

Ricerca di Sistema elettrico



SVILUPPO DI MODELLI DI VULNERABILITÀ SISMICA
SEMPLIFICATI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SUI
COMPONENTI NON STRUTTURALI (LA2.13)

Fabrizio Paolacci, Gianluca Quinci

SVILUPPO DI MODELLI DI VULNERABILITÀ SISMICA SEMPLIFICATI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SUI COMPONENTI NON STRUTTURALI

(LA2.13)

F. Paolacci¹, G. Quinci¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche, Università degli Studi Roma Tre

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: 2.1.3

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Fabrizio Paolacci, Università degli Studi Roma Tre

Mese inizio previsto: 13

Mese inizio effettivo: 13

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: Sviluppo di modelli di vulnerabilità sismica semplificati per la valutazione degli effetti sui componenti non strutturali

Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte Dr. Cristoforo Demartino, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre

Indice

1	Risultati attesi	3
2	Risultati ottenuti.....	4
3	Prodotti attesi	5
4	Prodotti sviluppati	6
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	7
6	Sintesi delle attività svolte	8
7	Dettaglio delle attività svolte.....	9
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	14
9	Pubblicazioni scientifiche	15
10	Eventi di disseminazione	16

1 Risultati attesi

Questa linea di attività si prefiggeva di:

- 1) Produrre una procedura/algoritmo, da utilizzare a scala territoriale, per la valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico di edificio scolastici;
- 2) Predisporre una scheda di rilievo di I e II livello e verificarne l'efficienza, applicandola a casi studio selezionati, al fine di ottenere una valutazione speditiva della vulnerabilità sismica sia strutturale sia degli elementi strutturali più critici (ad esempio gli impianti o le tamponature);
- 3) Formulare specifici Key Performance Indexes (KEY) per gli elementi strutturali più critici degli edifici, con particolare riguardo a quelli scolastici;
- 4) Condurre uno studio sul rischio sismico strutturale e degli elementi non strutturali di casi studio rappresentativi mediante un approccio di tipo Performance-Based, utilizzando la convoluzione della pericolosità sismica di sito e le curve di fragilità.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti da questa linea di attività sono sintetizzati di seguito:

- Sviluppo di uno stato dell'arte sul comportamento sismico di edifici scolastici e degli elementi non strutturali più comuni;
- Sviluppo di una metodologia semplificata per l'analisi di rischio sismico degli elementi non strutturali degli edifici scolastici, attraverso l'individuazione di KPI specifici;
- Sviluppo di schede di censimento per l'analisi di rischio sismico degli elementi non strutturali degli edifici scolastici
- Stesura di linee guida per l'analisi di rischio sismico semplificata degli elementi non strutturali degli edifici scolastici;
- Sviluppo di un'applicazione per la valutazione semi automatica del rischio sismico di elementi non strutturali di edifici scolastici.

3 Prodotti attesi

I prodotti attesi per questa LA sono i seguenti:

- Metodologia per la valutazione speditiva della risposta sismica dei NSE di una scuola e la loro classificazione sismica
- Linee guida per l'applicazione della scheda di rilievo PELL-SCHOOL-RE in presenza di NSE per la valutazione e classificazione del rischio sismico di NSE di edifici scolastici

4 Prodotti sviluppati

- **Applicativo software in linguaggio Python NSE-SCHOOL** per la valutazione speditiva della risposta sismica dei NSE di una scuola e la loro classificazione sismica
- Linee guida per l'applicazione della **scheda di rilievo PELL-SCHOOL-RE** in presenza di NSE e **manuale per l'uso di NSE-SCHOOL** per la valutazione e classificazione del rischio sismico di NSE di edifici scolastici

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si riscontrano scostamenti rilevanti tra le attività pianificate e quelle effettivamente svolte.

6 Sintesi delle attività svolte

Nella prima fase di attività è stato approfondito il tema della vulnerabilità sismica degli edifici scolastici in Italia, con riferimento al comportamento sismico degli elementi non-strutturali e i metodi per la valutazione della vulnerabilità sismica. Nella seconda fase è stato approfondito il tema del rischio sismico degli edifici scolastici con elementi non-strutturali (NSE). Sono stati studiati i metodi per la valutazione della vulnerabilità sismica dei principali NSE, con particolare attenzione a quelli basati sulle performance (PBA). Sono stati individuati i criteri per la classificazione sismica degli elementi non strutturali per una rappresentazione sintetica del livello di rischio e i parametri di performance più appropriati (KPI). Nella terza fase è stata formulata una proposta di procedura semplificata per l'analisi del rischio sismico degli elementi non strutturali di edifici scolastici, per individuare gli elementi più critici. Il metodo proposto è stato implementato in **NSE-SCHOOL**. Infine, nella fase conclusiva sono state sviluppate apposite linee guida per l'uso della scheda PELL-SCHOOL-RE in presenza di elementi non strutturali NSE nonché la scrittura di un manuale d'uso di **NSE-SCHOOL**.

7 Dettaglio delle attività svolte

In questo paragrafo vengono sinteticamente illustrati i risultati ottenuti durante lo svolgimento dell'attività di ricerca.

7.1 Stato dell'arte sul comportamento sismico di edifici scolastici e degli elementi non strutturali tipici

In questa fase iniziale è stato approfondito il tema della vulnerabilità sismica degli edifici scolastici nel territorio italiano, con particolare riferimento anche al comportamento sismico degli elementi non-strutturali e ai metodi disponibili in letteratura per la valutazione della loro vulnerabilità sismica.

In particolare è stata effettuata una approfondita analisi della resilienza al sisma del patrimonio edilizio scolastico italiano, con riferimento agli aspetti architettonici (distribuzione degli spazi, tipologie di materiali utilizzati, aspetti progettuali, etc..), ai modelli di esposizione per l'analisi di rischio sismico con riferimento sia agli elementi strutturali che non strutturali, e con livelli di scalabilità differenti (livello comunale, regionale, e nazionale), agli schemi strutturali tipicamente utilizzati nella costruzione degli edifici scolastici italiani (edifici in cls e acciaio con strutture intelaiate), in muratura (strutture a pareti) e miste (acciaio-cls o cls-muratura).

È stata inoltre effettuata una approfondita analisi della vulnerabilità sismica degli elementi non strutturali con riferimento sia al danneggiamento sismico ai quali essi possono essere sottoposti durante un terremoto, sia ai metodi per la sua valutazione. Sono stati analizzati in dettaglio i modelli e i metodi presenti in letteratura per la valutazione speditiva della vulnerabilità sismica degli elementi non strutturali anche in funzione della necessaria integrazione con la già prodotta scheda PELL-SCHOOL-RE e la relativa procedura SlaMA-Scholl.

Infine, è stata effettuata una indagine approfondita sui sistemi di retrofitting.

7.2 La classificazione del rischio sismico di elementi non strutturali in edifici scolastici

In questa seconda fase di attività è stato approfondito il tema del rischio sismico degli edifici scolastici e in particolare degli elementi non-strutturali tipicamente presenti al loro interno. Sono stati studiati i principali metodi per la valutazione della vulnerabilità dei principali elementi non-strutturali presenti nel patrimonio edilizio scolastico italiano con particolare attenzione a quelli basati sulle performance (*Performance Based Earthquake Engineering* o PBEE). Questo approccio ha permesso di individuare sia i criteri per la classificazione sismica degli elementi non strutturali più adatti ad una rappresentazione sintetica del livello di rischio sia i parametri di performance più appropriati, noti come Key Performance indexes (KPI).

Nel caso specifico è stato ritenuto particolarmente rilevante il lavoro effettuato dal gruppo di ricerca di Eucentre (Pavia), sia riguardo il metodi di valutazione della risposta sismica degli elementi non strutturali, sia riguardo proposte per la classificazione sismica di elementi non strutturali, metodi che hanno permesso di mettere a punto una proposta unitaria per il presente progetto rivolta alla valutazione speditiva del rischio sismico degli elementi non strutturali presenti negli edifici scolastici e alla sua classificazione. L'accelerazione al suolo, quella di piano e l'intestory drift sono stati ritenuti i più rappresentativi e adatti a metodi speditivi per la valutazione del rischio sismico di elementi non-strutturali.

La validazione dei KPI selezionati è stata effettuata con riferimento ad un caso studio ritenuto significativo e rappresentativo di molti complessi di edilizia scolastica italiana.

7.3 Aggiornamento della metodologia SLAMA per elementi non-strutturali e validazione su un caso studio

In questa fase è stata formulata una proposta di procedura semplificata per l'analisi del rischio sismico degli elementi non strutturali di edifici scolastici, al fine di individuare gli elementi più critici sui quali procedere successivamente con analisi di maggior dettaglio e, se necessario, con interventi di mitigazione.

La proposta è sintetizzata nella figura seguente:

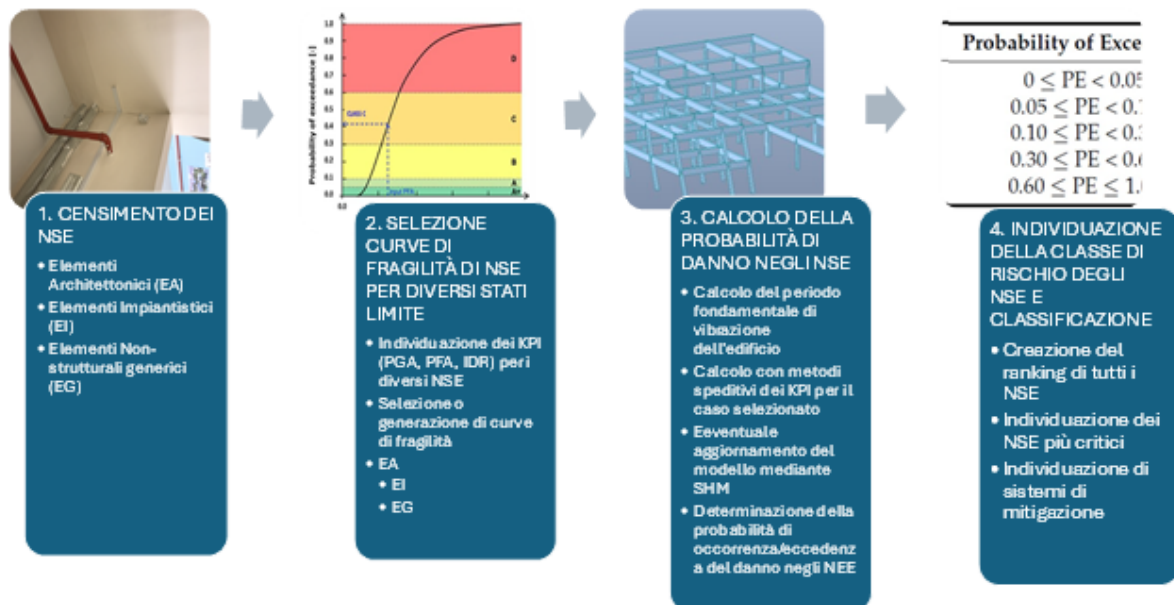


Fig. 1 – Flusso di lavoro del metodo proposto per classificazione sismica di NSE

La procedura proposta si articola nei seguenti passi:

- Step 1 - Censimento degli elementi non-strutturali (NSE) dell'edificio considerato, con aggiornamento della scheda sismica PELL-SCHOOL-RS, come meglio descritto nell'allegato tecnico.
- Step 2.1- Individuazione delle curve di fragilità dei diversi NSE.
- Step 2.2 - Selezione delle curve di fragilità per i diversi stati limite considerati per NSE architettonici (pannelli di facciata, pareti verticali, pannelli in vetro, copriluci, divisori vetro/alluminio) e impiantistici (cabine elettriche, split/motori aria condizionata, Tubazioni di piccolo e grande diametro, ascensori) nonché NSE vari (computer, workstations, motori appesi, stampanti e monitor)
- Step 3.1 - Determinazione del periodo proprio della struttura principale. A tale scopo di è ipotizzato che i NSE siano rigidamente collegato alla struttura principale e che essi costituiscano quindi solo massa. In alternativa si può determinare la curva di capacità della struttura e dunque sia la rigidezza elastica della struttura principale sia il fattore di struttura q mediante il metodo SLAMA-SCHOOL. Con tale metodo è in possibile calcolare anche l'IDR.
- Step 3.2 - Determinazione dei KPI per i NSE considerati. Ciò può avvenire mediante l'ausilio di analisi T-H o metodi analitici proposti in letteratura per il calcolo del Peak

Floor Acceleration (PFA) o per l'interstorey drift (IDR). Conoscendo la massa della struttura principale T_P è possibile determinare il periodo proprio della struttura principale.

- Step 3.3 - Tramite monitoraggio dinamico è possibile eventualmente aggiornare il modello in maniera che sia più aderente alla realtà e procedere così ad una migliore taratura del modello per il metodo SLAMA-SCHOOL.
- Step 3.4 - Una volta noto T_P e q è possibile determinare per ogni piano il parametro di risposta di interesse (PFA, IDR) corrispondente allo stato limite considerato. A tale scopo è necessario determinare per la struttura principale i valori della PGA relativi agli stati limite di riferimento (OLS, DLS, SLV) come prescritto dalla normativa NTC2018. A valle di ciò si calcola il valore della PFA e del IDR ad ogni piano dell'edificio mediante le procedure analitiche o T-H prima richiamate. Si può di conseguenza determinare per ogni NSE considerato la probabilità di danno $P(D)$ utilizzando le curve di fragilità.
- Step 4.1 Si può a questo punto determinare la classe di rischio
- Step 4.2 - A questo punto è possibile procedere con il ranking di tutti gli elementi NSE mediante l'individuazione della loro classe di rischio e individuare così le condizioni di maggior rischio e proporre eventuali interventi.
- Step 4.3 - Individuazione dei sistemi di mitigazione del rischio più idonei.

Il metodo proposto è in linea con quanto già proposto per la scheda PELL-SCHOOL-RE e la relativa procedura SLAMA-SCHOOL. Infatti, lo step 3.1 precede l'aggiornamento della scheda PELL-SCHOOL-RE con l'inclusione di tutti i NSE presenti ai diversi piani dell'edificio scolastico. È inoltre possibile determinare il periodo proprio della struttura anche mediante la rigidezza elastica dell'edificio ricavata con il metodo SLAMA-SCHOOL già previsto nella attività di ricerca precedente per valutazione del rischio degli elementi strutturali. Dunque, quanto proposto nella presente ricerca è compatibile e complementare con quanto proposto in precedenza.

Il metodo proposto è stato implementato in Python nella procedura denominata **NSE-SCHOOL** che comprende i 4 steps prima richiamati e i sottopassi relativi. Il toolkit **NSE-SCHOOL** prevede l'inserimento e l'analisi dei dati mediante codice o GUI (*Graphic User Interface*) e la rappresentazione grafica dei risultati.

PELL NSE SCHOOL è un framework software completo progettato per valutare la vulnerabilità sismica degli elementi non strutturali negli edifici scolastici sviluppato in Python (vedi Fig. 2). Integra una varietà di strumenti e librerie come Pandas, NumPy, SciPy, Matplotlib e Seaborn per la manipolazione e la visualizzazione dei dati, e utilizza la libreria Tkinter per le interazioni tramite interfaccia grafica.

Il software consente agli utenti di impostare la localizzazione dell'edificio scolastico calcolare la pericolosità sismica utilizzando analisi spettrali considerando eventualmente effetti di suolo e topografia. Successivamente, si procede alla raccolta dettagliata delle caratteristiche dell'edificio, quali il numero di piani, l'altezza di ciascun piano e la tipologia strutturale (ad esempio, in cemento armato) con cui si determina il periodo fondamentale tramite approcci basati sulla normativa.

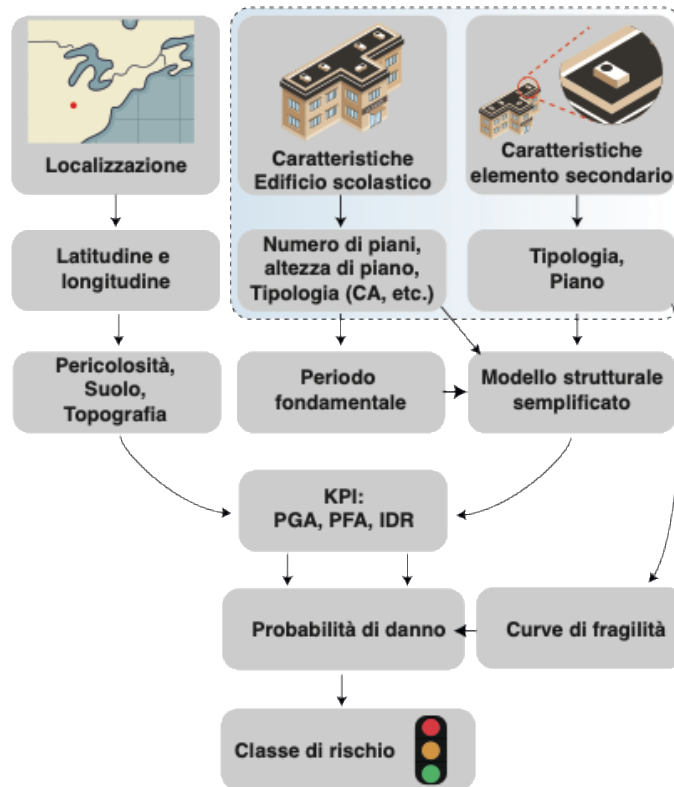


Fig. 2 – Flusso di lavoro del software PELL NSE SCHOOL.

Parallelamente, si documentano le caratteristiche degli elementi non-strutturali come soffitti, pareti divisorie e altri componenti non strutturali, analizzando le peculiarità di questi elementi su ciascun piano. Gli indicatori chiave di performance (KPI) come l'accelerazione massima del suolo (PGA), l'accelerazione massima del piano (PFA) e il rapporto di spostamento interpiano (IDR) vengono utilizzati per valutare la risposta dell'edificio.

Le curve di fragilità vengono quindi impiegate per determinare la probabilità di danno ($P(D)$) per ogni elemento non strutturale considerato, fornendo una comprensione dettagliata di come gli elementi secondari dell'edificio rispondano a vari livelli di sollecitazione sismica. A tale scopo è necessario determinare per la struttura principale i valori della PGA relativi agli stati limite di riferimento (OLS, DLS, SLV) come prescritto dalla normativa NTC2018.

Basandosi sulle probabilità di fallimento e di danno calcolate, si può determinare la classe di rischio, come rappresentato dal semaforo in Fig. 2, facilitando l'identificazione delle aree che richiedono interventi di mitigazione del rischio più urgenti o strategie di rinforzo. A valle di ciò è possibile fare un ranking di tutti gli elementi secondari e individuare le condizioni a maggior rischio e proporre eventuali interventi.

A tal proposito è stato messo a punto un manuale per l'uso della procedura Python **NSE SCHOOL**.

Il metodo proposto è stato applicato ad un caso studio significativo costituito da un edificio in c.a. con struttura a telaio e tamponature in laterizio equipaggiato con tipici elementi non strutturali, sito nel comune di Cave (RM).

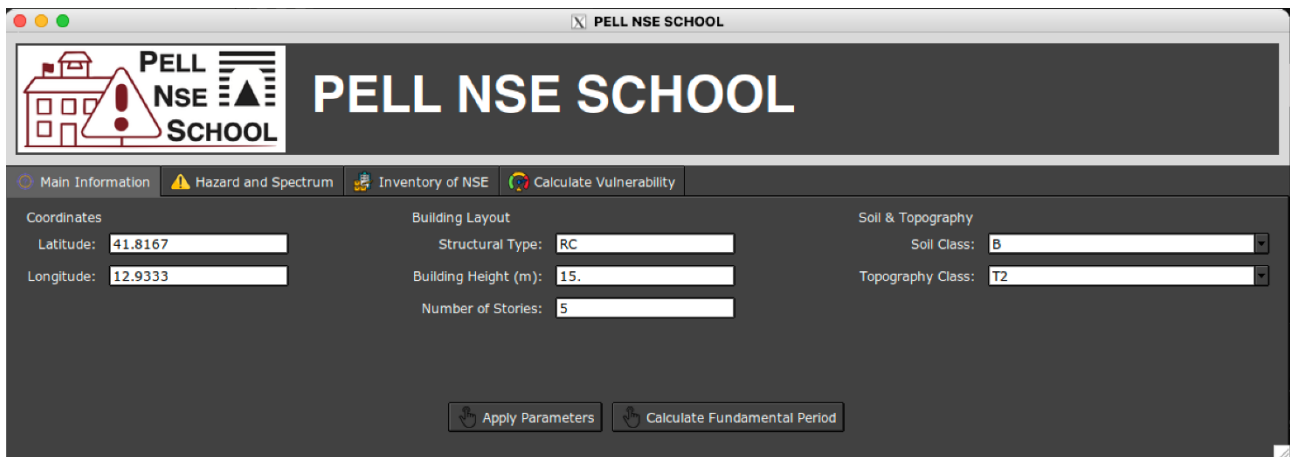


Fig. 3 – Esempio della GUI (*graphic user interface*) del software PELL NSE SCHOOL.

Quest'analisi evidenzia le aree che potrebbero necessitare di interventi specifici per la mitigazione del rischio, contribuendo a migliorare la sicurezza e l'efficacia della manutenzione preventiva nel corpo di fabbrica.

Il prodotto di queste attività è l'**applicativo in Python NSE-SCHOOL** per la valutazione speditiva del rischio sismico degli elementi NSE di un edificio scolastico.

7.4 Stesura di Linee guida per l'applicazione della scheda di rilievo PELL-SCHOOL-RE in presenza di elementi non strutturali

In questa fase sono state sviluppate apposite linee guida per l'uso della scheda PELL-SCHOOL-RE in presenza di elementi non strutturali NSE nonché la scrittura di una manuale d'uso dell'applicativo Python **NSE-SCHOOL**.

Maggiori dettagli sono contenuti nel capitolo 4 dell'allegato tecnico.

In sintesi, l'applicativo prende in input la scheda PELL-SCHOOL-RE che include anche gli elementi non-strutturali (Tabella 1). In seguito, in funzione degli altri parametri contenuti nelle sotto-schede dedicate alla struttura principale (numero di piani), l'applicativo determina in maniera semplificata il periodo proprio principale della struttura ed inoltre determina per i diversi piani i KPI di riferimento dei NSE indicati nella scheda mediante metodi semplificati. È sempre possibile fornire i valori dei KPI determinati utilizzando metodi differenti come, ad esempio, SlaMA-School o modello agli FEM. A valle di ciò l'applicativo oltre ad illustrare le curve di fragilità relative ai NSE calcola automaticamente anche la probabilità di danno dei NSE per i diversi stati limite, dopo di che valuta la classe di rischio e procede infine alla classificazione del rischio di tutti i NSE.

	Pannelli di facciata	Pareti verticali	Pannelli in vetro	Copri-luci	Divisori vetro/alluminio	Cabine elettriche e armadietti	Split e motori aria condizionata	Tubazioni di piccolo diametro	Tubazioni di grande diametro	Ascensori	Corpi rigidi verticali	Computer e workstation	Monitor appesi	Monitor, stampanti e accessori elettrici
1	15	23	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	0	0
2	18	12	0	0	0	2	0	1	2	0	0	10	10	10
3														
4														
5														

Inserire numero di elementi secondari presenti al piano i-esimo, se l'elemento non è presente inserire 0

Tabella 1 – Esempio di sotto-scheda di NSE all'interno della scheda PELL-SCHOOL-RE.

Le linee guida sono state redatte utilizzando come supporto illustrativo il caso studio analizzato con lo scopo di aiutare l'operatore all'uso corretto dello stesso e alla valutazione critica dei risultati.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non sono state utilizzate consulenze esterne.

9 Pubblicazioni scientifiche

Nessuna pubblicazione scientifica attualmente realizzata, tuttavia sono in corso di scrittura i seguenti articoli da inviare a riviste scientifiche:

- Quinci, Demartino, Paolacci, Seismic resilience of Italian schools: a review of performance evaluations and risk reduction strategies. Da sottomettere a International Journal of Disaster Risk Reduction
- Quinci, Demartino, Paolacci, A simplified seismic risk assessment methodology of non-structural elements in school buildings and application to a relevant case study. Da sottomettere a Bulletin of Earthquake Engineering

10 Eventi di disseminazione

Nessun evento di disseminazione.