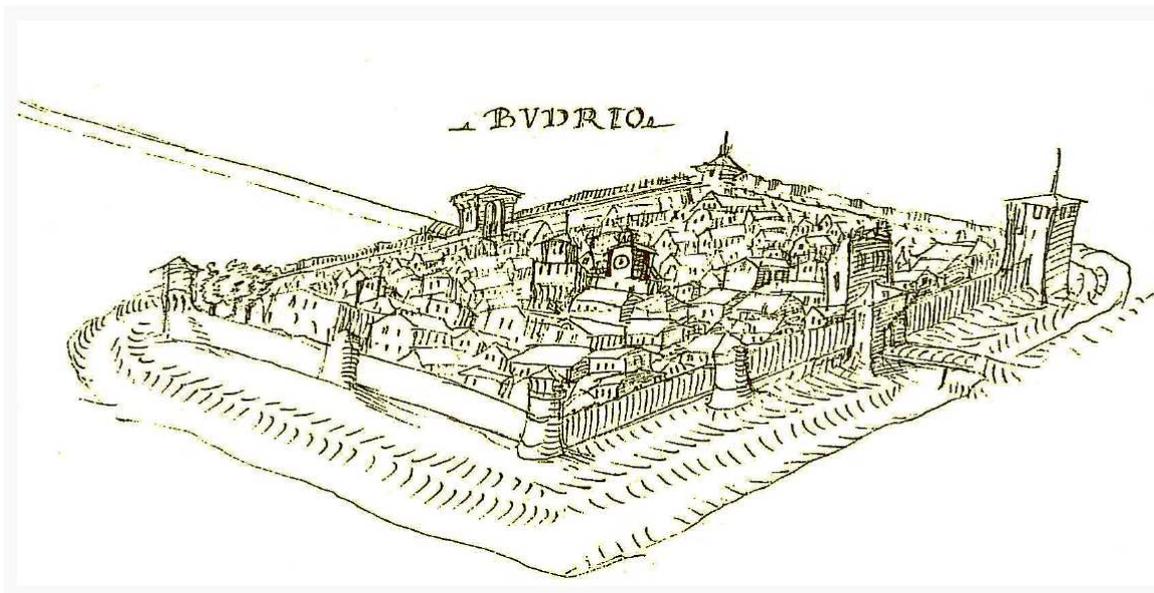




**COMUNE DI BUDRIO**  
(Provincia di BOLOGNA)

# **PSC** PIANO STRUTTURALE COMUNALE (L.R.24 marzo 2000,n.20-art.28)

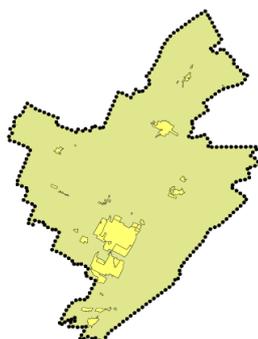


**MICROZONAZIONE SISMICA – Aggiornamento 2016 (DGR 2193/2015)**

## **Relazione sismica**

ADOZIONE: Del. C.C. n.

APPROVAZIONE: Del. C.C. n.



Il Sindaco  
Giulio PIERINI

Progettista Variante PSC  
Tiziana DRAGHETTI - Settore Sviluppo del Territorio

Supporto Tecnico:  
Servizio Urbanistica - Chiara GIROTTI Valentina BALLOTTA

STESURA settembre 2016

Elaborazione specialistica  
dr. geol. Samuel Sangiorgi dr. Geol. Antonio Milioto

 **Studio Samuel Sangiorgi**  
Geologia Applicata

## Indice generale

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUZIONE.....   | 2  |
| 1.1 Contenuti dello studio.....  | 2  |
| 1.2 Riferimenti normativi.....   | 2  |
| 1.3 Elaborati a corredo dello studio.....  | 3  |
| 2. LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....   | 4  |
| 2.1 Riferimenti bibliografici.....   | 4  |
| 2.2 Sismicità storica.....   | 5  |
| 2.3 Sorgenti sismogeniche.....   | 6  |
| 2.4 Ulteriori riferimenti della pericolosità sismica per la pianificazione territoriale.....                   | 8  |
| 2.4.1 <i>Gli studi sismotettonici del SGSS della Regione</i> .....   | 8  |
| 2.4.2 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica.....                                     | 9  |
| 2.4.3 La pericolosità preliminare elaborata per PTCP di Bologna (2013).....                                    | 10 |
| 2.4.4 Lo studio di microzonazione sismica comunale elaborato per il POC (2011).....                            | 12 |
| 3. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....  | 13 |
| 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DI RIFERIMENTO.....  | 19 |
| 4.1 Indagini di repertorio.....  | 19 |
| 4.2 Indagini eseguite per lo studio di MS comunale.....  | 19 |
| 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....   | 21 |
| 6. ELABORAZIONI E RISULTATI.....   | 24 |
| 6.1 Cenni introduttivi.....  | 24 |
| 6.2 Zone suscettibili di amplificazioni locali: i fattori di amplificazione.....                               | 24 |
| 6.3 Zone suscettibili di instabilità: liquefacibilità.....   | 26 |
| 7. ELABORATI CARTOGRAFICI.....   | 29 |
| 7.1 Carta delle Indagini.....  | 29 |
| 7.2 Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni.....  | 29 |
| 7.3 Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali.....   | 29 |
| 7.4 Carta delle Velocità delle Onde di Taglio S - Vs.....  | 30 |
| 7.2 Carte dei Fattori di Amplificazione: $FA_{PGA}$ , $FA_{0,1-0,5s}$ , $FA_{0,5-1s}$ , $FA_{0,5-1,5s}$ ,..... | 31 |
| 8. L'ARCHIVIO DELLE INDAGINI DI RIFERIMENTO.....   | 32 |
| 9. PROPOSTA NORMATIVA.....   | 33 |

ALLEGATI

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Contenuti dello studio

Il Comune di Budrio ha incaricato lo Scrivente di espletare un aggiornamento dello studio di microzonazione sismica (MS) del territorio comunale<sup>1</sup>, finalizzata all'approvazione di una variante del PSC di revisione del sistema insediativo. L'aggiornamento della MS ha consentito:

- ✓ di adeguare lo studio di MS già disponibile agli standard richiesti dagli indirizzi regionali (DGR 2193/2015) e alla normativa sismica del PTCP di Bologna (nuovo art. 6.14);
- ✓ di integrare lo studio di MS con ulteriori indagini sismiche e di predisporre un ulteriore Archivio delle indagini di riferimento;
- ✓ di adeguare/aggiornare le norme comunali in materia di rischio sismico in coerenza con le normative sovra-comunali sopra citate.

### 1.2 Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nella Delibera 2193/2015 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna, dal titolo <<Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n.112>>. Per quanto non specificato nel suddetto documento, ulteriori riferimenti tecnici e normativi per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

- ✓ "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, ottobre 2015);
- ✓ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011);
- ✓ LR 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- ✓ DM del 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- ✓ PTCP di Bologna Variante in materia di rischio sismico<sup>2</sup>. Adeguamento alla LR 19/2008. Norme di attuazione (nuovo art. 6.14 e integrazioni al Titolo 6 e all'art. 6.1).

Si rammenta che la recente DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna ha apportato alcuni aggiornamenti agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica già definiti nella DAL 112/2007. Gli indirizzi regionali per gli studi di MS risultano in tal senso più congrui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/2008); gli aggiornamenti sono inoltre derivati dalle ulteriori esperienze (oltre otto anni) di applicazione della DAL 112/2007 e dal-

---

<sup>1</sup> Il Comune di Budrio già disponeva di uno studio di microzonazione sismica alla scala comunale, elaborato in occasione della redazione del POC 2011-2016

<sup>2</sup> Variante approvata con delibera del CP n.57 del 28/10/2013

le ulteriori conoscenze scientifiche maturate a seguito degli ultimi importanti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009 e Pianura emiliana 2012).

### 1.3 Elaborati a corredo dello studio

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Budrio sono i seguenti:

- ✓ la presente Relazione Descrittiva oltre a caratterizzare e inquadrare le aree oggetto delle analisi nel contesto geologico, geomorfologico e sismotettonico regionale, descrive le metodologie seguite e illustra i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie;
- ✓ le otto tavole cartografiche elencate in tabella 1.1 e illustrate in dettaglio nel capitolo 7;
- ✓ l'Archivio delle Indagini di riferimento, elaborato in formato cartaceo come allegato alla Relazione Descrittiva e illustrato in dettaglio nel capitolo 8.

| Elaborato cartografico  | Scala    |
|---|----------|
| Carta delle Indagini (fogli 1-2)                                | 1:10.000 |
| Carta delle Frequenze naturali dei Terreni (fogli 1-2)          | 1:10.000 |
| Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali (fogli 1-2-3-4) | 1:10.000 |
| Carta delle Velocità delle Onde di Taglio – Vs (fogli 1-2)      | 1:10.000 |
| Carta dei Fattori di Amplificazione: PGA (fogli 1-2)            | 1:10.000 |
| Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,1-0,5s (fogli 1-2)    | 1:10.000 |
| Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,0s (fogli 1-2)    | 1:10.000 |
| Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,5s (fogli 1-2)    | 1:10.000 |

Tabella 1.1 – Elaborati cartografici redatti per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Budrio

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nella DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna. Oltre a tali specifiche, per la rappresentazione cartografica ci si è riferiti anche alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS (CTMS, 2015), cercando di attenersi nel modo più rigoroso possibile ai suddetti standard (tematismi rappresentati, legende e denominazioni, ma anche layout, colori e font dei caratteri), tuttavia con alcune variabili per risultare conformi con la DGR 2193/2015 e con le indicazioni riportate nell'art. 6.14 del PTCP di Bologna.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster aggiornato al 2013 elaborato dalla Regione Emilia dalla Regione Emilia Romagna (DBT scala 1.5.000).

## 2. LA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

### 2.1 Riferimenti bibliografici

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzati i dati liberamente consultabili di database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015 (Rovida et al., 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse nella finestra temporale 1000-2014
- il DBMI15 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 e provenienti da diverse fonti. È relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014 (Locati et al., 2016 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il CFTI4Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea (Guidoboni et al., 2007; <http://storing.ingv.it/cfti4med/>), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull'ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismoindotte, liquefazioni, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ad essi sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del sisma atteso, i valori di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag) e dei principali “parametri spettrali”, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica;
- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.2.0 (DISS Working Group, 2015 e Basili et al., 2008; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;
- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il Database ISIDe (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

## 2.2 Sismicità storica

Per il territorio comunale di Budrio, il DBMI15 (Locati et al., 2016) riporta 20 eventi sismici rilevanti, a partire dall'anno 1892, e con intensità macrosismiche che arrivano fino al grado VI della scala MCS (Sieberg, 1930). La figura 2.1 riporta il grafico della distribuzione temporale dei terremoti più significativi che hanno coinvolto il territorio studiato (fino al 2015) e le relative intensità macrosismiche stimate sulla base dei danni e degli effetti percepiti nel territorio in questione.



Figura 2.1– Distribuzione dei terremoti significativi per il Comune di Budrio e macrointensità stimata (fonte: INGV – Database Macrosismico Italiano 2015)

Occorre ricordare il DBMI15 non riporta gli eventi sismici che hanno coinvolto parte della pianura padana nel maggio 2012, chiaramente avvertiti dalla popolazione di Budrio ma fortunatamente senza effetti e/o danneggiamenti significativi. Si rammenta che dal 20 maggio 2012 una vasta porzione della Pianura Padana<sup>3</sup> è stata interessata da una sequenza sismica, con una prima forte scossa (di magnitudo locale ML=5.9), registrata alle ore 4:03 locali e con epicentro tra Mirandola (MO) e Finale Emilia (MO). A tale sisma sono seguite dopo pochi minuti altre due scosse importanti, la prima di ML =4,8 e la seconda di ML =5,1, con epicentro nel territorio comunale di Bondeno (FE). Successivamente, tra il 20 maggio e il 3 giugno 2012, si sono state registrate altre 5 forti scosse (ML >5), con epicentri distribuiti tra Novi di Modena (MO) e Vigarano Mainarda (FE). Tra queste, la più forte e disastrosa (ML =5.8) è avvenuta il 29 maggio 2012 con epicentro tra Mirandola (MO) e Medolla (MO). La figura 2.2 localizza gli epicentri della citata sequenza emiliana.

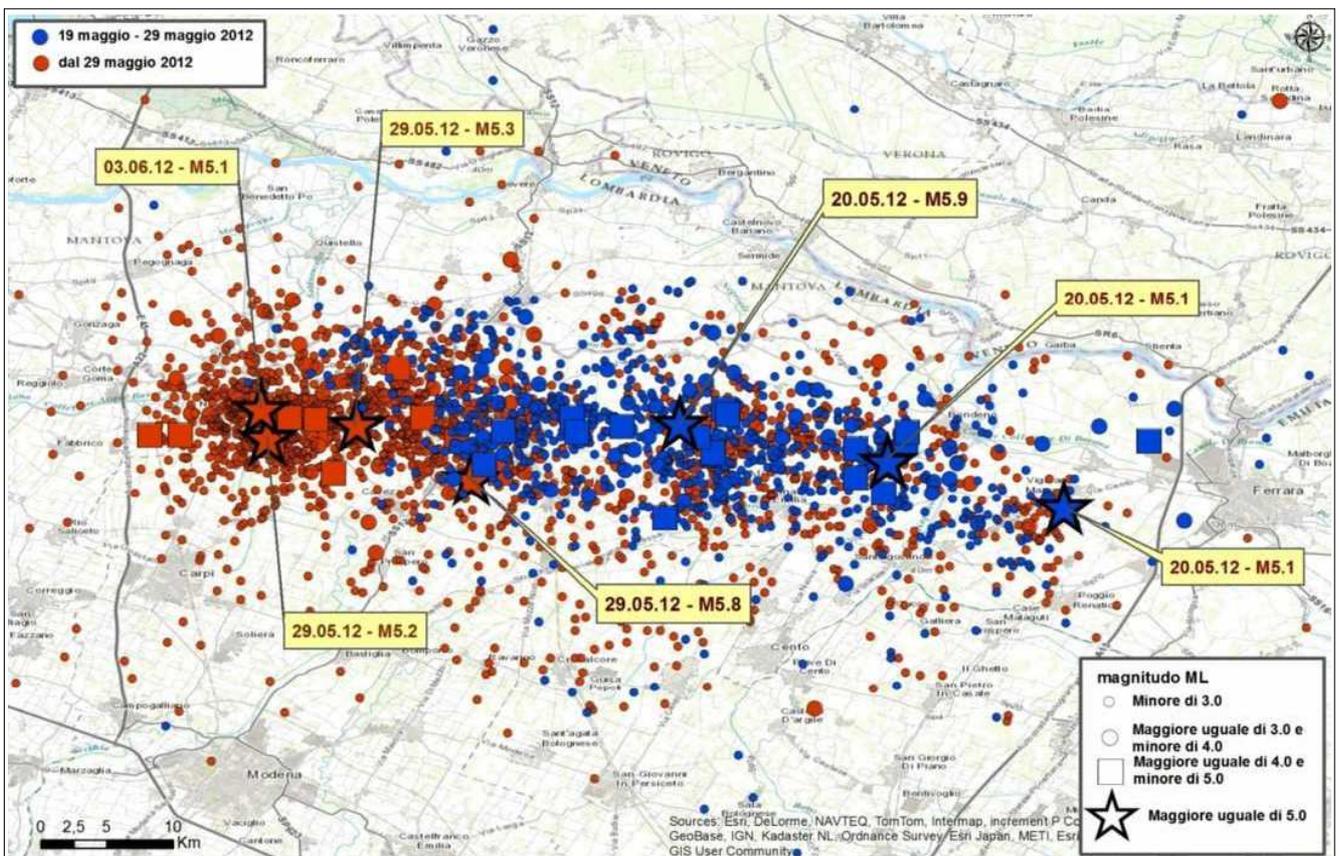


Figura 2.2 - Localizzazione degli epicentri della sequenza sismica emiliana iniziata il 19 maggio 2012 (fonte: INGV <http://terremoti.ingv.it/it/ultimi-eventi/842-terremoti-in-pianura-padana-emiliana.html>)

### 2.3 Sorgenti sismogeniche

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta nel 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Meletti e Valensise, 2004, INGV), l'area in esame ricade prevalentemente nella Zona 912 e in parte (porzione sud del territorio comunale) nelle Zone 913 e 914, tutte caratterizzate da un valore di  $M_{wmax}$  pari a 6.14 (figura 2.3).

<sup>3</sup> Compresa tra le Province di Reggio Emilia, Modena, Mantova, Bologna e Ferrara.

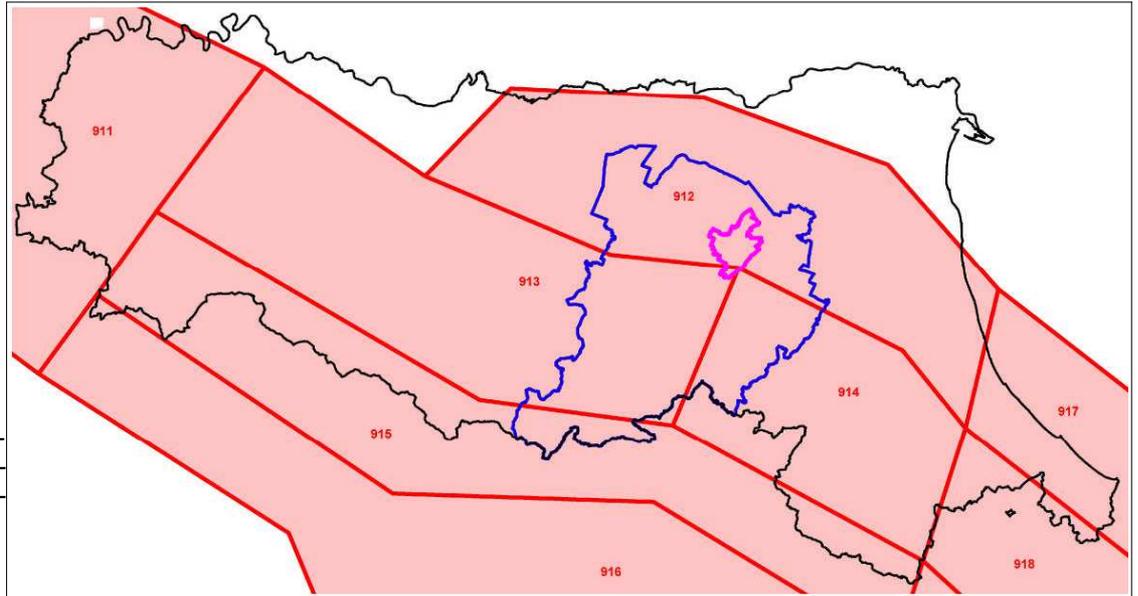


Figura 2.3 - Zonazione sismogenetica ZS9 e territorio amministrativo di Budrio

Le zone sismogeniche sopra citate, rappresentano i settori compressivi dell'arco appenninico settentrionale che si spinge fino al Po ( la zona 912 ne costituisce, infatti, la porzione più avanzata e sepolta) e sono caratterizzati prevalentemente da meccanismi di fagliazione inversa (Meletti & Valensize, 2004).

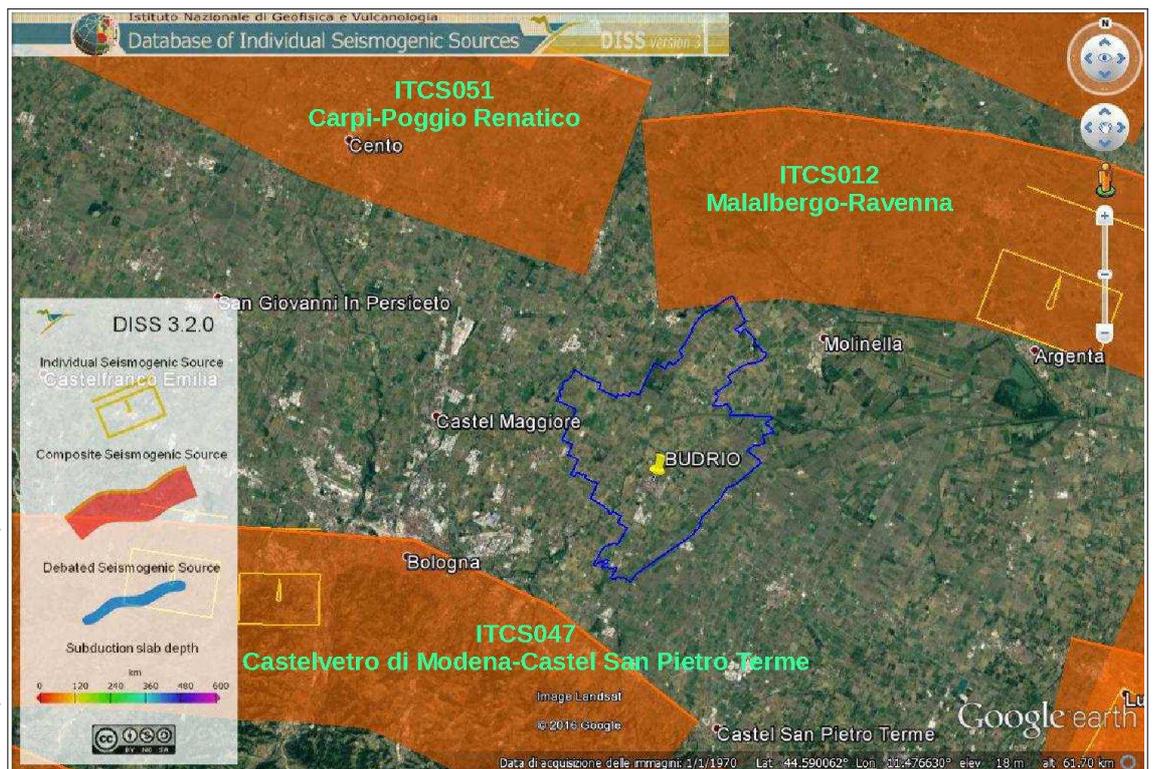


Figura 2.4 - Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.2). Foto aerea: Google Earth

La figura 2.4 riporta una sovrapposizione del Comune di Budrio con le sorgenti sismogeniche individuate nel database DISS v. 3.2. Questo fondamentale database indica la presenza delle seguenti sorgenti sismogeniche composite, che tuttavia ricadono esternamente al territorio studiato, non interessato storicamente da epicentri sismici di intensità significativa:

- ✓ la <<ITCS012 – Malalbergo-Ravenna>> lambisce a nord il territorio di Budrio ed è caratterizzata da una Magnitudo  $M_w$  max pari a 6,0. In sintesi, la sismicità è legata al fronte compressivo avanzato sepolto (pieghe ferraresi esterne), con terremoti storici (Boschi et al, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006;.. Guidoboni et al, 2007) che raramente hanno raggiunto elevate intensità e tuttavia con profondità relativamente modeste. La magnitudo della zona è infatti derivata dalle magnitudo massime attribuite ai terremoti più significativi associati a questa zona (Classe-Ravenna, 725; Argenta, 1624; bassa padana, 1796 e 1909). Le massime profondità ipocentrali che possono caratterizzare tale area si basano su considerazioni tettoniche (da 2 a 8 km circa).
- ✓ la <<ITCS051 – Carpi-Poggio Renatico>> situata più a nord-ovest (esterna al territorio di Budrio), questa fascia sismogenetica attraversa la parte del territorio bolognese di nord orientale e modenese ed è caratterizzata da una Magnitudo  $M_w$  max pari a 6,0. Anche per questa sorgente composita, la sismicità locale è data prevalentemente dall'attività delle faglie compressive delle "Pieghe Ferraresi" (Pieri & Groppi, 1981): questo sistema di pieghe-faglie ha dato origine alle due principali dorsali sepolte ("interne" ed "esterne") che descrivono un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica e che si spinge fino ed oltre il Po ferrarese (Bigi et al., 1990). Queste dorsali sepolte, sono il risultato dell'attività di faglie inverse (thrust) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (backthrust) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali (Martelli, 2014). Gli eventi sismici della pianura emiliana del 2012 sono risultati la conseguenza della riattivazione di un segmento di questa sorgente sismogenetica.
- ✓ la <<ITCS047 – Castelvetro di Modena – Castel San Pietro Terme>> che interessa i territori appenninici e pedeappenninici situati più a sud (esterna al territorio di Budrio), con una magnitudo stimata di  $M_w = 6,0$  e derivata dalle magnitudo dei terremoti più significativi bolognesi (1505 e 1929) e modenese (1399).  
La più vicina sorgente sismogenetica individuale nota è denominata "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).

## 2.4 Ulteriori riferimenti della pericolosità sismica per la pianificazione territoriale

### 2.4.1 Gli studi sismotettonici del SGSS della Regione

Il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso, ha pubblicato nel 2004 la <<Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna>>. Questa cartografia, editata alla scala 1:250.000, riporta i fondamentali elementi di caratterizzazione sismotettonica della regione, gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo  $M > 4$  (figura 2.5), 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 è tuttavia non recentissima, basata sulla catalogazione nazionale dei terremoti CPTI (aggiornata al 1999); nel territorio di Budrio non risultano epicentri storicamente noti.

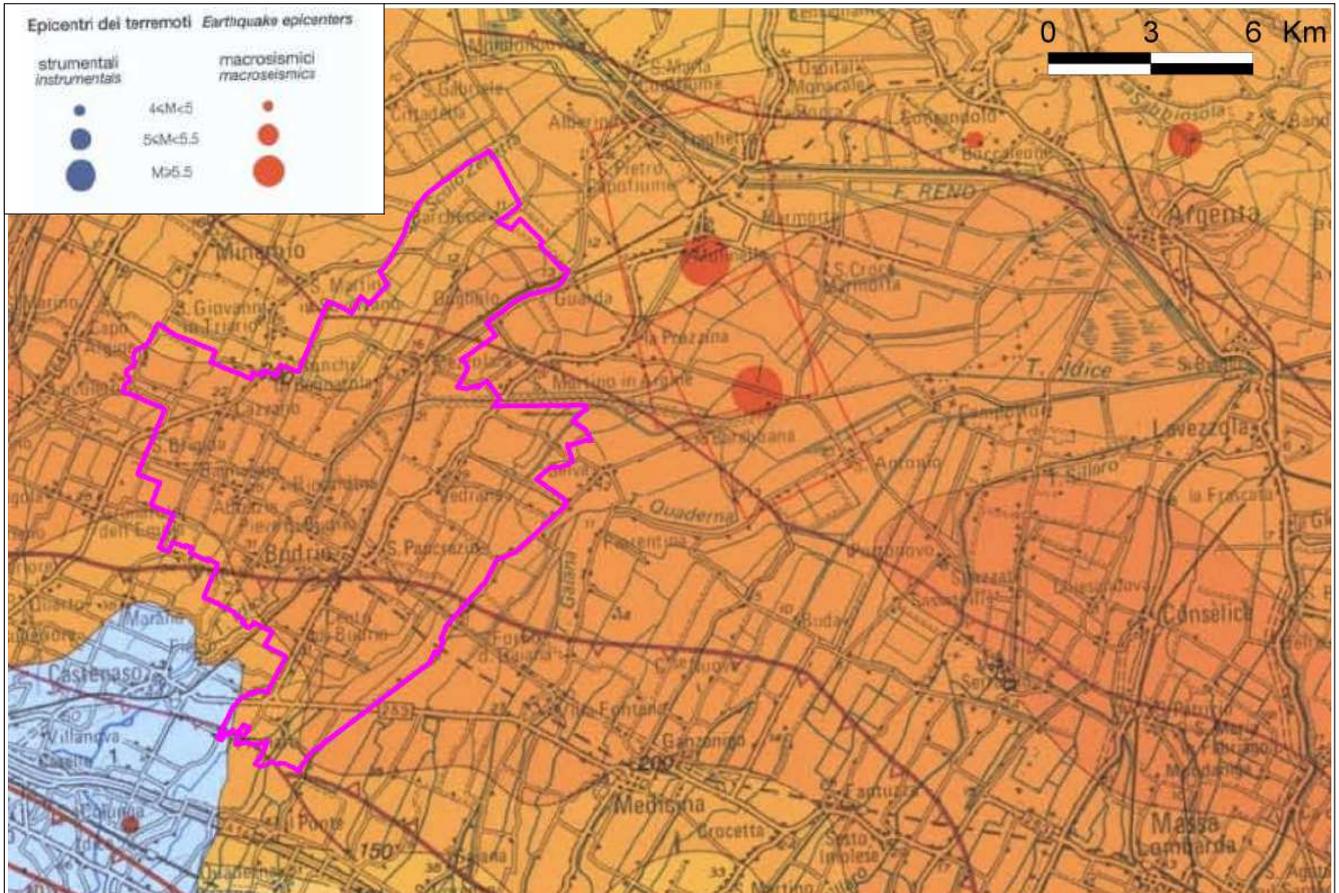


Figura 2.5 – Sovrapposizione del territorio comunale di Budrio con la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004). Si riporta uno stralcio della legenda relativamente alla classificazione degli epicentri dei terremoti strumentali di  $M_w > 4$  e l'epicentro dei più significativi effetti macrosismici. La fonte regionale è il catalogo parametrico nazionale dei terremoti storici (CPTI, 1999)

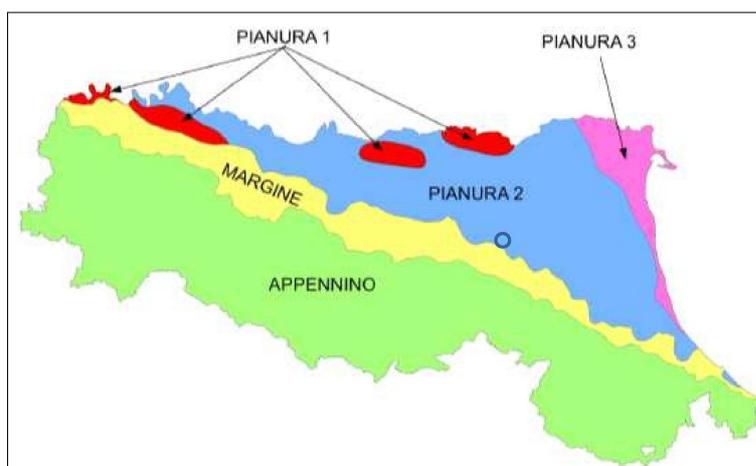
#### 2.4.2 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica

La Regione Emilia-Romagna ha elaborato e 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 LR n.20/2000 «Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio». Questi indirizzi regionali per la microzonazione sismica, sono stati elaborati sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale negli ultimi 40 anni circa, assumendo come riferimento la “pericolosità di base” elaborata da INGV e recepita a livello nazionale con l'OPCM 3519/2006.

Con la recente approvazione della DGR 2193/2015, la Regione Emilia-Romagna ha introdotto ulteriori aggiornamenti agli indirizzi riportati nella DAL 114/2007. Questa parziale revisione prende quale riferimento anche le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/1/2008), le ulteriori esperienze scientifiche seguite ai recenti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009; pianura emiliana del 2012) e, infine gli oltre otto anni di applicazione della DAL 112/2007. In sintesi, le principali novità contenute nella la DGR 2193/2015 consistono:

- ✓ nelle rimodulazioni degli abachi di microzonazione sismica da considerarsi per le analisi semplificate (“livello 2”);
- ✓ nella definizione di un ulteriore parametro di amplificazione riferito all'intensità spettrale di Housner (per l'intervallo di periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s);
- ✓ nella definizione dell'input sismico (ag al sito di riferimento) che ora è definito in base ai valori di pericolosità sismica elaborati dall'INGV per tutto il territorio nazionale sui punti di una griglia di passo pari a 0,05° (reticolo analogo a quello previsto per le NTC 2008);
- ✓ nell'obbligo di predisporre cartografie delle frequenze naturali dei terreni a scala territoriale e a supporto del “primo livello” di approfondimento;
- ✓ nello stralcio dell'obbligo degli approfondimenti di “livello 3” per la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico (in quanto tali verifiche sismiche saranno espletate ai sensi delle NTC vigenti, con input di pericolosità sismica di base che dovranno tenere conto delle condizioni di progettazione “non ordinaria”).

Gli indirizzi RER forniscono gli elementi essenziali per espletare gli studi di pericolosità sismica secondo i tre “livelli” di approfondimento, inoltre tabelle e formule propedeutiche alla valutazione semplificata dell'amplificazione locale (microzonazione sismica di “secondo livello”), in funzione dei macrocontesti geologico sismici contemplati nell'Allegato 2 (figura 2.6).



*Fig. 2.6 – Scomposizione schematica del territorio regionale relativa ai macrocontesti geologico sismici di riferimento per gli studi di MZS di livello 2 (DGR 2193/2015). Nel cerchietto blu è localizzabile il territorio di Budrio*

#### 2.4.3 La pericolosità preliminare elaborata per PTCP di Bologna (2013)

La Provincia di Bologna (ora Città Metropolitana di Bologna) ha recentemente proceduto all'elaborazione degli studi di pericolosità sismica preliminare di tutto il territorio amministrativo competente, ai sensi della DAL 112/2007. Gli esiti di tali studi sono contenuti nella <<Variante al PTCP in materia di Rischio Sismico>><sup>4</sup>. In sintesi, la Provincia di Bologna ha elaborato la nuova Tavola di Piano, denominata “TAV. 2.C – Rischio sismico – Carta degli effetti Locali Attesi”, alla scala 1:25.000 per quanto riguarda i Comuni della collina e montagna e alla scala 1:65.000 per i Comuni di pianura. Tale tavola costituisce il primo livello di approfondimento sismico richiesto dalla DAL 112/2007, identificando gli scenari di pericolosità sismica locale dell'intero territorio provinciale. La Tavola 2.C fornisce anche le prime indicazioni sui limiti di programmazione e/o sulle condizioni richieste per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale verso ambiti meno esposti a pericolosità sismica.

<sup>4</sup> La variante è stata approvata con delibera del C.P. n.57 del 28/10/2013.

La figura 2.7 mostra uno stralcio della TAV. 2.C del PTCP che comprende il territorio comunale di Budrio, con indicati i principali abitati e/o nuclei produttivi: si evince come gran parte del tessuto urbanizzato/urbanizzabile ricada nella macrozona omogenee definite come “L1” (potenzialmente soggetta a liquefazioni). Altre macrozone risultano la “C” e la “A” (territorio comunale meridionale). Per le definizioni delle macrozone sismiche si rimanda alla legenda della figura 2.7, nonché alla Tav. 2.C.

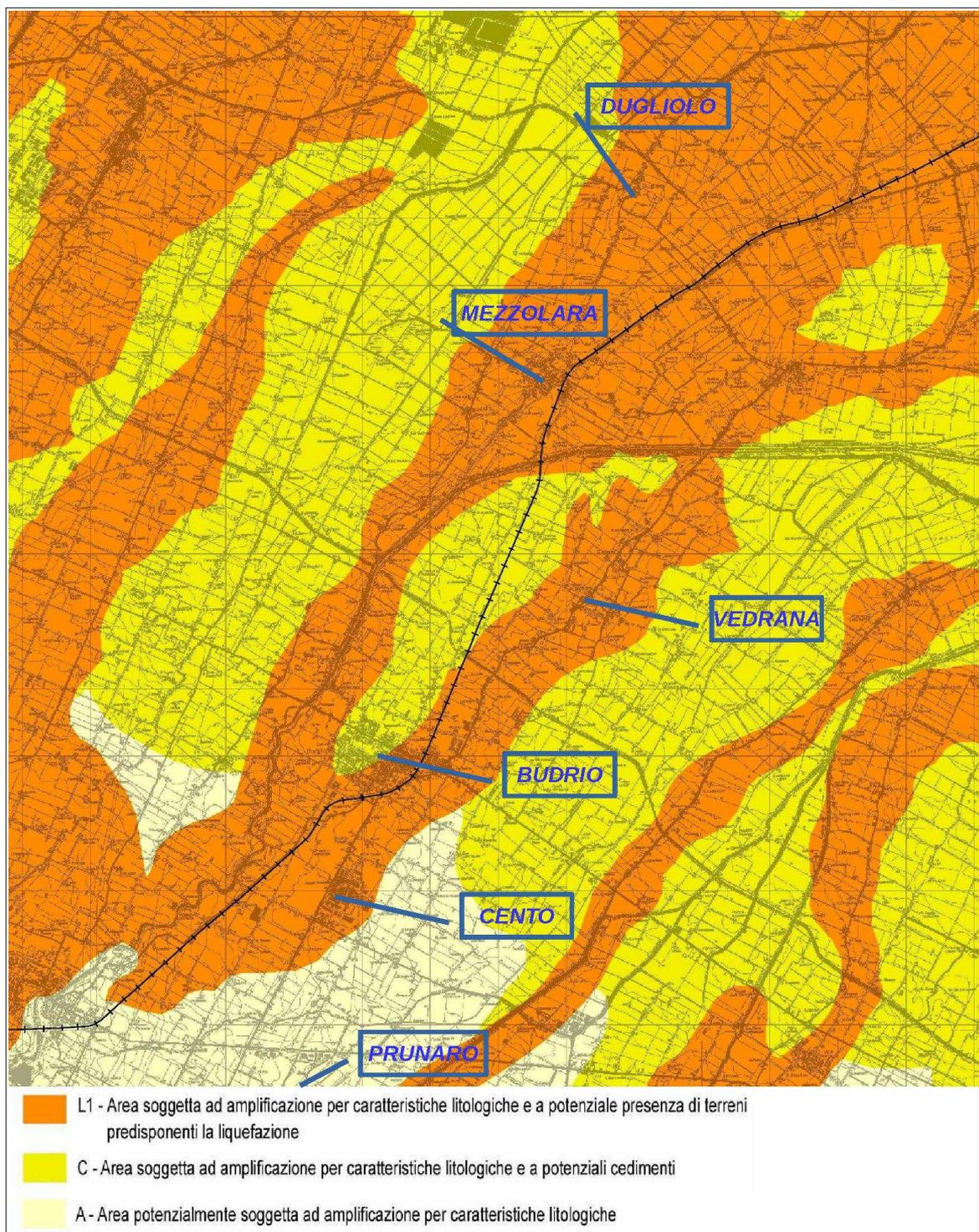


Figura 2.7 – Stralcio della Tavola 2C “Rischio Sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali” (elaborato del PTCP di Bologna, scala 1:65.000)

#### 2.4.4 Lo studio di microzonazione sismica comunale elaborato per il POC (2011)

Il Comune di Budrio già dispone di uno studio di microzonazione sismica del territorio urbanizzato/urbanizzabile, redatto dallo Studio scrivente nel 2011 come elaborato integrativo del POC comunale 2011-2016. Lo studio di MS 2011 è stato elaborato ai sensi della DAL 112/2007, tuttavia sintetizzando gli esiti nella Relazione descrittiva e in un'unica cartografia alla scala 1:5.000<sup>5</sup>. Lo studio del 2011 ha permesso, sulla base degli esiti di specifiche indagini eseguite e delle prove geognostiche e geofisiche di repertorio, di elaborare una cartografia di microzonazione sismica di “secondo livello” del territorio urbanizzato/urbanizzabile. L'analisi dei dati di sottosuolo ha consentito anche un approfondimento relativamente ai possibili effetti locali indotti da sisma e in particolare della risposta sismica locale (elaborando un modello numerico di risposta sismica locale per il Capoluogo) e della propensione alla liquefazione/addensamento e dei cedimenti post sisma dei sedimenti granulari e poco coesivi, (con alcune verifiche numeriche). Lo studio di MS 2011 ha inoltre consentito di redigere indirizzi normativi finalizzati allo svolgimento degli ulteriori approfondimenti geologici e sismici (fasi di PUA e permessi di costruzione) nel territorio comunale.

La figura 2.8 mostra uno stralcio della cartografia di MS 2011: tale elaborato riporta (con differenti simboli, retini e colori) la localizzazione delle indagini geognostiche e geofisiche di riferimento, la perimetrazione delle aree suscettibili di liquefacibilità e i fattori di amplificazione delle aree studiate.

È da rammentare che lo studio di MS 2011 è stato elaborato precedentemente alla <<Variante al PTCP in materia di Rischio Sismico>> e tuttavia ha consentito di individuare ampie aree con evidente propensione alla liquefacibilità.

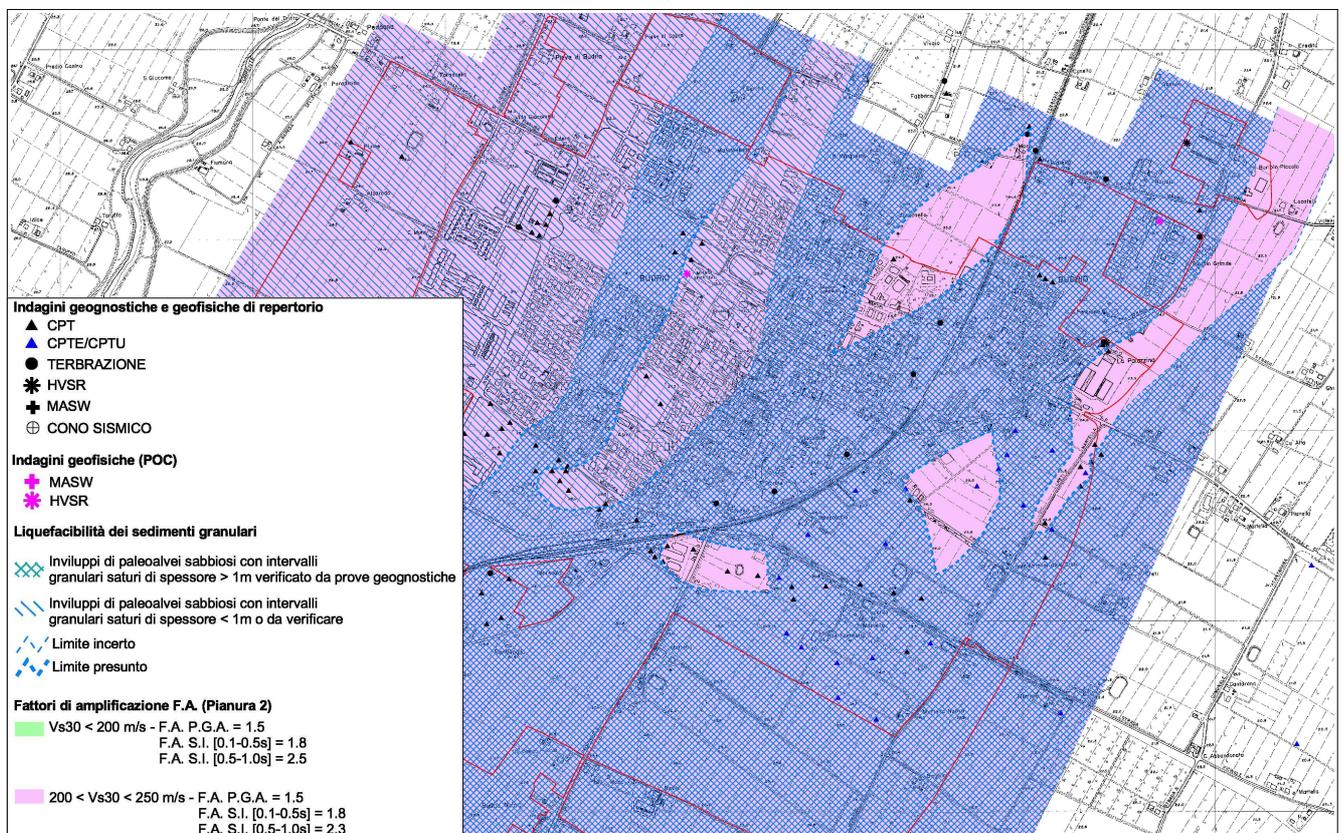


Figura 2.8 – Stralcio “Tav. MZ a Microzonazione sismica” elaborata per il POC 2011-2016 (scala 1:5.000)

<sup>5</sup> Sono state redatte due tavole di Microzonazione sismica alla scala 1:5.000 (MZa e MZb) al fine di comprendere il Capoluogo e le frazioni.

### 3. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista tettonico (figura 3.1), il territorio di Budrio si colloca in zona di “fronte” appenninico sepolto nella Pianura Padana (AGIP 1977, 1981, 1982; Boccaletti et al., 1985, 1987; Bally et al., 1986; Castellarin & Vai, 1986; Castellarin et al., 1992; Pieri, 1992; ecc.), che costituisce la propaggine più settentrionale della catena appenninica che sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano veneta (Boccaletti et al., 2004).

Le strutture sepolte mostrano un andamento NW-SE, sostanzialmente parallelo alla retrostante catena in affioramento, ed è costituita al suo interno da archi strutturali piuttosto simmetrici e simili tra loro, costituiti (nell'area di interesse e in tutta la parte orientale della Pianura Padana) da un insieme di pieghe e faglie inverse NE-vergenti e ad alto angolo.

La strutturazione dell'Appennino emerso è avvenuta principalmente in età neogenica ( Miocene superiore-Pliocene inferiore), mentre la principale attività tettonica del suo fronte deformato e sepolto è prevalentemente attribuita al Pliocene medio-superiore e Quaternario.

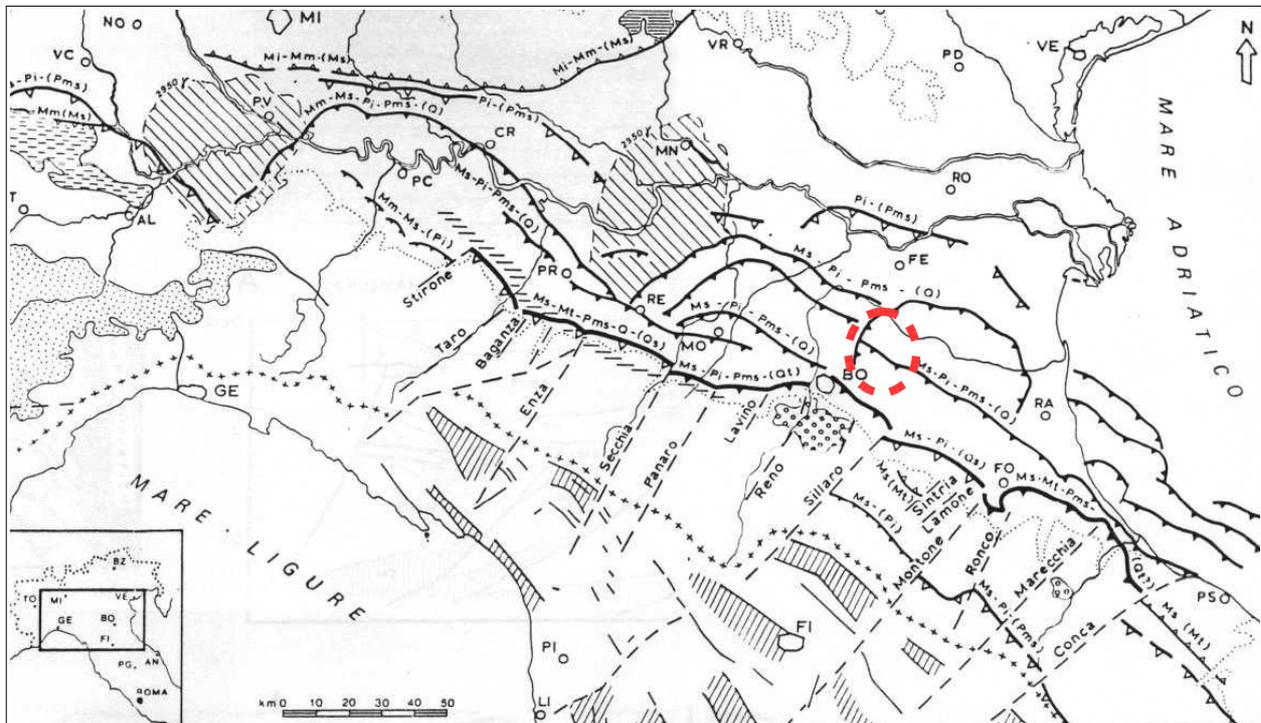


Figura 3.1 – Schema strutturale del fronte compressivo dell'Appennino settentrionale e ricostruzione temporale delle fasi tettoniche principali (da Castellarin et al., 1985). L'area di studio è compresa nel cerchiato rosso

Il territorio di Budrio ricade nella blanda sinclinale compresa tra le “Pieghe Pedeappenniniche” (a sud e più prossime alla catena appenninica) e il settore orientale dalla “Dorsale Ferrarese Interna”; quest'ultima è un'ampia struttura anticlinale nord-vergente estesa tra Reggio-Emilia e la costa adriatica, caratterizzata da un massimo sollevamento tra Novi di Modena e Medolla, noto come Alto di Mirandola”.

Le dorsali del fronte appenninico sepolto sono il risultato dell'attività di faglie inverse (thrust) la cui attività è iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e con piano di scorrimento immergente verso sud. Sono riscontrabili anche strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (backthru-

st), di attivazione più recente e che interessano soprattutto gli orizzonti meno profondi. La figura 3.2 propone un ulteriore e più recente schema delle strutture tettoniche sepolte nella pianura padana.

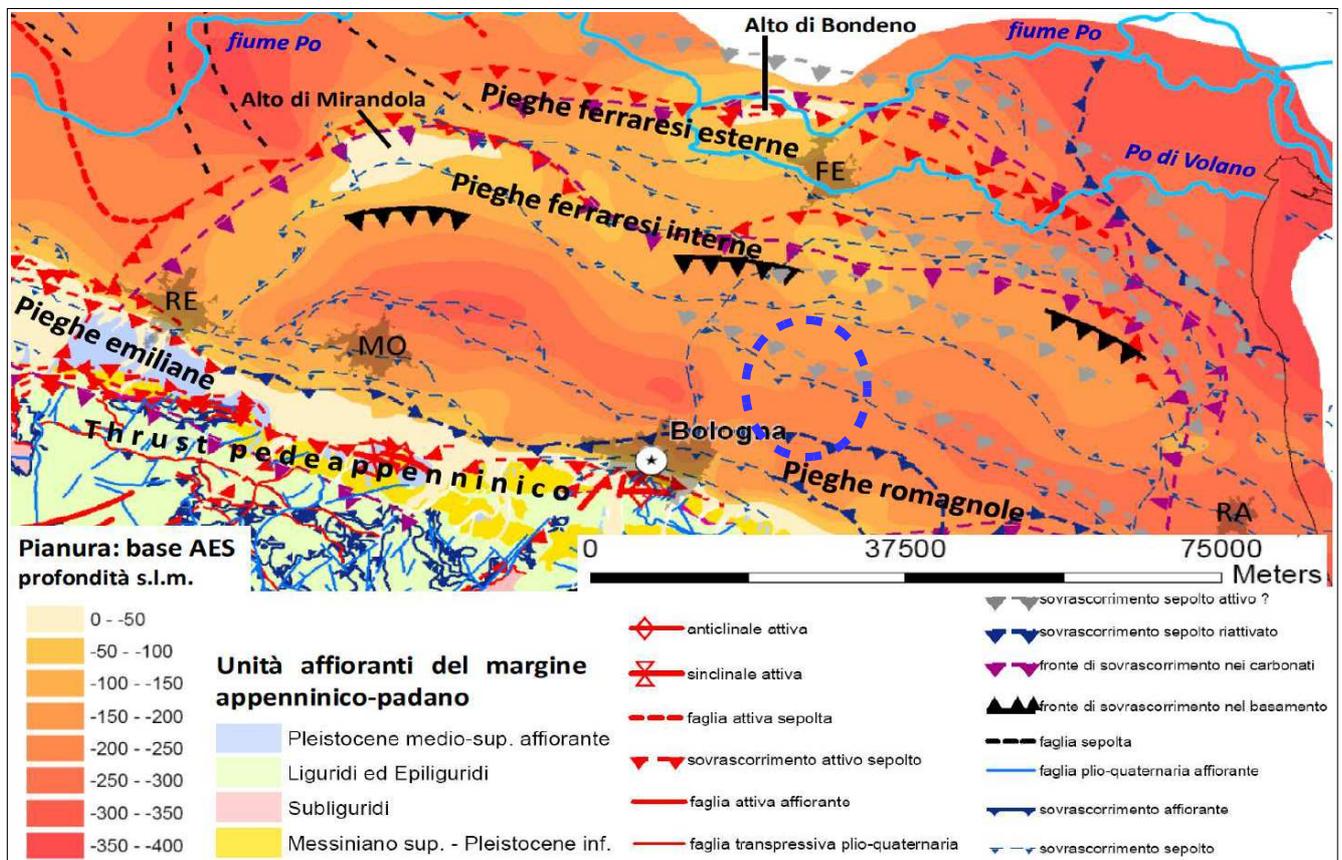


Figura 3.2 – Schema tettonico della pianura emiliana (L.Martelli, 2011). L'area di studio è localizzata nel cerchio blu

Nell'area di studio, le strutture tettoniche del fronte appenninico sono sature da depositi di età più recente (coltre alluvionale del Quaternario), sovrapposti ai depositi marini plio-pleistocenici. La coltre alluvionale è prevalentemente caratterizzata da alternanze di sabbie, limi e argille (in funzione delle evoluzioni delle facies deposizionali dominanti), di età Pleistocene medio-Olocene e principalmente attribuibili ai corsi d'acqua Savena e Idice. Questi depositi alluvionali sono inoltre riferibili a due principali e successivi cicli deposizionali:

- il "Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore" (AEI), che costituisce lo spessore di alluvioni più profonde e sovrapposte ai depositi marini plio-pleistocenici (di età compresa da circa 0,7 Ma a circa 0,45/0,4 Ma);
- il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), di età compresa da 0,45/0,4 Ma all'attuale (RER & ENI-Agip, 1998).

Nella pianura padana, lo spessore complessivo dei depositi alluvionali è fortemente variabile, in funzione della morfologia delle strutture tettonizzate sepolte: studi RER & ENI-Agip (1998) hanno evidenziato come, nelle aree di sinclinale, la coltre alluvionale superi anche i 500 metri, mentre nelle aree di anticlinale si hanno potenze decisamente inferiori ai 100 metri. Come già anticipato, il territorio studiato è situato su una blanda sinclinale compressiva retrostante la struttura plicativa ferrarese interna. Nell'area studiata, la base del Sintema AES viene stimata da circa -175 m (settore nord del territorio comunale) a circa -220 m (settore centrale), come sintetizzato nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (RER & CNR, 2004) e come si evince dalla strati-

grafia profonda estrapolata dalle sezioni geologiche pubblicate e consultabili anche on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della RER (figura 3.3).

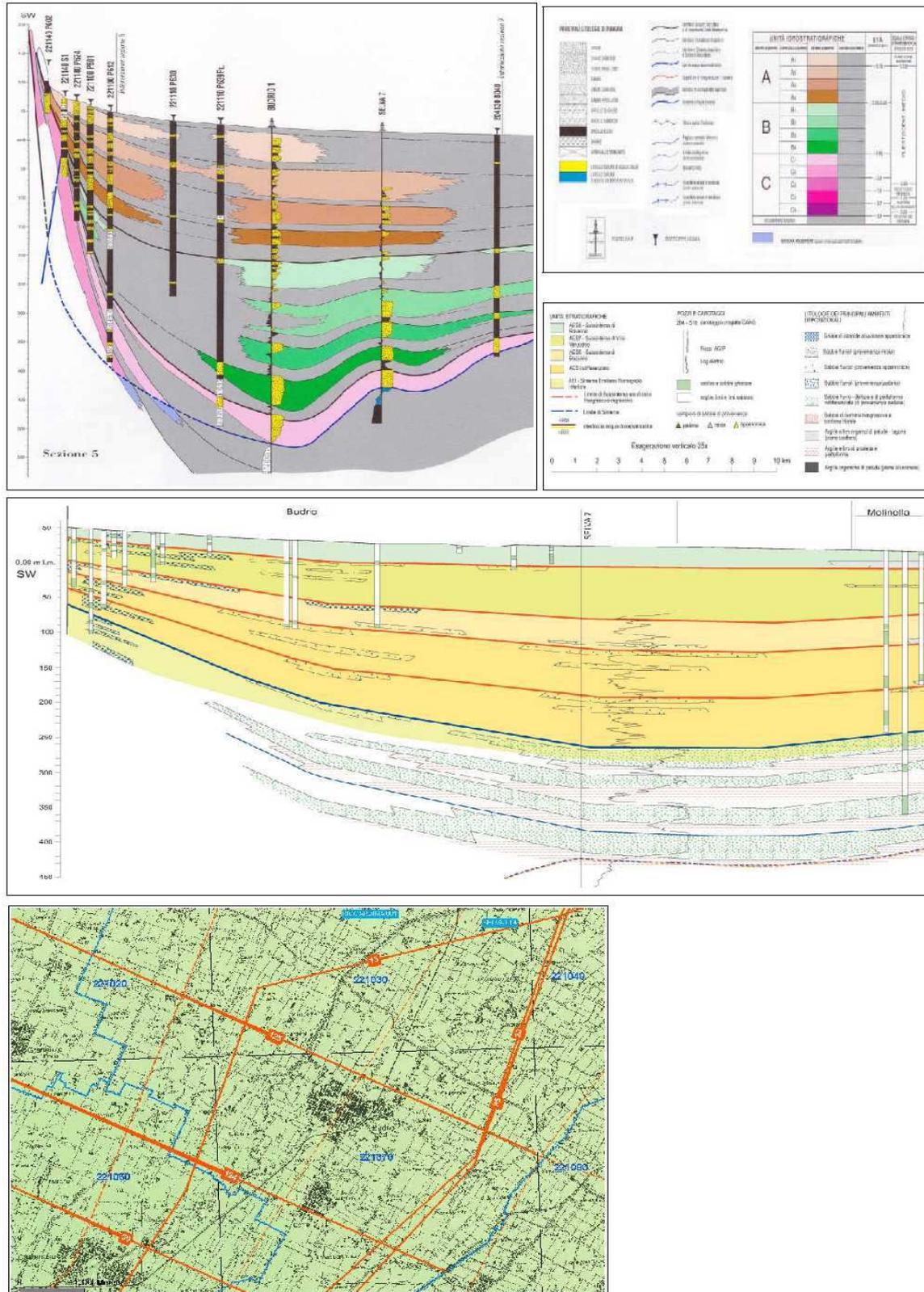


Figura 3.3 – Sezioni geologiche di riferimento: n. 28 e n.95 (fonte: sito SGSS Regione Emilia-Romagna)

In generale, le indagini effettuate, compresi i più recenti studi di microzonazione sismica, espletati dal SGSS regionale nei Comuni emiliani che hanno sofferto i maggiori danneggiamenti a seguito degli eventi sismici del maggio 2012<sup>6</sup>, mostrano come, dal punto di vista geofisico, il sottosuolo della pianura presenti differenze laterali generalmente minime, almeno fino alla profondità di 50-60 metri, mentre nelle zone di alto strutturale, le alluvioni più profonde e antiche (e in particolare il sistema AEI) sono interessate da lacune stratigrafiche e da spessori ridotti, confermando, sostanzialmente, il quadro conoscitivo già sintetizzato nella cartografia sismotettonica regionale.

Per quanto riguarda il sottosuolo meno profondo, il territorio comunale di Budrio ricade in un contesto deposizionale sub-affiorante riconducibile a “depositi di argine, canale e rotta fluviale” prevalentemente attribuibili ai corsi d'acqua Savena/Idice (principali apparati distributori) e a corsi minori (es. Quaderna), ai quali si frappongono le zone morfologicamente più depresse e caratterizzate da facies deposizionale di attribuibile a depositi fini di “piana inondabile” (“interbacino”), come schematizzato nella figura 3.4.

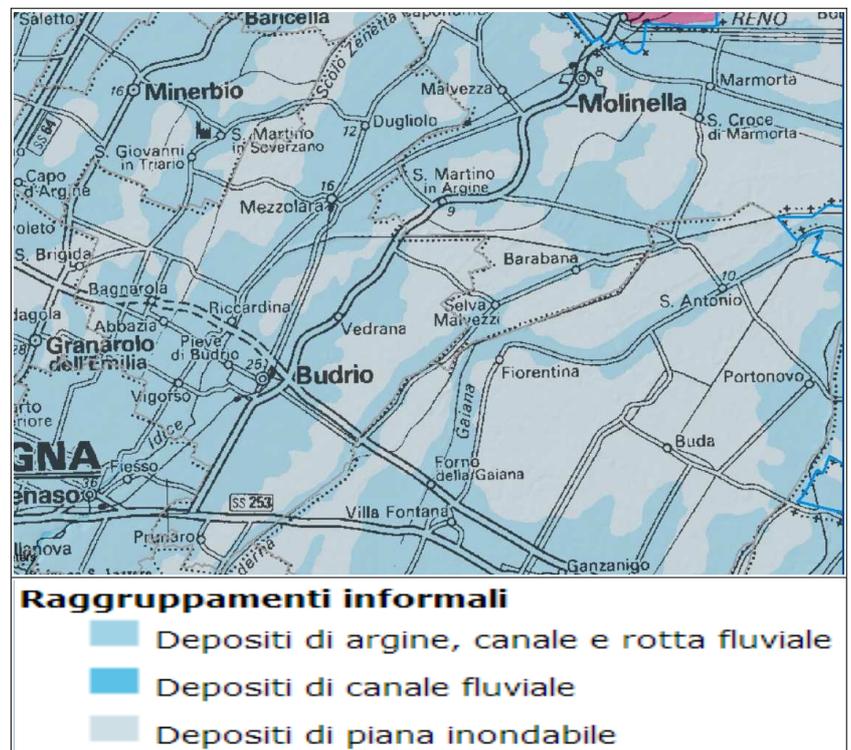


Figura 3.4 – Geologia di sintesi (fonte: cartografia interattiva pubblicata nel sito internet del SGSS regionale)

Il territorio di Budrio ricade nel Foglio 221 della Carta Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna (Progetto CARG) e secondo tale cartografia i sedimenti sub-affioranti sono riconducibili alle unità AES8 (“Subsistema di Ravenna”) e alla sua unità più recente AES8a (“Unità di Modena”) di età deposizionale dall'attuale al Pleistocene-Olocene (<14.000 anni). Si tratta di depositi costituiti da sabbie, limi e argille, mentre i corpi ghiaiosi sono praticamente assenti nell'area di studio, ad esclusione del settore più meridionale, località Prunaro. Lo spessore medio del subsistema alluvionale AES8 è di circa 15÷20 metri e di geometria relativamente tabulare nell'area di studio. La cartografia geologica alla scala 1:50.000 riporta tracce di paleoalvei sabbiosi prevalentemente riconducibili all'Idice e al Savena, sui quali, come già scritto, si insedia la maggior parte dei nuclei abitati storici.

<sup>6</sup> Studi di microzonazione sismica elaborati in ossequio all'Ordinanza del Commissario delegato – Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012.

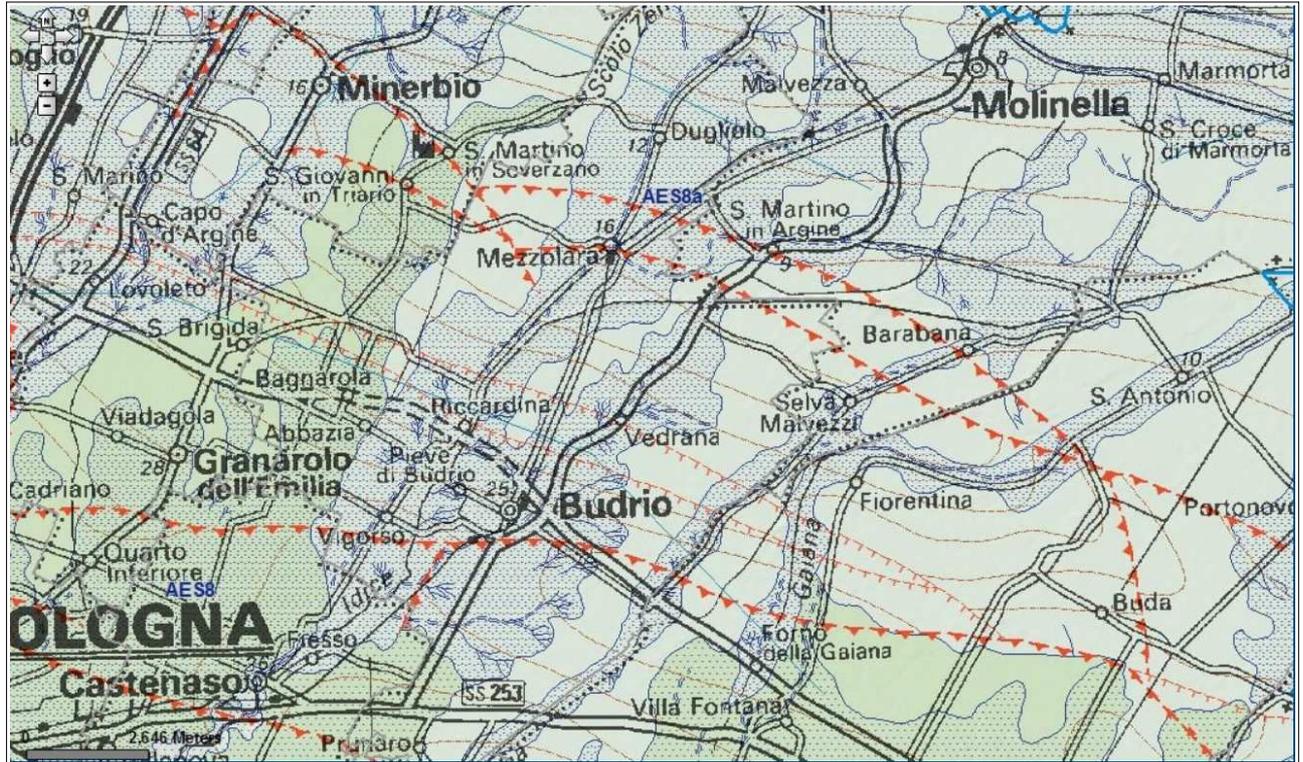


Figura 3.5 – Cartografia geologica alla scala 1:50.000 (fonte: cartografia interattiva pubblicata nel sito internet del SGSS regionale)

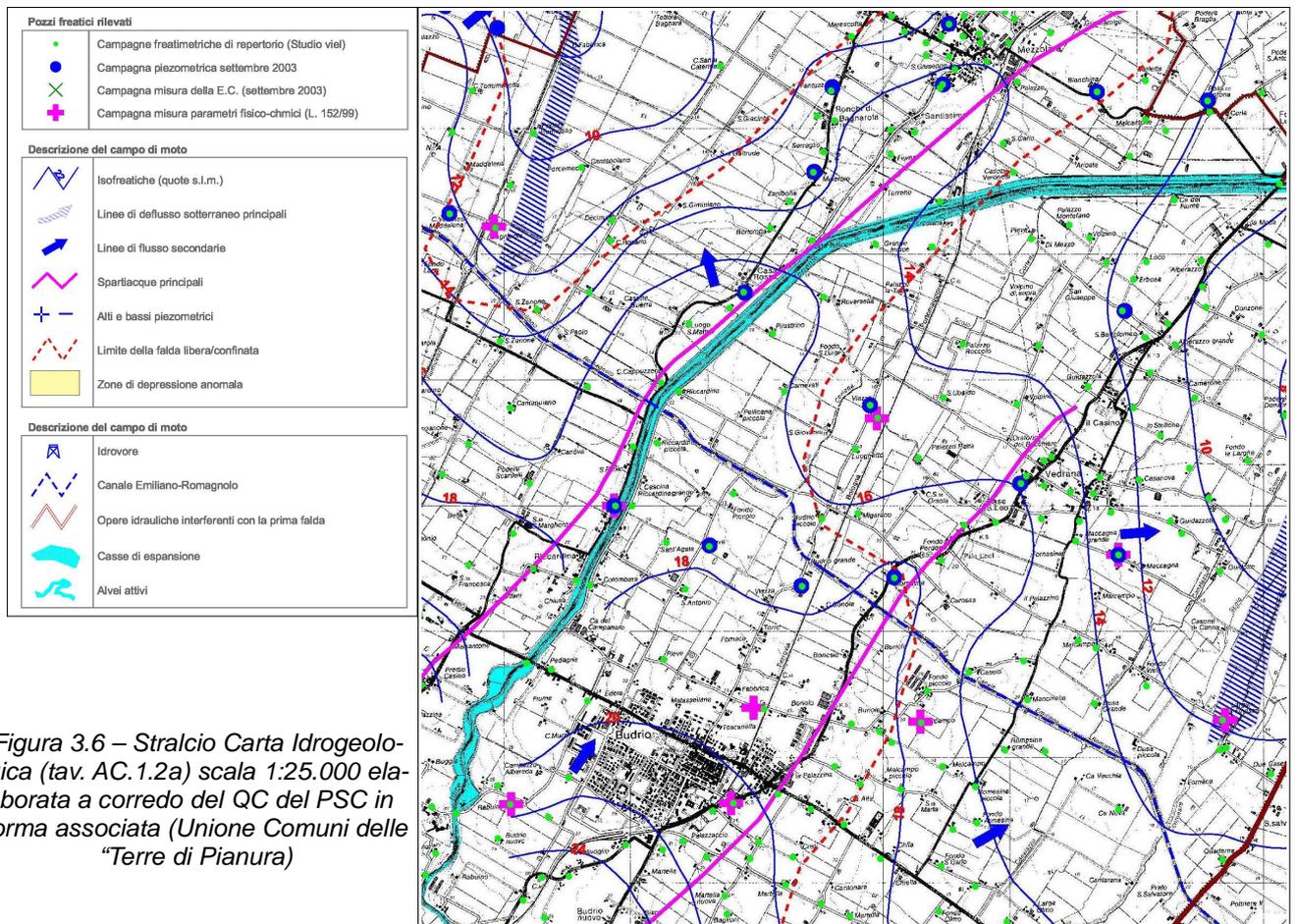


Figura 3.6 – Stralcio Carta Idrogeologica (tav. AC.1.2a) scala 1:25.000 elaborata a corredo del QC del PSC in forma associata (Unione Comuni delle "Terre di Pianura")

Nel Capoluogo, i sedimenti superficiali sono ascrivibili all'Unità più recente AES8a, la cui deposizione è riconducibile ai sovralluvionamenti che hanno interessato gran parte della Pianura Padana in epoca post romana e in particolare la deposizione più recente è principalmente riconducibile all'attività trattiva dell'Idice (con paleoalvei e depositi di "crevasse" attribuiti al XIII secolo d.C.) e con spessori che possono raggiungere localmente i 5÷10 metri. Le tessiture sono anch'esse variabili da sabbie e limi ad argille (figura 3.5).

Per gli aspetti idrogeologici generali, si rimanda alle analisi riportate nella Relazione Geologica elaborata a corredo del QC del PSC in forma associata e inoltre alla Carta Idrogeologica<sup>7</sup> (figura 3.6) che ricostruisce la tavola d'acqua sotterranea (tetto dell'insieme delle prime falde) sulla base di rilievi delle soggiacenze in pozzi freatici nel territorio dell'Unione Terre di Pianura. In sintesi, si evince un generale deflusso sotterraneo verso NE, con un evidente alto piezometrico che funge da spartiacque in corrispondenza delle strutture granulari sepolte (paleoalvei dell'Idice) che si sviluppano verso NE e in particolare da Cento e Budrio verso Mezzolara. Le soggiacenze della prima falda sono generalmente comprese tra 1 m e 3,5 metri, con variabilità locali governate dal reticolo idrografico (compresi scoli e canali di bonifica) che la alimenta per infiltrazione da subalveo e laterale e, come già scritto, anche dall'assetto morfologico locale (alti morfologici in presenza dei principali paleoalvei). Nella zona Capoluogo, a titolo d'esempio, le soggiacenze medie sono stimabili in circa 2,5÷3,0 metri.

---

<sup>7</sup> Tavola AC.1.2a scala 1:25.000

## 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DI RIFERIMENTO

### 4.1 Indagini di repertorio

I dati di sottosuolo pregressi sono desunti dal riordino dalle indagini già di riferimento per le analisi geologiche elaborate per il Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Associato. In particolare le indagini di repertorio sono state recuperate:

- ✓ dalla Banca Dati Geognostica della Regione Emilia-Romagna (pubblicate nel sito internet del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli regionale – SGSS –);
- ✓ dall'archivio comunale del Comune di Budrio (Relazioni Geologiche a indagini a corredo di Varianti e Piani Particolareggiati).

La prove di repertorio risultano numerose soprattutto nell'intorno del Capoluogo e comprendono anche prove penetrometriche con punta elettrica CPTE/CPTU, oltre che terebrazioni e prove prove geofisiche (alcune registrazioni HVSR e stendimenti sismici MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) eseguite a ovest della frazione Mezzolara. È infine da menzionare la una penetrometria con puntale sismico SCPT eseguita a sud del Capoluogo (località Villa Loup) e spinta fino a circa 30 metri di profondità. Le prove geofisiche hanno consentito di stimare la Vs equivalente nei sedimenti attraversati, risultando molto utili per la caratterizzazione sismica e per l'elaborazione della micro zonazione semplificata.

Le indagini geognostiche e geofisiche di riferimento sono riportate nella Carta delle Indagini (figura 4.1), distinguendole per principale tipologia. Le prove d'archivio comunale e le indagini eseguite per gli studi di MS, sono state inoltre etichettate per consentire la consultazione dei relativi report nell'Archivio delle Indagini elaborato a corredo dello studio di microzonazione sismica (cfr. Capitolo 8). Per le prove recuperate nella Banca Dati della RER, si rimanda invece alle informazioni pubblicate e consultabili anche on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.

### 4.2 Indagini eseguite per lo studio di MS comunale

Il territorio urbano/urbanizzabile di Budrio è stato ulteriormente investigato da specifiche prove geognostiche e geofisiche, eseguite dallo Studio scrivente per l'elaborazione degli studi di microzonazione sismica relativa al POC (studio di MS 2011) e, successivamente, anche per le aree di interesse pubblico individuate dal RUE (Sangiorgi, 2012). Per questo ulteriore aggiornamento, si è reso indispensabile eseguire altre cinque registrazioni dei microtremori sismici (HVSR) in alcune frazioni ancora sguarnite di informazioni sismostratigrafiche. In sintesi per lo studio di MS comunale sono state complessivamente eseguite le seguenti indagini:

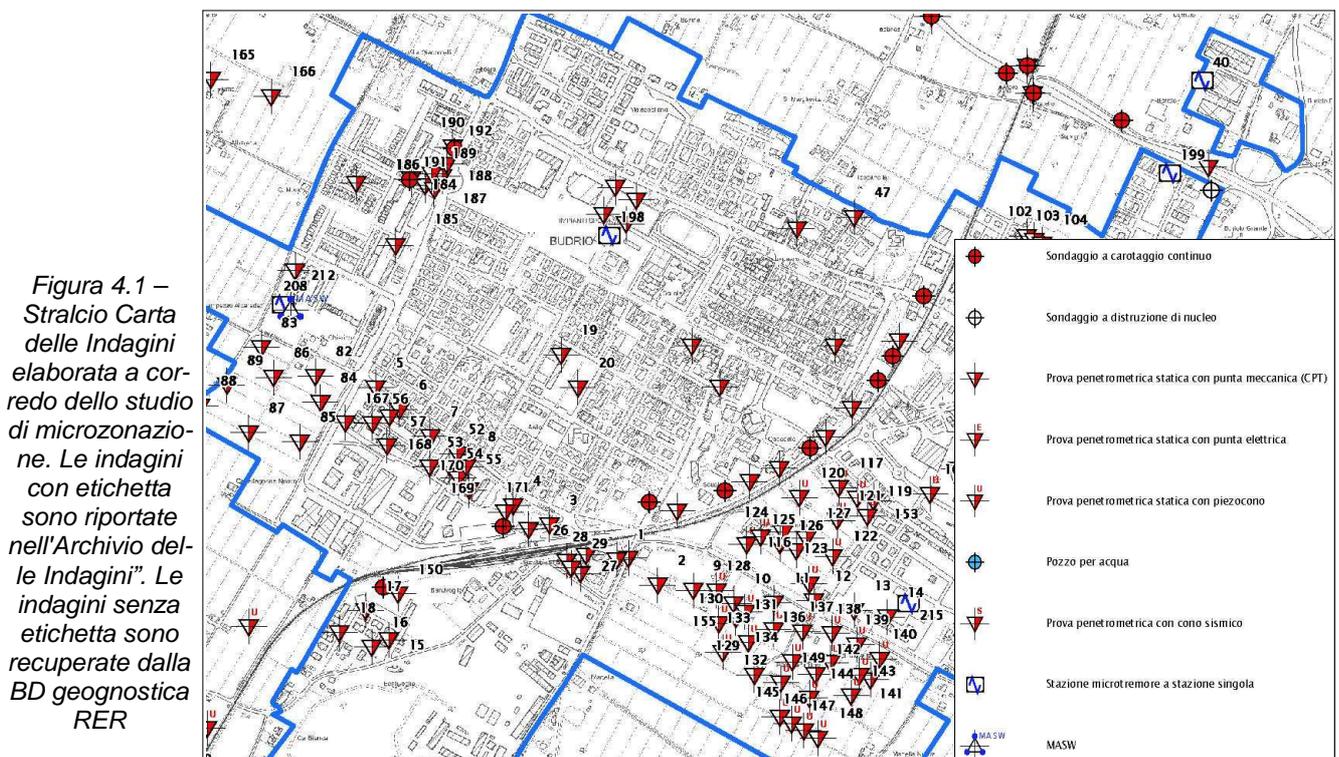
- n. 2 stendimenti sismici attivi MASW
- n. 25 registrazioni sismiche HVSR
- n. 1 penetrometria con punta elettrica CPTE

Gli **stendimenti sismici MASW** (Multi-channel Analysis of Surface Waves) sono stati eseguiti rispettivamente nel Capoluogo e più a nord nella frazione di Dugliolo. Tali indagini hanno consentito la stima della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (Vs), necessaria per la classificazione sismica del sottosuolo. La

MASW è una metodologia non invasiva che utilizza le onde di Rayleigh, componente principale delle onde superficiali, e per questo poco soggetta ai rumori ambientali; l'analisi delle onde S viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma. La strumentazione utilizzata è composta dal sismografo e 24 geofoni da 4.5 Hz. Le **registrazioni sismiche HVSR** sono state eseguite con strumentazione digitale portatile a stazione singola. Lo strumento dispone di tre canali di acquisizione connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione, in grado di misurare le componenti della velocità di ogni strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V. L'elaborazione del microtremore misurato, fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), risultando efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza  $f_r$  del sottosuolo  $f_r = V_s/4 \cdot H$  con H = spessore dello strato. Queste indagini prevedono misure puntuali e speditive da cui è possibile ricavare indirettamente informazioni sulla profondità dei riflettori sismici avendo a disposizione punti di controllo di taratura (dati geognostici e geofisici). Forniscono, pertanto, un ulteriore supporto alla interpretazione stratigrafica ed alla stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di sottosuolo investigato. Inoltre, consentono la stima delle frequenze di vibrazione del terreno e una preliminare analisi delle possibili "doppie risonanze" con i manufatti di progetto. L'acquisizione dati è avvenuta attraverso registrazioni della durata di 14 minuti e passo di campionamento pari a 128 Hz.

È stata inoltre eseguita una **penetrometria con punta elettrica (CPE)** nella frazione Mezzolara, spinta fino a rifiuto, cioè a -17,7 metri. Le prove penetrometriche (in particolare quelle elettriche) consentono di ricavare ottime informazioni tessiturali e meccaniche del sottosuolo investigato, fornendo elementi di valutazione importanti anche ai fini della pericolosità sismica locale (amplificazione e propensione alla liquefazione).

Le indagini eseguite per gli studi di MS sono riportate nella Carta delle Indagini (figura 4.1), distinguendole per principale tipologia. Sono state inoltre etichettate per consentire la consultazione dei relativi report nell'Archivio delle Indagini elaborato a corredo dello studio di microzonazione sismica (cfr. Capitolo 78).



## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Tra gli obiettivi principali della microzonazione sismica vi è senz'altro quello di definire con maggior dettaglio il bedrock sismico di riferimento e inoltre le caratteristiche sismostratigrafiche dei sedimenti sovrastanti, entrambi in grado di determinare la risposta sismica locale (amplificazione) e di determinare ulteriori effetti cosismici (liquefazione; cedimenti; ecc.).

In questo senso, le indagini eseguite per gli studi di microzonazione sismica nei Comuni maggiormente danneggiati dal sisma emiliano del 2012 (ai sensi dell'Ordinanza RER n.70/2012) hanno offerto un importante contributo conoscitivo generale. Gli studi regionali hanno riscontrato come il primo forte contrasto di impedenza sia collocabile nei depositi alluvionali, in genere tra la base del subsistema AES6 (datata 230.000-250.000 anni) e la più profonda base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES, datata 400.000-450.000 anni). Una seconda importante discontinuità sismica corrisponde alla più profonda interfaccia da depositi alluvionali e bedrock marino.

Tuttavia, le numerose registrazioni HVSR eseguite nella Pianura Padana indicano che gli effetti di amplificazione legati a quest'ultimo riflettore sismico possono risultare molto variabili in funzione sia della sua profondità, sia delle caratteristiche litologiche/sismostratigrafiche dello spessore alluvionale e del substrato marino. In tal senso, un'ampia bibliografia scientifica (es. Seed et al., 1975) evidenzia che, per elevati spessori (in genere maggiori di 100 metri) di depositi "soffici" alluvionali, possono esserci anche importanti effetti di smorzamento.

Gli studi RER hanno inoltre evidenziato come, dal punto di vista geofisico, il sottosuolo della pianura studiata ("bassa pianura") presenti differenze laterali minime, almeno fino alla profondità di 50-60 metri, e che i valori equivalenti delle velocità di taglio delle onde sismiche nei primi 30 metri di sottosuolo ( $V_{s30}$ ) sono sempre inferiori a 220 m/s (confermato da prove DH e CH in sondaggi e sia da prove SCPTU). Le indagini sismiche più profonde (prove "Cross-Hole"), eseguite nei sondaggi di Medolla e di Mirandola, hanno fornito valori di  $V_s$  di tutta la successione alluvionale in media dell'ordine di 300-350 m/s e valori maggiori di 700 m/s per il substrato marino, raggiunto rispettivamente a profondità di 96 metri e 113 m dal p.c. (si tratta, tuttavia, di aree di "anticlinale", caratterizzate da spessori alluvionali di minor spessore rispetto al contesto studiato).

Per quanto riguarda il territorio di Budrio, le informazioni di sottosuolo profonde disponibili, fondamentalmente riconducibili ai sondaggi ENI-AGIP e alle sezioni geologiche interpretative (cfr. Capitolo 3) sono state confrontate con gli esiti delle altre indagini sismiche disponibili (SCPTU; MASW) e con gli esiti delle registrazioni HVSR, per interpretare modelli sismostratigrafici del sottosuolo studiato.

Gli esiti delle indagini sismiche SCPT, MASW (oltre ad alcune elaborazioni HVSR) hanno consentito un ulteriore dettaglio delle caratteristiche sismostratigrafiche dei sedimenti e in particolare della stima delle velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s$  (figura 5.1). Le indagini geofisiche hanno ricavato esiti di  $V_{s30}$  compresi tra 264 m/s e 162 m/s. In sintesi, le velocità più elevate delle onde di taglio si misurano nella porzione sud del territorio comunale, per la presenza di sedimenti sabbiosi (talvolta anche ghiaiosi) dei paleoalvei di divagazione attribuiti agli apparati distributori dell'Idice e del Savena. Verso N-NE, le velocità di taglio tendono progressivamente a ridursi, fino a valori anche inferiori a 180 m/s, per la rarefazione delle strutture ghiaiose e sabbiose nei primi 30

metri di sottosuolo. Lo studio di MS dispone, dunque, di modelli di distribuzione delle Vs30 nel sottosuolo ricavati dagli esiti delle seguenti prove geofisiche:

- acquisizione HVSr (località Armarolo, nuova elaborazione) →191 m/s
- acquisizione HVSr (località Vedrana, nuova elaborazione) →197 m/s
- acquisizione HVSr (località Prunaro, nuova elaborazione) →264 m/s
- stendimento MASW (località Capoluogo, eseguito per lo studio di MS 2011 ) →217 m/s
- stendimento MASW (località Capoluogo, MS 2011 ) →217 m/s
- stendimento MASW (località Dugliolo, MS 2011 ) →162 m/s
- acquisizione HVSr (località Bagnarola, MS 2011) →213 m/s
- cono sismico CPTS (località Villa Loup, prova di repertorio dello Scrivente ) →254 m/s
- n. 4 stendimenti MASW (località Mezzolara, prova di repertorio, dott. geol. Luca Bianconi) →da 174 m/s a 180 m/s
- acquisizione tomografica (località Mezzolara, prova di repertorio: comparto ANS.A.17\_C2.20 a cura di GEO-PROBE, 2010) →170 m/s

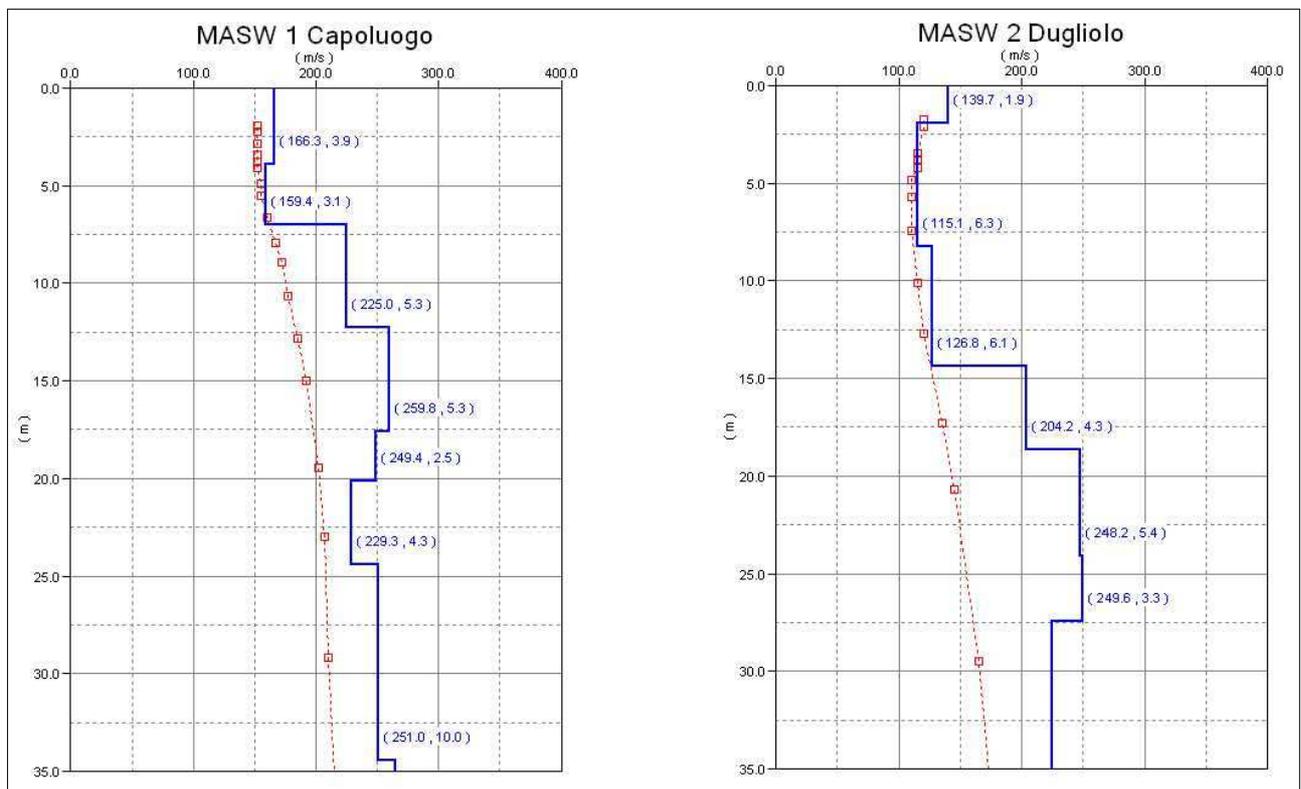


Figura 5.1 – Distribuzione delle Vs nel sottosuolo ottenute dalle indagini MASW eseguite per lo studio di MS 2011

Le registrazioni HVSr sono state analizzate per un ulteriore approfondimento sugli effetti di amplificazione locale in caso di sisma. Le acquisizioni tomografiche, sfruttando la teoria ormai consolidata dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quello verticale, permettono la stima delle più significative frequenze di amplificazione del sottosuolo, tuttavia non consente una stima quantitativa del coefficiente di amplificazione. Gli spettri H/V ottenuti dalle registrazioni tomografiche evidenziano i principali alti spettrali a frequenze comprese tra 1 Hz e 0,7 Hz. Tali frequenze possono essere considerate come “frequenze fondamentali” locali, tuttavia le

amplificazioni spettrali risultano da “basse” fino a “moderate” ( $2 < H/V < 3$ ). Per la maggior parte delle registrazioni HVSR effettuate, il massimo picco spettrale è presumibilmente correlato a un riflettore sismico significativo e meno profondo, riscontrabile a circa 70 metri di profondità. Tale contrasto è inoltre interpretabile come limite superiore di un intervallo alluvionale (ghiaie/sabbie alluvionali addensate) più “rigido” rispetto alla colonna sedimentaria sovrastante e tuttavia non attribuibile ad un vero e proprio “bedrock sismico”. Già nello studio di MS 2011, tale sismostrato viene ricondotto al limite stratigrafico superiore del subsistema AES6 (“Subsistema di Bazzano”), costituito da alternanze di sabbie anche ghiaiose e sedimenti più fini (limi e argille), come si evince dal controllo delle sezioni geologiche RER (n.28 e n.95). Sono inoltre riscontrabili amplificazioni a frequenze più basse (0,5-0,6 Hz) e imputabili a riflettori ancora più profondi e certamente caratterizzati da maggiori rigidità; tuttavia, tranne in alcuni casi, non è chiaramente possibile discriminare ulteriori picchi: ciò può essere causato dalla debole intensità del segnale acquisito e per i limiti strumentali dell'apparecchio di misura.

Si segnala, infine, che soltanto due registrazioni (eseguite nella frazione Prunaro) evidenziano alti spettrali a frequenze maggiori e in un solo caso risulta anche frequenza fondamentale (5,9 Hz). Anche in questi due ultimi casi, gli alti spettrali ottenuti, sebbene rappresentino riflettori più superficiali (strati sabbioso-ghiaiosi a partire da -15 metri circa), evidenziano amplificazioni da “basse” a “moderate”.

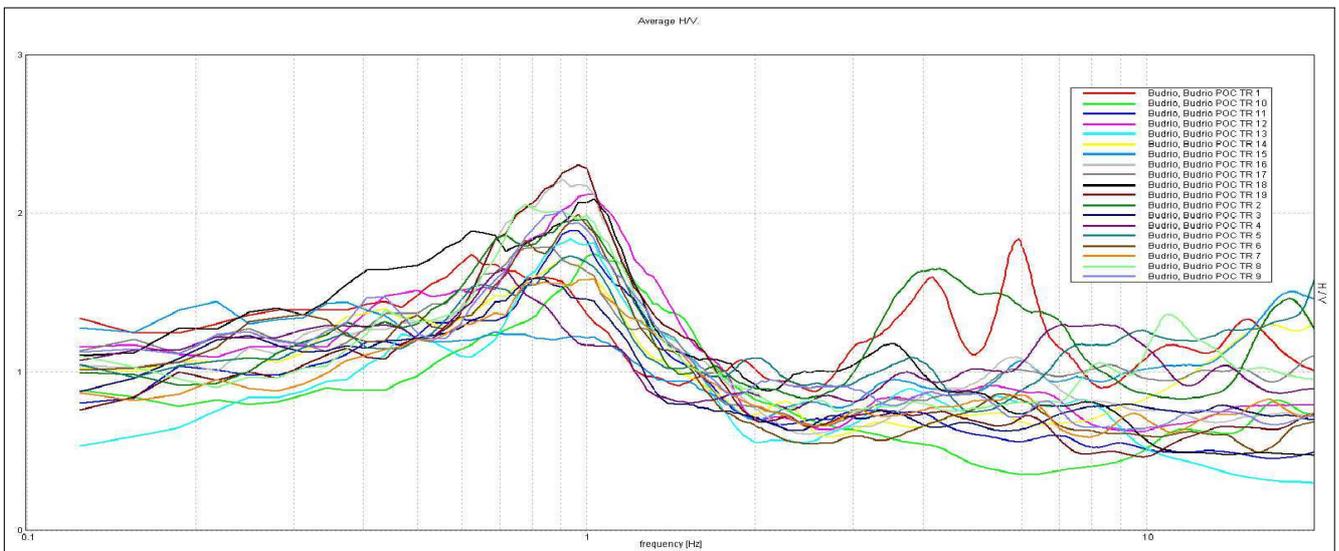


Figura 5.2 – Confronto delle amplificazioni spettrali H/V ottenute dalle registrazioni tromografiche eseguite per lo studio di MS 2011

Gli esiti dello studio appaiono coerenti con i più approfonditi studi regionali post sisma 2012, tuttavia, sulla base delle conoscenze stratigrafiche e geofisiche del sottosuolo già descritte, le principali amplificazioni spettrali H/V ottenute nel Comune di Budrio sono legate a sismostrati non rigidi ( $V_s > 800$  m/s), riscontrabili fino a profondità certamente superiori a 100 metri.

## 6. ELABORAZIONI E RISULTATI

### 6.1 Cenni introduttivi

L'obiettivo fondamentale dello studio di microzonazione sismica (cfr. DAL 2193/2015) è quello di consentire una suddivisione del territorio indagato in:

- zone “stabili” → nelle quali non si ipotizzano effetti locali (litotipi assimilabili al “substrato rigido” in affioramento con morfologia piana poco acclive). In queste zone non sono pertanto richiesti ulteriori approfondimenti;
- zone stabili “suscettibili di amplificazioni locali” → nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico in relazione all'assetto litostratigrafico e morfologico locale
- zone “suscettibili di instabilità” → nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre all'amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio (liquefazioni/densificazioni; instabilità di versante; cedimenti differenziali; ecc)

I risultati degli studi sono fondamentalmente riconducibili alla “carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali” e alla cartografia di microzonazione sismica (carte dei “Fattori di Amplificazione”) elaborate fino al secondo livello. Lo studio di MS per il Comune di Budrio è così articolato:

Tabella 6.1

| CARTA   | LIVELLO DI APPROFONDIMENTO<br>(DGR 2193/2015) | ZONE   | ATTRIBUTO NUMERICO DELLA ZONA                        |
|---|---|--|--|
| Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali | Livello 1                                     | Zone suscettibili di amplificazioni locali             | Nessuno  |
|   |   | Zone suscettibili di instabilità [per liquefacibilità] |  |
| Carta dei Fattori di Amplificazione             | Livello 2                                     | Zone suscettibili di amplificazioni locali             | FA Pga   |
|   |   | Zone suscettibili di instabilità [per liquefacibilità] | FA SI<br>(da abachi RER<br>DGR 2193/2015, alleg. A2) |

FA = Fattore di amplificazione

Occorre rammentare che la “carta delle Aree suscettibili di Effetti Locali” è riferita unicamente al “livello 1” di approfondimento e perciò le zone individuate hanno approfondimenti esclusivamente di tipo qualitativo.

Lo studio sismico ha inoltre permesso l'elaborazione della cartografia di MS di “livello 2”, fornendo la quantificazione semplificata della risposta sismica locale del territorio urbano/urbanizzabile attraverso l'utilizzo degli abachi regionali (cfr. DGR 2193/2015, alleg. A2).

I successivi paragrafi illustrano i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per definire le zone “stabili” e “instabili” e per determinare i diversi fattori di amplificazione rappresentativi del territorio studiato.

### 6.2 Zone suscettibili di amplificazioni locali: i fattori di amplificazione

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, devono essere calcolati, nel secondo livello di microzonazione sismica, i fattori di amplificazione di ogni zona studiata.

Per lo studio di MS di Budrio i fattori di amplificazione scelti sono quelli indicati nella DAL regionale n. 112/2007, recentemente aggiornati con DGR regionale n. 2193/2015:

- FA PGA → è intesa come rapporto dell'accelerazione massima calcolata nello strato più superficiale o di interesse (in questo caso calcolata al suolo) rispetto all'accelerazione di riferimento al bedrock "rigido" (PGA/PGA<sub>0</sub>). Questo 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 → gli spettri di risposta riflettono solo in maniera indiretta le caratteristiche del moto sismico, essendo queste ultime filtrate attraverso la risposta delle strutture di progetto, tuttavia risultano di più significativa utilità ai fini ingegneristici in quanto consentono di rappresentare nella maniera più efficace e utile per l'ingegnere gli effetti delle caratteristiche del moto del terreno sul comportamento delle strutture. In questo senso, la DGR 2193/2015 richiede la determinazione del fattore di amplificazione FA SI quale ulteriore indicatore della pericolosità sismica. L'intensità di Housner è definita come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità. Nello specifico, la Deliberazione regionale richiede di quantificare i fattori di amplificazione per i seguenti intervalli di periodo:

SI1  $0,1s \leq T_0 < 0,5s$

SI2  $0,5s \leq T_0 < 1,0s$

SI3  $0,5s \leq T_0 < 1,0s$

I fattori di amplificazione, sono desunti dagli abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna e riportati nella DGR 2193/2015 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico. I fattori di amplificazione sono inoltre riferiti a moto sismico con Periodo di Ritorno =475 anni e  $\xi =5\%$ .

Sulla base di quanto indicato nell'allegato A2, del modello di sottosuolo ricavato dai dati geognostici/geofisici disponibili e dunque sulla base della caratterizzazione sismostratigrafica locale (cfr. capitoli 3 e 5), tutte le aree di studio sono ascrivibili al macrocontesto "Pianura 2" (<<settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.>>).

| $V_{s30}(m/s) \rightarrow$ | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F.A. PGA                   | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.5 |
| F.A. SI1                   | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| F.A. SI2                   | 3.1 | 3.0 | 2.7 | 2.4 | 2.1 | 2.0 |
| F.A. SI3                   | 3.6 | 3.3 | 2.9 | 2.5 | 2.2 | 2.0 |

Tabella 6.2 - Abaco di valutazione dei parametri di RSL semplificata (DGR 2193/2015, all. A2) riferito al macrocontesto "Pianura 2"]

In funzione delle variabilità degli esiti di Vs (figura 6.1) riscontrati negli areali urbani/urbanizzabili, si sono infine determinati i fattori di amplificazione. La tabella 6.3 riporta i risultati per le principali località.

Tabella 6.3

| Principali località  | Vs30 | FA PGA | FA SI1 | FA SI2 | FA SI3 |
|--|------|--------|--------|--------|--------|
| Dugliolo – Casoni – Guarda – Mezzolara   | 150  | 1,7    | 2,0    | 3,1    | 3,6    |
| Armarolo – Cazzano – Vedrana – Bagnarola – Riccardina – Budrio (Capoluogo) – Vigorso – Cento | 200  | 1,7    | 2,0    | 3,0    | 3,3    |
| Villa Loup - Prunaro   | 250  | 1,7    | 1,9    | 2,7    | 2,9    |

### 6.3 Zone suscettibili di instabilità: liquefacibilità

La suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti incoerenti saturi rappresenta un parametro molto importante da valutare nelle analisi di pericolosità sismica, soprattutto a piccola scala, e in particolare nella pianura alluvionale dove si ha la maggiore concentrazione dell'urbanizzato sia storico che di previsione.

L'analisi della liquefacibilità dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti, è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica. In particolare, occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente,  $M > 5.5$ ) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni "non drenate" durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- ✓ alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma; durata dello scuotimento; ecc.) e della sua energia (magnitudo; accelerazioni; ecc.);
- ✓ alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico; densità relativa; coesione; limiti di Atterberg; ecc.);
- ✓ alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l'equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato"). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Fenomeni di liquefazione si sono chiaramente manifestati durante gli eventi sismici emiliani del maggio 2012, tuttavia non si sono riscontrati i fenomeni più critici riconducibili a fluidificazione (con perdita della capacità portante del terreno dei sedimenti al di sotto delle costruzioni) e neppure scorrimenti significativi nelle scarpate degli argini; anche i cedimenti rilevati degli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni<sup>8</sup>. Per ulteriori aspetti teorici, si rimanda alla vasta letteratura scientifica e in particolare ai rapporti tecnici elaborati a seguito del sisma emiliano del maggio 2012 (consultabili anche on line nel sito del SGSS).

Lo studio di MS 2011 aveva già considerato la potenziale liquefacibilità locale nel territorio di Budrio, sulla base di valutazioni stratigrafiche e paleogeografiche locali e sulla base delle seguenti ricerche :

- Youd e Perkins, 1978 – hanno composto una tabella che sintetizza i dati raccolti durante terremoti "strong

<sup>8</sup> Fonte: "Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012", C. Crespellani et Al., 2012.

motion” dell’area di S. Diego (California), da cui risulta che i sedimenti depositi da corsi d’acqua (piana alluvionale di esondazione, canale fluviale, delta fluviali, estuari) dimostrano una probabilità di liquefazione da alta a molto alta se di età minore di 500 anni o Olocenica, gli stessi depositi se di età pleistocenica o pre-pleistocenica hanno invece una “bassa” probabilità di liquefarsi. Cioè l’osservazione dimostra che sono solamente i sedimenti di deposizione recente (olocene) e recentissima (meno di 500 anni) a presentare un’alta pericolosità per la liquefazione;

- Mori et Al, 1978 – dimostrano che la suscettibilità alla liquefazione decresce nei sedimenti di età maggiore di 500 anni, con scarti anche molto alti (maggiori del 50%);
- Iwasaki et Al, 1982 – dimostra per terremoti giapponesi la correlazione diretta tra probabilità di liquefazione e letti di fiumi recenti e antichi;
- CNR, 1983 – ha proposto la correlazione diretta tra sedimenti fluviali e deltizi continentali ed età del deposito (i più recenti sono più suscettibili alla liquefazione).

La letteratura geologica, ormai ben consolidata e verificata, indica dunque che le maggiori probabilità di liquefazione si hanno nei sedimenti granulari saturi recenti e recentissimi. Ciò presuppone che gli alvei abbandonati e sepolti dei Torrenti Savena e Idice possano costituire fonte di pericolo di liquefazione anche per sismi di magnitudo statisticamente attesi ( $M = 6,0$ ) nelle zone sismogeniche limitrofe a Budrio (cfr. Capitolo 2).

Sulla base dei dati di sottosuolo disponibili, si evince come l'intero territorio comunale sud occidentale (frazioni di Prunaro e di Cento, Capoluogo; ecc.) sia attribuibile ad un contesto deposizionale di “argine naturale” dell’ampio apparato distributore Idice-Savena. Anche il sottosuolo del capoluogo è interessato da più sequenze deposizionali granulari attribuibili ad alvei sepolti (di potenza anche metrica) e da depositi di tracimazione (“crevasse” sabbiose, meno potenti). In particolare, le terebrazioni effettuate nella porzione centrale e più orientale della città rilevano frequenti intervalli sabbiosi nei primi 10÷15 metri, di spessore anche superiore al metro. Si tratta di paleocanali dell’Idice-Savena, che si sviluppano verso N-NE, oltre il Capoluogo e le strutture sepolte meno profonde (attribuiti al XII-XIX secolo) sono argini naturali che costituiscono i dossi morfologici sui quali si insediano alcuni dei principali nuclei abitativi (Mezzolara; Vedrana; Dugliolo).

Occorre anche rammentare che i dati idrogeologici locali (vedi capitolo 3) indicano una soggiacenza media della falda che nel territorio comunale è compresa tra 1 m e 3,5 metri: la modesta soggiacenza della falda è chiaramente riconosciuta come una delle fondamentali condizioni predisponenti la liquefacibilità.

Lo studio di MS 2011 ha inoltre espletato alcune verifiche quantitative della liquefacibilità, avendo a disposizione dati numerici di prove penetrometriche (prove CPT e CPTE). Si rammenta che il vantaggio dell’uso delle prove penetrometriche è da ricercarsi nella maggiore accuratezza e ripetibilità rispetto ad altre indagini, nella relativa economicità e, soprattutto, nella possibilità di avere profili continui con la profondità (con informazioni dettagliate sulla stratigrafia). Occorre tuttavia precisare che i metodi semplificati della stima del potenziale di liquefazione da prove penetrometriche si basano esclusivamente sulla sperimentazione con prove elettriche CPTE/CPTU. Gli esiti ricavati dalle prove CPT risultano differenti e generalmente poco cautelativi, come le più recenti esperienze successive al terremoto dell’Emilia 2012 hanno evidenziato, e ciò è da imputare soprattutto alla differente geometria delle due punte<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> I valori misurati di resistenze alla punta  $q_c$  non si equivalgono perfettamente (nella punta meccanica occorre considerare la componente dell’attrito lungo il mantello di protezione sopra il cono), mentre le resistenze laterali  $f_s$  risultano molto diverse per l’adesione terreno-manicotto (nella punta meccanica si misura una componente di resistenza alla base – di rifluimento – dovuta al raccordo nell’estremità inferiore del manicotto; nella punta elettrica la cella di misura è invece nella stessa punta). Ciò porta a una sovrastima della componente fine/coesi-

Per quanto riguarda il Capoluogo, la verifica espletata nel 2011 aveva riscontrato un'evidente propensione alla liquefazione del potente intervallo di sedimenti granulari attraversati da 7,5 metri a 12,5 m di profondità, sulla base di verifica secondo P.K. Robertson (2009) con magnitudo all'epoca considerata pari a  $M = 5,6$  e  $P_{ga}$  calcolata secondo la DAL 112/2007 (figura 6.1).

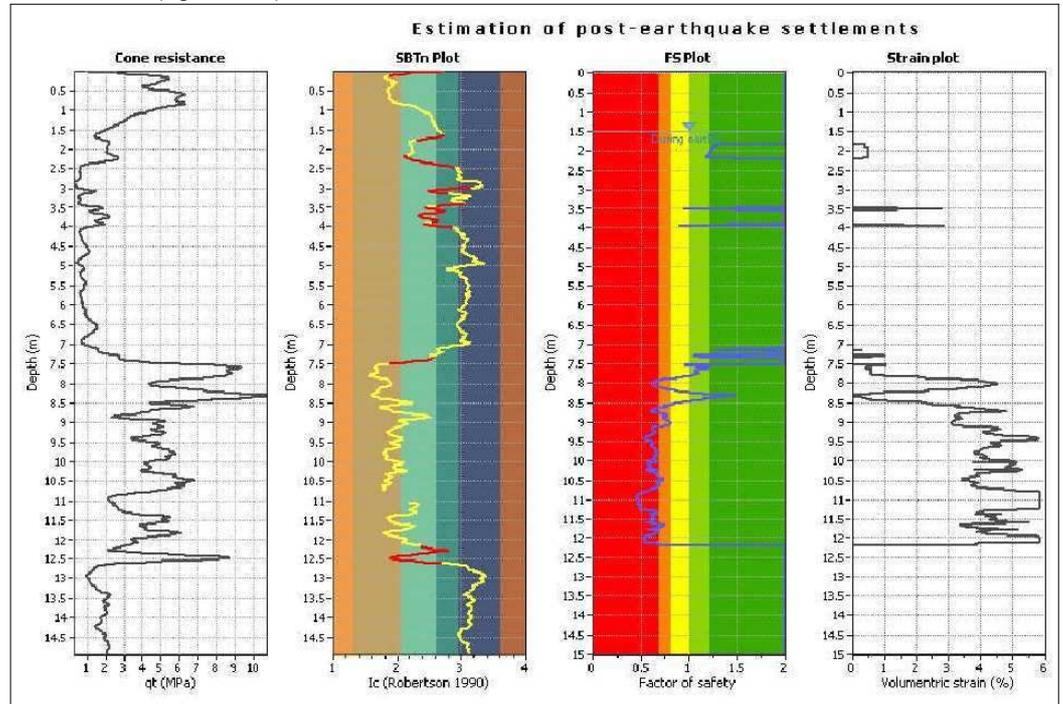


Figura 6.1 – Grafici esplicativi della verifica alla liquefazione della prova CPTe in zona Capoluogo (da MS 2011)

Lo studio di MS consente di elaborare una zonizzazione del territorio in termini di “attenzione per liquefazioni”. La presenza di punti di controllo, soprattutto nell'area Capoluogo, ha permesso di modificare la zonizzazione preliminare di liquefacibilità già elaborata alla scala provinciale per il PTCP di Bologna (“Tavola 2C - Rischio Sismico”, vedi capitolo 3). In alcuni casi, si è ritenuto di rimanere più cautelativi, sia di quanto riportato nella Tav. 2C del PTCP, sia di quanto riportato nello studio di MS 2011, demandando agli opportuni approfondimenti locali la quantificazione dell'effettiva pericolosità di liquefazione sulla base dei più recenti metodi di verifica della liquefazione. Abbiamo già spiegato che le verifiche quantitative da prove penetrometriche CPT (ancora oggi le penetrometrie più diffuse anche nel territorio di pianura budriese) possono portare a significative sottostime della liquefacibilità.

L'aggiornamento delle zone suscettibili di instabilità (per liquefazione) ha tuttavia tenuto conto delle delimitazioni delle zone sismiche omogenee definite nello studio di MS 2011 e delle relative indicazioni litostratigrafiche (riportate anche nella legenda della cartografia di MS 2011).

In conclusione, lo studio di MS evidenzia la necessità di espletare ulteriori approfondimenti per verificare le effettive condizioni di suscettibilità a liquefazione e l'analisi dei possibili cedimenti post sisma. Gli approfondimenti potranno essere svolti effettuando preliminarmente indagini penetrometriche CPTe/CPTU e, se del caso, prevedere anche specifiche indagini di laboratorio (es.: prove triassiali cicliche; prove di taglio dinamiche; ecc.) in campioni di sedimenti prelevati negli intervalli che risulteranno più critici (granulari e fini poco coesivi e consistenti).

va nelle verifiche numeriche di liquefacibilità.

## 7. ELABORATI CARTOGRAFICI

### 7.1 Carta delle Indagini

La “Carta delle Indagini”, realizzata alla scala 1:10.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche disponibili nel territorio comunale di Budrio.

Rispetto allo studio di MS 2011, le indagini geognostiche e geofisiche di riferimento sono distinguibili per tipologia, utilizzando una simbologia conforme agli Standard di rappresentazione CTMS (Commissione Tecnica per la microzonazione sismica).

Le prove recuperate dall'archivio comunale e le indagini eseguite per gli studi di MS sono state inoltre etichettate per consentire la consultazione dei relativi report nell'Archivio delle Indagini elaborato a corredo dello studio di microzonazione sismica (cfr. Capitolo 8). Per le prove recuperate nella Banca Dati della RER, sulla base della localizzazione riportata nella cartografia, si rimanda invece alle informazioni pubblicate e consultabili anche on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.

### 7.2 Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni

La “Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni”, elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura dei microtremori sismici registrati a stazione singola (con tecnica HVSr). Ad ogni punto, nella cartografia viene indicato il valore stimato di  $F_0$  (valore del “picco” più significativo), che in genere corrisponde alla frequenza di risonanza fondamentale.

I punti di misura sono stati classificati per *classi di frequenza fondamentale*, secondo quanto indicato nella DGR 2193/2015. Per Budrio sono state discriminate le seguenti classi: nessuna amplificazione/risonanza significativa →  $F_0 \leq 1$  Hz →  $1 < F_0 \leq 2$  Hz →  $2 < F_0 \leq 8$  Hz. Le etichette riportano i valori delle principali frequenze di amplificazione registrate (in rosso è indicata la frequenza fondamentale).

I punti di misura sono stati inoltre classificati (con opportuna simbologia) in base al *rapporto H/V* (alti spettrali H/V), individuando per il territorio di Budrio le seguenti classi: nessuna amplificazione/risonanza significativa →  $1,5 \leq H/V < 2$  (basso) →  $2 \leq H/V < 3$  (moderato).

### 7.3 Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali

La “Carta delle Aree Suscettibili di Effetti locali”, elaborata alla scala 1:10.000, rappresenta la suddivisione del territorio comunale studiato (urbanizzato/urbanizzabile e principali nuclei abitativi in ambito rurale) in *zone suscettibili di amplificazioni locali* e in *zone suscettibili di instabilità*. Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di livello 1.

Si precisa che per la composizione della legenda si cercato di seguire lo standard di rappresentazione cartografica CTMS (Commissione Tecnica per la microzonazione sismica), pur rimanendo coerenti con le definizioni indicate nella DGR 2193/2015 e con la normativa del PTCP (art. 6.14).

Per quanto riguarda le zone suscettibili di amplificazioni locali, gli esiti dello studio di MS hanno consentito di individuare la “Zona 1”, così descritta nella legenda:

|               |   |
|---------------|---|
| <b>Zona 1</b> | <p>Zona 1 – Coperture alluvionali recenti (AES8a, AES8) sovrastanti altri depositi alluvionali caratterizzati da alternanze di sedimenti fini e sabbiosi/ghiaiosi.</p> <p>Tessiture superficiali prevalentemente fini. Strati sabbioso-ghiaiosi a partire da -15 m.</p> <p>Profondità del principale riflettore sismico &gt; 100 m (approssimabile a "Pianura 2" – DGR 2193/2015).</p> <p>[equivalente ad A (PTCP) = area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche].</p> <p>Sono sufficienti approfondimenti di livello 2.</p> |
|---------------|---|

La diffusa presenza di strati granulari sabbiosi (cfr. Capitoli 3 e 6) ha tuttavia imposto di classificare un'ampia parte del territorio studiato in zone suscettibili di instabilità. In particolare, sono state individuate le seguenti tre zone di attenzione per liquefazione, così descritte nella legenda:

|                  |   |
|------------------|---|
| <b>Zona 2_L2</b> | <p>Zona 2_L2 – Zona di attenzione per liquefazioni.</p> <p>Coperture alluvionali recenti (AES8a, AES8) sovrastanti altri depositi alluvionali caratterizzati da alternanze di sedimenti fini e sabbiosi/ghiaiosi. Tessiture superficiali prevalentemente fini con locali intervalli sabbiosi liquefacibili, di spessore anche maggiore di 1 metro (primi 20 metri). Strati sabbioso-ghiaiosi a partire da -15 m.</p> <p>Profondità del principale riflettore sismico &gt; 100 m (approssimabile a "Pianura 2" – DGR 2193/2015).</p> <p>[equivalente ad L2 (PTCP) = area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione – sabbie prevalenti certe].</p> <p>Sono richiesti approfondimenti di livello 3 (verifiche della liquefacibilità e dei cedimenti post-sisma).</p> |
| <b>Zona 3_L2</b> | <p>Zona 3_L2 – Zona di attenzione per liquefazioni.</p> <p>Coperture alluvionali recenti (AES8a, AES8) sovrastanti altri depositi alluvionali caratterizzati da alternanze di sedimenti fini e sabbiosi/ghiaiosi. Tessiture superficiali prevalentemente fini con locali intervalli sabbiosi liquefacibili, di spessore anche maggiore di 1 metro (primi 20 metri).</p> <p>Profondità del principale riflettore sismico &gt; 100 m (approssimabile a "Pianura 2" – DGR 2193/2015).</p> <p>[equivalente ad L2 (PTCP) = area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione – sabbie prevalenti certe].</p> <p>Sono richiesti approfondimenti di livello 3 (verifiche della liquefacibilità e dei cedimenti post-sisma).</p>  |
| <b>Zona 3_L1</b> | <p>Zona 3_L1 – Zona di attenzione per liquefazioni.</p> <p>Coperture alluvionali recenti (AES8a, AES8) sovrastanti altri depositi alluvionali caratterizzati da alternanze di sedimenti fini e sabbiosi/ghiaiosi. Locali intervalli sabbiosi potenzialmente liquefacibili da verificare (primi 20 metri).</p> <p>Profondità del principale riflettore sismico &gt; 100 m (approssimabile a "Pianura 2" – DGR 2193/2015).</p> <p>[equivalente ad L1 (PTCP) = area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione – sabbie prevalenti potenziali].</p> <p>Sono richiesti approfondimenti di livello 3 (verifiche della liquefacibilità e dei cedimenti post-sisma).</p>  |

La cartografia riporta, inoltre, i principali assi di paleoalveo (forme di superficie e sepolte) e i punti di misura di rumore ambientale con indicato in etichetta il valore di frequenza fondamentale  $F_0$ .

#### 7.4 Carta delle Velocità delle Onde di Taglio S - Vs

La "Carta delle Velocità delle Onde di Taglio S", elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura di Vs, con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore della media armonica nei primi 30 metri della velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_{s_{30}}$ ). Tale parametro risulta di fondamentale importanza per la caratterizzazione della risposta sismica locale (DGR DGR 2193/2015; criteri nazionali ICMS 2007).

Nel caso di Budrio, le Vs sono ricavate da SCPT, MASW e registrazioni HVSR. La cartografia riporta per ognuna di esse (nell'etichetta creata per ogni singola prova di riferimento) la tipologia della prova e la stima della relativa  $V_{s_{30}}$ .

Ulteriori informazioni relative alle tipologie d'indagine e agli esiti delle Vs misurate nelle aree di approfondimento, sono riportati nei precedenti Capitoli, ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

## 7.2 Carte dei Fattori di Amplificazione: $FA_{PGA}$ , $FA_{0,1-0,5s}$ , $FA_{0,5-1s}$ , $FA_{0,5-1,5s}$

Le cartografie dei “Fattori di Amplificazione” sono elaborate alla scala 1:10.000 e riportano i parametri di amplificazione semplificata (livello 2) ricavati attraverso l'uso degli abachi regionali (DGR 2193/2015, Allegato A2), per le zone suscettibili di amplificazioni locali e per le zone suscettibili di instabilità (zone di attenzione per liquefazione). Si precisa che tali zone sono definite nella Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali.

Anche in questo caso, per la composizione della legenda si è cercato di seguire lo standard di rappresentazione cartografica CTMS (Commissione Tecnica per la microzonazione sismica), pur rimanendo coerenti con le definizioni indicate nella DGR 2193/2015. Tutte le zone sono state discriminate in classi di amplificazione crescente, distinte da differenti colori pieni.

In sintesi, sono state elaborate le seguenti quattro cartografie di microzonazione sismica:

- ✓  $FA_{PGA}$  → rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico ( $PGA/PGA_0$ );
- ✓  $FA_{SI}$  → rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodi compresi tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓  $FA_{SI}$  → rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodi compresi tra 0,5 e 1,0 secondi);
- ✓  $FA_{SI}$  → rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodi compresi tra 0,5 e 1,5 secondi).

## 8. L'ARCHIVIO DELLE INDAGINI DI RIFERIMENTO

L'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica comunale ha consentito di produrre un "Archivio delle Indagini", allegato alla Relazione Descrittiva.

Si tratta di un archivio cartaceo, riportante i principali grafici e/o report delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio (prove d'archivio comunale) e delle indagini eseguite per gli studi di MS (2011 e 2016). Tali indagini sono localizzate nella Carta delle Indagini (scala 1:10.000), etichettate per consentirne una più facile consultazione nell'Archivio.

L'Archivio potrà risultare un utile strumento conoscitivo e di consultazione a supporto dei Professionisti (geologi, ingegneri, ecc.) che operano nel territorio, di semplice utilizzo e in grado di mostrare i grafici effettivamente elaborati per le prove.

Si precisa che l'Archivio non riporta i grafici e/o report delle prove recuperate nella Banca Dati della RER. Per queste ultime, sempre individuate nella Carta delle Indagini, si rimanda alle informazioni pubblicate e consultabili anche on-line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli.

## 9. PROPOSTA NORMATIVA

Gli esiti della microzonazione sismica comunale consentono di aggiornare la normativa comunale in materia di rischio sismico. In tal senso si propone la seguente normativa:

### 1 Valutazione del rischio sismico ed adempimenti relativi

- 1.1 L'Amministrazione comunale di Budrio dispone di uno studio di microzonazione sismica (MS) aggiornato ai sensi della DGR 2193/2015. Lo studio di MS ha espletato per il territorio urbanizzato/urbanizzabile gli approfondimenti di pericolosità alla scala comunale (livello 1 e livello 2) così come richiesto nella DGR 2193/2015 (punto 3) e nell'art. 6.14 delle NTA del PTCP di Bologna.
- 1.2 I contenuti e gli esiti delle analisi sismiche espletate sono riportati nella Relazione Descrittiva e nei seguenti elaborati cartografici di sintesi:
- Carta delle Indagini (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta delle Frequenze Naturali dei Terreni (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta delle Velocità delle Onde di Taglio – Vs (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta dei Fattori di Amplificazione: FA PGA (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta dei Fattori di Amplificazione: FA SI 0,1s-0,5s (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta dei Fattori di Amplificazione: FA SI 0,5s-1,0s (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
  - Carta dei Fattori di Amplificazione: FA SI 0,5s-1,5s (fogli 1 e 2 scala 1:10.000)
- 1.3 La “Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali” (scala 1:10.000) è il documento fondamentale del primo livello di approfondimento e suddivide il territorio studiato in zone omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, morfologiche, sismotettoniche e dei conseguenti effetti cosismici potenzialmente attesi. La cartografia riporta, in legenda, il contesto di criticità sintetico e gli approfondimenti sismici necessari per le ulteriori fasi di pianificazione. Per ogni zona è riportata la relativa equivalenza alle macrozone definite nelle NTA del PTCP (art. 6.14): ad essa si rimanda per ulteriori disposizioni sul livello di approfondimento richiesto e per le eventuali limitazioni edificatorie.
- In sintesi, la cartografia ha distinto:
- le zone suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali è sufficiente l'approfondimento della microzonazione sismica di “livello 2” elaborato alla scala comunale;
  - le zone suscettibili di instabilità (per liquefazione), per le quali sono richiesti gli ulteriori approfondimenti sismici spinti fino al “livello 3” ai sensi della DGR 2193/2015.
- 1.4 Le carte dei “Fattori di Amplificazione” (scala 1:10.000) riportano gli esiti quantitativi di risposta sismica semplificata (livello 2) elaborata per territorio urbano/urbanizzabile, secondo i criteri riportati nella DGR 2193/2015, ovvero riportando i seguenti fattori di amplificazione al suolo (FA):
- FA (Pga)
  - FA Intensità spettrale di Housner (intervallo da 0,1s a 0,5s)

- FA Intensità spettrale di Housner (intervallo da 0,5s a 1,0s)
- FA Intensità spettrale di Housner (intervallo da 0,5s a 1,5s)

I tre fattori di amplificazione vengono riportati in cartografie separate e in classi di intensità (rappresentate da diverso colore pieno), per discriminare gli esiti di risposta sismica.

## **2 Livelli conoscitivi di riferimento per la pianificazione comunale**

- 2.1 Per le aree urbane/urbanizzabili costituiscono riferimento conoscitivo, cartografico e normativo gli approfondimenti della pericolosità sismica e lo studio di microzonazione sismica di "livello 2" elaborati alla scala comunale (cartografie elencate nel punto 1.2).
- 2.2 Per le altre aree del territorio comunale (escluse dagli approfondimenti della pericolosità sismica), costituisce riferimento conoscitivo, cartografico e normativo la pericolosità sismica preliminare elaborata per il PTCP. In particolare, per i dettagli relativi agli approfondimenti sismici richiesto e per le eventuali limitazioni edificatorie si rimanda:
  - alla tavola di PTCP piano TAV. 2C "Rischio Sismico – Carta degli Effetti Locali Attesi" alla scala 1:65.000 per la pianura;
  - alle Norme Tecniche di Attuazione e in particolare all'Art. 6.14 "Norme di Attuazione in materia di riduzione del rischio sismico".

## **3 Zone sismiche che richiedono ulteriori approfondimenti di "livello 3" da elaborare in sede di POC**

- 3.1 Nella predisposizione del POC, ai fini dell'inserimento di ulteriori ambiti di nuovo insediamento o di riqualificazione ricadenti completamente o parzialmente nelle "zone suscettibili di instabilità" (per liquefazione), individuate cartograficamente nella "Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali", sono richiesti approfondimenti quantitativi della liquefacibilità e della RSL, da eseguirsi in base alle procedure per le analisi di terzo livello di approfondimento riportate nella DGR 2193/2015 (Allegato A3)

## **4 Adempimenti e prescrizioni per gli interventi diretti**

- 4.1 Gli studi di pericolosità sismica elencati nell'art. 1 costituiscono, tuttavia, una base conoscitiva anche per gli interventi diretti. In questo senso, se tali interventi ricadono nelle zone suscettibili di instabilità (per liquefazione), gli studi geologici allegati ai relativi titoli abilitativi edilizi dovranno contenere analisi di dettaglio sul tema, coerentemente con quanto indicato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) vigenti, ed elaborate in funzione delle caratteristiche prestazionali del manufatto/i di progetto.