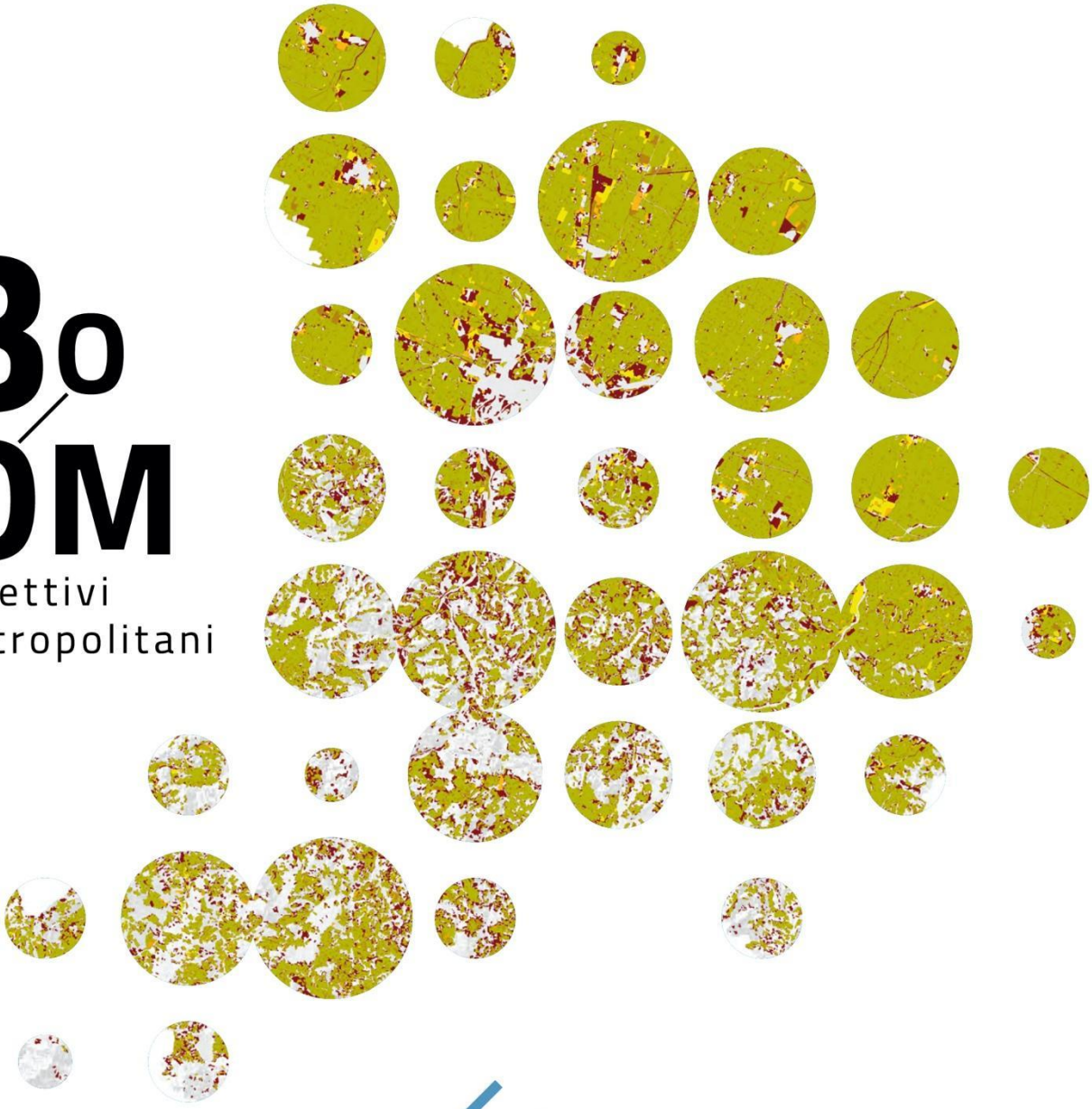
CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

ptm Piano Territoriale Metropolitano Bologna

BoOM Obiettivi Metropolitani



Contesto del Piano Territoriale Metropolitano

ALLEGATO 3

# Rischio sismico

# Indice

**1. Inquadramento morfologico e geologico** 3
**2. Sismicità** 7
**3. Sismotettonica** 12
**4. La pericolosità sismica per la pianificazione urbanistica e la progettazione** 18
**4.1 Pericolosità sismica di base** 18
**4.2 Effetti locali e microzonazione sismica** 20
**4.3 L'analisi della condizione limite di emergenza** 22
**5 Rappresentazione della pericolosità sismica locale a scala provinciale** 24
**5.1 Criteri cartografici adottati** 24
**5.2 Descrizione della cartografia elaborata per il Quadro Conoscitivo** 25
**5.3 Descrizione della "Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali"** 32
**6 Bibliografia** 38
7 Cartografia 40

## 1. Inquadramento morfologico e geologico

Il territorio della Città Metropolitana di Bologna è grosso modo costituito per metà dai rilievi dell'Appennino e per metà dalla pianura (figura 1).

La zona collinare e montana costituisce la parte meridionale; il limite Appennino–pianura coincide all'incirca con la strada pedemontana che collega Bazzano a Bologna nella zona occidentale e con la via Emilia nella zona orientale.

L'altimetria diminuisce piuttosto gradualmente da sud a nord; la quota massima è data dal Corno alle Scale (m 1945 slm) mentre le quote più basse (m 8-10 slm) si rilevano ai piedi dell'argine destro del Reno, tra Pieve di Cento e Molinella, al confine con la Provincia di Ferrara.

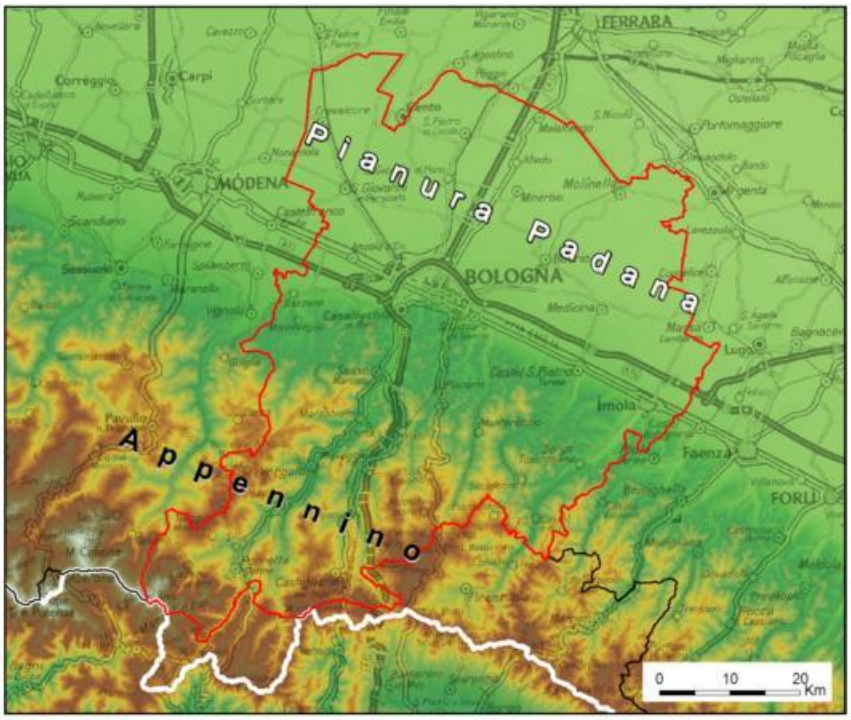



*Figura 1 – Inquadramento geografico e morfologico dell'area d'interesse; in rosso il confine della Città Metropolitana, in nero il confine regionale, in bianco lo spartiacque appenninico.*

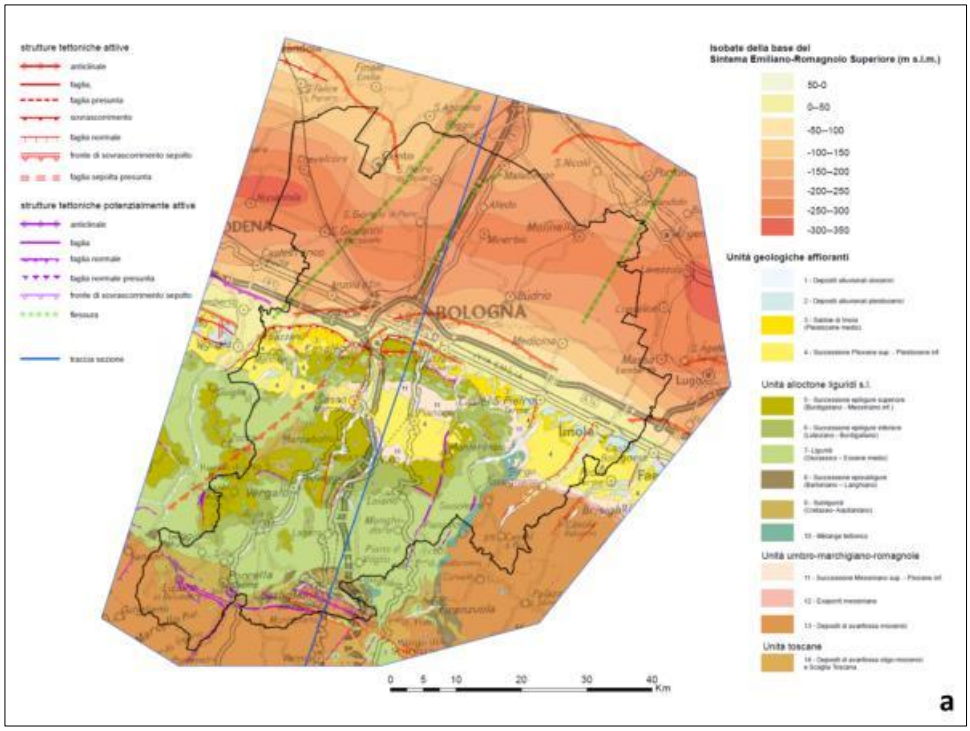
La zona appenninica è costituita da varie unità tettoniche alloctone, ovvero originate in zone paleogeografiche diverse, sradicate e impilate una sull'altra da sud verso nord, a seguito dell'orogenesi che, a partire dall'Oligocene (circa 30 milioni di anni fa), ha portato alla strutturazione dell'Appennino settentrionale (figura 2a).

Le unità tettoniche che costituiscono la catena appenninica poggiano su un basamento costituito da rocce metamorfiche, risultato dell'orogenesi precedente, individuato a profondità variabile tra 8 e 14 km.

La pianura, dato il paesaggio pressoché omogeneo e pianeggiante, si presenta come un ambiente indisturbato. In realtà, sotto i sedimenti alluvionali recenti, risultato dell'attività deposizionale dei principali corsi d'acqua, il substrato è deformato da faglie inverse e pieghe (figura 2b) che danno origine alle cosiddette "Pieghe Romagnole", tra Budrio e Minerbio, e alle "Pieghe Ferraresi", tra Pieve di Cento e l'Oltrepò mantovano (Pieri e Groppi, 1981). In pratica, il vero fronte di deformazione dell'Appennino non coincide con il passaggio morfologico collina-pianura, osservabile a sud della via Emilia, bensì con l'arco più esterno delle suddette dorsali, circa in corrispondenza dell'attuale corso del Po.

Quindi, sia l'Appennino che la pianura sono zone che hanno subito un'intensa deformazione, la quale è tuttora in corso, come testimoniato dalla frequente attività sismica che si registra più o meno in tutto il territorio d'interesse.

Le figure 2a e 2b mostrano che le faglie responsabili dell'attuale assetto geometrico dell'Appennino e del sottosuolo padano si concentrano soprattutto nella zona del crinale appenninico, nella fascia di transizione Appennino-pianura (il cosiddetto margine appenninico-padano) e nella zona della dorsale ferrarese. Tra Bologna e Galliera, nonostante la presenza delle "Pieghe Romagnole", il substrato dei depositi alluvionali è pressoché piatto e lo spessore dei sedimenti recenti (800.000 anni – presente) raggiunge il massimo spessore (oltre m 500) tra S. Agata Bolognese-Budrio e Crevalcore-Campotto.



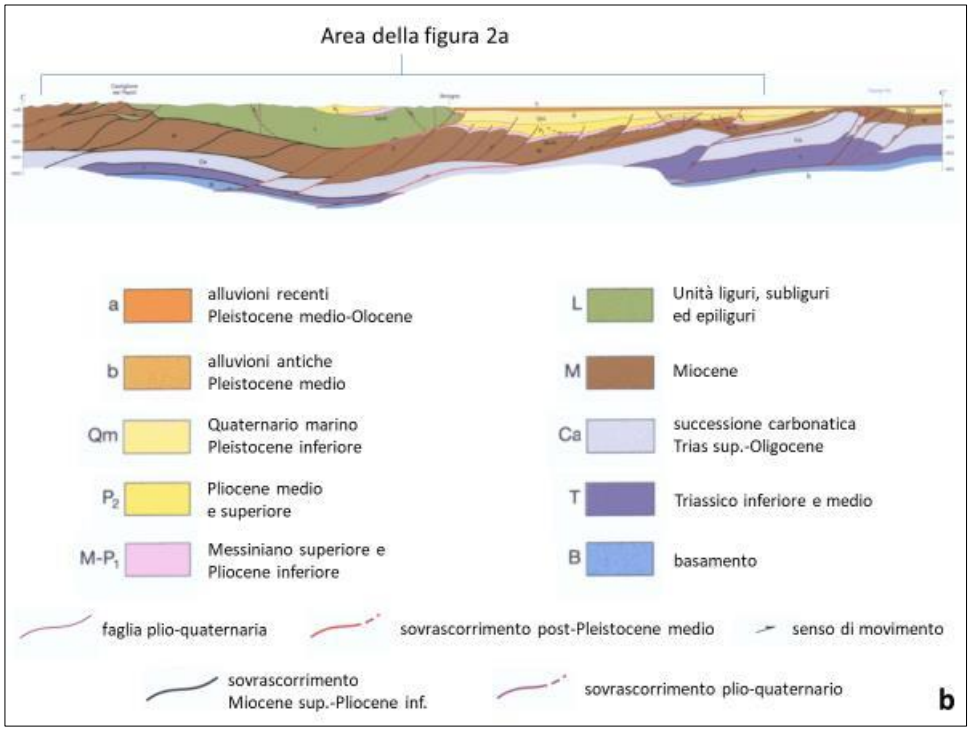




*Figura 2 – a) mappa geologica e 2b) sezione geologica dell'area d'interesse. In figura 2a il perimetro nero indica i confini della Città Metropolitana, la linea blu è traccia della sezione di figura 2b.*

Da segnalare che la catena appenninica risulta dislocata tra le valli del Reno e del Panaro; ciò è particolarmente evidente se si osserva l'andamento geografico dello spartiacque appenninico e del limite morfologico collina-pianura (figura 1) che ad est del Reno risultano più avanzati verso nord. Già vari Autori (v. es.: Ghelardoni, 1965; Bortolotti, 1966; Castellarin et al., 1985; v. anche Martelli, 2015; Martelli et al, 2017a) hanno descritto strutture tettoniche trasversali all'asse principale della catena in questo settore. Da notare inoltre che ad est della valle del Sillaro, nell'Appennino romagnolo, le unità geologiche risultano via via più sollevate rispetto all'Appennino emiliano; infatti nell'Appennino romagnolo affiora estesamente la Formazione Marnoso-Arenacea la quale nell'Appennino emiliano è invece ricoperta dall'insieme delle unità liguri, sub-liguri ed epiliguri che, nella zona di Sasso Marconi, raggiunge uno spessore di 5000 m.

Le strutture trasversali che svincolano la catena sembrano proseguire anche in pianura, dove, ad ovest e ad est dell'allineamento Bazzano-S. Giovanni in Persiceto-S. Agostino, si osservano rapide variazioni di spessore e di profondità dei sedimenti recenti.

## 2. Sismicità

La Città Metropolitana di Bologna è interessata da una sismicità non particolarmente elevata, con terremoti di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6. Tuttavia, data l'importante esposizione urbana e l'elevata vulnerabilità di gran parte dei centri abitati, il rischio sismico nel territorio bolognese risulta comunque elevato. Infatti, i cataloghi dei terremoti (Rovida et al., 2016; Locati et al., 2016) riportano che nel bolognese sono stati rilevati effetti di intensità macrosismica fino all'VIII grado (v. terremoti del 1470, 1505 e 1725).

In figura 3 sono rappresentati gli epicentri dei principali terremoti (MW≥4) che hanno interessato il territorio provinciale a partire dall'anno 1000. In figura 4 sono rappresentate in forma grafica le storie sismiche più significative del territorio bolognese (da Rovida et al., 2016).

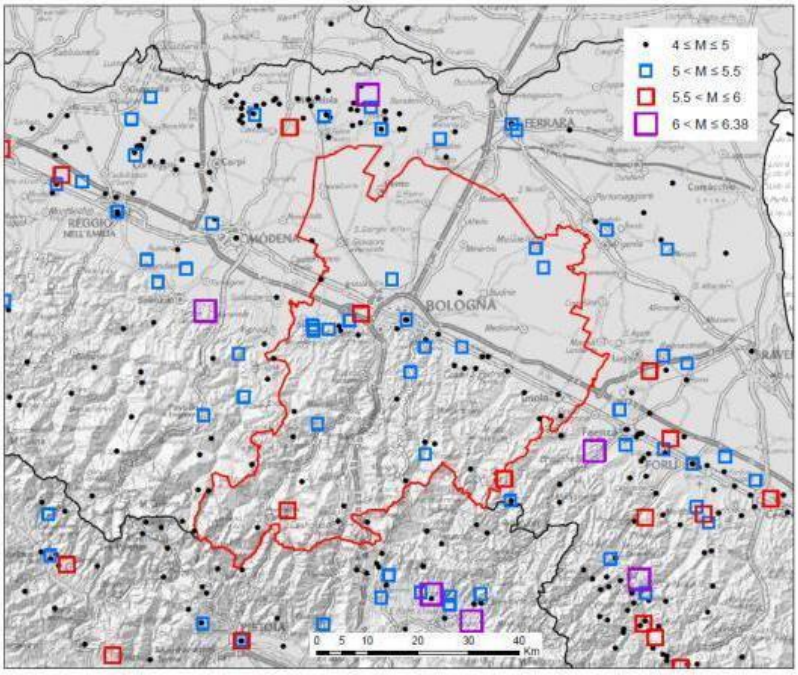



*Figura 3 – Epicentri dei principali terremoti (MW≥4) a partire dall'anno 1000 (da Rovida et al, 2016); in rosso il perimetro della Città Metropolitana.*

In tabella 1 sono elencati i terremoti che hanno causato risentimenti di intensità macrosismica almeno del VI grado (valore che generalmente indica la presenza di danni diffusi).

Come si nota dalla figura 3, i terremoti che interessano la Città Metropolitana si concentrano soprattutto nell'alto Appennino e lungo il margine appenninico-padano. È in questi due settori che si sono verificati i terremoti più forti ($M_W$>5.5), ovvero quelli che nel 1470 ($M_W$=5.56) e nel 1725 ($M_W$=5.67) hanno causato numerosi danni in molti appenninici e la lunga sequenza iniziata il 31/12/1504, e continuata fino alla primavera 1505, che ha causato ingenti danni alla città di Bologna ($M_{Wmax}$=5.62 il 3/1/1505).

Per il forte impatto sul territorio vanno ricordati anche i terremoti di minore energia (magnitudo compresa tra 4.5 e 5.5) ma purtroppo frequenti; in particolare, quelli che hanno colpito la città di Bologna nel 1365 ($M_W$=5.33) e la media valle del Reno nel 1869 ($M_W$=5.43), nonché la lunga

sequenza che nella primavera del 1929 ($M_{Wmax}$=5.36) ha interessato il margine appenninico-padano tra Bazzano e Ozzano. Causa incertezze nelle fonti storiche non risulta purtroppo ben documentato il terremoto del dicembre 1455, che comunque sembra avere causato effetti importanti nella media valle del Reno (Camassi, 2015).

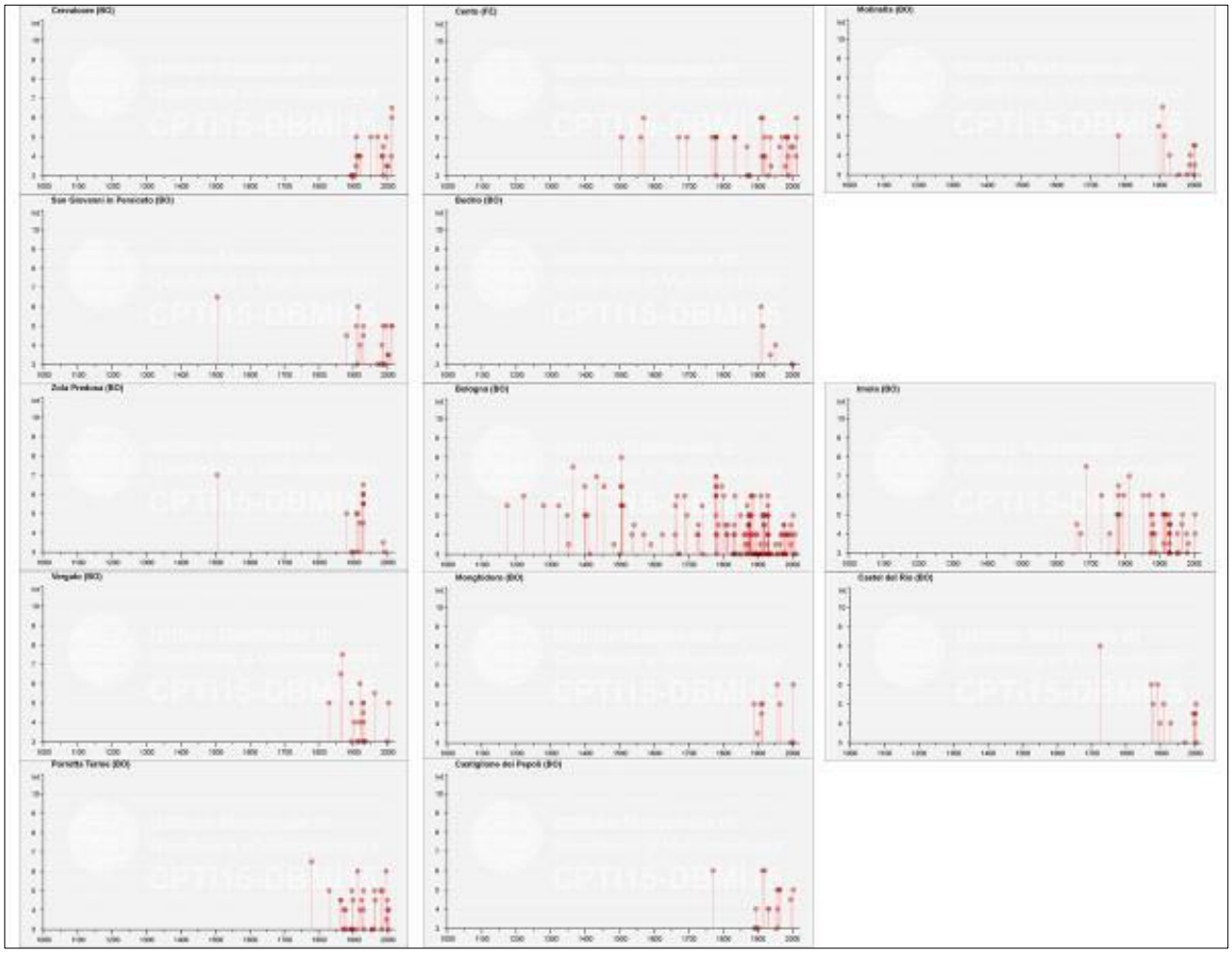


*Figura 4 - Rappresentazione grafica delle storie sismiche più importanti ($I_{MCS}$≥VI) del bolognese (cfr tab. 1) (da Rovida et al., 2016).*

La tabella 1 indica inoltre che la zona appenninica bolognese ha risentito in maniera importante anche di terremoti che hanno avuto origine in aree limitrofe (v. aree epicentrali in corsivo). In particolare, nell'alto Appennino sono noti danni a seguito dei forti terremoti del 1914 in Lucchesia ($M_W$=5.63) e del 1920 in Garfagnana ($M_W$=6.53), di quelli meno forti, ma più vicini, del pistoiese del 1799 ($M_W$=4.59) e del 1995 ($M_W$=4.45), mentre il medio Appennino ha risentito anche dei terremoti dell'Appennino modenese del 1399 ($M_W$=5.10), del 1536 ($M_W$=5.12) e del 1864 ($M_W$=4.84).

Numerose sono anche le scosse di bassa-media magnitudo (4<$M_W$<5.5) che hanno interessato il margine appenninico-padano a est di Bologna (v. in particolare la sequenza del 1779-1780, $M_{Wmax}$=5.22, e il terremoto del 1874, $M_W$=4.96). Inoltre, il settore orientale del margine appenninico-padano è esposto anche agli effetti dell'attività sismica della Romagna, in particolare

di quella del basso Appennino faentino, come testimoniato dagli importanti effetti osservati in occasione dei forti terremoti del 1781 ($M_W$=6.12 e $M_W$=5.61) e del 1813 ($M_W$=5.28).

La pianura bolognese è stata invece interessata da una sismicità meno frequente. Tuttavia, nel settore nord-est sono noti due eventi che hanno causato effetti di intensità macrosismica del VII grado nel 1796 ($M_W$=5.45) e del VI-VII grado nel 1909 ($M_W$=5.36). Il settore orientale della pianura bolognese ha poi risentito seriamente anche del forte terremoto del ravennate del 1688 ($M_W$=5.84) mentre nel settore settentrionale sono stati descritti danni importanti anche a seguito del terremoto di Ferrara del 1570 ($M_W$=5.45), della sequenza sismica del maggio 2012 (Finale Emilia, $M_W$=6.09; Medolla, $M_W$=5.90) e anche di quello del Lago di Garda del 1222 ($M_W$=5.68).

| Anno | Mese | Giorno | Zona epicentrale | Magnitudo ($M_W$) | Intensità osservata all'epicentro | Intensità max nella CMBO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1222 | 12 | 25 | *Lago di Garda* | 5.68 | VII-VIII | VI |
| 1365 | 7 | 25 | Bologna | 5.33 | VII-VIII | VII-VIII |
| 1399 | 7 | 20 | *Appennino modenese* | 5.10 | VII | VI-VII |
| 1433 | 5 | 4 | Bologna | 4.63 | VI | VI |
| 1455 | 12 | 20 | Appennino bolognese | 4.4 | VI-VII | VI-VII |
| 1470 | 4 | 11 | Appennino bolognese | 5.56 | VIII | VIII |
| 1504 | 12 | 31 | Bolognese | 5.02 | VI-VII | VI-VII |
| 1505 | 1 | 3 | Margine appenninico bolognese | 5.62 | VIII | VIII |
| 1505 | 1 | 20 | Bolognese ovest | 4.76 | VI-VII | VI-VII |
| 1536 | 8 | 17 | *Frignano?* | 5.12 | VI-VII | VI-VII |
| 1570 | 11 | 17 | *Ferrara* | 5.44 | VII-VIII | VI |
| 1666 | 4 | 14 | Bolognese NW | 4.16 | VI | VI |
| 1688 | 4 | 11 | *Pianura ravennate* | 5.84 | VIII-IX | VII-VIII |
| 1725 | 10 | 29 | Appennino tosco-emiliano | 5.67 | VIII | VIII |
| 1726 | 1 | 28 | Appennino bolognese | 4,86 | VI-VII | VI-VII |
| 1771 | 8 | 13 | Appennino bolognese | 4.63 | VI | VI |
| 1779 | 6 | 4 | Bolognese est | 5.22 | VII | VII |
| 1779 | 7 | 15 | Bolognese est | -- | VII | VII |
| 1779 | 11 | 23 | Bolognese est | 4.7 | VI | VI |
| 1779 | 12 | 24 | *Appennino pistoiese* | 4.59 | V-VI | VI-VII |
| 1780 | 2 | 6 | Bolognese est | 5.06 | VI-VII | VI-VII |
| 1781 | 4 | 4 | *Margine appenninico faentino* | 6.12 | IX-X | VI-VII |
| 1781 | 7 | 17 | *Faenza - Forlì* | 5.61 | VIII | VI |
| 1796 | 10 | 22 | Pianura bolognese orientale | 5.45 | VII | VII |
| 1801 | 10 | 8 | Bologna | 4.9 | VI | VI |
| 1813 | 9 | 21 | *Faenza - Forlì* | 5.28 | VII | VII |
| 1834 | 10 | 4 | Bolognese | 4.71 | VI | VI |
| 1854 | 6 | 16 | Imola | 4.57 | VI | VI |
| 1864 | 3 | 15 | *Zocca* | 4.84 | VI-VII | VI-VII |
| 1869 | 6 | 25 | Media valle del Reno | 5.43 | VII-VIII | VII-VIII |
| 1874 | 10 | 7 | Imolese | 4.96 | VII | VII |
| 1878 | 3 | 12 | Bolognese | 4.84 | VI | VI |
| 1878 | 4 | 5 | Bolognese | 4.63 | VI | VI |
| 1881 | 1 | 24 | Bolognese | 5.22 | VII | VII |
| 1881 | 2 | 14 | Appennino bolognese | 4.77 | VI | VI |
| 1889 | 3 | 8 | Bolognese | 4.53 | VI | VI |
| 1892 | 12 | 29 | Castel del Rio | 4.37 | VI | VI |
| 1904 | 6 | 10 | Appennino modenese - bolognese | 4.82 | VI | VI |
| 1909 | 1 | 13 | Pianura bolognese orientale | 5.36 | VI-VII | VI-VII |
| 1913 | 2 | 13 | Corno alle Scale | 4.18 | VI | VI |
| 1914 | 10 | 27 | *Lucchesia* | 5.63 | VII | VI |
| 1920 | 9 | 7 | *Garfagnana* | 6.53 | 10 | VI-VII |
| 1929 | 4 | 10 | Bolognese est | 5.05 | VI | VI |
| 1929 | 4 | 19 | Bolognese ovest | 5.13 | VI | VI |
| 1929 | 4 | 20 | Bolognese ovest | 5.36 | VII | VII |
| 1929 | 5 | 11 | Bolognese ovest | 5.29 | VI-VII | VI-VII |
| 1956 | 4 | 26 | Appennino bolognese | 4.74 | VI | VI |
| 1995 | 8 | 24 | *Appennino pistoiese* | 4.45 | VI | VI |
| 2003 | 9 | 14 | Appennino bolognese | 5.24 | VI-VII | VI-VII |
| 2012 | 5 | 20 | *Finale Emilia* | 6.09 | VII | VI-VII |
| 2012 | 5 | 29 | *Medolla* | 5.90 | VII-VIII | VI-VII |

*Tabella 1 – Terremoti che hanno causato risentimenti di intensità macrosismica almeno del VI grado nel territorio della Città Metropolitana di Bologna.*

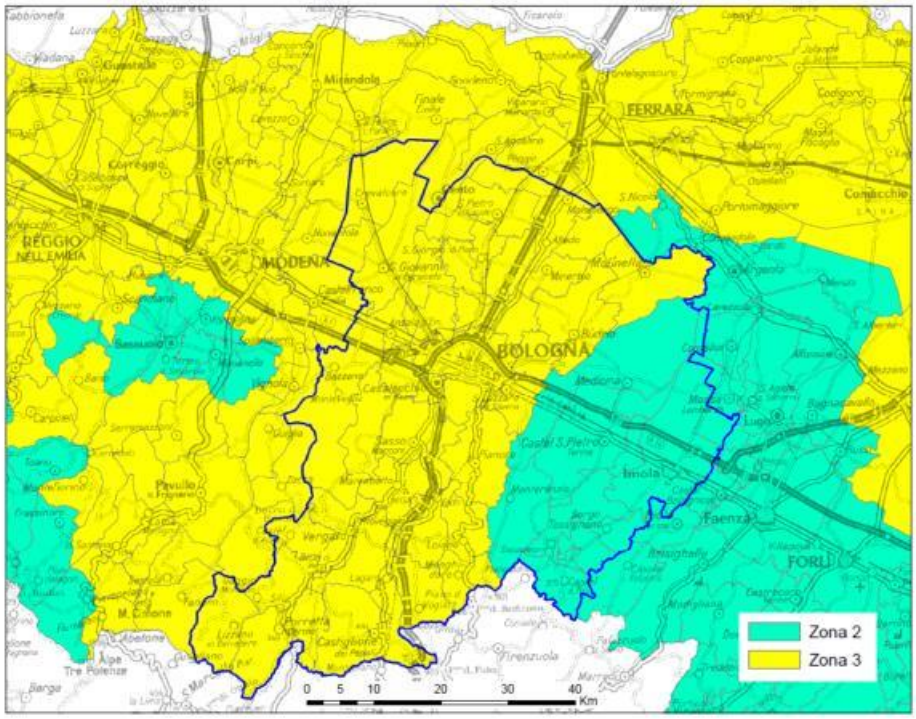



*Figura 5 - Classificazione sismica della Città Metropolitana e aree limitrofe.*

Attualmente, come si evince dalla figura 5, la maggior parte dei Comuni bolognesi è classificata in zona sismica 3 (classe indicativa di bassa sismicità) ad eccezione dei 10 comuni del Nuovo Circondario Imolese, di Monterenzio e Ozzano dell'Emilia che sono classificati in zona 2 (classe indicativa di media sismicità). Va ricordato che la classificazione sismica italiana prevede 4 zone a pericolosità sismica decrescente (zona 1: sismicità alta; zona 4: sismicità molto bassa).

## 3. Sismotettonica

I dati strumentali, relativi ai terremoti dal 1981 in avanti (figura 6), indicano che nell'area d'interesse la sismicità è per lo più superficiale (profondità ipocentrale generalmente minore di 15 km) e che i terremoti più profondi si concentrano soprattutto nel settore appenninico.

Ciò è confermato anche dalle recenti sequenze sismiche dell'ottobre 2011 e dell'ottobre 2015 ($M_{Wmax}$=4.3, 23/1/2015) che hanno interessato l'alto Appennino, tra il M. Cimone e Firenzuola, e i cui ipocentri sono stati localizzati a profondità distribuite in maniera piuttosto omogenea fino ad oltre 25 km, in particolare a ovest di Porretta. L'ultimo forte terremoto dell'Appennino bolognese, quello del 14 settembre 2003 ($M_W$=5.24) con epicentro nei pressi di S. Benedetto del Querceto, nella valle dell'Idice, è stato invece localizzato a profondità di poco superiore agli 8 km.

I meccanismi focali (figura 7), che indicano le modalità di rottura e scorrimento delle faglie sismogeniche, sono di tipo prevalentemente estensionale nell'alto Appennino e compressivo nel resto del territorio, ovvero nel basso Appennino, lungo il margine appenninico-padano e in pianura. Da segnalare che nel settore occidentale del territorio montano sono documentati due meccanismi focali di tipo trascorrente; è interessante notare che tali meccanismi trascorrenti ricadono tra le valli del Reno e del Panaro, settore già considerato zona di svincolo della catena in base a osservazioni morfologiche e geologiche (v. cap. 1).

Secondo la Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (Martelli et al., 2017a), le strutture tettoniche che mostrano le evidenze di attività più recente (meno di 450.000 anni), sono localizzate nell'alto Appennino, tra Lizzano in Belvedere e il versante nord del Mugello, lungo la zona di transizione Appennino-pianura, tra Bazzano e Castel S. Pietro Terme, e in corrispondenza delle Pieghe Ferraresi a nord di Crevalcore, Galliera e Malalbergo (fig. 1). In queste zone sono localizzati anche gli epicentri dei principali terremoti (figura 3).

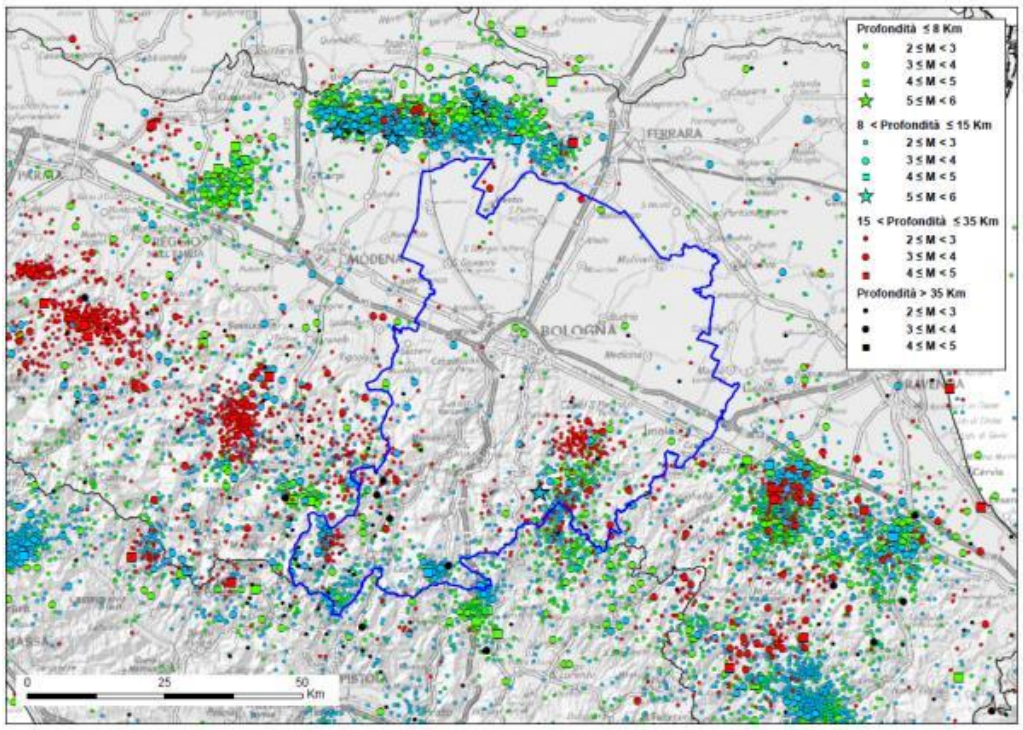



*Figura 6 - Epicentri dei principali terremoti (MW≥4) strumentali dal 1981 al 2015 (da ISIDe Working Group, 2015); in blu il perimetro della Città Metropolitana.*

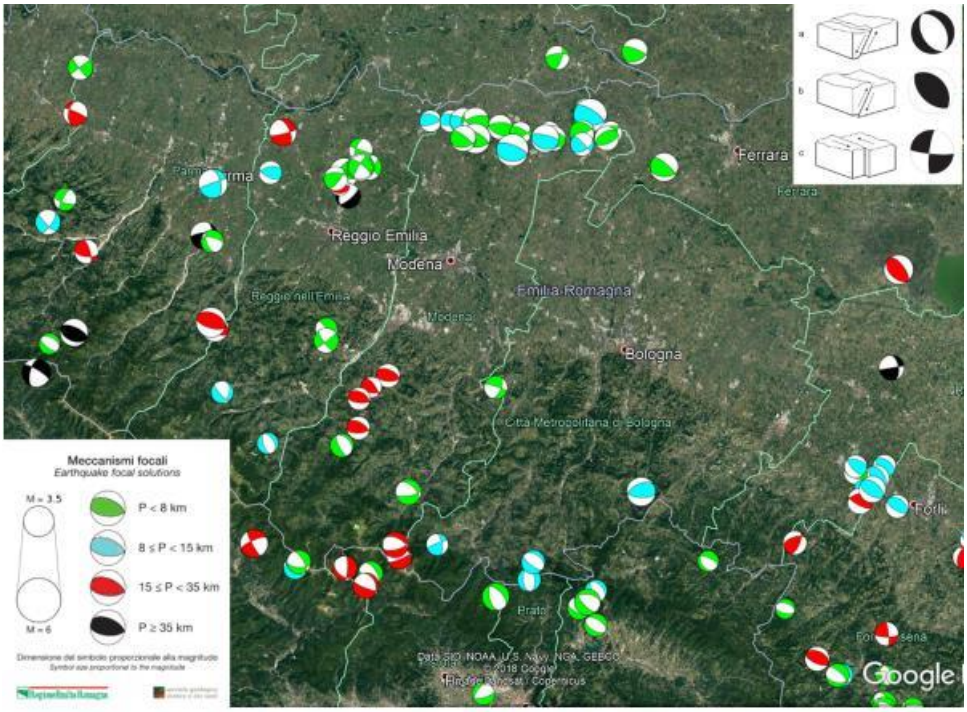



*Figura 7 – Meccanismi focali del territorio bolognese e aree limitrofe (da Martelli et al., 2017a, e http://terremoti.ingv.it.Simboli: i colori indicano le classi di profondità (v. legenda in basso a sinistra), le zone a campitura piena i quadranti in estensione (v. legenda in alto a destra: a) meccanismo distensivo, b) meccanismo compressivo, c) meccanismo trascorrente).*

La versione più recente del catalogo delle strutture sismogenetiche di INGV (DISS 3.2.1, DISS Working Group, 2018) riporta che le sorgenti capaci di generare di forti terremoti (MW>5.5) nel territorio bolognese sono le seguenti (figura 8):

- ITCS027, sorgente composita che caratterizza tutto il versante padano-adriatico dell'Appennino settentrionale, ritenuta capace di generare terremoti di magnitudo fino a 6.2, a profondità comprese tra 12 e 22 km; tale sorgente composita comprende la sorgente individuale ITIS058 Loiano a cui è associato il terremoto del 14/9/2003.
- le ITCS047 e ITCS001, sorgenti composite che caratterizzano il margine appenninico-padano rispettivamente tra Castelvetro di Modena e Castel S. Pietro Terme e tra Castel S. Pietro Terme e Meldola (FC), ritenute capaci di generare terremoti di magnitudo rispettivamente fino a 5.8 e a 6, a profondità comprese tra 2 e 8 km; la sorgente composita ITCS047 comprende le sorgenti individuali ITIS103 Crespellano e ITIS091 Casalecchio di Reno a cui sono associati rispettivamente i terremoti del 1929 e del 1505 mentre la sorgente composita ITCS001 comprende la sorgente individuale ITIS093 Faenza a cui è associato il terremoto del 1781;
- le ITCS051 e ITCS012, segmenti delle Pieghe Ferraresi rispettivamente nei tratti tra Carpi (MO) e Poggio Renatico (FE) e tra Malalbergo e Ravenna, ritenute capaci di generare terremoti di magnitudo fino a 6, a profondità comprese tra 2 e 10 km; la sorgente composita ITCS051 comprende la sorgente individuale ITIS107, denominata Mirandola, a cui è stato associato il terremoto del 29 maggio 2012.

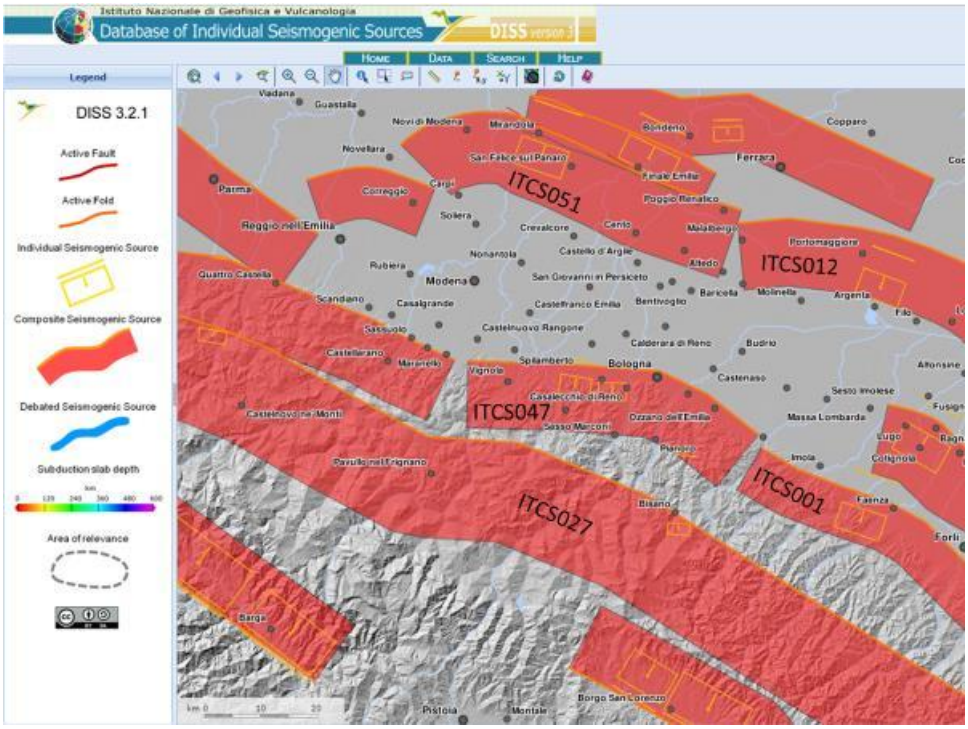



*Figura 8 – Strutture sismogenetiche capaci di generare di forti terremoti (MW≥5.5), da DISS 3.2.1 (DISS Working Group, 2018)*

Occorre comunque tenere presente che nelle aree limitrofe sono presenti altre sorgenti composite capaci di generare forti terremoti in grado di provocare danni anche nel territorio bolognese, come la ITCS103 Finale Emilia-Mirabello e la ITCS050 Poggio Rusco-Migliarino, che comprendono le sorgenti individuali ITIS134 Finale Emilia e ITIS090 Ferrara a cui sono associati rispettivamente i terremoti del 20/5/2012 e del 1570, la ITCS011 che caratterizza la pianura romagnola tra S. Agata sul Santerno e Forlimpopoli e comprende la sorgente individuale ITIS100 Bagnacavallo a cui è associato il terremoto del 1688, la ITCS037 del Mugello e la ITCS083 della Garfagnana.

Sulla base della distribuzione, frequenza ed energia dei terremoti, dei meccanismi di fagliazione e delle caratteristiche geologiche il territorio nazionale è stato suddiviso in zone sismogenetiche. L'attuale zonazione sismogenetica di riferimento a scala nazionale è la ZS9 proposta da Meletti e Valensise nel 2004 per la redazione della mappa di pericolosità sismica nazionale (figura 9a).

Secondo la ZS9 il territorio bolognese si colloca a cavallo di 4 zone: la 912, la 913, la 914 e la 915.

In particolare, l'alto Appennino ricade nella zona 915 caratterizzata da meccanismi di fagliazione prevalentemente estensionali mentre il resto della catena ricade a cavallo delle zone 913 e 914 i cui meccanismi di fagliazione risultano indeterminati, ovvero le registrazioni e gli studi indicano che in queste aree sono possibili terremoti sia estensionali che compressivi e trascorrenti. Il settore di pianura ricade invece interamente nella zona 912 dove i meccanismi di fagliazione sono prevalentemente compressivi.

La magnitudo massima attesa è pari a 6.14 per le zone 912, 913 e 914 mentre è maggiore, pari a 6.6, per la zona 915.

Secondo la ZS9 le zone sismogenetiche dell'Appennino settentrionale hanno uno sviluppo prevalentemente parallelo all'asse della catena e non sono considerate zone con sviluppo trasversale. Tuttavia, alcuni limiti tra zone appenniniche della ZS9 sono posti in corrispondenza di importanti strutture trasversali note in letteratura; ad esempio, nel territorio bolognese il limite tra le zone 913 e 914 è posto circa in corrispondenza della Linea del Sillaro *Auctt*. (Ghelardoni, 1965; Bortolotti, 1966; Castellarin et al., 1985).

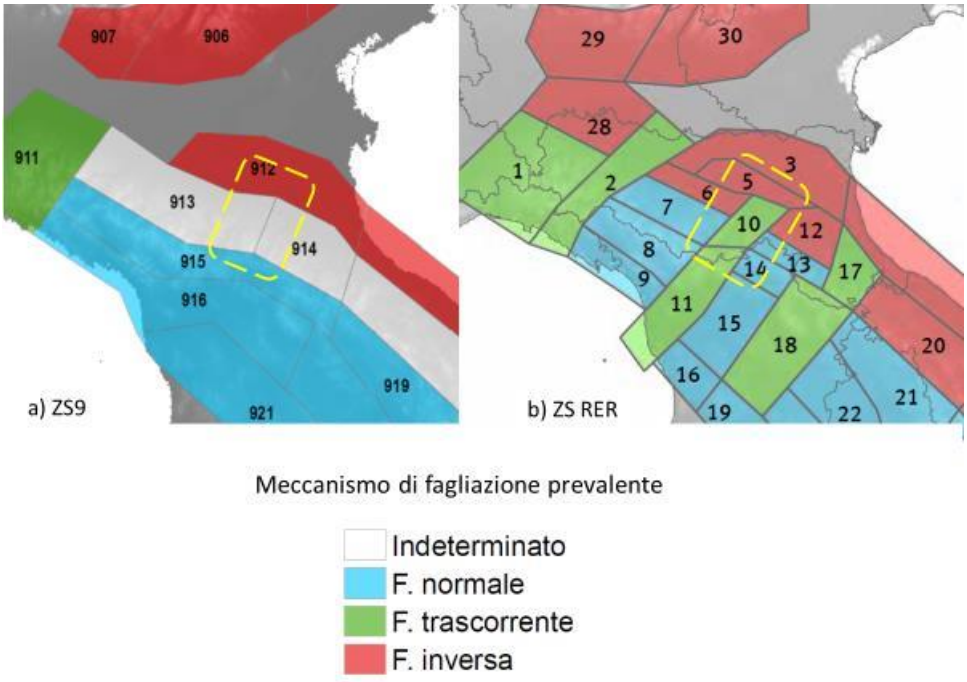



*Figura 9 – a particolare della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004); b) particolare della zonazione sismogenetica proposta dalla Regione Emilia-Romagna (Martelli et al., 2017b); il perimetro tratteggiato giallo indica l'area d'interesse.*

Maggiore importanza alle strutture tettoniche trasversali è data invece dalla zonazione recentemente proposta da Martelli et al. (2017b) per l'Appennino settentrionale e aree limitrofe (figura 9b). Tale zonazione restituisce zone meno ampie, per ognuna delle quali è però indicato un meccanismo prevalente di fagliazione. Secondo tale zonazione, il territorio appenninico tra le valli del Reno e del Sillaro ricade nella zona 10 e in parte nella zona 11, entrambe caratterizzate da sismicità non elevata e dalla presenza di strutture sismogenetiche trasversali con componente trascorrente. Il settore appenninico a ovest del Reno ricade nella zona 7, che comprende gran parte dell'Appennino emiliano ed è anch'essa caratterizzata da sismicità non elevata ma da terremoti superficiali di tipo estensionale e profondi di tipo compressivo. La zona del margine appenninico-

padano a ovest del Reno ricade nella zona 6 dove invece la sismicità è maggiore, sia per frequenza che per intensità, e i terremoti sono prevalentemente di tipo compressivo. Il settore appenninico a est del Sillaro ricade nella zona 13 che comprende l'alto Appennino romagnolo, caratterizzato da sismicità frequente, talora di intensità elevata, con terremoti superficiali estensionali e profondi compressivi. La zona del margine appenninico-padano a est del Sillaro ricade nella zona 12, anch'essa caratterizzata da sismicità frequente e talora elevata ma con meccanismi prevalentemente di tipo compressivo. La pianura bolognese si colloca nelle zone 3 e 5, entrambe caratterizzate da terremoti di tipo compressivo; la differenza tra le due zone consiste per lo più nella maggiore frequenza ed energia dei terremoti della zona 3, corrispondente alle Pieghe Ferraresi, mentre nella zona 5 i terremoti sono meno frequenti e generalmente di minore energia.

## 4. La pericolosità sismica per la pianificazione urbanistica e la progettazione

### 4.1 Pericolosità sismica di base

Sulla base delle conoscenze sismologiche e geologiche disponibili, nel 2004 è stata realizzata la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, denominata MPS04 (Gruppo di lavoro MPS, 2004), riferimento per il calcolo dell'azione sismica per la progettazione (v. http://esse1.mi.ingv.it/). Tale studio fornisce i valori di accelerazione di picco al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, i.e. categoria di sottosuolo A delle NTC2018) per vari periodi di ritorno; l'accelerazione di picco su suolo rigido e pianeggiante è considerata il parametro indicativo della pericolosità sismica di base per la progettazione (v. EuroCode8: Bisch et al., 2012). La versione della MPS04 per periodo di ritorno di 475 anni è stata assunta anche come riferimento per la riclassificazione sismica del territorio (OPCM 3519/2006) e nella pratica è diventata riferimento anche per gli studi di microzonazione sismica. In figura 10 è mostrata tale mappa per l'Emilia-Romagna e zone limitrofe.

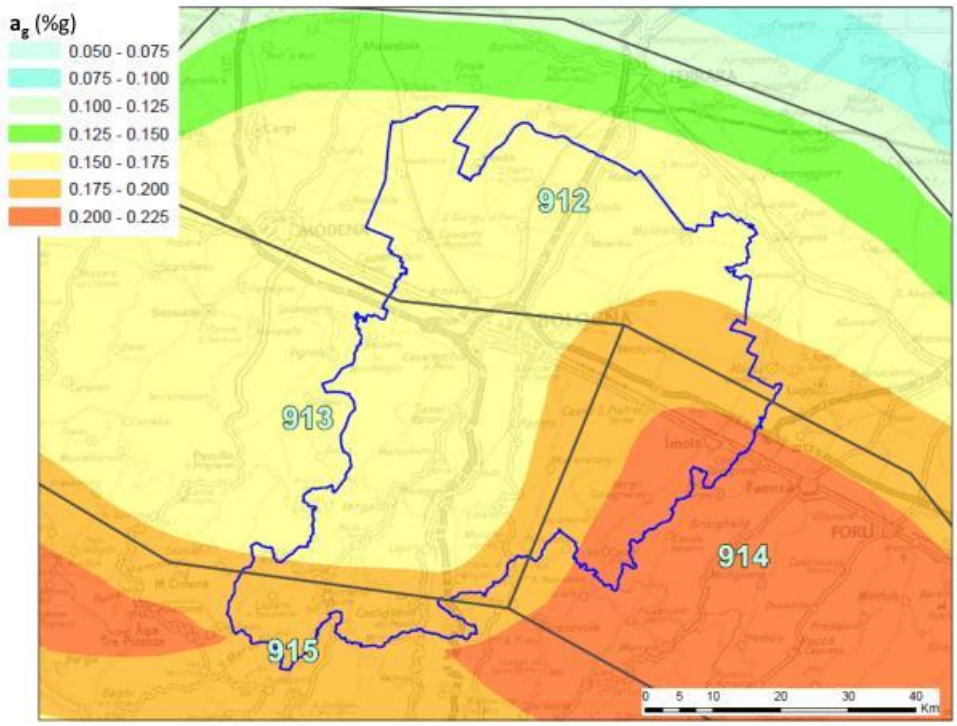



*Figura 10 – Mappa di pericolosità sismica di base per l'Emilia-Romagna e zone limitrofe, TR= 475 anni (Gruppo di lavoro MPS, 2004); i colori indicano le classi di ag, accelerazione di picco su suolo rigido e pianeggiante, espressa in percentuale dell'accelerazione di gravità g; in blu il perimetro della Città Metropolitana, in nero i limiti delle zone sismogenetiche ZS9.*

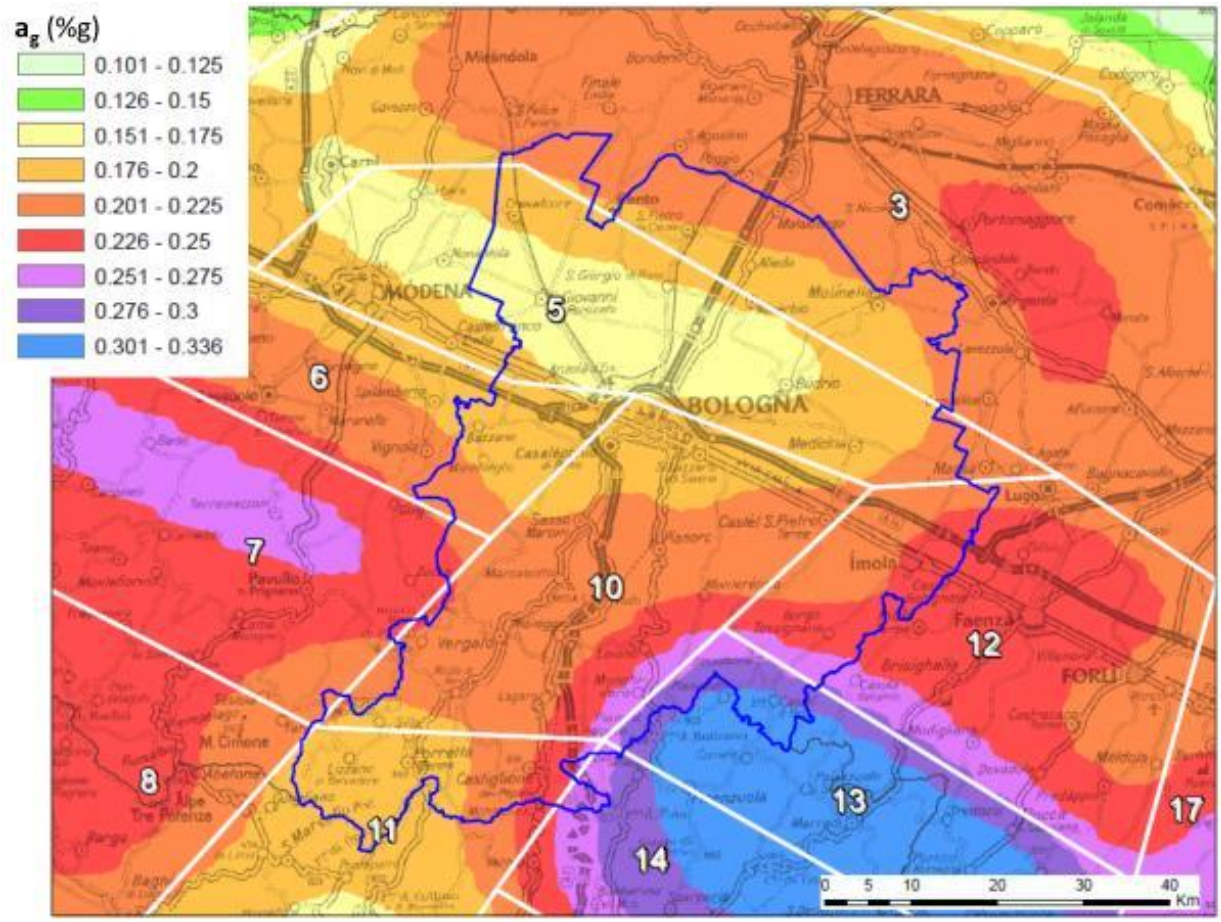



*Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica di base per l'Appennino settentrionale e zone limitrofe sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche (Martelli et al., 2017b), TR= 475 anni; i colori indicano le classi di ag, accelerazione di picco su suolo rigido e pianeggiante, espressa in percentuale dell'accelerazione di gravità g; in blu il perimetro della Città Metropolitana, in bianco i limiti delle zone sismogenetiche ZS RER.*

La mappa di pericolosità sismica nazionale è in aggiornamento; tale aggiornamento si rende necessario in quanto, a distanza di anni dalla pubblicazione della MPS04, sono stati resi disponibili nuovi dati e sono stati proposti nuovi approcci e procedure per la stima della pericolosità (Meletti et al., 2018).

Tra i vari contributi per la nuova mappa di pericolosità sismica vale la pena citare anche quello basato sulla nuova zonazione sismogenetica citata (fig. 9b) e sull'analisi della pericolosità sismica considerando un modello 3D delle sorgenti sismiche (Martelli et al., 2017b). Il risultato di tale elaborazione per il periodo di ritorno di 475 anni è mostrato in figura 11.

In ogni caso, per quanto riguarda il territorio bolognese, entrambe le mappe riportano che la pericolosità sismica di base decresce dal settore orientale della zona appenninica al settore occidentale della pianura.

Però, per la stima dell'effettiva pericolosità sismica al sito, valutazione richiesta sia per la pianificazione urbanistica che per la progettazione al fine di indirizzare le scelte insediative verso le aree a minore pericolosità e/o ridurre la vulnerabilità delle costruzioni, occorre che i valori della pericolosità di base siano incrementati con i valori di amplificazione dovuti alle condizioni morfologiche e geologiche locali (effetti locali).

### 4.2 Effetti locali e microzonazione sismica

Come anticipato sopra, il moto sismico può essere notevolmente modificato dalle condizioni geologiche che caratterizzano il sottosuolo e dalla topografia, con il risultato che in superficie il moto può risultare sensibilmente amplificato. In particolare, i terreni poco consolidati e alcune morfologie, sia sepolte che superficiali, possono modificare l'ampiezza, la frequenza e la durata del moto di input. Ai fini della riduzione del rischio sismico, interessa soprattutto individuare e cartografare tutti quegli elementi del territorio che possono produrre un aumento dello scuotimento. L'amplificazione del moto può anche indurre fenomeni di instabilità quali frane, fenomeni di liquefazione e fratturazione del terreno, con conseguenti cedimenti e spostamenti. La modificazione del moto sismico e i fenomeni sismoindotti per la presenza di particolari condizioni geologiche e morfologiche locali sono noti come "effetti locali".

È evidente che la conoscenza della distribuzione sul territorio degli elementi geologici e topografici che possono determinare effetti locali è uno strumento di grande importanza ed efficacia per la riduzione del rischio sismico, in quanto permette di attuare strategie di prevenzione già dalle prime fasi della programmazione territoriale.

Per tali motivi da anni le norme nazionali e regionali richiedono la realizzazione di studi per la definizione della pericolosità locale e la microzonazione sismica del territorio.

In particolare, la microzonazione sismica, ovvero la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento del terreno durante e a seguito di un terremoto, si è rivelata uno degli strumenti più efficaci di rappresentazione della pericolosità sismica locale, soprattutto se applicata in fase di pianificazione urbanistica.

In Emilia-Romagna l'analisi della pericolosità sismica per la programmazione territoriale e la microzonazione del territorio per la pianificazione urbanistica sono regolate da specifiche linee guida fino dal maggio 2007, quando è entrato in vigore il primo atto d'indirizzo ai sensi della normativa urbanistica vigente (deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007). Questi primi indirizzi sono stati aggiornati nel 2015, con delibera di Giunta Regionale n. 2193, e, a seguito della nuova legge urbanistica regionale n. 24/2017, con delibera di Giunta Regionale n. 630 del 2019. Tali indirizzi sono vincolanti per la formazione dei piani territoriali e urbanistici e la microzonazione sismica è riferimento necessario per la VALSAT preventiva alle singole scelte del piano.

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico e innescare o riattivare fenomeni di instabilità. Le conoscenze territoriali oggi disponibili in Emilia-Romagna, soprattutto grazie alla cartografia geologica, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali (v. Allegato A1 DGR 630/2019).

Per quanto non indicato negli indirizzi regionali costituiscono riferimento per l'analisi della pericolosità locale e la microzonazione sismica gli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (Gruppo di Lavoro MS (2008), pubblicati nel novembre 2008 dal Dipartimento della Protezione Civile, in collaborazione con la Conferenza delle Regioni e PA, disponibili nel sito web del DPC[1], i successivi aggiornamenti e integrazioni promossi dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del DPC relativi alle procedure di analisi della pericolosità sismica locale in condizioni di particolare criticità (instabilità di versante, faglie attive e capaci, liquefazione), disponibili nel sito web del DPC[2], nonché gli standard di archiviazione e rappresentazione dei dati scaricabili dal sito web del Centro Microzonazione Sismica[3].

In figura 12 è illustrato lo stato dell'arte degli studi di microzonazione sismica nella Città Metropolitana.

[1] *http://www.protezionecivile.gov.it/media-comunicazione/pubblicazioni/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/indirizzi-e-criteri-per-la-microzonazione-sismica*

[2] *http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/commissione-supporto-monitoraggio-studi-microzonazione*

[3] https://centromicrozonazionesismica.it/it/download/category/3-linee-guida

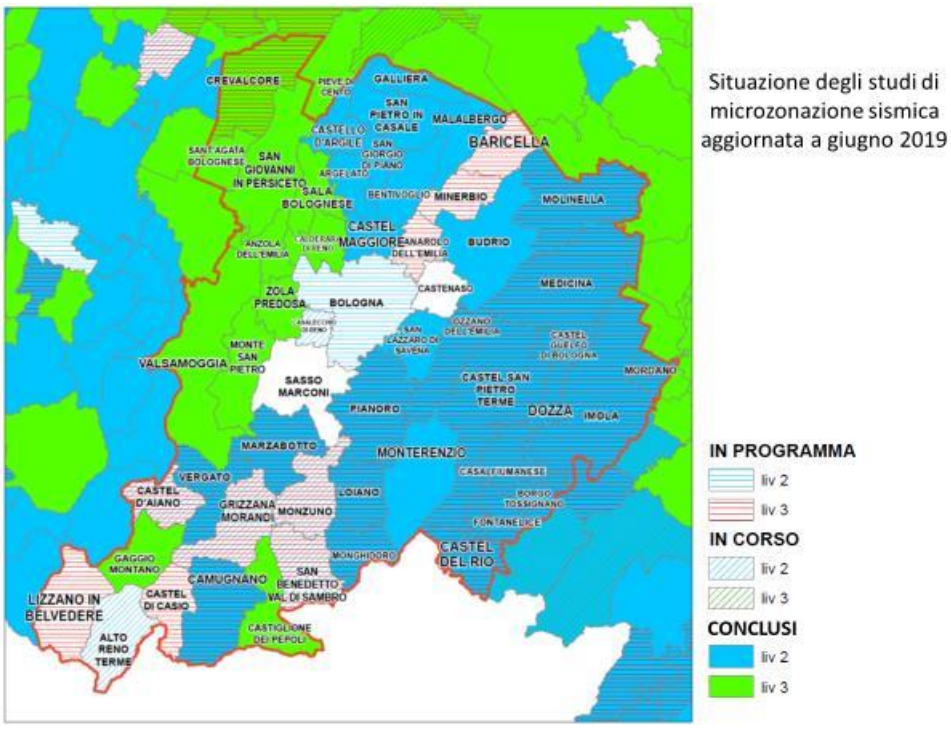



*Figura 12 - Stato dell'arte degli studi di microzonazione sismica; in rosso il perimetro della Città Metropolitana.*

Gli studi di microzonazione sismica completati e adeguati agli standard regionali e nazionali sono pubblicati in formato pdf nel sito web http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/. Gli stessi studi sono disponibili in formato GIS editabile per gli operatori di protezione civile in un sito dedicato della piattaforma regionale MOKA.

### 4.3 L'analisi della condizione limite di emergenza

Dal 2012, agli studi di microzonazione sismica vengono associati le analisi della condizione limite di emergenza (CLE), ovvero le analisi delle strutture ritenute necessarie per la gestione dell'emergenza (edifici di coordinamento dei soccorsi, presidi sanitari, aree di emergenza, viabilità di accesso e collegamento) affinché i centri abitati, in caso di sisma, conservino l'operatività della maggior parte delle funzioni strategiche.

In pratica, l'analisi della CLE offre una fotografia dello stato dell'arte della funzionalità delle strutture strategiche e costituisce quindi anche uno strumento di verifica e aggiornamento dei piani di protezione civile

La funzionalità delle strutture strategiche è valutata anche in base alle condizioni geologiche e morfologiche dei siti in cui hanno sede le strutture strategiche.

Il semplice confronto tra le carte di analisi della CLE e quelle di microzonazione sismica consente di individuare facilmente le zone in cui sono presenti elementi di pericolosità locale che potrebbero compromettere la funzionalità del sistema durante l'emergenza.

In sintesi, l'analisi della CLE, associata alla microzonazione sismica, fornisce elementi essenziali per valutare l'opportunità di conservare nei siti scelti le funzioni strategiche, programmare eventuali interventi di miglioramento e/o messa in sicurezza degli edifici strategici e degli edifici interferenti con la viabilità di accesso e connessione, o in alternativa delocalizzare in siti più idonei le funzioni strategiche; permette anche di individuare facilmente le zone potenzialmente instabili che interferiscono con la viabilità e quindi programmare eventuali interventi di manutenzione in tempo di "pace" o interventi prioritari controllo in caso di emergenza sismica.

In figura 13 è illustrato lo stato dell'arte delle analisi della condizione limite di emergenza nella Città Metropolitana.

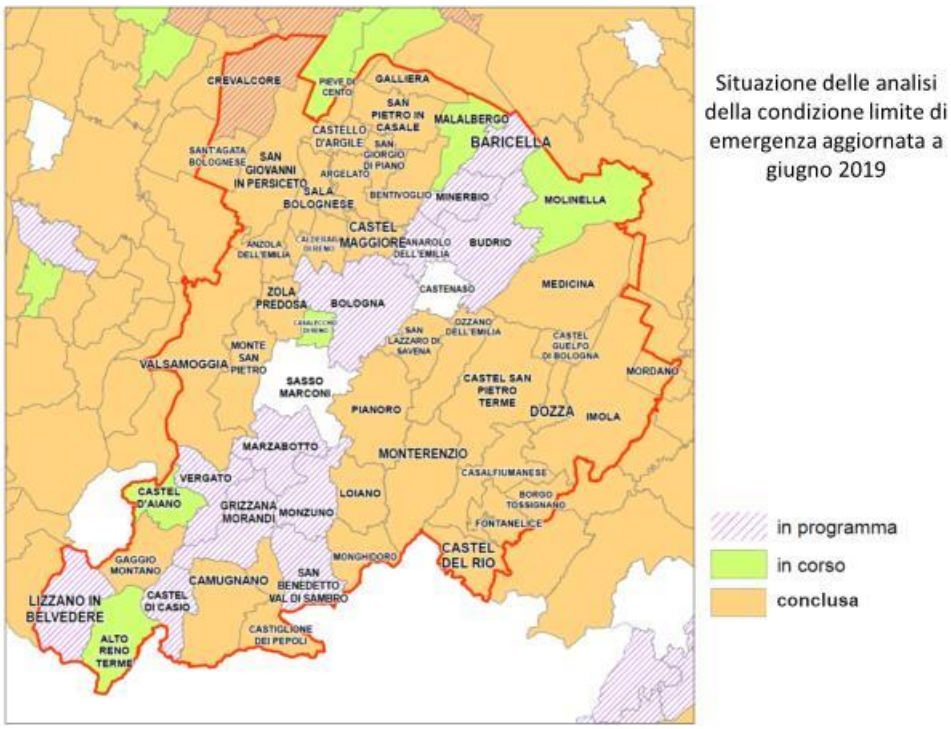



*Figura 13 - Stato dell'arte delle analisi della condizione limite di emergenza; in rosso il perimetro della Città Metropolitana*

Anche le analisi della condizione limite di emergenza completate e adeguate agli standard regionali e nazionali sono pubblicate in formato pdf nel sito web http://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/ e disponibili in formato GIS editabile per gli operatori di protezione civile in un sito dedicato della piattaforma regionale MOKA.

# 5 Rappresentazione della pericolosità sismica locale a scala provinciale

## 5.1 Criteri cartografici adottati

Di seguito vengono sinteticamente descritti i criteri e le varie fasi di realizzazione della cartografia di pericolosità sismica locale a supporto del PTM della Città Metropolitana di Bologna.

Come approccio di partenza, questa nuova analisi ha seguito le procedure di selezione e sintesi cartografica già descritte nella relazione illustrativa della variante al PTCP ai sensi dell'art. 27 della LR 20/2000 e s.m.i "Variante in materia di riduzione del rischio sismico. adeguamento alla L.R. 19/2008. Quadro Conoscitivo" approvata con Delibera di Consiglio Provinciale n. 57 del 28.10.2013.

Occorre premettere che i vari studi di microzonazione sismica effettuati negli ultimi 10 anni (v. § 4.2 e figura 12) hanno confermato la validità dell'analisi e degli elaborati sulla pericolosità sismica locale realizzati per il PTCP. Per questa nuova analisi, tali studi hanno peraltro fornito ulteriori elementi di aggiornamento.

Si sono recepiti, inoltre, contributi derivanti dai dati sismologici pubblicati nell'ultimo decennio (v. cataloghi, bollettini e report INGV) e da aggiornamenti cartografici appositamente realizzati.

Gli elementi geologici e morfologici potenzialmente capaci di produrre effetti locali sono stati selezionati dalle cartografie geologiche e geotematiche disponibili seguendo le indicazioni contenute nell'Allegato A1 alla DGR 630/2019 mentre gli aggiornamenti appositamente realizzati per questa analisi sono i seguenti:

- revisione cartografica delle aree instabili e potenzialmente instabili dell'Appennino bolognese;
- revisione cartografica della distribuzione dei corpi ghiaiosi affioranti e sepolti nelle aree di conoide alluvionale, ovvero lungo il margine appenninico-padano e nell'alta pianura;
- revisione cartografica delle zone potenzialmente soggette a liquefazione;

I dati di base disponibili ed utilizzati derivano da:

- Carta Geologica parte di pianura a scala 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).
- Carta Geologica parte collinare e montana a scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).
- Inventario delle frane a scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).
- Archivio storico delle frane della Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna).
- Cave e discariche del territorio provinciale (dal PIAE e PPGR).
- Modello digitale del terreno con celle di 10 m x 10 m elaborato dalla Provincia di Bologna.

- Aree a rischio di frana perimetrale e zonizzate derivanti dai Piani di Bacino (PSAI bacino del Reno)

Come limite pianura – rilievi appenninici, utilizzato e adottato per la realizzazione delle cartografie tematiche del quadro conoscitivo, si è assunto il Perimetro dei Bacini Montani definito nel PSAI del bacino del Reno, con alcune modeste variazioni legate a particolari condizioni morfologiche locali.

### 5.2 Descrizione della cartografia elaborata per il Quadro Conoscitivo

Il Quadro Conoscitivo elaborato per il PTM viene rappresentato dalla cartografia "*Carta degli elementi geologici che possono determinare effetti locali*", costituita da sette fogli alla scala 1:25.000 e comprendente tutto il territorio di competenza della Città Metropolitana di Bologna.
La citata mappa rappresenta la sintesi cartografica di approfondimento geologico effettuato e individua per i settori di Pianura e per i settori di Appennino i principali elementi geologici e morfologici potenzialmente capaci di produrre effetti locali, elencati nella tabella 2.

| | |
|---|---|
| SETTORE DI PIANURA | Depositi di conoide prevalentemente grossolani o di interconoide prevalentemente fini |
| | Isobate del tetto e dei limiti laterali delle ghiaie di conoide |
| | Depositi di canale/argine con intervalli granulari nei primi 20 metri |
| | Depositi di piana interfluviale prevalentemente fini |
| | Cave e accumuli di origine antropica (ulteriori elementi) |
| SETTORE DI APPENNINO | Depositi alluvionali intravallivi di margine |
| | Depositi di conoide torrentizia |
| | Depositi di frana (attiva; quiescente; stabilizzata) |
| | Depositi di versante s.l. |
| | Substrato affiorante (rigido; non rigido) |
| | Evaporiti (Vena del Gesso) e cavità ipogee |
| | Faglie e/o discontinuità tettoniche |
| | Pendii/scarpate con acclività comprese tra 15° e 50° |
| | Scarpate con acclività >50° |
| ULTERIORI ELEMENTI | Alvei attivi e invasi dei bacini idrici |
| | Cave/accumuli di origine antropica |

*Tabella 2. Principali elementi geologici riportati nella "Carta degli Elementi geologici che possono determinare effetti locali"*

Si illustrano qui di seguito ulteriori informazioni sui contenuti rappresentati nella cartografia prodotta a supporto del Quadro Conoscitivo.

SETTORE DI PIANURA

Per il settore di pianura, la cartografia distingue sia i principali elementi di superficie dei depositi affioranti, sia i principali elementi geologici del sottosuolo e/o sepolti che possono modificare il moto sismico.

Questi elementi sono stati fondamentalmente distinti in base alle granulometrie prevalenti (in quanto il comportamento dei materiali, in caso di sisma, risulta essere diverso) e al relativo macroambiente deposizionale. Gli elementi riportati in cartografia costituiscono, peraltro, l'esito di un lavoro di analisi che ha consentito di accorpare specifiche classi tessiturali derivate dalle carte geologiche e geomorfologiche. Le analisi sono state anche integrate con dati desunti dagli studi di microzonazione sismica comunali[4], e da ulteriori contributi forniti dal SGSS regionale (es. nuovi dati sui corpi ghiaiosi sepolti di conoide).

Le informazioni di riferimento sui depositi di conoide prevalentemente grossolani o di interconoide prevalentemente fini derivano dalla banca dati regionale degli elementi geologici di sottosuolo disponibile per tutta la pianura emiliano-romagnola (figura 14); tale banca dati ha permesso di cartografare (tramite isobate riferite al livello medio del mare), alcune delle principali superfici deposizionali di conoide alluvionale sepolta. Dal punto di vista sismico, è necessario rammentare che la prima importante discontinuità stratigrafica (a partire dal piano campagna), in grado di influenzare il moto sismico in superficie in ampi settori di pianura, è rappresentata dal tetto dei principali corpi ghiaiosi, di spessore >5 metri, che formano la prosecuzione nel sottosuolo delle conoidi dei principali fiumi appenninici, sepolte sotto una copertura di depositi prevalentemente fini. I dati di sottosuolo accorpati come depositi di conoide sono risultati i seguenti:

- ghiaie di conoide amalgamate sepolte (prevalentemente di età Pleistocene sup.-Olocene);
- ghiaie sepolte del subsistema di Villa Verrucchio – AES7 (Pleistocene sup.);
- ghiaie sepolte del subsistema di Ravenna – AES8 (Olocene);
- ghiaie subaffioranti del subsintema di Ravenna – Unità di Modena – depositi post romani

Per questo studio, i dati quotati delle ghiaie sepolte già disponibili (riferiti slm), sono stati rielaborati per ricavare limiti e isobate del tetto delle ghiaie di conoide riferite alla profondità rispetto al piano campagna. Il lavoro ha necessitato di un controllo delle quote topografiche della pianura, fornendo così una migliore visione e comprensione di queste discontinuità stratigrafiche e degli spessori di depositi alluvionali fini sovrastanti (figura 15).

[4] disponibili alla data della stesura della presente cartografia.

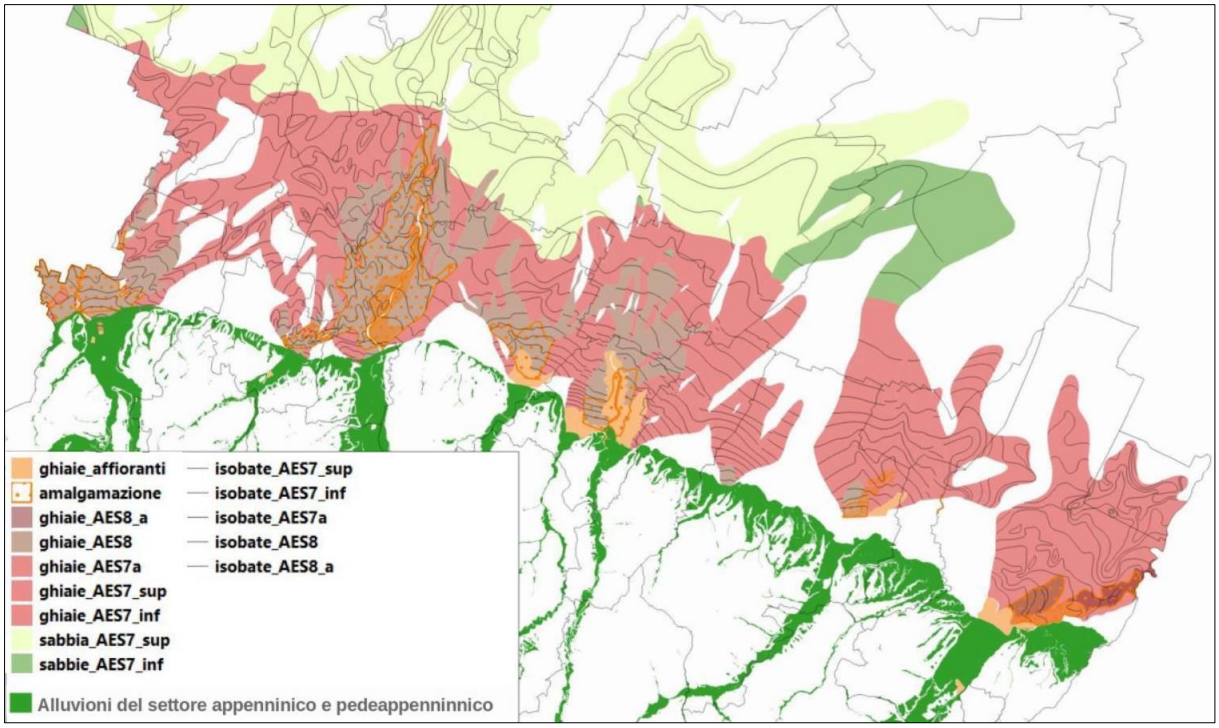



*Figura 14 - Ricostruzione dei depositi grossolani di conoide nel territorio metropolitano di Bologna (fonte: Banca Dati SGSS RER).*

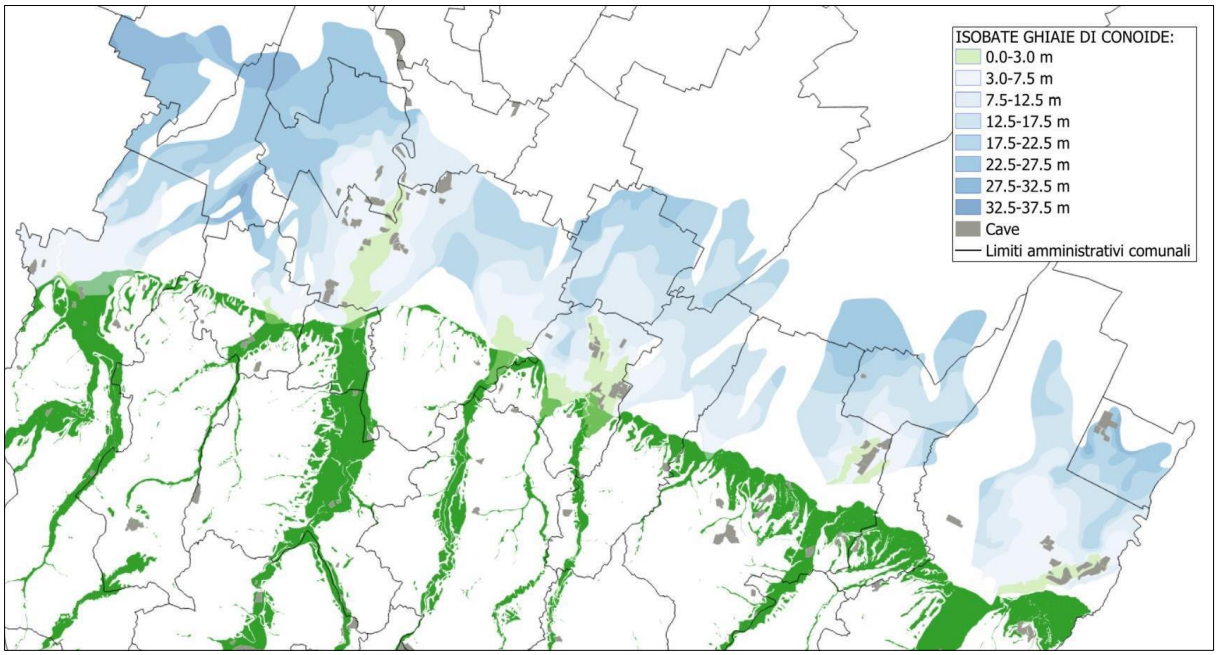



*Figura 15 – Rielaborazione della profondità del tetto dei depositi grossolani di conoide rispetto alle quote di campagna.*

Le aree di interconoide sono costituite da successioni di depositi alluvionali a tessiture prevalentemente fini e circoscritte lateralmente dai limiti di aggradazione delle principali conoidi

sepolte ghiaiose; a sud tali aree sono limitate dal margine appenninico affiorante e dai depositi alluvionali intravallivi.

I limiti tra conoide e interconoide, tuttavia, non risultano sempre ben definiti e netti e possono presentare anche marcate differenziazioni tessiturali per cause deposizionali più complesse (es. aggradazioni laterali di limitate estensione; situazioni di coalescenza di più conoidi, ecc.). Le zone di interconoide comprendono, inoltre, conoidi meno estese e non facilmente delimitabili, originate da corsi d'acqua secondari, anche caratterizzate da limitate successioni ghiaiose.

In questo senso, la figura 16 offre un'elaborazione di sintesi, effettuata per questo studio, di rappresentazione delle registrazioni dei microtremori sismici HVSR derivati dagli studi di microzonazione sismica disponibili. Si evince come tali prove sismiche effettuate in corrispondenza delle principali conoidi sepolte registrino massime amplificazioni spettrali H/V variamente distribuite in intervalli di frequenze medio-alte (frequenze di risonanza fondamentali $f_0$ >2 Hz) e correlabili con la presenza di riflettori sismici (tetto di depositi ghiaiosi) a profondità inferiori a 30 metri.

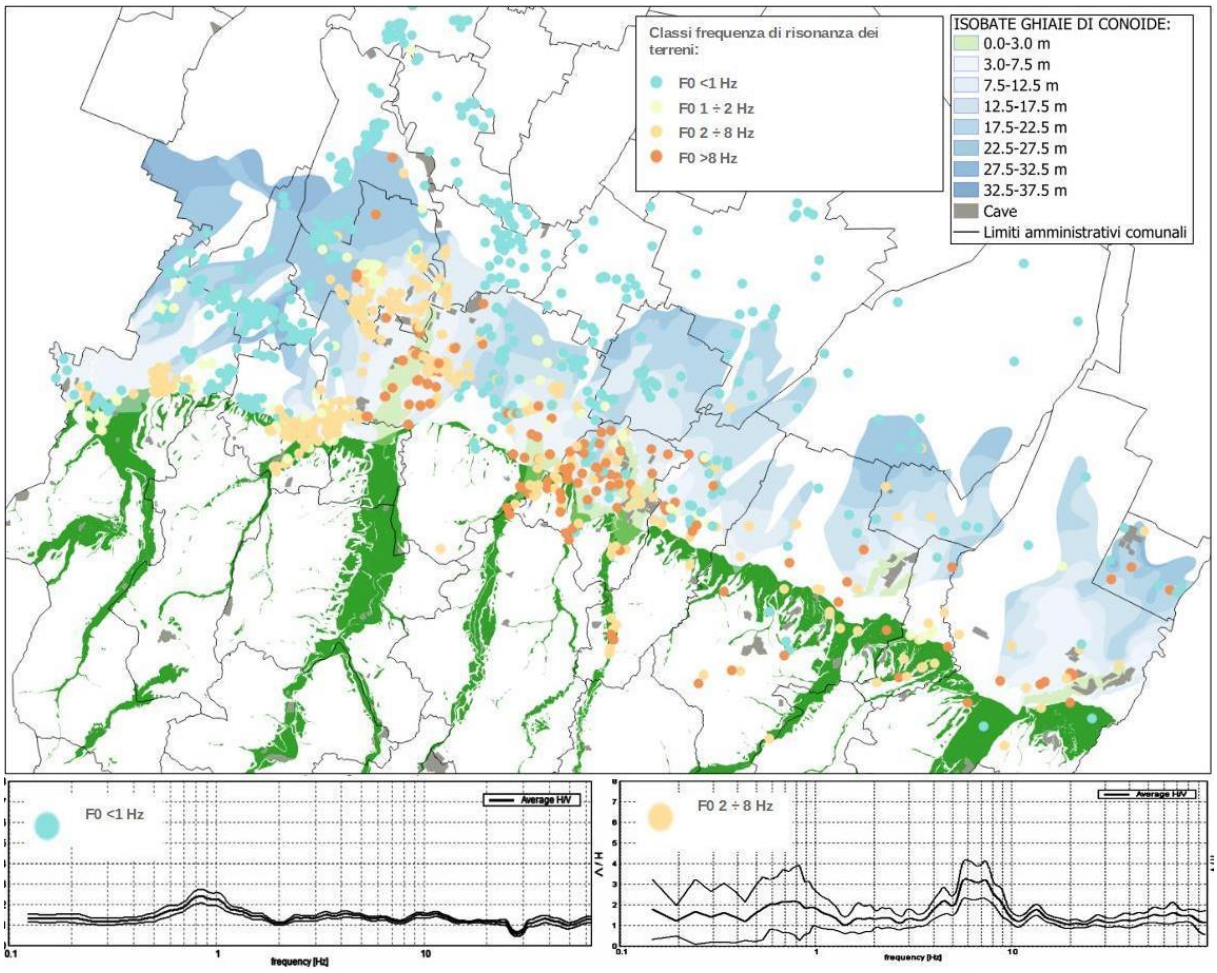



*Figura 16 – Confronto tra limiti e profondità dei depositi grossolani di conoide e le misure dei microtremori sismici HVSR (prove eseguite per gli studi di MS comunali).*

Le prove HVSR realizzate più a nord (piana interfluviale) e le prove effettuate nelle principali aree di interconoide (es. “Reno-Samoggia” e “Reno-Savena”) hanno generalmente fornito massime amplificazioni spettrali H/V a basse frequenze ($f_0$<1 Hz), dimostrando la presenza di riflettori sismici situati a maggiori profondità (almeno 80÷100 metri) e assenza di intervalli ghiaiosi superficiali. In alcune aree di interconoide (es. Sillaro-Santerno) gli esiti H/V risultano invece più eterogenei, per la presenza di successioni ghiaiose, di limitata estensione laterale, attribuibili a corsi d’acqua secondari.

Gli studi di MS comunali già disponibili hanno dunque confermato come le aree di conoide e di interconoide presentino caratteristiche sismostratigrafiche piuttosto diversificate e tali da poter condizionare la risposta sismica locale in modalità altrettanto differenziate. Queste informazioni appaiono dunque di fondamentale riferimento per le valutazioni riguardanti il rischio sismico, in particolare per le valutazioni riferibili alla vulnerabilità dei manufatti esistenti e/o da realizzare, per questo settore di territorio che risulta densamente urbanizzato. Si rammenta, infatti, come le frequenze di risonanza dei terreni siano in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti una delle più importanti cause di danno e distruzione durante un terremoto (Mucciarelli, 2012).

Le informazioni sui depositi di canale/argine granulari e sui depositi di piana interfluviale fini sono anch’esse derivate dalla banca dati regionale, tuttavia integrate con gli esiti degli studi di MS comunali disponibili. Si è potuto così effettuare un ulteriore aggiornamento dei dati conoscitivi rispetto alle informazioni già disponibili per lo studio sismico prodotto a corredo del PTCP. In particolare, sono stati aggiornati i limiti dei depositi di canale/argine caratterizzati da intervalli granulari predisponenti la liquefazione (da limi sabbiosi a ghiaie limose, di spessore metrico, nei primi 20 m di profondità con tetto della falda acquifera nei primi 15 m dalla superficie). Occorre anche rammentare che i territori compresi nel contesto di piana interfluviale possono comprendere terreni con proprietà meccaniche scadenti che, in caso di forti scosse, possono essere soggetti anche a cedimenti per densificazione.

È necessario rammentare che, nella pianura, gli spessori dei depositi alluvionali possono essere anche molto elevati e dunque in grado di condizionare anche significativamente il moto sismico fino alla superficie. La ricostruzione quotata delle superfici basali dei sedimenti alluvionali deposti durante i principali cicli deposizionali[5] (non riportati nella cartografia) sono ben rappresentati nella

[5] in particolare, la superficie basale del ciclo alluvionale superiore (AES), datata circa 450.000 anni, e la base del ciclo alluvionale inferiore (AEI), datata circa 650.000 anni, corrispondente anche al tetto del substrato marino, generalmente costituito dalle Sabbie di Imola (Pleistocene medio) o dalla parte superiore (Pleistocene inferiore) delle Argille Azzurre.

"Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe"[6] alla scala 1:250.000 alla quale si rimanda per ulteriori dettagli. Si può tuttavia ricordare che nella sinclinale compresa tra Bologna e S. Pietro in Casale (figura 2), nell'area di maggiore approfondimento lungo l'asse tra Nonantola (MO) e Conselice (RA), la base di AES raggiunge, e localmente supera, i 300 metri di profondità mentre la base di AEI è quasi ovunque a profondità dell'ordine di 450 metri superando i 500 metri tra S. Agata Bolognese e Sala Bolognese e a est di Budrio.

Il settore di pianura include e delimita anche le principali cave (tombate e/o parzialmente tombate) e gli accumuli di origine antropica (discariche; accumuli di terre di scavo) conosciuti alla data della stesura della presente cartografia, in quanto i materiali di riempimento delle ex aree di cava possono avere proprietà meccaniche più scadenti dei terreni circostanti e tali aree possono essere soggette ad effetti di amplificazione importanti, anche di tipo 2D e 3D; inoltre, tali materiali di riempimento possono essere soggetti a densificazioni e conseguenti cedimenti, anche differenziali, e a instabilità nel caso di scarpate di cava o di accumuli. Si sottolinea che nelle tavole del quadro conoscitivo sono state inserite sole le aree conosciute alla data della stesura della presente cartografia.

SETTORE DI COLLINA – MONTAGNA

Gli elementi riferiti al settore di collina e montagna sono derivati dalla carta geologica in scala 1:10.000 dell'Appennino Emiliano-Romagnolo, con opportune integrazioni dei depositi di copertura.

I depositi continentali quaternari sono stati raggruppati nelle seguenti classi:

- frane attive, quiescenti e stabilizzate
- depositi di versante
- depositi alluvionali intravallivi e di margine
- depositi di conoide torrentizia

Vengono inoltre delimitate le principali aree di cava e gli accumuli di origine antropica (discariche e depositi di terre di scavo).

I depositi di versante in s.l. comprendono anche i depositi eluvio-colluviali, i depositi detritici di falda, i depositi eolici, glaciali e periglaciali. Inoltre, la distinzione tra depositi di frana (attive, quiescenti, stabilizzate) e depositi di versante in s.l. è stata mantenuta, nonostante tutti questi terreni siano suscettibili di amplificazione e instabilità di versante, in quanto le aree interessate da frane attive presentano una maggiore propensione al dissesto rispetto a quelle su frane quiescenti ed ai depositi di versante; gli utilizzi del territorio interessato da frane in atto, si sottolinea, sono generalmente già limitati da altre norme, indipendentemente dal rischio sismico.

[6] Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017a). Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.

I depositi di origine antropica, come già indicato per il settore di pianura, possono subire forti amplificazioni per effetti 2D o 3D, densificazioni e conseguenti cedimenti, anche differenziati e locali fenomeni di instabilità nel caso di accumuli su pendio.

Sempre dalla carta geologica 1:10.000 dell'Appennino Emiliano-Romagnolo si sono ricostruiti gli elementi litologici del substrato affiorante, raggruppati nelle seguenti classi:

1. substrato rigido: rocce presumibilmente caratterizzate da Vs30≥800 m/s (materiale lapideo non stratificato o stratificato; alternanze arenitico-pelitiche con rapporto arenite/pelite ≥ 1/5; marne, argille sovraconsolidate e argilliti);
2. substrato non rigido: rocce presumibilmente caratterizzate da Vs30<800 m/s (formazioni argillose poco consolidate, alternanze pelitico-arenitiche con rapporto arenite/pelite < 1/5, areniti poco cementate, sabbie poco addensate);
3. substrato costituito da depositi evaporitici (es. aree della Vena del Gesso) e presenza di cavità ipogee.
4. principali faglie e zone di fratturazione.

La suddivisione dei litotipi del substrato in queste classi deriva da considerazioni sulle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni appenniniche affioranti e confronti con le prove geofisiche effettuate in varie zone da cui risulta che i litotipi della classe 2 (ad esempio le argille plio-pleistoceniche e le sabbie pleistoceniche del margine appenninico-padano) e le fasce riferibili alla classe 4 sono spesso caratterizzati da Vs paragonabili a quelle dei depositi di copertura e di parecchio inferiori al valore solitamente considerato indicativo di bedrock sismico (Vs >800 m/s), per profondità talora anche di alcune decine di metri dalla superficie. Perciò, questi litotipi, sebbene appartenenti a successioni appenniniche del substrato, non possono essere considerati bedrock sismico e quindi devono essere trattati come depositi che possono causare amplificazione.

La cartografia delle aree il cui substrato è costituito dai depositi evaporitici della Vena del Gesso (classe 3) è stata cartografata separatamente per la possibile presenza di cavità ipogee di origine carsica e doline riempite da detriti, elementi che possono modificare in modo anche complesso il moto sismico e determinare effetti locali la cui valutazione richiede specifiche analisi.

Sono state cartografate anche le faglie e le principali zone di fratturazione in quanto costituiscono elementi di discontinuità meccanica e in corrispondenza di queste strutture i terreni sono spesso intensamente deformati o alterati e perciò suscettibili di amplificazione e potenziale e instabilità, se su pendio.

Per individuare e rappresentare gli elementi topografici che possono determinare amplificazione (creste, dorsali, cocuzzoli, versanti acclivi) è stata realizzata, attraverso un'apposita elaborazione del modello digitale del terreno, una "Carta dell'acclività" (Tavola n. 3).

Per individuare e rappresentare gli elementi topografici che possono determinare amplificazione (creste, dorsali, cocuzzoli, versanti acclivi) è stata elaborato un modello digitale del terreno per classi di acclività. Per i criteri di selezione degli elementi morfologici ci si è riferiti, oltre che alle indicazioni regionali (§A2.2 dell'Allegato A2 alla DGR 630/2019), anche alle indicazioni internazionali (Bisch et al., 2012) e nazionali (NTC 2018) che raccomandano di considerare gli effetti topografici per pendii con acclività maggiore di 15° e dislivello maggiore di 30 m, individuando i versanti con acclività maggiore di 30° come quelli suscettibili di maggiore amplificazione.

Data la presenza nel territorio bolognese di scarpate rocciose importanti anche in prossimità di aree abitate e reti viarie, si è ritenuto opportuno evidenziare anche le scarpate rocciose con acclività maggiore di 50° poiché, in caso di forti scosse, in queste aree potrebbero verificarsi crolli anche di grossi massi. Sono state così evidenziate le aree caratterizzate da pendii/scarpate con acclività compresa tra 15° e 50° e scarpate con acclività >50°.

### 5.3 Descrizione della "Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali"

Gli elementi geologici che possono determinare effetti locali considerati nel Quadro Conoscitivo, hanno consentito di elaborare la "*Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali*", costituita da sette fogli alla scala 1:25.000 e comprendente tutto il territorio di competenza della Città Metropolitana di Bologna.

La classificazione dei terreni per questa cartografia è stata effettuata in base agli effetti attesi e alle procedure richieste per l'analisi della pericolosità sismica locale. La Tav. "*Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali*" opera quindi una prima distinzione delle aree sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico e, per ciascuna classe, indica gli approfondimenti che devono essere effettuati a supporto degli strumenti di pianificazione successivi.

Questo elaborato cartografico identifica gli scenari di pericolosità sismica locale dell'intero territorio metropolitano e fornisce quindi prime indicazioni sui limiti e sulle condizioni di sicurezza per orientare le scelte di pianificazione alla scala comunale verso ambiti meno esposti alla pericolosità sismica. In particolare, è un documento di attenzione e indirizzo per le elaborazioni richieste agli strumenti urbanistici comunali e per la Valutazione di Sostenibilità Ambientale e Territoriale preventiva delle singole scelte di pianificazione.

Di seguito vengono descritte con maggior dettaglio le classi di pericolosità riportate nella suddetta cartografia.

SETTORE DI COLLINA - MONTAGNA

**S – Substrato rigido affiorante/subaffiorante.**

Questa classe comprende il substrato geologico lapideo o ben cementato affiorante o sub-affiorante (spessore delle coperture H<3m) con inclinazione del pendio i≤15°.

Si tratta di zone potenzialmente non soggette ad effetti locali. In queste aree sono comunque richieste indagini per la verifica di Vs30. In caso di Vs30≥800 m/s non è richiesta nessuna ulteriore indagine o approfondimento. In caso di Vs30<<800 m/s l'area dovrà essere considerata come costituita da terreni tipo N e dovranno essere effettuati gli accertamenti conseguenti.

**SP – Substrato rigido affiorante/subaffiorante 15°<i<50°.**

Questa classe comprende i terreni del tipo della classe precedente (S) ma con inclinazione del pendio 15°<i<50°.

Queste zone, in caso di differenza di quota (dislivello) >30m, sono potenzialmente soggette ad amplificazione topografica. In tal caso, dovrà essere valutato il coefficiente di amplificazione topografica (sono ritenuti sufficienti gli approfondimenti di livello 2). Occorrerà verificare anche il valore di Vs30. In caso Vs30<800 m/s l'area dovrà essere considerata come costituita da terreni tipo NP e dovranno essere effettuati gli accertamenti conseguenti.

**P50 – Substrato affiorante/subaffiorante i ≥50°**.

La zona include i terreni del tipo della classe S con inclinazione del pendio i≥50°.

Sui pendii molto acclivi (scarpate), in caso di forti scosse, si possono verificare distacchi di massi, crolli e ribaltamenti. Su tali pareti, nelle aree al piede e sui bordi superiori, dovranno essere attentamente valutati i coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica e la stabilità della parete in condizioni sismiche (approfondimenti di livello 3).

In caso di instabilità dovrà essere valutata anche l'area d'influenza secondo quanto indicato nelle "Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) versione 2.1" predisposte dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del DPC[7].

**N – Substrato non rigido affiorante/subaffiorante.**

Questa classe comprende le zone costituite da substrato geologico prevalentemente pelitico o poco consolidato o alterato o fratturato, affiorante o sub-affiorante (spessore delle coperture H<3m), con inclinazione del pendio i ≤15°.

Si tratta di zone suscettibili di amplificazione stratigrafica. In queste aree è quindi richiesta la stima dell'amplificazione (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2).

[7] disponibili online nel sito web http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/attivita/commissione-supporto-monitoraggio-studi-microzonazione.

**NP – Substrato non rigido affiorante/subaffiorante 15°<i<50°.**

Questa classe comprende i terreni del tipo della classe precedente (N) ma con inclinazione del pendio 15°<i<50°.

Queste aree sono suscettibili di amplificazione stratigrafica e topografica. È richiesta la stima dell'amplificazione (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2) e, in caso di differenze di quota (dislivello) >30m, dovrà essere valutata anche l'amplificazione topografica e la sua area d'influenza.

**D – Zona di intensa fratturazione cataclastica.**

Vengono comprese in questa classe le aree in cui le rocce sono intensamente fratturate (zone cataclastiche e/o zone di faglia); l'intensa fratturazione provoca in questi terreni uno scadimento delle caratteristiche meccaniche favorendo l'amplificazione, l'instabilità in caso di pendii e potenziali comportamenti differenziali lungo le zone di contatto di materiali con caratteristiche meccaniche diverse. Nella cartografia, questa zona di attenzione è stata cautelativamente rappresentata come fascia di 25 metri a cavallo delle faglie rilevate nella carta geologica regionale; la reale ampiezza della zona dovrà essere attentamente valutata in sito.

In queste aree andranno dunque valutate l'amplificazione, l'eventuale grado di stabilità e i potenziali cedimenti (approfondimenti di livello 3).

**G – Zona di attenzione per cavità sotterranee**.

Comprende i depositi evaporitici messiniani affioranti o subaffioranti (spessore della copertura H<3m) in cui possono essere presenti doline riempite o meno da detriti e cavità ipogee anche estese. La presenza di doline riempite e di cavità può influenzare il moto sismico in superficie causando nel primo caso effetti di amplificazione 2D e 3D e nel secondo caso cedimenti, anche differenziali. In caso di interventi in queste aree dovranno essere effettuate approfondite indagini per l'identificazione di eventuali forme sepolte e gli effetti locali dovranno essere attentamente valutati con specifiche analisi di risposta sismica (approfondimenti di livello 3).

**AV – Detriti s.l. i ≤15°**.

Sono compresi in questa classe tutti i corpi detritici di varia origine (alluvionale, eluvio-colluviale, coltri di alterazione, ecc.), generalmente a granulometria mista (da fine a grossolana), con spessore delle coltri di copertura H≥3m e inclinazione della superficie topografica i≤15°.

Queste zone sono suscettibili di amplificazione stratigrafica. E' quindi richiesta la stima dell'amplificazione (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2).

Nei fondivalle stretti e nelle conche, in caso di spessore dei sedimenti maggiore di 1/8 dell'ampiezza della valle o della conca, occorre valutare l'amplificazione con analisi almeno 2D. In presenza di

spessori plurimetrici di sedimenti lacustri ricchi di materia organica e torbe occorre valutare anche i potenziali cedimenti.

**F – Zona di attenzione per instabilità di versante i ≤15°**.

Questa classe comprende i corpi di frana (attivi, quiescenti e stabilizzati) con spessori della coltre H≥3m e acclività della superficie topografica i≤15°.

È zona suscettibile di amplificazione stratigrafica e di spostamenti/cedimenti.

Per queste zone dovranno essere valutate, oltre all'amplificazione, anche il grado di stabilità del versante, tenendo adeguatamente conto delle sollecitazioni sismiche (approfondimenti di livello 3).

**FP – Zona di attenzione per instabilità di versante i >15°**.

Questa classe comprende tutte le coltri detritiche di versante potenzialmente instabili in condizioni sismiche (corpi di frana attivi, quiescenti e stabilizzati, accumuli detritici di versante s.l., depositi alluvionali e riporti antropici) con spessori della coltre H≥3m e acclività della superficie topografica i>15°.

È zona suscettibile di amplificazione stratigrafica e topografica e di spostamenti/cedimenti.

Per queste zone dovranno essere valutate, oltre all'amplificazione, anche il grado di stabilità del versante, tenendo adeguatamente conto delle sollecitazioni sismiche (approfondimenti di livello 3). Nella stima dell'amplificazione dovrà essere valutata anche la componente topografica e la sua area d'influenza.

SETTORE DI PIANURA

**B - Depositi di margine appenninico-padano**.

In questa classe rientrano i depositi prevalentemente grossolani di conoide alluvionale (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose, limi sabbioso-ghiaiosi), di spessore H>5m e sepolti (profondità >3m da p.c.). Vengono inoltre compresi in questa classe anche i depositi di interconoide prevalentemente fini. Si tratta di un'area che comprende condizioni litologiche e sismostratigrafiche differenti (ghiaie di conoide subaffioranti oppure sepolte da depositi fini; successioni di interconoide prevalentemente fini) dove si possono verificare effetti di amplificazione.

In queste aree è richiesta la stima dell'amplificazione.

Va tenuto presente che non di rado le ghiaie pleistoceniche hanno Vs elevata, talora tale da essere assimilata a bedrock sismico, o comunque molto maggiore delle ghiaie oloceniche o dei terreni fini soprastanti (quando presenti). Quindi, il tetto delle ghiaie pleistoceniche sepolte costituisce spesso un'importante discontinuità sismostratigrafica in grado di influenzare il moto sismico in superficie; questo aspetto va attentamente considerato nelle analisi di risposta sismica locale o nella scelta della tabella nel caso di stima semplificata dell'amplificazione (approfondimenti di livello 2), in

particolar modo se gli spessori dei corpi ghiaiosi più competenti (con Vs elevata) sono significativi e i depositi soprastanti risultano scarsamente consistenti.

**C - Sedimenti prevalentemente fini di pianura**.

Nelle aree di pianura costituite per lo più da limi e argille (peliti) si possono verificare effetti di amplificazione e dovrà pertanto essere valutato il coefficiente di amplificazione (sono ritenuti sufficienti approfondimenti di livello 2). Questi terreni, spesso ricchi di materia organica e con intercalazioni di livelli torbosi, possono avere proprietà meccaniche molto scadenti; pertanto, nelle aree di piana alluvionale con sedimenti fini di elevato spessore (alcune decine di metri), in caso di forti scosse, possono verificarsi densificazioni e conseguenti cedimenti. Pertanto, in presenza di terreni fortemente compressibili (cu<70kPa; Vs30<180m/s) di spessore plurimetrico, oltre agli effetti di amplificazione, dovranno essere valutati anche i potenziali cedimenti (approfondimenti di livello 3)

**L – Zona di attenzione per instabilità da liquefazione/densificazione**

In questa classe sono inclusi le aree caratterizzate da presenza di depositi granulari non coesivi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose) nei primi 20 metri dal p.c..

La presenza di depositi prevalentemente sabbiosi saturi, di spessore almeno metrico, costituisce caratteristica predisponente il fenomeno della liquefazione, che può essere indotto da forti scosse sismiche (PGA>0,1g e magnitudo almeno pari a 5, condizioni scatenanti ovunque verificate nel territorio bolognese). Negli intervalli sabbiosi sopra falda e poco addensati si può comunque verificare il fenomeno della densificazione.

In queste zone dovranno essere valutati, oltre al coefficiente di amplificazione, la reale presenza di condizioni predisponenti la liquefazione e/o densificazione, quindi dovranno essere stimati il potenziale di liquefazione/densificazione e i cedimenti attesi (approfondimenti di livello 3).

SETTORE DI PIANURA E COLLINA-MONTAGNA

**R - Zona di attenzione per accumuli di origine antropica**.

Questa classe comprende le aree interessate da modifiche della topografia e della stratigrafia, derivate da attività dell'uomo (riempimenti di ex cave, discariche, depositi di terre di scavo, terreni di riporto), per le quali occorre un'attenta valutazione delle condizioni geologiche e morfologiche. In queste aree si dovrà valutare il coefficiente di amplificazione e nel caso di pendii anche il grado di stabilità in condizioni sismiche. I materiali di riempimento hanno spesso proprietà meccaniche più scadenti (materiali poco addensati) dei terreni circostanti e ciò può determinare amplificazioni anche elevate. Inoltre, tali siti, data la morfologia dell'area di riempimento, possono essere anche soggetti ad effetti 2D o 3D. Infine, in caso di forti scosse gli accumuli antropici poco addensati possono rivelarsi instabili ed essere soggetti a cedimenti e spostamenti. Per queste aree si dovrà

valutare l'amplificazione, anche con modellazioni 2D o 3D, e nel caso di pendii anche il grado di stabilità in condizioni sismiche (approfondimenti di livello 3).

## 6 Bibliografia

Bisch P., Carvalho E., Degee H., Fajfar P., Fardis M., Franchin P., Kreslin M., Pecker A., Pinto P., Plumier A., Somja H., Tsionis G. (2012): Eurocode 8: Seismic Design of Buildings. Worked Examples. European Commission, Joint Research Centre. 515 pp. Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, ISBN 978-92-79-23068-4, doi:10.2788/91658

Bortolotti V. (1966): La tettonica trasversale dell'Appennino. 1. La linea Livorno-Sillaro. Boll. Soc. Geol. It., 85, 529-540.

Camassi R. (2015): I terremoti dell'Appennino bolognese. La storia. Nueter, XLI, n. 82, 379-386.

Castellarin A., Eva C., Giglia G. & Vai G.B. (1985): Analisi strutturale del fronte appeninico-padano. Giorn. Geol. ser. 3, 47(1-2), 47-76.

DGR 630/2019: Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019, n. 630 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)". B.U.R.E.R. n. 143 del 6 maggio 2019, parte seconda

DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

Ghelardoni R. (1965): Osservazioni sulla tettonica trasversale dell'Appennino settentrionale. Boll. Soc. Geol. It., 84, 276-290.

Gruppo di Lavoro MPS (2004): Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Gruppo di Lavoro MS (2008): Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Conferenza delle Regioni e Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e CD-rom. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137

ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database. http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016): DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

Martelli (2015): I terremoti dell'Appennino Bolognese. La geologia. Nueter, XLI, n. 82, 387-395.

Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017a): Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.

Martelli L., Santulin M., Sani F., Tamaro A., Bonini M., Rebez A., Corti G., Slejko D. (2017b): Seismic hazard of the Northern Apennines based on 3D seismic sources. Journal of Seismology. DOI 10.1007/s10950-017-9665-1

Meletti C., Valensise G. (eds) (2004): Zonazione sismogenetica ZS9. In: Gruppo di Lavoro, Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, App 2, 38 pp.

Meletti C., Marzocchi W., D'Amico V., Luzi L., Martinelli F., Pace B., Pignone M., Rovida A., Visini F. e gruppo di lavoro MPS16 (2018): Quanto manca al rilascio del nuovo modello di pericolosità sismica nazionale? In: atti XXXVII Convegno GNGTS 2018, sessione 2.1, 293-295.

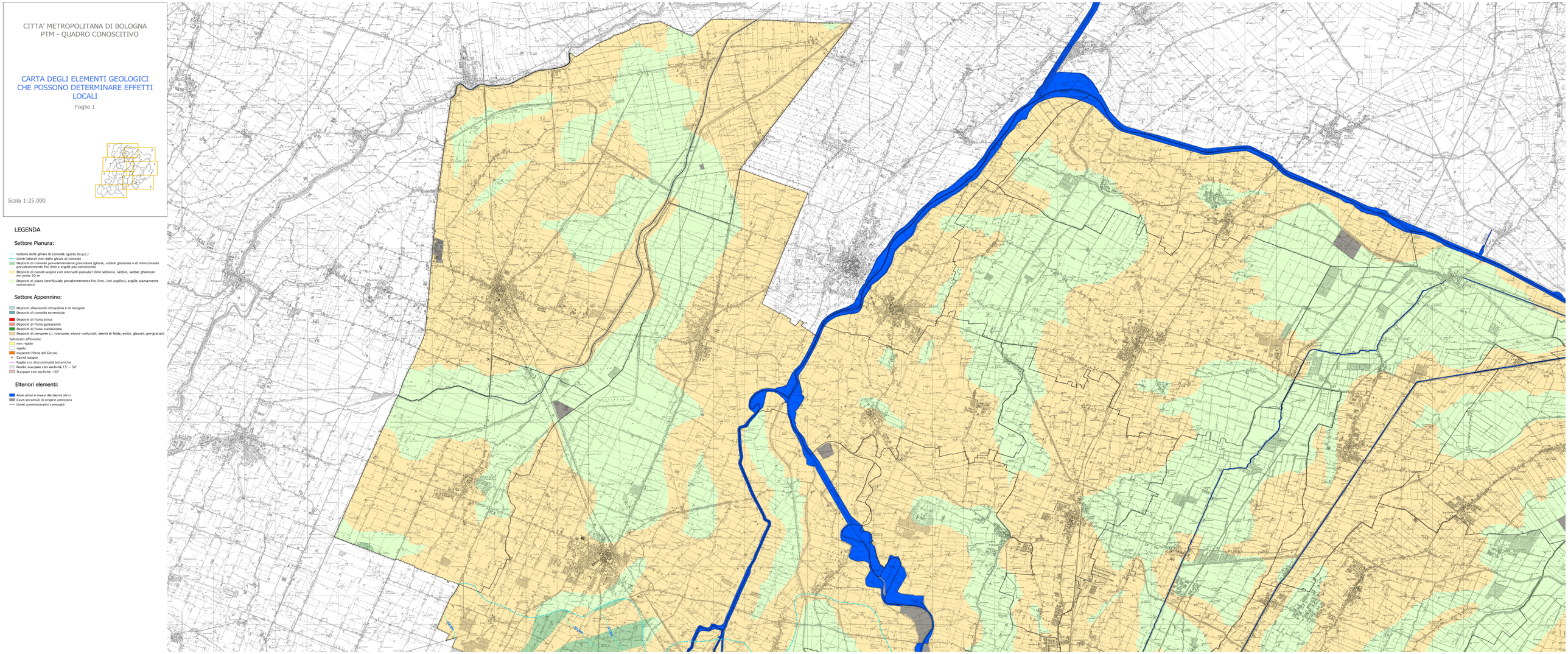
NTC 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni". Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Suppl. Ord. G.U. n. 42 del 20/02/2018.

OPCM 3519/2006: Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". G.U. n. 108 del 11/05/2006.

Pieri M. e Groppi G. (1981). Subsurface geological structure of the Po Plain. Pubbl.414, PF Geodinamica. C.N.R. pp. 23.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

# 7 Cartografia



CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
PTM - QUADRO CONOSCITIVO

# CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI

Foglio 2

Scala 1:25.000

## LEGENDA

### Settore Pianura:

- Isobate delle ghiaie di conoide (quota da p.c.)
- Limiti laterali noti delle ghiaie di conoide
- Depositi di conoide prevalentemente grossolani (ghiaie, sabbie ghiaiose) o di interconoide prevalentemente fini (limi e argille più consistenti)
- Depositi di canale/argine con intervalli granulari (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose) nei primi 20 m
- Depositi di piana interfluviale prevalentemente fini (limi, limi argillosi, argille scarsamente consistenti)

### Settore Appennino:

- Depositi alluvionali intravallivi e di margine
- Depositi di conoide torrentizia
- Depositi di frana attiva
- Depositi di frana quiescente
- Depositi di frana stabilizzata
- Depositi di versante s.l. (versante, eluvio-colluviali, detriti di falda, eolici, glaviali, periglaciali)

Substrato affiorante:

- non rigido
- rigido
- evaporiti (Vena del Gesso)
- Cavità ipogee
- Faglie e/o discontinuità tettoniche
- Pendii: scarpate con acclività 15° ÷ 50°
- Scarpate con acclività >50°

### Elteriori elementi:

- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Cave/accumuli di origine antropica
- Limiti amministrativi comunali

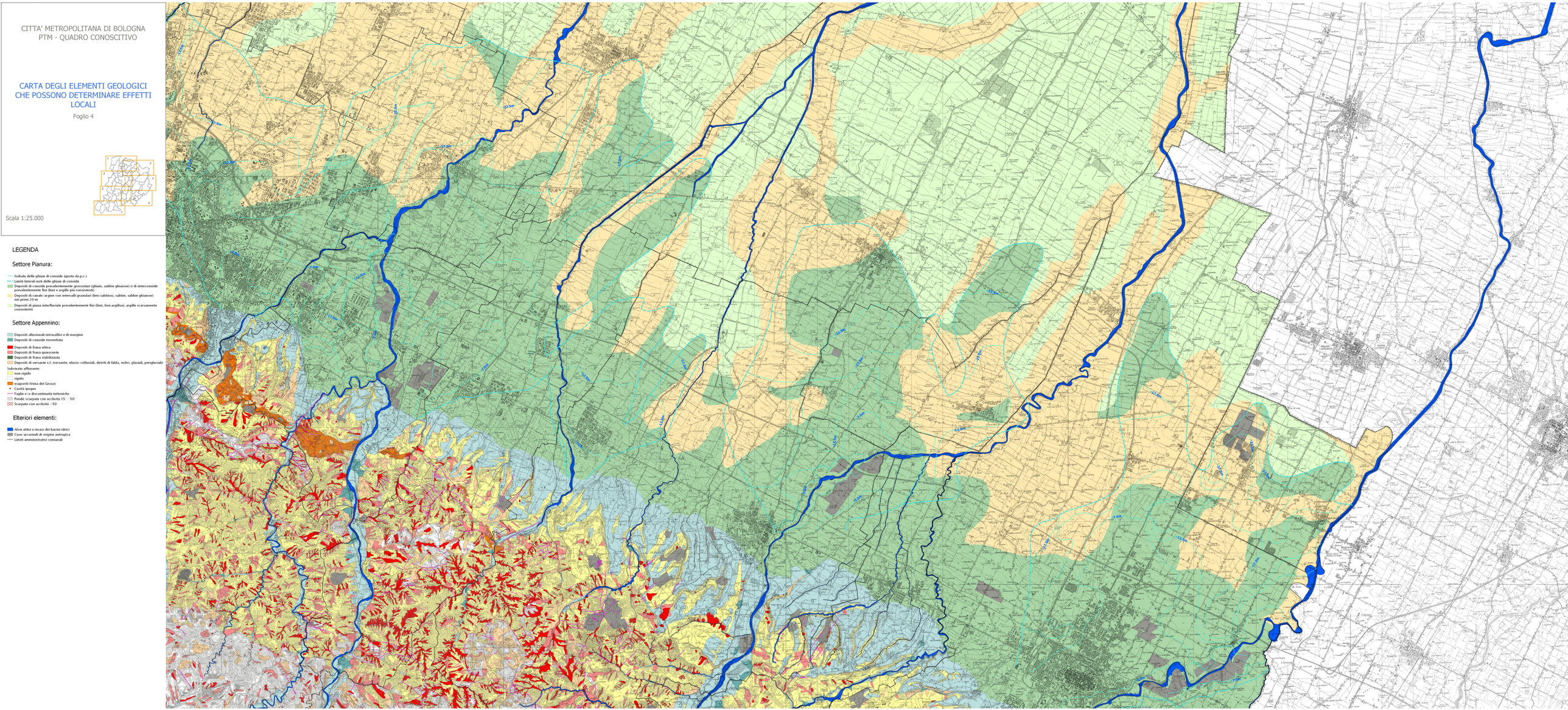
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
PTM - QUADRO CONOSCITIVO

# CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI

Foglio 4



Scala 1:25.000



LEGENDA

Settore Pianura:

- Isobate delle ghiaie di conoide (quota da p.c.)
- Limiti laterali noti delle ghiaie di conoide
- Depositi di conoide prevalentemente grossolani (ghiaie, sabbie ghiaiose) o di interconoide prevalentemente fini (limi e argille più consistenti)
- Depositi di canale /argine con intervalli granulari (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose) non primi 20 m
- Depositi di piana interfluviale prevalentemente fini (limi, limi argillosi, argille scarsamente consistenti)

Settore Appennino:

- Depositi alluvionali intravallivi e di margine
- Depositi di conoide torrentizia
- Depositi di frana attiva
- Depositi di frana quiescente
- Depositi di frana stabilizzata
- Depositi di versante s.l. (versante, eluvio-colluviali, detriti di falda, eolici, glaviali, periglaciali)

Substrato affiorante:

- non rigido
- rigido
- evaporiti (Vena del Gesso)
- Cavità ipogee
- Faglie e o discontinuità tettoniche
- Pendii scarpate con acclività 15° - 50°
- Scarpate con acclività >50°

Elteriori elementi:

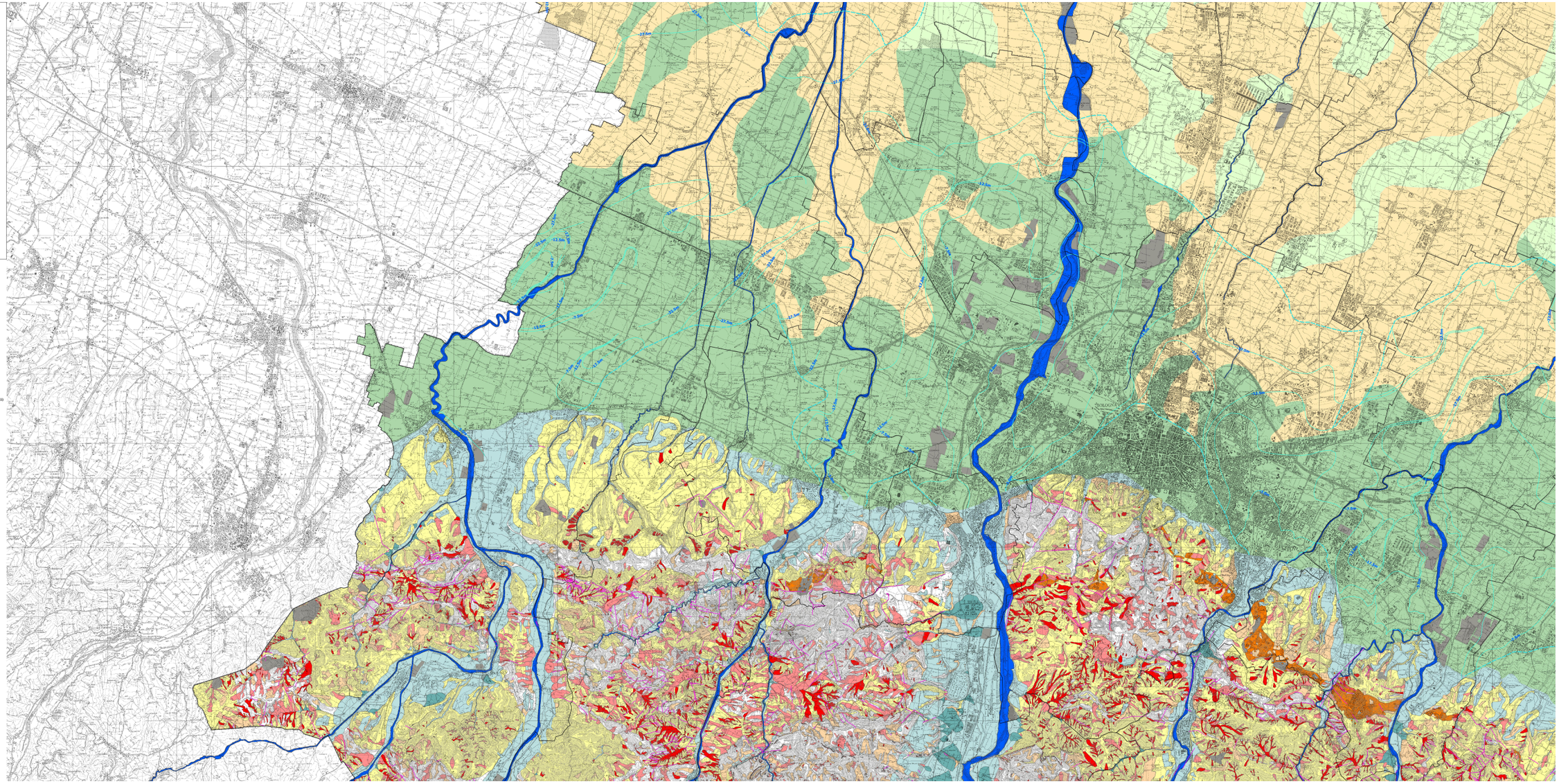
- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Cave: accumuli di origine antropica
- Limiti amministrativi comunali

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
PTM - QUADRO CONOSCITIVO

# CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI

Foglio 3

Scala 1:25.000



LEGENDA

Settore Pianura:

- Isobate delle ghiaie di conoide (quota da p.c.)
- Limiti laterali noti delle ghiaie di conoide
- Depositi di conoide prevalentemente grossolani (ghiaie, sabbie ghiaiose) o di interconoide prevalentemente fini (limi e argille più consistenti)
- Depositi di canale/argine con intervalli granulari (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose) nei primi 20 m
- Depositi di piana interfluviale prevalentemente fini (limi, limi argillosi, argille scarsamente consistenti)

Settore Appennino:

- Depositi alluvionali intravallivi e di margine
- Depositi di conoide torrentizia
- Depositi di frana attiva
- Depositi di frana quiescente
- Depositi di frana stabilizzata
- Depositi di versante s.l. (versante, eluvio-colluviali, detriti di falda, eolici, glaciali, periglaciali)

Substrato affiorante:

- non rigido
- rigido
- evaporiti (Vena del Gesso)
- Cavità ipogee
- Faglie e/o discontinuità tettoniche
- Pendii/scarpate con acclività 15° ÷ 50°
- Scarpate con acclività >50°

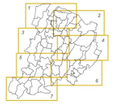
Elteriori elementi:

- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Cave/accumuli di origine antropica
- Limiti amministrativi comunali

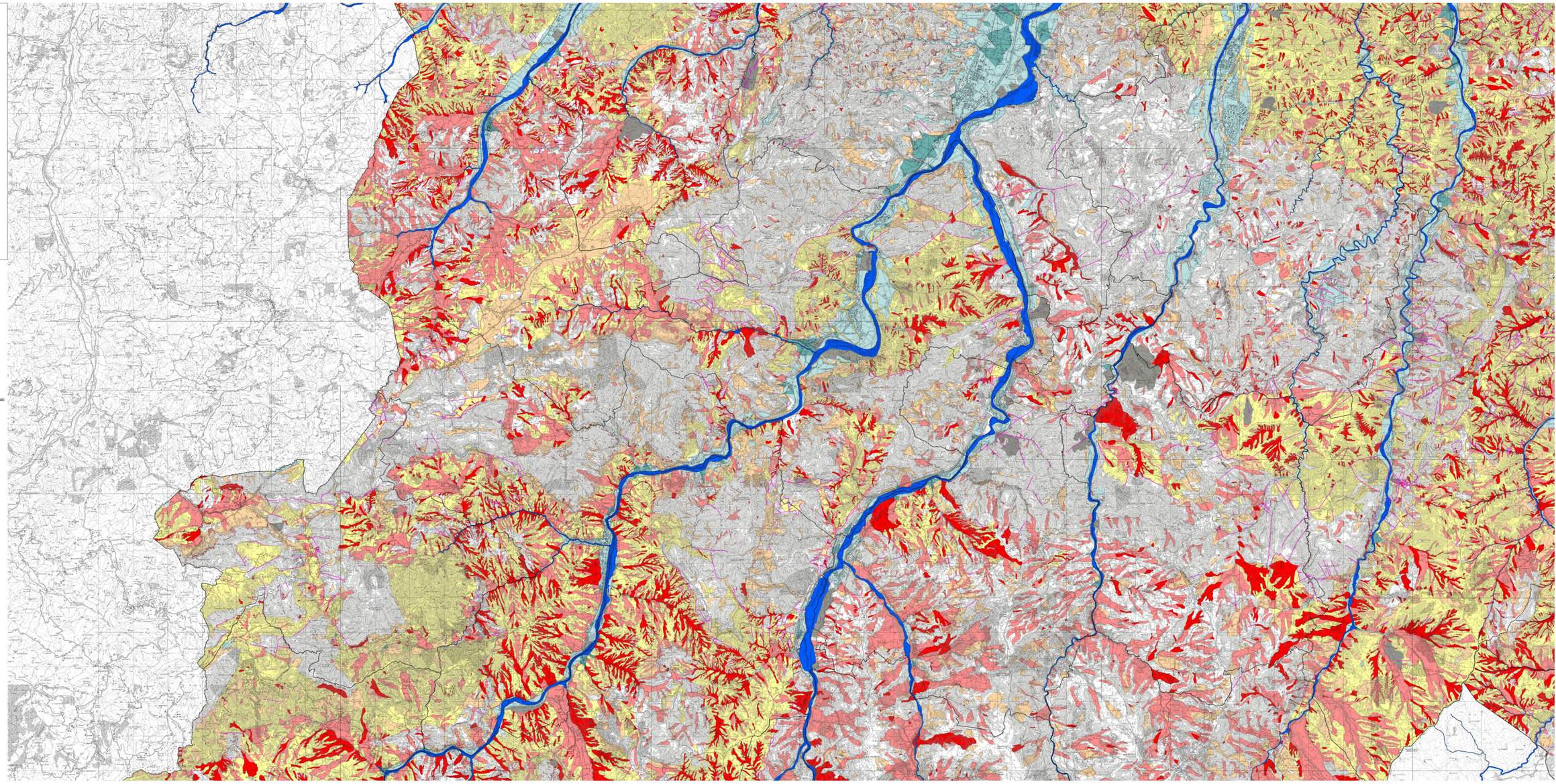
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
PTM - QUADRO CONOSCITIVO

# CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI

Foglio 5



Scala 1:25.000



LEGENDA

Settore Pianura:

- Isobate delle ghiaie di conoide (quota da p.c.)
- Limiti laterali noti delle ghiaie di conoide
- Depositi di conoide prevalentemente grossolani (ghiaie, sabbie ghiaiose) o di interconoide prevalentemente fini (limi e argille più consistenti)
- Depositi di canale /argine con intervalli granulari (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose) nei primi 20 m
- Depositi di piana interfluviale prevalentemente fini (limi, limi argillosi, argille scarsamente consistenti)

Settore Appennino:

- Depositi alluvionali intravallivi e di margine
- Depositi di conoide torrentizia
- Depositi di frana attiva
- Depositi di frana quiescente
- Depositi di frana stabilizzata
- Depositi di versante s.l. (versante, eluvio -colluviali, detriti di falda, eolici, glaciali, periglaciali)

Substrato affiorante:

- non rigido
- rigido
- evaporiti (Vena del Gesso)
- Cavità ipogee
- Faglie e o discontinuità tettoniche
- Pendii scarpate con acclività 15° - 50°
- Scarpate con acclività >50°

Elteriori elementi:

- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Cave /accumuli di origine antropica
- Limiti amministrativi comunali

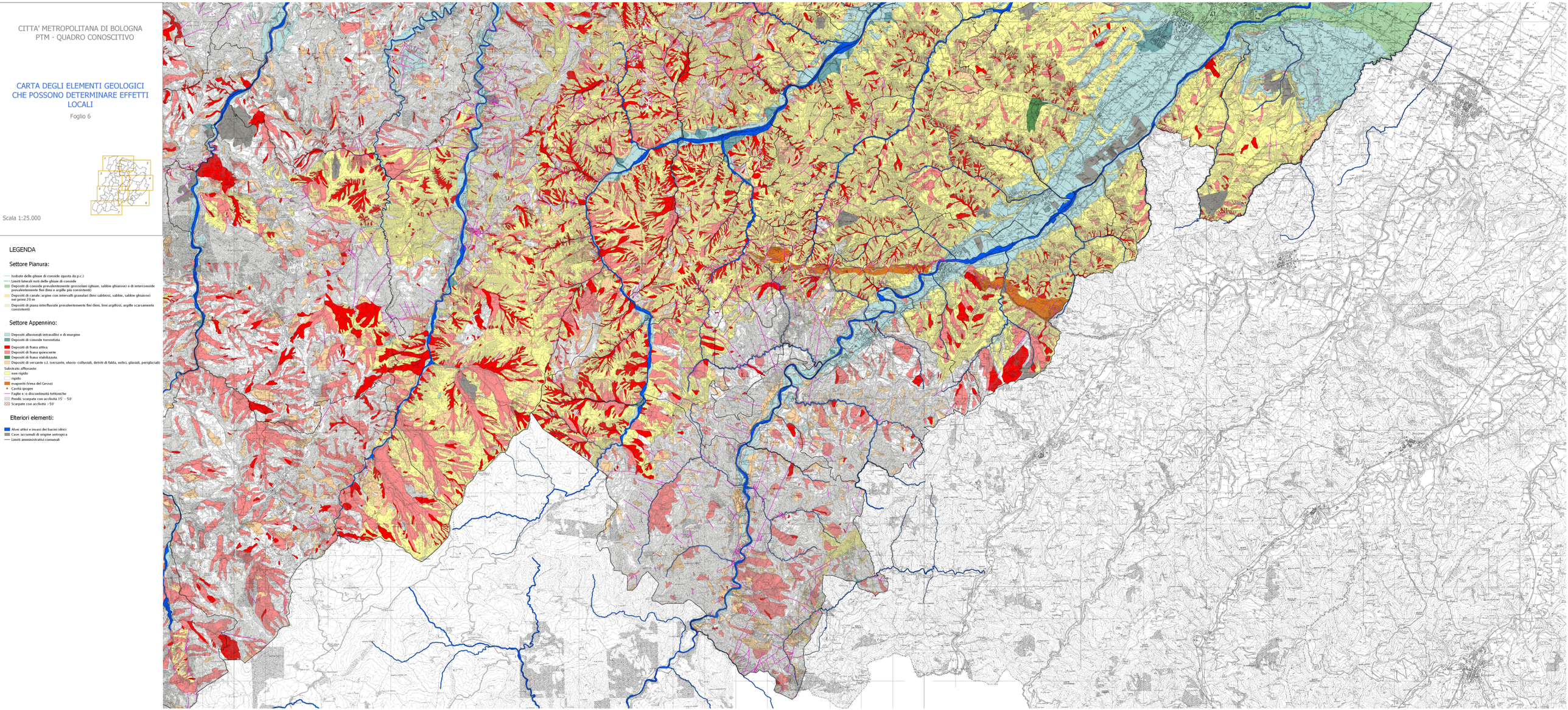
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
PTM - QUADRO CONOSCITIVO

# CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI

Foglio 6



Scala 1:25.000



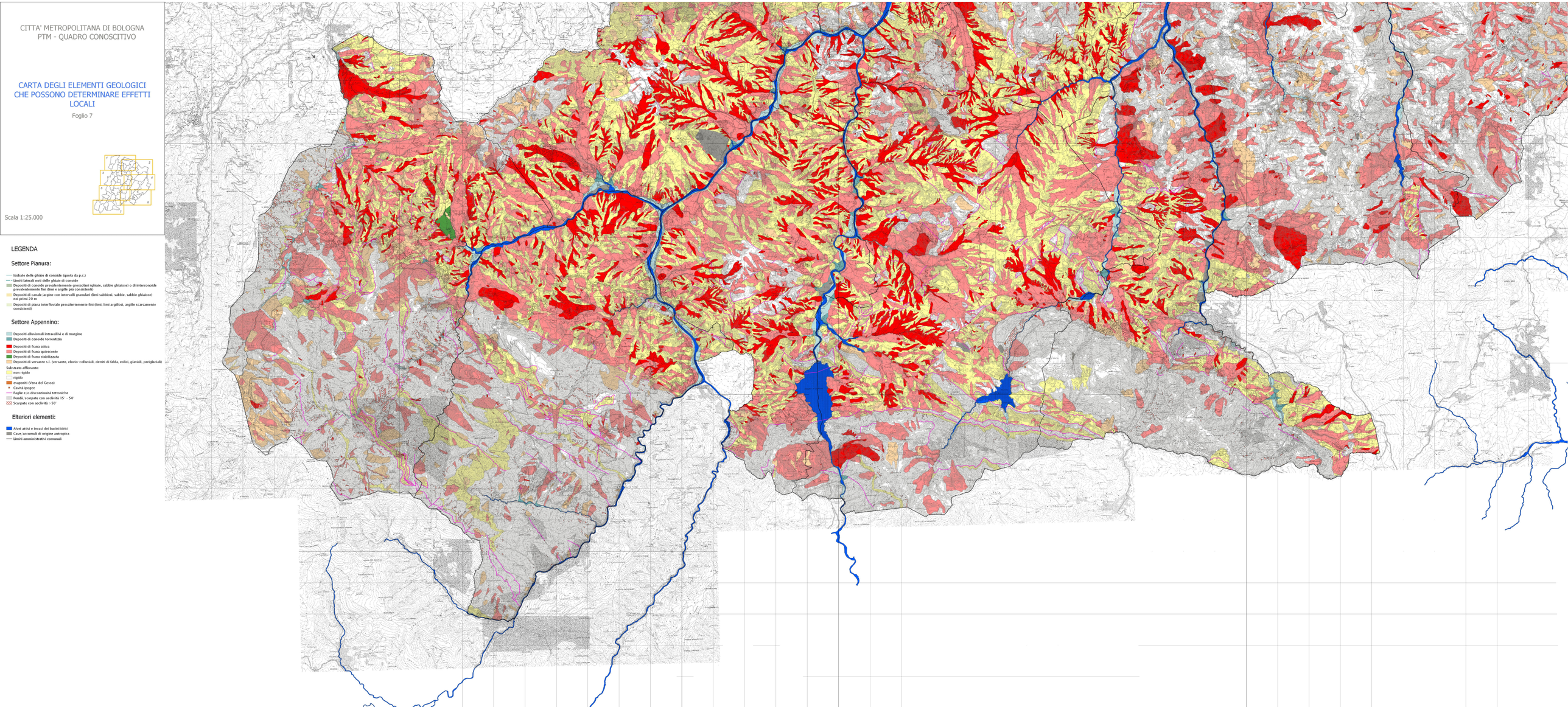
CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
PTM - QUADRO CONOSCITIVO

# CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI CHE POSSONO DETERMINARE EFFETTI LOCALI

Foglio 7



Scala 1:25.000



LEGENDA

Settore Pianura:

- Isobate delle ghiaie di conoide (quota da p.c.)
- Limiti laterali noti delle ghiaie di conoide
- Depositi di conoide prevalentemente grossolani (ghiaie, sabbie ghiaiose) o di interconoide prevalentemente fini (limi e argille più consistenti)
- Depositi di canale /argine con intervalli granulari (limi sabbiosi, sabbie, sabbie ghiaiose) nei primi 20 m
- Depositi di piana interfluviale prevalentemente fini (limi, limi argillosi, argille scarsamente consistenti)

Settore Appennino:

- Depositi alluvionali intravallivi e di margine
- Depositi di conoide torrentizia
- Depositi di frana attiva
- Depositi di frana quiescente
- Depositi di frana stabilizzata
- Depositi di versante s.l. (versante, eluvio-colluviali, detriti di falda, eolici, glaviali, periglaciali)

Substrato affiorante:

- non rigido
- rigido
- evaporiti (Vena del Gesso)
- Cavità ipogee
- Faglie e /o discontinuità tettoniche
- Pendii scarpate con acclività 15 ÷ 50°
- Scarpate con acclività >50°

Elteriori elementi:

- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Cave: accumuli di origine antropica
- Limiti amministrativi comunali