



UNIVERSITÀ  
DI SIENA  
1240

DIPARTIMENTO DI  
SCIENZE FISICHE, DELLA TERRA  
E DELL'AMBIENTE  
— DSFTA



## **Relazione tecnica finale delle attività svolte per la redazione di una mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna a partire dai dati macrosismici disponibili per le località dell'area**

A cura di

UniSI: prof. Dario Albarello, prof. Pier Lorenzo Fantozzi, dott. Nicolò Carfagna

RER: dott. Luca Martelli, dott. Giacomo Carloni

### **Introduzione**

Le stime di pericolosità sismica costituiscono uno strumento importante per la progettazione di nuovi edifici, il miglioramento sismico di quelli esistenti e la pianificazione territoriale. Laddove i primi due aspetti sono legati all'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NT18), il terzo è appannaggio delle Autorità di governo del territorio che ha la responsabilità di amministrare la distribuzione delle risorse eventualmente disponibili per interventi di miglioramento sismico e sviluppare opportune politiche pianificatorie volte alla riduzione del livello di esposizione al potenziale danno sismico. La normativa sismica nel suo complesso (Norme Tecniche e Testo unico dell'edilizia) fanno esplicito riferimento ad una mappa di pericolosità sismica sviluppata nel 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>) seguendo procedure rappresentative dello stato dell'arte internazionale al momento della sua formulazione. Nella mappa viene stimato il massimo livello di scuotimento 'ragionevolmente' atteso per ciascun punto del territorio nazionale. Con il termine 'ragionevolmente' si intende un livello di scuotimento caratterizzato da una fissata probabilità di eccedenza che dipende dal livello di sicurezza richiesto per un dato manufatto in rapporto al suo uso. In questa valutazione, si tiene conto della distribuzione delle possibili sorgenti sismiche, della loro produttività in termini di rilascio di energia sismica nel tempo e delle modalità di attenuazione dell'energia prodotta dalle sorgenti in funzione della loro distanza dal sito per il quale si valuta la pericolosità. Non vengono considerati i possibili effetti legati alla configurazione sismostratigrafica e geomorfologica locale (ovvero alla scala delle decine/centinaia di metri) sulla propagazione dell'energia, effetti che vanno stimati caso per caso a partire da dati locali ricavabili da opportuni studi di microzonazione sismica (alla scala dell'abitato) e analisi di risposta sismica locale (alla scala del singolo edificio).

La metodologia utilizzata per la costruzione della mappa di pericolosità di riferimento ha carattere convenzionale in quanto, come si è detto, fa riferimento a standard internazionali che non tengono conto delle specificità nazionali riguardo alla disponibilità di informazioni relative, per esempio alle storie sismiche di sito, ovvero della documentazione relativa agli effetti dei terremoti del passato nelle diverse località del territorio nazionale. In altri termini, la metodologia utilizzata parte dall'assunzione che solo i dati epicentrali (geometria delle sorgenti, tassi di generazione dei terremoti di diversa entità, modalità di attenuazione del moto del suolo a scala regionale) giochino un ruolo nella stima della pericolosità. Inoltre, come si è detto, le stime di pericolosità riguardano il

livello di scuotimento associato a probabilità di eccedenza fissate dalla normativa per i diversi livelli di sicurezza richiesti in rapporto a diversi fattori: classe d'uso del manufatto, stato limite, ecc.. Si tratta quindi di una parametrizzazione tecnica (spettro di risposta in pseudo accelerazione) utile per la progettazione ma scarsamente utilizzabile per la gestione del rischio a scala territoriale o della municipalità. In realtà, in paesi come l'Italia, esiste un'ampia documentazione relativa agli effetti dei terremoti che nel corso dei secoli (ed in particolare a partire dall'anno 1000 D.C.) hanno interessato le località del territorio italiano (Locati et al., 2022). Questa base informativa è stata solo marginalmente considerata nella costruzione della carta di pericolosità sismica nazionale dato che gli standard utilizzati non prevedono l'uso diretto di questo tipo di informazioni. Queste sono espresse in termini di classi di intensità macrosismica ovvero in termini di una scala rappresentativa degli effetti dello scuotimento sul sistema antropico. Questa grandezza rappresenta l'entità degli effetti sulle persone e sui manufatti di un evento sismico su un sistema edilizio alla scala urbana. Si tratta quindi di un parametro più adatto a supportare scelte di pianificazione territoriale e preparare la gestione dell'emergenza. La scala macrosismica è infatti di una raccolta di 12 scenari descrittivi organizzati secondo un ordine di severità crescente dal I al XII grado: questo dà alle stime in intensità un carattere qualitativo che facilita la comprensione diretta dell'entità del terremoto atteso, anche da parte di utenti inesperti. Le scale più recenti permettono anche di distinguere gli effetti in base alle caratteristiche dell'edificato investito dall'evento e questo permette di tenere conto delle diverse caratteristiche degli agglomerati urbani considerati. Un altro importante vantaggio di questa parametrizzazione è che consente una comparazione diretta fra eventi di epoche diverse e soprattutto con eventi occorsi in epoca pre-strumentale e dei quali è rimasta solo traccia in forma di testimonianze scritte. Dato che la grande maggioranza degli eventi disastrosi avvenuti in Italia è nota solo in questa forma, l'uso dell'Intensità macrosismica agevola la modellazione statistica del processo sismogenico senza possibili effetti distorsivi legati all'interpretazione in chiave strumentale del dato documentario. Inoltre, il dato macrosismico è intrinsecamente 'locale' dato che riguarda solo gli effetti al sito oggetto della stima di pericolosità. Questi effetti saranno legati alla sorgente dell'evento sismico, ma anche alle caratteristiche morfostratigrafiche a scala del sito che potranno così essere inclusi direttamente nella stima (cosa che non avviene nel caso delle stime standard).

Per questi motivi, l'ampia base informativa riguardante la base dati macrosismica relativamente alla sismicità storica può essere assai importante, soprattutto a fini di pianificazione. Nel seguito viene descritta un'analisi di questa base dati mediante la quale è possibile sviluppare una nuova carta di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna, fornendo utili indicazioni anche sugli effetti che le condizioni di sito possono avere sulla pericolosità locale. In questo senso, i risultati di questa analisi possono essere messi a confronto con quanto risulta dai numerosi studi di microzonazione sismica (da qui in avanti "MS") disponibili in Regione.

### **Procedura di calcolo**

Dato che l'intensità macrosismica è una grandezza ordinale su valori discreti (i cosiddetti 'gradi' della scala macrosismica), la formulazione di una carta di pericolosità che utilizzi questo parametro richiede lo sviluppo di procedure diverse da quelle comunemente utilizzate per le stime finalizzate alla progettazione. D'altro canto, il carattere specificamente locale del dato macrosismico e la

possibilità che offre di considerare congiuntamente eventi di epoche diverse permettono di sfruttare direttamente le informazioni riguardo gli effetti dei terremoti del passato sullo stesso sito (la storia sismica di sito) ed ottenere stime di pericolosità su base statistica senza ipotesi aggiuntive riguardo alle sorgenti sismiche presenti nell'area di studio. Per sfruttare queste caratteristiche è stata applicata una procedura di calcolo appositamente sviluppata per l'impiego delle storie sismiche di sito al fine di produrre una nuova stima della pericolosità sismica locale (D'amico e Albarello, 2008). Si tratta di un approccio puramente statistico che fornisce stime delle probabilità di eccedenza per i diversi gradi di intensità a partire solo dallo studio degli effetti osservati al sito di interesse in occasione di terremoti del passato eventualmente integrando queste informazioni utilizzando effetti osservati in località vicine. L'approccio è stato impiegato con successo in diverse realtà (p.es.: Albarello et al., 2002; Azzaro et al., 2008, 2012; Carvalho et al., 2016; Jimenez et al., 2016; D'amico et al., 2016; Shabani et al., 2024).

In estrema sintesi, la procedura è applicata per ogni singola località in maniera indipendente ed è articolata in quattro fasi:

1. Nella prima fase viene ricostruita la storia sismica al sito, ovvero la sequenza degli eventi i cui effetti al sito sono documentati in termini di intensità macrosismica; nella misura in cui fosse nota l'occorrenza di un evento sismico con epicentro prossimo al sito, ma i cui effetti non sono stati documentati, è possibile introdurre nella storia sismica una intensità 'virtuale' per quell'evento a partire da una relazione di attenuazione empirica che tiene conto della distanza dalla sorgente e della relativa intensità epicentrale; è inoltre possibile inserire un ulteriore vincolo a questa intensità virtuale considerando effetti dello stesso evento documentati in località vicine;
2. La storia sismica viene quindi esaminata per la determinazione del livello di completezza delle informazioni disponibili; questa analisi viene effettuata utilizzando l'approccio descritto da Albarello et al. (2001) ed esita nella determinazione di una curva che descrive in funzione del tempo la probabilità che a partire da un dato anno la storia sismica sia completa e statisticamente rappresentativa;
3. Nella terza fase, per la località considerata e per ciascuna soglia di intensità e assunta la stazionarietà del processo sismogenico, viene calcolato il livello di pericolosità ovvero di probabilità che quella intensità venga raggiunta o superata nell'intervallo di esposizione scelto; questo calcolo è basato su un approccio non parametrico che non richiede la rimozione degli eventi dipendenti all'interno della stessa sequenza sismica (aftershock e foreshock) e viene ripetuto considerando varie date di inizio del catalogo. I valori ottenuti vengono poi combinati tenendo conto della probabilità che a partire da quella data il catalogo sia effettivamente completo e statisticamente rappresentativo del processo sismogenico;
4. A partire dalla curva di pericolosità in intensità così ottenuta, viene ricostruita una curva di pericolosità in termini di ordinate dello spettro di risposta e viene eseguita un'analisi di disaggregazione (Albarello, 2012) per determinare gli eventi che hanno maggiormente contribuito alla pericolosità sismica del sito.

Per come è stato strutturato, l'approccio descritto permette di tenere conto delle diverse sorgenti di incertezza relative alla ricostruzione della storia sismica di sito. Inoltre, dato che il dato in intensità al sito include gli eventuali effetti di amplificazione stratigrafica e morfologica, la stima condotta con questo approccio può essere utilmente confrontata con gli esiti delle stime di pericolosità eseguite includendo gli esiti degli studi MS seguendo l'approccio descritto da Mori et al. (2019).

#### **Attività svolte da UniSI e prodotti forniti alla RER**

1. È stata costruita la banca dati dei risentimenti documentati per tutte le località del territorio regionale, fornite dalla RER, a partire dal database INGV ([https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_place/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/)).
2. Considerando i dati del catalogo epicentrale CPTI ([https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query\\_eq/](https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/)) è stata valutata la congruità delle relazioni di attenuazione probabilistiche relative all'area di studio rispetto a quelle determinate a scala nazionale. Al termine di questa analisi è stata utilizzata come riferimento la relazione di attenuazione proposta da Lolli et al. (2024).
3. Sono state ricostruite le storie macrosismiche di sito per tutte le località della Regione integrandole mediante l'impiego di dati virtuali dedotti a partire dalle informazioni epicentrali attraverso la relazione di attenuazione probabilistica e da osservazioni disponibili in località prossime a ciascun sito.
4. Per ciascuna località è stata eseguita una stima del livello di completezza delle storie sismiche di sito ricostruite dai dati disponibili e dalle eventuali integrazioni.
5. La storia sismica ricostruita e la relativa completezza determinate per ciascuna località sono state utilizzate per la stima della pericolosità sismica relativa ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ( $T_R=475$  anni).
6. Per ciascuna località è stata eseguita l'analisi di disaggregazione per identificare gli eventi storici che maggiormente hanno condizionato la pericolosità sismica locale.
7. Per ciascuna località sono stati determinati i valori di alcune ordinate dello spettro di risposta in accelerazione relative ad una fissata probabilità di eccedenza.

#### **Attività svolte dalla RER e prodotti forniti a UniSI**

1. Selezione delle località del territorio regionale considerate di interesse (2925 località includenti tutti i capoluoghi comunali e le relative frazioni e agglomerati abitativi di diverse dimensioni, con almeno una famiglia residente, su base ISTAT).
2. Trasmissione a UniSI dei dati pregressi di pericolosità sismica al sito e delle relative cartografie di sintesi a scala regionale (figg. 11, 12 e 14 di Naso et al., 2019; figg. 1÷3 di Faravelli et al. 2021; figg. 1÷3 di Carloni et al., 2023) in formato pdf, xls e shapefile.
3. Sulla base delle nuove conoscenze geologiche (v. nuovi fogli CARG e mappe di analisi della pericolosità sismica locale prodotte per i Piani Territoriali di Area Vasta provinciali e per il Piano Territoriale della Città Metropolitana di Bologna), nonché degli esiti degli studi MS comunali (v. elaborati di primo livello in: [Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico](#)) è stata rivista la zonazione geologica del territorio regionale in prospettiva sismica

(Naso et al., 2019, fig. 11). La nuova zonazione (fig. 1) porta importanti aggiornamenti per tutti i settori del territorio regionale. Per il settore collinare e montano è stata revisionata la classificazione delle unità geologiche affioranti suddividendole in “substrato rigido” e “substrato non rigido”. Grazie alla dettagliata e aggiornata cartografia delle coperture, resa disponibile dai colleghi dell’Area Geologia (resp. Marco Pizziolo), sono stati distinti i depositi di versante e di fondovalle con spessori di almeno 3 m. Nelle aree pedemontane e di alta pianura sono state distinte le zone con tetto dei depositi grossolani sepolti (spesso amalgamati) a profondità non superiore a 30 m e le zone con tetto dei depositi grossolani sepolti a profondità almeno di 30 m. In pianura invece sono state distinte, in base alle conoscenze stratigrafiche e geofisiche: i) le zone di alto strutturale sepolto, con spessore delle coperture non superiore a 150 m; ii) i fianchi delle dorsali sepolte, con spessore delle coperture compreso tra 150 e 350 m, al cui interno sono attesi anche contrasti di velocità delle onde di taglio S (Vs); iii) le zone di sinforme, con spessore delle coperture maggiore di 350 m, al cui interno sono attesi anche contrasti di Vs, e iv) il delta del Po e la costa ferrarese e ravennate, con spessore delle coperture maggiore di 350 m, al cui interno non sono attesi contrasti di Vs.

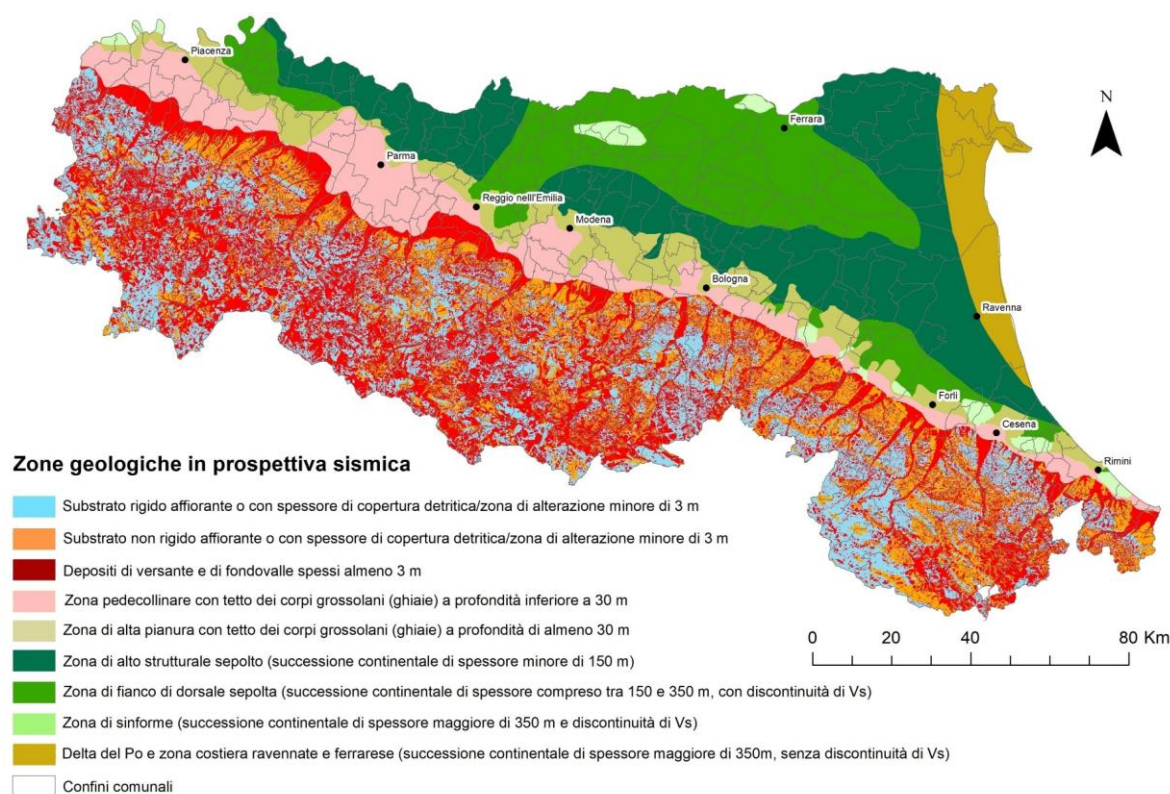


Figura 1

4. A ciascuna macrozona geologica di cui al punto precedente, sulla base degli esiti degli studi MS di terzo livello (v. [Programma nazionale di soccorso per il rischio sismico](#)), sono stati attribuiti valori di amplificazione medi<sup>1</sup> per: i) accelerazione di picco in superficie libera, parametro d’interesse per la stima di indici di instabilità per pericolosità locali quali, ad es.,

<sup>1</sup> Tutti i valori di amplificazione e di scuotimento stimati negli studi MS si riferiscono a  $T_R=475$  anni e  $\zeta=5\%$ .

liquefazione, frane, ecc., ii) l'intervallo di periodi T compreso tra 0,1s e 0,5s, parametro d'interesse per la programmazione territoriale e progettazione di interventi di edifici ordinari, iii) l'intervallo di periodi T compreso tra 0,7s e 1,1s, parametro d'interesse per la programmazione territoriale e progettazione di interventi di costruzioni di grandi dimensioni, ad es. edifici alti più di 5 piani o capannoni industriali. Sono state così aggiornate le mappe regionali dei fattori di amplificazione dell'accelerazione di picco al sito ( $F_{PGA}$ , v. figg. 1 e 3 in Faravelli et al., 2021) e del parametro  $FA_{0105}$  (v. fig. 12 in Naso et al., 2019) e realizzata per la prima volta una mappa regionale del parametro  $FA_{0711}$  (fig. 2).

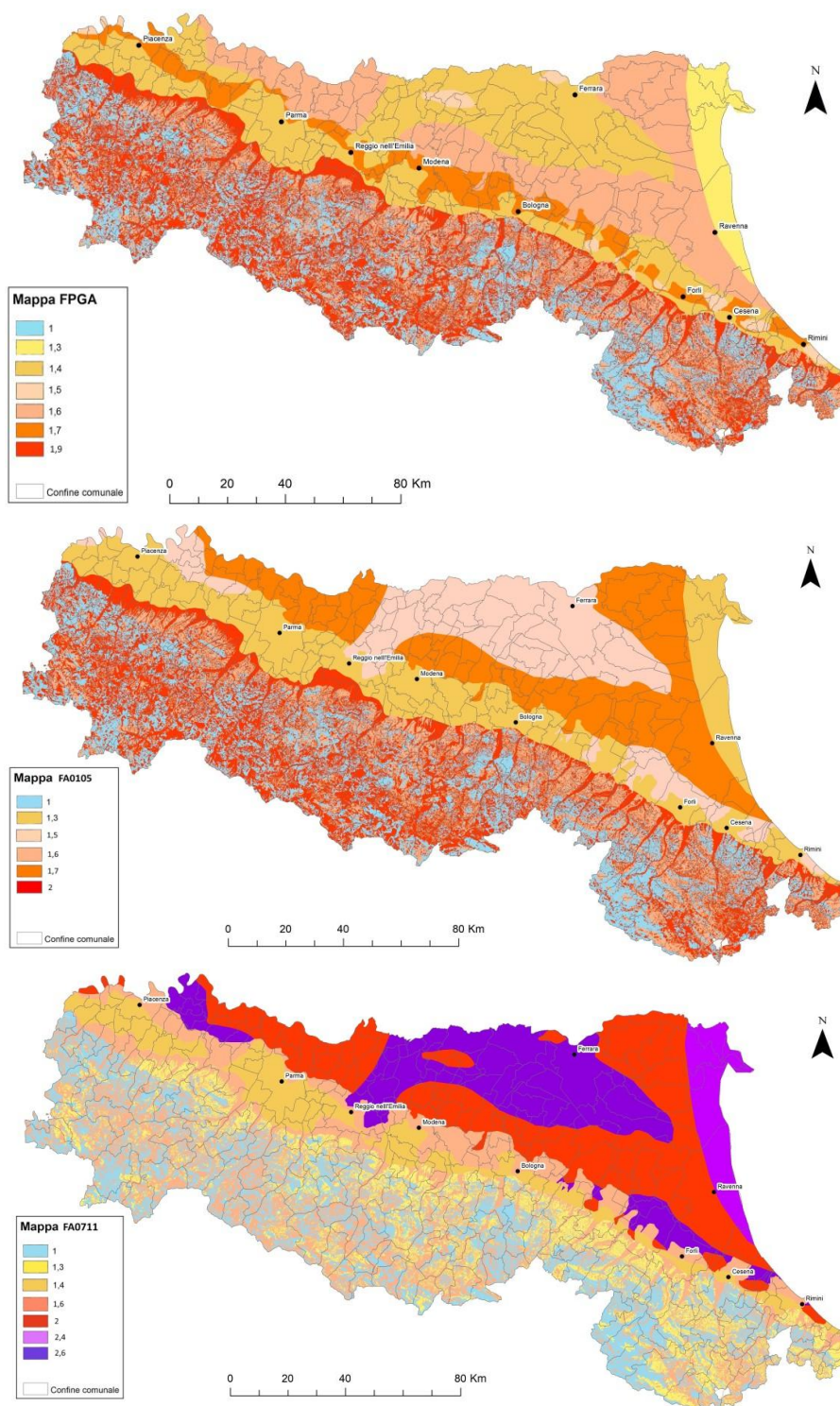


Figura 2

5. I valori di amplificazione così determinati sono stati poi moltiplicati per i valori di pericolosità di base (accelerazione attesa su suolo rigido e pianeggiante, ovvero categoria di sottosuolo A delle NTC 2018) calcolati da INGV su una griglia di punti equidistanti 0,05° (v. mappa MPS04 in [Modello di pericolosità sismica MPS04](#) e file “PSbaseRER.kmz” in <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/qaologia/sismica/indirizzi-per-studi-microzonazione-sismica>); ciò ha permesso di stimare i valori delle accelerazioni attese al sito (in percentuale dell’accelerazione di gravità “g”, per  $T_R=475$  anni); in particolare, per ogni punto della griglia INGV, sono stati stimati i valori al sito dei parametri PGA (%g attesa alla superficie libera) e  $H_{SM}$  (%g media attesa per  $0,1s < T < 0,5s$ ) e sono state create le relative mappe a scala regionale, sia dei valori puntuali che interpolati (fig. 3).

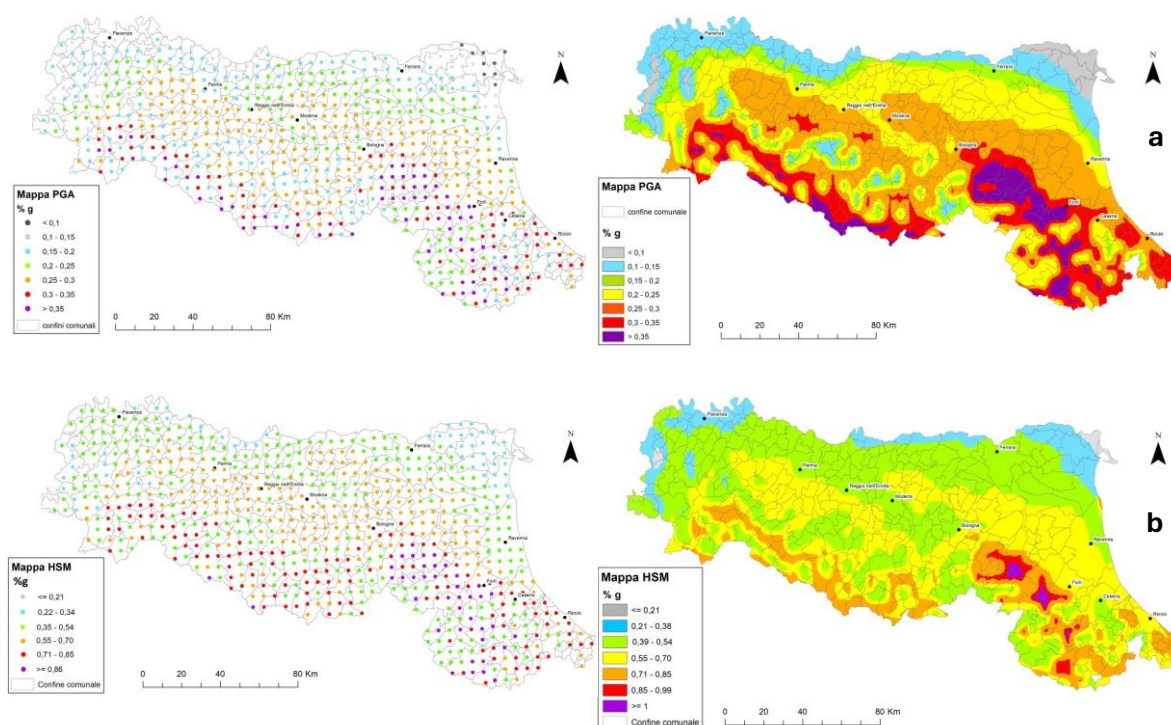


Figura 3

6. Sono stati calcolati anche i fattori di amplificazione della PGA ( $F_{PGA}$ ) e dell’accelerazione al suolo per gli intervalli di periodi T compresi tra 0,1s e 0,5s ( $FA_{0.105}$ ) e i valori (%g) dei parametri PGA e  $H_{SM}$  in ogni sito di misura di  $V_s$  (Carloni et al., 2022; Carloni et al., 2023), secondo le procedure di secondo livello indicate negli indirizzi regionali per la microzonazione sismica (DGR 476/2021 e DGR 564/2021), e sono state create le relative mappe a scala regionale, sia dei valori puntuali che interpolati (fig. 4).

Si noti che i valori di PGA stimati con le procedure MS semplificate di secondo livello (stima con abachi, fig. 4a) risultano mediamente superiori a quelli calcolati con le procedure MS di terzo livello (analisi RSL, fig. 3a) mentre i valori di  $H_{SM}$  risultano molto più simili (cfr figg. 3b e 4b).

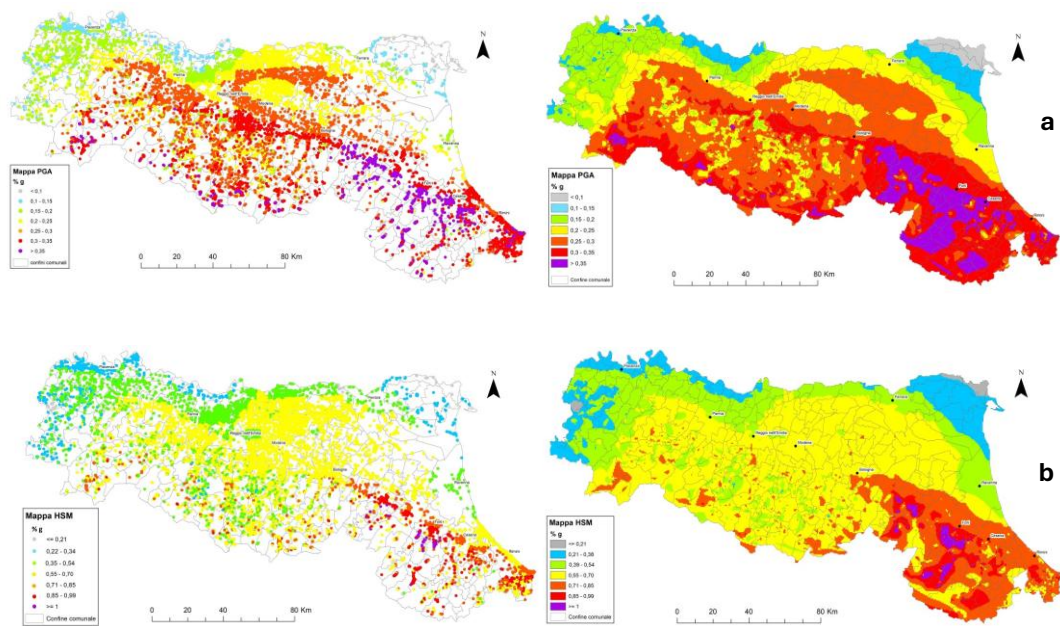


Figura 4

7. Sulla base degli esiti delle elaborazioni di cui ai precedenti punti 1÷5 delle attività UniSI, è stata realizzata una carta delle intensità massime di riferimento per tutte le località considerate (fig. 5a). È stata inoltre realizzata un'ulteriore carta delle intensità massime risultanti dal confronto tra i dati UniSI e quelli da DBMI15 (Locati et al., 2022): per ogni località si è scelto di rappresentare l'intensità più elevata fra quella ottenuta dalla elaborazione di UniSI e il dato del DBMI15 (fig. 5b).

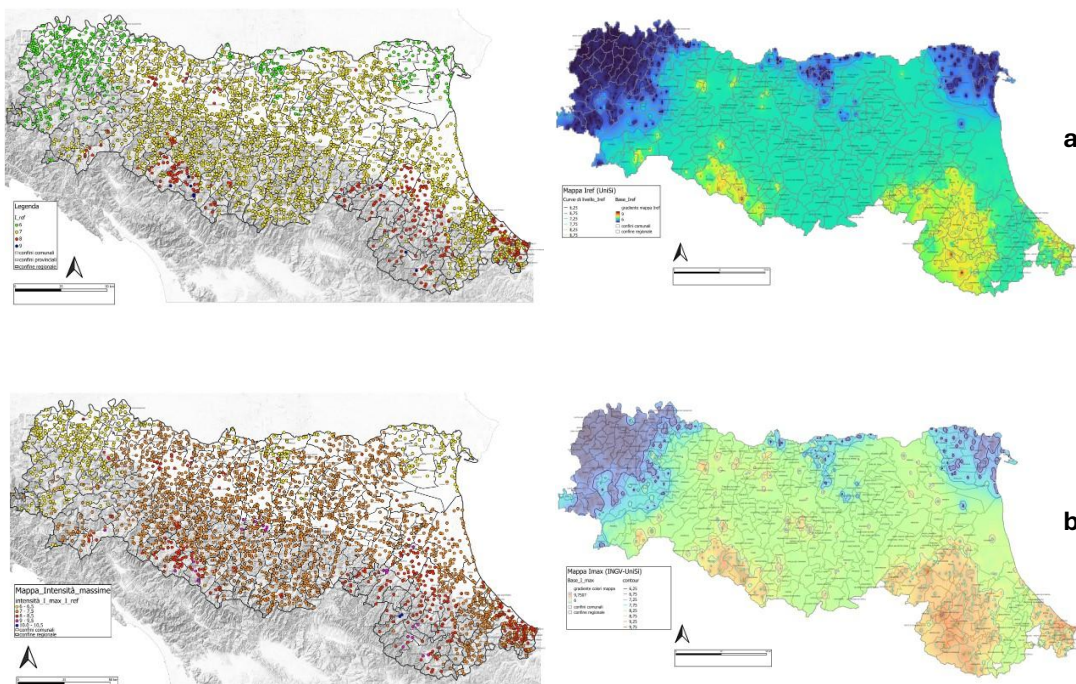


Figura 5

8. Sulla base delle elaborazioni di cui al punto 6 delle attività UniSI, per tutti i capoluoghi di provincia e alcuni centri urbani significativi della zona appenninica e della pianura sono state realizzate mappe rappresentative dei terremoti che principalmente hanno condizionato la storia sismica locale. Queste mappe mostrano la distribuzione degli eventi che hanno prodotto risentimenti nella località considerata con dimensione dei simboli proporzionale al contributo percentuale alla storia sismica locale (fig. 6). Tali elaborati indicano quindi se la pericolosità della località considerata sia dovuta principalmente ad eventi vicini o anche lontani.

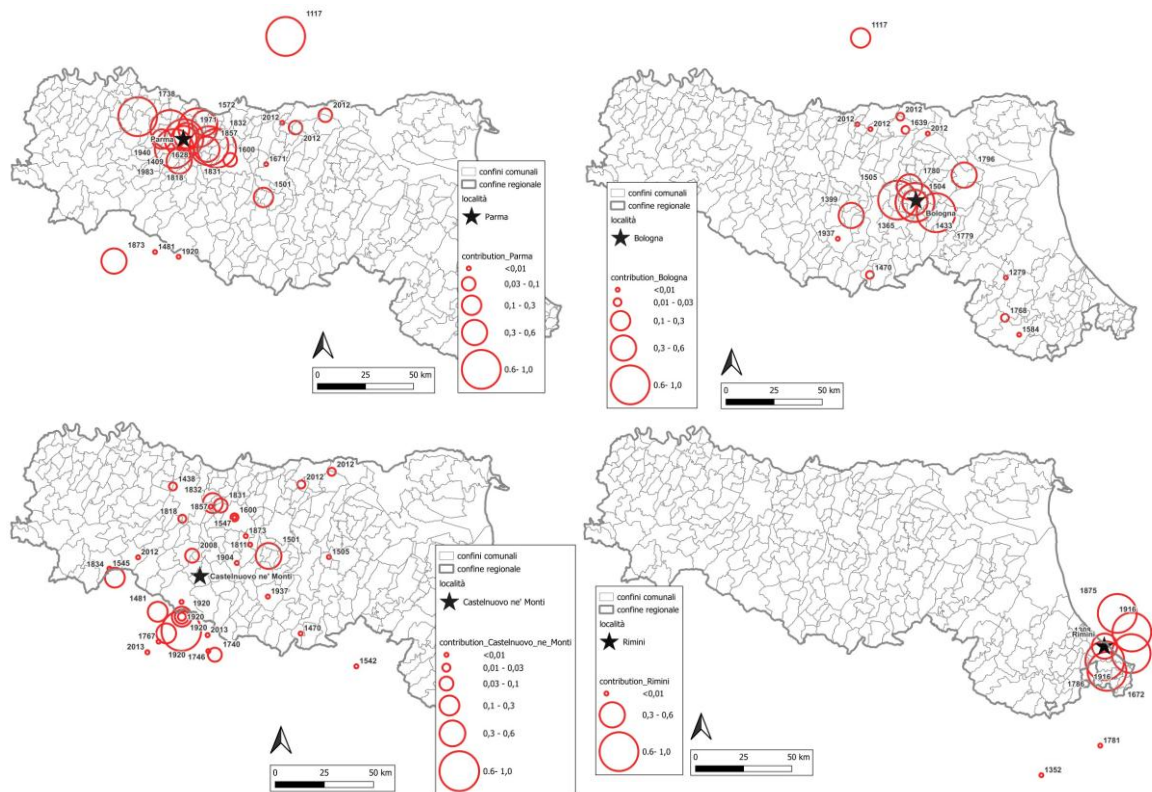


Figura 6

### Confronto tra le carte di intensità UniSI e le carte degli effetti locali RER

Il confronto ha la finalità verificare in che misura le carte di intensità siano rappresentative anche degli effetti legati alle condizioni stratigrafiche e morfologiche locali.

Per tale confronto è stata utilizzata la mappa di intensità ritenuta più cautelativa, ovvero quella dei massimi valori risultanti fra quelli da DBMI15 e quelli attesi secondo l'elaborazione UniSI (fig. 5b). Considerato che i dati di intensità si riferiscono ai danni osservati nei centri abitati, la carta degli effetti locali attesi ritenuta più significativa è quella del parametro  $H_{SM}$  (scuotimento atteso per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), d'interesse per oltre il 90% delle costruzioni (fig. 3b). Inoltre, il parametro  $H_{SM}$ , essendo un valore assoluto (accelerazione), permette una reale classificazione della pericolosità sismica locale e quindi anche un confronto a scala nazionale (v. classi di pericolosità in Mori et al., 2019, Maso et al., 2019 e CTMS 2022).

Il confronto ha evidenziato un buon accordo tra le mappe in termini di individuazione delle aree a maggiore e minore pericolosità (fig. 7).

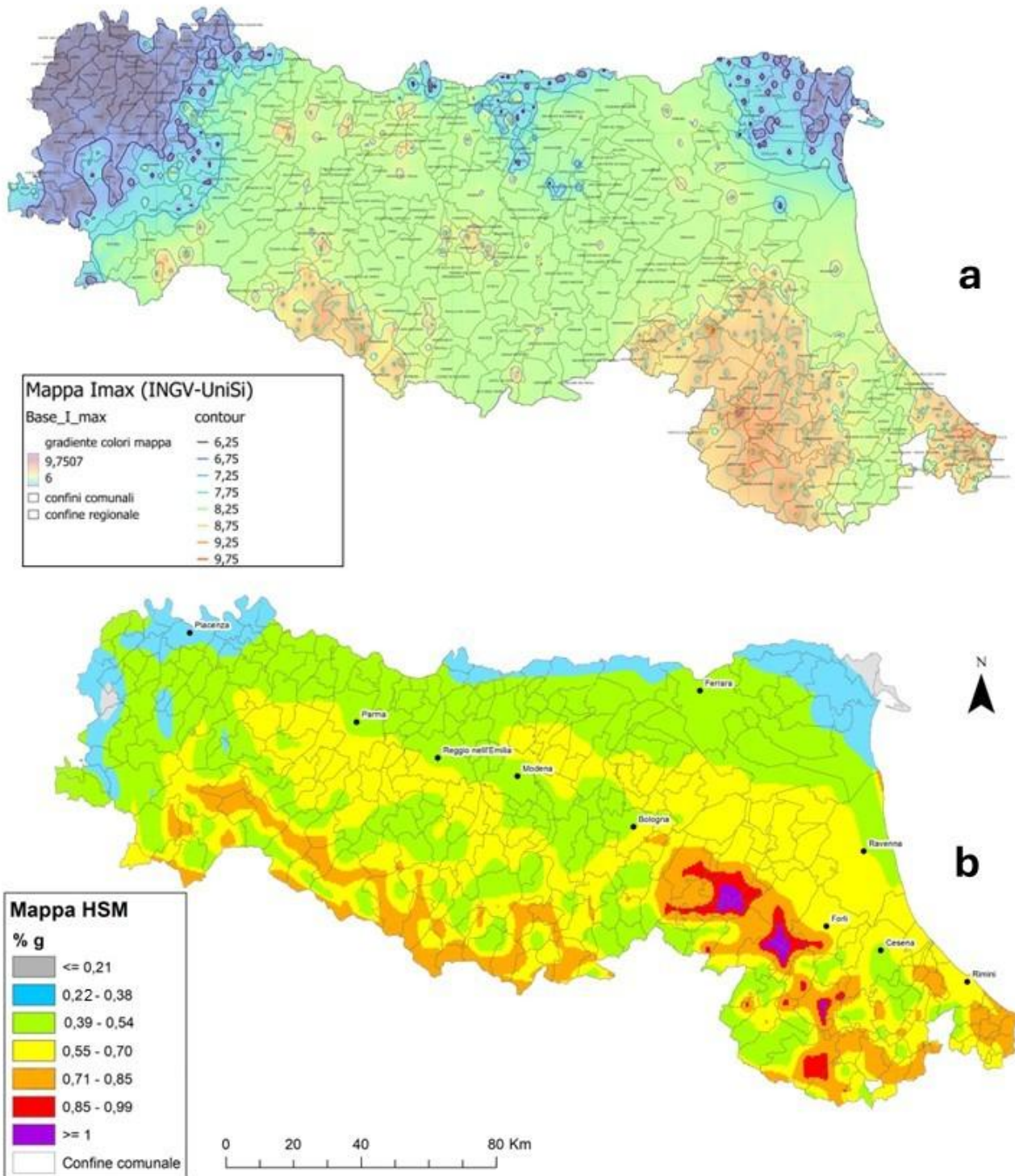


Figura 7

Le zone con le maggiori intensità attese e osservate ( $I \geq VII$ ) risultano l'Appennino e il pedeappennino romagnolo, la costa e le colline riminesi, il crinale appenninico reggiano e modenese, l'alta Val Taro, e, localmente, il pedeappennino modenese, la media pianura parmense e reggiana e la pianura emiliana orientale tra Ferrara e Argenta; le intensità più basse ( $I = VI$ ) sono state osservate e sono attese nel territorio provinciale di Piacenza, lungo il confine con l'Oltrepò mantovano tra Luzzara (RE)

e Mirandola (MO) e nella provincia ferrarese orientale (delta del Po). Nel resto del territorio sono state diffusamente osservate e sono attese intensità del VII grado (fig. 7a).

I maggiori scuotimenti ( $H_{SM} > 0,7g$ ) sono attesi nell'Appennino romagnolo, lungo la fascia pedeappenninica e di alta pianura tra la zona orientale del bolognese e Forlì, lungo la costa e nelle colline a sud di Rimini e nell'alto Appennino-emiliano tra le province di Parma e Bologna. Scuotimenti di minore entità, ma comunque importanti ( $0,55g \leq H_{SM} \leq 0,7g$ ), sono attesi nel basso Appennino emiliano e lungo la fascia pedeappenninica tra Parma e Modena e nel bolognese nonché nella pianura tra Novi di Modena e Ravenna, al di sopra dei fronti meridionali (sepolti) delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Romagnole, nella pianura romagnola e lungo la costa tra Cesena, Cervia e Rimini. I minori scuotimenti ( $H_{SM} < 0,39g$ ) sono invece attesi nell'Appennino piacentino occidentale, nella pianura piacentina, al confine con la Lombardia (Oltrepò mantovano) tra Luzzara (RE) e Bondeno e nella provincia ferrarese orientale (delta del Po) (fig. 7b).

## **Conclusioni**

L'intensità macrosismica è una grandezza che esprime gli effetti di un terremoto sulle persone e sui manufatti alla scala urbana. In Italia, l'ampia documentazione storica disponibile rende l'intensità macrosismica uno dei parametri descrittivi degli effetti dei terremoti meglio documentato.

La buona corrispondenza tra le mappe di intensità macrosismica e quelle degli effetti locali attesi conferma che l'intensità macrosismica tiene conto adeguatamente anche degli effetti dovuti alle caratteristiche morfostratigrafiche locali.

Si tratta quindi di un parametro rappresentativo di tutte le componenti del rischio sismico: pericolosità, esposizione urbana e sociale e vulnerabilità delle costruzioni. È quindi un parametro piuttosto completo che può risultare molto utile per indirizzare e supportare scelte di pianificazione territoriale nell'ottica della prevenzione e mitigazione del rischio sismico e gestione dell'emergenza.

Va anche tenuto presente che l'intensità è il parametro descrittivo dei terremoti più noto e diffuso tra i non addetti ai lavori.

Inoltre, lo studio ha fornito, per ogni località considerata, anche indicazioni sui terremoti che principalmente hanno condizionato la storia sismica locale. Queste elaborazioni sono di grande interesse per la definizione di scenari a supporto dei piani di protezione civile.

## **Riferimenti Bibliografici**

- Albarello D., 2012. Design earthquake from site-oriented macroseismic hazard estimates. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, Vol. 53, n. 1, pp. 7-17, DOI 10.4430/bgta 0035
- Albarello D., Camassi R. and Rebez A., 2001. Detection of space and time heterogeneity in the completeness of a seismic catalog by a statistical approach: an application to the Italian area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 6, 1694-1703
- Albarello D., Brammerini F., D'Amico V., Lucantoni A., Naso G., 2002. Italian intensity hazard maps: a comparison between results from different methodologies. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 43, 249-262

- Azzaro R., M.S. Barbano, S. D'Amico, T. Tuvè, D. Albarello, and V. D'Amico, 2008. Preliminary results of Probabilistic Seismic Hazard Assessment in the volcanic region of Mt. Etna (Southern Italy). *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 49, 1, 77-91
- Azzaro R., D'Amico S., D'Amico V., Meroni F., Tuvè T., Zonno G., Albarello D., Amaral Ferreira M., Mota de Sá F., Sousa Oliveira C., Renata Rotondi, 2012. Urban seismic risk assessment using the Disruption Index: The case of the volcanic region of Mt. Etna (Italy). *Proc. XV World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.
- Carloni G., Ercolessi G., Martelli L., 2022. *Stima degli effetti di sito da dati di Vs in Emilia-Romagna*. Atti del 40° CONVEGNO GNGTS 2022, sess. 2.2, 271-274
- Carloni G., Martelli L., Vignaroli G., Viola G., 2023. *Seismic hazard assessment at the regional scale: the example of Emilia-Romagna*. Atti del 41° Convegno GNGTS 2023, sess. 2.2, 693-699
- Carvalho A.M.R., Albarello D., 2016. Application of SASHA to seismic hazard assessment for Portugal mainland, *Bull. Earthq. Eng.*, 14:1827–1847, DOI 10.1007/s10518-015-9839-6
- D'Amico V., Albarello D., 2008. SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data. *Seism. Res. Lett.*, 79, 5, 663-671
- D'Amico V., Albarello D., Sigbjörnsson R., Rupakhety R., 2016. Seismic hazard assessment for Iceland in terms of macroseismic intensity using a site approach. *Bull Earthquake Eng*, 14:1797–1811, DOI: 10.1007/s10518-015-9805-3
- Faravelli M., Bozzoni F., Zuccolo E., Di Meo A., Quaroni D., Polli D., Rodriguez-Plata R., Martelli L., Borzi B., Lai C.G. (2021): *Mesozonazione del rischio sismico: la piattaforma WebGIS di EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna*. *Progettazione Sismica – Vol. 13, N.3*, DOI 10.7414/PS.13.1.3-<https://doi.org/10.7414/PS.13.1.3>
- Gomez Capera A.A., D'Amico V., Meletti C., Rovida A., Albarello D., 2010. Seismic hazard assessment in terms of macroseismic intensity in Italy: a critical analysis from the comparison of different computational procedures. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 100, No. 4, pp. 1614–1631, doi: 10.1785/0120090212
- Jimenez M-J., Albarello D., Garcia-Fernandez M., 2016. PSHA in SE Spain based on Macroseismic Site Histories, *Bull. Earthq. Eng*, 14:1849–1867, DOI: 10.1007/s10518-015-9784-4
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>
- Lolli, B., P. Gasperini, G. Vannucci, 2024. Recalibration of the Intensity Prediction Equation in Italy Using the Macroseismic Dataset DBMI15 Version 2.0, *Seismol. Res. Lett.* 95, 2399–2408, doi: 10.1785/0220230212
- NTC; 2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”. Ministero Infrastrutture e Trasporti, Decreto 17/01/2018. G.U. Rep. Italiana 20/02/2018, N. 42, Suppl. Ordin. N. 8.
- Mori F., Gaudiosi I., Tarquini E., Brammerini F., Castenetto S., Naso G., Spina D., 2019. HSM: a synthetic damage-constrained seismic hazard parameter. *Bull. Earthq. Eng.*, 18, 5631–5654, DOI: /10.1007/s10518-019-00677-2

- Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): *Maps for land management: from geology to seismic hazard*. Boll. Geof. Teor. App. Vol. 60, n.2, June 2019, 277-294. DOI 10.4430/bgta0263
- Shabani E., Albarello D., Mahsuli M., Eghbali N., Hosseini Varzandeh S., Farnetani F., 2024. Seismic hazard assessment for Iran in terms of macroseismic intensity. Bull. Earthq. Eng. 22:4823–4842, <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01960-7>