



Orientamenti interpretativi in merito alle costruzioni in legno

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUZIONE..... | 2 |
| 2 | CENNI GENERALI SULLE TECNICHE COSTRUTTIVE | 3 |
| 2.1 | PLATFORM-FRAME..... | 3 |
| 2.2 | X-LAM..... | 5 |
| 3 | FATTORI DI COMPORTAMENTO E REGOLE DI DUTTILITÀ..... | 6 |
| 3.1 | TIPOLOGIE COSTRUTTIVE E FATTORI DI COMPORTAMENTO..... | 6 |
| 3.2 | REGOLE DI DUTTILITÀ E GERARCHIA DELLE RESISTENZE..... | 9 |
| 3.3 | VERIFICHE DI SICUREZZA..... | 15 |
| 3.3.1 | Comportamento strutturale dissipativo..... | 15 |
| 3.3.2 | Comportamento strutturale non dissipativo..... | 16 |
| 4 | STRUTTURE A PARETI PLURIPIANO XLAM E PLATFORM-FRAME..... | 16 |
| 4.1 | PREMESSA..... | 16 |
| 4.2 | PARETI SOVRAPPOSTE CON CORRISPONDENZA..... | 17 |
| 4.3 | PARETI SOVRAPPOSTE SENZA CORRISPONDENZA CONTINUA..... | 19 |
| 4.4 | PARETI IN FALSO..... | 22 |
| 4.5 | ULTERIORI INDICAZIONI..... | 23 |
| 5 | SCATOLARITÀ STRUTTURALE..... | 24 |
| 6 | COMMISTIONE DI DIVERSE TECNOLOGIE COSTRUTTIVE:..... | 26 |
| 6.1 | TECNOLOGIE COSTRUTTIVE DIVERSE ALLO STESSO LIVELLO..... | 27 |
| 6.2 | STRUTTURA IN LEGNO POSTA AL DISOPRA DI STRUTTURA A TECNOLOGIA DIVERSA..... | 27 |
| 7 | MODELLAZIONE STRUTTURALE..... | 31 |
| 8 | DURABILITÀ E PIANO DI MANUTENZIONE..... | 32 |
| 8.1 | ATTACCO FUNGINO..... | 33 |
| 8.2 | ATTACCO DA INSETTI XILOFAGI..... | 34 |
| 9 | CONTENUTI MINIMI DEL PROGETTO STRUTTURALE..... | 34 |
| 10 | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 36 |
| | APPENDICE 1 - INDICAZIONI RELATIVE AL BLOCKHAUS..... | 38 |



1 I N T R O D U Z I O N E

A fronte di un crescente sviluppo della progettazione delle strutture in legno soprattutto a pareti portanti la normativa vigente risulta in molti casi carente di indicazioni specifiche.

Le regole per la progettazione delle strutture di legno in zona sismica contenute nelle nuove delle Norme Tecniche del 2018 [1], pur contenendo nuovi e sostanziali miglioramenti, risultano ancora molto sintetiche e incomplete e non del tutto esaustive in particolar modo per quel che concerne i criteri di gerarchia delle resistenze e le regole di dettaglio da applicare per alcuni sistemi costruttivi.

Al fine di colmare, almeno parzialmente, tali lacune è opportuno ricordare, innanzitutto, che la Regione Toscana nel 2009 ha emanato le "Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana"¹ [4] alle quali si può ancora fare utile riferimento per l'inquadramento generale delle tipologie costruttive. Si pone tuttavia la necessità di sviluppare ulteriormente gli aspetti costruttivi delle strutture in legno con particolare riferimento a quelle a pareti di più piani.

Facendo specifico riferimento alle tecnologie Platform Frame e X-Lam, infatti, si osservano le seguenti casistiche particolari sulle quali occorre porre particolare attenzione:

- presenza, ai piani superiori, di pareti in falso o su travi o direttamente sui solai;
- scarsa "scatolarità" strutturale in quanto le pareti risultano spesso discontinue a causa della presenza di aperture, anche ampie, fino anche alla completa assenza di una o più delle pareti della "scatola";
- strutture miste, sia allo stesso piano che in elevazione, dove il sistema statico e sismoresistente è rappresentato sia dal legno che da strutture di altra tecnologia (c.a. e legno, acciaio e legno, ...).

Il presente documento si propone, pertanto, di fornire alcuni elementi utili sia ai progettisti che ai tecnici designati per i controlli (sia pubblici che privati) dando anche delle possibili indicazioni interpretative delle norme tecniche: NTC 2018 [1], la relativa Circolare 2019 [2] nonché l'Eurocodice 8 [3] e alle sue possibili prossime revisioni².

Si fa presente che questo documento non è e non vuole sostituirsi o aggiungersi alle norme tecniche la cui redazione è di esclusiva competenza dello Stato e degli organi sovranazionali riconosciuti; piuttosto intende rivolgersi:

- ai progettisti e ai Direttori dei lavori che non hanno particolare esperienza nel campo delle costruzioni in legno (particolarmente per quelle a pareti);

¹ Il documento completo delle Linee Guida per l'edilizia in legno in toscana può essere scaricato gratuitamente all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/linee-guida-per-l-edilizia-in-legno-in-toscana>

² Si fa riferimento alla nuova bozza del Capitolo 8 dell'EC8 presentata nell'ambito di due conferenze internazionali [5, 6]



- ai tecnici deputati al controllo (collaudatori, funzionari pubblici, ...) al fine di rendere più omogenee le attività di verifica e conformità.

Ciò non toglie che siano possibili interpretazioni diverse e non perfettamente in linea con il presente documento.

Pertanto il progettista deve curare i seguenti aspetti:

- accuratezza della modellazione che dovrà rappresentare la globalità del fabbricato (NTC §7.2.6);
- rappresentazione, sulla base dei dettagli costruttivi, dei tipi di vincoli assunti e del conseguente schema statico di riferimento;
- corretta individuazione e modellazione delle effettive rigidzze.

Nel caso di scelte diverse da quelle contenute nel presente documento potranno essere richieste giustificazioni, sia in termini di ipotesi di calcolo e schematizzazione strutturale che di dettagli esecutivi.

Resta inteso che il progettista è comunque ed in ogni caso pienamente responsabile del proprio progetto.

Si ricorda che le indicazioni, con analoghe finalità del presente documento, in merito al sistema costruttivo denominato Blockhaus sono state già oggetto di precedente parere del CTS e vengono riportate in appendice 1.

Preme, infine, far presente che questo documento è il frutto di una collaborazione tra professionisti, università e enti di controllo che ha impegnato per diversi mesi uno specifico gruppo di lavoro. Sono stati anche raccolti numerosi pareri provenienti da altri ambiti (Docenti universitari, enti di ricerca ed esperti ed operatori del settore) prima del parere definitivo del Comitato tecnico scientifico della Regione Toscana. Per questo, oltre al ringraziamento a tutti coloro che hanno contribuito direttamente o indirettamente, è ragionevole sperare che il presente documento possa essere riconosciuto da tutti un utile riferimento ancorché perfettibile e migliorabile.

2 CENNI GENERALI SULLE TECNICHE COSTRUTTIVE

Si descrivono brevemente le principali tecniche costruttive in legno. Si rimanda a descrizioni più estese presenti in testi specifici quali le "Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana".

2.1 PLATFORM-FRAME

La tipologia, nota in Italia con il nome di "telaio leggero", è formato da pareti portanti costituite principalmente da tre tipi di elementi:

- Montanti (verticali): continui da impalcato a impalcato (diaframma), generalmente costituiti da elementi a sezione rettangolare di legno massiccio o legno lamellare disposti in verticale, la cui



sezione mostra la massima inerzia per azioni fuori dal piano (asse forte nel piano della parete), poste a distanza costante oppure variabile in funzione delle sollecitazioni, continui da impalcato a impalcato.

- Traversi (orizzontali): la cui sezione mostra la massima inerzia per azioni fuori dal piano (asse forte nel piano della parete), posti alla base ed alla sommità della parete.

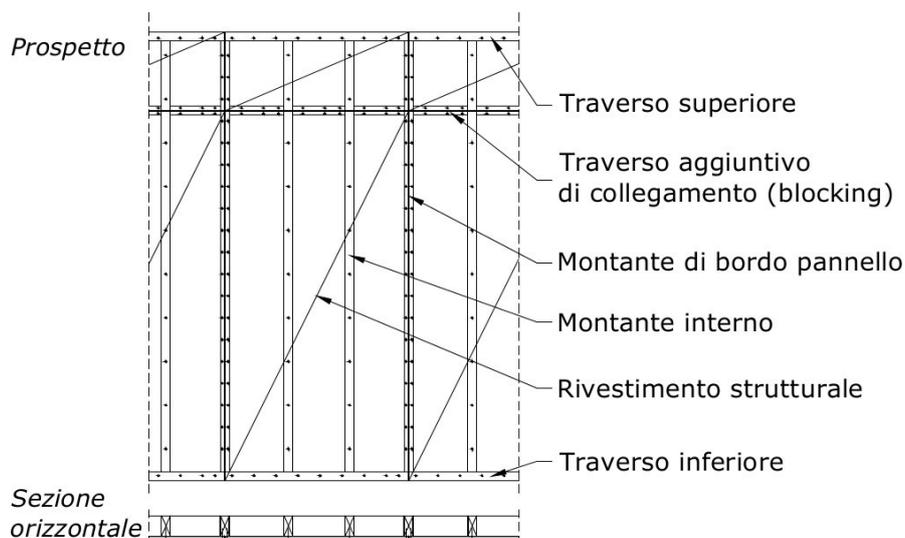


Figura 1: Parete Platform-Frame, prospetto e sezione orizzontale.

I montanti ed i traversi costituiscono l'ossatura portante della parete (che ricorda un telaio formato da trave superiore, trave inferiore e pilastri) che però non può avere un funzionamento a telaio (ovvero a nodi strutturali rigidi) in quanto i montanti ed i traversi non sono e non possono essere incastrati fra loro.

I montanti portano le sollecitazioni verticali derivanti sia dai carichi verticali direttamente applicati su di essi ma anche da sollecitazioni derivanti dal funzionamento della parete di cui fanno parte nei confronti delle azioni orizzontali complanari.

I traversi generalmente hanno la funzione di cordolatura di impalcato se continui o resi continui, a meno che non vi siano altri elementi allo scopo previsti a livello di solaio.

Nel caso in cui la parete funzioni anche come trave-parete (soluzione da sconsigliare con sistema platform-frame), i traversi possono risultare tesi e/o compressi e di questi bisogna garantire la continuità e la stabilità.

- Rivestimento strutturale: generalmente costituito da pannelli a base di legno quali OSB (EN 300), pannelli di compensato (EN 636) o altri elementi strutturali a sviluppo superficiale in grado di assicurare la necessaria resistenza e rigidità a taglio nel piano della parete (ad esempio il gessofibra secondo EN15283-2).

Il rivestimento strutturale, che può essere posto su di un solo lato della parete o su ambedue i lati, è



fissato ai montanti e traversi generalmente mediante chiodi o cambrette e costituisce elemento di unione fra loro di montanti e traversi. Ha la principale funzione di portare gli sforzi di taglio complanari, stabilizza i montanti sia nei confronti della stabilità laterale nel piano della parete (intorno all'asse debole del montante) per sollecitazioni verticali, che nei confronti della stabilità flessotorsionale per carichi agenti fuori dal piano che inflettono i montanti intorno all'asse forte (vento e sisma normali alla parete).

Il rivestimento strutturale, come già detto, costituisce elemento stabilizzante per i montanti ma a sua volta è stabilizzato contro l'ingobbamento per taglio complanare dai montanti e dai traversi (si veda EN 1995-1-1 §9.2.4.2 [7]).

Ciascun foglio di rivestimento strutturale deve essere collegato in corrispondenza di tutti i bordi; bordi verticali ai montanti e bordi orizzontali ai traversi. Qualora il foglio abbia altezza inferiore all'interpiano e i bordi orizzontali non raggiungano i traversi, è necessario prevedere ulteriori traversi aggiuntivi di collegamento orizzontale (blocking) disposti fra i montanti sui quali fissare i bordi dei fogli che altrimenti risulterebbero liberi.

I solai sono generalmente realizzati a travi e rivestimento strutturale costituito da pannelli a base di legno. Oltre alla funzione di portare i carichi verticali i solai hanno la funzione di costituire diaframma per l'edificio; a questo scopo deve essere previsto perimetralmente un cordolo di piano in grado di assorbire gli sforzi di trazione derivanti dalle azioni orizzontali agenti nel piano del solaio.

Il comportamento dell'edificio per azioni orizzontali è governato principalmente dalla deformabilità delle unioni ma anche dalla deformabilità del rivestimento strutturale.

Nella variante "Balloon-Frame" il montanti sono continui su due piani.

2.2 X-LAM

X-Lam è l'acronimo di "cross-lam" ovvero "cross laminated timber (CLT)", tradotto in "pannello di legno massiccio a strati incrociati" o "compensato di tavole".

Tale pannello viene utilizzato per realizzare pareti e solai; oppure solo pareti utilizzando per i solai il sistema a travi e rivestimento strutturale come già illustrato nel caso del sistema Platform-Frame.

Le proprietà meccaniche e di inerzia delle sezioni vanno valutate considerando la laminazione incrociata e la forte anisotropia del legno; in particolare gli strati reagenti alle tensioni normali sono solo quelli sollecitati per tensioni parallele alla fibratura che risultano distanziati fra loro dagli strati ortogonali.

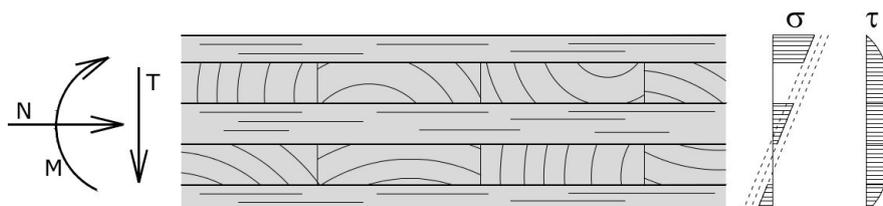


Figura 2: Tensioni interne per pressoflessione e taglio.



Con riferimento alla 7, ciascun allineamento di pareti può essere formato da un unico elemento monolitico, nel quale sono ricavate le forature per porte e finestre, oppure suddiviso in strisce verticali (pannelli) intere da impalcato a impalcato.

È fortemente sconsigliata la suddivisione in strisce orizzontali fra un impalcato e l'altro; qualora venga utilizzata tale configurazione devono essere previsti elementi aggiuntivi stabilizzanti continui da impalcato a impalcato (Circolare 2019 [2] §C4.4.11).

Qualora la parete sia formata da più pannelli, questi saranno uniti fra loro sui bordi da unioni meccaniche (chiodi o viti).

Il comportamento dell'edificio per azioni orizzontali è principalmente governato dalla deformabilità delle unioni, essendo i pannelli molto più rigidi delle unioni ai bordi e delle unioni fra pannelli.

3 FATTORI DI COMPORTAMENTO E REGOLE DI DUTTILITÀ

Le presenti note sono di carattere interpretativo delle indicazioni attualmente contenute nelle NTC 2018 al Cap. 7.3.1 [1] e tengono conto delle indicazioni contenute nella bozza del nuovo Capitolo 8 dell'Eurocodice 8 [5, 6], attualmente in discussione presso il Comitato Europeo di Normazione.

3.1 TIPOLOGIE COSTRUTTIVE E FATTORI DI COMPORTAMENTO

In funzione del loro comportamento duttile e della capacità di dissipazione di energia sotto carichi ciclici, gli edifici a struttura di legno devono essere assegnati alla CD "A" o "B" oppure considerati non dissipativi alle quali si assegna un fattore di comportamento $q \leq 1,5$. Le tipologie strutturali non dissipative corrispondono alla classe DCL dell'Eurocodice 8.

Nella Tab. 1 sono riportati, per ciascuna classe, alcuni esempi di strutture e i valori massimi consigliati q_0 del fattore di comportamento da adottarsi in mancanza di altre specifiche valutazioni; tali valori sono giustificati nelle note in calce alla tabella, resta comunque facoltà del progettista assumere valori diversi nel rispetto delle NTC.

Nel caso in cui il controventamento della struttura sia affidato a materiali diversi (calcestruzzo armato, acciaio), si deve fare riferimento ai pertinenti paragrafi delle NTC.

Si fa presente che per "diaframma" si intendono gli orizzontamenti e la parola "giunto" in questo contesto va letta come "unione".



Tabella 1: Valori massimi consigliati del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tipologie strutturali ed in funzione della classe di duttilità CD (in corsivo si riportano descrizioni esplicative dei diversi sistemi costruttivi e tipologie strutturali non riconducibili a quelle attualmente contemplate dalle NTC).

| | Tipologie strutturali | q_0 | | q_{ND} |
|---|--|------------------|--------|------------------------------|
| | | CD "A" | CD "B" | non dissipativa ⁴ |
| 1 | Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni. <i>[Sistema a telaio leggero (sistema Platform Frame o Light Frame), ovvero strutture nelle quali le pareti resistenti a taglio sono composte da telai lignei rivestiti con pannelli a base di legno; i solai possono essere realizzati con la stessa tecnologia costruttiva o con pannelli incollati o con tecnologia mista anche con altri materiali (es. solai misti-legno-cls).]</i> | 3,0 | 2,0 | 1,33 |
| 2 | Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati. ² | - | 1,5 | 1,0 |
| 3 | Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico. <i>[Telai resistenti a momento, ovvero telai composti da elementi lignei collegati con unioni semi-rigide realizzate con elementi meccanici di collegamento; archi iperstatici, ovvero archi contenenti unioni di continuità semirigide.]</i> | 4,0 ³ | 2,5 | 1,5 |
| 4 | Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni. ¹ | 3,0 | 2,0 | 1,33 |
| 5 | Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni. <i>[Sistema a pannelli di legno massiccio a strati incrociati o compensato di tavole (X-Lam o CLT), ovvero edifici composti da pareti X-Lam resistenti a taglio. I solai possono essere realizzati con la stessa tecnologia o con sistema a travi e pannelli di irrigidimento o con tecnologia mista anche con altri materiali (es. solai misti legno-cls).]</i> | - | 2,5 | 1,5 |
| 6 | Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti. ² | - | 1,5 | 1,0 |
| 7 | Strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti. <i>[Strutture miste realizzate con intelaiature lignee e riempimenti in muratura, resistenti alle azioni orizzontali].</i> ⁵ | - | 2 | 1,33 |



| | Tipologie strutturali | q_0 | | q_{ND} |
|----|---|--------|--------|------------------------------|
| | | CD "A" | CD "B" | non dissipativa ⁴ |
| 8 | Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico. [Archi di grande luce .] ⁶ | - | - | 1,0 |
| 9 | <i>Sistema Log House o Blockhaus, ovvero strutture nelle quali le pareti sono composte dalla sovrapposizione di elementi di legno massiccio o lamellare a sezione rettangolare o tonda, prefabbricati con unioni di carpenteria alle estremità e con scanalature superiori ed inferiori. I solai sono generalmente realizzati con travi e pannelli di irrigidimento.</i> ⁷ | - | 2,0 | 1,33 |
| 10 | <i>Sistema a travi e pilastri, ovvero sistemi di travi e colonne incernierate con controventi verticali realizzati con reticolari lignee.</i> ² | - | 1,5 | 1 |
| 11 | <i>Sistemi reticolari, anche di grande luce, con unioni realizzate con chiodi, viti, spinotti e bulloni e anche con connettori diversi da quelli a gambo cilindrico (piastre chiodate, piastre dentate, connettori ad anello, connettori a taglio in genere).</i> ² | - | 1,5 | 1 |

| | |
|---|--|
| 1 | Per il caso di solai realizzati con diaframmi chiodati nelle NTC viene previsto anche q_0 in CD "A" pari a 5 e in CD "B" pari a 3. Tale assunzione ammette che la dissipazione di energia avvenga anche a livello dei diaframmi orizzontali. Considerato tuttavia che nella maggior parte dei casi anche i diaframmi orizzontali chiodati vengono progettati con criteri di sovrarresistenza e assunti nel calcolo come infinitamente rigidi nel piano si considera che difficilmente possa avvenire la dissipazione di energia a livello dei solai. Si ritiene pertanto che il valore di q_0 in CD "A" debba essere pari a 3,0 ed in CD "B" pari a 2,0, ovvero gli stessi valori previsti per il caso di diaframmi orizzontali incollati. |
| 2 | Tutte le tipologie di strutture reticolari sono state ricomprese nella tipologia 11. Non essendo noti in letteratura studi specifici che consentano di considerare valori del fattore di comportamento maggiori di 1,5, si consiglia prudenzialmente di considerarle q compreso fra 1 e 1,5. |
| 3 | Il valore del fattore di comportamento pari a 4 in CD "A" è da assumersi solo nel caso si utilizzino unioni particolarmente duttili realizzate mediante connettori speciali diversi dai comuni mezzi di unione e di cui ne sia dimostrato lo spiccato comportamento dissipativo che giustifichi tale fattore di comportamento. |
| 4 | I valori dati sono ricavati dall'applicazione della formula 7.3.2 delle NTC. |
| 5 | Trattandosi di strutture esistenti (tipologia strutturale nota con la denominazione Fachwerk, Colombage, Half Timbered, Himiŝ, Pombalina o Casa Baraccata) e quindi di cui non è noto il grado di dissipazione energetica a meno di possedere informazioni più dettagliate sulle modalità con cui sono state realizzate, si consiglia prudenzialmente un valore più basso rispetto a quanto previsto dalle NTC. |
| 6 | Generalmente si tratta di strutture ad archi a tre cerniere senza alcun elemento dissipativo quali pareti non portanti e finiture. |
| 7 | Tipologie strutturali non comprese nella versione attuale delle NTC e tuttavia comunque diffuse nella pratica costruttiva. |

Nel caso di comportamento strutturale dissipativo, il valore del fattore di comportamento q , da utilizzare per lo stato limite considerato e nella direzione considerata per l'azione sismica, dipende



dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e tiene conto, convenzionalmente, delle capacità dissipative del materiale.

Le strutture possono essere classificate come appartenenti ad una tipologia in una direzione orizzontale e ad un'altra tipologia nella direzione orizzontale ortogonale alla precedente, utilizzando per ciascuna direzione il fattore di comportamento corrispondente purché le forme modali prevalenti siano traslazionali ed indipendenti.

Il limite superiore q_{lim} del fattore di comportamento relativo allo SLV è calcolato tramite la seguente espressione:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R \quad (1)$$

dove:

q_0 è il valore base del fattore di comportamento allo SLV , i cui massimi valori sono riportati in tabella 7.3.II in dipendenza della Classe di Duttilità e della tipologia strutturale.

K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Qualora si adotti il comportamento non dissipativo, il valore q_{ND} non deve essere moltiplicato per K_R .

3.2 REGOLE DI DUTTILITÀ E GERARCHIA DELLE RESISTENZE

Qualora si faccia affidamento a comportamenti strutturali dissipativi (CD "A" o "B"), 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%.³

Le disposizioni di cui al precedente capoverso possono considerarsi implicitamente soddisfatte nelle zone dissipative per ogni tipologia strutturale classificata in classe di duttilità "A" se le seguenti prescrizioni sono rispettate (NTC 2018 [1] §7.7.3.1):

- 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 con telaio in legno (sistema a telaio leggero), il materiale di rivestimento strutturale è di legno o di materiale da esso derivato, con uno spessore minimo pari a $4d$ e con diametro d dei chiodi non superiore a 3,1 mm.

Si sottolinea che non sono ammessi in CD "A" materiali quali gessofibra e elementi di collegamento del rivestimento strutturale diversi dai chiodi.

³ Si dovrà controllare che gli elementi meccanici di collegamento utilizzati nelle zone dissipative possiedano un adeguato comportamento oligociclico (Circolare 2019 [2] §C7.7.2).



Se le prescrizioni a) e b) 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 "B".⁴

In alternativa, le prescrizioni di cui sopra possono essere considerate soddisfatte:

- per le zone dissipative di tutte le tipologie strutturali in classe di duttilità "B" 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;
- per i collegamenti tra rivestimento e telaio utilizzati in edifici a telaio leggero classificati in classe di duttilità "A", quando si ottiene un meccanismo di rottura duttile caratterizzato dalla formazione di almeno una cerniera plastica nel chiodo in condizione di progetto sismica;
- per le zone dissipative di tutte le tipologie strutturali in classe di duttilità "A", 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 alla 3 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.

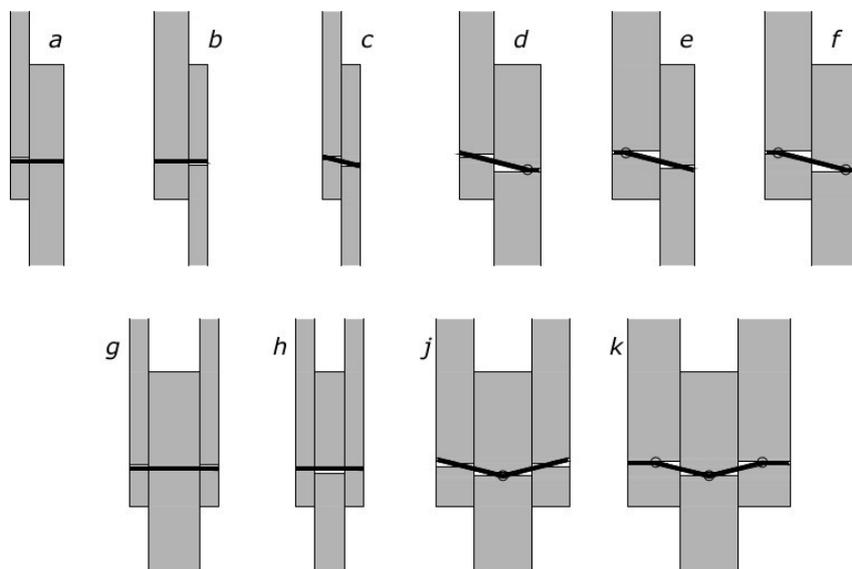


Figura 3: Connessioni legno-legno. I cerchi indicano le cerniere plastiche. *a*, *b*, *c*, *g*, *h*: Meccanismi di rottura fragili.

⁴ Si fa presente che questa regola prescrittiva non sempre è sufficiente a garantire la duttilità desiderata dell'unione, in particolar modo nel caso di utilizzo di mezzi d'unione realizzati con acciai ad alta resistenza e in funzione della resistenza a rifollamento del legno. Si consiglia pertanto di controllare comunque il soddisfacimento delle regole alternative di tipo prestazionale riferite alle modalità di rottura dell'unione.



Con riferimento alla 4 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.

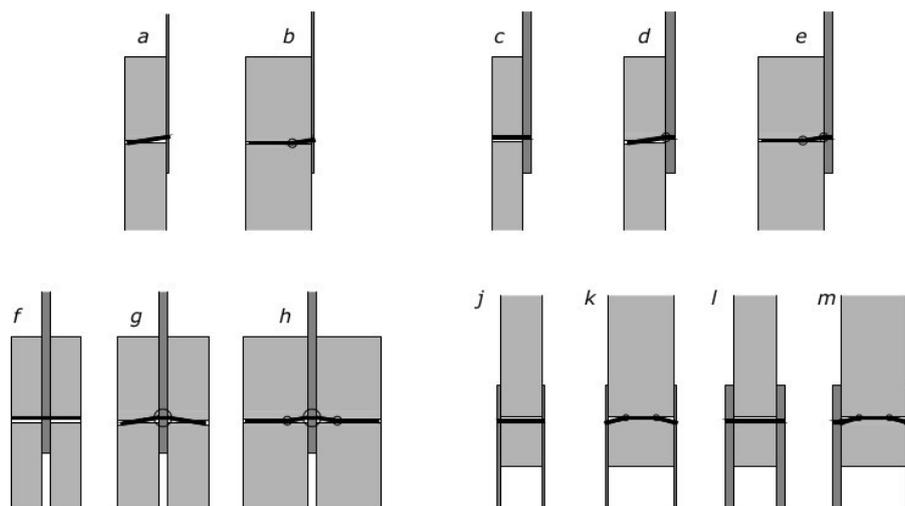


Figura 4: Connessioni acciaio-legno. I cerchi indicano le cerniere plastiche. *a*, *c*, *f*, *j*, *l*: Meccanismi di rottura fragili.

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.

Nel progetto dovranno sempre essere indicate le distanze fra i mezzi di unione e le distanze fra questi ed i bordi e le estremità degli elementi in legno.

Le connessioni realizzate con elementi di collegamento a gambo cilindrico che trasferiscono la maggior parte del carico per resistenza assiale, ad esempio le viti infisse in direzione non ortogonale alla direzione dello sforzo, 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.

Sia per la CD "A" sia per la CD "B", s'impiegano i procedimenti tipici della progettazione in capacità.

Questa progettazione ha lo scopo di assicurare alla struttura dissipativa un comportamento duttile ed opera come segue:

- distingue gli elementi e i meccanismi, sia locali sia globali, in duttili e fragili (o dissipativi e non dissipativi);
- mira ad evitare le rotture fragili locali e l'attivazione di meccanismi globali fragili o instabili;



- mira a localizzare le dissipazioni di energia per isteresi in zone degli elementi duttili a tal fine individuate e progettate, dette “dissipative” o “duttili”, coerenti con lo schema strutturale adottato.

Tali fini possono ritenersi conseguiti progettando la capacità in resistenza allo SLV degli elementi/meccanismi fragili, locali e globali, in modo che sia maggiore di quella degli elementi/meccanismi duttili ad essi alternativi. Per assicurare il rispetto di tale disequaglianza, a livello sia locale sia globale, l'effettiva capacità in resistenza degli elementi/meccanismi duttili è incrementata mediante un opportuno coefficiente γ_{Rd} , detto “fattore di sovreresistenza”; a partire da tale capacità maggiorata si dimensiona la capacità degli elementi/meccanismi fragili, alternativi ai duttili, secondo la seguente equazione:

$$\gamma_{RD} \cdot F_{Rd,d,st} \leq F_{Rd,f} \tag{2}$$

dove:

$F_{Rd,d,st}$ è la resistenza di progetto degli elementi duttili in condizioni statiche, ovvero senza considerare il degrado connesso al comportamento ciclico, calcolata con la formula (3) senza il coefficiente β_{sd} ;

$F_{Rd,f}$ è la resistenza di progetto degli elementi fragili, calcolata con la formula (4).

I fattori di sovreresistenza γ_{Rd} da utilizzare nella progettazione in capacità a livello locale per i diversi elementi strutturali e le singole verifiche, sono riassunti nella Tabella 2.

Tabella 2: Fattori di sovreresistenza γ_{Rd}

| CD "A" | CD "B" |
|--------|--------|
| 1,6 | 1,3 |

A titolo puramente indicativo nella Tabella 3 sono indicate le zone dissipative (elementi duttili) e quelle non dissipative (elementi fragili) delle tipologie strutturali indicate nella Tabella 1 in Classe di Duttilità “A” o “B”.

In ogni caso anche per tutte le tipologie strutturali progettate e/o classificate in Tabella 1 come “non dissipative” sarà comunque opportuno evitare meccanismi fragili.



Tabella 3: Individuazione zone dissipative e non dissipative per le diverse tipologie strutturali indicate in Tabella 1.

| rif. tab. 1 | Tipologia strutturale | CD | Zone non dissipative (elementi fragili) | Zone dissipative (elementi duttili) |
|--------------------|--|----|---|--|
| 1 4 | Sistema a telaio leggero (sistema Platform Frame o Light Frame) | A | <p>Connessioni tra telaio e rivestimento nei solai.</p> <p>Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti.</p> <p>Collegamenti tra pareti ortogonali.</p> <p>Pannelli di rivestimento e elementi lignei del telaio di pareti e solai.</p> <p>Collegamenti di presidio allo scorrimento alla base delle pareti.</p> <p>Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti.</p> | <p>Connessioni tra telaio e rivestimento nelle pareti.</p> |
| | | B | <p>Connessioni tra telaio e rivestimento nei solai.</p> <p>Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti.</p> <p>Collegamenti tra pareti ortogonali.</p> <p>Pannelli di rivestimento, unioni interne al solaio e elementi lignei del telaio di pareti e solai.</p> | <p>Connessioni tra telaio e rivestimento nelle pareti.</p> <p>Collegamenti di presidio allo scorrimento alla base delle pareti.</p> <p>Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti.¹</p> |
| 2 6 10 11 | | B | Tutti gli elementi lignei | Tutti gli elementi di collegamento a gambo cilindrico. |
| 5 | Sistema a pannelli di legno massiccio a strati incrociati o compensato di tavole (X-Lam o CLT) | B | <p>Tutti i pannelli parete e solaio.</p> <p>collegamenti tra pannelli solaio.</p> <p>Collegamenti tra solaio e pareti sottostanti.</p> <p>Collegamenti tra pareti ortogonali.</p> | <p>Collegamenti di presidio allo scorrimento alla base delle pareti.</p> <p>Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti.</p> <p>Collegamenti verticali tra pannelli parete adiacenti se presenti.</p> |
| 3 | Telai resistenti a momento | A | 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. |



| rif. tab. 1 | Tipologia strutturale | CD | Zone non dissipative (elementi fragili) | Zone dissipative (elementi duttili) |
|-------------|-----------------------|----|--|--|
| | | B | Tutti gli elementi lignei. | Tutti gli elementi di collegamento a gambo cilindrico. |
| 9 | Sistema Log House | B | Tutti gli elementi lignei. Zone soggette a taglio nei collegamenti di carpenteria di presidio allo scorrimento agli incroci delle pareti. Collegamenti di presidio al sollevamento alle estremità delle pareti. Collegamenti fra solaio e pareti. | Zone soggette a compressione ortogonale nei collegamenti di carpenteria di presidio allo scorrimento all'incrocio delle pareti. Eventuali collegamenti meccanici di presidio allo scorrimento fra elementi sovrapposti di parete. |

1 Qualora si includano fra gli elementi dissipativi anche quelli a bassa duttilità quali i presidi allo scorrimento e sollevamento, la struttura va classificata come CD "B."

Per tutte le tipologie, i collegamenti alla fondazione lato calcestruzzo vanno sempre considerati non dissipativi e calcolati in sovrarresistenza, si veda quanto scritto alla pagina successiva.

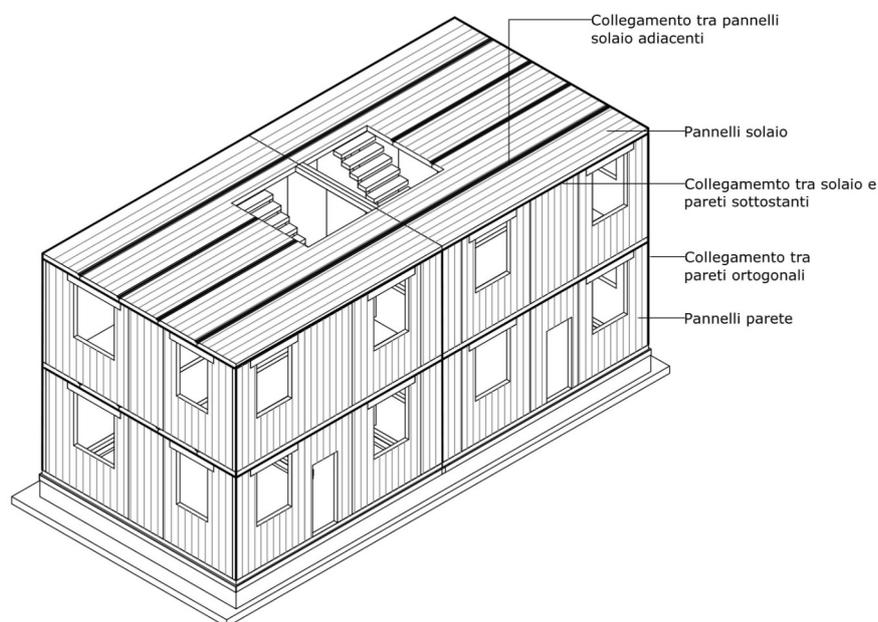


Figura 5: Elementi da progettare con criteri di sovrarresistenza nelle strutture X-Lam.

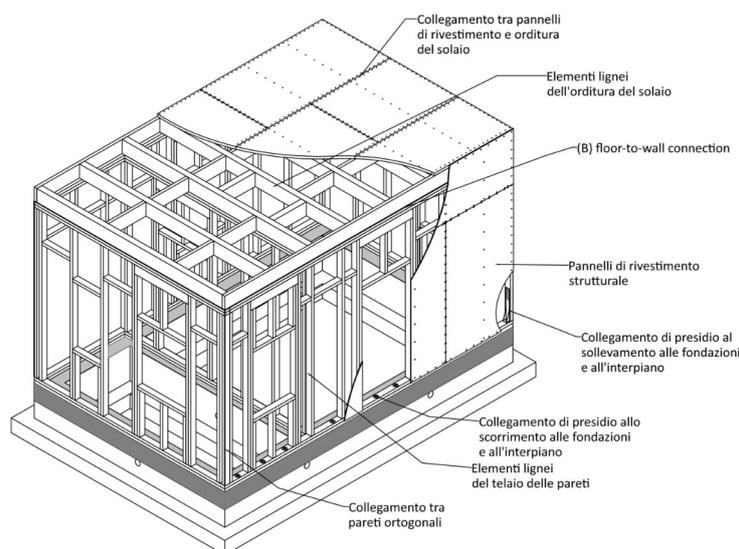


Figura 6: *Elementi da progettare con criteri di sovrarresistenza nelle strutture Platform Frame.*

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 una sovrarresistenza adeguata. A questo scopo occorre applicare questi requisiti di sovrarresistenza 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.

3.3 VERIFICHE DI SICUREZZA

I valori di resistenza di progetto degli elementi di legno devono essere determinati tenendo conto del valore k_{mod} relativo a carichi istantanei secondo quanto indicato dalle NTC 2018 [1].



3.3.1 COMPORTAMENTO STRUTTURALE DISSIPATIVO

Per le verifiche agli stati limite ultimi combinazione sismica di strutture progettate in accordo con il principio di comportamento strutturale dissipativo (Classi di Duttilità A o B):

- si applicano i valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_M per combinazioni eccezionali secondo quanto indicato dalle NTC 2018 [1] (ovvero $\gamma_M=1$) sia per gli elementi a comportamento dissipativo che per quelli a comportamento fragile;
- per le zone dissipative deve essere tenuto in considerazione il degrado di resistenza connesso al comportamento ciclico moltiplicando il valore di resistenza caratteristica in condizioni statiche per il coefficiente di riduzione β_{sd} uguale a 0,8
- gli elementi a comportamento fragile devono essere calcolati in sovrarresistenza in accordo con la formula (2) del §3.2.

Qualora non si consideri la riduzione di resistenza per le zone dissipative, devono essere adottati ovunque i coefficienti parziali di sicurezza γ_M per combinazioni fondamentali.

La resistenza di progetto delle unioni duttili deve essere calcolata come:

$$F_{Rd,d} = \beta_{sd} \cdot k_{mod} \cdot \frac{F_{Rk,d}}{\gamma_M} \tag{3}$$

3.3.2 COMPORTAMENTO STRUTTURALE NON DISSIPATIVO

Per le verifiche agli stati limite ultimi di strutture progettate in accordo con il principio di comportamento strutturale non dissipativo:

- si applicano i valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_M per combinazioni fondamentali secondo quanto indicato dalle NTC 2018 [1];
- può non essere tenuto in considerazione il degrado di resistenza connesso al comportamento ciclico delle zone dissipative;
- può non essere considerata la sovrarresistenza per gli elementi fragili.

La resistenza di progetto deve essere calcolata come:

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



(4)

4 STRUTTURE A PARETI PLURIPIANO XLAM E PLATFORM-FRAME

4.1 PREMESSA

Premessa generale: le seguenti indicazioni si riferiscono unicamente ai sistemi costruttivi X-Lam e Platform-Frame

Premessa terminologica: nel testo che segue per **parete** (senza aperture) si intende in generale l'elemento strutturale verticale che ha continuità dal solaio inferiore al solaio superiore ed è privo di aperture. Ciascuna parete può essere monolitica o costituita da più pannelli tra loro collegati. Le pareti consecutive separate da aperture compongono l'**allineamento**. I **pannelli con aperture** non hanno funzione sismoresistente.

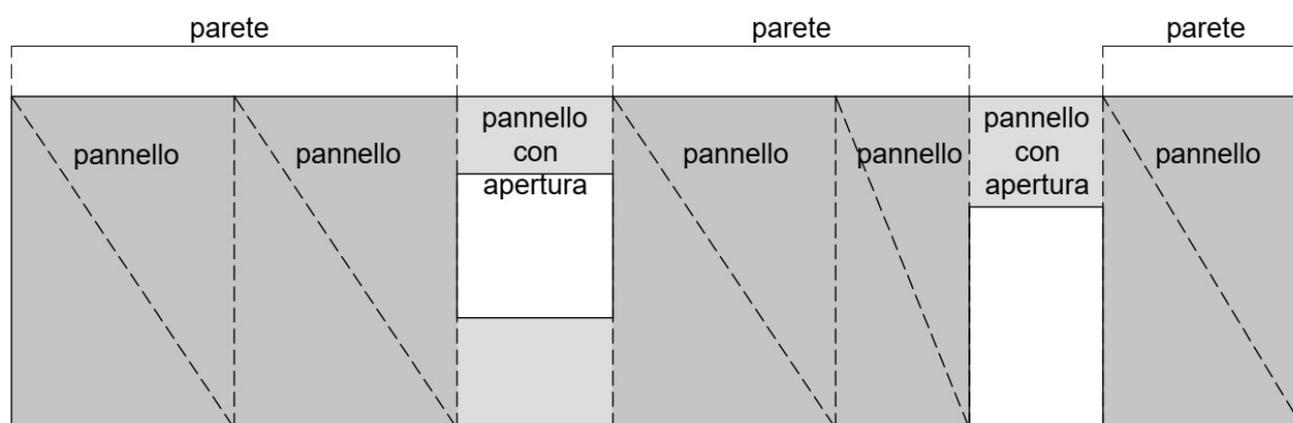


Figura 7: Elementi componenti l'allineamento.

4.2 PARETI SOVRAPPOSTE CON CORRISPONDENZA

Nell'ambito delle strutture a pareti pluripiano, la soluzione base di riferimento è quella in cui la parete del piano superiore trova corrispondenza con la parete posta al piano inferiore ed esse sono intervallate dal solaio.

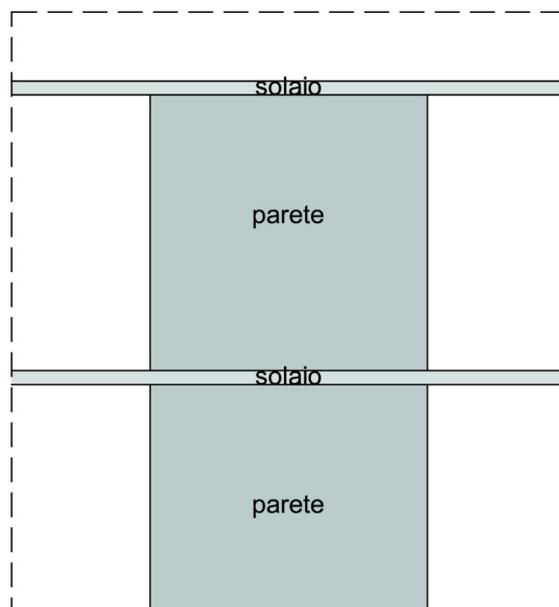


Figura 8: Pareti sovrapposte in corrispondenza.

In tale caso (8) le due pareti possono resistere sia alle azioni verticali che a quelle orizzontali purché esse siano adeguatamente vincolate per trasmettere le azioni di taglio (generalmente trasferito con collegamenti diffusi tipo piastre chiodate o angolari) e di sollevamento (generalmente trasferite da collegamenti tipo hold-down posti alle estremità).

I dispositivi di presidio al sollevamento sono da prevedere, in misura minima, anche nel caso in cui, data l'entità delle azioni orizzontali, dal modello di calcolo non risulti che la parete sismo-resistente sia sollecitata da azioni di sollevamento⁵;

Qualora le pareti siano costituite dall'assemblaggio di più elementi (pannelli), resta valido quanto sopra a condizione che i collegamenti verticali interni siano verificati per la trasmissione dei relativi sforzi di taglio.

In generale, in accordo a quanto riportato nell'EC5 [7], possono essere considerate resistenti alle azioni orizzontali le pareti con lunghezza maggiore o uguale di un quarto dell'altezza di interpiano ($H/4$).

⁵ La nota (2)P al §9.2.4.1 dell'Eurocodice 5 [7] prescrive che "la parete deve essere adeguatamente vincolata in modo da evitare il ribaltamento e lo slittamento". La prescrizione nasce dal fatto che nei primi istanti del terremoto la struttura, non essendosi ancora plasticizzata, non risulta ancora dissipativa; in queste condizioni l'azione sismica vista dagli elementi strutturali è prossima a quella calcolata con $q=1$ e potrebbero nascere sollevamenti che, se non efficacemente presidiati, potrebbero portare al ribaltamento.



Per il sistema platform-frame, in accordo con quanto riportato nell'EC5 [7], "si raccomanda che i pannelli contenenti un'apertura di porta o finestra non siano considerati come in grado di contribuire alla capacità portante di piastra". Si guardi la 7.

Solo per il sistema xlam, se la parete è formata da un unico pannello ed è presente un'apertura di piccole dimensioni (finestra), per assumere l'intera parete resistente alle azioni orizzontali, è sufficiente accertarsi che ciascuna delle due dimensioni dell'apertura (a e b) non superi il minimo tra $H/3$ ed $L/3$ e l'apertura risulti sostanzialmente centrata rispetto alla parete (9); se la parete è formata da più pannelli ed è presente un'apertura, occorre accertarsi che essa possa lavorare in modo monolitico, verificando che il percorso delle azioni di trazione e di compressione, dovute alla sollecitazione di flessione nel piano della parete, sia chiuso (comportamento assimilabile a trave).

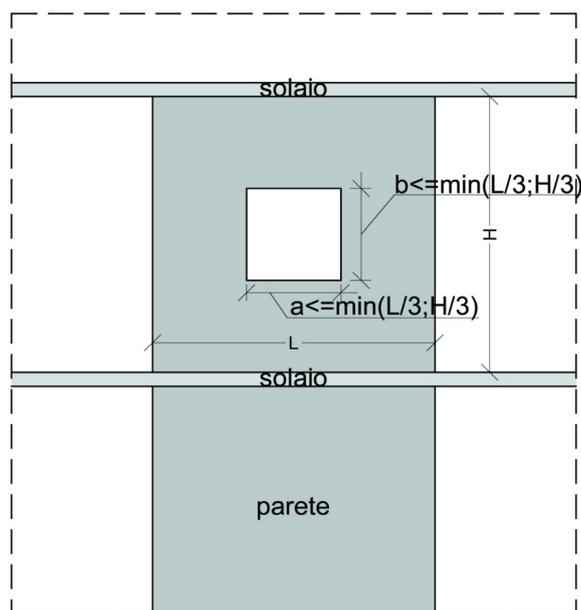


Figura 9: Parete con piccola apertura (finestra).

Qualora l'apertura sia una porta (10), si ritiene che, in generale, l'allineamento debba essere considerato come composto da due pareti vincolate in testa da un'asta tipo biella.

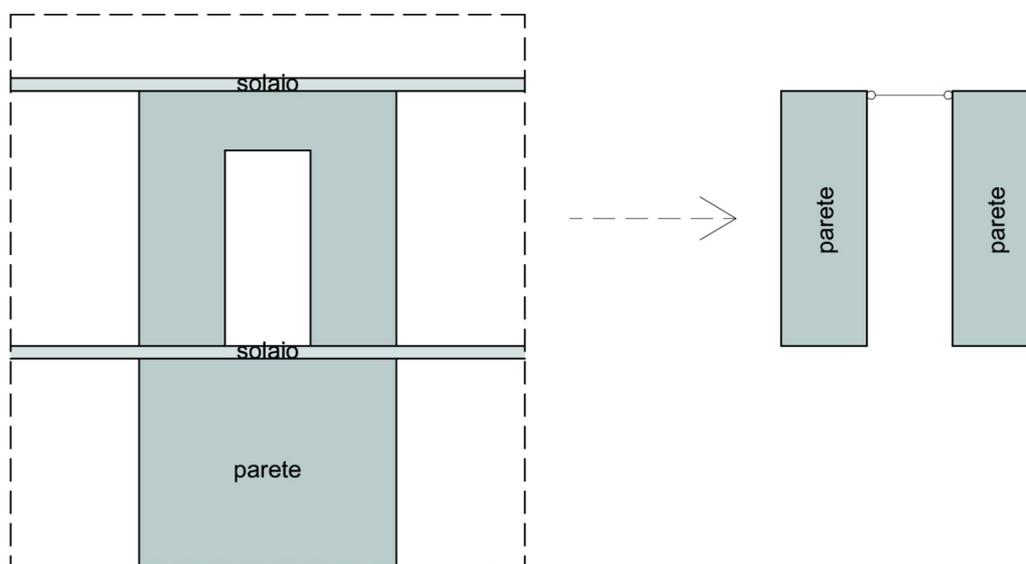


Figura 10: Parete con apertura (porta).

4.3 PARETI SOVRAPPOSTE SENZA CORRISPONDENZA CONTINUA

Un altro caso è quello in cui la parete del piano superiore non trova corrispondenza continua al piano inferiore; la soluzione può essere ammessa se risulta garantita la continuità della trasmissione delle azioni⁶ derivanti sia dai carichi verticali che dalle azioni orizzontali e se l'adozione di tale soluzione non determini la riduzione della rigidezza del piano inferiore rispetto a quello superiore (meccanismo di piano soffice).

La parete al piano superiore può essere considerata resistente alle azioni sia verticali che orizzontali soltanto se rispetta i requisiti della cosiddetta trave-parete (11).

⁶ Circolare 2019 [2] §C7.7.4

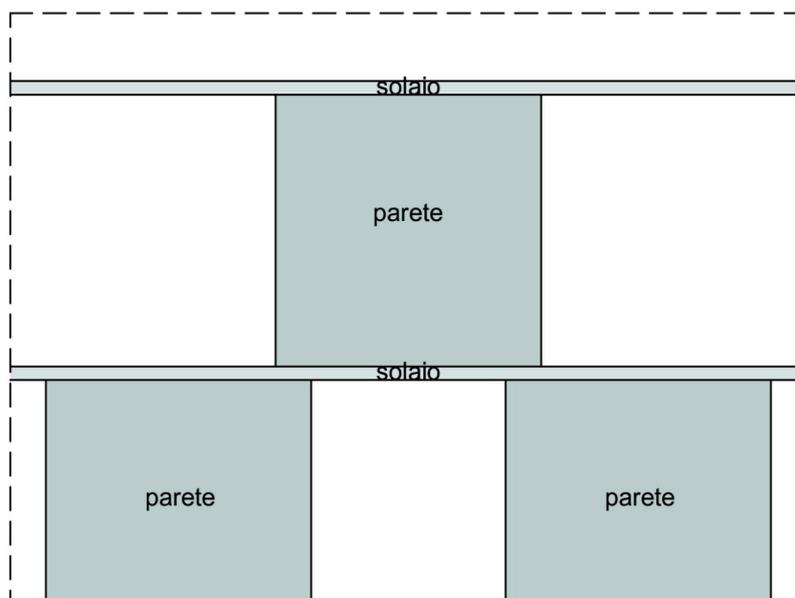


Figura 11: Trave-parete.

Per trave parete si intende una parete con comportamento monolitico in grado di lavorare anche a flessione e che non trova appoggio continuo per tutta la sua estensione. Essa può essere costituita da più pannelli purché se ne verifichi il comportamento monolitico dimostrando che il percorso delle trazioni e delle compressioni sia chiuso e che i collegamenti tra i vari elementi non siano considerati come dissipativi, ovvero siano dimensionati per le azioni di taglio e di trazione-compressione, che derivano dalla flessione, utilizzando un ulteriore coefficiente di sicurezza pari a 1,3.

Le zone di contatto tra la trave-parete ed i pannelli inferiori devono essere studiate in considerazione delle tensioni locali che derivano dal calcolo sia per carichi verticali che orizzontali; gli elementi di presidio al sollevamento devono essere disposti in continuità con la parete inferiore.

Tali collegamenti sono da prevedere anche nel caso in cui, data l'entità dell'azione orizzontale, dal modello di calcolo non risulti che la parete sismo-resistente sia sollecitata da azioni di sollevamento.

I collegamenti a taglio dovranno invece essere disposti in modo uniforme lungo tutta la parete sismo-resistente verificando che il solaio sia in grado di riportare tali azioni di taglio alle pareti sismo resistenti sottostanti.

Qualora nella parete superiore sia presente un'apertura tipo finestra (12) in genere si ritiene che la parete non possa lavorare a trave-parete salvo casi particolari contemplati unicamente per la tipologia xlam nei quali l'apertura presenta dimensioni limitate. In tali casi il progettista dovrà accertarsi attraverso apposite verifiche che il pannello possa lavorare in modo monolitico ossia che il percorso delle azioni di trazione e di compressione sia chiuso. Si rimanda a quanto esplicitato al §4.2 del presente documento per situazioni similari.



In ogni caso deve essere verificata anche la deformabilità della trave-parete.

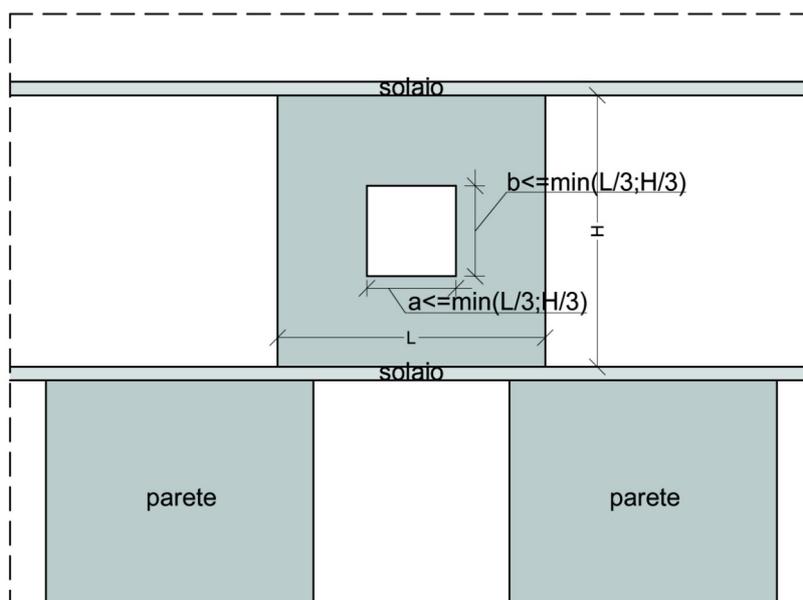


Figura 12: Parete con piccola apertura (finestra).

Se l'apertura sulla parete superiore è una porta (13), la parete non può lavorare a trave-parete e non può, a meno di particolari dimostrazioni, essere considerata resistente alle azioni orizzontali.

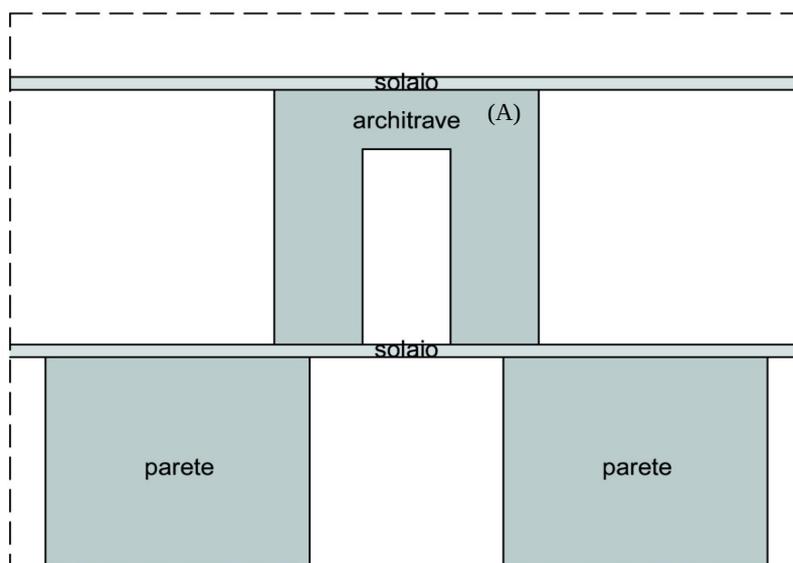


Figura 13: Parete con apertura (porta).



4.4 PARETI IN FALSO

Per pareti in falso si intende quanto rappresentato nella 14 e 15.

In generale è opportuno evitare pareti in falso sui solai (14). Qualora non sia possibile, si può ammettere che la parete contribuisca alla resistenza alle azioni verticali se il solaio è sufficientemente rigido, resistente e poggianti su sostegni rigidi. In alternativa a tale condizione dovrà essere messa in opera una trave (15) sufficientemente rigida e resistente.

In ogni caso la parete in falso, non garantendo la continuità della trasmissione diretta delle azioni a partire dal solaio di partenza delle elevazioni in legno (Circolare 2019 [2] §C7.7.4), non può essere considerata sismoresistente ma deve essere considerata secondaria nel rispetto del §7.2.3 delle NTC 2018 [1].

La modellazione dovrà tenere debitamente conto della rigidità della trave sottostante sia per la ripartizione delle azioni orizzontali tra le varie pareti che ai fini dei controlli di rigidità previsti per gli elementi secondari (NTC §7.2.3) e deve essere sempre considerata la componente verticale dell'azione sismica (NTC 2018 [1] §7.7.4).

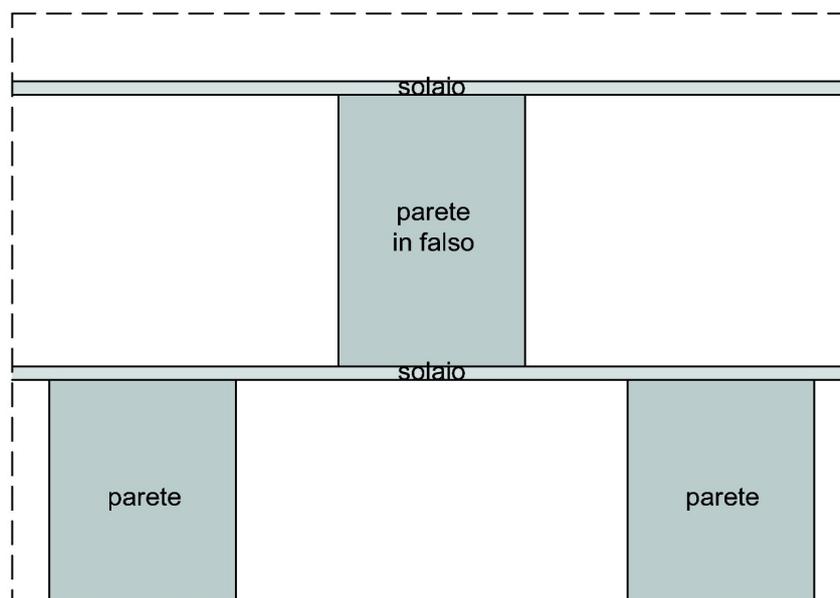


Figura 14: Parete in falso su solaio.

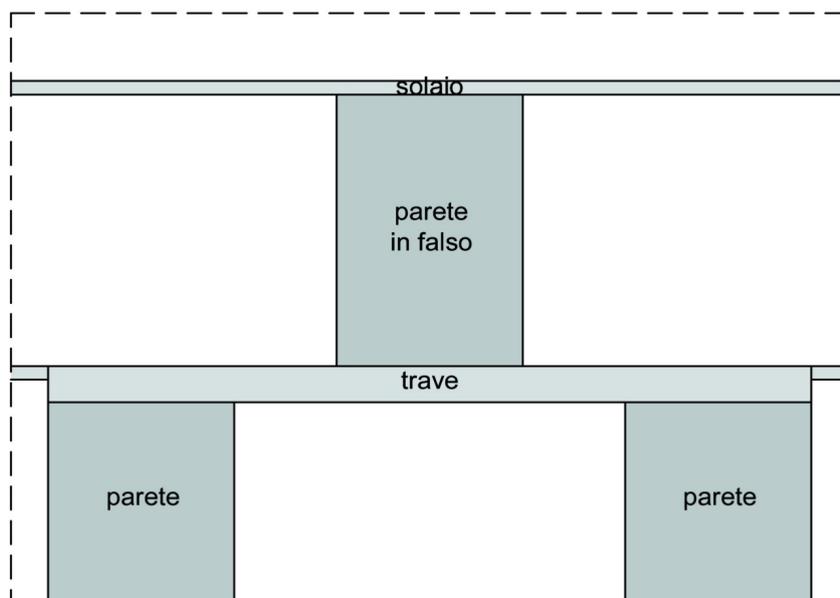


Figura 15: Parete in falso su trave.

4.5 ULTERIORI INDICAZIONI

In generale, le pareti che non vengono considerate ai fini della resistenza alle azioni orizzontali devono poter essere inquadrare ai sensi del §7.2.3 delle NTC 2018 [1] come elementi secondari.

Esse, comunque, devono essere progettate per resistere alle azioni verticali e assorbire le deformazioni della struttura.

Nel caso di elementi in falso deve essere sempre considerata la componente verticale dell'azione sismica in accordo con quanto riportato al paragrafo 7.7.4 delle NTC 2018 [1].



5 SCATOLARITÀ STRUTTURALE.

La scatolarità strutturale è una caratteristica comportamentale degli edifici a pareti, per la quale il tipo di orizzontamento e il suo collegamento alle pareti verticali, giocano un ruolo fondamentale.

Essa è contraddistinta dalle seguenti caratteristiche:

1. Capacità degli orizzontamenti (diaframmi) di ripartire l'azione orizzontale di piano fra i diversi elementi sismoresistenti verticali.

Questo requisito non va confuso con la infinita rigidità del piano che è solo una astrazione fisica per considerare la ripartizione delle azioni secondo un modello computazionale semplice (Circolare 2019 [2] § C7.2.6 "Quando gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano, le masse e le inerzie rotazionali di ogni piano possono essere concentrate nel loro centro di gravità.")

La capacità degli orizzontamenti di ripartire l'azione orizzontale può essere assolta da un diaframma che abbia la necessaria rigidità e resistenza (NTC 2018 [1] §7.2.2).

Riguardo alla resistenza si ritiene che il requisito sia soddisfatto qualora gli orizzontamenti abbiano sovrarigidità rispetto alle forze ottenute dall'analisi. Tale sovrarigidità va attribuita sia al rivestimento strutturale del solaio, sia alle unioni interne del solaio che alle unioni del solaio con le sottostanti pareti.

Riguardo alla rigidità, la Norma non fornisce alcuna prescrizione; tuttavia sono indicati i casi in cui si può fare affidamento, ai fini della modellazione, della infinita rigidità:

- §7.2.6 soletta di calcestruzzo collaborante.⁷;
- §7.7.4 che rimanda al §7.7.5.3 ed al §7.7.7.2.

Negli altri casi risulta opportuno modellare l'orizzontamento con la sua effettiva rigidità nel piano o in alternativa dimostrare la superiore rigidità dell'impalcato rispetto a quella delle pareti verticali sempre che i solai non abbiano grandi aperture e l'edificio sia sufficientemente regolare.

2. Capacità degli orizzontamenti (diaframmi) di costituire efficace vincolo alle pareti per azioni fuori dal piano.

Questo requisito, necessario nel caso in cui le pareti non siano vincolate al piede con incastro per flessione fuori dal piano e nel caso di presenza di pilastri con funzionamento a biella

⁷ Nel caso di solai a struttura mista la Norma ammette che si possa considerare rigido nel proprio piano un solaio "in struttura mista con soletta di calcestruzzo armato di almeno 50mm di spessore collegata agli elementi strutturali in acciaio o in legno da connettori a taglio opportunamente dimensionati." Nel funzionamento del solaio come diaframma di piano, le azioni orizzontali vengono portate dalla soletta in calcestruzzo, le travi di acciaio o di legno hanno solo funzione stabilizzante per la soletta. Al fine di consentire alle travi di stabilizzare efficacemente la soletta devono essere collegate a questa; si ritiene che il collegamento con connettori a taglio opportunamente dimensionati per i carichi statici sia sufficiente ad assicurare la funzione stabilizzante.



(come normalmente avviene negli edifici in legno), è soddisfatto quando gli orizzontamenti hanno la necessaria resistenza (vedi punto precedente) e sufficiente rigidità tale da assicurare contenuti scostamenti dalla verticalità delle pareti e dei pilastri al fine di non provocare effetti del secondo ordine.

3. Pareti che si intersecano fra loro al fine di conferire stabilità ai maschi murari fuori dal piano.

Questo requisito è necessario per gli edifici di muratura per scongiurare i meccanismi locali di rottura per flessione fuori dal piano, essendo le murature scarsamente resistenti a flessione fuori dal piano.

Nel caso delle pareti di legno X-Lam e Platform in cui gli elementi verticali non hanno interruzione da solaio a solaio, questo requisito non è necessario, purché le pareti abbiano corrispondenza ai vari piani ed i solai abbiano sufficiente resistenza e rigidità da costituire valido vincolo (cerniera cilindrica) orizzontale alle pareti.

Qualora l'edificio sia formato da pareti che si intersecano fra loro e con aperture poco significative (16 disegno A), le pareti parallele all'azione sismica vengono "aiutate" dalle pareti ortogonali ad esse trasferendo parte delle trazioni e delle compressioni; in altri termini la sezione orizzontale dell'edificio lavora quasi come una sezione tubolare chiusa.

In questo caso, se sono soddisfatti anche i due precedenti requisiti di scolarità, unitamente all'applicazione dei criteri di sovrarigidità, si può ammettere che la struttura abbia un comportamento spiccatamente dissipativo con fattore di comportamento q relativo alla tipologia strutturale utilizzata.

Qualora manchi il collegamento fra pareti ortogonali (16 disegno B) il funzionamento strutturale nei confronti delle azioni orizzontali è comunque assicurato ma con sollecitazioni alla base maggiori e assenza di redistribuzione degli sforzi fra pareti ortogonali con conseguenze diminuzione della duttilità globale della struttura. In questo caso, a differenza del caso precedente, il fattore di comportamento va progressivamente ridotto in funzione degli incroci mancanti fino ad arrivare ad un comportamento non dissipativo ($q=1,5$) nel caso di totale assenza di incroci.

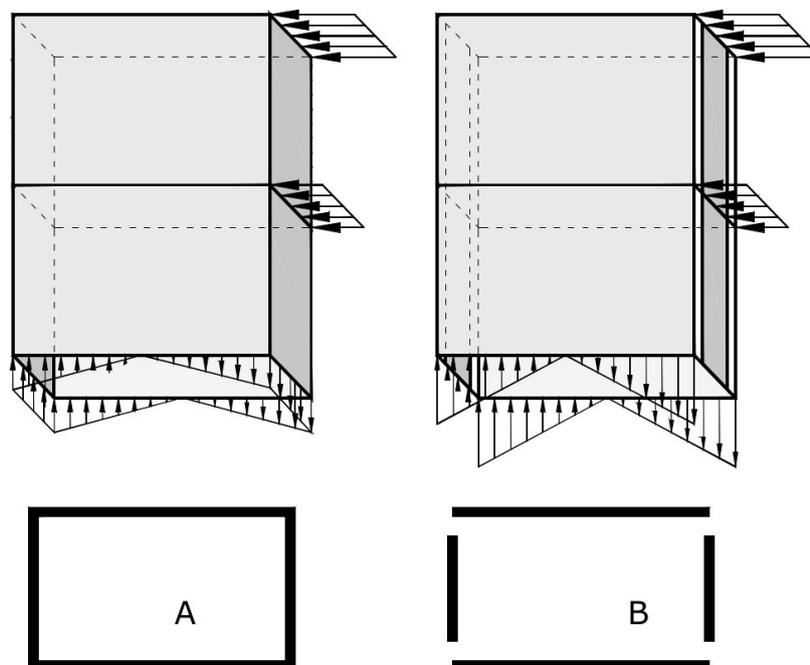


Figura 16: A: Edificio con pareti che si intersecano fra loro; le forze di trazione e di compressione alla base dell'edificio derivanti dalle azioni orizzontali sono distribuite sia sulle pareti disposte nella direzione dell'azione orizzontale che su quelle ortogonali.

B: Edificio con pareti ortogonali non collegate fra loro; le forze di trazione e di compressione sono portate dalle sole pareti disposte in direzione dell'azione orizzontale.

La dissipazione energetica in queste tipologie di edifici avviene a livello di alcuni elementi di collegamento una volta superato il limite elastico a seguito di importanti deformazioni.

Per far sì che ciò avvenga occorre che prima della dissipazione non intervengano cedimenti per perdita di geometria locale o globale cioè la scatola non si apra ma resti connessa.

Inoltre la scatolarità assicura la redistribuzione delle azioni orizzontali fra i diversi elementi sismoresistenti a sviluppo verticale man mano che alcune unioni di questi si plasticizzano.

Si fa presente che gli edifici Platform-Frame e X-Lam sono edifici a pareti e pertanto la lunghezza delle pareti nelle due direzioni deve essere proporzionata alla grandezza in pianta, al numero di piani e alle azioni orizzontali; alla progressiva riduzione delle pareti resistenti alle azioni orizzontali dovrà far fronte una congrua riduzione del fattore di comportamento rispetto ai valori riportati in Tabella 1, qualora si progetti la struttura come dissipativa.



6 COMMISTIONE DI DIVERSE TECNOLOGIE COSTRUTTIVE:

Le costruzioni miste possono essere costituite sia da materiali diversi che dallo stesso materiale utilizzato con tecnologie costruttive diverse (es. X-Lam e Platform-Frame contemporaneamente).

Si richiamano i pareri rilasciati in precedenza da questo CTS n.35, 37 e 45 della raccolta pareri 2009-2015, con le precisazioni di seguito riportate.

Si richiama inoltre il Parere del Coordinatore del Servizio Tecnico Centrale del 14/02/2020 secondo il quale *"le Norme Tecniche per le Costruzioni coordinate con la Circolare 21/01/2019 n.7, non parrebbero vietare la realizzazione di tali strutture"*.

6.1 TECNOLOGIE COSTRUTTIVE DIVERSE ALLO STESSO LIVELLO

Per strutture miste costituite da materiali diversi allo stesso livello (sistemi resistenti in parallelo) si procede secondo quanto definito dalle NTC 2018 [1] §7.7.3 terzo capoverso *"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"*.

Si richiama anche la Circolare 2019 [2] §7.7.3 terzo capoverso *"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."*

E' necessario prestare estrema attenzione alla corretta modellazione delle strutture sismoresistenti a diversa tecnologia (ciascuna con l'effettiva rigidità) e alla realizzazione dei collegamenti tra di esse.

Nel caso di pareti di muratura in parallelo con strutture di legno, il §7.8.5 delle NTC 2018 [1] e il §7.8.5 della Circolare 2019 [2] propongono due alternative:

- E' possibile affidare integralmente l'azione sismica ad una sola tecnologia costruttiva purché per essa vengano rispettate le regole di progettazione riportate nei relativi capitoli della norma; le pareti di altra tecnologia devono essere trattate come elementi secondari ai sensi delle NTC 2018 [1] §7.2.3.
- Qualora si renda necessario considerare la collaborazione delle pareti di muratura e delle strutture di legno nella resistenza al sisma, è necessario eseguire l'analisi non lineare statica o dinamica, la fine di valutare correttamente i diversi contributi di elementi caratterizzati da rigidità, resistenze e capacità deformative molto differenziate fra di loro.

6.2 STRUTTURA IN LEGNO POSTA AL DISOPRA DI STRUTTURA A TECNOLOGIA DIVERSA

A riguardo delle strutture costituite da materiali o tecnologie costruttive diverse poste a quote diverse (ad esempio strutture a pareti in legno soprastanti strutture a pareti o telai in c.a. o a pareti in muratura o a telai di acciaio) si richiama quanto contenuto al §7.8.5 delle NTC 2018 [1] (che si ritiene abbia validità generale anche per sottostruttura in materiali diversi dalla muratura) e §7.7.3



della Circolare 2019 [2], raccomandando, laddove possibile, di far corrispondere le pareti in legno con le pareti o i pilastri sottostanti di altro materiale nel rispetto dei principi esposti per le strutture in legno (precedente §4.3).

Tali strutture, per le quali non sono previste regole di dettaglio nelle Norme Tecniche, richiedono una attenta progettazione. Realizzare una struttura a pareti in legno al di sopra di una struttura di altra tecnologia presuppone una particolare cura ed attenzione perché, al fine di perseguire un comportamento strutturale ottimale nei confronti delle azioni orizzontali, è necessario individuare una regolare distribuzione planimetrica degli elementi sismo-resistenti e garantire un trasferimento diretto delle azioni da un piano all'altro dell'edificio, evitando la trasmissione per flessione delle travi e le concentrazioni di sforzi.

Per garantire la continuità della trasmissione delle azioni derivanti sia dai carichi verticali che da quelli orizzontali, è opportuno realizzare le pareti lignee superiori quanto più corrispondenti con quelle inferiori oppure, laddove non sia possibile, realizzare le pareti lignee al piano superiore rispettando i requisiti della cosiddetta trave-parete, per la quale si rimanda al §4.3.

In particolare con riferimento al §4.2 e §4.3 (figure 8, 9, 10, 11 e 12), le considerazioni fatte in tale paragrafo si ritengono ammissibili anche nel caso il piano inferiore rappresentato nelle figure sia realizzato in calcestruzzo armato o muratura.

Con riferimento alla 17, le pareti poggianti su supporti rigidi (parete A e C) garantiscono il diretto trasferimento delle azioni sia verticali che orizzontali alla sottostruttura.

In particolare, la parete A della 17 posta su di un telaio di calcestruzzo o acciaio e che appoggi almeno su due pilastri, può essere considerata resistente alle azioni sia verticali che orizzontali se rispetta i requisiti della cosiddetta trave-parete come richiamato al §4.3; per essa devono essere rispettate tutte le indicazioni fornite al §4.3.

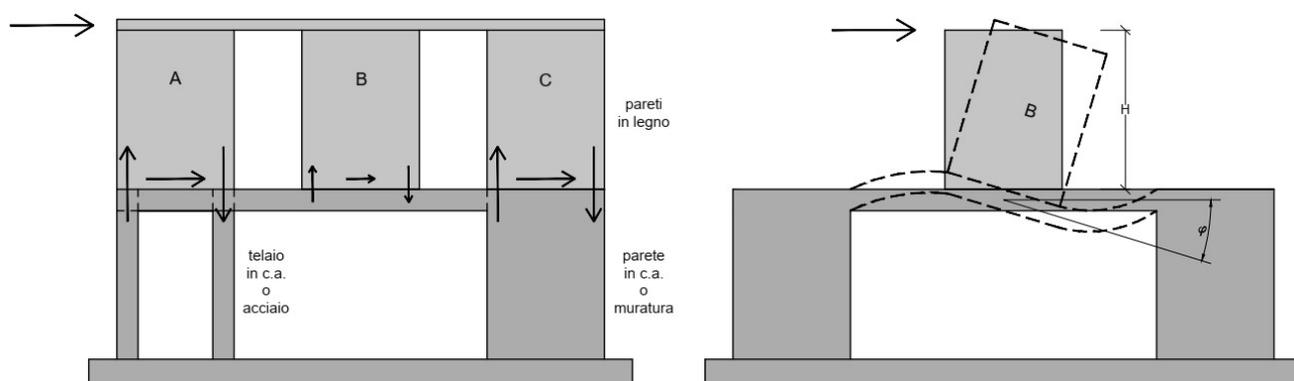


Figura 17: Le pareti di legno A e C poggiano su supporti rigidi (pareti in c.a. o muratura, telai in c.a. o acciaio). La parete B poggia su di una trave; la sua deformabilità alle azioni orizzontali è determinata non solo dalla deformabilità dei pannelli e delle unioni ma c'è anche l'importante contributo dato dalla deformabilità alla rotazione della sottostante trave.



Particolare attenzione deve essere posta qualora la parete in legno sovrasti trave o telaio in calcestruzzo armato o in acciaio (parete B della 17) e quindi non funzioni come trave-parete, cioè la parete gravi direttamente sulla trave; in questo caso la deformabilità alla rotazione della trave riduce in maniera non trascurabile la rigidità efficace della parete in legno e quindi la capacità della parete in legno di attirare su di sé le azioni orizzontali. In questo caso l'analisi delle azioni sulla sovrastruttura in legno non può essere eseguita indipendentemente dalla sottostruttura prescindendo quindi dalla deformabilità di quest'ultima.

Riguardo all'analisi della struttura, si configurano i seguenti casi:

- A Se la sottostruttura può essere considerata scatolare rigida (§7.2.1 NTC 2018 [1] e §C7.7.3 della Circolare [2]) rispetto alla sovrastruttura in legno e tutte le pareti sismoresistenti della sovrastruttura in legno hanno continuità con le pareti della sottostruttura o per lo meno hanno funzionamento a trave-parete, l'analisi della sovrastruttura in legno può essere eseguita indipendentemente dalla sottostruttura. Per l'analisi della sovrastruttura dovranno essere utilizzati i fattori di comportamento presenti nella Tabella 7.3.II delle NTC 2018 [1] e Tabella 1 a pagina 7 relativi alle strutture di legno.

E' necessario progettare la sottostruttura sovreresistente al fine di evitare possibili meccanismi di collasso di piano debole; a tal fine questa può essere progettata seguendo i requisiti strutturali degli elementi di fondazione di cui alle NTC 2018 [1] §7.2.5.

Nel caso di sottostruttura in muratura, l'analisi deve essere eseguita in conformità al §7.8.5 delle NTC 2018 [1] considerando però la sottostruttura sovreresistente.

Qualora non si voglia considerare la sottostruttura rigida è necessario che l'analisi della struttura segua il successivo punto C.

- B Se la sottostruttura può essere considerata scatolare rigida rispetto alla sovrastruttura in legno ma alcune pareti della sovrastruttura in legno non hanno continuità con le pareti della sottostruttura ossia sono in falso su travi della sottostruttura non potendo assicurare il comportamento a trave-parete, l'analisi della sovrastruttura in legno può essere eseguita in due diversi modi a seconda che le pareti in falso siano considerate sismoresistenti o meno:
- B.1 Nel caso in cui le pareti in legno in falso siano considerate sismoresistenti, l'analisi della struttura deve riguardare l'intero organismo strutturale in modo da considerare l'interazione delle due parti, in quanto la risposta statica e sismica delle pareti di legno in falso è fortemente condizionata dalle rigidità delle travi porta-muro della sottostruttura. In questo caso il fattore di comportamento da adottare deve essere il più basso tra quelli che caratterizzano le varie tecnologie costruttive.
- B.2 Nel caso in cui le pareti in falso non siano considerate sismoresistenti, l'analisi della sovrastruttura in legno può essere condotta indipendentemente dalla sottostruttura. In questo caso si ricade nel caso A. Le pareti considerate non



sismoresistenti dovranno essere trattate come elementi secondari ai sensi delle NTC 2018 [1] §7.2.3.

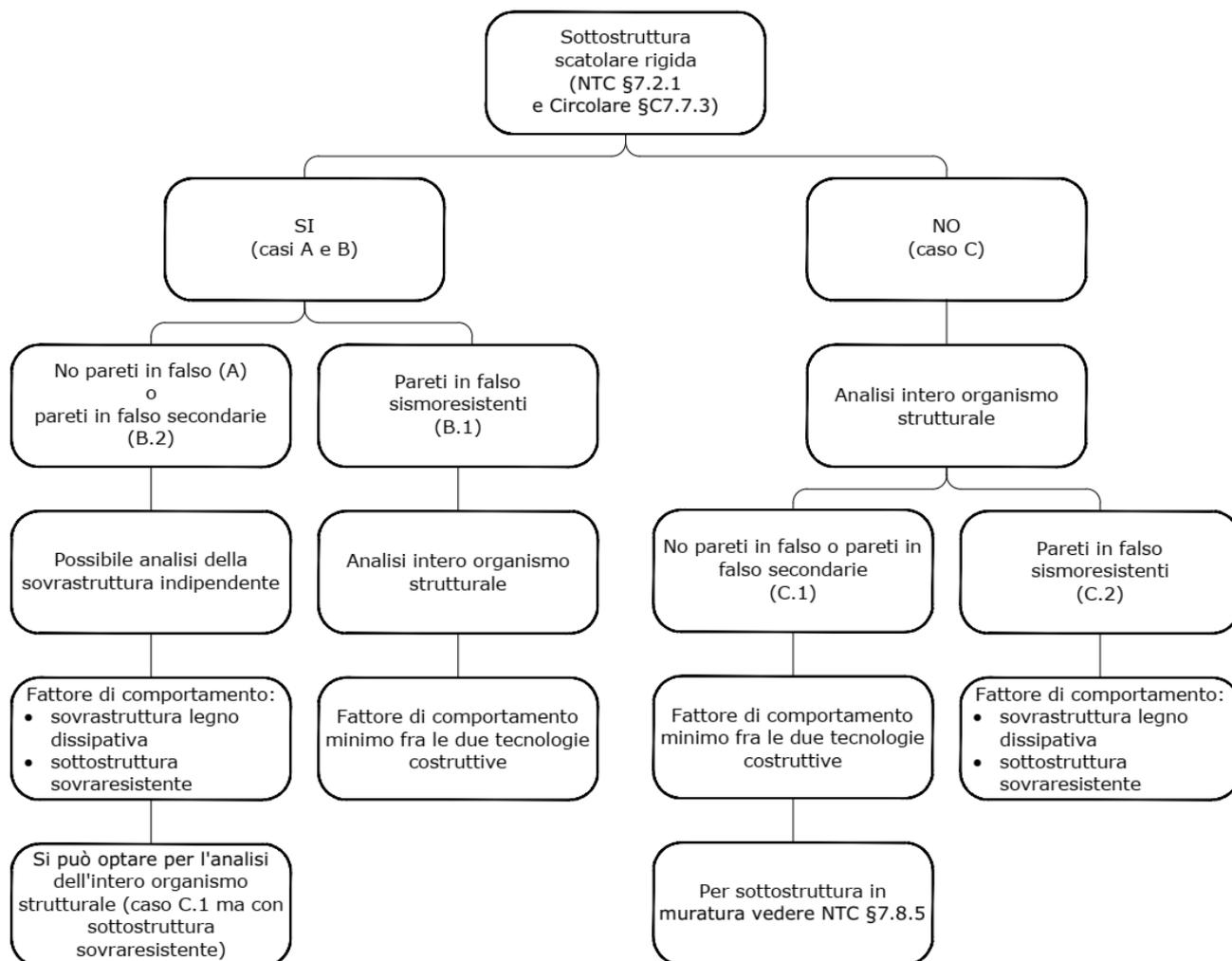
- C Se la sottostruttura non può essere considerata scatolare rigida (ad esempio telai in cemento armato o acciaio) rispetto alla sovrastruttura in legno, o non si voglia considerarla scatolare rigida, l'analisi della struttura deve riguardare l'intero organismo strutturale considerando l'interazione delle due parti, in quanto la risposta statica e sismica è fortemente condizionata dalle rigidità relative.
- C.1 Se la sovrastruttura in legno non ha pareti in falso sulla sottostruttura, oppure le pareti in falso non sono considerate sismoresistenti, allora il fattore di comportamento da adottare deve essere il più basso tra quelli che caratterizzano le varie tecnologie costruttive o, per sottostruttura in muratura, seguire le indicazioni del §7.8.5 delle NTC 2018 [1].
- C.2 Se la sovrastruttura in legno ha pareti in falso sulla sottostruttura allora è necessario progettare la sottostruttura sovrar resistente al fine di evitare possibili meccanismi di collasso di piano debole; a tal fine la sottostruttura può essere progettata seguendo i requisiti strutturali degli elementi di fondazione di cui alle NTC 2018 [1] §7.2.5.

Quando gli impalcati sono considerati, ai fini dell'analisi strutturale, deformabili nel loro piano, le pareti della sovrastruttura di legno in falso su sottostruttura a diversa tecnologia potrebbero risultare eccessivamente deformabili a causa della rotazione della sottostante trave porta muro; in tal caso l'azione orizzontale di competenza della parete in oggetto deve poter essere efficacemente ridistribuita ad altre pareti sismoresistenti più rigide, fermo restando la necessità di verifica allo SLD. A tal fine potrebbe essere utile verificare che, con riferimento alla 17, la rotazione φ della trave porta-muro derivante dal momento indotto dall'azione orizzontale sulla parete calcolata allo SLD, non superi il valore q_d/h del §7.3.6.1 delle NTC 2018 [1].

In generale i collegamenti tra la parte in legno soprastante e le parti sottostanti di diversa tecnologia devono essere verificate in base alle forze trasmesse derivanti dall'analisi maggiorate del 30%, in analogia a quanto previsto nel §7.8.5 delle NTC 2018 [1]; in questi casi la progettazione in duttilità può essere giustificata solo se rimangono comunque sufficienti altre zone dissipative.

Nel caso di elementi in falso deve essere sempre considerata la componente verticale dell'azione sismica in accordo con quanto riportato al paragrafo 7.7.4 delle NTC 2018 [1].

Infine, relativamente al caso A, è utile ricordare quanto detto al §7.2.1 delle NTC 2018 [1]: *"Qualora, immediatamente al di sopra della fondazione, sia presente una struttura scatolare rigida, purché progettata con comportamento non dissipativo, i controlli sulla regolarità in altezza possono essere riferiti alla sola struttura soprastante la scatolare, a condizione che quest'ultima abbia rigidità rispetto alle azioni orizzontali significativamente maggiore di quella della struttura ad essa soprastante. Tale condizione si può ritenere soddisfatta se gli spostamenti della struttura soprastante la scatolare, valutati su un modello con incastri al piede, e gli spostamenti della struttura soprastante, valutati tenendo conto anche della deformabilità della struttura scatolare, sono sostanzialmente coincidenti."*



7 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Il ricorso per la modellazione strutturale a software esistenti in commercio non può in nessun caso essere ritenuto esaustivo. Le verifiche principali dovranno essere riprodotte anche con schemi manuali semplificati che confermino l'ordine di grandezza dei risultati del modello numerico.

In ogni caso i modelli tridimensionali agli elementi finiti utilizzati per l'analisi lineare e non lineare di edifici in legno devono sempre rappresentare la deformabilità delle connessioni meccaniche utilizzate nella costruzione reale, modellate con la relativa rigidità.



Le Norme Tecniche infatti, richiedono in molti casi, a causa del non soddisfacimento dei criteri di regolarità per la maggior parte degli edifici nei casi di progettazione corrente, l'uso dell'analisi modale con spettro di risposta di progetto, ossia l'analisi dinamica lineare. Questo metodo richiede la stima corretta della rigidità dell'edificio al fine di cogliere correttamente il comportamento dinamico dal quale dipendono le sollecitazioni sismiche di progetto, che possono essere significativamente sottovalutate o sovrastimate anche in funzione delle dimensioni dell'edificio e della forma dello spettro di progetto [9]. Inoltre, è importante stimare con precisione gli spostamenti della struttura per la verifica allo SLE e SLU, soprattutto nel caso di edifici contigui e separati da un giunto sismico. Pertanto, è di fondamentale importanza modellare correttamente la rigidità delle pareti e soprattutto delle connessioni meccaniche utilizzate per i diversi collegamenti, in quanto un modello semplicistico che considerasse tutte le connessioni come infinitamente rigide porterebbe ad una errata valutazione del periodo proprio e degli spostamenti massimi della struttura [10]. A questo proposito si possono scegliere due possibilità alternative:

- (i) fare riferimento alla tabella 7.1 dell'Eurocodice 5 [7] per il calcolo del modulo di scorrimento allo stato limite di esercizio per elementi meccanici di collegamento a gambo cilindrico (spinotti, bulloni, viti e chiodi con e senza preforatura);
- (ii) fare riferimento a valori sperimentali quando disponibili.

Generalmente la soluzione (ii) è la più corretta e i valori di rigidità risultano notevolmente inferiori rispetto a quelli ottenuti con le formule date dall'Eurocodice 5 [7]. Tuttavia, in considerazione del fatto che non sempre i valori sperimentali di rigidità delle connessioni sono disponibili e che la valutazione delle proprietà di rigidità dell'edificio nel suo complesso dipende anche da altri fenomeni, come l'attrito, che non vengono solitamente considerati nella modellazione strutturale, la soluzione (i) è generalmente considerata accettabile e porta a risultati non troppo dissimili dai valori reali di rigidità, misurati anche nell'ambito di prove sperimentali [11].

In ogni caso il valore del periodo del modo di vibrare principale T_1 nella direzione in esame non può essere assunto superiore al doppio del valore ricavato dalla formula 7.3.6c del §7.3.3.2 delle NTC 2018 [1].⁸

⁸ La formula $T_1=0,050 \cdot H^{3/4}$ presente nelle Circolare 2019 [2] ed in alcune normative estere si ritiene consigliata ed applicabile agli edifici a pareti in legno.

A questo proposito le Norme Canadesi (Commentary J, [12]) riportano: *"Il periodo proprio di vibrazione può essere anche valutato mediante modelli numerici basati su metodi riconosciuti della meccanica classica capaci di realizzare una rappresentazione realistica della magnitudo e della distribuzione delle masse dell'edificio e delle rigidità strutturali. Anche se questi requisiti sono soddisfatti, i periodi di vibrazione computati tendono comunque ad essere superiori rispetto a quelli misurati in strutture reali perché la modellazione generalmente non prende in considerazione il contributo degli elementi non-strutturali che tendono ad irrigidire la struttura. L'uso dei periodi computati, che sono superiori ai periodi reali, può portare ad una valutazione non-conservativa delle forze sismiche perché l'accelerazione spettrale di progetto decresce al crescere del periodo, determinando pertanto una riduzione del taglio sismico alla base. Al fine di evitare la computazione di periodi eccessivamente elevati, i periodi computati non devono essere più grandi di 2 volte il*



8 DURABILITÀ E PIANO DI MANUTENZIONE

Il legno è un materiale biologico che può essere soggetto a biodegradamento ad opera di vari agenti del degrado; la possibilità e velocità di degrado dipende dal materiale (specie legnosa, alborno e durame), dalle condizioni ambientali (specialmente dalle condizioni che possono determinare umidità elevata del legno), dagli eventuali trattamenti preservanti e dalla possibilità che gli agenti del degrado possano raggiungere la struttura.

Il progetto ed il relativo piano di manutenzione devono prevedere, attraverso schemi grafici e dettagli costruttivi, le corrette strategie per prevenire o limitare il danno e garantire che le prestazioni della struttura non scendano al disotto dei livelli di sicurezza previsti dal progetto stesso per tutta la vita utile della struttura.

Il progetto strutturale deve riportare almeno i seguenti dettagli⁹:

- particolare dell'attacco alle fondazioni della parte in elevazione in legno, completo delle finiture architettoniche e impiantistiche;
- particolare delle protezioni delle parti aggettanti (balconi, parapetti, velette, aggetti di gronda).

Per quanto sopra si può fare utile riferimento al paragrafo 5.6 "Progettare la durabilità" delle "Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana" [4], emanato dalla Regione Toscana, citato in premessa; si guardi anche la pubblicazione "Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings. Focus on Building Physics" [13] in particolare il § 7 "Connections details".

8.1 ATTACCO FUNGINO

Con riferimento alla durabilità il Progettista dovrà valutare l'adeguatezza della specie legnosa utilizzata in relazione alle condizioni di umidità attese in servizio, in particolare nei casi di condizioni umide (cioè quando il legno supera il 18-20% di umidità, in classe di servizio 3 o nei casi di condensa e/o presenza di trappole di umidità).

Eventuali trattamenti preservanti devono essere valutati in funzione della impregnabilità della specie legnosa e dell'efficacia in relazione alla vita utile della struttura ed indicati nella relazione sui materiali.

Si faccia riferimento alle norme EN 335, EN350 ed EN460.

valore ricavato con la formula analitica semplificata".

⁹ Si fa presente che la corretta impostazione dei dettagli strutturali anzi descritti è necessaria ma non sufficiente a garantire la durabilità della struttura.

Altri importanti aspetti non strettamente strutturali sono (elenco non esaustivo): impermeabilizzazione dei sanitari e dei bagni ed in generale di tutti quei locali in cui sono presenti impianti e macchine che fanno uso di acqua, funzionamento termoigrometrico di pareti e coperture in relazione alla possibilità di condensa, impermeabilizzazione e smaltimento delle acque in terrazzi e coperture, tenuta dell'interfaccia infisso-parete e soglia-parete.



Vanno progettati i particolari costruttivi (protezioni passive) in modo da evitare l'umidificazione frequente del legno, evitare trappole di umidità (es. portapilastrini a bicchiere) e favorire la ventilazione di tutte le parti, in particolare di quelle zone che, anche sporadicamente, potrebbero essere soggette a inumidimento o comunque ad aumento di umidità.

Le protezioni (guaine, scossaline, ecc.) devono proteggere dall'inumidimento frequente ma mai foderare il legno; deve essere sempre garantito il deflusso delle acque, la ventilazione e la possibilità di rapido asciugamento del legno qualora venga inumidito anche sporadicamente.

L'attacco della parte in elevazione in legno alle fondazioni è opportuno che sia sempre ad un livello convenientemente superiore sia al piano finito esterno che a quello interno; devono essere evitate le guaine a bicchiere intorno al legno.

Le parti in legno in aggetto e in generale le parti esposte alle intemperie devono essere evitate; possono essere utilizzate se facilmente sostituibili (sostituzione prevista nel piano di manutenzione) o se efficacemente protette.

Deve essere garantita adeguata ventilazione delle parti in legno poste in zone potenzialmente a rischio (sottotetti, cavedi, volumi interrati, zone soggette anche sporadicamente a condensa); in alternativa deve essere attentamente valutato il rischio e garantita l'ispezionabilità e/o il monitoraggio che devono essere pianificati e richiamati nel piano di manutenzione.

8.2 ATTACCO DA INSETTI XILOFAGI

La possibilità di degrado da insetti xilofagi deve essere valutata in funzione della specie legnosa e della presenza di alborno; andrà valutata la necessità di eventuale protezione passiva e/o trattamento preservante indicandolo nella relazione sui materiali e sul piano di manutenzione.

9 CONTENUTI MINIMI DEL PROGETTO STRUTTURALE

Tutti gli elementi strutturali (fondazioni, pareti, solai, scale, coperture, collegamenti) dovranno essere chiaramente identificati nei disegni strutturali che dovranno contenere le disposizioni specifiche per il controllo dell'esecuzione.

In particolare, i disegni di progetto dovranno contenere almeno i seguenti dettagli:

- a) Particolari costruttivi e piante schematiche dei collegamenti di presidio al sollevamento e allo scorrimento di tutte le pareti sismo-resistenti alle fondazioni e ai solai di interpiano.
- b) Particolari costruttivi e interasse dei collegamenti tra diaframmi orizzontali e pareti sismo-resistenti sottostanti.
- c) Particolari costruttivi e interasse dei collegamenti tra pareti sismo-resistenti che si intersecano fra loro.
- d) Particolari costruttivi e interasse dei collegamenti tra pannelli di rivestimento strutturali e elementi del telaio in diaframmi verticali e orizzontali di edifici Platform Frame.



- e) Particolari costruttivi e interasse dei collegamenti tra pannelli XLam in diaframmi verticali e orizzontali di edifici XLam.
- f) Particolari costruttivi di elementi tesi e compressi di reticolari di controvento di legno.
- g) Particolari costruttivi e dimensioni di qualsiasi unione di carpenteria.
- h) Particolari costruttivi di qualsiasi elemento di rinforzo a trazione ortogonale alla fibratura in elementi lignei o connessioni.
- i) Per edifici Platform Frame devono essere presenti i prospetti delle pareti in cui siano dettagliati tutti gli elementi componenti o in alternativa schemi esaustivi degli elementi costituenti la parete.
- j) Per edifici XLam devono essere presenti i prospetti delle pareti in cui sia dettagliata la suddivisione in pannelli o in alternativa schemi esaustivi di tale suddivisione.
- k) In generale per tutti i collegamenti fra elementi strutturali (sollecitati sia da azioni statiche che da azioni sismiche) devono essere presenti i disegni esecutivi esaustivi completi di quote e specifiche dei materiali, nonché distanze dai bordi ed interassi degli elementi meccanici di unione.



10 **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

- 1 Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni. Roma.
- 2 Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti n.7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui la decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- 3 European Committee for Standardization (CEN), 2004. Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels, Belgium.
- 4 Berti S., Brunetti M., Capone P., Ciapini E., Follesa M., Lauriola M. P., Lavisci P., Macchioni N., Palanga G., Palanti S., Pizzo B., Terranova M., Vasta S., Vignoli A., 2009. Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana – Coordinamento Editoriale: Maurizio Follesa e Marco Pio Lauriola, Regione Toscana, Giunta -Regionale, Direzione Generale della Presidenza.
- 5 Follesa, M., Fragiacomò, M., Vassallo, D., Piazza, M., Tomasi, R., Casagrande, D., Rossi, S., 2015. A proposal for a new Background Document of Chapter 8 of Eurocode 8. Proc. of the International Network on Timber Engineering Research meeting INTER, Šibenik, Croatia. - paper 48-102-1.
- 6 Follesa, M.; Fragiacomò, M.; Casagrande, D.; Tomasi, R.; Piazza, M.; Vassallo, D.; Rossi, S., 2016. The new version of Chapter 8 of Eurocode 8. CD-ROM Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), August 22-25, 2016, Vienna, Austria, Eds.: J. Eberhardsteiner, W. Winter, A. Fadaei, M. Pöll, Publisher: Vienna University of Technology, Austria, ISBN: 978-3-903039-00-1
- 7 Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, Belgium. European Committee for Standardization (CEN), 2009.
- 8 Regione Toscana – Giunta Regionale – COMITATO TECNICO SCIENTIFICO per il di rischio sismico (Delibera GR n. 940 del 6.10.2015). Pareri 2009-2016.
- 9 Sustersic I., Dujic B., 2012. Simplified cross-laminated timber wall modelling for linear elastic seismic analysis, 45th CIB W18, Vaxjö, Sweden, paper 45-15-6.
- 10 Fragiacomò M., Dujic B., Sustersic I., 2011. Elastic and ductile design of multi-storey crosslam massive wooden buildings under seismic actions. Engineering Structures, Special Issue on Timber Structures, 33(11):3043-3053, doi:10.1016/j.engstruct.2011.05.20
- 11 Follesa, M., Christovasilis I., Vassallo D., Fragiacomò M., Ceccotti A., 2013. Seismic design of multi-storey CLT buildings according to Eurocode 8. Ingegneria Sismica n. 04/2013 "SPECIAL ISSUE -Timber Structures".
- 12 NBCC 2010. National Building Code of Canada 2010. Canadian Commission on Building and Fire Code, National Research Council of Canada, Ottawa, Ont.



REGIONE TOSCANA
Giunta Regionale

Approvato nella
seduta del 4/2/2021

Direzione Ambiente e Energia

Settore Sismica

Comitato tecnico scientifico per il
rischio sismico

- 13 Teibinger, M., Matzinger I., 2013. Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings. Focus on Building Physics. Published by Holzforschung Austria, www.holzforschung.at. ISBN 978-3-9503367-3-3.
- 14 CNR DT 206-R1/2018 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno.



APPENDICE 1 - INDICAZIONI RELATIVE AL BLOCKHAUS

A. ASPETTI PROGETTUALI PER COSTRUZIONI TIPO BLOCK HOUSE

Inquadramento tipologia costruttiva ai fini dell'analisi sismica:

Nel sistema Block Haus, chiamato anche Blockbau, Log House o Casa a Tronchi, le pareti sono realizzate sovrapponendo elementi di legno a fibratura orizzontale, tipicamente tronchi lasciati tondi lavorati in piano o scanalati solo sulle facce orizzontali a contatto fra loro, ma anche elementi squadrati di legno massiccio, lamellare, bilama, trilama, ecc.; lo spessore della parete è quindi pari alla larghezza di tali elementi.

Indipendentemente dalla tipologia di prodotto e forma, d'ora in poi gli elementi orizzontali costituenti le pareti saranno chiamati tronchi.

La stabilità di ciascuna parete deve essere ottenuta attraverso incroci dei tronchi agli angoli o altri sistemi continui in altezza che impediscano l'instabilizzazione della parete fuori dal piano.

Si ritiene di poter ammettere sia una struttura di tipo dissipativo (classe B) che non dissipativo.

Nel primo caso q_0 può essere compreso tra 1,0 e 2,0 (e conseguentemente $q=q_0 \cdot K_r \geq 1,5$) a patto che le verifiche dei collegamenti siano eseguite nella logica della gerarchia delle resistenze, in particolare ottemperando al punto 7.7.6. delle NTC 2008 che prevede un coefficiente di sovreresistenza pari a 1,3.

Nel secondo caso occorre utilizzare $q=1$ senza particolari ulteriori verifiche di gerarchia. Tuttavia in tal caso, qualora risultasse dimensionante l'azione del vento, ai sensi del punto 4.4.12. delle NTC il requisito di robustezza sarà garantito se i collegamenti saranno di tipo duttile, oppure fragile ma in questo caso verificati con lo stesso coefficiente di cui al punto 7.7.6.

L'analisi lineare statica è ritenuta un metodo adeguato a patto che i requisiti di regolarità della struttura in elevazione siano effettivamente presenti.

Il meccanismo di ripartizione delle azioni di competenza per ciascuna parete dovrà tenere coerentemente conto della effettiva rigidità dei solai. Qualora si ritenga necessario procedere ad una modellazione numerica, facendo conto in via approssimata che per bassi livelli di carico orizzontale l'attrito impedisca lo scorrimento degli elementi orizzontali di parete, si dovrà tenere in considerazione che le pareti sono costituite da un materiale ortotropo con moduli elastici diversi nelle due direzioni (E_{90} in direzione verticale ed E_0 in direzione orizzontale).

Verifica delle pareti per azioni verticali:

Particolare attenzione dovrà essere posta alla verifica di stabilità delle pareti per la quale si può far riferimento a pubblicazioni come ad esempio quella di Bedon-Fragiacomo-Amadio-Battisti (riportata

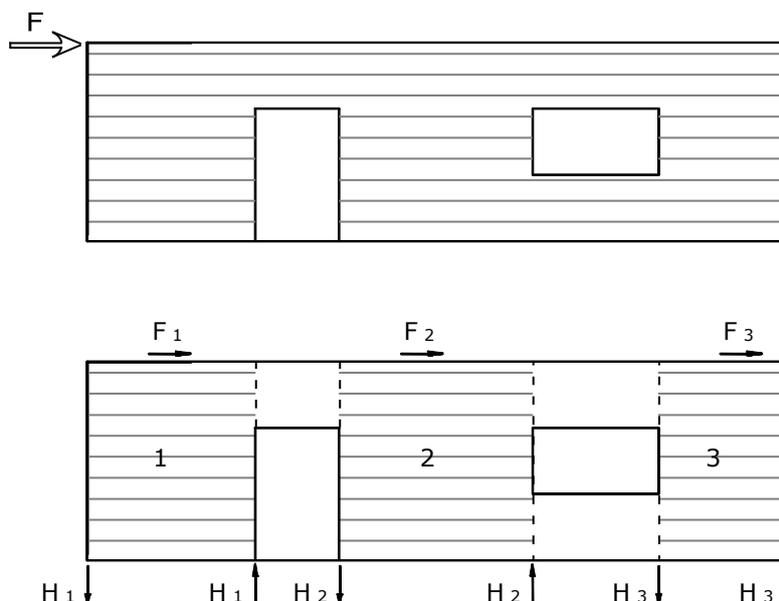


in allegato) utilizzando però il metodo con cautela in considerazione del fatto che occorrerebbe ulteriore sperimentazione.

Verifica delle pareti per azioni orizzontali:

Lo schema resistente tipo deve tener conto delle aperture presenti per cui ciascuna macroparete è composta da una o più pareti strutturali costituite dai soli tratti privi di interruzione e dotati di resistenza a taglio.

Facendo riferimento a quanto contenuto nell'eurocodice 5 per i sistemi platform-frame, lo schema tipo di calcolo sarà il seguente:



dove, per ogni parete elementare di cui è composta la macroparete, si individua una forza orizzontale di competenza (da sisma o da vento) che deve trovare equilibrio grazie ad elementi appositamente dimensionati per evitare rotture per pressoflessione (sollevamento) e taglio.

La ripartizione della forza di taglio all'interno della macroparete in generale deve essere fatta assumendo che ciascuna parete abbia rigidezza proporzionale alla propria lunghezza in pianta, in considerazione del fatto che per bassi livelli di carico orizzontale l'attrito impedisca lo scorrimento dei tronchi e che generalmente le unioni resistenti a taglio utilizzate in questa tipologia costruttiva hanno un comportamento fragile.

Solo in presenza di unioni resistenti a taglio sufficientemente duttili si potrà fare riferimento alla resistenza a taglio della macroparete come somma delle resistenze a taglio delle pareti elementari di cui è composta.

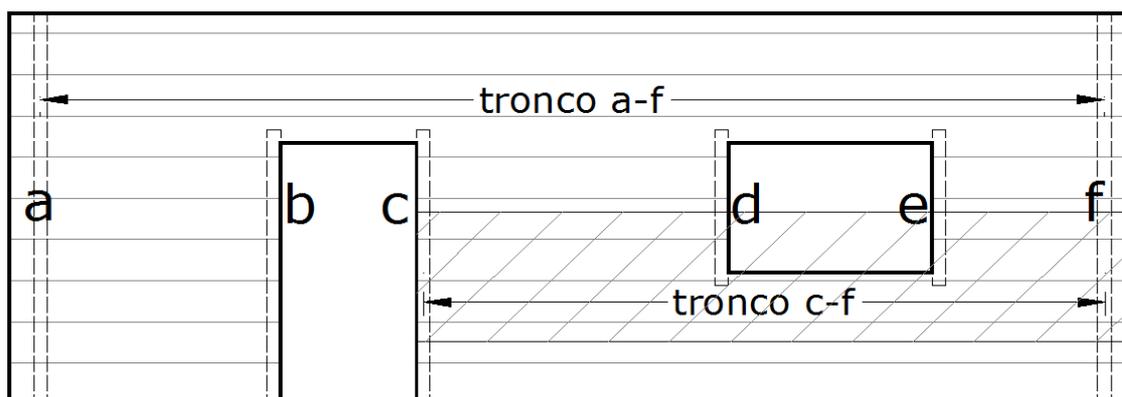


Azioni nel piano della parete:

- Ribaltamento (in particolare: sollevamento) nel piano della parete
 - Per il sollevamento saranno necessari degli appositi presidi (tipo hold down o tiranti) da posizionare all'estremità di ogni elemento parete e, essendo la parete formata da elementi orizzontali sovrapposti, tali presidi dovranno essere estesi per l'intera altezza.
- Taglio nel piano della parete
 - Il trasferimento delle azioni di taglio dalla sommità alla base per ogni parete deve avvenire attraverso unioni fra i tronchi appositamente disposte e verificate (esempio: maschiatura "standard" o altri idonei sistemi di connessione simili che collegano i tronchi in senso verticale) . Nel caso di presenza di più unioni di tipologie diverse per una stessa parete i contributi generalmente non possono essere sommati in quanto unioni di tipo fragile e aventi rigidzze diverse. I contributi possono essere sommati solo se dello stesso tipo o di rigidzza paragonabile o di tipo sufficientemente duttile
 - Il trasferimento del taglio dalla parete alla fondazione deve essere garantito da un collegamento appositamente dimensionato.

Azioni fuori dal piano della parete:

- Flessione fuori dal piano della parete – L'azione del vento di pressione sulla superficie della parete (o l'azione sismica ortogonale al piano generata dalla massa sismica della parete stessa, nel caso risulti superiore all'azione del vento) deve essere tenuta in considerazione secondo l'effettivo percorso di migrazione dei carichi dai tronchi ai vincoli.



Nella figura il tronco c-f porta l'azione orizzontale del vento che investe la superficie di influenza campita, risulta appoggiato orizzontalmente da un lato all'irrigidimento verticale 'c' e dall'altro al muro ortogonale 'f'. L'irrigidimento verticale 'c' si appoggia a sua volta orizzontalmente all'estremo inferiore alla fondazione (o solaio inferiore) ed all'estremo superiore al tronco a-f. Il tronco a-f riceve sia il carico orizzontale degli irrigidimenti verticali 'b', 'c', 'd' ed



'e' ma anche il carico del vento che lo investe, e risulta appoggiato orizzontalmente alle pareti ortogonali 'a' ed 'f'.

Stesso discorso vale per l'azione del vento di trascinamento in copertura e l'azione sismica dovuta alla massa di piano che dovranno essere trasferite ai vincoli (pareti) dal sistema impalcato.

- Taglio fuori dal piano della parete L'azione di pressione del vento in facciata e di trascinamento in copertura, nonché l'azione sismica dovuta alla massa di piano (ritenendo trascurabile la massa della parete), nel caso più frequente di piani non rigidi, deve essere riportata ai vincoli che devono essere verificati in base alla loro resistenza valutata nella direzione ortogonale al piano della parete. Nel caso di piani rigidi le azioni devono essere ripartite tra le pareti disposte parallelamente all'azione sismica e pertanto si ricade nel punto 2.

Verifiche delle unioni

Le unioni meccaniche devono essere verificate secondo le pertinenti formule di verifica presenti nelle NTC o in norme di comprovata validità (ad esempio Eurocodice 5 oppure CNR/DT 206/2007).

Per le unioni di carpenteria non esplicitamente previste dalle NTC o norme di comprovata validità, bisogna individuare i meccanismi di rottura elementari inquadrabili in formule di verifica previste.

Ad esempio l'unione classica ad incrocio d'angolo può essere progettata con riferimento alla verifica a compressione ortogonale alla fibratura ed a taglio nella zona di incrocio.

Nel caso l'unione non risulti inquadrabile in meccanismi di rottura coperti da formule di verifica note, ci si potrà riferire alla sperimentazione argomentando la pertinenza e riportando i risultati della sperimentazione al caso in studio.

Verifiche locali

Essendo generalmente le coperture in legno particolarmente leggere, il collegamento della copertura alle pareti sottostanti deve essere dimensionato anche in riferimento all'azione di sollevamento del vento secondo il punto C.3.3.10.8 della circolare n. 617/09.

Durabilità delle strutture

I particolari costruttivi devono essere curati per conferire durabilità all'opera per tutta la vita nominale; in particolare l'attacco a terra della struttura in legno deve essere sviluppato a livello di dettaglio al fine di dimostrare che sia evitato il ristagno di acqua.



B. ASPETTI PROGETTUALI PER STRUTTURE IN LEGNO A PARETI COLLOCATE AL DI SOPRA DI COSTRUZIONI DI ALTRA TIPOLOGIA

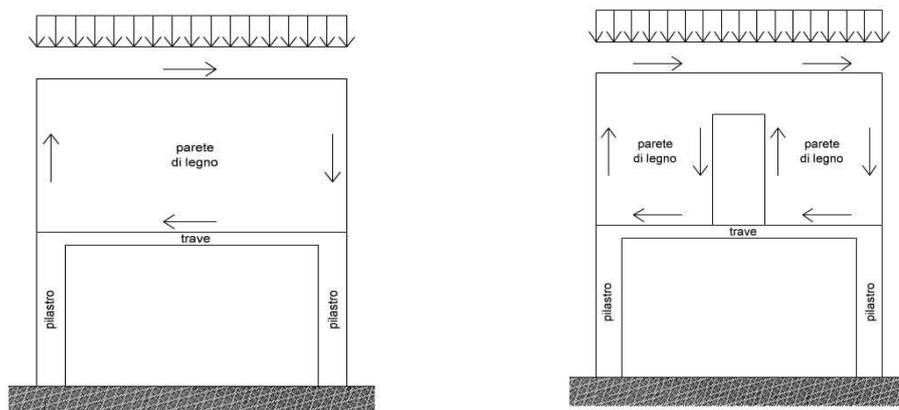
Con riferimento al parere CTS n.1/2013 la realizzazione di un piano in legno a pareti al di sopra di un piano a pareti in c.a. è ammissibile secondo le condizioni citate (sostanziale monoliticità del piano inferiore).

Ferma restando la responsabilità del progettista, si ritiene che, in analogia a quanto previsto dalla norma per le costruzioni in c.a., sia opportuno non realizzare strutture a pareti in legno al di sopra di strutture a telaio. Costituisce certamente una eccezione il caso in cui le pareti in legno siano riconducibili ad un comportamento di tipo trave, cioè siano in grado di ricondurre tutte le azioni verticali direttamente sugli elementi verticali della struttura a telaio sottostante, cosa non scontata in presenza di aperture che ne interrompono la continuità.

In tal caso le pareti devono essere solo dei tamponamenti che non portano neanche i carichi verticali.

Oppure la trave del telaio sottostante la parete deve essere sufficientemente resistente e rigida da poter assorbire le azioni verticali.

In ogni caso si ritiene necessario studiare l'edificio con un unico modello globale per l'intera struttura tra quello della costruzione a telaio e di quella in legno al fine di cogliere correttamente l'interazione fra i due sistemi strutturali sovrapposti.



Nel caso in cui la costruzione in legno a pareti sia realizzata al di sopra di un piano in muratura la soluzione si ritiene ammissibile, a patto che venga realizzato un unico modello con il fattore di struttura più basso tra quello della costruzione in muratura e quello della costruzione in legno, ferme restando le considerazioni sopra riportate per situazioni analoghe.

In particolare si sottolinea la necessità di posizionare le pareti in legno o in corrispondenza delle sottostanti pareti in muratura oppure, sfruttando la capacità delle pareti in legno di funzionare anche come travi, assicurare alle pareti in legno appoggi rigidi anche puntuali.