Progetto e-SAFE: riqualificazione sismica ed energetica mediante pannelli prefabbricati in legno

Carola Tardo – Ingegnere edile – Università di Catania; Francesco Boggian - Ingegnere civile - Università di Trento; Gianpiero Evola - Ricercatore (ING-IND/11) - Università di Catania; Giuseppe Margani - Professore ordinario (ICAR/10) – Università di Catania; Edoardo Michele Marino – Professore associato (ICAR/09) – Università di Catania; Roberto Tomasi – Professore ordinario – Norwegian University of Life Sciences.

INCIPIT/ABSTRACT

Il contributo presenta un'innovativa tecnologia di riqualificazione sismica ed energetica, a basso costo e a bassa invasività, applicabile agli edifici intelaiati in cemento armato (c.a.). Il sistema consiste nel rivestire l'involucro esterno dell'edificio mediante pannelli prefabbricati in legno con funzioni strutturali e termoisolanti. La tecnologia è attualmente in fase di sviluppo nell'ambito del progetto Horizon 2020 e-SAFE, coordinato dall'Università degli Studi di Catania.

L'importanza della riqualificazione sismica ed energetica

Nei Paesi Europei a pericolosità sismica medio-alta, gran parte del patrimonio edilizio è altamente vulnerabile ai terremoti e notevolmente energivoro, in quanto realizzato in periodi antecedenti all'entrata in vigore delle più recenti e restrittive normative in campo sismico ed energetico. In Italia, ad esempio, circa 2/3 dell'edilizia residenziale è stato costruito prima dell'emanazione della legge quadro per gli edifici antisismici (L. 64/1974) [1], non tenendo, dunque, in considerazione l'azione sismica in fase di progetto. Oltre l'80% del patrimonio edilizio, invece, è stato realizzato antecedentemente all'entrata in vigore della legge 10/1991, che costituisce la prima norma restrittiva sul contenimento dei consumi energetici degli edifici in Italia. L'elevato fabbisogno energetico di tali edifici è dovuto, pertanto, sia alle scarse prestazioni termiche degli involucri edilizi sia alla scarsa efficienza degli impianti termici adoperati per il raffrescamento estivo e il riscaldamento invernale.
Sulla base di tale premessa, nei Paesi a rischio sismico risulta indispensabile combinare in maniera sinergica interventi di protezione antisismica e di efficientamento energetico. I terremoti, infatti, impongono alla società pesanti tributi in termini di perdita di vite umane, perdite economiche e danni ambientali. Soltanto negli ultimi 50 anni gli eventi sismici verificatisi in Europa hanno causato più di 35000 morti e perdite economiche per oltre 300 miliardi di euro [2].
L'adozione di strategie di riqualificazione combinata è attualmente ostacolata, tuttavia, dai costi eccessivi e dall'elevato livello di invasività dei più comuni interventi di protezione antisismica (ad es. rinforzo degli elementi strutturali, inserimento di pareti in c.a. o controventi in acciaio, ecc.), che spesso comportano notevoli tempi di esecuzione e l'interruzione dell'operatività dell'edificio, con conseguente trasferimento degli abitanti.
Per mitigare tali barriere di natura tecnica ed economica, nell'ambito del progetto e-SAFE (**e**nergy and **S**eismic **AF**fordable r**E**novation solutions - http://esafe-buildings.eu/en/) è attualmente in fase di sviluppo una soluzione tecnologica di riqualificazione integrata – sismica ed energetica – finalizzata a rispondere alle attuali esigenze di economicità, rapidità di posa in opera, bassa invasività e sostenibilità ambientale. Il progetto e-SAFE è stato finanziato dal Programma Europeo Horizon 2020 ed è coordinato dall'Università degli Studi di Catania in collaborazione con 11 partners europei.

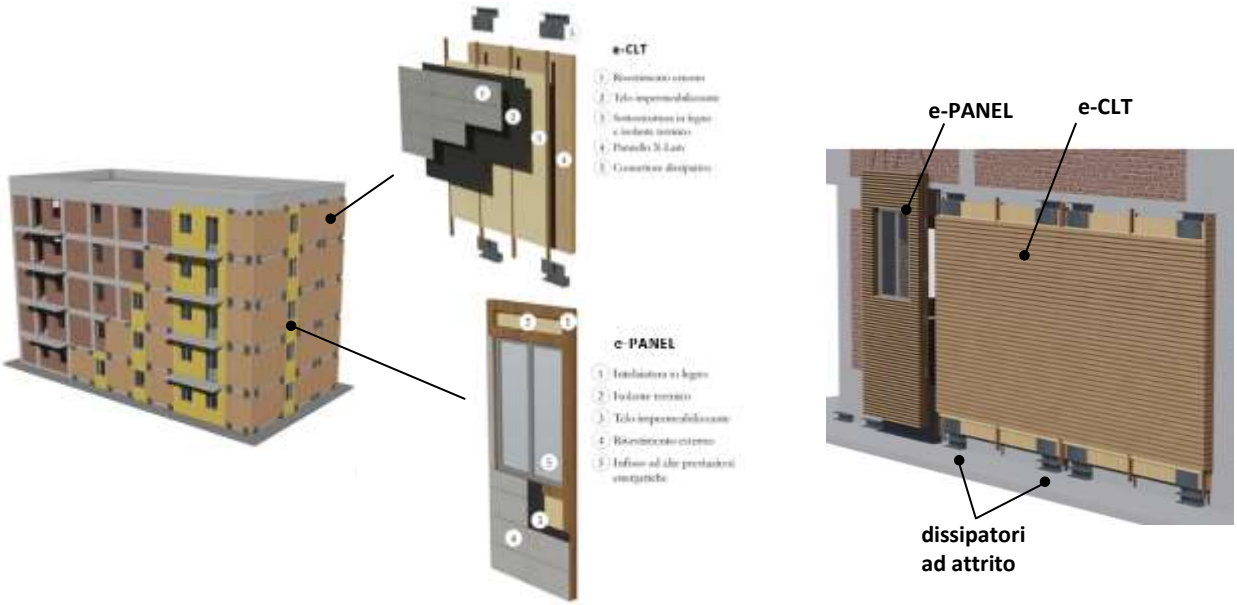
La tecnologia di involucro e-SAFE

I componenti prefabbricati in legno

La tecnologia di retrofit proposta da e-SAFE è applicabile agli edifici con struttura portante intelaiata in c.a. e consiste nel rivestire l'involucro esterno dell'edificio mediante pannelli prefabbricati a base legno finalizzati a ridurne la vulnerabilità sismica ed incrementarne le prestazioni di isolamento termo-acustico (Figura 1a). Nello specifico, la funzione di protezione antisismica è assolta da pannelli di legno lamellare a strati incrociati X-Lam (denominati e-CLT), fissati al telaio strutturale dell'edificio (travi in c.a.) mediante innovativi dissipatori sismici ad attrito. Le notevoli proprietà meccaniche del legno lamellare, unitamente alla sorgente di dissipazione energetica suppletiva, consentono di incrementare la capacità sismica e dissipativa della struttura, riducendone gli spostamenti di piano e contenendone il danneggiamento in caso di terremoti. I pannelli strutturali e-CLT vengono combinati a pannelli intelaiati in legno (denominati e-PANEL) da applicare in corrispondenza delle pareti finestrate e con integrati infissi ad alta efficienza energetica in sostituzione dei serramenti esistenti.

Entrambi i pannelli integrano uno strato di materiali isolanti naturali (quali canapa, sughero, fibra di legno, fibra di cellulosa, lana di pecora, vetro cellulare, ecc.), di spessore opportuno per raggiungere valori di trasmittanza in linea con le normative nazionali, una membrana impermeabile all'acqua ma permeabile al vapore, ed infine lo strato di finitura esterna. Quest'ultimo può essere scelto in fase progettuale sulla base delle richieste degli utenti, contribuendo anche al rinnovamento dell'immagine architettonica dell'edificio.

Il risultato è una nuova pelle sismo-resistente ed energeticamente efficiente per l'edificio, che viene messa in opera esclusivamente dall'esterno. In particolare, la posa in opera del sistema prevede l'installazione dei pannelli e-CLT ed e-PANEL mediante soli mezzi di sollevamento mobili (gru, piattaforme elevatrici, ecc.), procedendo per pannelli attigui dal piano terra all'ultimo piano dell'edificio (Figura 1b) ed evitando, di conseguenza, l'allestimento di ponteggi tradizionali, che aumenterebbero i costi.



(a) (b)

Figura 1 – Il *sistema di involucro e-SAFE: (a) componenti e (b) posa in opera*

Il dissipatore sismico

Il dissipatore sismico ad attrito si compone di due profili in acciaio ed è collegato ai pannelli X-Lam adiacenti alle tamponature di impalcati consecutivi dell'edificio ed alla trave in c.a. di piano (Figura 2). In particolare, uno dei profili è fissato alle travi in c.a. mediante comuni tasselli di ancoraggio mentre l'altro è dotato di fori asolati ed è collegato al primo per mezzo di bulloni a serraggio controllato. Mediante tale configurazione geometrica la dissipazione di energia sismica avviene sfruttando lo scorrimento reciproco dei profili in acciaio che si attiva quando, durante l'evento sismico, la forza trasmessa attraverso la superficie di contatto attinge il valore della forza di attrito mobilitata mediante i bulloni di precarico. Tale modalità di dissipazione permette di ridurre il danneggiamento del dispositivo stesso, garantendone il mantenimento dell'efficienza strutturale anche dopo l'evento sismico ed evitandone, di conseguenza, la sostituzione.

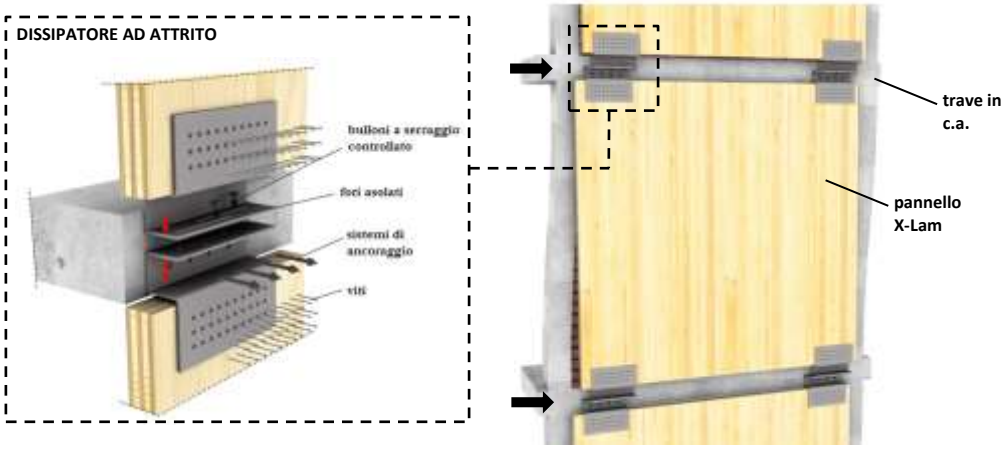


Figura 2 – *Dissipatore ad attrito e funzionamento dello stesso in caso di evento sismico (i pannelli X-Lam sono riportati senza strato isolante e di rivestimento)*

In fase di installazione, il pre-assemblaggio in stabilimento dei profili in acciaio ai pannelli prefabbricati in X-Lam garantisce il rapido fissaggio di questi ultimi al telaio strutturale dell'edificio. I profili in acciaio saranno quindi rivestiti in cantiere tramite elementi termoisolanti con funzione di protezione dagli agenti atmosferici e di interruzione dei ponti termici (Figura 3). Al contempo, la possibilità di rimuovere facilmente il sistema di rivestimento garantisce anche un'agevole ispezione ed eventuale manutenzione dei dissipatori, ad esempio qualora sia necessario il ripristino del precarico dei bulloni dopo l'evento sismico.

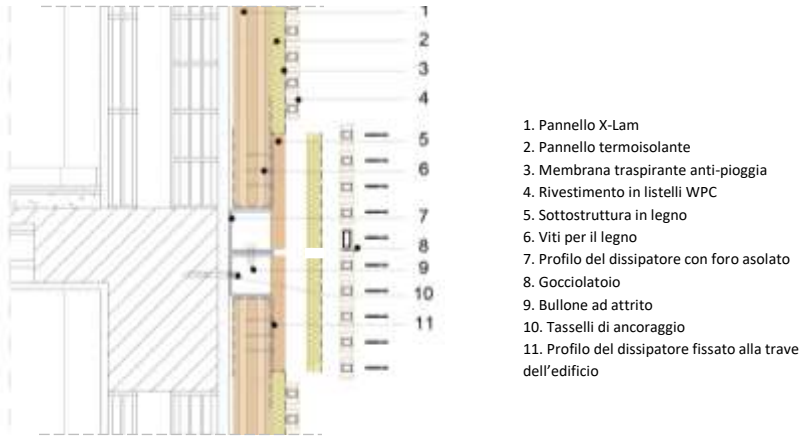


***Figura* 3** – *Rivestimento in sito dei dissipatori sismici mediante fissaggio del materiale isolante e di finitura sulla sottostruttura del pannello e-CLT, appositamente lasciata a vista in fase di prefabbricazione*

Vantaggi del sistema

La tecnologia di involucro e-SAFE consente di superare i principali limiti delle più comuni tecniche di retrofit sismico, nell'ottica di un approccio più sostenibile ed ecocompatibile alla riqualificazione edilizia.

Limiti delle attuali tecniche di retrofit sismico	**Vantaggi della tecnologia di retrofit integrato e-SAFE**
Elevati tempi e costi di esecuzione	L'uso di componenti prefabbricati e la posa in opera a secco dall'esterno dell'edificio consentono di ridurre notevolmente i tempi (≃ 50%) e i costi di esecuzione (≃ 40%), rispetto al caso di adozione combinata delle più comuni tecniche di riqualificazione sismica ed energetica.
Disturbo agli occupanti	L'applicazione dei pannelli prefabbricati all'esterno dell'edificio consente di evitare interventi di demolizione e ricostruzione e di minimizzare il disturbo agli occupanti, evitandone il trasferimento durante i lavori e garantendo il mantenimento dell'operatività dell'edificio.
Utilizzo di materiali con elevato *carbon footprint* (acciaio e calcestruzzo) e mancanza di reversibilità	I materiali impiegati sono prevalentemente a base di legno, materiale bio-ecocompatibile per eccellenza, altamente riciclabile e caratterizzato da un basso *carbon footprint*. Il sistema, inoltre, richiede una posa in opera a secco, con possibilità di demolizione selettiva dei componenti a fine vita e, conseguentemente, di aumento della percentuale dei materiali riciclabili.

Attività in programma e prestazioni attese

Le attività in programma nell'ambito del progetto e-SAFE sono finalizzate allo sviluppo del sistema di retrofit integrato e alla sua applicazione ad un edificio pilota multipiano ubicato nella città di Catania e rappresentativo, per tipologia e sistema costruttivo, degli edifici realizzati in Italia tra il 1950 e il 1980.
Analisi numeriche su sistemi strutturali semplificati (telai in c.a. ad un piano e più campate), con e senza applicazione di pannelli X-Lam e dissipatori ad attrito, hanno dimostrato il potenziale impatto del sistema di retrofit sulla risposta sismica di strutture intelaiate in c.a., in termini di incremento di rigidezza e resistenza laterale nonché di capacità dissipativa [3]. Indagini sperimentali su prototipi del dissipatore ad attrito sono attualmente in corso per ottimizzarne l'efficienza strutturale in termini di prevedibilità della forza di attivazione, ripetibilità di comportamento e capacità di scorrimento [4]. Prove sperimentali su un telaio in c.a. reale sono in programma allo scopo di analizzarne la risposta ciclica allo stato pre- e post-intervento nonché di definire e testare il collegamento tra dissipatore e telaio in c.a. nel rispetto della solidità strutturale e della semplicità esecutiva. Sono in corso di implementazione modelli numerici non lineari di strutture

intelaiate in c.a. equipaggiate con e-CLT calibrati sui risultati delle prove sperimentali. Tali modelli verranno utilizzati per formulare e validare un metodo di progetto per il sistema di riqualificazione sismica in oggetto. In termini energetici, infine, la tecnologia di retrofit e-SAFE permetterà di ridurre di oltre il 60% il fabbisogno energetico annuale per il riscaldamento ed il raffrescamento degli edifici, grazie all'isolamento termico dei pannelli prefabbricati in legno e alla sostituzione dei serramenti esistenti con nuovi infissi più performanti integrati negli e-PANEL e dotati di appositi sistemi di schermatura solare. Ulteriori risparmi sono introdotti dall' installazione di impianti ad elevata efficienza e di moduli fotovoltaici, che non sono però oggetto di questo articolo.

Riferimenti

[1] Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT). Censimento della popolazione e delle abitazioni 2011.

[2] EM-DAT. The International Disaster Database. Disponibile online: https://www.emdat.be/.

[3] F. Barbagallo, G. Margani, E. M. Marino, A. Moretti, C. Tardo. Impact of retrofit of RC frames by CLT panels and friction dampers. COMPDYN 2021 - *8th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering.* Athens, Greece, June 28-30, 2021. https://doi.org/10.7712/120121.8636.18851

[4] C. Tardo; F. Boggian; M. Hatletveit; E.M. Marino; G. Margani; R. Tomasi. Mechanical characterization of energy dissipation devices in retrofit solution of reinforced concrete frames coupled with solid wood panels. *SAHC 2020 – 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions.* Barcelona, Spain, September 29-30 and October 1, 2021.