

QUADERNI TECNICI DI ASSOLEGNO



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018

**COSTRUZIONI IN LEGNO - PROGETTAZIONE IN
ZONA SISMICA (PAR. 7.7 NTC 2018)**

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it

FLA
FEDERLEGNOARREDO

Milano, settembre 2021



Il presente volume fa parte della raccolta "I Quaderni Tecnici di Assolegno", una serie di pubblicazioni redatte a cura della struttura di Assolegno di FederlegnoArredo che hanno l'obiettivo di promuovere il corretto uso del legno nelle costruzioni e di fornire chiarimenti in merito al quadro normativo vigente.

Sono autori di questa pubblicazione il Dott. Marco Luchetti (Responsabile di Assolegno), l'Ing. Matteo Izzi (Ufficio Tecnico di Assolegno) e l'Ing. Mauro Andreolli (Timbertech).

INTRODUZIONE AL QUADERNO TECNICO

Il presente Quaderno Tecnico è parte di una collana di pubblicazioni a cura della struttura di Assolegno, destinate ad approfondire le tematiche trattate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2018 e dalla relativa Circolare Esplicativa.

Scopo di questo approfondimento è aiutare a comprendere che il legno, quando utilizzato consapevolmente come materiale da costruzione in zona sismica è in grado di fornire dei sistemi strutturali moderni e innovativi, dalle elevate prestazioni anche nei confronti delle azioni eccezionali.

I risultati di numerose campagne sperimentali eseguite non solo in Italia ma in diverse parti del mondo hanno mostrato che un edificio a struttura portante in legno, se correttamente progettato, può sopravvivere ad una sequenza ripetuta di eventi sismici senza provocare la perdita di vite umane e salvaguardando il patrimonio immobiliare.

Si può quindi immaginare che le costruzioni multipiano in legno, in virtù della sostenibilità del materiale e delle prestazioni che sono in grado di offrire, rappresenteranno sempre più spesso una soluzione di interesse per committenti non solo privati ma anche pubblici.

Il volume è una delle tante iniziative dell'Associazione volte a chiarire alcuni temi di rilievo per gli operatori coinvolti nella concezione e realizzazione di opere di ingegneria in legno (progettisti, direttori dei lavori ed imprese costruttrici) e rappresenta un ulteriore tassello dell'impegno di Assolegno per una corretta divulgazione del quadro normativo corrente.

Angelo Luigi Marchetti
Presidente di Assolegno

Aldo Dattomi
*Consigliere del Gruppo Case
ed Edifici a Struttura di Legno*

INDICE DEI CONTENUTI

INDICE DEI CONTENUTI

1	ASPETTI GENERALI	2
1.1	ASPETTI CONCETTUALI DELLA PROGETTAZIONE	4
1.2	MATERIALI E PROPRIETÀ DELLE ZONE DISSIPATIVE	7
2	TIPOLOGIE STRUTTURALI	12
2.1	ANALISI STRUTTURALE	17
3	DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE	22
3.1	DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE PER I COLLEGAMENTI	22
3.2	DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE PER GLI IMPALCATI	23
3.3	VERIFICHE DI SICUREZZA	26

1. ASPETTI GENERALI

1 ASPETTI GENERALI

Il paragrafo §7.7 delle NTC 2018 disciplina la progettazione sismica di opere costituite con elementi di legno strutturale o con prodotti strutturali a base di legno. Si precisa che **tutte le indicazioni fornite nel presente paragrafo delle NTC sono da considerarsi aggiuntive e non sostitutive rispetto a quelle riportate nel §4.4 della stessa norma** (progettazione in condizioni statiche).

Nell'elaborazione del paragrafo §7.7, il Normatore ha avuto come obiettivo la creazione di un quadro legislativo nazionale di riferimento, da completare alla luce degli adempimenti dati all'interno dell'Eurocodice 8.



Box di approfondimento

Come indicato nel cap. §12 delle NTC 2018, gli Eurocodici sono considerati documenti di comprovata validità. Infatti, tale capitolo recita:

“Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- *Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali;*
- *Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;*
- *Norme per prove su materiali e prodotti pubblicate da UNI.*

Inoltre, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- *Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;*
- *Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;*
- *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;*

- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopracitati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per il tramite del Servizio Tecnico Centrale, predisporre e pubblica, sentiti il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e l'Ente Italiano di Normazione (UNI), l'elenco dei documenti che costituiscono riferimento tecnico per le Norme Tecniche per le Costruzioni ai sensi del presente capitolo. Con analoga procedura sono anche predisposti e pubblicati gli aggiornamenti periodici a tale elenco, nonché gli aggiornamenti degli elenchi delle specifiche tecniche volontarie UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma”.

Le indicazioni fornite al §7.7 delle NTC 2018 sono **destinate alla progettazione di opere di nuova realizzazione soggette all'azione sismica**. Tale paragrafo riporta alcune definizioni, tra le quali trova spazio quella di **“nodi strutturali”** che è declinata in due casi:

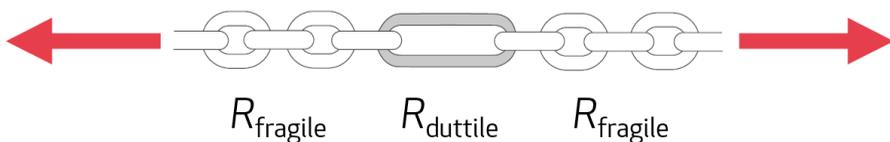
- **“nodi semi-rigidi:** giunzioni con deformabilità significativa, tale da dovere essere presa in considerazione nelle analisi strutturali e da valutarsi secondo documenti di comprovata validità;
- **nodi rigidi:** giunzioni con deformabilità trascurabile ai fini del comportamento strutturale, da valutarsi secondo documenti di comprovata validità”.



Box di approfondimento

Le connessioni hanno un'importanza cruciale nella risposta di una struttura in legno alle azioni sismiche poiché, essendo il legno un materiale caratterizzato da comportamento prevalentemente fragile, influenzano la rigidità della costruzione e rappresentano le uniche zone capaci di dissipare l'energia sismica. Il periodo proprio di una struttura in legno è infatti legato alle connessioni adottate e lo è pertanto anche l'azione sismica di progetto, che nelle NTC 2018 è espressa in termini di spettro di risposta.

Al fine di garantire un comportamento globalmente duttile il progetto strutturale di una costruzione in legno deve essere sviluppato adottando i criteri del "capacity design" e della gerarchia delle resistenze. Se tali principi sono soddisfatti, la struttura è capace di sviluppare le deformazioni plastiche nei sistemi dissipativi prima di manifestare il collasso indesiderato delle parti fragili. Il principio base è quello di una catena soggetta a tensione, schematizzato di seguito:



Poiché la resistenza complessiva dipende dal comportamento dell'anello più debole, se questo è dotato di una buona duttilità allora potrà conferirla all'intera struttura. In base all'analogia della catena appena espressa, le connessioni rappresentano l'anello duttile di una struttura in legno (es. quelle ottenute con elementi metallici a gambo cilindrico) mentre gli elementi in legno vengono considerati intrinsecamente fragili.

1.1 ASPETTI CONCETTUALI DELLA PROGETTAZIONE

Le NTC 2018 introducono alcuni principi alla base della progettazione di edifici sismo-resistenti in legno al §7.7.1, indicando due possibili approcci alla concezione strutturale di tali opere:

- Comportamento strutturale dissipativo;
- Comportamento strutturale non dissipativo.

In particolare, viene specificato che "le strutture progettate secondo il comportamento strutturale dissipativo devono appartenere alla CD "A" o alla CD "B", nel rispetto dei requisiti di cui al §7.7.3, in relazione a: tipologia strutturale, tipologia di connessione e duttilità della connessione". La prescrizione precedente è stata ulteriormente chiarita al §C7.7.1 della Circolare Esplicativa: "per edifici a struttura lignea progettati in accordo a un comportamento strutturale non dissipativo non è necessario adottare i procedimenti tipici della progettazione in capacità, rimanendo comunque valido quanto riportato nelle Norme Tecniche (§4.4 delle NTC)[...]".

Box di approfondimento

Relativamente ai sistemi strutturali, le Norme Tecniche rimarcano che, in presenza di azioni sismiche, gli edifici di legno devono essere progettati ipotizzando per le strutture un comportamento di tipo dissipativo o non dissipativo.

Strutture non dissipative: dovranno essere verificate in condizioni elastiche (fattore di comportamento $q_0 = 1$ o considerando un fattore di comportamento q_{ND} ridotto rispetto al valore minimo $q_{CD "B"}$ della CD "B") in accordo alla seguente espressione:

$$1 \leq q_{ND} = \frac{2}{3} \cdot q_{CD "B"} \leq 1.5$$

Strutture dissipative: si tiene conto della possibilità della struttura di dissipare energia in alcune zone duttili considerando nel calcolo, in maniera esplicita od implicita, le non linearità dei materiali impiegati in tali zone. Nel primo caso (esplicito) si adotteranno delle leggi costitutive elasto-plastiche (analisi non lineare), mentre nel secondo caso (implicito) si considererà la duttilità in maniera semplificata e convenzionale riducendo lo spettro elastico con il fattore di comportamento (q_0) e continuando ad utilizzare delle leggi costitutive elastiche per i materiali (analisi lineare).

È importante sottolineare che **la scelta di progettare la struttura in CD "A"** ("classe di duttilità alta") **o in CD "B"** ("classe di duttilità bassa") **comporta l'adozione di particolari costruttivi in grado di assicurare un adeguato comportamento duttile.**

È inoltre interessante la puntualizzazione presente nelle NTC sulle **zone dissipative**, che: **"devono essere localizzate, in accordo al meccanismo di collasso globale prescelto, in alcuni dei collegamenti o in elementi specificatamente progettati;** le membrature lignee devono essere considerate a comportamento elastico, salvo che non siano adottati per gli elementi strutturali provvedimenti tali da soddisfare i requisiti di duttilità di cui al §7.7.3". Di contro "nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, la capacità delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole di cui al §4.4 delle presenti norme, senza nessun requisito aggiuntivo".

Una importante novità introdotta dalle NTC 2018 è la definizione esplicita del coefficiente di sovrarresistenza γ_{Rd} per la progettazione in capacità delle zone non dissipative. A tal riguardo le NTC specificano che: *“ai fini dell’applicazione dei criteri della progettazione in capacità, per assicurare la plasticizzazione delle zone dissipative (ovvero i collegamenti prescelti e/o gli elementi specificatamente progettati), queste devono possedere una capacità almeno pari alla domanda mentre le componenti non dissipative (ovvero gli altri collegamenti e gli elementi strutturali) adiacenti, debbono possedere una capacità pari alla capacità della zona dissipativa amplificata del fattore di sovrarresistenza γ_{Rd} , di cui alla Tab. 7.2.I; valori inferiori del fattore di sovrarresistenza ed in ogni caso maggiori o uguali a 1.3 per CD “A” e a 1.1 per CD “B” devono essere giustificati da idonee evidenze teorico-sperimentali”.*

Tipologia strutturale	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
		CD “A”	CD “B”
Legno	Collegamenti	1.60	1.30

Fattori di sovrarresistenza γ_{Rd} (Tab. 7.2.I delle NTC 2018 - modificata)

In relazione ai coefficienti di sovrarresistenza γ_{Rd} , è molto interessante la precisazione che le NTC 2018 fanno al paragrafo precedente, alla luce del quale ammettono l’impiego di γ_{Rd} diversi da quelli indicati in Tab. 7.2.I e comunque almeno pari a 1.30 per CD “A” e 1.1 per CD “B”, purché tale scelta sia suffragata da evidenze teorico-sperimentali.

Box di approfondimento

In via semplicistica, il coefficiente di sovrarresistenza di una connessione γ_{Rd} è definito come il rapporto tra il valore caratteristico della resistenza massima ottenuta da test sperimentali $F_{\max,exp,k}$ e il valore caratteristico della resistenza ottenuto attraverso le formule di calcolo analitiche F_{Rk} . Maggiori informazioni sulla definizione del γ_{Rd} da test sperimentali sono disponibili in Jorissen & Fragiacomò 2011, General notes on ductility in timber structures, Engineering Structures 33(11): 2987–2997.

Dal punto di vista dell'ingegneria sismica e del soddisfacimento della gerarchia delle resistenze tra i componenti strutturali, è indispensabile conoscere il range di variazione tra resistenza calcolata e resistenza realmente offerta dalla connessione. In tal senso, le NTC dicono al §7.7.1 che: "le proprietà dissipative devono essere valutate sulla base di comprovata documentazione tecnico-scientifica, basata su sperimentazione dei singoli collegamenti o dell'intera struttura o di parte di essa, in accordo con normative di comprovata validità".

Una ulteriore novità delle NTC 2018 è la **possibilità di considerare il degrado di resistenza nella progettazione delle zone dissipative**, utilizzando il coefficiente parziale di sicurezza relativo alle combinazioni di carico di tipo eccezionali così come riportato al §7.3.6.1. Tale aspetto è particolarmente interessante per le strutture in legno, in quanto la limitazione sul degrado di resistenza delle connessioni dissipative è esplicitamente richiamata al par. §7.7.3.1, secondo cui *"le zone considerate dissipative devono essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno 3 cicli a inversione completa [...] senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20%"*. Poiché il degrado di tutte le zone dissipative non deve essere superiore al 20%, è possibile utilizzare il coefficiente parziale di sicurezza relativo alle combinazioni eccezionali, considerando contemporaneamente un coefficiente riduttivo per effetto del degrado ciclico pari a 0.80 (si veda §7.7.6).

1.2 MATERIALI E PROPRIETÀ DELLE ZONE DISSIPATIVE

Il §7.7.2 delle NTC 2018 riporta alcune importanti indicazioni in merito ai materiali e alle proprietà delle zone dissipative:

"Qualora si faccia affidamento a comportamenti strutturali dissipativi (CD "A" o "B"), in mancanza di più precise valutazioni teoriche e sperimentali, si devono applicare le seguenti regole:

- a) *nelle zone considerate dissipative possono essere utilizzati solamente materiali e mezzi di unione che garantiscono un adeguato comportamento di tipo oligociclico;*
- b) *le unioni incollate devono essere considerate, in generale, come non dissipative, a meno che non siano poste in serie con un elemento duttile applicando i criteri della progettazione in capacità;*

- c) i nodi di carpenteria possono essere utilizzati solo quando possono garantire una sufficiente dissipazione energetica, senza presentare rischi di rottura fragile per taglio o per trazione ortogonale alla fibratura, e con la presenza di dispositivi atti ad evitarne la sconnessione.

Quanto richiesto nel capoverso a) può considerarsi soddisfatto se è rispettato quanto riportato nel §7.7.3. Per l'utilizzo nelle pareti di taglio e nei diaframmi orizzontali, i pannelli strutturali di rivestimento devono rispettare le seguenti condizioni:

- a) i pannelli di particelle (EN 312) devono avere uno spessore non inferiore a 13 mm e massa volumica caratteristica in accordo a EN 12369-1);
- b) i pannelli di compensato (EN 636) devono avere spessore non inferiore a 9 mm;
- c) i pannelli di OSB (EN 300) devono avere spessore non inferiore ai 12 mm se disposti a coppia, non inferiore a 15 mm se disposti singolarmente”.

In merito al punto c) qui sopra, la Circolare Esplicativa al §C7.7.2 riporta alcuni chiarimenti: “con riguardo agli spessori minimi richiesti per i pannelli strutturali di rivestimento di OSB lo spessore di 12 mm si applica se si prevede l'utilizzo di due pannelli, da disporre uno per lato e con la medesima tipologia di chiodatura (tipo, dimensione di chiodo e passo di chiodatura), mentre lo spessore minimo di 15 mm si applica se si prevede l'utilizzo di un solo pannello”.

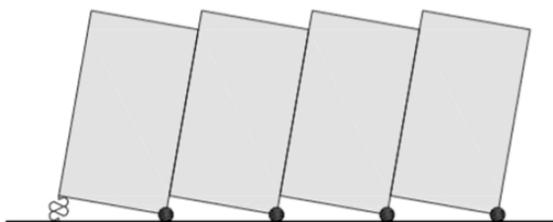
La Circolare Esplicativa chiarisce inoltre che: “nel caso di utilizzo di pannelli realizzati con altri materiali, la possibilità del loro utilizzo nelle zone considerate dissipative deve essere valutata sulla base di documenti tecnico-scientifici, basati su sperimentazione, in accordo con normative di comprovata validità”.



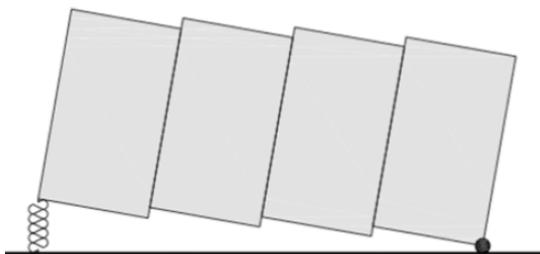
Box di approfondimento

La precisazione riportata nel precedente capoverso risulta di particolare interesse soprattutto nel caso di strutture realizzate a pannelli CLT/XLAM, definiti nelle NTC con la dicitura “panelli di tavole incollate a strati incrociati”. In tali costruzioni le connessioni poste tra pannelli parete complanari giocano un ruolo fondamentale in caso di sisma e possono essere considerate come delle zone dissipative. A seconda della tipologia di connessioni adottate, possono manifestarsi tre comportamenti:

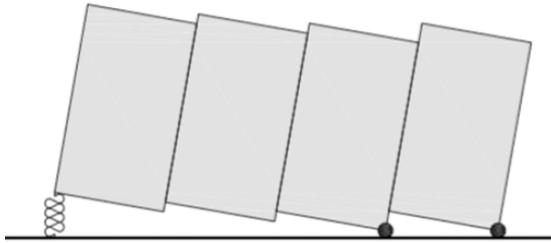
- **Pannelli parete indipendenti:** situazione ottenibile adottando connessioni molto deformabili rispetto a quelle di ancoraggio poste alla base (e.g. angolari a taglio e hold-down); in questo caso, quando soggetti a carichi orizzontali, ogni pannello ruota in maniera indipendente attorno ad uno dei vertici posti alla propria base;



- **Pannelli parete monolitici:** situazione ottenibile adottando connessioni molto più rigide rispetto a quelle di ancoraggio poste alla base; in questa situazione, se si applicano dei carichi orizzontali, i pannelli si comportano come se fossero un unico elemento e ruotano attorno ad uno dei due vertici posti alle estremità della base;



- **Pannelli parete accoppiati:** è una situazione intermedia tra le precedenti, in cui le connessioni sono abbastanza rigide da non permettere la completa separazione dei pannelli in fase di ribaltamento (come avviene nel caso del comportamento indipendente) ma non abbastanza da consentire che la parete si comporti come un pannello unico (come invece avviene per il comportamento monolitico).



(Le immagini precedenti sono riprodotte da Casagrande et al., 2019, Multipanel CLT shearwalls: an analytical methodology to predict the elasticplastic behaviour, Engineering Structures, 179:640-654)

2. TIPOLOGIE STRUTTURALI

2 TIPOLOGIE STRUTTURALI

Come accennato in precedenza, in funzione del comportamento duttile e della capacità di dissipare energia sotto l'azione di carichi ciclici, le costruzioni di legno possono avere un comportamento strutturale non dissipativo o un comportamento strutturale dissipativo.

A tal riguardo, le NTC precisano che *"nel caso di strutture con comportamento dissipativo, è obbligo del Progettista giustificare la scelta dei valori assunti nei calcoli per il fattore q_0 , sulla base della capacità dissipativa del sistema strutturale nonché dei criteri usati per il dimensionamento dei collegamenti, che devono essere in grado di garantire una adeguata capacità, prevenendo rotture fragili mediante una puntuale applicazione dei principi della progettazione in capacità"*.

Nella Tab. 7.3.II delle NTC sono riportati, per ciascuna classe di duttilità, alcuni esempi di strutture con i valori massimi del fattore di comportamento q_0 .

Tipologia strutturale	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	3.0	2.0
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4.0	2.5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	5.0	3.0
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni	-	2.5
Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti		
Strutture cosiddette miste, con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti		
Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali	-	1.5

Valori massimi di q_0 (Tab. 7.3.II delle NTC 2018 - modificata)

Box di approfondimento

In merito alle strutture a pareti portanti intelaiate, come specificato in Tab. 7.3.II dalle NTC 2018, sono previsti valori differenziati di q_0 a seconda dei diaframmi impiegati:

Tipologia strutturale	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati , collegati mediante chiodi, viti e bulloni	3.0	2.0
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati , collegati mediante chiodi, viti e bulloni	5.0	3.0

Valori massimi di q_0 (Tab. 7.3.II delle NTC 2018 - modificata)

In particolare, sono proposti fattori di comportamento maggiori nel caso di diaframmi chiodati. Sembra dunque che esista una correlazione tra la capacità dissipativa della struttura e la capacità dissipativa dei solai.

Nelle NTC 2008, al §7.3.6.1, si affermava che "gli orizzontamenti devono essere in grado di trasmettere le forze ottenute dall'analisi, aumentate del 30%". Si escludeva quindi in modo chiaro la possibilità di avere dissipazione energetica nei solai, elementi che, come riportato al §7.2.1 delle NTC 2018, se ben progettati devono avere una "rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali, tale da potersi assumere che la propria deformazione in pianta influenzi in modo minimo o trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi" e "una resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione".

Tali concetti sono ribaditi nell'Eurocodice 8 al §4.2.1.5, dove si sottolinea l'importanza del ruolo dei diaframmi nel comportamento sismico complessivo della struttura ed in particolare si evidenzia come "essi si comportano come membrature orizzontali che riuniscono e trasmettono le forze di inerzia ai sistemi strutturali verticali e assicurano che detti sistemi partecipino tutti insieme nel contrastare l'azione sismica orizzontale" e al §4.4.2.5, dove viene affermato che "le membrature e gli elementi di controvento che giacciono nei piani orizzontali devono essere in grado di trasmettere, con sufficiente

sovraresistenza, gli effetti dell'azione sismica di progetto ai sistemi di controvento cui sono connessi. Il requisito può ritenersi soddisfatto se per le verifiche di resistenza, gli effetti dell'azione sismica nella membratura ottenuta dall'analisi è moltiplicata da un coefficiente di sovraresistenza maggiore di 1.0".

Nelle NTC 2018 concetti simili vengono espressi al §7.2.2 "gli orizzontamenti [...] devono essere dotati di rigidità e resistenza tali da consentire la redistribuzione delle forze orizzontali tra i diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale" e a seguire nel §7.7.6 "al fine di garantire lo sviluppo del comportamento ciclico dissipativo in corrispondenza delle zone assunte come dissipative, tutti gli altri elementi strutturali e/o connessioni devono essere progettati con adeguati valori di sovraresistenza. Tale requisito si applica in particolare ai [...] collegamenti tra diaframmi orizzontali ed elementi verticali di controvento".

Alla luce di tali indicazioni, che devono essere rispettate anche per le tipologie in esame, non sembra dunque giustificabile avere una distinzione tra i fattori di comportamento delle due differenti tipologie strutturali in relazione al tipo di diaframma.

A tal proposito al C7.7.3 la Circolare Esplicativa riporta un chiarimento in merito alla corretta applicazione dei fattori di comportamento:

"Nella Tab. 7.3.11 delle NTC sono riportati i valori massimi del valore del fattore di comportamento per alcuni esempi di tipologie strutturali.

Relativamente alle tipologie strutturali riportate nella Tabella 7.3.11 delle NTC si precisa che con il termine diaframma si intendono solai e coperture. Nella medesima tabella, per diaframmi chiodati si intendono solai e coperture in grado di dissipare energia. Per le tipologie strutturali che adottano tali diaframmi, i fattori di comportamento adottati in CD "A" devono essere giustificati mediante analisi di tipo non lineare tenendo in conto la dissipazione energetica dei solai. Per diaframmi incollati si intendono solai e coperture non in grado di dissipare energia."

La Circolare, specificando che per adottare il massimo del valore di base del fattore di comportamento nel caso di diaframmi chiodati (CD "A") è necessario giustificarne l'uso con un'analisi non lineare, fornisce al progettista una chiara indicazione, ovvero che solo analisi avanzate (in fase post-elastica) possono essere considerate in grado di cogliere

la reale dissipazione e la distribuzione delle sollecitazioni legate a una plasticizzazione dei diaframmi orizzontali.

È anche giusto sottolineare come i valori di q_0 proposti all'interno della Tab. 7.3.11 delle NTC 2018 per la tipologia con diaframmi incollati (dove si esclude la possibilità di avere dissipazione all'interno dei solai) possano ritenersi piuttosto cautelativi.

In linea con il più recente stato dell'arte, viene proposta **una sola tipologia strutturale per gli edifici a telaio leggero**, avente fattore di comportamento **2.5 in CD "B"** (2.0 nelle NTC) e **4.0 in CD "A"** (3.0 nelle NTC). Tali valori sono proposti sia nella CNR-DT 206-R1, che nell'articolo Follesa et al., 2018, *The new provisions for the seismic design of timber buildings in Europe*, *Engineering Structures*, 168:736-747.

Sempre in merito ai valori del coefficiente q_0 da utilizzare nelle analisi, le NTC ricordano allo stesso paragrafo che "nel caso in cui il controventamento della struttura sia affidato a materiali diversi (calcestruzzo armato, acciaio), si deve fare riferimento ai pertinenti paragrafi della presente norma".



Box di approfondimento

Le attuali tendenze di mercato stanno evidenziando un sempre maggiore interesse per le cosiddette **strutture miste**. A tal riguardo, la Circolare Esplicativa al §C7.7.3 fornisce alcune importanti indicazioni riguardo i sistemi strutturali resistenti in parallelo e quelli sovrapposti.

Per quanto riguarda i **sistemi strutturali resistenti in parallelo**, la Circolare indica che: "qualora più tipologie strutturali, anche di materiali diversi, collaborino nella resistenza sismica (sistemi resistenti in parallelo), è possibile computare il contributo di entrambe le tipologie, purché nell'analisi sia adottato il fattore di comportamento con valore minore. In alternativa dovranno essere utilizzate analisi di tipo non lineare."

Per quanto riguarda i **sistemi strutturali sovrapposti**, la Circolare Esplicativa dice che: "è consentito realizzare una struttura in legno che sormonti una struttura realizzata con altra tipologia di materiale (calcestruzzo armato, muratura, acciaio). In particolare,

qualora sia presente un piano cantinato o seminterrato con pareti di calcestruzzo armato, esso può essere assimilato a struttura di fondazione dei sovrastanti piani in legno, nel rispetto dei requisiti di continuità delle fondazioni.

In generale, nel caso in cui la sottostruttura possa essere considerata rigida rispetto alla sovrastruttura in legno, progettata come dissipativa, l'analisi delle azioni sulla sovrastruttura in legno può essere eseguita indipendentemente dalla sottostruttura, utilizzando i fattori di struttura nella Tab. 7.3.11 delle NTC relativi alle strutture in legno. In tal caso è necessario progettare la sottostruttura sovraresistente al fine di evitare possibili meccanismi di collasso di piano debole".

L'adozione dei valori massimi dei fattori di comportamento indicati in Tab. 7.3.11 delle NTC è subordinata al soddisfacimento di alcuni requisiti per le zone dissipative. In particolare, *"le zone considerate dissipative devono essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli a inversione completa, con un rapporto di duttilità statica pari a 4, per le strutture in CD "B", e pari a 6, per le strutture in CD "A", senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20%".*

Poiché le precedenti indicazioni non sono direttamente verificabili dai progettisti, le NTC proseguono dicendo: *"le disposizioni di cui al precedente capoverso possono considerarsi soddisfatte nelle zone dissipative di ogni tipologia strutturale se si rispettano le seguenti prescrizioni:*

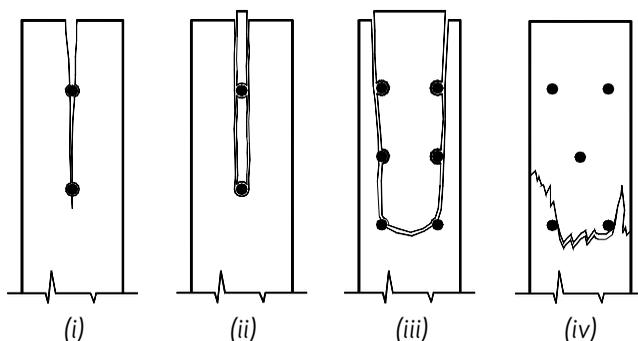
- a) i collegamenti legno-legno o legno-acciaio sono realizzati con perni o con chiodi presentanti diametro d non maggiore di 12 mm ed uno spessore delle membrature lignee collegate non minore di $10d$;*
- b) nelle pareti e nei diaframmi con telaio in legno, il diametro d dei chiodi non è superiore a 3,1 mm e il materiale di rivestimento strutturale è di legno o di materiale da esso derivato, con uno spessore minimo pari a $4d$.*

Qualora alcune o tutte le prescrizioni non siano rispettate, ma sia almeno assicurato lo spessore minimo degli elementi collegati pari, rispettivamente, a $8d$ per il caso a) e a $3d$ per il caso b), le zone dissipative saranno da considerare in classe di duttilità CD "B"."

Box di approfondimento

In alternativa alle prescrizioni appena citate per le zone dissipative di classe CD "B", i collegamenti meccanici a gambo cilindrico possono essere progettati per garantire lo sviluppo di almeno una cerniera plastica nel gambo dei connettori metallici in accordo ai meccanismi di collasso (es. teoria di Johansen) riportati nelle normative e documenti tecnici di comprovata validità di cui al Capitolo 12 (es. Eurocodice 5 e Istruzioni CNR-DT 206/R1).

Al fine di garantire la plasticizzazione delle zone dissipative, bisognerà impedire tutte le rotture fragili tipo (i) lo spacco longitudinale (splitting), (ii) l'espulsione di tasselli di legno (plug-shear failure), (iii) le rotture a taglio (tear-out) e (iv) a trazione del materiale base e (tension).



Meccanismi di collasso fragile in una connessione meccanica

2.1 ANALISI STRUTTURALE

Nell'analisi del comportamento di un edificio in legno devono essere considerati diversi contributi, tra cui la deformabilità della parete (deformabilità del materiale e dei sistemi di giunzione interni alla parete stessa) e dei collegamenti che la vincolano al sollevamento e alla traslazione.

Il modello strutturale deve considerare la deformabilità degli impalcati; tuttavia, possono essere assunti come rigidi, senza necessità di ulteriori verifiche:

- a) gli impalcati realizzati con travi ed elementi di rivestimento (es. pannelli, tavolato, tavoloni) nei quali il trasferimento delle azioni orizzontali è affidato al rivestimento e che rispettino le disposizioni costruttive date nel §7.7.5.3 delle NTC e al §C7.7.5.3 della Circolare Esplicativa, o in alternativa e se pertinente, nel §7.7.2 delle NTC;
- b) gli impalcati realizzati con elementi prefabbricati (es. cassoni, pannelli di tavole incollate a strati incrociati) che rispettino tutte le disposizioni presenti al §C7.7.5.3 della Circolare Esplicativa
- c) gli impalcati nei quali le eventuali aperture non influenzano significativamente la rigidezza globale di lastra nel proprio piano.



Box di approfondimento

Come evidenziato al §C7.7.4, "gli impalcati (solai, orizzontamenti, coperture, ecc.), ai fini dell'analisi strutturale, devono essere dotati di opportuna rigidezza e resistenza nel piano e devono essere collegati efficacemente agli elementi verticali che li sostengono. La capacità di esplicare la funzione di diaframma deve essere verificata, tenendo conto delle modalità di realizzazione, dei materiali impiegati e delle caratteristiche dei mezzi di unione".

Viene inoltre chiarito: "per le tipologie strutturali riconducibili ai sistemi a telaio leggero, qualora gli elementi di parete svolgano anche funzione di controventamento nel piano, è necessario escludere nell'analisi nei confronti delle azioni orizzontali il contributo della porzione di parete che contiene un'apertura di porta o finestra".

Le NTC specificano inoltre che: "travi e solette su cui poggiano elementi in falso (pilastri o pareti) devono essere sempre dimensionate tenendo in considerazione l'influenza delle componenti verticali dell'azione sismica, in accordo con quanto riportato in §7.2.2". Tale affermazione è stata articolata in Circolare Esplicativa, secondo cui: "negli edifici in legno gli elementi strutturali sismoresistenti devono garantire la continuità della trasmissione delle azioni a partire dal solaio di partenza delle elevazioni in legno; non è quindi ammesso interrompere gli elementi prima del raggiungimento di tale solaio. Di contro, è consentito disporre elementi sismoresistenti che non raggiungono la sommità dell'edificio".

Box di approfondimento

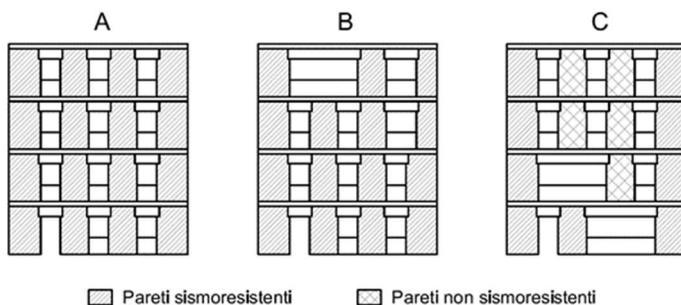
Le NTC 2018 prevedono la possibilità di realizzare pareti in falso nelle strutture in legno, purché il Progettista verifichi gli elementi strutturali su cui poggiano considerando la componente verticale dell'azione sismica nelle situazioni previste al §7.2.2 (tra le quali vi è anche il caso di "pilastri in falso"), "purché il sito nel quale sorge la costruzione sia caratterizzato da un'accelerazione al suolo [...] pari ad $a_g \geq 0.15g$." (come indicato al §3.2.3.1).

Il §7.2.2 delle NTC 2018 fornisce inoltre due importanti definizioni: quella di **elemento strutturale primario e di elemento strutturale secondario**. "I sistemi strutturali sono composti di elementi strutturali primari ed eventuali elementi strutturali secondari. Agli elementi strutturali primari è affidata l'intera capacità antisismica del sistema; gli elementi strutturali secondari sono progettati per resistere ai soli carichi verticali."

Tale indicazione è poi discussa al §7.2.3: "nell'analisi della risposta sismica, la rigidità e la resistenza alle azioni orizzontali [sott: degli elementi secondari] possono essere trascurate. Tali elementi sono progettati per resistere ai soli carichi verticali e per seguire gli spostamenti della struttura senza perdere capacità portante. Gli elementi secondari e i loro collegamenti devono quindi essere progettati e dotati di dettagli costruttivi per sostenere i carichi gravitazionali quando soggetti a spostamenti causati dalla più sfavorevole delle condizioni sismiche di progetto allo SLC."

Le NTC non chiariscono pertanto se le pareti in falso possano essere considerate come elementi strutturali sismoresistenti o solamente come elementi strutturali secondari. In tal senso si esprime la Circolare Esplicativa, rimarcando al §C7.7.4 che "negli edifici lignei gli elementi strutturali sismoresistenti dovranno garantire la continuità della trasmissione delle azioni a partire dal solaio di partenza delle elevazioni in legno; non è quindi ammesso interrompere tali elementi prima del raggiungimento di tale solaio. È invece consentito disporre elementi strutturali sismoresistenti portanti che non raggiungono la sommità dell'edificio". Si capisce pertanto che **è possibile avere pareti in falso, ma non come elementi strutturali sismoresistenti**.

La Circolare Esplicativa ribadisce che: “le pareti secondarie, ovvero di tamponamento oppure strutturali ma non facenti parte del sistema sismoresistente, devono essere progettate prevedendo dettagli costruttivi che non trasmettano azioni orizzontali nel piano della parete stessa. Nell’analisi strutturale **il contributo (in termini di rigidità e di resistenza) di tali pareti secondarie nei confronti delle azioni orizzontali deve essere trascurato**”. Le Circolare Esplicativa è quindi in linea con le più recenti proposte di aggiornamento dell’Eurocodice 8 (Follesa et al., 2018, *The new provisions for the seismic design of timber buildings in Europe, Engineering Structures, 168:736-747*), dove viene indicato che le pareti di taglio sismoresistenti debbano essere strutturalmente continue dalla fondazione (intesa come solaio alla base della struttura in legno, qualora questa sia realizzata sopra una struttura in altro materiale) fino ad un certo piano, al fine di evitare la formazione di meccanismi di piano debole. È sempre invece possibile l’interruzione delle pareti sismo-resistenti senza che esse raggiungano la sommità dell’edificio.



(A) Edificio con tutte le pareti sismo-resistenti continue dalla fondazione in sommità; (B) edificio con parte delle pareti sismo-resistenti continue dalla fondazione in sommità e parte delle pareti interrotte prima di giungere in copertura; (C) edificio con pareti interrotte sotto il terzo e secondo piano prima di giungere in fondazione (possibilità di formazione di un meccanismo di piano debole) (modificata da Follesa et al., 2018)

3. DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE

3 DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE

Le strutture a comportamento dissipativo devono essere progettate in modo che le zone dissipative siano localizzate principalmente in quei punti della struttura dove eventuali plasticizzazioni, instabilità locali o altri fenomeni dovuti al comportamento isteretico non compromettano la stabilità globale della struttura.

A tal riguardo, la Circolare Esplicativa al §C7.7.5.1 fornisce alcune importanti indicazioni: *“negli edifici lignei realizzati a pareti portanti (pareti intelaiate leggere, pareti di tavole incollate incrociate, etc.) la giunzione in altezza tra gli elementi parete dovrà avvenire all’intersezione con i solai. Deve cioè essere evitata la giunzione nelle zone non presidiate dagli impalcati a meno che non venga disposto un opportuno elemento stabilizzante”.*

Proseguendo, la stessa Circolare Esplicativa afferma: *“nel caso di pareti a telaio leggero tutti i bordi dei rivestimenti strutturali devono essere collegati agli elementi del telaio: i rivestimenti che non terminano su elementi del telaio (es. fogli di rivestimento giuntati in altezza) devono essere sostenuti e collegati da elementi di bloccaggio taglio-resistenti. La valutazione della rigidità della parete dovrà tener conto della cedevolezza di tali connessioni”.*

3.1 DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE PER I COLLEGAMENTI

Le membrature compresse e i loro collegamenti (es. i giunti di carpenteria), per cui possa essere prevedibile il collasso a causa dell’inversione di segno della sollecitazione, devono essere progettati in modo tale da evitare separazioni, dislocazioni o disassamenti. In tal senso, perni e bulloni devono essere serrati e correttamente inseriti nei loro alloggiamenti (nel rispetto delle tolleranze previste).



Box di approfondimento

Sono di grande interesse le regole di dettaglio per le zone dissipative date al §7.7.7.1 delle NTC 2018, secondo cui:

- *Perni e bulloni di diametro d superiore a 16 mm non devono essere utilizzati nei collegamenti legno-legno e legno-acciaio, tranne quando siano utilizzati come elementi di chiusura dei connettori e tali da non influenzare la resistenza a taglio.*
- *Il collegamento realizzato mediante spinotti o chiodi a gambo liscio non deve essere utilizzato senza accorgimenti volti ad evitare l'apertura del giunto.*
- *Nel caso di tensioni perpendicolari alle fibre, si devono osservare disposizioni aggiuntive al fine di evitare l'innesco di fratture parallele alla fibratura (splitting).*

3.2 DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE PER GLI IMPALCATI

"Per quanto riguarda gli impalcati si applica quanto previsto al §4.4, con alcune variazioni:

- a) eventuali fattori di incremento della capacità portante dei mezzi di unione ai bordi dei rivestimenti strutturali non devono essere utilizzati; in particolare, nel caso di bordi discontinui dei pannelli non si deve incrementare l'interasse dei chiodi lungo i bordi medesimi;*



Box di approfondimento

Riguardo al punto a) sopracitato, il §4.4 delle NTC 2018 non fornisce alcuna indicazione per il dimensionamento dei diaframmi di piano. Pertanto tale indicazione va letta alla luce di quanto indicato al §9.2.3 dell'Eurocodice 5.

In particolare, il §9.2.3.1 (2) dell'Eurocodice 5 indica che, per i diaframmi assemblati a partire da fogli di materiale a base legno fissati con mezzi di unione meccanici ad un telaio di legno, "la capacità portante dei mezzi di unione in corrispondenza dei bordi può essere aumentata di un coefficiente 1.2 rispetto ai valori forniti nella sezione" della norma, che tratta il calcolo dei collegamenti meccanici. Tale incremento di resistenza dei collegamenti è consentito in ragione del fatto che, essendo presenti nel diaframma un gran numero di connettori soggetti al medesimo carico, la probabilità di raggiungere in tutti il valore di resistenza caratteristica è bassa; viene quindi data la possibilità di utilizzare il valor medio della resistenza, assunto pari a 1.2 volte il valore caratteristico.

Alla luce di quanto esposto, le NTC 2018 non consentono di considerare tale aumento di resistenza delle connessioni utilizzate nel calcolo in condizioni sismiche.

Inoltre, al §9.2.3.2 (4) l'Eurocodice 5 indica che "nel caso in cui i fogli siano sfalsati, le spaziature di chiodi lungo i bordi discontinui del pannello possono essere aumentate di un coefficiente 1.5 (...) senza riduzione della capacità portante" mentre anche in questo caso le NTC 2018 non consentono tale aumento per il calcolo in condizioni sismiche.

- b) la distribuzione delle forze di taglio negli impalcati deve essere valutata tenendo conto della disposizione effettiva in pianta degli elementi di controvento verticali;*
- c) i vincoli nel piano orizzontale tra impalcato e pareti portanti verticali devono essere di tipo bilatero.*

Tutti i bordi dei rivestimenti strutturali devono essere collegati agli elementi del telaio: i rivestimenti strutturali che non terminano su elementi del telaio devono essere sostenuti e collegati da appositi elementi di bloccaggio taglio-resistenti. Dispositivi con funzione analoga devono essere disposti nei diaframmi orizzontali posti al di sopra di elementi verticali di controvento (ad esempio le pareti).

La continuità delle travi deve essere assicurata, specialmente in corrispondenza delle zone di impalcato che risultano perturbate dalla presenza di aperture".

Le precedenti indicazioni sono volte ad incrementare l'efficacia del controventamento di piano offerto dal solaio, ed in particolare del collegamento a taglio dei bordi dei pannelli (dove è previsto l'inserimento di appositi elementi di fissaggio) e del collegamento tra il diaframma di piano e gli elementi portanti sottostanti.

A valle di quanto esposto, è inoltre previsto che: "quando gli impalcati sono considerati, ai fini dell'analisi strutturale, come rigidi nel loro piano, si deve assicurare il mantenimento della direzione di tessitura delle travi di nelle zone in cui si attua il trasferimento delle forze orizzontali agli elementi verticali (per esempio le pareti di controvento)".

L'obiettivo delle NTC è ancora una volta quello di garantire un'efficace trasmissione delle azioni orizzontali tra impalcato e pareti di controvento, e viene raggiunto prescrivendo la progettazione di un opportuno dettaglio costruttivo.

Box di approfondimento

Le disposizioni fornite dalle NTC 2018 vanno lette alla luce di quanto esposto all'interno della Circolare Esplicativa, al cui §7.7.5.3 viene indicato che:

“Negli impalcati (solai, orizzontamenti, coperture, ecc.), realizzati mediante travi ed elementi di rivestimento (pannelli, tavolato, tavoloni, ecc.), gli elementi di rivestimento dovranno essere collegati meccanicamente o mediante incollaggio alle travi del solaio e ad elementi trasversali opportunamente inseriti (elementi di bloccaggio taglio resistenti o a un secondo strato di elementi di rivestimento).

Nei solai, specialmente in corrispondenza delle aperture, è necessario che le travi garantiscano la continuità nel trasferimento delle azioni orizzontali, eventualmente mediante elementi di collegamento specificamente progettati e verificati.

In corrispondenza delle zone nelle quali si attua il trasferimento delle forze orizzontali alle pareti di controvento il mantenimento della tessitura delle travi può essere evitato purché il dettaglio costruttivo adottato garantisca la trasmissione delle azioni orizzontali tra impalcato e pareti di controvento”.

La Circolare spiega che il collegamento degli elementi di rivestimento può avvenire su appositi elementi di bloccaggio taglio resistenti o su un secondo strato di elementi di rivestimento e che per “continuità delle travi” in corrispondenza delle zone di solaio vicine alle aperture si intende che queste siano in grado di garantire una continuità nel trasferimento delle azioni orizzontali (anche mediante elementi di collegamento).

La Circolare Esplicativa prosegue con indicazioni in merito ai solai a cassone o in CLT:

“Negli impalcati (solai, orizzontamenti, coperture, ecc.), realizzati mediante elementi prefabbricati (ad esempio cassoni, pannelli di tavole incrociate incollate) valgono le seguenti prescrizioni:

- *il collegamento reciproco tra gli elementi deve essere progettato e realizzato in modo da assicurare il trasferimento delle forze sismiche di piano;*
- *i vincoli tra gli elementi di solaio e i sistemi resistenti a sviluppo verticale devono essere di tipo bilatero”.*

Infine, sono di grande interesse le regole di dettaglio per gli impalcati date al §7.7.2 delle NTC 2018, secondo cui:

- In assenza di elementi di controvento trasversali posti in posizione intermedia lungo la trave, il rapporto altezza/spessore per una trave a sezione rettangolare deve rispettare la condizione $h/b \leq 4$.
- In siti caratterizzati da un valore $a_g S \geq 0.2g$, particolare attenzione deve essere posta alla spaziatura degli elementi di fissaggio in zone di discontinuità.

Con tali regole, le NTC evidenziano la necessità di evitare l'impiego di travi troppo snelle e, in presenza di zone ad elevata sismicità, prescrivono di adottare una spaziatura minore dei connettori nelle aree di discontinuità.

Va sottolineato inoltre che la verifica della resistenza dell'impalcato nel piano e il rispetto delle disposizioni costruttive sopra riportate vanno sempre adottate, indipendentemente dal fatto che nell'analisi il solaio sia modellato come rigido o meno nei confronti delle azioni orizzontali.

3.3 VERIFICHE DI SICUREZZA

Riguardo alle verifiche di sicurezza, il §7.7.6 delle NTC afferma che: *"i valori di resistenza degli elementi di legno fanno riferimento a carichi di tipo "istantaneo", nelle condizioni di servizio assunte per la struttura"*.

Al fine di garantire una corretta attivazione delle zone assunte come dissipative, tutti gli altri elementi strutturali e/o connessioni devono essere progettati con adeguati valori di sovrarresistenza, come indicato nel §7.7.3. Tale requisito di sovrarresistenza si applica, in particolare, a:

- collegamenti di elementi tesi o qualsiasi collegamento alle strutture di fondazione;
- collegamenti tra diaframmi orizzontali ed elementi verticali di controvento.

Le NTC indicano inoltre che: *"per la verifica di strutture progettate in conformità con il concetto di comportamento strutturale dissipativo (classe di duttilità CD "A" o CD "B"), può considerarsi valido quanto riportato nelle verifiche di resistenza (RES) del §7.3.6.1. quando siano soddisfatti i requisiti di cui al §7.7.3 per le zone dissipative (anche sulla base di apposite prove sperimentali) e la resistenza del materiale sia opportunamente ridotta del 20% per tener conto del degrado per deformazioni cicliche"*.

Al fine di comprendere meglio quanto specificato al paragrafo precedente, si riporta qui di seguito quanto indicato al §7.7.3: *“per le strutture a comportamento dissipativo, la capacità delle membrature è calcolata con riferimento al loro comportamento ultimo [...] Per le strutture a comportamento non dissipativo, la capacità delle membrature è calcolata con riferimento al loro comportamento elastico o sostanzialmente elastico”* e che *“la resistenza dei materiali può essere ridotta per tener conto del degrado per deformazioni cicliche, giustificandolo sulla base di apposite prove sperimentali. In tal caso, ai coefficienti parziali di sicurezza sui materiali γ_M si attribuiscono i valori precisati nel Cap. 4 per le situazioni eccezionali”* (pari a 1.0).

Le NTC consentono di adottare i coefficienti parziali di sicurezza dati per le combinazioni eccezionali ai fini delle verifiche di resistenza nei confronti delle azioni sismiche, tenendo conto in modo esplicito del degrado di resistenza dovuto ai carichi ciclici attraverso prove sperimentali o (in mancanza di valutazioni più precise) mediante una riduzione del 20% della resistenza. Questo è possibile purché, come indicato al §7.7.3.1: *“le zone considerate dissipative siano in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli a inversione completa, con un rapporto di duttilità statica pari a 4 per le strutture in CD “B”, e pari a 6 per le strutture in CD “A” senza che si verifichi una riduzione di resistenza maggiore del 20%”*.

Il valore della **resistenza di progetto delle zone dissipative** si può valutare, tenendo conto del degrado dovuto ai carichi ciclici, mediante la relazione:

$$F_{Rd,d} = \beta_{deg} k_{mod} \frac{F_{Rk,d}}{\gamma_M}$$

mentre la **resistenza di progetto delle zone non dissipative**, progettate in campo elastico, si può valutare mediante la relazione:

$$F_{Rd,b} = k_{mod} \frac{F_{Rk,b}}{\gamma_M}$$

dove i simboli $F_{Rk,d}$ e $F_{Rk,b}$ sono le resistenze caratteristiche dell'elemento dissipativo e dell'elemento fragile, $F_{Rd,d}$ e $F_{Rd,b}$ sono i rispettivi valori di progetto, γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza lato materiale per la combinazione eccezionale, pari a 1.0, e β_{deg} è il fattore di riduzione della resistenza per degrado, assunto pari a 0.8.

Box di approfondimento

Al fine di chiarire come vanno utilizzate le formule sopracitate, si riporta di seguito una traccia relativa alla progettazione in capacità di una connessione atta a prevenire il ribaltamento di una parete (hold down o tie down). Tale approfondimento interessa il cosiddetto livello locale (delle connessioni).

Per garantire la dissipazione energetica nella connessione è necessario assicurare che la rottura avvenga per il raggiungimento della resistenza del collegamento a taglio (tipicamente realizzato a mezzo di chiodi o viti) fra il connettore metallico e la parete in legno. Pertanto, devono essere evitate tutte le rotture di tipo fragile (non dissipative) tra cui:

- rottura degli ancoranti per CA o delle barre filettate;
- rottura a trazione delle piastre in acciaio nella sezione più debole;
- rotture fragili lato legno quali splitting (spacco), block shear (rottura in blocco) e plug shear (espulsione del "tassello" di legno).

A tale scopo, le modalità di rottura fragili che caratterizzano la connessione devono essere progettate con una resistenza $F_{Rd,b}$ pari o superiore alla domanda di resistenza $F_{Ed,CD,b}$ valutata in accordo alla progettazione in capacità:

$$F_{Rd,b} \geq F_{Ed,CD,b} = \frac{\gamma_{Rd}}{\beta_{deg}} \cdot F_{Rd,d}$$

dove $F_{Rd,d}$ è la resistenza di progetto della zona dissipativa della connessione, ovvero del collegamento realizzato a mezzo di chiodi o viti.

Poiché nel calcolo della resistenza di progetto delle zone dissipative è stato introdotto un coefficiente riduttivo $\beta_{deg} = 0.8$ per considerare la possibile riduzione di capacità per effetto del degrado ciclico, tale coefficiente è utilizzato nell'equazione soprastante per considerare la massima resistenza della zona dissipativa, la quale viene ulteriormente amplificata dal coefficiente di sovraresistenza γ_{Rd} .



FEDERLEGNOARREDO

ASSOLEGNO

Foro Buonaparte 65, 20121 Milano

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it