

Produzione di scenari sismici di danno a livello comunale: applicazione al progetto SIMULATOR (Sistema Integrato ModULAre per la gestTione e prevenziOne dei Rischi)

Seismic damage scenarios at municipal level: application to the SIMULATOR project (Integrated module for risk management and prevention)

Marta Faravelli¹, Barbara Borzi², Paolo Augliera³, Alberto Pavese⁴, Filippo Dacarro⁵ ■

Sommario

Nei minuti immediatamente successivi ad un evento catastrofico le difficoltà che il Sindaco può incontrare nella gestione dell'emergenza sono molteplici. "Il sindaco è autorità comunale di protezione civile. Al verificarsi dell'emergenza nell'ambito del territorio comunale, il sindaco assume la direzione dei servizi di emergenza che insistono sul territorio del comune, nonché il coordinamento dei servizi di soccorso e di assistenza alle popolazioni colpite e provvede agli interventi necessari dandone immediata comunicazione al prefetto e al presidente della giunta regionale" Comma 3 dell'Art. 15 della Legge n. 225 del 24 febbraio 1992: istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile. È fondamentale reperire il maggior numero di informazioni disponibili e conoscere esattamente quali sono i passaggi da compiere per raggiungere il miglior risultato possibile nel minor tempo necessario e in ottemperanza alle normative vigenti. Grazie ai fondi POR 2007-2013 di Regione Lombardia, un gruppo costituito da 11 partner tra Enti di Ricerca, Piccole Medie Imprese (PMI) e una Grande Impresa ha sviluppato il progetto SIMULATOR (Sistema Integrato ModULAre per la gestTione e prevenziOne dei Rischi) che prevede come principale prodotto il prototipo di una piattaforma che può supportare le PA (Pubbliche Amministrazioni) nelle fasi di previsione, prevenzione, gestione e soccorso di alcuni rischi: sismico, idrogeologico e chimico-industriale. Nel presente articolo verrà illustrato il lavoro svolto da Eucentre per SIMULATOR nell'ambito della produzione di scenari di danno sismici con la collaborazione della Sezione di Milano dell'INGV relativamente all'elaborazione di mappe di scuotimento. Verrà anche descritto il sistema di monitoraggio sismico progettato ed installato in una Scuola Primaria nel comune di Bagnolo Mella.

Parole chiave: rischio sismico, scenario di danno, shakemap, monitoraggio.

Abstract

During the first minutes after the occurrence of a catastrophic event, the difficulties that the Mayor may meet in emergency management are several. "The Mayor is the municipal civil protection authorities. When an emergency occurs in the municipality, the Mayor takes over the management of the emergency services who insist on the territory of the municipality, as well as the coordination of the assistance services and the support services for the affected populations and shall establish the necessary actions notifying immediately to the prefect and the president of the region" Paragraph 3 of Art. 15 of Law no. 225 of 24 February 1992: establishment of the National Civil Protection Service. It is essential to find the most information available and know exactly what the steps to take are, in order to achieve the best possible result in the shortest time and in compliance with applicable regulations. Thanks to the funds of POR 2007-2013 of Lombardy Region, a group made up of 11 partners from research institutions, small-medium and large company has developed the project SIMULATOR (Sistema Integrato ModULAre per la gestTione e prevenziOne dei Rischi) which provides as main product the prototype of a platform that can support the PA (Public Administration) in the planning, prevention, management and relief of some risks: seismic, geological and chemical-industry. In this article will be explained the work done by Eucentre for SIMULATOR project in the production of seismic damage scenarios in collaboration with the Milan Section of the INGV respect to the development of Shakemaps. It will also describe the seismic monitoring system installed in a primary school in the municipality of Bagnolo Mella.

Keywords: seismic risk, damage scenario, shakemap, seismic monitoring.

¹ Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ marta.faravelli@eucentre.it
² Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ barbara.borzi@eucentre.it
³ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, Milano) - ✉ paolo.augliera@ingv.it
⁴ Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ alberto.pavese@eucentre.it
⁵ Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre), Pavia - ✉ filippo.dacarro@eucentre.it

1. Introduzione

Nelle prime ore successive al verificarsi di un evento sismico è particolarmente utile disporre di uno strumento che, utilizzando esclusivamente i parametri forniti in tempo reale dall'INGV, restituisca una prima stima dell'ordine di grandezza delle perdite attese al fine di pianificare in tempi ristretti le azioni da intraprendere per la gestione dell'emergenza (Sabetta et al., 2013). La procedura sviluppata all'interno del progetto SIMULATOR relativamente al caso di evento sismico ha come scopo quello di mostrare all'utilizzatore della piattaforma le mappe di danno precalcolate sulla base dei dati di esposizione noti e in riferimento ad eventi sismici avvenuti in passato nelle aree geografiche considerate. L'ambito è quello comunale e in particolare è stato preso come caso studio il comune di Bagnolo Mella in provincia di Brescia. L'utente ha la possibilità di inserire le informazioni note in termini di input sismico e la piattaforma attraverso un processo di Data Retrieval carica le mappe relative all'evento del passato più simile a quello appena accaduto. Gli eventi presi in considerazione sono stati selezionati nell'intorno del comune di Bagnolo Mella e sulla base dei database a disposizione dell'INGV. Una piattaforma WebGIS appositamente sviluppata consente di inserire i dati di input noti, di attivare il Data Retrieval e di visualizzare le mappe di scenario di danno, oltre alle mappe relative alle infrastrutture e ai punti di raccolta presenti sul territorio comunale. Attraverso il WebGIS è anche possibile accedere ai dati del monitoraggio sismico. Parte integrante di SIMULATOR è infatti anche la progettazione e realizzazione di un sistema di monitoraggio sismico, installato in una Scuola Primaria di Bagnolo Mella. Il monitoraggio invia al WebGIS le accelerazioni registrate sull'edificio e un report con le elaborazioni svolte in tempo reale sulla base di tali registrazioni.

2. Il progetto SIMULATOR

SIMULATOR è il risultato del progetto omonimo presentato nell'ambito del POR 2007-2013 di Regione Lombardia ed è uno strumento di supporto alle decisioni per le Pubbliche Amministrazioni (PA) locali. Il progetto ha l'obiettivo di creare una piattaforma-prototipo per la difesa e la messa in sicurezza del territorio, con utilizzi possibili su scala comunale/sovracomunale. Il Sistema SIMULATOR va a supportare le PA nelle fasi di previsione, prevenzione, gestione e soccorso ed è in grado di garantire in maniera efficiente la comunicazione tra differenti attori: il Sindaco, la Protezione Civile e i cittadini. Il sistema è implementato per gestire rischi dovuti a cause naturali (rischio idrogeologico e rischio sismico) o di origine antropica (rischio chimico/industriale). Gli stakeholder coinvolti appartengono a diversi contesti: ambito montano (Comunità Montana Valtellina di Tirano), ambito pianura (5 comuni lombardi del bresciano), ambito metropolitano (Comune di Milano) (Gianfreda et al., 2015). Il sistema comprende anche tre Mobile App. La prima, denominata App VGI (Volunteered Geographic Information), è l'interfaccia verso gli operatori di Protezione Civile volontari e i Cittadini informati e costituisce il canale privilegiato per raccogliere le informazioni dal territorio. Ha una funzione bidirezionale: consente agli utenti di inviare segnalazioni al Sindaco e allo stesso tempo di ricevere informazioni sull'area di rischio come la posizione delle strutture strategiche comunali e le segnalazioni sull'evento in atto. La seconda applicazione è un GAME che cerca di coinvolgere gli utenti generici per avere informazioni in fase di pace. Diversi livelli di gioco permettono al cittadino di prendere confidenza e coscienza con i principali rischi del territorio e la terminologia utilizzata nell'ambito della Protezione Civile. La terza Mobile App consente all'utente formato di compilare la scheda di rilievo del danno nella fase post-sismica (Scheda di 1° livello di rilevamento del danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica - AeDES 07/2013). Le informazioni raccolte vengono inviate ad un server cloud e salvate in un database. Tramite un sito internet appositamente sviluppato è possibile accedere alle informazioni inviate e visualizzare/scaricare le schede AEDES compilate in pdf. Il Sindaco può accedere a tre servizi fondamentali nella gestione dell'emergenza:

- La **console** dedicata alla procedura normativa e agli step da seguire in fase di emergenza: offre il set di azioni da compiere per le diverse fasi dell'evento in atto, mette a disposizione delle "to do list" corredate di documenti precompilati, anagrafica dei soggetti da contattare etc. Tali procedure traducono le informazioni strategiche previste dalla normativa di riferimento o date dall'esperienza pregressa circa le possibilità di intervento;
- Il **WebGIS** che mette a disposizione le mappe con le aree a rischio e i layer cartografici a supporto delle decisioni in tema di protezione civile: si visualizzano gli scenari di rischio istituzionali e modellati per il rischio di interesse, le strutture e le superfici strategiche, i punti di accesso, etc. Il servizio geografico permette anche di visualizzare le principali variabili ambientali di interesse acquisite tramite il monitoraggio strumentale e le informazioni fornite dai cittadini e i volontari di protezione civile tramite il VGI;
- Il modulo dedicato ai **monitoraggi strumentali** sul territorio: consente di esaminare gli andamenti temporali tramite grafici dei sensori ambientali utili nelle fasi di preparazione e gestione dell'emergenza. Nelle applicazioni realizzate presso i casi studio - comuni di Tirano e di Bagnolo Mella - sono disponibili rispettivamente i sensori relativi al rischio frane posizionati su un versante di interesse e degli accelerometri installati su un edificio strategico per il rischio sismico. Inoltre il sistema mette a disposizione per ciascun comune lombardo delle pseudo-stazioni meteorologiche che registrano dati orari per i principali parametri meteo, temperatura, precipitazione, intensità del vento con previsione e storico di 72 ore.

Il sistema SIMULATOR è basato sulla normativa vigente a livello regionale e nazionale ed è interamente sviluppato con tecnologie open-source e in maniera modulare, in modo da facilitarne l'applicazione su diverse realtà comunali.

3. Scenari di danno sismici

Il rischio sismico è funzione delle caratteristiche fisico-antropiche del territorio ed è dato dalla combinazione di vulnerabilità, pericolosità ed esposizione. La vulnerabilità è la predisposizione delle costruzioni, dei sistemi urbani e infrastrutturali, a subire danni in conseguenza di eventi sismici; è una caratteristica antropica del territorio. La pericolosità è la probabilità che in un dato periodo di tempo e in una determinata area si verifichi un sisma con intensità superiore ad una certa soglia; è una caratteristica fisica del territorio. L'esposizione è la distribuzione della popolazione e delle attività civili nelle aree sismiche; è una caratteristica antropica dipendente dall'evoluzione storica degli insediamenti. Il rischio sismico indica quindi la probabilità che in un dato periodo di tempo il verificarsi di un evento sismico con certe caratteristiche comporti danni alla collettività riguardanti determinate risorse.

Nel progetto SIMULATOR gli scenari di danno per il rischio sismico sono stati elaborati per i 5 comuni bresciani stakeholder: Bagnolo Mella, Borgosatollo, Ghedi, Montichiari e Montirone (Figura 1). La scelta di questi comuni non è stata casuale: la mappa di Figura 2 mostra le massime intensità Macrosismiche rilevate in Lombardia tra gli anni 1000-1980. Si può notare che proprio



Figura 1
Area in cui sono localizzati gli stakeholder per il rischio sismico e loro ubicazione sulla mappa.

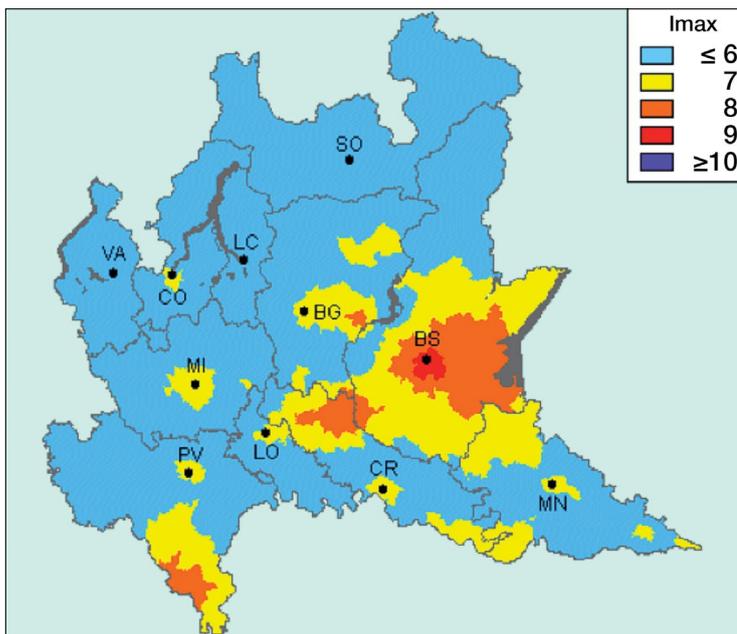


Figura 2
Massime intensità macrosismiche in Lombardia. (fonte: http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/3.html).

le zone del bresciano presentano valori anche superiori all’VIII grado di intensità, indicativi di danni estesi e diffusi. Nel presente articolo verrà dato particolare risalto al caso studio del comune di Bagnolo Mella poiché il sistema di monitoraggio sismico strumentale sviluppato da Eucentre nell’ambito del progetto è stato installato proprio in una Scuola Primaria di Bagnolo Mella.

3.1 Pericolosità

Al fine di elaborare scenari di danno sismici sulla base di terremoti realmente avvenuti in passato con risentimento nei comuni selezionati, sono stati considerati gli eventi più significativi risultanti dall’analisi dei cataloghi sismici. In particolare ci si è riferiti al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11, Rovida et al., 2011). Il catalogo CPTI11 è disponibile sul web al link <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI> e copre lo spazio temporale dal 1000 al 2006. Le informazioni di CPTI11 sono state integrate con le informazioni contenute nel database macrosismico (DBMI11, Locati et al., 2011). In Tabella 1 sono riportati i principali terremoti, sia storici che recenti, che hanno prodotto danni in Lombardia. Nella tabella, I_{max} rappresenta l’intensità massima osservata (scala MCS - Mercalli-Cancani-Sieberg-, differente dalla scala MMI - scala di Intensità Mercalli Modificata - utilizzata nelle mappe di scuotimento) mentre Mw è la magnitudo momento.

Tabella 1 - Principali eventi con risentimenti nell’areale lombardo

Data (aaaa mm gg)	Area Epicentrale	I _{max}	Mw	Numero Osservazioni Macrosismiche	Note
1065 03 27	Brescia	VIII	5.1	6	
1117 01 03	Veronese	IX	6.7	38	
1222 12 25	Basso Bresciano	IX	5.8	16	Evento selezionato
1396 11 26	Monza	VII-VIII	5.3	2	
1642 06 13	Bergamo	VI-VII	5.0	8	
1693 07 06	Goito (MN)	Vii	5.2	13	
1786 04 07	Pianura Padana	VI-VII	5.0	9	
1799 05 29	Castenedolo (BS)	VI-VII	5.0	12	
1802 05 12	Valle dell’Oglio	VIII	5.6	85	Evento selezionato
1892 01 05	Garda Occ.	VII-VIII	5.0	92	
1894 11 27	Franciacorta	VI	5.1	178	
1901 10 30	Salò	VIII	5.7	188	Evento selezionato
1918 04 24	Lecchese	VI	5.0	32	
1951 05 19	Lodigiano	VI-VII	5.4	154	
1976 12 13	Riva del Garda	VII	5.0	111	
2004 11 24	Lago di Garda	VII-VIII	5.1	175	Evento selezionato
2012 05 20	Pian. Pad. Emiliana				Mappe di scuotimento - da Legge 122/2012

Per il progetto si è scelto di selezionare 5 eventi che in qualche maniera fossero caratteristici di situazioni generali (Figura 3). È stato selezionato l’evento del 1222 come esemplificativo di un evento avvenuto in epoca storica ma con un basso numero di osservazioni macrosismiche e quindi, conseguentemente, con un alto grado di imprecisione. Non è stato selezionato l’evento con la massima magnitudo, vale a dire l’evento del 1117 (Guidoboni et al., 2007). Per questo terremoto esiste infatti una forte possibilità che si tratti di un evento multiplo con aree sorgente separate (Galli, 2005). Questo problema è ben noto agli studiosi della sismicità storica, specialmente per gli eventi avvenuti nell’epoca pre-1900. Si veda, come esempio di riferimento per quanto concerne i “falsi” terremoti, uno studio condotto su un evento attribuito in alcuni cataloghi alla Romania, ma in realtà avvenuto in Turchia (Albini, 2011). Il secondo evento scelto è quello del 1802, interessante sia perché è collocato in una zona differente dal gardesano, ove ricadono gli altri due eventi selezionati del 1901 e il recente evento del 2004, sia anche perché ha un numero significativo di risentimenti macrosismici (85 località). Come appena accennato, un altro evento selezionato è quello verificatosi nel 1901, che presenta il maggior numero di dati macrosismici e quello del 2004, registrato quindi in epoca recente. L’evento del 24 novembre 2004 avrebbe dovuto consentire anche di avere un buon numero di registrazioni strumentali, accanto a quelle macrosismiche. Purtroppo all’epoca non erano ancora presenti reti accelerometriche dense nel settore centrale dell’Italia Settentrionale (Augliera et al., 2010; Augliera et al., 2011) e l’evento possiede soltanto un solo dato relativo ad una registrazione accelerometrica strumentale della stazione di Gavardo, gestita della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN, <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/ran.wp>). Per questo evento si ha quindi un unico valore di accelerazione di picco

in accelerazione (PGA) pari a 71.87 cm/s^2 . Considerando invece il valore percentuale rispetto all'accelerazione di gravità, che è il parametro utilizzato nella produzione delle mappe di scuotimento dal programma ShakeMap, si è registrato un valore massimo pari a $7.3\% \text{ g}$ per la componente nord-sud del moto del suolo. Dal 2004 la situazione è notevolmente cambiata per quanto concerne la disponibilità di dati strumentali e l'area che ha patito le conseguenze dell'evento del 2004 è attualmente monitorata da decine di stazioni accelerometriche gestite dall'INGV e, in particolare, dalla Sezione di Milano.

Infine è stato preso in considerazione l'evento del 20 maggio 2012. In tal caso sono state considerate le elaborazioni relative alle mappe di scuotimento definite nella Legge 122/2012 senza apportare modifiche. Infatti, la 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” – riporta all'Art. 3 le norme da adottare per la “Ricostruzione e riparazione delle abitazioni private e di immobili ad uso non abitativo; contributi a favore delle imprese; disposizioni di semplificazione procedimentale”. Al comma 10 del suddetto articolo, si fa riferimento alle mappe di scuotimento calcolate per l'evento in oggetto (si veda <http://terremoti.ingv.it/ultimi-eventi/895-mappe-di-scuotimento-legge-122-2012.html>).

In Figura 3 sono indicati gli epicentri degli eventi considerati nel progetto SIMULATOR per la produzione di mappe di scuotimento, utilizzate come parametro di pericolosità per la successiva analisi di stima del danno atteso a seguito di un evento sismico. Lo sfondo della mappa in Figura 3 invece del consueto Digital Elevation Model (DEM) rappresenta la distribuzione geografica della velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio (V_{s30}). Nel D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) tale parametro viene utilizzato per definire la classificazione del suolo di fondazione su cui verrà edificata la costruzione e disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azione sismica.

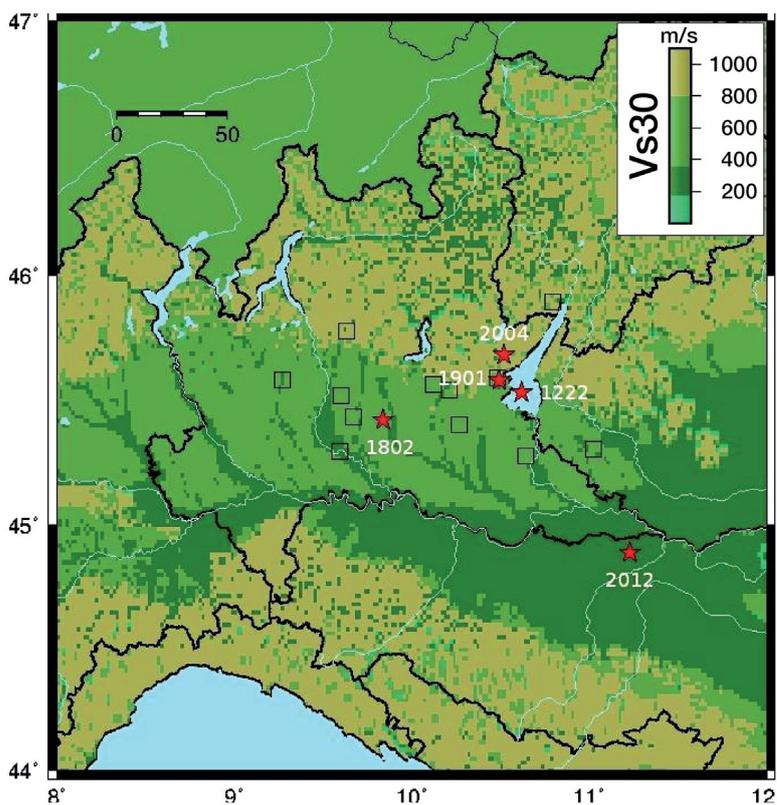


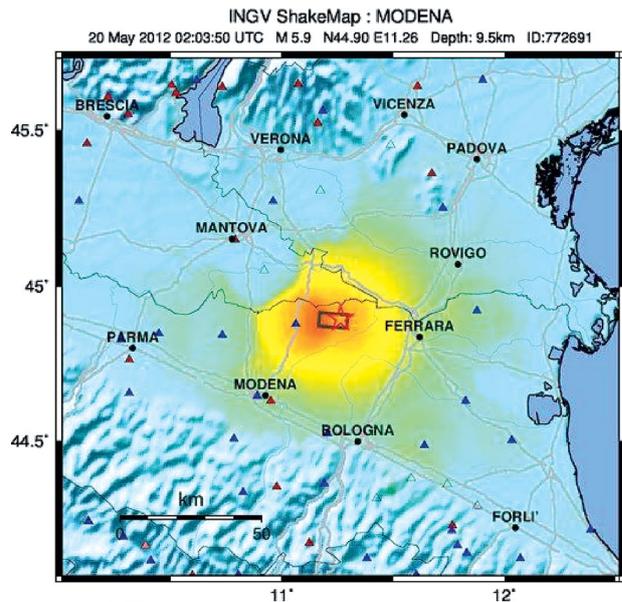
Figura 3
I 5 eventi selezionati.

La mappa di scuotimento è una delle possibili rappresentazioni degli effetti prodotti da un terremoto. Ogni evento sismico produce livelli di scuotimento ai vari siti che dipendono dalla magnitudo del terremoto, dalla distanza ipocentrale, dalle condizioni del suolo (che possono dar luogo a fenomeni di amplificazione locale) e dall'attenuazione geometrica (dovuta al percorso di propagazione delle onde nella complessa struttura interna della terra). Uno dei software maggiormente diffusi per la predisposizione delle mappe di scuotimento fu sviluppato dal U.S. Geological Survey (USGS) e prende il nome di ShakeMap® (Wald et al, 2005). Il programma è liberamente scaricabile dal link: <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/12A01/>. Le Shakemap sono

generalmente fornite e sviluppate a partire dalle registrazioni effettuate dai dati strumentali (velocimetri e accelerometri). Per il progetto SIMULATOR è stato considerato il loro utilizzo anche a partire da dati macrosismici.

Oltre alle mappe in intensità, accelerazione e velocità, di cui è riportato un esempio in Figura 4 per il terremoto del 20 maggio 2012, le elaborazioni svolte per il progetto SIMULATOR hanno fornito mappe delle ordinate spettrali (calcolate per i periodi 0.3, 1 e 3 secondi, considerando il valore di picco delle pseudo-accelerazioni con smorzamento al 5%). L'ordinata spettrale rappresenta un parametro ingegneristico che fornisce indicazioni sul comportamento della struttura in risposta al moto del suolo.

Figura 4
Terremoto del 20 maggio 2012: (a) Shakemap in intensità (espressa in scala Mercalli Modificata, MMI), (b) in accelerazione (% g) e (c) in velocità (cm/s).

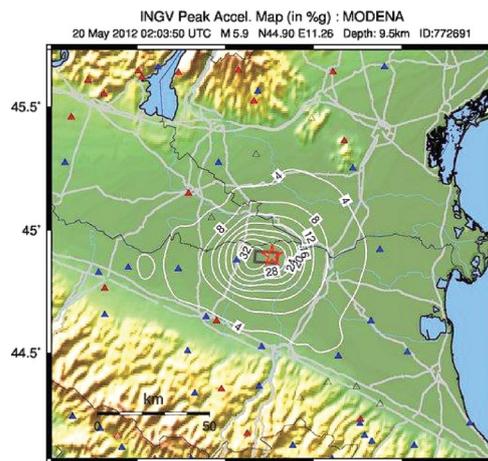


Map Version 7 Processed 2015-04-23 09:21:47 UTC

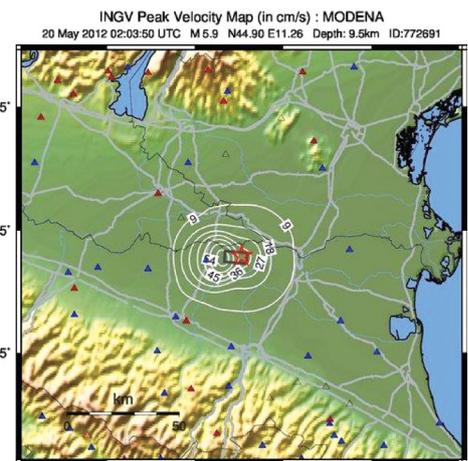
PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy	
PEAK ACC (%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL (cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	66	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

a)

Scale based upon Worden et al. (2012)



b) Map Version 7 Processed 2015-04-23 09:21:47 UTC



c) Map Version 7 Processed 2015-04-23 09:21:47 UTC

Per il progetto SIMULATOR è stata utilizzata l'ultima versione disponibile per gli utenti scientifici del programma ShakeMap (V3.5 dell'ottobre 2014). Tale versione accetta in input i valori di MMI (o di Intensità in generale, intendendo in questa accezione anche i valori ricavati ad esempio dai DYFI - Did You Feel It? -) e ha quindi permesso di poter elaborare gli scenari di scuotimento per gli eventi storici utilizzando non solo i parametri sorgente (coordinate epicentrali, profondità e magnitudo evento) ma anche i valori di intensità alle varie località ricavati dalle banche dati macrosismiche.

Per gli eventi storici la definizione della magnitudo passa attraverso una conversione dai valori di intensità; sono stati adottati

i valori definiti nel catalogo CPTI11 (Rovida et al., 2011) che derivano principalmente dall'applicazione software Boxer (versione 3.3, Gasperini et al., 1999). È occorso poi considerare le relazioni di attenuazione in funzione della distanza (Ground Motion Prediction Equations, GMPE) e l'influenza degli effetti di sito. La legge di attenuazione utilizzata per le valutazioni di scenario di danno in SIMULATOR è quella descritta in Bindi et al. (2011).

3.2 Vulnerabilità ed esposizione

Al fine di elaborare scenari di danno dovuti ad eventi sismici realmente accaduti (i 5 terremoti descritti nel paragrafo precedente), la vulnerabilità degli edifici è stata valutata con curve di capacità note nella letteratura tecnica come "curve pushover". La metodologia adottata per la definizione delle curve di capacità è stata sviluppata per studi di vulnerabilità a larga scala sulla base di un metodo meccanico pubblicato in letteratura con l'acronimo SP-BELA (Simplified Pushover Based Earthquake Loss Assessment) (Borzi et al., 2008a e 2008b).

La capacità è valutata in funzione del numero di piani e della classe di vulnerabilità degli edifici. Le classi di vulnerabilità identificate sono:

- Classe A: muratura ad elevata vulnerabilità;
- Classe B: muratura a media vulnerabilità;
- Classe C1: muratura ad bassa vulnerabilità;
- Classe C2: cemento armato non sismicamente progettato;
- Classe D: cemento armato sismicamente progettato.

Per ogni classe viene creato un campione di 1000 edifici mediante una generazione Monte Carlo. È stato testato che aumentando la dimensione del campione non si modificano sensibilmente i risultati. I parametri necessari per la descrizione del campione sono le variabili che influenzano le dimensioni geometriche degli edifici, i carichi e le resistenze dei materiali. Per gli edifici in cemento armato la procedura include anche una fase di progettazione simulata. La dimensione degli elementi strutturali e le armature infatti non sono propriamente variabili aleatorie, ma vengono definite progettando l'edificio in accordo con le norme in vigore nell'anno di progettazione dello stesso. Per ciascun edificio del campione viene condotta con la metodologia SP-BELA un'analisi pushover semplificata che permette di calcolare le proprietà di un sistema equivalente ad 1 grado di libertà, quali la capacità di spostamento, il periodo di vibrazione equivalente e lo smorzamento viscoso equivalente per ciascuno stato limite di riferimento. Gli stati limite presi in considerazione sono: LS1 danno lieve, LS2 danno severo e LS3 collasso (Calvi, 1999). Confrontando la domanda imposta dal terremoto con la capacità dell'edificio è possibile ottenere le curve di fragilità. In SP-BELA il confronto viene svolto in termini di spostamento. La capacità di spostamento degli edifici è rappresentata dalla curva pushover calcolata come illustrato. Per calcolare la domanda si costruisce lo spettro elastico associato al comune in cui è situato l'edificio in esame per tutti i periodi di ritorno considerati (tipicamente i 9 periodi di ritorno indicati dal D.M. 14/01/2008). Si entra nello spettro con il periodo di oscillazione dell'edificio fornito da SP-BELA per lo stato limite in esame. Si legge sullo spettro di spostamento l'ordinata spettrale e poi la si moltiplica per il fattore di riduzione delle ordinate spettrali che tiene conto della capacità di dissipare energia della struttura. Questo processo viene ripetuto per tutti i 1000 edifici generati per ogni classe. La somma di tutti gli edifici la cui capacità di spostamento è minore della domanda di spostamento divisa per il numero totale di edifici considerati fornisce la probabilità condizionata di danno, dato il verificarsi di uno scuotimento caratterizzato da un prefissato periodo di ritorno. Vengono così identificati 9 punti della curva di fragilità, poi interpolati con una funzione log-normale per ottenere una funzione continua.

La metodologia SP-BELA è stata migliorata negli anni e nel progetto SIMULATOR è stata utilizzata la sua versione più recente. In particolare le evoluzioni del metodo hanno riguardato i seguenti aspetti:

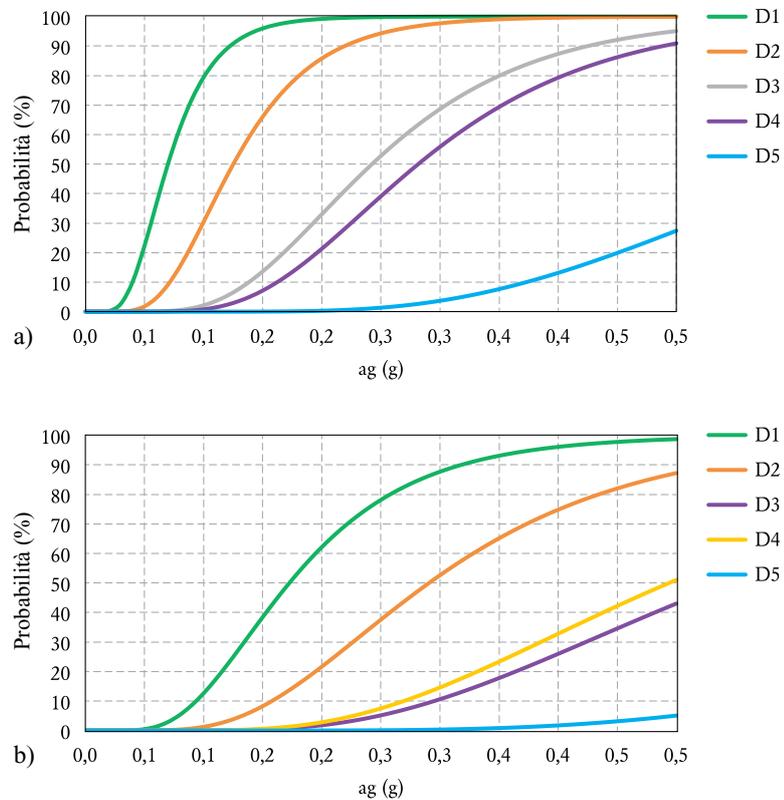
1. Per la muratura il metodo SP-BELA non è in grado di descrivere in maniera affidabile il comportamento degli edifici ad elevata e media vulnerabilità (classi A e B) in quanto l'unico campione statisticamente significativo che può fornire i parametri necessari per calcolare la capacità strutturale è quello della muratura di buona qualità (classe C1);
2. Per la valutazione degli scenari di danno e per confrontare i risultati ottenuti con SP-BELA con quelli derivanti dai dati osservati è stato necessario trovare una relazione fra gli stati limite di danno identificati numericamente (LS1, LS2 e LS3) e i livelli di danno della scala EMS98 (Grünthal, 1998) che vanno da D0=nessun danno a D5=collasso;
3. Per validare la metodologia sono stati confrontati gli scenari di danno ottenuti con SP-BELA con quelli derivanti dai dati osservati e sono state svolte le opportune calibrazioni.

La prima criticità è stata superata con l'introduzione di coefficienti che mettono in relazione la capacità degli edifici a bassa vulnerabilità (classe C1) con quella degli edifici a media e alta vulnerabilità (rispettivamente classe B e A). Le curve di fragilità per le classi A e B sono state quindi ottenute a partire dalla curva per la classe C1 attraverso l'applicazione di coefficienti moltiplicativi della media della distribuzione di probabilità. Tali coefficienti sono stati calcolati inizialmente a partire dalle matrici di probabilità di danno elaborate da Braga (Braga et al., 1982) a seguito del trattamento statistico dei dati di danno rilevati nei comuni danneggiati dal terremoto dell'Irpinia del 1980, successivamente verificati alla luce delle indagini di det-

taglio svolte sugli edifici danneggiati dal terremoto del 1984 nelle regioni Lazio e Abruzzo. Si è poi deciso di ricalcolare tali coefficienti utilizzando le DPM (Damage Probability Matrix) elaborate da Lagomarsino e Giovinazzi (2006) sulla base della scala EMS98 (Grünthal 1998). L'utilizzo di coefficienti moltiplicativi del valore medio acquista significato se si assume che nel passaggio da una classe di vulnerabilità all'altra si conserva il valore di dispersione della curva di fragilità (la qualità della muratura influenza solo il valore medio della curva). L'ipotesi di base è che al variare della classe di vulnerabilità le incertezze legate al comportamento strutturale non cambiano.

Lo studio di Lagomarsino e Giovinazzi (2006) è stato utilizzato anche per affrontare il secondo punto. Analogamente al caso della correlazione fra la vulnerabilità delle classi C1, A e B, anche la relazione fra livelli di danno e stati limite è stata definita sulla base dei dati di danno osservato e, per coerenza, sono state appunto considerate anche questa volta le DPM di Lagomarsino e Giovinazzi (2006). Le ipotesi di base sono che il livello di danno D3 corrisponde allo stato limite di danno severo (LS2) e che il livello di danno D4 corrisponde allo stato limite di collasso (LS3). Gli altri livelli di danno sono stati definiti applicando coefficienti moltiplicativi del valore medio della curva di fragilità del livello D3 per il calcolo di D1 e D2 e della curva del livello D4 per il calcolo di D5. In Figura 5 sono mostrate le curve di fragilità ottenute per due differenti classi di vulnerabilità.

Figura 5
Curve di fragilità per i 5 livelli di danno della scala EMS98 per: (a) edificio in classe di vulnerabilità A a 2 piani e (b) edificio in classe di vulnerabilità D a 4 piani.



Infine la metodologia SP-BELA è stata calibrata utilizzando tutti i database di danno osservato a disposizione che contenesero un numero significativo di dati. I terremoti presi in considerazione sono Friuli 1976, Irpinia 1980, Abruzzo 1984, Umbria-Marche 1997, Pollino 1998, Molise 2002 e L'Aquila 2009.

Per il progetto SIMULATOR l'esposizione è stata derivata dai database topografici forniti dai comuni e dalle informazioni reperite all'interno del database ISTAT delle costruzioni. Con la legge regionale LR n. 12 del 2005 Regione Lombardia ha deciso di realizzare una base geografica di riferimento condivisa tra Regione ed Enti Locali costituita da un database topografico regionale derivante dalla mosaicatura e dalla ristrutturazione dei database topografici prodotti dagli enti locali. I 5 comuni bresciani stakeholder del progetto fanno parte dei 1244 comuni su 1544 (80% dei comuni di Regione Lombardia) che hanno risposto positivamente alla richiesta di Regione Lombardia. Il database topografico è una base dati informatizzata e georeferenziata (cioè associata ad un sistema di coordinate) contenente dati geografici di base utili per la conoscenza del territorio. Ai fini dell'elaborazione degli scenari di danno, tra i diversi shapefile che costituiscono i database topografici sono stati utilizzati quelli che riportano le aree degli edifici geolocalizzati e la loro altezza. Ipotizzando un'altezza di interpiano media di 3.5 m, è

stato calcolato il numero di piani di ogni edificio. Il passo successivo è stata l'assegnazione della classe di vulnerabilità. Non essendo presente l'informazione relativa alla tipologia strutturale e all'anno di costruzione degli edifici nei database topografici, si è fatto ricorso al database ISTAT delle costruzioni che invece contiene queste informazioni necessarie per l'assegnazione della classe di vulnerabilità. Per ognuno dei 5 comuni analizzati sono state calcolate, a partire dai dati ISTAT, le % di edifici in classi di vulnerabilità in funzione del numero di piani. In Tabella 2 sono mostrate le % calcolate per il comune di Bagnolo Mella.

Tabella 2: % di edifici nelle diverse classi di vulnerabilità per il comune di Bagnolo Mella

Comune	N. piani	% classe A	% classe B	% classe C1	% classe C2	% classe D
Bagnolo Mella	1	12.2	21.7	41.4	24.7	0.0
Bagnolo Mella	2	20.3	23.5	34.6	21.6	0.0
Bagnolo Mella	3	24.0	23.3	28.4	24.3	0.0
Bagnolo Mella	4	11.9	16.9	23.1	48.1	0.0
Bagnolo Mella	5	37.0	11.5	1.5	50.0	0.0
Bagnolo Mella	6	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Bagnolo Mella	7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0
Bagnolo Mella	8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

La scelta di utilizzare anche il database topografico e non solo il database ISTAT per l'esposizione consente di visualizzare su mappa la distribuzione spaziale dei danni attesi, cosa che non sarebbe stata possibile con il solo ausilio del database ISTAT che fornisce informazioni relative alla totalità del comune senza un'indicazione geografica.

3.3 Scenari di danno

La metodologia utilizzata per la produzione degli scenari di danno prevede il calcolo della probabilità di raggiungere o superare un prefissato livello di danno tramite il confronto tra capacità di spostamento e domanda di spostamento. La capacità di spostamento per i 5 livelli di danno considerati viene calcolata con la metodologia integrata in SP-BELA e illustrata nel §3.2. Non viene interamente utilizzato il metodo SP-BELA in quanto, al fine di tenere conto della variabilità dell'input sismico in termini di contenuto in frequenza, non si generano curve di fragilità, ma la capacità di spostamento per gli edifici del campione viene direttamente confrontata con la domanda di spostamento derivante dallo spettro calcolato a partire dalle Shakemap elaborate dall'INGV come descritto nel §3.1.

Per ogni comune vengono elaborati 5 scenari di danno, corrispondenti ai 5 terremoti storici selezionati. Per ogni evento e per ogni edificio del database topografico l'output dello scenario è espresso in termini di probabilità di raggiungere il livello di danno D1, D2, D3, D4 e D5. È stata fatta anche un'ulteriore elaborazione che prevede il calcolo del livello di danno più probabile che ogni edificio può raggiungere in seguito all'evento selezionato, ottenuto prendendo il più alto livello di danno tra quelli con probabilità di superamento maggiore del 50%. In Figura 6 sono mostrati due scenari di danno per il comune di Bagnolo Mella: nella figura (a) è riportato lo scenario per il livello di danno D2 in riferimento al terremoto del 1222 e nella figura (b) lo scenario per il livello di danno D1 in riferimento al terremoto del 1901. I valori categorizzati indicano la probabilità di raggiungere il livello di danno selezionato. In Figura 7 è invece mostrato il livello di danno più probabile che ogni edificio del comune di Bagnolo Mella può raggiungere in seguito al terremoto del 1222 sulla base delle analisi eseguite con SP-BELA.

4. Monitoraggio Sismico

Nell'ambito del progetto SIMULATOR, Eucentre ha installato presso la Scuola Primaria di via XXVI Aprile di Bagnolo Mella (Figura 8) una stazione di monitoraggio delle azioni dinamiche e dell'evoluzione del quadro fessurativo in funzione di parametri ambientali come la temperatura e il vento.

La stazione di monitoraggio installata risulta così composta:

- 1) PC Fanless Embedded System, 2GB DDR2 SODIMM, Intel Core 2 Duo Celeron, Windows 7 e disco allo stato solido (vedi Figura 9 riquadro rosso);
- 2) Alimentatore monofase 24Volt DC 5 Ampere (vedi Figura 9 riquadro verde) + Alimentatore 12 Volt DC 1,5 Ampere;
- 3) NI cDAQ 9178 chassis 8 slot dotato di n. 3 moduli NI9230 3 ingressi analogici 24Bit in tensione (± 30 Volt) 12.8 kS/s/canale, modulo NI9208 con 16 ingressi analogici 24Bit in corrente (± 20 mA) e n.1 moduli NI9205 32 ingressi analogici 16 Bit in tensione (± 10 Volt) (vedi Figura 9 riquadro giallo);

Figura 6
Scenari di danno per il comune di Bagnolo Mella: (a) probabilità di raggiungere il livello di danno D2 con l'evento del 1222, (b) probabilità di raggiungere il livello di danno D1 con l'evento del 1901.



Figura 7
Livello di danno più probabile per gli edifici del comune di Bagnolo Mella in seguito all'evento del 1222.

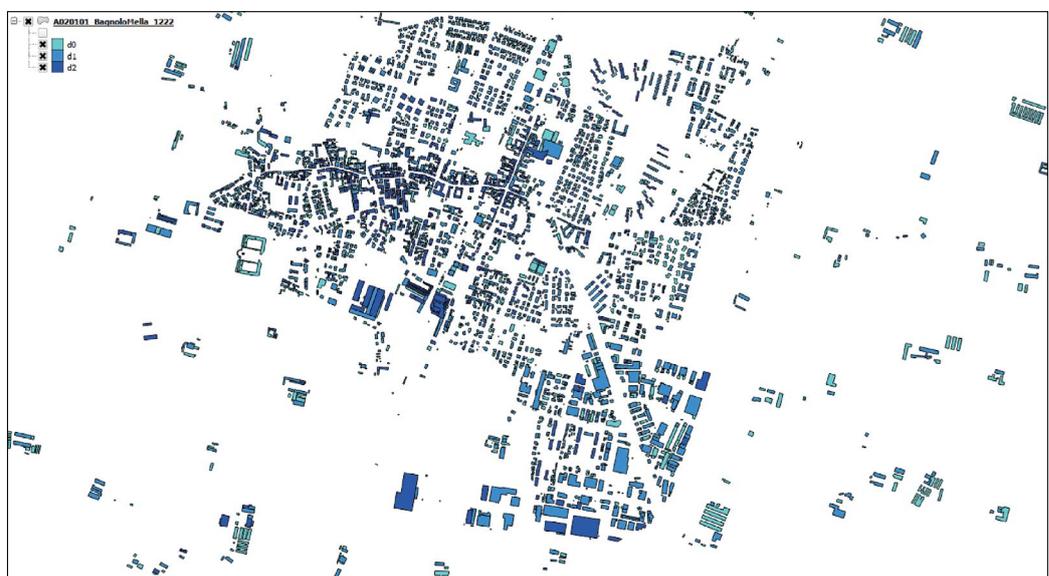




Figura 8
Scuola Primaria di Bagnolo Mella sulla quale è stato installato il sistema di monitoraggio sismico.

4) L'hardware di acquisizione è installato all'interno di un quadro a muro in poliestere IP65 dotato di filtro in mandata e ventola in aspirazione. Il quadro è stato posizionato al piano primo dell'edificio.

In posizioni concordate con l'ufficio tecnico ed i suoi consulenti sono stati installati:

1. n. 8 accelerometri monoassiali;
2. n. 5 trasduttori di spostamento LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) ad alta risoluzione;
3. n. 1 termometro per esterni;
4. n. 1 stazione meteo per la misura di velocità e direzione del vento;

Tutta la strumentazione è stata installata e cablata fino al quadro principale con cavi multipolari dotati di 5 coppie di fili schermate singolarmente, sezione del filo pari a 0.25 mm^2 .

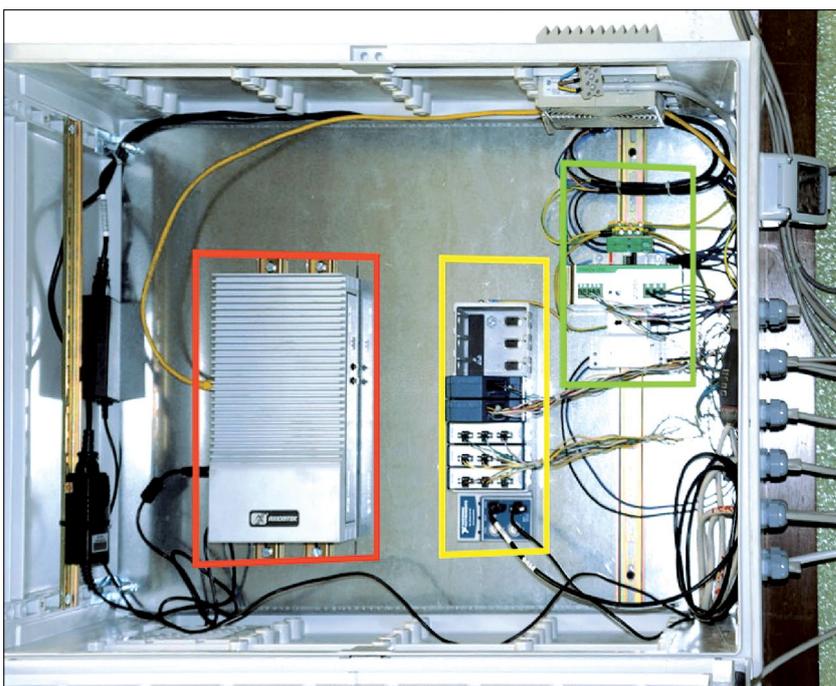
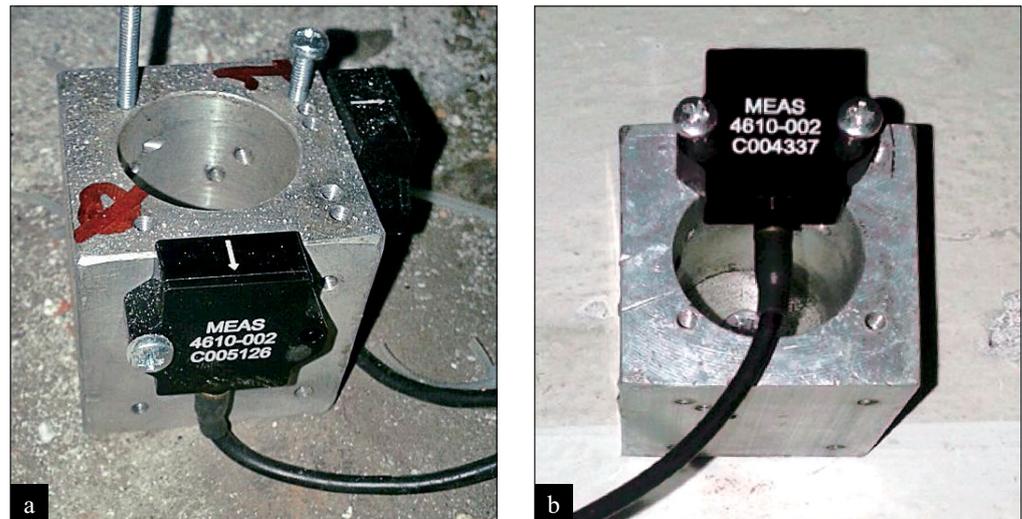


Figura 9
Interno della stazione di monitoraggio.

4.1 Installazione

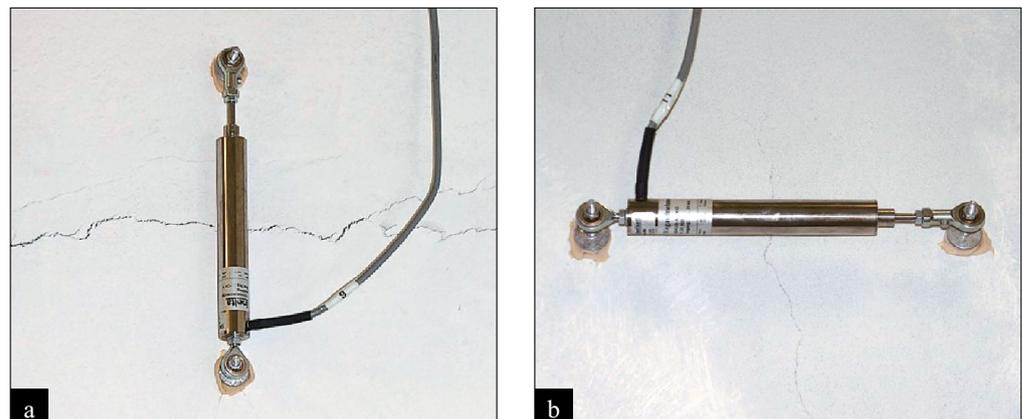
Al fine di monitorare il comportamento dinamico dell'edificio in caso di scosse sismiche anche di lieve intensità sono stati installati n. 8 accelerometri MEMS compensati in temperatura, modello Measurement Specialties 4610 con range di misura ± 2 g. La tensione di eccitazione nominale può variare da 8 a 36 Volt e nello specifico gli strumenti sono alimentati a 24 Volt. Gli strumenti sono dotati di un sistema di compensazione in temperatura che li rende estremamente stabili in un campo da -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$. Gli accelerometri sono stati fissati alla struttura portante mediante basi in alluminio con fori filettati. Per il vincolo delle basi è stato predisposto un tassello meccanico e la superficie di contatto è stata riempita con colla epossidica bi-componente al fine di garantire la massima rigidezza. In Figura 10 sono mostrati due degli accelerometri installati, uno al piano interrato e uno al piano terra.

Figura 10
Accelerometri: (a) installato in fondazione al piano interrato e (b) installato sul solaio del piano terra.



Al fine di monitorare l'andamento del quadro fessurativo, sono stati installati anche trasduttori di spostamento LVDT (Linear Variable Displacement Transducer). L'installazione è stata realizzata vincolando le estremità del trasduttore sui lati opposti della fessura oggetto di monitoraggio, facendo in modo che l'asse dello strumento sia approssimativamente perpendicolare all'andamento della fessura (nel punto di installazione). Il fissaggio è stato realizzato mediante barre filettate ancorate al muro tramite resina epossidica bicomponente; gli snodi di estremità dello strumento sono stati vincolati alle barre filettate con dado e contro-dado. Uno strumento di riferimento utilizzato al fine di monitorare gli effetti delle variazioni termiche sull'elettronica è stato posizionato in corrispondenza del punto di installazione del rack di acquisizione e vincolato ad esso. In Figura 11 sono mostrati due dei 5 trasduttori di spostamento LVDT ad alta risoluzione installati.

Figura 11
LVDT canale 9 (a) e canale 11 (b).



La stazione meteo (Figura 12), che comprende un sensore di velocità del vento, un sensore di direzione del vento ed un sensore di temperatura per esterni, è stata assemblata su un apposito telaio in alluminio con controventi ed è stata fissata tramite un giunto metallico alla struttura principale della linea vita presente in copertura.

4.2 Software di acquisizione

Il software di acquisizione dati (Figura 13) è stato realizzato in ambiente di programmazione Labview e prevede la digitalizzazione dei segnali analogici provenienti dall'hardware di acquisizione National Instruments e la loro conversione in unità ingegneristiche. I trasduttori vengono monitorati elaborando in modo differente gli strumenti destinati alle deformazioni a lungo termine e quelli destinati alla registrazione delle vibrazioni.

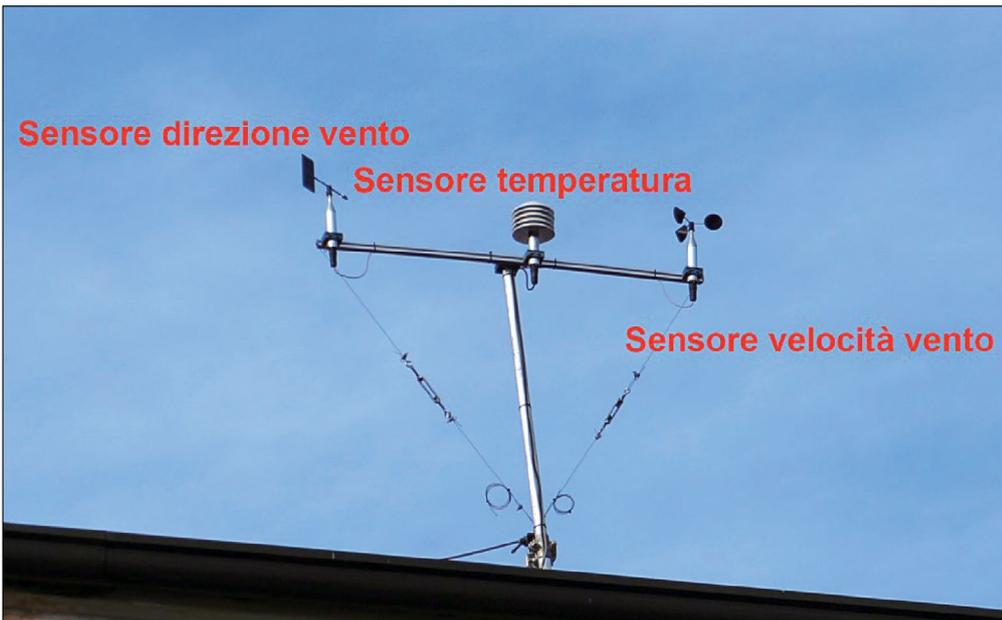


Figura 12
Stazione meteo installata sul tetto della scuola.

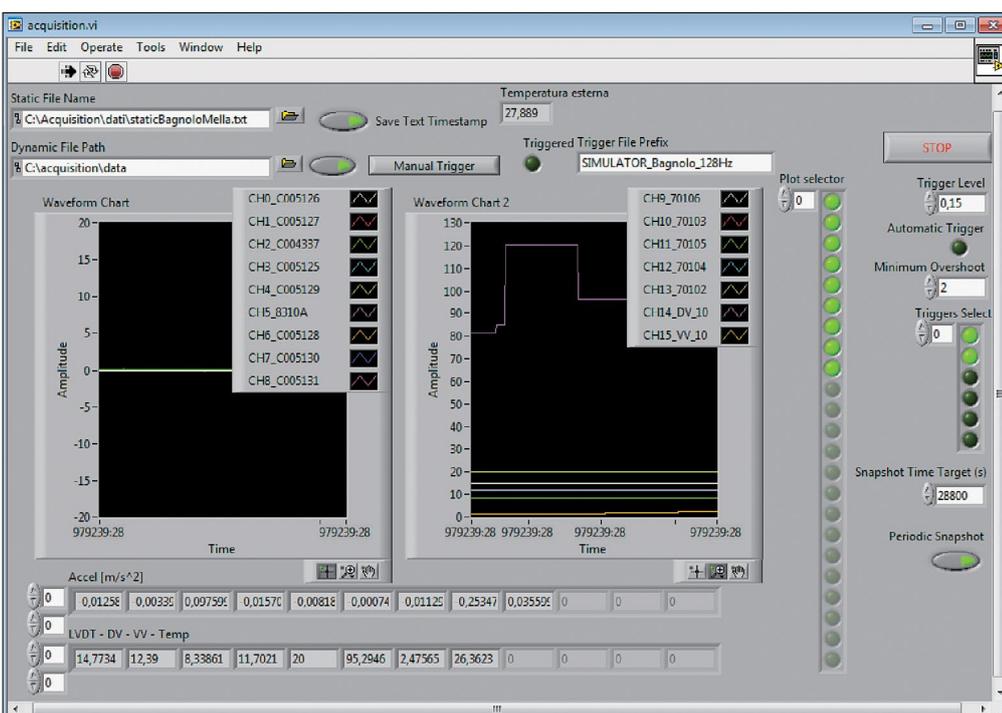


Figura 13
Software di acquisizione.

Attraverso un portale su ambiente Cloud sviluppato da Eucentre è possibile accedere alle acquisizioni del software. Il software permette contemporaneamente: i) l'acquisizione temporizzata, ii) l'acquisizione a superamento di soglia, iii) l'acquisizione su singola richiesta. L'acquisizione temporizzata avviene in modo automatico dopo un intervallo di tempo prestabilito, in questo caso 8 ore. L'acquisizione a superamento di soglia avviene solo quando le accelerazioni registrate superano la soglia prestabilita. Infine l'acquisizione su singola richiesta viene attivata dall'utente attraverso il portale. In Figura 14 è mostrata la Homepage del portale in cui viene mostrata sulla mappa la posizione in cui è stato installato il sistema di monitoraggio, in questo caso a Bagnolo Mella. Selezionando il sistema di acquisizione nella parte sinistra della pagina, viene mostrata la tabella riportata in Figura 15 che elenca tutte le acquisizioni eseguite. Cliccando nella colonna "Input" in corrispondenza dell'acquisizione di interesse viene mostrato il grafico riportato in Figura 16 che illustra le accelerazioni registrate in un'ora dagli accelerometri installati. Cliccando invece nella colonna "Output" è possibile visualizzare e scaricare un documento pdf che riporta le deformate dell'edificio.

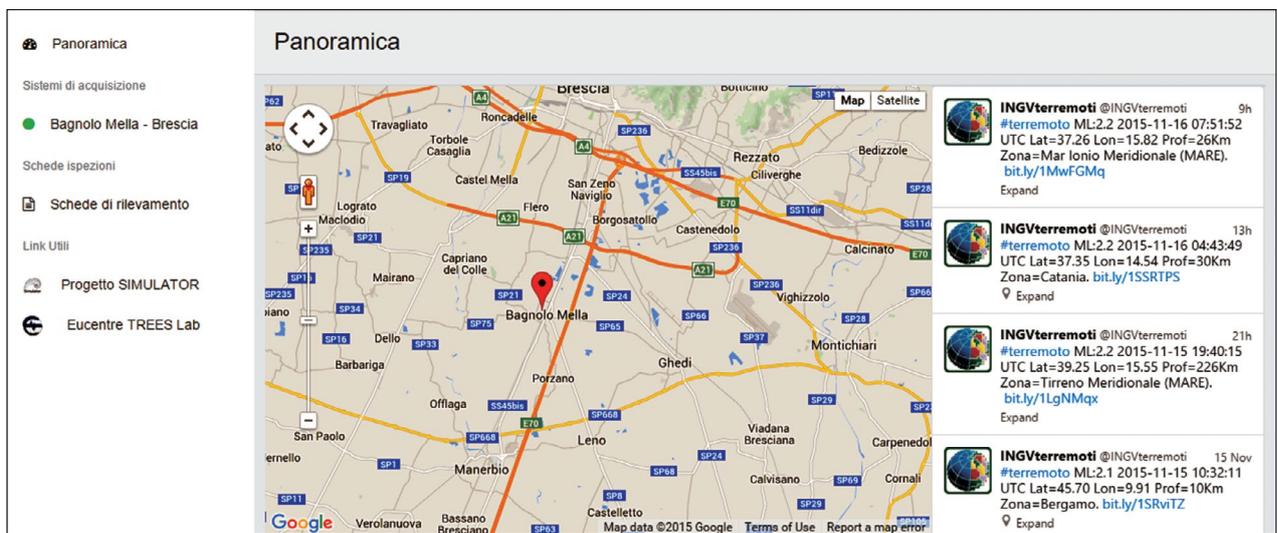


Figura 14 - Homepage del portale sul monitoraggio sismico.

#	Data	Inizio	Fine	Frequenza	Input	Output
152	16/11/15	15:57	15:58	128 Hz	raw	pdf
151	16/11/15	07:57	07:58	128 Hz	raw	pdf
150	15/11/15	23:57	23:58	128 Hz	raw	pdf
149	15/11/15	15:57	15:58	128 Hz	raw	pdf
148	15/11/15	07:57	07:58	128 Hz	raw	pdf
147	14/11/15	23:57	23:58	128 Hz	raw	pdf
146	14/11/15	15:57	15:58	128 Hz	raw	pdf
145	14/11/15	07:57	07:58	128 Hz	raw	pdf
144	13/11/15	23:57	23:58	128 Hz	raw	pdf
143	13/11/15	15:57	15:58	128 Hz	raw	pdf

Figura 15 - Elenco delle acquisizioni eseguite.

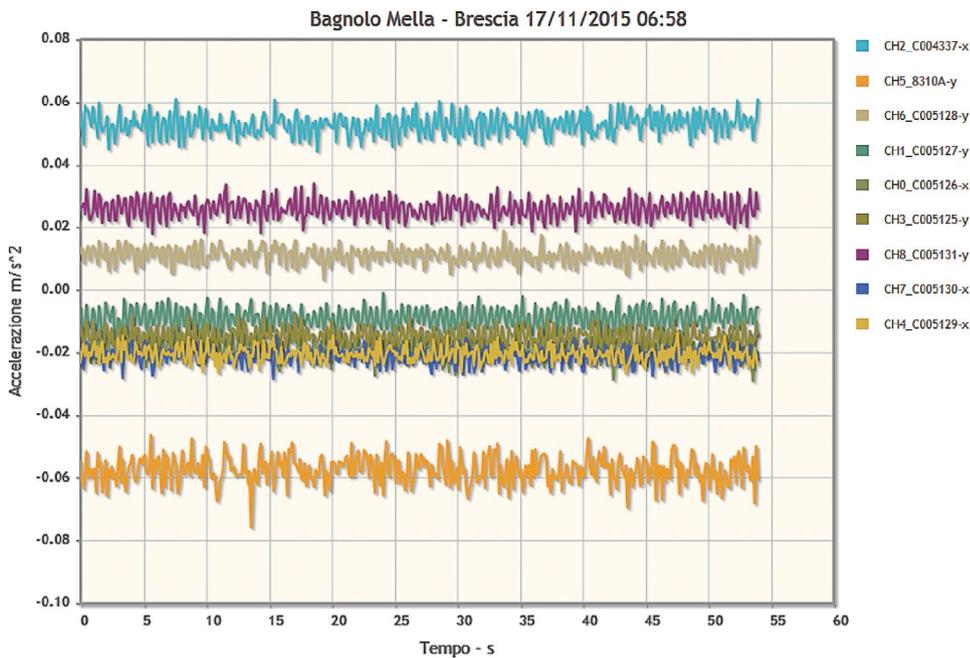


Figura 16
Esempio di acquisizione.

5. Conclusioni

Nel presente articolo sono stati descritti gli scenari di danno sismico calcolati per il comune di Bagnolo Mella all'interno del progetto SIMULATOR: la scelta degli eventi significativi da prendere in considerazione, la produzione delle shakemap, l'elaborazione del database topografico al fine di ottenere un database di esposizione e la scelta delle curve di fragilità da assegnare agli edifici per la valutazione della loro vulnerabilità. La convoluzione di pericolosità, esposizione e vulnerabilità ha portato al calcolo degli scenari di danno in termini di probabilità di raggiungere un determinato livello di danno e anche di livello di danno più probabile raggiunto da ogni edificio. È stato presentato anche il sistema di monitoraggio sismico progettato e installato sulla Scuola Primaria di Bagnolo Mella. Gli scenari di danno e le registrazioni derivanti dal monitoraggio sono fruibili da una piattaforma WebGIS appositamente sviluppata. L'utente che vi accede, in particolare colui che deve prendere decisioni nei momenti immediatamente successivi all'accadimento di un terremoto, può visualizzare su mappa lo scenario di danno precalcolato il cui input sismico, tra quelli presi in considerazione, è più vicino a ciò che si è appena verificato. Può inoltre vedere quali sono le accelerazioni registrate dal sistema di monitoraggio e può "sovrapporre" queste informazioni con quanto noto dal Piano di Emergenza Comunale al fine di gestire al meglio l'emergenza in corso. Lo strumento sviluppato è veloce e intuitivo, interamente sviluppato con tecnologie open-source, può essere applicato su diverse realtà comunali o sovramunicipali. Le potenzialità dello strumento possono essere ampliate ad esempio utilizzando anche i dati derivanti dall'elaborazione di immagini telerilevate, acquisite tramite l'Hub di dati Sentinel del programma Copernicus, al fine di meglio caratterizzare il costruito e quindi rendere più affidabile il database di esposizione. Inoltre si potrebbe introdurre un tool per il calcolo degli scenari di danno in real time sulla base dei dati di input derivanti direttamente dal sito dell'INGV.

6. Ringraziamenti

Questa prototipo è il risultato del progetto SIMULATOR presentato nell'ambito del POR 2007-2013 di Regione Lombardia, cofinanziato tramite il FESR - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale. Gli autori desiderano ringraziare gli altri partner del progetto (CEFRIEL, CNR di Milano, TerrAria, ASTIR, Mixel, NIER, MOPI, Briantel, BV Tech, ESRI) e i comuni stakeholder (Comune di Milano, Comunità Montana Valtellina di Tirano, comuni di Bagnolo Mella, Borgosatollo, Ghedi, Montichiari e Montirone) per la loro partecipazione e collaborazione. In particolare il comune di Bagnolo Mella, nel quale è stato installato il sistema di monitoraggio.

Bibliografia

- Albini P. (2011) - The True Case of the 1276 Fake Earthquake. *Seismol. Res. Letters*, 82, 1, 111-114, doi: 10.1785/gssrl.82.1.111.
 Augliera P., D'Alema E., Marzorati S., Massa M. (2010) - A strong motion network in Northern Italy: detection capabilities and first analysis. *Bull. Earthq. Eng.*, 8, 5, 1091-1104, DOI: 10.1007/s10518-009-9165-y.

- Augliera P., Massa M., D'Alema E., Marzorati S. (2011) - RAIS: a real time strong-motion network in northern Italy. *Ann. Geophys*, 54, 1, 23-34, DOI:10.4401/ag-4855.
- Bindi D., Pacor F., Luzi L., Puglia R., Massa M., Ameri G., Paolucci R. (2011) - Ground Motion Prediction Equations Derived from the Italian Strong Motion Data Base. *Bull. Earthq. Eng.*, 9, 6, SI, 1899-1920, DOI:10.1007/s10518-011-9313-z.
- Borzi B., Pinho R., Crowley H. (2008a) - Simplified pushover-based vulnerability analysis for large scale assessment of RC buildings. *Eng Struct* 2008;30(3):804-820.
- Borzi B., Crowley H., Pinho R. (2008b) - Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment (SPBELA) Method for Masonry Buildings. *International J of Architectural Heritage* 2008;2(4):353-376.
- Braga F., Dolce M., Liberatore D. (1982) - A statistical Study on damage buildings and an ensuing review of the M.S.K. – 76 scale”, *Atti del 7 ECEE*, Atene.
- Calvi G.M. (1999) - A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 3(3), 411-438.
- D.M. 14/01/2008 (2008) - Norme Tecniche delle Costruzioni, D.M. del 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008 - Supplemento Ordinario n. 30.
- Galli P. (2005) - I terremoti del gennaio 1117. Ipotesi di un epicentro nel cremonese. *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, 18(2), 87-100.
- Gasparini P., Bernardini F., Valensise G., Boschi E. (1999) - Defining Seismogenic Sources from Historical Earthquakes Felt Reports, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 1, 94-110.
- Gianfreda R., Curone D., Sterlacchini S., Faravelli M., Salerno R., Mangiaracina R., Grilli S., Riva M. (2015) - SIMULATOR: Sistema Integrato ModULAre per la gestTione e prevenziOne dei Rischi, XIX Conferenza Nazionale ASITA, 29 settembre – 1 ottobre 2015, Lecco.
- Grünthal G. (1998), *European Macroseismic Scale 1998 (EMS 1998)*, Council of Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie 1998;15.
- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med/>
- Lagomarsino S., Giovinazzi S. (2006) - Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of the current buildings, *Bull Earthquake Eng* (2006) 4: 415-443, DOI 10.1007/s10518-006-9024-z.
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (a cura di) (2011) - DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>, DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11.
- Legge Regionale 11 marzo 2005, N. 12 (2005) - Legge per il governo del territorio, BURL n. 11, 1° suppl. ord. del 16 Marzo 2005.
- Rovida A., Camassi R., Gasparini P., Stucchi M. (a cura di) (2011), CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- Sabetta F., Speranza E., Borzi B., Faravelli M. (2013) - Scenari di danno empirici e analitici a confronto con recenti terremoti italiani”, *Atti del 32esimo Convegno Nazionale GNGTS*, Trieste (2013).
- Wald D.J., Worden B.C., Quitoriano V., Pankow K.L. (2005) - *ShakeMap Manual: Users Guide, Technical Manual, and Software Guide*, USGS Techniques and Methods 12-A1, 128 pp.

Gli Autori

Marta Faravelli

Marta Faravelli lavora in Eucentre dal 2007 come tecnologo nella sezione “Vulnerabilità e gestione territoriale”. Si occupa della valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture a diversa scala e della produzione di scenari di danno.

Barbara Borzi

Barbara Borzi è primo ricercatore presso Eucentre dove coordina la sezione “Vulnerabilità e gestione territoriale”. Le principali attività di ricerca riguardano: (i) la valutazione del rischio sismico a scala urbana o territoriale di strutture ed infrastrutture, (ii) l’implementazione di metodi analitici per la valutazione della vulnerabilità a scala urbana, (iii) la modellazione del comportamento non lineare di strutture soggette ad azione sismica, e (iv) l’implementazione di metodologie semplificate per l’analisi da adottarsi quando sono noti pochi dati oppure quando l’onere computazionale dell’analisi di dettaglio non può essere gestito.

Paolo Augliera

Paolo Augliera è primo ricercatore presso INGV e, da settembre 2013, è il direttore della Sezione di Milano. I suoi interessi scientifici coprono una vasta gamma di competenze sismologiche, legate principalmente all’acquisizione ed analisi di segnali sismici per determinazioni focali ad alta definizione, all’analisi di sequenze sismiche, ai sistemi automatici per il riconoscimento e la localizzazione dei terremoti ed alla determinazione della loro magnitudo, allo sviluppo di tecniche per l’analisi in tempo reale dello scuotimento sismico.

Albero Pavese

Alberto Pavese svolge da oltre 25 anni attività di ricerca teorica e sperimentale nel campo della risposta sismica di strutture in c.a. e con isolamento sismico e dei metodi sperimentali per l’ingegneria sismica e strutturale. È stato responsabile del progetto e realizzazione delle attrezzature sperimentali di TREESLAB, il Laboratorio sperimentale della Fondazione Eucentre, che comprende la più grande tavola vibrante Europea ed uno dei più grandi simulatori dinamici per prove 3D su dispositivi di isolamento sismico. È autore di oltre 110 pubblicazioni scientifiche.

I suoi principali interessi nel settore della ricerca riguardano il comportamento ciclico di strutture esistenti in cemento armato, le tecniche di rinforzo basate sull’uso di materiali fibrorinforzati e le nuove tecniche costruttive basate sull’uso pannelli. Nel campo dell’isolamento sismico i suoi interessi riguardano il comportamento dei dispositivi di isolamento e smorzamento aggiunto e la risposta e il progetto di strut-

ture con isolamento alla base. Altri suoi interessi si riferiscono allo sviluppo di metodi sperimentali innovativi e progettazione di strutture sperimentali di prova per l'ingegneria sismica e strutturale. Ha coordinato numerosi progetti di ricerca in ambito nazionale ed internazionale.

Filippo Dacarro

Filippo Dacarro ha lavorato dal 1999 al 2004 presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture del Dipartimento di Meccanica Strutturale – Università degli Studi di Pavia – Via Ferrata 1, 27100 – Pavia, occupandosi di prove sperimentali di laboratorio ed in situ. Dal 1998 al 1999 ha partecipato al progetto di modellazione FEM e monitoraggio della Basilica di San Gaudenzio (NO) in collaborazione con il prof. Armando Gobetti. Nel 2001 è stato collaboratore per la redazione del progetto strutturale definitivo del Dipartimento di Emergenza e Accettazione (DEA). Dal 2002 al 2003 ha ideato e realizzato il sistema di monitoraggio della Basilica di san Pietro a Roma in collaborazione con il prof. Giorgio Macchi e con il prof. Antonino Gallo Curcio. Nel 2003 è stato collaboratore nella progettazione e direzione lavori dell'edificio Laboratorio Eucentre e delle relative strutture di prova, nel 2006 ha partecipato, sempre come collaboratore, alla progettazione dell'edificio Eucentre adibito ad uffici ed aula multimediale. Sempre nel 2006 è stato collaboratore per la progettazione strutturale esecutiva dei lavori di ristrutturazione del Collegio Cardinale Riboldi e della chiesa Santi Giacomo e Filippo in Via Luigi Porta a Pavia. Dal 2011 al 2014 ha ideato ed installato i seguenti sistemi di monitoraggio: i) Basilica di Santo Stefano a Pavia; ii) Ciminiera storica istituto Golgi Redaelli di Abbiatograsso; iii) Istituto Fondazione Maugeri di Montescano; iv) Torre dell'Orologio a Pavia. Nel 2015 ha ideato e installato sistemi di monitoraggio dinamico e statico ed ha progettato un sistema per prove pushover in situ, nell'ambito del progetto PRISMA. Dal 2005 al 2016 è stato coordinatore e responsabile tecnico del sistema di controllo digitale di tutti i test su tavola vibrante realizzati presso il TreesLAB. Nel 2016 è stato nominato Responsabile Tecnico per l'allestimento delle strutture di prova del nuovo laboratorio Eucentre 3 che è attualmente operativo.