

# La vulnerabilità degli elementi non strutturali negli edifici scolastici

B. Chiaia, A.P. Fantilli, G. Ventura  
*Politecnico di Torino, Torino, Italy*

## 1 INTRODUZIONE

Il 22 Novembre 2008 nel liceo Darwin di Rivoli, città della prima cintura torinese, crolla la controsoffittatura dell'aula numero 13, provocando la morte di uno studente, il ferimento grave di un altro studente e diversi contusi. A seguito di questo tragico evento, diversi enti competenti in materia di edilizia scolastica e sicurezza delle costruzioni si sono attivati per sviluppare un programma di monitoraggio e di identificazione delle situazioni pericolose nelle scuole presenti sul territorio nazionale. In particolare, <<...si è intrapresa un'azione sistematica di ricognizione e valutazione della presenza di rischio determinato dalla vulnerabilità degli elementi non strutturali critici per coloro che operano negli edifici scolastici.>> (C.S.LL.PP, 2009).

In altre parole, si vuole dare un giudizio sulla sicurezza delle scuole. È ovvio che, dato l'elevato numero di edifici, tale giudizio non può essere diretto, frutto di una rigorosa analisi strutturale delle costruzioni, ma deve semplicemente riguardare una misura globale della vulnerabilità del costruito. Si tratta dunque di attuare una fase di diagnosi preventiva, volta a fornire agli organi di governo i dati necessari per pianificare azioni di riduzione del rischio connesso.

Simili operazioni sono state eseguite nel nostro Paese per la misura della vulnerabilità sismica delle costruzioni, attraverso la schedatura di chiese, edifici pubblici e privati, ospedali, etc. presenti in zone ad elevato rischio sismico. In tutti i casi, l'oggetto principale delle schedature è stata la parte cosiddetta "portante", o strutturale, delle costruzioni, mentre le indagini hanno solo marginalmente interessato gli elementi non strutturali. Questi ultimi, non fornendo alcun contributo statico (vale a dire, non facenti parte della struttura portante) sono generalmente non contemplati nelle classiche analisi strutturali. Basti pensare che la misura della sicurezza di tali elementi non è attualmente né oggetto dei corsi di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, né esplicitamente richiamata, in zone a basso grado di sismicità, dalle vigenti norme sulle costruzioni (NTC, 2008).

Al contrario, la tragedia del Liceo "Darwin" di Rivoli, come anche le statistiche di danni e vittime di eventi sismici, hanno mostrato che il costo, in termini di vite umane, connesso alla rottura degli elementi non strutturali non è affatto trascurabile. La presente memoria, rappresenta dunque uno stato dell'arte sul rischio connesso al crollo ed alla rottura degli elementi non strutturali, sorta di base di partenza per futuri studi e ricerche volti alla stesura di un più dettagliato documento normativo per gli operatori del settore.

## 2 CENNI DI MISURA DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

Ogni costruzione deve, per definizione, essere sicura. La misura della sicurezza riguarda il progetto e la verifica delle strutture, il controllo dei materiali e le prescrizioni di servizio (Migliacci et al., 2001). I diversi metodi di misura utilizzati per questo fine, devono garantire una probabilità di rottura o di collasso sufficientemente bassa.

Con riferimento ad un semplice tirante, un metodo affidabile di misura della sicurezza può essere quello denominato “alle tensioni ammissibili”, in cui deve risultare:

$$P \leq \bar{P} = \frac{R_k}{\gamma} \quad (1)$$

dove  $P$  = carico applicato al tirante;  $\bar{P}$  = carico ammissibile,  $R_k$  = carico caratteristico di rottura,  $\gamma$  = coefficiente di sicurezza (= 2.5~3.5).

Tale metodo è definito di tipo “deterministico”, poiché si assume per le grandezze in gioco valori ed espressioni deterministici, mentre tutte le incertezze sono prese in conto con coefficiente  $\gamma$  applicato alle sole resistenze.

Nelle nuove norme sulle costruzioni (NTC, 2008) come metodo generale di misura della sicurezza si considera quello semi-probabilistico agli stati limite. In tale ambito, stabilito uno stato limite, deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$E_d \leq R_d \quad (2)$$

dove  $R_d$  = resistenza di progetto,  $E_d$  = valore di progetto delle azioni. Con riferimento ad un tirante nella fase di stato limite ultimo, le resistenze e le azioni risultano rispettivamente:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m} \quad E_d = P \gamma_q \quad (3)$$

dove  $\gamma_m$  = coefficiente parziale di sicurezza dei materiali,  $\gamma_q$  = coefficiente parziale di sicurezza dei carichi.

Se si assumono i coefficienti di sicurezza forniti dalle norme (NTC, 2008) la probabilità di rottura si mantiene sufficientemente bassa ( $10^{-5} \sim 10^{-7}$ ), senza tuttavia annullarsi. Ovviamente, tale probabilità tende a zero con il crescere dei coefficienti parziali di sicurezza, che però non è possibile incrementare a piacimento per ovvie ragioni di sostenibilità (economica, ambientale, etc.).

I metodi deterministici e probabilistici non sono facilmente applicabili per la misura della sicurezza degli elementi strutturali e non degli edifici scolastici italiani. Ciò per ragioni ovvie di tempo e di economia, ma anche per la mancanza di adeguati riferimenti tecnici e normativi. Infatti, gli edifici scolastici sono stati realizzati in epoche passate (alcuni di essi sono dei veri e propri edifici storici), spesso destinati ad altri usi, e progettati in assenza di specifiche norme di sicurezza.

### 3 LA MISURA DELLA VULNERABILITÀ

In linea generale, i metodi di misura della sicurezza non si utilizzano nei casi in cui si vuole analizzare un elevato numero di costruzioni – come, nel caso specifico, l’insieme delle scuole presenti sul territorio nazionale - al fine di migliorare la qualità del costruito riducendo la danneggiabilità a livelli accettabili. In tali casi è di maggiore utilità la misura del rischio connesso.

#### 3.1 La misura del rischio

Si definisce rischio  $R$  di un bene il seguente prodotto simbolico (Paciello & Clemente , 2004):

$$R = H \cdot V \cdot W \quad (4)$$

dove:  $H$  = pericolosità = misura dell’entità e della probabilità di manifestarsi di uno o più eventi attesi (sisma, inquinamento, crollo, etc.), in un determinato periodo di tempo, su un territorio (è indipendente dalla presenza o meno di beni),  $V$  = vulnerabilità = misura della suscettibilità di una costruzione a subire un danno di un certo grado,  $W$  = quantificazione del valore “esposto” al rischio.

Con riferimento agli edifici scolastici,  $R$  è il rischio per la salute di coloro che operano negli edifici scolastici;  $H$  è la misura della pericolosità (probabilità) di un qualunque evento che possa innescare la rottura degli elementi non strutturali degli edifici scolastici; infine  $V$  è la misura della suscettibilità degli stessi edifici a subire danni negli elementi non strutturali.

Con le operazioni di schedatura descritte nelle linee guida per il rilevamento della vulnerabilità degli elementi non strutturali nelle scuole (CSLP, 2009), i tecnici addetti alla sicurezza e manutenzione degli edifici scolastici sono chiamati a dare una valutazione della vulnerabilità  $V$  e del valore esposto  $W$ .

### 3.2 La vulnerabilità degli edifici

La valutazione della vulnerabilità (sismica, energetica, ambientale, etc.) del costruito si configura come una fase di diagnosi preventiva per scopi pianificatori e per azioni volte a ridurre il rischio connesso. Tale fase è di fondamentale importanza per il nostro Paese. Infatti, in Italia il patrimonio immobiliare è vetusto e non corrispondente agli standard di sicurezza. Basti pensare che il 63.7% degli edifici è stato costruito prima del 1971, mentre la prima normativa sismica risale al 1974 (DL 64/1974 “Provvedimenti per costruzioni con particolare prescrizione per le zone sismiche”).

Nel caso dei 42000 edifici scolastici, il 50% di tali edifici non possiede l’agibilità statica e/o di prevenzione incendi, il 29% non possiede il certificato igienico sanitario, il 53% è stato costruito prima del 1974 ed il 75% ricade in una zona sismica  $< 4$  (Legambiente - Ecosistema Scuola, 2008).

In tali situazioni, le operazioni di misura della vulnerabilità si devono basare su modelli di indagine non molto raffinati, tali da essere applicati su vasti ambiti territoriali ed urbani in tempi relativamente brevi. Ciò è possibile attraverso la raccolta di una serie di informazioni in schede, la cui compilazione può essere affidata anche ad operatori di media esperienza.

Un possibile esempio di schedatura è quello proposto da Meroni et al. (1999) per la misura della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Il modello proposto si articola nei seguenti punti:

- si individuano una serie di parametri (indicati con il pedice  $i$ )
- ad ogni parametro viene attribuito un peso  $w_i$ .
- per ognuno dei parametri si individua una possibile classe (A = classe migliore, D= classe peggiore).
- ad ogni classe di un parametro viene attribuito un punteggio  $p_i$ .

La vulnerabilità sismica dell’edificio sarà dunque la somma dei prodotti dei pesi per i punteggi di ciascun parametro:

$$V = \sum_i p_i \cdot w_i \quad (4)$$

### 3.3 Il caso degli elementi non strutturali

Fin dalle prime applicazioni della misura della vulnerabilità, agli elementi non strutturali è stato generalmente attribuito un peso  $w_i$  molto basso, anche se l’esperienza ha rilevato notevoli costi connessi alla rottura di tali elementi. Ne sono un esempio la tragedia del Liceo “Darwin” di Rivoli ed il recente terremoto in Abruzzo. In quest’ultimo caso si sono avuti danni notevoli non solo alle strutture portanti ma anche agli elementi non strutturali (tamponature, controsoffitte, etc.), al punto che la maggior parte delle inagibilità sono state addebitate al danneggiamento di tali componenti (Magliulo et al., 2009).

Al contrario, in altri paesi, come gli U.S.A. ed il Giappone, si affronta in modo rigoroso il problema delle prestazioni meccaniche degli elementi non strutturali, soprattutto nelle zone a più elevata intensità sismica (FEMA 74-E, 2009; Mami, 2005). Dagli studi condotti in tali Paesi, e nello specifico dall’Applied Council Technology (ACT), la protezione civile ha preso spunto per introdurre anche in Italia le prime raccomandazioni volte a ridurre i danni negli elementi strutturali degli edifici strategici, come ad esempio gli ospedali.

Alcune di queste raccomandazioni sono state recepite anche dalle recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008), che per gli elementi non strutturali presenti in zone ad elevato grado di sismicità, prevede il soddisfacimento degli stati limite di operatività, di danno e di salvaguardia della vita. In tale direzione vanno anche le linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi ed impianti (DPC, 2009) redatte sulla base dei rilievi effettuati in Abruzzo a seguito dell’evento sismico del 06/04/2009.

## 4 LE COMPONENTI NON STRUTTURALI DEGLI EDIFICI SCOLASTICI

Il documento FEMA 74-E (2009)- *Reducing Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide*- contiene la classificazione più completa ed aggiornata degli elementi non strutturali degli edifici. In esso sono anche contenute le procedure per la valutazione del rischio connesso (vulnerabilità) nelle costruzioni esistenti, e per la riduzione del rischio in quelle esistenti. Ai fini della misura della vulnerabilità degli edifici scolastici, il Capitolo 6 di tale documento, contenente circa 50 esempi su come prevenire o ridurre il danno delle componenti non strutturali, risulta quello più interessante. Le indicazioni in esso riportate, catalogate in base alle 3 componenti non strutturali di seguito elencate, sono infatti utili anche per gli edifici ricadenti in zone a bassa intensità sismica.

### 4.1 Componenti architettoniche

- rivestimenti aderenti alle pareti
- pareti vetrate
- tramezzi
- controsoffitti
- parapetti, insegne e pensiline
- camini
- scale.

### 4.2 Tubazioni, componenti meccaniche ed elettriche

- componenti meccanici sospesi
- serbatoi
- bombole
- scaldacqua
- tubazioni sospese
- canalizzazioni
- componenti elettriche e cablaggi
- dispositivi di illuminazione.

### 4.3 Arredamento ed equipaggiamento interno

- scaffalature di depositi
- librerie
- televisori
- monitor
- materiale di laboratorio.

## 5 CONCLUSIONI

La valutazione della vulnerabilità degli elementi non strutturali degli edifici pubblici (come ospedali e scuole) è di fondamentale importanza per un Paese come l'Italia, ricco di un patrimonio immobiliare vetusto e spesso non rispondente agli attuali standard di sicurezza. In alcune nazioni, come U.S.A. e Giappone, esistono dei veri e propri manuali di valutazione (nelle costruzioni esistenti) e mitigazione (nelle nuove costruzioni) dei rischi connessi a tali elementi. La stessa cosa non può dirsi per l'Italia, dove non esiste una vasta e consolidata attività scientifica nel campo della sicurezza delle componenti non strutturali. Le indicazioni fornite in questo lavoro sono dunque da considerarsi la base di partenza di futuri studi e ricerche, il cui principale obiettivo dovrà essere la stesura di un documento normativo di riferimento per gli operatori del settore delle costruzioni. In tale ambito si collocano le attività del nuovo Centro di Ricerca sui Rischi nelle Costruzioni del Politecnico di Torino (info: [bernardino.chiaia@polito.it](mailto:bernardino.chiaia@polito.it)).

## 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- C.S.LL.PP (2009) -Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici- Linee guida per il rilevamento della vulnerabilità degli elementi non strutturali nelle scuole, Intesa Rep. 7/CU del 28/1/2009.
- NTC (2008) Norme tecniche per le Costruzioni, D.M. 14.1.2008 e relativa Circolare 2.2.2009 n. 617 C.S.LL.PP.
- Migliacci A., Floris C., Tattoni S. (2001) Sicurezza strutturale, durabilità e sicurezza all'incendio, Manuale di Ingegneria Civile, Vol. 2, Cap. 1, Zanichelli/Esac, Bologna
- Paciello A., Clemente P. (2004) Pericolosità e vulnerabilità sismica nella salvaguardia dei beni culturali, Workshop "Sistema software che consente l'integrazione automatica di carte tematiche sui beni culturali ed ambientali con scala, riferimento e grafia diversi", ENEA, Roma, 14 settembre 2004.
- Meroni F., Petrini V., Zonno G. (1999) Valutazione della vulnerabilità di edifici su aree estese tramite dati ISTAT, 9° Convegno nazionale - L'ingegneria sismica in Italia, 20-23 settembre 1999, Torino, CD-ROM.
- Magliulo G., Pentangelo V., Manfredi G. (2009) Il danneggiamento delle controsoffittature a seguito del terremoto dell'Aquila dell'aprile 2009, Rapporto V 1.00 <http://www.reluis.it>
- FEMA 74-E (2009) Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage, A Practical Guide, Fourth Edition.
- Mami (2005) Vulnerabilità sismica degli edifici. Controllo prestazionale degli elementi non strutturali, EPC Libri, Roma.
- DPC (2009) -Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile- Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali, arredi ed impianti.
- Educational Facilities Research Center (2005) Case Studies of Seismic Nonstructural Retrofitting in School Facilities <http://www.nier.go.jp/shisetsu/pdf/e-jirei.pdf>