



*Centro Internazionale di
Aggiornamento Sperimentale – Scientifico*

SEMINARIO SUL TEMA
“EVOLUZIONE NELLA SPERIMENTAZIONE
PER LE COSTRUZIONI”

Prof. Giorgio Monti – Università La Sapienza di Roma
“Valutazione sismica di insediamenti industriali”



VALUTAZIONE SISMICA DI INSEDIAMENTI INDUSTRIALI

F. Braga¹, R. Gigliotti¹, G. Monti¹,
F. Morelli², C. Nuti³, W. Salvatore², I. Vanzi⁴

¹ Sapienza Università di Roma, Dip. Ing. Strutturale e Geotecnica, Roma, Italy

² Università di Pisa, Dip. Ing. Civile e Industriale, Pisa, Italy

³ Università di Roma Tre, Dip. di Architettura, Roma, Italy

⁴ Università di Chieti-Pescara, Dip. Ingegneria e Geologia, Pescara, Italy

Sommario

Nel periodo maggio-luglio 2012, una sequenza di terremoti ha colpito, nella regione dell'Emilia-Romagna, una zona molto industrializzata, dove si trovano alcune decine di migliaia edifici industriali, principalmente strutture prefabbricate a un piano, i cosiddetti "capannoni". Subito dopo le forti scosse del 20 maggio, a causa del rischio di ulteriori scosse di assestamento e dell'elevata vulnerabilità di queste strutture, le autorità hanno imposto l'adeguamento sismico generalizzato di queste strutture, salvo poi rilassare questa richiesta con l'intento di accelerare il riavvio delle attività produttive: si consentiva, infatti, di escludere i capannoni che avevano subito un'azione abbastanza forte senza subire alcun danno. Il livello di soglia è stato definito con riferimento al terremoto di progetto allo stato limite ultimo. A conoscenza degli autori, è la prima volta che si sono utilizzate, su scala così estesa, informazioni sull'intensità del terremoto e sui danni strutturali per eseguire una valutazione di sicurezza sismica semplificata. In sostanza, si è utilizzato il terremoto come strumento di collaudo delle strutture esistenti. Questa memoria mostra in dettaglio i modelli e le analisi eseguite per identificare quegli edifici industriali che sono stati considerati "collaudati" dal terremoto e pertanto da non assoggettare all'obbligo dell'adeguamento sismico. Poiché i costi indiretti causati dal terremoto (ad esempio, a causa dello stop produttivo) possono essere maggiori di quelli diretti, si ritiene che questo metodo possa notevolmente ridurre i costi complessivi del terremoto e contribuire ad accelerare la ripresa economica e sociale di una regione.

1 INTRODUZIONE

Nei mesi da maggio a luglio 2012, la regione Emilia-Romagna, nel Nord Italia, è stata colpita da una serie di eventi sismici. Le scosse principali sono state registrate il 20 maggio ($M_I = 5.9$ e $M_w = 5.86$) e il 29 maggio ($M_I = 5.9$ e $M_w = 5.66$); si sono poi registrate diverse scosse di assestamento significative fino a luglio.

Questi eventi hanno causato 27 vittime e hanno prodotto gravi danni, soprattutto al patrimonio storico-culturale e agli edifici industriali. Diversi edifici storici sono crollati e alcune migliaia di strutture industriali, principalmente capannoni prefabbricati in cemento armato a un piano, sono state gravemente danneggiate; un'esauriente relazione si trova in [3]. La maggior parte delle strutture industriali è stata infatti progettata solo per carichi verticali e per il vento, in accordo alla norma dell'epoca.

Queste strutture, dal punto di vista sismico, presentano evidenti carenze strutturali, in particolare nei collegamenti trave-colonna e trave-copertura. Durante il secondo evento, a causa di tali carenze, si sono verificati numerosi crolli di strutture che erano già state danneggiate durante il primo evento. Peraltro, si sono anche osservati crolli di strutture che non avevano subito danni durante il primo evento.

In Italia, i metodi abitualmente utilizzati per la stima della sicurezza strutturale post-terremoto sono continuamente aggiornati in base all'esperienza acquisita nei terremoti passati (Irpinia '80, Abruzzo '84, Basilicata '90, Reggio Emilia '96). Questi metodi di valutazione rapida [2] si basano sulla tipologia strutturale e sui danni osservati da un perito esperto e sono finalizzati all'individuazione degli edifici a rischio immediato e a fornire la base per successivi controlli e interventi di rafforzamento. Sebbene queste procedure si siano dimostrate efficaci dopo terremoti recenti, esse scontano una scarsa precisione, soprattutto perché dipendono dal giudizio personale del perito e anche perché l'intensità locale del terremoto è spesso incerta. Questi aspetti hanno avuto grande rilevanza in Emilia, anche a causa delle caratteristiche strutturali dei capannoni.

Le autorità di gestione dell'emergenza hanno dovuto far fronte a: gli elevati danni osservati nelle strutture industriali, le incertezze sulle informazioni acquisite tramite le indagini, la sicurezza pubblica, la necessità di una rapida ripresa delle attività col minor impatto possibile sulla vita sociale ed economica.

Sono dunque state pubblicate due norme dal Governo italiano: la prima il 6 giugno [4], la seconda il 1° agosto [11], entrambe con riferimento alla sola regione colpita dai terremoti (parte della regione Emilia-Romagna, oltre a piccole porzioni delle regioni confinanti di Lombardia e Veneto).

La prima norma è stata pubblicata pochi giorni dopo il secondo evento principale del 29 maggio, con l'obiettivo, a breve termine, di favorire una rapida ripresa socio-economica e, a medio termine (6 mesi), di conseguire un livello di sicurezza generalizzata più elevato. Nel giro di sei mesi, infatti, tutte le strutture industriali dovevano essere verificate e adeguate secondo le disposizioni della vigente norma tecnica per le costruzioni [9], contenute nel capitolo 8, relativo alle strutture esistenti, impiegando un livello di azione sismica inferiore rispetto a quello utilizzato per le nuove strutture; tale livello inferiore è stato fissato soggettivamente a 0,6 volte l'intensità sismica usata per la progettazione delle nuove strutture.

I controlli a breve termine davano diritto ad un permesso temporaneo di agibilità: in assenza di pesanti carenze strutturali, o se queste fossero state risolte, la struttura poteva essere normalmente utilizzata, anche se per un periodo massimo di sei mesi. I controlli

delle carenze strutturali erano minimali, al fine di renderli semplici e tempestivi.

Nei casi in cui si fosse individuata una delle carenze di seguito indicate:

- i. mancanza di collegamenti tra elementi strutturali verticali e elementi strutturali orizzontali e tra questi ultimi;
- ii. presenza di elementi di tamponatura prefabbricati non adeguatamente ancorati alle strutture principali;
- iii. presenza di scaffalature non controventate portanti materiali pesanti che possano, nel loro collasso, coinvolgere la struttura principale causandone il danneggiamento e il collasso,

tali carenze dovevano essere risolte prima di utilizzare, anche temporaneamente, la struttura.

i, ii e iii sono infatti le cause più frequenti di collasso sismico, anche se chiaramente non coprono tutte le possibili vulnerabilità. Tali disposizioni miravano, però, ad un compromesso tra recupero tempestivo e sicurezza, accettando per questa un livello inferiore nel breve termine.

Le disposizioni a lungo termine (verificare o adeguare al 60% dell'azione sismica per le nuove strutture) non sono tuttavia coerenti con il livello di sicurezza accettato altrove in Italia. Infatti, per le strutture esistenti, progettate secondo vecchie norme strutturali e non soddisfacenti i requisiti delle strutture nuove, sussiste l'obbligo dell'adeguamento ai requisiti delle norme più recenti solo se vi è un cambiamento di carichi o di utilizzo; in tutti gli altri casi, l'utilizzo della struttura può continuare invariato.

Quello che appare un compromesso tra la richiesta iniziale del 6 giugno [4] (adeguamento entro sei mesi dei capannoni industriali in Emilia in accordo con le disposizioni della vigente Norma Tecnica per le Costruzioni [9]) e ciò che è abitualmente accettato altrove in Italia (e in generale in tutti i Paesi), si trova invece all'interno della seconda legge [11].

Questa, in breve, fa riferimento al “collaudo” effettuato dai terremoti registrati: se l'edificio industriale ha subito un terremoto abbastanza forte senza patire alcun danno, sia nelle parti strutturali, sia in quelle non strutturali e negli impianti, si possono impiegare queste informazioni per provare (o confutare) l'accettabilità del livello di sicurezza strutturale. Poiché la prima legge [4] stabilisce che l'azione sismica con cui verificare (e adeguare, se le verifiche non sono soddisfatte) le strutture sia pari a 0,6 volte quella per le nuove strutture (definita tramite lo spettro di risposta elastico), ciò fornisce anche la definizione di terremoto *abbastanza forte*. Più precisamente: se lo spettro di risposta elastico locale del terremoto è superiore a 0,7 volte lo spettro di risposta di progetto, e la struttura ha mostrato buone prestazioni, la legge [11] stabilisce che non vi sia alcun obbligo di verificare (ed eventualmente adeguare) con l'azione sismica pari a 0,6 volte quella per le strutture nuove. La definizione di “buone prestazioni” è conservativamente data come stato di tensione e di deformazione in campo elastico lineare, sia per gli elementi strutturali, sia per quelli non strutturali e per gli impianti. Nella legge si fa riferimento a un ulteriore requisito: gli spettri di risposta locali devono essere stimati mediante il modello [12], adattato per l'Italia in [5, 8].

Nei paragrafi seguenti s'illustra la procedura utilizzata per calcolare gli spettri locali del terremoto, con l'obiettivo di renderla facilmente applicabile ad alcune decine di migliaia di strutture industriali.

1.1 Edifici industriali in Emilia

L'industria è un'attività molto importante in Emilia; alcuni dati possono aiutare a capire l'importanza sociale ed economica dell'industria e degli edifici industriali.

L'Emilia Romagna è una delle regioni più industrializzate d'Europa: il 34% della popolazione attiva è impiegata nel settore, con il 25% del reddito lordo dipendente dalla produzione industriale [6]. In Italia circa 655.000 edifici sono classificati come industriali [1], il 60% di questi è situato nella parte settentrionale d'Italia, con il restante 40% equamente distribuiti tra sud e Italia centrale. La Figura 1 [1] mostra la loro densità. Il maggior numero è posizionato attorno alle grandi città, e, purtroppo, nella zona colpita nel maggio-luglio 2012 dal terremoto dell'Emilia.

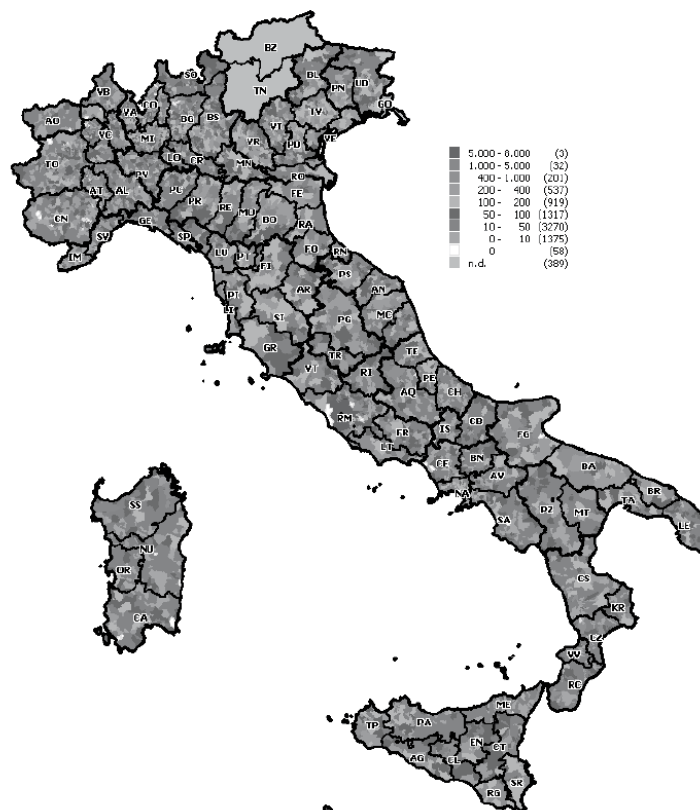


Figura 1: Densità degli edifici industriali in Italia.

In Emilia-Romagna sono presenti circa 80.000 (12% del totale) edifici industriali [1], un terzo dei quali sono magazzini. La tipologia costruttiva più diffusa è il cemento armato (85% del totale), di cui più di due terzi prefabbricato. Con riferimento ai prezzi 2012, i costi di costruzione delle strutture sono stimati, in media, 100 €/m², mentre il valore di mercato è pari a circa 600 €/m².

2 PROCEDURA PER STIMARE LO SPETTRO DI RISPOSTA LOCALE

La complessità della questione di come trattare gli edifici industriali in Emilia è manifesta: essi sono sismicamente fragili, possono essere oggetto di ulteriori forti terremoti che sono stati previsti in Emilia, eppure sono al centro delle attività economico-sociali, e quindi sono fondamentali per la loro stessa riattivazione; tuttavia, sono stati sottoposti a verifiche di sicurezza non coerenti col resto d'Italia. Il semplice criterio contenuto nella legge [11] ha permesso di affrontare un problema difficile, attraverso una procedura razionale, per quanto calibrata soggettivamente.

La procedura per definire la porzione di territorio in cui lo spettro elastico del terremoto è stato superiore al 70% dello spettro di progetto si articola in quattro fasi:

I. definizione della mappa di scuotimento (*shakemap*) dell'accelerazione spettrale per un evento dato. La *shakemap* per l'*i*-esimo evento, al sito con longitudine *lon*, latitudine *lat*, al periodo naturale *T*, è indicata con $S_{e,i}^*(lon, lat, T)$. Lo smorzamento si assume pari al 5%. Ulteriori dettagli sono riportati al paragrafo seguente.

II. definizione della massima *shakemap* tra i diversi eventi che hanno colpito la regione, vale a dire: $S_e^*(lon, lat, T) = \max\{S_{e,i}^*(lon, lat, T)\}$;

III. confronto della massima *shakemap* $S_e^*(lon, lat, T)$ con $S_e(lon, lat, T)$, lo spettro di progetto di norma per strutture nuove; smorzamento del 5% per entrambi gli spettri;

IV. determinazione delle aree in cui $S_e^*(lon, lat, T) > 0,7 S_e(lon, lat, T)$. Le aree sono definite come l'unione dei punti (*lon*, *lat*) in cui è soddisfatta la disuguaglianza. Queste aree sono definite "zone di esclusione", con riferimento all'esclusione dall'obbligo, in caso di buone prestazioni strutturali, di verifica strutturale.

La soglia di 0,7, insieme col requisito di comportamento elastico lineare, implica, per meccanismi duttili, un fattore di comportamento inferiore a 1,5, compatibile con queste strutture.

Lo spettro di accelerazione di progetto, $S_e(lon, lat, T)$, è definito dalla Norma Tecnica per le Costruzioni [9] attraverso i valori, rappresentati per ogni punto sul territorio italiano su una griglia a passo 5 km, di a_g , F_o , T_C^* . Questi sono, rispettivamente, i valori massimi di accelerazione sul substrato roccioso, l'amplificazione spettrale e un parametro che definisce la forma spettrale.

2.1 *Shakemaps*

Le mappe di scuotimento forniscono una misura dell'intensità sismica sulla superficie del terreno per una regione colpita da un evento. Queste mappe si basano essenzialmente su dati sismologici strumentali e sono ottenuti per interpolazione tra diversi punti di campionamento. La procedura italiana è stata sviluppata in [5] come particolarizzazione di [12] al territorio italiano. Lo strumento è utilizzato per le operazioni di gestione dell'emergenza eseguite dal Dipartimento Protezione Civile.

Il modello della *shakemap* utilizza le registrazioni accelerometriche bidirezionali disponibili presso varie stazioni; calcola lo spettro di risposta elastico con 5% di smorzamento; estrapola a tutta l'area di studio i dati delle stazioni di registrazione tramite leggi di attenuazione regionali; produce infine mappe di iso-accelerazione spettrale su più periodi. Il modello è implementato in un software che genera e pubblica le mappe su Internet quasi in tempo reale. Esso prende in considerazione anche le condizioni locali, tramite fattori di amplificazione basati sulla velocità delle onde di taglio mediata su 30 m, $V_{s,30}$. Ulteriori dettagli si possono trovare in [8] e [12].

3 APPLICAZIONE DEL METODO AL TERREMOTO EMILIANO

Per ogni punto della griglia di passo 1 km in Emilia, in [5] sono pubblicati i diversi parametri di intensità dei terremoti. La tabella 1 mostra un esempio dei dati disponibili. Ogni riga contiene i dati per un punto specificato tramite le sue coordinate geografiche; ogni colonna fornisce il relativo parametro d'intensità. E' fornita anche una stima della velocità locale delle onde di taglio, ottenuta sulla base di dati macrogeologici. Ulteriori parametri di intensità, non illustrati, sono disponibili, comprese le velocità di picco, una stima della intensità Mercalli e una stima dell'errore sull'intensità del terremoto.

Long.	Lat.	pga [%g]	psa(T=0.3s) [%g]	psa(T=1s) [%g]	psa(T=3s) [%g]	Vs30 [m/s]
11.1613	44.8723	37.15	105.24	71.09	7.82	230
11.1613	44.8807	37.14	105.2	71.04	7.82	230
11.1613	44.889	37.1	105.05	70.9	7.81	230
11.1697	44.8807	37.1	104.83	70.75	7.78	230

Tabella 1 : Parametri delle mappe di scuotimento per il terremoto dell'Emilia del 29 maggio 2012.

Questi dati sono definiti su una griglia con mezzo grado di passo in longitudine e latitudine; ciò equivale a circa 900 m di spaziatura della griglia in direzione nord-sud, e a circa $900 \text{ m} \times \cos(\text{lat})$ in direzione est-ovest, con *lat* la latitudine.

La figura 2 mostra le *shakemap* del picco di accelerazione al suolo degli eventi del 20 e 29 Maggio 2012. I triangoli blu e rossi in figura 2 mostrano le posizioni degli strumenti di registrazione (tre accelerometri tridimensionali digitali).

Le curve delle iso-accelerazioni sono ottenute tramite leggi di attenuazione dell'intensità misurata alla posizione degli accelerometri. Le leggi di attenuazione sono calibrate regionalmente [8] sulla base di eventi passati, per calcolare l'intensità locale su ciascun punto del territorio. Se: a) le leggi di attenuazione sono circolari (cioè dipendenti solo dalla distanza dallo strumento di registrazione), b) il sottosuolo è omogeneo, e b) sono disponibili pochi strumenti di registrazione, come è il caso per il primo evento del 20 Maggio 2012 (figura 3, in alto), allora le curve di iso-accelerazione sono quasi circolari.

Ciò si osserva anche nelle *shakemap* dell'accelerazione spettrale a 1 secondo, figura 3: la *shakemap* del 20 maggio (figura 3, in alto) produce delle quasi-ellissi.

Gran parte degli edifici industriali prefabbricati italiani ha un comportamento strutturale che può essere assimilato a un semplice elemento a mensola. L'altezza delle colonne a mensola varia tra 5 e 10 m; con i tipici carichi permanenti, il periodo del primo modo di vibrazione è pari a circa 1 sec. L'ordinata spettrale a 1 sec è quindi importante per le strutture prefabbricate industriali. Tuttavia, le *shakemap* INGV sono fornite per quattro periodi dello spettro di risposta: 0, 0,3, 1 e 3 sec.

Dopo la prima scossa principale, sono stati posizionati più strumenti sul territorio emiliano e le risultanti curve di iso-accelerazione dell'evento del 29 maggio (figure 2 e 2, in basso) sono meno regolari. Ciò significa che dettagliano maggiormente le variazioni sul territorio. Va notato che, nonostante la loro approssimazione, i dati INGV erano l'unica fonte d'informazione quantitativa disponibile sugli eventi.

Una volta definiti gli spettri di accelerazione locale $S^*_{e_i}(\text{lon}, \text{lat}, T)$ (passo i della procedura descritta al paragrafo 2), il passo ii richiede la determinazione del massimo, tra gli eventi, dello spettro locale, vale a dire $S^*_e(\text{lon}, \text{lat}, T) = \max\{S^*_{e_i}(\text{lon}, \text{lat}, T)\}$.

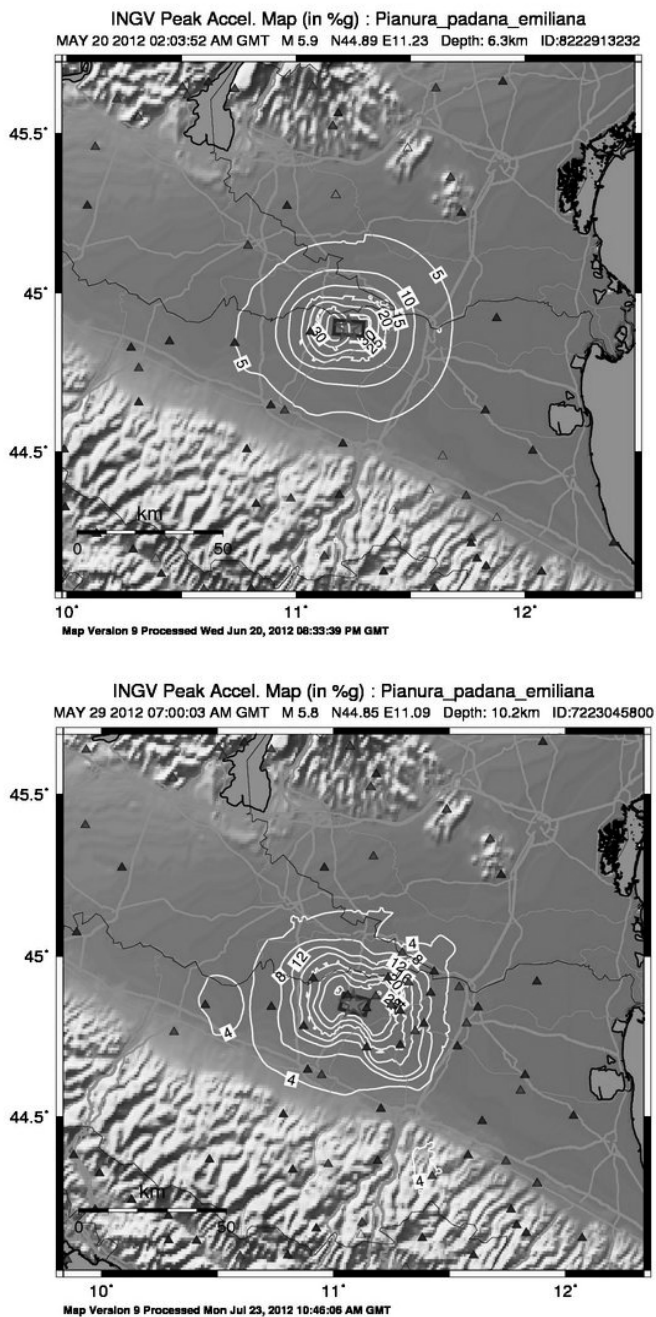


Figura 2: Mappe del picco di accelerazione al suolo dei terremoti del 20 (in alto) e 29 (in basso) maggio 2012.

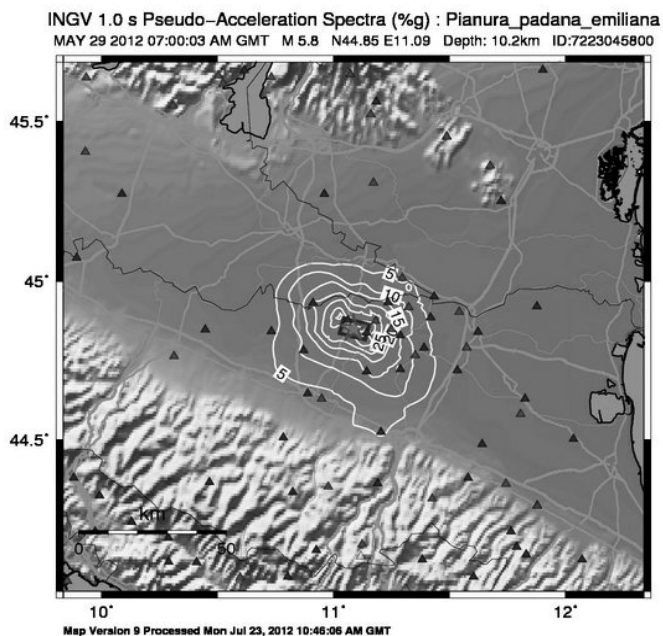
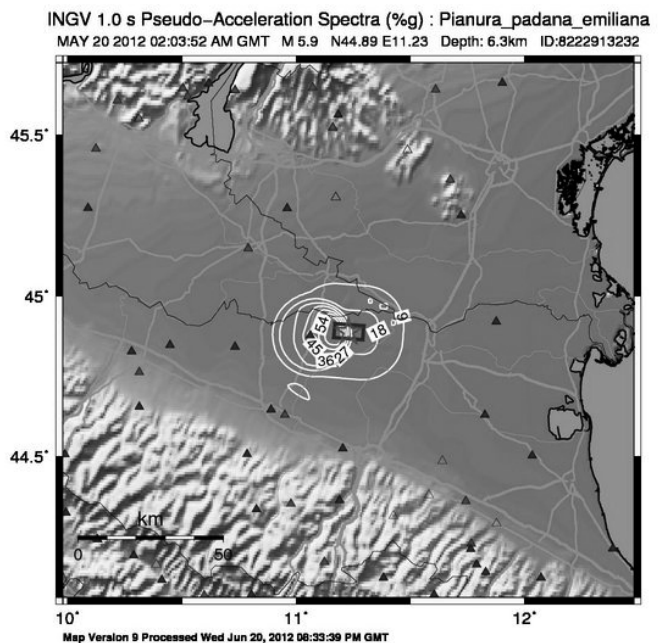


Figura 3: Mappe dell'accelerazione spettrale a 1 secondo dei terremoti del 20 (in alto) e 29 (in basso) maggio 2012

Poiché nella sequenza sismica emiliana sono state registrate decine di eventi, è stata necessaria una sotto-fase preparatoria in cui si sono individuati quelli in grado di condizionare la risposta massima locale. A tal fine, si è scelto di concentrarsi su una porzione di forma rettangolare del territorio emiliano. Il rettangolo è quello che delimita i comuni colpiti dal terremoto, più precisamente i comuni cui si fa riferimento in [4] e [11]. I comuni e la parte rettangolare del territorio sono mostrati in fig. 6; le coordinate delimitanti sono $10,82^\circ$, $11,9^\circ$ (longitudine, ad est di Greenwich) e $44,58^\circ$, $44,96^\circ$ (latitudine, emisfero nord).

Ora, sia detto I il numero di eventi con magnitudo superiore a 5,0 nella sequenza Emilia, in ordine di grandezza crescente, con l'indice i che varia da 1 a I . Gli eventi sono mostrati nella tabella 2.

Date and time (UTC)	Lat ($^\circ$)	Long ($^\circ$)	Prof (km)	Magnitudo	i
2012-05-20 02:03:52.000	44'889	11'228	6.3	5.9	7
2012-05-29 07:00:03.000	44'851	11'086	10.2	5.8	6
2012-05-29 10:55:57.000	44'888	11'008	6.8	5.3	5
2012-05-29 11:00:25.000	44'879	10'947	5.4	5.2	4
2012-06-03 19:20:43.000	44'899	10'943	9.2	5.1	3
2012-05-20 13:18:02.000	44'831	11'490	4.7	5.1	2
2012-05-20 02:07:31.000	44'863	11'370	5.0	5.1	1

Tabella 3 : Eventi della sequenza emiliana con magnitudo maggiore di 5.0.

Sia J il numero di punti della griglia con passo di mezzo grado, definita all'interno del rettangolo di delimitazione, e j un indice variabile da 1 a J . Infine, sia K il numero totale di misure locali di terremoto, e k un indice che varia da 1 a K . Tutti e sei le misure locali disponibili di intensità del terremoto IM come proposte in [5] sono qui considerate, vale a dire: la velocità di picco (PGV), l'intensità Mercalli modificata (MMI), e le quattro accelerazioni spettrali su periodi diversi (accelerazione di picco al suolo, pga, ed i valori spettrali a 0,3, 1 e 3 sec).

Per ciascuna delle misure locali d'intensità K , l' i -esimo evento ha causato l' IM_K massima in j^* punti, su J punti totali, vale a dire su una porzione j^*/J del territorio. Detto questo rapporto $R_{ki} = j^*/J$, il suo grafico è mostrato in fig. 4. Il numero di evento i è indicato sull'asse x, mentre le misure di intensità sono date su sei curve differenti; R_{ki} è sull'asse y.

La fig. 4 mostra che, indipendentemente dalla misura dell'intensità prescelta, i due eventi di intensità maggiore (magnitudo 5,8 e 5,9) causano la massima intensità locale del terremoto sul 90% circa del territorio; il terzo (di magnitudo 5,3) e quelli grandezza inferiore causano la massima intensità sul 10% circa del restante territorio.

La procedura [8], utilizzata per derivare le mappe di scuotimento, impiega curve di attenuazione calibrate sul substrato roccioso. L'effettivo profilo del suolo in una data posizione è preso in considerazione attraverso i fattori di amplificazione locale, che dipendono sia da $V_{s,30}$ sia dall'intensità locale del terremoto. Vale la pena notare che il sottosuolo all'interno dell'area indagata è classificato come omogeneo di tipo C in [9], vale a dire entro l'intervallo $V_{s,30}$ [180 m/s, 360 m/s]. La velocità delle onde di taglio $V_{s,30}$, assunta da [5], è mostrata in fig. 5.

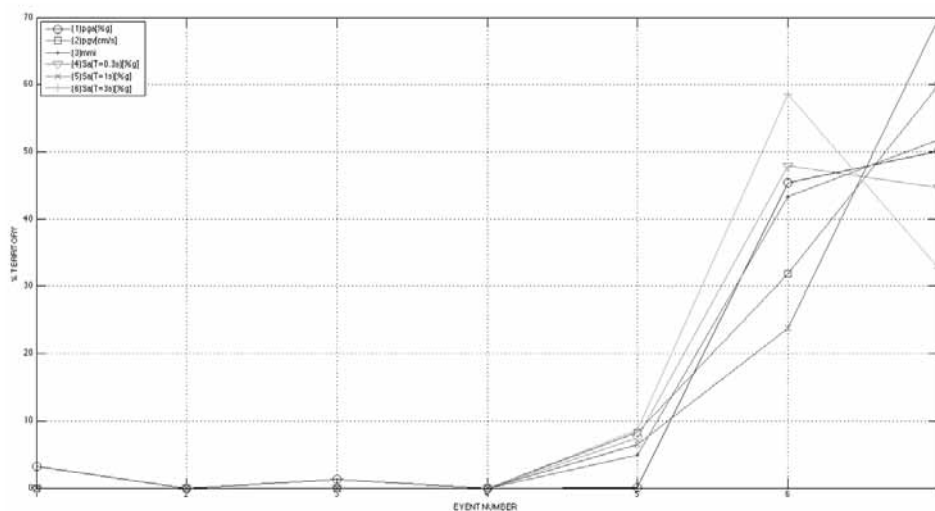


Figura 4: Percentuale del territorio in cui il massimo valore del parametro è governato dall'evento i-esimo.

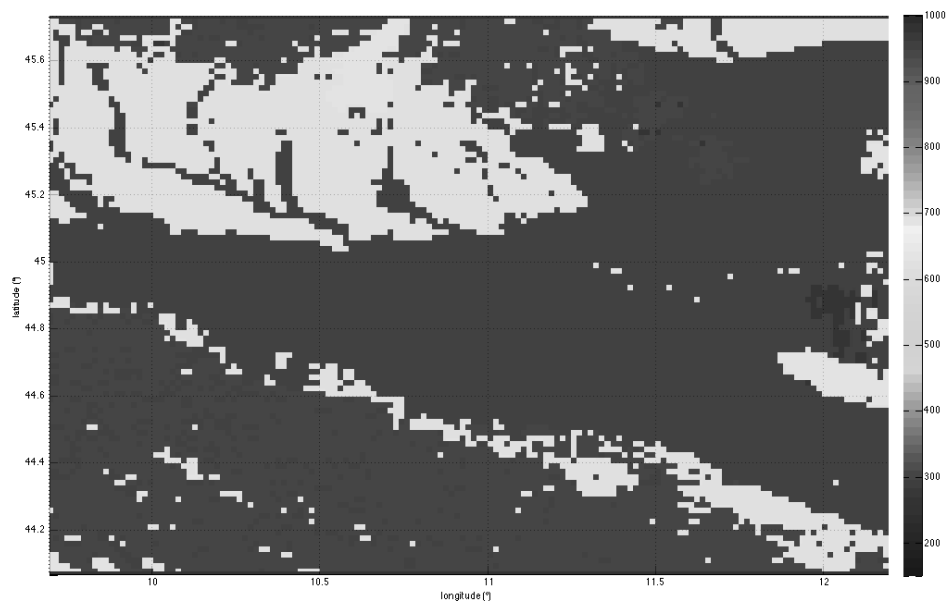


Figura 5: Velocità (m/s) delle onde di taglio $V_{s,30}$.

La *shakemap* dell'accelerazione spettrale a 1 sec, $S^*_c(lon, lat, T=1s)$ è rappresentata in fig. 6. Le curve di iso-accellerazione sono calcolate con una interpolazione lineare tra i punti della griglia.

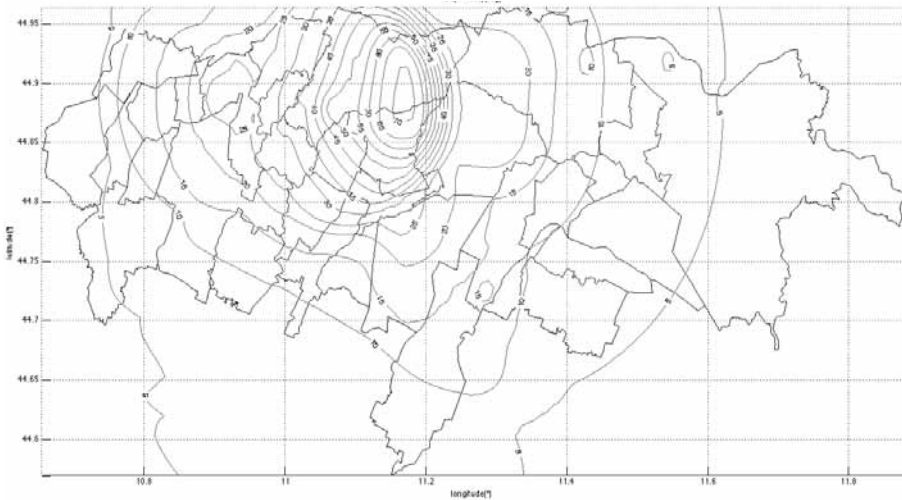


Figura 6: Massima accelerazione spettrale per $T = 1$ sec per tutti gli eventi (%).

Il passo iii richiede l'identificazione della porzione del territorio emiliano in cui l'accelerazione spettrale, definita da [5], ha superato 0,7 volte l'accelerazione spettrale di progetto.

Questa definizione implicherebbe la verifica sui periodi di vibrazione dei modi significativi, almeno tre, comportando però una significativa complicazione di tutta la procedura. Inoltre, va notato che le *shakemap* INGV si riferiscono solo a quattro periodi: 0, 0,3, 1 e 3 sec.

Si è dunque prima controllato se le quattro accelerazioni spettrali corrispondessero a uno degli spettri di risposta per lo stato limite ultimo di progetto, definiti in [9] per diversi tipi di terreno. Il risultato, descritto più avanti in questo paragrafo, è che la forma dello spettro di progetto per periodo di ritorno di 475 anni, suolo tipo C, coglie meglio, rispetto ad altri tipi di terreno, le forme spettrali in accelerazione del terremoto.

Lo spettro con periodo di ritorno di 475 anni, su terreno di tipo C, è poi stato mantenuto come la forma funzionale di riferimento. Si noti che, poiché, secondo [9], i parametri di progetto dello spettro cambiano con continuità sul territorio, anche la forma funzionale cambia.

Ora, in ogni punto sul territorio e per ogni evento, sono disponibili quattro campioni ($T = 0$ s, 0,3 s, 1 s e 3 s) dello spettro dell' i -esimo evento, unitamente alla forma spettrale di riferimento. Lo spettro in accelerazione dell' i -esimo evento è stato assunto come l'approssimante ai minimi quadrati della forma funzionale di riferimento ai quattro campioni dell' i -esimo evento. Gli errori nella procedura ai minimi quadrati, come sarà illustrato in seguito, sono piccoli e accettabili.

La fig. 7 mostra, a titolo di esempio, l'approssimazione ai minimi quadrati per il punto con longitudine pari a $11,387^\circ$ e latitudine pari a $44,903^\circ$. Lo spettro di progetto con periodo di ritorno 475 anni è la curva nera, mentre la blu rappresenta il 70% di questo spettro. I quattro campioni INGV sono i rombi gialli; la curva interpolante ai minimi quadrati è la rossa. Si noti che gli spettri così determinati non s'intersecano. In qualsiasi punto del territorio, il requisito della legge [11] o è soddisfatto o non è soddisfatto per tutti i periodi naturali.

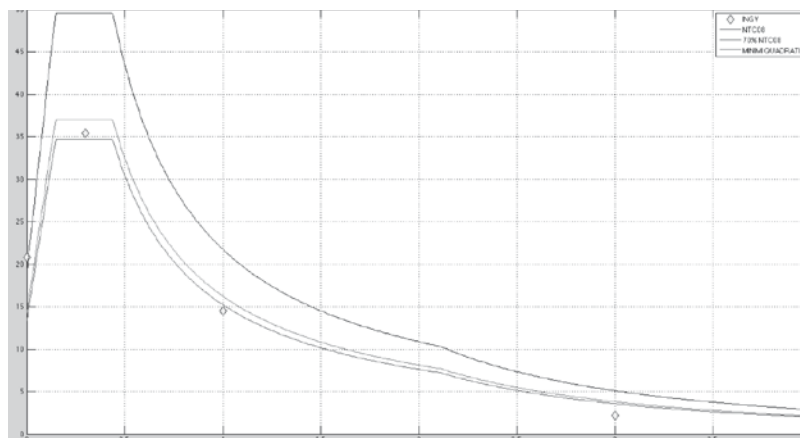


Figura 7: Approssimazione ai minimi quadrati di quattro spettri campione.

Per il passo iv, si noti che nel paragrafo 2 l'approssimazione ai minimi quadrati in fig. 7 può essere data come α_i volte lo spettro di risposta di progetto, vale a dire: $S_{LS_i}(lon, lat) = \alpha_i S_{e_d}(lon, lat)$, essendo S_{LS_i} l'approssimazione ai minimi quadrati per i quattro campioni spettrali dell' i -esimo evento, e S_{e_d} lo spettro di progetto di riferimento. Si può quindi definire:

$$\alpha(lon, lat) = \max_i \{ \alpha_i(lon, lat) \} \quad (1)$$

che definisce la zona di esclusione in cui $\alpha(lon, lat) > 0,7$.

Questa procedura è stata programmata interamente in Matlab [7], basandosi sui dati [5]. La fig. 8 mostra le curve di livello $\alpha(lon, lat)$ così calcolate.



Figura 8: Curve di livello del coefficiente moltiplicativo $\alpha(lon, lat)$ dello spettro di riferimento della norma italiana.

4 CONCLUSIONI

A seguito della sequenza sismica in Emilia nel maggio-luglio 2012, si è riconosciuto che la classe degli edifici industriali prefabbricati è particolarmente fragile. Si sono infatti verificati molti collassi, in genere per mancanza di adeguata connessione tra le colonne e le travi, e tra le travi e i tegoli di copertura.

Ciò ha indotto il Governo italiano [4] a richiedere un adeguamento sismico generalizzato ad un minimo del 60% di quanto è richiesto per la progettazione di nuovi edifici. Tale richiesta si applicava a tutti gli edifici di quella classe nella zona colpita. Tale legge sembrava però troppo severa, dopo aver considerato che molti edifici industriali erano stati colpiti da un terremoto più intenso e non avevano riportato alcun danno; inoltre, questo era in contraddizione con quanto richiesto per le strutture esistenti in Italia, i cui proprietari sono costretti a rispettare la normativa sismica solamente se intervengono variazioni di carico o di utilizzo.

Al fine di accelerare il riavvio delle attività produttive, le autorità hanno deciso di rilassare i requisiti originali e il 1° agosto [11] è stato rimosso l'obbligo di adeguamento sismico degli edifici industriali che non avevano mostrato alcun danno pur essendo stati colpiti da un terremoto la cui risposta spettrale era almeno 0,7 volte quella di progettazione.

Questo documento descrive la procedura seguita per definire l'estensione territoriale stabilita nella seconda legge.

La procedura istituita ha approfittato dell'omogeneità del suolo nella porzione interessata della regione Emilia; di certo, un grave inconveniente è stato costituito dal numero limitato di strumenti di registrazione disponibili nella zona degli eventi del 20 maggio. Per gli eventi successivi, la presenza di numerosi altri strumenti di registrazione, il controllo dell'approssimazione introdotta dalla procedura d'interpolazione dei dati sperimentali, nonché l'omogeneità del suolo in quella zona dell'Emilia, hanno consentito di ottenere risultati ragionevolmente accurati, attraverso una semplice procedura.

L'applicazione mostrata è, a conoscenza degli autori, la prima su questa scala. Ha lo scopo di accelerare il recupero delle attività produttive, garantendo al tempo stesso la sicurezza strutturale, e potrebbe essere utilizzato in futuro come uno strumento efficace per ridurre al minimo gli effetti indiretti di un terremoto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Agenzia del Territorio, (2012), Rapporto immobiliare 2012
- [2] Baggio, C., Bernardini, A., Colozza, R., Corazza, L. (2000), Manuale per la compilazione della scheda di 1 livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica. Conferenza: La vulnerabilità degli edifici: valutazione a scala nazionale della vulnerabilità sismica degli edifici ordinari, Roma
- [3] Decanini L.D., Liberatore D., Liberatore L., Sorrentino L. (2012), Preliminary Report on the 2012, May 20, Emilia Earthquake, v.1, <http://www.eqclearinghouse.org/2012-05-20-italy-it/>
- [4] Governo Italiano (2012), Decreto Legge 6 giugno 2012, n. 74, Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici che hanno interessato il

- territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia e Rovigo, il 20 e il 29 maggio 2012, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n.131, 7 giugno
- [5] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV (2012), ShakeMap Home Page, disponibile a: <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/index.html>
- [6] Istituto Nazionale di Statistica, ISTAT (2012), Annuario statistico italiano 2012
- [7] Mathworks (2012), Matlab R2012b, Natick, Massachusetts, USA
- [8] Michelini, A., Faenza, L., Lauciani, V., Malagnini, L. (2008). ShakeMap implementation in Italy. *Seismological Research Letters*, 79(5), 688-697
- [9] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, (2008) Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 14 gennaio 2008, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.
- [10] Morelli, F., Salvatore, W., Vanzi, I., (2013), Procedura per la generazione delle *shakemap* e applicazione al terremoto del maggio-luglio 2012 in Emilia, bozza disponibile a: <http://goo.gl/Tk3hL>
- [11] Parlamento Italiano (2012), Legge 1 agosto 2012, n. 122, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 6 giugno 2012, n. 74, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici che hanno interessato il territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia e Rovigo, il 20 e il 29 maggio 2012, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 180, 3 Agosto
- [12] Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H., Scrivner, C. W., Worden, C. B. (1999), TriNet" ShakeMaps": Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California, *Earthquake Spectra*, 15(3), 537-555