente per le analisi geologiche del Piano Strutturale Comunale. Il DTM si basa su un “grid” di punti quotati e georeferenziati forniti dal Servizio Cartografico RER, ed è stato costruito con maglia quadrata di 5x5 metri. La modellazione morfologica ha dunque permesso la scomposizione della superficie topografica nelle tre classi di acclività (<15°; 15÷30°; >30°), considerate di riferimento anche per le normativa tecnica per le costruzioni a scala nazionale (NTC 2008). La figura 3.9 propone la modellazione relativa a Castello di Serravalle.

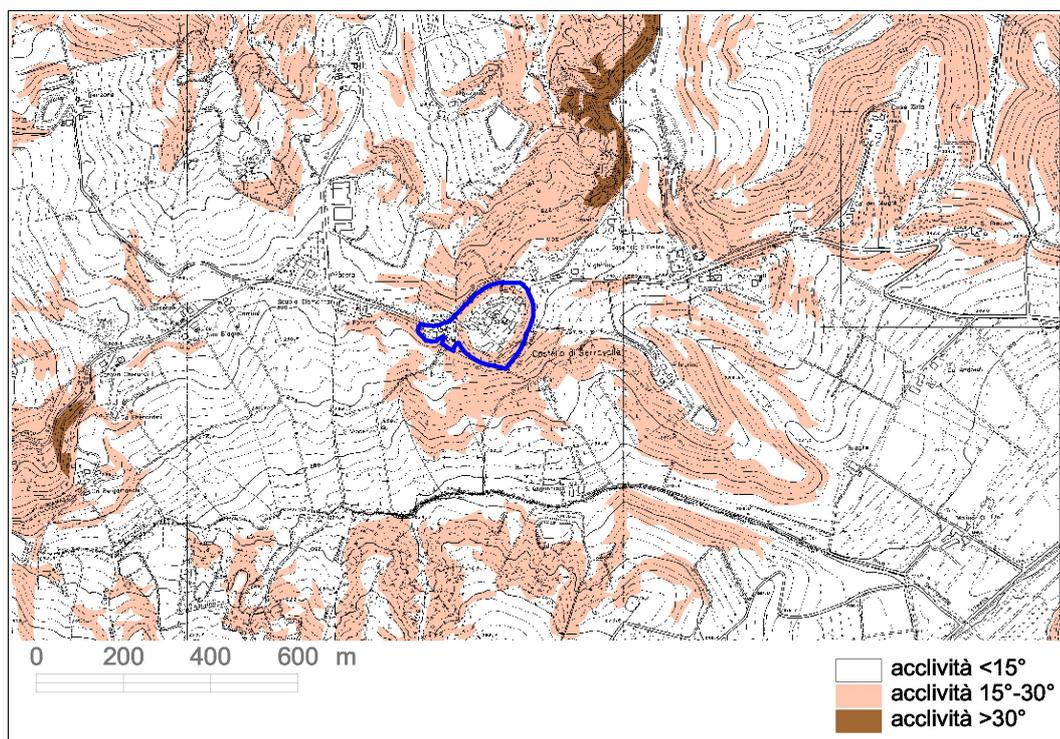


Figura 3.9- Area di studio Castello di Serravalle: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

Per Castello di Serravalle si è deciso di elaborare anche una sezione topografica di dettaglio (sigla A-A, vedi carta MOPS), basata sulle quote topografiche e sulle isoipse riportate nella cartografia topografica (figura 3.10): ciò è stato espletato per valutare, come vedremo, la possibile amplificazione del moto sismico legata a condizioni morfologiche. In conclusione, si evince come l'abitato storico sia situato su una cresta “appuntita”<sup>9</sup> e in particolare in un “picco isolato”.

Le figure 3.11 e 3.12 offrono rispettivamente il DTM ricavato per Castelletto e per le altre frazioni Bersagliera e Zappolino.

<sup>9</sup> Sulla base degli ICMS 2008 (parte III)

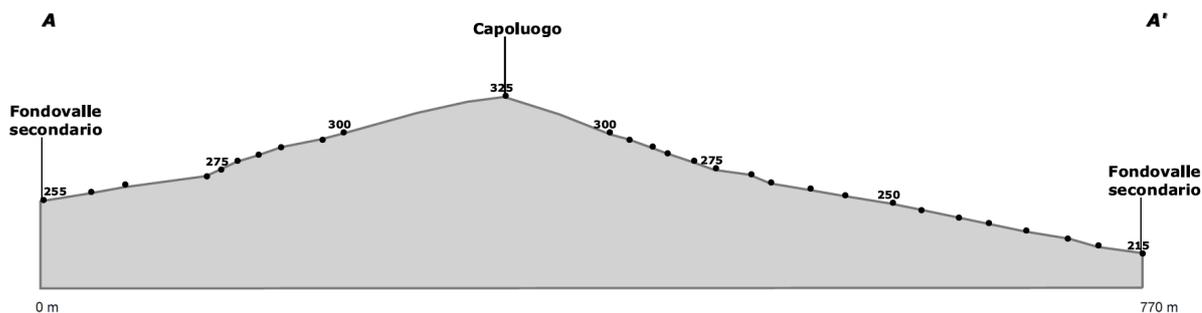


Figura 3.10 - Profilo topografico elaborato per l'area di studio Castello di Serravalle (il profilo è riportato sulla cartografia di microzonazione)

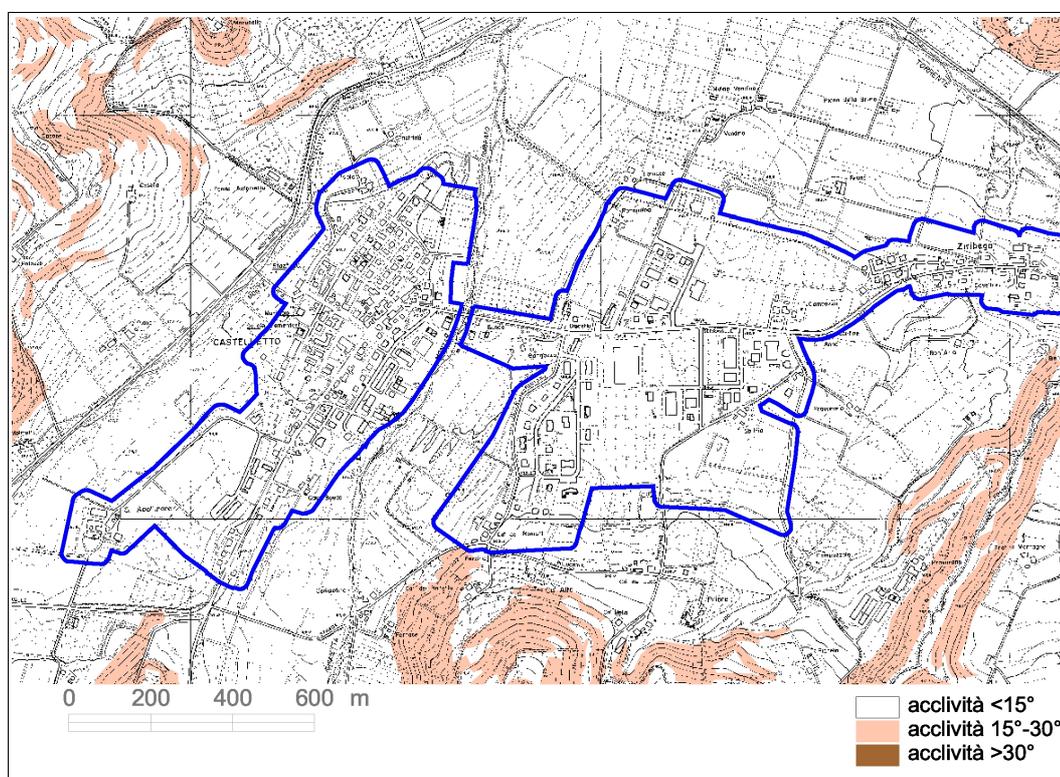


Figura 3.11 Area di studio Castelletto e relativa zona produttiva: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

Per le aree di Castelletto non emergono particolari condizioni morfologiche che possono influenzare il moto sismico. Mentre anche per la frazione Zappolino sono state elaborate altre due sezioni topografiche (figure 3.13 e 3.14), denominate con sigla B-B' e C-C' per evidenziare la cresta sulla quale si insedia parte di questo abitato.

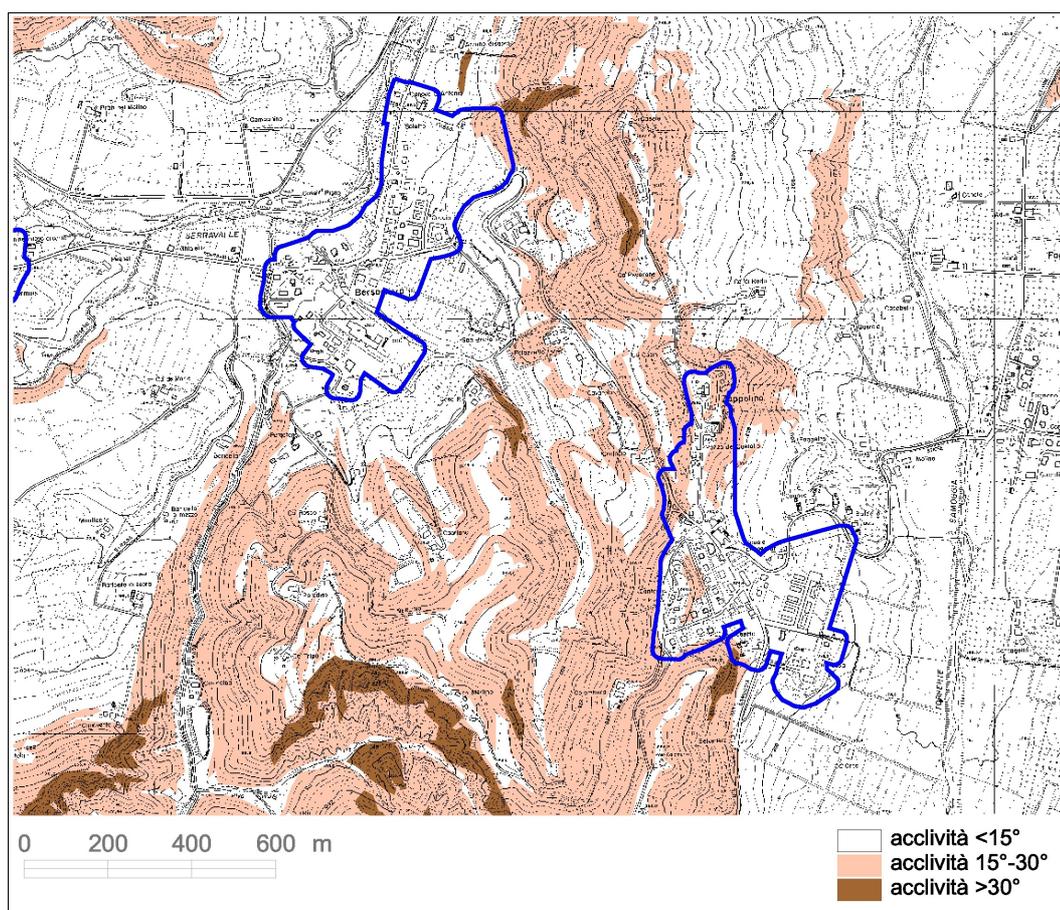


Figura 3.12 Area di studio frazioni Bersagliera e Zappolino: esiti dell'elaborazione del modello digitale topografico (DTM).

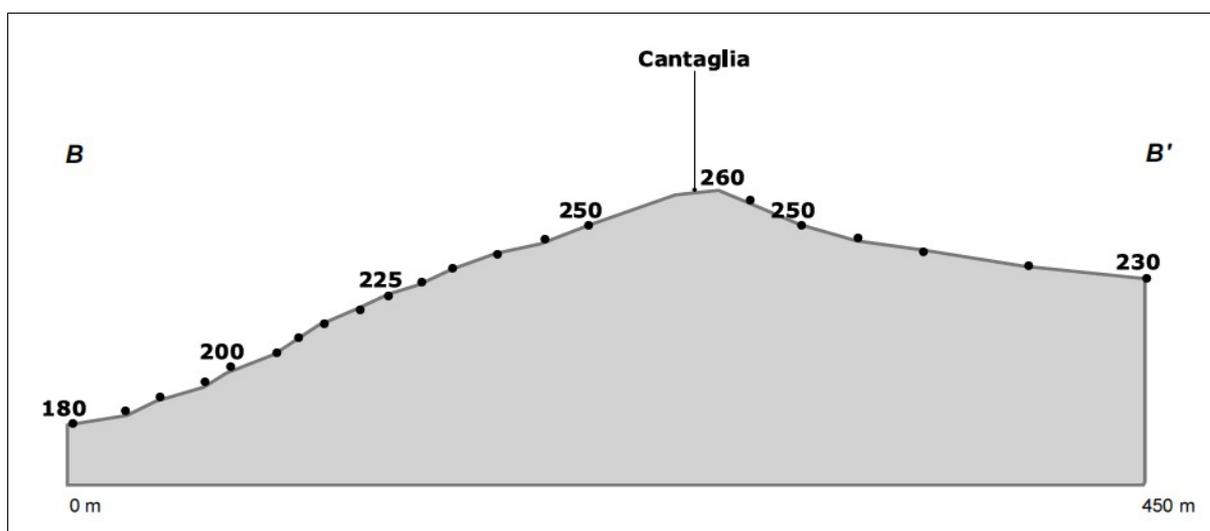


Figura 3.13 - Profilo topografico sud elaborato per l'area di studio Zappolino (il profilo è riportato sulla cartografia di microzonazione)

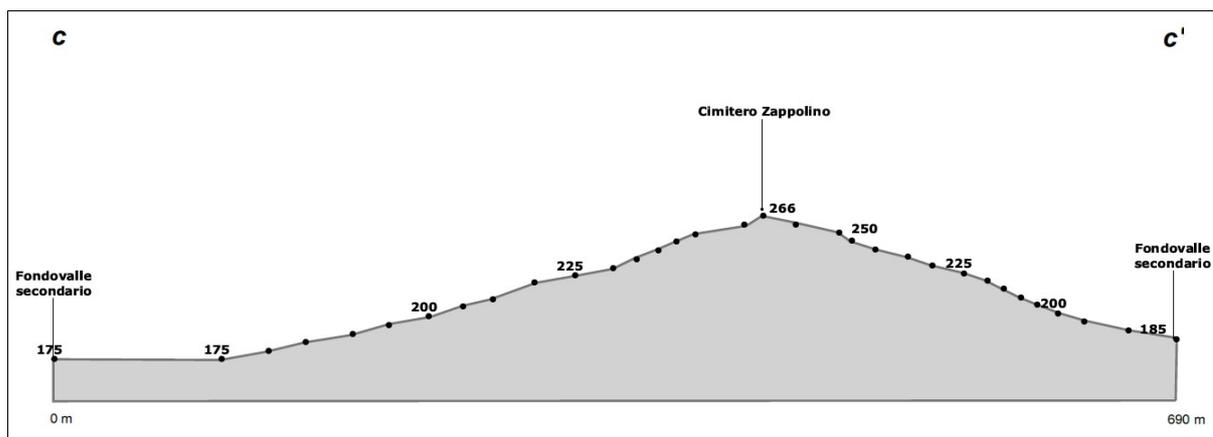


Figura 3.14 - Profilo topografico nord elaborato per l'area di studio Zappolino (il profilo è riportato sulla cartografia di microzonazione)

## 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 87 prove, così distinte per tipologia:

- n. 5 sondaggi a distruzione di nucleo SDS (tutti hanno intercettato il substrato)
- n. 31 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 10 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- n. 26 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- n. 9 misure di microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 3 trincee/pozzi esplorativi (T)

### 4.2 Dati ex novo

Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di microzonazione, e in particolare per definire i depositi di copertura superficiali e la parametrizzazione geofisica di tali coltri e del bedrock sottostante, si è reso indispensabile

effettuare ulteriori indagini in sito, sia di tipo geofisico, sia di tipo geognostico. Sulla base degli obiettivi dell'incarico avuto dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia, le indagini si sono concentrate nelle aree di studio (urbanizzate e urbanizzabili) forniteci dall'Ente committente. Per il Comune di Castello di Serravalle 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. 1 prova penetrometrica dinamica superpesante DPSH → realizzata 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. 30 registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR.
- n. 2 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.

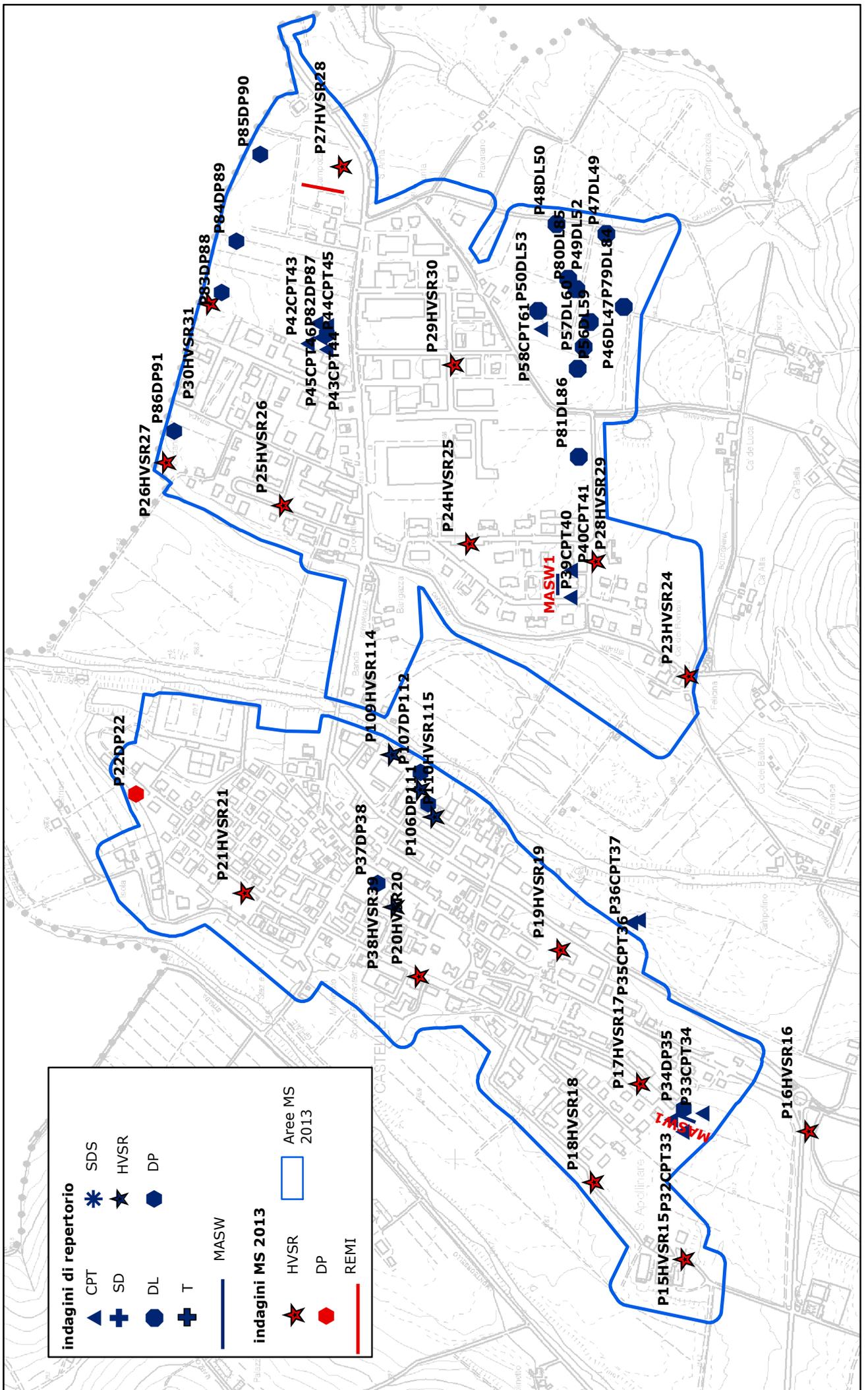


Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

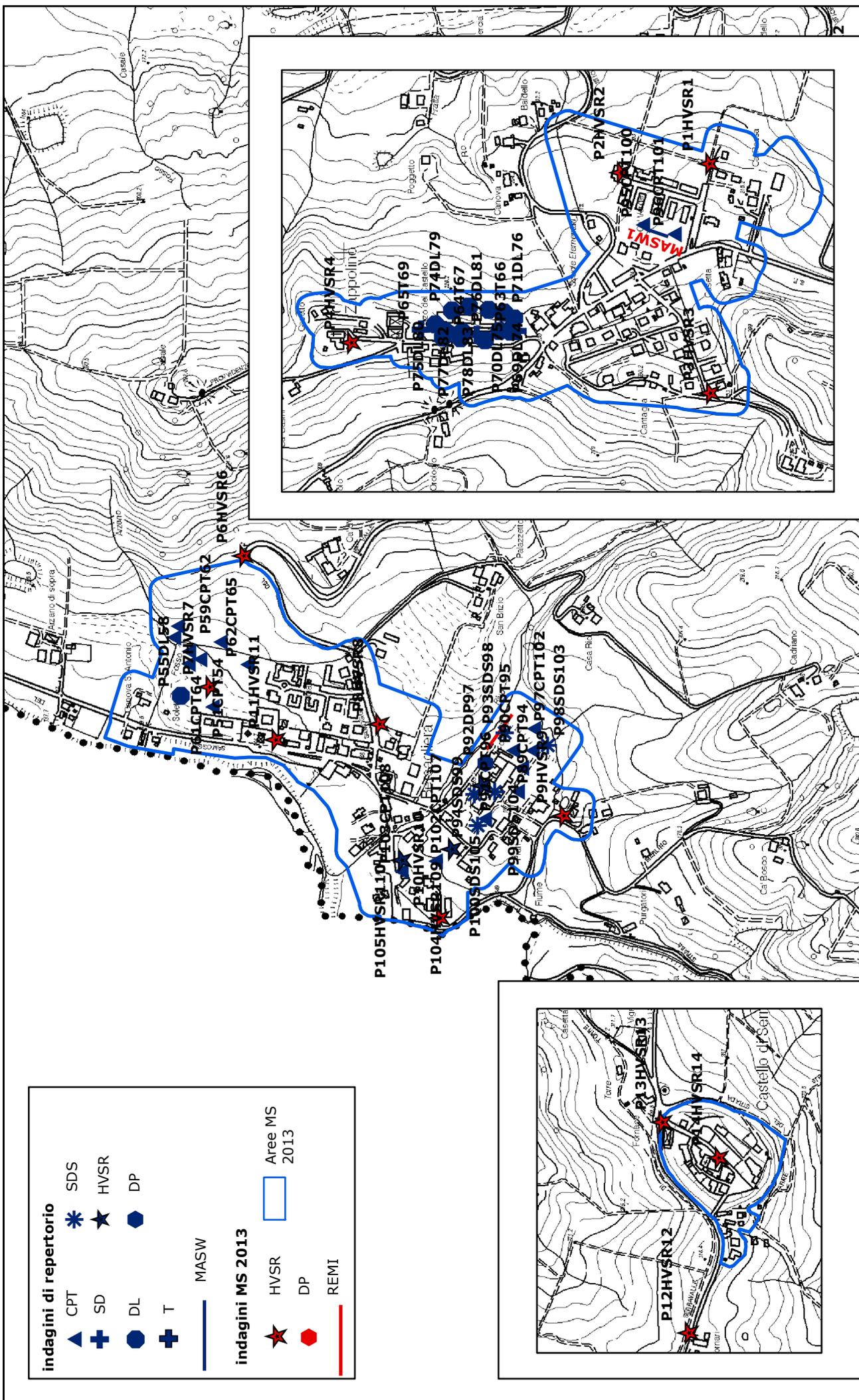


Figura 4.2 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

## 5 Modello di sottosuolo

### 5.1 Area Castello di Serravalle

Per l'area corrispondente all'abitato storico di Castello di Serravalle, lo stralcio della carta geologica regionale, riportata nella figura 3.4 permette di comprendere il contesto litostratigrafico locale: il rilievo è costituito da bedrock affiorante della Formazione pliocenica di Monte Adone e in particolare del suo Membro delle Ganzole (ADO2). Si tratta di areniti fini e subordinate peliti sabbiose, con giaciture verso ovest. I dati geofisici (registrazioni HVSR) non rilevano particolari amplificazioni del moto sismico, mentre stendimenti geofisici Re.Mi. eseguiti sulla stessa unità<sup>10</sup> evidenziano una distribuzione delle Vs pari a circa 700 m/s, pertanto riconducibile dal punto di vista sismico a “bedrock non rigido”.

### 5.2 Area Castelletto di Serravalle e zona industriale

Per l'area di studio più importante si sono elaborate due sezioni geologiche (in calce alla Relazione), distinte con le sigle 1-1' e 2-2' (la localizzazione delle tracce è riportata sulle tavole di microzonazione sismica), per consentire di comprendere i rapporti stratigrafici del bedrock marino e le coltri quaternarie sovrastanti. Le indagini geognostiche e geofisiche, integrate con gli esiti del rilievo e della cartografia geologica regionale, hanno infatti permesso di approfondire le conoscenze per quanto riguarda gli spessori e le tessiture delle coperture meno profonde, mentre le indagini geofisiche offrono ulteriori elementi di valutazione riguardo gli spessori degli intervalli in grado di amplificare il moto sismico. Entrambe le sezioni offrono, pertanto, uno spaccato del fondovalle del torrente Chiaie in cui si colloca l'area studiata, caratterizzato da coperture quaternarie alluvionali terrazzate che sovrastano il bedrock marino, costituito dalla formazione pliocenica delle Argille Azzurre.

Come già scritto, l'abitato di Castelletto è situato su terrazzi fluviali classificati come AES7b e AES8a (vedi paragrafo 3.2.2). Le indagini geognostiche relative al terrazzo più antico (AES7b) evidenziano spessori di sedimenti alluvionali caratterizzati da ghiaie passanti a sabbie e limi anche argillosi. Si rammenta che la coltre alluvionale ghiaiosa risulta ospitare falda acquifera, con una significativa degradazione anche del sottostante substrato geologico pelitico (FAA) per un intervallo generalmente contenuto in alcuni metri. Ciò detto, le indagini geofisiche permettono di ricostruire un modello semplificato di sottosuolo esaustivo per l'area di interesse, caratterizzato da uno spessore di coperture superficiali

---

<sup>10</sup> Indagini geofisiche per lo studio di microzonazione del limitrofo Comune di Monteveglio (S. Sangiorgi, 2013)

(comprendente anche il sottostante bedrock argilloso più alterato) approssimabile a circa 20 metri. La prova MASW1 di repertorio realizzata nell'area meridionale di Castelletto riscontra una  $V_s$  media pari a 235 m/s riferito a un intervallo di 22 metri circa. Le registrazioni HVSR evidenziano amplificazioni nello spettro H/V a frequenze fondamentali comprese tra  $2 \div 3$  Hz, confermando il modello di sottosuolo sopra descritto; amplificazioni a frequenze più elevate sono invece riconducibili a livelli sabbioso ghiaiosi meno profondi, meno significativi dal punto di vista della risposta sismica locale. La superficie terrazzata più recente (AES8a), situata tra Castelletto e la sua area produttiva e solcate dal Torrente Ombraro, evidenzia spessori di coperture più modeste (es. penetrometrie P106DP111 e P107DP117), stimata pari a circa 10 metri: anche le più marcate amplificazioni riscontrate dalle prove HVSR risultano a frequenze più elevate ( $4,4 \div 4,6$  Hz), confermando il contesto sopra descritto. Per quest'ultimo terrazzo (costituito da sedimenti prevalentemente argillosi e con resistenze alla punta mediocri), la  $V_s$  media di tale intervallo corrispondente alle coperture è stimato sulla base degli esiti tomografici e delle prove penetrometriche, pari a circa 200 m/s. 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”.

L'area industriale situata a est di Castelletto, si insedia anch'essa su un ampio terrazzo fluviale, riconducibili prevalentemente a all'Unità di Vignola (AES7b), mentre nella porzione settentrionale risulterebbero meglio attribuite all'Unità di Niviano (AES7a); in una modesta porzione a SE dell'area produttiva, la cartografia geologica riporta depositi di conoide torrentizia in evoluzione (sigla “i1”), peraltro di dubbia attribuzione: appaiono allo scrivente da attribuire più propriamente al contesto alluvionale terrazzato AES7a. Le prove geognostiche e geofisiche di repertorio e realizzate ex novo evidenziano una buona correlazione dei dati con il contesto di terrazzo alluvionale sul quale si insedia a ovest l'abitato di Castelletto: si tratta, con buona sicurezza di un terrazzo con medesime caratteristiche deposizionali e anche le quote topografiche ne dimostrano la stessa origine. Le indagini geofisiche, evidenziano uno spessore pressoché costante di alluvioni 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 evidenzia uno spessore di circa 20 m caratterizzato da  $V_s$  media di 325 m/s, sostanzialmente confermato dalla MASW di repertorio, eseguita a NO della stessa zona produttiva (spessore delle coperture pari a circa 22 m con  $V_s$  media di tale intervallo pari a 320 m/s). Le registrazioni HVSR riscontrano amplificazioni più marcate nello spettro H/V a frequenze comprese tra poco più di 3 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”.

### 5.3 Area frazione di Bersagliera

La frazione di Bersagliera si insedia in parte sulle alluvioni terrazzate (AES8a e AES7b) del Torrente Ghiaie e sui depositi di conoide torrentizia inattiva di due corsi d'acqua secondari (Rivo Fondamenti e Rio del Malpasso), mentre il bedrock marino sottostante le coltri alluvionali è prevalentemente attribuito alle Unità delle Argille Azzurre (FAA) e in minor estensione alla Formazione di Monte Adone (ADO2) e all'Unità di Pantano (PAT). Per un maggior dettaglio si rimanda al precedente paragrafo 3.2.3. Per quest'area si sono elaborate due sezioni geologiche (in calce alla Relazione) che evidenziano i rapporti stratigrafici tra il bedrock marino e le sovrastanti coperture: la prima, denominata con sigla 3-3' risulta trasversale al pendio e fondovalle più settentrionale dell'area studiata, mentre la seconda (4-4') è uno spaccato del versante e fondovalle rappresentativo della porzione sud. In sintesi, le indagini geognostiche di repertorio evidenziano uno spessore di coperture alluvionali di modesto spessore, prevalentemente ghiaiose nel fondovalle più recente (AES8a), cioè a valle della SP "Valsamoggia", mentre a monte risultano ghiaiose passanti verso l'alto a sabbie e limi anche argillosi. In entrambi i casi, gli spessori delle coperture risultano comprese tra circa 3 metri fino a circa 6÷7 metri. Le velocità di taglio delle coperture prevalentemente ghiaiose che costituiscono il terrazzo AES8a, sono desunte da stendimenti Re.Mi.<sup>11</sup> eseguiti poco a valle e risultano mediamente di circa 250 m/s, mentre le coperture alluvionali del terrazzo AES7b e i depositi di conoide inattiva (anch'essi con tessiture prevalentemente fini - limi e argille) rilevati agli sbocchi vallivi dei due corsi d'acqua Rivo Fondamenti e Rio del Malpasso, sono caratterizzate da Vs comprese tra 190 m/s e 220 m/s, come si desume dagli esiti delle prove HVSR (opportunamente tarati con gli esiti delle indagini penetrometriche e i sondaggi di repertorio). Sulla conoide argillosa del Rio Fondamenti è stata eseguita uno stendimento Re.Mi. che ha evidenziato uno spessore superficiale (circa 4,5 m) di sedimenti poco rigidi con vs media di 195 m/s, confermando il contesto sopra descritto. Le registrazioni HVSR evidenziano le maggiori amplificazioni a frequenze comprese tra circa 6 Hz e 10 Hz, compatibili con gli spessori già descritti. In quest'area di studio, bedrock marino non risulta affiorante: le unità già descritte (FAA; ADO2; PAT) sono peraltro ascrivibili a "substrato geologico non rigido".

### 5.4 Area frazione Zappolino

Come già scritto, la frazione Zappolino si insedia in parte su un crinale con substrato affiorante pliocenico (Formazione di Monte Adone) e in parte sul versante caratterizzato da coperture eluvio-colluviali e alluvionali (terrazzo alluvionale AES7a del torrente Samoggia)).

<sup>11</sup> Indagini geofisiche per lo studio di microzonazione del limitrofo Comune di Monteveglio (S. Sangiorgi, 2013)

Anche per quest'area di studio è stata elaborata la sezione geologica 5-5' (in calce alla relazione) trasversale al versante che permette di comprendere più facilmente i rapporti stratigrafici del bedrock marino e le coltri quaternarie sovrastanti. Per quanto detto, le indagini di repertorio (CPT; MASW1) eseguite sul terrazzo alluvionale evidenziano uno spessore della copertura (comprendendo anche alcuni metri di bedrock molto alterato) pari a circa 7÷10 metri, in particolare la MASW di repertorio indica un primo intervallo corrispondente alla coperture pari a 8 metri con Vs media di 315 m/s. Le prove geognostiche di repertorio effettuate nel versante sovrastante, indicano la presenza di coperture fino a circa 10 metri di profondità: tali coperture sono da attribuirsi a depositi prevalentemente fini e/o sabbiosi di degradazione eluvio-colluviale e a un intervallo di bedrock molto alterato (M. Adone). La Vs di quest'ultimo intervallo, sulla base degli esiti penetrometrici e degli esiti delle registrazioni VHSR, è stimata pari a circa 200 m/s. La porzione di crinale è invece da considerarsi con bedrock affiorante (Formazione di Monte Adone – Membro delle Ganzole ADO2): si tratta di areniti fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate in strati da medi a molto spessi, di geometria prevalentemente tabulare, con immersione degli strati verso E-SE. I dati geofisici (registrazioni HVSR) non rilevano particolari amplificazioni del moto sismico, mentre stendimenti geofisici Re.Mi. eseguiti sulla stessa unità<sup>12</sup> evidenziano una distribuzione delle Vs pari a circa 700 m/s: pertanto riconducibile dal punto di vista sismico a “bedrock non rigido”.

Infine, la porzione di versante a est della chiesa risulta interessata da movimenti di versante, quiescenti, con zone di coronamento che lambiscono l'area di studio.

---

<sup>12</sup> Indagini geofisiche per lo studio di microzonazione del limitrofo Comune di Monteveglio (S. Sangiorgi, 2013)

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

## 7 Metodologie di elaborazione e risultati

### 7.1 I fattori di amplificazione considerati

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

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

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

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

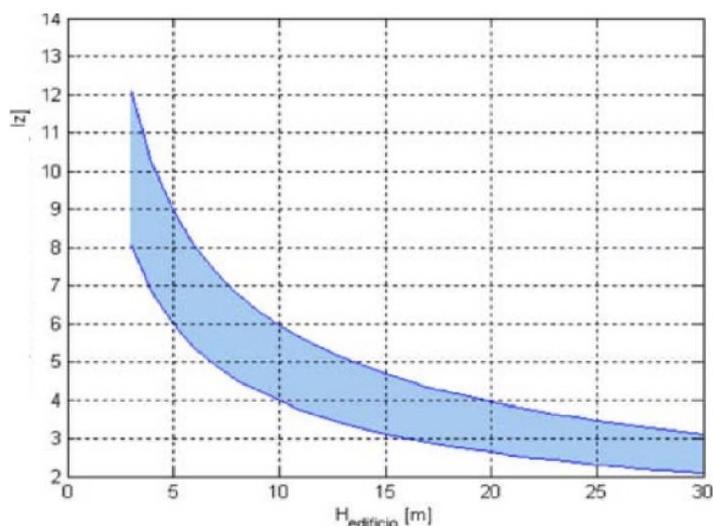
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro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

## 7.2 L'analisi del rumore sismico locale

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

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

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



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

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

### **7.3 Esiti della microzonazione di secondo livello**

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

## 8 Elaborati cartografici

### 8.1 Carta delle indagini

Lo studio di microzonazione ha consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse, fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio ed ex novo realizzate per questo lavoro. Per le aree oggetto di studio si è elaborata la <<Carta delle indagini>> scala 1:5.000, che localizza tutte le indagini di riferimento per lo studio di microzonazione sismica di Castello di Serravalle, identificando la tipologia con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>> (Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica, giugno 2012).

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

### 8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

La <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione alla scala 1:3.000, costituisce una revisione delle cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti e in particolare della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000 (realizzata, come già scritto, dal Servizio geologico Sismico e dei Suoli della RER). Tale revisione si è basata sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche analizzate (di repertorio ed ex novo) e sugli ulteriori rilevamenti di controllo espletati per 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 Castello di Serravalle.

- Substrato geologico rigido o non rigido → in particolare si sono perimetrare le aree ove risulta affiorante<sup>13</sup> il bedrock geologico. In questo senso, la carta discrimina gli

<sup>13</sup> Il bedrock è stato considerato affiorante ove le coperture sono risultate di spessore <2 metri e con amplificazioni

affioramenti del bedrock geologico “non rigido” (cioè con Vs medie <800 m/s) “NR” che nell'area di studio risultano affiorare presso il nucleo storico di Castello di Serravalle e a Zappolino (Formazione di Monte Adone – Membro delle Ganzole ADO2).

- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a orli di scarpata fluviale di altezza compresa tra 10 metri e 20 m rilevati nel fondovalle del Ghiaie presso Castelletto di Serravalle ), cresta (Castello di Serravalle e Zappolino), conoide alluvionale (torrentizia) presso la zona industriale di Castelletto.
- Tracce delle sezioni geologiche → considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le cinque sezioni (nominate da 1-1' a 5-5') ricostruite per la modellazione geotecnica rispettivamente a Castelletto di Serravalle, Bersagliera e Zappolino.
- Tracce delle sezioni topografiche → sono state elaborate tre sezioni per l'analisi delle condizioni di amplificazione morfologica (nominate da progressivamente da A-A' a C-C') , rispettivamente a Castello di Serravalle e Zappolino.
- Instabilità di versante → in particolare le frane sono state perimetrare e classificate sulla base della tipologia di movimento e dello stato di attività con i differenti retini come riportato negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.2.0>>. In questo senso, occorre segnalare che la tavola riporta cautelativamente come “instabilità di versante non definita” anche alcune porzioni di pendio (situati a Bersagliera e a Zappolino) che risultano allo stato di fatto stabili, con fattori di predisposizione al dissesto in condizioni sismiche (contesto litologico; l'acclività; parti di versante limitrofi ad aree già interessate da franamenti).
- la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- la localizzazione dei pozzi freatici (rilevati nel fondovalle del Ghiaie (a Castelletto di Serravalle e Bersagliera), 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 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

---

dello spettro H/V ricavato dalle registrazioni HVSR non significative

ulteriori frequenze ove lo spettro  $H/V^{14}$  evidenzia altri “picchi” di amplificazione del segnale passivo registrato.

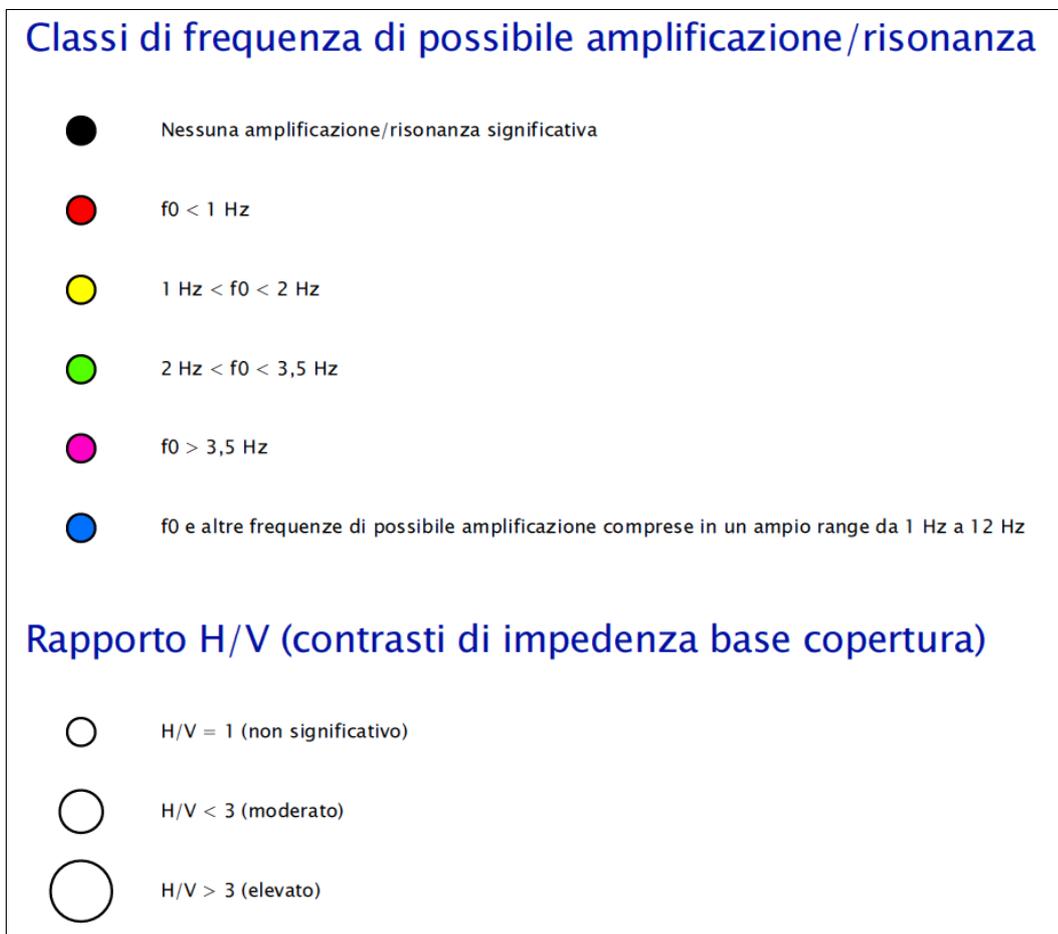


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Savigno.

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

- registrazioni senza amplificazioni significative (traccia spettrale  $H/V$  priva di picchi)
- registrazioni con  $f_0 < 1$  hz (indica la presenza di riflettori sismici profondi (oltre 50 m) e possibilità di risonanza, in caso di sisma, per edifici/manufatti molto elevati (oltre 10 piani)
- registrazioni con  $1 < f_0 < 2$  hz
- registrazioni con  $2 < f_0 < 3,5$  hz

<sup>14</sup> L'analisi delle prove HVSR, ha ovviamente comportato anche il controllo dell'andamento delle singole componenti spettrali registrate (N-S; E-O; up-down), in grado di fornire ulteriori elementi di valutazione delle possibili amplificazioni del moto sismico locale.

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

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

Nelle zone suscettibili di amplificazioni, sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale. Queste zone sono state distinte con numero arabo a quattro cifre, secondo le disposizioni di classificazione della Protezione Civile (formato numerico: “20xy”). La cartografia elaborata per il Comune di Castello di Serravalle distingue le seguenti zone:

###### *ZONA 2001 ≡ Bedrock non 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 pendio con acclività variabili da 20° a 35° (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,1$ , 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 ( $V_{s30} = 700$  m/s).

###### *ZONA 2002 ≡ 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 con picco isolato (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 ( $V_{s30} = 700$  m/s).

*ZONA 2003 ≡ 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. e MASW). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tomografie 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  $V_{sH}$  misurato pari a 250 m/s.

*ZONA 2004 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)*

si tratta ancora 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. e MASW). La morfologia è sub-piana. Le indagini geofisiche (tomografie 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  $V_{sH}$  misurato pari a 250 m/s.

*ZONA 2005 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)*

si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne). 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 (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 2006 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non*

*rigido (FAA)*

si tratta di sedimenti alluvionali, argilloso ghiaioso, 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. e MASW). La morfologia è piana. 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 VsH misurato pari a 200 m/s.

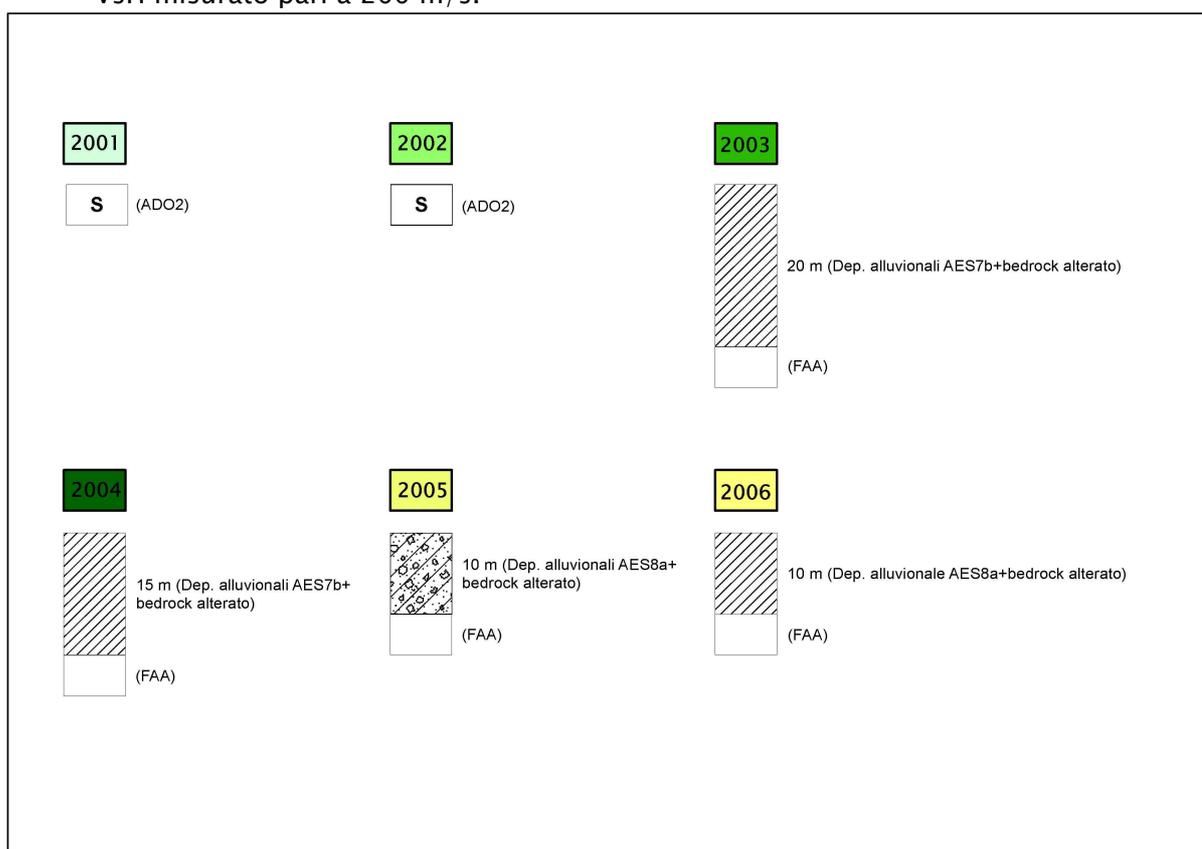


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

**ZONA 2007** ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)

si tratta ancora 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. e MASW). La morfologia è sub-piana. Le indagini geofisiche (tomografie 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 2008 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA)*

si tratta ancora 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. e MASW). La morfologia è sub-piana. 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 2009 ≡ Coperture di conoide torrentizia sovrastanti bedrock non rigido (FAA)*

si tratta di depositi attribuibili all'azione conoide di carattere torrentizio, sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne). La morfologia risulta sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo delle coperture, 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 2010 ≡ Coperture alluvionali terrazzate recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; PAT; ANT; ADO2 alterato?)*

si tratta di sedimenti alluvionali, ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito a diverse Formazioni rocciose. 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 250 m/s.

*ZONA 2011 ≡ Coperture alluvionali terrazzate (AES7b?) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; PAT; ANT; ADO2 alterato?)*

si tratta di sedimenti alluvionali, argillosi con sabbie e ghiaie, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito a diverse Formazioni rocciose. 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°). 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 2012**  $\equiv$  Coperture di conoide torrentizia sovrastanti bedrock non rigido (FAA)

si tratta di depositi attribuibili all'azione conoide di carattere torrentizio, sovrastanti bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Argille Azzurre (sigla FAA - Argille e marne). La morfologia risulta sub-piana ( $<15^\circ$ ). Le indagini geofisiche (tomografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo delle coperture, 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.

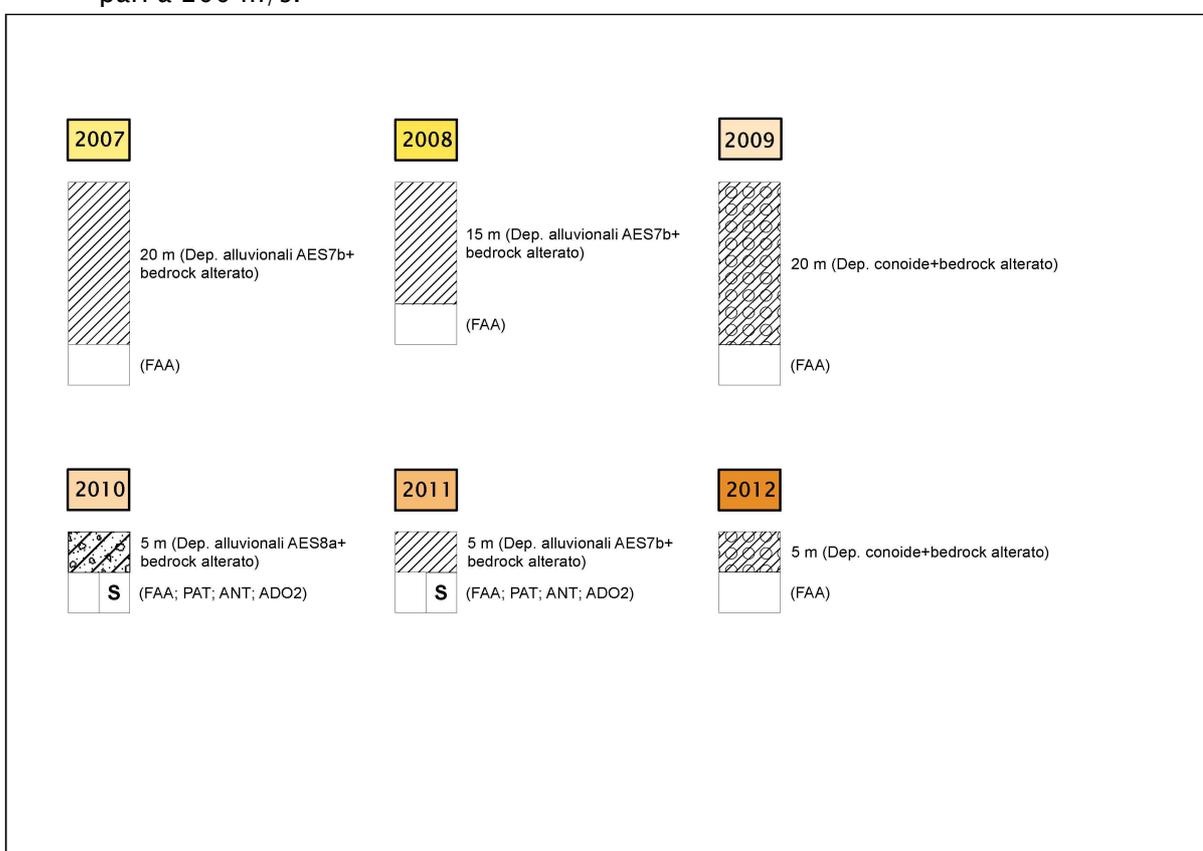


Figura 8.4 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007-2008-2009-2010-2011-2012.

**ZONA 2013**  $\equiv$  Coperture alluvionali terrazzate (AES7a?) sovrastanti bedrock non rigido (ADO2 alterato?)

si tratta di sedimenti alluvionali, argillosi con sabbie e ghiaie, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Monte Adone e in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose). 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°). 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 colluviali sovrastanti bedrock non rigido (ADO2 alterato?)*

si tratta di coperture colluviali fini, sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione di Monte Adone e in particolare al suo Membro delle Ganzole (sigla ADO2 - Areniti fini e subordinate peliti sabbiose). 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°). 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 2015 ≡ Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (ADO2 alterato?)*

si tratta di coperture colluviali fini, sovrastanti il bedrock non rigido 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 da 15° a 20° (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,1$  di cui si terrà conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). 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 dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

*ZONA 2016 ≡ 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 20° (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,1$  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 ( $V_{s30} = 700$  m/s).

*ZONA 2017 ≡ 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 da ritenersi 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 ( $V_{s30} = 700$  m/s).

**ZONA 2018**  $\equiv$  Coperture colluviali sovrastanti bedrock non rigido (ADO2)

si tratta di coperture colluviali fini, sovrastanti il bedrock non rigido 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  $20^\circ$  (si è calcolato un fattore di amplificazione cautelativo pari a  $F_t = 1,1$  di cui si terrà conto nella stima dei fattori amplificazione della MS). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). 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 dal sottostante bedrock più alterato) e con  $V_{sH}$  misurato pari a 200 m/s.

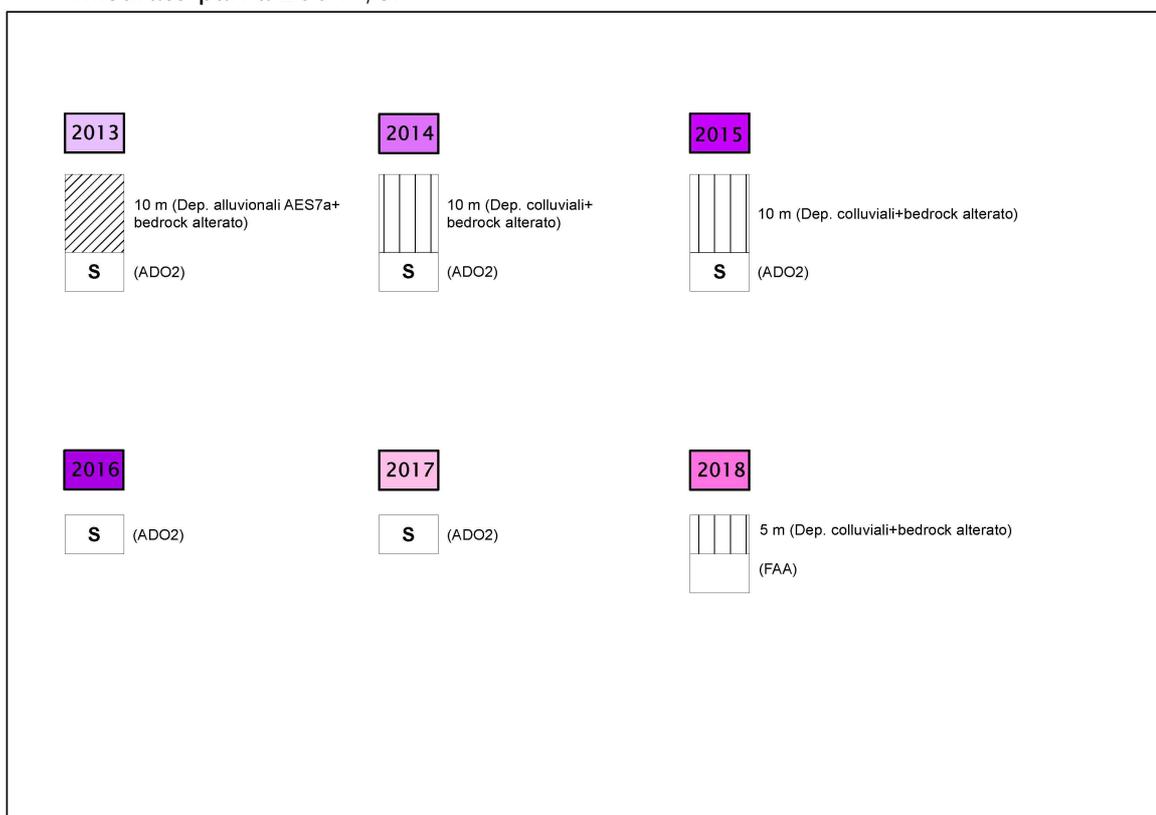


Figura 8.5 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2013-2014-2015-2016-2017-2018.

#### 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 Castello di Serravalle, sono state perimetrate 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)

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

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

Nel caso di Castello di Serravalle, le Vs sono desunte da indagini sismiche Re.Mi. e MASW eseguite per questo lavoro e 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 1:3.000, riporta:

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

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

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

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

- nel campo <<Fx>> (già previsto per riportare un altro valore di amplificazione rispetto a quelli indicati dagli ICMS 2010) si è riportato il valore  $FA_{PGA}$  valutato per tale poligono/microzona;
  - si è aggiunto il nuovo campo <<Fy>> nel quale è riportato il valore di  $FA_{0,1-0,5s}$  valutato per tale poligono/microzona;
  - si è aggiunto il nuovo campo <<Fz>> nel quale è riportato il valore di  $FA_{0,5-1s}$  valutato per tale poligono/microzona.
2. Le <<zone suscettibili di instabilità>> (individuate nella carta delle MOPS), sono state anch'esse perimetrate e distinte, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. Nello specifico, si distinguono le seguenti zone:
- *Instabilità di versante*

In tali aree sono indispensabili approfondimenti sismici di terzo livello e in particolare rilievi in sito di dettaglio, verifiche di stabilità con metodi pseudo-statici e/o dinamici, analisi numerica della risposta sismica locale;

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

## 9 Bibliografia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*l'uso del territorio".*

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