

I terremoti del maggio 2012 nel contesto della sismicità dell'area

The May 2012 earthquakes and the earthquake history of the area

Romano Camassi¹, Andrea Rovida², Mario Locati³, Viviana Castelli⁴, Daniele Viganò⁵, Massimiliano Stucchi⁶ ■

Sommario

Lungi dall'essere «poco sismico» o addirittura «non sismico», come è stata definita quasi unanimemente dai media, il settore della pianura padana orientale in cui sono localizzati i terremoti del maggio 2012 è caratterizzata da una storia sismica plurisecolare e piuttosto ben conosciuta, grazie a una stagione di studi di sismologia storica avviata da quasi un trentennio. Questo articolo ricostruisce il contesto storico-sismologico della sequenza.

Abstract

Far from being “scarcely seismic” or even “non-seismic”, as the media almost unanimously termed it, the eastern portion of the Po Valley in which the earthquakes of May 2012 occurred has a centuries-long seismic history that is fairly rather well known thanks to a series of studies incepted from as far back as the 1980s. This paper gives an overview of the seismological background of the May 2012 earthquake sequence

1. Introduzione

I terremoti del maggio 2012 (Figura 1), i cui effetti macrosismici sono descritti da diversi autori (Galli et al., 2012a; 2012b; Tertulliani et al., 2012), sono stati oggetto di varie pubblicazioni scientifiche: oltre agli interventi in questo

numero di *Progettazione Sismica* e al dossier contenuto nel numero precedente si può ricordare il numero speciale di *Annals of Geophysics* (Anzidei et al., 2012).

I terremoti hanno colpito un'area suddivisa tra le Regioni Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto,

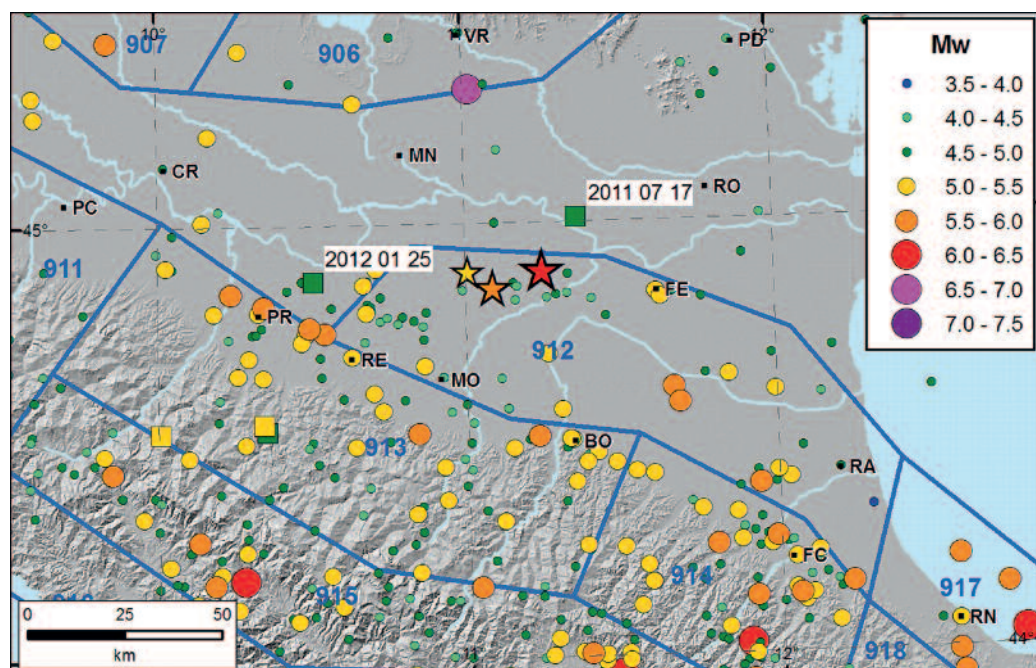


Figura 1
Sismicità dell'area tra l'anno 1000 e il 2006 da CPT111 (Rovida et al., 2011) e zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti et al., 2008). I quadrati indicano i terremoti del 17 luglio 2011 e 25 gennaio 2012, le stelle rappresentano gli eventi principali del 20 e 29 maggio 2012 (da ISIDE Working Group, 2010).

¹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna - ✉ romano.camassi@bo.ingv.it

² Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano - ✉ andrea.rovida@mi.ingv.it

³ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano - ✉ mario.locati@mi.ingv.it

⁴ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna - ✉ viviana.castelli@bo.ingv.it

⁵ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano - ✉ daniele.vigano@mi.ingv.it

⁶ Già presso Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano - ✉ massimiliano.stucchi@mi.ingv.it

che la stampa in genere e alcune voci, pubbliche e non, hanno definito «poco o addirittura non sismica», principalmente sulla base del fatto che da diversi secoli in essa non si sarebbero verificati terremoti distruttivi. Questo articolo ha lo scopo principale di illustrare le conoscenze disponibili prima dei terremoti in questione.

Attualmente le principali fonti di documentazione sulla sismicità in Italia sono il Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (CFT14med; Guidoboni et al., 2007), il Database Macrosismico Italiano (DBMI11; Locati et al., 2011), il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11; Rovida et al., 2011) e il Database parametrico e strumentale della sismicità italiana (ISIDe; ISIDe Working Group, 2010); compilazioni che fanno riferimento anche a studi su singoli terremoti o aree estese. Per quanto riguarda gli aspetti sismogenetici, la compilazione di riferimento è il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS Working Group, 2010; Basili et al., 2008), che pure fa riferimento a studi su singole sorgenti o su aree più estese.

Il territorio interessato dai terremoti del maggio 2012 rientra in un'area che fu oggetto di approfonditi studi nell'ambito delle ricerche svolte sui possibili siti nucleari di Viadana e San Benedetto Po nella prima metà degli anni '80 del Novecento (ENEL, 1985). Per quel che riguarda i terremoti del passato e gli aspetti sismotettonici, gran parte dei risultati di questi studi sono confluiti nelle predette compilazioni. In seguito il territorio interessato dai terremoti del maggio 2012 è stato oggetto di indagini anche in relazione all'individuazione di siti per lo stoccaggio di gas naturale.

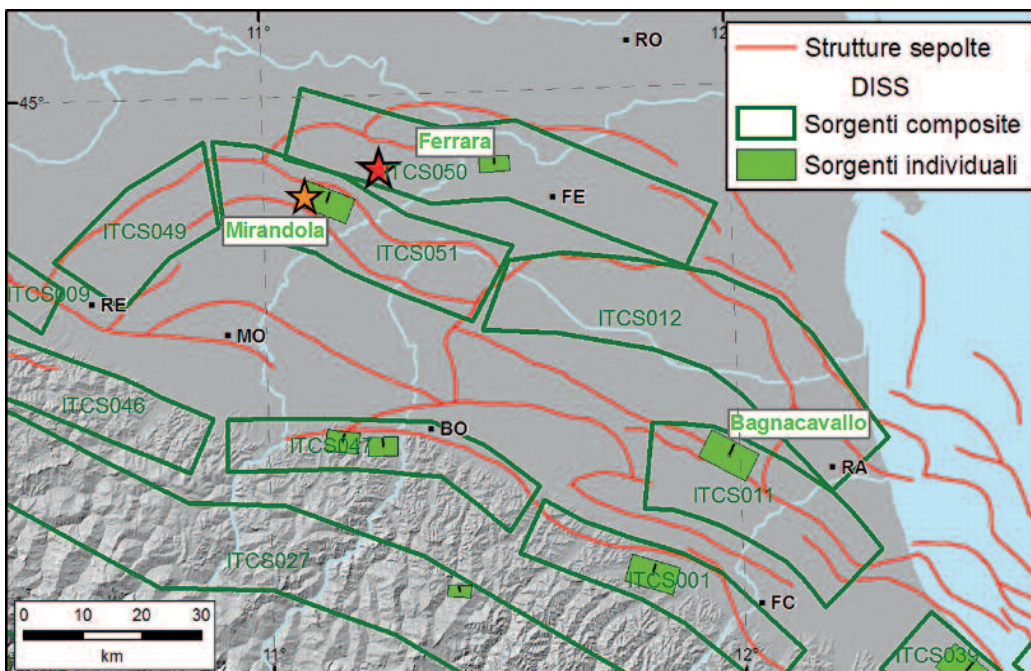
2. Le sorgenti dei terremoti

I terremoti del maggio 2012 hanno attivato le strutture geologiche appartenenti alla cosiddetta Dorsale Ferrarese (Figura 2), un complesso sistema compressivo composto da pieghe e sovrascorrimenti a vergenza settentrionale di età Miocenica-Quaternaria, che costituisce il fronte più esterno dell'Appennino (Pieri e Groppi, 1981; Cassano et al., 1986, Picotti and Pazzaglia, 2008; Toscani et al., 2009). Quest'ultimo si propaga per diversi km oltre il limite morfologico settentrionale della catena stessa, sepolto dai sedimenti Plio-Quaternari della Pianura Padana, a una profondità che varia da alcuni km a poche decine di metri (Bigi et al., 1992).

L'attività del fronte settentrionale dell'Appennino è stata riconosciuta e caratterizzata mediante dati geologici (es. Boccaletti et al., 1985; Toscani et al., 2009), geomorfologici (Burrato et al., 2003 e 2012), oltre che dalla presenza di sismicità sia storica sia strumentale (Rovida et al., 2011; ISIDe Working Group, 2010).

Il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane (DISS Working Group, 2010; Basili et al., 2008) suddivide la Dorsale Ferrarese in cinque diverse sorgenti composite, di cui quattro più interne (da ovest a est: ITCS049, Reggio Emilia-Rolo; ITCS051, Novi-Poggio Renatico; ITCS012: Malalbergo-Ravenna; ITCS011, Mordano-Guarniera) e una più esterna (ITCS050, Poggio Rusco-Migliarino). Le caratteristiche di queste sorgenti derivano dall'analisi di vari dati geologici, geomorfologici e sismologici. In generale tutte le sorgenti citate sono caratterizzate da cinematica inversa, basso angolo di inclina-

Figura 2.
Strutture sepolte
(da Bigi et al., 1992) e
sorgenti sismogenetiche (da
DISS Working Group,
2010; Basili et al., 2008).



zione e *slip-rates* relativamente bassi (0.1-0.5 mm/anno). La profondità delle sorgenti interne varia tra 2 e 10 km, mentre per quella più esterna varia da 1 a 8 km. Secondo DISS, alla Dorsale Ferrarese appartengono anche tre sorgenti individuali: a est la sorgente «Bagnacavallo» (ITIS100), associata al terremoto di Cotignola-Bagnacavallo dell'11 aprile 1688; a nord la sorgente «Ferrara» (ITIS090), associata al terremoto di Ferrara del novembre 1570, e a ovest la sorgente «Mirandola» (ITIS107) non associata ad alcun terremoto ma ipotizzata sulla base del controllo esercitato dall'attività delle strutture appartenenti alla dorsale sulla geometria del drenaggio superficiale (Burrato et al., 2003 e 2012), con una magnitudo massima M_w 5.9.

La sequenza sismica del maggio-giugno 2012 si è sviluppata a cavallo delle sorgenti composite «Poggio Rusco-Migliarino» e «Novi-Poggio Renatico»; i due terremoti più forti del 29 maggio sono avvenuti in prossimità della sorgente individuale «Mirandola» (Figura 2), i cui parametri sono in accordo con quelli ottenuti da Bignami et al. (2012) per la sorgente del terremoto più forte del 29 Maggio (7:00 UTC, M_w 6.0)

Le strutture della Dorsale Ferrarese rappresentate nella Figura 2 appartengono alla zona sismogenetica 912 (Figura 1) del modello di Meletti et al. (2008) utilizzato per la valutazione probabilistica della pericolosità sismica in Italia MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Stucchi et al., 2011) e adottato con modifiche minime dal progetto EC SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe).

3. I terremoti

La Figura 3 presenta in ordine cronologico i terremoti localizzati da CPT111 nella zona sismogenetica detta Dorsale Ferrarese. I valori di magnitudo (M_w) sono rappresentati con la propria incertezza: va infatti ricordato che i valori di magnitudo sono determinati secondo procedure ben definite, con una incertezza che dipende dalla qualità e dal numero dei dati di base disponibili (in genere, meno dati di base sono disponibili, maggiore è l'incertezza delle stime di magnitudo).

Come si vede, l'occorrenza nella zona di terremoti con capacità distruttiva ($M \geq 5.5$) è attestata a partire dal 1570. I principali tra questi terremoti sono brevemente ricordati nei seguenti paragrafi.

3.1 La sequenza del 1570-1571

La sequenza più importante che abbia storicamente interessato l'area colpì Ferrara e il Ferrarese fra il 1570 e il 1571 ed ebbe il suo culmine il 17 novembre 1570, quando quattro scosse fortissime provocarono molti danni in città e nel circondario, ove furono particolarmente colpiti le chiese e i campanili. In Figura 4 è rappresentata la distribuzione degli effetti macrosismici riferiti all'evento principale da Guidoboni et al. (2007). Le fonti coeve che descrivono questo terremoto sono numerosissime: di particolare interesse i rapporti dei diplomatici residenti a Ferrara e i Trattati di eruditi dell'epoca, tra cui si distinguono quello dell'architetto Pirro Ligorio, pubblicato a cura di Guidoboni (2005), che individua lucidamente nella vulnerabilità degli edifici ferraresi la causa dei danni ingenti subiti, e

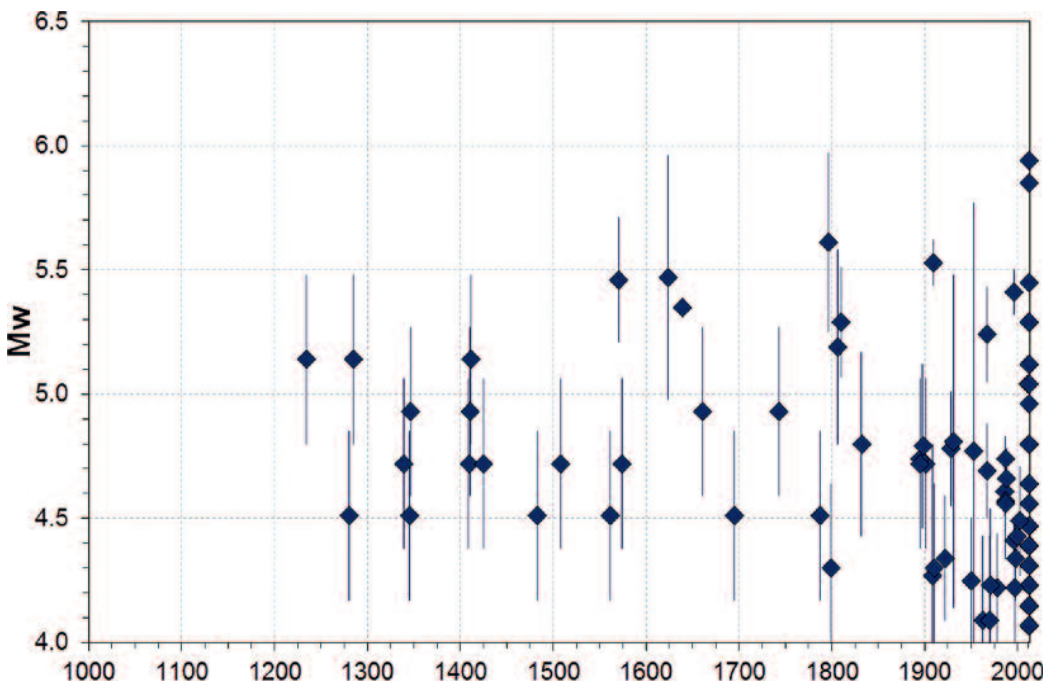


Figura 3
Storia sismica della zona sismogenetica 912 (da CPT111).

quello del pavese Stefano Breventano, pubblicato a cura di P. Albini (2007). Questi ed altri "Trattati" sono ricordati, in questo stesso numero della rivista, nell'articolo di P. Albini, G.M. Calvi e M. Stucchi. A Ferrara fu particolarmente colpita l'edilizia monumentale civile e religiosa, con diversi crolli parziali e danni strutturali abbastanza diffusi ma anche gli edifici ad uso abitativo subirono danni generalizzati. Le vittime furono diverse decine come minimo ma tale è l'incertezza dei dati al riguardo che la stima complessiva potrebbe essere più alta. Nella fase più acuta della sequenza, tra la fine del 1570 e i primi mesi del 1571, l'intera popolazione di Ferrara, nobiltà e duchi compresi, fu costretta a vivere in condizioni di grandissima precarietà che indussero più di un terzo degli abitanti ad abbandonare la città. Il duca Alfonso II d'Este reagì all'emergenza con estremo pragmatismo, mettendo in pratica una vera e propria politica di "disinformazione" tesa a minimizzare la gravità della situazione agli occhi dei sovrani confinanti ed emanando, nell'agosto 1571, un editto che obbligava gli sfollati a rientrare a Ferrara pena la confisca dei beni (ASFI, 1571). Nella seconda metà del 1571 e fino ai primi mesi del 1572 si ebbero numerose repliche (le fonti coeve ne ricordano oltre duemila), seguite da scosse più sporadiche nei due anni successivi fino al 17 marzo 1574, quando un po' più forte produsse qualche danno a Finale Emilia. Tra i tanti dettagli riportati dalle fonti si ricordano anche diversi episodi di liquefazione dei terreni, intorbidamento delle acque nei pozzi e morie di pesci.

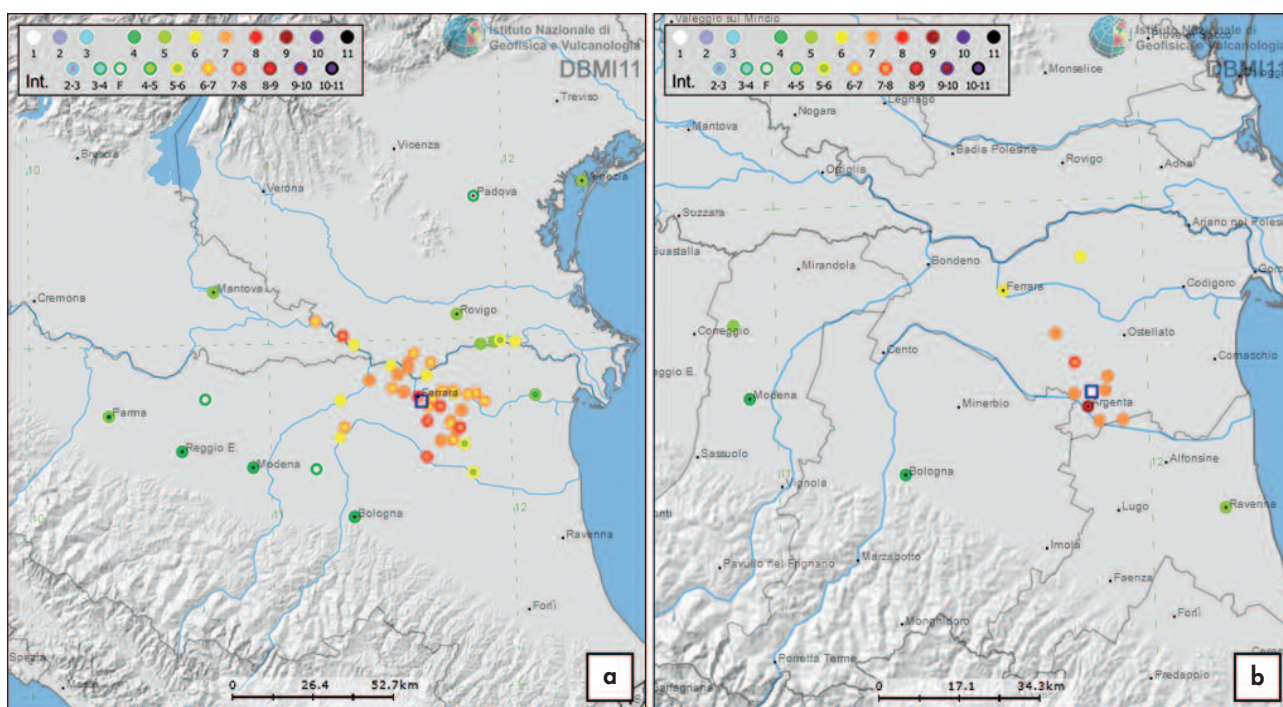
Per quanto questo terremoto sia riccamente documentato e complessivamente ben studiato negli ultimi decenni (lo studio più aggiornato è incluso in Guidoboni et al., 2007), il valore di magnitudo (M_w 5.5 ± 0.25) assegnato all'evento principale del 17 novembre 1570 dal catalogo CPT111 è da considerarsi affetto da notevole incertezza a causa dell'estrema difficoltà nella quantificazione degli effetti prodotti dai singoli maggiori eventi della sequenza, effetti che si sono gradualmente aggravati nel corso della sequenza stessa.

3.2 Il terremoto di Argenta del 1624

Una cinquantina di anni dopo e qualche chilometro a sud-est della predetta sequenza di Ferrara, il terremoto del 19 marzo 1624 (M_w 5.5 ± 0.49) causò danni molto gravi (8-9 MCS) ad Argenta, località in cui condizioni di sito contribuiscono probabilmente ad amplificare il quadro degli effetti rispetto a quello attestato negli insediamenti circostanti (Figura 4b).

Le fonti coeve concordano nel delineare per Argenta una situazione di estesa e grave distruzione, anche se appare esagerato il totale di centosettanta case distrutte proposto da fonti giornalistiche bolognesi e romane (Ghirardelli, 1624; Poardi, 1624). Un esame approfondito delle fonti disponibili – e in particolare dei libri parrocchiali, da cui è possibile dedurre le circostanze che portarono alla morte delle ventisei vittime accertate – permette di concludere che crolli consistenti interessarono una ventina di edifici e parte delle mura cittadine; subirono invece danni gravi le torri e le porte della città,

Figura 4
Distribuzione delle intensità macrosismiche relative agli eventi: a) del 17 novembre 1570; b) del 19 marzo 1624 (da Guidoboni et al., 2007).



il palazzo del governatore, le chiese e soprattutto i campanili. Tra le 'stravaganze' causate dal terremoto le fonti ricordano episodi di innalzamento del livello delle acque nei pozzi, spaccature nei terreni e fenomeni di liquefazione.

3.3 Tra il Seicento e il primo Novecento

Nel settore sud-orientale della zona sismogenetica 912 è di particolare interesse il terremoto del 22 ottobre 1796 (M_w 5.6 \pm 0.36), che causò danni di rilievo a Ferrara, Medicina e Portonovo e danni moderati in un ampio tratto della pianura emiliana (Correggio, Mirandola, San Felice sul Panaro) e romagnola. La vastità dell'area di danneggiamento leggero e di avvertimento (pressoché tutta l'Italia settentrionale) permette di ipotizzare che questo terremoto abbia avuto una notevole profondità ipocentrale.

Ulteriori terremoti minori, noti e abbastanza ben documentati, interessarono il Reggiano e il Modenese nel Seicento e soprattutto nella prima metà dell'Ottocento. Nel Novecento la sismicità locale è caratterizzata da una trentina di terremoti di M_w per lo più inferiore a 5, il maggiore dei quali localizzato nell'area di Argenta il 13 gennaio 1909. Secondo Meloni e Molin (1987) - che hanno ricostruito la distribuzione degli effetti di questo evento in quasi ottocento località di un'area estesa dall'Abruzzo all'Austria e dalla Liguria Occidentale alla Slovenia - questo evento fu il principale di una sequenza che interessò la Romagna tra il gennaio e il giugno del 1909 e fu caratterizzata da profondità ipocentrali elevate. L'evento del 13 gennaio causò danni lievi in una ventina di località della pianura romagnola, con effetti massimi valutati di intensità 6-7 MCS da Meloni e Molin (1987); CPTI11 gli assegna una M_w 5.5 \pm 0.09, calcolata a partire da dati strumentali e macrosismici. Un altro evento locale compatibile con un ipocentro abbastanza profondo è quello del 30 dicembre 1967 (M_w 5.2 \pm 0.19), localizzato a est di Argenta con danni lievi e diffusi dall'area di Comacchio fino a Chioggia e risentimenti in Romagna, Veneto, Trentino-Alto Adige e Toscana (Archivio Macrosismico GNDT, 1995).

3.4 Terremoti degli ultimi decenni

Nel settore occidentale della ZS 912 il più significativo terremoto del Novecento è quello del 15 ottobre 1996, i cui danni maggiori si concentrarono in provincia di Reggio Emilia, a Correggio e Bagnolo in Piano (Intensità 7 MCS) e in località limitrofe (Camassi et al., 1996) e il cui ipocentro è considerato superficiale; il catalogo CPTI11 gli assegna M_w 5.4 \pm 0.09, in accordo con il valore determinato da Selvaggi et al. (2001).

L'attività sismica registrata nell'area dal 2007 al 19 maggio 2012 è stata molto debole, anche

rispetto a quella delle zone limitrofe appartenenti al fronte appenninico. Il database ISIDe (ISIDe Working Group, 2010) riporta solamente una decina di eventi di magnitudo (ML) compresa tra 2.5 e 3.2 nella zona di Mirandola e alcuni eventi di magnitudo inferiore a 2.8 nella zona di Argenta.

Meno di un anno prima del maggio 2012 (17 luglio 2011), un terremoto di magnitudo M_w 4.8 si è verificato a 2.4 km di profondità nei pressi di Castelmasa (Rovigo), poco a nord dell'area in cui sono localizzati gli epicentri dei terremoti del maggio 2012 (Figura 1). L'evento, preceduto di pochi minuti da una scossa di ML 3.1 e seguito da alcune repliche di $ML \leq 2.9$, causava sporadici danni di lieve entità in otto località al confine tra le province di Rovigo, Modena, Ferrara e Mantova e veniva avvertito in un'area molto vasta del nord Italia, provocando panico e fuga all'aperto degli abitanti nell'Alto Polesine rodigino e nella Bassa Mantovana, ferrarese e modenese (Bernardini e Ercolani, 2011). Va infine ricordato il terremoto profondo avvenuto il 25 gennaio 2012 (M_w 5.0) tra le province di Parma, Reggio Emilia, Cremona e Mantova, caratterizzato da una scossa principale seguita da varie repliche (alcune con $ML > 3$). Questo evento dalla profondità epicentrale piuttosto considerevole (33 km) ha causato danni lievissimi, classificati con una intensità massima pari a 5-6 EMS-98 in tre località soltanto (Arcoraci et al., 2012) pur venendo avvertito in tutta l'Italia settentrionale.

3.5 Crescita e declino di un terremoto: il caso dell'evento del 1346

Il quadro delle conoscenze sui terremoti storici dell'area risente di qualche incertezza interpretativa, dipendente non tanto dal diverso livello di approfondimento delle conoscenze storiche su singoli eventi quanto al mutare del modo di interpretare i dati storici disponibili. Un caso emblematico è quello del terremoto del 1346, presente nel catalogo PFG (Postpischl, 1985) con intensità epicentrale (Io) 8-9 e M 5.5 e localizzato a San Martino in Rio (tra Reggio Emilia, Modena e Carpi). Di questo evento, studiato fin dalle prime indagini per la qualificazione dei siti nucleari (ENEL, 1985), si sa che danneggiò Ferrara, che fu avvertito a Monza e Reggio Emilia e che le fonti bolognesi e genovesi (in genere abbastanza attente ai fenomeni naturali) non ne parlano affatto. Confrontando gli studi degli ultimi venti anni, si nota che la magnitudo del terremoto del 1346 è stata drasticamente ridimensionata - da M_w 6.7 secondo Boschi et al. (1997) a M_w 4.9 secondo Guidoboni et al. (2007) - mentre il suo epicentro si è spostato di alcune decine di km (Figura 5).

Figura 5
Distribuzione delle intensità macrosismiche del terremoto del 1346 secondo Guidoboni et al. (2007) e localizzazioni epicentrali proposte da diversi cataloghi.

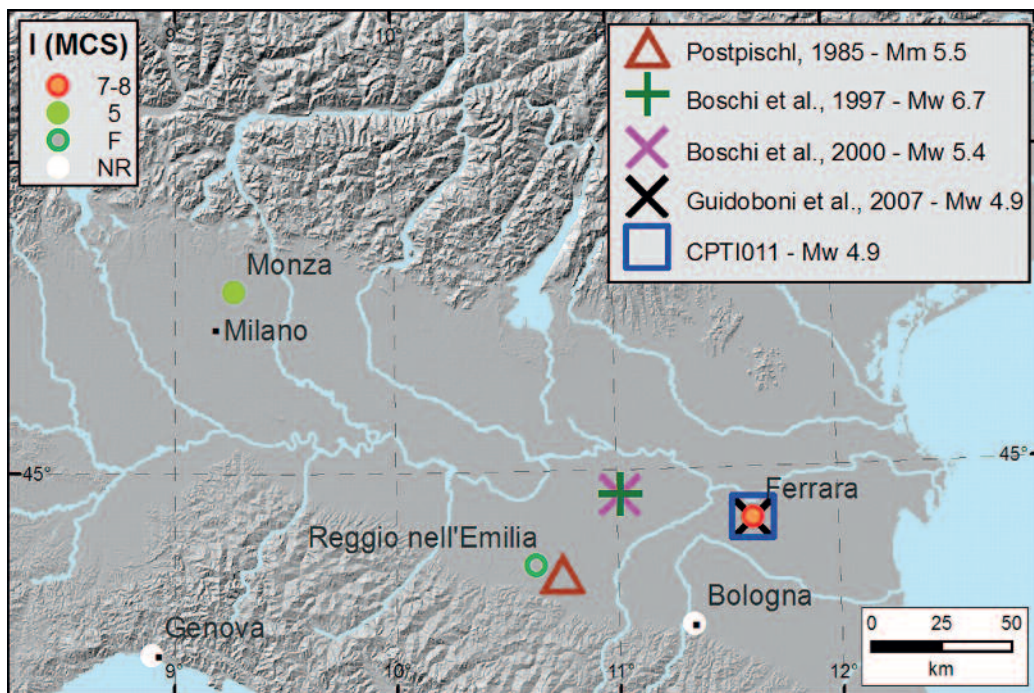
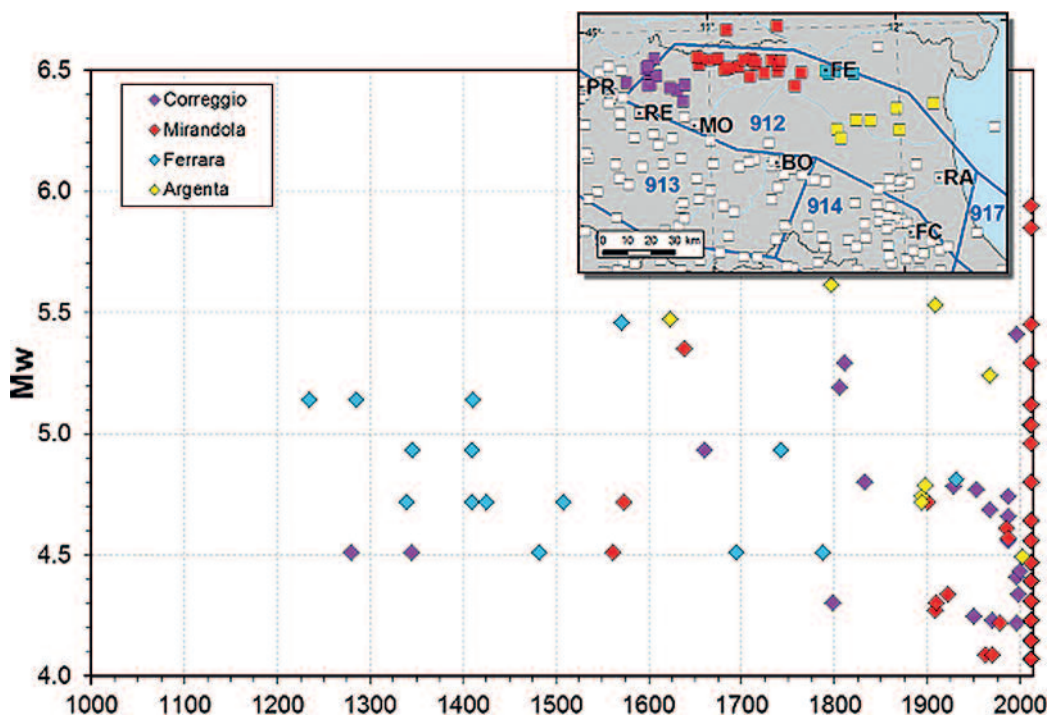


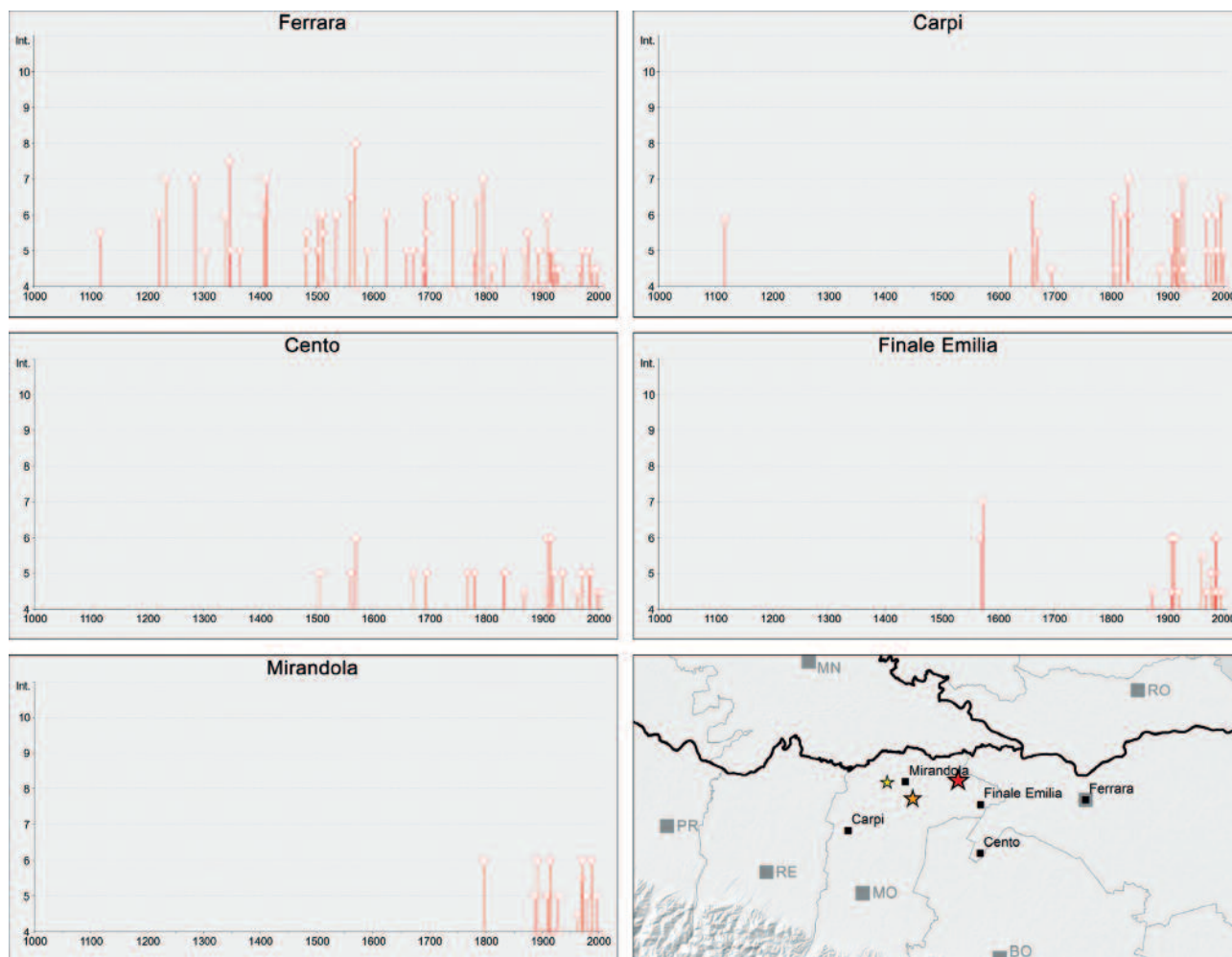
Figura 6
Storia sismica della zona sismogenetica 912 (da CPTI11). I colori definiscono l'afferenza dei terremoti alle quattro sottozone, secondo quanto rappresentato nell'insero.



Questa singolarità appare determinata da una svolta interpretativa degli autori che, nella versione più recente del loro studio (Guidoboni et al., 2007), rinunciano a far uso di un certo numero di dati – relativi a danneggiamenti distribuiti su un'area molto vasta – che erano invece stati ritenuti credibili in una precedente versione (Boschi et al., 1997); quest'ultima forniva una stima di intensità per quattordici località mentre Guidoboni et al. (2007) ne esplicita solo cinque. Il catalogo CPTI11, utilizzando i dati di Guidoboni et al. (2007), riporta una M_w 4.9 ± 0.34 .

4. Discussione

Se si suddivide la zona sismogenetica della Dorsale Ferrarese in quattro settori, da ovest a est, che chiamiamo indicativamente «Correggio», «Mirandola», «Ferrara» e «Argenta» si può notare che fino al 1570 i terremoti tendono a concentrarsi prevalentemente nel settore «Ferrara» mentre nei secoli seguenti compaiono terremoti localizzati nei settori «Correggio» «Argenta» e, seppure raramente prima del 2012, nel settore «Mirandola» (Figura 6). Il fatto che quasi tutti i terremoti anteriori al 1570



siano localizzati a Ferrara dipende in larga misura da motivazioni storiche: la maggior parte delle informazioni disponibili riguarda la sola città di Ferrara, la quale si trova in una posizione di assoluta centralità economica, politica e culturale rispetto al territorio circostante fin dal Trecento, quando da libero comune diviene la sede principale della dinastia estense. Questa progressivamente estenderà la sua influenza ai contigui territori del Modenese e del Reggiano, fino a costituirsi in Ducato nel 1471; è appunto principalmente nella seconda metà del Quattrocento che fiorisce la tradizione storiografica ferrarese, con una ricca produzione cronachistica, che estende il lavoro dei notai-cronisti del secolo precedente. La storia sismica di Ferrara, come ricavata dalle fonti disponibili, può essere considerata rappresentativa della sismicità reale a partire dai primi decenni del Trecento, anche se non si possono escludere perdite di informazioni per quanto riguarda eventi sismici minori. In altre parole, Ferrara è un buon "sismografo storico": è una delle località con il maggior numero di osservazioni in DBMI11 e "registra" terremoti fino dal 1117. Al contrario le località limitrofe non sono sismografi altrettanto buoni, nel senso

che disponiamo di segnalazioni da esse solo dopo il terremoto del 1570 (Figura 7).

5. Conclusioni

Alla luce di quanto descritto, si può ritenere che la sismicità della zona sia discretamente conosciuta nelle sue caratteristiche energetiche e temporali, almeno a partire dal 1570. E' possibile che nuove ricerche possano portare nuovi elementi conoscitivi per quel che riguarda i terremoti non distruttivi. Ad esempio ricerche recentissime (Castelli et al., 2012), per quanto preliminari, hanno fatto emergere tracce di terremoti finora sfuggiti alla tradizione sismologica, che interessano più da vicino il settore compreso fra il Modenese e il Ferrarese. Fra questi l'evento più significativo è quello del 6 aprile 1639, descritto in un'autorevole storia locale (Frassoni, 1778) e confermato da dati archivistici, che produsse danni abbastanza gravi a Finale Emilia e, forse, qualche danno a Carpi. Tracce di un terremoto avvertito sensibilmente a Mirandola, Carpi e Modena il 15 dicembre 1761, sono emerse sia dalla storiografia locale che da fonti giornalistiche coeve, senza al momento chiare

Figura 7
Storie sismiche (da DBMI11) e localizzazione di Ferrara, Carpi, Cento, Finale Emilia e Mirandola.

evidenze di danno. Più interessanti sembrano le evidenze di una lunga sequenza sismica che fra l'inizio di maggio e la fine di agosto 1778 interessò l'area compresa fra Concordia sulla Secchia e Carpi, con qualche danno attestato a Rovereto sulla Secchia.

Viceversa, l'assenza di tracce di terremoti impor-

tanti nella storia sismica di Ferrara fra il Trecento e il 1570, unitamente alla assenza di analoghe tracce nelle storie sismiche di Bologna e di altre località limitrofe, suggerisce che nel predetto intervallo temporale non si siano verificati terremoti distruttivi con magnitudo paragonabile a quelli del maggio 2012.

Bibliografia

- Albini P., ed. (2007) - Stefano Breventano. Trattato del Terremoto. IUSS Press, Pavia. 978-88-6198-015-0
- Anzidei M., Maramai A., Montone P. (eds.) (2012) - The Emilia (northern Italy) seismic sequence of May-June, 2012: preliminary data and results. *Annals of Geophysics*, 55, 4, 2012, doi: 10.4401/ag-6110.
- Archivio Macrosismico GNDT (1995) - Studi preliminari di terremoti attraverso i repertori sismologici. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- Arcoraci L., Berardi M., Brizuela B., Castellano C., Del Mese S., Graziani L., Maramai A., Rossi A., Sbarra M., Tertulliani A., Vecchi M., Vecchi S., Bernardini F., Ercolani E. (2012) - Rilievo macrosismico degli effetti del terremoto del 25 gennaio 2012 (Pianura Padana). Rapporto INGV-QUEST, Roma-Bologna, 9 pp. http://quest.ingv.it/images/quest/Rapporto%20terremoto%20del%2025%20gennaio%202012_def.pdf
- ASFI (Archivio di Stato di Firenze) (1571) - Mediceo del Principato, 2894, lettere di Bernardo Canigiani al granduca Cosimo I de' Medici e al gran principe Francesco de' Medici.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E. (2008) - The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics* 453, 20-43.
- Bernardini F., Ercolani E. (2011) - Rilievo macrosismico degli effetti prodotti dal terremoto del 17 luglio 2011 nella Pianura Padana lombardo-veneta (province di Rovigo, Mantova, Modena e Ferrara) h 20:30. Rapporto INGV-QUEST, Bologna, 6 pp., http://quest.ingv.it/images/quest/PT_Mantovano_110717.pdf
- Bigi G., Bonardi G., Catalano R., Cosentino D., Lentini F., Parotto M., Sartori R., Scandone P., Turco E. (eds.) (1992) - Structural Model of Italy 1:500,000, CNR Progetto Finalizzato Geodinamica.
- Bignami C., Burrato P., Cannelli V., Chini M., Falcucci E., Ferretti A., Gori S., Kyriakopoulos C., Melini D., Moro M., Novali F., Saroli M., Stramondo S., Valensise G., Vannoli P. (2012) - Coseismic deformation pattern of the Emilia 2012 seismic sequence imaged by Radarsat-1 interferometry. *Ann. Geoph.* 55 (4), 789-795.
- Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G., Postpischl D. (1985) - Considerations on the seismotectonics of the northern Apennines. *Tectonophysics*, 117, 7-38.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Gasperini P., Valensise G. (1997) - Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, ING-SGA, Bologna.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P. (eds.) (2000) - Catalogue of strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997. *Ann. Geof.*, 43: 609-858.
- Burrato P., Ciucci F., Valensise G. (2003) - An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting. *Ann. Geophys.*, 46 (5), 865-882.
- Burrato P., Vannoli P., Fracassi U., Basili R., Valensise G. (2012) - Is blind faulting truly invisible? Tectonic-controlled drainage evolution in the epicentral area of the May 2012, Emilia-Romagna earthquake sequence (northern Italy). *Ann. Geoph.* 55 (4), 525-531.
- Camassi R., Azzaro R., Carocci C., Cova E., Martello S., Meloni F., Molin D., Moroni A., Peruzza L., Stucchi M., Zerga A. (1996) - Il terremoto emiliano del 15 ottobre 1996: uno sguardo al passato e al contesto sismologico. Atti del 15° Convegno Nazionale del GNGTS, Roma 11-13 novembre 1996.
- Cassano E., Anelli L., Fichera R., Cappelli V. (1986) - Pianura Padana, interpretazione integrata di dati geofisici e geologici, 73° Congresso Società Geologica Italiana, Roma, Centro Stampa Agip.
- Castelli V., Bernardini F., Camassi R., Caracciolo C.H., Ercolani E., Postpischl L. (2012) - Looking for missing earthquake traces in the Ferrara-Modena plain: an update on historical seismicity. *Annals of Geophysics*, 55, 4, 2012, 519-524, doi: 10.4401/ag-6110.
- 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. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://www.ingv.it/DISS/>.
- ENEL (1985) - Studi e indagini per l'accertamento della idoneità tecnica delle aree suscettibili di insediamento di impianti nucleari per le Regioni Piemonte, Lombardia e Puglia: indagini di sismica storica. Rapporti tecnici predisposti da ISMES-SGA, Roma.
- Frasconi C. (1778) - Memorie del Finale di Lombardia, Modena. Anastatic reprint, Sala Bolognese, 1974.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012a) - May 2012 Emilia earthquakes (M_w 6, northern Italy): macroseismic effects distribution and seismotectonic implications. *Alpine and Mediterranean Quarterly*, 25 (2), 105-123, in press, available online: <http://amq.aiqua.it>.
- Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012b) - The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012

- earthquakes. *Annals of Geophysics*, 55, 4, 2012, 663-672, doi: 10.4401/ag-6110.
- Ghirardelli A. (1624) - Miserabile & infelice Caso occorso alla terra antichissima d'Argenta giurisdizione di Ferrara, del spaventoso, et improvviso Terremoto successo alli 19 di Marzo il giorno di s. Gioseffo à 2 hore di notte. Nicolò Tebaldini, Bologna.
- 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. <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.
- Guidoboni E., ed. (2005) - Pirro Ligorio, Libro di diversi terremoti, codice 28, Ja Il 15 dell'Archivio di Stato di Torino, Edizione critica, introduzione e apparato storico a cura di E. Guidoboni, Edizione Nazionale delle Opere di Pirro Ligorio, Roma, De Luca editore. pp. 260.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- ISIDe Working Group (2010) - Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (eds.) (2011) - DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, available online: <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. *Tectonophysics*, 450, 85-108.
- Meloni, F., Molin D. (1987) - Il terremoto padano del 13 gennaio 1909. *Atti del 6° Convegno Annuale del GNGTS*, Roma, 1, 269-294.
- Picotti V., Pazzaglia F.J. (2008) - A new active tectonic model for the construction of the northern Apennines mountain front near Bologna (Italy). *J. Geophys. Res.*, 113, B08412.
- Pieri M., Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po plain, Italy, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Agip, Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubblicazione n. 414, Roma.
- Poardi M.A. (1624) - Nova Relatione del grande, & spaventoso Terremoto successo in Argenta Diocesi di Ferrara alli 19 di Marzo giorno di S. Gioseffo 1624. Con la morte di molte persone, & rovina di 170 Case, Monasterij Chiese, & altri Edificij, Dove anco si discorre la causa di detto Terremoto. Roma, Lodovico Grignani, Roma, 4 pp.
- Postpischl D. (1985) - Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. Progetto Finalizzato Geodinamica. Quaderni de «La Ricerca Scientifica», n.114, v. 2B.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (eds). (2011) - CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>
- Selvaggi G., Ferulano F., Di Bona M., Frepoli A., Azzara R., Basili A., Chiarabba C., Ciaccio M.G., Di Luccio F., Lucente F.P., Margheriti L., Nostro C. (2001) - The M_w 5.4 Reggio Emilia 1996 earthquake: active compressional tectonics in the Po Plain, Italy. *Geophys. J. Int.*, 144, 1-13.
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E. (2011). Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 101 (4), 1885-1911.
- Tertulliani A., Arcoraci L., Berardi M., Bernardini F., Brizuela B., Castellano C., Del Mese S., Ercolani E., Graziani L., Maramai A., Rossi A., Sbarra M., Vecchi M. (2012) - The Emilia 2012 sequence: a macroseismic survey. *Annals of Geophysics*, 55, 4, 2012, 679-687.
- Toscani G., Burrato P., Di Bucci D., Seno S., Valensise G. (2009) - Plio-Quaternary tectonic evolution of the northern Apennines thrust fronts (Bologna-Ferrara section, Italy): seismotectonic implications, *Ital. J. Geosci.*, 128, 605-613.