



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



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

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI BAZZANO
Relazione illustrativa

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

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

ASSOCIAZIONE INTERCOMUNALE AREA BAZZANESE
Presidente del comitato di Pianificazione Associata: ALFREDO PARINI

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

Responsabile dello studio

dr. geol. Samuel Sangiorgi

Ufficio di Piano

Marco LENZI (Coordinamento)

OTTOBRE 2013

Indice generale

1	Introduzione.....	2
2	Definizione della pericolosità di base.....	5
2.1	Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento.....	5
2.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	10
3	Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	12
3.1	Aspetti geologici e tettonici generali.....	12
3.2	Depositi quaternari e substrato geologico marino nelle aree di studio.....	17
3.2.1	<i>Coperture continentali quaternarie affioranti</i>	18
3.2.2	<i>Depositi continentali quaternari sepolti</i>	18
3.2.3	<i>Substrato geologico marino: Unità plio pleistoceniche di "Margine Appenninnico"</i>	19
3.3	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	20
3.3.1	<i>Area frazione Formica</i>	20
3.3.2	<i>Area Capoluogo (ovest)</i>	21
3.3.3	<i>Area Capoluogo (est)</i>	22
3.3.4	<i>Area frazione Magazzino</i>	22
4	Dati geotecnici e geofisici.....	24
4.1	Dati pregressi.....	24
4.2	Dati ex novo.....	25
5	Modello di sottosuolo.....	28
5.1	Area frazione Formica.....	28
5.2	Area Capoluogo (ovest).....	28
5.3	Area Capoluogo (est).....	29
5.4	Area frazione Magazzino.....	30
6	Interpretazioni e incertezze.....	31
7	Metodologie di elaborazione e risultati.....	32
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	32
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	33
8	Elaborati cartografici.....	34
8.1	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	34
8.2	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	35
8.3	Carta delle aree suscettibili di effetti locali.....	37
8.3.1	<i>Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico)</i>	37
8.3.2	<i>Zone suscettibili di instabilità</i>	42
8.4	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	42
8.5	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	43
9	Appendice al RUE: prescrizioni normative in materia di pericolosità sismica	45
10	Bibliografia.....	50

1 Introduzione

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

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

- assetto morfologico, strutturale generale; idrogeologia e idrologia
- pericolosità territoriale generale (sismicità; esondabilità; subsidenza; criticità di versante)
- pericolosità sismica preliminare (primo livello ai sensi della DAL 112/2007).

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

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

Il lavoro di approfondimento sismico per i Comuni citati è stato elaborato secondo i criteri generali dettati nell'OPCM 4007/2012 e secondo i criteri per gli studi di Microzonazione sismica riportati negli allegati della deliberazione della Giunta Regionale (Emilia-Romagna) n. 1302 del 10/09/2012. Più nel dettaglio, l'elaborazione dello studio di Microzonazione e la redazione degli elaborati richiesti sono impostati secondo i contenuti tecnici degli

<<Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica>> approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle regioni e delle provincie Autonome (di seguito indicate come “ICMS 2008”). Per i depositi e le forme che possono determinare effetti locali si è fatto riferimento agli Allegati della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia–Romagna n. 112 del 2 maggio 2007 (di seguito indicata come “DAL 112/2007”).

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

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

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

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

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

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

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

2 Definizione della pericolosità di base

2.1 Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento

L'elevata sismicità che caratterizza la penisola italiana è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale e quindi alla presenza di strutture geologicamente "attive"¹. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è dunque l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui sismi avvenuti nel passato e della geologia strutturale locale, entrambe strettamente connesse tra loro).

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

Recentemente, la Regione Emilia-Romagna, a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso, ha prodotto la <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>>, edita nel 2004 alla scala 1:250.000, che riporta gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo $M > 4$, le strutture attive e quelle potenzialmente sismogenetiche (della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano-adriatico) ed i relativi meccanismi focali tettonici. La localizzazione degli epicentri si è basata sulla catalogazione nazionale dei terremoti CPTI². La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Bazzano 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 2.0³ ed il già citato catalogo CPTI. Il catalogo CPTI, divulgato nel 1999 e frutto del lavoro sinergico di

¹ 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)

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

³ <<Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M 5.5 in Italy>> (Valensise e Pantosti, 2001)

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

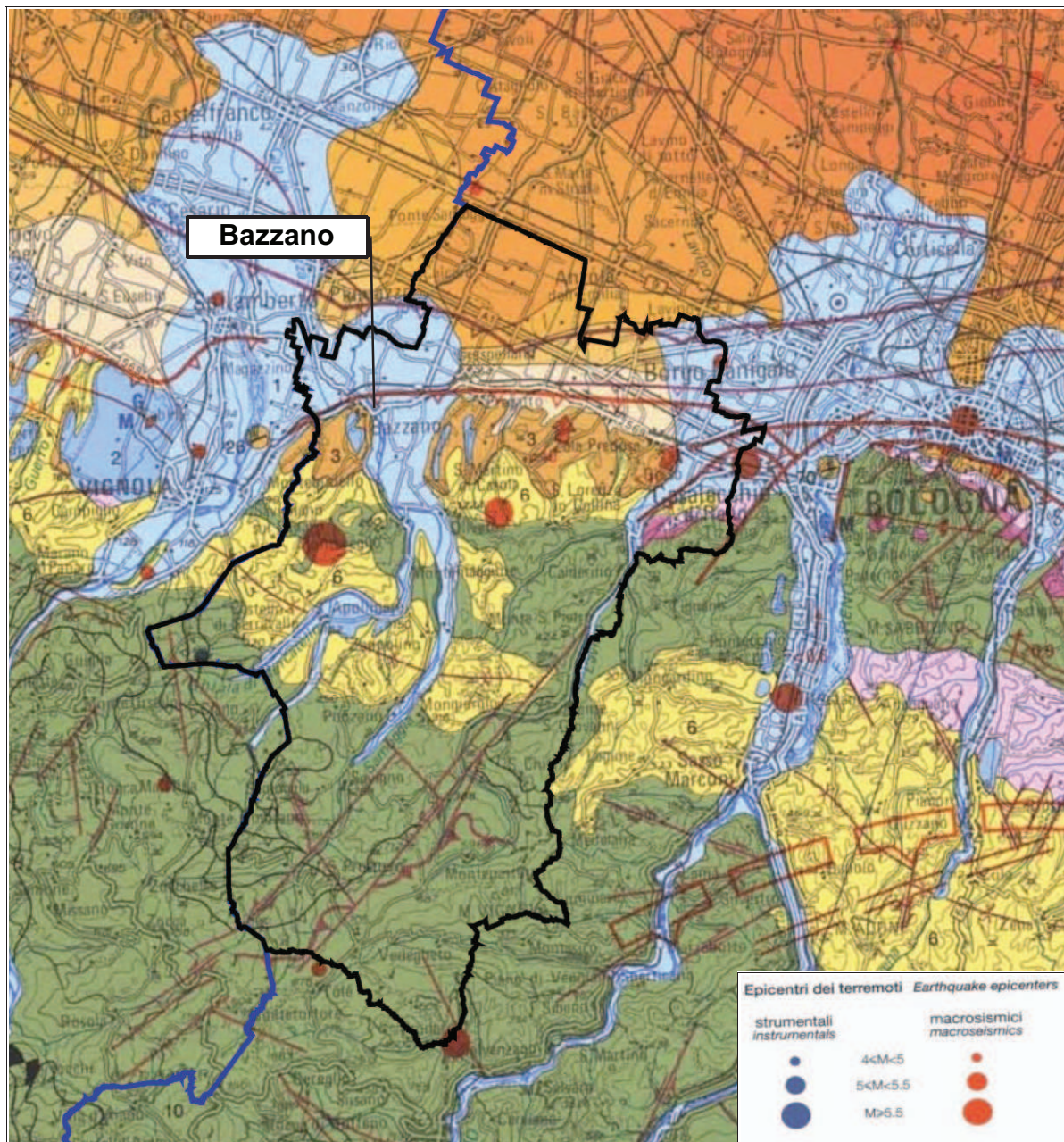


Figura 2.1- Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Bazzano) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali di $M_w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

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

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

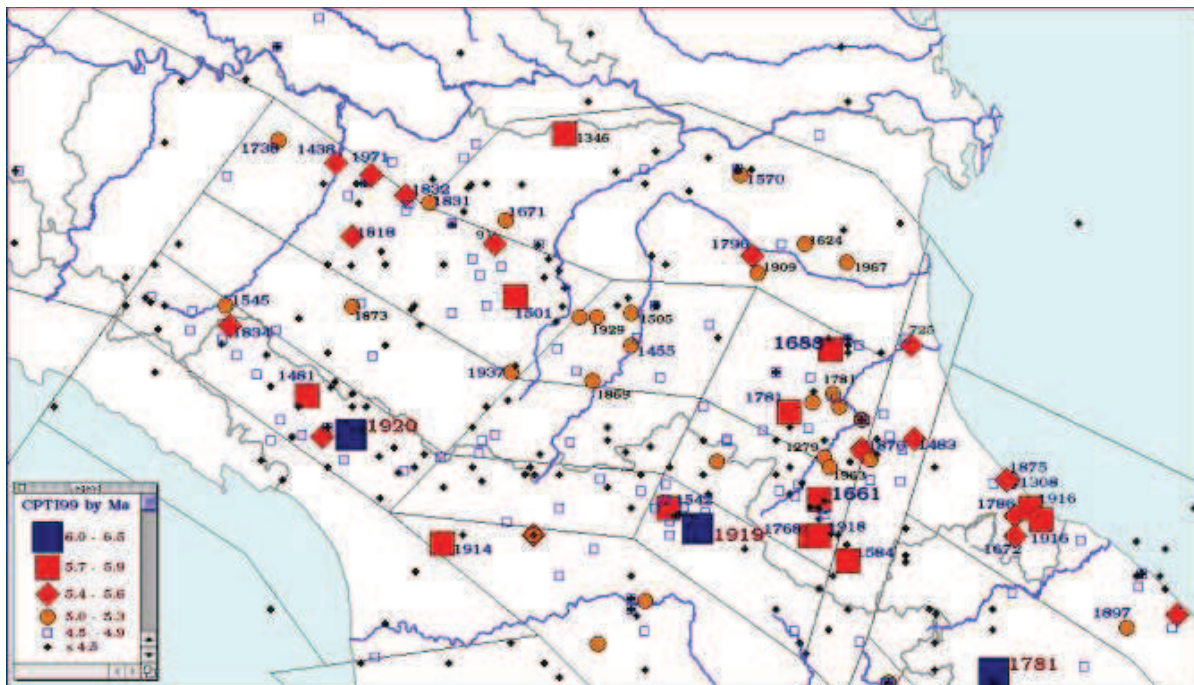


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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

La figura 2.3 offre anche la sovrapposizione con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS, nella sua versione più aggiornata e disponibile (DISS 3.1). Questo fondamentale database riporta per l'area di studio la sorgente sismogenica (contenuta nella zona 913 di ZS9) "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).

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

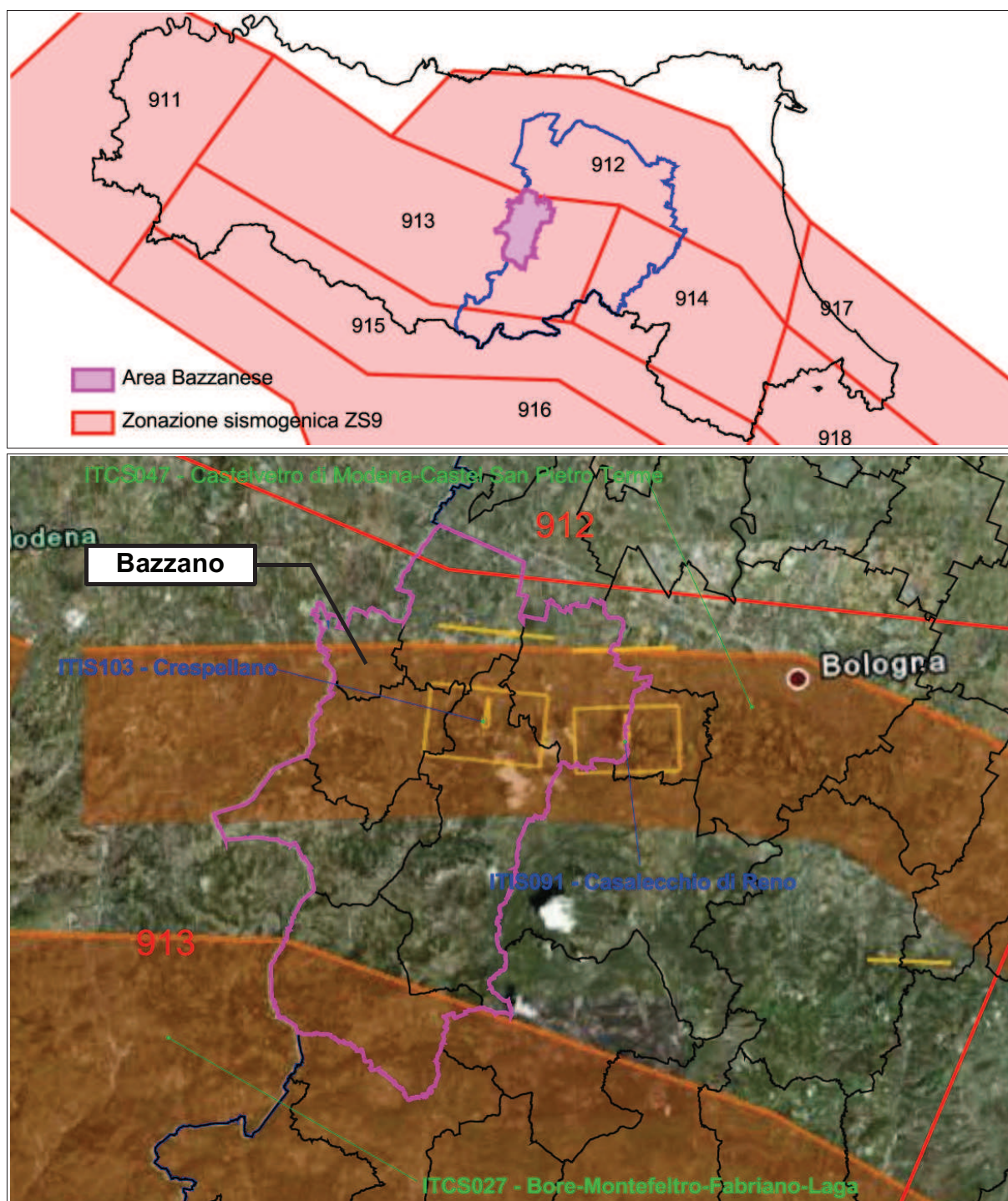


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

- “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).

Effetti		In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw		
7-8	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25		
NF	1898 01 16 12:10	Romagna settentrionale	73	6-7 4.79 ±0.33		
3	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09		
NF	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7 5.06 ±0.15		
4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25		
NF	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	43	5-6 4.78 ±0.19		
3	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24		
4-5	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7 5.03 ±0.13		
6	1929 04 19 04:15	Bolognese	82			
6	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13		
6	1929 04 28 19:39	Bolognese	20			
6	1929 04 29 18:35	Bolognese	45			
6	1929 05 11 19:22	Bolognese	64			
2	1930 05 24 22:02	FIUMALBO	43	5 4.81 ±0.17		
3	1934 09 18 09:37	VIGNOLA	6	4 4.57 ±0.30		
2	1956 04 26 03:00	Appennino tosco-emiliano	75	6 4.77 ±0.14		
4	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21		
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25		
6	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09		
NF	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09		
NF	1989 09 13 21:54	PASUBIO	779	6-7 4.88 ±0.09		
4	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18		
1-2	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09		
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09		
3	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09		

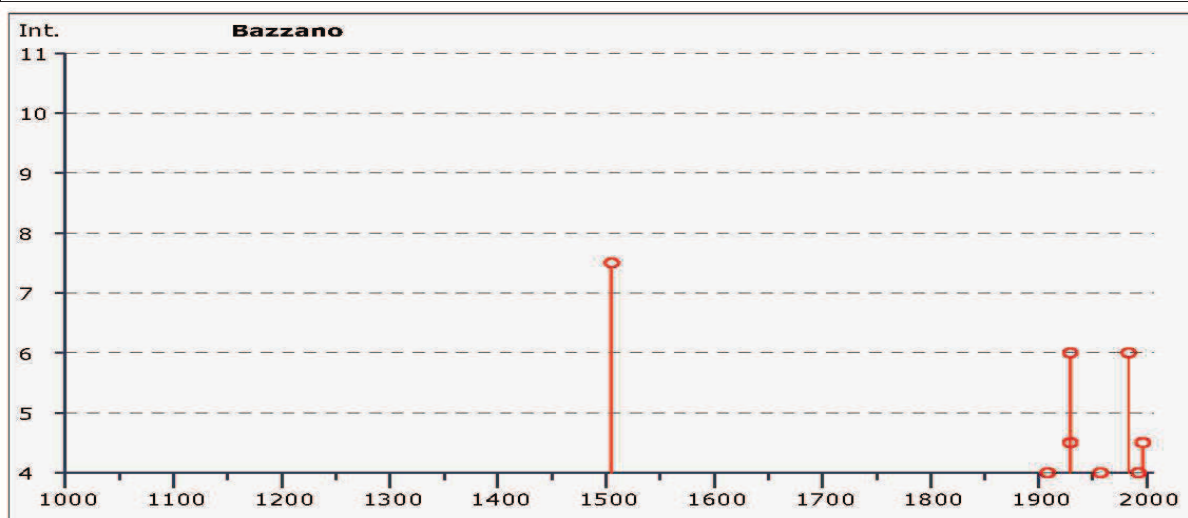


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Bazzano e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

Gli studi nazionali e quelli regionali attribuiscono al territorio studiato una pericolosità “media”, con terremoti locali moderatamente forti ed epicentri storici che hanno interessato località limitrofe al territorio comunale di Bazzano. In questo senso, la figura 2.4 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno interessato il territorio studiato e le relative intensità macrosismiche, stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: si evince come i terremoti che hanno causato maggiori risentimenti siano quelli bolognesi e in particolare l'evento del 1505, con intensità massima stimata del settimo–ottavo 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 Bazzano, la a_{refg} attribuita dalla Regione Emilia–Romagna risulta pari a 0,163g (vedi Allegato A4 della DAL 112/2007).

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

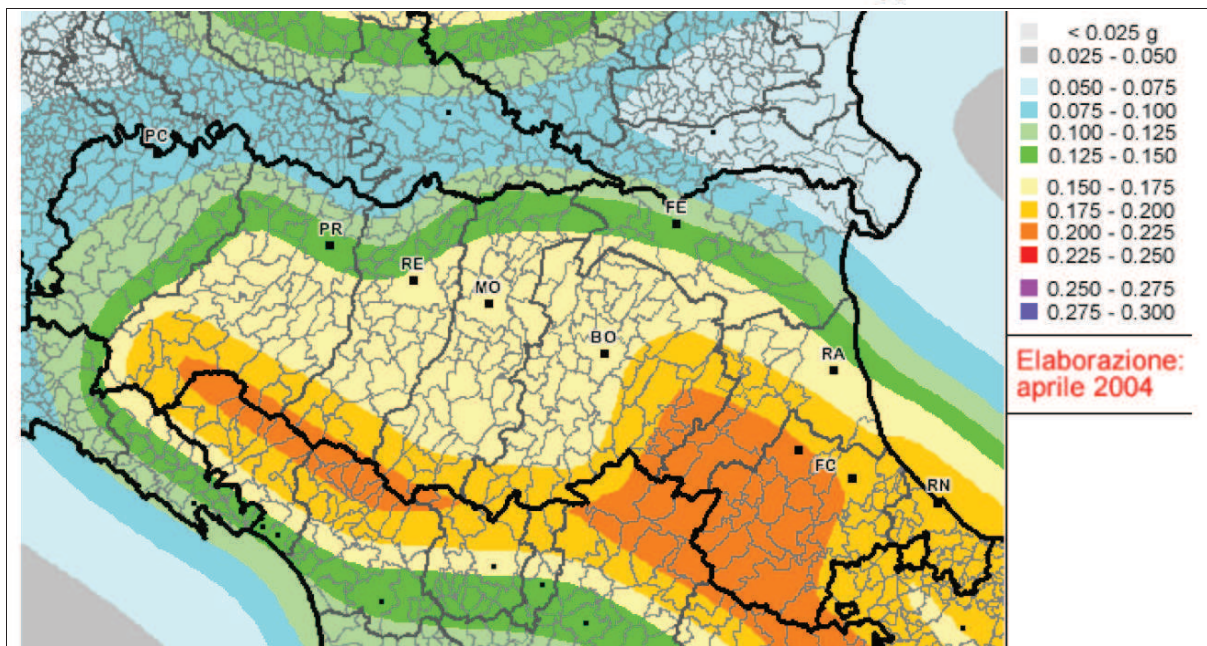
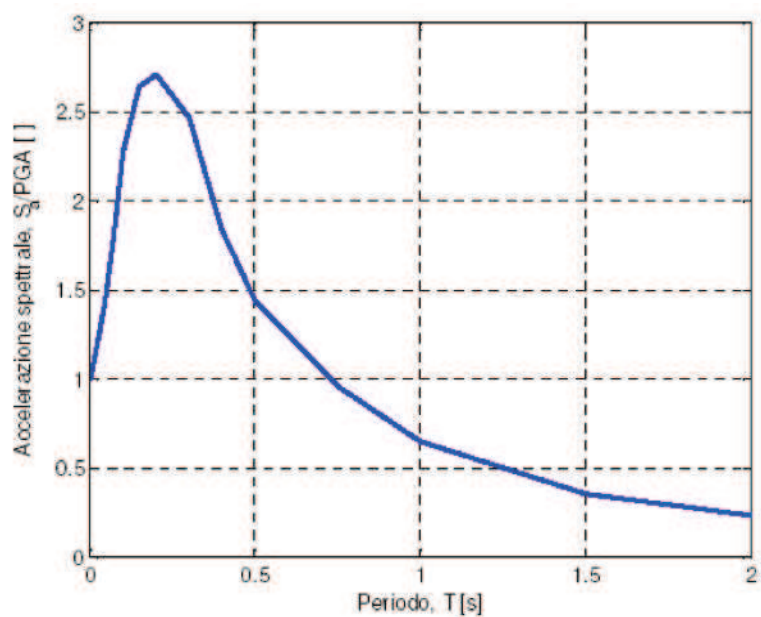


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio di BazzanoCrespellano è quello di zona di transizione da “margine” appenninico fino a pianura aperta. Si rammenta che la zona in cui la pianura termina contro i primi declivi appenninici non rappresenta l’inizio della “catena”: infatti all’Appennino morfologico, visibile, segue in pianura un “Appennino in embrione” sepolto sotto i depositi alluvionali padani.

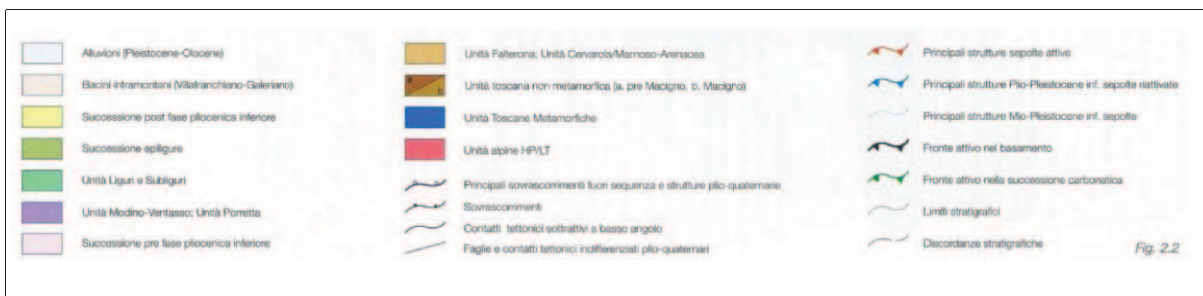
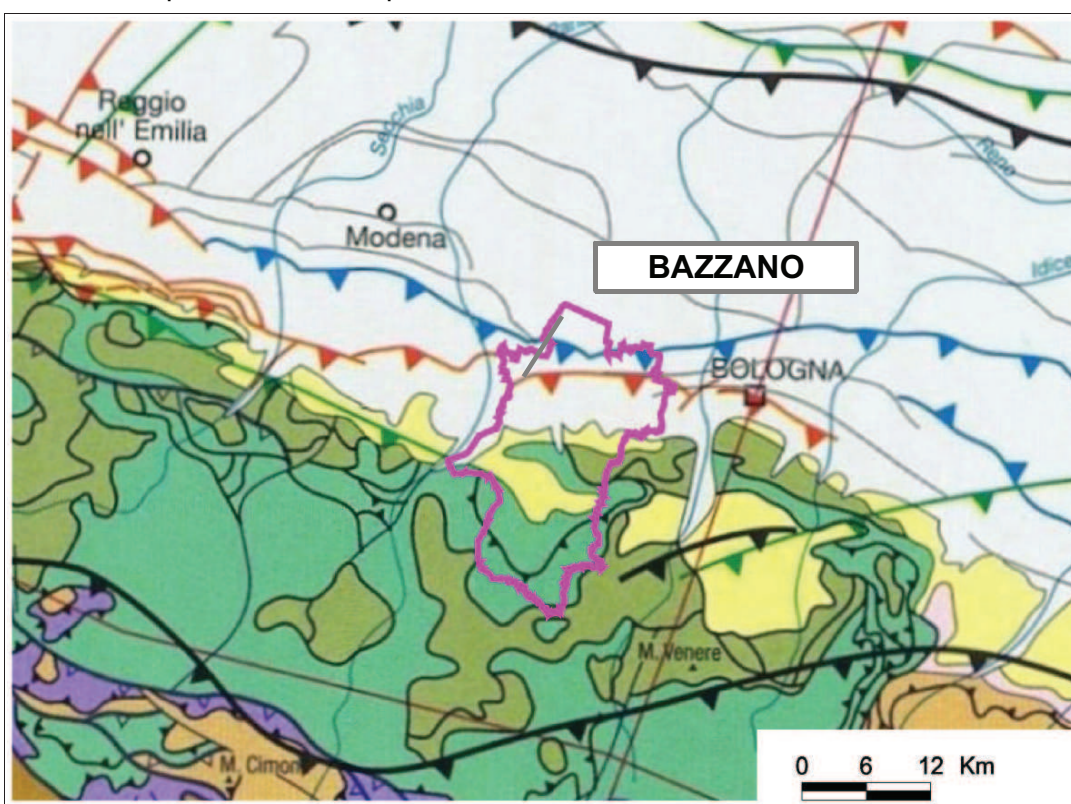


Figura 3.1 – Schema tettonico dell’area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell’area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

In figura 3.1 è inquadrato il contesto tettonico locale che identifica i rapporti tra catena e

pianura nel territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (che comprende anche il Comune di Bazzano), mentre la figura 3.2 rappresenta un profilo geologico che interessa l'area studiata.

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.

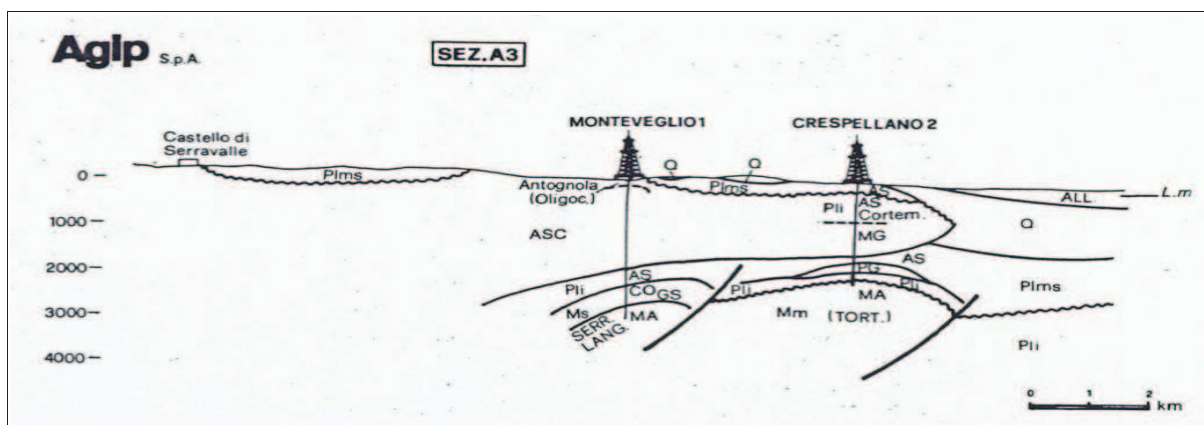


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino e del suo margine tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la “catena sepolta”, la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale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

Nella figura 3.1 si può così notare la presenza di una linea tettonica nella pianura, subparallela al margine morfologico della collina: si tratta di una faglia inversa (sovrascorrimento), la più interna delle “Pieghe Romagnole” (Pieri e Groppi, 1981), che disloca la catena e solleva il margine attuale, suturata ad oriente di Bologna solamente nel Quaternario (probabilmente medio), mentre ad occidente pare suturata già nel Pliocene medio superiore.

La figura 3.2 offre uno schema di profilo trasversale dell'Appennino che interessa l'Area Bazzanese, poco a est rispetto all'area di studio (da Castello di Serravalle fino alla pianura padana, oltre Crespellano). Nel Quaternario medio inferiore (Villafranchiano p.p.) i primi depositi paralici di margine, in questo quadrante di catena, suturano definitivamente ogni struttura disgiuntiva (figura 3.2): ciò è importante anche per comprendere la “storia” sismica dell'area. Gli spessori delle facies quaternarie continentali (sigla ALL in figura 3.2, depositi del “Supersintema Emiliano–Romagnolo” che corrispondono al ciclo Qc di Ricci Lucchi et Alii, 1982) possono superare i 3000 metri di profondità, al passaggio verso la pianura. Il Supersintema Emiliano–Romagnolo raggruppa, tutti i depositi alluvionali affioranti (e sepolti) ed è caratterizzato alla sua base da una superficie di discontinuità che lo separa da tutti i depositi marini sottostanti. All'interno del Supersintema è stata riconosciuta una superficie di discontinuità (età: 350.000÷450.000 anni – Pleistocene medio) che separa tra loro due unità definite “sistemi”: quello inferiore è denominato Sintema Emiliano–Romagnolo Inferiore (AEI)

del Samoggia.

Occorre anche rammentare che la più recente cartografia geologica regionale e nazionale distingue le coperture alluvionali comprese in AES secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale “Supersistema Emiliano-Romagnolo” (R.E.R., ENI-AGIP, 1998). I depositi alluvionali attribuiti AES sono suddivisi in quattro principali sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsistemi identificati con sigle da AES5 – più antichi – ad AES8 – più recenti).

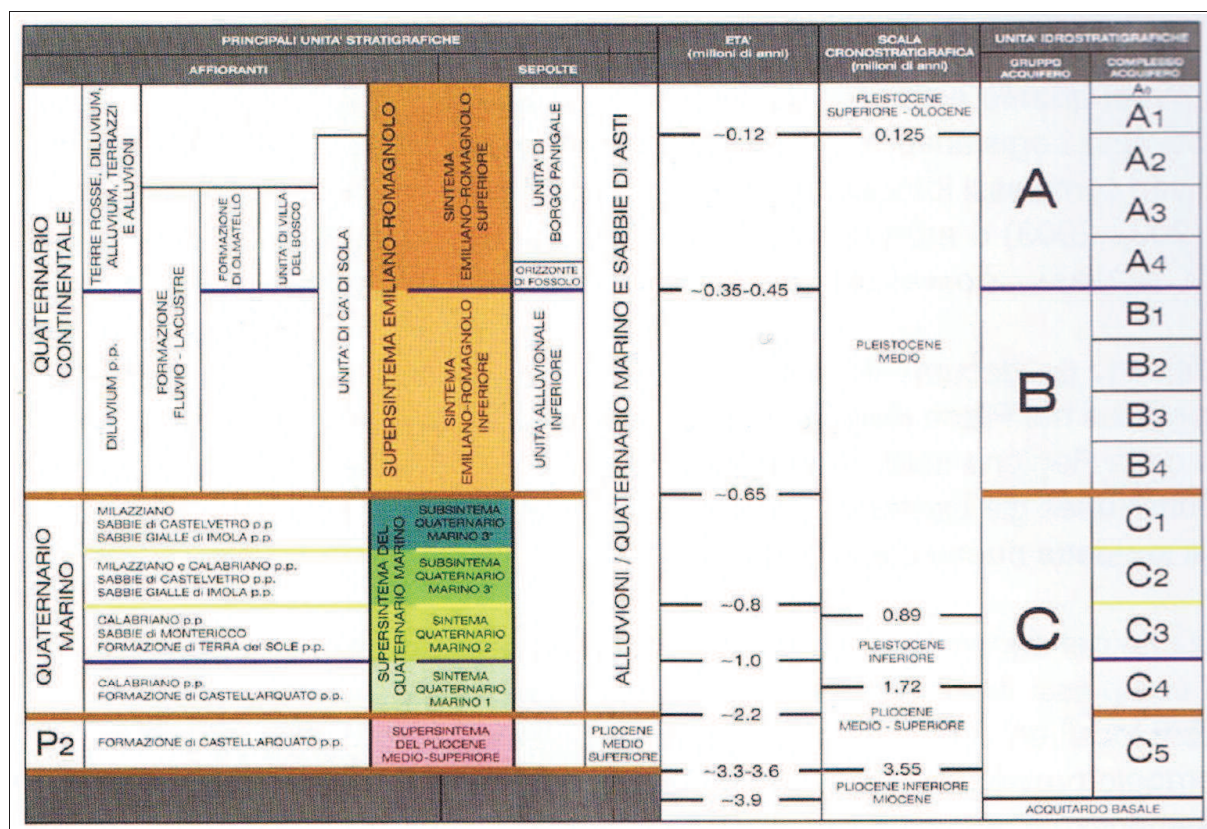


Figura 3.4 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da: Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998, modif.). Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi.

La seguente figura 3.4, propone lo schema dei rapporti stratigrafici del margine appenninico e della pianura, basata sulla citata classificazione delle unità deposizionali alluvionali e il sottostante substrato geologico marino che costituisce il margine affiorante e sepolto della catena appenninica.

Non vi è dunque discontinuità strutturale tra pianura e appennino. Nella pianura però le unità geologiche marine fortemente sovraconsolidate sono sepolte sotto i depositi continentali alluvionali, tra cui i più recenti sono quelli superficiali, di maggiore interesse immediato per gli scopi di questo lavoro. L'evoluzione della pianura olocenica è riconducibile ad un modello semplice, almeno nelle linee generali: i corsi d'acqua appenninici, a valle delle

conoidi pedemontane poco attive durante l'Olocene (ultimi 12.000 anni) mentre oggi prevalentemente in erosione, tendono a proseguire verso il collettore principale su alvei pensili, formati da sedimenti che il corso d'acqua non è più in grado di portare in carico.

Nel caso di rotte e tracimazioni, frequenti in natura, le acque invadono la pianura circostante depositando dapprima i sedimenti più grossolani nelle vicinanze dell'alveo, poi più lontano i sedimenti più fini (limi sabbiosi e limi) ed infine nelle conche morfologiche, dove le acque possono rimanere a lungo e decantare, si depositano limi argillosi ed anche argille.

Per i corsi d'acqua di pianura non arginati artificialmente, le rotte e le tracimazioni sono un fenomeno ricorrente che crea condizioni per modifiche e divagazioni dell'alveo: ciò avviene con frequenza assai alta nei bacini subsidenti che caratterizzano la pianura padana. La velocità di subsidenza naturale condiziona la velocità di accrezione verticale, ma la sua variazione geografica condiziona anche la distribuzione spaziale dei corsi d'acqua. L'accrezione della pianura alluvionale avviene perciò sia orizzontalmente, con il giustapporsi di successivi corpi d'alveo, sia verticalmente a causa dei continui cicli di riempimento dei bacini di esondazione. Un immaginario profilo verticale della pianura risulterebbe dunque costituito da un intrecciarsi di lenti sabbiose – corrispondenti a corpi d'alveo sepolti (argini naturali) – e da sedimenti a tessitura fine, determinati dai riempimenti dei bacini interfluviali di esondazione.

La distribuzione delle litologie di superficie e del primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente condizionati dai processi geo-strutturali profondi (attività delle pieghe romagnole) e di sedimentazione ed alla loro disposizione nel tempo. Nell'alta e media pianura, da Bologna fino al modenese, la divagazione degli alvei dei principali corsi d'acqua Reno e Panaro verso oriente ed in parte verso nord è dovuta all'evoluzione geostrutturale profonda del margine appenninico sepolto e alla presenza dei rilievi costituiti dai depositi granulari (conoidi ed argini naturali) del fiume Po. Nell'area studiata, la disposizione più recente dell'alveo torrente Samoggia risente soprattutto delle accrezioni della conoide del Panaro.

Per quanto riguarda il settore di margine della catena appenninica, del territorio in esame, è invece 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 in esame (figura 3.5) è caratterizzato da un margine appenninico nel quale affiorano le peliti e le arenarie poco cementate del Pliocene inferiore-Pleistocene (unità affioranti IMO, FAA) che insieme si immergono sotto i sedimenti alluvionali dell'antistante pianura ("monoclinale pedeappenninica" nordvergente). Questo raccordo con la pianura in realtà cela, come già scritto, le strutture geologiche sepolte che sono evidenziate in figura 3.1 e nel profilo di figura 3.2. Il sollevamento connesso alla tettonica attiva di "thrust" pedeappenninico ha determinato anche il basculamento/sollevamento delle coperture alluvionali più antiche

(tardo Pleistocene) che ricoprono le Unità marine appenniniche. Le formazioni a tessitura prevalentemente argillosa (FAA) sono facilmente degradabili e possono evolvere in calanchi, ed altre forme di erosione superficiale;

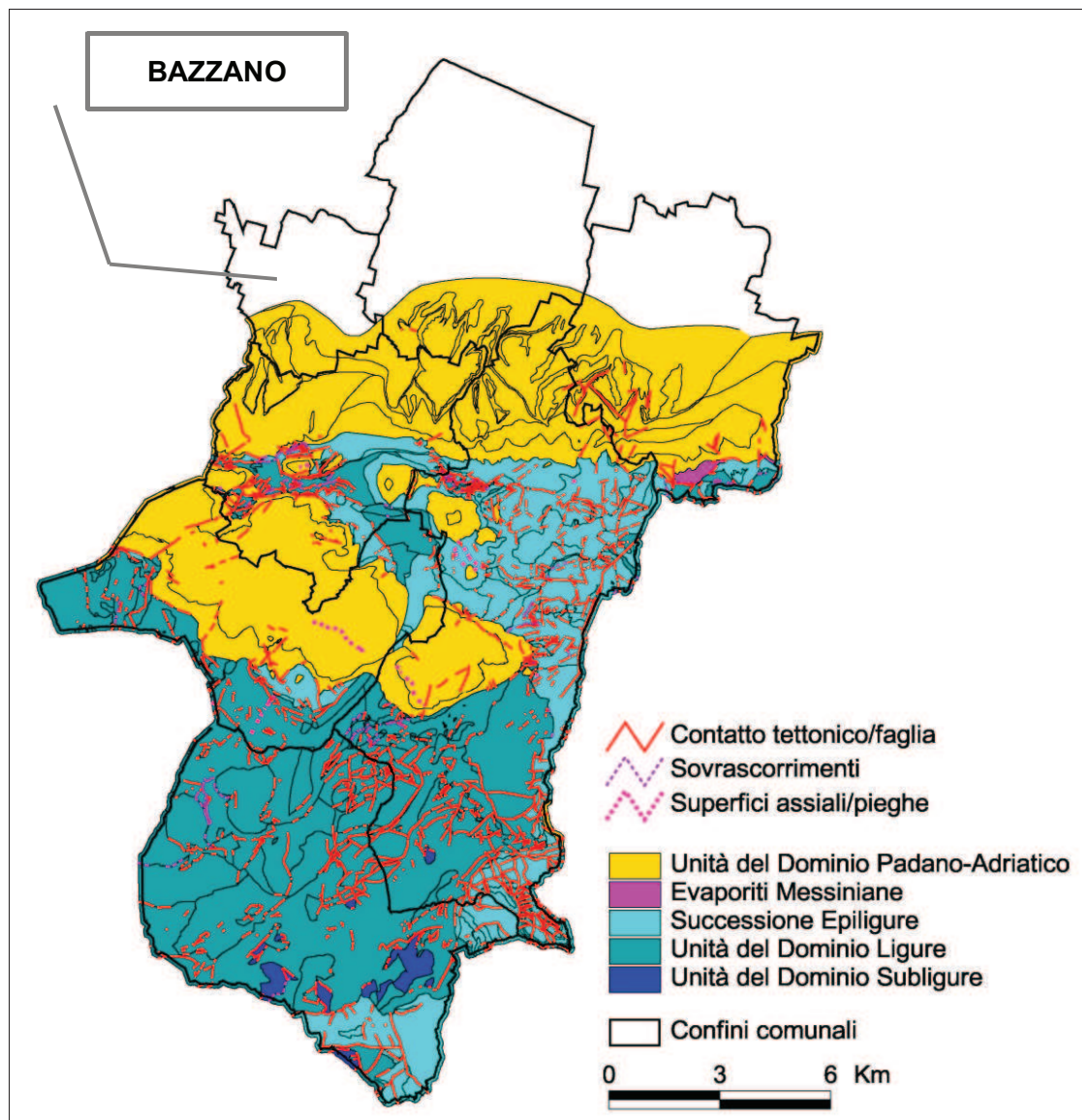


Figura 3.5 - Schema geo litologico del territorio collinare di Bazzano e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

3.2 Depositi quaternari e substrato geologico marino nelle aree di studio

Si riportano i principali elementi caratterizzanti delle unità deposizionali (marine e continentali) riscontrate nelle aree di studio di Bazzano. 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-Romagna⁵. Un ulteriore riferimento per questo lavoro, è rappresentato anche dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG)⁶.

I depositi alluvionali, sono distinte le unità affioranti e quelle sepolte (a formare i settori di conoide del Samoggia/Panaro, della pianura di interconoide e di quella più esterna). Le coperture/depositi quaternari e le formazioni geologiche che interessano le aree studiate di Bazzano, sono riconducibili a:

3.2.1 Coperture continentali quaternarie affioranti

- Depositi alluvionali terrazzati "AES8" (Subsistema di Ravenna) → Si tratta di sedimenti che nei settori di pianura sono da considerarsi prevalentemente fini nella zona intravalliva in sinistra Samoggia (a sud di Bazzano), mentre nella zona di sbocco in destra del Samoggia e a NO del Capoluogo sono caratterizzati ancora da ghiaie, sabbie, limi e argille. L'età deposizionale è attribuita al Pleistocene sup- Olocene. Si rileva inoltre un ordine di terrazzo di rango inferiore, attribuito alla più recente Unità di Modena (sigla AES8a), di età Olocene – Attuale. Questi depositi, risultano morfologicamente distinti dalle alluvioni AES8 da scarpate di erosione fluviale, di altezza generalmente modesta in pianura (fino a pochi metri) e spesso obliterata da interventi antropici.
- Depositi alluvionali terrazzati "AES6" (Subsistema di Bazzano) → affiorano nel settore intravallivo dove si insedia anche l'abitato di Bazzano. Sono caratterizzati da ghiaie passanti a sabbie e limi e il limite inferiore erosivo e discordante sui sottostanti depositi marini. Età deposizionale: Pleistocene medio.
- Depositi di conoide torrentizia inattiva → si tratta dei depositi fini (argille e sabbie più o meno limose) riscontrabili, come vedremo, allo sbocco di un modesto corso d'acqua nei pressi della località Formica. Il piccolo impluvio di questo corso d'acqua è impostato nelle formazioni plio-pleistoceniche delle Sabbie Gialle e Argille Azzurre (facilmente erodibili), determinando il trasporto e la deposizione verso la pianura di sedimenti a tessiture prevalentemente fini (da argille a sabbie).
- Depositi eluvio-colluviali → riscontrabili al piede delle scarpate nei pressi di Bazzano, costituiti da litotipi prevalentemente fini (sabbie, limi e peliti), prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità.

3.2.2 Depositi continentali quaternari sepolti

- Depositi alluvionali "AES8" (Subsistema di Ravenna) → la base di AES8 è caratterizzata da una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di entità variabile, maggiormente evidente nel margine appenninico dove la base di AES8 poggia

⁵ Cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss.

⁶ E Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 220 – Casalecchio di Reno)

su paleosuoli al tetto delle ghiaie di AES7; spostandosi dal margine verso la pianura, tale lacuna sembra diminuire e la base di AES8 (età: anche pre-oloceniche) si spinge a profondità fino a circa 20 m dal p.c. Nel settore orientale, la base di AES8 viene convenzionalmente posta al tetto dei corpi ghiaiosi situati nella porzione sommitale di AES7 (ghiaie del Samoggia e Panaro).

- Depositi alluvionali “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio → nel sottosuolo AES7 corrisponde complessivamente a un ciclo caratterizzato da una porzione inferiore prevalentemente fine (limi argillosi e limi sabbiosi) di piana alluvionale, passante verso l'alto ad una porzione prevalentemente ghiaiosa (in matrice sabbiosa) di conoide alluvionale che, nell'area di studio, può essere ricondotta al Samoggia e/o Panaro. In particolare, le ghiaie presentano una prevalente geometria tabulare, che rappresentano i lobi di conoide alluvionale del Samoggia e del Panaro a ovest di Bazzano. Nelle porzioni di interconoide, i depositi fini si ispessiscono sino ad occupare l'intero ciclo, con la presenza di isolati corpi granulari ghiaiosi. La base dell'unità è posta in corrispondenza del brusco passaggio tra i sottostanti depositi ghiaiosi di conoide alluvionale attribuiti ad AES6, mentre lo spessore massimo raggiunge in aperta pianura circa 90 metri. Età: Pleistocene superiore.
- Depositi alluvionali “AES6” (Subsistema di Bazzano) → nel sottosuolo, questa unità corrisponde a un ciclo formato da una porzione inferiore prevalentemente fine, potente fino a circa 20 m nella pianura più aperta, costituita da limi e argille di piana alluvionale; la porzione superiore è invece costituita da depositi grossolani di conoide alluvionale e di spessore pluridecamentrico e di notevole continuità laterale; nella zona più prossimale alla catena, lo spessore ghiaioso occupa tutto l'intervallo stratigrafico. Il suo limite superiore è dato dal contatto netto con i sovrastanti depositi fini di base AES7, mentre il limite inferiore corrisponde al contatto netto con depositi grossolani sottostanti. Lo spessore massimo raggiunge i 70 metri circa in aperta pianura. Età: parte finale del Pleistocene medio.
- Depositi alluvionali “AES5” (Subsistema di Torre Stagni) e “AES4” (Subsistema di Liano) → queste unità corrisponderebbero rispettivamente al terzo e quarto ciclo (il più profondo) tra quelli che costituiscono l'intero spessore di AES. Età: Pleistocene medio.

3.2.3 *Substrato geologico marino: Unità plio pleistoceniche di “Margine Appenninnico”*

- SABBIE DI IMOLA (IMO) → in particolare depositi marini riconducibili al Membro di Fossoveggia (IMO2) e al Membro di Monte Castellaccio (IMO1).
Le IMO2 sono caratterizzati da peliti prevalenti di colore grigio scuro, grigio azzurro e subordinatamente giallastro e rare intercalazioni centimetriche o decimetriche di peliti sabbiose. La stratificazione è generalmente mascherata dalla bioturbazione di apparati radicali o da paleosuoli. L'ambiente di sedimentazione è di piana alluvionale e di palude, passante a piana deltizia, mentre l'età deposizionale è riconducibile al Pleistocene medio. Contatto inferiore netto con IMO1. Lo spessore va da pochi metri a 50m circa.

Le IMO1 sono invece caratterizzate da sabbie ed arenarie gialle fini e finissime, subordinatamente medie e grossolane in strati generalmente amalgamati, rare intercalazioni pelitiche discontinue di spessore centimetrico e decimetrico. Queste sabbie passano verso l'alto ad alternanze in strati medi e spessi di ghiaie poligeniche, spesso caratterizzate da colori di alterazione bruno-violacei, con diametro massimo fino a 12 centimetri e subordinate sabbie. L'ambiente di sedimentazione è di spiaggia (dalla battigia, alla spiaggia sommersa). Contatto inferiore erosivo e discordante su FAA. Spessore massimo di poche decine di metri.

- FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE (FAA) → si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati. Localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Alla base, possono essere localmente presenti marne biancastre ricchissime in Foraminiferi planctonici per uno spessore massimo di 10 m. L'ambiente deposizionale è variabile da scarpata a piattaforma. Il suo limite inferiore è netto, discordante su unità più antiche, in particolare nell'area di studio si trova in rapporto di eteropia con la Formazione di Monte Adone (quest'ultima non presente nell'area di studio).

3.3 Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate

3.3.1 Area frazione Formica

La frazione Formica, ricade nel contesto di fondovalle del Samoggia, a sud del Capoluogo. La figura 3.6 propone uno stralcio della cartografia geologica regionale, per meglio comprendere l'assetto deposizionale delle aree di studio e i relativi terrazzi fluviali. In sintesi, l'area citata si insedia su coperture alluvionali terrazzate attribuite all'Unità AES8 (Unità di Ravenna).

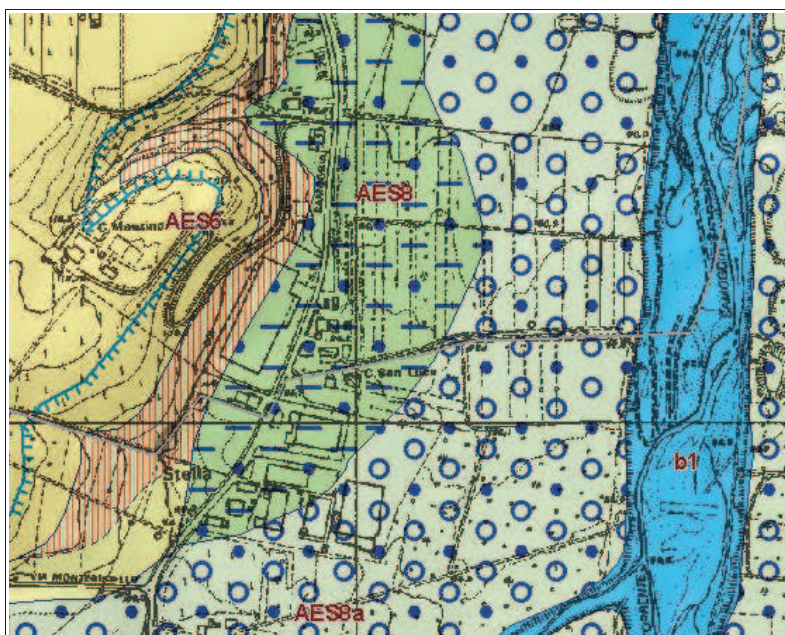


Figura 3.6 – Area frazione Formica: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Il substrato geologico sepolto è riconducibile alle arenarie poco cementate del Pliocene inferiore-Pleistocene del margine appenninico (Sabbie di Imola - Membro di Monte Castellaccio IMO1).

3.3.2 Area Capoluogo (ovest)

L'abitato storico di Bazzano, si insedia in un contesto di limite della catena emersa e di sbocco vallivo verso la pianura del torrente Samoggia; verso ovest, la zona urbana si estende invece una porzione di pianura che più propriamente può ritenersi compresa nel contesto di conoide del Fiume Panaro.

La porzione più meridionale di Bazzano (figura 3.7), come abbiamo detto, ricade nel fondovalle terrazzato in sinistra idrografica del Samoggia e insediato su alluvioni riconducibili alle unità AES8 e AES8a (questi ultimi prevalentemente ghiaiosi); la scarpata che separa i due differenti ranghi di terrazzo risulta poco evidente per l'obliterazione causata dalle attività agricole e successivamente dall'urbanizzazione.

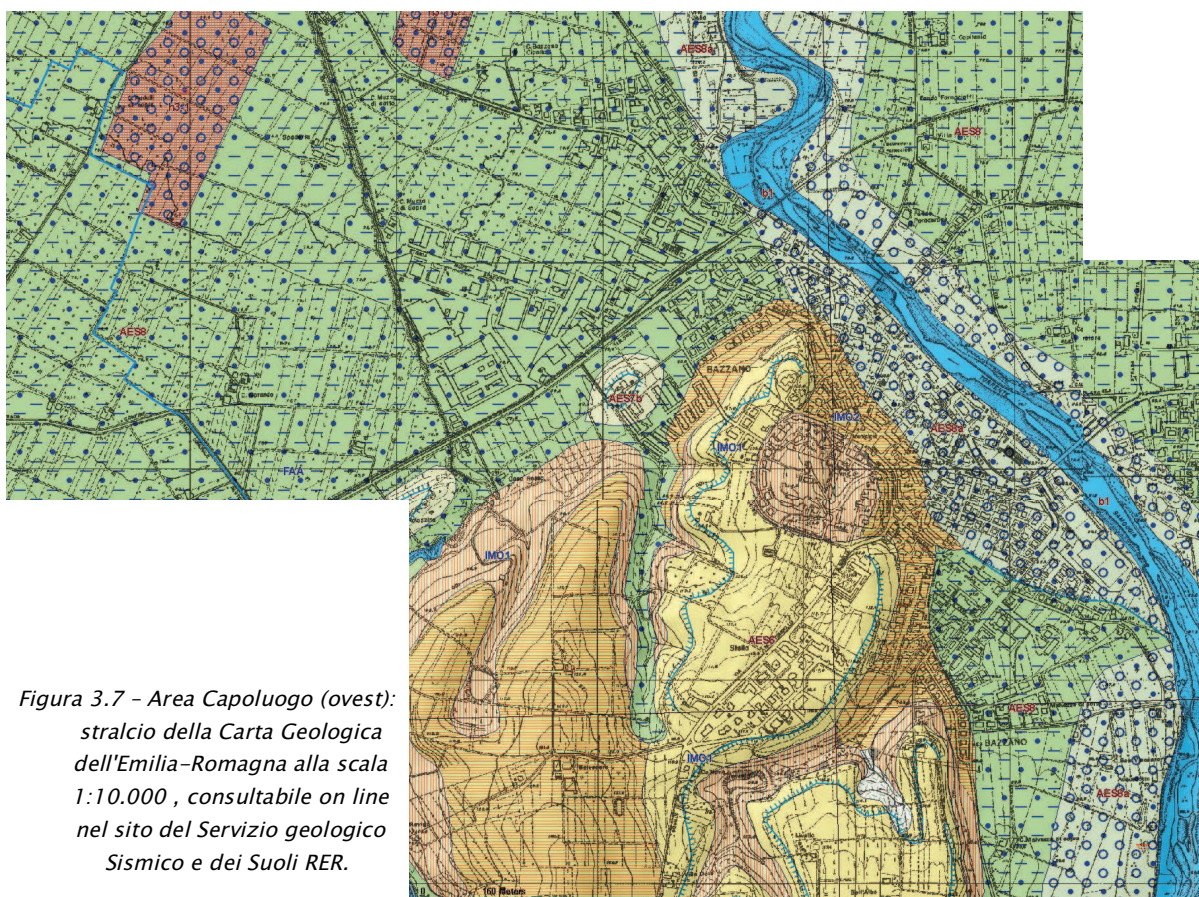


Figura 3.7 - Area Capoluogo (ovest):
stralcio della Carta Geologica
dell'Emilia-Romagna alla scala
1:10.000 , consultabile on line
nel sito del Servizio geologico
Sismico e dei Suoli RER.

Una porzione di abitato, si insedia inoltre sulle superfici terrazzate più antiche (Unità AES6) che costituisce un vero e proprio lembo sub pianeggiante di margine appenninico compreso tra il Samoggia e lo sbocco vallivo del Panaro verso ovest. Il terrazzo AES6 sovrasta in

contatto erosivo il substrato geologico delle sabbie Gialle e in particolare i Membri IMO1 e IMO2, caratterizzati da un assetto chiaramente monoclinale nord vergente. La porzione di abitato situato a ovest, come detto, ricade nel contesto di sbocco vallivo del fiume Panaro, con depositi alluvionali ghiaiosi in affioramento attribuiti all'Unità AES8, mentre il substrato geologico è attribuito alla formazione delle Argille Azzurre (FAA).

3.3.3 Area Capoluogo (est)

La parte di abitato (residenziale e produttivo) che ricade in destra idrografica del Samoggia, è situata nel contesto di sbocco vallivo del corso d'acqua, insediata su alluvioni terrazzate attribuite all'unità AES8 (figura 3.8)

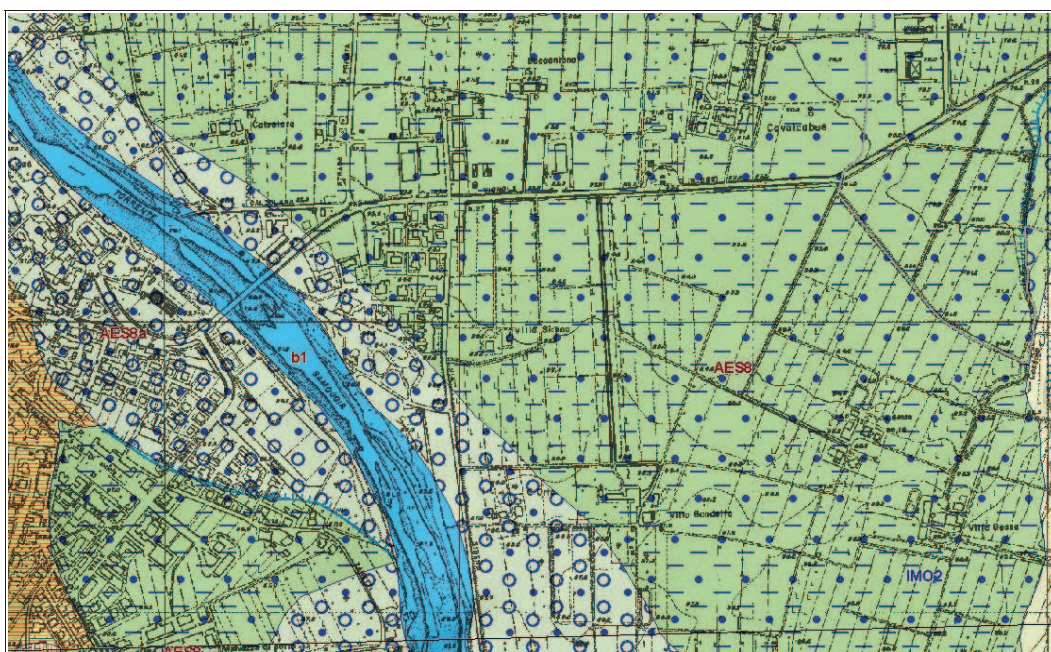


Figura 3.8 – Area Capoluogo (est): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

3.3.4 Area frazione Magazzino

La frazione Magazzino ricade in un contesto deposizionale ancora attribuibile all'apparato di conoide del Fiume Panaro. I depositi affioranti sono riconducibili all'Unità AES8 e risultano sub affioranti ghiaie anche ciottolose, come peraltro evidenziano le numerose aree di cava che interessano l'area circostante (figura 3.9).



Figura 3.9 – Area frazione Magazzino: 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.

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 Bazzano, utile per l'individuazione delle stesse indagini. I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in allegato.

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

In sintesi, il totale delle prove pregresse, considerate per lo studio di Microzonazione (e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro), risulta pari a 119 prove, così distinte per tipologia:

- n. 17 sondaggi a carotaggio continuo (S e SS) di cui 15 hanno intercettato il substrato
- n. 13 sondaggi a distruzione di nucleo (SD e SDS) di cui 4 hanno intercettato il substrato
- n. 49 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 1 prova penetrometrica con punta elettrica (CPTE)
- n. 1 “Down-Hole” (DH)
- n. 15 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- n. 5 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- n. 1 pozzo per acqua (PA)
- n. 8 misure di microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 4 stendimenti MASW
- n. 4 profili di resistività (PR)

- n. 1 stendimento a rifrazione (SR)

4.2 Dati ex novo

Per espletare questo ulteriore approfondimento della pericolosità sismica e di Microzonazione, si è reso indispensabile effettuare ulteriori indagini in sito, sia di tipo geofisico, sia di tipo geognostico. Sulla base degli obiettivi dell'incarico avuto dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia, si sono concentrate le indagini geognostiche nelle aree di studio (urbanizzato e urbanizzabili) forniteci dall'Ente committente. Per il Comune di Bazzano 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. 24 registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR.
- n. 8 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.

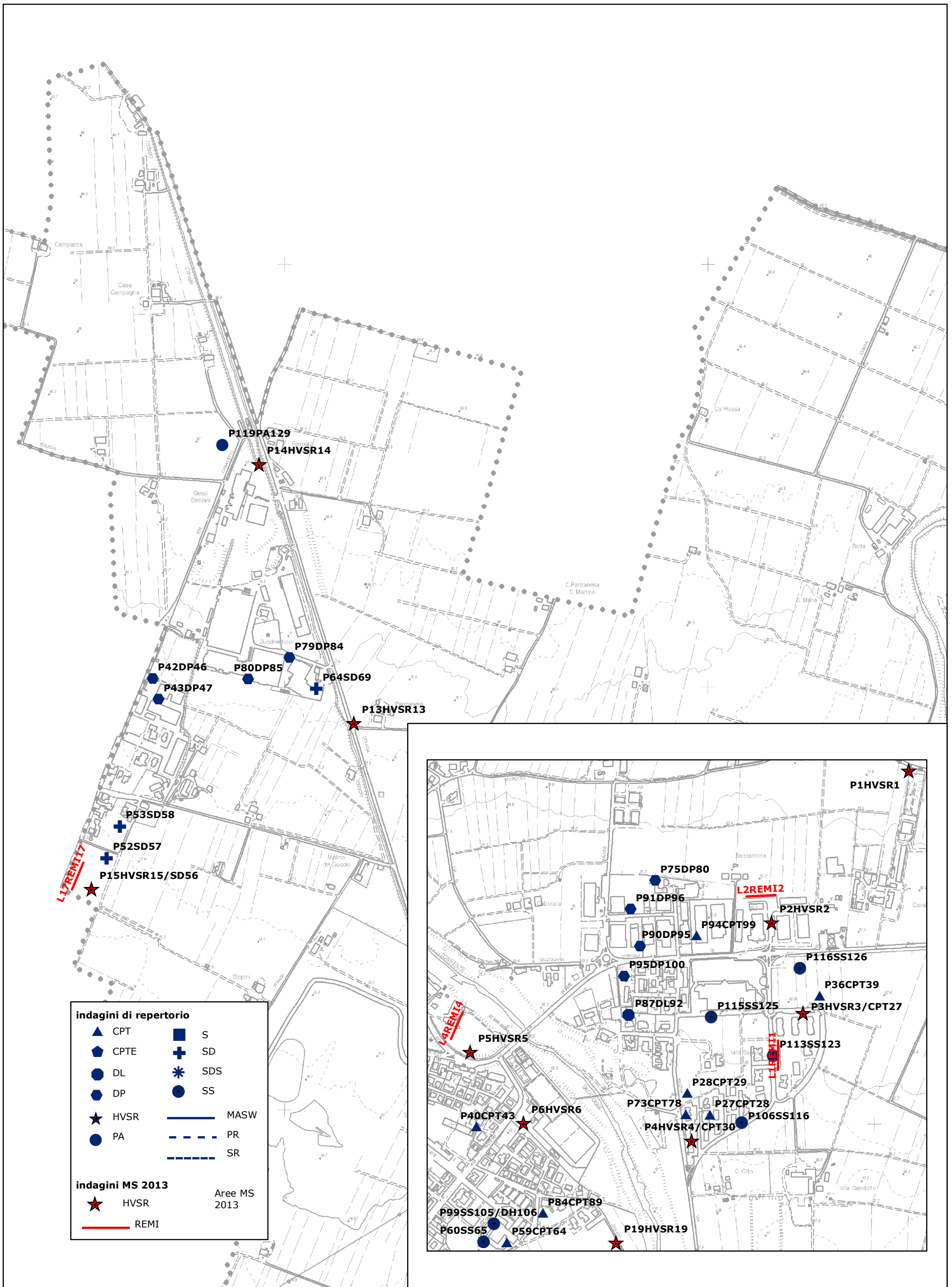


Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

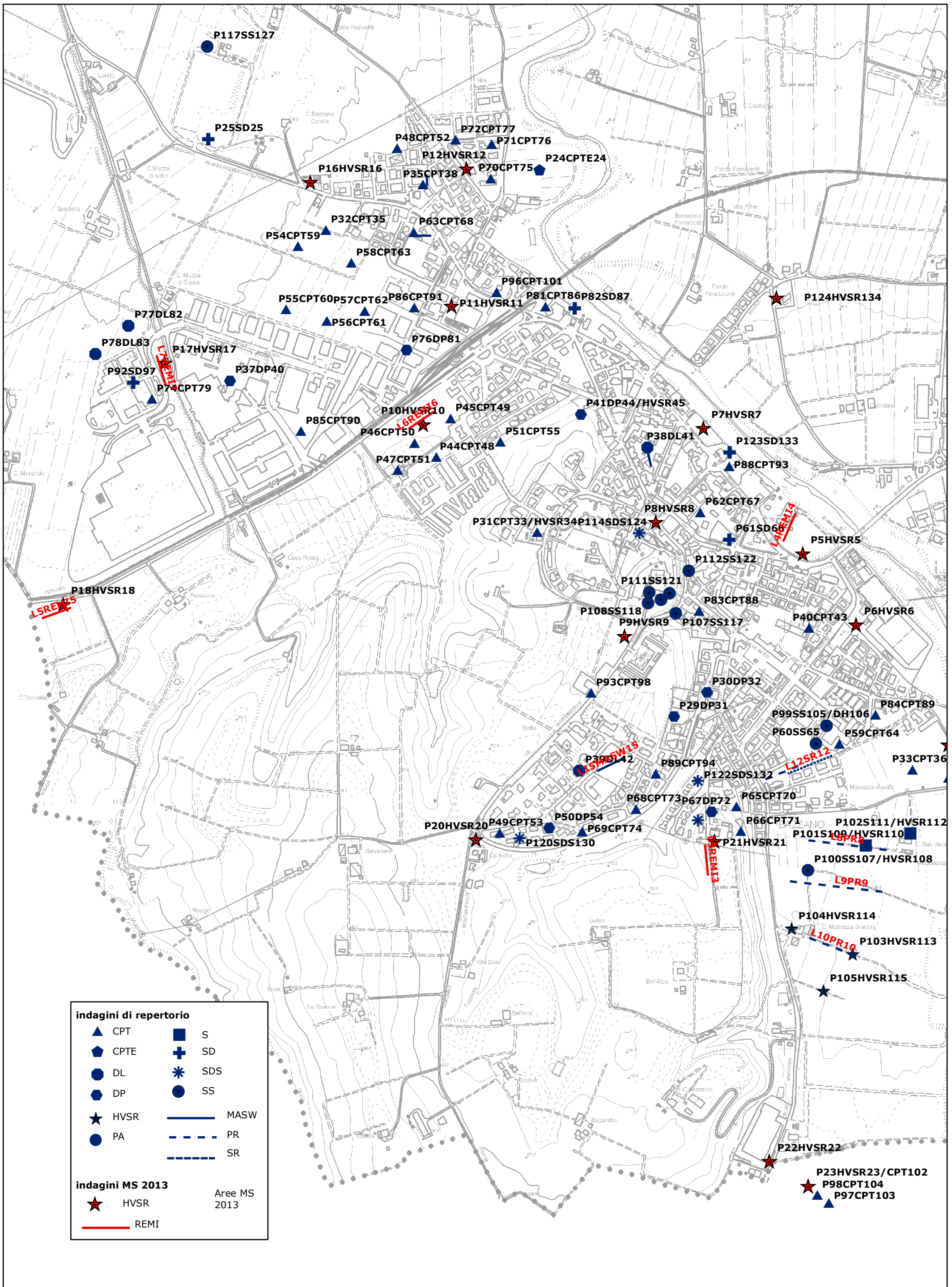


Figura 4.2 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

FIGURA4.1

FIGURA 4.2

5 Modello di sottosuolo

5.1 Area frazione Formica

Per quanto riguarda l'area di studio presso la località Formica, essa ricade in un contesto di fondovalle del Samoggia su depositi riconducibili all'unità AES8. In realtà, le indagini geognostiche di repertorio eseguito di poco all'esterno del territorio comunale (CPT103; CPT104) evidenziano resistenze alla punta molto modeste (<1.000 kPa) e tessiture corrispondenti a sedimenti prevalentemente argillosi: ciò suggerisce che l'area in questione risulta in parte insediata su depositi di conoide torrentizia secondaria del Rio Marzatore, il cui bacino idrogeologico è impostato in unità litologiche facilmente erodibili e fini (Argille Azzurre e Sabbie di Imola). Le registrazioni HVSR eseguite nell'area ovest evidenziano amplificazioni abbastanza marcate ($H/V > 2$) a frequenza comprese tra 3,4 Hz e circa 4 Hz: questi esiti, opportunamente tarati con i dati delle indagini dirette, consentono valutare la profondità del riflettore sismico, corrispondente a coperture (e bedrock alterato?), alla profondità di circa 15 metri e una VsH attribuita a tale intervallo di circa 200 m/s. La parte prospiciente il pendio è invece caratterizzata da coperture riconducibili ad alterazione eluvio-colluviale. Anche in questo caso, sulla base degli esiti della registrazione HVSR che (individua un picco significativo a circa 3,4 Hz nello spettro H/V) si è valutato uno spessore massimo cautelativo di circa 10 m con una distribuzione media delle Vs pari a 180÷200 m/.

5.2 Area Capoluogo (ovest)

La parte di fondovalle in sinistra Samoggia è stata oggetto di numerose indagini geognostiche e geosifiche. Innanzitutto, è stato possibile suddividere il terrazzo in due ordini gerarchicamente differenziati (AES8 e AES8a), caratterizzati da tessiture alluvionali nettamente differenti. La porzione inclusa nel terrazzo AES8 (prospiciente il pendio) è infatti costituita da alluvioni fini (argille e limi) di potenza circa 8÷12 metri, sovrastanti in erosione depositi del bedrock delle Sabbie Gialle IMO1; le indagini geofisiche (Down-Hole, tomografie e prove Re.Mi.) eseguite evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico dunque approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s, mentre il sottostante bedrock è da considerarsi peraltro “non rigido”, con Vs di poco superiore a 400 m/s. La porzione di terrazzo di rango inferiore AES8a è invece caratterizzata da depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi (anche ciottolosi) attraversati fino a circa 12÷14 metri: la prova L4REMI4 riscontra un intervallo fino a circa 15÷20 metri con Vs comprese tra 300 m/s e 400 m/s: si tratta, con probabilità dell'intervallo alluvionale ghiaioso e di parte del

sottostante bedrock prevalentemente pelitico (IMO2) più alterato⁷. Oltre tale profondità, si riscontrano Vs che possono essere attribuibili a un bedrock “non rigido” (Vs 400÷450 m/s) Per questo motivo, si è considerato una “copertura” approssimabile a 15 metri, costituita dalle coltri alluvionali e dal bedrock più alterato, con una vs media riscontrata di 297 m/s.

Le indagini di repertorio (prevalentemente penetrometrie CPT e DPSH), eseguite sulla porzione di abitato insediato sui terrazzi AES6, evidenziano spessori delle coperture variabili da 3 m circa a circa 12 metri: si tratta di sedimenti limoso sabbiosi con livelli ghiaiosi alla base, in contatto erosivo sulle sottostanti Sabbie Gialle (IMO1 e IMO2); le indagini geofisiche, in particolare gli stendimenti L3REMI3 e L15MASW15 riscontrano un intervallo superficiale a basse velocità (coperture) rispettivamente di 5 m (con VsH di 235 m/s) e 12 m (VsH pari a 232 m/s, mentre il bedrock sottostante è classificabile “non rigido” (Vs <800 m/s). Si evidenzia, inoltre che le scarpate a est (verso il Samoggia) e a NO (prospicienti lo sbocco vallivo del Panaro), per la facile erodibilità dei depositi terrazzati e del sottostante bedrock, sono caratterizzate da coperture di alterazione eluvio-colluviale variabili da circa 3 metri a circa 8 metri (come riscontrato dalle indagini geognostiche di repertorio (CPT e sondaggi).

La parte dell'abitato di Bazzano ricadente sullo sbocco vallivo del Fiume Panaro è caratterizzato da depositi classificati AES8: si tratta di sedimenti prevalentemente ghiaiosi, con abbondante matrice fine; le indagini geognostiche e geofisiche evidenziano uno spessore delle coperture (alluvioni e, probabilmente anche bedrock molto alterato) di circa 15 metri, spessore estrapolabile a una buona parte di questa porzione di limite vallivo: le prove REMI confermano quanto scritto, evidenziando per tale spessore una Vs media variabile da 273 m/s a 231 m/s. Il bedrock sottostante risulta ancora “non rigido” (Vs <800 m/s).

5.3 Area Capoluogo (est)

La parte di abitato (residenziale e produttivo) che ricade in destra idrografica del Samoggia, è insediata su alluvioni terrazzate attribuite all'unità AES8. Le indagini geognostiche evidenziano spessori della coltre alluvionale variabili da circa 4 metri a 7 metri, sovrastanti in contatto erosivo con le peliti attribuite alla formazione geologica IMO2 (Membro delle Ganzole). Occorre evidenziare che l'unità IMO2 è generalmente caratterizzata da velocità di taglio che non superano i 400 m/s; inoltre risultano molto alterate al di sotto di coltri alluvionali ghiaiose con falda. In questo senso, le indagini Re.Mi. eseguite in questa porzione d'area (L1REMI1; L2REMI2;) evidenziano una Vs progressivamente più alta con la profondità: In questo caso, si è estrapolata la distribuzione delle velocità di taglio più in profondità, ricavando che l'intervallo di sottosuolo caratterizzato da un adeguato grado di rigidità (Vs >400÷450 m/s), si rinviene a una profondità di circa 20 metri dal p.c.; questo spessore è

⁷ Frequentemente, sotto il contatto erosivo alluvioni/bedrock, si incontra un intervallo di substrato geologico molto alterato (generalmente di 1÷2 metri), in particolare se le alluvioni sono ghiaiose con falda e il sottostante bedrock è prevalentemente pelitico

stato, pertanto, assunto cautelativamente come intervallo potenzialmente amplificabile per questa porzione di area studiata (con una V_s media di circa 300 m/s). Il modello così ricostruito, appare piuttosto cautelativo, peraltro occorre rammentare che in simili contesti (V_s basse, in aumento progressivo con la profondità), è possibile avere esiti che tendono a sottostimare gli effetti di amplificazione⁸.

5.4 Area frazione Magazzino

La frazione Magazzino ricade in un contesto deposizionale ancora attribuibile all'apparato di conoide del Fiume Panaro. I depositi meno profondi sono riconducibili all'Unità AES8 e risultano sub affioranti ghiaie anche ciottolose, come evidenziano le terebrazioni di repertorio e la presenza di numerose aree estrattive. La profondità del bedrock marino non è chiaramente individuabile, peraltro risulta certamente inferiore a 100 metri, sulla base delle informazioni generali contenute nella cartografia sismotettonica della regione Emilia-Romagna. La prova L17REMI17 ha riscontrato una V_{s30} pari a 318 m/s.

⁸ Da <<Risposta Sismica Locale – Teoria ed Esperienze>> (G. Lanzo & F. Silvestri, 1999 ed. Hevelius)

6 Interpretazioni e incertezze

Lo studio di microzonazione sismica ha permesso una preliminare cernita delle indagini di repertorio eseguite con attrezzature fuori standard (fornendo quindi esiti inutilizzabili o non interpretabili). Peraltro, i dati geognostici considerati offrono una sufficiente “copertura” conoscitiva delle aree studiate e le indagini geofisiche espletate ex novo per questo studio di microzonazione (stendimenti Re.Mi e registrazioni HVSR), consentono una modellazione del sottosuolo esaustiva per l'elaborazione della risposta sismica locale semplificata (secondo livello). Pertanto, le possibili incertezze si ritengono comunque accettabili in funzione del grado di approfondimento che si è inteso espletare. Lo studio, come vedremo, ha inoltre ben definito le aree che dovranno ineludibilmente approfondire gli aspetti di pericolosità sismica.

7 Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 I fattori di amplificazione considerati

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

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

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

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

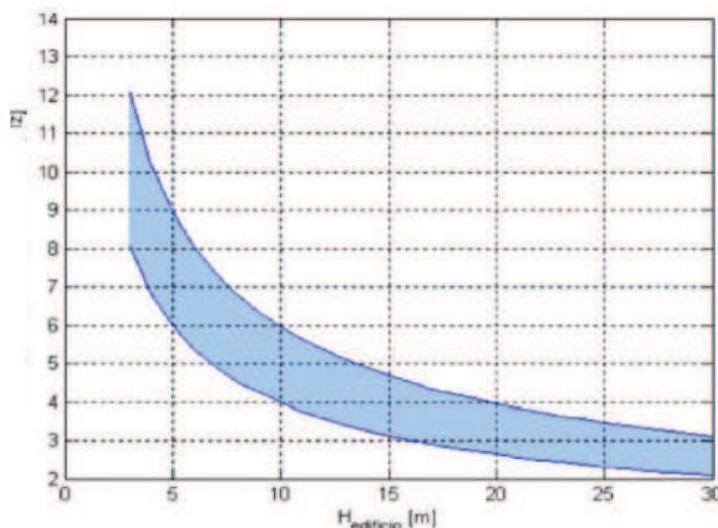
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro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

7.2 L'analisi del rumore sismico locale

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

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

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



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

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

8 Elaborati cartografici

8.1 Carta geologico–tecnica per la microzonazione sismica

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

La cartografia riporta:

- Terreni di copertura → la tavola perimetra le aree interessate da coperture significative dal punto di vista sismico (con spessori maggiori di 2 metri), discriminate in unità litologiche in base alle prevalenti caratteristiche tessiturali medie riscontrabili nel suo spessore.
- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a orli di scarpata fluviale di altezza compresa tra 10 metri e 20 m e scarpate fluviali >20 m rilevati presso il Capoluogo, conoide alluvionale (torrentizia) presso Formica.
- Tracce delle sezioni topografiche → elaborata per l'analisi delle condizioni di amplificazione morfologica (nominata A–A'), sempre a Bazzano.
- Localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- Localizzazione dei pozzi freatici rilevati nel fondovalle del Samoggia, con indicata la relativa soggiacenza (in metri) misurata della falda.

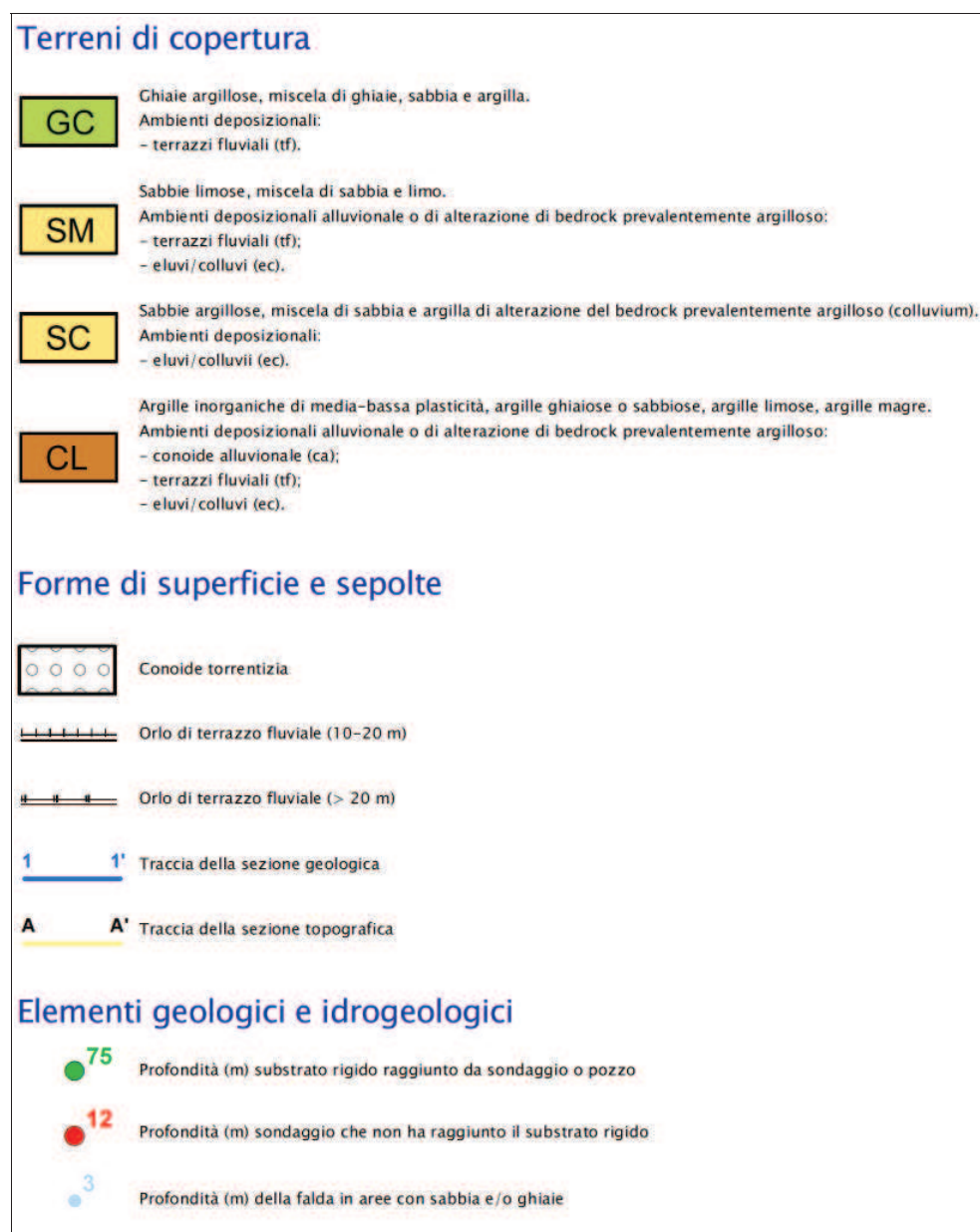


Figura 8.1 – Stralcio della legenda della <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Bazzano

8.2 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Come già scritto nel paragrafo 7.2, la <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:5.200, localizza tutti i punti di misura dei microtremori sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSR). Ad ogni punto, nella cartografia viene indicato il valore stimato di F_0 (valore del “picco” più significativo a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale); sono anche riportate le eventuali

ulteriori frequenze ove lo spettro H/V⁹ evidenzia altri “picchi” di amplificazione del segnale passivo registrato.

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

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

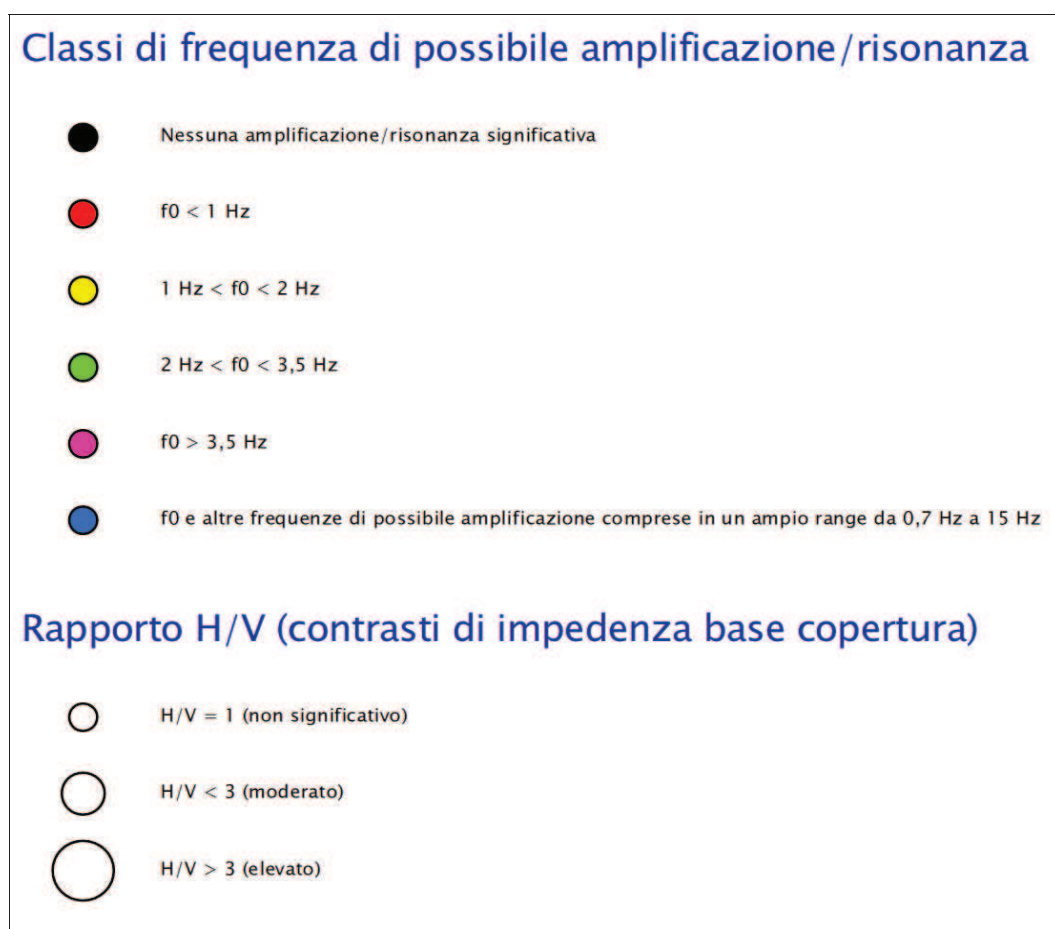


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Bazzano.

- registrazioni con $1 < f_0 < 2$ hz
- registrazioni con $2 < f_0 < 3,5$ hz

⁹ 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 0,7 Hz fino a circa 15 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.

8.3 Carta delle aree suscettibili di effetti locali

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

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

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

- *ZONA 2001* \equiv Coperture eluvio-colluviali sovrastanti Bedrock non rigido (IMO1) \equiv equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di depositi eluvio-colluviali attribuibili sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio). La morfologia risulta sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tomografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo delle coperture, 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 2002* ≡ *coperture fini di conoide torrentizia e alluvioni recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido affiorante (FAA; IMO1) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*
si tratta di depositi fini di conoide e alluvioni recenti sovrastanti bedrock non rigidi attribuiti sia alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio), sia 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 15 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.
- *ZONA 2003* ≡ *coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido affiorante (IMO1; IMO2) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*
si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente fini e sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio) e alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (Down-Hole, tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.
- *ZONA 2004* ≡ *Coperture alluvionali ghiaiose recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (IMO1; IMO2) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*
si tratta di sedimenti alluvionali, prevalentemente ghiaioso argillosi sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio) e alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia). La morfologia è 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 2005* ≡ *Coperture alluvionali antiche (AES6?) sovrastanti bedrock non rigido (IMO1) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>*
si tratta di sedimenti alluvionali, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). La morfologia è 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 250 m/s.

- **ZONA 2006** \equiv Coperture alluvionali antiche (AES6?) sovrastanti bedrock non rigido (IMO1) \equiv equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di sedimenti alluvionali, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). La morfologia è sub-piana (<15°). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 250 m/s.

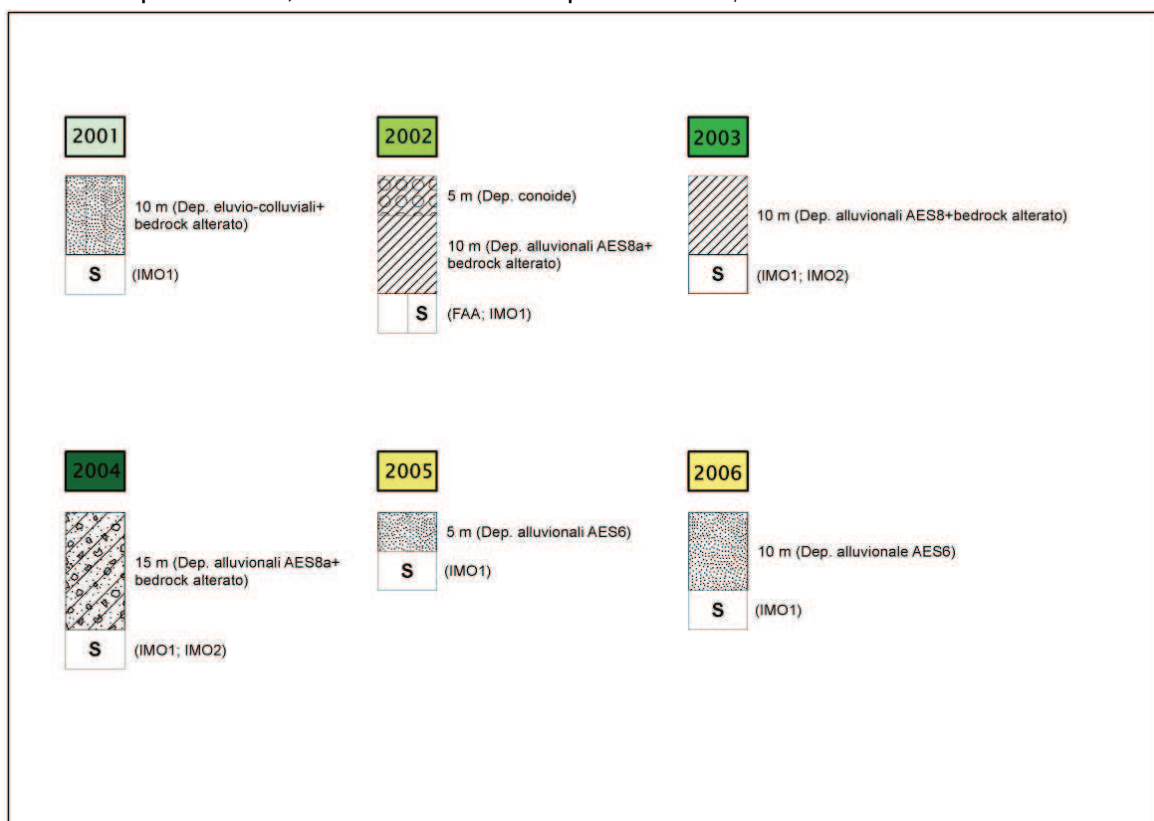


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

- **ZONA 2007** \equiv Coperture eluviali sabbiose sovrastanti bedrock non rigido (IMO1) \equiv equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di sedimenti di alterazione eluviale prevalentemente sabbiosi, sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla

sua sotto unità più arenacea IMO1 (Membro di Monte castellaccio). Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi. e MASW). La morfologia è 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 250 m/s.

- *ZONA 2008* ≡ Coperture eluvio-colluviali sovrastanti bedrock non rigido (IMO2) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di coperture eluvio-colluviali, prevalentemente fini e sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia), in pendio con acclività di 15°–20°. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

- *ZONA 2009* ≡ Coperture eluvio-colluviali sovrastanti bedrock non rigido (IMO2) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di coperture eluvio-colluviali, prevalentemente fini e sovrastanti il bedrock non rigido attribuito alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia), in pendio con acclività di 10°–15°. Si tratta in ogni caso di Bedrock non rigido, come confermano le indagini geofisiche espletate localmente (prove Re.Mi.). Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 5 metri (costituito dalle coperture e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 200 m/s.

- *ZONA 2010* ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA; IMO2) ≡ equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di sedimenti alluvionali, ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito sia alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia), sia 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 (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 20 metri (costituito dalle coperture alluvionali e dal sottostante bedrock più alterato) e con VsH misurato pari a 300 m/s.

- *ZONA 2011* ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8a) sovrastanti bedrock non rigido (FAA;

IMO2 \equiv equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di sedimenti alluvionali recenti, ghiaioso argillosi, sovrastanti in contatto erosivo il bedrock non rigido attribuito sia alla Formazione delle Sabbie di Imola e in particolare alla sua sotto unità più pelitica IMO2 (Membro di Fossoveggia), sia 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 (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 250 m/s.

- *ZONA 2012* \equiv Coperture alluvionali recenti ghiaiose (AES8a) sovrastanti bedrock marino profondo (>40 metri) \equiv equivalente ad A (PTCP) cioè <<Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche>>

si tratta di sedimenti alluvionali recenti, prevalentemente ghiaiosi, sovrastanti il bedrock marino che risulta più profondo (>40 m) e in contesto attribuibile a PIANURA1. La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) consentono la stima della Vs30 pari a 300 m/s.

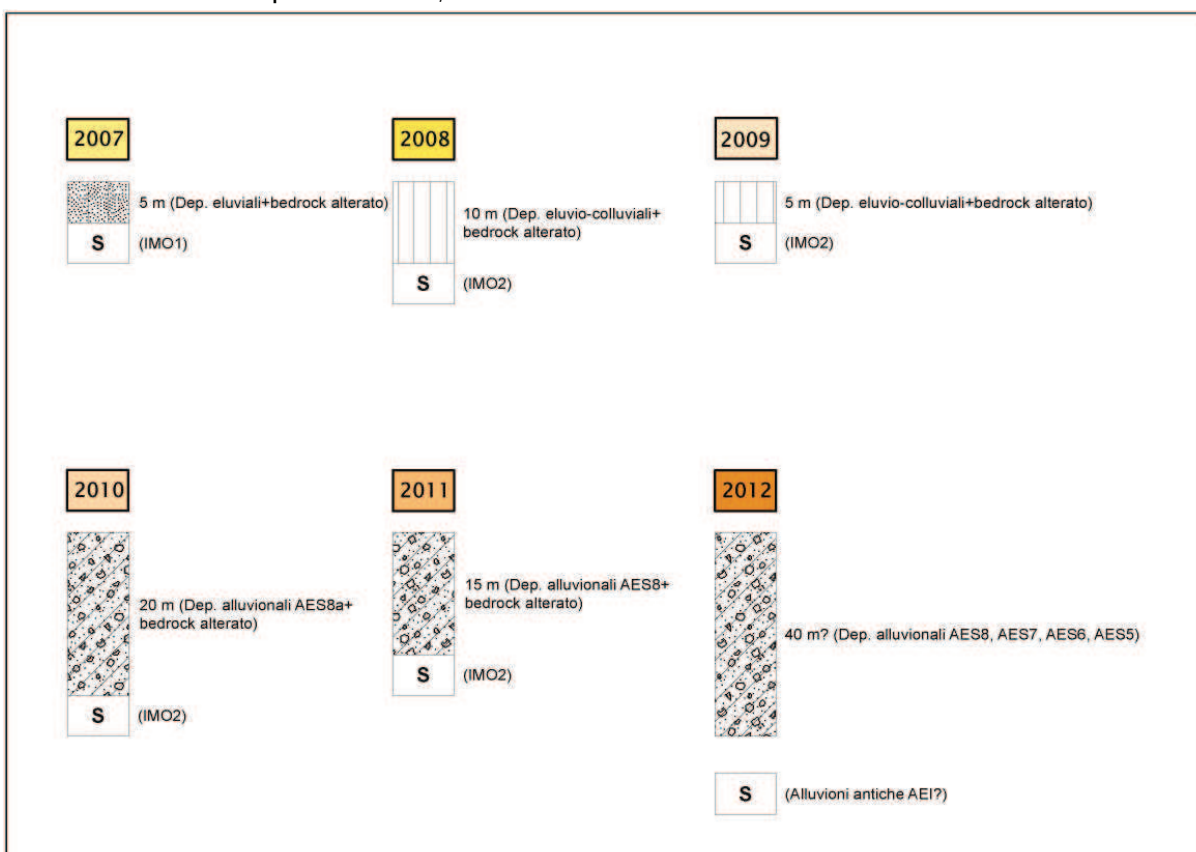


Figura 8.4 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2007-2008-2009-2010-2011-2012.

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

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

- Sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti \equiv equivalente a R (PTCP) cioè <<Aree incoerenti/incerte per caratteristiche litologiche e morfologiche>>. Si tratta di aree tombate di ex cava
- Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate oltre alla aree omogenee di pericolosità sismica sopra descritte, si sono riportate le aree a rischio di frana già zonizzate e perimetrate e soggette a specifica normativa (si demanda all'art. 6.2 delle NTA del PTCP di Bologna).

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

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

Nel caso di Bazzano le Vs sono desunte da indagini sismiche Down-Hole; MASW e Re.Mi. eseguite per questo lavoro e la cartografia riporta per ognuna di esse (nell'etichetta creata per ogni singola prova di riferimento) la profondità del bedrock sismico considerato e la stima della relativa VsH.

Peraltro, lo studio di microzonazione semplificata (secondo livello) ha tenuto anche conto degli esiti delle registrazioni HVSR, che opportunamente tarati con gli esiti delle prove dirette (penetrometrie e/o sondaggi) hanno consentito la stima della VsH degli intervalli corrispondenti a coperture potenzialmente amplificabili riscontrate per alcune microzone omogenee e che non sono risultate investigate da indagini geofisiche di altra tipologia. Ulteriori informazioni relativamente agli esiti delle Vs misurate nelle aree di studio, e in particolare nelle singole microzone omogenee dal punto di vista sismico, sono riportate nel

paragrafo 8.3, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

8.5 Carta di Microzonazione sismica livello 2

La <<Carta di Microzonazione sismica livello 2>>, elaborata alla scala 1:5.000, riporta per tutte le “zone stabili suscettibili di amplificazione” (individuate nella già descritta <<Carta delle aree suscettibili di effetti locali>>) gli esiti dell'amplificazione tramite procedura semplificata (secondo livello). L'amplificazione è stata quantificata riferendosi agli Allegati della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della regione Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007 (DAL 112/2007). Per tali aree, l'amplificazione è pertanto quantificata secondo i seguenti parametri FA riferiti alla superficie:

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

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

Dal punto di vista cartografico, sono state 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.

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

di effetti locali>> ove si riportano anche i principali approfondimenti richiesti nelle successive fasi di pianificazione.

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

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

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

1. Delibera Assemblea Legislativa Regione E.R. n.112 del 2 maggio 2007: approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 *“Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio” in merito a “Indirizzi per gli studi microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale”*.
2. Gruppo di lavoro MS (2008) *“Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica”*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
3. Linee guida AGI sulle costruzioni in zone sismiche (pubblicate in forma provvisoria e in corso di stesura definitiva).
4. Variante 2013 al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale in materia sismica: nuovo art. 6.14 delle NTA (definisce le macrozone di pericolosità sismica; fornisce le prime indicazioni sui limiti e sulle condizioni per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale). La normativa, indica per le macrozone il dettaglio di approfondimento richiesto e le eventuali limitazioni edificatorie di riferimento per la pianificazione comunale .
5. PSC dei Comuni dell'Area Bazzanese: Norme (capo 1 *“valutazione del rischio sismico e adempimenti relativi”*). Le norme riportano ulteriori disposizioni di carattere tecnico per gli approfondimenti sismici da espletare.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Per le aree urbane/urbanizzabili ricadenti completamente nelle zone stabili “suscettibili di effetti locali” (con amplificazione del moto sismico), è invece sufficiente l'approfondimento di “secondo livello” già espletato per il PSC. Peraltro, se ulteriori indagini geologiche riscontrassero, per determinati ambiti o siti, condizioni locali significative di potenziale instabilità di versante, di potenziale liquefacibilità e/o di potenziali cedimenti in caso di evento sismico, allora sarà ineludibile procedere con gli ulteriori approfondimenti di “terzo livello”. In tal senso, si rammenta che la presenza di spessori significativi di depositi fini poco coesivi ($c_u \leq 70$ kPa) e poco consistenti impone la stima dei cedimenti post-sisma, come indicato dalla DAL 112/2007 (allegato A3.E).
3. I riferimenti tecnici (indirizzi e linee guida) e normativi per espletare gli ulteriori approfondimenti di terzo livello sono richiamati nel precedente Art. _1.

Art _5 Adempimenti e prescrizioni per la pianificazione operativa e attuativa (POC e PUA)

1. La tavola <<*Carta delle aree suscettibili di effetti locali*>> (scala 1:5.000) elaborata per il PSC costituisce il riferimento conoscitivo per le aree urbane e urbanizzabili: la cartografia distingue per quali aree si richiedono ulteriori approfondimenti sismici di “terzo livello” da espletarsi nelle successive fasi di pianificazione (POC e/o PUA se previsto) e per quali aree sono sufficienti gli approfondimenti di “secondo livello” (microzonazione sismica semplificata).
2. In fase di elaborazione dei Piani Operativi Comunali (e delle eventuali varianti) e/o dei Piani Urbanistici Attuativi, si dovranno espletare le analisi di massimo approfondimento sulla sismica, ovvero il "terzo livello" come previsto dagli indirizzi regionali (DAL 112/2007), se l'area di interesse è compresa o intersecante le zone che necessitano di questi ulteriori studi. In ogni caso, il POC dovrà stabilire un programma di indagini (scelta degli strumenti d'indagine da utilizzare e densità minima delle prove da svolgere), in relazione all'ampiezza del territorio interessato e in funzione del contesto geologico e sismico di riferimento.
3. Per gli approfondimenti sismici di “terzo livello”, costituiscono fondamentale riferimento tecnico e normativo gli elaborati richiamati nel precedente Art. _1.

Art _6 Adempimenti e prescrizioni per gli interventi diretti

1. Il riferimento normativo fondamentale è costituito dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC) vigenti. Peraltro, gli studi di pericolosità sismica elencati nel precedente Art. _2 costituiscono base conoscitiva anche per gli interventi diretti. In questo senso, se tali interventi ricadono in zone per le quali sono richiesti

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

Art x.7 Aree di rilevante interesse pubblico

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

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

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

10 Bibliografia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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>>”.*