



# VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DI STRUTTURE E SISTEMI DI MIGLIORAMENTO

R. Nascimbene

IUSS - Istituto Universitario di Studi  
Superiori - Dipartimento STS

Palazzo del Broletto, Piazza della  
Vittoria, 15, 27100 Pavia PV, Italy

## ***Sommario***

*Gli eventi sismici che hanno colpito diverse nazioni (Italia, Nuova Zelanda, Turchia, Giappone etc) hanno evidenziato la vulnerabilità di molte tipologie strutturali (capannoni in cemento armato, strutture in acciaio, ambiti industriali) tipici della pratica edilizia pre-codici normativi sismici. Alcune carenze nella prestazione degli edifici (ed anche degli elementi non strutturali) si sono verificate perché nella maggior parte dei casi le strutture erano state progettate per soli carichi gravitazionali o comunque non con gli stessi requisiti previsti dalla corrente normativa in zona sismica. Verranno valutati i principali danneggiamenti e quindi classificati per dare alla fine esempi di miglioramento ed adeguamento.*

## 1 INTRODUZIONE

Nel contesto normativo pre-OPCM 3274 e successivo alle NTC 2008, fu introdotto il capitolo 8, "Costruzioni Esistenti", che affrontò l'analisi sismica delle strutture preesistenti. Questo capitolo, inizialmente composto da meno di dieci pagine, fu successivamente ampliato dal Supplemento ordinario n. 27 alla Gazzetta Ufficiale del 26 febbraio 2009, specialmente con riferimento al Capitolo C.8, che raggiunse circa venticinque pagine. Questa è una informazione che evidenzia la volontà dei normatori di dedicare attività specifiche relative al patrimonio costruito che costituisce una percentuale molto importante sul territorio nazionale e non solo [1].

Una riflessione oggettiva sugli edifici esistenti può essere derivata dal "Piano Nazionale per la Rigenerazione Urbana Sostenibile" del 2012, del CNAPPC. Questo piano evidenzia la presenza di due categorie di edifici nell'ambito nazionale: quelli "storici" (circa 30 milioni di vani), soggetti a tutela, costruiti in oltre 3.000 anni di storia, e quelli che compongono le periferie urbane e non (circa 90 milioni di vani), generalmente non antisismici, con impiantistica superata e materiali non "sostenibili". Questi edifici, carenti di servizi primari, saranno obsoleti nei prossimi anni e richiederanno una sostituzione programmata a lungo termine.

Proseguendo, si può considerare un'allerta sull'edilizia scolastica in Italia, dove il 50% degli edifici non possiede la certificazione di agibilità, il 65% manca del certificato di prevenzione incendi, il 36% necessita di urgenti interventi di manutenzione e il 50% si trova in aree a rischio sismico. Tali edifici, costruiti in un periodo che va dal 1961 al 1980, costituiscono circa il 44% del totale, mentre il 4% risale a prima del 1900.

Il collegamento tra le strutture esistenti e le normative sismiche, inizio scontato di questo capitolo, è evidente nella Tabella C8A.1.2 al Capitolo C8A.1.B.3 delle Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" del D.M. 14 gennaio 2008 (oltre che negli Eurocodici [2]). In questa fase, la conoscenza della struttura esistente, sia in termini di caratteristiche geometriche che di proprietà meccaniche dei materiali, è di vitale importanza. Tale conoscenza influisce sui metodi di analisi e sui valori delle resistenze dei materiali tramite fattori di confidenza. Questo tema è stato ulteriormente affinato nelle successive NTC 2018 che costituiscono il più recente aggiornamento normativo.

Le strutture esistenti, spesso con meccanismi di collasso fragili, richiedono l'applicazione di metodi di calcolo non lineari per l'analisi sismica. Sebbene le analisi lineari siano utili in fase di progettazione, spesso sono inaffidabili per studiare strutture irregolari che non rispettano i principi del "capacity design". Pertanto, l'analisi non lineare diventa cruciale, coinvolgendo modelli tridimensionali con effetti del secondo ordine, parametri costitutivi non lineari e analisi in grandi spostamenti. Da qui la necessità di modellazione ed analisi sempre più accurate e conseguenti validazioni del software attuate attraverso l'impegno di prove sperimentali.

Inoltre, lo studio di vulnerabilità richiede una determinazione accurata della risposta strutturale a sette accelerogrammi spettrocompatibili. Catturare il contributo delle non linearità consente una migliore previsione, comprensione e localizzazione dei danni, facilitando la progettazione degli interventi necessari.

A seguito di questa introduzione risulta evidente che la struttura della memoria sarà:

capitolo 2 dedicato alle evidenze di danneggiamenti e di meccanismi di danneggiamento da eventi del passato; il capitolo 3 sarà dedicato alle principali evidenze in ambito di analisi e modellazione ed il capitolo 4 sulla validazione dei modelli numerici.

In particolare, le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2018 in Italia e gli Eurocodici in ambito Europeo, contengono disposizioni relative all'analisi di vulnerabilità degli edifici esistenti [3, 4]. La vulnerabilità sismica è la capacità di una struttura di resistere a un evento sismico senza subire danni e rappresenta un aspetto cruciale per valutare il rischio sismico associato agli edifici esistenti.

Le principali disposizioni sulle analisi di vulnerabilità degli edifici esistenti nelle NTC 2018 e negli Eurocodici includono:

1. Capitolo C8 - Costruzioni Esistenti: Le NTC 2018 dedicano un capitolo specifico alle "Costruzioni Esistenti" (Capitolo C8). Questo capitolo fornisce linee guida dettagliate per la valutazione sismica degli edifici esistenti.

2. Livelli di Conoscenza (LC): Le analisi di vulnerabilità richiedono la definizione del "Livello di Conoscenza" (LC) della struttura, che varia da LC1 a LC3. Questo parametro indica il grado di dettaglio delle informazioni disponibili sulla struttura, influenzando i metodi di analisi utilizzati.

3. Analisi Non Lineare: Le NTC 2018 incoraggiano l'uso di analisi non lineari per valutare la risposta sismica delle strutture esistenti. Le analisi non lineari consentono di catturare gli effetti delle non linearità nei materiali e nella geometria.

4. Metodi di Calcolo: Vengono forniti diversi metodi di calcolo per l'analisi di vulnerabilità, compresi gli approcci dinamici e statici. L'analisi dinamica non lineare è raccomandata per strutture con comportamento sismico complesso.

5. Procedure di Verifica: Le NTC 2018 stabiliscono procedure di verifica basate su parametri di vulnerabilità, fornendo criteri per valutare la sicurezza sismica degli edifici esistenti.

6. Verifica per Effetti Locali: Viene data attenzione agli effetti locali, specialmente per gli edifici con elementi non regolari o meccanismi di collasso fragili.

7. Interventi di Adeguamento: In base ai risultati dell'analisi di vulnerabilità, vengono suggeriti interventi di adeguamento per migliorare la sicurezza sismica delle strutture esistenti.

## **2 DANNI OSSERVATI IN PASSATI EVENTI SISMICI**

Le seguenti considerazioni sono focalizzate sui modelli di danni osservati che sono emersi dopo la sequenza sismica in Italia centrale nel 2016-2017. Queste osservazioni sono state fatte durante un "Reconnaissance Team's visit" condotto come parte del team di ricognizione EERI-Eucentre-ReLUIIS. Le indagini del team si sono concentrate su due centri storici principali nella regione del Lazio, ovvero Accumoli e Amatrice, così come due piccoli borghi, Illica e Saletta. Per ottenere approfondimenti, è stata fatta una comparazione tra i dati ottenuti da GSV e le fotografie scattate durante il sopralluogo sul campo. Accumoli si trova nel distretto di Rieti, Amatrice anch'essa in Rieti, mentre Illica è un piccolo villaggio situato nella provincia di Rieti nella regione del Lazio. Saletta, d'altra parte, è un piccolo villaggio nella zona di Amatrice. I due principali centri storici

in analisi sono situati all'interno di quella che è conosciuta come il "cratere sismico", che indica l'area geografica più gravemente colpita dalla sequenza sismica. Accumoli è un comune posizionato circa 110 chilometri a nord-est di Roma. Le sue origini risalgono al XII secolo, quando il territorio nella regione della Valle del Tronto era sotto il dominio normanno e in seguito divenne parte del Regno di Napoli. Amatrice, d'altra parte, è una città situata nel nord del Lazio.

È cruciale sottolineare che in Italia, la valutazione analitica e quantitativa delle strutture in muratura non armata (URM) fu prescritta relativamente tardi. In particolare, divenne un requisito alla fine degli anni '80 per carichi gravitazionali e carichi vivi ordinari [5]. Solo circa un decennio dopo questo requisito si estese a includere carichi sismici [6].

Gli edifici esistenti in muratura spesso soffrono per la mancanza di adeguati progetti concettuali e dettagli costruttivi, il che porta a elevati livelli di vulnerabilità sismica. Molte situazioni di crollo locale (e persino globale) di edifici residenziali possono essere attribuite a vari fattori:

1. la presenza di tetti in legno spingenti o pesanti tetti in calcestruzzo armato rinnovato;
2. l'assenza di connessioni efficaci tra elementi strutturali orizzontali e verticali;
3. l'amplificazione dell'azione sismica lungo l'altezza dell'edificio.

Nelle tradizionali costruzioni residenziali in muratura a Accumoli, la struttura portante verticale principale è costituita da pareti ortogonali che formano le facciate principali. In molti casi, le pareti interne svolgono anche una funzione strutturale. Queste pareti hanno tipicamente spessori che vanno dai 60 cm agli 80 cm, ma presentano aperture significative, come porte, finestre e balconi, che creano discontinuità nel percorso di carico dal tetto alle fondamenta. Nel XVIII secolo, la costruzione in muratura consisteva principalmente in ciottoli casuali o pietre tagliate di dimensioni medio-piccole ottenute dai fiumi circostanti. Queste pietre venivano tipicamente combinate con malta di calce. Le pareti degli edifici venivano comunemente costruite utilizzando blocchi di calcare di dimensioni variabili. Questi blocchi venivano spesso assemblati in modo disordinato con sottili strati di malta di calce debole. Nella Figura 1, i danni sono probabilmente attribuibili a un insufficiente vincolo/controventamento tra le pareti (nessuna catena era presente). Ciò ha comportato la spinta verso l'esterno del tetto e del pavimento, portando al collasso fuori piano della parete.



Figura 1 Accumoli: GSV (Google Street View) a sinistra e il meccanismo fuori piano a destra (tetto in legno su un anello di irrigidimento di calcestruzzo armato). Importanti e consistenti danni osservati in conformità con EMS-98 per le strutture in muratura [7].

Non si sono evidenziati solamente estensivi danneggiamenti alle strutture in muratura, ma anche evidenze sulle strutture in acciaio come rappresentato in Figura 2.

In seguito al terremoto del 24 agosto ( $M=6.0$ ), i danni hanno interessato principalmente i pannelli di tamponamento e le vetrate dell'edificio. Sono state osservate solo lievi instabilità locali delle flange a metà altezza di due colonne frontali al piano terra (Figura 2). Inoltre, erano visibili segni di cedimento lungo le colonne nei punti in cui si intersecavano con la soletta rigida di calcestruzzo armato del pavimento. Nel corso dell'intera sequenza sismica, l'edificio ha subito deformazioni permanenti lungo la sua direzione principale, come chiaramente indicato nella Figura 2.



Figura 2 Amatrice: risposta in piano e fuori piano degli edifici in acciaio, delle pareti di tamponamento e delle vetrate; danni rilevati nell'edificio in acciaio e immagine GSV prima dell'evento.

### 3 PRINCIPI DI ANALISI E VERIFICA

I Livelli di Conoscenza (LC) nelle analisi di vulnerabilità sono una categorizzazione che indica il grado di dettaglio delle informazioni disponibili sulla struttura. Questo parametro influisce direttamente sulla complessità e sulla precisione delle analisi

sismiche condotte sulla struttura esistente. Ecco una breve descrizione dei Livelli di Conoscenza:

1. **LC1 - Conoscenza Limitata:**

- Informazioni di base sulla struttura.
- Manca di dettagli specifici sulla geometria, i materiali e i dettagli costruttivi.
- Adatto per un approccio semplificato.

2. **LC2 - Conoscenza Adeguata:**

- Informazioni più dettagliate rispetto a LC1.
- Include dettagli sulla geometria, i materiali e alcuni dettagli costruttivi.
- Consente approcci di analisi più avanzati rispetto a LC1.

3. **LC3 - Conoscenza Accurata:**

- Informazioni dettagliate e complete sulla struttura.
- Include dati precisi sulla geometria, i materiali, i dettagli costruttivi e le condizioni di carico.
- Adatto per analisi avanzate, come modelli numerici dettagliati e analisi non lineari.

La scelta del Livello di Conoscenza dipende dalla disponibilità di dati e informazioni sulla struttura. Una maggiore conoscenza consente l'applicazione di metodologie di analisi più sofisticate e accurate. Tuttavia, è importante notare che l'aumento del Livello di Conoscenza implica spesso costi aggiuntivi per la raccolta di dati dettagliati, soprattutto se la struttura è complessa o ha una lunga storia edilizia. La selezione del Livello di Conoscenza giusto è fondamentale per ottenere una valutazione sismica affidabile ed efficiente della struttura esistente. I livelli di conoscenza sono il primo passo da seguire per poi scegliere la tipologia di analisi da applicare nella valutazione di vulnerabilità della struttura posta sotto la lente di ingrandimento.

L'analisi non lineare è incoraggiata dalle NTC 2018 e dagli Eurocodici per valutare la risposta sismica delle strutture esistenti. Questa metodologia consente di catturare gli effetti delle non linearità presenti nei materiali e nella geometria delle strutture. Le principali caratteristiche e implicazioni dell'analisi non lineare includono:

1. **Effetti delle Non Linearità:** L'analisi non lineare consente di considerare gli effetti delle non linearità nel comportamento strutturale, come la plastificazione del materiale, le deformazioni non lineari, e altri fenomeni avanzati.
2. **Materiali e Geometria:** Questa metodologia è adatta per considerare non linearità nei materiali come il calcestruzzo e l'acciaio, nonché non linearità geometriche che potrebbero emergere durante un evento sismico.
3. **Fasi di Carico Crescente:** L'analisi non lineare può essere condotta considerando diverse fasi di carico crescente, permettendo di valutare il comportamento progressivo della struttura fino al collasso.
4. **Risposta Realistica:** Offre una rappresentazione più realistica della risposta strutturale sotto carichi sismici, tenendo conto di fenomeni complessi che possono verificarsi durante un terremoto.
5. **Modelli più Dettagliati:** L'analisi non lineare richiede modelli più dettagliati rispetto alle analisi lineari, considerando elementi quali la non linearità del materiale, gli effetti del secondo ordine, e le condizioni di interazione tra elementi strutturali.

L'incoraggiamento all'utilizzo di analisi non lineari riflette la necessità di considerare gli aspetti più avanzati del comportamento strutturale nelle valutazioni di vulnerabilità, specialmente per strutture complesse o soggette a carichi sismici significativi.

#### **4 VALIDAZIONE DEL MODELLO NUMERICO \_ DATI SPERIMENTALI**

L'entrata in vigore dell'Ordinanza 3274-3431 prima, del D.M. 14 Gennaio 2008 successivamente ed attualmente le NTC 2018 (insieme alle attuali revisione dell'Eurocodice) e nulla pensiamo cambierà con le revisione che verranno introdotte nelle prossime Norme Tecniche, ha fatto sì che il ruolo dell'analisi strutturale nell'ambito dell'ingegneria sismica diventasse di primaria importanza a tal punto da far pensare che il progettista non possa essere tale senza l'ausilio di un opportuno strumento di calcolo. Questa "è cosa buona" quando l'ingegnere "formato" domina lo strumento di calcolo "efficiente". Quando uno strutturista, un edile-architetto oppure anche un idraulico e un ambientale si possono assegnare l'attributo di "formati"? Quando un software ad elementi finiti generico ("general purpose") oppure orientato ai ponti, alla progettazione del nuovo come alla verifica ed adeguamento degli esistenti, si può dire "efficiente"?

Rispondiamo per ora alla prima domanda. Come dicevamo prima, nell'ultimo decennio, quindi molto rapidamente rispetto ai biblici tempi del passato, le metodologie numeriche di analisi hanno subito modifiche sostanziali nelle nuove norme tecniche. Scendiamo nel dettaglio: si è evoluti da metodologie lineari statiche (nel materiale e nella geometria solitamente anche a telaio bidimensionale) all'uso di modelli, spesso per non dire sempre tridimensionali, altamente non lineari (effetti del secondo ordine, parametri costitutivi di calcestruzzo ed acciaio, grandi deformazioni, etc.). Per esempio se prima il legame dei materiali coinvolti era lineare, elastico, isotropo ed omogeneo e le procedure di analisi confondevano la configurazione indeformata con la deformata (i "piccoli spostamenti" della Scienza delle Costruzioni), ora si usa un modello di Menegotto-Pinto per l'acciaio insieme al legame di Mander a confinamento costante per il calcestruzzo a cui va aggiunta una analisi in grandi spostamenti (e rotazioni) che tenga conto degli effetti del secondo ordine!! Inoltre, va aggiunto, ad ulteriore complicazione, che lo studio di vulnerabilità degli edifici esistenti richiede di determinare nel modo più accurato possibile la risposta strutturale non solo nei confronti delle azioni in condizione di esercizio, ma anche allo stato limite ultimo e che spesso l'analisi più efficace è la dinamica nonlineare ottenuta applicando almeno sette accelerogrammi spettrocompatibili da selezionare opportunamente. Quindi l'ingegnere strutturista non può, anzi non deve, "fidarsi" in maniera incontrollata dei risultati ottenuti e "affidarsi" ciecamente al software strutturale impiegato ma deve diventare un utilizzatore consapevole, preparato e critico di procedure numeriche sempre più complesse. Ciò significa capace di compiere scelte, secondo criteri scientifici, nel passare dalla struttura reale, al modello numerico attraverso una opportuna discretizzazione del continuo, come schematizzato in Figura 3, fino a giungere alla soluzione finale con le relative relazioni di calcolo.

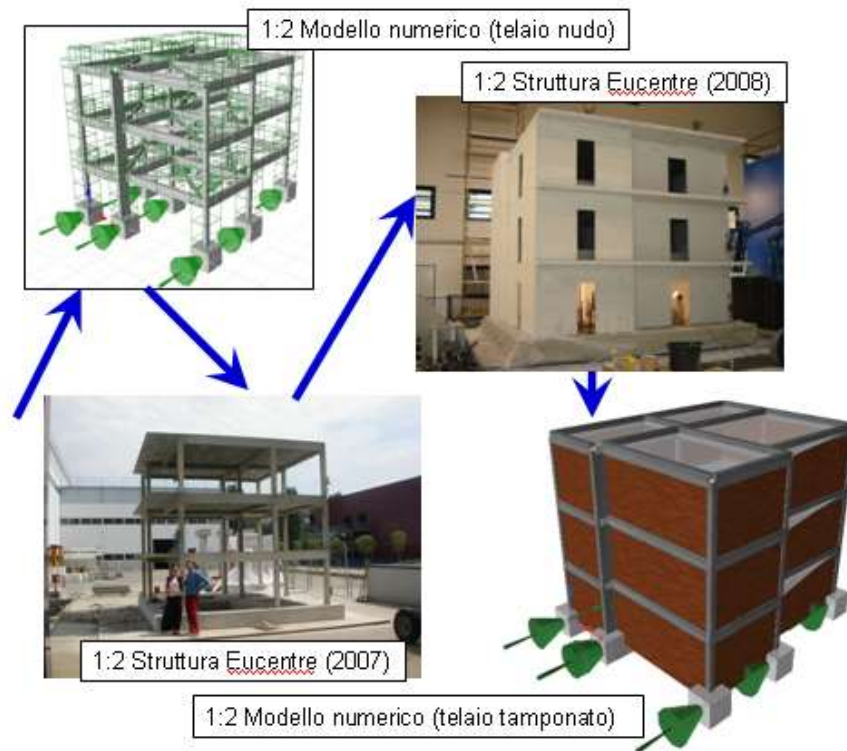


Figura 3 Schema del passaggio tra modello reale e discretizzazione ad elementi fibra per la comparazione/calibrazione con una prova sperimentale svolta in Eucentre (Centro Europeo di Ricerca e Formazione in Ingegneria Sismica a Pavia – [www.eucentre.it](http://www.eucentre.it)).

Durante questi delicati passaggi vengono compiute dal progettista delle scelte, più o meno consapevoli, che introducono nella procedura di analisi approssimazioni ed errori successivi che, se non adeguatamente pesati, controllati e criticamente tenuti in considerazione, portano a risultati molto lontani dalla realtà fisica di partenza. Basti osservare in Figura 4 la differenza nella scelta della matrice di rigidezza iniziale o tangente in rapporto al reale comportamento rilevato sperimentalmente.



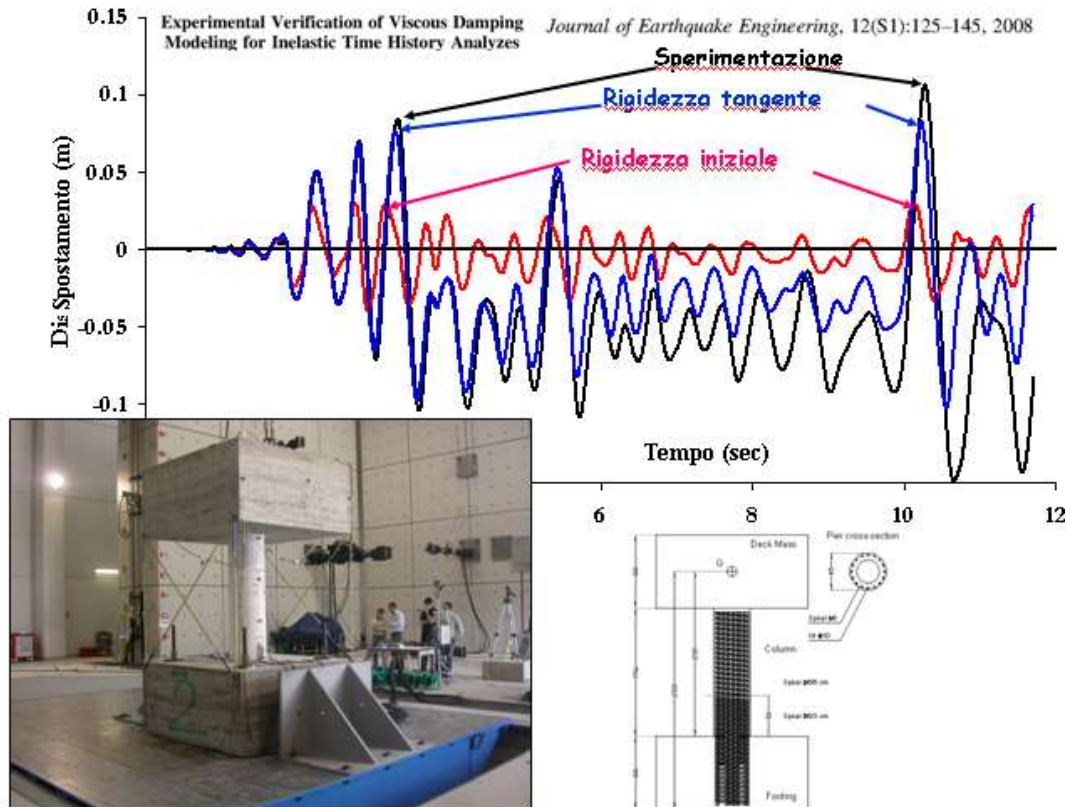


Figura 4 Analisi dinamica non lineare: comparazione tra la prova sperimentale (Eucentre) su tavola vibrante ad un grado di libertà e simulazione numerica.

Nell'idealizzare la struttura reale da progettare attraverso un modello matematico con un opportuno grado di dettaglio il professionista, previa visione accurata di tutto il materiale a disposizione (sezioni, prospetti, rilievi, etc.), deve arrivare a decidere: geometria (bidimensionale o tridimensionale), vincoli, connessioni (elemento di elevata criticità nelle strutture prefabbricate come dimostrato nei passati eventi del 20 e 29 maggio in Emilia), carichi, masse (concentrate o distribuite), orizzontamenti (rigidi o flessibili), eccentricità locali e globali, interazioni con il suolo. Da aggiungere anche una delle approssimazioni maggiori richieste in questa fase: la scelta del materiale come riportato sopra. Nelle nuove costruzioni un modello costitutivo lineare, elastico, isotropo ed omogeneo può essere sufficiente, mentre nel caso di verifica di edifici esistenti la trattazione della non linearità (sia nel materiale e ancora più nella geometria) diventa una richiesta obbligata. Successivamente l'analista numerico deve saper scegliere un approccio alle forze oppure agli spostamenti, considerando che la scelta dell'una o dell'altra alternativa non è assolutamente influente. Basti pensare, nel non lineare, alla scelta di modellare travi e pilastri con elementi a plasticità diffusa (elementi fibra) in forza oppure in spostamento: la discretizzazione (numero di elementi) e l'integrazione delle equazioni risolventi (numero di punti di gauss) condiziona fortemente i risultati.

Come è possibile per il professionista districarsi tra queste innumerevoli scelte senza poi dover rifare innumerevoli volte il modello? Partecipando a corsi di aggiornamento professionali con una propria specificità formativa principalmente rivolta a creare una

figura competente nell'ambito appena descritto (in questa direzione va la formazione richiesta dal CNI con la 251/XVIII Sess. del 16 luglio 2013 in ambito italiano). Quindi una figura professionale con approfondite conoscenze numeriche e teoriche, trasversale ai diversi ambiti dell'ingegneria civile ed esperta di calcolo strutturale mediante l'impiego di differenti software di calcolo. Inoltre, alla centralità del progettista, si devono affiancare Istituzioni e Centri di Ricerca atti a prendersi carico della scrittura di linee guida di supporto al professionista molto simili a quelle prodotte nel 1984, ma tuttora considerabili un caposaldo nel settore, da NAFEMS e intitolate "Guidelines to finite element practice". Tutto ciò, insieme ad una esperienza prolungata sull'argomento, "validerebbe" l'ingegnere, ma questo non basta!! Infatti entra in gioco un nuovo protagonista, che introduce la seconda domanda fatta sopra, ed è proprio lo strumento di calcolo che deve sempre fornire un manuale utente, un manuale di utilizzo, una serie di esempi ed un testo teorico di riferimento, aggiornati, esaustivi, chiari e di immediato impiego. Quindi alla "validazione" del progettista, si devono affiancare, lavorando di concerto, Istituzioni, Centri di Ricerca e in prima battuta software-house che devono avere fra i propri obiettivi la "validazione" dei codici tramite: casi studio analitici in letteratura scientifica, comparazione con altri solutori, ma soprattutto confronti con dati sperimentali che nell'ambito nonlineare sono imprescindibili. Esiste quindi un rapporto stretto e biunivoco tra validazione e sperimentazione, tra software e prove di laboratorio, che dovrebbe avere un obiettivo comune a varie figure coinvolte (ricercatori, progettisti, sviluppatori, professionisti): la scrittura del classico (almeno in ambito anglosassone) manuale di "Verification Report" che dovrebbe diventare un dovere fondamentale di ogni produttore, implementatore e distributore di software. Facili anche i capitoli che dovrebbero contenere: una introduzione, un primo paragrafo di confronto con calcoli a mano tipici della Scienza delle Costruzioni, un secondo capitolo di comparazione con i casi classici presenti in letteratura scientifica (come il telaio di Lee risalente al 1968 oppure la trave inclinata di Williams del 1964) ed infine una sezione di calibrazione con dati sperimentali sia a scala reale che ridotta. In questo modo si arriverebbe ad avere una buona valutazione della stabilità degli algoritmi coinvolti, del condizionamento delle matrici, della robustezza del solver, delle prestazioni richieste, etc.

## 5 CENNI DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Esistono diverse tecniche di rinforzo e miglioramento sismico per edifici esistenti, ognuna progettata per affrontare specifiche vulnerabilità e migliorare la capacità di resistere a eventi sismici. Di seguito sono elencate alcune delle tecniche più comuni:

1. **Incremento della Capacità Portante (Capacity Design):** Questa tecnica prevede il rinforzo degli elementi strutturali in modo che possano sopportare carichi sismici più elevati senza cedimenti. Il concetto è quello di concentrare la deformazione e i danni nelle parti dell'edificio che possono essere facilmente riparate o sostituite.
2. **Isolamento Sismico:** Questa tecnica consiste nell'installare dispositivi sismici tra la fondazione e la struttura dell'edificio. Questi isolatori riducono la trasmissione delle forze sismiche, proteggendo così la struttura e i suoi occupanti.
3. **Rinforzo delle Pareti Strutturali:** Le pareti portanti sono rinforzate con l'aggiunta di materiali come fibre di carbonio, acciaio o rinforzi in calcestruzzo. Questo aiuta a migliorare la resistenza e la duttilità delle pareti.

4. **Rinforzo delle Travi e dei Pilastrini:** Le travi e i pilastrini possono essere rinforzati aggiungendo materiali compositi, piastre di acciaio o altri rinforzi strutturali per aumentare la resistenza e la capacità di assorbire energia.
5. **Interventi di Consolidamento delle Fondazioni:** Migliorare la stabilità delle fondazioni è essenziale. Ciò può comportare il consolidamento del terreno o l'aggiunta di elementi strutturali per migliorare la connessione tra la fondazione e la struttura.
6. **Sistemi di Smorzamento:** L'installazione di dispositivi di smorzamento, come ammortizzatori viscosi o dissipatori di energia, può contribuire molto all'assorbimento dell'energia che la struttura si trova a dover subire.
7. **Interventi su Strutture in Muratura:** Per gli edifici in muratura, le tecniche possono includere l'iniezione di resine per migliorare la coesione, o il rinforzo di angoli e connessioni.

È importante sottolineare che la scelta delle tecniche dipende dalle caratteristiche specifiche dell'edificio, dal tipo di materiale utilizzato nella costruzione, dalla sua geometria e dalla situazione sismica locale. Un approccio olistico, spesso sostenuto da valutazioni di vulnerabilità e analisi strutturali, è essenziale per determinare la strategia più appropriata per il miglioramento sismico di un edificio esistente.

## 6 CONCLUSIONI

Nel complesso, l'analisi della vulnerabilità sismica del patrimonio di edifici esistenti ha rivelato sfide significative, ma è emerso un quadro che offre spazio per ottimismo congiunto a una consapevole attenzione. La comprensione approfondita delle strutture, unita alle moderne tecnologie diagnostiche e alle metodologie avanzate di analisi, ci pone in una posizione privilegiata per affrontare le sfide sismiche.

Il percorso verso la resilienza sismica richiede un impegno continuo nel miglioramento e nel rinforzo strutturale. Tuttavia, il progresso tecnologico, insieme a politiche e normative più consapevoli, offre un terreno fertile per implementare soluzioni efficaci. È fondamentale mantenere una visione proattiva nella gestione del rischio sismico, implementando strategie di rinforzo e aggiornamento che siano adattabili e sostenibili nel tempo.

Mentre guardiamo al futuro con fiducia nelle nostre capacità di mitigare gli effetti sismici, è altrettanto cruciale mantenere l'attenzione e la prontezza. La consapevolezza continua del rischio sismico, insieme a una cultura della sicurezza strutturale, sono fondamentali per proteggere il nostro patrimonio edilizio esistente e garantire ambienti abitativi sicuri e resilienti per le generazioni future.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Belleri, E. Brunesi, R. Nascimbene, M. Pagani, P. Riva – *Seismic performance of precast industrial facilities following major earthquakes in the Italian territory* – Journal of Performance of Constructed Facilities, Open Access Volume 29, Issue 51 October 2015, Article number 04014135.
- [2] Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. British Standards Institute. BS EN 1998-1, London.
- [3] T.M. Abeysiriwardena, K.K. Wijesundara, R. Nascimbene – *Seismic Risk Assessment of Typical Reinforced Concrete Frame School Buildings in Sri Lanka* – Buildings, Open Access Volume 13, Issue 10, October 2023, Article number 2662.
- [4] J.W. Baker – *Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis* – (2015) Earthquake Spectra, 31 (1), pp. 579-599.
- [5] DMLP (1987) Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici. Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 5 dicembre 1987 n.285 (in italian).
- [6] DMLP (1996) Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici del 16 gennaio 1996. Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 5 febbraio 1996, n. 19 (in italian).
- [7] G. Grünthal, European Macroseismic Scale 1998. In: Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 1998, Luxembourg, 99p.