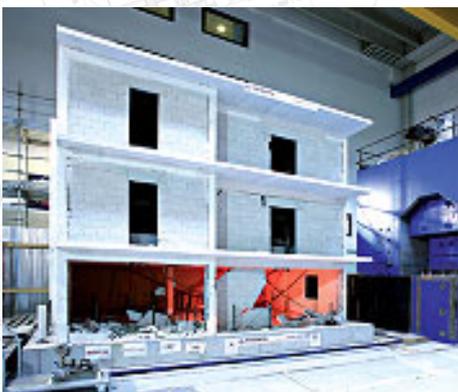


PROGETTAZIONE SISMICA²

QUADERNO 03 - 2021

Mesozonazione del rischio sismico: la piattaforma WebGIS di EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna
Marta Faravelli, Francesca Bozzoni, Elisa Zuccolo, Antonella Di Meo, Davide Quaroni, Diego Polli,
Ricardo Rodriguez-Plata, Luca Martelli, Barbara Borzi, Carlo G. Lai

E-ISSN 2532-1560



Direttore

Gian Michele Calvi IUSS/Eucentre/Studio Calvi

Direttore Esecutivo

Roberto Nascimbene Fondazione Eucentre

Comitato Operativo

Paolo Dubini Fondazione Eucentre
Renato Fuchs Fondazione Eucentre
Rui Pinho Università degli Studi di Pavia

Redazione

Giulia Fagà Fondazione Eucentre

Comitato dei Revisori

Augusto Allegrini Ordine degli Ingegneri Pavia
Alessandro Amato INGV
Paolo Baccarini HILTI
Marco Battaini Agom international
Bruno Becci Finzi Ceas
Lorenzo Bianco Peikko Italia
Antonio Borri Università di Perugia
Alberto Callerio NET Engineering SpA
Fabio Camorani Politecnica
Donatello Cardone Università della Basilicata
Massimiliano Chersich Libero Professionista
Edoardo Cosenza Università di Napoli
Angelo Crippa Dirigente Regione Lombardia
Helen Crowley Libero Professionista
Francesca Da Porto Università di Padova
Andrea Dari Editore tecnico
Michele De Lorenzi Ord. degli Ingegneri di Pordenone
Gaetano Della Corte Università di Napoli
Alessandro Desimoni Libero Professionista
Alfonsina Di Fusco Confindustria Ceramica
Luigi Di Sarno Università di Benevento
Mauro Dolce Dipartimento di Protezione Civile
Vincenzo Fioravante ISMGEO
Paolo Franchin Università di Roma
Paolo Freddi Ordine degli Ingegneri di Mantova
Aurelio Ghersi Università di Catania
Fulvio Grignaffini Ordine degli Ingegneri di Parma
Donatella Guzzoni Ordine degli Ingegneri di Bergamo
Junio Iervolino Università di Napoli
Sergio Lagomarsino Università di Genova
Carlo Giovanni Lai Università di Pavia/Eucentre
Raffaele Landolfo Università di Napoli
Alessio Lupoi Università di Roma
Lucia Luzi INGV
Guido Magenes Università di Pavia/Eucentre
Gaetano Manfredi Università di Napoli
Angelo Masi Università di Potenza
Carlo Meletti INGV
Elena Mola ECSD
Giorgio Monti Università di Roma I
Matteo Moratti Studio Calvi - Pavia
Nicola Mordà Domo Studio
Claudio Moroni Dipartimento di Protezione Civile
Vassilis Mpampatsikos Libero Professionista
Paolo Nagliati 2SI
Antonio Occhuzzi ITC/CNR
Andrea Penna Università di Pavia
Maurizio Piazza Università di Trento
Luigi Picchi Nooter/Eriksen
Paolo Emilio Pinto Università di Roma
Carlo Poggi Politecnico di Milano
Felice C. Ponzio Università di Potenza
Paolo Riva Università di Bergamo
Walter Salvatore Università di Pisa
Fabio Sappia Ordine degli Ingegneri di Imperia
Paolo Sattamino Harpaceas
Antonio Sproccati Ordine degli Ingegneri di Mantova
Massimiliano Stucchi Fondazione Eucentre

Contenuto del quaderno

Mesozonazione del rischio sismico: la piattaforma WebGIS di EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna
Marta Faravelli, Francesca Bozzoni, Elisa Zuccolo, Antonella Di Meo, Davide Quaroni, Diego Polli, Ricardo Rodriguez-Plata, Luca Martelli, Barbara Borzi, Carlo G. Lai

Progettazione Sismica

Direttore Responsabile

Gian Michele Calvi
ps.direttore@eucentre.it

Direttore Esecutivo

Roberto Nascimbene
ps.direttore.esecutivo@eucentre.it

Redazione

Giulia Fagà
ps.redazione@eucentre.it

Grafica e impaginazione

Gabriele Ferro
gabriele.ferro@eucentre.it

Supporto tecnico e amministrativo

ps.info@eucentre.it

Supporto informatico

Gabriele Giordano, Andrea Giorgi

Editore

Fondazione Eucentre
Via Adolfo Ferrata, 1 - 27100 Pavia, Italia
Tel. (+39) 0382.5169811 - Fax: (+39) 0382.529131
E-mail: press@eucentre.it - Web: www.eucentre.it

Progettazione Sismica

Direttore Responsabile: Gian Michele Calvi
Autorizzazione del Tribunale di Pavia n. 682 del 10.10.2007.
E-ISSN 2532-1560 - ISSN 1973-7432
N° iscrizione ROC 16524

Sede legale

C/o Fondazione Eucentre,
Via Adolfo Ferrata, 1 - 27100 Pavia, Italia
Telefono (+39) 0382.5169811

Pubblicazione

Anno XIII, N.1 - Quaderno 3

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico o altro senza l'autorizzazione scritta dei proprietari dei diritti e dell'editore.

©Copyright 2021 – Fondazione Eucentre

I manoscritti e le illustrazioni inviati alla redazione non saranno restituiti anche se non pubblicati e la Redazione non si assume responsabilità nel caso di eventuali errori contenuti negli articoli pubblicati o di errori in cui fosse incorsa nella loro riproduzione sulla rivista. La Redazione non si assume la responsabilità delle tesi sostenute dagli Autori.

Fondazioni e sottofondazioni con gruppi di micropali TITAN



smartTITAN
Dimensionamento dei micropali online

- Più efficaci dei pali di grande diametro
- Cedimenti minimi
- Riduzione del rischio di liquefazione
- Carichi di compressione, trazione e ciclici
- Posa facile e veloce anche in spazi ristretti

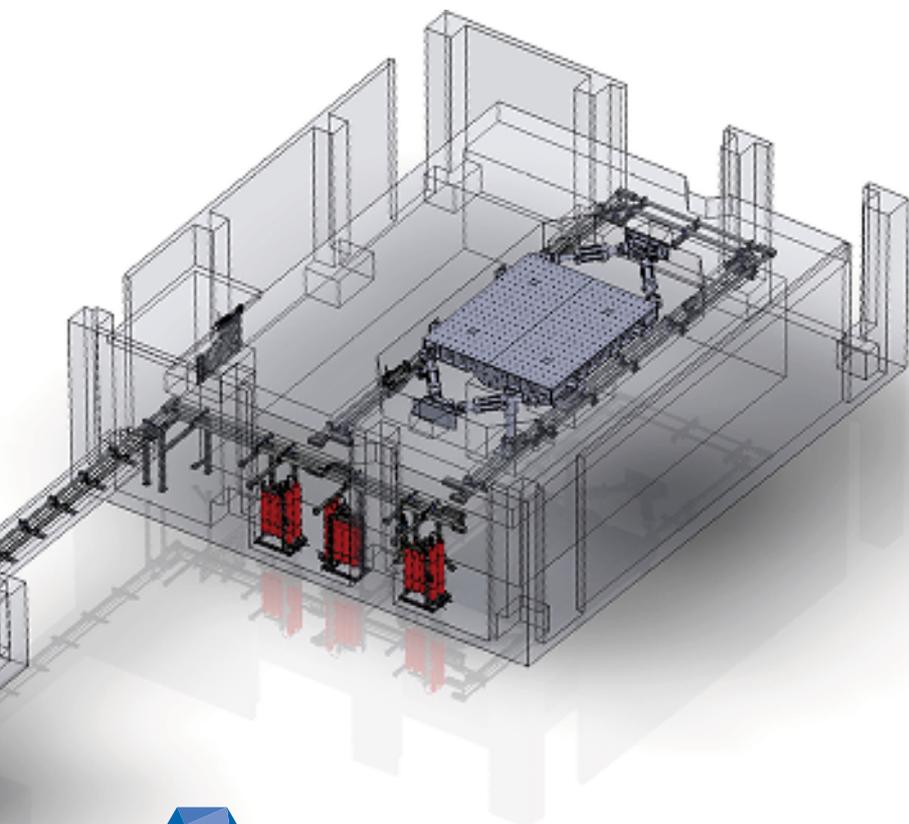
FRIEDR. ISCHEBECK GMBH

Tel. +39 040 340 6378

E-Mail: export@ischebeck.de

www.ischebeck.com

ISCHEBECK[®]
TITAN



6DLAB EUCENTRE

Eucentre ha progettato e realizzato un importante ampliamento dei suoi laboratori, che prevede l'installazione di una nuova tavola vibrante, sviluppata principalmente per l'esecuzione di prove dinamiche su elementi non strutturali o di test sismici su sistemi strutturali di massa limitata. Le prestazioni di questa struttura di prova saranno progressivamente incrementate dai 4 gradi di libertà attuali fino ai 6 gradi di libertà della fase evoluta.

Dati tecnici Tavola Vibrante 4 gradi di libertà

Spostamento in X	+/- 250 mm
Spostamento in Z	140 mm
Massa massima per provino	30 ton
Velocità di Picco	0,5 m/sec
Forza di Picco in X	2000 kN

Dati tecnici Tavola Vibrante 6 gradi di libertà

Spostamento in X	+/- 500 mm
Spostamento in Y	+/- 500 mm
Spostamento in Z	140 mm
Massa massima per provino	30 ton
Velocità di Picco	2,0 m/sec
Forza di Picco in X e Y	1400 kN

Mesozonazione del rischio sismico: la piattaforma WebGIS di EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna

Mesozonation of Seismic Risk: the WebGIS Platform of EUCENTRE for the Emilia-Romagna Region

Marta Faravelli¹, Francesca Bozzoni¹, Elisa Zuccolo¹, Antonella Di Meo¹, Davide Quaroni¹, Diego Polli¹, Ricardo Rodriguez-Plata², Luca Martelli³, Barbara Borzi¹, Carlo G. Lai¹ ■

Sommario

A seguito dei diversi eventi sismici che hanno colpito il territorio nazionale negli ultimi decenni, si è osservato un comportamento non soddisfacente degli edifici progettati per i soli carichi gravitazionali, ovvero prima dell'entrata in vigore della Classificazione Sismica stabilita dall'OPCM 3274 del 20 Marzo 2003, o adottando procedure di progettazione antisismica poco efficaci. Gli edifici esistenti, oltre ad essere caratterizzati da problemi riguardanti fenomeni di degrado e vetustà, sono stati progettati secondo Norme, pratiche progettuali e concezioni ingegneristiche strutturali molto distanti da quelle che vengono intese ed accettate oggi. Inoltre, le caratteristiche geologiche e geotecniche di un sito, molto spesso poco considerate in fase progettuale, possono esercitare una forte influenza sulla natura dello scuotimento sismico del terreno sperimentato dalle strutture ed è stato riconosciuto che i danni indotti dal terremoto sono generalmente più significativi in caso di terreni dalle proprietà scadenti che su affioramenti rocciosi. La presenza di un patrimonio edilizio vulnerabile ha determinato una grande attenzione da parte dei decisori al problema della valutazione della pericolosità sismica tenendo conto degli effetti di amplificazione sismica locale ai fini delle valutazioni di rischio sismico per pianificare procedure di intervento per la salvaguardia di queste strutture e, di conseguenza, delle persone che le occupano. Infine, è altresì importante sottolineare che per una corretta valutazione della risposta sismica locale è fondamentale utilizzare degli accelerogrammi di ingresso che rispondano alle prescrizioni della normativa antisismica vigente (NTC 2018, D.M. 17.01.2018). È in questo contesto che si inquadra l'attività che EUCENTRE ha svolto con la Regione Emilia-Romagna che chiedeva l'aggiornamento dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale negli studi di microzonazione sismica di terzo livello e una valutazione a scala regionale del rischio sismico degli edifici residenziali ordinari. Per rendere fruibili agli utilizzatori i risultati dello studio è stata sviluppata una piattaforma WebGIS (<https://rer.eucentre.it>) con credenziali di accesso differenziate per la Regione e per i Professionisti interessati a scaricare gli accelerogrammi utili ai fini della progettazione di nuove strutture o interventi su strutture esistenti.

Parole chiave: Mesozonazione sismica, Scuotimento sismico, Rischio sismico, Accelerogrammi, Piattaforma WebGIS.

Abstract

As a consequence of the various seismic events that have affected the national territory in recent decades, unsatisfactory behaviour has been observed in buildings designed for gravity loads only, i.e. before the Seismic Classification was enforced with OPCM 3274 of March 20, 2003, or by adopting ineffective anti-seismic design procedures. The existing buildings, in addition of being characterised by problems of deterioration and ageing, were designed according to standards, design practices and structural engineering concepts that are very different from those that are understood and accepted today. Also, the geological and geotechnical characteristics at a site are frequently little considered in the design phase even if they may exert a strong influence on the nature of ground shaking experienced by structures. In fact, it has been recognized that earthquake-induced damages are generally larger over soft sediments than on rock outcropping. Due to the presence of a vulnerable building heritage, decision makers have understood the importance of assessing the seismic hazard including ground amplification within the seismic risk assessments. The latter are essential to plan intervention procedures to safeguard these structures and, consequently, the people who occupy them. Finally, for a correct evaluation of the local seismic response, it is very important to adopt in input accelerograms

¹ Fondazione Eucentre - Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, Via Adolfo Ferrata, 1 - 27100 Pavia.

² Istituto Universitario degli Studi Superiori, IUSS; Fondazione Eucentre, Pavia.

³ Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (SGSS), Regione Emilia-Romagna, Bologna.

meeting the requirements of the current Italian Building Code (NTC 2018, D.M. 17.01.2018). It is in this context that the activity carried out by EUCENTRE with the Emilia Romagna Region is framed. Specifically, Emilia Romagna Region requested the updating of reference signals for the estimation of the local seismic response at the third level seismic microzonation studies and a regional scale assessment of the seismic risk of ordinary residential buildings. In order to make the results of the study available to users, a WebGIS platform has been developed (<https://rer.eucentre.it>) with differentiated access credentials for the Region administrators and for Practitioners interested in downloading the accelerograms useful for the design of new structures or interventions on existing structures.

Keywords: Seismic mesozonation, Ground shaking, Seismic risk, Accelerograms, WebGIS platform.

1. Introduzione

Le Regioni hanno il compito di indirizzare la programmazione e la pianificazione urbanistica del proprio territorio affinché gli insediamenti urbani e produttivi risultino sicuri e ogni attività sostenibile. È quindi fondamentale che gli amministratori dispongano di documenti aggiornati che permettano un'adeguata considerazione dei rischi dai disastri naturali o antropici. I principali riferimenti finora utilizzati per la valutazione del rischio sismico, e conseguentemente come supporto per le strategie di prevenzione e mitigazione dei danni da terremoto, sono la Mappa di Classificazione Sismica (pubblicata con OPCM 3274/2003, e successive modifiche regionali) e la mappa di pericolosità sismica realizzata nel 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (pubblicata con OPCM 3519/2006), denominata MPS04 (Stucchi et al., 2004). Queste mappe però non forniscono una vera e propria rappresentazione della distribuzione del rischio sismico sul territorio. La Sezione 3 di questo documento descrive come il problema della definizione del rischio è stato affrontato nel lavoro qui descritto. La mappa di classificazione sismica è basata soprattutto sulla distribuzione dei danni osservati in occasione dei terremoti storici (prima degli anni 2000) e non tiene quindi conto dei recenti sviluppi urbanistici. La MPS04 rappresenta la pericolosità sismica di base (scuotimento atteso al suolo di riferimento), che è solo una delle tre componenti del rischio sismico. In particolare, la MPS04, dovendo fornire un riferimento di base omogeneo a scala nazionale per la valutazione della pericolosità sismica (sia ai fini della riclassificazione sismica sia per il calcolo dell'azione sismica a supporto della progettazione), fornisce valori dello scuotimento atteso su terreno rigido e superficie topografica orizzontale. Per una valutazione della pericolosità sismica al sito occorre implementare i valori forniti da MPS04 con coefficienti che dipendono dalle caratteristiche geotecniche, geofisiche e morfologiche locali.

Negli anni 2016-2017 il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, disponendo di numerosi studi di microzonazione sismica, ha realizzato, in coerenza con le procedure indicate dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" (ICMS, 2008) e dalle Norme Tecniche (D.M.14.01.2008, di seguito denominate NTC08), una prima mappa di pericolosità sismica a scala regionale che tiene conto anche degli effetti locali attesi (Figura 1). Il confronto tra questa mappa e la MPS04 evidenzia una notevole influenza delle caratteristiche locali sullo scuotimento sismico in superficie.

I tecnici della Regione si sono poi posti la domanda se le conoscenze disponibili su *esposizione* urbana e *vulnerabilità* delle costruzioni (es. dati ISTAT del censimento 2011) fossero sufficienti per realizzare una vera e propria cartografia del rischio sismico in Emilia-Romagna. Nel frattempo, era stata ravvisata anche la necessità di aggiornare i segnali di riferimento per gli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento. Dopo alcuni confronti interlocutori con vari esperti di settore, nell'estate 2018 la Regione Emilia-Romagna ha quindi pubblicato una richiesta di manifestazione d'interesse per il rilevamento a scala regionale del rischio sismico degli edifici residenziali ordinari e l'aggiornamento dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale e per gli studi di microzonazione sismica di terzo livello.

1.1 La risposta di EUCENTRE

EUCENTRE ha risposto alla richiesta della Regione Emilia-Romagna (RER in seguito). Il prodotto sviluppato al fine di soddisfare le richieste della RER è una piattaforma WebGIS che presenta le seguenti principali funzionalità:

- 1) Interfaccia l'utente ai dati di esposizione, di vulnerabilità, di pericolosità e all'archivio accelerometrico e consente la consultazione mediante finestre di dialogo semplici ed immediate;
- 2) Consente di consultare le mappe di rischio per l'edilizia residenziale;
- 3) Consente di scaricare, per ciascun sito di interesse e per tre periodi di ritorno di interesse, gli accelerogrammi di riferimento da utilizzare per la stima della risposta sismica locale e negli studi di microzonazione sismica di terzo livello di approfondimento.

Il progetto è iniziato a Febbraio 2019 e terminato a Dicembre 2020. Nelle prossime Sezioni verranno descritte le elaborazioni svolte che hanno portato al raggiungimento del risultato finale e la piattaforma WebGIS realizzata.

2. Mappe di amplificazione lito-stratigrafica a scala regionale: mesozonazione dello scuotimento sismico

EUCENTRE ha ricevuto dagli Uffici della RER la mappa di pericolosità sismica locale per il territorio regionale dell'Emilia-Romagna con specifico riferimento all'amplificazione lito-stratigrafica ed al periodo di ritorno di 475 anni. Questa cartografia rappresenta la pericolosità sismica al sito espressa in termini di picco della componente orizzontale dell'accelerazione sulla superficie libera del terreno (in inglese *Peak Ground Acceleration*, PGA). La PGA è il parametro di scuotimento che viene utilizzato in ingresso alle curve di fragilità utilizzate in questo studio, così come illustrato nel §3.2. È stata acquisita anche la mappa del fattore di amplificazione relativo alla PGA per il periodo di ritorno di 475 anni ($FPGA_{475}$), ottenuta dal personale della RER a partire dai risultati degli studi di microzonazione sismica condotti per i Comuni del territorio regionale. Le mappe sono state fornite dalla RER in formato digitale, corredate da una descrizione sintetica di come sono state ottenute.

EUCENTRE ha sviluppato un approccio metodologico per processare la suddetta mappa al fine di ottenere i valori di amplificazione anche per periodi di ritorno diversi da 475 anni, necessari per condurre le analisi di rischio sismico. Infatti, per condurre tali analisi per il territorio regionale è necessario disporre di mappe di scuotimento sismico per diversi periodi di ritorno, in particolare 30, 50, 72, 101, 140, 201, 975, 2475, oltre a 475 anni. L'approccio metodologico messo a punto è descritto nel §2.1, i dati di partenza utilizzati sono illustrati nel §2.2 e le mappe calcolate sono presentate nel §2.3. In altre parole, è stato condotto uno studio di *mesozonazione* sismica del territorio regionale in esame con riferimento all'amplificazione lito-stratigrafica.

2.1 Approccio metodologico

La metodologia applicata da EUCENTRE per scalare la mappa dei fattori di amplificazione (fornita dalla RER per il periodo di ritorno di 475 anni) ad altri periodi di ritorno è basata sulla definizione dei fattori di amplificazione lito-stratigrafici fornita dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018, di seguito denominate NTC18) per diverse categorie di sottosuolo. Le NTC18 consentono, infatti, il ricorso ad una valutazione approssimata dell'amplificazione lito-stratigrafica, basata sulla definizione di categorie di sottosuolo, a cui viene associato un valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica che moltiplica l'azione sismica di riferimento (definita come sopramenzionato su roccia affiorante). La classificazione prevista dalle NTC18 si articola in 5 categorie di sottosuolo, riportate in Tabella 1, con caratteristiche meccaniche progressivamente più scadenti passando dalla categoria A alla categoria D o E. In condizioni stratigrafiche e morfologiche schematizzabili con un modello mono-dimensionale a strati piani e paralleli e per profili stratigrafici riconducibili alle categorie di cui alla Tabella 1, il moto sismico alla superficie di un sito è definibile, secondo le NTC18, mediante l'accelerazione massima attesa in superficie ed una forma spettrale ad essa ancorata. Il valore dell'accelerazione di picco (componente orizzontale) è calcolato moltiplicando l'accelerazione di picco su sito di riferimento rigido per il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S). Il coefficiente S_S è calcolato in accordo alla Tabella 2, estratta dalle NTC18.

Tabella 1 - Categorie di sottosuolo definite nelle NTC18

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tabella 2 - Formule per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S per le categorie di sottosuolo definite in Tabella 1, in accordo alle NTC18

Categoria sottosuolo	S_S
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$

Secondo le NTC18, per il calcolo di S occorre tenere conto anche del coefficiente di amplificazione topografica (S_T). Sulla base delle informazioni disponibili per il territorio regionale dell'Emilia-Romagna (Martelli, 2019), eventuali fenomeni di amplificazione topografica sono da ritenere trascurabili, in prima approssimazione e considerando la scala di analisi, nel calcolo del rischio sismico relativo all'edilizia residenziale. Nel presente studio, pertanto, S_T è stato assunto pari a 1 per l'intero territorio regionale.

L'approccio metodologico messo a punto da EUCENTRE prevede che, per un determinato punto del territorio regionale e per il periodo di ritorno di interesse, il fattore di amplificazione lito-stratigrafica relativo alla PGA, indicato con $FPGA_{TR}$, sia calcolato mediante la seguente espressione:

$$FPGA_{TR} = FPGA_{475} \left(\frac{S_{STR}}{S_{S475}} \right) \quad (1)$$

in cui il fattore di amplificazione relativo al periodo di ritorno di 475 anni viene scalato sulla base del valore del rapporto tra il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S del periodo di ritorno di interesse ed il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S relativo a 475 anni. La mappa di $FPGA_{475}$ per il territorio regionale è stata ottenuta dagli Uffici della RER a partire dai risultati degli studi di microzonazione disponibili e, quindi, fornita ad EUCENTRE (si veda §2.2). Per calcolare S_S , è stato necessario assegnare la classe di sottosuolo, come definite nelle NTC18, a ciascun punto in esame del territorio regionale. Tale operazione è stata condotta come segue:

- Per l'area di pianura emiliano-romagnola la categoria di sottosuolo (NTC18) è stata desunta sulla base della mappa di amplificazione fornita dagli Uffici della RER;
- Per l'area appenninica del territorio regionale la categoria di sottosuolo (NTC18) è stata fornita direttamente dagli Uffici della RER.

I valori di picco della componente orizzontale dell'accelerazione sulla superficie libera del terreno per un determinato punto del territorio regionale e per il periodo di ritorno di interesse (PGA_{TR}) è stato, quindi, calcolato mediante la seguente espressione:

$$PGA_{TR} = FPGA_{TR} PGA_{TRoccia} \quad (2)$$

in cui il fattore di amplificazione, ottenuto dall'Eq. 1, è moltiplicato per il valore di picco della componente orizzontale dell'accelerazione con riferimento a substrato roccioso affiorante, $PGA_{TRoccia}$.

2.2 Dati di partenza

Il modello di pericolosità sismica di base adottato nel presente studio è quello definito dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), denominato Mappa di Pericolosità Sismica MPS04 (Stucchi et al. 2004, dati scaricabili da <http://esse1.mi.ingv.it/>), che costituisce l'attuale riferimento normativo per il calcolo dell'azione sismica (NTC18).

La Figura 1a mostra la mappa del fattore di amplificazione lito-stratigrafica per la PGA per il periodo di ritorno di 475 anni ($FPGA_{475}$), ottenuta a partire dagli studi di microzonazione sismica disponibili per il territorio regionale e fornita dagli Uffici della RER ad EUCENTRE. La mappa di Figura 1b mostra, sempre per il periodo di ritorno di 475 anni, la distribuzione dei valori di PGA in superficie nel territorio regionale. Tale mappa è stata ottenuta moltiplicando i valori dei fattori di amplificazione $FPGA_{475}$ con i valori di accelerazione su substrato roccioso affiorante definiti nello studio MPS04. La mappa di Figura 1b, oltre ad essere innovativa in quanto basata anche su dati di dettaglio desunti dagli studi microzonazione sismica, è il risultato dell'applicazione di documenti ed indicazioni normative nazionali vigenti (i.e. MPS04 e studi di microzonazione sismica validati dal Dipartimento della Protezione Civile ed utilizzati in conformità alle procedure previste nelle NTC18 e negli ICMS, 2008).

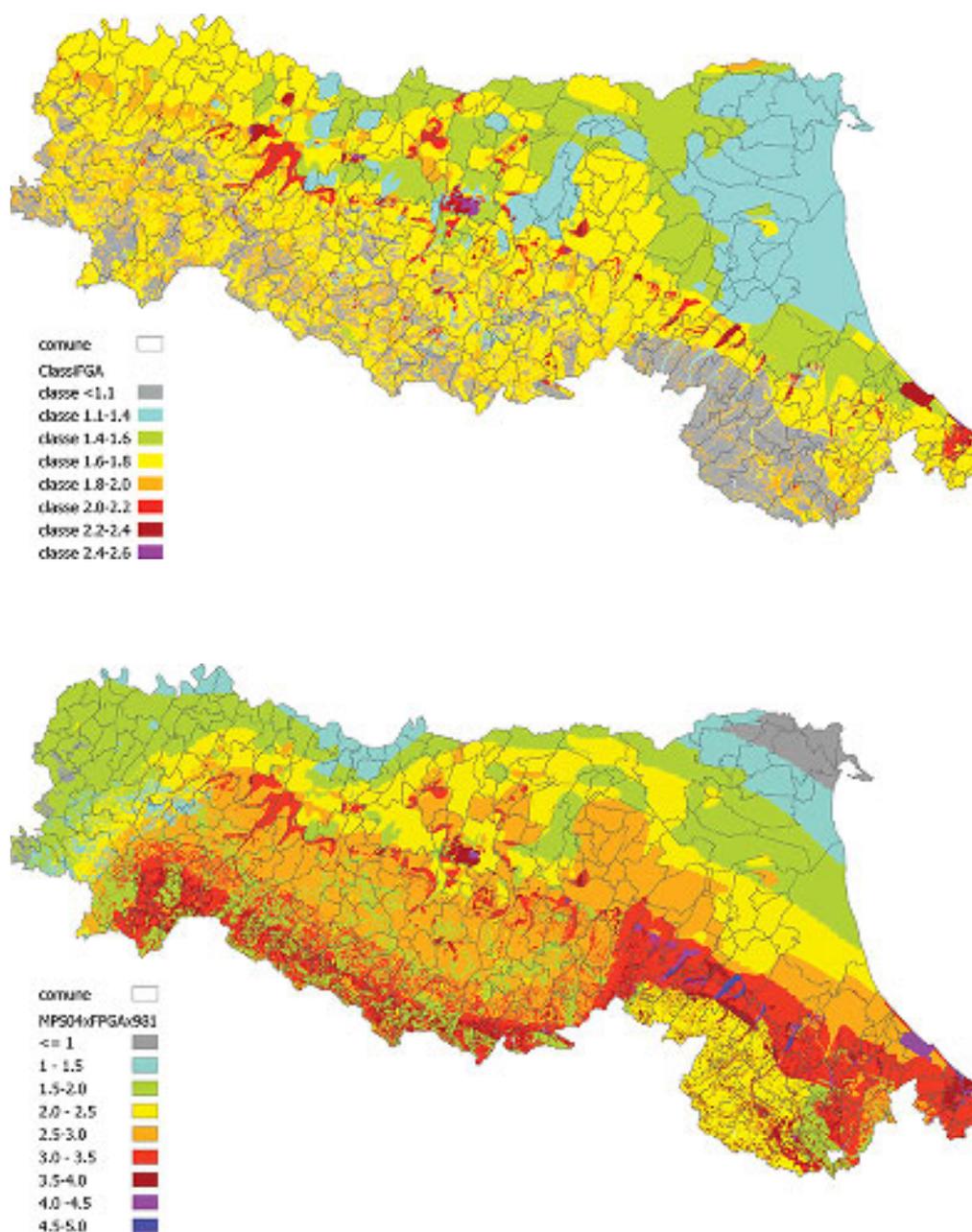
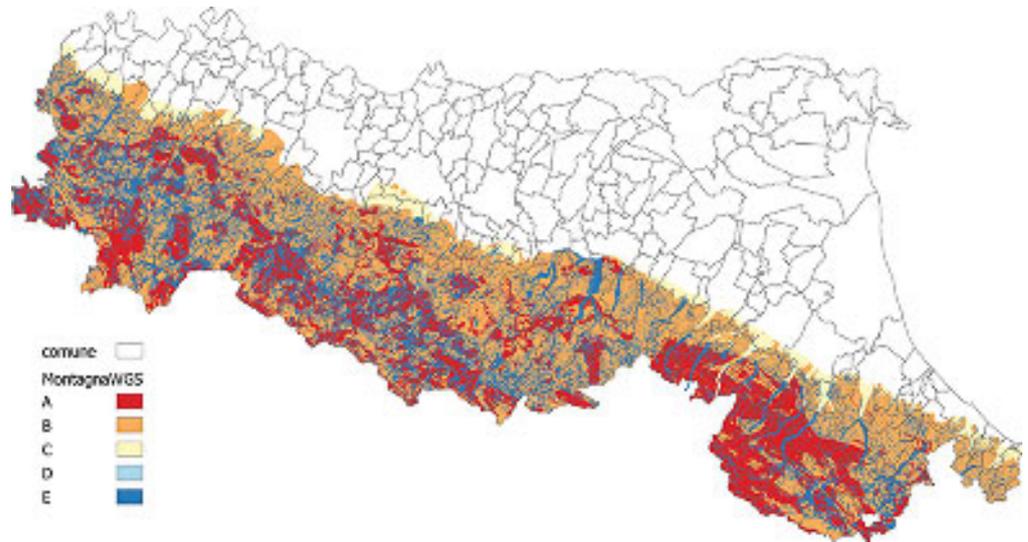


Figura 1
Mappe di amplificazione lito-stratigrafica prodotte da RER a partire dai risultati degli studi di microzonazione sismica per 475 anni:
a) distribuzione dei valori $FPGA_{475}$ nel territorio regionale;
b) distribuzione dei valori di PGA in superficie libera nel territorio regionale in m/sec^2 .

Inoltre, gli Uffici della RER hanno fornito le categorie di sottosuolo per l'area appenninica del territorio regionale, mostrate in Figura 2.

Figura 2
Mappa delle categorie di sottosuolo prodotte da RER per l'area appenninica del territorio regionale.



Le mappe in Figura 1 e Figura 2 sono state fornite in formato vettoriale. Al fine di applicare la metodologia illustrata nel §2.1, sono state convertite in *raster* con risoluzione di 50m*50m. Tra i dati di partenza, come specificato in precedenza, vi è la mappa di pericolosità sismica di base MPS04 caratterizzata da una dimensione della griglia di 0.05 gradi sessadecimali (circa 5.5 km). Al fine di ottenere per la mappa di pericolosità la risoluzione della mappa *raster* è stata utilizzata la relazione per l'interpolazione spaziale proposta nelle NTC18.

2.3 Mappa regionale dei fattori di amplificazione per 30, 50, 72, 101, 140, 201, 975 e 2475 anni

Adottando l'approccio metodologico presentato nel §2.1 ed utilizzando i dati di partenza descritti nel §2.2, sono state calcolate le mappe dei fattori di amplificazione lito-stratigrafica per i seguenti periodi di ritorno: 30, 50, 72, 101, 140, 201, 975 e 2475 anni. Inizialmente è stata assegnata una categoria di sottosuolo a ciascun sito ubicato nel territorio della Regione Emilia-Romagna (i.e. a ciascun *pixel* del *raster* che rappresenta il territorio regionale in esame). Al fine di verificare tale assegnazione, la mappa della distribuzione dei valori di PGA in superficie libera nel territorio regionale fornita dalla RER per il periodo di ritorno di 475 anni è stata confrontata con quella calcolata in questo studio (Figura 3). La differenza tra le due mappe è minima; tale percezione visiva è confermata dalla differenza percentuale calcolata come:

$$\text{diff}_{\text{PGA}} = \frac{|\text{PGA}_{\text{RER}} - \text{PGA}_{\text{EUC}}|}{\text{PGA}_{\text{RER}}} \quad (3)$$

in cui la PGA fornita dalla mappa della RER è indicata con PGA_{RER} e la PGA calcolata nel presente studio è indicata con PGA_{EUC} . La mappa in Figura 4 rappresenta le differenze tra i valori di PGA, calcolati applicando l'Equazione 3 ed espresse in %; tali differenze non superano il 2% per la maggior parte del territorio regionale. Le cause di queste differenze sono attribuibili ad una griglia con nodi più spazati utilizzata in questo studio per il calcolo della pericolosità sismica di base ed alla conversione dei dati di partenza da formato vettoriale a *raster*.

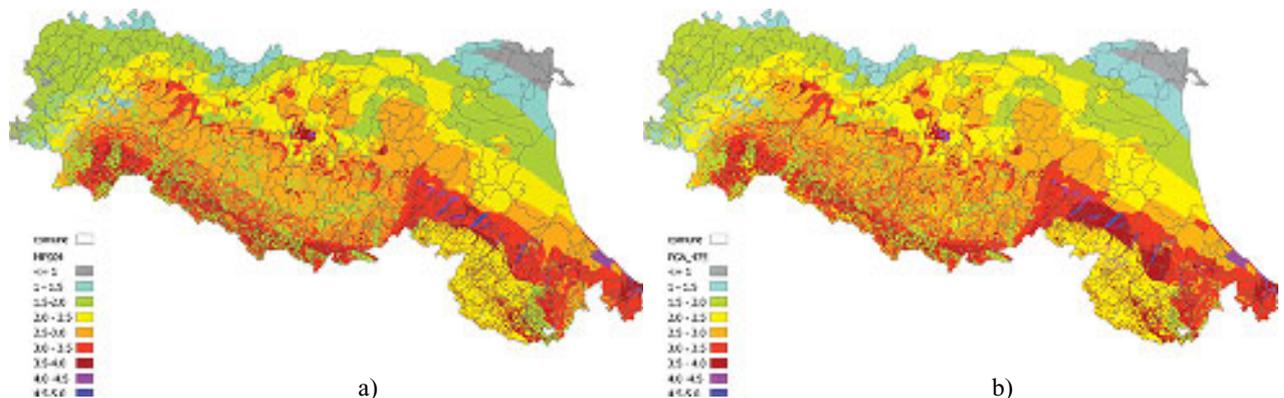


Figura 3 - Confronto tra la mappa di PGA per superficie libera fornita dagli Uffici della RER per 475 anni (a) e quella calcolata in questo studio (b) in m/s^2 .

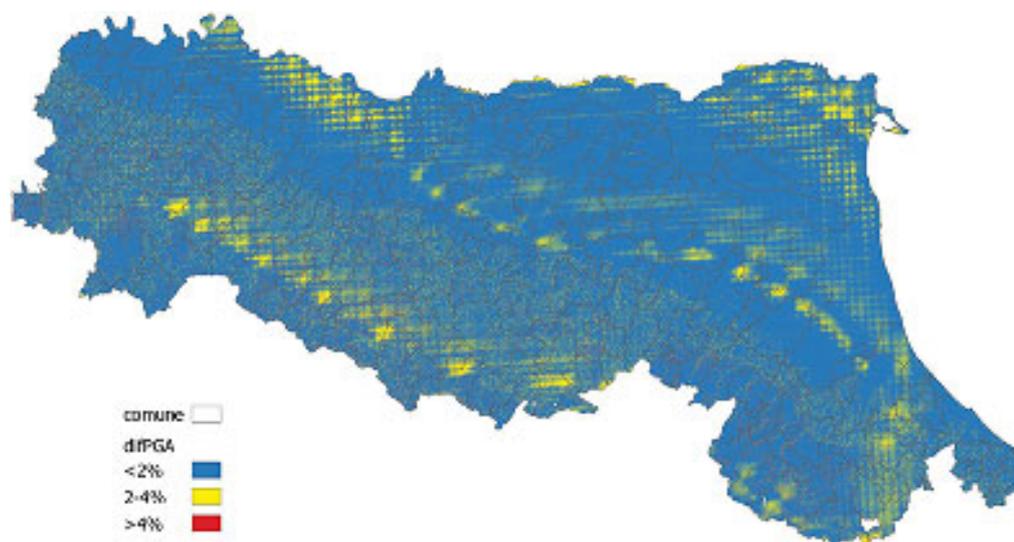
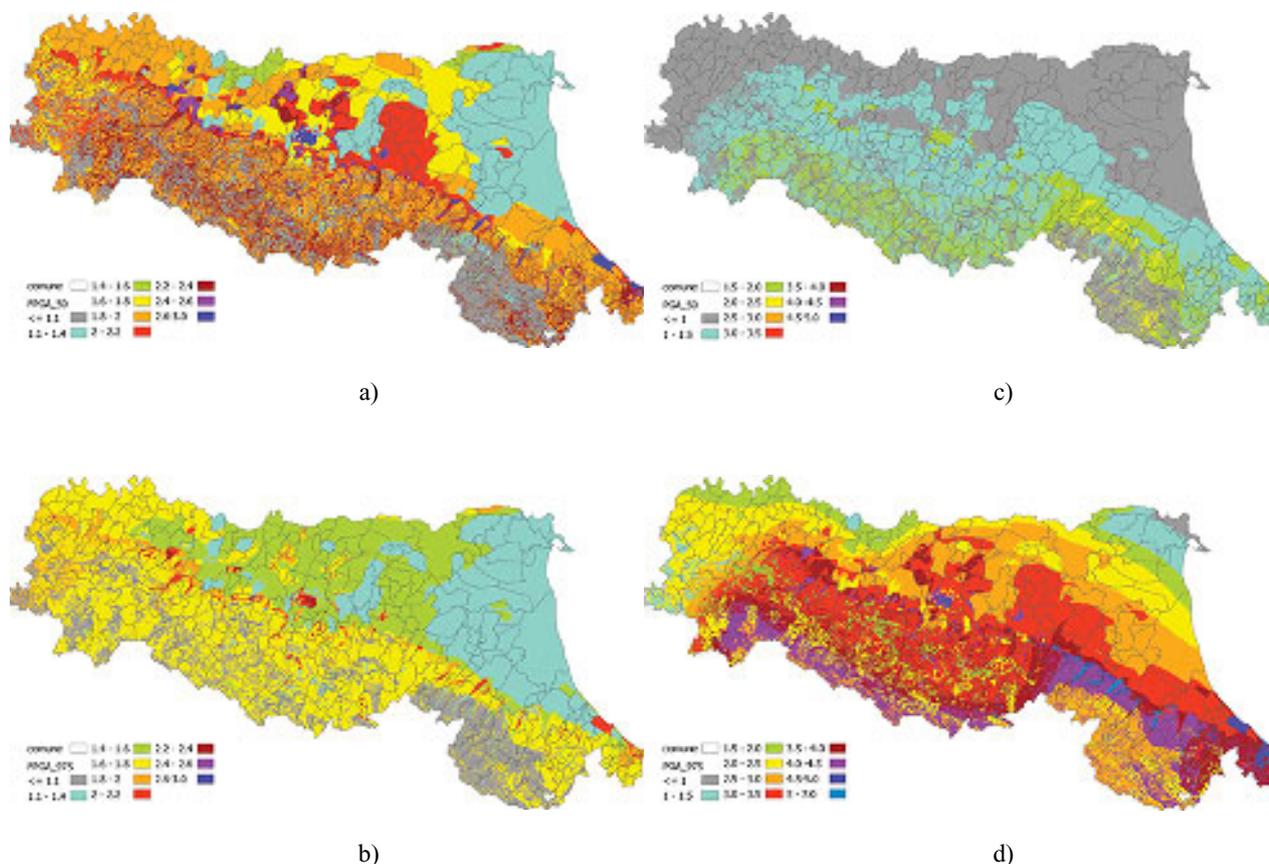


Figura 4
 Mappa delle differenze in % tra i valori di PGA fornita dagli Uffici della RER per 475 anni e quella ricalcolata in questo studio.

I valori della mappa del coefficiente di amplificazione per 475 anni ($FPGA_{475}$) sono stati scalati per i periodi di ritorno di 30, 50, 72, 101, 140, 201, 975 e 2475 anni, adottando la procedura descritta nel §2.1. La Figura 5 mostra, a titolo di esempio, le mappe dei fattori di amplificazione lito-stratigrafica (a, b) e della PGA in superficie (c, d) per i periodi di ritorno di 50 e 975 anni. Tutte le mappe calcolate sono fruibili nel WebGIS (§5).



3. Il rischio sismico

Le elaborazioni svolte per la RER sono mirate alla valutazione del rischio sismico degli edifici residenziali presenti sul territorio regionale. Il rischio sismico deriva dalla convoluzione di tre variabili aleatorie assunte statisticamente non correlate (UNESCO 1972):

- L'intensità dello scuotimento atteso al sito che dipende dalla **pericolosità sismica** di riferimento su suolo rigido e superficie topografica orizzontale corretta da eventuali effetti di amplificazione sismica locale;
- La **vulnerabilità sismica** degli edifici, cioè la loro propensione a danneggiarsi qualora soggetti ad uno scuotimento di prefissata intensità;
- L'**esposizione** cioè il valore economico, culturale e sociale del bene di cui si vuole calcolare il rischio che include pertanto la consistenza, la destinazione d'uso e l'ubicazione sul territorio del bene, che possono essere influenzati in maniera più o meno diretta da un evento sismico.

Per procedere con il calcolo del rischio sismico sono state definite queste tre variabili per gli edifici residenziali oggetto di studio. Mentre nei recenti studi di rischio sismico a scala nazionale condotti dal DPC con ReLUI ed EUCENTRE per la valutazione nazionale dei rischi (Dolce et al. 2019a, 2020; Borzi et al. 2020) l'unità minima di definizione è il territorio comunale, in questo studio il dato di esposizione è stato fornito dalla RER per sezioni censuarie. Pertanto, alla riduzione della scala geografica di questo studio rispetto a quello nazionale è corrisposta una coerente riduzione dell'unità minima di definizione. Questo livello di dettaglio consente di fornire una visione più puntuale della distribuzione del rischio e quindi anche del danno sul territorio regionale. Le sezioni censuarie corrispondenti ad aree disabitate, come ad esempio alcuni territori sull'Appennino, presenteranno valore nullo di rischio poiché una delle tre componenti del rischio sopra descritte è pari a zero, ovvero l'esposizione. Viceversa, le sezioni censuarie corrispondenti ai centri storici delle grandi città mostreranno valori di rischio che tengono conto della presenza di un gran numero di edifici residenziali. La pericolosità sismica è stata calcolata per ogni sezione censuaria sia su suolo rigido sia tenendo conto degli effetti di amplificazione locale come descritto nel §2. Nelle prossime Sezioni verranno definite l'esposizione e la vulnerabilità sismica per l'area oggetto di studio e infine il calcolo del rischio sismico.

È importante sottolineare che per le differenti ipotesi adottate nella valutazione delle diverse componenti del rischio nel presente studio, i risultati ottenuti non sono direttamente confrontabili con quelli ottenuti dallo studio citato di rischio sismico a livello nazionale per il territorio regionale dell'Emilia-Romagna, o impiegabili per un confronto fra il rischio della Regione oggetto di studio e quello di altre Regioni ottenuto sulla base di valutazioni a livello nazionale.

3.1 Esposizione

Per la produzione delle mappe di rischio, l'esposizione è stata dedotta dal database ISTAT riferito al Censimento delle abitazioni e della popolazione del 2011 fornito ad EUCENTRE dalla RER. In questa banca dati, per ogni sezione censuaria presente nel Comune vengono indicati il numero di edifici, di abitazioni e di popolazione residente. Relativamente all'edificio, nel database è indicato il materiale e l'epoca di costruzione. Sulla base di queste due informazioni sono state definite le seguenti cinque classi di vulnerabilità per gli edifici residenziali:

- Classe A: edifici in muratura ad alta vulnerabilità;
- Classe B: edifici in muratura a media vulnerabilità;
- Classe C1: edifici in muratura a bassa vulnerabilità;
- Classe C2: edifici in cemento armato non sismicamente progettati;
- Classe D: edifici in cemento armato sismicamente progettati.

Per gli edifici in muratura, la probabilità di appartenere alle diverse classi di vulnerabilità è stata rielaborata a partire dagli studi effettuati da Angeletti et al. (2002) sui dati di danno osservato nei terremoti passati. Le percentuali di assegnazione utilizzate in questo studio sono riportate in Tabella 3. Moltiplicando il numero di edifici realizzati in una data epoca per le percentuali di Tabella 3 si ottiene il numero di edifici che appartengono a ciascuna classe di vulnerabilità.

Per gli edifici in cemento armato le classi sono state definite considerando sia l'anno di costruzione sia l'anno di classificazione sismica del Comune, al fine di distinguere tra edifici sismicamente progettati ed edifici non sismicamente progettati. Come osservato da Vona e Masi (2004), occorre ricordare che la classificazione del territorio italiano è stata effettuata in gran parte soltanto a partire dal 1981 e sostanzialmente completata con l'OPCM 3274/2003. Inoltre, anche nei casi di progettazione antisismica, le prime normative italiane non erano adeguate a conseguire in modo soddisfacente i livelli di prestazione oggi richiesti rispetto al danno ed al collasso. Pertanto, il problema del deficit di protezione sismica delle costruzioni in generale, dunque anche degli edifici in c.a., riguarda oltre agli edifici progettati per i soli carichi verticali in zone poi classificate come sismiche, anche quegli edifici progettati con normative sismiche ormai obsolete o in zone in cui classificazioni

Tabella 3 - Distribuzione percentuale degli edifici in muratura nelle tre classi di vulnerabilità A, B, C1

Anno di costruzione	Classe A	Classe B	Classe C1
< 1919	70	28	2
1919 - 1945	52	41	7
1946 - 1960	26	54	20
1961 - 1970	6	40	54
1971 - 1980	3	23	74
1981 - 1990	2	22	76
1991 - 2000	2	22	76
2001 - 2005	2	22	76
> 2005	2	22	76

successive hanno determinato un incremento di sismicità. Per tale ragione, è stato assunto che gli edifici costruiti prima del 1982, o realizzati successivamente a questa data ma in zona non sismica, non sono progettati sismicamente, mentre quelli costruiti dal 1982 in poi e in zone classificate come sismiche sono progettati sismicamente.

All'interno della banca dati ISTAT esistono anche numerosi edifici per i quali è stato indicato come materiale "Altro". Tali edifici sono stati riassegnati alle tipologie "muratura" e "cemento armato" in relazione alle percentuali di questi due materiali presenti nel Comune nella corrispondente classe di piano ed epoca di progettazione. In Figura 6 sono mostrate le distribuzioni percentuali di edifici, abitazioni e popolazione nelle cinque classi di vulnerabilità identificate.

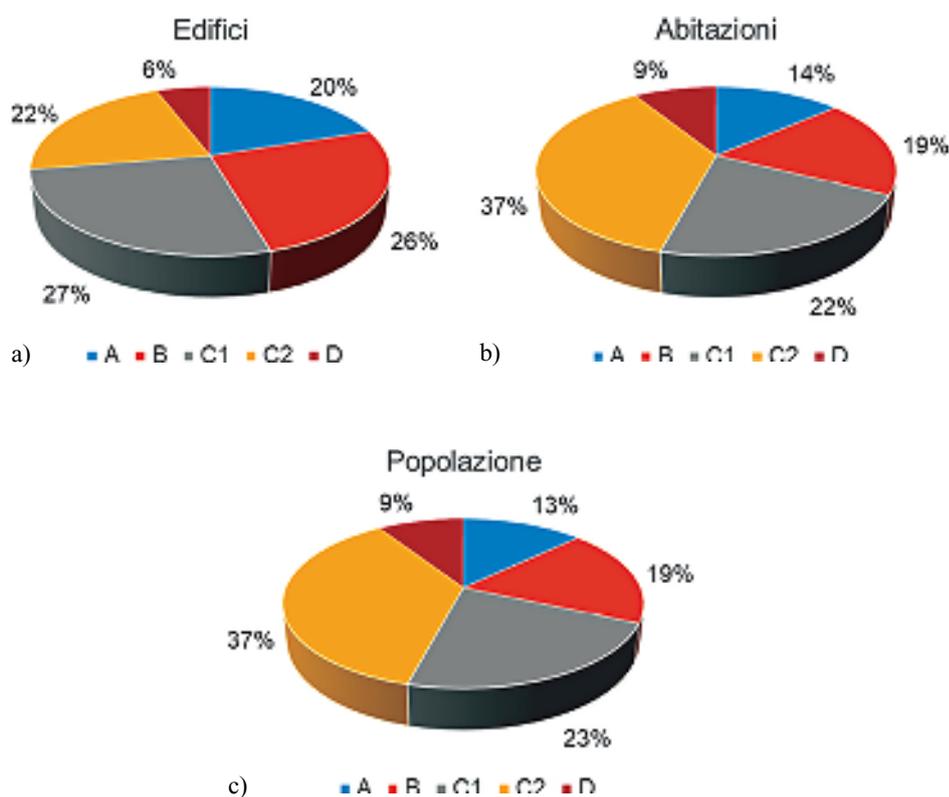


Figura 6
Distribuzione in classi di vulnerabilità:
a) degli edifici,
b) delle abitazioni,
c) della popolazione.

3.2 Vulnerabilità

La vulnerabilità sismica degli edifici può essere numericamente definita attraverso l'utilizzo di adeguati modelli di fragilità. Tali modelli sono rappresentati da funzioni, denominate "curve di fragilità", che forniscono la probabilità di raggiungimento o di eccedenza di un determinato livello di danno per una specifica severità dello scuotimento del suolo. Considerando che la pericolosità sismica in Italia è definita dall'accelerazione di picco (PGA), la PGA è il parametro di severità dello scuotimento del suolo più utilizzato per la descrizione delle curve di fragilità. Le curve di fragilità che sono state utilizzate per il calcolo del rischio sismico nella RER descrivono le prestazioni degli edifici residenziali in relazione ai cinque seguenti livelli di danno della scala EMS98 (Grünthal 1998):

- D1: danno da trascurabile a lieve (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale);
- D2: danno moderato (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale);
- D3: danno da rilevante a grave (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale);
- D4: danno molto grave (grave danno strutturale, molto grave danno non strutturale);
- D5: collasso (danno strutturale molto grave).

Le curve di fragilità adottate derivano da un metodo sviluppato da ricercatori EUCENTRE e pubblicato in letteratura con l'acronimo SP-BELA (Simplified Pushover Based Earthquake Loss Assessment) (Borzi et al. 2008a e 2008b). In SP-BELA vengono create delle classi di edifici che rappresentano il costruito in esame. Per ogni classe viene creato un campione di edifici mediante il metodo Monte Carlo. 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 statica non lineare ("pushover") semplificata che permette di calcolare per ogni stato limite di danno le proprietà di un sistema equivalente ad un grado di libertà, quali la capacità di spostamento, il periodo di vibrazione e lo smorzamento viscoso. 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. La metodologia SP-BELA è stata migliorata negli anni. 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 riferimento alle cinque classi di vulnerabilità descritte nel §3.1) 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. È 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);
3. Per validare la metodologia è necessario confrontare gli scenari di danno ottenuti con SP-BELA con quelli derivanti dai dati osservati.

In Faravelli et al. (2019) è illustrato come sono state superate queste criticità. In merito alla prima sono stati introdotti dei 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). Tali coefficienti discendono dall'analisi dei dati di danno osservato che derivano dalle schede Aedes di rilievo del danno scaricabili dalla piattaforma del Dipartimento della Protezione Civile, sviluppata dalla fondazione EUCENTRE, denominata "Da.D.O." (Dolce et al. 2017a, 2017b, 2019b). Le curve di fragilità per le classi A e B sono state ottenute a partire dalla curva per la classe C1 attraverso l'applicazione di coefficienti moltiplicativi della media della distribuzione di probabilità. 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, cioè 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. Anche la relazione fra livelli di danno e stati limite è stata definita sulla base dei dati di danno osservato scaricabili da "Da.D.O." (Dolce et al. 2017a, 2017b, 2019b). 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. Infine, la metodologia è stata validata per terremoti realmente accaduti in Italia negli scorsi decenni attraverso il confronto tra scenari di danno calcolati numericamente e i dati di danno osservato scaricabili da "Da.D.O." (Dolce et al. 2017a, 2017b, 2019b). Nell'ambito del progetto qui descritto le curve di fragilità prodotte con SP-BELA sono state ulteriormente calibrate e raffinate, come descritto nel prossimo paragrafo, in modo da rappresentare al meglio la vulnerabilità degli edifici residenziali della RER.

3.3 Confronto con il danno osservato

Per ricavare i coefficienti da applicare alle curve di fragilità risultanti da SP-BELA ed ottenere le curve di fragilità degli edifici in muratura ad alta e media vulnerabilità (rispettivamente classe A e B) oltre che le curve di fragilità espresse per i cinque livelli di danno della scala EMS98 (Grünthal 1998), è necessario sottoporre il metodo ad un processo di calibrazione. La calibrazione viene svolta confrontando lo scenario di danno simulato di uno o più eventi con quello osservato corrispondente. Avendo a disposizione in “Da.D.O.” (Dolce et al. 2017a, 2017b, 2019b) la banca dati di danno osservato relativo all’evento Emilia 2012, è stato possibile calibrare il metodo SP-BELA ad hoc per gli edifici della RER.

L’attività di calibrazione è stata svolta utilizzando uno strumento appositamente sviluppato, nel quale è stato implementato il metodo di regressione ai minimi quadrati. Nella calibrazione lo scenario di danno di un evento viene calcolato a partire dal database di esposizione più prossimo a quello quell’evento in questione: nel caso dell’evento sismico Emilia 2012 l’esposizione considerata è il database ISTAT 2011.

In termini di scuotimento, lo strumento permette di considerare sia le mappe di scuotimento (“shakemap”) che le seguenti relazioni di attenuazione:

- Boore and Atkinson, 2008;
- Cauzzi and Faccioli, 2008;
- Akkar and Bommer, 2010;
- Bindi et al., 2011.

Sebbene lo scenario di danno per l’evento Emilia 2012 sia stato calcolato con ciascuna delle suddette leggi, si è constatato che il migliore adattamento tra lo scenario di danno osservato e quello calcolato si ottiene considerando come modello di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo la legge di attenuazione di Bindi et al. (2011). Infatti, tra le relazioni di attenuazione implementate Bindi et al. (2011) è risultata essere la legge caratterizzata dalla migliore capacità predittiva per il territorio italiano. La Tabella 4 riassume i parametri utilizzati all’interno dello strumento della calibrazione per il calcolo dello scenario di danno mediante relazione di attenuazione di Bindi et al. (2011). È importante, inoltre, sottolineare che la calibrazione del metodo è stata svolta considerando gli effetti di amplificazione dovuti alle diverse tipologie di suolo presenti sul territorio regionale.

I confronti tra lo scenario di danno osservato e simulato per gli edifici in muratura e per quelli in cemento armato a valle della calibrazione sono mostrati rispettivamente in Figura 7 e Figura 8. Figura 9 e Figura 10 riportano invece le curve di fragilità calcolate rispettivamente per gli edifici a due piani in muratura (Classe A, B e C1) ed in cemento armato (Classe C2 e D) appositamente per la RER, prodotto finale dell’attività di calibrazione del metodo SP-BELA.

Tabella 4 - Caratteristiche ed esposizione utilizzati nello strumento della calibrazione per calcolare lo scenario di danno numerico dell’evento Emilia 2012

Evento	Mw	Lat.	Long.	Profondità	Tipo faglia	Raggio	Db Esposizione
Emilia 2012	5.8	44.9	11.26	10 km	Inversa	100 km	Istat 2011

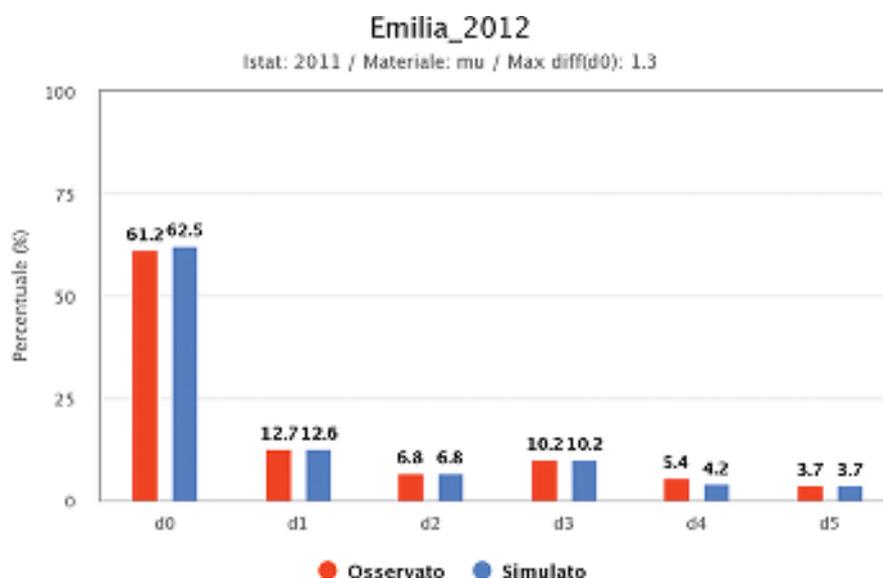


Figura 7
Confronto tra lo scenario di danno osservato e lo scenario di danno simulato calcolato per gli edifici in muratura considerando la relazione di attenuazione di Bindi et al. (2011).

Figura 8
 Confronto tra lo scenario di danno osservato e lo scenario di danno simulato calcolato per gli edifici in cemento armato considerando la relazione di attenuazione di Bindi et al. (2011).

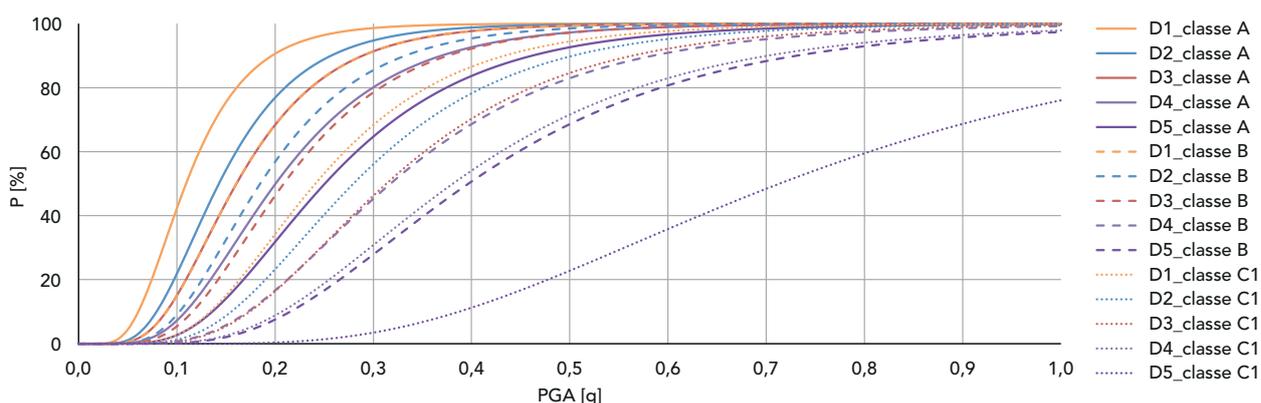
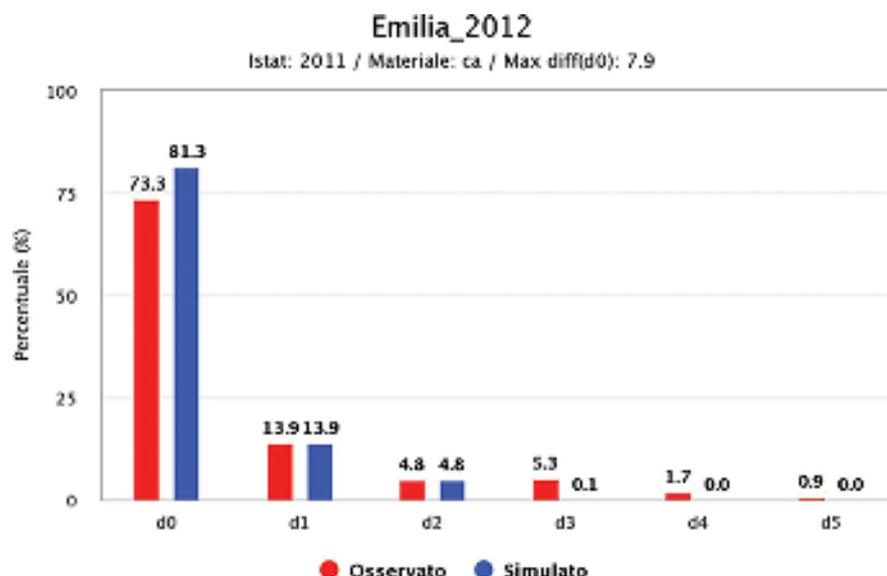


Figura 9 - Curve di fragilità degli edifici in muratura ad alta, media e bassa vulnerabilità (rispettivamente Classi A, B e C1) presenti nella RER.

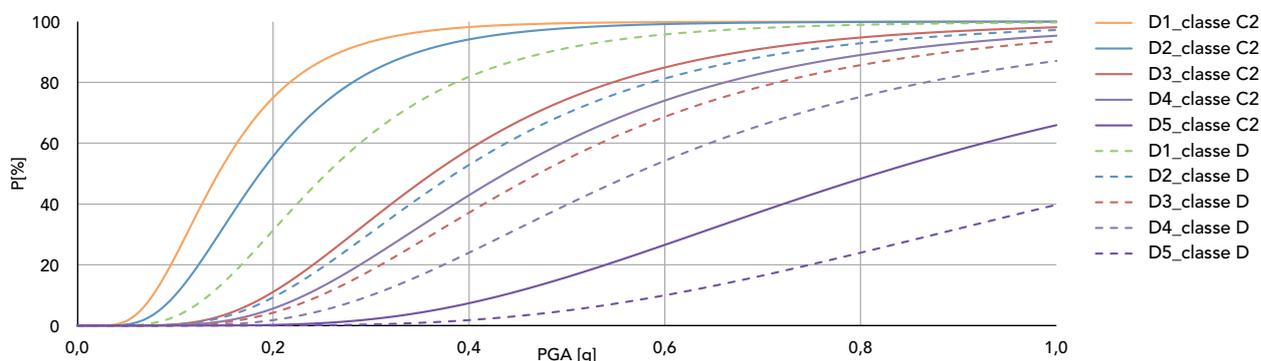


Figura 10 - Curve di fragilità degli edifici in cemento armato non sismicamente progettati e sismicamente progettati (rispettivamente Classi C2 e D) presenti nella RER.

3.4 Calcolo del rischio

Una volta definiti tutti gli “ingredienti” che concorrono al rischio, si può procedere al calcolo. Sono stati valutati due tipi diversi di rischio sismico: il “rischio condizionato” e il “rischio incondizionato”. Ci si riferisce al “rischio condizionato” quando la probabilità di danno è condizionata al verificarsi di uno scuotimento di prefissata intensità. Si parla invece di

“rischio incondizionato” quando la condizione è eliminata considerando la probabilità che uno scuotimento si verifichi in una finestra temporale di osservazione. Il rischio condizionato è stato determinato per tutti i periodi di ritorno (TR) considerati nel modello di pericolosità sismica MPS04 (Stucchi et al., 2004), ovvero per TR = 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni. Il rischio incondizionato è stato valutato considerando la probabilità di ricorrenza di uno scuotimento di una certa severità nella finestra temporale di osservazione di un anno. I calcoli del rischio sono stati eseguiti sia prendendo in considerazione gli effetti di sito sia trascurandoli.

Il “rischio condizionato” si ottiene entrando in ascissa sulla curva di fragilità del livello di danno di interesse con il valore di PGA (su roccia o su suolo) corrispondente al baricentro della sezione censuaria in esame. In ordinata si può leggere la probabilità di superamento di quel livello di danno, come mostrato in Figura 11. Se il valore letto per il livello di danno D2 è ad esempio 40 significa che il 40% degli edifici presenti in quella sezione censuaria e di quella tipologia raggiunge o supera il danno moderato (D2) per eventi con periodo di ritorno TR corrispondente al valore di PGA* considerato.

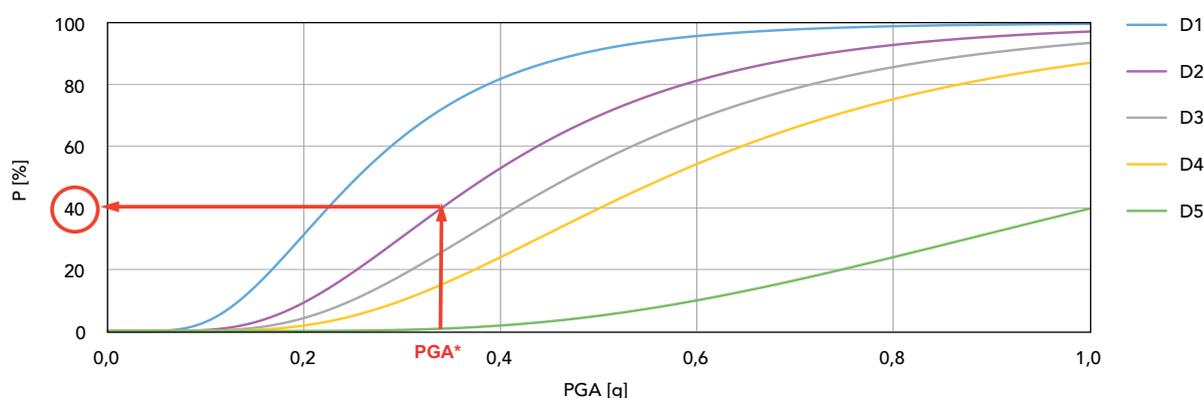


Figura 11 - Calcolo del rischio condizionato a partire dalla curva di fragilità.

Per il calcolo del “rischio incondizionato” la condizione sull’accadimento di una certa severità di scuotimento deve essere rimossa considerando la curva di pericolosità del sito, cioè la probabilità di occorrenza di tutti gli scuotimenti di una certa severità in una data finestra temporale di osservazione qui posta pari ad un anno.

Il “rischio condizionato” e quello “incondizionato” sono stati calcolati in riferimento alle sezioni censuarie presenti nella banca dati ISTAT 2011. Tuttavia, la RER ha espressamente chiesto che i Comuni visualizzati sulla piattaforma WebGIS fossero quelli del 2019 per i quali ha fornito lo “shapefile” per tener conto degli accorpamenti di Comuni avvenuti dopo il 2011. A valle delle operazioni di calcolo del rischio sono quindi state fatte post-elaborazioni per prendere in considerazione queste variazioni.

4. Selezione dei segnali accelerometrici

Gli accelerogrammi da utilizzare per la stima della risposta sismica locale sono stati definiti utilizzando una procedura che si articola nei seguenti quattro passi principali (Rota et al., 2012; Zuccolo et al., 2014):

1. Zonazione del territorio regionale in modo da raggruppare gli spettri di risposta di normativa (spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali definiti dalle NTC08 ed NTC18 per sito rigido con superficie topografica orizzontale - sottosuolo di categoria ‘A’) associati ai nodi del reticolo di riferimento interni al territorio regionale in gruppi caratterizzati da forme spettrali simili e ampiezza limitata; l’identificazione dei gruppi è avvenuta sulla base dei parametri T_C^* ed F_0 che definiscono le forme spettrali delle NTC08, oltre alla deviazione spettrale media δ (Iervolino et al., 2008).
2. Definizione di uno spettro di risposta di riferimento (“spettro genitore”) per ciascun gruppo individuato;
3. Selezione semi-automatica, tramite il programma ASCONA (“Automated Selection of COmpatible Natural Accelerograms”, Corigliano et al., 2012), di un gruppo di 7 accelerogrammi naturali, scalati (tramite un fattore di scala SF0), spettro-compatibili per ciascuno spettro di risposta di riferimento individuato considerando le prescrizioni delle NTC18, ovvero lo scarto tra lo spettro medio ottenuto dai 7 accelerogrammi e lo spettro di riferimento non deve superare una specifica soglia (10% in difetto e 30% in eccesso) all’interno di un prefissato campo di periodi (0.15s ÷ 2.0s);
4. Scalatura lineare degli accelerogrammi selezionati in modo da ottenere un gruppo di 7 accelerogrammi spettro-compatibili per uno spettro di risposta qualsiasi all’interno della Regione Emilia Romagna; a questo scopo sono stati

adottati due fattori di scala: SF1 (fattore di scala necessario per passare dallo spettro genitore allo spettro di interesse appartenente allo stesso gruppo) ed SF2 (fattore di scala aggiuntivo utilizzato per imporre la spettro-compatibilità del gruppo di accelerogrammi scalati rispetto allo spettro di interesse, laddove la spettro-compatibilità non è automaticamente preservata con l'applicazione del solo fattore di scala SF1).

È importante sottolineare che i due aspetti chiave della procedura utilizzata sono i criteri adottati per definire i gruppi (punto 1) e gli spettri di risposta di riferimento per ciascun gruppo (punto 2). Entrambi gli aspetti sono fondamentali per contenere i fattori di scala che devono essere applicati agli accelerogrammi selezionati (punto 3) in modo da renderli spettro-compatibili ad altri spettri del gruppo, diversi dallo spettro di riferimento sul quale è basata la selezione (punto 4).

La procedura è stata applicata indipendentemente per 3 periodi di ritorno (T_R) di interesse, ossia 475 anni, 101 anni e 975 anni, portando all'individuazione di 8 gruppi per il periodo di ritorno di 101 anni e 7 gruppi per i periodi di ritorno di 475 anni e 975 anni. A titolo di esempio, la Figura 12 mostra, per il periodo di ritorno di 475 anni, la posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza e gli spettri di riferimento associati. La selezione degli accelerogrammi naturali è stata quindi effettuata per i 22 selezionati spettri genitori identificati. Un esempio è riportato in Figura 13.

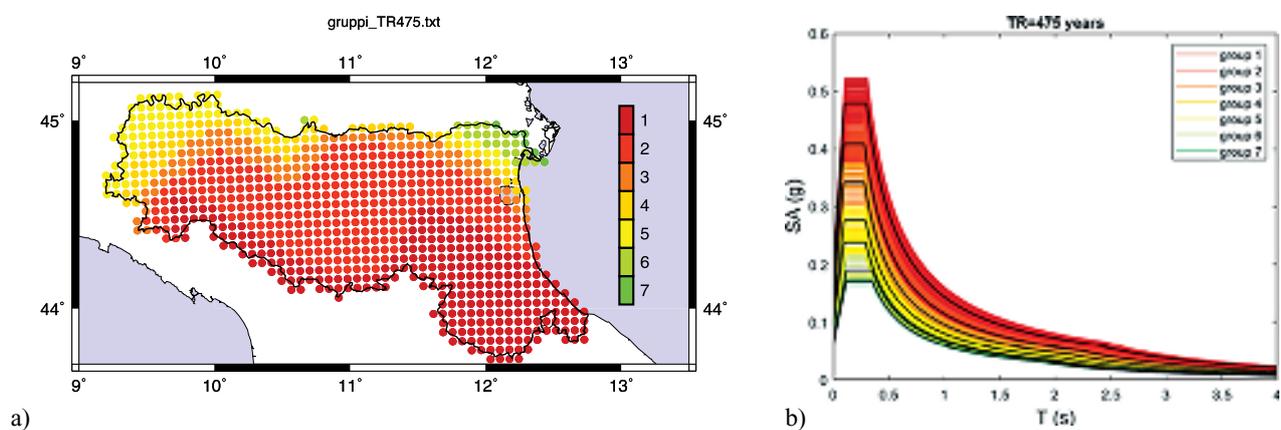


Figura 12 - a) Posizione dei nodi in funzione del gruppo di appartenenza per $T_R=475$ anni; b) Spettri di risposta appartenenti ai diversi gruppi (linee colorate) e spettri di risposta di riferimento (linee nere) calcolati per $T_R=475$ anni. Ciascun gruppo è rappresentato da un diverso colore.

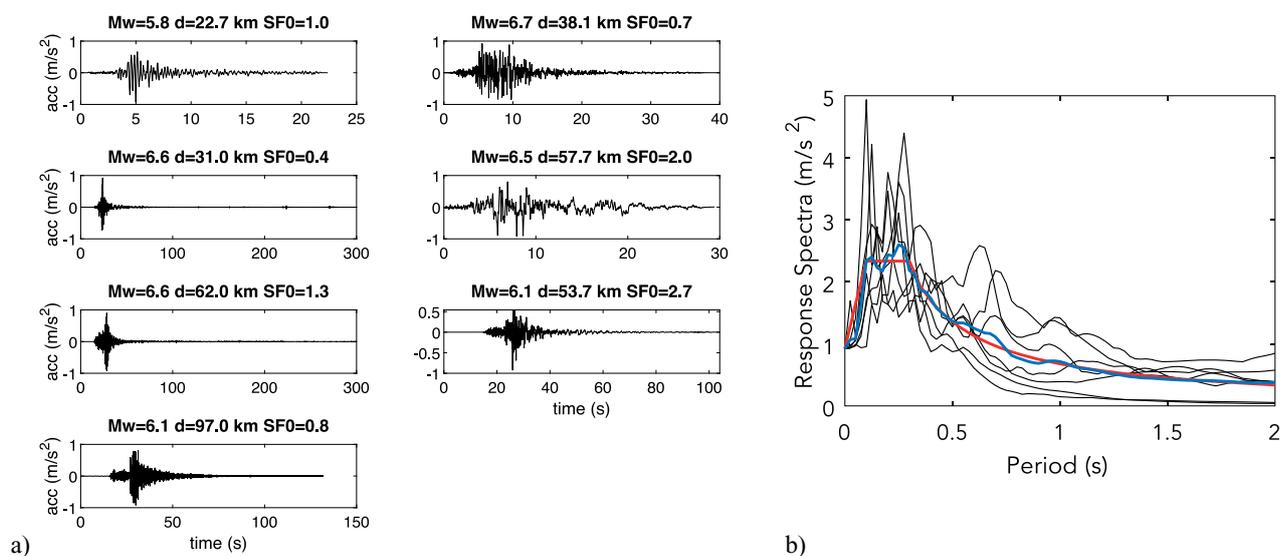


Figura 13 - Risultato della selezione relativa al gruppo 5 - $T_R=475$ anni: a) gruppo di 7 accelerogrammi (componente orizzontale) selezionato da ASCONA in media spettro-compatibili allo spettro di riferimento. Sopra ogni accelerogramma sono riportati: la magnitudo (M_w) dell'evento, la distanza epicentrale d alla quale è avvenuta la registrazione e il fattore di scala (SF0) tra lo spettro di risposta di riferimento e lo spettro di risposta registrato; b) spettri di risposta dei singoli accelerogrammi (linee nere) selezionati per lo spettro di riferimento (linea rossa) e confronto con lo spettro medio (linea blu). Lo scarto percentuale medio è 5.36%.

Il campo di variabilità dei fattori di scala SF1 ed SF2 per ciascun gruppo e periodo di ritorno è illustrato in Figura 14. I valori minimo e massimo dei due fattori di scala sono riportati anche in Tabella 5 in funzione del periodo di ritorno. Si nota come i valori utilizzati per il fattore di scala SF2 sono vicini all'unità, per cui le ordinate degli spettri di risposta non sono modificate in modo significativo dall'introduzione di questo fattore di scala.

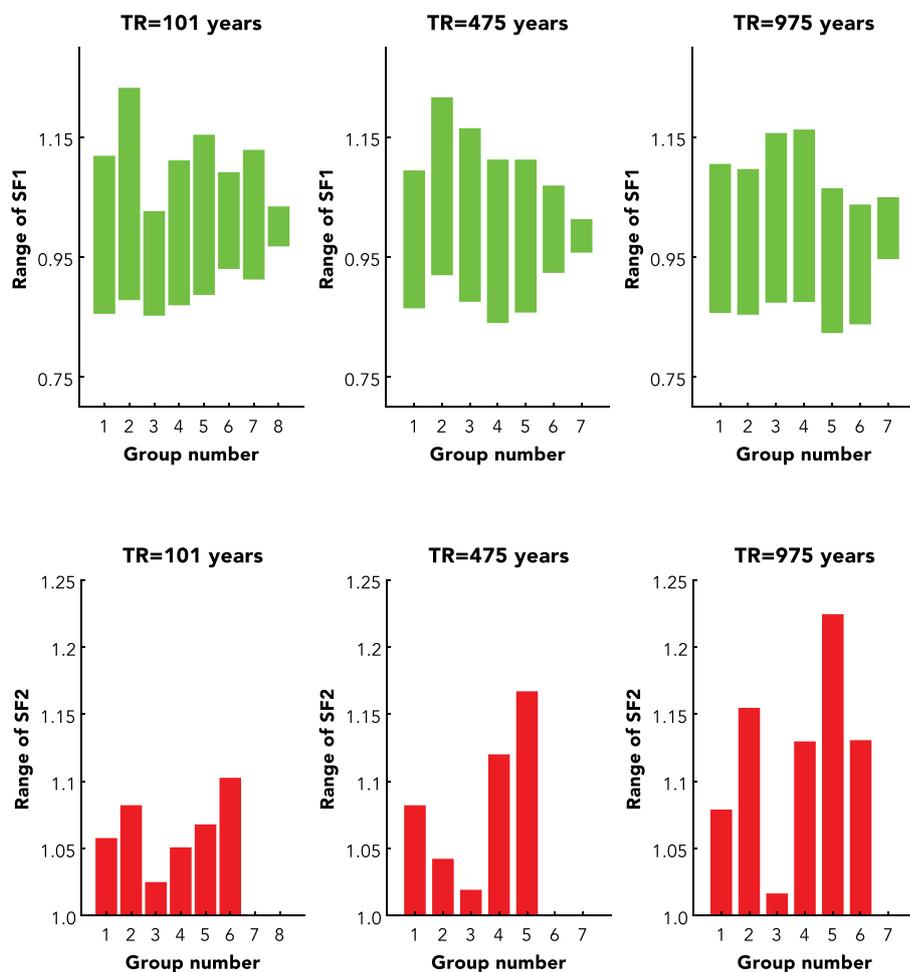


Figura 14
Variabilità (per ciascun gruppo e periodo di ritorno) dei fattori di scala SF1 (verde) ed SF2 (rosso), adottati per imporre la spettro-compatibilità degli accelerogrammi selezionati con uno spettro arbitrario del gruppo.

Tabella 5 - Valore minimo e massimo, per ciascun periodo di ritorno, dei fattori di scala SF1 e SF2

T _R	SF1		SF2	
	Min	Max	Min	Max
101 anni	0.85	1.23	1.	1.10
475 anni	0.84	1.22	1.	1.17
975 anni	0.82	1.16	1.	1.22

Grazie al raggruppamento degli spettri di risposta simili e alle soglie per i fattori di scala imposti in ASCONA, i fattori di scala finali ($SF = SF0 * SF1 * SF2$) tra gli accelerogrammi scalati e gli accelerogrammi originari sono relativamente contenuti e comunque non eccedenti l'intervallo 0.32-3.69. In Figura 15 sono mostrati gli intervalli di variabilità di SF in funzione del gruppo e periodo di ritorno, mentre in Tabella 6 è riportato il campo di variazione (valore minimo, massimo e medio) di SF in funzione del periodo di ritorno. Si nota come il valore medio presenti una crescita regolare ed inevitabile con il periodo di ritorno, con una variazione compresa tra 1.24 e 1.93. La Tabella 6 riporta anche il numero di casi in cui SF è compreso tra 2/3 e 1.5, mostrando che per i periodi di ritorno più bassi (101 e 475 anni) questo numero è circa il 50%, mentre è circa il 20% per il periodo di ritorno più lungo (975 anni).

Figura 15
Valore medio (asterisco) e variabilità del fattore di scala finale (SF) in funzione del gruppo e periodo di ritorno.

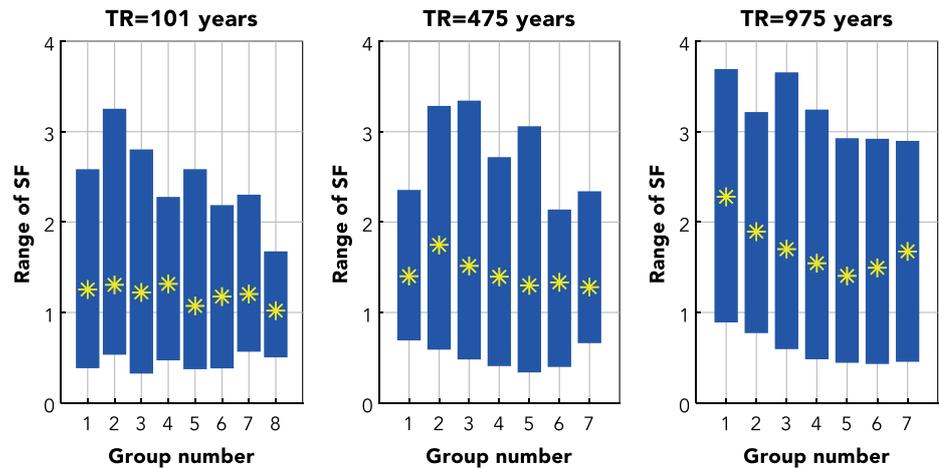


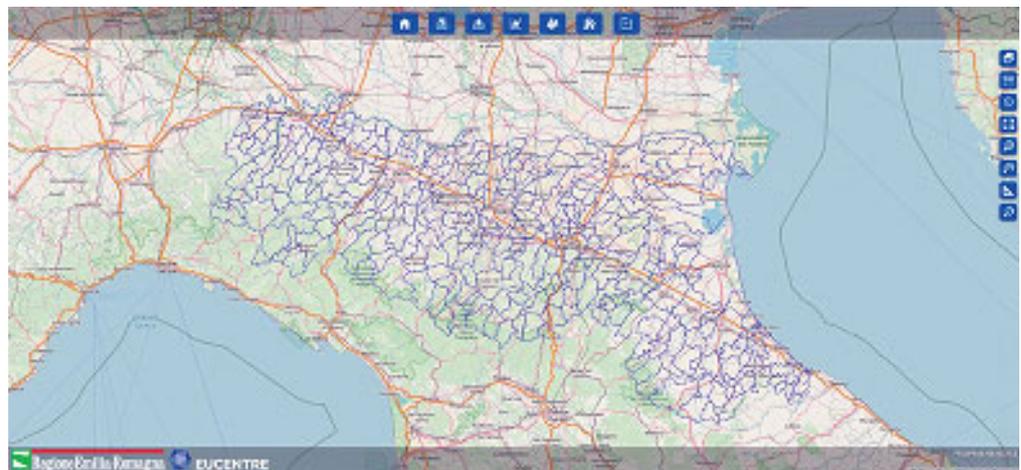
Tabella 6 - Valore minimo, massimo e medio, per ciascun periodo di ritorno, del fattore di scala finale SF. È anche riportato il valore percentuale dei casi con SF tra 2/3 e 1.5.

TR	SF			% di casi con SF tra 2/3 e 1.5
	Min	Max	Medio	
101	0.32	3.25	1.24	51.0
475	0.34	3.34	1.53	45.7
975	0.43	3.69	1.93	21.7

5. La piattaforma WebGIS

Il principale prodotto di questo progetto è una piattaforma WebGIS che consente all'utente di visualizzare i risultati ottenuti in modo agevole e immediato. La piattaforma è stata sviluppata con programmi e librerie "Open Source": il "front-end" sfrutta tecnologie HTML5, CSS e la libreria geografica OpenLayers, mentre il "back-end" è basato su "application server" Tomcat, servlet Java e banca dati Postgres con estensione PostGIS. I dati geografici, inoltre, sono stati elaborati tramite il software QGis. Per potervi accedere è necessario solo un browser trattandosi di un vero e proprio sito internet. Sono previste due tipologie di utenti: gli utenti Regionali, ovvero i funzionari della RER, che possono vedere tutti i risultati del progetto e gli utenti Progettisti che possono, per il momento, solo scaricare gli accelerogrammi descritti nel §4. In Figura 16 è mostrata la "Homepage" della piattaforma WebGIS che viene visualizzata dopo aver fatto Login.

Figura 16
Homepage della piattaforma.



Al centro è presente la mappa della RER, sulla destra ci sono tutti i pulsanti che consentono di fare operazioni sulla mappa, come visualizzare l'elenco dei "layer" attivi, mostrare la legenda, pulsante info, ingrandimento, misurare una distanza sulla mappa e infine ricercare un Comune per nome oppure per coordinate (longitudine e latitudine).

Nella parte alta della "Homepage" sono invece presenti i "Tab" che consentono di visualizzare le elaborazioni fatte e i dati di ingresso: pericolosità sismica di base, pericolosità sismica locale, fragilità, esposizione, rischio, accelerogrammi.

Il "Tab" "Pericolosità sismica di base" permette di visualizzare la pericolosità di base (in riferimento a NTC08 e NTC18, quindi ai risultati dello studio del Gruppo di Lavoro MPS04). L'utente seleziona il periodo di ritorno di interesse e visualizza la mappa di pericolosità della normativa interpolata per le sezioni censuarie della banca dati ISTAT 2011. In Figura 17 è mostrata a titolo esemplificativo la mappa per il periodo di ritorno di 475 anni. È evidente che queste mappe sono su roccia, ovvero non tengono conto dell'amplificazione del suolo. È possibile selezionare sulla mappa una singola sezione censuaria e visualizzare il valore di accelerazione di picco per il periodo di ritorno in esame. Tale valore sarà poi utilizzato come ingresso sismico nel calcolo delle mappe di rischio su roccia.

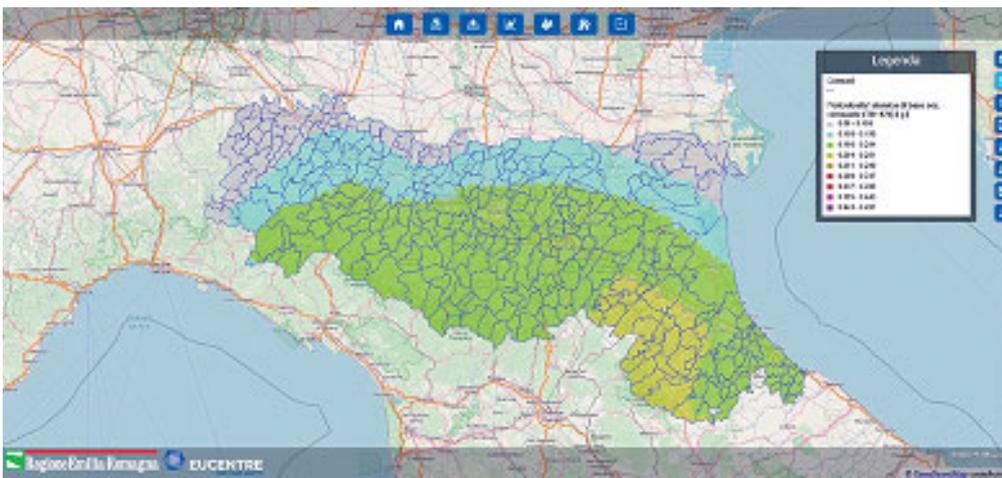


Figura 17
Pericolosità sismica di base per periodo di ritorno di 475 anni.

In modo del tutto analogo, accedendo al "Tab" "Pericolosità sismica locale" è possibile selezionare il periodo di ritorno di interesse e quindi visualizzare la mappa di pericolosità su suolo calcolata. Come descritto nel §2, la mappa di pericolosità sismica locale per otto periodi di ritorno è stata calcolata a partire dalla mappa prodotta dalla RER per il periodo di ritorno di 475 anni sulla base dei risultati degli studi di microzonazione sismica.

Cliccando sul "Tab" "Fragilità" è possibile visualizzare le curve di fragilità appositamente sviluppate per questo studio e utilizzate nel calcolo del rischio sismico. In Figura 18 si vede che l'utente deve selezionare la classe di vulnerabilità e il numero di piani di interesse: in tabella vengono mostrati i parametri delle curve di fragilità (media e deviazione standard di una distribuzione lognormale) e sulla destra è riportato il grafico delle curve.

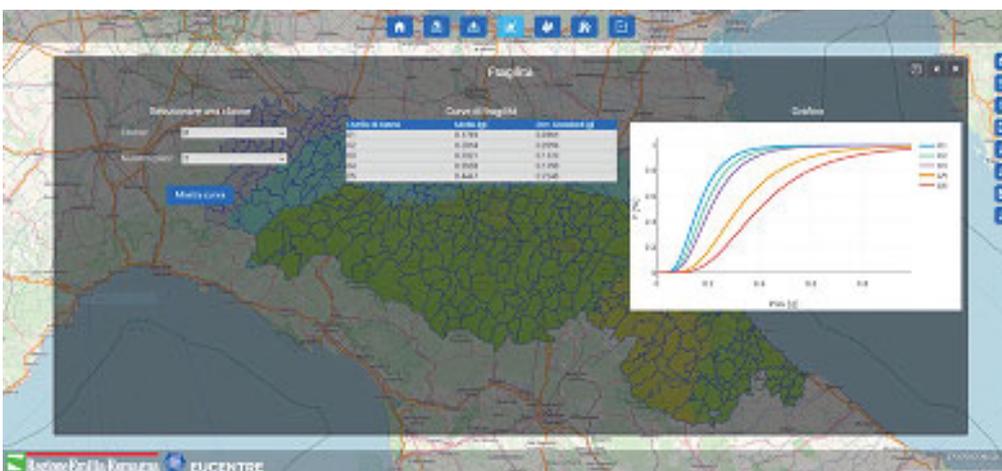


Figura 18
Curve di fragilità per edificio in classe di vulnerabilità B a 2 piani.

Il “Tab” successivo, denominato “Esposizione”, consente di quantificare gli elementi esposti al rischio in termini di numero di edifici, percentuale di edifici, numero di abitazioni, percentuale di abitazioni, popolazione suddivisi in classi di vulnerabilità per un Comune o una sezione censuaria selezionate dall’utente.

In Figura 19 è mostrato quali sono le operazioni consentite all’utente nel “Tab” “Rischio” dopo aver selezionato sulla mappa un Comune o una sezione censuaria (nell’esempio riportato è stato selezionato il Comune di Bologna). L’utente può aggiungere una mappa di rischio oppure visualizzare in tabella il rischio per il Comune/sezione censuaria selezionata. In entrambi i casi deve scegliere se è interessato al rischio condizionato (e in tal caso deve scegliere il periodo di ritorno di interesse) oppure al rischio incondizionato riferito alla finestra temporale di un anno. Deve poi selezionare l’esposizione, la classe di vulnerabilità e il livello di danno di interesse. Deve anche indicare se è interessato al rischio calcolato tenendo conto della pericolosità di base o della pericolosità locale. In Figura 20 sono riportati due esempi di come è possibile compilare i campi richiesti nel caso in cui si voglia aggiungere una mappa di rischio: a sinistra mappa di rischio condizionato e a destra mappa di rischio incondizionato.

Infine, dall’ultimo “Tab” della piattaforma denominato “Accelerogrammi” è possibile scaricare l’azione sismica selezionata per ciascun nodo del reticolo di riferimento interno al territorio della RER considerato dalle NTC08 e NTC18. L’azione sismica è disponibile per i periodi di ritorno di 101, 475 e 975 anni in termini di un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC08. Per scaricare gli accelerogrammi si

Figura 19
“Tab” “Rischio” da cui è possibile aggiungere una mappa di rischio oppure visualizzare il rischio in tabella.

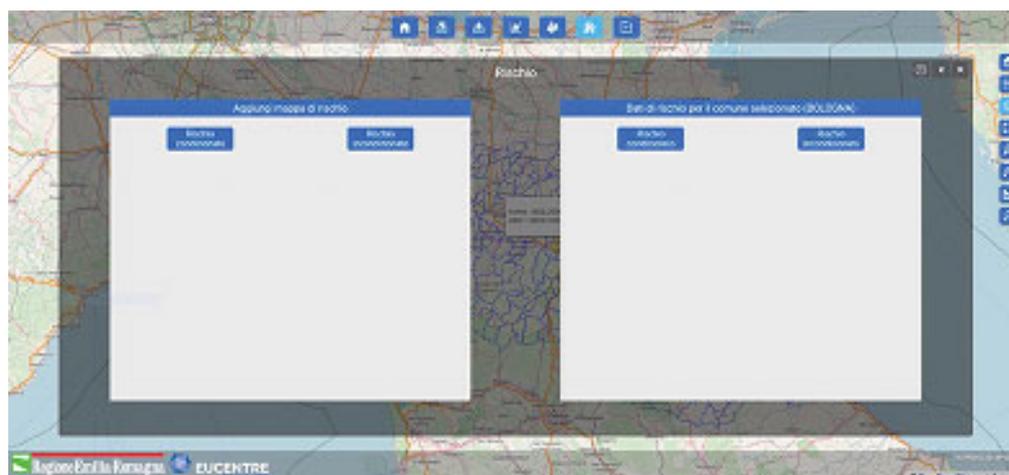


Figura 20
Campi da riempire per poter aggiungere una mappa di rischio sulla piattaforma WebGIS.

Aggiungi mappa di rischio

Rischio condizionato

Periodo di ritorno:

Effetti di sito (litostratigrafici):

Esposizione:

Classe:

Livello di danno:

Aggiungi mappa di rischio

Rischio incondizionato

Effetti di sito (litostratigrafici):

Esposizione:

Classe:

Livello di danno:

deve aprire il “Tab” “Accelerogrammi” e selezionare il periodo di ritorno di interesse (Figura 21). A questo punto viene visualizzata la griglia di punti per i quali sono stati calcolati gli accelerogrammi: l’utente clicca sul punto di interesse e scarica un documento compresso contenente i 7 accelerogrammi e un ottavo documento di testo che contiene informazioni sismologiche quali la magnitudo dell’evento che ha generato l’accelerogramma, la distanza epicentrale alla quale è avvenuta la registrazione, il fattore di scala rispetto all’accelerogramma originario, il nome della banca-dati alla quale appartiene l’accelerogramma originario (ESM, NGA-West2 o KiK-net) e il nome dell’accelerogramma all’interno della banca-dati.

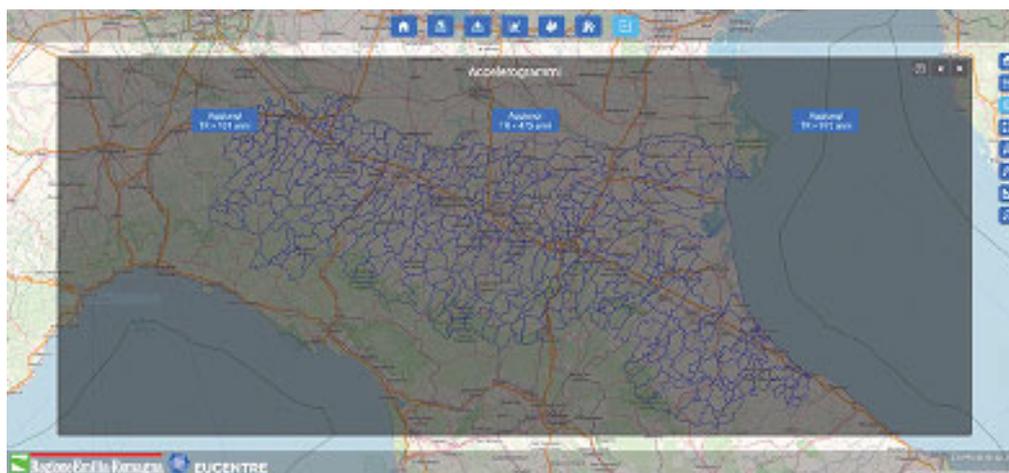


Figura 21
Tab “Accelerogrammi”.

Per rendere la piattaforma facilmente fruibile e di agile consultazione è stato implementato un *aiuto in rete*, accessibile cliccando sul punto interrogativo “?” che compare in alto a destra in ogni pagina. Così facendo si apre una nuova pagina che fornisce all’utente informazioni sull’argomento che sta consultando e sulle funzionalità della piattaforma.

6. Conclusioni

EUCENTRE, nell’ambito del progetto descritto nell’articolo, ha svolto numerose attività al fine di fornire alla Regione Emilia-Romagna uno strumento di supporto per la pianificazione di interventi mirati alla riduzione del rischio sismico dell’edilizia residenziale. Il presente studio ha consentito di integrare le numerose conoscenze a disposizione della Regione relativamente al territorio emiliano-romagnolo. Si menziona, evidenziandone il carattere innovativo, la mappa del fattore di amplificazione lito-stratigrafica ottenuta dal personale della Regione Emilia-Romagna a partire dagli studi di microzoneazione sismica condotti a scala comunale (con riferimento al picco di accelerazione su suolo e per il periodo di ritorno di 475 anni). Tutti i prodotti ottenuti sono stati caricati su una piattaforma WebGIS appositamente sviluppata e corredata di un *aiuto in rete*. I risultati ottenuti in questo studio gettano le basi per ulteriori affinamenti quali:

- La valutazione degli effetti di amplificazione lito-stratigrafica per il territorio regionale utilizzando un approccio alternativo, basato sulla ingente mole di misure della velocità di propagazione delle onde trasversali (V_S) disponibili per la caratterizzazione del sottosuolo emiliano-romagnolo. Tali dati potrebbero essere utilizzati per mettere a punto un modello di V_S per l’intera Regione. A partire da tale modello, la valutazione dei fattori di amplificazione potrebbe essere condotta sia mediante l’utilizzo dell’approccio semplificato da normativa vigente (NTC18), che mediante metodi più raffinati basati sull’esecuzione di analisi affidabilistiche di risposta sismica locale finalizzata alla calibrazione di coefficienti di amplificazione appositi, sfruttando le numerose esperienze di EUCENTRE in questo campo;
- La presa in conto degli eventuali effetti di amplificazione topografica mediante approcci basati sull’utilizzo di modelli digitali del terreno (e.g. “*Digital Elevation Model*”, DEM);
- Le valutazioni di rischio sismico anche per altri elementi esposti. Tramite un approfondimento dello studio di vulnerabilità si potrebbero ad esempio prendere in considerazione anche gli edifici industriali, che nel recente terremoto hanno mostrato la loro vulnerabilità producendo, a seguito del loro danneggiamento, ingenti perdite al tessuto produttivo, gli edifici strategici (ad es. scuole, ospedali, prefetture) e le infrastrutture.

Per quanto riguarda gli accelerogrammi da utilizzare come azione sismica per le analisi dinamiche di strutture e sistemi geotecnici, sarebbe opportuno estendere la selezione anche ad altri periodi di ritorno di interesse. Sarebbe inoltre auspicabile ri-eseguire la selezione in seguito alla pubblicazione di una nuova mappa di pericolosità sismica di base. Nel caso in cui si faccia riferimento direttamente agli spettri iso-probabili prodotti dall'analisi di pericolosità sismica, anziché agli spettri di progetto definiti dalle NTC08 (basati sui parametri a_g , F_0 e T_C^*), sarebbe necessario definire dei nuovi criteri per l'identificazione dei gruppi di spettri di risposta omogenei.

Infine, una evoluzione della piattaforma WebGIS potrebbe consentire valutazioni relative alle perdite, umane ed economiche e, in ipotesi di accadimento di un terremoto, il calcolo in tempo reale di scenari di danno per la valutazione nell'immediato post evento dell'impatto del terremoto.

7. Ringraziamenti

Si ringraziano il Dott. Giulio Ercolessi per la realizzazione in formato GIS della cartografia di pericolosità sismica fornita dalla Regione Emilia-Romagna e il "Servizio Statistica, Comunicazione, Sistemi informativi geografici, Partecipazione" della Regione Emilia-Romagna per la fornitura dei dati del censimento ISTAT 2011. Un ringraziamento va anche all'intero Dipartimento "Scenari di Rischio" di EUCENTRE che ha contribuito alla buona riuscita del progetto. Gli autori sono molto grati al Prof. Dolce del Dipartimento della Protezione Civile italiano per la revisione critica del presente articolo.

8. Bibliografia

- Akkar S., Bommer J.J. (2010) - Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East, *Seismological Research Letters*, Vol 81, n. 2, pp. 195-206
- Angeletti P., Baratta A., Bernardini A., Cecotti C., Cherubini A., Colozza R., Decanini L., Diotallevi P., Di Pasquale G., Dolce M., Goretti A., Lucantoni A., Martinelli A., Molin D., Orsini G., Papa F., Petrini V., Riuscetti M., Zuccaro G. (2002) - Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica degli edifici, con particolare riferimento a quelli strategici per la protezione civile, Rapporto finale, Dipartimento della Protezione Civile-Ufficio Servizio Sismico Nazionale, Roma
- 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 database, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol.9, n. 6, pp. 1899-1920
- Boore D.M., Atkinson G.M. (2008) - Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 and 10.0 s, *Earthquake Spectra*, Vol. 24, n. 1, pp. 99-138
- Borzi B., Crowley H., Pinho R. (2008a) - Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment (SP-BELA) Method for Masonry Buildings, *Int J Archit Herit*, 2:353-376, doi: 10.1080/15583050701828178
- Borzi B., Pinho R., Crowley H. (2008b) - Simplified pushover-based vulnerability analysis for large-scale assessment of RC buildings, *Eng Struct*, 30:804-820, doi: 10.1016/j.engstruct.2007.05.021
- Borzi B., Onida M., Faravelli M., Polli D., Pagano M., Quaroni D., Cantoni A., Speranza E., Moroni C. (2020) - IRMA platform for the calculation of damages and risks of Italian residential buildings, *Bull Earthquake Eng*, <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00924-x>
- Calvi G.M. (1999) - A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 3, n. 3, pp. 411-438
- Cauzzi, C., Faccioli, E. (2008) - Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records," *Journal of Seismology*, Vol. 12, n. 4, pp.453-475
- CEN - Comité Européen de Normalisation (2003) - prEN 1998-1-Eurocode 8: design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels
- Corigliano M., Lai C.G., Rota M., Strobbia C. (2012). ASCONA: Automated Selection of COMPATIBLE Natural Accelerograms. *Earthquake Spectra*, 28(3), 965-987.
- D.M.14.01.2008 - Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08), G.U.04.02.2008 n. 29, Suppl. Ordinario n. 30
- D.M.17.01.2018 - Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (NTC18), G.U. 20.02.2018 n. 42, Suppl. Ordinario n. 8
- Dolce M., Speranza E., Giordano F., Borzi B., Bocchi F., Conte C., Di Meo A., Faravelli M., Pascale V. (2017a) - Da.D.O - Uno strumento per la consultazione e la comparazione del danno osservato relativo ai più significativi eventi sismici in Italia dal 1976, Atti del XVII Convegno ANIDIS, Pistoia, 17-21 Settembre, ISBN 978-886741-8541
- Dolce M., Speranza E., Giordano F., Borzi B., Bocchi F., Conte C., Di Meo A., Faravelli M., Pascale V. (2017b) - La Piattaforma web-GIS Da.D.O per la consultazione e la comparazione del Danno Osservato in eventi sismici di rilevanza nazionale dal 1976, Atti del 36° Convegno Nazionale GNGTS, Trieste, 14-16 Novembre, ISBN 978-88-94044287
- Dolce M., Borzi B., Da Porto F., Faravelli M., Lagomarsino S., Magenes G., Moroni C., Penna A., Prota A., Speranza E., Zuccaro G., Verderame G.M. (2019a) - Mappe di rischio sismico per il territorio italiano, XVIII Convegno L'Ingegneria Sismica in Italia ANIDIS, 15-19 settembre 2019, Ascoli Piceno, Italy, Paper N. 3549
- Dolce M., Speranza E., Giordano F., Borzi B., Bocchi F., Conte C., Di Meo A., Faravelli M., Pascale V. (2019b) - Observed damage database of past Italian earthquakes: the Da.D.O. WebGIS, *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, Vol. 60, n. 2, pp. 141-164; DOI 10.4430/bgta0254
- Dolce M., Prota A., Borzi B., da Porto F., Lagomarsino S., Magenes G., Moroni C., Penna A., Polese M., Speranza E., Verderame G. M., Zuccaro G. (2020) - Seismic risk assessment of residential buildings in Italy, *Bulletin of Earthquake Engineering*, Special Issue: Sei-

- smic Risk Assessment in Italy, <https://doi.org/10.1007/s10518-020-01009-5>.
- Faravelli M., Borzi B., Polli D., Pagano M. (2019) - Calibration of a mechanics-based method for large-scale vulnerability assessment, *Bull Earthquake Eng*, 17(5):2485-2508, doi: 10.1007/s10518-019-00560-0
- Grünthal G. (1998) - European Macroseismic Scale 1998 (EMS98), Council of Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Sismologie, 15
- ICMS (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Gruppo di lavoro MS, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137
- Iervolino I., Maddaloni G., Cosenza E. (2008). Eurocode 8 Compliant Real Record Sets for Seismic Analysis of Structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 54-90.
- Martelli L. (2019). Comunicazione personale.
- OPCM 3274 (2003) - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003, G.U. n. 105 dell'8 maggio 2003, Suppl. Ordinario n. 72
- OPCM n. 3519 del 28-04-2006 (2006) - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone, G.U. 11.05.2006 n. 108
- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. (2012) - Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(5):1357-1375.
- Stucchi M., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Meletti C., Montaldo V., Valensise G. (2004) - Mappa di Pericolosità sismica del territorio Nazionale - http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/rapporto_conclusivo.pdf (in italian)
- UNESCO (1972) - Convention concerning the protection of the world cultural and Natural Heritage, The General Conference of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization meeting, seventeenth session, Paris, 17 October–21 November
- Vona M., Masi A. (2004) - Resistenza sismica di telai in c.a. progettati con il R.D. 2229/39, Atti dell'XI Convegno ANIDIS, Genova, 25 - 29 Gennaio
- Zuccolo E., Corigliano M., Lai C.G. (2014). Selection of spectrum- and seismo-compatible accelerograms for the Tuscany region in Central Italy. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 305-313, ISSN: 0267-7261

9. Gli Autori

Marta Faravelli si laurea in Ingegneria Civile indirizzo Strutture nel dicembre 2006 presso l'Università degli Studi di Pavia. A gennaio 2007 inizia la sua collaborazione con EUCENTRE dove lavora tuttora con il ruolo di Ricercatore. Le tematiche di suo interesse sono la valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture a diversa scala e la produzione di mappe di rischio e scenari di danno. È autrice/coautrice di oltre 50 pubblicazioni scientifiche. A partire dal terremoto di L'Aquila del 2009 ha svolto attività di valutazione sul campo dell'agibilità di edifici ordinari e pubblici in seguito ad eventi sismici. È coinvolta nei progetti che EUCENTRE svolge per il Dipartimento della Protezione Civile nell'ambito della definizione di mappe di rischio sismico per l'edilizia residenziale, edilizia scolastica e infrastrutture viabilistiche. Ha partecipato a diversi progetti Europei tra cui TURNKEY (sviluppo di un Multi-sensor-based Information System che consenta azioni di Earthquake Forecasting, Early Warning e Rapid Response) e BORIS (cross BOrder RiSk assessment for increased prevention and preparedness in Europe) tuttora in corso. Nell'ambito delle Tecnologie per le Smart Communities and Cities finanziate da Regione Lombardia ha coordinato per EUCENTRE i progetti SIMULATOR e SIMULATOR-ADS (Sistema Integrato ModULAre per la gestione e prevenzione dei Rischi – Arricchito con Dati Satellitari).

Francesca Bozzoni ricopre la posizione di Ricercatrice presso il Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica, EUCENTRE (Pavia), dove lavora dal 2009. Laureata al Politecnico di Milano in Ingegneria per la difesa del suolo e la prevenzione dai rischi naturali con il massimo dei voti, l'Ing. Bozzoni ha maturato un'esperienza ultradecennale nell'ambito dell'ingegneria sismica, della geotecnica sismica e della sismologia applicata all'ingegneria grazie all'attivo coinvolgimento in numerosi progetti operativi e di ricerca sia a livello nazionale, che internazionale, all'interno di gruppi di lavoro multi-disciplinari. È autrice/coautrice di oltre 60 pubblicazioni scientifiche. È stata responsabile per EUCENTRE del progetto di ricerca europeo LIQUEFACT (2016-2019) sulla valutazione e mitigazione del rischio associato alla liquefazione dei terreni in Europa. A seguito di recenti terremoti, ha condotto ricognizioni sul campo dei danni indotti e supporto tecnico alla gestione dell'emergenza; dal 2016, è membro regolare della associazione internazionale Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER). Dal 2019, è referente per EUCENTRE del Centro per la Microzonazione Sismica e le sue applicazioni (CentroMS). Dal 2020, è stata nominata membro del gruppo di lavoro internazionale WG225 "Seismic Design Guidelines for Port Structures".

Elisa Zuccolo consegue nel 2006 la laurea in Fisica Terrestre e dell'Ambiente (con lode) e nel 2010 il Dottorato di Ricerca (Ph.D.) in Geofisica della Litosfera e Geodinamica, entrambi presso l'Università degli Studi di Trieste. A Febbraio 2010 comincia come post-doc la sua collaborazione con il Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (EUCENTRE) e l'Università degli Studi di Pavia. Attualmente ricopre la posizione di Ricercatrice nel Dipartimento "Scenari di Rischio" di EUCENTRE e si occupa di diversi aspetti legati alla sismologia e sismologia applicata all'ingegneria. Nell'anno accademico 2018/2019 è stata docente (Professore a contratto) del modulo di Sismologia del corso "Active Tectonics" (4 CFU su 6) - Laurea Magistrale in Scienze Geologiche Applicate presso l'Università di Pavia. Nel corso degli anni è stata coinvolta in numerosi progetti operativi e di ricerca sia a livello nazionale, che internazionale. È autrice/coautrice di oltre 50 pubblicazioni scientifiche. Nell'ambito del progetto finanziato dalla Regione Emilia Romagna si è occupata della selezione dei segnali di riferimento per la stima della risposta sismica locale.

Antonella Di Meo consegue con lode la laurea in Ingegneria Civile, indirizzo Strutture, presso l'Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale. A Gennaio 2010 inizia a lavorare presso la sede di EUCENTRE a Pavia per poi trasferirsi in quella di Napoli nel 2015. Fa parte del Dipartimento "Scenari di Rischio" e si occupa principalmente di vulnerabilità strutturale e di rischio sismico. Negli anni ha partecipato

a vari progetti come: il progetto “Strumenti e Tecnologie per la gestione del Rischio delle Infrastrutture di Trasporto (STRIT)”, finanziato dal MIUR, e il progetto europeo SASPARM2.0 (Support Action for Strengthening PAlestine capabilities for seismic Risk Mitigation). È inoltre impegnata in vari progetti finanziati dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC), come quelli finalizzati al calcolo del rischio sismico e degli scenari di danno del patrimonio edilizio abitativo a scala territoriale e di quello scolastico italiano. Attualmente è anche coinvolta in TURNKEY (sviluppo di un Multi-sensor-based Information System che consenta azioni di Earthquake Forecasting, Early Warning e Rapid Response) e CRISIS, (Comprehensive RISK assessment of basic services and transport InfraStructure), progetti entrambe finanziati dalla Commissione Europea. Nell’ambito del progetto finanziato dalla Regione Emilia Romagna, ha contribuito al processo di valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici residenziali ordinari, che è una delle componenti essenziali per la definizione del rischio sismico del costruito.

Davide Quaroni si diploma come Perito Informatico nel 1996 presso l’ITIS. G. Cardano di Pavia. Successivamente consegue la certificazione Oracle come Java SE programmer. Da febbraio 2016 inizia la collaborazione con EUCENTRE come consulente informatico. Si occupa della manutenzione ed evoluzione dei WebGIS esistenti, nonché della creazione di nuove piattaforme WebGIS integrando le più recenti tecnologie web. Partecipa ad progetto RFI per lo sviluppo di un tool di modellazione delle infrastrutture ferroviarie e la gestione del rallentamento e blocco delle tratte in caso di evento sismico. Partecipa al progetto PPRD South III per la produzione di scenari di danno e la gestione dell’emergenza in seguito a terremoto nei Paesi del Mediterraneo. Nell’ambito del progetto RER si è occupato della creazione e della gestione della piattaforma WebGIS e dell’ambiente informatico a supporto.

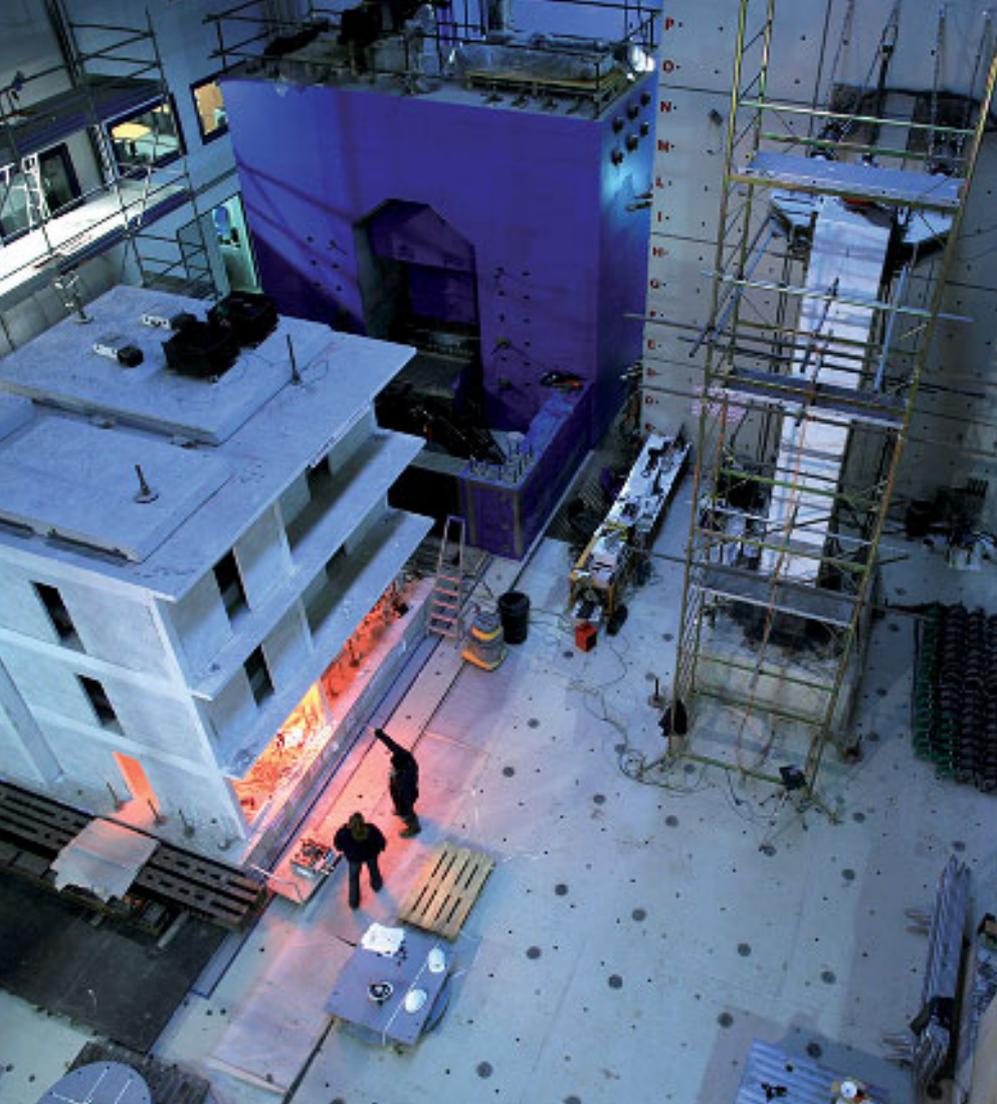
Diego Polli consegue la laurea magistrale in Ing. Elettronica e delle Telecomunicazioni, presso L’università degli Studi di Pavia, nell’aprile 2007. Ad agosto 2007 inizia la sua prima collaborazione con EUCENTRE occupandosi dello sviluppo di una piattaforma GIS per la visualizzazione di risultati di analisi di rischio e lo sviluppo di un sistema informatico per la gestione di database via web. Da novembre 2008 a febbraio 2012 torna in Università per conseguire un Dottorato di Ricerca (Ph.D.) nel campo del Telerilevamento, specializzandosi nel data processing di immagini satellitari e rilevazione danno post-sismico, VHR SAR. Ad aprile 2012 torna in EUCENTRE dove si occupa di Sistemi Informativi in supporto alle attività degli enti operanti nel settore edilizio e di gestione del territorio. È coinvolto in diversi progetti sponsorizzati dal DPC, come sviluppatore di piattaforme WebGIS, che hanno lo scopo di registrare, analizzare e visualizzare dati di rischio sismico. Partecipa al progetto Simulator-ADS, per lo sviluppo di applicazioni downstream con l’integrazione di tecnologie aerospaziali. Partecipa ad un progetto di RFI per l’analisi di rischio dei ponti ferroviari.

Ricardo Rodriguez-Plata è attualmente dottorando in “Comprensione e Gestione delle Situazioni Estreme” (Understanding and Managing Extremes, UME), un programma di dottorato congiunto tra la Scuola Universitaria Superiore di Pavia (IUSS) e l’Università degli Studi di Pavia, con il supporto della Fondazione Eucentre. Si è laureato in Ingegneria Civile (Bachelor degree) presso l’Università di Ibagué in Colombia nel 2015. Nel 2018, ha conseguito la Laurea Magistrale in Ingegneria Civile (Master degree) presso il Politecnico di Milano. Il suo lavoro di ricerca si è concentrato fin ora sulla simulazione numerica della propagazione di onde sismiche in campo mono-dimensionali (1D) e bi-dimensionali (2D) in presenza di bacini sedimentari; inoltre, si occupa degli effetti di interazione terreno-struttura (Soil-Structure Interaction, SSI), conducendo analisi dinamiche avanzate.

Luca Martelli lavora presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna dal 1989. Laureato in geologia strutturale all’Università di Firenze nel 1987, nel 1988 ha conseguito un master di secondo livello in rilevamento geologico. Dopo essersi occupato di cartografia geologica, dalla fine degli anni ’90 si è dedicato al tema della pericolosità sismica, diventando il referente della Regione Emilia-Romagna per la sismotettonica e la microzonazione sismica. Dal 1995 al 2007 è stato consulente del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Università “Federico II” di Napoli per il quale ha svolto il ruolo di direttore di rilevamento di varie carte geologiche. Dal 2008 al 2010 è stato anche docente di “Difesa del Suolo” presso l’Istituto Italiano di Scienze Umane dell’Università di Firenze, per il master post-laurea “Scuola di Governo del Territorio”. Dal 2010 è rappresentante della Conferenza delle Regioni e PA nella Commissione Tecnica per la microzonazione sismica del DPC. Collabora con vari enti locali e nazionali per la prevenzione e mitigazione dei rischi geologici e sismico, in materia di pianificazione urbanistica, protezione civile, valutazione di impatto e sostenibilità ambientale, sviluppo sostenibile delle risorse del sottosuolo.

Barbara Borzi è Ricercatore Capo ad Eucentre, dove si è trasferita nel settembre 2004 dopo aver trascorso un lungo periodo all’estero ed è attualmente la responsabile del dipartimento Scenari di Rischio. Si è laureata in ingegneria civile strutturale a luglio 1995. Lo stesso anno ha iniziato un dottorato di ricerca in ingegneria sismica presso il Politecnico di Milano ottenendo il titolo di dottore di ricerca nel febbraio 1999. Dopo il dottorato ha trascorso 10 mesi all’Imperial College di Londra come Post Doctorate. Successivamente ha occupato per due anni la posizione di Senior Engineer presso l’EQE International Ltd. (attualmente ABS Consultancy) in Inghilterra, ed infine dal 2002 al 2004 ha lavorato per WTI GmbH in Jülich, Germania. I suoi principali interessi di ricerca sono (i) la valutazione del rischio sismico di strutture ed infrastrutture, (ii) l’implementazione di metodi analitici per la valutazione della vulnerabilità, (iii) la modellazione del comportamento di strutture soggette ad azione sismica, (iv) l’implementazione di metodologie di analisi semplificate da adottarsi quando sono noti pochi dati oppure l’onere computazionale della analisi di dettaglio non può essere gestito.

Carlo Giovanni Lai ricopre attualmente la posizione di Professore Ordinario di Ingegneria Geotecnica presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell’Università degli Studi di Pavia. Egli è anche Advisor ad EUCENTRE del Dipartimento di Scenari di Rischio e docente affiliato alla UME School presso l’Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia (IUSS). Laureato in Ingegneria Civile al Politecnico di Torino nel 1988, il Dr. Lai ha conseguito i titoli accademici di dottorato in Ingegneria Civile, di master in Scienze dell’Ingegneria e della Meccanica, e di master in Scienze dell’Ingegneria Civile presso la Georgia Institute of Technology di Atlanta (USA) rispettivamente negli anni 1998, 1997 e 1995. I suoi interessi di ricerca principali riguardano la modellazione teorica della propagazione di onde sismiche nei geomateriali, la geotecnica sismica e la sismologia applicata all’Ingegneria Civile. È stato coordinatore di numerosi progetti di ricerca aventi per oggetto varie tematiche di geotecnica sismica e sismologia applicata finanziati da enti pubblici e privati in Italia e all’estero. Il Dr. Lai è autore/coautore di più di 200 pubblicazioni scientifiche incluse due monografie. Nel 2003 gli è stata conferita la Bishop Research Medal per il miglior articolo pubblicato nel 2002 dalla British Institution of Civil Engineers nel campo della ricerca in ingegneria geotecnica.



SHAKELAB EUCENTRE

Tavola Vibrante Unidirezionale ad Elevate Prestazioni

La tavola vibrante è un simulatore di terremoti in grado di riprodurre qualsiasi evento reale sino ad oggi registrato, su prototipi di grandi dimensioni. Le caratteristiche e le prestazioni principali della tavola sono riportate nel seguito. Struttura della tavola: Cellulare in acciaio con caratteristiche di elevata rigidità e massa contenuta compatibile con gli sforzi generati dalle prove strutturali. Guide: A sostentamento idrostatico per assicurare il minimo attrito.

Sistema di Ricontrao 3D

La struttura di contrasto, composta da una piastra di base e due muri ortogonali tra loro, consente l'esecuzione di prove pseudo-statiche e pseudo-dinamiche bi-direzionali su prototipi di edifici ed elementi strutturali, anche a scala reale. Forze e spostamenti sono imposti tramite attuatori oleodinamici. Il sistema di prova può essere inoltre utilizzato per sperimentazioni con tecnica ibrida.

Sistema di Prova Dinamico per Prove su Dispositivi di Appoggio ed Isolamento

Il sistema per prove su dispositivi di appoggio e isolamento in scala reale, a cinque gradi di libertà, consente di imporre forze verticali fino a 50000 kN, ed orizzontali fino a 2000 kN, con spostamenti orizzontali di ± 495 mm. Si tratta di un apparato sperimentale unico nel suo genere in Europa. Nel corso delle prove è possibile controllare dinamicamente carico e spostamento verticale e le rotazioni attorno ai tre assi principali. Un componente aggiuntivo del Sistema di Prova consente inoltre l'esecuzione di test 3D (controllo esteso a 6 GdL). Utilizzando una differente configurazione degli attuatori, è possibile incrementare la massima forza orizzontale a 2800 kN.



Diventare nostro Autore.



Diventare nostro autore è semplice
basterà contattare la redazione di
Progettazione Sismica², via e-mail
all'indirizzo: ps.redazione@eucentre.it
oppure chiamando al numero
telefonico 0382.5169894.
Per maggiori informazioni e novità
sulla rivista è possibile visitare il sito
www.progettazioneSismica.it

Follow us

