

# Valutazione del rischio sismico di edifici scolastici in calcestruzzo armato mediante una Scheda di Rapid Visual Screening

## Seismic risk evaluation of reinforced concrete school buildings through a Rapid Visual Screening Methodology

Anna Rita Terrizzi<sup>1</sup>, Marianovella Leone<sup>1</sup>, Daniele Perrone<sup>2</sup>, Giuseppina Uva<sup>3</sup>, Maria Antonietta Aiello<sup>1</sup> ■

### Sommario

La valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture d'importanza strategica, come le scuole, risulta fondamentale sia nel contesto ordinario sia nella gestione delle situazioni di emergenza. Gli edifici scolastici, infatti, oltre ad essere costruzioni di importanza rilevante in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, grazie alle loro peculiarità architettoniche, si prestano a costituire sia un riparo di emergenza che una sede per la gestione delle attività post-sisma. Dato l'elevato numero di edifici scolastici, ed al tempo stesso la necessità di una loro rapida valutazione, si riscontra la necessità di sviluppare delle metodologie speditive che consentano un rapido screening del patrimonio edilizio esistente. Nel presente lavoro viene proposta una metodologia di Rapid Visual Screening (RVS) che consente, mediante la compilazione di una scheda, di valutare il rischio sismico di strutture scolastiche in calcestruzzo armato. Essa può essere implementata in modo speditivo su un elevato numero di edifici per identificare le strutture che presentano maggiori criticità e che per prime necessitano di analisi più accurate al fine di un loro adeguamento/miglioramento. La scheda proposta è stata applicata a tre casi di studio confrontando i risultati con quelli di analisi più dettagliate. Si evidenzia, inoltre, che la valutazione di indici di sicurezza ai fini della valutazione dei livelli di rischio delle costruzioni esistenti in presenza di azioni sismiche, è in linea con l'approccio delle vigenti normative; pertanto, la metodologia proposta nel presente lavoro può condurre ad una stima rapida e preliminare degli indici di sicurezza richiesti dalle NTC 2018.

**Parole chiave:** Rischio sismico, edifici scolastici, schede di vulnerabilità, rapid visual screening.

### Abstract

*The seismic vulnerability assessment of strategic facilities, such as school buildings, is of paramount importance to avoid the collapse in ordinary conditions and to guarantee their immediate functionality in the post-earthquake emergency. Due to the high number of school buildings, and to the need of their seismic vulnerability assessment, a simple methodology to define a ranking of the more vulnerable buildings through a seismic risk index seems necessary. In this paper, a Rapid Visual Screening (RVS) methodology is proposed. The methodology allows, through the compilation of a factsheet, to assess the seismic risk of reinforced concrete school structures. It can be quickly applied on a large number of buildings to identify those that require more accurate analyses. The proposed RVS methodology has been applied to three case studies and the results were compared with those of more advanced numerical analyses. It should be highlighted that the definition of indices in order to evaluate the level of seismic risk of existing constructions is in perfect agreement with the approach reported in the current Italian code; therefore, the proposed methodology would allow a preliminary and prompt estimation of the seismic safety index required by the NTC 2018.*

**Keywords:** Seismic risk, schools, question, vulnerability, rapid visual screening.

### 1. Introduzione

Gli eventi sismici che negli ultimi anni hanno interessato il territorio italiano hanno messo in evidenza l'elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio realizzato prevalentemente nel secondo dopoguerra. La mancanza di opportuni codici normativi e la scarsa conoscenza della pericolosità sismica del territorio hanno spesso comportato una progettazione inadeguata in termini di sicurezza in relazione agli eventi sismici (O'Reilly et al., 2018). Sulla base di questa considerazione si evince come la valutazione della vulnerabilità sismica delle costruzioni esistenti, ed in particolar modo degli edifici strategici, risulti di fondamentale importanza.

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione, Università del Salento

<sup>2</sup> Scuola Universitaria di Studi Superiori IUSS Pavia

<sup>3</sup> Dipartimento DICATECh, Politecnico di Bari

A ciò si aggiunge che tale esigenza è stata chiaramente messa in luce nelle più moderne normative antisismiche sia a livello nazionale (D.M. 14/01/2008 e D.M. 17/01/2018) che comunitario (Eurocodice 8).

La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici scolastici presenti sul territorio nazionale è un tema attuale oggetto di continui approfondimenti, soprattutto alla luce dei danni prodotti dai diversi eventi sismici che hanno interessato la penisola negli ultimi sedici anni. Di particolare rilievo risulta il crollo della scuola elementare F. Jovine di San Giuliano di Puglia (CB) causato dal terremoto del 31 ottobre 2002 (magnitudo  $M_w$  5.7), in seguito al quale morirono 27 bambini ed una maestra.

Una dettagliata valutazione della vulnerabilità sismica richiede, oltre allo sviluppo di complessi modelli non-lineari dell'edificio, anche l'acquisizione di un adeguato livello di conoscenza che consenta di determinare le caratteristiche geometrico-strutturali, le proprietà dei materiali utilizzati, i dettagli costruttivi e gli interventi realizzati nel tempo. L'acquisizione di un adeguato livello di conoscenza e lo sviluppo di analisi non-lineari, richiedono tuttavia un significativo onere computazionale ed un notevole impegno temporale. Va, inoltre, sottolineato come la vulnerabilità sismica non dipenda solo dalle performance degli elementi strutturali, ma anche dal comportamento degli elementi non strutturali e dagli aspetti organizzativi della scuola nella gestione di situazioni di emergenza. Si comprende, quindi, la necessità di adottare valutazioni semplificate che consentano di definire delle priorità d'intervento, preliminari alle successive analisi di dettaglio. In letteratura sono disponibili alcune metodologie di Rapid Visual Screening per la valutazione di indici di rischio in merito a strutture scolastiche (Lang et al., 2009) ed ospedaliere (WHO and PAHO 2008); tuttavia, tali metodologie non forniscono una valutazione che combini tutti gli aspetti che influenzano il rischio sismico. In merito agli edifici scolastici, De Angelis e Pecce (De Angelis et al., 2015) hanno recentemente proposto una scheda semplificata per la valutazione di un indice di rischio relativamente ai soli elementi non strutturali. Il metodo semplificato di Rapid Visual Screening (RVS) proposto in questo lavoro si basa su una metodologia RVS precedentemente sviluppata per le strutture ospedaliere (Perrone et al., 2015). L'obiettivo della metodologia è quello di fornire un Indice di Rischio Sismico che tenga in conto di tutti i parametri che lo influenzano, ovvero vulnerabilità, esposizione e pericolosità. Nella valutazione della vulnerabilità, la metodologia proposta prende in considerazione tre aspetti fondamentali: sicurezza strutturale, sicurezza non strutturale e sicurezza funzionale. Ad ognuno di essi viene attribuita un'influenza diversa nella valutazione dell'Indice di vulnerabilità complessivo.

La metodologia proposta è stata applicata a tre casi studio per i quali erano disponibili delle analisi strutturali di dettaglio (dinamica lineare e statica non lineare). Gli indici ottenuti dalla metodologia RVS, in termine di comportamento strutturale, sono stati confrontati con quelli ricavati dalle analisi strutturali.

## 2. La vulnerabilità sismica degli edifici scolastici

Gli edifici scolastici esistenti in c.a. presentano spesso notevoli criticità in termini di performance sismiche in quanto sono stati realizzati facendo riferimento a norme tecniche oggi obsolete, e il più delle volte senza tener conto delle successive variazioni della classificazione di pericolosità sismica del territorio italiano; di conseguenza, tali strutture non risultano in grado di garantire i livelli prestazionali attualmente richiesti nei confronti delle azioni sismiche.

Un'altra importante causa di vulnerabilità sismica degli edifici scolastici riguarda la loro configurazione architettonica e strutturale. Le molteplici attività svolte nei plessi scolastici, e la richiesta di spazi idonei per il loro svolgimento, ha spesso portato a forme architettoniche irregolari o molto articolate, sia in pianta che in elevazione. Ad esempio, la necessità di ambienti ampi, come atri e palestre, ha condotto alla realizzazione di campate di grandi luci per le travi (De Angelis et al., 2015) e significative altezze d'interpiano. Come noto, l'irregolarità geometrica degli edifici, che spesso si traduce in irregolarità strutturale, può comportare l'innescò di effetti torsionali o sollecitazioni localizzate che non garantiscono un adeguato comportamento sismico. Altri aspetti che influenzano negativamente le performance strutturali a seguito di un evento sismico possono essere: la scarsa qualità dei materiali, la scarsa attenzione ai dettagli costruttivi, una manutenzione insufficiente, le modifiche strutturali effettuate durante il corso degli anni, ed in alcuni casi il cambio di destinazione d'uso. Infatti, si è spesso osservato che la destinazione d'uso degli edifici pubblici è profondamente diversa da quella originaria per la quale la struttura era stata concepita; ad esempio, diverse costruzioni nate come edifici collettivi (conventi, caserme, ospedali, ecc.) o abitazioni private sono state adattate, nel corso degli anni, all'uso scolastico, senza tenere conto della variazione dei carichi.

## 3. Scheda di Rapid Visual Screening

L'obiettivo della "Scheda di Rapid Visual Screening" proposta nel presente lavoro è quello di definire un "Indice di Rischio Sismico" per le strutture scolastiche che tenga in conto dei seguenti aspetti: 1) vulnerabilità strutturale e non-strutturale, 2) pericolosità sismica, 3) esposizione.

La compilazione della scheda richiede lo studio preliminare della documentazione progettuale relativa alla costruzione in esame ed un sopralluogo durante il quale è necessario valutare con attenzione tutti gli aspetti indicati nella scheda. La scheda è composta da nove sezioni, ognuna delle quali è volta ad acquisire sia informazioni di carattere generale che informazioni di dettaglio. Nello specifico le sezioni si articolano nei seguenti punti: identificazione dell'edificio (sezione 1); vista edificio e pianta qualitativa (sezione 2);

dimensioni ed età della costruzione (sezione 3); materiale strutturale principale della struttura verticale (sezione 4); dati di esposizione e destinazione d'uso (sezione 5); zona sismica di riferimento (sezione 6); elementi strutturali (sezione 7); elementi non strutturali (sezione 8); organizzazione dell'emergenza (sezione 9). La compilazione delle sezioni 7, 8 e 9 avviene valutando con attenzione lo stato di fatto degli elementi richiamati nei quesiti e fornendo una risposta a cui possono essere associati tre livelli di rischio: "rischio basso", "rischio medio" e "rischio alto". Ad ogni quesito, e ad ogni livello di rischio, è associata una differente importanza nella valutazione dell'indice di rischio complessivo; maggiori dettagli sulla valutazione degli indici di rischio sono forniti nella sezione 5.4. Sulla base di un dettagliato studio rivolto all'identificazione delle principali carenze, evidenziate anche dai danni conseguenti ad eventi sismici, e grazie ai numerosi sopralluoghi effettuati, è stato possibile adeguare l'originaria scheda proposta da Perro-ne et al. (2015) per estenderne l'applicazione alle strutture scolastiche. Sono stati, inoltre, introdotti nuovi parametri che consentono una valutazione più accurata dell'indice di rischio sismico. Di seguito si riportano i principali cambiamenti introdotti:

- sono stati modificati alcuni quesiti al fine di rendere la scheda applicabile alle strutture scolastiche;
- è stata sviluppata una dettagliata linea guida che consente una corretta compilazione della scheda. Per ogni quesito sono stati definiti precisi criteri che permettono di valutare il corretto livello di rischio;
- è stata introdotta un'analisi che permetta di tenere in conto il livello d'importanza (A: alto, M: medio, B: basso) che ogni domanda assume sulla valutazione della vulnerabilità globale;
- è stato introdotto un parametro di completezza che permette di evidenziare il livello di affidabilità dell'indice ottenuto per ogni sezione. Tale parametro consente di stabilire delle soglie di alert nel momento in cui non è possibile rispondere a tutte le domande delle sezioni;
- è stato modificato l'indice di esposizione calibrandolo sulla base di opportune categorie che, in analogia al D.P.R. 151/2011, considerano il numero di occupanti della scuola.

### 3.1 Elementi strutturali (strutture in cemento armato)

Nella sezione 7 sono proposti 21 quesiti atti a definire il grado di vulnerabilità degli elementi strutturali; tali quesiti riguardano sia informazioni relative alla concezione globale della struttura, come la regolarità in pianta ed in altezza, sia informazioni specifiche connesse ai dettagli costruttivi e a configurazioni sismicamente critiche, come la presenza di piani deboli o pilastri tozzi (Aiello et al., 2013). Sono proposti anche alcuni quesiti relativi all'individuazione di possibili danni subiti dalle strutture a causa di terremoti avvenuti nel passato e allo stato di degrado degli elementi strutturali al momento della compilazione della scheda. Ai fini illustrativi, in Figura 1 è riportato un estratto della sezione 7.

7) Elementi Strutturali (Strutture in C.A.)			
QUESITO	RISCHIO		
	Basso	Medio	Alto
L'edificio è stato esposto ad un evento significativo negli ultimi 30 anni?			
Sono presenti pilastri tozzi?			
Le fondazioni hanno rigidità adeguata?			
I nuclei ascensore e le scale interagiscono strutturalmente con il resto della struttura?			
Il solaio può essere classificato infinitamente rigido?			

Figura 1 - Estratto sezione 7: Elementi Strutturali (strutture in C.A.).

### 3.2 Elementi non strutturali

Nella sezione 8 sono stati individuati 47 quesiti per definire la presenza e lo stato degli elementi non strutturali installati nell'edificio; tali elementi sono suddivisi in 7 categorie: tamponature e tramezzi, soffitti e controsoffitti, rivestimenti, infissi, impianto elettrico, impianto idrico, condizionamento e antincendio, arredo. In Figura 2 sono riportati alcuni quesiti estratti dalla scheda relativamente agli elementi di arredo.

8) Elementi Non Strutturali			
QUESITO	RISCHIO		
	Basso	Medio	Alto
<b>Arredamento</b>			
Le librerie e le scaffalature sono adeguatamente ancorate alla struttura portante, alla parete o al pavimento?			
Le scaffalature sono provviste di ante con chiusura sicura?			
Le apparecchiature elettriche (televisori, videoproiettori, ecc.) sono adeguatamente ancorati?			
Le lavagne sono adeguatamente fissate alle pareti?			

Figura 2 - Estratto sezione 8: categoria "Arredo".

### 3.3 Organizzazione dell'emergenza

I 12 quesiti proposti sono rivolti da un lato a valutare la preparazione del personale e degli studenti nell'attuazione del piano di emergenza, dall'altro a verificare la presenza di luoghi favorevoli alla circolazione interna ed esterna e di idonee apparecchiature di comunicazione (Figura 3).

9) Organizzazione dell'Emergenza			
QUESITO	RISCHIO		
	Basso	Medio	Alto
La circolazione interna all'edificio risulta adeguata in caso di sisma?			
Le strade di accesso sono facilmente raggiungibili?			
Sono presenti apparecchiature mediche di emergenza?			
Tutto il personale è adeguatamente addestrato con piani di formazione?			
Esistono procedure di evacuazione della struttura?			

Figura 3 - Estratto sezione 9: Organizzazione dell'emergenza

### 3.4 Valutazione degli indici

La valutazione dell'indice di rischio sismico è ottenuta mediante la combinazione di sei indici di rischio parziali. I primi tre sono definiti indici di rischio primario:

- Indice di Rischio Strutturale ( $I_{STR}$ ), calcolato sulla base delle risposte fornite per i quesiti riguardanti gli elementi strutturali (sezione 7);
- Indice di Rischio Non Strutturale ( $I_{NSTR}$ ), calcolato sulla base delle risposte fornite per i quesiti inerenti gli elementi non strutturali (sezione 8);
- Indice di Rischio Organizzativo ( $I_{ORG}$ ), calcolato sulla base delle risposte fornite per i quesiti relativi agli aspetti organizzativi della scuola (sezione 9).

Gli altri tre indici combinano i risultati degli indici primari assegnando ad ognuno di essi un differente peso nel risultato finale (Aiello et al., 2013). Oltre ad assegnare un differente peso agli indici primari, sono stati assegnati punteggi differenti anche a tutti i quesiti che compongono il questionario (indici di rischio unitario). Per comprendere al meglio la metodologia adottata si procede con un esempio (Figura 4).

7) Elementi Strutturali (Strutture in C.A.)				
QUESITO	Indici di rischio unitario			Livello di importanza del quesito
	Rischio Basso	Rischio Medio	Rischio Alto	
La struttura risulta regolare in pianta?	0	8	16	A
C'è la presenza di quadri fessurativi su elementi strutturali?	0	4	8	M
L'edificio ha una destinazione d'uso diversa dall'originaria?	0	2	4	B

Figura 4 - Indici di rischio unitario

Come si può notare, l'aumento dell'indice di rischio unitario associato ad un quesito è direttamente connesso all'aumento del livello di rischio (basso, medio, alto) ed anche del livello d'importanza (A: alto, M: medio, B: basso) che la domanda assume sulla vulnerabilità globale. Dall'esempio proposto risulta evidente che, a parità di rischio, l'indice di rischio unitario connesso alla regolarità in pianta della struttura è due volte superiore a quello connesso alla presenza di quadri fessurativi su elementi strutturali, e quattro volte superiore a quello connesso alla variazione di destinazione d'uso dell'edificio.

Definiti gli indici di rischio unitario si può procedere alla determinazione degli indici di rischio primari, mediante la relazione (1):

$$I_{primario} = \frac{\sum_{i=1}^n I_U}{\sum_{i=1}^n I_{U_{max}}} \quad (1)$$

L'indice primario è determinato dal rapporto tra la sommatoria degli indici di rischio unitario  $I_U$  associati alle domande a cui è stata data una risposta e la sommatoria degli indici di rischio unitari massimi  $I_{U_{max}}$  (rischio alto) relativi alle stesse domande. Gli indici primari possono assumere valori che variano nell'intervallo compreso tra 0 e 1; al valore unitario corrisponde il

massimo grado di rischio, mentre al valore nullo corrisponde l'assenza di rischio. Determinati i valori degli indici di rischio primari, è possibile associare ad essi un livello di rischio definendo le soglie seguenti:

RISCHIO BASSO	se	$I_{primario} < 0,33$
RISCHIO MEDIO	se	$0,33 \leq I_{primario} \leq 0,67$
RISCHIO ALTO	se	$I_{primario} > 0,67$

Va precisato che per ognuna delle ultime tre sezioni della scheda (7, 8 e 9), è stato introdotto un parametro di completezza che permette di evidenziare il livello di affidabilità dell'indice ottenuto al fine di definire delle soglie di alert quando non è possibile rispondere a tutte le domande. Tale parametro viene determinato mediante la relazione (2):

$$i_{comp} = \frac{n_{ris}^A * 1 + n_{ris}^M * 0,5 + n_{ris}^B * 0,25}{n_{dom}^A * 1 + n_{dom}^M * 0,5 + n_{dom}^B * 0,25} \quad (2)$$

dove  $n_{ris}^A$ ,  $n_{ris}^M$ ,  $n_{ris}^B$  rappresentano rispettivamente il numero di domande di importanza alta, media e bassa a cui è stata data una risposta, mentre  $n_{dom}^A$ ,  $n_{dom}^M$ ,  $n_{dom}^B$  rappresentano rispettivamente il numero di domande complessive di importanza alta, media e bassa.

L'indice relativo ad una determinata sezione risulta valido se il parametro di completezza calcolato mediante la relazione (2), per ognuna delle tre sezioni, risulta maggiore del 50%. Qualora si riscontrino percentuali inferiori, l'indice di rischio valutato mediante la presente metodologia speditiva non può più ritenersi affidabile.

La valutazione degli indici primari è necessaria per la definizione dei successivi indici: Indice di funzionalità (FUNZ), Indice di vulnerabilità (VULN) e, infine, Indice di rischio sismico (Aiello et al., 2013).

L'indice di funzionalità (FUNZ), calcolato mediante la relazione (3), è una combinazione dell'indice primario relativo agli elementi strutturali ( $I_{STR}$ ) e dell'indice primario relativo agli elementi non strutturali ( $I_{NSTR}$ ). Tale indice varia tra 0 e 1.

$$FUNZ = \begin{cases} [1 - (0,6 I_{STR} + 0,4 I_{NSTR})] & \text{se } I_{STR} \leq 0,67 \\ 0 & \text{se } I_{STR} > 0,67 \end{cases} \quad (3)$$

Risulta evidente che nel caso in cui l'indice di rischio strutturale  $I_{STR}$  sia minore di 0,67 la funzionalità complessiva è influenzata per il 60% dall'indice di rischio relativo agli elementi strutturali e per il 40% dall'indice relativo agli elementi non strutturali. Se  $I_{STR}$  supera il valore di 0,67, l'indice di funzionalità sarà imposto pari a zero; in questo caso la struttura viene classificata come "non funzionale" e quindi non idonea allo svolgimento delle attività scolastiche.

Nella valutazione dell'indice di vulnerabilità (VULN), mediante la relazione (4), si tiene in conto sia dei parametri relativi alla funzionalità, sia dell'indice di rischio organizzativo ( $I_{ORG}$ ). Come nel caso precedente, anche l'indice di vulnerabilità varia tra 0 e 1.

$$VULN = \begin{cases} [0,8 - (0,8 FUNZ - 0,2 I_{ORG})] & \text{se } FUNZ \neq 0 \\ 1 & \text{se } FUNZ = 0 \end{cases} \quad (4)$$

È possibile osservare che se l'indice di funzionalità è pari a zero, ossia in presenza di una struttura "non funzionale", l'indice di vulnerabilità sarà unitario. La vulnerabilità così determinata è il primo parametro che influenzerà l'indice di rischio sismico complessivo. Per la definizione completa di tale indice restano da determinare la pericolosità sismica e l'esposizione (Aiello et al., 2013).

Per ciò che concerne l'esposizione (ESP), essa è connessa all'importanza della struttura e alla popolazione che ne beneficia (Perrone et al., 2015); è evidente che una corretta valutazione che tenga conto di tutti questi aspetti risulta generalmente complessa. Nel caso degli edifici scolastici l'utenza è estremamente importante in quanto si tratta di edifici con un affollamento variabile da poche decine ad oltre 500 persone. Al fine di definire in maniera accurata l'esposizione si è proceduto in maniera analoga a quanto riportato nel D.P.R. 151/2011 - Allegato I (D.P.R. 151/2011 - Allegato I) relativamente alla classificazione delle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi. In tabella 1 è riportato il parametro di esposizione in funzione del numero di utenti.

Tabella 1 - Parametro di esposizione definito in relazione al numero di utenti presenti

Numero di utenti	ESP
$n < 150$	1,0
$150 \leq n < 300$	1,2
$n \geq 300$	1,4

La pericolosità sismica, o parametro di Hazard (HAZ), è definita in funzione della zona sismica di riferimento e della categoria di sottosuolo su cui è stata costruita la struttura (Aiello et al., 2013). I valori adottati sono riportati in Tabella 2. Il valore di Hazard per la struttura aumenterà passando da una zona a minore sismicità ad una zona a maggiore sismicità, e passando da una categoria di sottosuolo tra A o B ad una categoria C, D o E.

Tabella 2 - Valori attribuiti all'indice di Hazard

Zona sismica	Valore di HAZ	
	Categoria di sottosuolo: A, B	Categoria di sottosuolo: C, D, E
1	1,45	1,50
2	1,25	1,30
3	1,15	1,20
4	1,05	1,10

Dalla combinazione dell'indice di vulnerabilità (VULN), del parametro di esposizione (ESP) e del parametro di Hazard (HAZ) è possibile calcolare l'Indice di Rischio Sismico complessivo mediante la relazione (5); tale indice assume valori compresi nell'intervallo tra 0 e 1.

$$RISCHIO\ SISMICO = VULN * \frac{HAZ}{1,5} * ESP \quad (5)$$

Una volta determinato l'Indice di Rischio Sismico, è possibile classificare l'edificio scolastico in una delle seguenti categorie:

RISCHIO BASSO	se	$I_{Rischio\ Sismico} < 0,33$
RISCHIO MEDIO	se	$0,33 \leq I_{Rischio\ Sismico} \leq 0,67$
RISCHIO ALTO	se	$I_{Rischio\ Sismico} > 0,67$

#### 4. Applicazione a tre casi di studio

Nel seguito è presentata l'applicazione della metodologia proposta a tre casi di studio ubicati in un territorio ad elevata sismicità. La prima struttura analizzata (nel seguito denominata SCUO1) è stata progettata e realizzata tra il 1966 ed il 1970. La costruzione è costituita da un singolo corpo di fabbrica isolato da altre strutture. Essa è composta da due piani fuori terra e da un piano in parte seminterrato. La copertura è realizzata mediante tetto a falde inclinate e relativo impalcato piano di sotto tetto. La struttura portante è costituita da telai unidirezionali in calcestruzzo armato progettati per soli carichi gravitazionali in quanto il territorio in cui è collocata, all'epoca della progettazione, non era classificato come sismico. L'edificio presenta una forma in pianta ed in elevazione molto irregolare, ed è collocato su un pendio classificato dal P.A.I. dell'Autorità di Bacino della Puglia come appartenente alla classe PG2 di "pericolosità geomorfologica elevata" e alla classe R3 di "rischio elevato" (AdBP, 2004). Dalla documentazione progettuale a disposizione, si è constatato che la struttura è stata realizzata su un sottosuolo di "categoria C" e con "categoria topografica T2" (D.M. 14/01/2008). Nell'attuale zonazione sismica la struttura ricade in zona sismica 2 (OPCM 3519/2006).

La seconda struttura analizzata (denominata in questa trattazione SCUO2) si compone di quattro corpi di fabbrica strutturalmente giuntati (Corpi A, B, C, D). Tali corpi sono stati progettati e realizzati in anni differenti, in un periodo compreso tra il 1969 e il 1987. La struttura è stata edificata su un sottosuolo di "categoria B" con "categoria topografica T1" (D.M. 14/01/2008). Come nel caso della prima struttura, anche il territorio in cui è ubicato il secondo edificio scolastico ricade in zona sismica 2 (OPCM 3519/2006). Il "Corpo A" si sviluppa su 2 piani principali e su un seminterrato, che ne occupa una porzione limitata; ogni piano presenta un'altezza interna pari a circa 3,20 m ed una superficie media di piano pari a circa 1123

m<sup>2</sup>. La struttura portante è realizzata mediante telai in calcestruzzo armato progettati per resistere ai soli carichi verticali. Il “Corpo B” ed il “Corpo C” si sviluppano su 2 piani principali aventi ognuno un’altezza interna pari a circa 3,20 metri, mentre il “Corpo D” consta di un unico ambiente adibito ad auditorium e si sviluppa su unico piano avente un’altezza interna pari a circa 5 metri. Questi ultimi tre corpi sono stati progettati a partire dal 1980 e realizzati entro il 1987; anch’essi sono costituiti da telai in calcestruzzo armato progettati per soli carichi verticali in accordo con il Decreto ministeriale 40 del 1975 (D.M. 40/1975). Il Corpo D (Auditorium) non verrà trattato nel seguito poiché le sue caratteristiche geometriche-strutturali non possono essere considerate tipiche di un ambiente scolastico.

La terza struttura analizzata, è costituita da vari corpi di fabbrica strutturalmente giuntati e realizzati in epoche differenti; di essa si prenderà in esame una sola unità strutturale denominata nel seguito SCUO3. Essa è composta da due piani fuori terra ed un piano seminterrato non praticabile; il piano seminterrato presenta un’altezza di interpiano pari a 2,70 m, il piano rialzato ha un’altezza di interpiano di 3,65 m, ed infine il piano primo ha un’altezza di interpiano pari a 3,60 m. Tutti i piani hanno una superficie complessiva di 772,10 m<sup>2</sup>. La costruzione, sebbene possa essere inscritta in un rettangolo, presenta varie rientranze e sporgenze tali da farle assumere una forma molto irregolare. Per quanto riguarda la parte strutturale, essa è costituita da telai unidirezionali in calcestruzzo armato progettati nel 1970 per soli carichi gravitazionali. Il sottosuolo su cui è stato realizzato l’edificio può essere classificato di “categoria B” e con “categoria topografica T1” (D.M. 14/01/2008); come nei casi precedenti, il territorio in cui è ubicato l’edificio ricade in zona sismica 2 (OPCM 3519/2006).

#### 4.1 Scuola SCUO1

Dalla compilazione della scheda di valutazione per la scuola SCUO1, è stato possibile ricavare gli indici di rischio primari (Tabella 3) necessari per la determinazione del “Rischio Sismico” complessivo dell’edificio in esame.

Tabella 3 - Indici primari per scuola SCUO1

Indice di Rischio Primario		Livello di Rischio
$I_{STR}$	0,69	alto
$I_{NSTR}$	0,36	medio
$I_{ORG}$	0,13	basso

Durante il rilievo è stato possibile rispondere a tutti i quesiti appartenenti alla sezione relativa agli elementi strutturali (parametro di completezza pari al 100%). Sulla base delle risposte fornite è stato ottenuto un rischio basso per il 33% delle risposte, un rischio medio per il 14% ed un rischio alto per il 53% (Figura 5a). L’elevato valore assunto dall’indice  $I_{STR}$ , pari a 0,69, è da attribuirsi a molteplici fattori tra cui: irregolarità sia in pianta che in elevazione, elevata irregolarità in termini di luce delle campate, presenza di pilastri tozzi, telai che si sviluppano in una sola direzione, sfalsamento in quota delle fondazioni a plinti su suolo di categoria C, mancanza di adeguati dettagli strutturali nelle zone critiche.

Nella sezione relativa agli elementi non strutturali è stato possibile fornire 45 risposte sui 47 quesiti proposti (parametro di completezza della sezione pari al 92%). Dai risultati si evince un rischio basso per il 60% delle risposte, un rischio medio per il 9% ed un rischio alto per il 31% (Figura 5b). Quest’ultimo valore è da attribuirsi all’assenza per le tamponature ed i tramezzi di un sistema di ancoraggio idoneo al telaio strutturale al fine di ridurre il rischio di ribaltamento; alla presenza di rivestimenti esterni pesanti e aventi un ancoraggio alla struttura non adeguato e che presentano inoltre lievi segni di distacco soprattutto sugli ingressi e sulle uscite di emergenza; alla presenza di cornicioni realizzati con materiali pesanti e con ancoraggi non sicuri; alle vetrate sprovviste dei sistemi di fissaggio dei vetri; all’assenza di giunti flessibili negli impianti atti ad evitare, durante un sisma, rotture che impediscano la funzionalità dell’impianto stesso; alla presenza di una canna fumaria non adeguatamente ancorata alla struttura; alle librerie ed alle scaffalature appoggiate al pavimento e non ancorate adeguatamente in modo da evitare il ribaltamento durante un evento sismico. L’indice di rischio non strutturale  $I_{NSTR}$  ottenuto è pari a 0,36 ed è rappresentativo di un livello di rischio complessivamente medio.

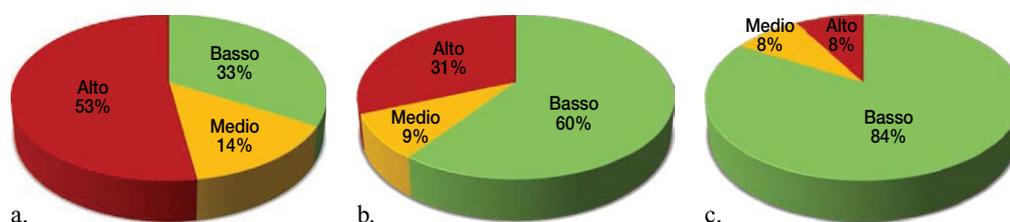


Figura 5  
Percentuali di risposte per ogni livello di rischio e per le sezioni relative a:  
a) elementi strutturali,  
b) elementi non strutturali,  
c) organizzazione dell'emergenza. Scuola SCUO1.

In merito agli aspetti organizzativi sono state fornite le risposte relativamente a tutti i quesiti proposti nella scheda (parametro di completezza pari al 100%); all'84% delle risposte è stato associato un rischio basso, mentre un rischio medio ed un rischio alto sono stati associati all'8% delle risposte (Figura 5c). Una delle principali carenze riscontrate ha riguardato l'assenza di manutenzione degli estintori. L'indice di rischio organizzativo complessivo ottenuto è pari a 0,13 ed è rappresentativo di un livello di rischio basso.

Definiti gli indici primari, è stato valutato il rischio sismico complessivo (Tabella 4):

Tabella 4 - *Rischio Sismico per scuola SCUO1*

FUNZ	0,00
VULN	1,00
ESP	1
HAZ	1,30
<b>Rischio Sismico</b>	<b>0,87</b>
<b>Livello di Rischio</b>	<b>Alto</b>

Dalla tabella si può osservare che dato l'elevato valore dell'indice di rischio strutturale  $I_{STR}$  (superiore a 0,67) si ottiene un indice di funzionalità (FUNZ) pari a zero; in questo caso la struttura viene classificata come "non funzionale" e quindi non idonea allo svolgimento delle attività scolastiche. È dunque evidente che l'indice di funzionalità per la scuola in esame dipende esclusivamente dall'indice di rischio strutturale. Per quanto riguarda, invece, la valutazione dell'indice di vulnerabilità (VULN) in generale si tiene in conto sia dei parametri relativi alla funzionalità sia dell'indice di rischio organizzativo ( $I_{ORG}$ ); nel caso della scuola oggetto di studio, l'indice di vulnerabilità risulta unitario (a seguito del valore nullo associato all'indice di funzionalità). Il parametro di Hazard (HAZ) è pari 1,30 in quanto la costruzione è situata su un sottosuolo di categoria C ed in zona sismica 2. Dalla combinazione dell'indice di vulnerabilità (VULN), del parametro di esposizione (ESP) e del parametro di Hazard (HAZ), è stato possibile calcolare un valore di rischio sismico totale pari a 0,87; tale valore supera la soglia di 0,67, di conseguenza alla scuola in esame è stato attribuito un livello di "rischio alto".

#### 5.4 Scuola SCUO2

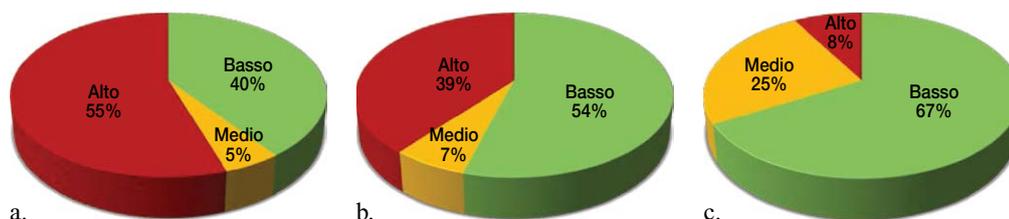
Nel caso del secondo edificio scolastico sono state compilate tre schede, una per ognuno dei corpi di fabbrica considerati, e gli indici di rischio primari così valutati sono riportati in Tabella 5.

Relativamente al Corpo A, l'indice di rischio strutturale ottenuto è pari a 0,64 ed è rappresentativo di un livello di rischio medio; per gli elementi strutturali sono state fornite 20 risposte su 21 quesiti proposti (parametro di completezza pari al 96%), ottenendo un rischio alto per il 55% delle risposte (Figura 6a). Le principali carenze strutturali che hanno portato ad un rischio medio hanno riguardato l'irregolarità strutturale, la presenza di fondazioni inadeguate e la mancanza di adeguati dettagli strutturali nelle zone critiche. Per quanto riguarda gli elementi non strutturali sono state fornite 46 risposte su 47 quesiti proposti (parametro di completezza pari al 96%), ottenendo un rischio basso per il 54% delle risposte, un rischio medio per il 7% ed un rischio alto per il 39% (Figura 6b); quest'ultimo è dovuto principalmente alle tamponature non adeguatamente ancorate al telaio strutturale, alla presenza di rivestimenti e cornicioni pesanti non ben ancorati alla costruzione, all'assenza di giunti

Tabella 5 - *Indici primari per scuola SCUO2*

Indice di Rischio Primario		Livello di Rischio
<b>Corpo A</b>		
$I_{STR}$	0,64	medio
$I_{NSTR}$	0,42	medio
$I_{ORG}$	0,19	basso
<b>Corpo B</b>		
$I_{STR}$	0,36	medio
$I_{NSTR}$	0,26	basso
$I_{ORG}$	0,19	basso
<b>Corpo C</b>		
$I_{STR}$	0,49	medio
$I_{NSTR}$	0,31	basso
$I_{ORG}$	0,19	basso

flessibili negli impianti, alle librerie ed alle lavagne non ben fissate alle pareti ed al pavimento (Figura 7). L'indice di rischio non strutturale ottenuto è pari a 0,42 ed è rappresentativo di un livello complessivo di rischio medio. In merito agli aspetti organizzativi in situazioni di emergenza sono state fornite 12 risposte sui 12 quesiti proposti (parametro di completezza pari al 100%), ottenendo un rischio basso per la maggior parte delle risposte, un rischio medio per il 25% ed un rischio alto per l'8% (Figura 6c). Le principali carenze riscontrate riguardano la presenza di elementi che possono intralciare le vie di fuga dall'edificio (Figura 7). L'indice di rischio organizzativo ottenuto è pari a 0,19 ed è rappresentativo di un livello di rischio basso.

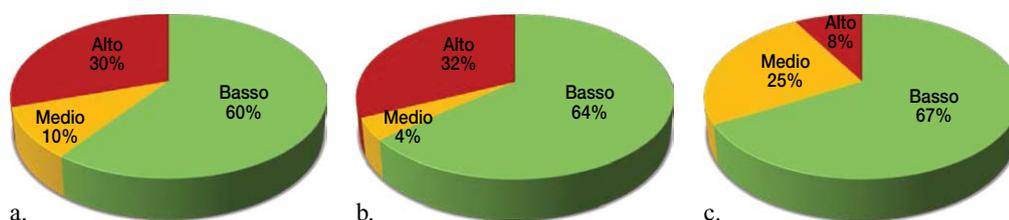


**Figura 6**  
Percentuali di risposte per ogni livello di rischio e per le sezioni relative a:  
a) elementi strutturali,  
b) elementi non strutturali,  
c) organizzazione dell'emergenza. Scuola SCU02 - Corpo A.



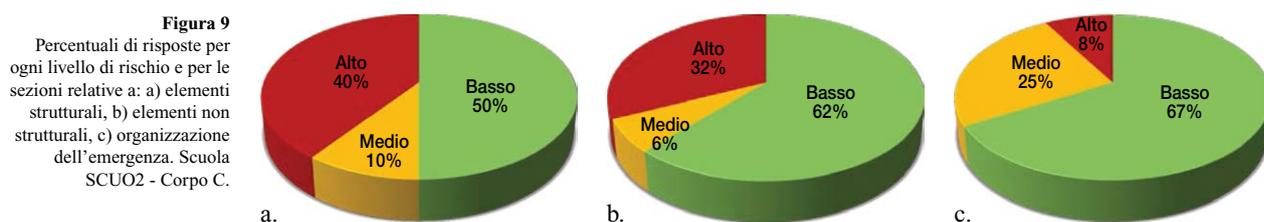
**Figura 7**  
Categoria Arredo:  
a) Scaffalature ed armadi contenenti libri e faldoni;  
b) lavagne appoggiate sul pavimento e posizionate nei pressi delle porte delle aule.

Per quanto riguarda il Corpo B, l'indice di rischio strutturale ottenuto è pari a 0,36, corrispondente ad un livello di rischio medio; nel dettaglio dei quesiti relativi agli elementi strutturali sono state fornite 20 risposte su 21 (parametro di completezza pari al 96%), ottenendo un rischio alto per il 30% (Figura 8a) a causa principalmente della mancanza di regolarità della struttura e di adeguati dettagli strutturali nelle zone critiche. Per quanto riguarda gli elementi non strutturali è stato possibile ottenere un parametro di completezza pari al 100%; entrando nel dettaglio delle risposte si può affermare che è stato associato un rischio basso al 64% delle risposte, un rischio medio al 4% ed un rischio alto al 32% (Figura 8b). Le principali carenze riscontrate in tal caso sono quelle già riportate per il corpo A. L'indice di rischio non strutturale ottenuto è pari a 0,26 ed è rappresentativo di un livello di rischio basso. Anche per la valutazione degli aspetti organizzativi in situazioni di emergenza il parametro di completezza è risultato pari al 100%, ottenendo un rischio basso per la maggior parte delle risposte, un rischio medio per il 25% ed un rischio alto per l'8% (Figura 8c). Come nel caso precedente, la principale carenza riscontrata è quella relativa alle possibili difficoltà in termini di circolazione interna. L'indice di rischio organizzativo ottenuto è pari a 0,19 ed è rappresentativo di un livello di rischio basso.



**Figura 8**  
Percentuali di risposte per ogni livello di rischio e per le sezioni relative a:  
a) elementi strutturali,  
b) elementi non strutturali,  
c) organizzazione dell'emergenza. Scuola SCU02 - Corpo B.

Per quanto riguarda il Corpo C, l'indice di rischio strutturale ottenuto è pari a 0,49 ed è rappresentativo di un livello di rischio medio; nel dettaglio dei quesiti relativi agli elementi strutturali sono state fornite un numero di risposte tali da avere un parametro di completezza pari al 96%, ottenendo un rischio basso per il 50% delle risposte, un rischio medio per il 10% ed un rischio alto per il 40% (Figura 9a); quest'ultimo è dovuto principalmente alla mancanza di regolarità della struttura, alla presenza di masse concentrate ai piani superiori, e alla mancanza di adeguati dettagli strutturali nelle zone critiche. Per quanto riguarda gli elementi non strutturali sono state fornite tutte le risposte ai quesiti proposti, ottenendo un rischio alto per il 32% (Figura 9b). Le principali criticità riscontrate sono simili a quelle dei due corpi di fabbrica precedentemente analizzati. Nella sezione relativa agli aspetti organizzativi in situazioni di emergenza sono state fornite 12 risposte su 12 quesiti, ottenendo un rischio basso per la maggior parte delle risposte, un rischio medio per il 25% ed un rischio alto per l'8% (Figura 9c). L'indice di rischio organizzativo ottenuto è pari a 0,19 ed è rappresentativo di un livello di rischio basso.



In Tabella 6 sono riportati tutti i parametri necessari alla definizione dell'indice di rischio sismico complessivo per i tre corpi di fabbrica. Il parametro di Hazard (HAZ) è pari 1,25 per tutti i corpi in quanto l'edificio scolastico è situato su un sottosuolo di categoria B che ricade in zona sismica 2. L'indice di rischio sismico per i corpi A, B e C è pari rispettivamente a 0,60, 0,26 e 0,47; in generale si può concludere che, secondo la metodologia semplificata proposta nel presente lavoro, l'edificio in esame è soggetto ad un rischio sismico medio.

Tabella 6 - Rischio Sismico per scuola SCUO2

	Corpo A	Corpo B	Corpo C
FUNZ	0,404	0,654	0,549
VULN	0,514	0,314	0,398
ESP	1,4	1	1,4
HAZ	1,25	1,25	1,25
<b>Rischio Sismico</b>	0,60	0,26	0,47
<b>Livello di Rischio</b>	Medio	Basso	Medio

### 5.5 Scuola SCUO3

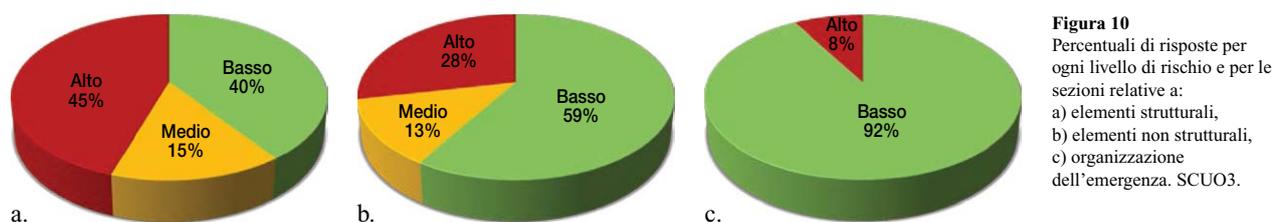
Dalla compilazione della scheda è stato possibile ricavare gli indici di rischio primario necessari per la determinazione del "Rischio Sismico" complessivo dell'edificio scolastico SCUO3 (Tabella 7).

Tabella 7 - Indici primari per scuola SCUO3

	Indice di Rischio Primario	Livello di Rischio
$I_{STR}$	0,59	Medio
$I_{NSTR}$	0,36	Medio
$I_{ORG}$	0,06	Basso

Nella sezione 7 relativa agli elementi strutturali, sono state fornite 20 risposte su 21 quesiti proposti (parametro di completezza pari al 96%), ottenendo un rischio alto per il 45% (Figura 10a). Le principali carenze riscontrate sono simili a quelle espresse per i precedenti casi studio, in particolare irregolarità in pianta ed elevazione, presenza di pilastri tozzi, telai in una sola direzione, fondazioni isolate, assenza di adeguati dettagli strutturali nelle zone critiche. L'indice di rischio strutturale ottenuto è pari a 0,59 ed è rappresentativo di un livello di rischio medio.

Per quanto riguarda gli elementi non strutturali sono state fornite risposte tali da avere un parametro di completezza pari al 96%, ottenendo un rischio alto per il 28% dei casi (Figura 10b). Le principali criticità osservate hanno riguardato: l'assenza per le tamponature ed i tramezzi di un sistema di ancoraggio idoneo al telaio strutturale, la presenza di rivestimenti esterni pesanti (in cui sono presenti segni di distacco in corrispondenza delle principali vie di fuga), la presenza di cornicioni realizzati con materiali pesanti e con ancoraggi non sicuri, la presenza di vetrate sprovviste dei sistemi di fissaggio dei vetri, l'assenza di giunti flessibili negli impianti, la presenza di librerie e scaffalature appoggiate al pavimento e non ancorate adeguatamente. L'indice di rischio non strutturale ottenuto è pari a 0,36 ed è rappresentativo di un livello di rischio medio. Nella sezione 9 sono state fornite tutte le risposte ai quesiti proposti (parametro di completezza pari al 100%), ottenendo un rischio alto solo per l'8% (Figura 10c). L'indice di rischio organizzativo ottenuto è pari a 0,06 ed è rappresentativo di un livello di rischio basso.



**Figura 10**  
Percentuali di risposte per ogni livello di rischio e per le sezioni relative a:  
a) elementi strutturali,  
b) elementi non strutturali,  
c) organizzazione dell'emergenza. SCUO3.

Gli ulteriori parametri necessari per il calcolo dell'indice di rischio sismico complessivo sono riportati in tabella 8, il rischio sismico complessivo risulta pari a 0,44 (livello di "rischio medio").

Tabella 8 - *Rischio Sismico per scuola SCUO3*

FUNZ	0,466
VULN	0,440
ESP	1,2
HAZ	1,25
<b>Rischio Sismico</b>	<b>0,44</b>
<b>Livello di Rischio</b>	<b>Medio</b>

## 6. Confronto dei risultati

Al fine di effettuare una validazione della metodologia proposta, i risultati ottenuti dalla compilazione della scheda RVS sono stati confrontati con quelli relativi ad analisi strutturali di dettaglio. Le analisi strutturali sono state eseguite nell'ambito del progetto "Studio di Fattibilità per il Monitoraggio e la Messa in Sicurezza delle Aree Urbane a Rischio di Stabilità Statica e Vulnerabilità Strutturale nella Città e Provincia di Foggia (CIPE 20/2004)" (Mezzina et al., 2011).

Dato che i risultati derivanti dalle analisi strutturali non tengono in conto dell'influenza degli elementi non strutturali e degli aspetti che caratterizzano l'organizzazione dell'emergenza, il confronto è stato effettuato solo in termini di Indice di rischio strutturale,  $I_{STR}$ . L'indice strutturale ricavato dalla metodologia RVS è stato quindi confrontato con un indice determinato dalle analisi strutturali e fornito dal rapporto tra lo spostamento a cui si ha il raggiungimento dello stato limite considerato e la domanda sismica per lo stesso stato limite (Eq.6). L'indice derivante dalle analisi strutturali è stato valutato sia per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) che per lo Stato Limite di Collasso (SLC).

$$I_{analisi} = 1 - \frac{Capacità}{Domanda} \quad (6)$$

Nelle tabelle 9-11 si riportano i risultati ottenuti, in cui D indica la domanda in termini di spostamento mentre C rappresenta la capacità in spostamento. L'indice  $I_{analisi}$  è stato ottenuto mediante analisi push-over nel caso delle scuole SCUO1 e SCUO3, mentre mediante analisi dinamica lineare nel caso della scuola SCUO2. Il parametro  $I_{analisi}$  rappresenta la differenza percentuale tra gli indici ricavati dalle metodologie di analisi utilizzate.

Tabella 9 - Indici primari per scuola SCUO3

Scuola SCUO1					
SL	D (mm)	C (mm)	I <sub>analisi</sub>	I <sub>STR</sub> Scheda RVS	Δ (%)
SLV	59	18	0,69	0,69	1%
SLV	65	21	0,68	0,69	2%
SLC	73	22	0,70	0,69	1%
SLC	81	26	0,68	0,69	2%

Tabella 10 - Indici primari per scuola SCUO3

Scuola SCUO2				
Unità strutturale	SL	I <sub>analisi</sub>	I <sub>STR</sub> Scheda RVS	Δ (%)
Corpo A	SLV	0,76	0,64	19%
Corpo B	SLV	0,35	0,36	2%
Corpo C	SLV	0,53	0,49	8%

Tabella 11 - Indici primari per scuola SCUO3

Scuola SCUO3					
SL	D (mm)	C (mm)	I <sub>analisi</sub>	I <sub>STR</sub> Scheda RVS	Δ (%)
SLV	46	13	0,72	0,59	22%

Dall'analisi dei risultati si evince come l'indice di rischio strutturale valutato per la scuola SCUO1, sia con la procedura RVS che con l'analisi push-over, classifichi la struttura come suscettibile ad un alto grado di rischio. Come evidenziato dal parametro  $\Delta$ , si è riscontrata un'ottima affidabilità della metodologia RVS nell'identificazione del livello di rischio.

I confronti ottenuti per la scuola SCUO2, riportati in Tabella 10, evidenziano che globalmente il livello di rischio ottenuto con le due metodologie corrisponde ad un rischio medio, le differenze percentuali tra i due metodi risultano anche in questo caso accettabili seppur più elevate rispetto al primo caso studio (SCUO1). Infine, riguardo ai risultati relativi alla scuola SCUO3 (Tabella 11), i valori ottenuti sono al limite tra le categorie di rischio medio e rischio alto. In questo caso le due metodologie di analisi non hanno fornito lo stesso livello di rischio nonostante la differenza percentuale tra gli indici di rischio possa ritenersi ancora accettabile data la natura semplificata della metodologia RVS.

## 6. Conclusioni

Nel presente lavoro è stata presentata una metodologia di Rapid Visual Screening (RVS) utile alla definizione di un indice di rischio sismico per le strutture scolastiche realizzate in calcestruzzo armato. La metodologia proposta nasce dalla necessità di stabilire un indice di priorità che consenta di determinare, in tempi ridotti, quali siano le strutture maggiormente a rischio e che quindi per prime necessitino di analisi più approfondite. Il metodo RVS consente, sulla base della compilazione di una scheda, di attribuire un indice di rischio sismico ad ogni struttura in calcestruzzo armato semplicemente attraverso la visione degli elaborati progettuali ed un sopralluogo. L'indice determinato mediante la metodologia tiene conto di tutti gli aspetti che caratterizzano il rischio sismico: vulnerabilità, pericolosità ed esposizione. Nella valutazione della vulnerabilità sono stati presi in considerazione non solo gli aspetti strutturali ma anche tutte le criticità relative agli elementi non strutturali ed all'organizzazione dell'emergenza.

La scheda è stata applicata a tre casi studio per i quali erano disponibili delle analisi dettagliate, i risultati sono stati confrontati in termini di indice di rischio strutturale. Il confronto tra gli indici di rischio strutturali ottenuti dalla scheda, e quelli delle analisi strutturali, hanno evidenziato una buona affidabilità della scheda nell'identificazione della classe di rischio sismico. Questo risultato incoraggia nell'applicazione della scheda su un più ampio numero di edifici al fine di ottenere una validazione su larga scala. Studi futuri saranno anche rivolti all'estensione della scheda a strutture in muratura e alla definizione di una metodologia che consenta di validare anche gli indici relativi agli elementi non strutturali; infine, gli studi successivi approfondiranno ulteriormente il livello di affidabilità degli indici proposti nello stimare gli indici richiesti dal Decreto ministeriale del 17 gennaio 2018 (D.M. 17/01/18) di recente emanazione.

## Bibliografia

- Aiello M.A., Pece M., Di Sarno L., Perrone D., Rossi F. (2013) - Un indice di rischio sismico per le strutture ospedaliere, *Progettazione Sismica*, Vol.4, N.2, pp. 81-93, DOI 10.7414/PS.4.2.81-93 – <http://dx.medra.org/10.7414/PS.4.2.81-93>.
- Autorità di Bacino della Puglia (2004) - Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI). Relazione di piano.
- De Angelis A., Pece M. (2015) - Seismic nonstructural vulnerability assessment in school buildings, *Natural Hazard*, Vol. 79, N. 2, pp. 1333-1358, DOI 10.1007/s11069-015-1907-3.
- Decreto del Presidente della Repubblica n.151 del 1 agosto 2011 (2011) - Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n.78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n.122 (G.U. 22/09/2011 n.221).
- Decreto ministeriale del 17 gennaio 2018 (2018) - Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni (G.U. 20/02/2018 n.42 - Suppl. Ordinario n.8).
- Decreto ministeriale del 14 gennaio 2008 (2008) - Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni (G.U. 04/02/2008 n.29 - Suppl. Ordinario n.30).
- Decreto ministeriale n.40 del 3 marzo 1975 (1975) - Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche (G.U. 08/04/1975 n.93).
- Lang D.H., Verbicar M.I., Singh Y. (2009) - Seismic vulnerability assessment of hospital and schools based on questionnaire survey. Kjeller, Norway.
- Mezzina M., Uva G., Raffaele D., Porco F., Fiore A. (2011) - "Linee guida per la verifica di vulnerabilità sismica di edifici in c.a. nella provincia di Foggia: casi di studio". Le prospettive di sviluppo delle opere in calcestruzzo strutturale nel terzo millennio. Atti 26° Congresso Nazionale giornate Aicap 2011, Padova 19-21 Maggio 2011.
- O'Reilly G.J., Perrone D., Fox M., Monteiro R., Filiatrault A. (2018) - Seismic assessment and loss estimation of existing school buildings in Italy, *Engineering Structures*, 168(1):142-162.
- Ordinanza della Presidenza Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006 n. 3519 (2006) - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. 11/05/2006 n.108).
- Perrone D., Aiello M.A., Pece M., Rossi F. (2015) - Rapid visual screening for seismic evaluation of RC hospital buildings, *Structures*, Vol.3, pp. 57-70, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2015.03.002>.
- WHO and PAHO. (2008) - Hospital Safety Index. Guide for evaluators. World Health Organization and Pan American Health Organization.

## Gli Autori

### Anna Rita Terrizzi

Consegue con lode, nell'aprile 2018, il titolo di Dottoressa Magistrale in Ingegneria Civile (LM23) presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento, discutendo una tesi dal titolo "Valutazione del Rischio Sismico di edifici scolastici in c.a. mediante una scheda di Rapid Visual Screening", nell'ambito dell'insegnamento "Costruzioni in zona sismica".

### Marianovella Leone

PhD, è ricercatore universitario nel settore Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento. I suoi ambiti di ricerca riguardano principalmente l'adeguamento strutturale con materiali innovativi, lo studio del comportamento strutturale di elementi in calcestruzzo fibro-rinforzato con fibre di acciaio industriali e riciclati e il comportamento sismico di strutture intelaiate in c.a. Collabora con numerose università italiane e internazionali nell'ambito di progetti di ricerca regionali, nazionali ed europei. È revisore scientifico di numerose riviste internazionali. È attualmente titolare del corso di Tecnica delle Costruzioni per il corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile e del corso di Recupero Strutturale del corso di Laurea Magistrale in Diagnostica dei beni culturali.

### Daniele Perrone

Daniele Perrone è assegnista di ricerca Post-Doc presso l'Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia (IUSS Pavia). Si è laureato nel 2010 in Ingegneria Civile e ha conseguito il dottorato di ricerca in Ingegneria dei Materiali e delle Strutture nel 2013 presso l'Università del Salento. La sua attività di ricerca è prevalentemente rivolta alla valutazione della domanda sismica sugli elementi non strutturali e alla valutazione della loro fragilità sismica nonché allo studio del comportamento sismico delle strutture esistenti in c.a. e muratura. Dal 2016 è membro dell'associazione SPONSE (International Association for the seismic performance of non-structural elements).

### Giuseppina Uva

PhD in Meccanica computazionale, è Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, del Territorio, Edile e di Chimica del Politecnico di Bari, dove insegna Costruzioni in zona sismica e Vulnerabilità strutturale degli edifici esistenti nella Laurea Magistrale in Ingegneria Civile. Svolge attività di ricerca nel campo dell'analisi dinamica e sismica, valutazione di vulnerabilità di strutture e infrastrutture esistenti, diagnostica dei materiali in opera, monitoraggio e controllo strutturale. Vice-Coordinatore Vicario del Dottorato in "Rischio e Sviluppo Ambientale, Territoriale ed Edilizio" del Politecnico di Bari dal 2013, è stata consulente scientifica o coordinatrice di numerosi progetti di ricerca, perizie nell'ambito della valutazione del rischio sismico del costruito e degli elementi di criticità territoriali, modellazione, analisi e verifica di strutture esistenti soggette ad azioni sismiche e vibrazioni.

### Maria Antonietta Aiello

Attualmente Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università del Salento (LE). Si è laureata con lode in Ingegneria Civile, Indirizzo Strutture, presso l'Università della Calabria ed ha conseguito il PhD in "Materiali Compositi per le Costruzioni Civili" presso l'Università di Lecce, Italia. È membro di Commissioni di studio Internazionali e Nazionali principalmente inerenti l'impiego di materiali

e tecniche innovative nell'Ingegneria Strutturale. I principali interessi di ricerca riguardano il comportamento a breve e lungo termine di Strutture in calcestruzzo realizzate con materiali e tecniche non tradizionali (barre non metalliche, FRC, materiali da riciclo), la Sicurezza Sismica di strutture esistenti e di elementi non strutturali.