



RAPPORTO MACROSISMICO SUI TERREMOTI DEL 20 (ML 5.9) E DEL 29 MAGGIO 2012 (ML 5.8 E 5.3) NELLA PIANURA PADANO-EMILIANA

Arcoraci L.¹, M. Berardi¹, F. Bernardini², B. Brizuela¹, C.H. Caracciolo², C. Castellano¹, V. Castelli², A. Cavaliere², S. Del Mese¹, E. Ercolani², L. Graziani¹, A. Maramai¹, A. Massucci¹, A. Rossi¹, M. Sbarra¹, A. Tertulliani¹, M. Vecchi¹, S. Vecchi¹

¹INGV-Roma, ²INGV-Bologna

Introduzione

Il 20 maggio 2012 un forte terremoto di magnitudo $M_L=5.9$ è avvenuto alle ore 4:03 locali (2:03 UTC) interessando una vasta porzione della Pianura Padana tra le regioni dell'Emilia Romagna, il Veneto e la Lombardia colpendo in particolare le province di Ferrara, Modena, Mantova, Bologna e Rovigo.

La scossa è stata localizzata dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV nel punto di coordinate Lat. 44.889°N, Lon. 11.228°E, nei pressi della cittadina di Finale Emilia (MO), circa 30 km a ovest della città di Ferrara (Figura 1).

Un primo evento di $M_L=4.1$ era stato registrato nella stessa zona poche ore prima (alle ore 01:13 locali del giorno 19 maggio 2012). La forte scossa delle 4:03 ha dato inizio a un'importante e lunga sequenza sismica, che è proseguita nelle settimane successive con oltre 2200 repliche, sei delle quali di $M_L > 5$ (Tabella 1).

Le repliche di maggiore entità sono avvenute il giorno 29 maggio alle ore 09:00 italiane ($M_L=5.8$) e alle ore 12:55 italiane ($M_L=5.3$) ed hanno interessato il settore occidentale della fascia attivatasi con l'evento del 20 maggio, evidenziando uno spostamento degli epicentri verso ovest rispetto alla prima fase della sequenza (Figura 1).

tabella dei terremoti con M>5 (aggiornata al 13 luglio 2012)						
data	ora UTC (ora locale)	latitudine	longitudine	profondità	magnitudo	fonte
20/05/2012	02:03:52 (04:03:52)	44.889	11.228	6.3	5.9	iside.rm.ingv.it
20/05/2012	02:07:31 (04:07:31)	44.863	11.370	5.0	5.1	iside.rm.ingv.it
20/05/2012	13:18:02 (15:18:02)	44.831	11.490	4.7	5.1	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	07:00:03 (09:00:03)	44.851	11.086	10.2	5.8	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	10:55:57 (12:55:57)	44.888	11.008	6.8	5.3	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	11:00:25 (13:00:25)	44.879	10.947	5.4	5.2	iside.rm.ingv.it
03/06/2012	19:20:43 (21:20:43)	44.899	10.943	9.2	5.1	iside.rm.ingv.it

Tabella 1. Terremoti di magnitudo superiore a 5.0 registrati dal 20 maggio al 13 luglio 2012 nella zona della sequenza

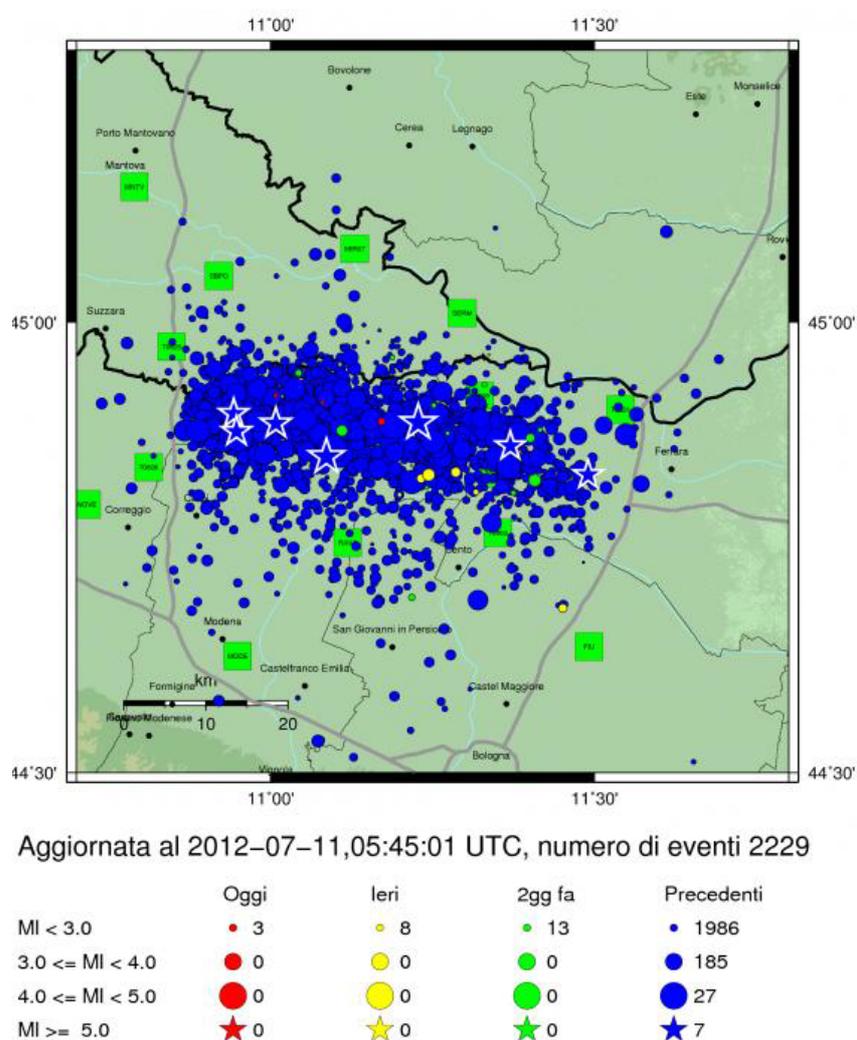


Figura 1. Mappa della sequenza emiliana aggiornata alle ore 05.45 (UTC) del 11 luglio 2012.
http://terremoti.ingv.it/images/Report_20120711_0545.pdf

Le due scosse più forti del 20 e 29 maggio sono state avvertite in un'area molto vasta comprendente tutta l'Italia centro-settentrionale e parte della Svizzera, della Slovenia, della

Croazia, dell’Austria, della Francia sud-orientale e della Germania meridionale. L’intensità massima assegnata $I_{EMS}=8$, è stimata come cumulo degli effetti della sequenza.

La zona della Pianura Padana interessata dalla sequenza sismica è caratterizzata da una modesta sismicità storica (Figura 2); infatti nel raggio di 30-40 km dagli epicentri delle scosse principali del 20 e 29 maggio, le informazioni storiche contenute nei più recenti cataloghi sismici non riportano eventi significativi, con la sola eccezione del forte terremoto che colpì la zona di Ferrara il 17 novembre 1570.

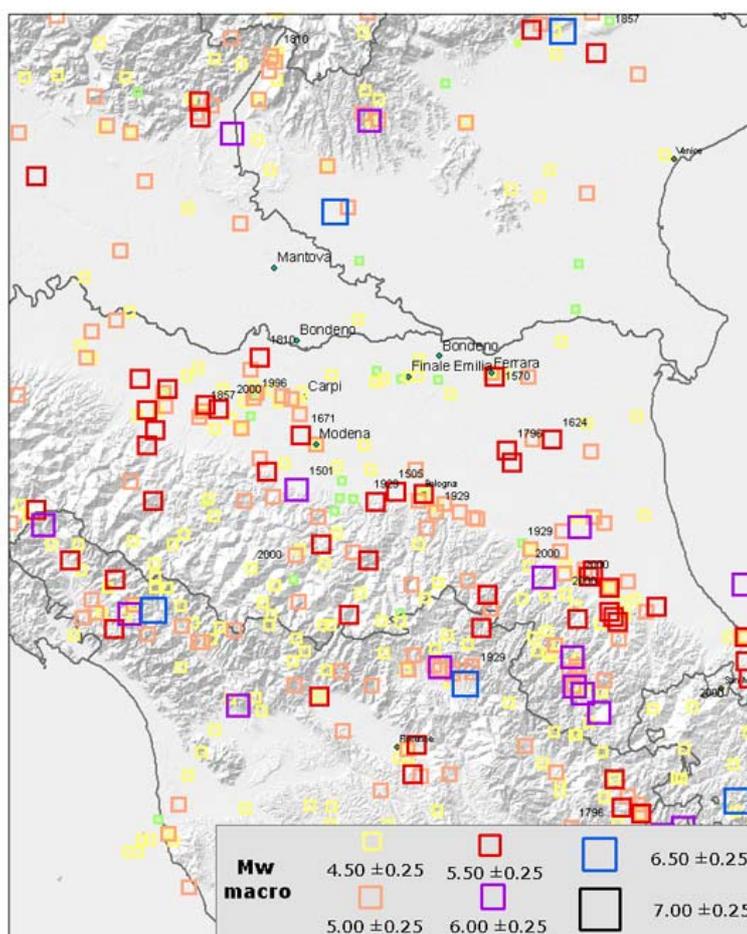


Figura 2. Sismicità storica della pianura padana [Rovida et al., 2011].

Nell’autunno dell’anno 1570 iniziò una lunga e complessa sequenza sismica che durò molti mesi con eventi sismici segnalati per i 4 anni successivi (Figura 3). Per l’evento principale del 17 novembre 1570 è stata calcolata - sulla base dei dati di intensità ricavati dalle informazioni storiche - una magnitudo equivalente $M_w=5.5$ [Rovida et al., 2011], più bassa rispetto ai valori di magnitudo raggiunti dalla sequenza in oggetto.

Uno studio recente [Camassi et al., 2011] segnala, inoltre, un evento avvenuto il 6 aprile 1639 a Finale Emilia con intensità $I=7-8$ MCS, non ancora inserito nei principali cataloghi

parametrici italiani. L'area in oggetto è stata interessata nel tempo sporadicamente anche da sismicità 'minore', con eventi di magnitudo medio-basse: un esempio relativamente recente è il terremoto dell'8 maggio 1987 ($M_w=4.6$) che ha colpito la bassa modenese [Rovida et al., 2011] con effetti di intensità pari al 6 grado MCS in località come Camposanto, San Felice sul Panaro e Finale Emilia [Locati et al., 2011], poi danneggiate durante la sequenza del maggio-giugno 2012.

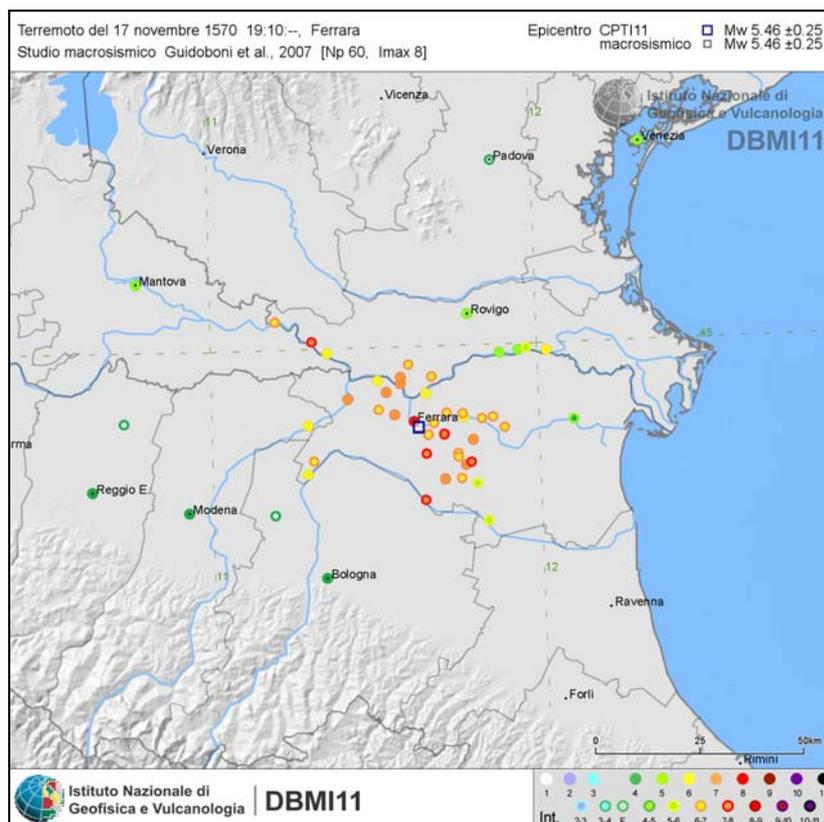


Figura 3. Mappa del terremoto del 17 novembre 1570 [Locati et al., 2011].

Più significativa, invece, la sismicità che interessa il settore settentrionale dell'Appennino e la fascia pedappenninica emiliana, caratterizzata da eventi frequenti di magnitudo moderata nell'area tra Parma e Modena. In alcuni casi gli effetti di questa sismicità sono arrivati a lambire anche parte della zona di pianura maggiormente colpita dai terremoti del maggio 2012. Un esempio è rappresentato dall'evento di Correggio (RE) del 15 ottobre 1996 ($M_w=5.4$) [Locati et al., 2011].

Il rilievo

A seguito del primo forte evento del 20 maggio, il personale INGV afferente alle sezioni di Bologna e Roma si è immediatamente attivato per effettuare il rilievo degli effetti tramite le squadre di rilievo macrosismico appartenenti al gruppo operativo QUEST [QUEST Working

Group, 2012].

Il peculiare andamento della sequenza sismica e, in particolare, lo spostamento progressivo degli epicentri verso ovest, che ha via via portato al conseguente allargamento dell'area di massimo danneggiamento, ha reso necessario l'aggiornamento costante del rilievo sul territorio per definire il cumulo degli effetti delle varie scosse nelle diverse località. Il rilievo si è svolto complessivamente dal 20 maggio al 3 luglio.

Sebbene il risultato finale del rilievo mostri l'effetto cumulato delle diverse scosse di $M > 5.0$, è comunque possibile discriminare, almeno per una cinquantina di località, gli effetti dovuti alla sola scossa del 20 maggio.

Il rilievo diretto si è svolto nell'area di maggior danneggiamento, secondo le consuete modalità dell'indagine macrosismica condotta da tempo dall'INGV, osservando cioè il danno visibile all'esterno degli edifici e focalizzando l'indagine sull'edilizia civile e residenziale in quanto maggiormente rappresentativa dal punto di vista macrosismico. L'attribuzione dell'intensità in EMS98 [Grünthal, 1998], quindi, tiene principalmente conto degli effetti sull'edilizia convenzionale e del risentimento sulla popolazione.

Le tipologie edilizie presenti nell'area sono rappresentate da edifici tradizionali, con pareti portanti in mattoni (solitamente pieni) dalle volumetrie più disparate, diffusi soprattutto nei centri storici e nelle campagne (classi di vulnerabilità A e B), e da costruzioni residenziali recenti, anch'esse solitamente realizzate in mattoni (pieni, semipieni e forati) e cemento armato (C.A.) o interamente in C.A., prevalentemente di 1-2 piani, distribuiti nelle periferie dei centri abitati (classi di vulnerabilità B e C).

Nel primo caso si tratta generalmente di edifici antichi o comunque precedenti all'ultima guerra, nei quali si è evidenziata la quasi totale assenza di elementi di collegamento e/o rinforzo tra le varie parti strutturali, come cordoli, cantonali, ammorsamenti tra pareti o catene e tiranti. Questi accorgimenti, solitamente adottati in altre aree italiane caratterizzate da una sismicità più spiccata, sembrano non appartenere alla tradizione costruttiva dell'area in oggetto.

Nel secondo caso, alcuni edifici residenziali recenti presentano solai e tetti in C.A. insistenti su una struttura portante in muratura. Nella maggior parte delle località esaminate, l'edificato recente (area di espansione) è numericamente prevalente sulla parte di edilizia storica. Nelle aree periferiche dei centri abitati sono talvolta presenti concentrazioni di edifici ad uso industriale, come capannoni, magazzini e laboratori. In tutta l'area, inoltre, è da segnalare la presenza di numerosi cascinali, fienili e altri edifici ad uso agricolo, alcuni in stato di abbandono. Questa tipologia di strutture si trova spesso in insediamenti isolati dal contesto urbanistico e, pertanto, pur avendo riportato in molti casi gravissimi danni, non

rientra nelle stime di intensità delle singole località. Inoltre si deve sottolineare che anche l'edilizia cosiddetta speciale e monumentale, come chiese, torri, campanili e capannoni industriali, non è considerata propriamente rappresentativa per la scala macrosismica europea EMS98 [Grünthal, 1998] che ne sconsiglia l'utilizzo ai fini dell'assegnazione dell'intensità stessa. Tuttavia nel presente rapporto viene segnalato anche il danno osservato nelle suddette tipologie edilizie speciali, perché ritenuto utile ad illustrare in modo più generale e completo il quadro dei danni, considerato che danneggiamenti su edifici particolari si sono riscontrati anche in località dove l'edilizia convenzionale non ha riportato particolari sofferenze.

Un'ultima osservazione riguarda il danno subito dai camini di case in muratura, che è stato largamente osservato nell'area. La scala EMS98 attribuisce a questo diagnostico un danno di grado 3 (moderato danno strutturale / grave danno non strutturale), tuttavia l'assenza di contemporanei elementi diagnostici di analoga gravità, ci ha indotto a considerare questo elemento come un effettivo diagnostico di grado 2. Negli edifici in C.A. il camino, elemento non previsto dalla scala EMS98, risulta essere un manufatto particolarmente vulnerabile ed il suo danneggiamento si rileva ancor prima delle lesioni capillari (grado1); pertanto si è ritenuto opportuno utilizzare questo elemento come diagnostico di grado 1.

Alla luce di quanto fin qui premesso, il presente rapporto illustra il quadro degli effetti cumulati nel corso della sequenza, non essendo stato possibile, dal 29 maggio in poi, distinguere il contributo delle singole scosse al danneggiamento finale. Il grado di intensità attribuito è, pertanto, riferito a quanto osservabile sul campo dopo il 3 giugno, giorno dell'ultima scossa di $M > 5$.

Come consigliato dalle linee guida della scala EMS98 utilizzata nel rilievo, è stato fatto il possibile per assegnare alle località visitate il "grado intero" di intensità, limitando al massimo l'utilizzo di gradi intermedi, ovvero di incertezze tra un grado ed un altro.

Come già accennato, per il rilevamento degli effetti è stata utilizzata la scala EMS98, che prevede la classificazione dell'edificato per tipologie e classi di vulnerabilità, e la successiva assegnazione di gradi di danno (vedi prospetto sotto).

Tipologie costruttive:

Edifici in mattoni non rinforzati né cordolati con tetti spingenti, travature in legno, nessuna presenza di catene o cantonali, o altri elementi di rinforzo, con scarsa manutenzione. **Classe di vulnerabilità A.**

Edifici in muratura generalmente di miglior fattura dei precedenti, a volte con cordoli o ricorsi. **Classe di vulnerabilità B.**

Edifici in muratura cordolati e/o rinforzati, con solai in cemento armato, ed edifici in cemento armato. **Classe di vulnerabilità C.**

Gli edifici cosiddetti antisismici, di classe di vulnerabilità D e superiore, sono presenti in misura trascurabile.

Livelli di danno:

grado 1 danno da trascurabile a leggero (nessun danno strutturale);

grado 2 danno moderato (leggero danno strutturale o moderato danno non strutturale);

grado 3 moderato danno strutturale e/o grave danno non strutturale,

grado 4 grave danno strutturale,

grado 5 collasso totale o quasi.

Il codice **D** (Danno) all'intensità viene assegnato a località con numero di abitazioni poco significativo (generalmente al di sotto delle 50 unità), ma che hanno comunque subito un danneggiamento evidente.

Assegnazione dell'intensità

Nelle località maggiormente danneggiate ($I > 7$, vedi Tabella 2) sono stati osservati pochi crolli totali, in alcuni casi anche di edifici di tipo C, e più diffusamente danni gravi e medio-gravi, come crolli parziali, cedimenti di tetti e strutture murarie (grado 4), crepe larghe e profonde in edifici in muratura e nelle tamponature di edifici in C.A. (grado 3). In particolare a Cavezzo (Foto 1) si è riscontrato il collasso di alcuni edifici in cemento armato, già lievemente danneggiati dalla scossa del 20 maggio, mentre a Rovereto sulla Secchia sono evidenti diversi collassi parziali in villette di recente costruzione (Foto 2). Mirandola, Concordia sulla Secchia e Moglia presentano un danno medio-grave (grado 3 e 4) diffuso soprattutto nei loro centri storici, dove sono maggiormente presenti edifici di classe di vulnerabilità A e B. Anche in questi casi i crolli totali sono stati rari. Tra queste località, Cavezzo, Concordia e Mirandola sono quelle che hanno subito un considerevole aggravamento a seguito delle scosse del 29 maggio.



Foto 1. Cavezzo. Danno di grado 5 in edificio in C.A.



Foto 2. Rovereto sulla Secchia. Danno di grado 5 in edificio in muratura tipo C

A sei località è stata assegnata intensità $I = 7$, per la presenza di un'ampia diffusione di danni moderati (gradi 2 e 3), generalmente agli edifici in muratura di tipo A e B. Crepe larghe e profonde, e più in generale diffusione di lesioni murarie e caduta di tegole e camini sono le evidenze più tipiche (Foto 3 e 4). In queste località il danno all'edilizia più recente e al C.A. è risultato contenuto. Tuttavia in località come San Felice sul Panaro e Finale Emilia, è evidente la presenza di isolati crolli e gravi danni subiti da edifici monumentali e da vecchie costruzioni spesso già fatiscenti, situate all'interno dei centri storici, peraltro molto piccoli rispetto alle zone di espansione dell'edificato recente (Foto 5 e 6).



Foto 3. Reggiolo. Crepe larghe e profonde. Danno di grado 3 in edificio di tipo B



Foto 4. Canaletto. Crepe larghe e profonde. Danno di grado 3 in edificio di tipo B



Foto 5. San Felice sul Panaro. Gravi danni subiti da edifici monumentali



Foto 6. Finale Emilia. Gravi danni subiti da edifici monumentali

Intensità 6 e 6-7 sono state assegnate a 26 località nelle quali il danno è risultato complessivamente contenuto e poco diffuso e limitato all'edilizia più vecchia e vulnerabile (Foto 7 e 8). In queste località casi di danneggiamento più severo (grado 4) sono stati osservati solo sporadicamente. Camposanto, Crevalcore e Mirabello hanno subito un evidente aggravamento tra la scossa del 20 e quelle del 29 maggio. Un caso particolare è rappresentato

dal paese di San Carlo, frazione di Sant'Agostino, dove gran parte dei danni, anche di grado 3, sono stati causati verosimilmente da importanti fenomeni di liquefazione (Foto 9 e 10).



Foto 7. Alberone. Crepe diffuse e danni al camino in edificio di tipo B



Foto 8. Poggio Rusco. Crepe diffuse in edificio di tipo B (danni di grado 2)



Foto 9. San Carlo. Crepe larghe e profonde in edificio di tipo B. In basso si notano effetti di liquefazione



Foto 10. San Carlo. Effetti di liquefazione

Trentadue località hanno riportato effetti che sono ascrivibili al 5 e al 5-6 grado di intensità. Si tratta di paesi che hanno subito danni leggeri o addirittura trascurabili, come lievi lesioni, caduta di intonaci e rottura di camini. La diffusione di questa tipologia di danni è limitata.

Infine ad alcune località di piccole dimensioni non è stato assegnato un valore di intensità e si è preferito piuttosto riportare la generica segnalazione di “danno significativo” (D), in considerazione del fatto che la scala EMS98 nelle sue linee guida suggerisce di non considerare significativi gli abitati molto piccoli. Tuttavia è stato ritenuto utile mantenere l’informazione rilevata in campagna, dal momento che queste località hanno riportato, spesso, danni non trascurabili.

Località	Comune	Provincia	IEMS 20/05	IEMS finale
Cavezzo		MO	6.5	8
Concordia sulla Secchia		MO	6	7-8
Mirandola		MO	6.5	7-8
Moglia		MN		7-8
Novi di Modena		MO		7-8
Rovereto	Carpi	MO		7-8
Canaletto	Finale Emilia	MO	7	7
Finale Emilia		MO	7	7
Fossoli	Carpi	MO		7
Ponte San Pellegrino	Mirandola	MO		7
Reggiolo		RE		7
San Felice sul Panaro		MO	7	7
Alberone	Cento	FE	6-7	6-7
Camposanto		MO	6	6-7
Crevalcore		BO	6	6-7
Mirabello		FE	6	6-7
San Carlo	Sant'Agostino	FE	6-7	6-7
San Giacomo delle Segnate		MN		6-7
Bondanello	Moglia	MN		6
Bondeno		FE	6	6
Bondeno	Gonzaga	MN		6
Carpi		MO		6
Casumaro	Bondeno	FE	6	6
Cento		FE	5	6
Massa Finalese	Finale Emilia	MO	5-6	6
Medolla		MO	5-6	6
Motta	Cavezzo	MO		6
Poggio Renatico		FE	6	6
Poggio Rusco		MN	5	6
Ponte Rodoni	Bondeno	FE	6	6
Quistello		MN		6
Rivara	San Felice sul Panaro	MO	6	6
San Martino Spino	Mirandola	MO		6
San Possidonio		MO		6
San Prospero		MO	5	6
Sant'Agostino		FE	6	6
Scortichino	Bondeno	FE	6	6
Villarotta	Luzzara	RE		6

Buonacompra	Cento	FE	D	D
Camurana	Medolla	MO	D	D
Caselle	Crevalcore	BO	D	D
Forcello	San Possidonio	MO		D
Galeazza	Crevalcore	BO	7	D
Malcantone di Medolla	Medolla	MO	D	D
Molino Albergati	Cento	FE	D	D
Palata	Crevalcore	BO	D	D
Pilastrello	Cento	FE	D	D
Pioppa	San Possidonio	MO		D
Reno Centese	Cento	FE	D	D
Reno Finalese	Finale Emilia	MO	D	D
Sammartini	Crevalcore	BO	D	D
Santa Bianca	Bondeno	FE	D	D
Sant'Alberto	San Pietro in Casale	BO	D	D
Staggia	San Prospero	MO		D
Tortiola	Vigarano Mainarda	FE	D	D
Brugneto	Reggiolo	RE		5-6
Budrione	Carpi	MO		5-6
Fossa	Concordia sulla Secchia	MO	5	5-6
Gonzaga		MN		5-6
Pegognaga		MN	5	5-6
Pilastri	Bondeno	FE	5-6	5-6
Quingentole		MN		5-6
Rolo		RE		5-6
San Pietro in Casale		BO	5-6	5-6
Sant'Agata Bolognese		BO		5-6
San Venanzio	Galliera	BO		5-6
Bomporto		MO	5	5
Castello d'Argile		BO		5
Castelmassa		RO	5	5
Castelnovo Bairano		RO	5	5
Dodici Morelli	Cento	FE		5
Dosso	Sant'Agostino	FE	5	5
Fabbrico		RE		5
Galliera		BO	5	5
Nonantola		MO		5
Pieve di Cento		FE		5
Rami	Ravarino	MO	5	5
Ravarino		MO	5	5
Renazzo	Cento	FE		5
Sala Bolognese		BO		5
San Benedetto Po		MN		5

San Giorgio di Piano		BO		5
San Giovanni in Persiceto		BO	5	5
Sermide		MN	5	5
Solara	Bomporto	MO	5	5
Sorbara	Bomporto	MO	5	5
Stuffione	Ravarino	MO	5	5

Tabella 2. Località oggetto del rilievo macrosismico a seguito della sequenza sismica del maggio-giugno 2012. In tabella sono presenti anche le intensità relative alla sola scossa del 20 maggio.

Osservazioni generali

Di seguito riportiamo alcune considerazioni ottenute dall'elaborazione dei dati e dall'esperienza sul campo.

- La maggior parte dei crolli totali o quasi totali (danno di grado 5) sono stati rilevati nell'edilizia produttiva (capannoni industriali, cascinali, fienili), e in quella monumentale. Sul totale del patrimonio abitativo i crolli sono stati invece numericamente limitati.
- Il danno all'edilizia monumentale è risultato essere gravissimo, soprattutto per quanto riguarda chiese, campanili e torri. La maggior parte di questi edifici è costruita in mattoni, quasi mai rinforzati da catene come comunemente ci si sarebbe aspettato per strutture di tali dimensioni e geometrie.
- L'edilizia residenziale recente ha sofferto generalmente in modo contenuto, mentre nei centri storici il danno è risultato più diffuso e più grave.
- Per il solo terremoto del 20 maggio (MI 5.9) l'intensità epicentrale $I_0 = 7$ ($I_{max} = 7$) sembra indicare una buona risposta dell'edilizia residenziale (Figura 4).

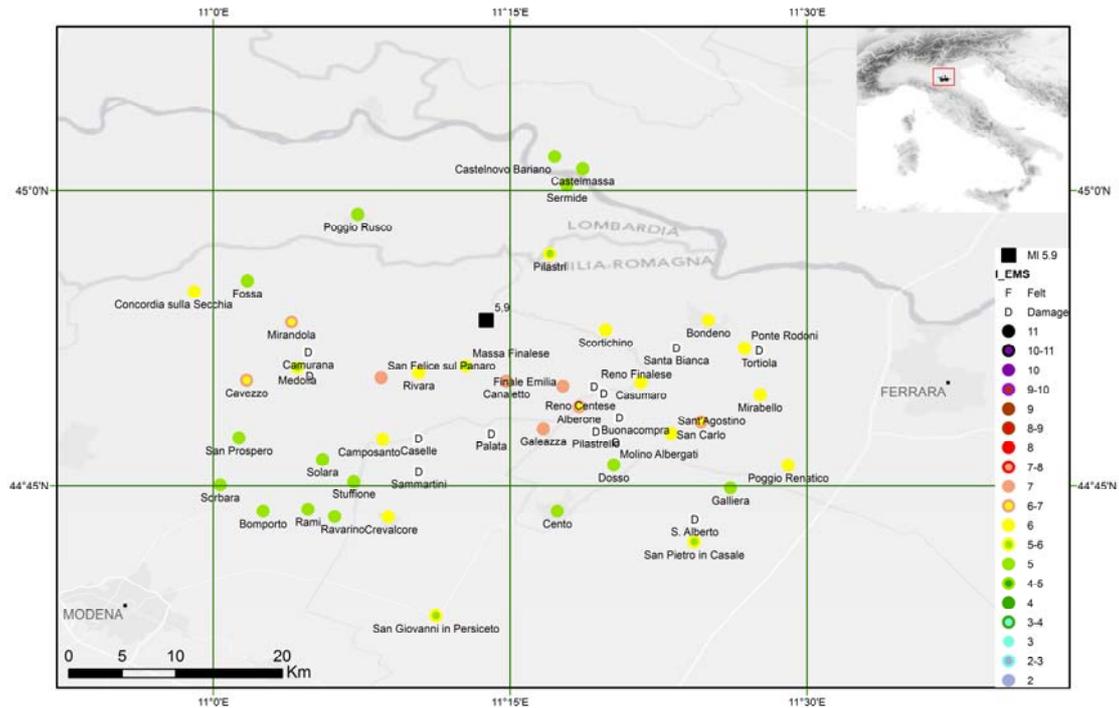


Figura 4. Mappa delle intensità del terremoto del 20 maggio 2012.

- Le scosse del 29 maggio sembrano essere state la causa principale dei danni all'edilizia civile, probabilmente per la maggiore vicinanza dell'epicentro ai centri abitati rispetto al sisma del 20 maggio.
- Per l'intera sequenza l'intensità epicentrale $I_0 = 7-8$, ($I_{max} = 8$) rappresenta il cumulo degli effetti su tutta l'area colpita (circa 90 località), e descrive efficacemente l'aggravamento successivo agli eventi sismici del 29 maggio (Figura 5).
- Sia per la scossa del 20 maggio che per quelle del 29 maggio si osserva un'attenuazione molto decisa degli effetti soprattutto in direzione N-S. Le scosse del 29 maggio hanno, inoltre, determinato lo spostamento verso ovest dell'area dei massimi effetti.

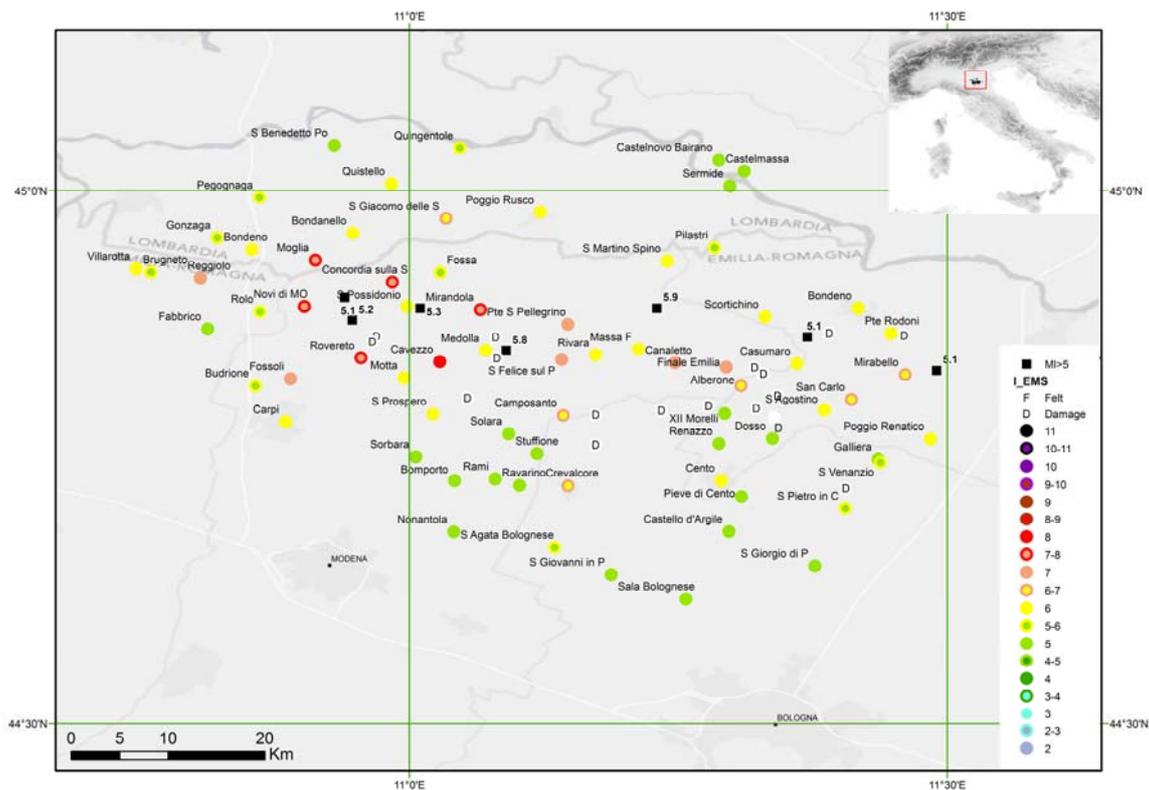


Figura 5. Mappa finale delle intensità della sequenza sismica emiliana. Le intensità sono riferite a quanto osservabile dopo il 3 giugno 2012. I quadrati neri indicano le scosse di $M > 5.0$.

Bibliografia

Camassi R., V. Castelli, D. Molin, F. Bernardini, C. H. Caracciolo, E. Ercolani, L. Postpischl (2011). Materiali per un catalogo dei terremoti italiani: eventi sconosciuti, rivalutati o riscoperti. *Quaderni di Geofisica*, Vol. 96, pp. 53.

Grunthal G., (Ed.) (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. European Seismological Commission, Subcommittee on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, Luxembourg, 99 pp.

Locati M., R. Camassi e M. Stucchi [a cura di] (2011). DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>.

QUEST Working Group (2012) Sintesi degli effetti del terremoto del 20 maggio 2012 (ML=5.9; Mw=5.9) sulle località rilevate dalle squadre di QUEST INGV,

<http://quest.ingv.it/images/quest/Rapporto%20Terremoto%20del%20%2020%20Maggio%202012%20Pianura%20Padana%20Emiliana.pdf>

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi [a cura di], 2011. CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>