

Comportamento sismico delle strutture di legno

Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola

Introduzione

L'evento sismico avvenuto in Molise nel 2002 e la tragica circostanza del crollo della scuola a S.Giuliano di Puglia hanno messo in drammatica evidenza la precaria situazione in cui versa l'edilizia scolastica del nostro paese soprattutto nelle regioni del centro-sud, in particolar modo per quel che riguarda la sicurezza nei confronti degli eventi sismici. A seguito del sisma, l'Associazione Nazionale dei Comuni Italiani (ANCI) ha richiesto al governo lo stanziamento di circa 3 miliardi



di Euro necessari per investimenti straordinari che consentissero di risolvere i problemi più urgenti di sicurezza del patrimonio edilizio scolastico del nostro paese.

Dall'altra parte del mondo, in California, un paese noto, fra le altre cose, per essere una delle zone a più alto livello di sismicità in tutto il mondo, sempre nel 2002, il Dipartimento dei Servizi Governativi ha realizzato un'indagine sulla idoneità degli edifici scolastici nei confronti delle azioni sismiche. A seguito dell'inchiesta furono richieste delle ulteriori indagini sugli edifici scolastici realizzati in acciaio, calcestruzzo armato o muratura o sistemi misti realizzati tra il 1933 ed il 1979. Edifici scolastici anche più antichi realizzati con struttura di legno sono stati esclusi dall'indagine sulla base del fatto che *“E' noto che gli edifici a struttura di legno mostrano un buon comportamento nei confronti degli eventi sismici”*.

Perché le strutture di legno sono adatte per realizzare edifici in zona sismica?

È opinione ormai comune e diffusa in paesi caratterizzati da una elevata attività sismica come la California (ma anche in tutto il resto degli Stati Uniti e anche in Canada ed in Giappone) che il legno sia un materiale particolarmente appropriato per realizzare strutture in grado di resistere a terremoti anche di elevata intensità.

Il legno come materiale e le strutture in legno in generale sono naturalmente dotate di alcune caratteristiche intrinseche che ne rendono non solo adatto, ma addirittura consigliabile l'impiego in zona sismica.

Leggerezza

Le strutture in legno, se confrontate con le strutture realizzate con materiali da costruzione quali il calcestruzzo armato e la muratura, sono leggere e pertanto le sollecitazioni indotte dall'azione sismica sono notevolmente inferiori.

Ad esempio il legno massiccio di conifera ha un peso specifico intorno ai 500 kg/m^3 . Questo significa che il rapporto peso specifico/resistenza è simile a quello dell'acciaio ed è 5 volte inferiore a quello del calcestruzzo.

Resistenza

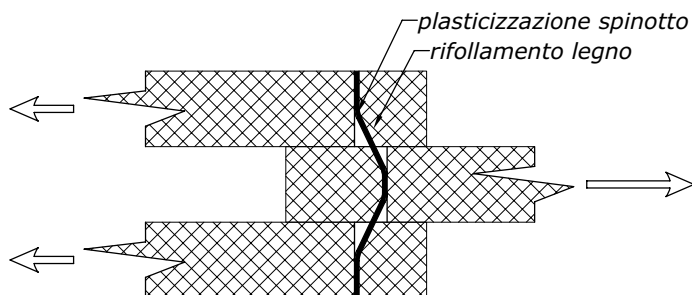
La resistenza del legno in dimensioni strutturali è dello stesso ordine di grandezza di quella del calcestruzzo, ma in più è presente anche a trazione.

Deformabilità

Il valore medio del modulo elastico del legno parallelamente alla fibratura è all'incirca pari a $1/3$ di quello del calcestruzzo.

Il fatto che il legno sia maggiormente deformabile comporta bassi valori di rigidezza e quindi un'alta flessibilità che si può tradurre in un aumento del periodo proprio di oscillazione e, quindi, in una minore suscettibilità della struttura nei confronti dell'azione sismica.

1. Prova ciclica su un giunto



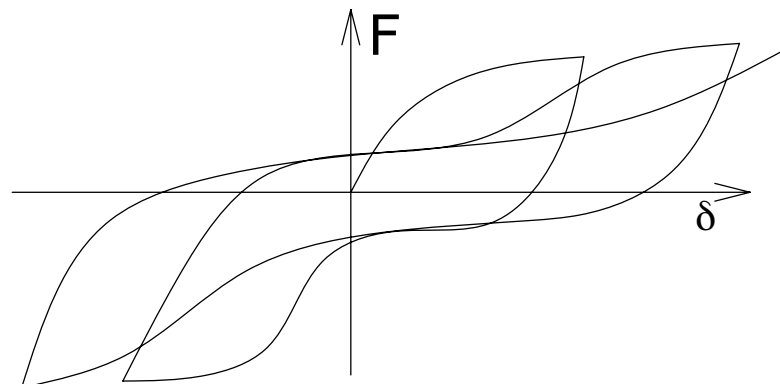
Oltre alle succitate caratteristiche del materiale legno, ottimali nei confronti delle azioni sismiche, ne esiste un'altra che sembrerebbe sconsigliarne l'utilizzo in zona sismica ossia *la fragilità*.

Tutto questo però viene superato nelle strutture in legno attraverso l'utilizzo di elementi meccanici di collegamento, i quali avendo uno spiccato comportamento plastico, permettono il raggiungimento di livelli di duttilità maggiori di 1 per tutto l'organismo strutturale. E questo è particolarmente vero nel caso di edifici per l'edilizia residenziale realizzati con intelaiatura in legno e rivestimento in compensato strutturale o OSB, dove la presenza di migliaia di chiodi che collegano gli elementi portanti di legno massiccio ai pannelli di compensato svolgono un ruolo fondamentale nel raggiungimento del livello di duttilità necessario al buon comportamento dell'edificio sotto l'azione del terremoto.

La situazione normativa in Italia

L'attuale situazione normativa nel nostro paese subisce il lungo periodo di "letargo" in cui è caduta la considerazione per questo materiale da costruzione a favore di altri (cemento armato, acciaio) ritenuti più affidabili.

Per tanti anni nel nostro paese si è sofferto della mancanza di una normativa nazionale sulle strutture di



legno. Questa carenza, parimenti alla tuttora persistente scarsità di corsi universitari, ha limitato fortemente l'utilizzo di questo materiale da costruzione (che tra l'altro caratterizza fortemente il nostro patrimonio architettonico storico, basta alzare gli occhi per osservare splendidi esempi di coperture e solai di legno di diverse centinaia di anni nei nostri edifici monumentali).

Tuttavia, anche inizialmente attraverso l'ostinazione di alcuni tecnici e imprenditori fortemente convinti oltre che della bellezza delle strutture realizzate con questo materiale, anche e soprattutto delle sue ottime caratteristiche meccaniche, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici si è più volte espresso sulla opportunità di utilizzare questo materiale da costruzione nel nostro paese, utilizzando per la progettazione "norme di comprovata validità", ossia norme di paesi in cui c'è una vasta e datata esperienza sull'utilizzo di questo materiale per le costruzioni, e quindi le DIN tedesche o le corrispondenti norme della Svizzera o della Francia, ma anche e soprattutto l'Eurocodice 5, che in pratica rappresenta la "summa" di tutte le norme nazionali dei vari paesi europei.

La battaglia per avere una norma italiana, dopo varie vicissitudini (nel 1999 è stata nominata una commissione per la redazione delle norme italiane, che sono state poi effettivamente prodotte salvo poi finire nel dimenticatoio di qualche cassetto di funzionari del Ministero dei Lavori Pubblici non troppo favorevoli alla loro promulgazione), ha visto finalmente un primo successo il 14 Settembre del 2005 e successivamente il 14 gennaio 2008 con l'uscita della Norme Tecniche sulle Costruzioni che contengono ben tre capitoli dedicati alle strutture di legno: il § 4.4 "Costruzioni di Legno", il § 7.7 "Costruzioni di legno" all'interno del § 7 "Progettazione per azioni sismiche" e il § 11.7 "Materiali e prodotti a base di legno".

Tuttavia l'entusiasmo iniziale è stato fortemente spento dalla lettura di questi tre capitoli. Infatti da soli sono inutilizzabili per il progettista: sono del tutto assenti

(come per tutti gli altri materiali a dire il vero) le formule di calcolo e verifica. È pur vero che esiste un Capitolo 12 "Riferimenti tecnici" che cita come norme di riferimento gli Eurocodici (di fatto nella letteratura tecnica citata l'Eurocodice 5 è l'unico documento applicabile per la progettazione "statica" delle strutture di legno).

La situazione comunque sembra in via di miglioramento. Hanno infatti già superato la fase di inchiesta pubblica le Istruzioni CNR (DT 206/2007 scaricabile dal sito www.cnr.it nella sezione "normazione e certificazione") applicative per le strutture di legno (peraltro già citate in alcuni punti delle Norme Tecniche) che contengono tutte le formule di calcolo e di verifica assenti nelle Norme Tecniche. Le Istruzioni sono state redatte sulla falsariga dell'Eurocodice 5 (e della mai promulgata Normativa Italiana per il Costruzioni di Legno) e costituiscono uno di quei *documenti applicativi* che avrebbero dovuto originariamente corredare le Norme Tecniche. Per quel che riguarda la progettazione nei confronti delle azioni sismiche, la ormai "vecchia" norma sismica nazionale, anche se ancora in vigore (D. M. LL.PP. 16/01/1996 n.11951 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche") ammette tra i sistemi costruttivi gli edifici a "struttura di legno" (punto C.1. Sistemi costruttivi), ma oltre a questo "riconoscimento" (che supera, almeno in termini "letterari" la vecchia e odiosa dicitura "strutture di legname" della Legge n° 64 del 02/02/1974) le indicazioni e prescrizioni per gli edifici costruiti con questo materiale da costruzione sono quasi totalmente assenti, se si eccettua la limitazione sull'altezza massima in funzione del grado di sismicità (punto C.2. Altezza massima dei nuovi edifici; per edifici a struttura di legno, l'altezza massima consentita è 10 m per edifici costruiti in zone con grado di sismicità $S=6$, 7 m per edifici costruiti in zone con grado di sismicità $S=9$ e $S=12$), e il paragrafo dedicato proprio agli edifici con struttura di legno, costituito da un'unica frase, peraltro vaga e carente (punto C.8. Edifici con struttura in legno; "Le costole montanti e

le altre parti costituenti l'organismo statico degli edifici in legno devono essere di regola di un sol pezzo oppure collegate in modo da non avere indebolimenti in corrispondenza delle giunzioni.”). Manca totalmente qualsiasi riferimento al sistema costruttivo utilizzato, alle tipologie dei giunti e degli orizzontamenti.

Tutto questo ha portato in passato quei pochi progettisti che hanno utilizzato questo materiale da costruzione in zona sismica, a trovare difficoltà se non addirittura in taluni casi vera e propria diffidenza, da parte dei tecnici dei vari Uffici del Genio Civile (o Uffici Regionali per la Tutela del Territorio, secondo la dicitura attuale), che solo in rari casi non si sono “trincerati” dietro l'evidente carenza di indicazioni da parte del succitato D.M.

Un sensibile miglioramento si è avuto con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 e soprattutto con il suo aggiornamento n. 3431 del 3 maggio 2005 che sia nei principi fondamentali che nelle indicazioni progettuali per le varie tipologie di strutture trae larga ispirazione dall'Eurocodice 8.

Nell'Allegato 2 “Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici”, oltre alla conferma tra i sistemi costruttivi gli edifici a “struttura di legno” (tab. 4.1 punto 9 Sistemi costruttivi), si trova la tabella sulle limitazioni delle altezze massime in funzione della zona sismica (tab. 4.2. *Altezza massima dei nuovi edifici*) che è sostanzialmente identica a quella riportata dal precedente decreto del 1996, se si eccettua l'introduzione della zona 4.

Continuano in Italia a permanere ingiustificati motivi di diffidenza verso l'affidabilità del legno come materiale da costruzione in zona sismica. La tecnica delle

costruzioni di legno, la conoscenza del legno strutturale e le ricerche effettuate in questo campo anche e soprattutto nel nostro paese hanno fatto passi da gigante negli ultimi decenni. Le moderne tecnologie costruttive sviluppatesi in Europa e nel mondo permettono, ad esempio, a paesi a forte sismicità di autorizzare la costruzione di edifici di legno a molti piani.

Subito dopo la tabella sulle limitazioni di altezza viene specificato:

Per le costruzioni in legno è ammessa la costruzione di uno zoccolo in calcestruzzo o in muratura, di altezza non superiore a 4 m, nel qual caso i limiti indicati si riferiscono alla sola parte di legno. I limiti indicati non si riferiscono a strutture interamente realizzate in legno lamellare (con fondazioni in calcestruzzo e collegamenti in acciaio), per le quali non è prevista alcuna limitazione in altezza.

Secondo l'interpretazione più accettata, le strutture di legno lamellare richiamate sono quelle utilizzate per le coperture di grande luce, realizzate con archi, travi reticolari o strutture geodetiche e scelte principalmente per la copertura di impianti sportivi o di grandi spazi multifunzionali.

Ma la novità più importante è apportata dall'Ordinanza 3431/05 di aggiornamento della 3274 con l'introduzione del Capitolo 9 “Edifici con struttura di legno” che non è altro che la traduzione del corrispondente Capitolo dell'Eurocodice 8. Questo capitolo, che va a colmare un vuoto presente per troppi anni nel nostro panorama normativo, contiene indicazioni dettagliate sulle tipologie costruttive ammesse e sul valore del corrispondente “fattore di struttura” ossia qual coefficiente che va a dividere il valore delle forze sismiche di progetto ottenute da una analisi elastica per tenere in considerazione l'effettivo comportamento duttile e dissipativo in fase post-elastica in funzione della tipologia costruttiva appunto e della conformazione dei giunti.

Si trovano inoltre riferimenti sulle regole di duttilità, indicazioni costruttive per i giunti e gli orizzontamenti e i valori dei coefficienti di sicurezza da adottare nel

Tab. 1. La tabella 4.2. delle limitazioni delle altezze massime in funzione della zona sismica

Zona sismica	4	3	2	1
Sistema costruttivo	Altezza massima (m)			
Edifici con struttura in legno	nessuna limitazione	10	7	7



2. Struttura interamente realizzata di legno lamellare incollato con fondazioni di calcestruzzo e collegamenti di acciaio (Palasport di Livorno, realizzazione Holzbau)

caso di verifica in combinazione di carico sismica. Tuttavia la maggior parte delle indicazioni progettuali e costruttive sono riferite a edifici realizzati con il sistema Platform Frame, attualmente il sistema costruttivo

a struttura di legno più conosciuto e più utilizzato al mondo per la realizzazione di edifici residenziali, anche multipiano. C'è pertanto l'esigenza di "migliorare" queste istruzioni con l'introduzione di valori di calcolo e indicazioni progettuali anche per nuovi sistemi costruttivi a struttura di legno che esistono e si stanno progressivamente diffondendo in tutto il mondo e anche nel nostro paese e per i quali si sta producendo recentemente un discreta mole di dati sperimentali di ricerche effettuate.

Lo stesso capitolo è stato integralmente riproposto nel § 7.7 del DM 14/01/2008 nel quale peraltro è presente una importante novità. Nel § 7.2.2. "Caratteristiche generali delle costruzioni" al sottoparagrafo "Altezza massima dei nuovi edifici" viene specificato:

Per le tipologie strutturali: costruzioni di legno e di muratura non armata che non accedono alle riserve anelastiche delle strutture, ricadenti in zona 1, è fissata una altezza massima pari a due piani dal piano di campagna, ovvero dal ciglio della strada. Il solaio di copertura del secondo piano non può essere calpestio di volume abitabile.

Per le altre zone l'altezza massima degli edifici deve essere opportunamente limitata, in funzione delle loro



A proposito delle limitazioni sulle altezze, è evidente che sono frutto di una scarsa "confidenza" da parte del normatore nel legno come materiale strutturale capace di resistere alle azioni sismiche. Eppure che questo sia un errore evidente è testimoniato dal fatto che in un paese caratterizzato da eventi sismici di intensità ben superiore rispetto a quelli che si verificano nel nostro paese come il Giappone, non esiste alcuna limitazione d'altezza in zona sismica per gli edifici a struttura di legno. E come potrebbe essere altrimenti in un paese dove esistono splendidi esempi di architetture interamente a struttura di legno quali le pagode, alcune delle quali raggiungono i 50 m d'altezza e le centinaia d'anni di vita, che sono arrivate intatte fino ai nostri giorni?

Nella foto la Pagoda di Horiu-ji a Nara, oltre 30m di altezza, costruita circa 1.400 anni fa.



capacità deformative e dissipative e della classificazione sismica del territorio.

Per le altre tipologie strutturali (cemento armato, acciaio, etc) l'altezza massima è determinata unicamente dalle capacità resistenti e deformative della struttura.

Ossia scompaiono finalmente le limitazioni sulle altezze presenti nell'Ordinanza e nel DM del 1996 almeno per le strutture in classe di duttilità alta, anche se permane comunque una distinzione fra edifici a struttura di legno e edifici realizzati in cemento armato e acciaio.

Criteri generali di progettazione in zona sismica secondo l'Eurocodice 8

L'attitudine di una struttura a sviluppare deformazioni plastiche nei suoi elementi strutturali e di dissipare energia senza arrivare alla rottura è una parte essenziale della sua capacità di resistere alle azioni sismiche. Questo è vero per tutti i tipi di strutture ma lo è in particolar modo per le strutture in legno. Come detto in precedenza infatti, un elemento strutturale di legno ha un comportamento lineare elastico sino alla rottura, e sotto l'effetto di un carico ciclico mostra un comportamento spiccatamente fragile, sia per effetto dei difetti naturali di cui è dotato, come i nodi, e sia perché non c'è alcuna dissipazione di energia, ad eccezione di alcune zone con compressione ortogonale alla fibratura.

I giunti incollati hanno anche loro un comportamento elastico, e non contribuiscono né al comportamento plastico della struttura né alla dissipazione di energia. Ciò significa che le strutture in legno composte da giunti incollati ed elementi assemblati con vincoli perfetti, per esempio, debbano essere considerate come strutture non dissipative, senza nessun qualsivoglia comportamento plastico. Comunque un comportamento duttile e la capacità di dissipare energia possono essere raggiunti con le connessioni fra gli elementi strutturali se queste sono "semi-rigide" (come è il caso

di molte connessioni meccaniche) invece che "rigide" (come le connessioni incollate). Un progetto adeguato dei giunti con connettori meccanici (chiodi, spinotti, bulloni) consente di ottenere uno spiccato comportamento plastico.

La progettazione antisismica, come suggerito dall'Eurocodice 8, prevede che le strutture debbano essere concepite secondo il "Criterio della gerarchia delle resistenze", ossia occorre prevedere che gli elementi strutturali a comportamento plastico raggiungano lo stato post-elastico quando gli elementi a comportamento fragile sono ancora in fase elastica e ben lontani dal raggiungimento della rottura. Questo significa che nelle strutture in acciaio ad esempio, i giunti saldati vengano progettati in modo da essere molto più resistenti delle aste (avendo le saldature un comportamento fragile). La funzione dissipativa, essendo insita nelle caratteristiche del materiale, verrà svolta dalle parti di struttura non interessate dalle saldature. Nel C.A. invece, tale comportamento si ottiene progettando le sezioni con una opportuna staffatura, in modo tale da evitare la rottura a taglio che è sempre una rottura fragile. Nel caso delle strutture in legno tale criterio viene perseguito progettando adeguatamente i giunti con connettori meccanici, avendo ovviamente cura nel rendere gli elementi di legno più resistenti dei giunti (esattamente l'opposto quindi del criterio seguito nella progettazione delle strutture in acciaio).

Della duttilità si tiene conto nella progettazione attraverso l'introduzione del *fattore di struttura* q (o R per le norme canadesi), che consente di ridurre lo spettro di risposta per ottenere lo spettro di progetto da utilizzare nella analisi lineare. Il fattore di struttura è definibile come *il rapporto fra l'accelerazione di picco del terremoto che porta al crollo la struttura e l'accelerazione di picco che porta la struttura al raggiungimento del limite elastico.*

In pratica attraverso l'introduzione del fattore di struttura q , che tiene conto della capacità di dissipa-

zione di energia della struttura attraverso un comportamento duttile, si consente al progettista di progettare la struttura in campo lineare tenendo conto dell'effettivo comportamento non lineare, semplicemente dividendo le ordinate dello spettro di risposta per il valore di questo coefficiente. I valori del fattore di struttura sono ovviamente diversi in funzione del tipo di materiale utilizzato, delle caratteristiche dei giunti e del tipo di struttura. Ovviamente nel caso di strutture poco dissipative tale valore è pari a 1,5 (in realtà a rigore di ragionamento dovrebbe essere 1, ma nella versione attuale dell'Eurocodice 8 tale valore minimo del fattore di struttura è stato portato appunto a 1,5 per tenere conto del contributo dissipativo favorevole dato dalla presenza di strutture secondarie).

L'Eurocodice 8 nella parte riferita alle strutture di legno ci viene incontro nell'identificazione del corretto

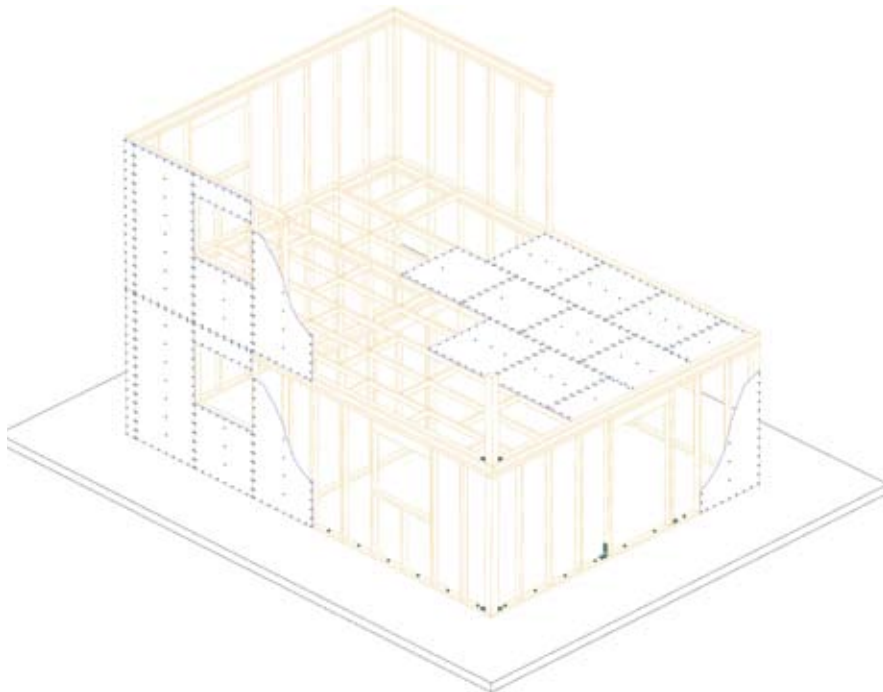
valore del fattore di struttura da adottare in funzione del sistema costruttivo adottato e del tipo di giunti che lo compongono definendo appunto le tipologie strutturali ammesse ed il corrispondente valore del fattore di struttura q .

Ad esempio le strutture realizzate con pareti intelaiate, dove il rivestimento di pannelli a base di legno è meccanicamente collegato alla struttura intelaiata (chiodato) costituendo elementi parete in grado di sopportare azioni di tipo orizzontale (sistema Platform-frame largamente utilizzato negli Stati Uniti ed in Canada) sono considerate *Strutture con buon comportamento dissipativo*: $\Rightarrow q=5$

Non si tratta di un sistema prefabbricato ma di un sistema costruttivo ben codificato ed adattabile ad ogni esigenza estetico/architettonica. Il sistema Platform Frame deriva dal più antico sistema Balloon Frame (che è sostanzialmente identico al primo, con l'unica differenza che le pareti nel sistema Balloon hanno l'altezza di due piani anziché di uno) che è nato nell'America Settentrionale all'epoca della colonizzazione del continente da parte dei pionieri provenienti dal continente europeo. La larga disponibilità di materia prima, la necessità di costruire insediamenti residenziali in breve tempo, la carenza di mano d'opera specializzata, lo sviluppo dei primi processi di industrializzazione, diede origine ad un sistema semplice e di facile realizzazione che costituì il primo sistema industrializzato nella storia dell'edilizia. La sua semplicità ed efficacia hanno fatto sì che questo sistema si diffondesse occupando oggi la quasi totalità del mercato dell'edilizia residenziale nel continente nordamericano e una quota sempre più interessante dello stesso mercato in tutto il resto del mondo. Con questo sistema è possibile realizzare sia casette mono o bifamiliari a uno o due piani sia addirittura edifici condominiali fino a quattro piani di altezza.

L'attitudine di questa tipologia di edifici a manifestare una eccellente resistenza nei confronti delle azioni sismiche è testimoniata, oltre che dall'ottimo compor-

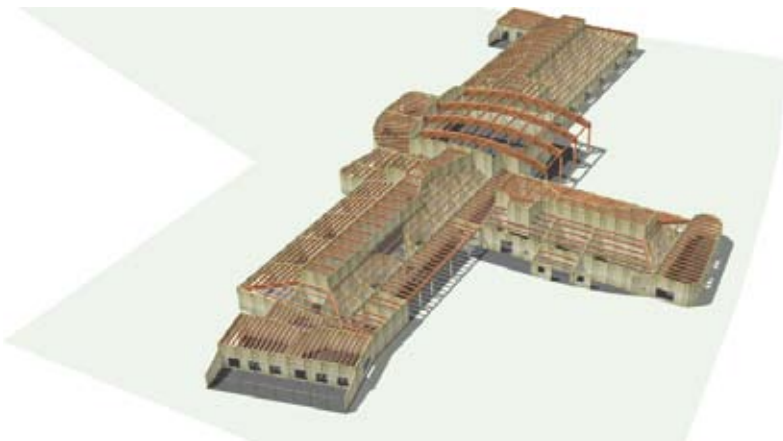
4. Sistema costruttivo Platform frame





5. Prova su tavola vibrante su edifici a struttura di legno effettuata presso la tavola vibrante E-Defence del National Institute for Earth Science and Disaster prevention, Miki (Kobe, Giappone), Novembre 2005

6. Progetto di complesso scolastico polifunzionale interamente a struttura di legno



tamento a seguito di eventi sismici particolarmente severi avvenuti nel recente passato (basti ricordare il terremoto di Kobe del 1995, uno dei più severi registrati negli ultimi anni, a seguito del quale per edifici a 1-2 piani realizzati con questo sistema costruttivo non si sono verificati crolli e addirittura nell'80% dei casi neanche danni rilevanti), anche dai risultati di prove sperimentali cicliche e sismiche sia su elementi strutturali (ad esempio pareti caricate sottoposte a prove cicliche), che su edifici interi.

Queste ultime, ossia le cosiddette prove su tavola vibrante¹, consentono oltre che di verificare l'effettiva resistenza di un dato edificio nei confronti di un evento sismico reale, anche di fornire dati indispensabili per la messa a punto di modelli matematici che consentano di poter effettuare delle più economiche simulazioni numeriche.

Conclusioni

In generale le strutture di legno possiedono un ottimo comportamento nei confronti delle azioni sismiche, sia per merito delle caratteristiche peculiari del materiale in se, sia per le caratteristiche di duttilità delle unioni meccaniche in dipendenza del sistema costruttivo. Questo a patto che si ponga la dovuta attenzione nella progettazione e realizzazione dei necessari particolari costruttivi, al fine di garantire la trasmissione degli sforzi derivanti dall'azione sismica all'intero organismo strutturale dalle fondazioni al tetto e viceversa, e che venga assicurata una sufficiente riserva di resistenza (duttilità e dissipazione di energia). Le normative e l'esperienza passata possono dare le linee guida per una appropriata progettazione, ma il progettista ha sempre l'obbligo di non assecondare tali indicazioni in maniera acritica e di trovare le giuste soluzioni per ogni tipo di problema che si trovi ad affrontare.

Si potrebbe aggiungere in conclusione che, almeno per il futuro, è auspicabile che anziché dover spendere

tre miliardi di Euro per la messa in sicurezza di edifici scolastici realizzati con materiali e tecniche “tradizionali” ma non sempre sicure, basterebbe promuovere nel nostro paese, anche e soprattutto a seguito dell’uscita di una norma relativa alla progettazione di strutture di legno, lo sviluppo di progetti e realizzazioni che prevedano l’utilizzo del legno come materiale strutturale e non solamente di rivestimento o abbellimento, facendo tesoro dell’esperienza di altri paesi il cui territorio è caratterizzato da eventi sismici di intensità ben maggiore di quelli che si verificano in Italia, e dove forse un terremoto come quello che ha colpito il Molise non avrebbe causato un evento di tale tragicità.

Note

1. Piattaforme mobili di grandi dimensioni, movimentate da un sistema di pistoni idraulici, sopra le quali è possibile costruire un modello ridotto o in scala reale di un edificio da sottoporre alla registrazione di un terremoto reale. Naturalmente queste piattaforme hanno una portata massima in termini di massa movimentabile, cosa che costringe, nel caso di prove su edifici di c.a. o muratura a realizzare dei modelli in scala ridotta. Per gli edifici di legno, a causa delle masse ridotte in gioco, è quasi sempre possibile effettuare delle prove su modelli in scala reale.

Per saperne di più

CECCOTTI A., FOLLESA M., LAURIOLA M.P., *Le strutture di legno in zona sismica. Criteri e regole per la progettazione e il restauro*, II ed., Torino, CLUT, 2007.

J.H. RAINER, X. LU, C. NI, H. CHENG, M. FOLLESA, E. KARACABEYLI, “Research program on the seismic resistance of conventional wood-frame construction”, 8th National Conference on Earthquake Engineering (NCEE), San Francisco, 2006.

A. CECCOTTI, M. FOLLESA, N. KAWAI, M.P. LAURIOLA, C. MINOWA, C. SANDHAAS, M. YASUMURA, “Which Seismic Behaviour Factor for Multi-Storey Buildings made of Cross-Laminated Wooden Panels?”, Proceedings of 39th CIB W18 Meeting, Firenze 2006, paper n. 39-15-4.

A. CECCOTTI, M. FOLLESA, E. KARACABEYLI, “3D seismic analysis of multi-storey wood frame constructions”, Atti del World Con-

ference on Timber Engineering, Whistler Resort, BC, Canada, 2000.

A. CECCOTTI, M. LAURIOLA, A. VIGNOLI, “About the seismic resistance of the Hamar Hall”, Atti dell’International Timber Engineering Conference, New Orleans, USA, 1996.