

L'analisi della pericolosità sismica preliminare dell'“Area Bazzanese”

Samuel Sangiorgi¹, Venusia Ferrari¹

¹Geologo, libero professionista

1. PREMESSA

La pericolosità riferita ai terremoti è il prodotto inscindibile delle sue due componenti: la sismicità di base¹ e la pericolosità sismica locale.

La scala di studio della pericolosità di base non può che essere quella regionale e deve giungere alla definizione del “terremoto di riferimento” per gli studi di microzonazione sismica. La pericolosità sismica locale dipende invece dalle condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona in grado di produrre effetti diversi: deve essere pertanto analizzata affrontando livelli progressivi di approfondimento.

La pianificazione territoriale alla scala comunale (il PSC) diviene la “sede” naturale per lo studio della pericolosità sismica locale fino all'elaborazione di una cartografia di microzonazione, in grado di fornire esiti di risposta sismica (amplificazione) per zone caratterizzate da un comportamento sismico “omogeneo” e costituire riferimento essenziale anche per giungere alle valutazioni conclusive della pericolosità sismica puntuale necessaria per i “siti di progetto”.

In questo senso la Regione Emilia-Romagna attraverso uno specifico apparato normativo (LR 20/2000; delibera regionale 112/2007) ha imposto l'elaborazione degli studi di pericolosità e di microzonazione sismica nella pianificazione territoriale, definendone anche criteri di approfondimento differenziati (livelli) a seconda delle fasi di programmazione affrontate e del contesto di pericolosità locale riscontrato.

L'articolo propone la sintesi dello studio di pericolosità sismica preliminare affrontato dagli scriventi come analisi propedeutica all'elaborazione del Documento Preliminare (Quadro Conoscitivo) e della VALSAT per il Piano Strutturale in forma associata dei Comuni dell'Area Bazzanese.

Si tratta di una porzione di territorio della provincia bolognese che si estende per circa 290 km² ed include sette Comuni: Zola Predosa; Crespellano; Bazzano; Monteve-



Figura 1 – Localizzazione dell'area di studio. In giallo sono evidenziati i Comuni dell'Unione Area Bazzanese

glio; Castello di Serravalle; Monte San Pietro; Savigno (figura 1).

La redazione dei PSC è stata commissionata dalla Comunità Montana-Unione dei Comuni Valle del Samoggia (ora Associazione Intercomunale Area Bazzanese) ed è tuttora in corso di elaborazione da parte del raggruppamento temporaneo di Professionisti che è stato incaricato del lavoro e del quale chi scrive fa parte.

2. LA SISMICITÀ DI RIFERIMENTO NELL'AREA BAZZANESE

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente “attive”². Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è dunque l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, entrambe strettamente connesse tra loro. Ed anche su questo tema, il “genio italiano” è stato innovatore di scienza; alcuni esempi: tralasciando la letteratura classica e me-

¹ La sismicità viene intesa come la probabilità che si verifichi un evento sismico di intensità superiore ad una soglia stabilita in un determinato intervallo di tempo (“terremoto di riferimento”). È funzione del contesto geologico-strutturale a scala regionale

² La definizione di faglia «attiva» è ancora una fonte di accese discussioni scientifiche tra i vari Autori, in genere si riferisce alla sua possibilità di riattivazione in un intervallo temporale che possa interferire con la nostra società: dall'olocenico (circa 12.000 anni, secondo l'U.S. E.P.A., 1981), al “regime tettonico corrente” (Muir Wood & Mallard, 1992).

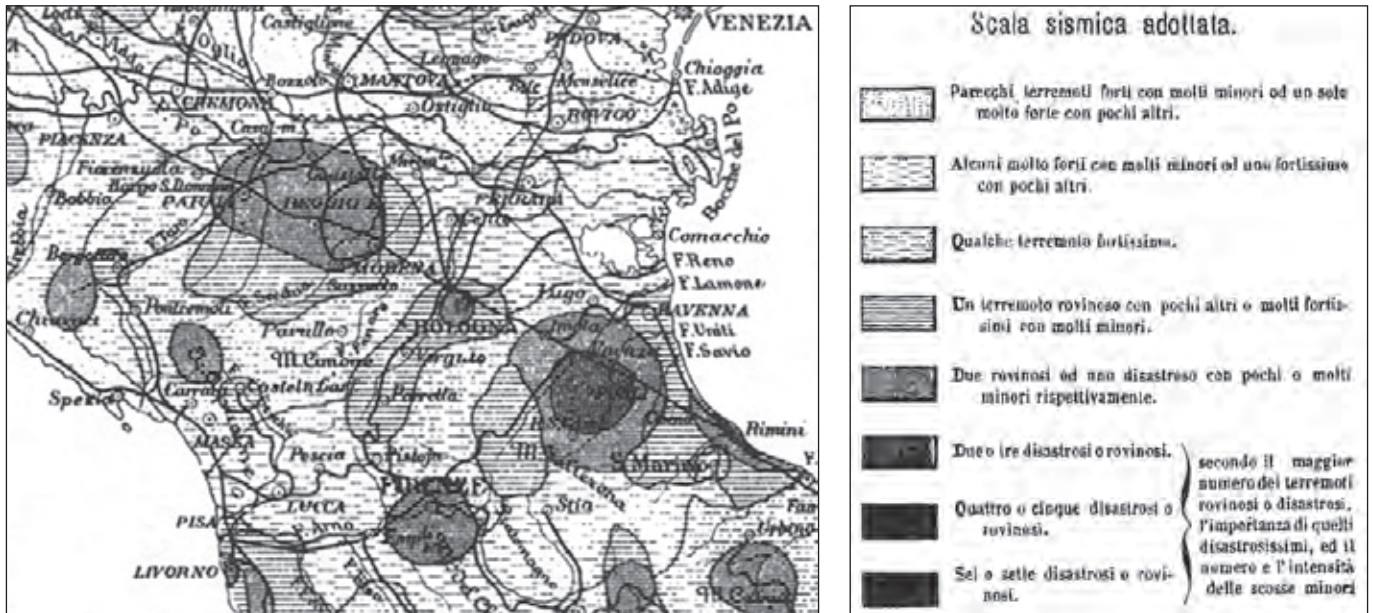


Figura 2 - Carta sismica e relativa legenda elaborata da M. Baratta nel 1898

dioevale (sebbene anche ricche di particolari, purtroppo assai spesso troppo fantasiosi..) il primo “catalogo” dei terremoti italiani risulterebbe di Don M. Bonito (1631) che ne descrive oltre 1.400. Si può ricordare che si deve invece al Pignataro (1786) il primo tentativo di stabilire una scala di intensità sismica (le scosse erano contrassegnate con i simboli F, Fⁱ, Fⁱⁱ, Fⁱⁱⁱ, con una quinta classe catastrofica contrassegnata da una croce di Malta!), mentre il primo rudimentale sismografo fu inventato alla fine del 1700 dall’astronomo Cacciatori. È molto interessante ricordare che già nel 1898 lo studioso Baratta aveva elaborato una (macro)zonizzazione sismica italiana (riproposta parzialmente nella figura 2) ancora prima che Mercalli introducesse la sua famosa scala d’intensità!

Questa breve digressione evidenzia come le (recenti) evoluzioni scientifiche e tecnologiche dal 1800 in poi hanno permesso catalogazioni sempre più dettagliate dei terremoti, fino ai più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare alle ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane: DISS³ ed il Catalogo Parametrico nazionale dei Terremoti storici CPTI (1999-2002). Ciò ha portato ad analisi più raffinate dei meccanismi di innesco e di propagazione dei sisma ed una progressiva conoscenza delle zone o delle strutture responsabili della sismicità (“zone” o “sorgenti sismogenetiche”) presenti nel territorio italiano.

Per quanto riguarda lo stato delle conoscenze relativamente agli aspetti geologico-strutturali, la Regione Emilia-Romagna a conclusione di un lungo lavoro iniziato alla fine degli anni '70 del secolo scorso ha recentemente prodotto un importante documento di riferimento

ovvero la «Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna» (edita nel 2004 alla scala 1:250.000) che riporta gli epicentri dei terremoti noti con Magnitudo $M > 4$, le strutture attive e quelle potenzialmente “sismogenetiche” della catena appenninica, del suo margine e quelle correlate alle strutture del sottosuolo padano-adriatico. La cartografia riporta anche i relativi meccanismi focali tettonici.

A livello invece nazionale si è giunti, attraverso varie fasi di studi e revisioni, all’ultima macrozonazione sismogenica del territorio nazionale nota con la semplice sigla «ZS9» (2004) e prodotta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa macrozonazione rappresenta, al momento, il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano.

Le figure 3 e 4 propongono la sovrapposizione del territorio studiato con la zonazione ZS9 e con la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database più aggiornato e disponibile: DISS 3.1.

L’area Bazzanese ricade nella zona 913 (Appennino Emiliano-Romagnolo) cioè in una delle zone in cui è stato scomposto longitudinalmente l’arco appenninico settentrionale e centrale da Parma fino all’Abruzzo.

In questa zona si verificano terremoti prevalentemente compressivi fino al suo margine, ma anche sisma per meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo della struttura appenninica; ad essa viene attribuita una magnitudo massima $M = 5,91$.

Tutta la fascia è dunque caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo.

La banca dati DISS 3.1 riporta due “fasce” sismogene-

³ «Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy» (Valensise e Pantosti, 2001).

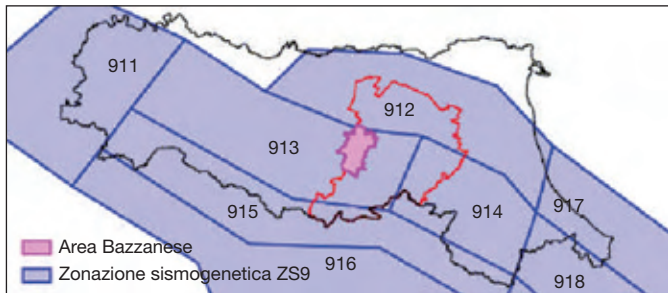


Figura 3 - Zonazione sismogenetica «ZS9» dell'Emilia-Romagna

tiche (contenute nella zona 913) che ricadono nell'area di studio:

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

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

Più in particolare la banca dati DISS 3.1 evidenzia due "sorgenti" sismogenetiche che interessano l'Area Bazzanese:

"ITIS103 - Crespellano" a cui è attribuita una magnitudo $M_w = 5,6$ associata al terremoto del 20 aprile 1929 (fonte: CPTI, 2004); sono documentati danni ad edifici ed infrastrutture con intensità pari al grado VII della scala Mercalli (Zecchi, 1982) ed effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali, emissioni di gas (Boschi et al., 2000); "ITIS091 - Casalecchio di Reno" a cui è attribuita una $M_w = 5,5$ associata al terremoto bolognese del 3 gennaio 1505 (fonte: CPTI, 2004); la zona epicentrale è stata stimata tra Zola Predosa e Bologna e sono documentati danni più consistenti a Zola Predosa, Bologna e S. Lorenzo in Collina (grado IX della scala Mercalli, cfr. Zecchi, 1992) con effetti indotti dal sisma: frane, fratture superficiali (Boschi et al., 2000), effetti di liquefazione a Zola Predosa (Prestininzi e Romeo, 2000). Effetti di liquefazione a Zola Predosa vengono evidenziati anche nel «Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia» (Galli e Meloni, 1993).

La porzione più a nord della pianura di Crespellano è invece compresa nella zona 912 (ZS9) che rappresenta la fascia più esterna dell'arco appenninico settentrionale.

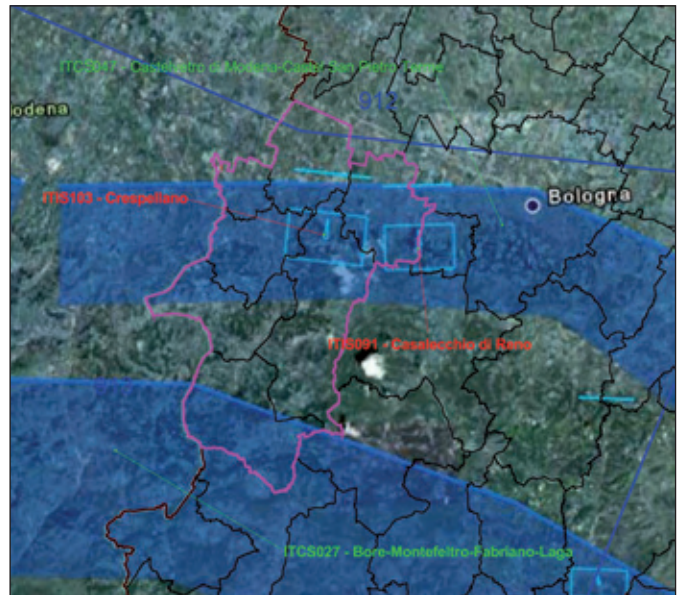


Figura 4 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.1 (foto aerea: Google Earth). Le sigle numeriche corrispondono alle "zone" sismogenetiche desunte dalla ZS9; le sigle ITCS corrispondono alle "zone" mentre le sigle ITIS corrispondono a "sorgenti" sismogenetiche della banca dati DISS (versione aggiornata 3.1)

In quest'ultima la sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico sepolto più avanzato che giunge fino all'attuale Po (alle più lontane fasce sismogenetiche ITCS050 "Poggio Rusco-Migliarino" e ITCS051 "Novi-Poggio Renatico, vengono attribuite magnitudo rispettivamente di $M_w = 5,5$ e $M_w = 5,9$). Sia gli studi nazionali sia quelli regionali attribuiscono pertanto al territorio studiato una pericolosità che può definirsi "media" (ma già la carta sismica di Baratta del 1898, cioè oltre 110 anni fa, arrivava allo stesso risultato!).

3. LA PERICOLOSITÀ SISMICA PRELIMINARE:

Scenari ed effetti locali potenziali...

Lo studio ha individuato i principali "scenari" di pericolosità locale ed i conseguenti "effetti" potenzialmente attesi che sono stati riportati cartograficamente alla scala 1:25.000 (figure 5 e 6). Gli effetti potenziali degli impulsi ciclici provocati da terremoti sono stati così distinti:

1) *Effetti di amplificazione (litologica e morfologica)*. Sono la conseguenza della interazione delle onde sismiche con le eterogenee caratteristiche litologiche e meccaniche dei sedimenti attraversati e con le differenti caratteristiche morfologiche delle strutture sedimentarie superficiali o sepolte⁴.

⁴ Quando la distanza tra sorgente sismica e sito è riconducibile a condizioni di "far-field" (distanze superiori alla lunghezza di rottura della faglia) gli effetti di sito risultano gli unici responsabili delle modificazioni delle onde sismiche, mentre se la sorgente sismica è vicina al sito (condizioni "near-field") risulta non trascurabile anche il contributo delle attenuazioni anelastiche dell'impulso sismico dovute alla distanza di propagazione

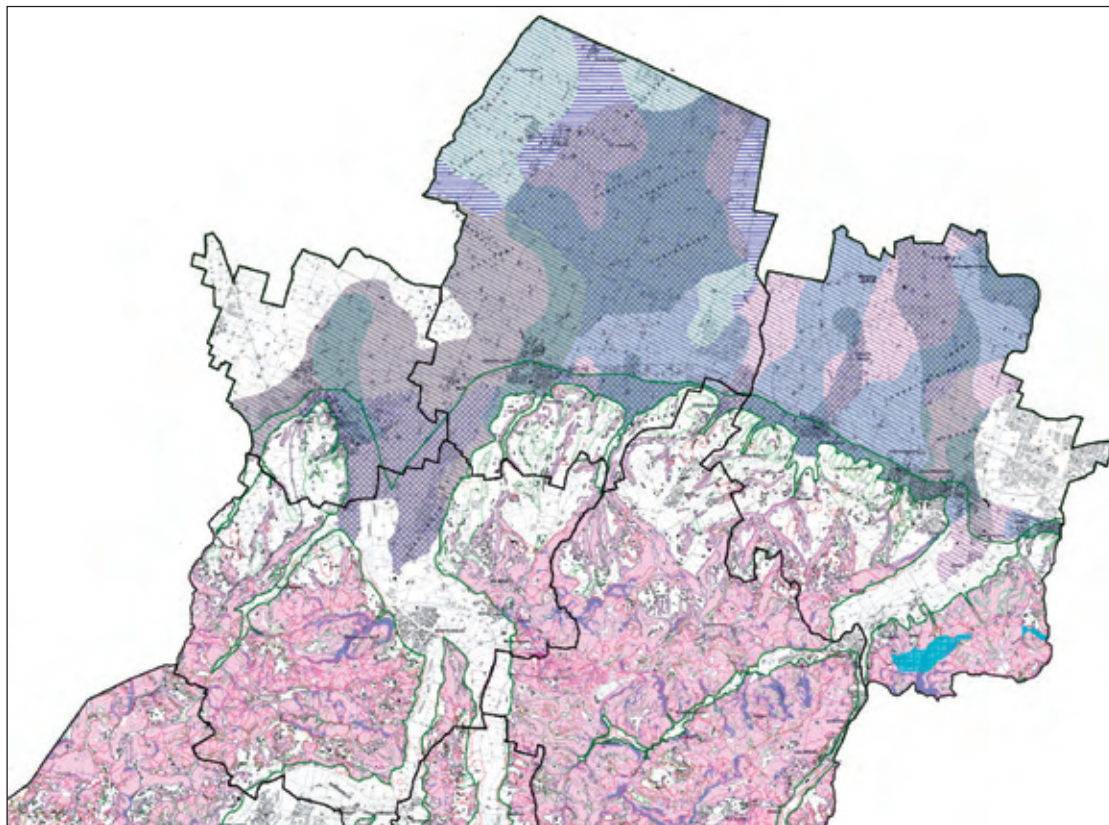


Figura 5 – Tavola «Pericolosità sismica preliminare» scala 1:25.000 prodotta per il Quadro Conoscitivo del PSC dei Comuni dell'Area Bazzanese (territorio settentrionale)

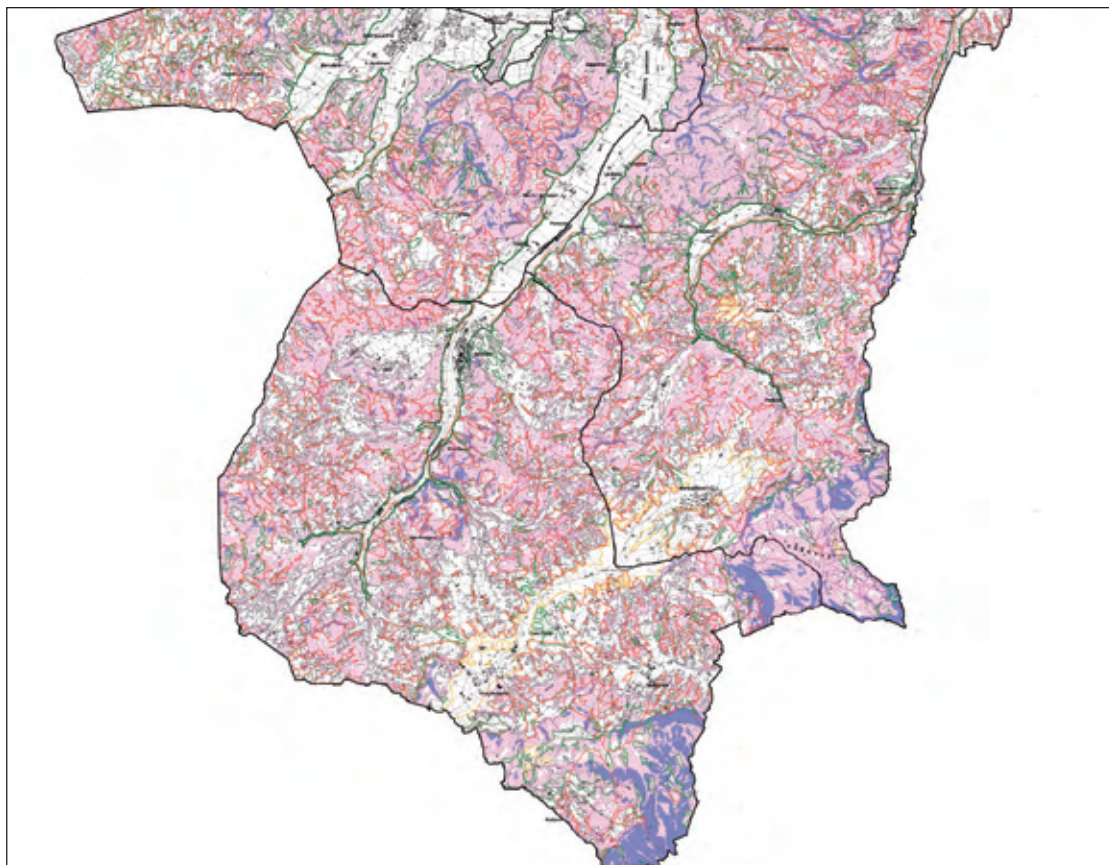


Figura 6 – Tavola «Pericolosità sismica preliminare» scala 1:25.000 (territorio meridionale) di subsidenza locale e di crolli di cavità sotterranee

Quando la distanza tra sorgente sismica e sito è riconducibile a condizioni di “far-field” (per definizione: distanze superiori alla lunghezza di rottura della faglia) gli effetti di sito sono i principali responsabili delle modificazioni delle onde sismiche; viceversa, se la sorgente sismica è vicina al sito (condizioni “near-field”) diviene ovviamente non trascurabile anche il contributo d’attenuazione anelastica dell’impulso sismico dovute alla distanza di propagazione. Si possono così avere modificazioni in forma ed ampiezza dell’impulso dovute a fenomeni di riflessione e rifrazione.

Nel caso di incidenza delle onde sismiche in corrispondenza di un’interfaccia non orizzontale tra “bedrock” e coperture recenti (ad esempio alluvionali) si possono avere anche effetti di trasformazione delle onde di volume in onde superficiali orizzontali, anche significativi, al bordo delle valli e della pianura contigua al pedecollina.

2) *Effetti di instabilità dovuta a fenomeni “cosismici”.* Sono generalmente causati dal decadimento o superamento delle resistenze meccaniche dei sedimenti coinvolti in caso di impulso ciclico (sisma); è ormai noto che in condizioni “non drenate” delle coperture sedimentarie attraversate dall’onda sismica, si può avere rottura del terreno per la rapida perdita della resistenza di taglio a seguito dell’annullamento delle pressioni effettive (liquefazione ciclica).

Le diverse condizioni litostratigrafiche e morfologiche, la presenza o meno di falda, possono dunque indurre meccanismi di instabilità assai diversi: nel caso di versanti si può avere l’innesco o la riattivazione di frane; la presenza di strutture tettoniche dislocabili (faglie) affioranti possono invece innescare scorrimenti e/o cedimenti superficiali; la presenza di sedimenti poco profondi con caratteristiche meccaniche scadenti può favorire rotture e/o deformazioni superficiali; per terreni granulari insaturi (sopra falda) sono possibili cedimenti per densificazione mentre per sedimenti granulari fini (sabbie) saturi sono invece possibili fenomeni di liquefazione. Infine, nel caso di siti caratterizzati da litologie affioranti interessate da carsismo (nel territorio studiato ciò è possibile soltanto nella Formazione Gessoso Solifera – GES affiorante solamente nel territorio di Zola Predosa) si possono avere effetti.

La legenda della carta di pericolosità sismica preliminare (figura 7) prodotta ed allegata al Quadro Conoscitivo è strutturata per individuare tutti questi potenziali scenari di pericolosità che possono interessare localmente il territorio studiato e consentire la agevole valutazione dei possibili effetti in caso di sisma.

Per ogni scenario sono stati infatti indicati tutti gli effetti attesi: ad esempio, nelle zone interessate da movimenti franosi sono possibili fenomeni di instabilità di versante (riattivazione del movimento), cedimenti e amplificazione (nel caso di dissesti di grandi dimensioni – con spessori del corpo di frana superiori a 4-5 metri).

Si tratta naturalmente di effetti potenziali la cui entità è funzione, come già detto, non solo delle caratteristiche

AMBITI	SCENARI	EFFETTI POTENZIALI				
		AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA	AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA	INSTABILITÀ DI VERSANTE	LIQUEFAZIONE ADDENSAMENTO	GEDIMENTI
COLLINA	versanti con acclività < 15° (onni, dorsali, dossi)					
	versanti con acclività tra 15° e 30°					
	versanti con acclività > 30°					
	instabilità di versante*					
	depositi di versante					
	depositi eluvio-collinari					
	detrito di falda					
	depositi edici					
	conoidi minori					
	depositi alluvionali terrazzati e periti					
PIANURA E FONDOVALLE	GES - Formazione Gessoso - Solifera					
	elementi tettonici					
	involupi di paleosolite granulari fino a 15 m					
	involupi di paleosolite granulari fino a 6 m					
	involupi di paleosolite granulari possibili fino a 15 m					
	involupi di paleosolite granulari possibili fino a 6 m					
	Testature limoso-argilose prevalenti fino a 6 m; involupi di paleosolite granulari possibili da 6-15 m					
	Testature limoso-argilose prevalenti fino a 15 m					
	fondovalle e pianura contigue al margine appenninico					

*dissesti attivi/ormai, zone di evoluzione sito di arrivo, zone di influenza

PROPENSIONE ALLA LIQUEFAZIONE (PIANURA)

	ELEVATA
	MEDIA
	BASSA
	NON VERIFICABILE (FALDA DEPRESSA)

Figura 7 – Legenda della Tavola «Pericolosità sismica preliminare» scala 1:25.000

del sisma (durata, frequenza, intensità) ma anche di molteplici fattori locali (se non addirittura “puntuali”) di natura geologica, idrogeologica, geomorfologica ed anche geotecnica.

Per delimitare le zone di possibile amplificazione morfologica si è utilizzato un modello digitale del terreno (DTM) basato su un “grid” di punti quotati e georeferenziati che ci sono stati forniti dal Servizio Cartografico RER.

Il DTM è stato elaborato con maglia quadrata di 5x5 metri ed ha permesso la scomposizione della superficie topografica in tre classi di acclività (< 15°, tra 15° e 30°, > 30°) in ossequio alle normative sia regionali (delibera 112/2007) sia nazionali (NTC 2008).

Per le aree in dissesto di versante si sono assunte le superfici in dissesto della Banca Dati geologica della RER (metadati aggiornati al 2007) e gli esiti del rilievo di campagna effettuato dallo Studio scrivente (ottobre 2009).

I perimetri delle frane riportate nella cartografia (figure 5 e 6) comprendono un ulteriore “buffer” esterno di 30 metri che rappresenta una fascia imposta a cautela di possibili evoluzioni (in caso di sisma) del dissesto (che attualmente può essere anche “inattivo”).

È infatti noto che i sismi possano indurre anche riattivazioni di frane inattive o incrementi delle velocità di scorrimento nei movimenti gravitativi attivi, oppure modificarne l'evoluzione in termini di distribuzione (retrogressioni delle corone di frana, allargamenti, ecc.) coinvolgendo anche volumi maggiori di roccia.

...anche di liquefazione

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche, in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Le conseguenze di questo fenomeno reologico si possono tradurre in perdita di funzionalità o collasso degli edifici/manufatti per riduzione della capacità portante e per cedimenti dei sedimenti granulari coinvolti, che possono risultare più o meno significativi in funzione di vari fattori tra cui: ampiezza e tempo del carico ciclico del sisma; spessore ed estensione dello strato in liquefazione; spessore dei sedimenti non soggetti a liquefazione interposti tra fondazioni e strato in densificazione/liquefazione; condizioni morfologiche al contorno (acclività; presenza di scarpate o di variazioni di pendenza; vuoti di cava; incisioni fluviali; maceri).

Anche il meccanismo di liquefazione è governato da molti fattori e tra questi i principali sono: caratteristiche dell'impulso sismico; (magnitudo $M > 5,0$); densità relativa ($DR < 50 \div 60\%$); pressioni di confinamento (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 20 metri anche per sismi di elevata intensità); fuso granulometrico; falda superficiale.

Molti Autori hanno evidenziato una correlazione positiva tra età e tipo di deposito alluvionale continentale riguardo la propensione alla liquefazione:

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

sima (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%). Tolno, 1975 dimostra l'incremento di densità secca (stato di addensamento) del sedimento in relazione all'aumento di vetustà (dall'Olocene al terziario);
- Iwasaki et Al, 1982 – dimostra per terremoti giapponesi la correlazione diretta tra probabilità di liquefazione e letti di fiumi recenti e antichi;
- CNR, 1983 – ripropone la correlazione diretta tra sedimenti fluviali e deltizi continentali ed età del deposito (i più recenti sono più suscettibili alla liquefazione).

Come visto la letteratura geologica, ormai ben consolidata e verificata, indica che le maggiori probabilità di liquefazione si hanno nei sedimenti granulari saturi recenti e recentissimi.

Ne risulta conseguentemente che i fondovalle e la pianura alluvionale (dove si hanno anche le maggiori concentrazioni di insediato urbano e produttivo) appaiono potenzialmente interessati dal fenomeno della liquefazione. In questo senso si presuppone che nel territorio studiato gli alvei abbandonati e sepolti dei principali corsi d'acqua (Torrenti Samoggia e Lavino) ma anche i paleoalvei minori (Ghironda, Martignone, ecc.) costituiscono fonte di potenziale pericolo di liquefazione anche per sismi di magnitudo come quelli già avvenuti nel territorio dell'Area Bazzanese ($M < 6$), come dimostrerebbero gli effetti di Zola Predosa, conseguentemente al terremoto del 1505 (Galli e Meloni, 1993; Prestininzi e Romeo, 2000).

La stima della pericolosità di liquefazione/densificazione proposta per questo lavoro di analisi territoriale preliminare è basata su un approccio “qualitativo”.

Per un'analisi invece “quantitativa” è necessaria la verifica dei parametri tessiturali e meccanici delle sabbie sature ottenuti esclusivamente da prove “in situ” ed in laboratorio: costose e pertanto non proponibili per questa fase di pianificazione a grande scala.

L'approccio analitico proposto per la valutazione della pericolosità di liquefazione si basa sull'elaborazione di una semplice matrice ponderale che permette di incrociare alcuni dei principali fattori condizionanti questo fenomeno reologico: le tessiture medie del sottosuolo; il contesto di confinamento degli strati granulari potenzialmente liquefacibili (profondità); la piezometria locale. La propensione alla liquefazione del sottosuolo dipende decisamente dalla variazione e distribuzione areale di questi fattori: la quota di falda, la presenza o meno di sedimenti granulari e la loro profondità di confinamento relativi alla pianura studiata sono stati tradotti in “layer” con l'aiuto del software GIS Arcview. Ciò ha permesso, come vedremo, di elaborare una vera e propria zonizzazione preliminare di suscettibilità alla liquefazione.

Il contesto idrogeologico di riferimento si basa sulla ricostruzione della geometria della tavola d'acqua sotterranea che rappresenta l'insieme delle falde meno profon-

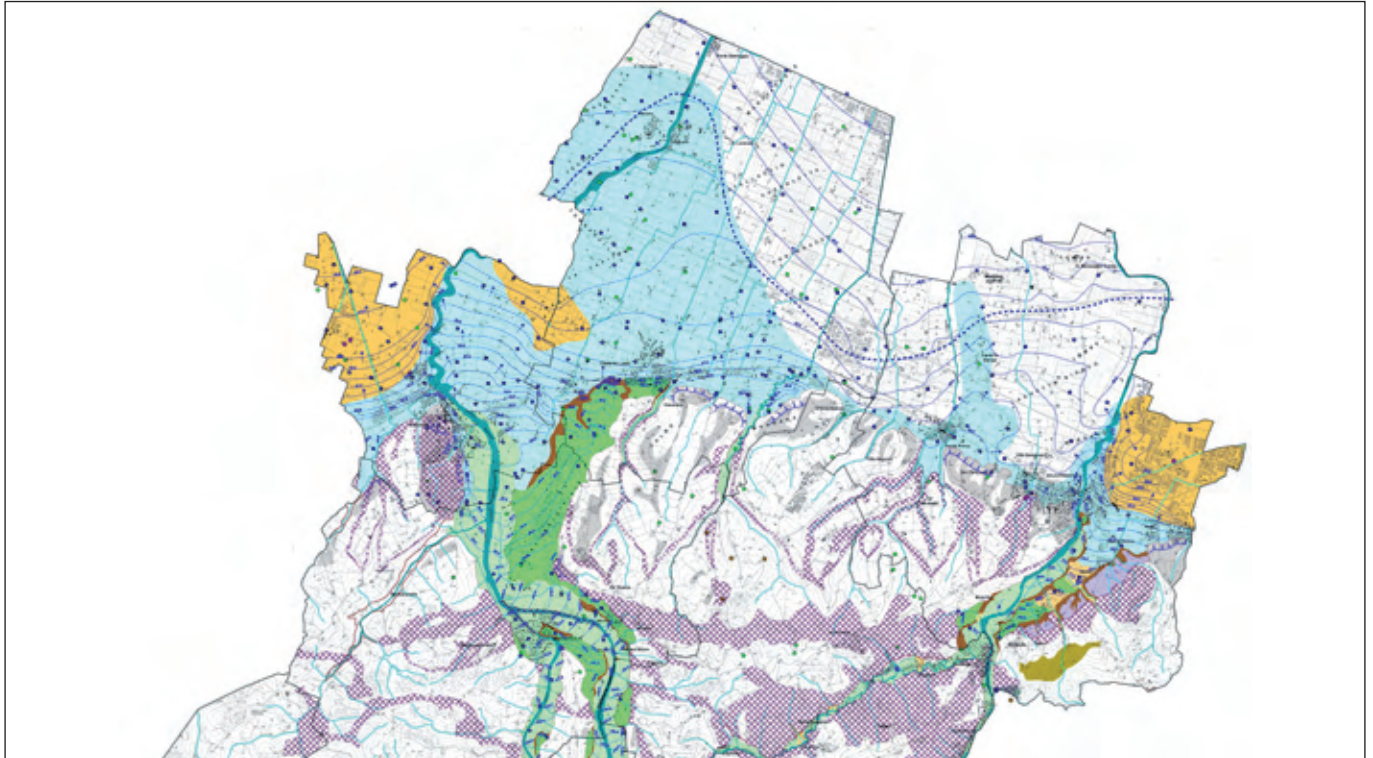


Figura 8 – Stralcio della tavola «Quadro idrogeologico» scala 1:25.000. La cartografia individua tra l'altro: sorgenti e punti di controllo piezometrico (pozzi); isopieze (linee blu); zone di ricarica del freatico (in azzurro); zone di depressurizzazione delle falde meno profonde (in giallo ocra); terrazzi alluvionali di fondovalle classificati in base alla connessione idrogeologica; depositi di versante recenti (Quaternario) e bedrock permeabili (“rocce magazzino”)

de (ecco un'ulteriore motivo per studiare l'idrogeologia del freatico alla scala comunale!) elaborata da chi scrive, sempre nell'ambito delle analisi per il Quadro Conoscitivo del PSC associato (figura 8).

Nel periodo compreso tra l'8 giugno ed il 7 luglio 2009 (un mese circa) sono stati infatti rilevati oltre 280 pozzi freatici, distribuiti nel fondovalle e nella pianura dell'Associazione Comunale. Sulla base di queste informazioni e di quelle raccolte in precedenti campagne di rilevamento per il PRG di Zola Predosa (G. Viel, 1996), per il PSC di Monteveglio (Viel & Sangiorgi, 2004) si è potuto così elaborare il modello idrogeologico del territorio studiato.

La distribuzione tessiturale dei sedimenti nel sottosuolo, presuppone invece una analisi paleogeografica della pianura studiata, fondamentale per la ricostruzione dell'insieme dei paleoalvei.

Le ancora scarse conoscenze che possediamo sulla possibilità di liquefazione dei sedimenti, rispetto all'ampiezza del territorio studiato, consentono solamente di ipotizzare la distribuzione dei principali corpi granulari potenzialmente pericolosi (involuppi di paleoalvei) estrapolandola all'intera pianura dell'Area Bazzanese. In questo senso, si sono considerati:

- i dati tessiturali della Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna che condensa il contesto sedimentario più recente relativo ai primi 6 metri circa di sottosuolo;

- le informazioni geognostiche disponibili ricavate da penetrometrie e sondaggi (Banca Dati della R.E.R.; indagini geognostiche d'archivio forniteci dalla Comunità Montana e dai Comuni; dati dello Studio scrivente). Attraverso gli esiti delle terebrazioni si è pertanto controllata la presenza fino a 15 metri di profondità di strati granulari sabbiosi di potenza superiore ad un metro. Il sottosuolo è stato suddiviso nei due seguenti intervalli (layer) di profondità:

- dal piano campagna fino a -6 metri (figura 9) → che corrisponde all'intervallo dove statisticamente si ha la più alta probabilità di liquefazione/addensamento dei sedimenti granulari saturi. È noto infatti che la propensione alla liquefazione decresce rapidamente con il grado di confinamento dello strato sabbioso e con la profondità della falda; generalmente si concentra soprattutto a profondità comprese tra 1,5 e 4 metri (Obermeier, 1996). La liquefazione dei sedimenti compresi in questo primo strato può comportare i maggiori risentimenti alle strutture (cedimenti) dovuti alla propagazione in superficie degli effetti;
- da -6 a -15 metri (figura 10) → come già scritto precedentemente il maggiore confinamento degli strati granulari saturi e la più elevata soggiacenza della falda limitano la possibilità di liquefazione ed attenuano la propagazione degli effetti in superficie.

Per la maggior parte dei manufatti, in genere sostenuti da fondazioni superficiali (travi rovesce), ciò si tra-

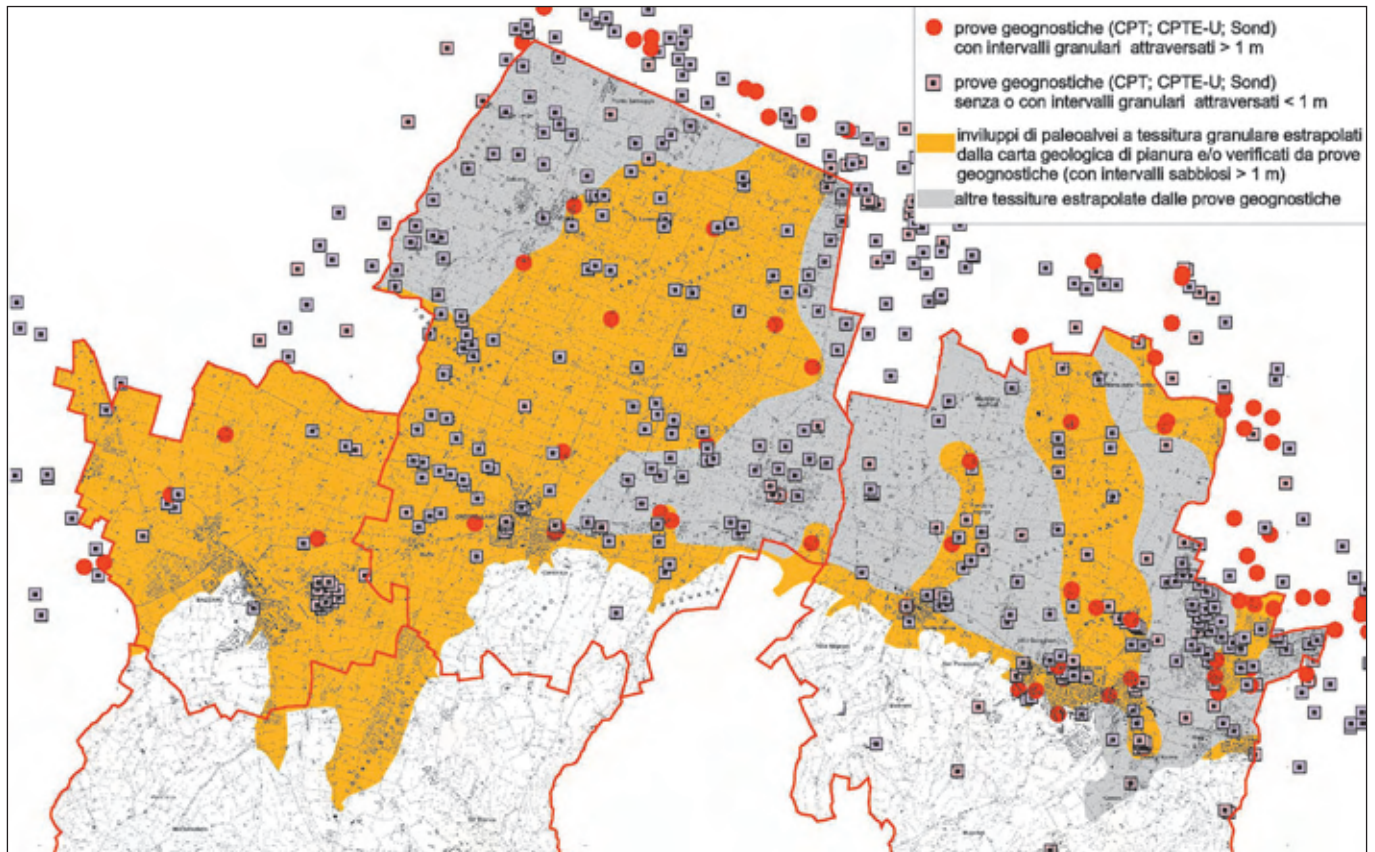


Figura 9 – Ricostruzione dei principali inviluppi di paleoalvei a tessiture granulari dal piano campagna fino a -6 metri

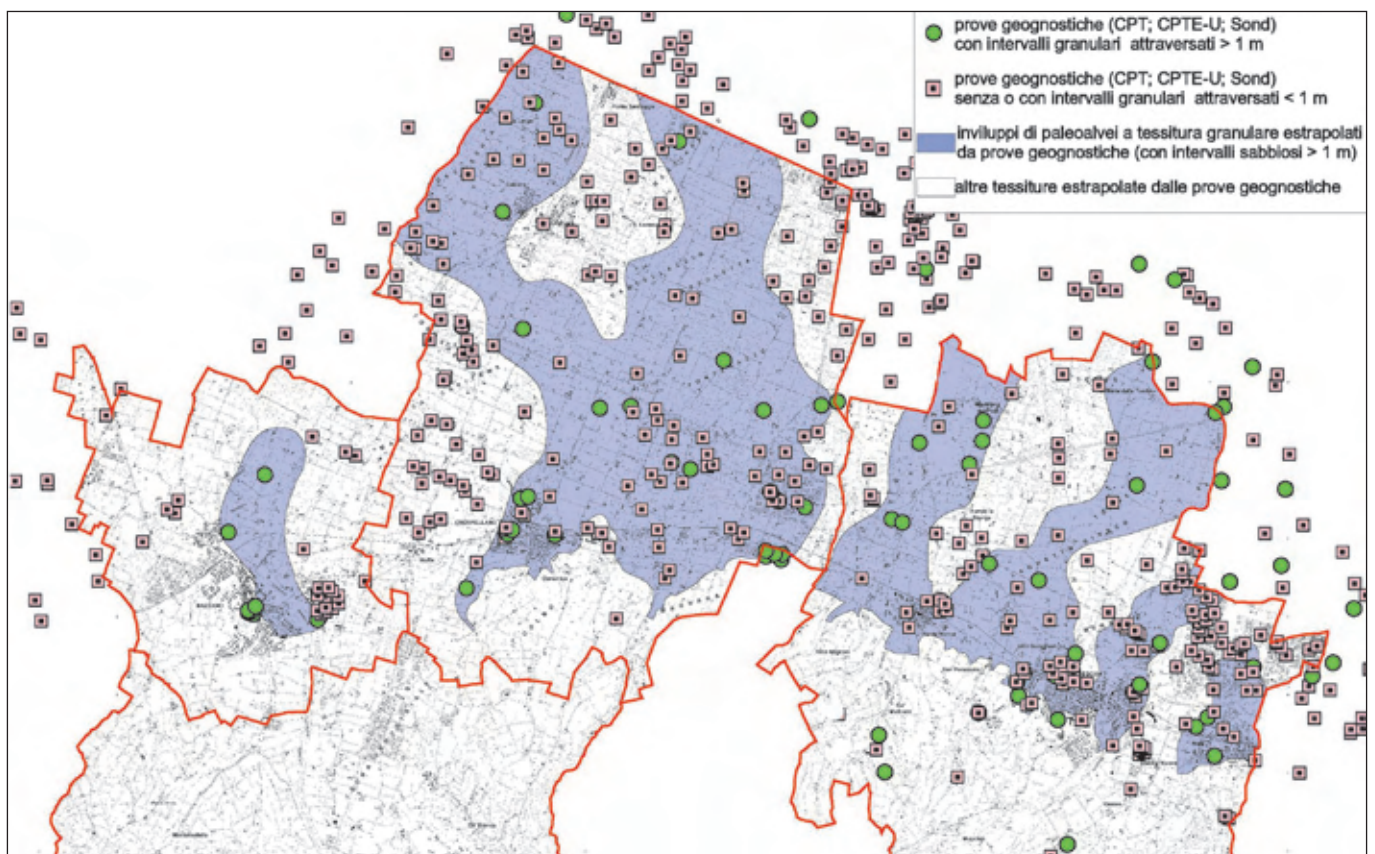


Figura 10 – Ricostruzione dei principali inviluppi di paleoalvei a tessiture granulari da -6 m a -15 metri

FATTORE	PROFONDITÀ		
	<6m	6-15m	>15m
1) Soggiacenza minima	E	M	--
2) Tessiture Carta geologica di Pianura (0-6m):			
Depositi di conoide e di terrazzo (ghiaie e sabbie..)	E	--	--
Depositi di conoide e di terrazzo (sabbie, limi sabbiosi e limi..)	E	--	--
Depositi indifferenziati (ghiaie, sabbie, limi..)	E	--	--
Dep. di canale e di argine proximale (sabbie medie e fini..)	E	--	--
Dep. di argine distale (limi sabbiosi, sabbie fini e finissime..)	E	--	--
Dep. di canale e argine indifferenziati (sabbie medie e fini limi, argille..)	E	--	--
Dep. di conoide e di terrazzo (limi e limi argillosi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose canalizzate..)	M	--	--
Dep. di canale e argine indifferenziati (limi argillosi e sabbiosi, subordinate sabbie fini e finissime..)	M	--	--
Area interfuviale e dep. di palude (argille e limi..)	B	--	--
3) Tessiture controllate: dati geognostici con intervalli granulari > 1m (0-15m):			
Intervalli sabbiosi accertati (potenza > 1 metro)	E	M	--
Intervalli sabbiosi non accertati ma possibili (potenza > 1 metro)	B	B	--

Tabella 1 – Schema ponderale utilizzato per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione

duce in una maggiore garanzia di sicurezza, mentre per costruzioni dotate di altre fondazioni le condizioni sono da considerarsi caso per caso. Il controllo delle prove geognostiche ha consentito alcune modifiche locali della cartografia regionale (riferimento per il primo strato di sottosuolo elaborato) con la delimitazione di zone ampie che corrispondono ai limiti dei principali inviluppi di paleoalvei sepolti nella pianura studiata.

L'incrocio del modello relativo alla soggiacenza minima locale con i due layer di sottosuolo sopra descritti e la scelta del criterio di valutazione ponderale, così come riportato nella tabella 1, ha consentito la stima della suscettibilità preliminare alla liquefazione giungendo ad una scomposizione della pianura dell'Area Bazzanese (figura 11) secondo quattro categorie ("zone") di propensione alla liquefazione:

- elevata = comprende zone con sottosuolo caratterizzato da inviluppi di paleoalvei o da depositi di conoide a tessitura granulare superficiali (< 6 metri), saturi e con strati sabbiosi di potenza > 1 metro che sono stati verificati anche da prove geognostiche;
- media = il contesto paleogeografico generale di questa zona presuppone la possibilità di intervalli granulari saturi nei primi 6 metri; gli strati sabbiosi di potenza maggiore di 1 metro sono verificati da prove geognostiche solo a profondità > di 6 metri; oppure la soggiacenza minima della falda è > 6 metri;
- bassa = il contesto paleogeografico generale di questa zona presuppone che il sottosuolo sia caratterizzato da sedimenti prevalentemente pelitici; anche le prove geognostiche non hanno verificato la presenza di strati sabbiosi di spessore maggiore di un metro almeno fino a 15 metri;

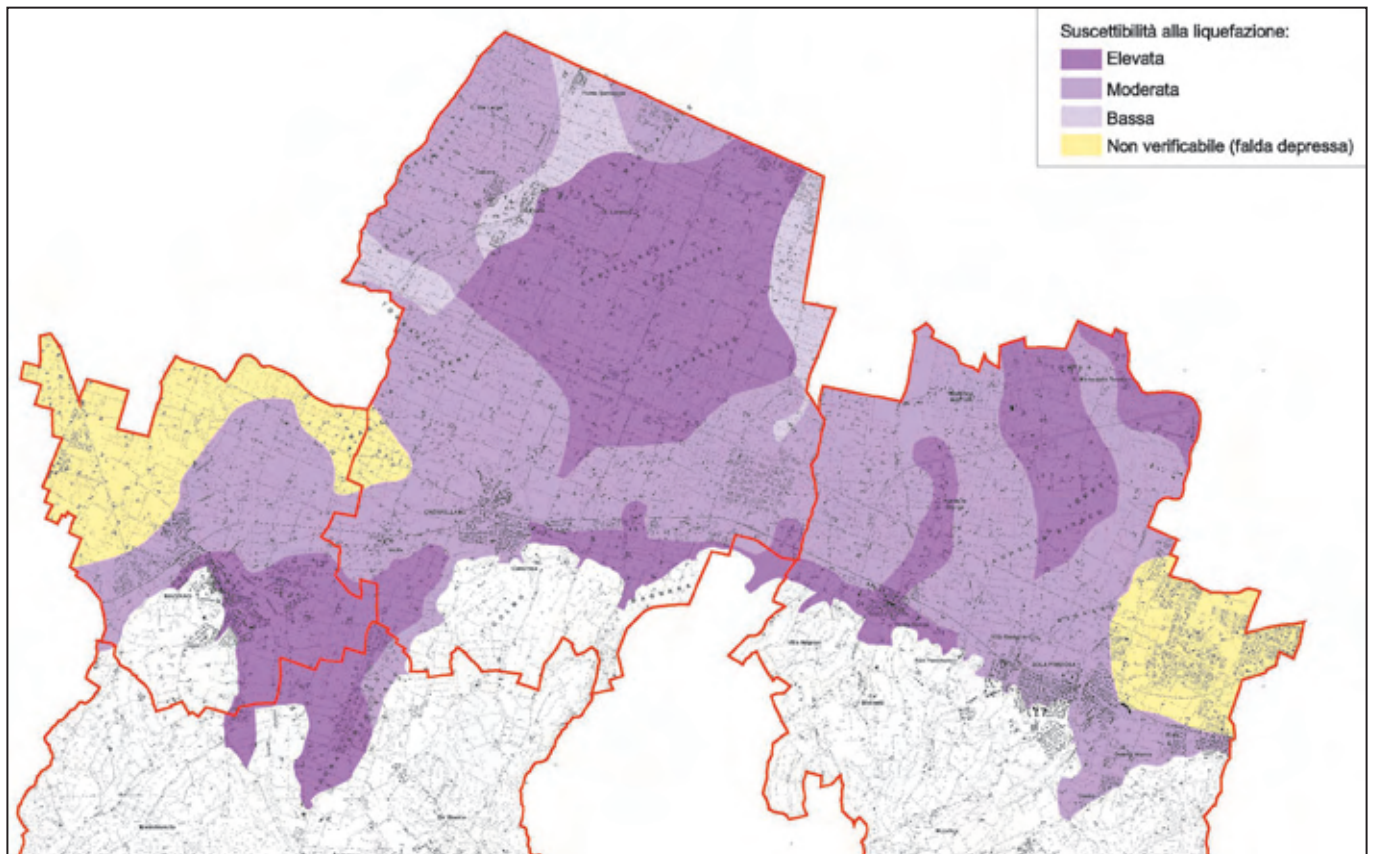


Figura 11 – Zonizzazione preliminare della propensione alla liquefazione del territorio studiato

- non verificabile = l'elevata soggiacenza della falda (>15 metri)⁵ esclude la possibilità di liquefazione; si tratta di una condizione probabilmente reversibile solo nel caso in cui si esauriscano gli emungimenti d'acqua dai pozzi che attualmente causano le forti anomalie piezometriche.

La figura 11 propone la sintesi della zonizzazione preliminare di suscettibilità alla liquefazione del territorio studiato. Da essa si evince che le zone ad elevata suscettibilità si concentrano:

- allo sbocco vallivo del Samogga tra Monteveglio e Bazzano → compresa una porzione di territorio sul quale si insedia Bazzano; include i depositi recenti di conoide prossimale recente del Samogga, la cui componente ghiaiosa (da verificare il fuso granulometrico), potrà comunque escludere localmente la liquefazione;
- negli sbocchi vallivi minori del Martignone, del Podice e del Ghironda → questi corsi d'acqua sono infatti caratterizzati da bacini idrografici impostati nelle formazioni arenacee delle Sabbie Gialle (IMO) e di M. Adone (ADO) ed hanno prodotto modeste conoidi recenti, a tessitura anche sabbiosa; su questi depositi si insediano le frazioni di Pragatto, Chiesa Nuova e Ponte Ronca;
- nella pianura di Crespellano (per la presenza di inviluppi di paleoalvei sabbiosi recenti del Samogga, in falda) e nella pianura di Zola Predosa (paleoalvei recenti del Lavino e del Ghironda).

Lo studio idrogeologico ha peraltro evidenziato come, a prescindere dalle tessiture che caratterizzano il sottosuolo, in ampie porzioni della pianura studiata (zona produttiva di Zola Predosa; territorio a nord di Bazzano) la possibilità di liquefazione dei sedimenti è fortemente condizionata dalle anomalie piezometriche (forti abbassamenti delle falde meno profonde).

4. CONCLUSIONI

Lo studio geologico preliminare ha individuato i principali "scenari" di pericolosità sismica locale ed i conseguenti "effetti" potenzialmente attesi nel territorio studiato. Si tratta di una prima analisi puramente qualitativa basata sul controllo dei dati pregressi (contesto geologico-strutturale, litologico, geomorfologico ed idrogeologico)

finalizzata ad individuare le zone che possono produrre instabilità e/o amplificazione senza tuttavia definirne quantitativamente gli appropriati parametri meccanici e sismici.

La definizione della pericolosità sismica della pianura e dei principali sbocchi vallivi rappresenta una parte fondamentale del lavoro, visto che in questa porzione di territorio si ha la maggior concentrazione di insediamenti urbani, produttivi e di infrastrutture.

Ciò detto, lo studio effettuato è giunto anche ad una stima della pericolosità di liquefazione dei sedimenti di pianura, basata sull'elaborazione di una matrice ponderale che ha permesso l'incrocio di alcuni dei principali fattori predisponenti (tessiture medie; confinamento; piezometria locale).

Si è così elaborata una zonizzazione preliminare della propensione alla liquefazione, un fenomeno cosismico che appare, a chi scrive, ancora sottovalutato anche negli studi di geologia territoriale.

Come già scritto, la letteratura relativa ai terremoti storici italiani evidenzia effetti di liquefazione anche nell'area di studio, sebbene la "soglia" di innesco sia legata a sismi di magnitudo più elevata (a prescindere dall'entità di attenuazione e/o amplificazione litologica locale dell'impulso sismico), cioè per eventi statisticamente "meno attesi".

Ciò che è cambiato anche in modo molto significativo (soprattutto nell'ultimo secolo) è la distribuzione e la densità dell'urbanizzato!

Ne consegue che per una pari "pericolosità" vi è un evidente incremento del "rischio" sismico del territorio studiato (questo asserto è però valido in generale, non solo per la liquefazione); un esempio: il citato terremoto bolognese del 1505 che ha causato notevoli danni ed anche effetti di liquefazione è avvenuto circa cinque secoli fa; ne consegue che quanto è stato costruito dopo questo grave evento presenti una "vulnerabilità" purtroppo molto simile all'edificato precedente (forse si potrebbero escludere le opere realizzate negli ultimi decenni...il cemento armato...ma abbiamo troppi esempi negativi, vedi l'Aquila e non solo).

Un ulteriore aggravio della situazione di rischio sismico è infine determinato ancora dall'espansione urbana recente, che è andata ad occupare ampie aree in cui mancano informazioni storiche di effetti (semplicemente perché non vi erano case, fabbriche, ponti e quant'altro...). Ed ancora, viceversa, negli insediamenti urbani storici si hanno spesso molti dati di effetti di sito di letteratura ma non si han-

⁵ Il contesto idrogeologico locale ha evidenziato estese anomalie del campo di moto dell'insieme delle falde meno profonde: nella porzione orientale del territorio di Zola Predosa (destra Lavino) e nella porzione nord occidentale di Bazzano (sinistra Samogga) si rilevano pozzi un tempo attivi, oggi completamente secchi. In sinistra Lavino e in destra Samogga le quote statiche si alzano bruscamente e le isopieze si allineano al corso dei torrenti, cioè nella porzione centrale del territorio di pianura le isolinee conservano una loro regolarità e "logica" riferita al contesto di sottosuolo. La causa delle forti depressioni piezometriche è legata alla presenza di "campi" di captazione delle acque sotterranee per l'approvvigionamento idropotabile sia nell'area metropolitana bolognese che nel modenese (Piumazzo di Castelfranco Emilia) e di numerosissimi pozzi privati per gli usi produttivi realizzati per le attività industriali, artigianali (Zola Predosa, Casalecchio, Borgo Panigale verso est; Bazzano e la sua frazione Magazzino verso ovest), agricole e zootecniche. Si tratta di anomalie ormai "storiche" e note da almeno 30 anni.

no sufficienti dati “scientifici” di sottosuolo (stratigrafici, geomeccanici, geofisici, ecc.) in grado di consentire una quantificazione della risposta sismica locale.

Lo studio espletato per il Quadro conoscitivo del PSC associato rappresenta pertanto il primo “tassello” necessario per giungere ad una vera e propria microzonazione, in grado di fornire esiti di risposta sismica locale in termini sia di amplificazione, sia di effetti “cosismici” (instabilità di versante; cedimenti; potenziale di liquefazione dei sedimenti). Si tratta di condizioni anche molto discrepanti alla scala locale e pertanto questo ulteriore livello di analisi è stato demandato alle successive fasi di pianificazione (Piano Strutturale Comunale; Piano Operativo Comunale), vista la generale rarefazione delle conoscenze di sottosuolo ed in particolare per l’assenza di quelle specifiche per la conoscenza delle velocità delle onde di taglio trasversali (Vs) e dello spessore delle coperture, che risultano informazioni fondamentali per la stima della risposta sismica in termini di amplificazione dell’impulso dell’onda di terremoto.

Le successive fasi di pianificazione dovranno elaborare studi di microzonazione sismica per le aree di insediamento storico e per le aree di nuova previsione residenziale e produttiva, così come già prevede la recente normativa regionale.

Alcune considerazioni conclusive: gli studi di microzonazione devono necessariamente basarsi anche sulla ricostruzione paleogeografica, il più possibile raffinata (come solo il geologo può fare!), in grado di offrire un utile supporto alla definizione corretta della risposta sismica locale.

Vorrei insistere anche in merito al contributo (fondamentale) che il geologo può dare anche alla stesura degli apparati normativi di pianificazione; un esempio pratico: la necessità (soprattutto economica) per le Amministrazioni di demandare il più possibile ai Privati i costi delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio alle fasi di PUA oppure alle fasi di progettazione preliminare (alla stregua degli “oneri di urbanizzazione”), impone l’elaborazione di specifici indirizzi normativi in grado di definire il numero minimo e la tipologia delle indagini e delle verifiche da effettuare per la caratterizzazione (anche di pericolosità sismica) dei singoli comparti, al fine di evitare, come assai spesso succede, una poco utile “disomogeneità” delle indagini geotecniche.

Un ricordo: questo articolo è dedicato con affetto al geol. Giovanni Viel (1944-2009), ad un anno dalla sua scomparsa. Con lui abbiamo avviato questo lavoro, proseguendolo, accompagnati dal suo eterno entusiasmo per questa nostra bellissima professione.

5. BIBLIOGRAFIA

Baratta (1901) - *I terremoti d'Italia*. Saggio di storia geografia e bibliografia sismica italiana, Torino 1901 (Ristampa anastatica FORNI, Sala Bolognese)

Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008) - *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics

CNR (1983) - *Indagini di microzonazione sismica*. Progetto Finalizzato Geodinamica. Pubbl.492

Conferenza delle Regioni e delle Provincie Autonome, Dipartimento della Protezione Civile (2008) - *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Volume 1 e 2, Roma

Crespellani, Nardi, Simoncini (1991) - *La liquefazione del terreno in condizioni sismiche*. Zanichelli, Bologna

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

Flores (1981) - *Il terremoto*. Longanesi & C., Milano

Galli, Meloni, Rossi (1999) - *Historical liquefaction in Italy: relationship between epicentral distance and seismic parameters*. European Geophysical Society XXVIII General Assembly Natural Hazards NH3, The Hague, Netherlands

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

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

Obermeier et al. (2004) - *Field occurrences of liquefaction-induced features: a primer for engineering analysis of paleosismic shalving*. *Engineering Geology* n.76 (2005), 209-234

Regione Emilia Romagna - Ufficio Geologico (1999) - *Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna - scala 1:250.000*. Ed. SELCA, Firenze

Regione Emilia Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR - Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino (2002) - *Carta Geologico-strutturale dell'Appennino Emiliano-Romagnolo - scala 1:250.000*. Ed. SELCA, Firenze

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

Regione Emilia Romagna - *Legge Regionale n.20/2000 - "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio"*

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

Sangiorgi, Viel (2007) - *Esperienza di caratterizzazione sismica a scala comunale: zonizzazione e normative per il Comune di Cattolica (RN)*. 26° Convegno Nazionale G.N.G.T.S. - Riassunti estesi delle comunicazioni", Trieste 2007

Youd, Perkins (1978) - *Mapping liquefaction-induced ground failure potential*. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 104, GT4, 433-446*