



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

### Regione Emilia-Romagna

#### Comune di Crespellano



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

## Indice generale

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....</b>	<b>6</b>
2.1	Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento.....	6
2.2	Ulteriori elementi di pericolosità sismica ai fini della pianificazione territoriale: la DAL regionale n.112/2007.....	11
<b>3</b>	<b>Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....</b>	<b>13</b>
3.1	Aspetti geologici e tettonici generali.....	13
3.2	Depositi quaternari e substrato geologico marino nelle aree di studio.....	18
3.2.1	Coperture continentali quaternarie affioranti .....	19
3.2.2	Depositi continentali quaternari sepolti.....	19
3.2.3	Substrato geologico marino: Unità plio pleistoceniche di "Margine Appenninnico".....	20
3.3	Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate.....	21
3.3.1	Area frazione Muffa.....	21
3.3.2	Area Capoluogo.....	22
3.3.3	Area Zone Industriali Pedretta e Via Lunga.....	23
3.3.4	Aree "Prod.1" e "Prod. 2" di Crespellano.....	24
3.3.5	Area frazione Calcara.....	25
3.3.6	Aree frazione Ponte Samoggia e Zona industriale Via Emilia (parte Est).....	26
<b>4</b>	<b>Dati geotecnici e geofisici.....</b>	<b>28</b>
4.1	Dati pregressi.....	28
4.2	Dati ex novo.....	29
<b>5</b>	<b>Modello di sottosuolo.....</b>	<b>35</b>
5.1.1	Area frazione Muffa.....	35
5.1.2	Area Capoluogo.....	35
5.1.3	Area Zone Industriali Pedretta e Via Lunga.....	36
5.1.4	Aree "Prod.1" e "Prod. 2" di Crespellano.....	37
5.1.5	Area frazione Calcara.....	38
5.1.6	Aree frazione Ponte Samoggia e Zona industriale Via Emilia (parte Est).....	38
<b>6</b>	<b>Interpretazioni e incertezze.....</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>Metodologie di elaborazione e risultati.....</b>	<b>41</b>
7.1	I fattori di amplificazione considerati.....	41
7.2	L'analisi del rumore sismico locale.....	42
7.3	Esiti della microzonazione di secondo livello.....	43
<b>8</b>	<b>Elaborati cartografici.....</b>	<b>44</b>
8.1	Carta delle indagini.....	44
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.....	44
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	46
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	47
8.4.1	Zone stabili suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico).....	47
8.4.2	Zone suscettibili di instabilità .....	49
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs).....	50
8.6	Carta di Microzonazione sismica livello 2.....	50
<b>9</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>53</b>

## 1 Introduzione

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

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

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

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

---

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

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

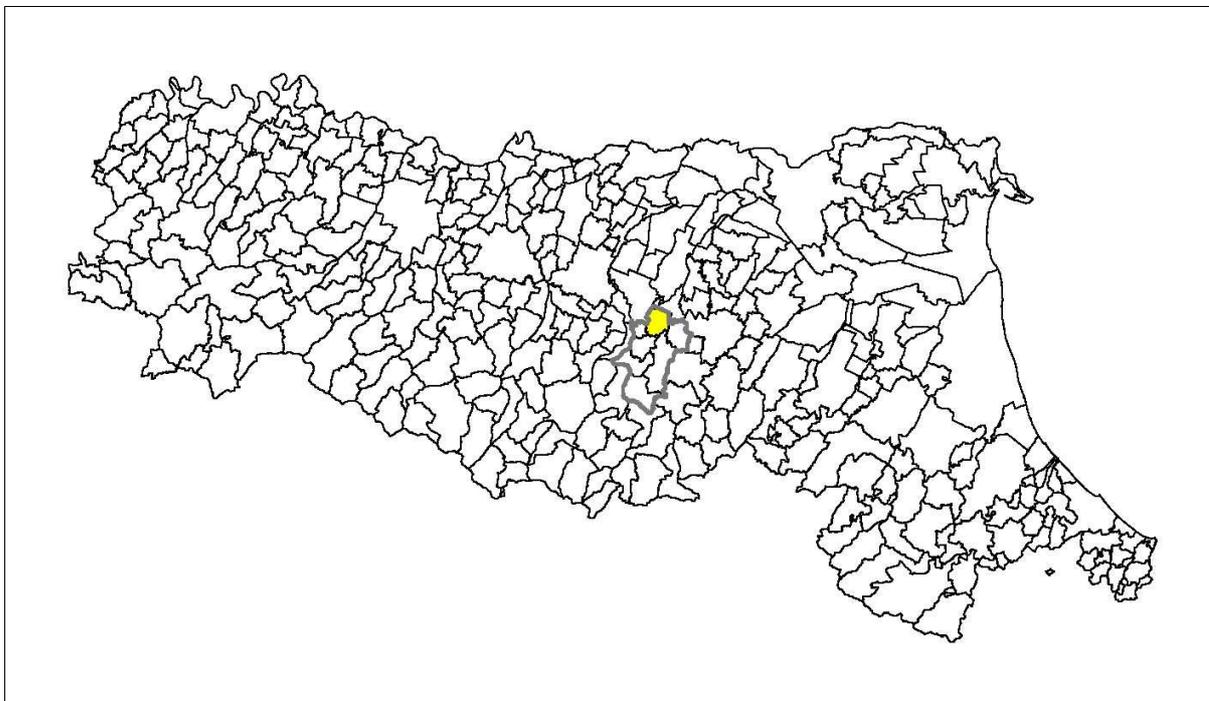
<sup>3</sup> Ai sensi della LR n.20/2000 e ss.mm.

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

sismica di secondo livello ha interessato solamente le aree urbanizzate e le aree di nuova previsione edificatoria individuate dal PSC di Crespellano: il Capoluogo, le Zone Industriali “Prod1”, “Prod2”, “Via Emilia”, “Via Lunga” e “Pedreretta”, inoltre le frazioni Calcara, Muffa e Ponte Ronca. Le aree studiate hanno incluso un'ulteriore fascia esterna (“buffer”) variabile fino a circa 15 m. Nel Lavoro si è dunque tenuto conto degli esiti degli studi sismici preliminari, aggiornandoli sulla base dei contenuti richiesti dalla citata normativa sismica di riferimento per questo lavoro.

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

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



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

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster fornito dall'Unione di Comuni Valle del Samoggia (utilizzato anche per le cartografie

prodotte per il Piano Strutturale di Crespellano), più aggiornato per quanto riguarda lo stato dell'urbanizzato (edifici e viabilità). La topografia raster è stata elaborata partendo dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 (elementi: 220022; 220023; 220023; 220061; 220062; 220063; 220064; 220073; 220101; 220104). Per questo lavoro, la base topografica vettoriale è stata e georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate "WGS\_1984\_UTM\_Zone\_33N", per produrre tutti gli strati informativi delle analisi in coerenza con quanto richiesto dalla deliberazione regionale n.1302/2012.

La figura 1.1 propone un inquadramento del limite comunale di Crespellano rispetto ai Comuni dell'Emilia-Romagna: si tratta di un'Amministrazione situata in un contesto che spazia da margine appenninico a pianura, di estensione areale complessiva pari a circa 3.785 ettari.

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

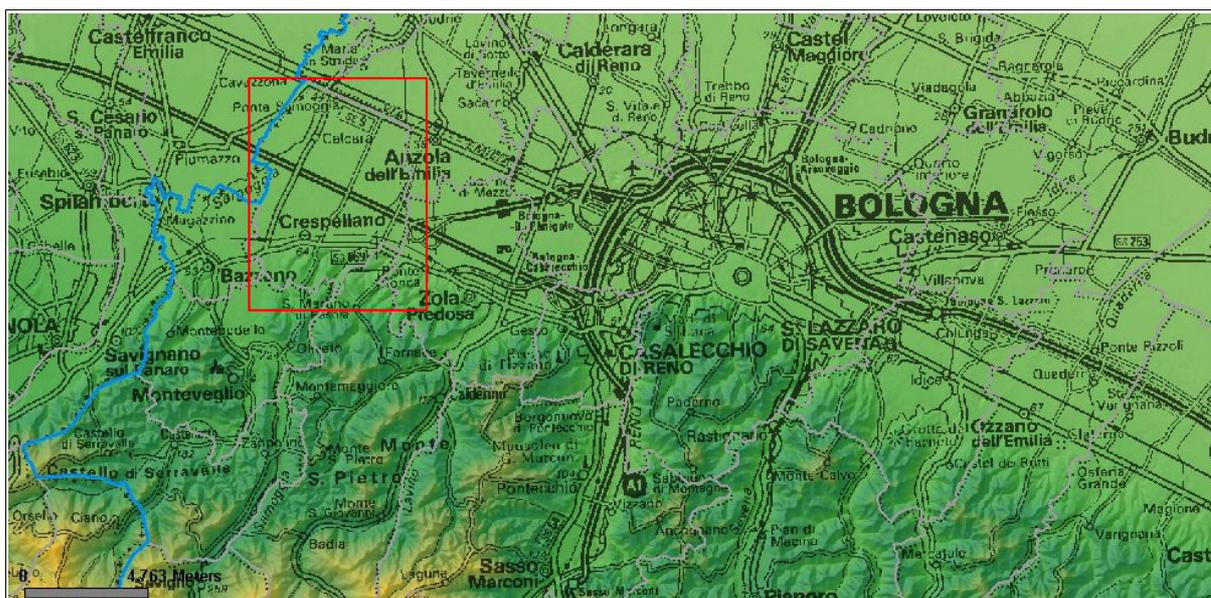


Figura 1.2- Corografia del territorio di Crespellano e dei Comuni limitrofi a SO di Bologna (su base topografica alla scala 1:250.000 della Regione Emilia-Romagna).



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

### 2.1 Sorgenti sismogeniche e terremoti di riferimento

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

Le evoluzioni scientifiche e tecnologiche 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 CPTI<sup>6</sup>. La figura 2.1 riporta la sovrapposizione del territorio di Crespellano con la Carta Sismotettonica regionale, mentre la figura 2.2 riporta la cartografia degli epicentri dei terremoti della regione Emilia-Romagna, desunti dal catalogo CPTI e suddivisi per classi di magnitudo.

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

---

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

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

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

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 di riferimento per le stime di “rischio”.

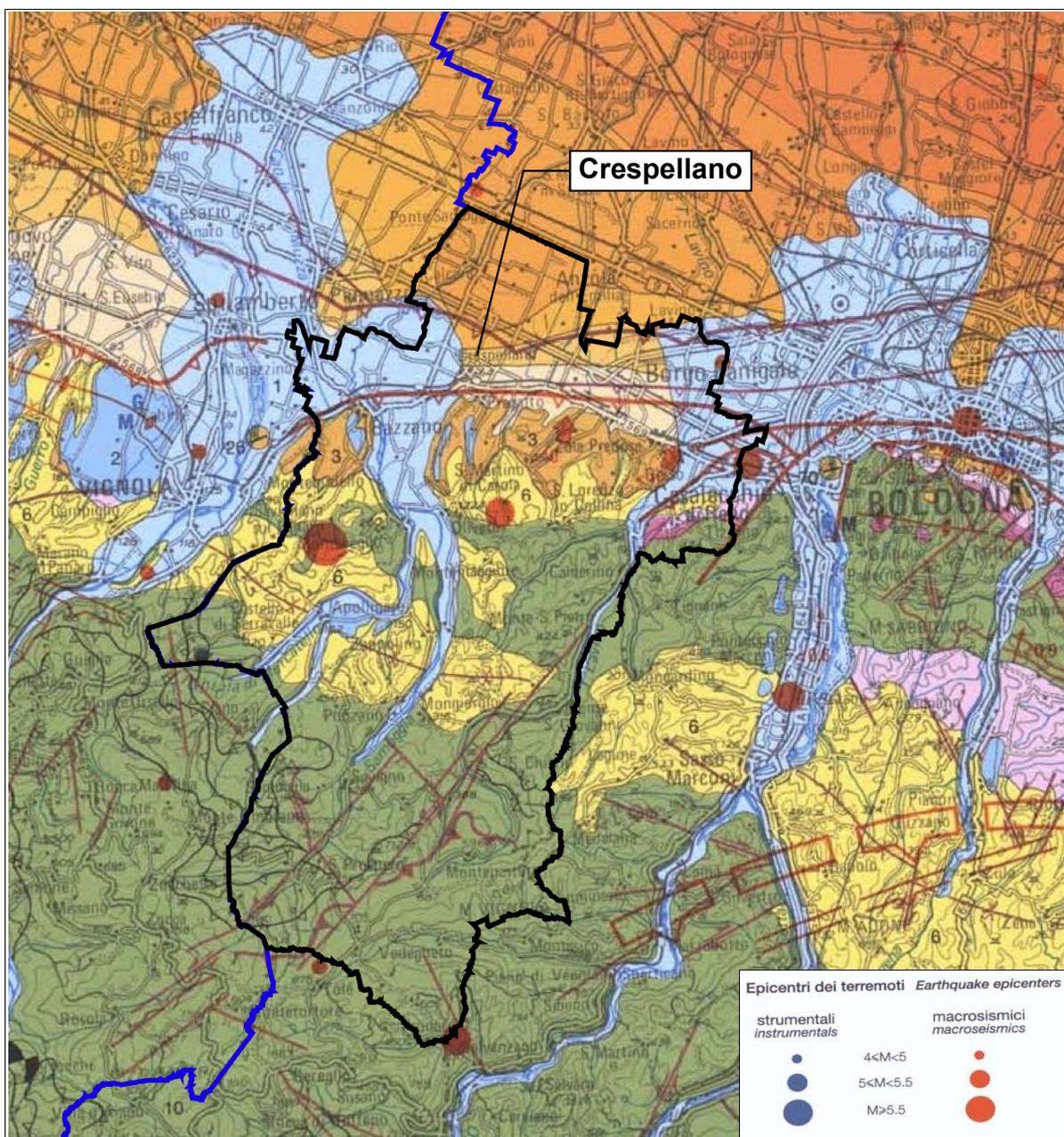


Figura 2.1- Sovrapposizione del territorio dei Comuni dell'Area Bazzanese (comprende anche il territorio di Crespellano) con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli ipocentri dei terremoti strumentali di  $M_w > 4$  e l'epicentro dei più significativi effetti macroseismici. 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.

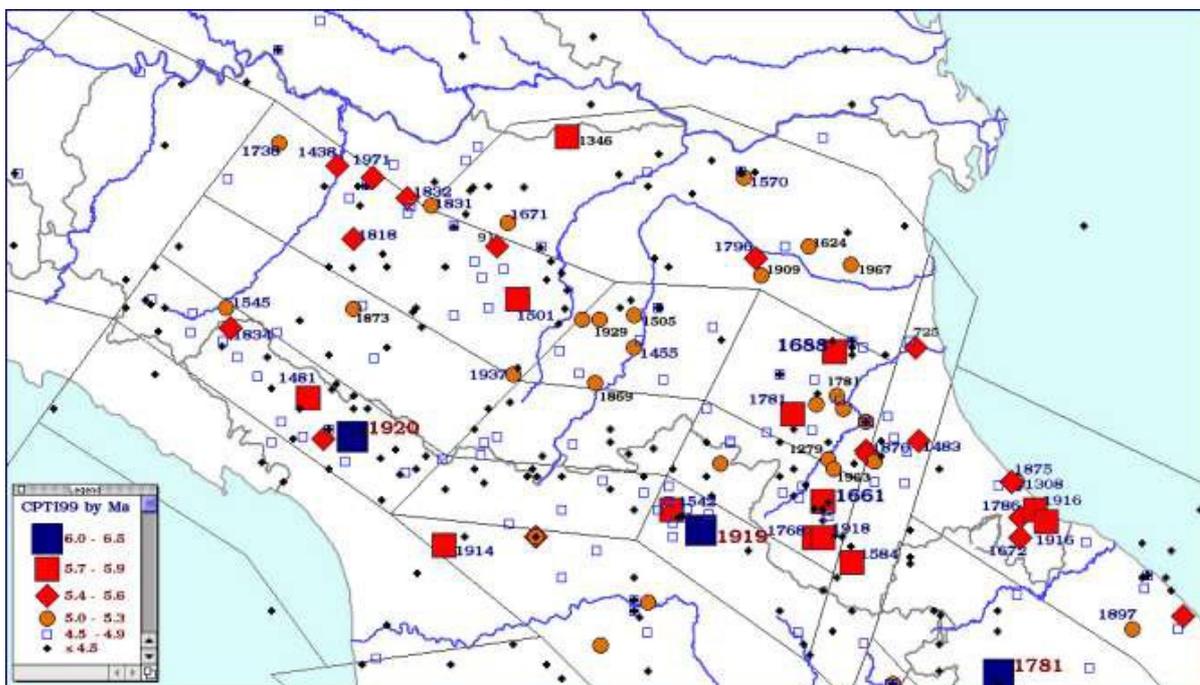


Figura 2.2- Carta degli epicentri dei terremoti (CPTI, 1999) della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo, estrapolata dal sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS) regionale.

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 principalmente 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 e marginalmente nella zona 912 che rappresenta la porzione di catena appenninica sepolta dalle coltri alluvionali padane. In queste due zone si verificano terremoti prevalentemente compressivi, ma anche terremoti per meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo della struttura appenninica e ad essa viene attribuita una magnitudo massima  $M = 5,91$  (zona 913). Alla zona 913 viene invece attribuita una magnitudo massima  $M = 6,14$ . 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 del territorio dell'Area Bazzanese (di cui Crespellano fa parte) con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS, nella sua versione più aggiornata e disponibile (DISS 3.1). Questo fondamentale database riporta le tre principali sorgenti sismogeniche limitrofe al territorio studiato:

- la ITCS027 che rappresenta una lunga fascia di territorio che risulta più a sud del territorio comunale di Crespellano; la sua magnitudo stimata è pari a  $M_w = 6,2$  ed è derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi associati a questa zona e comunque lontani dall'area studiata: Fabriano, 1741, Cagli, 1781, Camerino, 1799,

Sansanno, 1873);

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

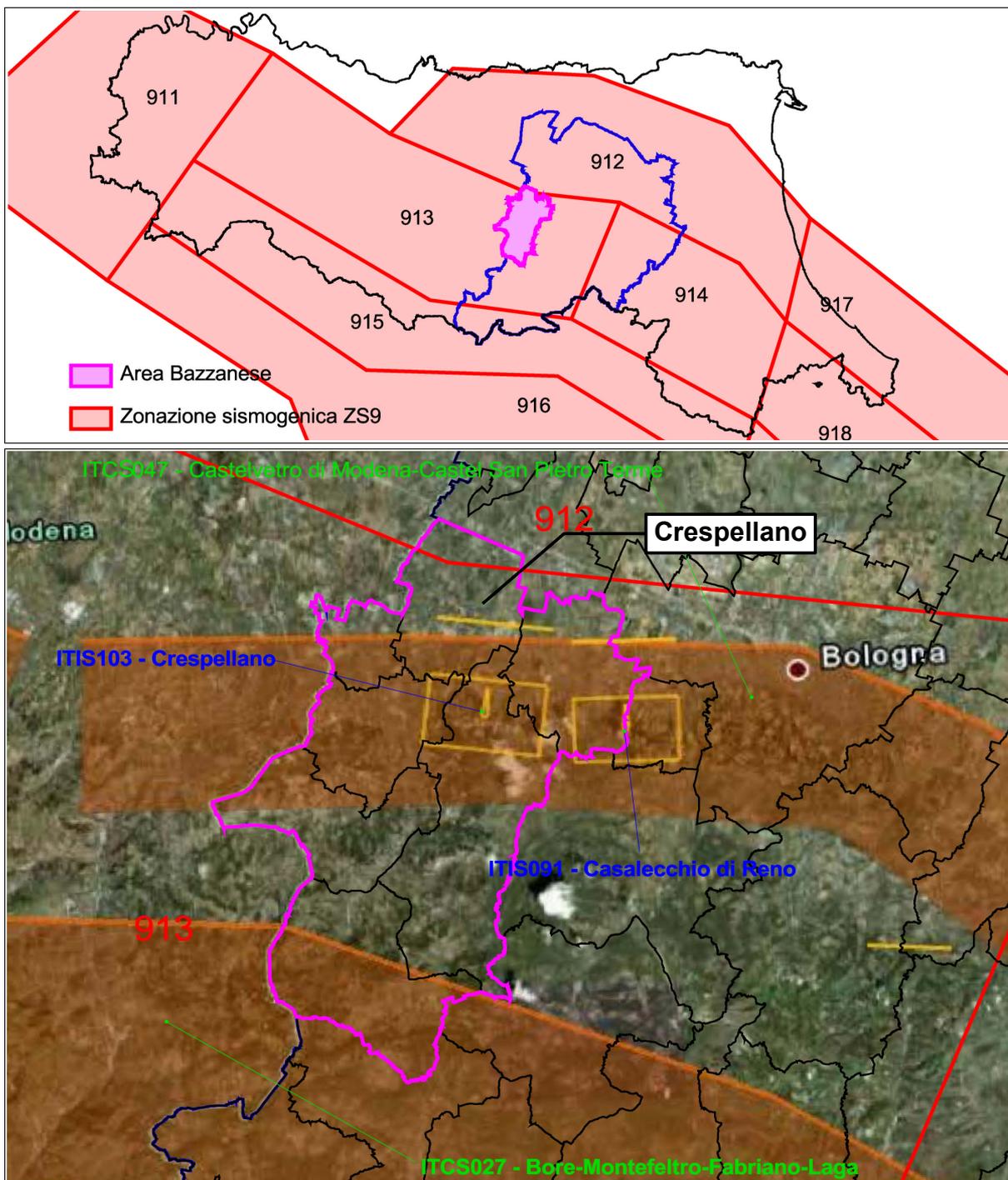


Figura 2.3 – Zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (versione aggiornata 3.1). Foto aerea: Google Earth. Nel database DISS le sigle ITCS corrispondono alle “zone” mentre le sigle ITIS corrispondono alle “sorgenti” sismogenetiche.

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

- “ITIS103 - Crespellano” a cui è attribuita una magnitudo  $M_w = 5,6$  associata al terremoto del 20 aprile 1929 (fonte: CPTI, 2004); sono documentati danni ad edifici ed infrastrutture con intensità pari al grado VII della scala Mercalli (Zecchi, 1982) ed anche effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali, emissioni di gas (Boschi et al., 2000);
- “ITIS091 - Casalecchio di Reno” a cui è attribuita una  $M_w = 5,5$  associata al terremoto bolognese del 3 gennaio 1505 (fonte: CPTI, 2004); la zona epicentrale è stata stimata tra Zola Predosa e Bologna e sono documentati danni più consistenti a Zola Predosa, Bologna e S. Lorenzo in Collina (grado IX della scala Mercalli, cfr. Zecchi, 1882) ed i seguenti effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali (Boschi et al., 2000), effetti di liquefazione a Zola Predosa (Prestininzi e Romeo, 2000).

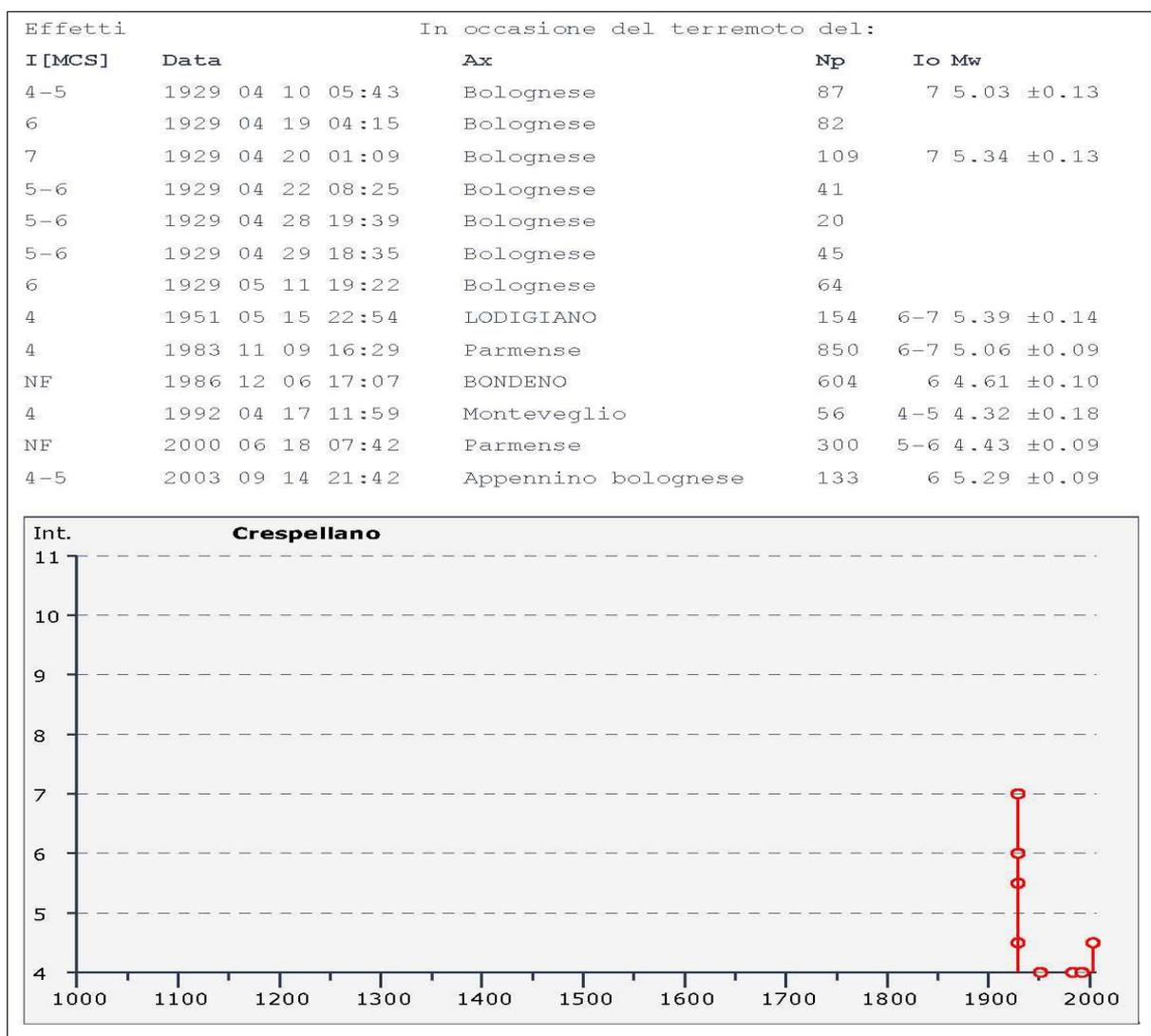


Figura 2.4 - Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Crespellano e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2011).

Gli studi nazionali e quelli regionali attribuiscono al territorio studiato una pericolosità “media”, con terremoti locali moderatamente forti ed epicentri storici che hanno comunque interessato anche il territorio studiato. In questo senso, la figura 2.4 riporta un grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio di Crespellano e le relative intensità macrosismiche stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione: gli eventi storici più significativi appaiono i vicini terremoti nel bolognese del 1505 (Casalecchio di Reno) e il sisma del 1929 (Crepellano), con intensità massime stimata fino al settimo grado MCS.

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

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

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

Il documento fornisce anche i dati fondamentali per valutazioni più accurate della risposta sismica di terzo livello: lo spettro di risposta normalizzato per l'Emilia-Romagna (per  $T_r = 475$  anni cioè con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni), riportato in figura 2.5, e i valori di PGA anch'essi normalizzati (riferiti al suolo rigido) per ogni Comune della Regione ed i tre accelerogrammi di riferimento, selezionati dalla Banca dati ISESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra la forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali.

È così possibile ricavare lo spettro di risposta e gli accelerogrammi di riferimento per ogni Comune riscaldando lo spettro normalizzato di figura 2.5 con la  $a_{refg}$  attribuita allo stesso Comune (figura 2.6). Per il territorio amministrativo di Zola Predosa, la  $a_{refg}$  attribuita dalla Regione Emilia-Romagna risulta pari a 0,163g (vedi Allegato A4 della DAL 112/2007).

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

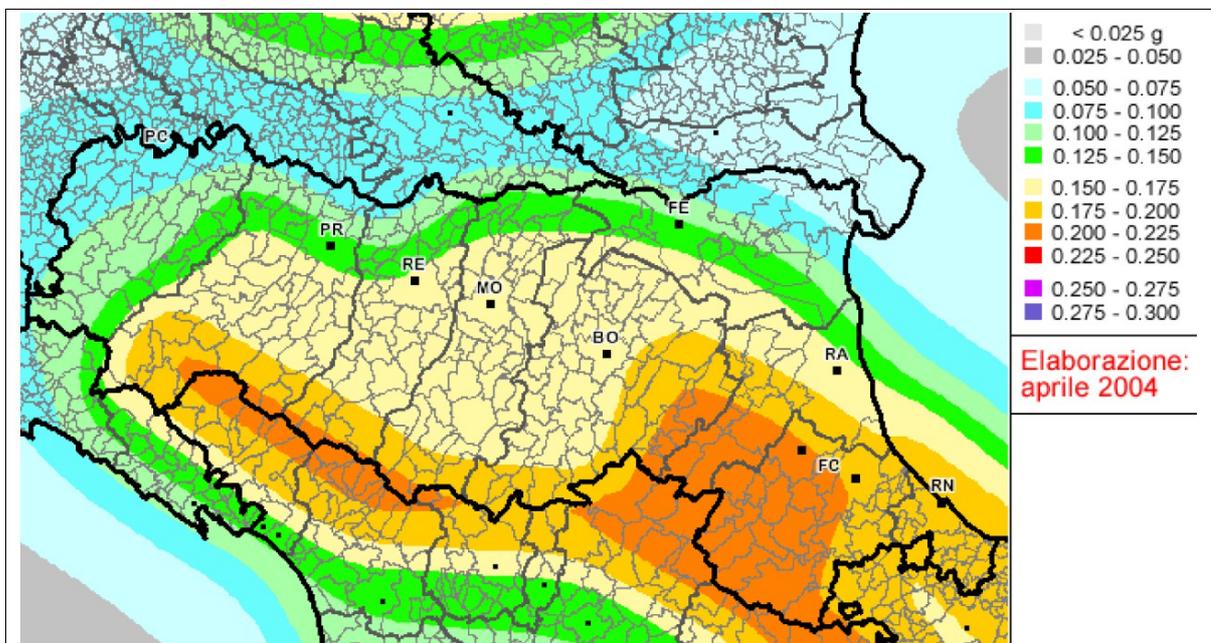
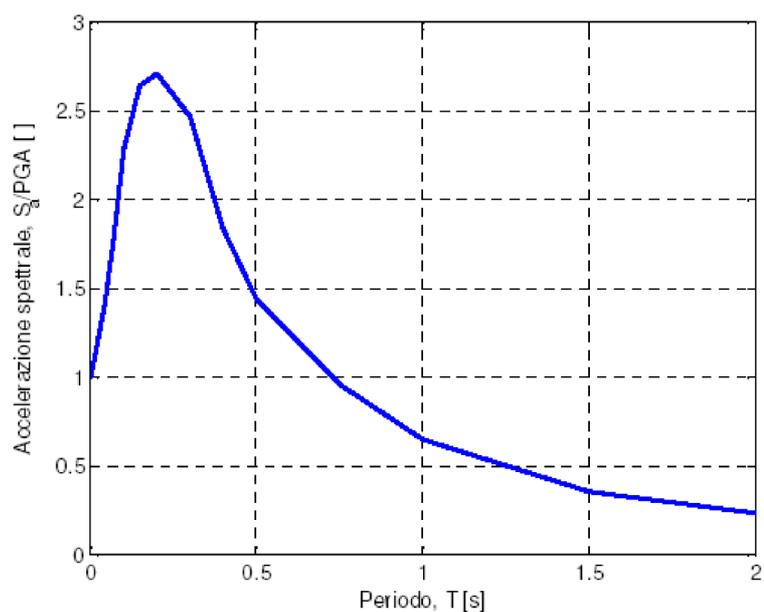


Figura 2.6- Pericolosità sismica di base: valori di PGA al suolo rigido (10% di probabilità di superamento in 50 anni) secondo la OPCM 3519/2006.

### 3 Assetto geologico e geomorfologico dell'area

#### 3.1 Aspetti geologici e tettonici generali

L'assetto geologico strutturale del territorio di Crespellano 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.

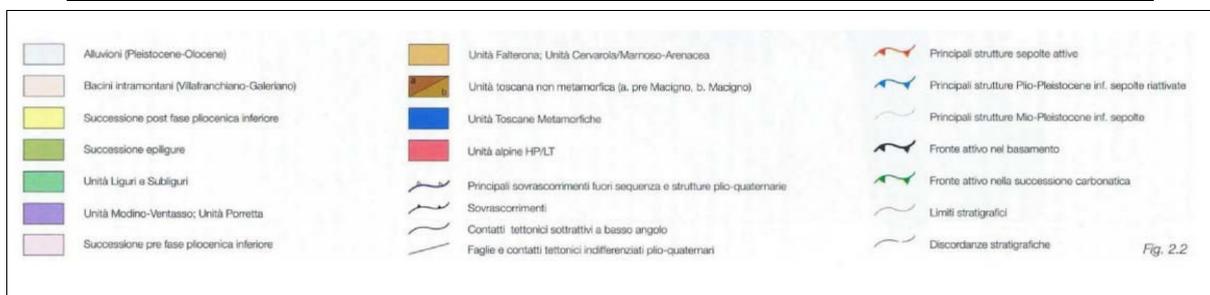
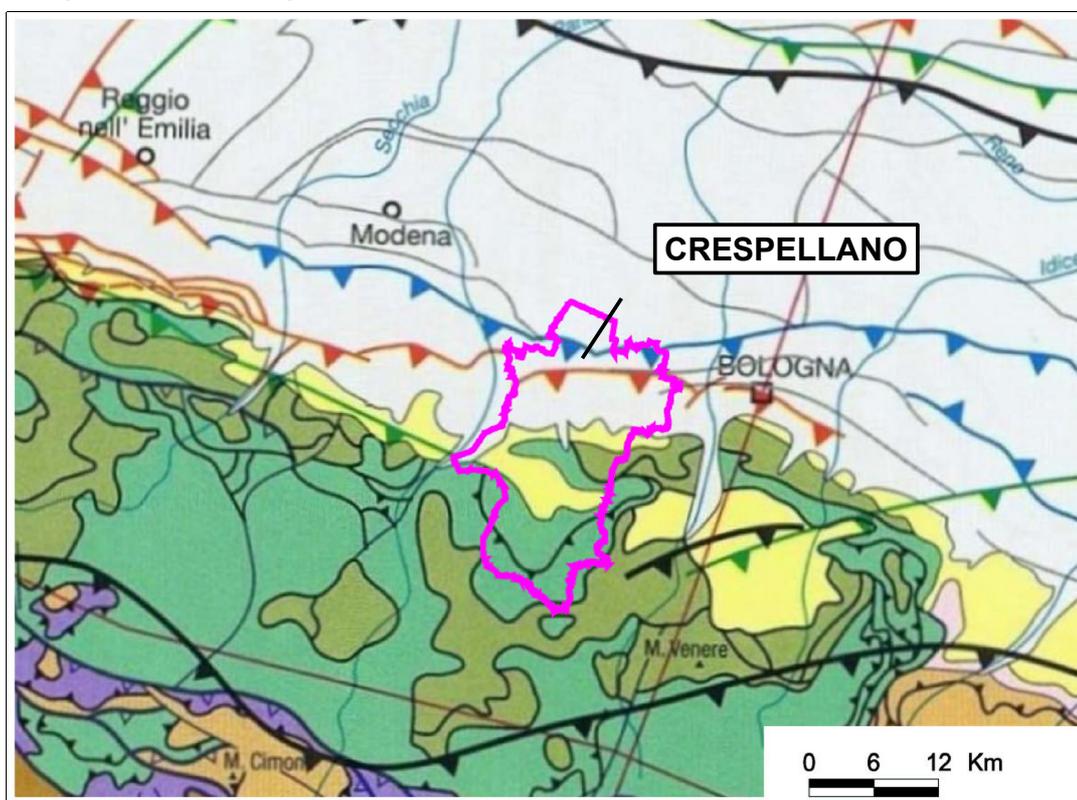


Figura 3.1 – Schema tettonico dell’area studiata, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”. Il territorio dell’area bazzanese è perimetrato con linea fucsia.

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

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

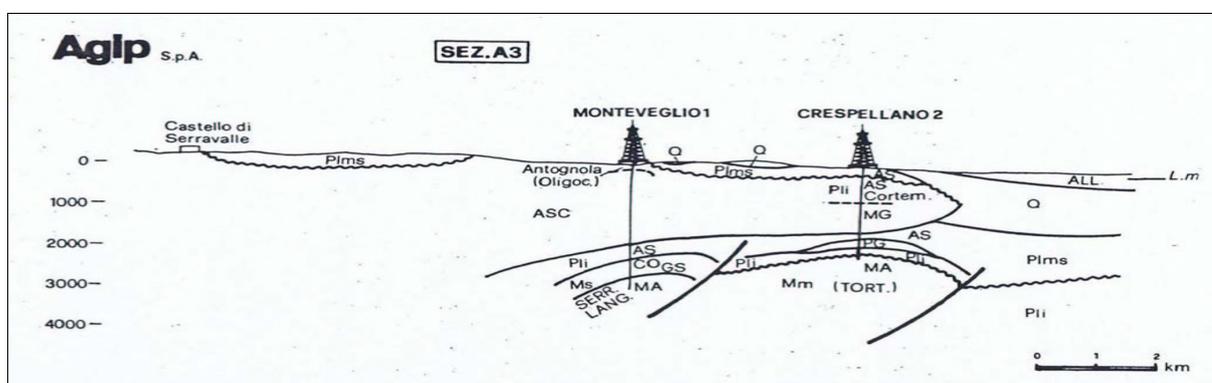
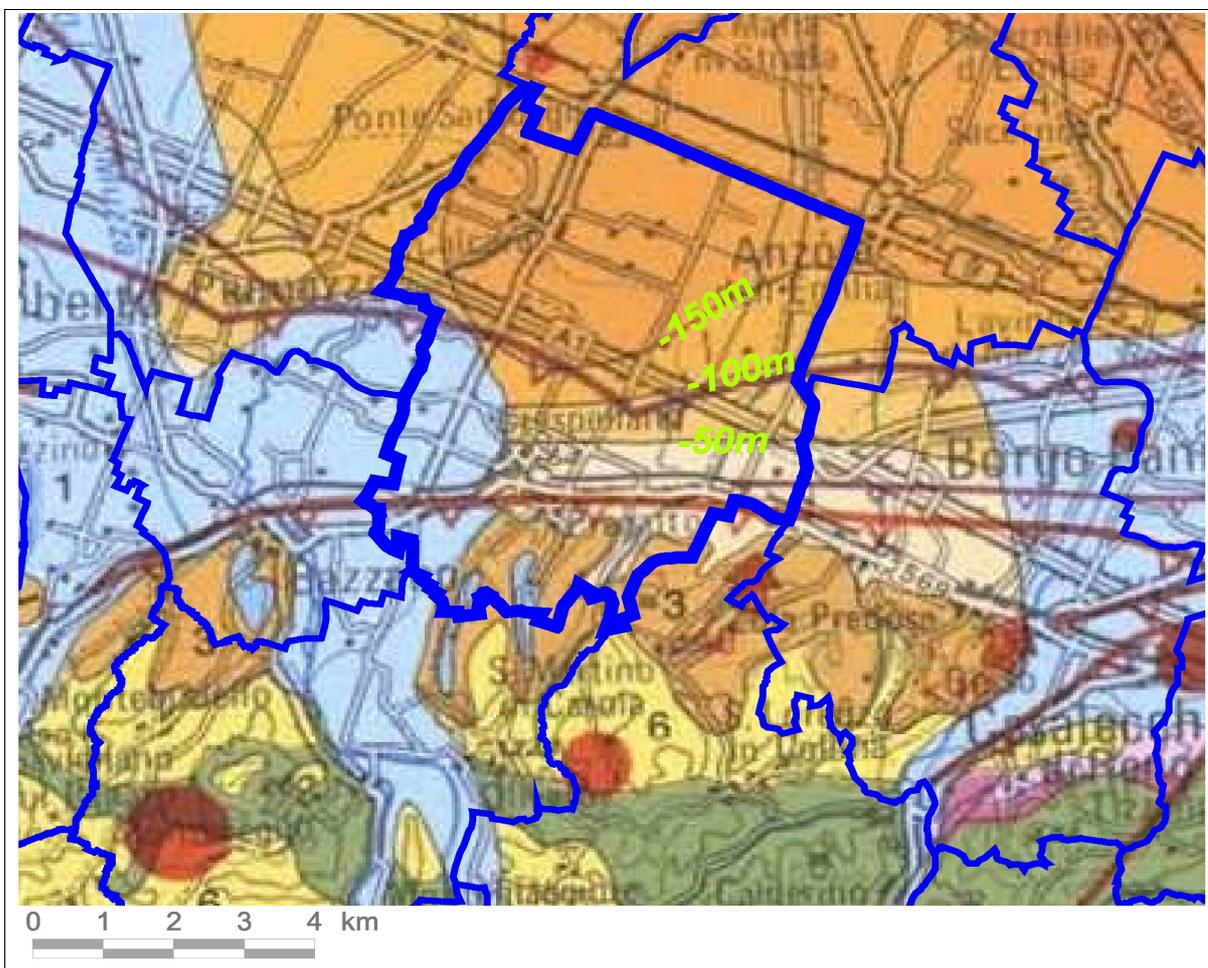


Figura 3.2 – Profilo dell'Appennino e del suo margine tratto dalle sezioni AGIP in Cremonini e Ricci Lucchi (1982). Si nota la "catena sepolta", la sinclinale intrappenninica (estensione apparente di quella bolognese) e la suturazione delle strutture del margine appenninico e della pianura alluvionale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

Nel Quaternario medio inferiore (Villafranchiano p.p.) i primi depositi paralicici 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 "Supersistema 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 Supersistema 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 Supersistema 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 Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) affiora solamente allo sbocco in pianura di alcune aste vallive (non nell'area di studio) ed è caratterizzata da depositi di piana alluvionale o di conoide alluvionale. Quello superiore è denominato Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e affiora in tutti i settori

intravallivi che in pianura ed è costituito da sedimenti di piana intravalliva, di conoide e di piana alluvionale.



*Figura 3.3 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004), sovrapposta al limite comunale di Crespellano. Nella figura si sono evidenziate in verde chiaro le quote (in m slm) delle isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), mentre l'azzurro indica i depositi di conoide sub affioranti (Torrente Samoggia a ovest)*

In tal senso, la figura 3.3 propone uno stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna<sup>8</sup> che, per il settore di pianura di Crespellano, riporta le isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo (AES), dato di fondamentale importanza, come vedremo per la valutazione dei parametri di amplificazione locali desunti da questo lavoro. La profondità complessiva di AES risulta in progressivo aumento dalla zona di margine affiorante verso nord, fino a superare i 150 metri in buona parte del territorio di pianura del Comune.

Occorre anche rammentare che la più recente cartografia geologica regionale e nazionale

<sup>8</sup> <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>> scala 1:250.000 (a cura del SGSS della Regione Emilia-Romagna e CNR, ed. 2004)

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).

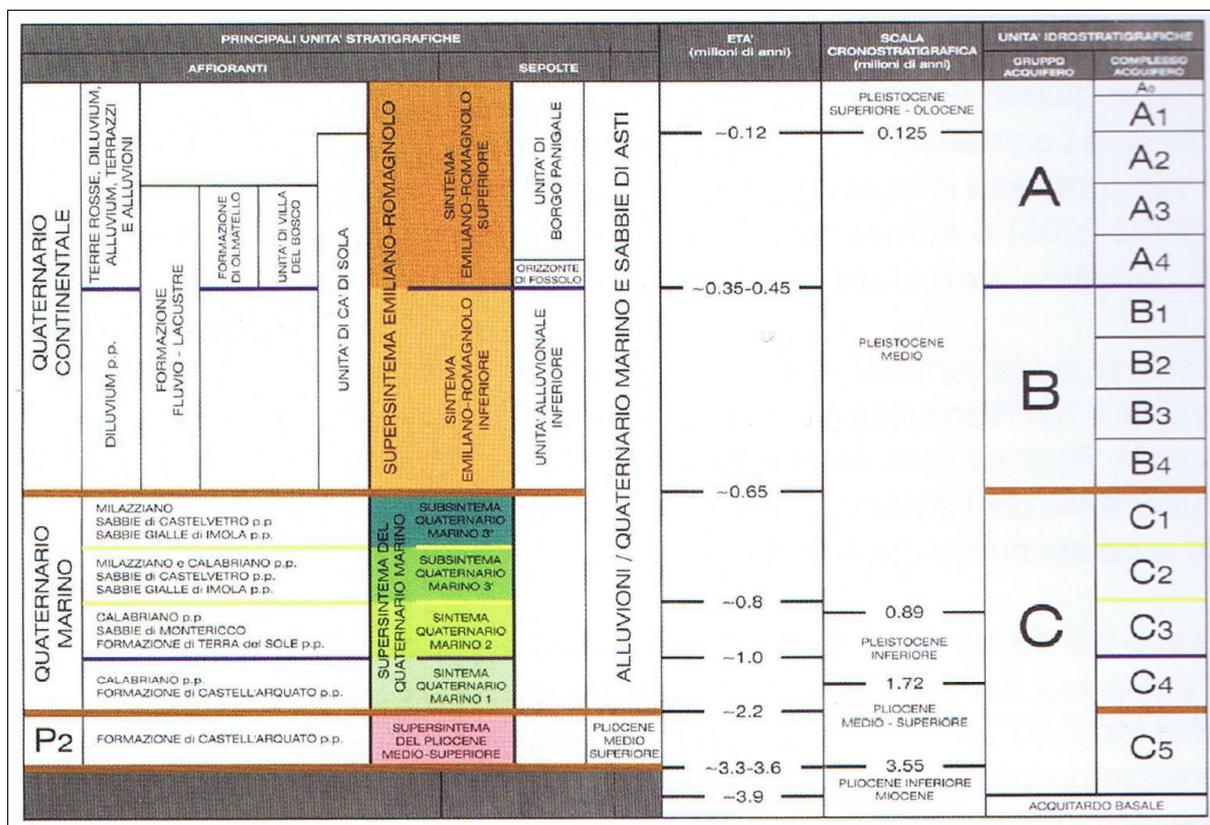


Figura 3.4 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da: Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998, modif.). Sono evidenziati anche i rapporti tra unità deposizionali di pianura e i principali acquiferi.

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; le altre aste fluviali secondarie presenti nel territorio comunale (Martignone, S. Almaso, rio delle Meraviglie, ecc.) hanno invece decorsi fortemente condizionati dalle attività di regimazione e di bonifica.

Per quanto riguarda il settore 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;

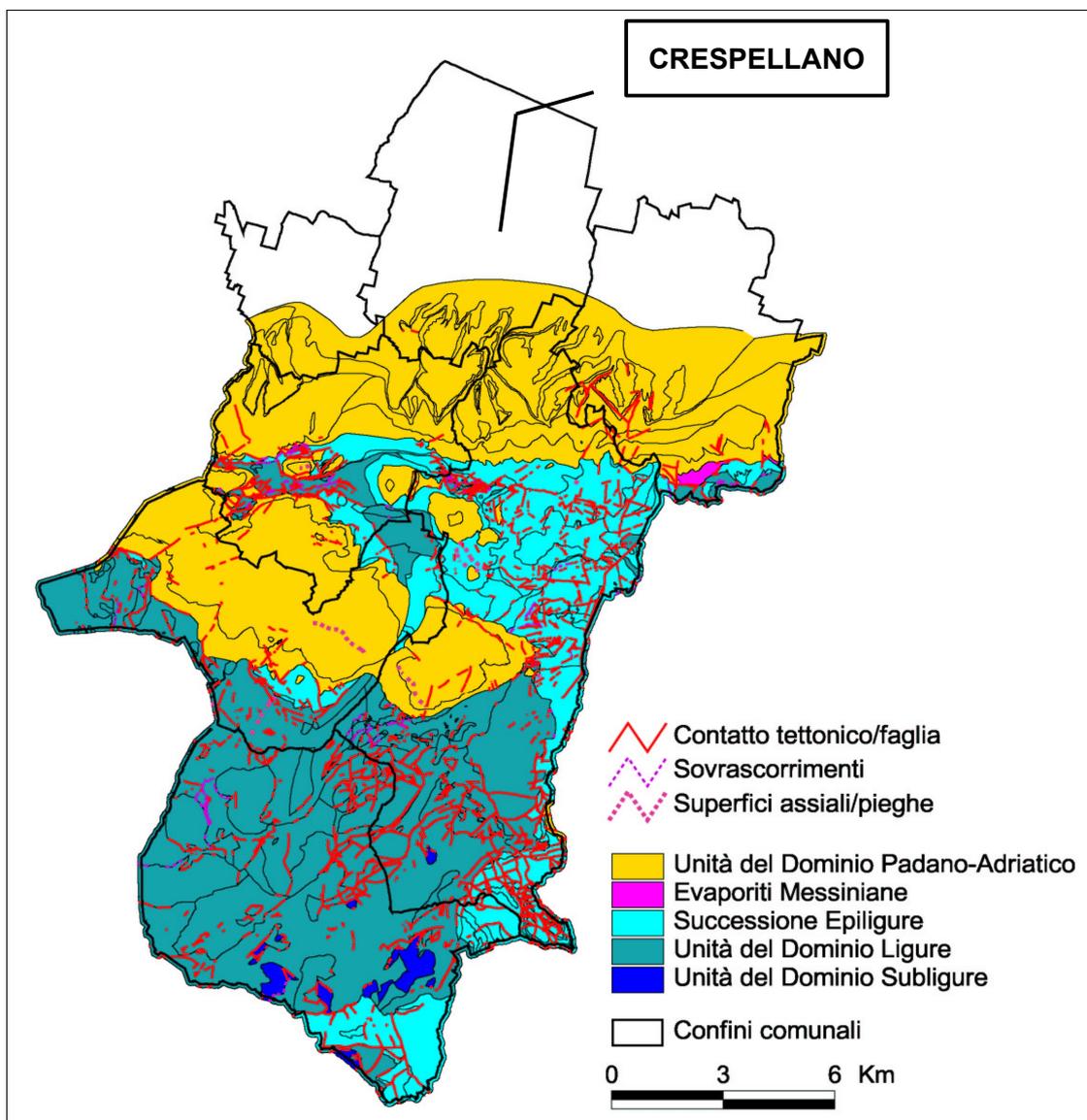


Figura 3.5 – Schema geo litologico del territorio collinare di Crespellano e degli altri Comuni dell'Area Bazzanese

### 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 Crespellano. La base conoscitiva litostratigrafica e strutturale locale è rappresentata dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile anche on line nel sito del Servizio Geologico

Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna<sup>9</sup>. Un ulteriore riferimento per questo lavoro, è rappresentato anche dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG)<sup>10</sup>.

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 Crespellano, 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 nelle zone di interbacino; nella zona di sbocco vallivo del Samoggia (presso la frazione Muffa) 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; dal punto di vista tessiturale, in pianura risultano caratterizzati da ghiaie, sabbie, limi e argille, con corpi ghiaiosi e/o presenti esclusivamente nelle zone limitrofe agli alvei principali.
- Depositi alluvionali terrazzati “AES7” (Subsistema di Villa Verrucchio → si tratta di sedimenti alluvionali che affiorano nei terrazzi intravallivi a sud di Crespellano e sono costituiti, almeno in superficie, da sedimenti prevalentemente fini con alla base intevalli ghiaiosi e/o sabbiosi. È possibile riconoscere due unità di rango inferiore: AES7a (Unità di Niviano) e AES7b (Unità di Vignola). La discriminazione di queste due sottounità non è peraltro ben evidente a causa della non continuità di affioramento tra i settori intravallivi e quelli di margine appenninico. Età deposizionale: Pleistocene sup.
- Depositi di conoide torrentizia inattiva → si tratta dei depositi fini (argille e sabbie più o meno limose) riscontrabili, come vedremo, agli sbocchi vallivi del Torrente Martignone e Rio delle Meravigli. I bacini idrogeologici di questi corsi d'acqua secondari sono impostati nelle formazioni plio-pleistoceniche delle Sabbie Gialle (facilmente erodibili), determinando il trasporto e la deposizione verso la pianura di sedimenti a tessiture prevalentemente fini (da argille a sabbie).

### 3.2.2 Depositi continentali quaternari sepolti

- Depositi alluvionali “AES8” (Subsistema di Ravenna) → la base di AES8 è caratterizzata da

<sup>9</sup> Cartografia interattiva consultabile on line: [https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss](https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss).

<sup>10</sup> E Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 220 – Casalecchio di Reno)

una superficie di discontinuità corrispondente a una lacuna stratigrafica di entità variabile, maggiormente evidente nel margine appenninico dove la base di AES8 poggia 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 bolognese, e in particolare anche nell'area di studio, la base di AES8 viene convenzionalmente posta al tetto dei corpi ghiaiosi situati nella porzione sommitale di AES7 (ghiaie del Reno e del Lavino).

- 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 Lavino (sottosuolo nella porzione centrale del territorio comunale e al Reno (parte est). In particolare, le ghiaie presentano una prevalente geometria tabulare, che rappresentano i lobi di conoide alluvionale del Reno e del Lavino. Lo spessore granulare risulta potente fino a circa 50 m nella zona centrale della principale conoide del Reno, per poi ridursi lateralmente fino a spessori di 15÷20 m nell'area orientale del Comune di Zola Predosa. 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 proximale 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 Castel San Pietro (IMO3), al Membro di Fossoveggia (IMO2) e al Membro di Monte Castellaccio (IMO1).

Le IMO3 sono sabbie ed arenarie giallastre generalmente fini e finissime, a stratificazione obliqua, con ripples ed hummocky cross-bedding localmente riconoscibili, in strati generalmente amalgamati, alternate a rari strati decimetri di peliti sabbiose. Nella parte alta sono presenti livelli di ghiaie fini frequentemente silicee e locali corpi di ghiaie ben selezionate contenenti tritume organogeno. Depositi di spiaggia e subordinatamente di delta conoide. Contatto inferiore eteropico su IMO2 o erosivo su IMO1. Spessore di alcune decine di metri. Affiorano nella porzione sud dell'area di studio Capoluogo.

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.

### **3.3 Contesto litostratigrafico, strutturale e geomorfologico delle aree studiate**

#### *3.3.1 Area frazione Muffa*

La frazione di Muffa ricade in un contesto di limite ormai distale di sbocco vallivo del Torrente Samoggia. Prospiciente la pianura. Le coperture alluvionali affioranti sono riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna), come evidenziato nella figura 3.6. Si tratta di sedimenti ghiaiosi sub affioranti, con abbondante matrice fine e intervalli decimetrici di limi e argille sabbiose, di età deposizionale attribuita al Pleistocene sup-Olocene. La carta geologica regionale, evidenzia una blanda scarpata fluviale (60÷60 cm) a monte della strada Ghiarino, peraltro mal rilevabile per gli interventi agricoli e di urbanizzazione che ne hanno cancellato l'assetto morfologico. Il substrato sepolto è dato dalle unità plio-pleistoceniche di Margine appenninico e in particolare dall'Unità delle sabbie gialle (IMO).

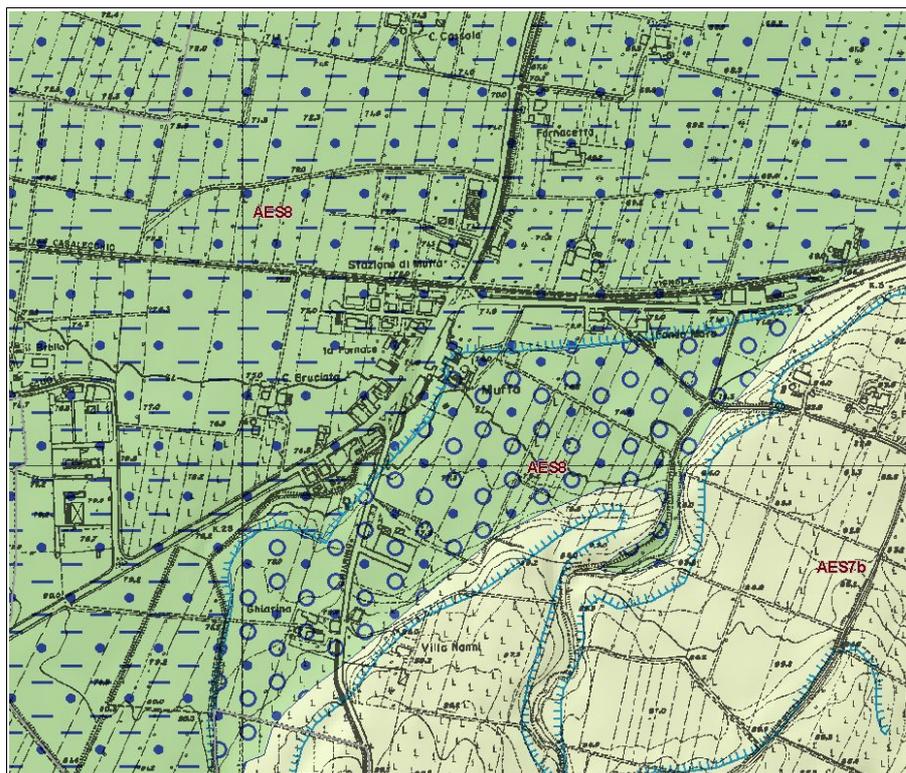


Figura 3.6 - Aree di studio Frazione Muffa: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

### 3.3.2 Area Capoluogo

L'abitato di Crespellano ricade in un contesto di estremo limite di catena appenninica affiorante che passa rapidamente a pianura nella porzione più settentrionale. Il settore meridionale dell'abitato, è insediato sulle unità alluvionali di AES7 (Subsistema di Villa Verrucchio) che, in sostanza vanno a chiudere la porzione di catena monoclinale e nordvergente affiorante (figura 3.7). Si tratta di depositi debolmente basculati verso nord che risultano in contatto erosivo con il sottostante substrato geologico costituito dalle Sabbie Gialle e in particolare dal suo Membro prevalentemente pelitico di Fossoveggia (IMO2). Verso sud La carta geologica regionale riporta depositi riconducibili a IMO1 e IMO3 in affioramento nelle scarpate sottostanti il pianoro, esterne all'area di studio.

Poco a nord della Bazzanese, a quote topograficamente sub-pianeggianti, l'abitato di Crespellano si insedia sulle alluvioni affioranti più recenti AES8 che in sub affioramento risultano prevalentemente costituite da sedimenti fini (limi e argille), a dimostrare un contesto deposizionale più recente di interbacino fluviale. Solamente nella porzione più orientale e in adiacenza al margine appenninico, nei pressi della frazione di Pragatto, le tessiture superficiali diventano sabbiose anche a modeste profondità, come dimostrano gli esiti delle terebrazioni di repertorio: si tratta infatti di depositi riconducibili al modesto apparato distributore di conoide del Rio delle Meraviglie e, soprattutto, del Rio Martignone;

questi corsi d'acqua sono caratterizzati da un bacino idrogeologico inciso nelle unità geologiche plio-pleistoceniche di Margine Appenninico e prevalentemente nell'unità delle Sabbie di Imola.



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

### 3.3.3 Area Zone Industriali Pedretta e Via Lunga

Per quanto riguarda la zona Pedretta, si tratta di un'area situata allo sbocco vallivo del torrente Martignone e di un ulteriore modesto rio (non denominato sulla topografia). La cartografia geologica regionale (figura 3.8) rileva depositi alluvionali affioranti, a tessiture prevalentemente fini, attribuiti all'unità di Ravenna (AES8) e al terrazzo di rango inferiore e più recente AES8a (Unità di Modena); la scarpata d'incisione che delimita le due unità, risulta mal rilevabile e obliterata anche dagli interventi di urbanizzazione. L'area risulta distante dai principali apparati distributori locali (Torrenti Samoggia e Lavino) e il contesto deposizionale generale è da attribuirsi ad un ambiente interfluviale, caratterizzato da depositi affioranti sostanzialmente fini (argille e limi). Peraltro, la località Pedretta, come già detto, ricade allo sbocco del Torrente Martignone, un corso d'acqua secondario caratterizzato da un bacino idrogeologico inciso nelle unità geologiche plioceniche di Margine Appenninico e prevalentemente nell'unità delle Sabbie di Imola. Per quanto detto, la Zona Industriale Pedretta può considerarsi insediata sui sedimenti del modesto apparato di conoide inattivo del citato corso d'acqua, con tessiture che possono pertanto variare da argille e limi a sabbiose.



Figura 3.8 – Area di studio Z.I. Pedretta e Via Lunga: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

Per quanto riguarda la Zona Industriale Via Lunga, questa rimane più a nord rispetto al margine appenninico, in destra idrografica del Torrente Martignone. Anche in questo caso, i sedimenti alluvionali affioranti sono riconducibili all'Unità AES8 e al terrazzo di rango inferiore e più recente AES8a (Unità di Modena) che affiora in adiacenza all'attuale alveo del Martignone. Anche in questo caso, la scarpata d'incisione che delimita le due unità, risulta mal rilevabile e obliterata per gli interventi di urbanizzazione. Vista la ancora relativa vicinanza allo sbocco vallivo/conoide, nell'area di studio è possibile la presenza di strutture sepolte sabbiose lenticolari (involuppi di paleoalvei).

#### 3.3.4 Aree “Prod.1” e “Prod. 2” di Crespellano

Le due aree produttive ricadono nel contesto di pianura a NE del Capoluogo, con depositi affioranti riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna) e attribuiti a facies interfluviale (figura 3.9). I sedimenti riscontrabili in superficie e nei primi metri di sottosuolo sono pertanto prevalentemente fini (limi e argille).

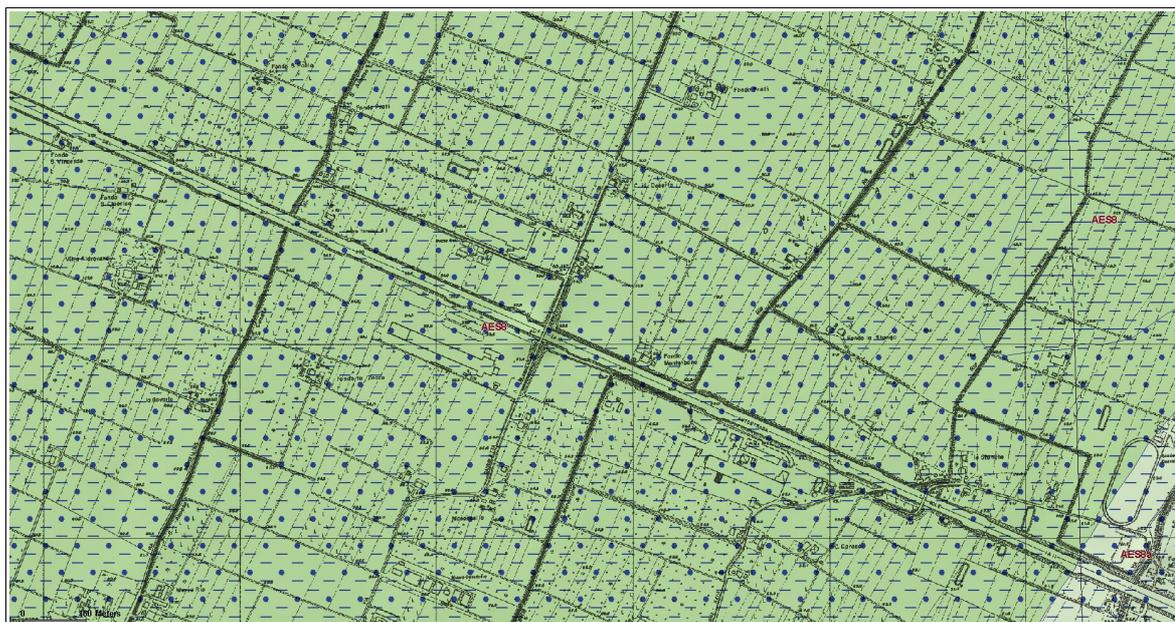


Figura 3.9- Aree PROD.1 e PROD.2 di Crespellano: stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000 , consultabile on line nel sito del Servizio geologico Sismico e dei Suoli RER.

### 3.3.5 Area frazione Calcara

L'abitato di Calcara ricade nel contesto di pianura a nord del Capoluogo, sviluppato sulle sponde dell'attuale alveo del Torrente Samoggia. Più in particolare, il contesto deposizionale che caratterizza l'area studiata è riconducibile a facies di canale e di argine attribuibili al torrente Samoggia. La cartografia geologica regionale (figura 3.10) attribuisce i sedimenti affioranti all'unità alluvionale AES8 e in particolare ai depositi di rango inferiore e più recenti AES8a (Unità di Modena). La scarpata d'incisione che delimita questi depositi dall'Unità AES8, poco a SE dell'abitato, risulta mal rilevabile e obliterata per gli interventi di urbanizzazione e agricoli. Il sottosuolo meno profondo è pertanto caratterizzato da alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose, generalmente di spessore decimetrico, infine, sabbie generalmente fini a formare depositi lenticolari e nastroforni (involuppi di paleoalvei sabbiosi).



Figura 3.10 – Area frazione di Calcara: 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.

### 3.3.6 Aree frazione Ponte Samoggia e Zona industriale Via Emilia (parte Est)

La frazione di Ponte Samoggia ricade in pianura bolognese e in un contesto deposizionale molto simile a quello già descritto per la frazione Calcara. Ponte Samoggia si insedia, infatti, sulle sponde dell'attuale alveo del Samoggia e il contesto deposizionale è ancora riconducibile a facies di canale e di argine attribuibili al torrente Samoggia. La cartografia geologica regionale (figura 3.11) attribuisce i sedimenti affioranti all'unità alluvionale AES8 e in particolare ai depositi di rango inferiore e più recenti AES8a (Unità di Modena). Il sottosuolo meno profondo è pertanto caratterizzato da alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose, generalmente di spessore decimetrico, infine, sabbie generalmente fini a formare depositi lenticolari e nastriformi (involuppi di paleoalvei sabbiosi).

La zona industriale denominata “Via Emilia” è situata al limite nord del comune di Crespellano. Si tratta, ovviamente, di un'ampia area di pianura che risulterebbe prevalentemente inserita in un contesto deposizionale recente di facies interfluviale. La cartografia geologica regionale (figura 3.11 e 3.12) attribuisce i sedimenti affioranti principalmente all'unità alluvionale AES8a (Unità di Modena), mentre la porzione centrale, caratterizzata da un blando “alto” topografico” viene compresa nell'Unità AES8. Il sottosuolo meno profondo è pertanto caratterizzato nella sua porzione centro-orientale da sedimenti

prevalentemente fini: argille, limi e limi argillosi laminati; più in profondità è possibile intercettare paleoalvei isolati sabbioso ghiaiosi. La porzione orientale, verso Anzola, è invece da attribuirsi a un contesto deposizionale di canale e di argine, attribuibili al torrente Martignone. In questa porzione d'area, prossima all'attuale alveo (ora incanalato) del Martignone, il sottosuolo meno profondo è caratterizzato da alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose, generalmente di spessore decimetrico, con possibili depositi lenticolari e nastriformi sabbiosi (inviluppi di paleoalvei).



Figura 3.11- Area frazione di Ponte Samoggia e Zona Industriale "via Emilia" (ovest): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000

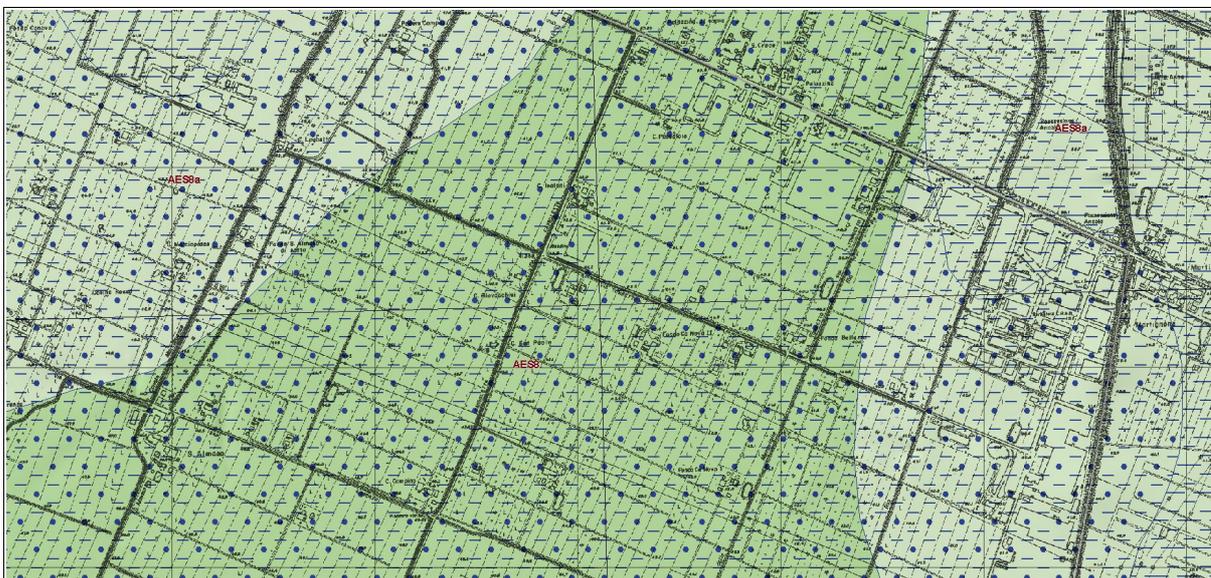


Figura 3.12- Area Zona Industriale "via Emilia" (est): stralcio della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000

## 4 Dati geotecnici e geofisici

### 4.1 Dati pregressi

Lo studio di Microzonazione ha consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse (Banca dati delle indagini geognostiche della Regione Emilia-Romagna; archivio Ufficio Tecnico comunale; ecc.), fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio. In tal senso, le figure da 4.1 a 4.5 localizzano i siti puntuali e lineari ove sono state svolte le prove di riferimento per lo studio di Microzonazione sismica di Crespellano (secondo il criterio di archiviazione della Protezione Civile), utile per l'individuazione delle stesse indagini. I report e i diagrammi degli esiti delle indagini puntuali e lineari sono riportati anche in formato \*.pdf nella cartella Indagini\documenti del DVD.

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

In sintesi, il totale delle prove pregresse, considerate per lo studio di Microzonazione (e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro), risulta pari a 150 prove, così distinte per tipologia:

- n. 6 sondaggi a carotaggio continuo (S)
- n. 4 sondaggi a distruzione di nucleo (SD)
- n. 86 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n. 7 prove penetrometriche con punta elettrica (CPTe)
- n. 13 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (CPTU)
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DP)
- n. 10 pozzi per acqua (PA)
- n. 6 misure di microtremori a stazione singola (HVSr)
- n. 5 stendimenti MASW
- n. 1 stendimenti Re.Mi.

## 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 Crespellano 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. 69 registrazioni del rumore sismico con tecnica HVSR.
- n. 11 stendimenti geofisici tipo Re.Mi., disponendo 24 geofoni a 4.5 Hz con spaziatura regolare di 3 m. In allegato si riporta il grafico ad isolinee sul quale è identificata la curva di dispersione delle onde di Rayleigh e sulla quale si esegue il picking del modo fondamentale.

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



Figura 4.1 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

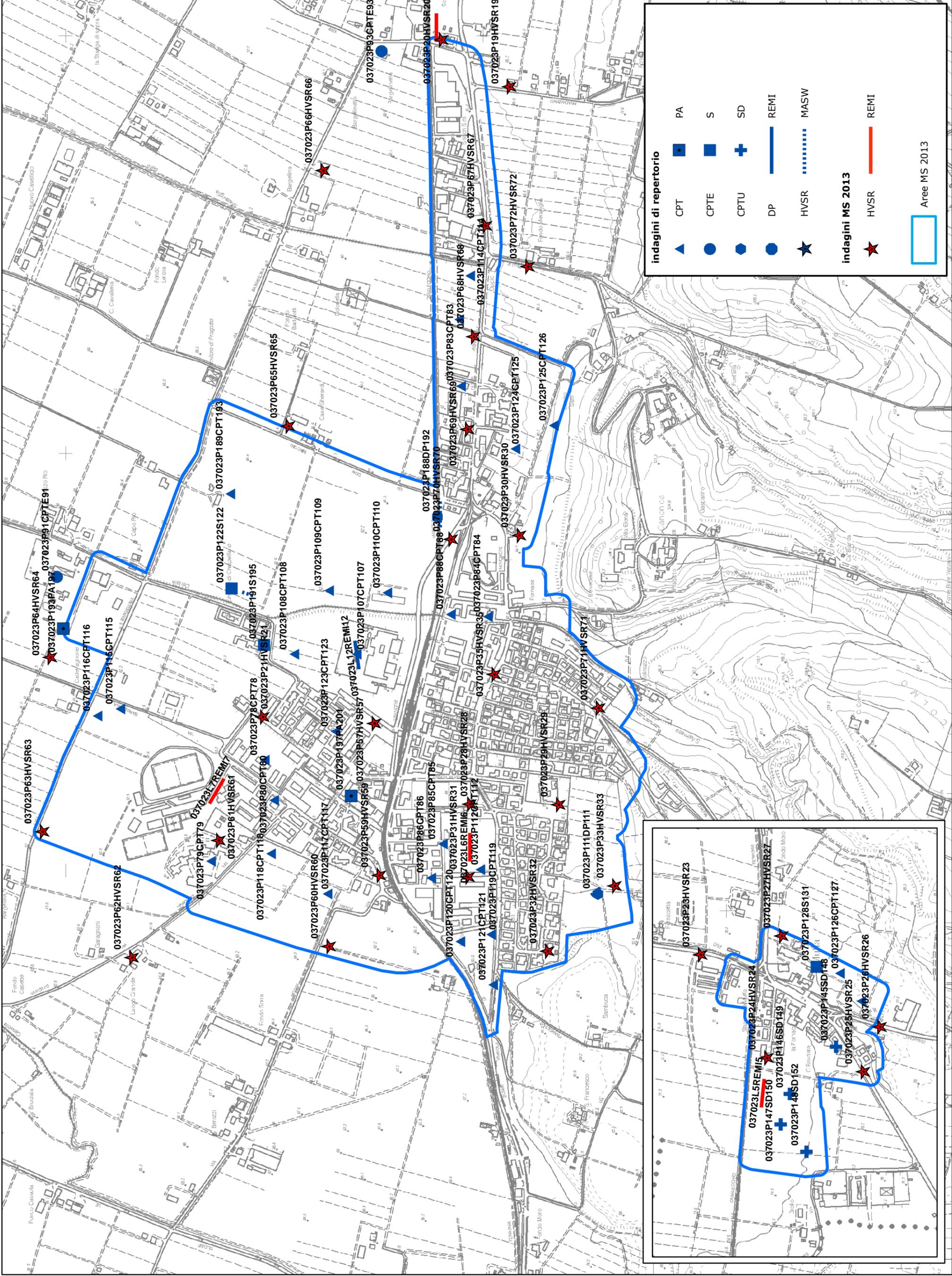


Figura 4.2 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

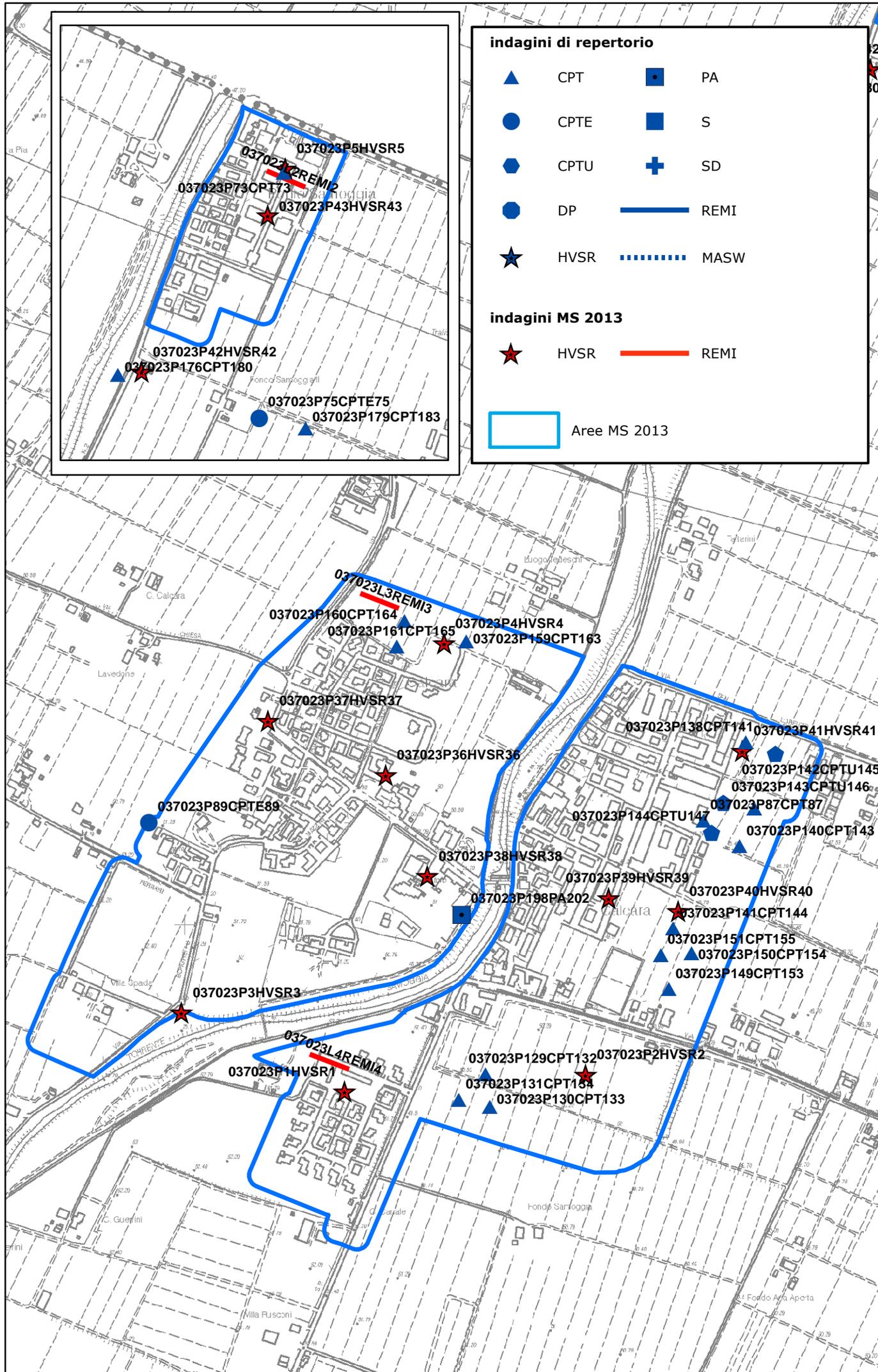


Figura 4.3 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

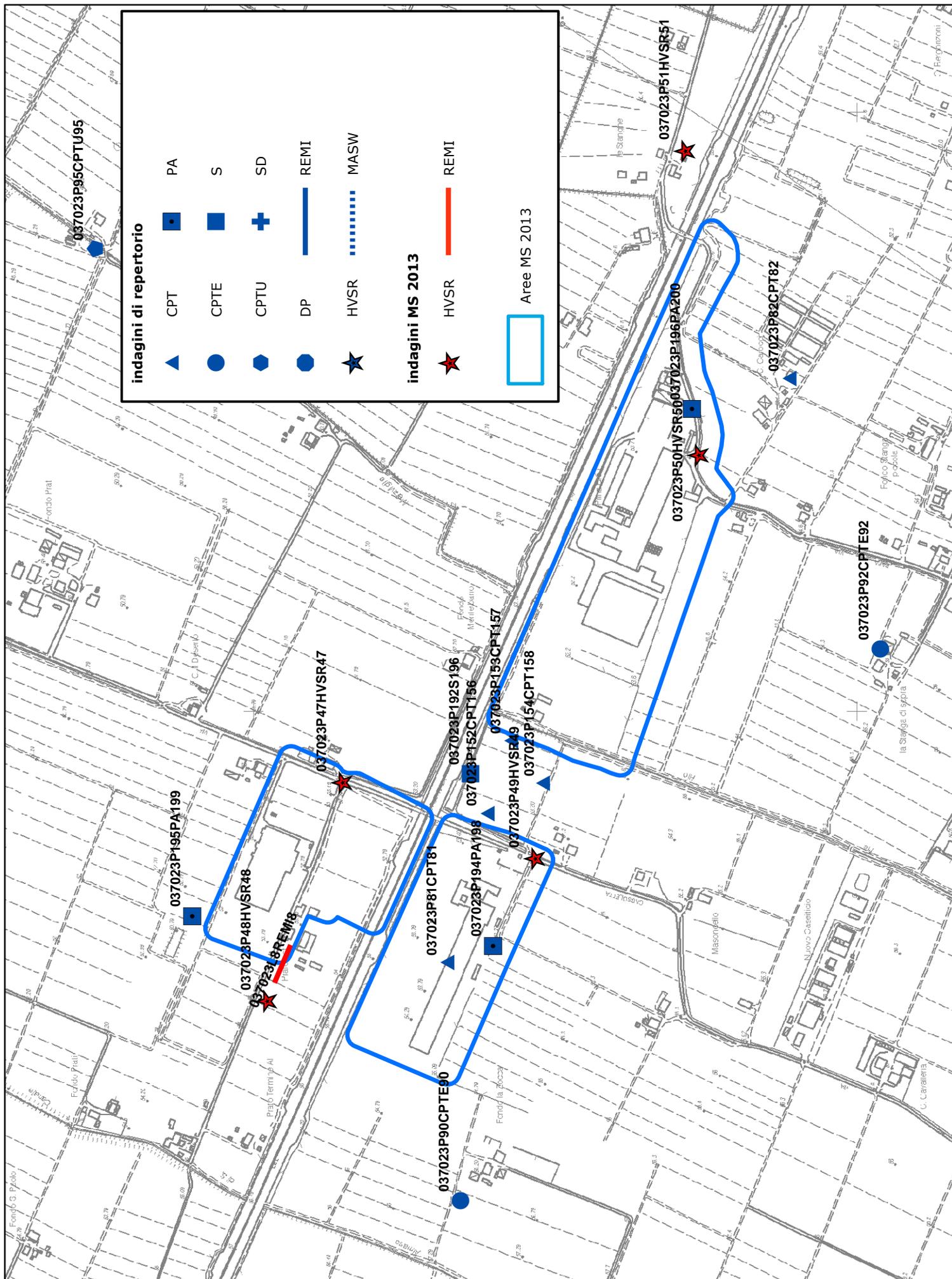


Figura 4.4 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

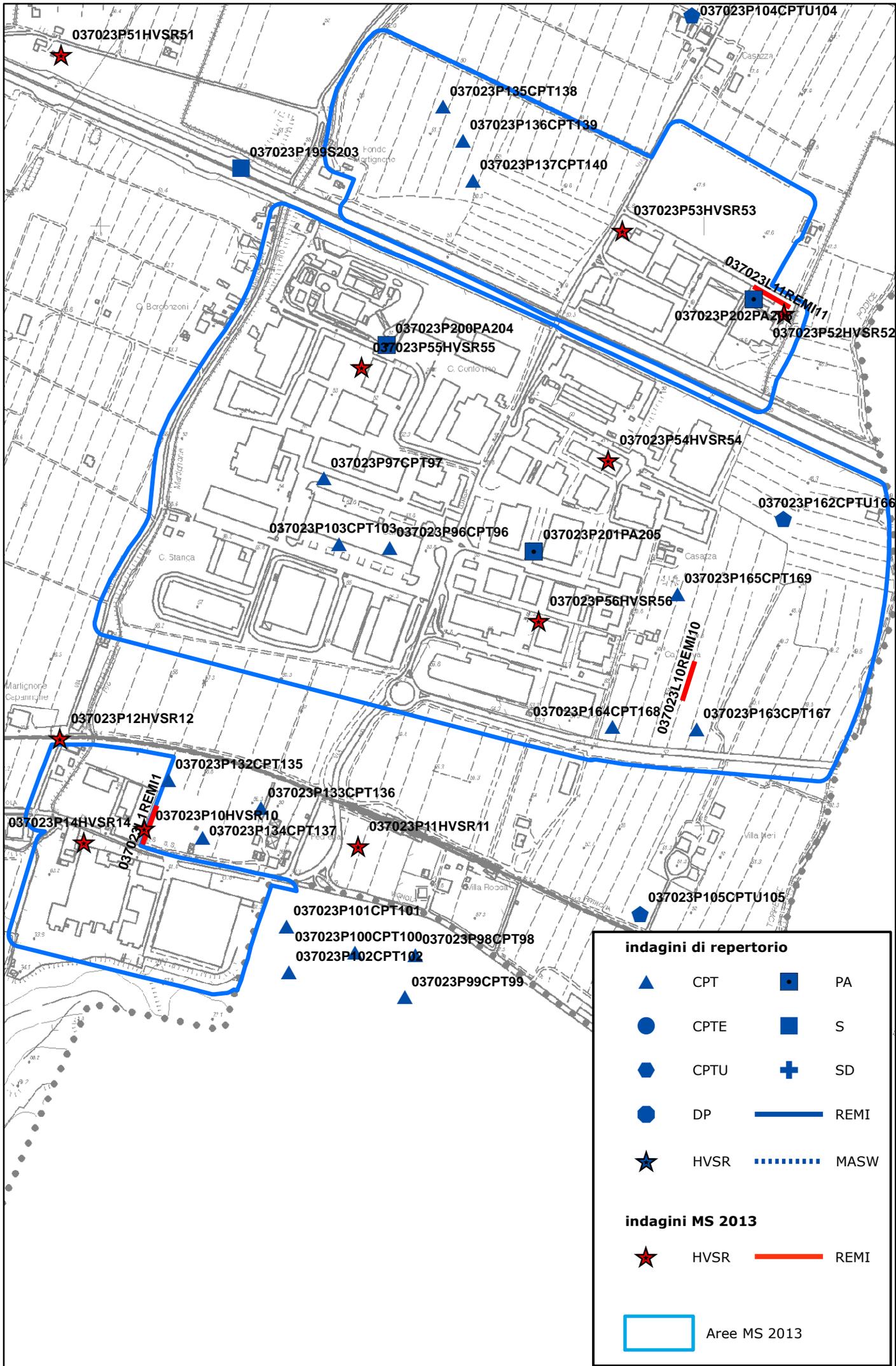


Figura 4.5 - Prove geognostiche e geofisiche di riferimento

## 5 Modello di sottosuolo

### 5.1.1 Area frazione Muffa

Per la frazione di Muffa sono note numerose indagini geognostiche, integrate da indagini geofisiche (uno stendimento Re.Mi. e registrazioni HVSR) espletate per questo lavoro. Le prove indicano come sub affioranti sedimenti alluvionali prevalentemente ghiaiosi, riconducibili all'Unità AES8, in contatto erosivo sul sottostante substrato geologico costituito dalle Sabbie Gialle (IMO3?). Lo spessore della coltre alluvionale raggiunge nel sondaggio P128S131 circa 15 metri. Lo stendimento effettuato poco a NO rispetto al sondaggio riscontra uno spessore più superficiale (coperture) di potenza circa 15 metri caratterizzato da una Vs media pari a 320 m/s, sovrastante depositi caratterizzati da un grado di rigidità e Vs tali da essere considerato bedrock sismico seppur “non rigido” (Vs comprese tra 450 m/s e 600 m/s). Le registrazioni HVSR non evidenziano, peraltro, particolari contrasti di impedenza.

### 5.1.2 Area Capoluogo

L'area Capoluogo, come evidenziato nell'inquadramento geologico dell'area, può essere suddiviso in due principali settori. Il settore più meridionale di Crespellano, situato al limite della catena affiorante, è caratterizzata da terrazzi attribuiti all'Unità alluvionale AES7, debolmente basculati verso nord (immergono verso la Pianura); le poche informazioni dirette evidenziano (es. prova P111DP111) uno spessore della coltre di circa 8 metri e costituita prevalentemente da argille con livelli ghiaiosi, che sovrastano il substrato geologico delle sabbie Gialle (IMO3?). Le registrazioni HVSR evidenziano che la più significativa amplificazione del segnale nello spettro H/V si ha a frequenze comprese tra 6÷6,8 Hz, correlabile con uno spessore delle coperture di circa 8÷10 m; le velocità di taglio nella coltre alluvionale, estrapolabili dagli esiti delle prove HVSR, indicano una Vs media pari a circa 300 m/s, coerente con altri esiti di prove geofisiche (MASW e Re.Mi.) eseguite in un simile contesto. Il sottostante bedrock sismico è peraltro da considerarsi “non rigido” (Vs =450÷600 m/s), come già evidenziato nella prova Re.Mi. espletata nella vicina località Muffa e in altre situazioni analoghe di margine appenninico bolognese.

Per quanto riguarda il settore propriamente di pianura, le indagini geognostiche di repertorio (penetrometrie e sondaggi) evidenziano sedimenti superficiali alluvionali (riconducibili all'Unità AES8) che risultano prevalentemente fini (limi e argille), sovrastanti ghiaie a matrice fine, estese lateralmente a formare un vero e proprio “sheet” ghiaioso in tutta la zona centro-occidentale del capoluogo: si tratta, con probabilità, di depositi ghiaiosi di conoide sepolta del Torrente Samoggia. Le indagini geofisiche Re.Mi. (L6REMI6; L7REMI7; L12REMI12)

riscontrano per l'intervallo più superficiale Vs medie pressoché omogenee (circa 245÷254 m/s), distribuite in un intervallo altrettanto omogeneo (coperture di spessore variabile da circa 10,3 m a 11,6 m). Le ghiaie sottostanti, sono invece caratterizzate da Vs medie di 450÷550 m/s, e vengono considerate come pseudo bedrock “non rigido) ma in grado di offrire contrasti di impedenza significativi. Anche le registrazioni HVSR confermano il modello di sottosuolo sismico sopra descritto per questa porzione di pianura urbanizzata: evidenziano le principali amplificazioni del segnale nello spettro H/V a frequenze di 5,5÷6,5 Hz, del tutto compatibili con la presenza di riflettori sismici a una profondità di circa 8÷12 metri.

Per la limitrofa frazione di Pragatto, situata poco a est rispetto al capoluogo, le indagini geognostiche di repertorio e le prove geofisiche evidenziano un riflettore sismico collocabile a circa 15÷16 metri di profondità (es. prova P188DP192), fornito ancora dal tetto di depositi ghiaiosi. Le indagini geofisiche, in particolare la prova MASW/RE.Mi. (L16MASW16) evidenzia un netto incremento delle Vs a circa -15 metri dal p.c. (con una vs media di tale intervallo pari a 229 m/s). Le registrazioni HVSR consentono di delimitare questa porzione di sottosuolo, estrapolandola anche al limite est compreso tra la via Bazzanese e la ferrovia Vignola-Casalecchio di Reno. Lo spessore considerato “copertura” è pertanto caratterizzato da sedimenti alluvionali prevalentemente fini, anche con livello ghiaioso-sabbiosi di spessore decimetrico; verso est, gli spessori granulari sabbiosi tendono a divenire più frequenti e potenti (livelli sabbiosi in falda, riscontrabili nei primi 10 metri di sottosuolo) per la presenza dell'apparato di conoide allo sbocco vallivo del Rio delle meraviglie e del Torrente Martignone. Inoltre, anche la falda risulta caratterizzata da modeste soggiacenze locali (2÷3 m), come appurato dallo studio idrogeologico espletato il Piano Strutturale di Zola Predosa (S. Sangiorgi, 2010). Sulla base dei dati geognostici di repertorio, si è potuto delimitare per l'area studiata del capoluogo, a est di Pragatto, una zona caratterizzata da depositi sabbiosi potenzialmente liquefacibili in caso di impulsi sismici, che dovranno essere oggetto di ulteriori indagini più approfondite.

### *5.1.3 Area Zone Industriali Pedretta e Via Lunga*

Anche per quanto riguarda la zona Pedretta, situata allo sbocco vallivo del torrente Martignone e da considerarsi insediata sulla sua conoide, la presenza di depositi sabbiosi poco profondi e in falda ha ineludibilmente imposto la classificazione dell'area studiata come suscettibile di liquefazioni in caso di impulsi sismici, da verificare con indagini più approfondite. Come già scritto, il Torrente Martignone è caratterizzato da un bacino idrogeologico inciso prevalentemente nell'unità geologica delle Sabbie Gialle. La facile erodibilità dei depositi sabbiosi che costituiscono il margine della catena appenninica affiorante ha pertanto comportato la deposizione di sedimenti granulari allo sbocco vallivo. In questo senso, i dati di sottosuolo di repertorio disponibili poco a est dell'area di studio

hanno evidenziato intervalli granulari significativi (spessori >60 cm) nei primi 10 m di sottosuolo.

Per quanto riguarda la Zona Industriale “Via Lunga”, situata poco a nord della località Pedretta, i sedimenti alluvionali affioranti sono riconducibili all'Unità AES8 e al terrazzo di rango inferiore e più recente AES8a (Unità di Modena) che affiora in adiacenza l'attuale alveo del Martignone. Le indagini geognostiche di repertorio più vicine all'alveo attuale del Martignone la presenza di livelli significativi di depositi sabbiosi e in falda, nei primi 10 metri di sottosuolo. La densità delle prove di repertorio (in particolare si tratta di penetrometrie CPT) ha permesso la delimitazione di una zona corrispondente alla possibile presenza di inviluppi di paleoalvei sepolti sabbiosi: tale zona è stata pertanto classificata come suscettibile di liquefazioni in caso di impulsi sismici, da verificare con indagini più approfondite. Dal punto di vista della risposta sismica semplificata, le indagini geofisiche non hanno evidenziato riflettori sismici superficiali (cioè nei primi 30÷40 metri) in grado di amplificare il moto sismico in superficie: le registrazioni HVSR hanno ricavato tracce spettrali H/V pressoché piatte, con blanda amplificazione a basse frequenze (0,7÷0,9 Hz), mentre i due stendimenti L10REMI10 e L11REMI11 hanno riscontrato rispettivamente  $V_{s30}$  pari a 267 m/s e 235 m/s. Peraltro, il pseudobedrock sismico più profondo (depositi AEI), viene collocato sulla cartografia sismotettonica regionale ad una profondità certamente inferiore a 100 metri, dato assunto anche per l'analisi dei parametri di amplificazione locale semplificata.

#### 5.1.4 Aree “Prod.1” e “Prod. 2” di Crespellano

La due aree produttive ricadono nel contesto di pianura a NE del Capoluogo, con depositi affioranti riconducibili all'unità AES8 (Subsistema di Ravenna) e attribuiti a facies interfluviale. In realtà le terebrazioni di repertorio eseguite nella porzione NO della zona produttiva evidenziano depositi prevalentemente fini (argille e limi) e poi ghiaie a una profondità di circa 15 metri. Anche le indagini geofisiche eseguite nella porzione NO evidenziano questo limite come un riflettore sismico in grado di amplificare significativamente il moto sismico in superficie: le registrazioni HVSR evidenziano, infatti, le principali amplificazioni del segnale spettrale H/V a frequenze comprese tra 4,4 Hz e 6,4 Hz (compatibili con questa profondità), mentre la prova L8REMI8 evidenzia anch'essa uno spessore di circa 15 m con  $V_s$  pari a 230 m/s. Per la restante porzione dell'area produttiva, le indagini geognostiche non evidenziano riflettori sismici superficiali e si è pertanto estrapolata una  $V_{s30}$  approssimabile a circa 250 m/s sulla base delle indagini REMI eseguite nella pianura circostante. Anche le registrazioni HVSR non evidenziano amplificazioni significative se non a basse frequenze (1,9 Hz÷2,9 Hz). Il pseudobedrock sismico più profondo (tetto dei depositi AEI), è peraltro collocato sulla cartografia sismotettonica regionale ad una profondità di circa 100 metri, dato assunto anche per l'analisi dei parametri

di amplificazione locale semplificata.

#### *5.1.5 Area frazione Calcara*

Come già scritto, il contesto deposizionale che caratterizza l'area studiata è riconducibile a facies di canale e di argine del Torrente Samoggia. I depositi alluvionali affioranti sono attribuibili prevalentemente all'Unità AES8a (Unità di Modena). Le indagini di repertorio (soprattutto penetrometrie CPT) evidenziano alternanze di limi sabbiosi e sabbie sature (in falda) più o meno limose, presenti almeno nei primi 10 metri di sottosuolo: questi intervalli risultano significativi per la propensione alla liquefazione (spessori >60 cm). La densità di informazioni di sottosuolo, ha permesso di delimitare una zona corrispondente alla possibile presenza di involucri di paleoalvei sepolti sabbiosi: tale zona è stata pertanto classificata come suscettibile di liquefazioni in caso di impulsi sismici, da verificare con indagini più approfondite. Per quanto riguarda la risposta sismica semplificata, le indagini geofisiche (Re.Mi. e registrazioni HVSR) non evidenziano riflettori sismici significativi nei primi 30÷40 metri di profondità: in particolare, le registrazioni HVSR evidenziano amplificazioni del segnale passivo a basse frequenze (da 0,6 Hz a 1,1 Hz), con alcuni blandi picchi a frequenze più elevate (3,7 Hz÷4,5 Hz circa) legati, con probabilità a paleoalvei sabbioso ghiaiosi del Samoggia, di scarsa importanza per l'amplificazione sismica locale. Ciò detto le due prove Re.Mi. eseguite nella frazione hanno determinato una distribuzione delle velocità di taglio delle onde sismiche nel sottosuolo fino a 30 metri di profondità (Vs30) rispettivamente di 188 m/s (L3REMI3) e di 223 m/s (L4REMI4). Peraltro, la cartografia sismotettonica regionale colloca il pseudo bedrock sismico più profondo (depositi AEI) ad una profondità di oltre 150 metri, dato assunto anche per l'analisi dei parametri di amplificazione locale semplificata.

#### *5.1.6 Aree frazione Ponte Samoggia e Zona industriale Via Emilia (parte Est)*

La frazione di Ponte Samoggia ricade in un contesto deposizionale molto simile a quello descritto per la frazione Calcara. Ponte Samoggia si insedia, in un contesto deposizionale riconducibile a facies di canale e di argine attribuibili al limitrofo Torrente Samoggia. Le indagini di repertorio (CPT e CPTe) evidenziano che il sottosuolo meno profondo è caratterizzato da alternanze di limi sabbiosi e argille, con sabbie limose, generalmente di spessore decimetrico. Gli esiti e il generale contesto paleogeografico e deposizionale più recente ha spinto a includere l'area studiata di Ponte Samoggia in zona potenzialmente liquefacibile se sottoposta a scuotimenti sismici rilevanti; tale effetto cosismico sarà pertanto oggetto degli ulteriori approfondimenti sismici da realizzare nell'area e finalizzati a quantificare l'effettiva propensione alla liquefazione. Per quanto riguarda la caratterizzazione della risposta sismica locale, le indagini geofisiche espletate nell'area (uno

stendimento Re.Mi. e registrazioni HVSR) consentono una prima caratterizzazione preliminare. La prova L2REMI2, che investiga i primi 35 metri di sottosuolo, non riscontra in tale intervallo strati con caratteristiche tali da risultare riflettori sismici di un certo significato; la Vs30 ricavata dalla prova risulta pari a 201 m/s. Anche le registrazioni HVSR non riscontrano particolari amplificazioni nello spettro H/V, se non a basse frequenze (0,9 Hz ÷ 1,1 Hz), imputabili a riflettori sismici molto profondi (>100 metri). In questo senso, la cartografia sismotettonica regionale colloca il pseudo bedrock sismico più profondo (depositi AEI) ad una profondità di oltre 150 metri, dato assunto anche per l'analisi dei parametri di amplificazione locale semplificata.

Per quanto riguarda l'ampia zona industriale "Via Emilia", le indagini geognostiche di repertorio confermano per la porzione centrale un contesto deposizionale recente di facies interfluviale, con depositi superficiali prevalentemente argilloso limosi, fino a profondità di almeno 7÷10 metri. A maggiori profondità si riscontrano anche corpi sabbioso ghiaiosi con molta matrice fine, per lo più isolati. Il grado di confinamento di questi corpi granulari sabbiosi e le tessiture anche ghiaiose, tendono a escludere a priori possibili fenomeni di liquefazione in caso di sisma. Per la porzione più occidentale, la scarsità di dati geognostici profondi (molte prove CPT di repertorio terminano antri i primi 10 m) non consente di esprimere con sicurezza la non liquefacibilità dei sedimenti in caso di sisma, tanto più che questa porzione di area studiata viene a ricadere in posizione più prossima all'aveo attuale del Samoggia. La porzione più orientale, e invece da attribuirsi con più certezza a un contesto deposizionale di canale e di argine, attribuibile al Torrente Martignone. In questa porzione d'area, le terebrazioni di repertorio attraversano alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose, generalmente di spessore decimetrico, e livelli sabbiosi più potenti riconducibili a paleoalvei del Torrente Martignone. Per quanto detto, la densità delle prove geognostiche di repertorio ha permesso di delimitare una zona corrispondente al limite della presenza di involucri di paleoalvei sepolti sabbiosi: questa zona è stata pertanto classificata come suscettibile di liquefazioni in caso di impulsi sismici, da verificare con indagini più approfondite. Per gli aspetti relativi alla caratterizzazione della risposta sismica locale preliminare, le numerose registrazioni HVSR eseguite in tutta la zona produttiva "Via Emilia" riscontrano significative amplificazioni del segnale sismico nello spettro H/V solamente a frequenze basse (0,8 Hz ÷ 1,1 Hz), dimostrando l'assenza di riflettori sismici importanti poco profondi, mentre la cartografia sismotettonica regionale colloca il pseudo bedrock sismico più profondo (depositi AEI) ad una profondità di oltre 100 metri, dato assunto anche per l'analisi dei parametri di amplificazione locale semplificata. Le due prove MASW di repertorio, permettono la stima della Vs30 che risultano rispettivamente di 214 m/s e 206 m/s.

## 6 Interpretazioni e incertezze

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

## 7 Metodologie di elaborazione e risultati

### 7.1 I fattori di amplificazione considerati

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

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

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

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

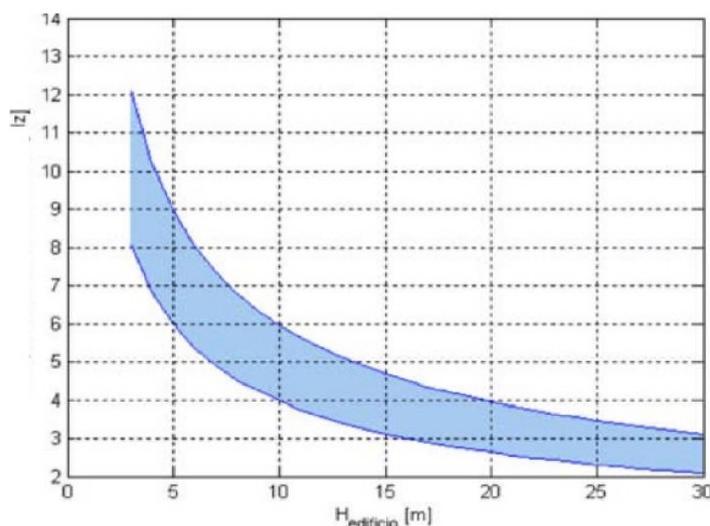
Le variabili fondamentali, da inserire nelle tabelle per la stima dell'amplificazione locale sono dunque la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e/o la profondità del bedrock sismico. La scelta del macro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

## 7.2 L'analisi del rumore sismico locale

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

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

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



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

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

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

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

## 8 Elaborati cartografici

### 8.1 Carta delle indagini

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

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

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

La <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione alla scala 1:3.000, costituisce una revisione delle cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti e in particolare della Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000 (realizzata, come già scritto, dal Servizio geologico Sismico e dei Suoli della RER). Tale revisione si è basata sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche analizzate (di repertorio ed ex novo) e sugli ulteriori rilevamenti di controllo espletati per aree di studio. Per quanto detto, si è posta particolare attenzione alla perimetrazione delle aree caratterizzate da bedrock geologico affiorante, alle coperture e alla perimetrazione di tutti gli elementi geologici e morfologici locali che si ritengono potenzialmente in grado di modificare il moto sismico. La figura 8.1 riporta lo stralcio della relativa legenda.

La cartografia riporta:

- Terreni di copertura → la tavola perimetra le aree interessate da coperture significative dal punto di vista sismico (con spessori maggiori di 2 metri), discriminate in unità litologiche in base alle prevalenti caratteristiche tessiturali medie riscontrabili nel suo spessore.

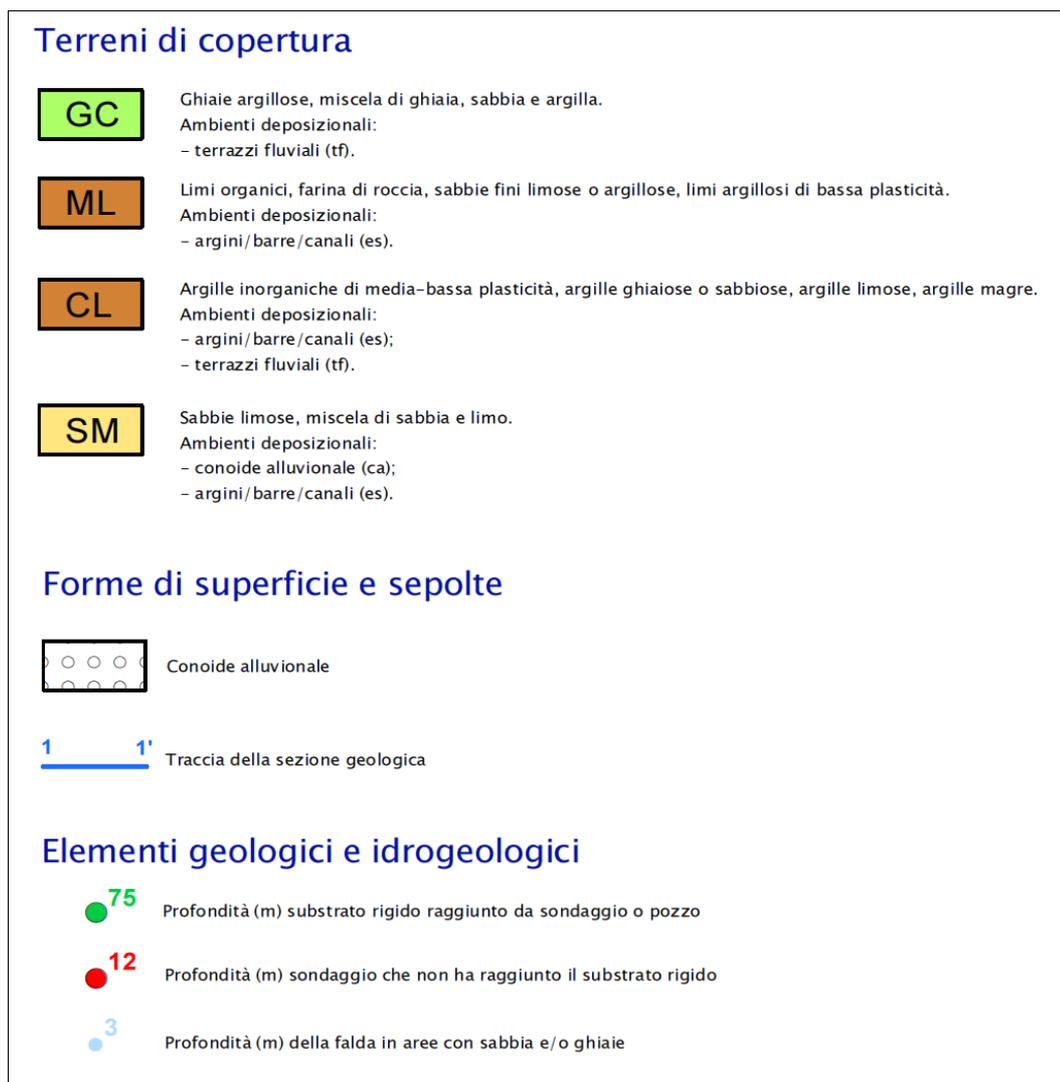


Figura 8.1 – Stralcio della legenda della <<Carta geologico-tecnica>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Crespellano.

- Forme di superficie e sepolte → riconducibili a conoide alluvionale dei corsi d'acqua secondari Martignone, Rio delle Meraviglie.
- Tracce delle sezioni geologiche → considerate di riferimento per questo lavoro, ovvero le due sezioni (nominate da 1-1' a 2-2') ricostruite per la modellazione geotecnica.
- Tracce delle sezioni topografiche → sono state elaborate tre sezioni per l'analisi delle condizioni di amplificazione morfologica (nominate da progressivamente da A-A' a C-C'), rispettivamente a Castello di Serravalle e Zappolino.
- la localizzazione delle terebrazioni che hanno raggiunto o meno il bedrock sismico.
- la localizzazione dei pozzi freatici (rilevati nel fondovalle del Ghiaie (a Castelletto di Serravalle e Bersagliera), con indicata la relativa soggiacenza (in metri) misurata della falda.

### 8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Come già scritto nel paragrafo 7.2, la <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:7.000, localizza tutti i punti di misura dei microtremiti sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSR). Ad ogni punto, nella cartografia viene indicato il valore stimato di  $F_0$  (valore del “picco” più significativo a più bassa frequenza, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale); sono anche riportate le eventuali ulteriori frequenze ove lo spettro  $H/V^{11}$  evidenzia altri “picchi” di amplificazione del segnale passivo registrato.

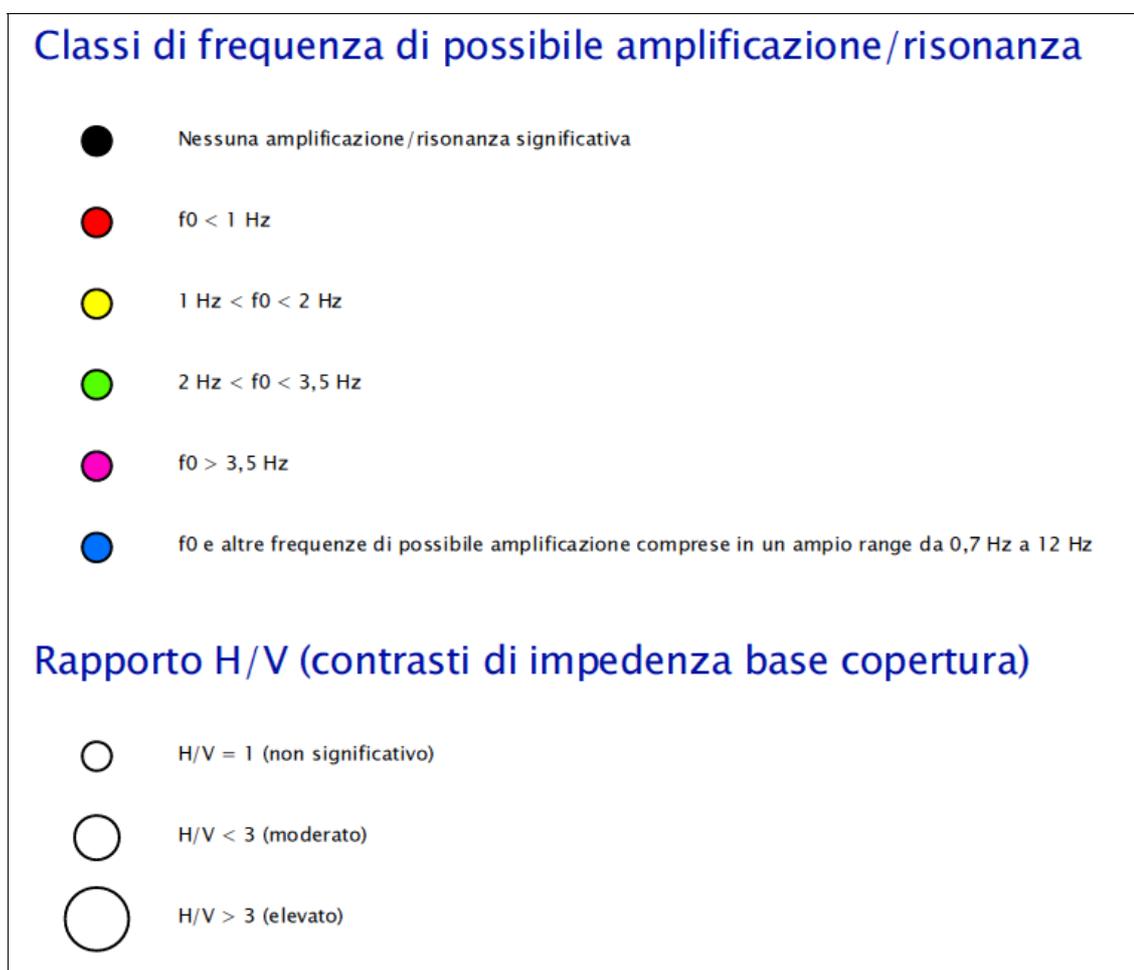


Figura 8.2 - Stralcio della legenda della <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>> elaborata per lo studio di microzonazione sismica di Crespellano.

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

<sup>11</sup> L'analisi delle prove HVSR, ha ovviamente comportato anche il controllo dell'andamento delle singole componenti spettrali registrate (N-S; E-O; up-down), in grado di fornire ulteriori elementi di valutazione delle possibili amplificazioni del moto sismico locale.

differenti):

- registrazioni senza amplificazioni significative (traccia spettrale H/V priva di picchi)
- registrazioni con  $f_0 < 1$  hz (indica la presenza di riflettori sismici profondi (oltre 50 m) e possibilità di risonanza, in caso di sisma, per edifici/manufatti molto elevati (oltre 10 piani))
- registrazioni con  $1 < f_0 < 2$  hz
- registrazioni con  $2 < f_0 < 3,5$  hz
- registrazioni con  $f_0 > 3,5$  hz (possibilità di risonanza per edifici/manufatti di modesta altezza – certamente inferiore a due piani – che rappresentano la tipologia di abitazione più diffusa)
- $f_0$  e altre frequenze di possibile amplificazione comprese in un più ampio range (da 0,7 Hz fino a circa 12 Hz)

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

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

#### **8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica**

La <<carta delle aree suscettibili di effetti locali”, elaborata alla scala 1:5.000, riporta tutte le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di Microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari per il territorio studiato di Crespellano. In questo senso, la cartografia delle MOPS distingue e classifica le aree studiate di Crespellano in “zone stabili suscettibili di amplificazioni” (ove è sufficiente un approfondimento sismico di secondo livello) e in zone “suscettibili di instabilità” (ove è invece ritenuto opportuno un ulteriore approfondimento di terzo livello).

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

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

*ZONA 2001 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2?)*

si tratta di sedimenti alluvionali recenti fini, che sovrastano alluvioni ghiaiose attribuite alla conoide del Samoggia, di potenza metrica. La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (coperture alluvionali prevalentemente fini), con VsH misurato pari a 250 m/s.

*ZONA 2002 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2?)*

si tratta di sedimenti alluvionali fini che sovrastano alluvioni ghiaiose antiche e il bedrock pelitico delle Sabbie di Imola (sigla IMO2). 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 (coperture alluvionali fini), con VsH misurato pari a 250 m/s.

*ZONA 2003 ≡ Coperture alluvionali (AES7b) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2; IMO3)*

si tratta di sedimenti alluvionali che sovrastano alluvioni ghiaiose antiche e/o bedrock pelitico costituito dalle Sabbie di Imola (sigla IMO2) e da sovrastante membro arenaceo IMO3. La morfologia è piana. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) evidenziano uno spessore significativo suscettibile di amplificazioni del moto sismico approssimabile a 10 metri (coperture alluvionali), con VsH misurato pari a 300 m/s.

*ZONA 2004 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) sovrastanti bedrock non rigido (IMO2?)*

si tratta di sedimenti alluvionali ghiaiosi attribuiti alla conoide del Samoggia, sub affioranti che sovrastano il bedrock pelitico costituito dalle Sabbie di Imola (sigla IMO2). 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 (coperture alluvionali ghiaiose e bedrock alterato?), con VsH misurato pari a 350 m/s.

*ZONA 2005 ≡ Coperture alluvionali recenti (AES8) di PIANURA 1*

si tratta di sedimenti alluvionali di pianura, attribuibili al contesto di Pianura 1 (DAL n.112/2007), con spessori complessivamente <100 metri. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) consentono di stimare per tale zona una Vs30 riconducibile a circa 250 m/s.

**ZONA 2006**  $\equiv$  Coperture alluvionali recenti (AES8; AES8a) di PIANURA2 (spessore >100 m)

si tratta di sedimenti alluvionali di pianura, attribuibili al contesto di Pianura 2 (DAL n.112/2007), con spessori complessivamente >100 metri. Le indagini geofisiche (tromografie e prove Re.Mi.) consentono di stimare per tale zona una Vs30 riconducibile a circa 200 m/s.

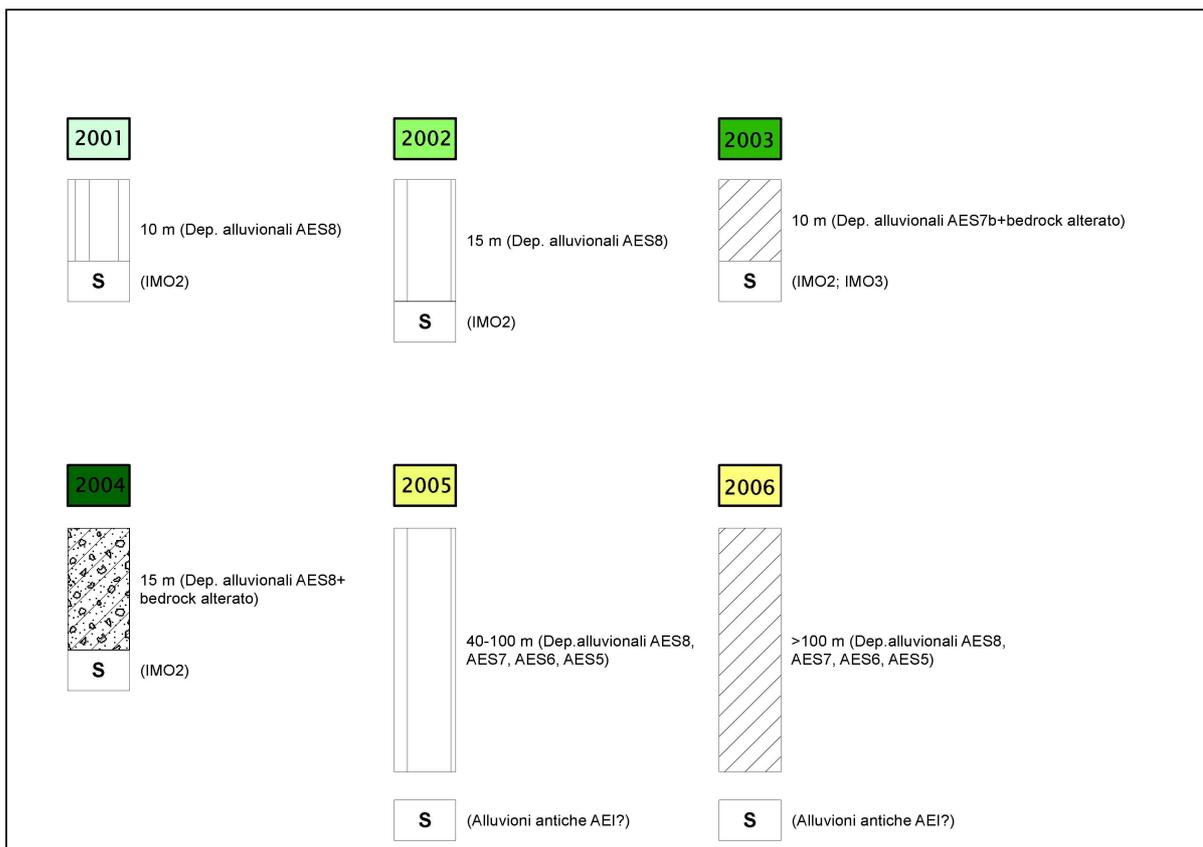


Figura 8.3 - Colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone omogenee 2001-2002-2003-2004-2005-2006.

#### 8.4.2 Zone suscettibili di instabilità

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

*Liquefazioni* → sono state distinte tre sub zone, discriminate sulla base del contesto deposizionale: "A" (intervalli significativi e poco profondi e in falda di sabbie limose e

limi sabbiosi e/o argillosi, di conoide alluvionale dei corsi d'acqua minori, questi ultimi caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle “Sabbie di Imola” e di “Monte Adone”) “B” (sabbie limose e limi sabbiosi alluvionali di argine/barre/canali e “crevasse”, in contesto di PIANURA 2 con  $V_{s30} = 200$  m/s), “C” (sabbie limose e limi sabbiosi alluvionali di argine/barre/canali e “crevasse”, in contesto di PIANURA 1 con  $V_{s30} = 250$  m/s)

## 8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ )

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

Nel caso di Crespellano, le  $V_s$  sono desunte da indagini sismiche Re.Mi. eseguite per questo lavoro e la cartografia riporta per ognuna di esse (nell'etichetta creata per ogni singola prova di riferimento) la profondità del bedrock sismico considerato e la stima della relativa  $V_{sH}$ .

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  $V_{sH}$  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  $V_s$  misurate nelle aree di studio, e in particolare nelle singole microzone omogenee dal punto di vista sismico, sono riportate nel paragrafo 8.4, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

## 8.6 Carta di Microzonazione sismica livello 2

La <<carta di microzonazione sismica livello 2>>, elaborata alla scala 1:5.000, riporta:

1. le <<zone stabili suscettibili di amplificazione>> (individuate nella carta delle MOPS), con gli esiti dell'amplificazione tramite procedura semplificata (secondo livello). L'amplificazione è stata quantificata riferendosi agli Allegati della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della regione Emilia-Romagna n.112 del 2 maggio 2007 (DAL 112/2007). Per tali aree, l'amplificazione è stata quantificata secondo i seguenti parametri FA riferiti alla superficie:
  - $FA_{PGA}$  → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza  $f$ . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento  $D$  e dal rapporto tra l'impedenza

sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;

- $FA_{SI}$  – Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, nel nostro caso si sono determinati i fattori di amplificazione per i due intervalli di frequenze, rispettivamente da  $0.1 < T_0 < 0.5$  s e da  $0.5 < T_0 < 1$  s ( $FA_{0,1-0,5s}$  e  $FA_{0,1-0,5s}$ )

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

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

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

2. Le <<zone suscettibili di instabilità>> (individuate nella carta delle MOPS), sono state anch'esse perimetrate e distinte, riportando in legenda gli approfondimenti di terzo livello richiesti. Nello specifico, si distinguono tre zone potenzialmente soggette a liquefazioni, discriminate sulla base del contesto deposizionale:

“A” (intervalli significativi e poco profondi e in falda di sabbie limose e limi sabbiosi e/o argillosi, di conoide alluvionale dei corsi d'acqua minori, questi ultimi caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle “Sabbie di Imola” e di “Monte Adone”)

“B” (sabbie limose e limi sabbiosi alluvionali di argine/barre/canali e “crevasse”, in contesto di PIANURA 2 con  $V_{s30} = 200$  m/s),

“C” (sabbie limose e limi sabbiosi alluvionali di argine/barre/canali e “crevasse”, in contesto di PIANURA 1 con  $V_{s30} = 250$  m/s).

Per queste zone, sono richiesti approfondimenti di livello 3 (verifiche di liquefazione/densificazione; cedimenti post sisma; analisi numerica di risposta sismica locale. Nella tavola si riportano i principali parametri per espletare le verifiche quantitative della liquefazione con “metodi semplificati” (prove CPTU)

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

## 9 Bibliografia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*l'uso del territorio".*

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