



# Il Terremoto

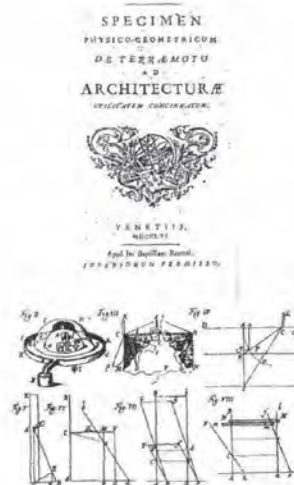
## e le Costruzioni in Legno

### IL RICORDO DEL TERREMOTO DEVE MANTENERSI NELLA MEMORIA COLLETTIVA

Nel 1986 Franco Laner ed io pubblicammo un libro dal titolo *I secoli bui del terremoto*, per "i tipi" di Franco Angeli, Milano, approfondimento e sviluppo di un precedente testo, *Terremoto ed Architettura. Il trattato di Eusebio Sguario e la sismologia nel 700*, edito dalla Cluva, Venezia, 1983, due saggi scritti ancora sotto l'influenza e l'emozione generata dai terremoti del Friuli e dell'Irpinia. Negli anni Ottanta lamentavamo la "scarsa memoria" del terremoto che la coscienza collettiva, con il passare degli anni, tende a relegare nei meandri più oscuri della memoria, tranne che per le popolazioni direttamente colpite. Come noto il terremoto rovinoso (non l'attività minore) è un fenomeno che si presenta e ripresenta, per buona sorte, dopo svariati anni, a volte decenni e perfino secoli, ma si

presenta e si presenterà sempre; ciononostante ancor oggi quando colpisce lascia tutti sgomenti e sprovvoluti, nonostante i pregevoli miglioramenti conseguiti, in questi anni, dalla Protezione Civile, dai Vigili del Fuoco e dalle Forze

dell'Ordine in genere. Molto è stato fatto, ma ancora molto rimane da fare, sia nell'addestramento della cittadinanza alla catastrofe, sia nell'ambito dell'adeguamento sismico del patrimonio edilizio esistente. Nella cultura classica non pochi filosofi si interessarono alla questione sismica ma solo ad iniziare dal Settecento si è passati, lentamente, da una visione empirica delle costruzioni antisismiche ad un atteggiamento scientifico della questione al punto che, dopo secoli, l'attuale scienza del costruire ha ormai ben chiaro come si debbano costruire edifici antisismici. Rimane la questione dell'adeguamento dell'esistente, operazione assai delicata e, soprattutto, finanziariamente molto onerosa. A tutto questo va aggiunto che, spesso, passando dalla teoria alla pratica è possibile incorrerne in alcuni "incidenti



di percorso" dovuti alla "non conoscenza", alla superficialità e, a volte, alla malafede. Armature non perfettamente disposte, getti di calcestruzzo non a regola d'arte, sottodimensionamenti, mancanza di bullonature, etc.; "l'errore umano" (di varia natura come prima ricordato) è sempre in agguato e si dimostra drammaticamente nel momento della catastrofe. Le costruzioni in legno non fanno eccezione; non bastano buone intenzioni e corretti progetti ma è, ovviamente, indispensabile l'altrettanto corretta esecuzione. A volte osservando alcune nuove realizzazioni in legno, teoricamente corrette, mi domando se non si possa fare di più, aggiungere maggiori connessioni, aumentare lo spessore delle pareti portanti, irrigidire maggiormente la struttura con pareti interne a taglio, etc. Benchè il legno, per la sua ridotta massa volumica, sia molto efficace per le costruzioni antisismiche - come osservavo diciotto anni or sono in un articolo intitolato "Costruzioni in legno e terremoti" (*Recuperare*, n. 8, anno 10, ottobre 1991) - ciononostante "da solo" non è sufficiente per risolvere la

Neila pagina a fianco: *drammatica quanto celebre immagine del terremoto dell'Alaska del 1964; in primo piano edifici in legno rimasti "in piedi" nonostante i cedimenti del terreno, nello sfondo edifici in calcestruzzo armato collassati. Frontespizio e tavola finale del testo di Eusebio Sguario, Specimen Physico-Geometricum de Terraemotu ad Architectura Utilitatem Concinnatum, Venezia, 1756; si tratta di uno dei primi trattati sulle costruzioni antisismiche; il metodo proposto da Sguario appare corretto, l'analisi dinamica, anche se i risultati sono incerti.*

In pagina dall'alto: Eusebio Sguario, *Specimen Physico-Geometricum de Terraemotu ad Architectura Utilitatem Concinnatum, Venezia, 1756, "genesì" del maremoto. Immagine fantastica di un terremoto cinquecentesco. Risultati di sperimentazione svolte nel 1946 dal U.S. Forest Products Laboratory inerente a pannelli lignei (con rivestimento o senza) sottoposto a taglio; da D. J. Dowrick, 1981*



questione della sicurezza sismica. In quell'articolo del 1991, fra varie questioni, proponevo la rilettura di una tabella di risultati di sperimentazione svolte nel 1946 dal U.S. Forest Products Laboratory in cui si confrontava l'efficienza sismica di vari tipi di

pareti in legno. All'epoca non erano ancora diffusi gli attuali pannelli X-Lam, con chiodature oppure con cavicchi in legno, tipo il sistema Thoma Holz, ma è significativo che dopo Seconda Guerra Mondiale, la ricerca statunitense si occupasse di costruzioni antisismiche in

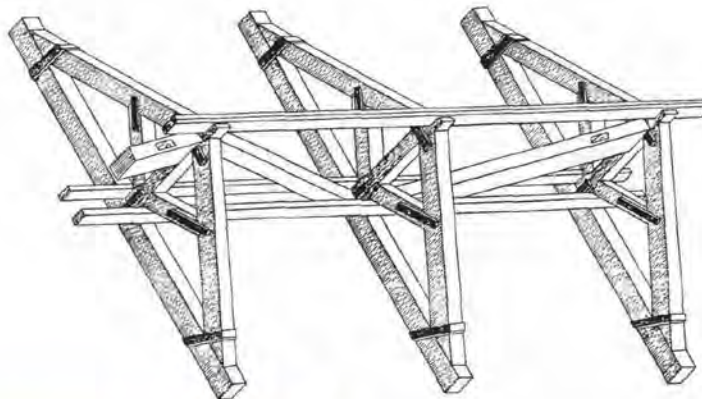
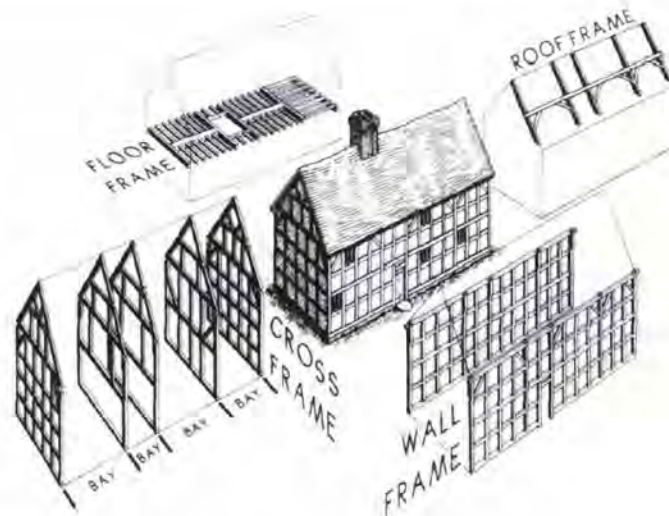
Effetto del rivestimento (senza aperture)	Rigidità relativa	Resistenza relativa	Effetto del rivestimento (con aperture di porte e di finestra)	Rigidità relativa	Resistenza relativa	Effetto del controvento	Rigidità relativa	Resistenza relativa
A 2 Chiodi da 8d per ogni incrocio col montante	1.0	1.0	A Chiodi da 8d per ogni incrocio col montante	1.0	1.0	B 2 Chiodi da 8d per ogni incrocio col montante. Controventi a spine da 2x4 pollici	1.3	1.1
B 2 chiodi da 8d per ogni incrocio col montante	4.5	8	B 2 Chiodi da 8d per ogni incrocio col montante	0.7	0.8	C 2 chiodi da 8d per ogni incrocio col montante. Controventi inseriti da 1x4 pollici	1.6	1.4
C Chiodi da 8d spaziati di 3 pollici sui bordi verticali, 6 pollici sui montanti intermedi, 5 1/2 pollici sulle lastre	3.0	3.8	C 2 Chiodi da 8d per ogni incrocio col montante	1.4	4.0	D 2 chiodi da 8d per ogni incrocio col montante. Controventi innestati da 2x4 pollici	2.8	3.6
D Chiodi da 8d spaziati di 6 pollici su tutti i bordi del compensato, 12 pollici sui montanti int.	4.8	9	D 2 Chiodi da 8d per ogni incrocio col montante	1.0	1.3	E 2 chiodi da 8d per ogni incrocio col montante. Controventi innestati da 1x4 pollici	4.2	3.0
E Incollato al telaio	24	3	E Chiodi da 8d spaziati di 3 pollici su tutti i bordi verticali, 6 pollici sui montanti intermedi, 5 1/2 pollici sulle lastre. Pannello di fibra segato per le aperture	1.0	1.6	F 2 chiodi da 8d per ogni incrocio col montante. Controventi innestati da 1x4 pollici aperture di porte e di finestra	1.9	2.2
F Chiodi da 6d spaziati di 5 pollici su tutti i bordi del compensato, 10 pollici sui montanti int.	4.2	5.2	F Inchiodatura come sopra - Pannelli di fibre usati come rivestimento continuo con trasversino per inchiodatura sopra e sotto le aperture	1.8	3.1	G Due strisce inchiodate ai montanti con un chiodo per montante. Il rivestimento copre le strisce	2.1	1.5
G Chiodi da 8d spaziati di 3 1/2 pollici su tutti i bordi del compensato, 6 pollici sui montanti intermedi	5.9	7.0	G Chiodi da 6d spaziati di 5 pollici su tutti i bordi del compensato e 10 pollici sui montanti intermedi	2.0	2.8	H Due strisce inchiodate con due chiodi per tavola. Strisce esterne al rivestimento	1.9	1.4
H Incollato al telaio	14.4	8.6	H Incollato al telaio	3.7	4.0	I Sette strisce inchiodate al rivestimento con due chiodi per tavola. Strisce esterne al rivestimento	3.3	2.8
						J Due strisce ed ogni angolo inchiodate al rivestimento con due chiodi per tavola	1.4	1.3

a. Effetto del rivestimento su pareti a telaio senza aperture. A e B, legno da 1 x 6 pollici, C, pannelli di fibra da 25/32 pollici, D e E, compensato da 5/8 pollici, F, G e H, compensato da 1/4 pollici.

b. Effetto del rivestimento su pareti a telaio con aperture di porte e di finestra. A, B, C e D, legname da 1 x 8 pollici, E e F, pannelli di fibra da 25/32 pollici; G e H, compensato da 1/4 pollici.

c. Influenza della controventatura sulla rigidità e sulla resistenza di pareti a telaio rivestite di tavola da 1 x 8 pollici, con e senza aperture di porte e finestra. Il controvento innestato offre i risultati migliori.

legno, a pannelli, ponendole a confronto con quelle a telaio tipo "ballon frame" e a quelle con pannelli di legno multistrato, evidenziando le peculiarità sismiche delle costruzioni in legno. Ma la tradizione delle "case antisismiche in legno" è molto più antica; per esempio, dopo il terremoto di Ferrara del 1570, Lucio Maggio pubblicò il trattato *Del terremoto*, in cui affermava: "Harei chiaro similmente di sapere se venendo il terremoto vi è rimedio alcuno... È anco assai sicuro habitare in campagna ne tuguri di legnami sottilissimi, perchè cadendo, non possono nuocere... e così fece... Papa Bonifacio VIII, nel MCCLXXXVIII che ritrovandosi a Rieti e venendo terremoto grandissimo... il Papa se ne andò in campagna dove fece fare una casetta di legname sottilissimo... e così fece Theodosio secondo imperatore". L'idea di fondo era la *contrapposizione fra il crollo di pesanti quanto massicci edifici in muratura rispetto a quelli "di legnami"*; per quanto ingenua questa concezione poneva in primo piano la comprensione della principale caratteristica del legno: la contenuta massa volumica. *La Relazione del terribilissimo terremoto nella città di Ispluch...*, edita a Venezia nel 1690, riferita al terremoto di Innsbruck in Austria, conferma la fiducia nelle costruzioni in legno; infatti, nella relazione leggiamo che "a così spaventoso accidente fuggirono la Maestà della Regina, il Serenissimo Duca e li due Principini immediatamente nel Palazzo di Legno che essendo senza fondamenti non è soggetto alli colpi di terremoto"; asserzione riferita alla leggendaria idea di separare l'edificio dal terreno, come si fa oggi con gli isolatori sismici. L'osservazione diretta dei danni e la, purtroppo, lunga tradizione sismica italiana faceva osservare nel Cinquecento, per



Dall'alto: Scomposizione struttura portante edificio medioevale europeo in legno, da R. Harris, 1993; questo tipo di edifici ha dimostrato secolari capacità di resistenza sismica per la concezione strutturale tridimensionale ben controventata. Copertura a capriate controventate ortogonalmente per migliorare la resistenza sismica complessiva della copertura, proposte ai primi del Novecento. Edificio rurale in zona sismica e franosa prealpina veneta; il sistema costruttivo rispecchia i suggerimenti di Leonardo da Vinci: trave che attraversa la muratura sostenuta da un elemento di ripartizione del carico e "arpese" di collegamento alla muratura

esempio a Jacopo Antonio Buoni (*Del terremoto*, 1570) che: "i volti nel terremoto sono manco sicuri che le stanze sostenute da travi", precetto derivato dall'osservazione che l'arco in muratura, senza catene o senza adeguate spalle, collassa repentinamente in caso

di sisma. Infatti, Leon Battista Alberti, nel *De re aedificatoria*, affermava che: "una copertura a volta da maggiori garanzie contro gli incendi, mentre una travatura resiste meglio ai terremoti"; Leonardo da Vinci (foglio 53 recto Codice A) scriveva: "ogni trave vole



## CAPITOLO IX.

## DELLE CASE PER I TREMUOTI

**P**er difendersi da' tremuoti vogliono esser case di legno, ma in maniera che ciascuna pezzo sia

(a) Non è male replicare che le restaurazioni fatte solo per abbellire producono un effetto contrario: imbruttiscono. Molte fabbriche gotiche si sono restaurate e abbellite alla greca, o alla romana, e sono riuscite deformi. Perdono allora ogni carattere, e divengono un ammasso di asurdità.

Dall'alto: Costruzione antisismica in legno secondo un sistema simile alla "gabbia pombalina", realizzato di recente in Pakistan; da M. Stephenson, 2008. Edificio "baraccato" proposto nel 1784 dopo il terremoto delle Calabrie.

passare i sua muri e essere ferma di la da essi muri con sufficiente catene, perché spesso si vede per tremoti le travi uscire de' muri e rovinare poi i muri e solai dove, se sono incatenate, teranno i muri insieme fermi". Quindi edifici con solai a travi lignee ben ammassate

nelle murature, per "incatenare" la struttura, e la "leggerezza" del legno sono due precetti che fanno spesso capolino nella storia delle costruzioni antisismiche, fino alle prime forme di coscienti edifici antisismici, fatto che non poteva accadere se non nel Settecento, quando la scienza illuminista tentava di analizzare il terremoto come violenta espressione della natura, superando la visione religiosa del fenomeno considerato divina punizione. Il primo novembre 1755 un fortissimo terremoto devastò la città di Lisbona; fu uno dei maggiori eventi sismici europei, risentito in tutta Europa; all'epoca, per esempio, Giacomo Casanova, rinchiuso a Venezia nel carcere dei Piombi (Palazzo Ducale), si illuse che la scossa di terremoto del primo novembre avrebbe fatto rovinare la sua prigione permettendogli di fuggire. Raccontato e descritto da molti cronisti e studiosi, questo evento sismico lesionò e/o fece crollare circa due terzi degli edifici di Lisbona; seppure tutte le descrizioni storiche dei terremoti siano da prendere con "beneficio di inventario", comunque i danni furono ingentissimi come pure elevatissimo fu il numero di vittime. A questo terremoto fece seguito una prima realistica regolamentazione per le costruzioni antisismiche, voluta dal marchese de Pombal, che imponeva edifici con struttura intelaiata in legno annegata nella muratura (sistema noto come "gajola pombalina"). Questo sistema a telaio ligneo venne, quindi, riproposto dopo il gravissimo terremoto delle Calabrie del 1783, quando fu emessa una normativa in cui, fra gli altri articoli, si imponeva che: "le case avranno una rete interna di legname di poca fabbrica rivestita". In sostanza si trattava di una forma di reinterpretazione sismica delle costruzioni a telaio ligneo e tamponamento in adobe o laterizio, tipiche della Foresta Nera,

di alcune regioni della Francia e dell'Inghilterra, e noto anche in Turchia, etc. Alcuni anni prima del terremoto calabrese del 1783, Francesco Milizia nei *Principii di architettura civile*, 1781. (Tav. III, Cap. IX), nel paragrafo intitolato *Delle case per i tremuoti*, scriveva che "per difendersi dai tremuoti vogliono essere case di legno, ma in maniera che ciascun pezzo sia ben connesso e incassato co gli altri, così che formino tutti insieme una sola massa"; precetto di grande modernità in quanto evidenzia l'intuizione che la resistenza sismica dell'edificio ligneo risiede anche e soprattutto nelle connessioni dei vari componenti. Continuava il Milizia affermando che "non devesi questa massa piantare o fondare in terra, ma posare soltanto sopra un pavimento di pietre più grandi della pianta della casa... L'altezza di queste case non deve eccedere la sua larghezza o la sua lunghezza, piuttosto sia un tantino minore. In questa guisa per qualunque scossa il centro di gravità rimarrà sempre dentro la sua base". Infelicamente i precetti di Milizia e quelli della normativa calabrese non furono seguiti e poche furono le edificazioni correttamente realizzate secondo il sistema "baraccato" (il termine non era spregiativo ma indicativo di un sistema costruttivo), la casa a telaio ligneo e tamponamento leggero, simile alla "gajola pombalina" portoghese. Le poche case "baraccate" vennero realizzate in maniera così incerta da crollare durante il terremoto calabro-siculo del 1849; in una relazione post-sisma 1849, infatti, si legge: "le case baraccate fecero in massima cattiva prova; ma ciò deriva essenzialmente da vizio di costruzione e dai materiali troppo pesanti. Il sistema esige che il materiale di riempimento sia tale da accompagnare durante una scossa i movimenti della ossatura. Deve perciò essere

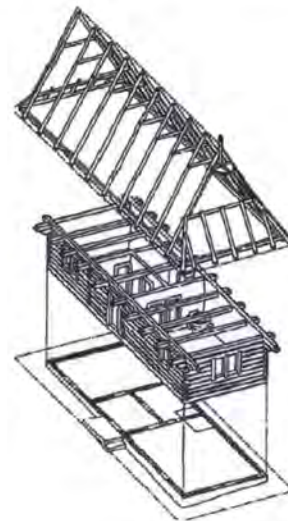
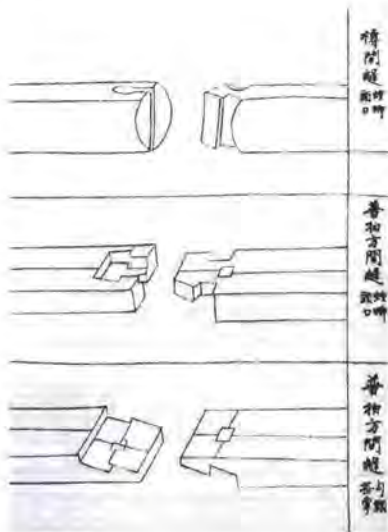
leggero e contenuto nell'ossatura stessa". Nicola Cavalieri di San Bertolo nel suo trattato *Istituzioni di architettura civile*, Mantova, 1831, dimostra lo sviluppo della riflessione sulle costruzioni antisismiche, affermando: "ove fra i muri verticali di una fabbrica la divisione dei piani sia fatta per mezzo di volte

nell'oscillazione che concepiscono i primi per lo scuotimento della terra o dell'atmosfera, è quasi inevitabile che le seconde, per la loro rigidità, si squarcino e si sconvolgano; mentre se la divisione dei piani consiste di solai di legname questi per l'elasticità della materia, sono disposti a secondar fino ad un certo punto

le mosse dei muri laterali, e quindi è minore il pericolo di sconcerti e rovine". San Bertolo pare quasi paragonare i solai lignei a smorzatori sismici in grado di assorbire energia di deformazione; infatti, Minoru Wakabayashi (Parigi, 1986, Milano, 1989), scriveva che "il legno è un materiale leggero che possiede una notevole resistenza e una elevata duttilità; proprietà che lo fanno ritenere un buon materiale antisismico". A parte il fatto che non ritengo possa sussistere "un materiale antisismico" ma soluzioni costruttive antisismiche, sul finire degli anni Ottanta era ancora diffuso tale precetto e Wakabayashi centrava la questione nella ridotta massa volumica del legno, nella sua duttilità e resistenza meccanica. A riguardo delle pareti di taglio Wakabayashi affermava che la maggior parte delle pareti a taglio in legno dimostra un notevole fattore di smorzamento e che il comportamento complessivo di una costruzione in legno è in funzione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità delle pannellature resistenti a taglio, non mancando di osservare la necessità della simmetria planimetrica delle pareti resistenti. Wakabayashi quindi specificava che sebbene la capacità di resistenza sismica delle costruzioni in legno sia alta, ciononostante non pochi edifici in legno sono stati danneggiati per errori di concezione strutturale e di dettagli costruttivi. Di fatto gli edifici a pannelli lignei tipo X-Lam sono più che idonei per le costruzioni antisismiche, come dimostrato dai risultati ottenuti dal Progetto Sofie (Val di Fiemme, CNR-Ivalsa, direttore prof. Ario Ceccotti) con sperimentazioni al simulatore sismico di un edificio di sette piani (24 metri di altezza, testato con un terremoto di grado 7,2 Richter). Nel caso di terremoti di bassa e media intensità, pannelli e giunti sono in

*Nuova copertura in lamellare delle rovine della chiesa del monastero di Arnoldstein (Austria); iniziato nel XII secolo, il complesso fu devastato dal terremoto carinziano-friulano del 1348; dal 1992 è iniziato il recupero con interventi destinati a salvaguardare le rovine e a migliorarne la resistenza sismica. Sotto: costruzioni tradizionali a Koti Banal, Uttarakhand, India; la struttura ai piani inferiori è formata da un massiccio telaio ligneo tamponato da alcuni corsi di muratura; la parte superiore è completamente in legno; questo tipo di edifici resiste alla secolare sismicità della regione; da P. Rautela, G. C. Joshi, 2007*





Da sinistra: Li Jie (1065-1110 circa), Yingzao Fashi, 1103, dinastia Song; lo Yingzao Fashi era un codice di norme per la proporzionalità e standardizzazione delle soluzioni costruttive delle costruzioni in legno e in muratura cinesi; nell'immagine si osservano sofisticate giunzioni lignee. Scomposizione di un tempio ligneo orientale; come si nota l'iperstaticità dell'insieme garantisce resistenza sismica e i complessi nodi assorbono energia di deformazione per attrito; da N. Shatzmann Steinhardt, 2004. A destra, edificio ligneo balcanico

grado di assorbire efficacemente le sollecitazioni dinamiche, dimostrando eventuali fessurazioni superficiali nel caso di pannelli intonacati. Nel caso di terremoti di alta intensità il tutto si concentra, prevalentemente, sulle connessioni fra i pannelli e la fondazione, al ruolo delle ulteriori pareti di taglio e alla simmetria strutturale. Ovviamente è necessario, nelle strutture completamente in legno, contenere le dimensioni delle aperture nelle pannellature, valutando con attenzione le sezioni residue del pannello sopra porte e finestre. L'analisi dinamica teorica di un edificio in legno "alto" appare complessa e si fa affidamento alle sperimentazioni in scala reale, su simulatore sismico, che offrono ampie osservazioni e riflessioni sul comportamento dinamico di un edificio in legno, soprattutto delle giunzioni sia per il problema del cedimento dei perni metallici, sia per la questione del rifollamento dinamico del legno attorno ai perni, che comunque dissipa energia. Non secondario è l'attrito fra le pannellature, generalmente non considerato in sede progettuale ma che fornisce

un contributo opponendosi al moto relativo delle parti. Ovviamente la simmetria strutturale, il grado di staticità e il tipo di connessione fra i pannelli (compresi gli stessi pannelli) interagiscono nella capacità plastica dell'edificio e, nel caso estremo, alla resistenza ultima oltre il limite elastico. La durata di un sisma in genere è di alcune decine di secondi e non supera i 3 minuti (massima durata nota 3 minuti e 30 secondi, terremoto di San Francisco 1906),

causando qualche centinaio di cicli all'edificio sufficienti per allascare le giunzioni con perni metallici. Per tale motivo i tradizionali edifici in legno dell'Oriente, i templi con complessi incastri, dimostrano buona resistenza sismica in quanto tendono a smorzare per attrito le sollecitazioni dinamiche indotte dal sisma. Mancando i nuclei irrigiditi come scale e struttura ascensori (a meno di una struttura mista con altri materiali come calcestruzzo armato o acciaio, questione da non escludere) la struttura lignea a pannelli deve avere un comportamento "scatolare" con minime disimmietrie planimetriche e in elevazione. Grande attenzione va posta nell'interfaccia con il terreno, disponendo adeguata platea in calcestruzzo armato con cordolatura, sempre in calcestruzzo armato, che rialzi dal terreno i pannelli per proteggerli dall'umidità; infatti, la resistenza sismica dell'edificio in legno dipende anche dalle condizioni del materiale; marcescenze, funghi e insetti, ne riducono l'efficienza. Ovviamente anche le costruzioni a telaio, come



Casa antisismica in legno proposta dal Comitato Giapponese pro Messina e Reggio Calabria; da F. Masciari-Genoese, 1915

Dall'alto: fienile in legno carinziano (Austria), simile al kozolec sloveno; questo genere di complessa struttura, presente in diverse zone tradizionalmente sismiche, doveva sopportare il carico del fieno, della neve e del vento. Edificio in Turchia (Celaliye) parzialmente collassato per deterioramento del legno privo di manutenzione; da H. Diskaya, 2007



pure il "Blockbau" massiccio e simili, dimostrano buona efficienza sismica, ferma restando la questione delle giunzioni, dell'adeguato dimensionamento e della simmetria strutturale. Rimane sempre, in primo piano, la questione dei "costruttori improvvisati" che per risparmiare qualche bullone e qualche centimetro di legno nelle sezioni resistenti, propongono edifici la cui durabilità e sicurezza sismica desta molte perplessità. Infatti, oggi più che di "normativa" appare necessaria la sensibilizzazione dei tecnici, ad iniziare dalla scuola, per migliorare la conoscenza del legno, delle sue eccellenti peculiarità e dei suoi limiti, correlata alla memoria e conoscenza della terremoto. Come scriveva Seneca: "facciamoci perciò grande coraggio di fronte ad una simile catastrofe che non è evitabile o prevedibile, e cessiamo di dare ascolto a costoro che hanno dato addio alla Campania e che dopo questo disastro sono fuggiti dichiarando che mai più vi avrebbero rimesso piede. Chi, infatti, può garantire loro che questo o quel suolo poggi su fondamenta più sicure? Tutte le parti del mondo sono soggette alla medesima sorte, e se ancora non hanno subito le scosse sismiche sono suscettibili di subirne".

**Umberto Barbisan<sup>(\*)</sup>**

*umbeba@iuav.it*

(\*) Associato di Tecnologia dell'Architettura all'Università IUAV di Venezia