APPROFONDIMENTI NORMATIVI, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AL QUADRO NORMATIVO EUROPEO, SULLA PROGETTAZIONE DI EDIFICI MULTIPIANO IN LEGNO IN ZONA SISMICA.

Data: 10/07/2018

Introduzione

Il presente documento è relativo alla illustrazione delle principali novità normative, con particolare riferimento al quadro normativo europeo attualmente in evoluzione, sulla progettazione degli edifici multipiano in legno in zona sismica.

Principali novità introdotte nella proposta di revisione del Capitolo 8 dell'Eurocodice 8

Pur cercando di mantenere sostanzialmente lo stesso ordine di paragrafi e argomenti previsti nella versione attuale (anche per coerenza con i capitoli relativi agli altri materiali), le novità introdotte nella proposta di revisione sono diverse e particolarmente significative. Basti pensare che la versione attuale del Capitolo è composta di sole 5 pagine e l'attuale bozza di revisione è composta di ben 26 pagine.

In particolare le modifiche introdotte rispetto alla versione precedente si possono riassumere nei seguenti punti:

1. È stato modificato e notevolmente ampliato il paragrafo relativo ai "Materiali e proprietà per le zone dissipative", rinominato in "Materiali e proprietà per le zone dissipative e non dissipative", introducendo nuovi materiali, attualmente non contemplati, quali i pannelli OSB, i pannelli di gessofibra e i pannelli X-Lam.
2. È stato introdotto un nuovo paragrafo che definisce i diversi sistemi costruttivi contemplati per la realizzazione di edifici a struttura di legno, anche con una descrizione grafica schematica. Viene comunque lasciato spazio all'introduzione di nuovi sistemi costruttivi non attualmente contemplati, definendo il percorso possibile per il loro utilizzo.
3. Seguendo l'ordine dei sistemi costruttivi definiti al punto 2, è stata completamente ridefinita la tabella dei valori del fattore di struttura q, definendo per ogni tipologia, quando applicabile, un valore per ogni Classe di Duttilità (Media o Alta), coerentemente a quanto previsto per gli altri materiali all'interno dell'Eurocodice 8.
4. Sono state ridefinite le regole di duttilità per le zone dissipative, aggiungendo all'attuale regola di carattere prescrittivo che fa riferimento al diametro del connettore e allo spessore delle membrature altre due alternative, entrambe di carattere prestazionale: una che fa riferimento al valore di duttilità statica dell'elemento/componente dissipativo considerato (connessione o componente strutturale, ad es. connettore o parete resistente a taglio) o, in alternativa, una seconda che fa riferimento alle modalità di rottura dell'unione, come definite dalle formule di Johansen nell'Eurocodice 5.
5. Viene definita l'equazione generale della gerarchia delle resistenze per la progettazione degli elementi non dissipativi e per ogni sistema costruttivo caratterizzato da una Classe di Duttilità Media o Alta vengono definite le regole di gerarchia delle resistenze per ogni Classe di Duttilità, sia a livello globale (edificio) che locale (connessioni).

6. Vengono definiti i valori del fattore di sovraresistenza da applicare nell'equazione della gerarchia delle resistenze per ogni sistema costruttivo.
7. Sono state modificate le verifiche di resistenza rispetto al formato attuale, modificando anche il valore previsto per il coefficiente di sicurezza sui materiali per le verifiche nel caso di comportamento strutturale dissipativo e non dissipativo.

Oltre alle modifiche citate, vi sono altre modifiche e o aggiunte minori relative alle definizioni generali, alle regole di dettaglio e ai criteri di regolarità, oltre all'aggiunta di una Appendice relativa all'applicazione del metodo di analisi statica non lineare (analisi pushover) per le strutture di legno, coerentemente con quanto previsto per gli altri materiali nella futura versione dell'Eurocodice 8.

Nel seguito vengono illustrate con maggiore dettaglio le novità introdotte.

Materiali e proprietà per le zone dissipative e non dissipative

Oltre ai materiali già presenti nella versione attuale (pannelli di particelle e di fibra, pannelli di compensato) sono stati aggiunti i seguenti:

- pannelli di OSB secondo quanto specificato nella EN 300 con uno spessore di almeno 12 mm;
- pannelli di gessofibra (GF) secondo quanto specificato nella EN 15283-2 con uno spessore di almeno 12 mm.
- pannelli X-Lam prodotti secondo quanto specificato nella EN 16351 con uno spessore di almeno 60 mm per le pareti resistenti a taglio e 18 mm per i pannelli dei diaframmi di solaio e di copertura. La prescrizione dei 18 mm per i diaframmi, pur non trovando riscontro nella produzione attualmente diffusa in commercio, fa riferimento all'attuale definizione di X-Lam data all'interno della EN 16351 dove è specificato che lo spessore minimo di ogni strato è 6 mm e il numero minimo di strati è 3.

Inoltre vengono ulteriormente ampliate le prescrizioni già presenti per gli elementi di acciaio utilizzati per i collegamenti, aggiungendo alcuni riferimenti alle norme di prodotto EN 409 e alla EN 14952 per la resistenza a fatica a bassi cicli nelle zone dissipative.

Sistemi costruttivi

Per gli edifici a struttura di legno vengono definite le seguenti tipologie costruttive, accompagnate da schemi grafici esemplificativi:

1. Sistema a pannelli lamellari incrociati (X-Lam), ovvero edifici composti da pareti X-Lam resistenti a taglio.
2. Sistema a telaio leggero, ovvero strutture nelle quali le pareti resistenti a taglio sono composte da telai lignei rivestiti con pannelli a base di legno o altri tipi di pannelli di rivestimento strutturale definiti all'interno del paragrafo "Materiali e proprietà per le zone dissipative e non dissipative".
3. Sistema Log House, ovvero strutture nelle quali le pareti sono composte dalla sovrapposizione di elementi di legno massiccio o lamellare a sezione rettangolare o tonda, prefabbricati con giunti di carpenteria alle estremità e con scanalature superiori ed inferiori.
4. Telai resistenti a momento, ovvero telai composti da elementi lignei collegati con giunti semi-rigidi – realizzati con elementi meccanici di collegamento.
5. Sistema a travi e pilastri, ovvero sistemi di travi e colonne incernierate con controventi verticali realizzati con reticolari lignee.
6. Strutture miste realizzate con intelaiature lignee e riempimenti in muratura resistenti alle azioni orizzontali.
7. Archi di grande luce a due o tre cerniere.

8. Travi reticolari di grande luce con unioni realizzate con chiodi, viti, spinotti e bulloni.
9. Sistemi a mensole verticali con pareti di legno lamellare o X-Lam strutturalmente continue.

Per ciascun sistema costruttivo viene data una descrizione più estesa all'interno del paragrafo relativo ai Criteri di Gerarchia delle Resistenze dove, per tutti i sistemi classificati in Classe di Duttilità Media o Alta, è presente un sotto paragrafo denominato "Regole Generali".

Ad esempio per il sistema X-Lam viene specificato che le pareti devono avere altezza pari almeno all'altezza interpiano e possono essere composte da un unico elemento fino alla lunghezza massima trasportabile o essere composte da più di un pannello ('pareti segmentate') di larghezza minima pari ad *h*/4, con *h* altezza d'interpiano, collegati mediante unioni realizzate con elementi meccanici di collegamento. Per quanto riguarda i solai, viene specificato che possono essere composti o da pannelli X-Lam che poggiano sulle pareti e/o su travi se presenti oppure possono essere realizzati in alternativa solai travi e pannelli strutturali di irrigidimento o con tecnologia mista legno-cls.

Per il sistema a telaio leggero viene specificato che i diaframmi di solaio e copertura sono composti da travi o arcarecci ad interasse costante ed elementi di bloccaggio in legno tra di essi sulla parte superiore dei quali un pannello di rivestimento strutturale è connesso mediante viti, chiodi o cambrette lungo tutto il perimetro, o in alternativa altre tipologie, come pannelli X-Lam o solai misti legno-cls.

Infine vengono dati dei criteri di regolarità strutturale specificando che le pareti resistenti a taglio devono essere strutturalmente continue dalla fondazione o dal primo impalcato in legno dell'edificio fino ad un determinato piano, e non possono essere interrotte al di sotto di un determinato piano al fine di evitare la possibilità che si verifichino meccanismi di piano soffice e viene lasciata aperta la possibilità di utilizzare nuovi sistemi costruttivi a patto che le proprietà delle zone dissipative vengano determinate mediante prove eseguite su singole unioni, sull'intera struttura o parti di essa in accordo con quanto specificato nella EN 12512 e nell'Allegato D della EN 1990.

Fattori di struttura e regole di duttilità per le zone dissipative.

Viene completamente ridefinita la tabella dei fattori di struttura, definendo un valore massimo del fattore di struttura per ogni tipologia strutturale definita e per ogni Classe di Duttilità, quando applicabile. Per strutture progettate secondo il principio di comportamento strutturale non dissipativo (DCL), il valore del fattore di struttura q deve essere assunto non maggiore di 1,5.

Tabella 1: Tipologie strutturali e valori massimi del fattore di struttura per edifici regolari in elevazione.

Tipologia strutturale		DCM	DCH
1	Edifici X-Lam	2,0	3,0
2	Edifici a telaio leggero	2,5	4,0
3	Edifici Log House	2,0	-
4	Telai resistenti a momento	2,5	4,0
5	Edifici a travi e pilastri	2,0	-
6	Strutture miste realizzate con intelaiature lignee e riempimenti in muratura resistenti alle azioni orizzontali.	2,0	-
7	Archi di grande luce a due o tre cerniere	-	-
8	Travi reticolari di grande luce con unioni realizzate con chiodi, viti, spinotti e bulloni	-	-
9	Sistemi a mensole verticali con pareti di legno lamellare o X-Lam strutturalmente continue	2,0	-

Al fine di poter garantire che i valori del fattore di struttura q dati siano utilizzabili, per le zone dissipative specificate nei criteri di gerarchia delle resistenze per ogni tipologia strutturale vengono date tre possibilità alternative:

1. devono essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli a inversione completa al valore del rapporto di duttilità statica specificato in Tabella 2, senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20% sia con riferimento alla curva di inviluppo del primo ciclo che tra le curve di inviluppo del primo e terzo ciclo. Per lo stesso sistema strutturale queste prescrizioni devono essere soddisfatte da solo un tipo di componente strutturale\elemento\connessione a patto che vengano soddisfatte le regole di gerarchia delle resistenze definite nelle pertinenti sezioni per ogni tipologia strutturale.

Tabella 2 Valori del rapporto di duttilità statica richiesto per le zone dissipative testate in accordo con quanto previsto nella EN 12512 senza che si abbia una riduzione di resistenza maggiore del 20% tra la curva di inviluppo del primo e terzo ciclo a seconda della Classe di Duttilità.

Tipologia strutturale	Componente strutturale/elemento/connessione dissipative	Tipo di duttilità	DCM	DCH
Edifici X-Lam	Parete resistente a taglio	Duttilità di spostamento	3,0	4,0
Edifici X-Lam	Hold-down, angolari, viti	Duttilità di spostamento	3,0	4,0
Edifici a telaio leggero	Parete resistente a taglio	Duttilità di spostamento	3,0	5,0
Edifici a telaio leggero	Elemento di collegamento (chiodo/vite/cambretta)	Duttilità di spostamento	5,0	7,0
Edifici Log House	Parete resistente a taglio	Duttilità di spostamento	2,0	-
Telai resistenti a momento	Telaio a portale	Duttilità di spostamento	2,5	4,0
Telai resistenti a momento	Unione trave/pilastro	Duttilità rotazionale	6,0	10,0
Edifici a travi e pilastri	Telaio controventato	Duttilità di spostamento	2,0	-
Strutture miste realizzate con intelaiature lignee e riempimenti in muratura resistenti alle azioni orizzontali	Parete resistente a taglio	Duttilità di spostamento	2,0	-
Sistemi a mensole verticali con pareti di legno lamellare o X-Lam	Parete resistente a taglio	Duttilità di spostamento	2,5	-

strutturalmente continue				

2. In alternativa, le prescrizioni precedenti possono essere considerate soddisfatte per le zone dissipative di tutte le tipologie strutturali in classe di duttilità DCH se le seguenti prescrizioni sono soddisfatte (regola attualmente presente nel Capitolo 8 dell'Eurocodice 8):
   a) in collegamenti del tipo legno-legno o legno-acciaio con spinotti, bulloni e chiodi, lo spessore minimo delle membrature connesse deve essere pari a 10d e il diametro dell'elemento di collegamento d non deve essere maggiore di 12 mm.
   b) nelle pareti resistenti a taglio degli edifici a telaio leggero il rivestimento strutturale è a base di legno e ha uno spessore minimo di 4d, con il diametro del chiodo d che non supera 3,1 mm.

   Se le prescrizioni di cui al punto precedente non sono soddisfatte, ma lo spessore minimo delle membrature è almeno 8d e 3d per i casi a) e b) rispettivamente, le zone dissipative di tutte le tipologie strutturali possono essere considerate in classe di duttilità DCM anche con l'utilizzo di pannelli di rivestimento in fibrogesso.

3. Inoltre, le prescrizioni precedenti possono essere considerate soddisfatte:
   a) per le zone dissipative di tutte le tipologie strutturali in classe di duttilità DCM, per il sistema X-Lam in classe di duttilità DCH con pareti segmentate e per la connessione telaio-rivestimento, quando si ottiene un meccanismo di rottura duttile caratterizzato dalla formazione di almeno una cerniera plastica negli elementi meccanici di collegamento in condizione di progetto sismica;
   b) per i collegamenti con chiodi o viti tra rivestimento e telaio utilizzati in edifici a telaio leggero classificati in classe di duttilità DCH, quando si ottiene un meccanismo di rottura duttile caratterizzato dalla formazione di almeno una cerniera plastica nel chiodo (o vite) in condizione di progetto sismica;
   c) per le zone dissipative di tutte le tipologie strutturali in classe di duttilità DCH, quando si ottiene un meccanismo di rottura duttile caratterizzato dalla formazione di due cerniere plastiche negli elementi meccanici di collegamento in condizione di progetto sismica.

   In particolare con riferimento al §8.2.2 della EN 1995-1-1 per connessioni legno-legno e pannello-legno, si dovranno evitare le modalità di rottura *a,b* e *c* per elementi di collegamento a singola sezione di taglio e *g* e *h* per elementi di collegamento a doppia sezione di taglio. Con riferimento al §8.2.3 della EN 1995-1-1 per connessioni acciaio-legno, si dovranno evitare le modalità di rottura *a* e *c* per elementi di collegamento a singola sezione di taglio, e le modalità di rottura *f, j* e *l* per elementi di collegamento a doppia sezione di taglio. Particolare attenzione dovrà essere rivolta a impedire rotture fragili tipo fessure da spacco longitudinale, espulsione di tasselli di legno, rotture a taglio e a trazione del materiale base. Nel caso di connessioni con elementi di collegamento multipli nelle zone dissipative, dovrà essere previsto un adeguato rinforzo in modo da evitare i meccanismi di rottura fragile sopra menzionati.

Viene inoltre specificato che le unioni realizzate con elementi di collegamento a gambo cilindrico che trasferiscono la maggior parte del carico per resistenza assiale non possono essere considerate dissipative. In particolare, gli elementi di collegamento a gambo cilindrico nelle zone dissipative devono essere inseriti perpendicolarmente alla direzione della forza di taglio trasferita dall'unione.

Criteri di gerarchia delle resistenze e coefficienti di sovraresistenza.

Come accennato nel paragrafo introduttivo, per ogni tipologia strutturale vengono definite, oltre alle regole generali, i criteri di gerarchia delle resistenze definiti per ciascuna delle due Classi di Duttilità

a comportamento dissipativo sia a livello globale (edificio) che a livello locale (connessione), individuando le zone dissipative e gli elementi\componenti\connessioni a comportamento fragile che vanno progettati con adeguate riserve di sovraresistenza. I criteri di gerarchia delle resistenze adottati assicurano, con un ragionevole livello di affidabilità, che i meccanismi di rottura duttile si verifichino prima della rottura degli elementi strutturali a comportamento fragile, individuando gli elementi a comportamento duttile e fragile della struttura e progettando gli elementi fragili sovraresistenti rispetto agli elementi duttili, adottando opportuni valori del fattore di sovraresistenza. Questa procedura assicura che la struttura nel suo insieme possieda comunque una capacità adeguata di sviluppare deformazioni plastiche negli elementi responsabili della dissipazione energetica, coerentemente con il valore del fattore di struttura adottato.

A tale scopo per tutte le tipologie strutturali elencate in Tabella 1, la resistenza di progetto delle parti fragili $F_{Rd,b}$ deve essere maggiore o uguale alla resistenza di progetto delle parti duttili $F_{Rd,d}$ moltiplicata per un fattore di sovraresistenza $_{Rd}$ e divisa per un fattore di riduzione $_{sd}$ che tiene in considerazione la riduzione di resistenza dovuta alle azioni cicliche secondo la seguente equazione:

$$\frac{\gamma_{Rd}}{\beta sd} \cdot F_{Rd,d} \leq F_{Rd,b} \quad (1)$$

dove i valori di $_{Rd}$ sono forniti in Tabella 3, e il valore di $_{sd}$ è pari a 0,8 per le zone dissipative di tutte le tipologie costruttive. In ogni caso le forze nelle connessioni, elementi e collegamenti alle fondazioni non dissipativi, calcolate utilizzando il fattore di sovraresistenza $_{Rd}$ e il fattore di riduzione di resistenza $_{sd}$, non dovranno superare i valori elastici calcolati con q=1.5.

Tabella 3 Valori del fattore di sovraresistenza $_{Rd}$

Tipologia strutturale	Fattore di sovraresistenza $_{Rd}$
Edifici X-Lam, edifici a telaio leggero, edifici Log House, telai resistenti a momento con connettori a tubo ad alta duttilità, strutture miste realizzate con intelaiature lignee e riempimenti in muratura resistenti alle azioni orizzontali	1,3
Telai resistenti a momento (eccetto telai con connettori a tubo ad alta duttilità), edifici a travi e pilastri, sistemi a mensole verticali con pareti di legno lamellare o X-Lam strutturalmente continue	1,6

In Tabella 4 sono riassunti i criteri di gerarchia delle resistenze per le diverse tipologie costruttive classificate in Classe di Duttilità Media e Alta.

Tabella 1: Criteri di Gerarchia delle Resistenze per le DCM e DCH per le diverse tipologie strutturali.

Tipologia strutturale	Classe di Duttilità Media (DCM)		Classe di Duttilità Alta (DCH)	
	Zone non dissipative (elementi fragili)	Zone dissipative (elementi duttili)	Zone non dissipative (elementi fragili)	Zone dissipative (elementi duttili)
X-Lam	– Tutti i pannelli parete e solaio.	– Collegamenti di presidio allo scorrimento	– Tutti i pannelli parete e solaio.	– Collegamenti di presidio allo scorrimento

Tipologia strutturale	Classe di Duttilità Media (DCM)		Classe di Duttilità Alta (DCH)	
	Zone non dissipative (elementi fragili)	**Zone dissipative (elementi duttili)**	**Zone non dissipative (elementi fragili)**	**Zone dissipative (elementi duttili)**
	– Collegamenti tra pannelli solaio. – Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti. – Collegamenti tra pareti ortogonali.	alla base delle pareti. – Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti.	– Collegamenti tra pannelli solaio. – Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti. – Collegamenti tra pareti ortogonali.	alla base delle pareti. – Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti. – Collegamenti verticali tra pannelli parete adiacenti.
Telaio leggero	– Connessioni tra telaio e rivestimento nei solai. – Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti. – Collegamenti tra pareti ortogonali. – Pannelli di rivestimento e elementi lignei del telaio di pareti e solai.	– Collegamenti di presidio allo scorrimento alla base delle pareti. – Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti. – Connessioni tra telaio e rivestimento nelle pareti.	– Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti. – Collegamenti tra pareti ortogonali. – Pannelli di rivestimento e elementi lignei del telaio di pareti e solai. – Collegamenti di presidio allo scorrimento alla base delle pareti. – Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti.	– Connessioni tra telaio e rivestimento nelle pareti.
Edifici Log-house	–Elementi lignei (tronchi) che costitituiscono le pareti e giunti di carpenteria –Collegamenti di presidio allo scorrimento alla base delle pareti. –Collegamenti di presidio al sollevamento	– Attrito tra i tronchi che compongono le pareti	-	-

Tipologia strutturale	Classe di Duttilità Media (DCM)		Classe di Duttilità Alta (DCH)	
	Zone non dissipative (elementi fragili)	Zone dissipative (elementi duttili)	Zone non dissipative (elementi fragili)	Zone dissipative (elementi duttili)
	alle estremità delle pareti.			
Telai resistenti a momento	–Tutti gli elementi lignei.	–Tutti gli elementi di collegamento a gambo cilindrico.	–Tutti gli elementi lignei.	–Unioni ad alta duttilità, ovvero sistemi speciali che prevedono l'unione trave-pilastro progettata specificatamente per ottenere alti livelli di duttilità.
Edifici a travi e pilastri	–Tutti gli elementi lignei.	–Tutti gli elementi di collegamento a gambo cilindrico.	-	-
Sistema a mensole verticali	–Pannelli parete.	–Elementi di collegamento meccanico nelle connessioni alla base delle pareti		

Inoltre nel progettare i collegamenti di qualsiasi tipologia strutturale si deve assicurare una modalità di rottura duttile caratterizzata dallo snervamento degli elementi meccanici di collegamento (chiodi, viti) nelle connessioni legno-legno e acciaio-legno, evitando qualsiasi possibile modalità di rottura fragile, utilizzando i valori del fattore di sovraresistenza dati per le diverse tipologie costruttive in Tabella 3. A questo scopo occorre applicare questi requisiti di sovraresistenza alle seguenti verifiche:

- Resistenza a trazione e allo sfilamento dei tirafondi di ancoraggio alla fondazione e degli altri elementi di collegamento sollecitati a trazione;
- Resistenza della piastra d'acciaio nella sezione più debole in collegamenti realizzati con hold-down e angolari metallici.

Altre modalità di rottura fragile come fratture parallele alla fibratura (splitting), rotture a taglio di gruppo, rotture a strappo e fratture nel legno per trazione nella zona di connessione devono essere sempre evitate.

Verifiche di sicurezza

Anche riguardo alle verifiche di sicurezza, le modifiche rispetto alla versione attuale del Capitolo 8 dell'Eurocodice 8 sono sostanziali. Diversamente dalla versione attuale, viene specificato che si applicano i valori dei coefficienti parziali di sicurezza sul materiale $_M$ per combinazioni eccezionali secondo quanto indicato dalla EN 1995-1-1 sia per le verifiche con comportamento strutturale dissipativo che non dissipativo.

Per le verifiche agli stati limite ultimi di strutture progettate in accordo con il principio di comportamento strutturale dissipativo (Classi di Duttilità M o H), il degrado di resistenza delle zone dissipative deve essere tenuto in considerazione moltiplicando il valore di resistenza caratteristica in

condizioni statiche per il coefficiente di riduzione $_{sd}$ uguale a 0.8. La resistenza di progetto deve essere calcolata come:

$$F_{Rd,d} = k_{mod} \cdot \beta sd \cdot \frac{F_{Rk,d}}{\gamma_M} \quad (2)$$

Per le verifiche secondo il principio di comportamento strutturale non dissipativo (Classe di Duttilità L), il degrado di resistenza delle zone non-dissipative può non essere tenuto in considerazione. La resistenza di progetto deve essere calcolata come:

$$F_{Rd,b} = k_{mod} \cdot \frac{F_{Rk,b}}{\gamma_M} \quad (3)$$

Conclusioni

Il lavoro di revisione del Capitolo 8 dell'Eurocodice 8 è ancora in corso all'interno della Commissione Tecnica CEN TC 250/SC8/WG3 ed è pertanto possibile che prima della conclusione dei lavori, prevista per la fine del 2018, alcune delle indicazioni normative riassunte nel presente documento vengano ulteriormente modificate. Nel frattempo ulteriori aggiornamenti sono previsti in particolare per quel che riguarda le regole specifiche relative ai diversi sistemi costruttivi e le regole relative al controllo del progetto e della costruzione.

Il Segretario Generale di Conlegno
Sebastiano Cerullo