Dossier preliminare sui terremoti Mw= 6.0 del 20 maggio e Mw=5.8 del 29 maggio 2012 in Emilia

Poche ore dopo la prima importante scossa sismica che ha colpito l'Emilia nella notte del 20 maggio, la Fondazione Eucentre si è attivata per assicurare il proprio supporto alla Protezione Civile ed alla Regione Emilia-Romagna nelle operazioni di gestione dell'emergenza. Questa attività è stata svolta su due fronti: da un lato la presenza immediata sul campo finalizzata ai rilievi ed alle indagini di agibilità riguardanti le strutture colpite dal sisma, dall'altro lato la raccolta e la divulgazione di informazioni tecniche. Nella riunione tenuta la mattina del 21 maggio nasce l'idea della collaborazione con l'EERI per la realizzazione in tempi praticamente immediati di un portale web di riferimento in lingua italiana (il "Clearinghouse"), che da quasi quarant'anni è efficacemente utilizzato in ambito internazionale per le emergenze legate alle catastrofi naturali. Nella stessa riunione si avvertono l'esigenza ed il dovere di divulgare anche informazioni a freddo, maggiormente meditate, attraverso un volume monotematico (il n. 3-2012 di questa rivista), da condividere con la comunità scientifica, ritenendo che possa costituire un utile riferimento per i Professionisti.
Di seguito si riporta un breve report preliminare in cui si riassumono in modo generale le principali informazioni provenienti dalle due attività sopra descritte, dedicando un livello di dettaglio maggiore al danneggiamento di una particolare tipologia: i capannoni industriali.
Informazioni particolarmente dettagliate in termini di sismicità ed effetti di sito, effetti sulle strutture di ogni tipologia e sulle infrastrutture e gestione dell'emergenza saranno presentate nella prossima uscita di questa rivista, come anticipato poc'anzi.

I dati di scuotimento riportati nel seguito sono tratti dalla Rete Accelerometrica dell'Italia Settentrionale (RAIS, http://accel.mi.ingv.it/) e dalla Rete Accelerometrica Nazionale (RAN, http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/, http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy-it/2012/05/23/shakemap/), grazie al lavoro dell'INGV e della Protezione Civile Italiana.
Parte delle informazioni e delle elaborazioni presentate sono tratte dalla documentazione consultabile dal Clearinghouse dell'Emilia (http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy/).
Le immagini dei danneggiamenti sono state realizzate da Eucentre durante i sopralluoghi effettuati nei giorni e nelle settimane immediatamente successivi al 20 maggio.

1. Input sismico

Domenica 20 maggio, alle ore locali 4:03:52", un terremoto di magnitudo Mw 6.0 (fonte USGS), chiaramente percepito in tutta l'Italia centro-settentrionale ed in alcune zone degli Stati limitrofi, ha colpito la regione dell'Emilia-Romagna e, marginalmente, Lombardia e Veneto, interessando particolarmente le province di Modena, Ferrara, Rovigo e Mantova. L'ipocentro è stato localizzato alle coordinate 44.89° N e 11.23° E nella zona del Comune di Mirandola (MO), approssimativamente a 30 km a ovest di Ferrara e a 40 km a nord-est di Modena, ad una profondità di circa 6.3 km.
Se si considera come riferimento l'insieme dei Comuni esposti ad un livello di intensità sismica superiore al VI° della Scala Mercalli Modificata (San Felice Sul Panaro, Camposanto, Medolla, Finale Emilia, Ravarino, Crevalcore), la popolazione direttamente coinvolta in questo evento sismico è di circa 244000 abitanti, di cui il 20% al di sotto dei 20 anni (il 55% dei quali non raggiunge i 10 anni di età) ed il 20% al di sopra dei 60 anni (fonte ISTAT). In questo ambito, questo primo importante evento ha causato 7 vittime e 50 feriti, oltre a 4500 sfollati dovuti al danneggiamento di diversi edifici residenziali.
Data la sua intensità, l'evento del 20 maggio è da considerare il più importante di una serie di scuotimenti che si sono manifestati nella stessa zona nelle settimane precedenti, ma non l'ultimo. Esso è stato infatti seguito, nei giorni e nelle settimane successive da numerosi aftershocks, più di 2000, alcuni dei quali di intensità rilevante, tanto che sarebbe più corretto distinguere almeno cinque ulteriori eventi principali oltre a quello del 20 maggio, manifestatisi il 29 maggio ed il 3 giugno, ciascuno di essi seguito da una coda di un rilevante numero di aftershocks di intensità minore.
Il mattino del 29 maggio sono stati registrati quattro scuotimenti di intensità Mw 5.8 (9:00

a.m., ora locale), 5.3 (12:56 p.m.), 4.9 (1:00 p.m.), e 5.2 (circa 20 secondi dopo l'evento precedente) a profondità pari rispettivamente a 10.2, 6.8, 11.0, e 5.4 km. Queste ulteriori repliche sismiche hanno innalzato il numero totale delle vittime a 26, i feriti a 350 e gli sfollati a circa 14000. Come detto, di rilievo è anche l'evento del 3 giugno caratterizzato da Mw 5.1.
In Figura 1 sono indicate le mappe di scuotimento sismico degli eventi principali del 20 maggio (ore 4:03 locali) e del 29 maggio (ore 9:00 locali) ricavate dalle elaborazioni effettuate dall'INGV (www.ingv.it) sulla base dei segnali registrati dalle stazioni accelerometriche dislocate nella zona fra Ferrara, Modena e Mantova. L'intensità sismica indicata è stata calcolata dall'INGV secondo una ormai consolida procedura di indagine macrosismica in cui il parametro maggiormente caratterizzante è rappresentato dagli effetti del danneggiamento sull'edilizia civile e residenziale.
Sebbene in Figura 1 sia possibile leggere una possibile correlazione fra intensità strumentale ed accelerazione di picco al suolo (PGA) e velocità di picco (PGV), per una lettura più immediata, si rimanda alla Figura 2, in cui sono rappresentate le isoipse a PGA costante dei due eventi sopraccitati, elaborate sempre dall'INGV. Si può notare come le PGA massime riscontrate in prossimità dell'epicentro sono dell'ordine di 0.28g per l'evento del 20 maggio e 0.35g per quello del 29 maggio.
Nelle successive Figure da 3 a 8 sono visualizzate le distribuzioni di eventi nella zona compresa in un raggio di circa 30 km da Mirandola (MO), le cui caratteristiche sono riassunte anche in Tabella 1. In particolare: in Figura 3 e 4 gli eventi occorsi fra il 20 maggio ed il 3 giugno aventi magnitudo rispettivamente ≥ 3 e ≥ 4; nelle Figure 5 e 6 gli eventi di magnitudo ≥ 4 occorsi rispettivamente fra il 19 e il 20 maggio e fra il 19 ed il 30 maggio; nelle Figure 6 e 7 gli eventi manifestatisi fra il 19 maggio ed il 20 luglio di intensità rispettivamente ≥ 3 e ≥ 2.

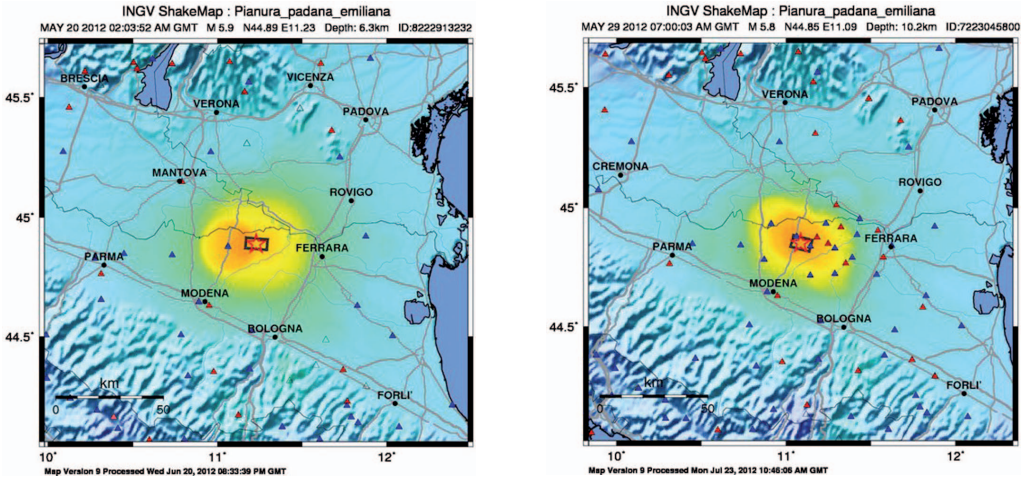

Figura 1
Mappe di scuotimento sismico calcolate sulla base delle registrazioni delle stazioni delle Reti Accelerometriche Nazionali: a sinistra l'evento del 20 maggio 2012 delle ore 4:03, a destra quello del 29 maggio alle ore 9:00 locali (fonte www.ingv.it)

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	*<0.1*	*0.5*	*2.4*	*6.7*	*13*	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	*11*	*22*	*43*	*83*	*>160*
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II–III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Wald, et al.; 1999

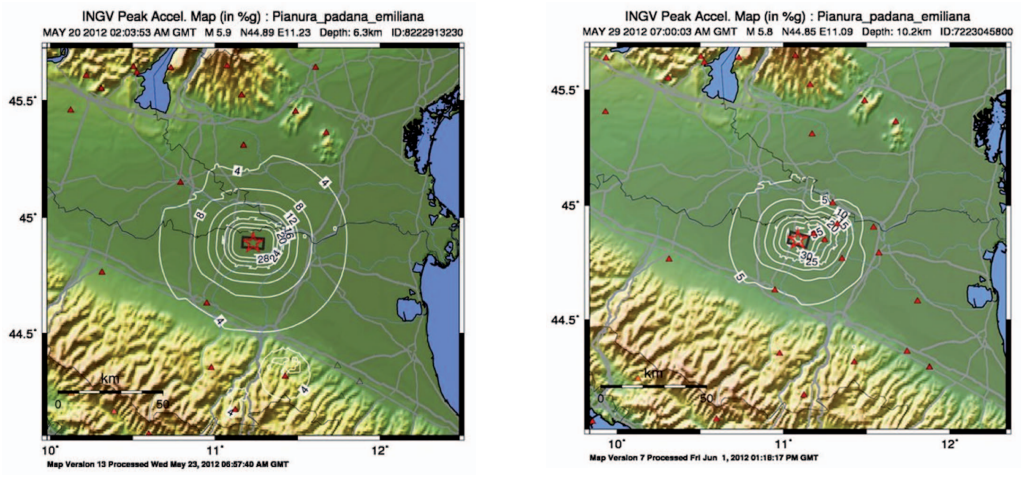

Figura 2
Mappe delle accelerazioni di picco espresse in percentuale di "g" (es: 28 = 0.28g): a sinistra l'evento del 20 maggio 2012 delle ore 4:03, a destra quello del 29 maggio alle ore 9:00 locali (fonte www.ingv.it)

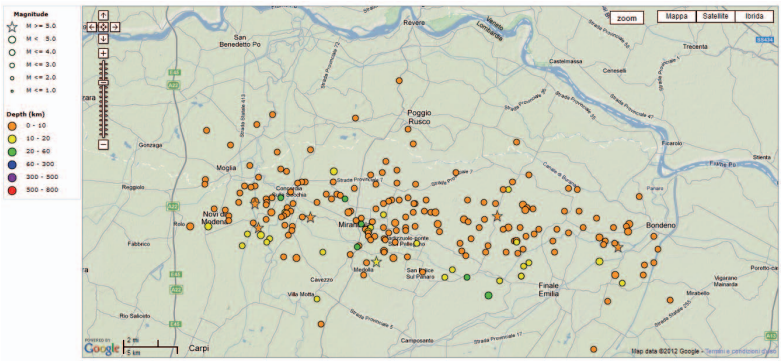

Figura 3
Mappa degli epicentri relativa agli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 3.0 occorsi fra il 20 maggio ed il 3 giugno 2012 (fonte INGV, www.iside.rm.ingv.it).

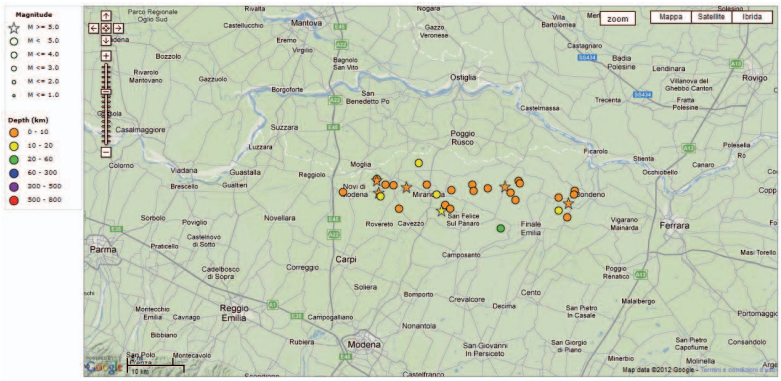

Figura 4
Mappa degli epicentri relativa agli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 4.0 occorsi fra il 20 maggio ed il 3 giugno 2012 (fonte INGV, www.iside.rm.ingv.it).

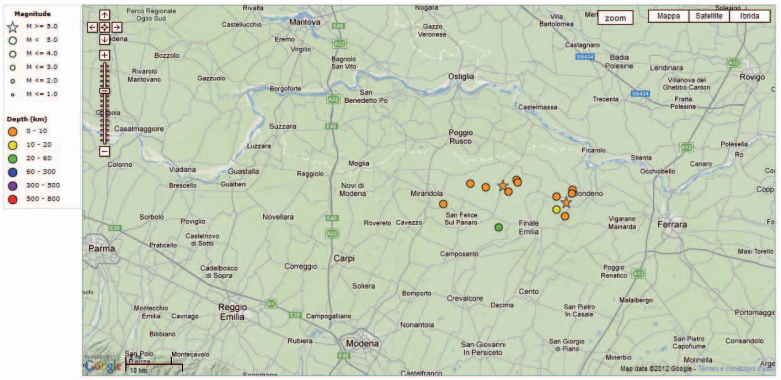

Figura 5
Mappa degli epicentri relativa agli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 4.0 occorsi fra il 19 maggio ed il 21 maggio 2012 (fonte INGV, www.iside.rm.ingv.it).

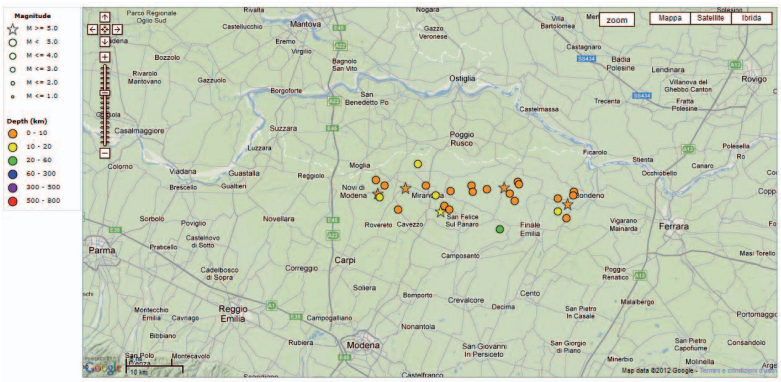

Figura 6
Mappa degli epicentri relativa agli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 4.0 occorsi fra il 19 maggio ed il 30 maggio 2012 (fonte INGV, www.iside.rm.ingv.it).

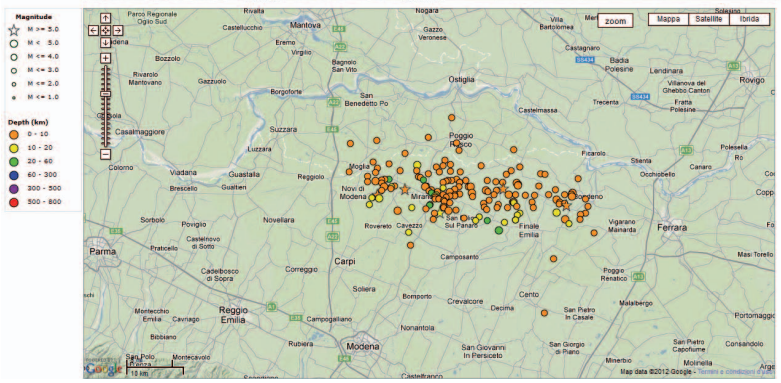

Figura 7
Mappa degli epicentri relativa agli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 3.0 occorsi fra il 20 maggio ed il 30 luglio 2012 (fonte INGV, www.iside.rm.ingv.it).

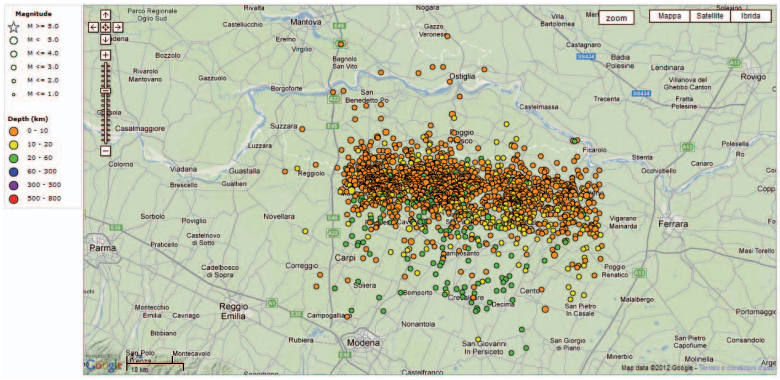

Figura 8
Mappa degli epicentri relativa agli eventi con magnitudo maggiore o uguale a 2.0 occorsi fra il 20 maggio ed il 30 luglio 2012 (fonte INGV, www.iside.rm.ingv.it).

Tabella 1 – Caratteristiche degli eventi di magnitudo ≥ 4 registrati fra il 19 maggio ed il 3 giugno 2012 dalla rete accelerometrica Italiana (fonte INGV tramite database ISIDe)

Data	Ora (UTC)	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Profondità (km)	Magnitudo Ml
19/05/2012	23:13:27	44.898	11.258	6.20	4.1
20/05/2012	02:03:52	44.889	11.228	6.30	5.9
20/05/2012	02:06:30	44.886	11.189	7.70	4.8
20/05/2012	02:07:31	44.863	11.370	5.00	5.1
20/05/2012	02:11:46	44.840	11.367	7.80	4.3
20/05/2012	02:12:42	44.823	11.218	20.40	4.3
20/05/2012	02:21:53	44.892	11.155	5.00	4.1
20/05/2012	02:25:05	44.871	11.348	10.00	4.0
20/05/2012	02:35:37	44.876	11.548	10.00	4.0
20/05/2012	02:39:10	44.894	11.261	5.20	4.0
20/05/2012	03:02:50	44.860	11.095	10.00	4.9
20/05/2012	09:13:21	44.879	11.241	3.10	4.2
20/05/2012	13:18:02	44.831	11.490	4.70	5.1
20/05/2012	13:21:06	44.882	11.383	2.40	4.1
20/05/2012	17:37:14	44.876	11.382	3.20	4.5
21/05/2012	16:37:31	44.851	11.348	10.40	4.1
23/05/2012	21:41:18	44.868	11.251	4.80	4.3
25/05/2012	13:14:05	44.883	11.108	10.0	4.0
27/05/2012	18:18:45	44.882	11.158	4.70	4.0
28/05/2012	1:06:27	39.859	16.118	3.00	4.3
29/05/2012	7:00:03	44.851	11.086	10.20	5.8
29/05/2012	8:25:51	44.901	10.943	3.20	4.5
29/05/2012	8:27:23	44.854	11.106	10.0	4.7
29/05/2012	8:40:58	44.892	10.962	5.30	4.2
29/05/2012	9:30:21	44.892	11.053	1.20	4.2
29/05/2012	10:55:57	44.888	11.008	6.8	5.3
29/05/2012	11:00:02	44.873	10.950	11.0	4.9
29/05/2012	11:00:25	44.879	10.947	5.4	5.2
29/05/2012	11:07:05	44.876	11.076	15.00	4.0
31/05/2012	14:58:21	44.880	10.867	5.80	4.0
31/05/2012	19:04:04	44.891	10.980	8.70	4.2
03/06/2012	19:20:43	44.899	10.943	9.20	5.1

L'evento dello scorso 20 maggio si è generato lungo una struttura sismogenetica ricoperta di sedimenti della Pianura Padana secondo un meccanismo a faglia rovescia. Le stazioni accelerometriche che hanno registrato lo scuotimento, appartenenti alla Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) ed alla Rete Accelerometrica dell'Italia Settentrionale (RAIS), hanno riscontrato un'accelerazione di picco al suolo massima pari a 0.264 g ad una distanza di circa 16 km dall'epicentro.

Si ricorda, in particolare, che la Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) è gestita dal DPC e consta di 304 stazioni collegate al Centro di acquisizione RAN di Roma, In configurazione finale, è prevista una maglia di circa 30 km

nelle aree a maggior rischio sismico. Informazioni di dettaglio sulle caratteristiche della rete RAN sono disponibili direttamente sul sito web del DPC (www.protezionecivileitaliana.it) nella sezione "Rischio sismico", così come i rapporti relativi agli ultimi eventi registrati. Le registrazioni delle rete RAIS sono invece disponibili al sito http://accel.mi.ingv.it/.

Nelle successive Figure da 9 a 12 sono riportate le caratteristiche di scuotimento in termini di storia di accelerazione, velocità e spostamento e dei corrispondenti spettri, registrate nei giorni 20 e 29 maggio dalla stazione RAN di Mirandola, scelta come riferimento in questo dossier perché è la più vicina all'epicentro (circa 16 km).

Nelle figure da 13 a 20 sono riportate invece le registrazioni delle stazioni RAIS di Mantova e Milano. Ulteriori registrazioni di altre stazioni sono state elaborate dalla Protezione Civile e rese disponibili in appositi report scaricabili dal sito web http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/ oppure da http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy/.

È importante rilevare dalle figure seguenti, in particolare osservando i grafici relativi agli spettri elaborati dalle registrazioni della stazione di Mirandola del 20 maggio, l'elevata accelerazione di picco al suolo della componente verticale (PGA = 0.3g) e la sua elevata amplificazione, comunque racchiusa in un intervallo molto ristretto di bassi valori di periodo (< 0.2 s). Le componenti orizzontali hanno PGA simili fra loro, pari a 0.26g ed amplificazioni massime riscontrabili per periodi inferiori a 0.5 s (componente Est-Ovest) e 1.0 s (componente Nord-Sud). Gli spostamenti orizzontali massimi sono pari a circa 15 cm e 21 cm in corrispondenza di valori di periodo T = 1.8 s e T = 1.7 s, rispettivamente per la componente Est-Ovest e per quella Nord-Sud. Lo spostamento verticale massimo è prossimo a 3 cm per periodi molto elevati (T = 3 s) e dell'ordine dei 2 cm per periodi T inferiori a 2 s.

Le registrazioni della stessa stazione effettuate il 29 maggio alle 7:00:03 (ora UTC) sono caratterizzate da PGA pari a circa 0.22g e 0.28g rispettivamente per la componente Est-Ovest e Nord-Sud. La componente verticale è caratterizzata da un valore di PGA molto elevato, da confermare nelle prossime elaborazioni.

Nelle successive Figure da 13 a 20 sono riportate le registrazioni delle stazioni RAIS MNTV (Mantova) a 45.51 km di distanza dall'epicentro e RAIS MILN (Milano), situata ad una distanza dall'epicentro pari a 172.75 km, effettuate nelle giornate del 20 e 29 maggio. Ricordando che la distanza epicentrale della stazione RAN di Mirandola è approssimativamente 13 km, ci si limita ad osservare i valori ridotti di PGA, dell'ordine di 0.025g e 0.018g per le componenti orizzontale e verticale di Mantova e 0.003g e 0.0004g per Milano.

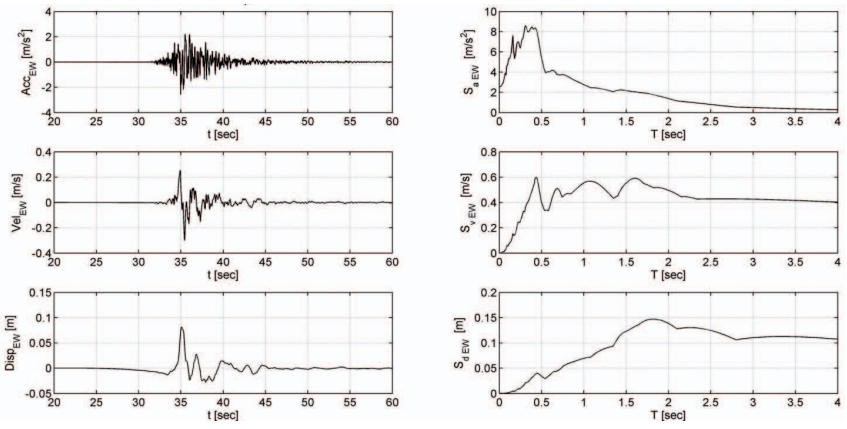

Figura 9
Registrazioni della stazione RAN di Mirandola (MO) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:52: nella colonna di sinistra sono rappresentati gli scuotimenti in termini di accelerazione, di velocità e di spostamento della componente Est-Ovest; nella colonna di destra sono raffigurati i corrispondenti spettri (fonte: Protezione Civile Italiana tramite www.terremotoemilia.it).

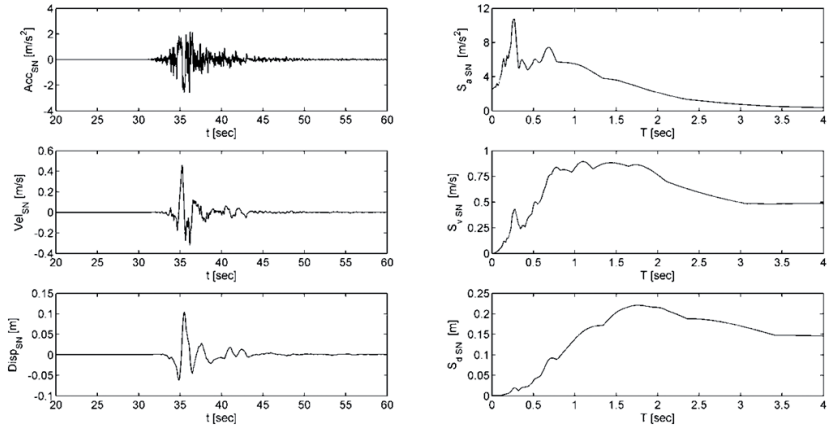

Figura 10
Registrazioni della stazione RAN di Mirandola (MO) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:52: nella colonna di sinistra sono rappresentati gli scuotimenti in termini di accelerazione, di velocità e di spostamento della componente Nord-Sud; nella colonna di destra sono raffigurati i corrispondenti spettri (fonte: Protezione Civile Italiana tramite www.terremotoemilia.it).

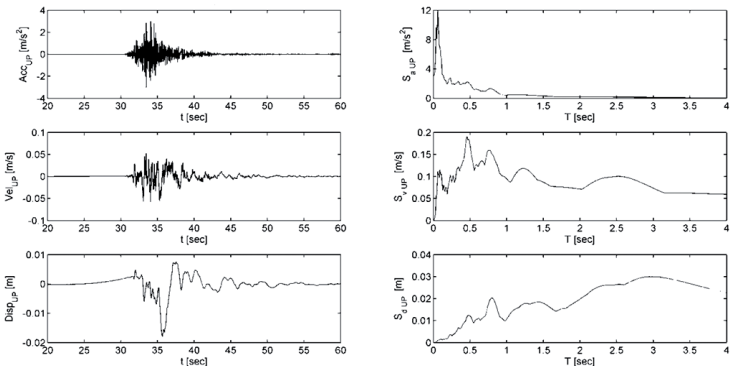

Figura 11
Registrazioni della stazione RAN di Mirandola (MO) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:52: nella colonna di sinistra sono rappresentati gli scuotimenti in termini di accelerazione, di velocità e di spostamento della componente verticale; nella colonna di destra sono raffigurati i corrispondenti spettri (fonte: Protezione Civile Italiana tramite www.terremotoemilia.it).

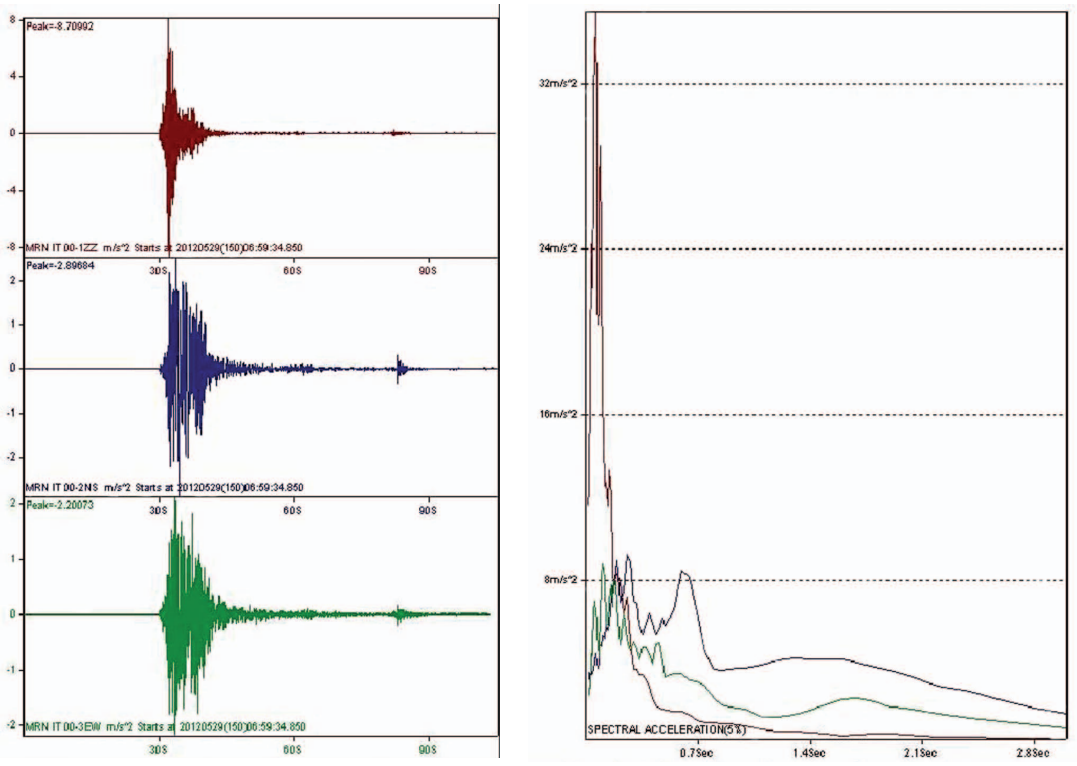

Figura 12
Registrazioni della stazione RAN di Mirandola (MO) dell'evento del 29 maggio ora UTC 7:00:03: nella colonna di sinistra sono rappresentati gli scuotimenti in termini di accelerazione in direzione verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest; nella colonna di destra sono raffigurati i corrispondenti spettri (fonte: Protezione Civile Italiana tramite www.terremotoemilia.it).

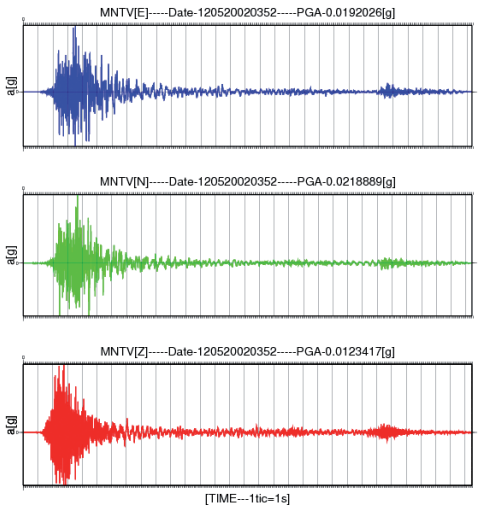

Figura 13
Registrazioni della stazione RAIS MNTV (Mantova) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:53: dati di scuotimento in termini di accelerazione in direzione Est-Ovest, Nord-Sud e verticale, fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

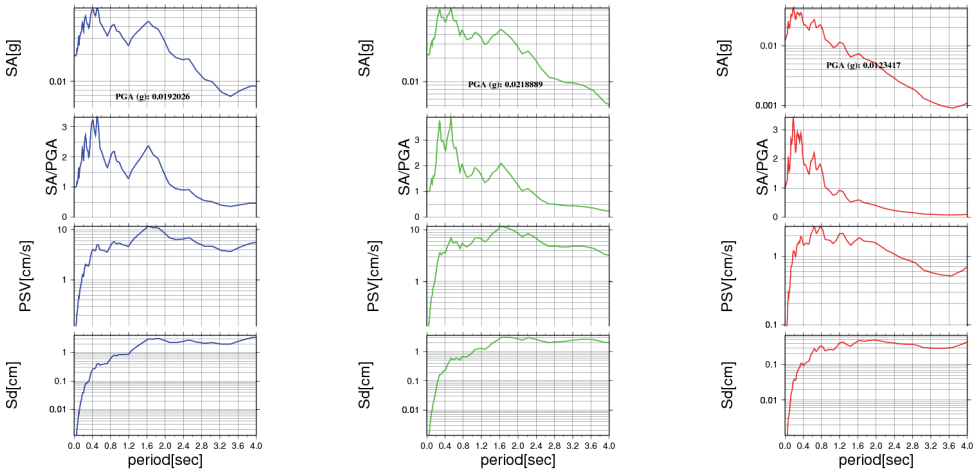

Figura 14
Elaborazioni delle registrazioni della stazione RAIS MNTV (Mantova) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:53: spettri in accelerazione, in accelerazione normalizzata rispetto alla PGA, in velocità ed in spostamento delle componenti in direzione Est-Ovest (a sinistra), Nord-Sud (al centro) e verticale (a destra) , fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

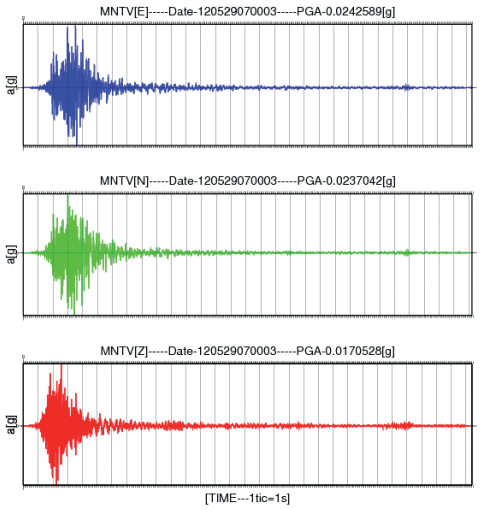

Figura 15
Registrazioni della stazione RAIS MNTV (Mantova) dell'evento del 29 maggio ora UTC 7:00:03: dati di scuotimento in termini di accelerazione in direzione Est-Ovest, Nord-Sud e verticale, fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

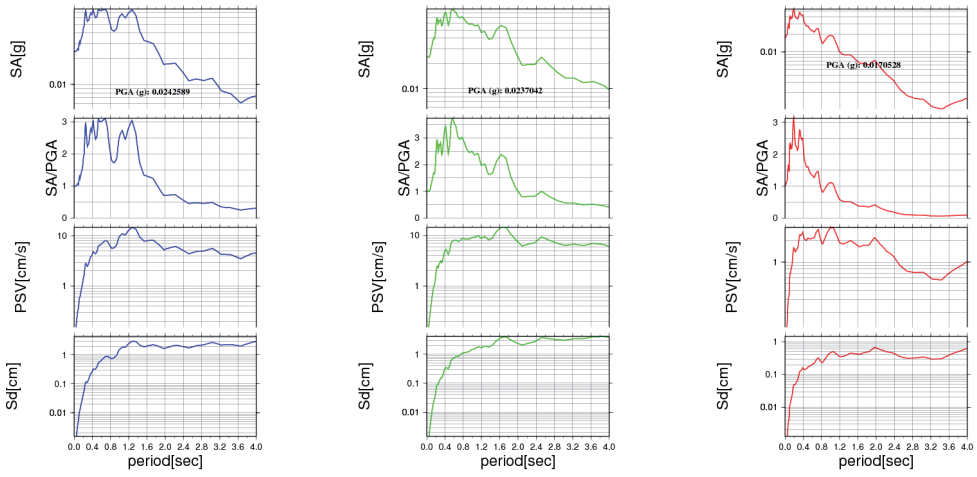

Figura 16
Elaborazioni delle registrazioni della stazione RAIS MNTV (Mantova) dell'evento del 29 maggio ora UTC 7:00:03: spettri in accelerazione, in accelerazione normalizzata rispetto alla PGA, in velocità ed in spostamento delle componenti in direzione Est-Ovest (a sinistra), Nord-Sud (al centro) e verticale (a destra) , fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

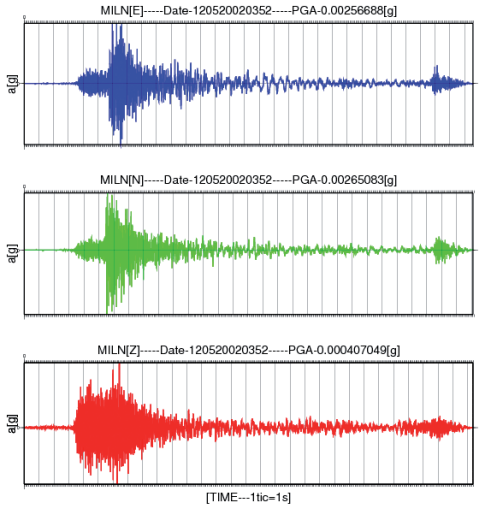

Figura 17
Registrazioni della stazione RAIS MILN (Milano) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:53: dati di scuotimento in termini di accelerazione in direzione Est-Ovest, Nord-Sud e verticale, fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

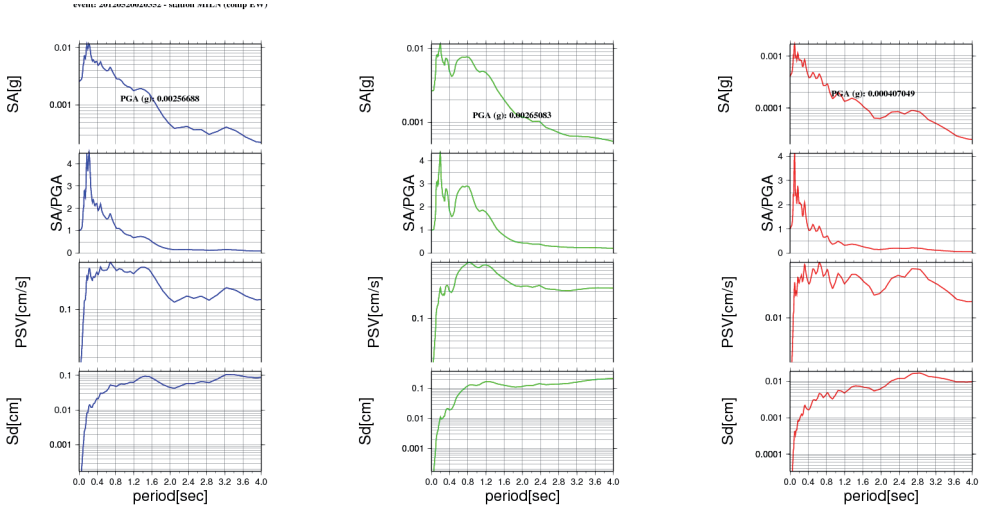

Figura 18
Elaborazioni delle registrazioni della stazione RAIS MILN (Milano) dell'evento del 20 maggio ora UTC 2:03:53: spettri in accelerazione, in accelerazione normalizzata rispetto alla PGA, in velocità ed in spostamento delle componenti in direzione Est-Ovest (a sinistra), Nord-Sud (al centro) e verticale (a destra), fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

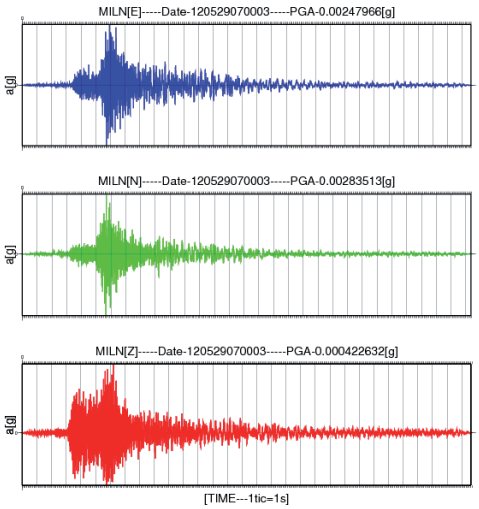

Figura 19
Registrazioni della stazione RAIS MILN (Milano) dell'evento del 29 maggio ora UTC 7:00:03: dati di scuotimento in termini di accelerazione in direzione Est-Ovest, Nord-Sud e verticale, fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

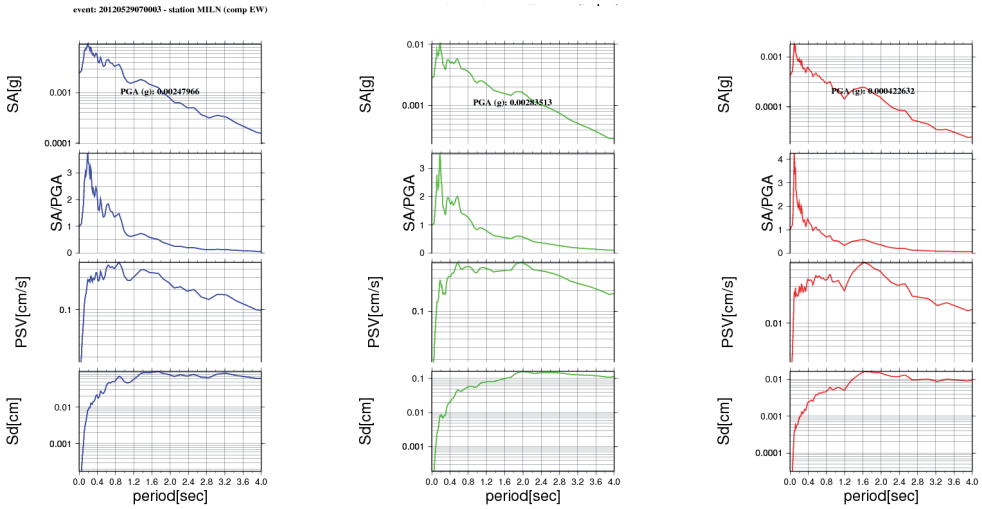

Figura 20
Elaborazioni delle registrazioni della stazione RAIS MILN (Milano) dell'evento del 29 maggio ora UTC 7:00:03: spettri in accelerazione, in accelerazione normalizzata rispetto alla PGA, in velocità ed in spostamento delle componenti in direzione Est-Ovest (a sinistra), Nord-Sud (al centro) e verticale (a destra) , fonte INGV http://accel.mi.ingv.it/.

Un'ulteriore importante valutazione è il confronto fra gli spettri di progetto attesi in accordo con il D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC08) e i dati registrati dalle stazioni più vicine all'epicentro. Nelle Figure 21 e 22 sono rappresentati gli spettri elastici previsti dalle NTC08, valutati in funzione delle differenti categorie stratigrafiche di terreno (da A a D), confrontati con le elaborazioni delle registrazioni della stazione di Mirandola del 20 maggio e del 29 maggio, per due differenti periodi di ritorno, rispettivamente pari a T = 475 e 2475 anni (Chioccarelli et al, 2012a, 2012b). Limitatamente a queste registrazioni, in entrambi gli eventi sismici si possono notare accelerazioni di picco superiori ai valori previsti dalle NTC08, in particolar modo per quanto riguarda la componente verticale dello scuotimento. Questi dati, elaborati da Reluis, la Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (www.reluis.it), sono discussi in maggiore dettaglio nell'interessante articolo di Iunio Iervolino, pubblicato in questo numero della rivista. Se ne consiglia vivamente la lettura, per evitare di formulare ora conclusioni fuorvianti legate alla brevità di questo dossier ed al fatto che una razionale valutazione della pericolosità non dovrebbe essere legata all'osservazione di un singolo evento sismico.

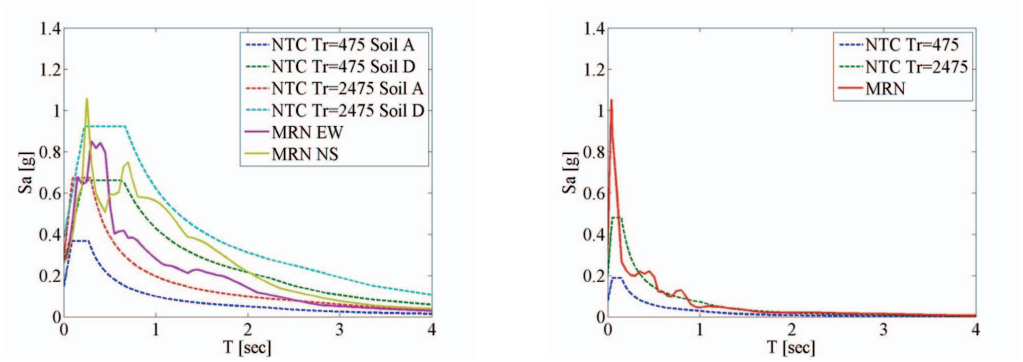

Figura 21
Confronto fra gli spettri di risposta elastici ottenuti da registrazioni nella stazione di Mirandola e gli spettri previsti da normativa (NTC08) – evento del 20 maggio 2012, fonte Reluis (www.reluis.it).

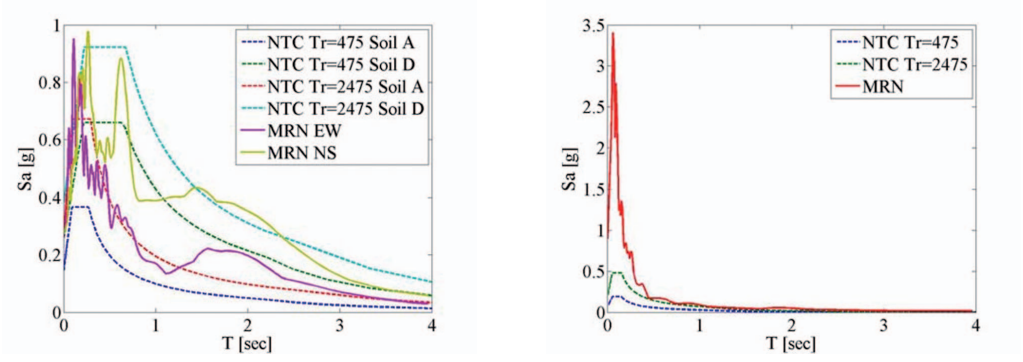

Figura 22
Confronto fra gli spettri di risposta elastici ottenuti da registrazioni nella stazione di Mirandola e gli spettri previsti da normativa (NTC08) – evento del 29 maggio 2012, fonte Reluis (www.reluis.it).

Secondo le informazioni disponibili in letteratura, la Pianura Padana ha subìto un numero limitato di eventi sismici minori nel corso della storia, in particolare l'area geografica colpita dagli eventi del 20 e 29 maggio non è caratterizzata da eventi particolarmente degni di nota. Questo dato, però, potrebbe anche semplicemente significare che non esistono evidenze storiche sui luoghi eventualmente colpiti dal sisma. Esistono comunque alcune eccezioni: la più importante è rappresentata dal terremoto di magnitudo 5.5 che il 17 novembre 1570 ha colpito la città di Ferrara e le zone circostanti. La magnitudo di questo evento, stimata sulla base della descrizione dei danneggiamenti delle costruzioni, è associabile all'VIII grado della scala MCS (INGV, 2012b). Ulteriori terremoti storici segnalati in letteratura sono quello del 9 gennaio 1411, anch'esso con epicentro nella zona di Ferrara (intensità epicentrale stimata: VII grado MCS), e quello del 17 marzo 1574, in cui l'area maggiormente interessata è stata quella di Finale Emilia (intensità epicentrale stimata: VI grado MCS). Altri terremoti più recenti sono quelli dell'11 luglio 1987 (magnitudo 5.4), con epicentro fra Modena e Ferrara, e del 17 luglio 2011 in provincia di Reggio Emilia (magnitudo 4.7).
È invece storicamente noto come la regione appenninica più a sud della zona colpita dagli eventi sismici di maggio 2012 sia caratterizzata da un'attività sismica maggiormente frequente e significativa, associabile ad un livello di pericolosità sismica più elevato, come evidenziato dalla Figura 23, in cui è rappresentata la distribuzione degli eventi sismici degli ultimi 6 anni e mezzo nelle zone sopraccitate.

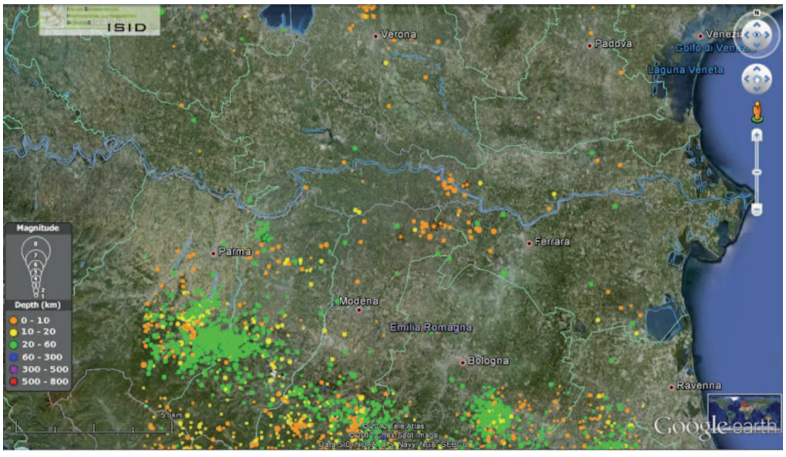

Figura 23
Confronto della distribuzione di eventi sismici nella zona nord appenninica ed in quella della regione Emiliana, fonte www.iside.rm.ingv.it.

orologio.
Proprio queste due tipologie, capannoni industriali ed edifici monumentali, sono state pesantemente danneggiate dagli eventi di maggio e giugno in termini sia di quantità di strutture colpite, sia di estensione e severità del danno. Se ci si sofferma sul solo patrimonio abitativo, invece, i danni severi riscontrati sono più contenuti, eccezion fatta per i centri storici ed alcune zone rurali, dove sono state riscontrate tipologie strutturali maggiormente vulnerabili. Proprio per questo motivo, per quanto riguarda le costruzioni in muratura, è fondamentale distinguere fra edifici residenziali esistenti e di nuova progettazione, in quanto i secondi hanno subito un danneggiamento molto limitato rispetto ai primi, soprattutto se questi ultimi sono poco recenti e contraddistinti da scarsa manutenzione. Fra gli eventi recentemente occorsi, quelli del 29 maggio sono stati i più distruttivi, probabilmente per due ragioni: le scosse hanno colpito strutture già danneggiate dalle scosse del 20 maggio, gli epicentri si sono manifestati più vicini ai centri abitati, sebbene è opportuno sottolineare che è stata osservata anche una decisa attenuazione degli effetti lontano dall'epicentro, in particolar modo in direzione nord-sud. Il livello di allerta legato al numero di potenziali vittime dovuto alle scosse sismiche è di tipo giallo. In termini di perdite economiche, invece, il terremoto ha causato un danneggiamento ampiamente diffuso che può essere associato ad un livello di allerta arancione. Tenendo presente che in passato un tale livello di allerta ha comportato un intervento a scala Regionale, se non addirittura Nazionale, le perdite economiche sono quantificabili in meno

2. Rilevamento dei danni

2.1. Inquadramento generale

L'area geografica colpita dal sisma è una zona industriale nota anche per il suo patrimonio storico-artistico caratterizzato in particolar modo da Chiese con torri campanarie oppure da torri con

di un punto percentuale di PIL. (Figura 24, fonte USGS, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/pager/events/us/b0009tk0/). In Figura 24 è inoltre definita una correlazione fra il potenziale danneggiamento strutturale e l'intensità espressa in gradi della scala Mercalli modificata.

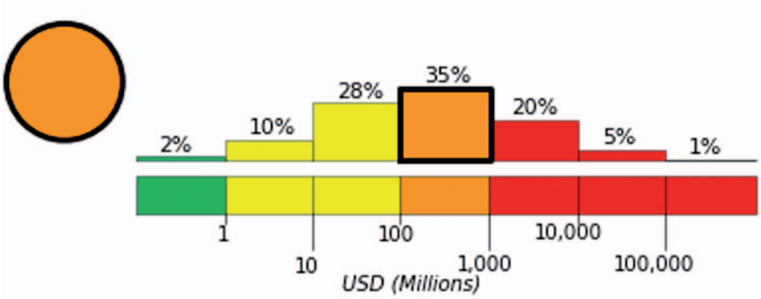

Figura 24
Livello di allerta relativo alle perdite di tipo economico e correlazione fra il potenziale danneggiamento strutturale e l'intensità espressa in gradi della scala Mercalli modificata (fonte USGS, http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/pager/events/us/b0009tk0/).

Estimated Population Exposed to Earthquake Shaking

Estimated Modified Mercalli Intensity		I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Est. Population Exposure		---*	10,917k*	6,077k	975k	236k	46k	0	0	0
Perceived Shaking		Not Felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very Strong	Severe	Violent	Extreme
Potential Structure Damage	Resistant	none	none	none	V. Light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy
	Vulnerable	none	none	none	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	V. Heavy	V. Heavy

*Estimated exposure only includes population within calculated shake map area

Esaminando in modo estremamente generale le singole tipologie strutturali e le infrastrutture, o i fenomeni che ne hanno provocato il danneggiamento, è stato riscontrato quanto segue:

• **Capannoni industriali:** sono stati rilevati danni molto estesi e collassi in molte delle strutture appartenenti a questa tipologia. Il danneggiamento maggiormente ricorrente osservato è dato dalla perdita di appoggio delle travi a causa della mancanza di appropriati sistemi di collegamento fra gli elementi orizzontali di copertura e quelli verticali in elevazione (Figura 25). Ulteriori danni ricorrenti sono legati alla perdita di appoggio dei tegoli, non sempre appropriatamente vincolati alle travi di copertura, ed alla rottura dei collegamenti fra i pannelli di chiusura e la struttura, con conseguente caduta dei pannelli, apparentemente non danneggiati.

• **Ponti:** la rete dei trasporti è stata pesantemente condizionata dagli eventi sismici occorsi. I ponti, infatti, sono stati interessati da svariati meccanismi fra i quali: il disassamento trasversale delle campate dell'impalcato fino a circa 30 cm (Figura 26), il martellamento delle travi in direzione longitudinale, l'elevata fessurazione in corrispondenza dei giunti e delle spalle, spostamenti residui in direzione longitudinale fino a circa 20 cm dovuti sia agli eventi principali del 20 maggio, sia alle scosse successive.

• **Strutture monumentali e Chiese:** molti campanili e torri con orologio sono stati distrutti parzialmente o completamente. Le facciate delle Chiese, in diversi casi, sono state prossime al collasso in corrispondenza degli eventi del 20 maggio, per poi subire l'attivazione di un meccanismo di collasso vero e proprio durante le scosse dei giorni successivi, in particolare di quelle del 29 maggio (Figura 27). È da notare che molti collassi sono stati resi possibili anche dal fatto che gli edifici appartenenti a questa tipologia, pur includendo strutture importanti e di dimensioni geometriche rilevanti, raramente erano provvisti di sistemi di rinforzi quali catene o tiranti, come riscontrato durante i sopralluoghi effettuati. Anche diverse strutture monumentali hanno pesantemente sofferto gli effetti delle scosse avvenute ripetutamente nel corso dei giorni, manifestando un pesante danneggiamento progressivo, fino a crolli parziali o totali (Figura 28)

• **Edifici residenziali:** le caratteristiche delle abitazioni e la loro vulnerabilità sismica sono da suddividere in funzione della loro tipologia, che varia in genere in funzione della loro ubicazione. Secondo una prima stima, sono state rilevate molte strutture in calcestruzzo armato potenzialmente di medio-bassa duttilità con tamponature in blocchi forati di laterizio, ma anche diversi edifici in muratura non armata, particolarmente nelle zone rurali (Figura 29). Il danneggiamento maggiore è stato riscontrato nel caso di vecchi edifici in muratura caratterizzati da una scarsa manutenzione, ma in generale la maggioranza delle strutture abitative ha risposto bene agli effetti del sisma, indipendentemente dalla tipologia.

• **Effetti geologici:** dissesti (Figura 30) e differenti fenomeni di liquefazione (sand blows e sinkholes) sono stati riscontrati in diverse zone, particolarmente nel paese di San Carlo (Figura 31), frazione di Sant'Agostino (FE), situato a circa 17 km dall'epicentro della scossa principale del 20 maggio, da dove sono giunte le prime segnalazioni. Fra gli altri luoghi colpiti, sono da indicare i paesi di San Felice sul Panaro (Figura 32) e Mirabello. Questo fenomeno,

manifestatosi in modo eccezionale negli ultimi terremoti che hanno colpito la Nuova Zelanda, non è comunque una novità nemmeno per l'Italia. Fenomeni di liquefazione, infatti, si sono manifestati in conseguenza a terremoti storici occorsi negli ultimi secoli, così come nel caso del sisma che ha colpito Ferrara nel 1570. Sarà sicuramente importante ed interessante studiare il motivo per cui questo fenomeno abbia interessato le zone sopraccitate solo in occasione degli eventi del 20 marzo e non anche dopo le scosse dei giorni e delle settimane successive.

Figura 25
Crollo della copertura di un capannone industriale a Mirabello (FE)

Figura 26
Disassamento dell'impalcato di un ponte

Figura 27
Chiesa di san Giacomo a Mirandola (MO) dopo le scosse del 20 maggio (sinistra) e dopo quelle del 29 maggio (destra).

Figura 28
Danneggiamento del Municipio di Sant'Agostino (FE) dopo le scosse del 20 maggio (a sinistra) e dopo quelle del 29 maggio (a destra)

Figura 29
Danni al patrimonio edilizio-residenziale a Finale Emilia (FE).

Figura 30
Dissesti in corrispondenza della carreggiata stradale (a sinistra) e dei marciapiedi (a destra) con conseguente danneggiamento alle strutture a San Carlo, frazione di Sant'Agostino (FE).

Figura 31
Liquefazione a San Carlo, frazione di Sant'Agostino (FE).

Figura 32
Liquefazione al campo sportivo di San Felice sul Panaro (MO).

Per quanto riguarda l'intervento sul campo coordinato dalla Protezione Civile e dalla regione Emilia-Romagna, i rapporti, aggiornati a metà giugno, parlavano di assistenza a circa 16000 persone e rilievi effettuati già su quasi 7000 edifici, situazione che si è evoluta nel tempo con la riduzione di persone bisognose di sistemazione provvisoria e con l'incremento del numero di rilievi per le valutazioni di agibilità. In maggiore dettaglio:

• **Gestione dell'emergenza – sistemazioni temporanee ed assistenza:** il 12 giugno un totale di 16000 persone ha ricevuto assistenza nei 45 campi e nelle 65 strutture al chiuso (caserme, palestre, scuole) predisposte fra Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto. La grande maggioranza delle persone (14400) è stata direttamente assistita in Emilia, ripartite in 9800 ospiti in campi tenda, 2200 in 53 strutture al coperto e 2400 in alberghi. In Lombardia 1200 persone hanno trovato sistemazione provvisoria in 10 campi tenda e 200 in 11 strutture coperte. In Veneto il numero di persone che ha necessitato di assistenza è già sceso rispetto alle prime ore dopo il sisma, assestandosi a soli 15 unità, ospitate in un'unica struttura coperta. A fine luglio, le aree di accoglienza ancora attive in Emilia erano 28, per un totale di 5800 persone ospitate, la quasi totalità in provincia di Modena. Includendo anche le strutture al coperto, invece, il numero totale di persone assistite in Emilia è sceso a 8200 (ulteriormente ridimensionato a 7427 ai primi di agosto). In aggiunta, sono state avviate le operazioni di chiusura dei campi in accordo con le indicazioni della Dicomac, la struttura di cui il Capo del Dipartimento della Protezione Civile si avvale per gestire la prima fase dell'emergenza legata al terremoto, le cui attività si sono concluse il 2 agosto con il passaggio delle consegne nella gestione dell'emergenza ai Presidenti delle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto, nominati Commissari delegati dall'art. 1 del decreto legge n. 74/2012. In due mesi la Dicomac, ha gestito l'assistenza alla popolazione, le verifiche di agibilità, l'autorizzazione alla spesa per gli interventi provvisionali urgenti e l'attività di divulgazione delle informazioni necessarie ai cittadini. In Lombardia l'ultima area di accoglienza è stata dismessa il 27 luglio (fonte: Protezione Civile Italiana, News da http://www.protezionecivile.gov.it/jcms)

• **Dati sui rilievi di agibilità:** prima del 12 giugno sono state ispezionate 6700 strutture di cui 37% agibili, 33% inagibili, 5% inagibili per causa esterna, il restante 25% temporaneamente o parzialmente inagibili. Nei primi giorni di agosto, il numero degli edifici interessato dalle verifiche di agibilità tramite scheda AeDES è salito a più di 39000, di cui più di 37000 in Emilia-Romagna (la grande maggioranza delle quali in provincia di Modena, che è risultata essere la zona più colpita dal sisma), 1751 in Lombardia e 371 in Veneto. Il 37% degli edifici rilevati in Emilia Romagna è risultato agibile, mentre quelli inagibili per danni propri e per cause esterne è pari a 28% (fonte: Protezione Civile Italiana, News da http://www.protezionecivile.gov.it/jcms).

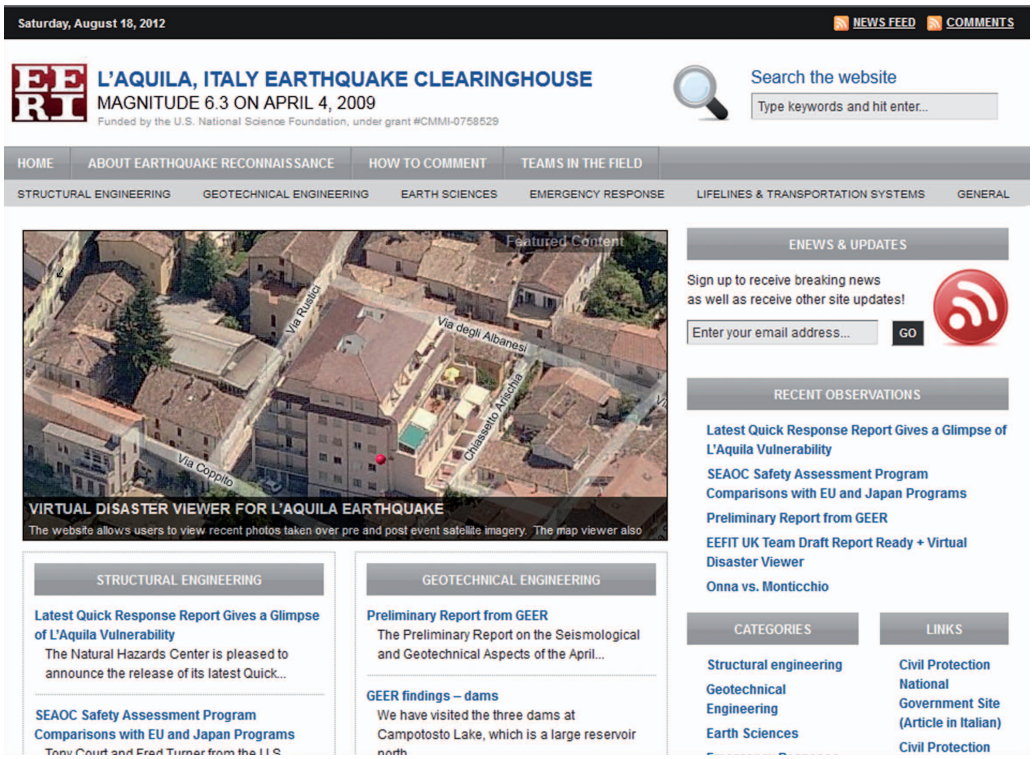

Figura 33
Homepage del Clearinghouse EERI relativo al terremoto dell'Aquila e di quello Eucentre-EERI dedicato all'Emilia, per la prima volta anche in italiano (nella pagina seguente)

2.2. L'attività di Eucentre

L'attività di Eucentre si è sviluppata su due fronti: l'intervento sul campo e l'attività di divulgazione. Entro 48 ore dopo il terremoto del 20 maggio un primo gruppo composto da 12 esperti (tra cui 8 ingegneri e 3 tecnici) era presente nelle zone maggiormente colpite e, contemporaneamente, un'unità di intervento costituita dai responsabili delle singole aree di ricerca ha lavorato in sede per realizzare una collaborazione con l'Earthquake Engineering Research Institute (EERI) di Oakland (California), per la creazione di un portale web finalizzato alla raccolta ed alla diffusione delle informazioni in modo organizzato (Clearinghouse per l'Emilia, http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy, Figura 33). Il formato di tale portale web è stato ideato e realizzato quasi 40 anni fa nell'ambito di uno specifico progetto di ricerca e, da allora, è efficacemente utilizzato in ambito Internazionale per gestire e divulgare le informazioni legate ai terremoti (http://www.eqclearinghouse.org/) ed alle calamità naturali in genere. Il portale dedicato all'Emilia è suddiviso in una parte generale in cui è possibile trovare una spiegazione su cos'è un Clearinghouse, le istruzioni su come caricare un aggiornamento (operazione consentita a chiunque fosse interessato) una mappa interattiva ed i rapporti caricati dalle varie squadre che hanno partecipato ai rilievi sul territorio. Ulteriori report, mappe e materiale fotografico sono invece raggruppati per aree tematiche quali geotecnica, sismologia e pericolosità, danni alle strutture, telerilevamento.

L'attività sul campo è stata finalizzata alle ispezioni ed alle verifiche di agibilità su edifici e infrastrutture, cercando di accogliere con la maggiore celerità possibile le richieste veicolate dal coordinamento della Protezione Civile e dalla Regione Emilia Romagna. Diverse squadre di esperti, composte anche da Professionisti, si sono alternate sul territorio dal 21 maggio fino alla prima settimana di luglio per effettuare rilievi specialistici di valutazione avanzata, ispezioni di agibilità ordinarie su strutture industriali, abitative e pubbliche e ricognizioni di danni a strutture e infrastrutture.

Le attività specialistiche sono state condotte nelle prime due settimane in diversi ambiti, in particolar modo per ispezionare 3 complessi ospedalieri (a Mirandola, a Finale Emilia e a Bondeno), per la valutazione numerico-sperimentale della vulnerabilità di alcuni edifici strategici attraverso l'applicazione di procedure di valutazione semplificata e per condurre indagini geofisiche nell'area di San Carlo, dove sono stati osservati con maggior evidenza i fenomeni di liquefazione. In questa fase sono stati rilevati anche un numero consistente di capannoni industriali sia mediante schede AeDES, sia con le schede definite appositamente per questa tipologia strutturale nell'ambito del Gruppo di Lavoro interistituzionale composto da Protezione Civile, Regioni e Province Autonome, Reluis ed Eucentre. Tali schede saranno rese disponibili al termine dei lavori di tale gruppo istituito mediante Decreto DPC n. 827 del 5 marzo 2012. Dalle attività specialistiche sono stati prodotti 6 report consultabili

dal Clearinghouse.
Le ultime 4 settimane sono state dedicate al supporto delle ispezioni per l'agibilità degli edifici civili, in gran parte privati ma anche alcune strutture pubbliche, sotto il coordinamento della Protezione Civile. In parallelo sono state condotte anche ulteriori missioni per il rilievo e la documentazione dei danni a strutture e infrastrutture, nonché rilievi geotecnici per individuare effetti di sito indotti dallo scuotimento sismico. Da queste attività sono stati prodotti 3 rapporti (Strutture in muratura, Ponti, Aspetti Geotecnici). L'intero lavoro sul campo è stato supportato dalle attività di tipo tecnologico, logistico e tecnico svolte dal personale in sede.
Report giornalieri sono stati prodotti dalle squadre operative su campo, ed un rapporto conclusivo, contenente la descrizione dell'attività svolta e l'individuazione delle criticità e delle vie di sviluppo delle attività condotte nell'ambito dell'emergenza, è stato redatto alla fine della missione.

2.3. Danni ai capannoni industriali

La descrizione del danneggiamento subìto dai capannoni industriali nelle zone interessate dal sisma merita un breve approfondimento, sia per la tipologia dei capannoni stessi, sia per la grande diffusione di queste strutture, la cui interruzione delle attività ha causato perdite economiche importanti.
È stato riscontrato come svariati capannoni costruiti negli scorsi decenni, in accordo con le normative dell'epoca che non prevedevano particolari requisiti sismici oppure non ne prevedevano allo stesso livello di quelli attuali, hanno subìto collassi parziali o globali. Com'è noto, nel 2003 la zona è stata classificata sismica con una PGA massima di 0.15g (Zona 3). Com'è altresì noto, l'attuale normativa sismica (D.M. 14 gennaio 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni"), che ha introdotto una nuova classificazione e differenti criteri per la determinazione dell'input sismico, è diventata cogente nel luglio del 2009.
Per questi motivi, la grande maggioranza dei capannoni rilevati è realizzata senza particolari dettagli sismici, con elementi prefabbricati in c.a., compresi i pannelli di chiusura, e con elementi orizzontali precompressi; sono comunque presenti diverse eccezioni, come elementi in c.a. in opera oppure tamponamenti in muratura. Solitamente, lo schema più semplice con cui sono realizzate tali strutture è riconducibile ad una serie di portali paralleli, con pilastri inghisati in plinti a bicchiere appoggiati su fondazioni quadrate discontinue e travi non monoliticamente vincolate ai pilastri. Ogni portale è collegato a quelli adiacenti mediante gli elementi di copertura (tegoli binervati o lastre alveolari, entrambi precompressi, sono le soluzioni più pesanti e ricorrenti, ma non le uniche), che possono essere appoggiati oppure vincolati alle travi in vari modi. Una funzione minore è svolta dalle travi longitudinali (cioè orientate nella stessa direzione dei tegoli), perché funzionano come travi-gronda e comunque sono vincolate ai portali in modo da non sviluppare un'azione controventante.
Secondo una prima valutazione, la risposta sismica delle strutture rilevate, pur nelle loro varianti strutturali, può essere caratterizzata da una elevata flessibilità, ad eccezione degli edifici con pannelli prefabbricati in c.a. infilati nei pilastri, oppure con tamponamenti in muratura, se sufficientemente resistenti. In generale, in via preliminare, si possono ipotizzare i punti di potenziale debolezza elencati di seguito.

- **I collegamenti fra gli elementi** non sempre sono presenti, nel senso che diverse strutture ispezionate hanno gli elementi in semplice appoggio, ed in questo caso è da valutare l'adeguatezza della superficie di appoggio stessa, non tanto per il corretto trasferimento delle sollecitazioni dalla trave al pilastro, quanto per evitare lo scalzamento della trave durante il sisma. Se presenti, i collegamenti trave-pilastro sono realizzati nella maggioranza dei casi mediante barre metalliche o spinotti, mentre quelli fra tegoli e travi sono realizzati con sistemi di squadrette tassellate. In ogni caso, questa tipologia di collegamenti è in grado di trasmettere le forze orizzontali (azioni di taglio) ed eventualmente quelle verticali (azione assiale), ma non il momento flettente, quindi non materializzano connessioni monolitiche e non garantiscono un effetto stabilizzante per la struttura. Il livello di resistenza deve essere valutato per ogni singolo caso.
- **I collegamenti fra i pannelli di chiusura e la struttura** sono realizzati in vari modi a seconda della tipologia del pannello. La soluzione più ricorrente prevede l'utilizzo di profili canale per il collegamento superiore e mensoline metalliche per quello inferiore (pannelli orizzontali) oppure appoggio mediante chiave di taglio al cordolo di fondazione (pannelli verticali). È da tenere presente che nei recenti terremoti, questi collegamenti hanno evidenziato una bassa capacità resistente, causando il distacco e la caduta di molti pannelli dalle strutture.
- **Gli effetti del second'ordine** possono essere particolarmente importanti nelle strutture ispezionate a causa della loro potenziale flessibilità, tanto da limitare le effettive prestazioni sismiche dei pilastri. Questo dato andrebbe comunque valutato e quantificato per ogni singolo caso.
- **Il vincolo alla base** andrebbe valutato verificando l'effettiva conformazione e le carat-

teristiche della fondazione, operazione quasi mai possibile da effettuare in modo diretto. Il soddisfacimento delle ipotesi che garantiscono un incastro perfetto alla base dei pilastri è fondamentale, perché nella grande maggioranza delle tipologie rilevate, l'effetto stabilizzante della struttura nei confronti delle azioni sismiche è demandato interamente a tale vincolo.

• **Gli orizzontamenti** non sempre sono infinitamente rigidi.

• **Le scaffalature interne,** se presenti e non adeguatamente stabilizzate, si sono rivelate fonti di pericolo non trascurabili.

Di seguito a supporto di quanto sopra esposto, si riportano alcune fra le numerose evidenze riscontrate preliminarmente durante i sopralluoghi compiuti fra il 21 maggio ed il 1 giugno.

L'edificio di Figura 34 è un capannone industriale di 400 m^2 destinato ad attività produttiva, situato a San Felice sul Panaro (MO) e costruito all'incirca nel 1975, con un ampliamento realizzato nel 1995.

Durante le scosse del 20 maggio, una trave a doppia pendenza dell'ampliamento, costituito da una struttura prefabbricata a telaio con pilastri di sezione 40 x 35 cm, ha subìto la perdita di appoggio da un estremo, diventando una mensola e spezzandosi a metà per eccessivo taglio, facendo crollare parte della copertura. La trave in questione appoggiava su di un pilastro del capannone adiacente preesistente. Il capannone originario, invece, è stato assoggettato a spostamenti residui fuori piano dei pannelli e delle travi di copertura nella loro direzione longitudinale.

Figura 34
Stabilimento produttivo a San Felice (coordinate geografiche 44.837°, 11.124°): stato di fatto prima del sisma, scalzamento della trave a doppia pendenza dell'ampliamento dal pilastro preesistente e rottura della trave, dettaglio del collegamento trave-pilastro e fuori piano dei pannelli del capannone originario.

Il capannone di Figura 35, un sistema a telaio con pilastri di sezione 40 x 35 cm, ha superficie coperta di 32 x 24 m (pari a 770 m2), è situato a San Felice sul Panaro (MO) è stato costruito approssimativamente nel 1975, ed è adibito ad officina.
Dopo il sisma del 20 maggio sono stati riscontrati: la rottura per taglio delle forcelle in testa ai pilastri, la perdita di appoggio delle travi a doppia pendenza, il conseguente crollo della copertura, spostamenti residui fuori piano dei pannelli e delle travi rispetto alla struttura in direzione longitudinale, rottura dei pannelli di tamponamento in muratura. In Figura 36 è rappresentata una struttura prefabbricata molto articolata, contraddistinta da uno schema a telaio e di superficie superiore a 3000 m2. Tale struttura, ubicata anch'essa a San Felice sul Panaro (MO) dopo il terremoto del 20 maggio ha subìto danni estesi alle forcelle in sommità ai pilastri e la perdita di appoggio di una trave a doppia pendenza.

Figura 35
Capannone a San Felice (coordinate geografiche 44.836°, 11.125°): scalzamento della trave a doppia pendenza di copertura, crollo dei tamponamenti in muratura, rottura per taglio delle forcelle in testa ai pilastri.

Figura 36
Stabilimento a San Felice (coordinate geografiche 44.834°, 11.120°): rottura delle forcelle in testa ai pilastri e scalzamento della trave a doppia pendenza di copertura.

Nell'edificio di Figura 37, una struttura prefabbricata a telaio con pannelli di tamponamento orizzontali, si è avuta la rottura dei sistemi di collegamento che connettevano questi ultimi ai pilastri a cui erano appesi. La conseguenza è stata il distacco dei pannelli, il crollo degli stessi e l'espulsione degli elementi vetrati. L'edificio di Figura 38 è ubicato a Finale Emilia (MO). Esso è costituito da una struttura a telaio in c.a. prefabbricato con pannelli orizzontali di tamponamento appesi ai pilastri, edificato all'estremità di un corpo preesistente, anch'esso prefabbricato a telaio e caratterizzato da tamponamenti in muratura. L'edificio più recente presenta tre campate in direzione longitudinale e una in quella trasversale ed ospita un carroponte le cui vie di corsa si sviluppano in direzione longitudinale al fabbricato. In direzione trasversale sono visibili particolari travi a sezione variabile, equivalenti ad una mezza trave a doppia pendenza, che risultano vincolate ad una estremità con una forcella e all'altra, necessariamente, con una connessione a spinotto. Da una prima valutazione visiva dall'esterno, sembra che i pilastri, durante l'azione sismica, abbiano sofferto un particolare danneggiamento a taglio in corrispondenza delle travi che supportano le vie di corsa del carroponte (punti A in figura). Tale sollecitazione sembra sia stata ulteriormente amplificata dall'azione delle travi di copertura, che, diversamente vincolate agli estremi, da una parte hanno potuto compiere uno spostamento relativo sulla testa del pilastro (punto C) e dall'altra hanno imposto una deformazione aggiuntiva al pilastro stesso (punto B) incrementandone la sollecitazione di taglio. L'edificio preesistente non presenta gravi danneggiamenti ai pilastri, ma è visibile il crollo della copertura e la rottura degli infissi.

Figura 37
Stabilimento a San Felice (coordinate geografiche 44.838°; 11.123°): configurazione prima del terremoto, rottura dei collegamenti pannello-struttura e crollo dei tamponamenti stessi, dettagli dei collegamenti.

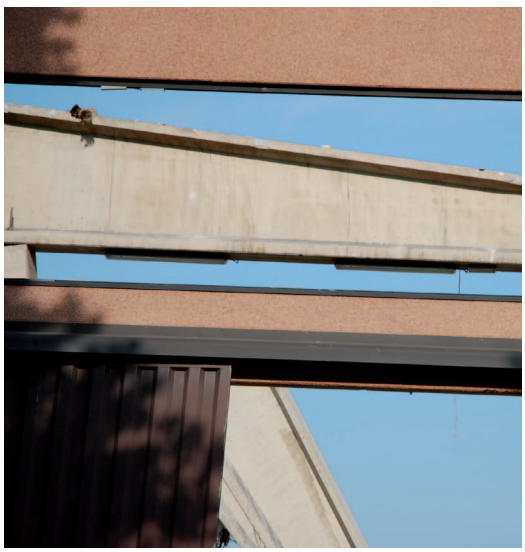

Figura 38
Struttura prefabbricata a Finale Emilia (coordinate geografiche 44.847°, 11.208°): crollo della copertura dell'edificio preesistente, crollo delle travi di copertura della struttura più recente, dettaglio delle mezze travi a doppia pendenza e dei differenti collegamenti agli estremi, danneggiamento a taglio dei pilastri in corrispondenza della vie di corsa del carroponte.

L'edificio di Figura 39 è ubicato a Roversetto (FE): è composto da una struttura prefabbricata a telaio in c.a. con pannelli verticali di tamponamento. L'azione del sisma ha causato la rottura dei collegamenti fra i pilastri e la struttura ed il conseguente distacco e crollo dei pannelli verticali dalla struttura portante.
L'edificio di Figura 40 è situato a Mirabello (FE) ed è una struttura prefabbricata a telaio con pannelli verticali di tamponamento. A seguito dell'instabilizzazione dei telai portanti, è venuto a mancare l'appoggio dei tegoli di copertura. In aggiunta, i pannelli verticali di tamponamento sono crollati a causa della probabile rottura della connessione. Il capannone di Figura 41 è una struttura prefabbricata a telaio con pannelli di tamponamento orizzontali ubicata a Cavezzo (MO). Essa è stata interessata dal crollo della trave a doppia pendenza e, di conseguenza, dei tegoli binervati di copertura.

Figura 39
Stabilimento a Roversetto (FE) (coordinate geografiche 44.789°, 11.370°): rottura dei collegamenti pannello – struttura e conseguente caduta dei tamponamenti stessi.

Figura 40
Stabilimento a Mirabello (FE) (coordinate geografiche 44.811°, 11.435°): configurazione non danneggiata e configurazione dopo il sisma, caratterizzata dallo scalzamento degli elementi di copertura e rottura dei collegamenti pannello – struttura, con conseguente caduta dei pannelli verticali di tamponamento.

Figura 41
Stabilimento a Cavezzo (MO) (coordinate geografiche 44.825°, 11.038°): scalzamento delle travi a doppia pendenza e crollo dei tegoli binervati di copertura.

In questo contesto, dove ai danni provocati dal sisma sugli edifici residenziali e sulle strutture storiche, si sono aggiunte le perdite economiche dovute al danneggiamento dei capannoni industriali e quelle legate all'interruzione delle attività produttive, è stato emanato un Decreto Legge in grado di prevedere "interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici". L'8 giugno è pertanto entrato in vigore il D.L. 74/2012 che gestisce tali interventi nelle Province di Ferrara, Modena, Mantova, Reggio-Emilia, Bologna e Rovigo.
Il Decreto prevede anche "Norme specifiche per le attività produttive", pensate per ridurre i tempi di ripresa delle attività produttive, preservando la sicurezza degli occupanti degli stabilimenti industriali. In estrema sintesi, l'agibilità sismica dei capannoni industriali è demandata alla messa in sicurezza di tre particolari aspetti ("carenze strutturali", come definiti dal Decreto stesso), riguardanti non solo gli elementi strutturali, che potenzialmente condizionano il livello prestazionale dell'edificio soggetto al sisma: l'adeguatezza dei collegamenti fra travi e pilastri e fra travi ed elementi di copertura; l'adeguato livello di ancoraggio degli elementi di tamponatura alla struttura principale; il corretto controventamento delle scaffalature su cui sono stoccati materiali pesanti.
Conseguentemente al Decreto, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha emanato d'urgenza le Linee Guida per la "Valutazione della vulnerabilità e interventi per le costruzioni ad uso produttivo in zona sismica", in cui sono contenute diverse indicazioni pratiche ed operative per i tecnici incaricati ad effettuare le valutazioni di agibilità e rilasciare il certificato di idoneità (http://www.cslp.it/cslp/index.php?option=com_docman&task=doc_download&Itemid=&gid=3437).
Parallelamente, il Gruppo di Lavoro Agibilità Sismica dei Capannoni Industriali, nato dalla collaborazione fra la Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica (Reluis), la Protezione Civile Italiana, il Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI) ed Assobeton ha messo a punto un manuale piuttosto voluminoso riguardante le "Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici", con l'ulteriore collaborazione della Federazione Regionale degli Ordini degli Ingegneri dell'Emilia Romagna, e presentato al Convegno dal titolo "La ripresa dopo il sisma: sicurezza e prevenzione", tenutosi il 20 giugno a Bologna. Il testo, scaricabile dal sito http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=213&lang=it, è stato realizzato sulla base delle conoscenze scientifiche e tecniche del mondo universitario, professionale ed industriale.

Si conclude il presente report citando, fra le varie importanti iniziative promosse dalla Protezione Civile Italiana, la serie di incontri dal titolo "Terremoto, parliamone insieme", dedicate ai cittadini. Le più frequenti domande, e le relative risposte, scaturite in tale sede sono riassunte nella seguente pagina web: http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_new.wp?prevPage=news&contentId=NEW34228.

Ringraziamenti
La redazione desidera ringraziare per il loro contributo Sara Broglio e Chiara Casarotti, così come tutti i tecnici che hanno effettuato i rilievi ai capannoni prefabbricati.

Bibliografia

Arcoraci L., Berardi M., Bernardini F., Brizuela B., Caracciolo C.H., Castellano C., Castelli V., Cavaliere A., Del Mese S., Ercolani E., Graziani L., Maramai A., Massucci A., Rossi A., Sbarra M., Tertulliani A., Vecchi M., Vecchi S. (2012), Rapporto macrosismico sui terremoti del 20 (ML 5.9) e del 29 maggio 2012 (ML 5.8 e 5.3) nella Pianura Padano-Emiliana, INGV-Roma - INGV-Bologna, www.ingv.it.

Chioccarelli E., De Luca F., Iervolino I. (2012a), Preliminary study of Emilia (May 20th 2012) earthquake ground motion records V2.1, http://www.reluis.it.

Chioccarelli E., De Luca F., Iervolino I. (2012b), Preliminary study of Emilia (May 29th 2012) earthquake ground motion records V1.0, http://www.reluis.it.

Decanini L.D., Liberatore D., Liberatore L., Sorrentino L. (2012), Preliminary Report on the 2012, May 20th, Emilia Earthquake, v.1, http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy-it/.

Earthquake Engineering Research Institute (EERI) (2012), EERI Newsletter, July 2012 Volume 46, Number 7.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (2012a), Comunicato: aggiornamento del 29/05/2012 ore 08:14 UTC. Terremoto in Emilia, www.ingv.it, www.terremotoemilia.it.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (2012b), Terremoto in Pianura Padana-Emiliana – 20 maggio 2012 ML 5.9. Secondo comunicato – ore 14, www.ingv.it, www.terremotoemilia.it.

Locati M., Camassi R., Stucchi M. (2011), DBMI11, la versione 2011 del DataBase Macrosismico Italiano. Milano-Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11