

# Analisi della risposta sismica degli elementi non-strutturali durante il terremoto del Centro Italia

## The 2016 Central Italy Earthquake: Seismic behaviour of non-structural elements

Daniele Perrone<sup>1</sup>, Roberto Nascimbene<sup>2</sup>, Luigi Di Sarno<sup>3</sup> ■

### Sommario

I danni subiti dagli elementi non-strutturali rappresentano una parte significativa delle perdite economiche osservate a seguito degli eventi sismici. Il danneggiamento degli elementi non-strutturali non solo comporta ingenti perdite economiche ma può compromettere l'immediata funzionalità degli edifici, questo aspetto risulta particolarmente importante per le strutture di importanza strategica come, per esempio scuole, ospedali, caserme e centri di protezione civile. Nel contesto normativo Italiano ed Europeo non sono fornite specifiche indicazioni per adeguare e/o migliorare le prestazioni sismiche degli elementi non-strutturali, a tale carenza normativa può essere attribuita parte delle scarse prestazioni osservate anche durante i più recenti eventi sismici su territorio nazionale. Nel presente lavoro sono brevemente descritti i principali danni osservati negli elementi non-strutturali durante le ispezioni post-sisma effettuate a seguito del recente terremoto avvenuto nel Centro Italia (agosto-ottobre 2016). Le prestazioni sismiche degli elementi non-strutturali sono state descritte fornendo una valutazione critica delle carenze progettuali che hanno portato ad un inadeguato comportamento sismico, focalizzando l'attenzione anche su alcuni esempi di buona pratica progettuale.

**Parole chiave:** elementi non-strutturali, danni, terremoto Centro Italia.

### Abstract

*The damage observed in non-structural elements represents a significant part of the earthquake related losses. The non-structural elements without seismic design generally exhibit damage at low seismic intensities and can significantly affect the immediate functionality of buildings. This issue is of paramount importance for critical facilities such as schools and hospitals. In the Italian and European context are not provided specified provisions in order to perform the seismic design of the non-structural elements, to this issue can be partially due the poor seismic performance observed during past earthquakes. In this work the main damage to non-structural elements observed during the 2016 Central Italy Earthquake are briefly discussed. The seismic performance is discussed providing a critical evaluation of the main deficiencies causing the damage of the non-structural elements.*

**Keywords:** Non-structural elements, damage, 2016 Central Italy Earthquake.

### 1. Introduzione

I recenti eventi sismici che hanno colpito il Centro Italia tra agosto ed ottobre 2016 hanno messo in evidenza ancora una volta l'elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio italiano. La sequenza sismica che ha recentemente colpito il Centro Italia ha lasciato alle proprie spalle numerosissime vittime ed ingenti perdite economiche, prevalentemente connesse alle inadeguate prestazioni sismiche degli edifici. Da una prima stima dei danni, è stato osservato che una cospicua parte delle perdite economiche è connessa al danneggiamento degli elementi non-strutturali. Recenti studi statistici hanno analizzato i dati raccolti a seguito di numerosi eventi sismici avvenuti nel mondo ed hanno messo in evidenza come in molti casi il danneggiamento degli elementi non-strutturali sia uno dei fattori dominanti nell'ottica della valutazione delle perdite totali (Bachman, 2004; Kircher, 2003). Compromettendo la funzionalità degli edifici, ed in particolar modo degli edifici strategici, le perdite connesse al danneggiamento degli elementi non-strutturali possono essere sia di natura diretta che indiretta. Chiari esempi dell'influenza delle prestazioni sismiche degli elementi non-strutturali sulla funzionalità degli edifici sono stati osservati durante il recente terremoto che ha colpito il Cile nel 2012. L'industria enologica rappresenta una delle principali attività economiche di alcune

<sup>1</sup> Assegnista di ricerca Post-Doc, Scuola Universitaria Superiore IUSS Pavia.

<sup>2</sup> Ricercatore, Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica - Eucentre, Pavia.

<sup>3</sup> Ricercatore, Università degli studi del Sannio.

regioni del Cile, per tale motivo Zareian et al. hanno studiato i danni nelle aziende vinicole a seguito del terremoto avvenuto nel 2012 (Zareian et al., 2012). I danni agli elementi non-strutturali osservati da Zareian et al. sono stati ingenti e hanno coinvolto numerose tipologie di elementi, dal danneggiamento delle scaffalature si passa a danni più seri ai serbatoi utilizzati per la fermentazione e la produzione del vino. Questi danni hanno messo in ginocchio l'economia del paese per un considerevole periodo di tempo provocando non solo perdite di natura economica ma anche sociale. Durante lo stesso terremoto il principale scalo aereo, costituito dall'aeroporto di Santiago del Cile, è stato chiuso per diversi giorni a causa degli ingenti danni alle controsoffittature ed agli impianti di condizionamento (Miranda et al., 2012); allo stesso tempo anche quattro ospedali hanno completamente perso la loro funzionalità (Miranda et al., 2012). Significativi danni agli elementi non-strutturali sono stati osservati anche durante i recenti eventi sismici che hanno colpito in Italia l'Aquila nel 2009 e l'Emilia nel 2012. In particolare, durante il terremoto dell'Aquila i principali danni osservati agli elementi non-strutturali hanno riguardato il danneggiamento nel piano e fuori dal piano delle tamponature in muratura (Braga et al., 2011). Il terremoto dell'Emilia Romagna è stato invece caratterizzato da ingenti danni al settore industriale del territorio, sia per il danneggiamento di numerosi edifici prefabbricati (danni prevalenti alle tamponature) che per il danneggiamento delle scaffalature utilizzate per stoccare i materiali derivanti dalle diverse lavorazioni industriali (Ercolino et al., 2012). In entrambi gli eventi sismici, il patrimonio edilizio usato come scuole è stato significativamente danneggiato, soprattutto nelle componenti non strutturali (tramezzature, tompagni, controsoffitti, impianti di illuminazione). Danneggiamenti simili sono stati rilevati anche in numerosi ospedali, specialmente quelli con struttura in muratura portante, la cui vulnerabilità strutturale (e non strutturale) è particolarmente elevata e non sono stati oggetto, nel corso degli anni pregressi, di interventi di miglioramento controllato ovvero di adeguamento sismico (Masi et al., 2015).

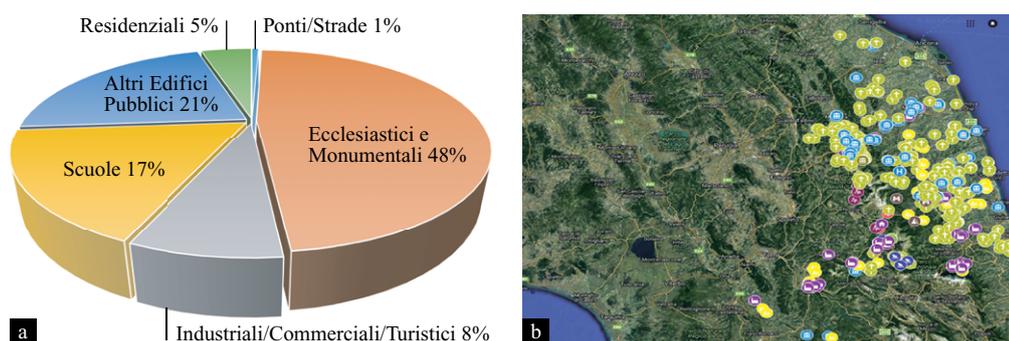
I danni riportati dagli elementi non-strutturali, in particolar modo nel territorio italiano ed europeo, sono spesso il risultato di una scarsa attenzione dedicata a tale problematica dai codici normativi (Perrone e Nascimbene, 2017). A livello europeo non sono attualmente disponibili indicazioni specifiche che forniscano ai progettisti indicazioni precise e/o oggettive sulla progettazione sismica degli elementi non-strutturali, sia dal punto di vista della valutazione della domanda che delle verifiche da effettuare. A questo si deve aggiungere che la ricerca nell'ambito delle prestazioni sismiche degli elementi non-strutturali si è sviluppata recentemente, di conseguenza ulteriori sforzi da parte dei ricercatori sono ancora necessari per colmare il gap attualmente presente tra le conoscenze in ambito strutturale e quelle in materia di elementi non-strutturali (Perrone e Nascimbene, 2017; Filiatrault e Sullivan, 2014; Cosenza et al. 2015; Di Sarno et al., 2015). L'importanza degli elementi non-strutturali nella valutazione delle perdite conseguenti un evento sismico è stata dimostrata ancora una volta dal recente evento sismico avvenuto nel Centro Italia. Nel presente studio sono stati analizzati i principali danni occorsi agli elementi non-strutturali. Sulla base dei dati raccolti durante i sopralluoghi post-sisma è stata effettuata una valutazione critica delle principali cause che hanno comportato il danneggiamento degli elementi non-strutturali; sono stati inoltre messi in evidenza i casi in cui l'adozione di semplici accorgimenti abbia consentito di prevenire il danneggiamento dei vari elementi soggetti all'azione sismica.

## 2. La sequenza sismica nel Centro Italia ed i rilievi post-sisma

La sequenza sismica avvenuta tra agosto e ottobre 2016 in Centro Italia ha dimostrato ancora una volta l'elevata pericolosità sismica a cui è soggetto il territorio Italiano. Quattro scosse principali hanno colpito il centro Italia tra agosto e ottobre 2016. Il primo evento sismico è avvenuto il 24 agosto con epicentro nei pressi del paese di Accumoli ed intensità pari a 6.0 in termini di momento magnitudo. Nei giorni successivi centinaia di scosse di bassa intensità si sono susseguite fino al 26 ottobre quando due scosse di intensità rispettivamente pari a 5.4 e 5.9 si sono verificate tra le 17.10 e le 19.18; in questo caso l'epicentro è stato localizzato nei pressi di Norcia (Michele et al., 2016). Infine, il 30 ottobre si è verificata la scossa di intensità maggiore, caratterizzata da un momento magnitudo pari a 6.5 (PGA verticale 0.54g). Grazie all'estesa rete accelerometrica installata in Italia e gestita dal Dipartimento della Protezione Civile e dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è stato possibile registrare migliaia di segnali sismici che sono stati elaborati al fine di descrivere accuratamente gli spostamenti e le accelerazioni spettrali così come i principali parametri che descrivono l'azione sismica (Iervolino et al., 2016).

Gli ingenti danni provocati dalla sequenza sismica hanno resa necessaria una task force al fine di valutare l'agibilità di centinaia di edifici. Le principali unità coinvolte nelle ispezioni post-sisma sono state il Dipartimento della Protezione Civile, la Rete di Laboratori Universitari in Ingegneria Sismica (ReLUIS), la fondazione EUCENTRE e allo stesso tempo gli Ordini Professionali che hanno coordinato l'invio di numerose squadre di tecnici qualificati alla redazione delle schede di agibilità. Al fine di fornire un'idea del significativo sforzo che è stato messo in atto, in Figura 1 sono riportate le informazioni relative ai sopralluoghi effettuati dalla fondazione EUCENTRE. La Fondazione EUCENTRE ha effettuato circa 700 ispezioni, la maggior parte delle quali sono state rivolte alla valutazione di edifici di importanza strategica (scuole, ospedali ed edifici pubblici) e di edifici storici ed ecclesiastici. Dalle ispezioni è risultato che gli edifici che hanno maggiormente risentito della sequenza sismica sono stati gli edifici ecclesiastici, che hanno presentato una maggiore percentuale di edifici inagibili.

L'agibilità degli edifici è stata spesso influenzata dai danni agli elementi non-strutturali. Le ispezioni hanno consentito di identificare le principali tipologie di elementi non-strutturali che sono stati soggetti a danneggiamento. In particolare è stato



**Figura 1**  
Ispezioni effettuate dalla Fondazione EUCENTRE a seguito del terremoto del centro Italia (Casarotti, 2016).  
a) Tipologia di edifici ispezionati.  
b) Distribuzione territoriale delle ispezioni.

osservato che i danni hanno riguardato prevalentemente le tamponature, i controsoffitti, i rivestimenti, le scaffalature ed i contenuti. Sono stati inoltre osservati danneggiamenti peculiari delle tipologie costruttive presenti nel territorio colpito dal sisma. In particolare, sono stati riportati significativi danni alle volte non-strutturali in “camorcanna” e alle tegole presenti sui tetti. Nel seguito sarà fornita una breve descrizione dei principali danni osservati durante il sisma distinguendo tra edifici con differenti destinazioni d’uso.

### 3. Prestazioni sismiche degli elementi non-strutturali

Gli elementi non-strutturali possono essere tradizionalmente classificati in due principali categorie, elementi sensibili alle accelerazioni ed elementi sensibili agli spostamenti. Un classico esempio di elementi sensibili agli spostamenti di interpiano riguarda il comportamento nel piano delle tamponature, mentre elementi tipicamente sensibili alle accelerazioni possono essere ad esempio le canne fumarie, antenne ovvero i contenuti presenti negli edifici. Entrambe le tipologie di elementi non-strutturali possono generalmente essere riscontrate in qualsiasi tipologia di edificio. Tuttavia, la destinazione d’uso degli edifici fa sì che determinate tipologie di elementi non-strutturali possano trovarsi in alcuni edifici con maggiore frequenza e rivestano delle funzioni più importanti ai fini della funzionalità dell’edificio stesso. Ci sono poi elementi che sono tipici esclusivamente di determinate tipologie di edificio, come ad esempio gli stucchi e gli affreschi che sono presenti negli edifici storici o ecclesiastici, oppure le apparecchiature mediche che possono trovarsi nelle strutture sanitarie. Sulla base di queste considerazioni, nelle sezioni successive del presente lavoro, i danni agli elementi non-strutturali sono stati esaminati distinguendo tra edifici con diverse destinazioni d’uso. Molte tipologie di danneggiamento si sono riscontrate indistintamente in edifici adibiti a diverse destinazioni d’uso; le descrizioni riportate di seguito faranno riferimento alle tipologie di danneggiamento più frequenti osservate negli edifici esaminati.

#### 3.1 Edifici residenziali

Le ispezioni post-sisma hanno evidenziato gli ingenti danni, sia di natura strutturale che non-strutturale, riportati dagli edifici ad uso residenziale. In merito alle problematiche di natura non-strutturale, si sono rivelati innumerevoli danni agli elementi di tamponatura nelle strutture in calcestruzzo armato (Figura 2). I danni alle tamponature sono stati tipicamente osservati nella maggior parte degli eventi sismici di una certa rilevanza che hanno colpito il territorio italiano, come anche osservato da Braga et al. (2011). Le tamponature sono generalmente realizzate con laterizi forati e giunti di malta connessi direttamente alla maglia strutturale. A causa delle deformazioni di interpiano generate dall’azione sismica, le tamponature tendono in un primo momento a disconnettersi dalla maglia strutturale e successivamente, per deformazioni della struttura maggiori, ad agire da puntoni diagonali che irrigidiscono la struttura impedendone la deformazione (Perrone et al., 2016). Tale meccanismo fa sì che si generino delle fessure diagonali che coinvolgono l’intero pannello; in alcuni casi si osservano anche dei collassi parziali che riguardano gli spigoli del pannello murario.

Gli studi sperimentali condotti da alcuni ricercatori hanno consentito di riprodurre in laboratorio il progressivo danneggiamento osservato durante gli eventi sismici (Pujol e Fick, 2010; Pavese et al., 2016). I risultati delle campagne sperimentali hanno permesso di definire differenti stati limite per i pannelli di tamponatura e di valutare quali sono gli spostamenti di interpiano che comportano il raggiungimento di tali stati limite (Sassun et al., 2015). I codici normativi Italiani ed Europei non forniscono precise indicazioni su come mitigare i danni alle tamponature; un utile riferimento in tal senso può essere costituito dalla norma americana FEMA E-74 (2012). Le indicazioni fornite dalla FEMA E-74 suggeriscono di non connettere direttamente il pannello murario al telaio strutturale ma di lasciare un opportuno spazio libero affinché il pannello non interagisca con la struttura a seguito delle deformazioni indotte dal sisma; il gap deve essere stimato in funzione delle deformazioni strutturali valutate per le azioni sismiche di progetto. Si deve far presente che l’utilizzo di tale tecnica, che si rivela molto spesso di difficile applicazione soprattutto negli edifici esistenti, richiede anche l’adozione di opportuni accorgimenti al fine di prevenire

**Figura 2**  
Tipici danni alle tamponature.



il collasso fuori dal piano dei pannelli. È importante allo stesso tempo rilevare che questa tecnica di mitigazione, così come altre tecniche di mitigazione utilizzate per gli elementi on-strutturali, possono inficiare le prestazioni energetiche degli edifici, creando, per esempio, dei ponti termici. Negli ultimi anni alcuni ricercatori si sono impegnati nello studio di metodologie di semplice applicazione che possano prevenire il danneggiamento delle tamponature. Morandi et al. hanno sviluppato una promettente metodologia che prevede la costruzione dei pannelli di tamponatura mediante l'adozione di giunti scorrevoli in grado di assecondare le deformazioni strutturali prevenendo il danneggiamento del pannello (Morandi et al., 2017). Le deformazioni subite dai pannelli, così come le accelerazioni di piano, hanno spesso innescato il distacco delle rifiniture esterne presenti sui pannelli stessi (intonaci, rivestimenti e pitturazioni); seppur di minore entità, tale problematica può seriamente mettere a rischio l'incolumità dei passanti.

Una terza tipica tipologia di danneggiamento osservata in molteplici edifici residenziali, ma non solo, ha riguardato il danneggiamento delle canne fumarie e la caduta di tegole. In Figura 3 è riportato un classico esempio di danneggiamento di una canna fumaria, tale problematica è spesso connessa alla fragilità della muratura utilizzata nella loro realizzazione e all'assenza di opportuni sistemi che ne impediscano le oscillazioni o quanto meno ne prevengano il collasso. Come prevedibile, questa tipologia di danneggiamento è stata particolarmente risentita da canne fumarie snelle in muratura, elementi quindi caratterizzati da elevata snellezza geometrica, ovvero notevole altezza e ridotta sezione trasversale. La caduta dall'alto delle tegole ha riguardato molteplici edifici ed è spesso il risultato di una quasi totale assenza di collegamento tra i vari elementi che compongono il tetto (Figura 4). Durante le ispezioni è stata spesso rilevata la presenza di tegole completamente sconnesse e di elementi in pietra anch'essi svincolati dalla struttura del tetto.

### 3.2 Edifici pubblici

Gli edifici pubblici, in particolare quelli classificati come strategici, rivestono un ruolo fondamentale nell'emergenza post-sisma e per tale motivo devono garantire la piena operatività già dalle prime ore successive all'evento sismico. Qualora non vi siano state problematiche di natura strutturale che abbiano completamente compromesso l'agibilità degli edifici, i danni riportati agli elementi non-strutturali ne hanno spesso limitato la piena operatività. Oltre ad innumerevoli danni alle tamponature, la cui tipo-

**Figura 3**  
Tipici danni alle tamponature  
(a sinistra).

**Figura 4**  
Caduta di tegole da tetti a  
falda (a destra).



logia è simile a quella descritta nella sezione precedente per gli edifici residenziali, gli altri elementi non-strutturali che hanno spesso risentito di significativi danneggiamenti sono stati i controsoffitti, impianti di illuminazione a soffitto e le scaffalature. Gli ingenti danni ai sistemi di controsoffittatura sono una diretta conseguenza della totale assenza di una adeguata progettazione antisismica. Le ispezioni effettuate hanno messo in evidenza come, nella maggior parte dei casi, le maglie principali e secondarie che costituiscono il supporto per i pannelli siano connesse alla struttura mediante dei semplici collegamenti verticali; senza l'adozione di controventi in grado di assorbire le azioni orizzontali. I danni sono spesso concentrati nelle zone perimetrali a causa della rottura dei rivetti e alla conseguente instabilizzazione delle griglie principali e secondarie generalmente realizzate in alluminio (Figura 5).

L'innescarsi del danneggiamento in corrispondenza delle zone perimetrali è stato riscontrato anche durante le prove sperimentali (Pourali et al., 2015; Badillo-Almaraz et al., 2006). Questo comportamento è generalmente dovuto alla scarsa cura dei particolari costruttivi; in particolar modo, le non adeguate prestazioni rilevate sono conseguenti ad un inadeguato distanziamento tra le pareti perimetrali e le griglie che compongono la controsoffittatura e all'assenza di sufficienti supporti verticali in corrispondenza delle estremità. È importante sottolineare come evidenze sperimentali, confermate anche in caso di eventi sismici, abbiano indicato che l'innescarsi in un primo danneggiamento che comporti la caduta dei pannelli può instaurare un fenomeno di danneggiamento progressivo. I pannelli del controsoffitto fungono infatti da elementi di stabilizzazione per le snelle griglie che compongono il sistema di controsoffittatura, la loro caduta potrebbe provocare l'instabilizzazione delle griglie ed il conseguente danneggiamento progressivo dell'intera controsoffittatura. In merito ai principali dettagli costruttivi che possono prevenire il danneggiamento dei sistemi di controsoffittatura, alcuni codici normativi internazionali forniscono precise indicazioni sia per la prevenzione del danneggiamento nelle zone perimetrali che per l'installazione di un idoneo sistema di controventatura. In tal senso un utile riferimento è costituito ancora una volta dalla norma FEMA E-74 (2012), così come da una linea guida neo zelandese (AWCI, 2015). Gli edifici pubblici, come per esempio scuole, uffici amministrativi, archivi di stato e biblioteche sono spesso caratterizzati dalla presenza di grandi archivi in cui è depositata importante documentazione. I danni riscontrati durante i rilievi post-sisma



**Figura 5**  
Tipico danneggiamento dei sistemi di controsoffittatura in edifici pubblici.



**Figura 6**  
Ribaltamento di una scaffalatura in un edificio pubblico.

hanno messo in evidenza il frequente ribaltamento delle scaffalature a causa delle significative accelerazioni di piano (Figura 6). Allo stesso tempo sono stati anche riscontrati alcuni esempi di buona pratica che hanno evidenziato come l'adozione di semplici dettagli costruttivi possa impedire il danneggiamento delle scaffalature. In Figura 8 sono riportati due esempi di come prevenire efficacemente il fenomeno del ribaltamento. Qualora si abbiano delle scaffalature posizionate in corrispondenza di murature perimetrali è sufficiente collegare le scaffalature ai muri adiacenti (Figura 7a); nel caso in cui vi siano file di scaffalature parallele è necessario collegarle tra loro mediante elementi orizzontali di opportune dimensioni (Figura 7b). L'efficacia di questa tipologia di intervento è stata confermata dall'instabilizzazione degli elementi orizzontali a causa delle sollecitazioni a cui sono stati sottoposti (Figura 7b); la semplice sostituzione dei canali consentirà di ripristinare la configurazione precedente al sisma. È importante sottolineare che nel caso in cui si effettui un collegamento tra le scaffalature e le murature perimetrali occorre tenere in conto delle forze concentrate aggiuntive agenti sulle murature; questa verifica è necessaria per prevenire eventuali fenomeni fuori dal piano dei pannelli murari.

**Figura 7**

Esempi di buona pratica per prevenire il ribaltamento delle scaffalature.

- a) Collegamento al muro perimetrale.
- b) Collegamento di scaffalature parallele.



### 3.3 Edifici ospedalieri

Le strutture ospedaliere hanno avuto in generale prestazioni sismiche molto carenti soprattutto durante gli eventi sismici di agosto e poi anche successivamente ad ottobre 2016, tanto è che molti presidi ospedalieri, che avevano inizialmente riportato solo danni ad alcuni componenti non-strutturali sono stati dichiarati inagibili ovvero sono completamente collassati. Molti dei presidi ospedalieri presso i quali sono stati effettuati i sopralluoghi tecnici post-sisma hanno evidenziato conformazioni plano-altimetriche molto complesse, tenendo anche conto della orografia del sito e soprattutto caratterizzati da diverse epoche e materiali di costruzioni adottati. Per esempio, nel caso dell'Ospedale F. Grifoni, posto lungo la strada di accesso del Comune di Amatrice, nel Reatino, sono state rilevate due parti costituenti completamente diverse (vedi Figura 8): il nucleo più vecchio dell'Ospedale, avente tre piani fuori terra, era realizzato in muratura portante, mentre la parte di più recente realizzazione, con circa sei piani fuori terra, era costituito da una struttura in c.a. A seguito della prima sequenza sismica del 24 agosto, la parte in muratura ha riportato estesissimi danni ai componenti non-strutturali (soffittature, tramezzature interne, ribaltamento di mobiletti, apparecchiature mediche) e significativi danni anche alle murature portanti (vedi Figura 8a), specialmente lungo il perimetro esterno. La parte dell'Ospedale Grifoni costituita da struttura in c.a., ha riportato, dopo il primo evento danni limitati alle pareti di tomagno, architravi di finestre con estesi danni alle componenti non-strutturali interne (vedi Figura 8c). Si precisa che non è stato possibile procedere per questo complesso ospedaliero ad un completo esame dei danni alle componenti non-strutturali interne, in quanto l'intera struttura è stata sottoposta a sequestro giudiziario. Le informazioni raccolte sullo stato interno sono state quelle desunte dalla descrizione della locale postazione dei Vigili del Fuoco che avevano ispezionato in precedenza la struttura. La struttura ospedaliera, a seguito degli eventi sismici di ottobre 2016, è stata completamente demolita in quanto anche la parte in c.a. ha generato collassi parziali che hanno influenzato la sicurezza statica dell'intero complesso sanitario. Di particolare rilevanza è anche il caso dell'ospedale di Amandola, in provincia di Fermo, (vedi Figura 9) che si compone di numerosi corpi di fabbrica, di cui alcuni realizzati con struttura portante in muratura ed alcuni con struttura in c.a., di più recente costruzione. Tale struttura ospedaliera è stata inizialmente solo parzialmente chiusa ma, a seguito degli eventi di ottobre 2016 essa è stata totalmente chiusa al pubblico, restando solo attivi alcuni uffici amministrativi posti ai primi piani della struttura in c.a.



**Figura 8**

Danni rilevati all'Ospedale F. Grifoni di Amatrice a seguito del terremoto del 24 agosto 2016.

- a) Parte con struttura portante in muratura: danneggiamento alle pareti perimetrali esterne.
- b) Parte con struttura portante in c.a.: danneggiamento ai pompagni.
- c) Parte con struttura in c.a.: danni rilevati agli elementi non strutturali lungo le facciate.



**Figura 9**

Danni rilevati all'Ospedale di Amandola a seguito degli eventi sismici di agosto 2016.

- a) Parte con struttura portante in c.a.: danneggiamento alle pareti perimetrali esterne.
- b) Parte con struttura portante in c.a.: collasso delle scaffalature.
- c) Parte con struttura in c.a.: danni rilevati alle travi testate comuni a molti ambienti interni.

Dall'esame del danneggiamento riportato nella Figura 9 emerge chiaramente la struttura ha perso subito la funzionalità dal momento che, come si vede per esempio dalla Figura 9a, sono prevalentemente i paramenti esterni della muratura a doppia fodera ad essere collassati fuori piani. Peraltro va rilevato che nel caso di specie, la soluzione tecnologica adottata per la realizzazione della fodera in mattoni esterne è del tutto inadeguata, tenuto conto anche della snellezza geometrica della fodera

stessa. Non sono, infatti presenti collegamenti efficaci tra il paramento esterno e quello interno ovvero tra la fodera e la struttura in c.a., sia in orizzontale che in verticale.

I dettagli costruttivi adottati per collegare i mobili alle pareti sono risultati altresì inadeguati (vedi Figura 9b) visto che gran parte delle attrezzature interne si sono ribaltate o sono cadute sul pavimento.

Tutte gli ambienti destinati alle residenze sanitarie assistite (RSA) sono risultate, così come le stanze per le degenze, inagibili, già a seguito dell'evento sismico del 24 agosto 2016. Sono stati infatti rilevati diffusi stati fessurati, accompagnati anche da numerosi distacchi di intonaco e suppellettili connesse, alle pareti divisorie interne realizzate con blocchi di laterizio forato (vedi Figura 9c). In tal caso, tenuto conto che la struttura in c.a. presenta un comportamento di tipo mensolare, per la presenza di pilastri e travi prevalentemente a spessore, e quindi caratterizzato da notevole deformabilità laterale, le deformazioni indotte dalle componenti orizzontali del sisma hanno causato notevoli spostamenti di interpiano e conseguenti rotture delle tramezzature interne alla struttura. Le sale operatorie, poste nella parte dell'ospedale con struttura in c.a., non hanno avuto distacchi o grossi danni alle lampade scialitiche. Presso la struttura ospedaliera di Amandola sono stati successivamente agli eventi sismici di ottobre 2016 eseguiti ulteriori sopralluoghi che hanno evidenziato la presenza di interventi temporanei con cinture di protezione in materiale sintetico per evitare il ribaltamento di tutti i paramenti esterni delle pareti delle facciate. L'Ospedale non è risultato operativo a seguito degli eventi di ottobre 2016.

I sopralluoghi eseguiti in altri ospedali dell'area marchigiana, per esempio nei presidi di Camerino, San Severino Marche e Tolentino, hanno evidenziato un'assenza quasi totale di danneggiamento alle parti strutturali e limitatissimi danneggiamenti ai componenti non-strutturali sensibili agli spostamenti, a valle del terremoto di agosto 2016. Con gli eventi sismici successivi, alcune strutture sono state completamente chiuse anche in questo caso, in quanto oltre ai danni ai componenti non strutturali si è rilevato un diffuso stato di danneggiamento anche alle parti strutturali, in particolare alle travi ed alle colonne; tale per esempio è stato il caso dell'Ospedale San Salvatore di Tolentino

#### 3.4 Edifici storici ed ecclesiastici

Le statistiche condotte a valle degli innumerevoli sopralluoghi effettuati hanno evidenziato che gli edifici storici ed ecclesiastici sono tra quelli che maggiormente hanno risentito del sisma, come dimostrato dall'elevato numero di inagibilità riscontrate. Gli edifici storici ed ecclesiastici sono spesso caratterizzati dalla presenza di volte non-strutturali in camorcanna sulla cui superficie interna sono presenti affreschi di notevole valore artistico. Le volte in "camorcanna" sono una tipologia costruttiva caratteristica della zona colpita dal sisma; esse sono realizzate da stuoie di canne intrecciate ed ancorate a centinature in legno a loro volta collegate alle travi dei solai o alle murature perimetrali (Figura 10). All'estradosso è steso un intonaco di calce e gesso applicato in via liquida per garantire la sua infiltrazione tra le canne.

Numerosi danni sono stati riscontrati a questa tipologia di volta a causa dell'interazione tra le volte e gli elementi strutturali a cui esse sono collegate. La frequente presenza di molle nei supporti verticali che sostengono le volte ha generalmente garantito una buona risposta nei confronti delle azioni verticali; tuttavia, il diretto collegamento non le strutture ha scaturito notevoli danni a seguito dovuti alle azioni orizzontali (Figura 11).

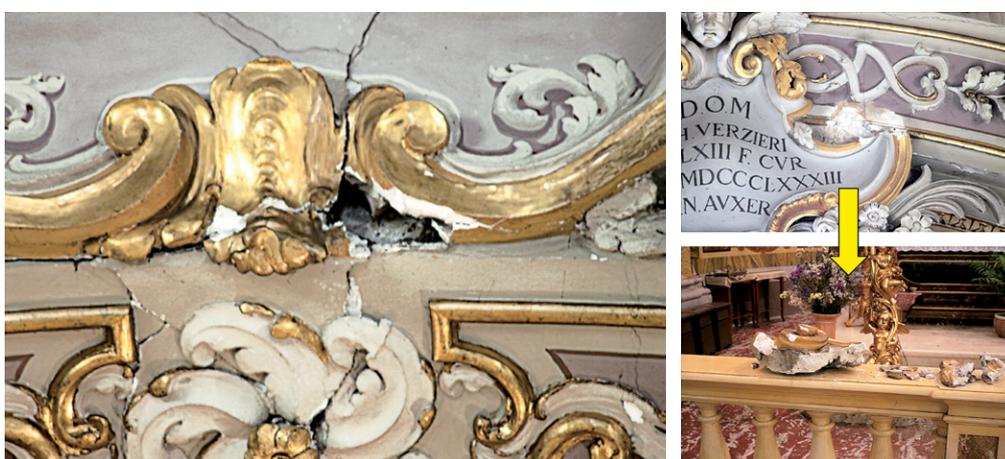
Un altro tipico danneggiamento osservato negli edifici storici, e in particolare in quelli ecclesiastici, è relativo al distacco di stucchi e ornamenti presenti all'interno delle strutture (Figura 12). La caduta di questi elementi può seriamente compromettere l'incolumità degli occupanti a causa del loro peso non trascurabile. In caso di elementi molto sporgenti e pesanti i danni sono tipicamente connessi alle accelerazioni di piano; allo stesso tempo, anche le deformazioni e fessurazioni strutturali, riducendo il grado di vincolo, possono contribuire al distacco di questi elementi.

**Figura 10**  
Esempio di volte in  
camorcanna.





**Figura 11**  
Tipici danni alle volte in camoranna.



**Figura 12**  
Distacco di stucchi ed ornamenti.

Se all'interno della struttura una delle principali cause di pericolo per l'incolumità degli occupanti è rappresentata dalla caduta di stucchi e ornamenti, all'esterno seri problemi possono essere provocati dal ribaltamento di appendici quali ad esempio le vele presenti in alcune strutture storiche ed in molte chiese. In Figura 13a è riportato un tipico esempio di danneggiamento delle vele campanarie connesso al distacco di elementi di muratura che compongono l'arco della vela. Il rinforzo delle appendici riportato in Figura 13b è un classico esempio di come prevenire il ribaltamento delle appendici garantendo dei vincoli supplementari che impediscono le oscillazioni fuori dal piano. Il provvedimento riportato in Figura 13b è stato realizzato a seguito della prima scossa sismica e ha garantito un buon comportamento a seguito delle scosse successive. Infine, come nel caso degli edifici residenziali, anche per questa tipologia di edifici sono stati riscontrati significativi problemi dovuti alla caduta dall'alto di tegole.

### 3.5 Edifici industriali

I danni osservati agli edifici industriali hanno riguardato numerose tipologie di elementi non-strutturali. Ai danni riportati dalle tamponature si associano quelli relativi ai rivestimenti esterni presenti in un gran numero di edifici (Figura 14a). Anche i danni alle controsoffittature sono stati osservati in molti edifici, in questo caso sono state spesso riscontrate tipologie di controsoffittature realizzate mediante pannelli in c.a. di notevoli dimensioni (Figura 14b). Il danneggiamento di questi elementi è ancora una volta connesso all'assenza di adeguati collegamenti tra il sistema di controsoffittatura e la struttura.

I danni alle tubazioni rappresentano un altro classico esempio di danneggiamento che è stato rilevato nelle strutture industriali e che può seriamente compromettere l'operatività delle strutture e la continuità nella catena produttiva (Figura 15). I danni riscontrati sono ancora una volta conseguenza della mancanza di adeguati dettagli costruttivi, come ad esempio l'utilizzo di opportuni sistemi di controventatura per attenuare le vibrazioni e ridurre gli spostamenti; in particolar modo in corrispondenza di cambi di direzione delle tubazioni. Un'altra problematica riscontrata negli impianti riguarda l'assenza di giunti flessibili in corrispondenza di attraversamenti di murature o di giunti strutturali. I danni sono spesso concentrati in corrispondenza dei giunti di tubazione che, come osservato anche durante delle indagini sperimentali (Tian, 2014), rappresentano il punto critico degli impianti. Nel contesto Italiano ed Europeo non sono fornite specifiche indicazioni atte a ridurre gli spostamenti e le accelerazioni a cui sono soggette le tubazioni; per tale motivo utili riferimenti sono costituiti dalla normativa americana FEMA E-74 (2012) e dalla NFPA

**Figura 13**

Comportamento sismico di appendici e vele presenti in edifici storici ed ecclesiastici.  
a) Danni alle vele campanarie.  
b) Confinamento di appendici in edifici storici.



**Figura 14**

Tipici danneggiamenti osservati in edifici industriali.  
a) Danneggiamento di rivestimenti esterni.  
b) Danneggiamento di controsoffittature pesanti.



13 (2010) nel caso specifico degli impianti sprinkler. Tali normative forniscono specifiche indicazioni in merito alla progettazione del sistema di supporto e agli interessi massimi da rispettare per i supporti longitudinali, trasversali e verticali.

Le scaffalature rappresentano un elemento fondamentale negli edifici industriali. In Figura 16a è riportata la conseguenza del collasso delle scaffalature in un edificio industriale adibito alla produzione di oggetti in ceramica. Come si può notare, le perdite economiche connesse al collasso delle scaffalature sono ingenti e non sono solo connesse alla rottura della scaffalatura ma in particolare modo alla perdita del materiale stoccato al suo interno. Allo stesso tempo sono stati anche osservati esempi di buona pratica progettuale, come riportato in Figura 16b. In questo caso l'adozione di adeguate connessioni alla base e di controventi tra i montanti verticali hanno garantito delle buone prestazioni sismiche prevenendo sia la rottura della scaffalatura

**Figura 15**

Tipici danni alle tubazioni.





**Figura 16**  
Prestazioni sismiche delle scaffalature in edifici industriali.  
a) Perdite dovute al collasso di una scaffalatura.  
b) Scaffalature con adeguati dettagli antisismici.



**Figura 17**  
Esempio di danneggiamento di un recipiente in azienda agricola.

che il danneggiamento del materiale al suo interno.

Un altro aspetto molto importante riguarda il comportamento degli elementi impiantistici e dei serbatoi/recipienti. In Figura 17 è riportato il danneggiamento di un recipiente utilizzato per lo stoccaggio del fertilizzante in una azienda agricola. Il danneggiamento di tale serbatoio è prevalentemente dovuta alle inadeguate connessioni alla base e all'assenza di adeguati controventi.

#### 4. Conclusioni

La valutazione delle perdite a seguito di un evento sismico, così come l'immediata operatività nell'emergenza post-sisma, sono significativamente influenzate dalle prestazioni degli elementi non-strutturali. Nel presente lavoro sono stati brevemente descritti i principali danneggiamenti osservati negli elementi non-strutturali a seguito della sequenza sismica avvenuta nel Centro Italia tra agosto e ottobre 2016. I danni riscontrati sono la diretta conseguenza dell'assenza di una adeguata progettazione sismica degli elementi non-strutturali dovuta, in buona parte, all'assenza nel contesto Italiano ed Europeo di adeguati codici normativi che forniscano delle chiare linee guida nella progettazione degli interventi di mitigazione del rischio. I danni osservati hanno riguardato differenti tipologie di elementi non-strutturali; a partire dai danni alle tamponature, sono stati osservati cospicui danni anche ai sistemi di controsoffittatura, alle scaffalature, agli stucchi ed ornamenti, alle canne fumarie ed alle appendici. Dai rilievi effettuati è stato riscontrato che qualora siano stati adottati degli idonei accorgimenti di mitigazione del rischio, questi hanno risposto adeguatamente consentendo la prevenzione del danneggiamento degli elementi non-strutturali. Sulla base di queste considerazioni appare evidente che sia gli enti legislativi che i professionisti debbano prendere atto dell'esistenza di tale problematica e soprattutto valutare caso per caso la necessità di adottare provvedimenti specifici per la protezione sismica degli elementi non-strutturali, in particolarmente nel caso delle strutture strategiche, quali, per esempio, le strutture sanitarie, le scuole, le caserme e tutti gli edifici adibiti a sedi di protezione civile.

Negli ultimi anni la ricerca teorico-sperimentale ha fatto significativi passi in avanti, mettendo a disposizione della comunità scientifica e dei tecnici progettisti utili strumenti per lo studio delle prestazioni sismiche degli elementi non-strutturali; nonostante questo, sono necessari ulteriori sforzi per introdurre nella consueta pratica professionale la progettazione sismica degli elementi non-strutturali.

## Bibliografia

- AWCI (2015) - Code of practice for design, installation and seismic restraint of suspended ceiling, Association of Wall & Ceiling Industries, New Zealand.
- R.E Bachman (2004) - The ATC 58 Project, Plan for Non-structural Components, Performance-Based Seismic Design: Concepts and Implementation, Peer Report 2004/05, Pacific Engineering Research Centre, University of California, Berkeley, California.
- H. Badillo-Almaraz, A.S. Whittaker, A.M. Reinhorn, G.P. Cimellaro (2006) - Seismic fragility of suspended ceiling systems, Report MCE-ER-06-0001.
- F. Braga, V. Manfredi, A. Masi, A. Salvatori, M. Vona (2011) - Performance of non-structural elements in RC buildings during the L'Aquila, 2009 Earthquake, *Bulletin of Earthquake Engineering* 9:307-324.
- C. Casarotti (2016) - Rapporto attività svolta nell'ambito dell'emergenza sismica in centro Italia a seguito degli eventi del 24/08/2016, Report EUCENTRE, Pavia, Italy.
- E. Cosenza, L. Di Sarno, G. Maddaloni, G. Magliulo, C. Petrone (2015) - Shake table tests. For the seismic fragility evaluation of hospital rooms, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 44 (1) (2015) 23-40.
- L. Di Sarno, C. Petrone, G. Magliulo, G. Manfredi (2015) - Dynamic response analysis of typical medical components. *Engineering Structures* 100(1) (2015) 442-454.
- M. Ercolino, C. Petrone, O. Coppola, G. Magliulo (2012) - Report sui danni registrati a San Felice sul Panaro (Mo) in seguito agli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 – v1.0, available on line: <http://www.reluis.it/> (2012).
- FEMA E-74 (2012) - Reducing the risks of nonstructural earthquake damage - A practical guide, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- A. Filiatrault, T.J. Sullivan (2014) - Performance-based seismic design of nonstructural building components: The next frontier of earthquake engineering, *Earthquake engineering and earthquake vibration* 13 (1) (2014) 17-46.
- I. Iervolino, G. Baltzopoulos, E. Chioccarelli, A. Suzuki (2016) - Preliminary study on strong motion data of the 2016 Central Italy seismic sequence V6, ReLUIS-INGV Workgroup, available at <http://www.reluis.it>.
- C Kircher (2003) - It makes Dollars and Sense to Improve Non-structural System Performance, ATC-29-2.
- A. Masi, G. Santarsiero, L. Di Sarno (2015) - La sicurezza sismica delle strutture ospedaliere: Valutazioni di vulnerabilità e strategie di intervento, *Ingenio* – N.29 gennaio 2015, ISSN:2307-8928.
- M. Michele, R. Di Stefano, L. Chiaraluca, M. Cattaneo, P. De Gori, G. Monachesi, D. Latorre, S. Marzorati, L. Valoroso, C. Ladina, C. Chiarabba, V. Lauciani, M. Fares (2016) - The Amatrice 2016 seismic sequence: a preliminary look at the mainshock and aftershocks distribution, *Annals of geophysics*, DOI:10.4401/ag-7277.
- E. Miranda, G. Mosqueda, G. Retamales, G. Pekcan (2012) - Performance of nonstructural components during the 27 February 2010 Chile Earthquake, *Earthquake Spectra* 28(S1): S453-S471.
- P. Morandi, R. Milanesi R, G. Magenes (2017) - Innovative seismic solution for clay masonry with sliding joints: principles and details, *Proceeding of the 16 World Conference on Earthquake Engineering*, Chile.
- NFPA (2010) - NFPA 13: Automatic Sprinkler Systems Handbook, National Fire Protection Association Quincy, MA.
- A. Pavese, I. Lanese, R. Nascimbene (2016) - Seismic vulnerability assessment of an infilled reinforced concrete frame structure designed for gravity loads, *Journal of earthquake engineering*, DOI: 10.1080/13632469.2016.1172372.
- D. Perrone, M. Leone, M.A. Aiello (2016) - Evaluation of the infill influence on the elastic period of existing RC frames, *Engineering Structures* 123: 419-433.
- D. Perrone, R. Nascimbene (2017) - Performance sismiche degli elementi non-strutturali: considerazioni sulla domanda sismica e sui dati sperimentali attualmente disponibili, *Progettazione sismica – Vol.8, N.1, Anno 2017*. DOI 10.7414/PS.8.1.49-58 -<http://dx.medra.org/10.7414/PS.8.1.49-58>.
- A. Pourali, R.P. Dhakal, G.A. MacRae (2015) - Shake table tests of perimeter-fixed suspended ceilings, *Proceeding of the 2015 NZSEE Conference*, New Zealand.
- S. Pujol, D. Fick (2010) - The test of a full-scale three-story RC structure with masonry infill walls, *Engineering Structures* 32(10):3112-3121.
- K. Sassun, T.J. Sullivan, P. Morandi, D. Cardone (2015) - Characterising the in-plane seismic performance of infill masonry, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* 49(1).
- Y. Tian, A. Filiatrault, G. Mosqueda (2014) - Experimental Seismic Fragility of Pressurized Fire Suppression Sprinkler Piping Joints, *Earthquake Spectra* 30(4):1733-1748.
- F. Zareian, C. Sampere, V. Sandoval, D.L. McCormick, J. Moehle, R. Leon (2012) - Reconnaissance of the Chilean Wine Industry Affected by the 2010 Chile Offshore Maule Earthquake, *Earthquake Spectra* 28(S1):S503-S512.

## Gli Autori

### 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).

### Roberto Nascimbene

Laureato in Ingegneria Civile presso l'Università di Pavia, ha conseguito il Dottorato nel 2003 in "Sail Modelling for maximal speed optimum design" presso la medesima Università. All'interno del Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (Eucentre) di Pavia è responsabile dell'area di ricerca "Analisi Strutturale" e della Formazione Professionale. È inoltre Docente incaricato presso la Facoltà

di Ingegneria dell'Università di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Architettura e membro del Consiglio dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pavia per il quadriennio 2013-1017. Ha pubblicato numerosi articoli su rivista ed a convegni nazionali ed internazionali, di cui è stato anche relatore, ed è coautore del libro "Progettare i gusci" (ISBN 978-88- 6198-061-7). Svolge l'attività di relatore in seminari e corsi in svariati ambiti fra i quali analisi, modellazione e verifica sismica di edifici esistenti in c.a., codici normativi internazionali per le strutture, analisi della vulnerabilità sismica dei serbatoi in acciaio.

#### **Luigi Di Sarno**

Laureato in Ingegneria Edile presso l'Università di Napoli, ha conseguito il Dottorato nel 2001 in "Vibration Control of High-Rise Buildings Under Environmental Actions" presso l'Università degli Studi di Salerno. Ha ottenuto il Master of Science in Earthquake Engineering and Structural Design (nel 2000) ed il Master in Structural Steel Design (nel 2001) presso l'Imperial College of Science, Technology and Medicine di Londra, UK. Ha poi svolto un'attività biennale di Post-Dottorato all'University of Illinois a Urbana-Champaign, USA. Nel 2003 è risultato vincitore in Italia di un assegno di ricerca dell'ENEA sullo studio di nuovi materiali e tecnologie per la mitigazione del rischio sismico del patrimonio costruito. Dal 2005 è in servizio presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi del Sannio, Benevento, come Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni. È co-autore del libro "Fundamentals of Earthquake Engineering", pubblicato, in seconda edizione, nel 2015 da Wiley and Sons, UK. Ha pubblicato oltre 200 articoli su rivista, convegni nazionali ed internazionali, di cui è stato anche relatore. Svolge l'attività di relatore in seminari e corsi aventi ad oggetto analisi, modellazione e verifica sismica di edifici esistenti in c.a., strutture metalliche e composte acciaio-calcestruzzo, sistemi di isolamento sismico e dissipazione, soprattutto per strutture ed infrastrutture strategiche, componenti non strutturali ospedalieri.