



Al Direttore del Dipartimento DICEAM
Al Servizio Alta Formazione alla Ricerca
Università degli Studi *Mediterranea*
di Reggio Calabria

Reggio Calabria, 22/04/25

Oggetto: Trasmissione verbale Collegio docenti Dottorato di ricerca in Ingegneria Civile,
Ambientale e Industriale 3 aprile 2025

Gentilissimi,

si trasmette il verbale in oggetto per gli adempimenti di competenza.

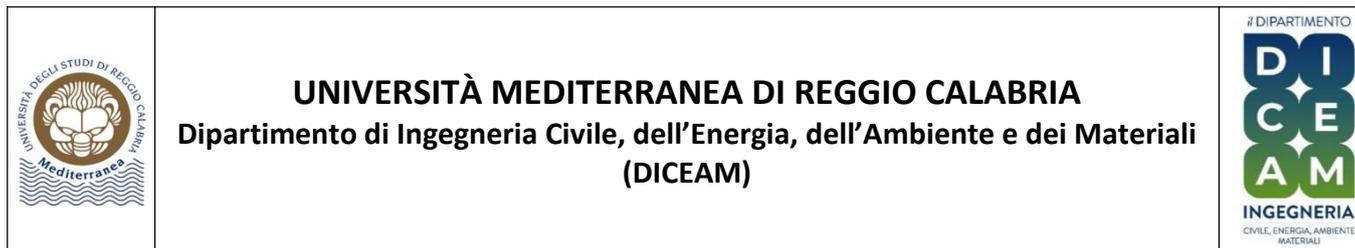
Un cordiale saluto

La Coordinatrice del Corso di dottorato

Prof.ssa Matilde Pietrafesa

Firmato digitalmente da Matilde Pietrafesa
Data: 22.04.2025 15:32:13 CEST
Organizzazione: UNIVERSITAMEDITERRANEA/00163260805





Collegio Docenti

Corso di Dottorato in *Ingegneria Civile, Ambientale ed Industriale*

VERBALE DELLA SEDUTA DEL 04/03/2025 – n° 1/2025

Il giorno 3 aprile 2025 alle ore 12:00, presso l'Aula del Consiglio ex Facoltà, si è riunito, regolarmente convocato, il Collegio dei Docenti del Corso di Dottorato in Ingegneria Civile, Ambientale ed Industriale per trattare il seguente

ORDINE DEL GIORNO

1. Accordi internazionali di cooperazione
2. Approvazione relazione sulle attività formative e di ricerca svolte durante il II anno dalla Dottoranda Marika Pavone (XXXVIII ciclo) ed ammissione al III anno
3. Nomina rappresentante personale docente commissione paritetica
4. Costituzione *Advisory Board* e nomina componenti
5. Approvazione piano di studi III anno Dottoranda Marika Pavone

Presiede la seduta la Coordinatrice del Corso di Dottorato, Prof.ssa Matilde Pietrafesa, e svolge le funzioni di Segretaria la Prof.ssa Patrizia Frontera.

Rilevate le presenze dei membri del Collegio, riportate nel prospetto allegato che costituisce parte integrante del presente verbale (*Allegato 1*) e constatato il raggiungimento del numero legale, la Coordinatrice dichiara aperta la seduta alle ore 12:05.

1. *Accordi internazionali di cooperazione*

La Coordinatrice ricorda che il Modello AVA3 richiede che il Corso di Dottorato persegua obiettivi di internazionalizzazione che prevedano periodi di formazione e ricerca svolti dai dottorandi all'estero. Comunica che i dottorandi del XXXIX ciclo Maria Stella Ferreri (tutor Prof. P. Calabrò) e Antonino Francesco Pio Trimboli (tutor Prof. F. Mauriello), iscritti al II anno di corso del Dottorato, svolgeranno tale periodo presso le seguenti istituzioni universitarie.

MARIA STELLA FERRERI:

Department of Civil & Environmental Engineering School of Mining & Petroleum Engineering, University of Alberta, Faculty of Engineering (Stato Alberta, Canada), sotto la supervisione del Prof. Dipro Dhar, nel periodo compreso tra il 04/04/2025 e il 04/10/2025

ANTONINO FRANCESCO PIO TRIMBOLI:

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Anorganische Chemie I, Bochum, Germany, sotto la supervisione del Prof. Lars Borchardt, nel periodo compreso tra il 01/04/2025 e il 30/09/2025.

Nell'*Allegato 2* vengono riportati gli accordi di cooperazione tra il DICEAM ed i due dipartimenti ospitanti i due dottorandi.

2. *Approvazione relazione sulle attività formative e di ricerca svolte dalla Dottoranda Marika Pavone (XXXIX ciclo) durante il II anno di corso ed ammissione al III anno*

La Coordinatrice comunica che la dottoranda Marika Pavone del ciclo XXXVIII ha concluso il secondo anno di attività, con una sospensione di 5 mesi per congedo maternità, ed ha presentato una relazione dettagliata sulle attività formative e di ricerca svolte, allegata al presente verbale (*Allegato 3*). La Coordinatrice invita la dottoranda ad illustrare ai componenti del collegio le attività svolte.

Esaminata la relazione, il Collegio dei docenti esprime apprezzamento per l'attività svolta e riconosce l'acquisizione dei crediti previsti dal piano formativo della dottoranda nel periodo di 7 mesi di attività (crediti didattici corrispondenti a 17/30 CFU), disponendone l'ammissione al III anno. I 13/30 CFU didattici non acquisiti nel II anno saranno acquisiti nel III anno.

3. *Proposta nomina rappresentante personale docente commissione paritetica*

La coordinatrice comunica che occorre nominare il rappresentante del personale docente nella Commissione paritetica e chiede ai componenti del Collegio di manifestare disponibilità. La prof.ssa Romolo si dichiara disponibile a ricoprire il ruolo.

Il Collegio approva all'unanimità la proposta e nomina la Prof.ssa Romolo rappresentante del personale docente nella Commissione paritetica.

4. *Costituzione Advisory Board e nomina componenti*

La coordinatrice comunica che occorre costituire l'*Advisory Board* (Comitato consultivo) del Corso di Dottorato, con funzioni di consulenza ed indirizzo riguardo al progetto scientifico e formativo del dottorato ed all'identificazione degli sbocchi occupazionali. Il Comitato è costituito da studiosi di alto profilo, associati a Università ed Istituzioni italiane e internazionali, in relazione al profilo scientifico-professionale definito per i Dottori di ricerca. Può essere integrato da esponenti autorevoli del mondo del lavoro e della società. E' auspicabile la presenza di ex dottorandi che operano nel mondo della ricerca e/o delle professioni. Il Comitato è presieduto dal Coordinatore del Dottorato.

Propone di inserire fra i componenti il Prof. Dario Lo Bosco, già Presidente di RFI ed attualmente Amministratore delegato di Italfer, il Prof. Stefano Corgnati, Rettore del Politecnico di Torino, il Prof. Franco Cotana, amministratore delegato di RSE (Ricerca sul Sistema Energetico), e l'Ing. Margherita Tripodi, Funzionario ad elevata qualificazione della Regione Calabria, settore Lavori Pubblici, ex dottoranda del Diceam, dei quali ha ricevuto la disponibilità. La Coordinatrice invita

quindi i docenti a presentare proposte. La Prof.ssa Frontera dichiara di aver ricevuto la disponibilità del Direttore del CNR-ITAE di Messina, Prof. Antonino Aricò. Il Prof. Moraci dichiara di aver ricevuto la disponibilità della Prof.ssa Federica Cotecchia, Professoressa Ordinaria presso il Politecnico di Bari, dell'Ing. Daniele Cazzuffi del CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano), e dell'Ing. Tommaso Moramarco, Direttore del CNR-IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica) di Perugia.

Il Collegio all'unanimità approva tutte le proposte, esprimendo elevato apprezzamento per gli studiosi che comporranno il Comitato.

La Coordinatrice propone che il Comitato rimanga in carica per un triennio, rinnovabile dal Collegio dei docenti. Il Collegio approva.

5. Approvazione piano di studi III anno Dottoranda Marika Pavone

La Coordinatrice comunica che la dottoranda Marika Pavone ha presentato il piano di studi per il terzo anno di corso, predisposto secondo le indicazioni stabilite dal collegio dei docenti. Rispettando i requisiti richiesti, la Coordinatrice propone di approvarlo. Il Collegio all'unanimità approva la proposta.

Redatto e sottoscritto, il presente verbale è approvato seduta stante.

La seduta è tolta alle ore 13:15.

La Segretaria
Prof.ssa Patrizia Frontera



La Coordinatrice
Prof.ssa Matilde Pietrafesa



Allegato 1 - Elenco presenti

N	MEMBRO	PRESENTE	ASSENTE GIUSTIFICATO	ASSENTE
1	ALOTTA Gioacchino		X	
2	ANGIULLI Giovanni		X	
3	BARBARO Giuseppe		X	
4	BARLETTA Giuseppina		X	
5	BARRILE Vincenzo	X		
6	BONACCORSI Lucio M.	X		
7	CALABRO' Paolo S.		X	
8	CALCAGNO Salvatore	X		
9	CANDITO Pasquale		X	
10	CARDILE Giuseppe	X		

11	CHIOCCARELLI Eugenio	X		
12	FAILLA Giuseppe		X	
13	FIAMMA Vincenzo	X		
14	FILIANOTI Pasquale			X
15	FRONTERA Patrizia	X		
16	GATTUSO Domenico	X		
17	GIUNTA Marinella S.	X		
18	GURNARI Luana			X
19	IERACITANO Cosimo		X	
20	LA FORESTA Fabio	X		
21	LEONARDI Giovanni		X	
22	MALARA Angela		X	
23	MALARA Giovanni	X		
24	MAMMONE Nadia		X	
25	MARINO Concettina	X		
26	MAURIELLO Francesco	X		
27	MORACI Nicola	X		
28	MORTARA Giuseppe	X		
29	NUCARA Antonino	X		
30	PAONE Emilia		X	
31	PICCOLO Antonio			X
32	PIETRAFESA Matilde	X		
33	PORCINO Daniela	X		
34	RINDONE Corrado	X		
35	ROMOLO Alessandra	X		
36	SANTANGELO Saveria	X		
37	SCOPELLITI Francesco	X		
38	VERSACI Mario		X	
39	VITETTA Antonino		X	

Allegato 2 - Accordi internazionali di cooperazione



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Anno accademico 2024/2025 - XXXIX Ciclo

D.M. n. 118 del 02.03.2023 - PNRR, Missione 4, componente 1 – Investimento 3.4. e Investimento 4.1.

D.M. n. 117 del 02.03.2023 - PNRR, Missione 4, componente 2.

**ACCORDO DI COOPERAZIONE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE PRESSO UNIVERSITÀ /
CENTRI DI RICERCA ALL'ESTERO.
COOPERATION AGREEMENT FOR EDUCATION ACTIVITY AT UNIVERSITIES /
RESEARCH CENTERS ABROAD**

TRA / BETWEEN

Il Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, rappresentata dal Direttore Prof. Giuseppe Barbaro / The Department of Civil, Energy, Environmental and Materials Engineering of Mediterranean University of Reggio Calabria, represented by the Head Prof. Giuseppe Barbaro

Corso di Dottorato in Ing. Civile, Ambientale e Industriale (ciclo XXXIX) / Ph.D. Program in Civil, Environmental and Industrial Engineering (cycle XXXIX)

E

*Il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Scuola di Ingegneria Mineraria e Petroliera, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Alberta (Stato Alberta, Canada), rappresentato dal Prof. Samer Adeeb / The Department of Civil & Environmental Engineering, School of Mining & Petroleum Engineering, University of Alberta Faculty of Engineering (Alberta State, Canada), represented by **Prof. Samer Adeeb***

*Premesso che l'accordo viene stipulato allo scopo di dare l'attuazione dell'attività formativa all'estero della dottoranda / Given that the agreement is entered into in order to put into effect the research grant abroad of the **Ph.D. Student Mariastella Ferreri** presso il / at Faculty of Engineering, Alberta, per il periodo compreso tra il 04/04/2025 e il 10/04/2025 for the period from April 4, 2025, to October 4, 2025.*

si conviene quanto segue / it is agreed as follow

Il Dipartimento/ The Department of Civil & Environmental Engineering, School of Mining & Petroleum Engineering, University of Alberta Faculty of Engineering si impegna, senza richiesta di oneri, ad ospitare il dottorando presso le proprie strutture, garantendo l'accesso alle biblioteche, ai laboratori, l'utilizzo di strutture e mezzi, l'assistenza didattico-scientifica per lo svolgimento del programma didattico scientifico concordato / undertakes, with no additional charges, to host the holder of the Ph.D. study grant at its facilities abroad, providing access to libraries, laboratories, the use of equipment and resources, educational and scientific assistance to carry out the research program.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Che garantiranno lo svolgimento del seguente piano di attività da che il dottorando dovrà svolgere: / All above will ensure the development of the following research program, during the period the Ph.D Student will spend abroad:

The research will focus on characterizing microbial communities and identifying mechanisms of antibiotic resistance in digestates derived from the anaerobic digestion of municipal organic waste and sewage sludge. Close collaboration with the host team will be maintained to interpret data and advance shared research objectives.

Le strutture, i laboratori, (o altro) sotto elencati potranno essere utilizzati dal dottorando nell'ambito dell'attività di ricerca finalizzata alla realizzazione del programma di ricerca: / The facilities, laboratories, (or more) listed below may be used by the Ph.D. Student during the research activity abroad:

- **Dr. Bipro Dhar's research labs (NREF 3-100 and NREF 6-052)**

Il presente accordo avrà la durata di 6 mesi / This agreement will last for six months corrispondenti al periodo di svolgimento dell'attività formativa all'estero del dottorando / corresponding to the research period the Ph.D. Student will spend abroad.

Reggio Calabria, 05/03/2025

Per il Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria / For the Department of Civil, Energy, Environmental and Materials Engineering of Mediterranean University of Reggio Calabria.

Visto/Approved

Il Coordinatore

The Coordinator

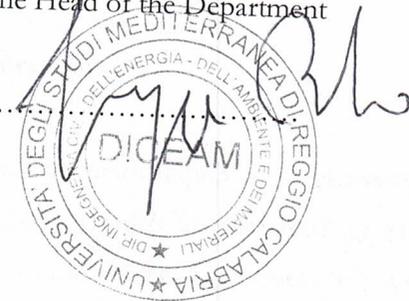
Per il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

For the Department of Civil & Environmental Engineering

Prof. Samer Adeeb

Il Direttore del Dipartimento

The Head of the Department





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Anno accademico 2024/2025 - XXXIX Ciclo

D.M. n. 118 del 02.03.2023 - PNRR, Missione 4, componente 1 – Investimento 3.4. e Investimento 4.1.

D.M. n. 117 del 02.03.2023 - PNRR, Missione 4, componente 2.

**ACCORDO DI COOPERAZIONE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE PRESSO UNIVERSITÀ /
CENTRI DI RICERCA ALL'ESTERO.
COOPERATION AGREEMENT FOR EDUCATION ACTIVITY AT UNIVERSITIES /
RESEARCH CENTERS ABROAD**

TRA / BETWEEN

Il Dipartimento DICEAM dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, rappresentata dal Direttore Giuseppe Barbaro / The Department DICEAM of the dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, represented by the Head Giuseppe Barbaro

Corso di Dottorato in Ingegneria Civile, Ambientale e Industriale / Ph.D. Program in Ingegneria Civile, Ambientale e Industriale

E

La facoltà di Chemie und Biochemie della Ruhr-University Bochum, rappresentata da Prof. Viktoria Däschlein-Gessner/ The Faculty of Chemistry and Biochemistry, Ruhr-University Bochum, represented by Prof. Viktoria Däschlein-Gessner.

Premesso che l'accordo viene stipulato allo scopo di dare l'attuazione dell'attività formativa all'estero del dottorando Antonio Cosimo Pio Trimboli / Given that the agreement is entered into in order to put into effect the research grant abroad of the Ph.D. student Antonio Cosimo Pio Trimboli

presso il gruppo di ricerca del Prof. Lars Borchardt dal 01/04/2025 – 30/09/2025/ in the research group of Prof. Lars Borchardt for the period 01/04/2025 – 30/09/2025

si conviene quanto segue / it is agreed as follow

La facoltà di Chemie und Biochemie della Ruhr-University Bochum si impegna, senza richiesta di oneri, ad ospitare il dottorando presso le proprie strutture, garantendo l'accesso alle biblioteche, ai laboratori, l'utilizzo di strutture e mezzi, l'assistenza didattico-scientifica per lo svolgimento del programma didattico scientifico concordato / undertakes, with no additional charges, to host the holder of the post-doc fellowship at its facilities abroad, providing access to libraries, laboratories, the use of equipment and resources, educational and scientific assistance to carry out the research program.

Che garantiranno lo svolgimento del seguente piano di attività da che il dottorando dovrà svolgere inerente processi di mecanochemical / All above will ensure the development of the following research program, during the period the Ph.D Student will spend abroad on mechanochemical processes.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Le strutture, i laboratori, (o altro) sotto elencati potranno essere utilizzati dal dottorando nell'ambito dell'attività di ricerca finalizzata alla realizzazione del programma di ricerca sulla valorizzazione di plastiche mediante processi di meccanochimica/ The facilities, laboratories, (or more) listed below may be used by the Ph.D. Student during the research activity abroad focused on the valorization of plastic waste by means of mechanochemistry processes.

1.Laboratorio di Meccanochimica (Prof. Lars Borchardt) / Laboratory of Mechanochemistry (Prof. Lars Borchardt)

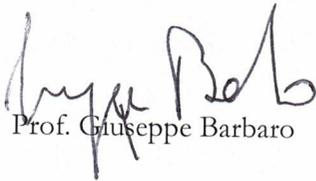
Il presente accordo avrà la durata di 6 mesi corrispondenti al periodo di svolgimento dell'attività formativa all'estero del dottorando / This agreement will last for 6 months corresponding to the research period the Ph.D. Student will spend abroad.

Reggio Calabria, 10/03/2025

Per il Dipartimento DICEAM dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria /

For the Department DICEAM of Mediterranean University of Reggio Calabria

Visto/Approved


Prof. Giuseppe Barbaro



Il Coordinatore Corso di Dottorato in Ingegneria Civile, Ambientale e Industriale / The Coordinator of the Ph.D. Program in Ingegneria Civile, Ambientale e Industriale


Prof.ssa Matilde Pietrafesa

Per la facoltà di Chemie und Biochemie della Ruhr-University Bochum, For the Faculty of Chemistry and Biochemistry,
Ruhr-University Bochum



Prof. Lars Borchardt



RELAZIONE ANNUALE DI SINTESI

DOTTORANDA	PAVONE MARIKA
CUP	C33C22000290006
CORSO DI DOTTORATO	INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E INDUSTRIALE
ANNO ACCADEMICO	38° CICLO PNRR – 2024/2025
COORDINATORE CORSO	PIETRAFESA MATILDE
BORSA	EI Tech4you Spoke 4 Goal 4.7 /PP1

La sottoscritta, in piena coerenza con le tematiche previste dal progetto nell'ambito del quale è stata finanziata la borsa di dottorato e nel rispetto dell'impegno assunto ad effettuare i periodi di attività previsti dal percorso di dottorato finanziato a valere del PNRR, consapevole della responsabilità penale cui può andare incontro in caso di dichiarazione falsa o comunque non corrispondente al vero (art. 76 del D.P.R. n. 445 del 28/12/2000), ai sensi del D.P.R. n. 445 del 28/12/2000 e ss.mm.ii.

ATTESTA

che le principali attività svolte nella II annualità sono di seguito riassunte:

ATTIVITÀ SVOLTE

Attività di ricerca

Nel 2022 nel corso di un ampio progetto di ricerca nazionale denominato Rischio Sismico Implicito delle Strutture sono state sviluppate mappe italiane del rischio sismico per gli edifici conformi alla normativa con l'obiettivo di quantificare il rischio sismico in uno scenario ideale, in cui tutti gli edifici residenziali esistenti sono sostituiti da edifici nuovi progettati in conformità alla normativa sismica vigente [2]. Il lavoro da me svolto è stato utilizzare lo stesso approccio, la stessa metrica di rischio e gli stessi modelli di input per calcolare il rischio per gli edifici esistenti in modo da rendere confrontabile questo risultato con quello degli edifici ideali. L'obiettivo principale è stato fornire un punto di riferimento per i risultati precedentemente sviluppati per gli edifici conformi alle norme.

Le analisi del rischio sismico su larga scala si riferiscono spesso a tipologie strutturali (o classi di edifici) piuttosto che a singoli edifici. Una tipologia strutturale raggruppa gli edifici in base alle loro caratteristiche essenziali, come il materiale da costruzione, la funzione e gli attributi strutturali specifici (ad esempio, il numero di piani, l'approccio progettuale). Il tasso di fallimento consente di effettuare una previsione su un qualsiasi intervallo di tempo del numero atteso di edifici che superano la soglia di danno per ciascuna municipalità italiana considerata, e può essere calcolato integrando la curva di pericolosità sismica e la funzione di fragilità. La prima è una funzione che mette in relazione un valore di misura dell'intensità (IM) di un evento sismico, nel sito di interesse e per una classe di suolo nota θ , al tasso dei terremoti che ne causano il superamento. Tale tasso è il risultato di un'analisi probabilistica di pericolosità sismica (PSHA) ed è indicato di seguito come $\lambda_{im|\theta}(z)$. La funzione di fragilità fornisce, invece, la probabilità che un edificio della tipologia strutturale di interesse, raggiunga o superi un livello di prestazione, pl , condizionato ad un valore della misura di intensità pari a z , $P[PL^{(st)} \geq pl|z]$. Il tasso di fallimento, λ_{ds} , può essere calcolato tramite l'Eq.(1)

$$\lambda_{ds} = \sum_{st_j} \sum_i \left\{ \int_{im} P[PL^{(st)} \geq pl|z] |d\lambda_{im|\theta_i}(z)| \right\} P[st_j] P[\theta_i] \quad (1)$$

Le mappe sono state calcolate per tre tipologie strutturali: edifici in muratura (URM) progettati dopo il 1945, edifici in cemento armato (RC) progettati dopo il 1950 e edifici in cemento armato progettati dopo il 1950 e successivamente adeguati tramite isolamento sismico alla base (BI). Il modello di pericolosità utilizzato è MPS04 [3] che rappresenta il modello di pericolosità di riferimento per la normativa nazionale dal 2008 ad oggi. Sulla base di questo modello, sono state condotte analisi probabilistiche di pericolosità sismica per ogni comune d'Italia per calcolare le curve di pericolosità. Le misure d'intensità (IM) per le quali è stata implementata l'analisi PSHA sono accelerazioni pseudo-spettrali ai periodi di vibrazione utilizzate per le funzioni di fragilità, in particolare $T=\{0.15s, 1.0s, 3s\}$.

Oltre al modello di sorgente sismica primaria, sono stati analizzati modelli alternativi. L'analisi PSHA è stata eseguita utilizzando un modello di sorgente sismica recente identificato come MPS19 [4] che rappresenta un aggiornamento del modello principale e presenta delle differenze sia in termini di modelli di input che di risultati. Inoltre, è stata anche eseguita l'analisi PSHA basata su sequenze (SPSHA) [5], utilizzando il modello MPS04, che incorpora l'effetto degli aftershocks, oltre al contributo dei mainshocks, nella valutazione del rischio. Tutte le analisi probabilistiche di pericolosità sismica discusse sono state eseguite utilizzando il software REASSESS [6].

Il calcolo è stato ripetuto considerando due livelli di prestazione differenti: usability preventing damage (UPD) e global collapse (GC). L'UPD viene raggiunto se si verifica una delle seguenti condizioni: (i) danni leggeri nel 50% degli elementi non strutturali; (ii) almeno uno degli elementi non strutturali raggiunge un livello di danno grave che porta a un'interruzione significativa dell'uso della struttura; (iii) il raggiungimento del 95% del taglio massimo alla base della struttura. GC, in genere, corrisponde alla capacità di spostamento/deformazione associata a un deterioramento post picco del 50% del taglio di base totale dell'edificio [7].

Per quantificare la probabilità che un edificio in un dato comune si trovi su una specifica classe di suolo (come richiesto nell'Equaz.(1)), i dati di suolo sono stati combinati con i dati di urbanizzazione forniti dall'ISTAT. Quindi, per ogni comune, la probabilità $P[\theta_i]$ è stata calcolata come il rapporto tra il numero di punti della griglia corrispondenti a una specifica classe di suolo [8], e il numero totale di punti della griglia all'interno delle aree urbanizzate del comune, come segue:

$$P[\theta_i] = \frac{N(\theta_i)}{N_{urb}}, \quad \theta_i = \{rock, stiff, soft\} \quad (2)$$

Le probabilità risultanti sono riportate in Figura 1

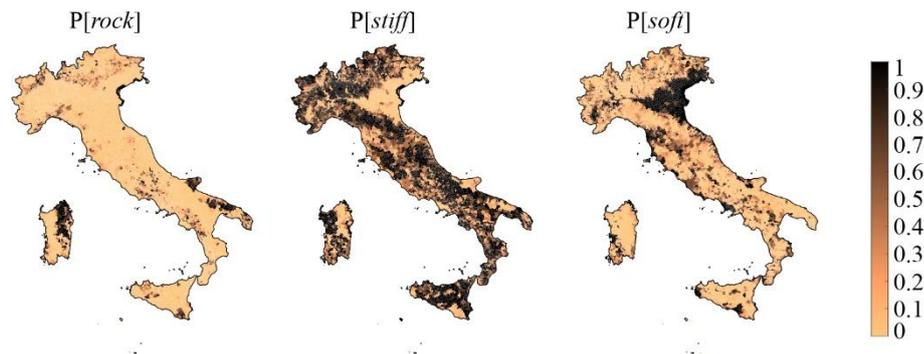


Figura 1 Probabilità della classe di suolo nelle aree urbanizzate dei comuni italiani

I dati sull'esposizione sono ottenuti dall'ISTAT. Per ciascuna municipalità considerata, il termine $P[st_j]$ in Equaz. (1) è stato calcolato come mostrato nell'Eq. (3) dove $N(st_j)$ rappresenta il numero di edifici di un dato comune appartenenti alla tipologia strutturale st_j ed m è il numero di tipologie strutturali considerate.

$$P[st_j] = \frac{N(st_j)}{\sum_{j=1}^m N(st_j)} \quad (3)$$

La Figura 2 mostra i valori $P[st_j]$ calcolati per ciascun comune italiano per edifici in muratura a due e tre piani costruiti in epoca post-'45. La Figura 2a e la Figura 2b si riferiscono rispettivamente ad edifici a due piani delle epoche '45-'87 e post'87. La Figura 2c e la Figura 2d si riferiscono ad edifici a tre piani della stessa epoca.

Allo stesso modo, i dati di esposizione sono presentati nella Figura 3 per gli edifici in c.a.: Figura 3a, Figura 3b e Figura 3c corrispondono rispettivamente a edifici in c.a. a tre piani rispettivamente degli anni '50-'60, '70 e '80-'90, mentre Figura 3d, Figura 3e e Figura 3f si riferiscono a edifici a sei piani delle epoche corrispondenti. In questo caso, nonostante gli edifici in c.a. a tre piani siano associati alla probabilità più alta, la percentuale degli edifici a sei piani supera il 25% per molti comuni italiani.

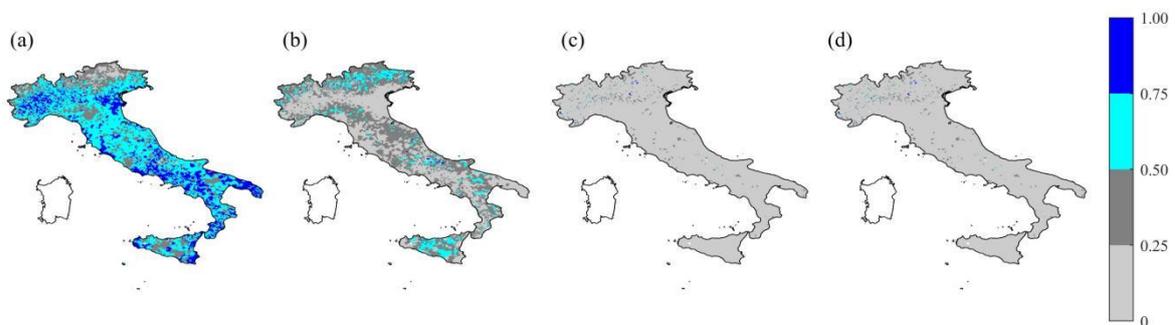


Figura 2 Mappe dei valori adottati per la valutazione del rischio per edifici in muratura a due e tre piani costruiti nell'epoca successiva al '45. Le probabilità associate agli edifici a due piani delle epoche '45-'87 e post'87 sono riportate rispettivamente nel pannello (a) e (b); mentre quelli associati agli edifici a tre piani del '45-'87 e dopo l'87 sono nei pannelli (c) e (d).

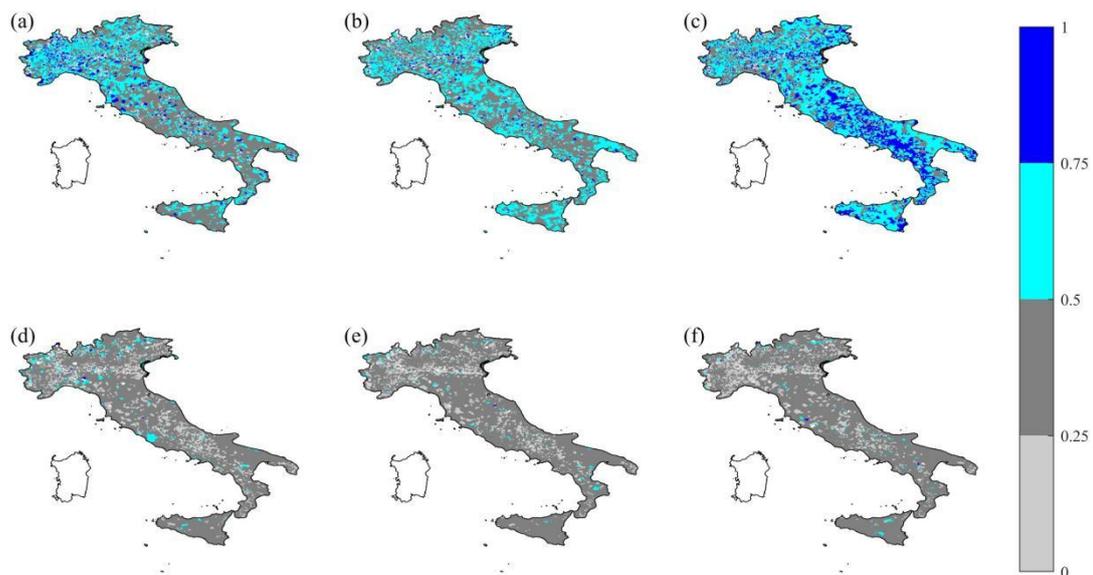


Figura 3 Mappe dei valori adottati per la valutazione del rischio per edifici in c.a. I pannelli da (a) a (c) mostrano la probabilità per comune di edifici a tre piani degli anni '50-'60, '70 e '80-'90; I pannelli da (d) a (f) mostrano le probabilità corrispondenti per edifici di sei piani.

Combinando le informazioni sulle funzioni di fragilità disponibili e i dati di esposizione, è stata esaminata la possibilità di calcolare le mappe di rischio sismico per l'Italia. Si è concluso che non è possibile calcolare le mappe di rischio sismico per tutte le municipalità. Tuttavia, il rischio sismico è stato calcolato riferendosi a due diversi gruppi di edifici residenziali in muratura post-'45 di due e tre piani e edifici in cemento armato progettati e costruiti tra gli anni '50 e gli anni '90. Inoltre, nel caso di edifici in muratura, le mappe non state calcolate per tutti i comuni italiani. In particolare, per ciascun comune, è stata calcolata la percentuale di edifici esistenti appartenenti alle tipologie strutturali per le quali sono disponibili funzioni di fragilità. In alcuni casi, questa percentuale risultava inferiore al 90% (soglia scelta arbitrariamente) degli edifici residenziali in muratura esistenti nel comune. In questi casi, il rischio sismico non è stato calcolato. Tuttavia, il rischio sismico è stato calcolato quando almeno il 90% degli edifici esistenti appartiene alle tipologie strutturali per le quali sono disponibili funzioni di fragilità come mostrato in Figura 4. La Figura 4 mostra due gruppi di comuni italiani: quelli per i quali non è stato calcolato il rischio sismico rappresentati in rosso, mentre quelli verdi rappresentano i comuni i cui risultati saranno discussi di seguito.



Figura 4. Mappe dei comuni italiani in cui viene eseguita la valutazione del rischio per le tipologie strutturali in muratura

Un'analisi simile è stata condotta per gli edifici residenziali in cemento armato e si è concluso che le mappe possono essere prodotte per l'intero paese.

Figura 5a e Figura 5b mostrano le mappe dei tassi di fallimento UPD e GC, rispettivamente, a scala comunale. Tali mappe si riferiscono a edifici in muratura a due e tre piani, che rappresentano il valore di

$\lambda_{E,D,M}^{04}$ e $\lambda_{E,C,M}^{04}$ Per UPD, i valori minimo, massimo e medio di $\lambda_{E,D,M}^{04}$ sono rispettivamente 7.1E-04, 6.8E-02 e 2.7E-02. Invece, i valori minimo, massimo e medio di $\lambda_{E,C,M}^{04}$ sono rispettivamente 1,0E-05, 3,9E-03 e 7,0E-04.

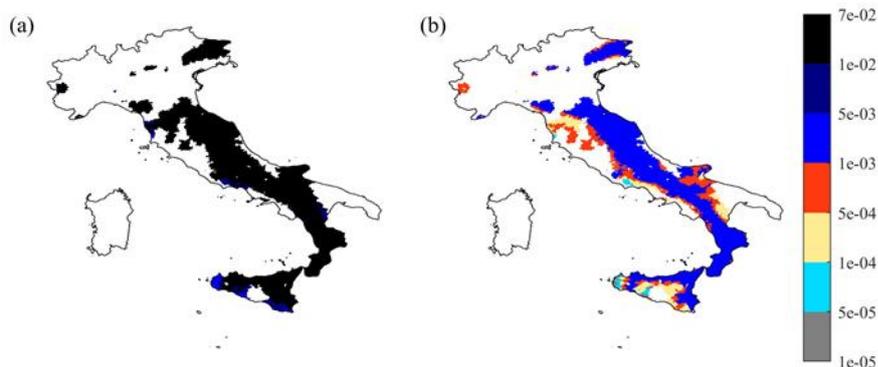


Figura 5. Mappe dei tassi di fallimento UPD e GC per strutture in muratura, rispettivamente a) e b).

Per fornire un confronto con i risultati di [9], i tassi di fallimento indicati per ogni comune potrebbero essere confrontati con quelli calcolati per gli edifici in muratura conformi al codice con lo stesso numero di piani. Tuttavia, poiché i risultati derivano dalla combinazione delle prestazioni strutturali di diverse tipologie strutturali, un confronto diretto tra i tassi di fallimento degli edifici esistenti e quelli degli edifici [9] non evidenzerebbe la variazione dei tassi nelle diverse epoche. Per risolvere questo problema, concentrandosi solo su GC, i tassi di fallimento sono stati prima calcolati separatamente per ogni tipologia strutturale: '45-'87 a due e tre piani edifici in muratura, e dopo l'87 edifici in muratura a due e tre piani. Questo risultato preliminare differisce da Figura 5b in cui tali tassi sono esaminati in base all'esposizione corrispondente e sommati per calcolare $\lambda_{E,C,M}^{04}$ secondo l'Eq.(1). Successivamente, tali tassi di fallimento per ciascuna tipologia strutturale sono divisi per i corrispondenti tassi per edifici in muratura conformi alla normativa con lo stesso numero di piani. I rapporti risultanti sono presentati in Figura 6.

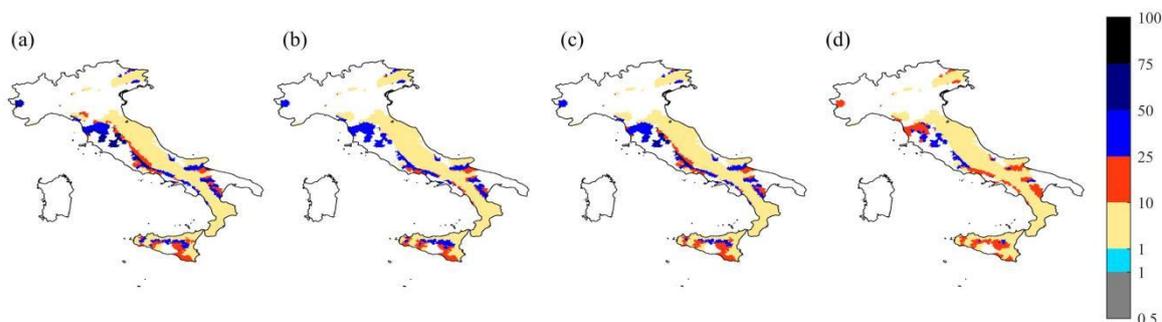


Figura 6 Rapporto dei tassi di fallimento GC tra edifici in muratura esistenti e conformi alla normativa: edifici a due e tre piani dell'epoca '45-'87 nei pannelli a) e b) ed edifici a due e tre piani successivi all'87 nei pannelli c) e d)

Piccole differenze possono essere identificate tra le quattro mappe in Figura 4, ma tutti mostrano una tendenza comune. Nella maggior parte dei casi, i rapporti sono maggiori di uno e minori di dieci; questi valori si riscontrano tipicamente nei comuni lungo i monti dell'Appennino dall'Italia centrale all'arco calabro. Valori simili si osservano anche nell'Italia nord-orientale e in alcune parti della Sicilia. In alcuni casi, i rapporti superano il dieci (fino a 70), che si verifica in circa il 9% dei comuni considerati (valore medio calcolato sulle quattro mappe di Figura 6). I valori medi per ciascuna delle mappe da Figura 6a a Figura 6d sono rispettivamente 5,4, 3,7, 4,6 e 2,6. Questo risultato conferma la riduzione del tasso di rottura per tipologie strutturali di pari numero di piani ed epoche progettuali più recenti.

Le mappe di rischio sismico per edifici in c.a. ($\lambda_{E,D,RC}^{04}$ e $\lambda_{E,C,RC}^{04}$) sono mostrate in Figura 7. I valori minimo, massimo e medio di $\lambda_{E,D,RC}^{04}$ sono rispettivamente 1.0E-05, 8.1E-03 e 1.3E-03. Invece, i valori minimo, massimo e medio dei tassi di fallimento $\lambda_{E,C,RC}^{04}$ sono rispettivamente 1.0E-05, 1.3E-03 e 1.3E-04.

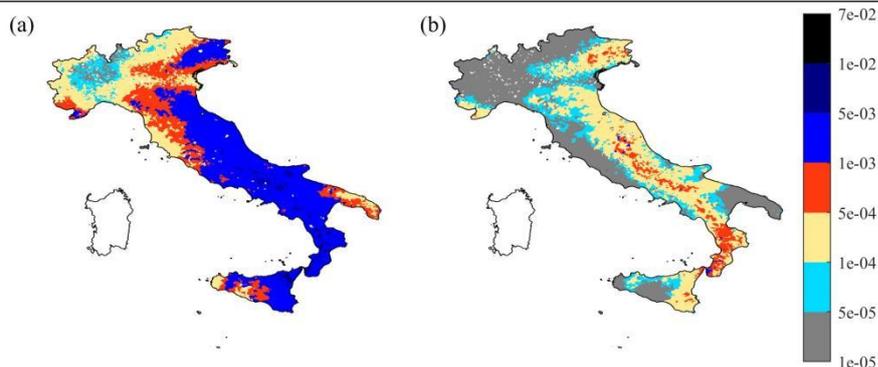


Figura 7 Mappe dei tassi di fallimento UPD e GC per strutture in c.a., mostrate rispettivamente nel pannello a) e b).

Analogamente al caso degli edifici in muratura, i tassi di fallimento calcolati per gli edifici c.a. esistenti sono stati confrontati con quelli associati agli edifici conformi alla normativa. A questo scopo, sono stati calcolati i tassi di fallimento GC per ciascuna tipologia strutturale (cioè edifici in c.a. a tre e sei piani delle epoche degli anni '50-'60, '70 e '80-'90). Ciascuno di questi tassi è stato diviso per il tasso di fallimento calcolato [2] per gli edifici in c.a. conformi alle norme dello stesso numero di piani e nel comune corrispondente. Le mappe risultanti sono mostrate in Figura 8.

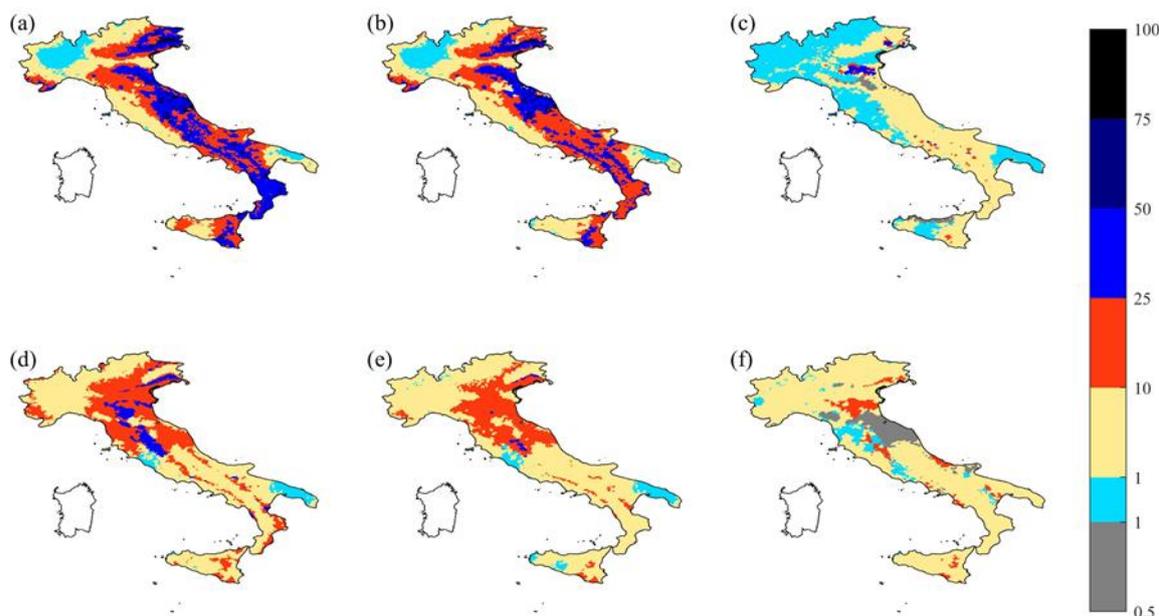


Figura 8: Rapporto dei tassi di fallimento GC tra strutture c.a. esistenti e conformi alle norme: gli edifici a tre piani degli anni '50-'60, '70 e '80-'90 sono rispettivamente in pannelli da (a) a (c); gli edifici a sei piani delle stesse epoche sono in pannelli da (d) a (f).

I rapporti nella prima fila della Figura 8, dal pannello a) al pannello c), si riferiscono a edifici in c.a. a tre piani delle epoche degli anni '50-'60, '70 e '80-'90. La seconda fila segue lo stesso ordine, considerando gli edifici di sei piani. Entrambe le righe dimostrano la riduzione dei rapporti calcolati (cioè i tassi di cedimento) al variare del periodo di costruzione della tipologia strutturale in esame, passando da quelle più vecchie a quelle più recenti. In particolare, i valori medi dei rapporti nel pannello a), b) e c) sono rispettivamente 15,7, 13,3 e 2,6. Allo stesso modo, i valori medi dei rapporti nel pannello d), e) e f) sono 9,3, 6,1 e 3,3.

I tassi di fallimento per le strutture a base isolata (BI) sono mostrate nella Figura 9. In particolare, si mostrano i valori di $\lambda_{E,D,BI}^{04}$ e $\lambda_{E,C,BI}^{04}$. I valori minimo, medio e massimo di $\lambda_{E,D,BI}^{04}$ sono rispettivamente 1.0E-05, 1.0E-04 e 1.4E-03. Mentre, i valori minimo, medio e massimo per $\lambda_{E,C,BI}^{04}$ sono 1.0E-05, 4.4E-05 e 6.6E-04.

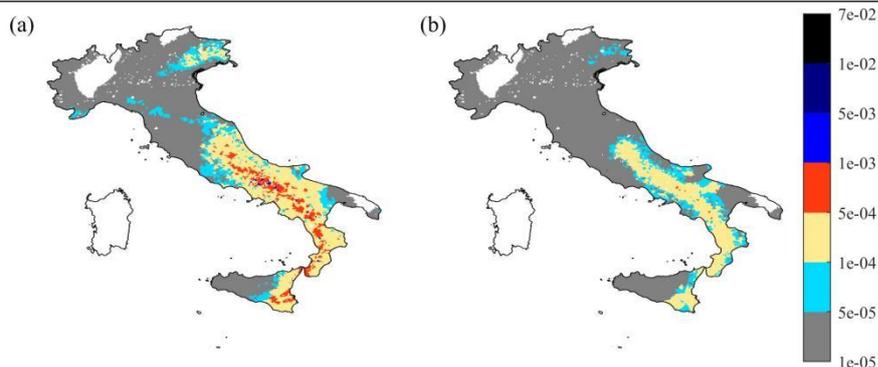


Figura 9 Mappe dei tassi di fallimento UPD e GC per strutture isolate alla base, rispettivamente pannello a) e b).

Per ogni comune è stato calcolato il rapporto tra i tassi di fallimento relativi alle strutture BI e alle strutture in c.a. a base fissa. Figura 10a e Figura 10b mostra rispettivamente i rapporti $\lambda_{E,D,BI}^{04}/\lambda_{E,D,RC}^{04}$ e $\lambda_{E,C,BI}^{04}/\lambda_{E,C,RC}^{04}$. Come mostrato, nel caso di $\lambda_{E,D,BI}^{04}/\lambda_{E,D,RC}^{04}$, tutti i valori calcolati sono inferiori a uno, con valori minimo, medio e massimo rispettivamente di 0,004, 0,065, 0,788. Nel caso di GC, ci sono pochi casi in cui i rapporti calcolati sono maggiori di uno, con un valore medio di 1,28. Per tutti gli altri siti, i rapporti GC sono inferiori a uno, il che significa che il tasso di fallimento delle strutture a base fissa è maggiore del valore corrispondente calcolato per le strutture isolate alla base. Il valore medio dei rapporti inferiori a uno è 0,42, con valori minimo e massimo rispettivamente di 0,02 e 0,99.

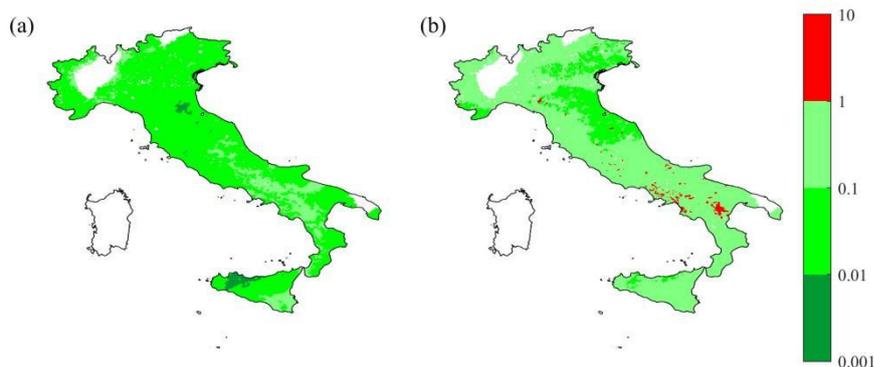


Figura 10: Rapporto tra i tassi di fallimento calcolati per strutture isolate alla base e strutture a base fissa: (a), (b)

$$\lambda_{E,D,BI}^{04}/\lambda_{E,D,RC}^{04} \quad \lambda_{E,C,BI}^{04}/\lambda_{E,C,RC}^{04}$$

Con riferimento al modello di pericolosità sismica MPS19, le mappe dei tassi di fallimento per edifici esistenti in muratura, $\lambda_{E,D,M}^{19}$ e $\lambda_{E,C,M}^{19}$ e.c.a., $\lambda_{E,D,RC}^{19}$ $\lambda_{E,C,RC}^{19}$, sono mostrate in Figura 11 e Figura 12. I valori minimo, massimo e medio di $\lambda_{E,D,M}^{19}$ sono rispettivamente 1.0E-05, 2.7E-02 e 4.9E-03. Invece, i valori minimo, massimo e medio del $\lambda_{E,C,M}^{19}$ sono rispettivamente 1.0E-05, 3.9E-03 e 5.86E-04. I valori minimo, massimo e medio di $\lambda_{E,D,RC}^{19}$ sono rispettivamente 4.2E-05, 4.4E-03 e 1.0E-03. Mentre, i valori minimo, massimo e medio dei tassi di fallimento $\lambda_{E,C,RC}^{19}$ sono rispettivamente 1.0E-05, 1.2E-03 e 1.56E-04.

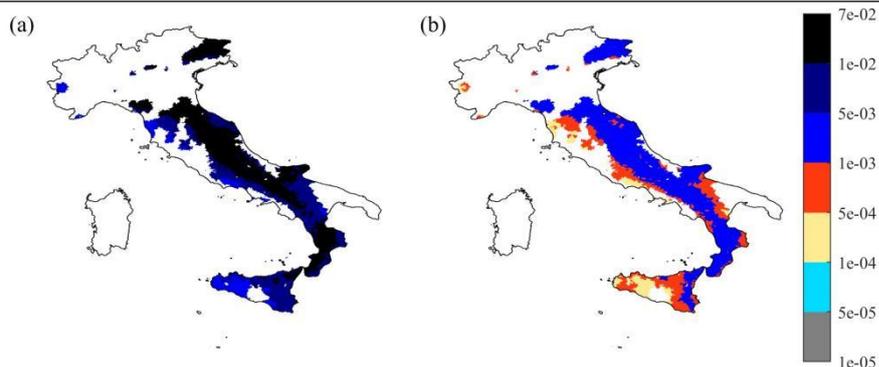


Figura 11 Le mappe dei tassi di fallimento UPD e GC per edifici in muratura secondo MPS19 sono rispettivamente il pannello a) e b)

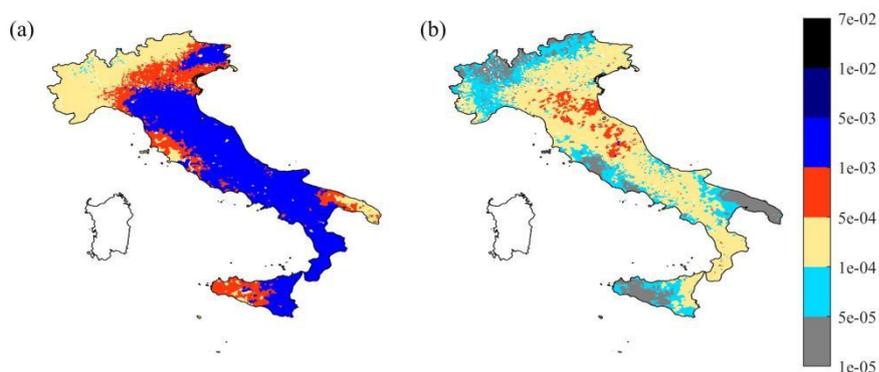


Figura 12 Le mappe dei tassi di fallimento UPD e RC per gli edifici RC secondo MPS19 sono rispettivamente il pannello a) e b).

Per descrivere l'influenza del modello di pericolosità sui tassi calcolati, le mappe dei rapporti tra i tassi di fallimento di MPS19 e MPS04 sono mostrate in Figura 13. Più dettagliatamente in Figura 13a mostra i rapporti, $\lambda_{E,D,M}^{19}/\lambda_{E,D,M}^{04}$, Figura 13b mostra i rapporti $\lambda_{E,C,M}^{19}/\lambda_{E,C,M}^{04}$, e Figura 13c presenta i rapporti $\lambda_{E,D,RC}^{19}/\lambda_{E,D,RC}^{04}$. Infine, i rapporti $\lambda_{E,C,RC}^{19}/\lambda_{E,C,RC}^{04}$ sono mostrati in Figura 13d. I comuni in verde indicano quelli in cui MPS19 comporta una riduzione dei tassi di fallimento rispetto a MPS04, mentre i comuni rossi mostrano un aumento dei tassi di fallimento. Come previsto, i risultati dipendono sia dalla tipologia strutturale (cioè l'ordinata spettrale di interesse) che dal livello di prestazione (cioè l'intervallo di periodi di ritorno che influenzano maggiormente il risultato). Tuttavia, in generale si può affermare che MPS19 porta a una riduzione del rischio sismico per i siti ad alta pericolosità.

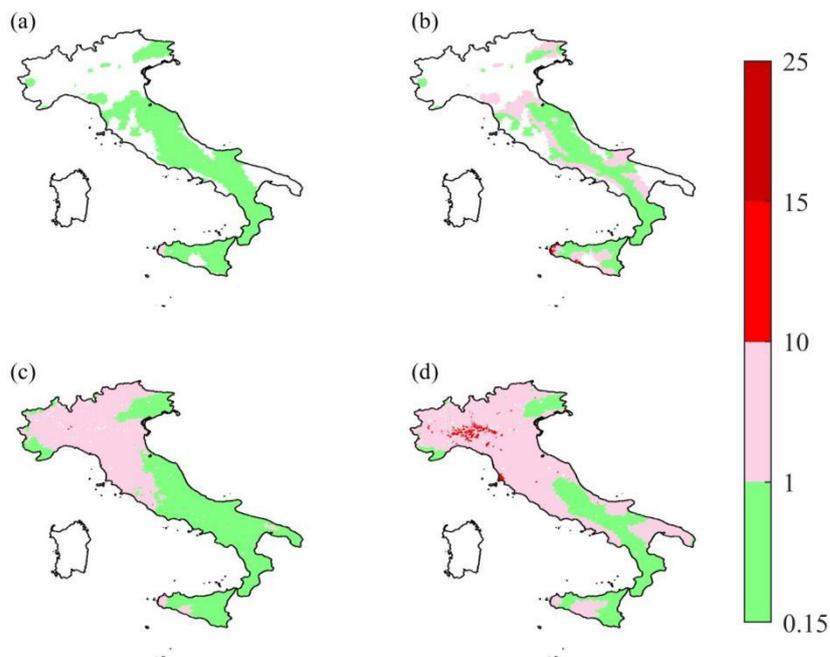


Figura 13 Rapporti tra i tassi di fallimento UPD (a e c) e GC (b e d) per edifici in muratura (prima fila) e RC (seconda fila), calcolati secondo MPS19 e MPS04.

Sono stati calcolati i tassi di fallimento considerando anche il contributo delle sequenze mainshock-aftershock attraverso l'analisi SPSHA basata su MPS04 sia per gli edifici in muratura che per quelli in c.a., riferiti sia all'UPD che al GC. L'aumento del rischio sismico dovuto agli aftershocks è quantificato in Figura 14: $\lambda_{D,M}^{04}/\lambda_{E,D,M}^{04}$ e $\lambda_{C,M}^{04}/\lambda_{E,C,M}^{04}$ sono illustrati in Figura 14a e Figura 14b, rispettivamente; $\lambda_{D,RC}^{04}/\lambda_{E,D,RC}^{04}$ e $\lambda_{C,RC}^{04}/\lambda_{E,C,RC}^{04}$ sono mostrati in Figura 14c e Figura 14d, rispettivamente.

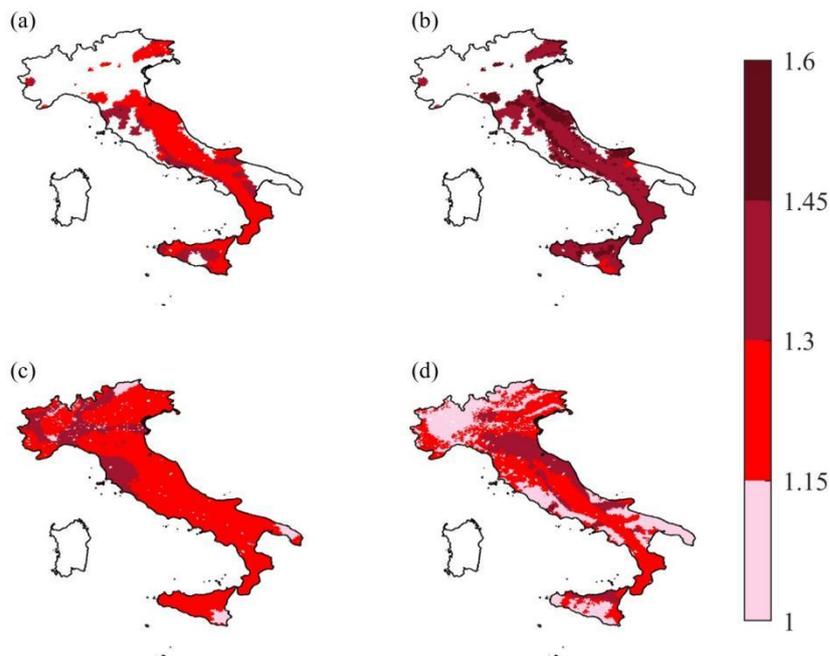


Figura 14 Rapporti tra i tassi di fallimento UPD (a e c) e GC (b e d) per edifici in muratura (prima linea) e RC (seconda linea) calcolati secondo SPSHA e PSHA

Le principali conclusioni del lavoro sono presentate di seguito:

- A parte alcuni casi, il rischio sismico degli edifici esistenti a base fissa è maggiore di quello degli edifici a base fissa conformi alle norme. In media, considerando lo stato limite GC, i tassi di

fallimento degli edifici in muratura successivi al '45 sono circa quattro volte maggiori dei corrispondenti tassi di fallimento degli edifici URM ideali, mentre i tassi di fallimento degli edifici RC esistenti sono circa otto volte maggiori dei corrispondenti tassi di fallimento degli edifici RC di nuova concezione.

- L'isolamento alla base degli edifici esistenti è vantaggioso per tutte le tipologie strutturali analizzate quando si considera l'UPD. Il rapporto medio di fallimento tra le strutture a base isolata e quelle a base fissa su tutto il territorio italiano è di 0,065. Se si considera il GC, nell'1,9% del totale dei comuni italiani, il rapporto supera l'uno (con una media di 1,28). Il valore medio in tutti gli altri casi è 0,42.
- La valutazione del rischio sismico, calcolata utilizzando il modello sorgente MPS19, mostra variazioni del rischio sismico rispetto al modello MPS04, con un andamento irregolare sul territorio. Una riduzione del tasso di fallimento si osserva nei siti ad alto rischio, mentre il risultato opposto si osserva nei siti a basso rischio.
- Se si considera l'analisi SPSHA, i risultati dimostrano un aumento del rischio sismico rispetto alla PSHA tradizionale. In particolare, gli aftershock possono aumentare il rischio sismico in media del 20-30%, a seconda del sito e della tipologia strutturale.

Nella valutazione probabilistica del rischio sismico, i modelli di fragilità consentono di stimare probabilità condizionata al superamento o raggiungimento di un determinato stato di danno (DS)[10].

Durante l'attività di ricerca si è analizzato un ulteriore problema, ovvero calcolare la probabilità di fallimento tenendo conto di due aspetti: il cumulo del danno sismico per effetto di più eventi sismici durante la vita utile della struttura e l'effetto del degrado agente sulla struttura. Il problema è analizzato attraverso un approccio basato sulla catena di Markov.

Si assume che il raggiungimento di un certo livello di danno possa essere prodotto anche da più scosse sismiche dannose e si modella la vulnerabilità stato dipendente ovvero la probabilità di transizione, in un evento, tra stati di danno (DS) progressivamente peggiori, dato lo stato della struttura precedente all'evento. Il tempo t si discretizza in intervalli di larghezza finita pari a Δ , che può essere considerato l'unità di tempo (es. un anno). Il dominio dell'indice di danneggiamento considerato è suddiviso in modo da avere un numero finito (n) di DS. I vari DS_i $i = \{1,2, \dots, n\}$ sono stati limite che identificano gli intervalli della matrice di danno considerata tra condizione as built e cedimento della struttura.

Le probabilità di transizione tra l' i -esimo e j -esimo DS generico, dato il verificarsi del terremoto, sono indicate come $P_{i,j}$ e rappresentano le probabilità che dopo un evento sismico la struttura si trovi nel j -esimo DS dato che era nello i -esimo DS prima del terremoto. La matrice di transizione markoviana ottenuta è la seguente:

$$[P] = \begin{bmatrix} 1 - \sum_{j=2}^n P_{1,j} & P_{1,2} & \dots & \dots & P_{1,n} \\ 0 & 1 - \sum_{j=3}^n P_{2,j} & \dots & \dots & P_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 1 - P_{(n-1),n} & P_{(n-1),n} \\ 0 & \dots & \dots & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Nella matrice, le righe e le colonne sono etichettate con i DS della struttura; pertanto, il primo stato è la condizione iniziale (o nuova) e il collasso (o fallimento) è rappresentato dallo stato n -esimo. Quest'ultimo è indicato come absorbing state, cioè una volta che la struttura è dentro, non si può uscire da tale condizione. Il triangolo inferiore è composto da zeri a causa della natura monotona del deterioramento. La matrice può essere utilizzata entrando nella riga con la condizione pre-evento della struttura per ottenere la probabilità di trovarla in uno degli altri stati di danno dato il verificarsi di un terremoto. I singoli elementi della matrice possono essere calcolati combinando: la funzione di densità di probabilità della misura d'intensità di una scossa sismica (IM), condizionata al verificarsi dell'evento sismico (E) e la probabilità di transizione della struttura condizionata all' IM , secondo l'applicazione del teorema delle probabilità totali nell'Equazione(5):

$$P_{i,j} = P[j - th state | i - th state \cap E] \quad (5)$$

$$= \int_{im} P[j - th state | i - th state \cap IM = z] f_{IM|E}(z) dz$$

Si noti che secondo PSHA, le variabili random (RV) rappresentano le misure d'intensità di diversi terremoti indipendenti e distribuiti in modo identico, $f_{IM|E}$ è invariante e non dipende dal tempo.

L'approccio markoviano richiede quindi la definizione di fragilità stato dipendenti che rappresentano un'estensione delle fragilità analizzate nella prima parte del lavoro. In quest'ottica, l'ultimo mese di ricerca è stato dedicato all'implementazione di diverse analisi su una struttura semplificata a 1 gdl in cui si è ipotizzata una cerniera plastica alla base e si sono ottenute le funzioni di fragilità stato dipendenti di cui riporto un esempio di seguito.

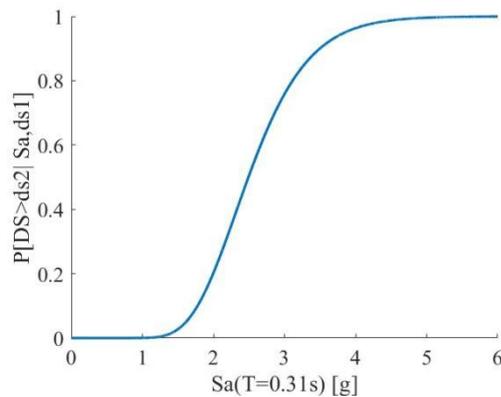


Figura 15 Curva di fragilità

Bibliografia

- Pacifico A, Chioccarelli E, Iervolino I. Residential code-conforming structural seismic risk maps for Italy. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2022; **153**. DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.107104.
- C.S., LL., PP. Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni. *Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana*, 2018.
- Meletti C, Galadini F, Valensise G, Stucchi M, Basili R, Barba S et al. *A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. . vol. Tectonophysics. 2008.
- Meletti C, Luzi L, D'Amico V, Lanzano G, Marzocchi W, Martinelli F et al. The new Italian seismic hazard model (MPS19). . *Ann Geophys* 2021.
- Iervolino I, Giorgio M, Polidoro B. Sequence-based probabilistic seismic hazard analysis. . *Bulletin of the Seismological Society of America* 2014.
- Chioccarelli E, Cito P, Iervolino I, Giorgio M. REASSESS V2.0: software for single- and multi-site probabilistic seismic hazard analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering* 2019.
- Suzuki A, Iervolino I. Seismic fragility of code-conforming Italian buildings based on SDoF approximation. *J Earthq Eng* 2021.
- Forte G, Chioccarelli E, De Falco M, Cito P, Santo A, Iervolino I. Seismic soil classification of Italy based on surface geology and shear-wave velocity measurements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2019; **122**: 79–93. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.04.002.
- Pacifico A, Chioccarelli E, Iervolino I. Residential code-conforming structural seismic risk maps for Italy. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2022; **153**(November 2021): 107104. DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.107104.
- Iervolino I, Giorgio M, Chioccarelli E. Markovian modeling of seismic damage accumulation. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2016; **45**(3): 441–461. DOI: 10.1002/eqe.2668.

Attività didattica

Il percorso formativo parallelo all'attività di ricerca è stato articolato con diversi corsi e seminari (*Tabella 1 e 2*) inerenti sia a tematiche trasversali all'argomento di ricerca, che a tematiche relative all'ambito specifico del settore in cui si colloca il progetto di ricerca.

Tabella 1. Corsi seguiti

Titolo del corso	Docente	Crediti
Dinamica dei metamateriali	Andrea F. Russillo	2
La transizione energetica e l'avvento dell'economia dell'idrogeno	Matilde Pietrafesa	1
Nonlinear modeling of RC structures using OpenSees	Paolo Ricci, Mariano Di Domenico	6
Intelligenza artificiale per applicazioni ingegneristiche	Nadia Mammone	1

Tabella 2. Seminari seguiti

Titolo del seminario	Docente	Crediti
Dalla gestione dell'emergenza alla ricostruzione post-sisma	Mauro Dolce	1
Innovazione esplorazione e sperimentazione nella ricerca di frontiera: l'azione del TRL nei progetti avanzati	Consuelo Nava	1
Demoday Tech4You	HUB dell'Ecosistema dell'Innovazione della Calabria e della Basilicata Tech4You	2
La ricerca sperimentale e il suo metodo per l'innovazione	Consuelo Nava	1

Conferenza Internazionale "Landscapes Across the Mediterranean" (CrossMED)	Gruppo T4Y	1
Webinar SBA "Gestione dei diritti per la scienza aperta"	Sistema Bibliotecario di Ateneo	1

Altre attività

Nel corso del secondo anno ho svolto attività di supporto didattico nel corso di "Tecnica delle Costruzioni" per il corso di Laurea in "Ingegneria Civile e Ambientale per lo Sviluppo Sostenibile" (Classe L-7). In particolare, è stato fornito supporto agli studenti per la realizzazione di esercitazioni ed elaborati progettuali.

Data 28/03/2025

Marika Pavone