

OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

MODULO **3** : LEGNO PER USO STRUTTURALE: NUOVE COSTRUZIONI ED INTERVENTI SULL'ESISTENTE

Comportamento sismico strutture in legno e nuovi Eurocodici

Prof. Massimo Fragiaco

(Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università degli Studi
dell'Aquila)

Sommario

Introduzione:

Sugli edifici in legno in zona sismica
Sulla revisione degli Eurocodici 5 e 8

Concetti base di resistenza al sisma delle strutture in legno

Principali aggiornamenti del Capitolo sul legno dell'Eurocodice 8 (prEN1998-1-2):

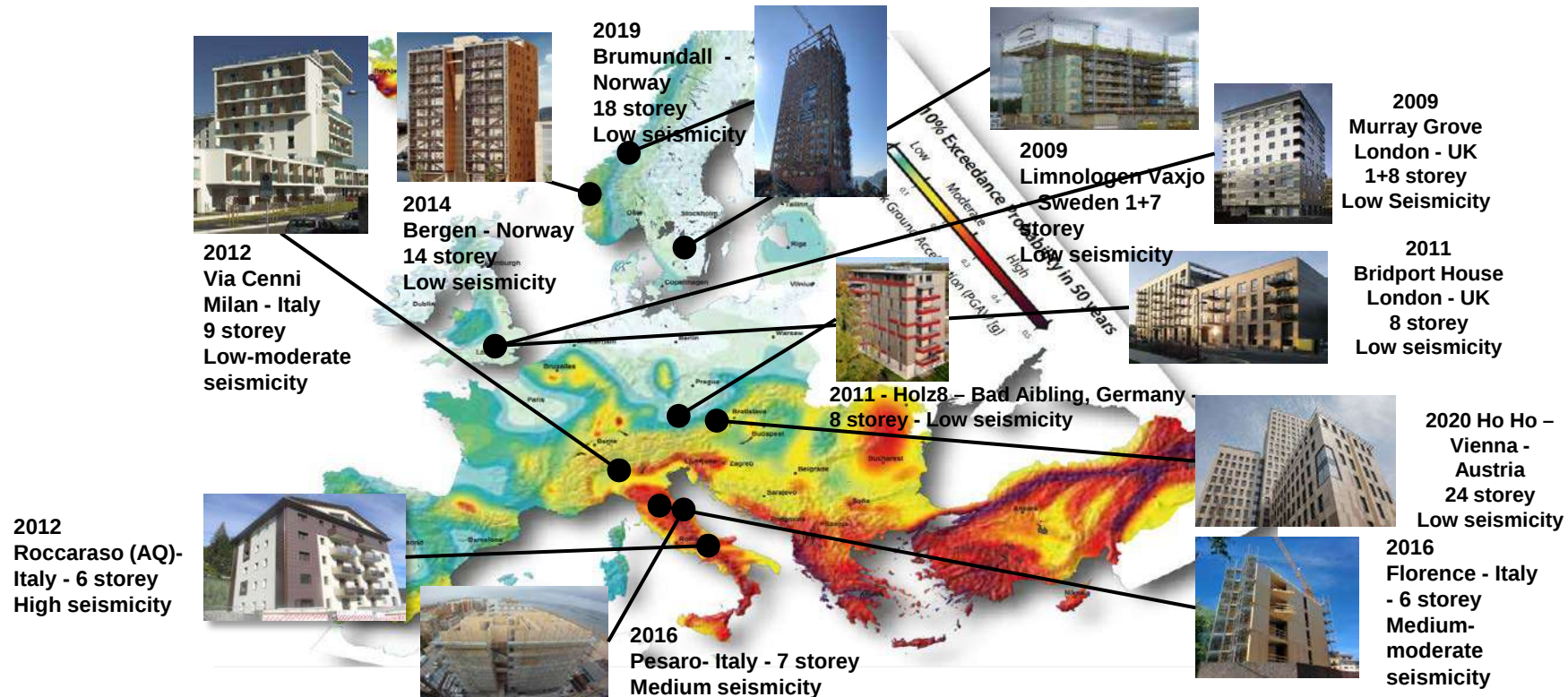
- A – Revisione dei sistemi strutturali sismo-resistenti
- B – Nuovo formato delle verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV)
- C – Nuova definizione e aggiornamento del fattore di comportamento q
- D – Nuove regole di duttilità per le zone dissipative
- E – Progettazione in capacità e fattori di sovraresistenza
- F – Regole per edifici con pannelli in compensato di tavole (CLT)

Esempio di calcolo di un edificio multipiano in pannelli in CLT

Conclusioni e Ringraziamenti

Introduzione: edifici in legno in zona sismica

- Notevole evoluzione degli edifici in legno a partire dagli anni '90 grazie a nuovi materiali a base di legno (CLT, OSB, ecc.) e sistemi di connessione performanti (viti autoperforanti, ecc.)
- Significativo aumento in dimensione e altezza degli edifici in legno anche in zone sismiche



Introduzione: edifici in legno in zona sismica

- Molta ricerca scientifica sul comportamento sismico eseguita nel mondo, che ha dimostrato l'ottimo comportamento degli edifici in legno.

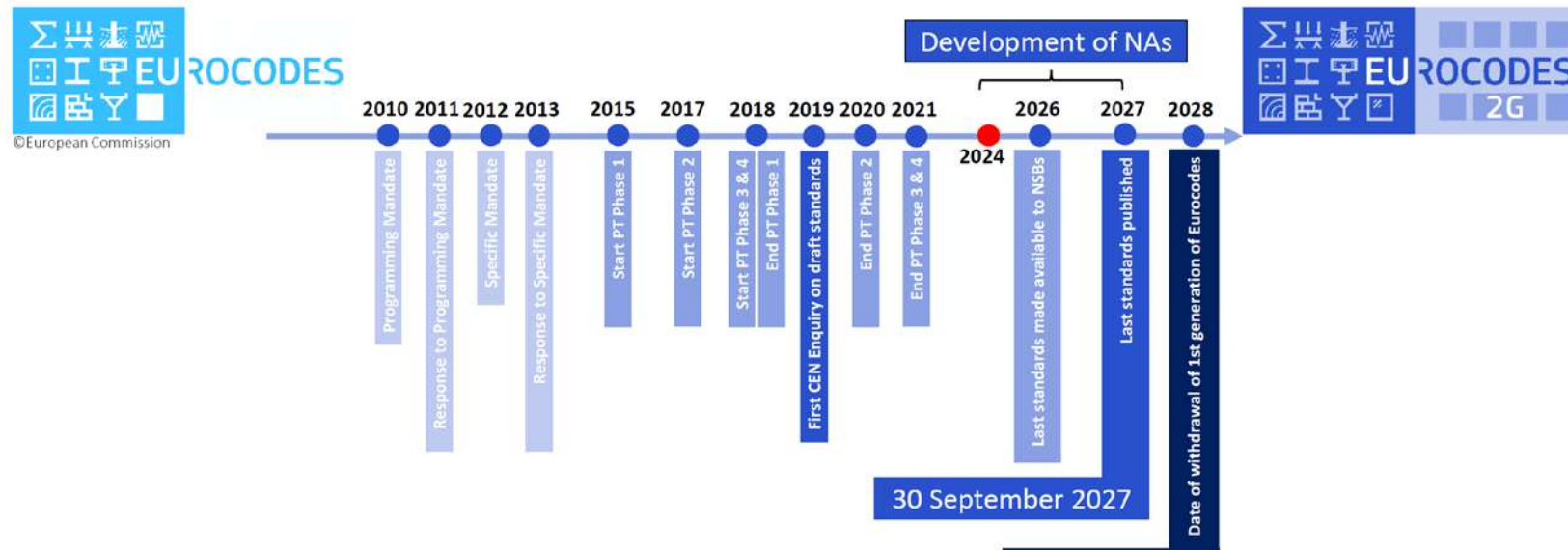


Introduzione: revisione degli Eurocodici

- Attualmente, **TUTTI** gli **Eurocodici** sono in fase di revisione e aggiornamento.
- Un **processo** iniziato 16 anni fa per tutte le diverse parti, che si **dovrebbe concludere nel 2028...**
- Come conseguenza, una volta revisionati gli Eurocodici, **anche le NTC 2018 andranno aggiornate** per evitare conflitti tra le due norme.
- Attualmente è stata **nominata una Commissione** in ambito Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici **per procedere ad un aggiornamento delle NTC 2018.**

Guidance on drafting NAs

N1717



Introduzione: revisione degli Eurocodici

- **Eurocodici di interesse per le strutture di legno:** Eurocodici **5** (Strutture di Legno) e **8** (Progettazione per le azioni sismiche).
- **Principali modifiche** apportate:

Versione attuale dell'EC8:

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (Capitolo 8: Legno, **6** pp.)

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (Assenza di capitoli sul legno)

Nuova versione dell'EC8:

Part 1-1: General rules and seismic action

Part 1-2: Rules for new buildings (Capitolo 13 + Allegato L: Legno, **41 + 5** pp.)

Revisione dell'intera norma

Aggiunto un nuovo Capitolo 10 e Allegato C sul legno (**26 + 3** pp.), precedentemente mancante

Introduzione: revisione degli Eurocodici

Versione attuale dell'EC8:

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges (assenza di capitoli sui ponti in legno)

Assenza di una norma sulle prove cicliche dei giunti (per il legno: esiste la norma EN12512, ma è molto vecchia!)

Nuova versione dell'EC8:

Revisione dell'intera norma

Aggiunto un nuovo Allegato C sui ponti in legno (5 pp.) precedentemente mancante

Nuova Norma Part 1-101: Technical Specifications on Characterisation and qualification of structural components for seismic applications by means of cyclic tests

E' stata aggiunta la Sezione 6.8 sui giunti in legno per aggiornare la norma EN12512 (3 pp.)

Anche la norma EN12512 è in fase di revisione a livello Europeo

Introduzione: revisione degli Eurocodici

Versione attuale dell'EC5: Design of timber structures:

EN 1995-1-1: General rules and rules for
buildings

EN 1995-1-2: Structural fire design

EN 1995-2: Bridges



Nuova versione dell'EC5:

Revisione delle intere norme

Nuove norme:

EN 1995-3: Esecuzione

CEN/TS 19103:2021 - Structural design of timber-concrete composite structures – Common rules and rules for buildings – Diventerà una nuova parte dell'Eurocodice 5: EN 1995-1-3

Concetti base di resistenza al sisma delle strutture in legno

13.2 Basi di Progettazione

13.2.1 Concetti progettuali

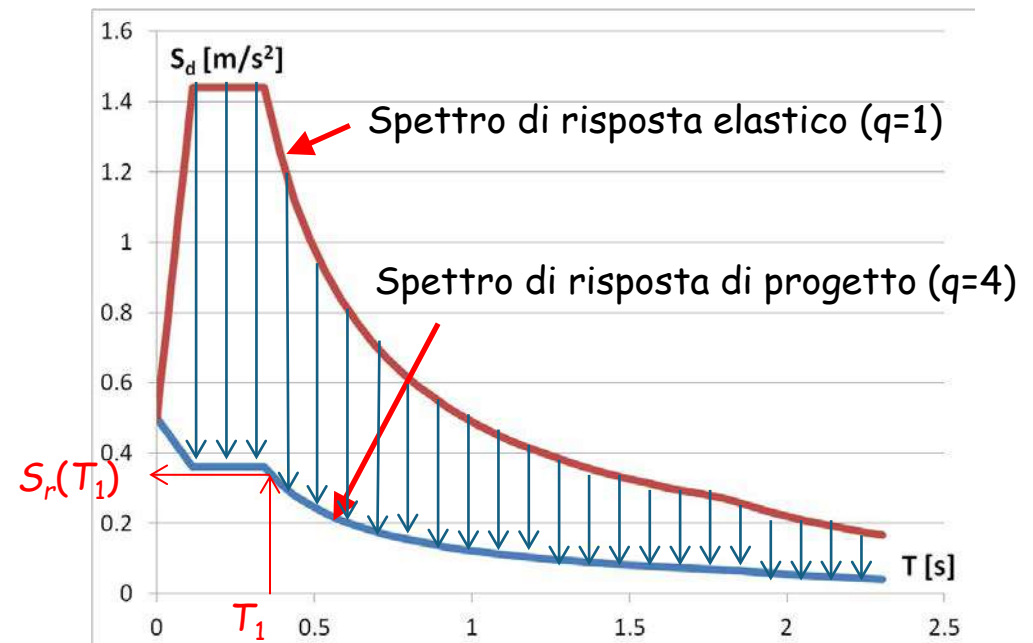
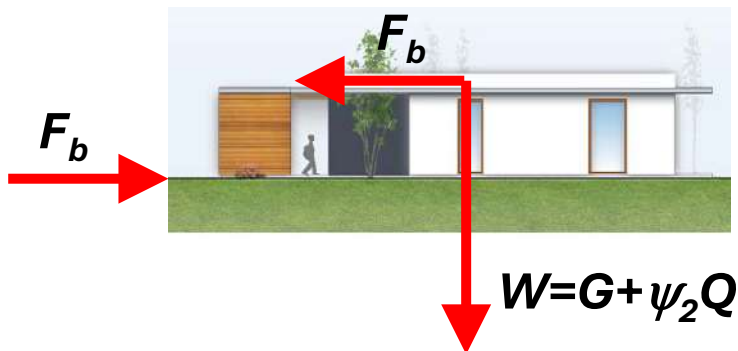
(1) Gli **edifici sismo-resistenti** devono essere **progettati** in accordo alla norma EN 1998-1-1:2024, 4.5.2(3), **secondo a) o b)**:

a) **comportamenti strutturale a bassa dissipazione**: Classe di Duttilità DC1 **$q=1,5$** **$S_{\delta} \leq S_{\delta, \max}$ (Tabella 13.2)**

b) **comportamento strutturale dissipativo**: Classi di Duttilità DC2 o DC3 **$q > 1,5$ (Tabella 13.2)** **$\forall S_{\delta}$**

q è il **fattore di struttura**: serve per calcolare l'azione sismica:

$$F_b = S_r(T_1) \lambda \frac{W}{g} \quad \text{con } S_r(T_1) = \frac{S_e(T_1)}{q} \quad \text{per } T_1 > T_B$$



Principali modifiche EC8 – Revisione dei sistemi strutturali

13.4.1 Sistemi strutturali

(1) Edifici con sistemi sismo-resistenti in legno devono essere classificati secondo le tipologie definite in Tabella 13.1.
NOTA I disegni di Tabella 13.1 rappresentano una parte della struttura. Si possono avere diversi numeri di piani e diverse piante strutturali.

Table 13.1 — Timber structural types and examples of structures

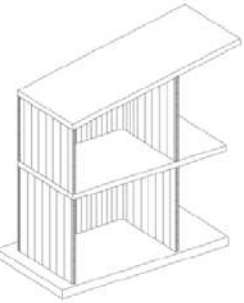
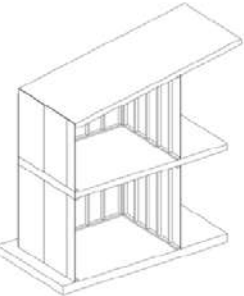
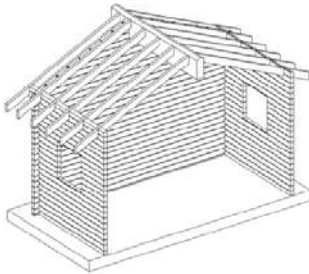
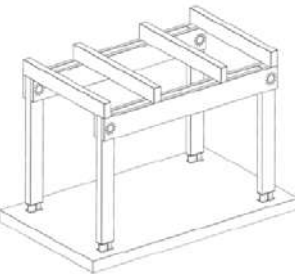
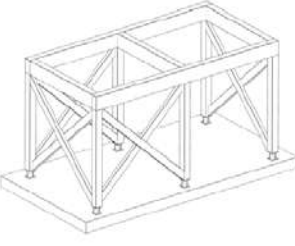
Examples of structural types	Timber structural types
	a) <u>Cross laminated timber (CLT) structures^a</u> CLT structures are those where the primary seismic structure (see 3.1.24) is composed of shear walls made of cross laminated timber panels. Glulam, LVL or GLVL may be used as an alternative to CLT only in DC1 and DC2 design and for a seismicity index $S_b \leq 4,0$ [m/s ²]. CLT structures should be designed according to 13.7.
	b) <u>Framed wall structures</u> Framed wall structures are those where the primary seismic structure is composed of shear walls made of timber frames to which a wood-based panel (e.g. plywood or OSB) or other type of sheathing material is connected. Framed wall structures should be designed according to 13.8. Framed wall structures can be classified as b1) or b2): b1) with fully anchored walls; b2) with non-fully anchored walls.
	c) <u>Log structures</u> Log structures are those where the primary seismic structure is composed by the superposition of rectangular or round solid or glulam timber elements ('logs'), prefabricated with carpentry connections at their ends and with upper and lower grooves. Log structures should be designed according to 13.9.

Table 13.1 — Timber structural types and examples of structures

Examples of structural types	Timber structural types
	d) <u>Moment-resisting frame structures</u> Moment-resisting frame structures are those where the primary seismic structure is composed of frames made of timber elements with semi-rigid (as defined in 3.1.33) moment-transmitting joints between the members, achieved with dowel-type connections. Moment-resisting frames structures should be designed according to 13.10.
	e) <u>Braced frame structures with dowel-type connections</u> Braced frame structures with dowel-type connections are those consisting of timber columns and beams, where the primary seismic structure is composed of timber diagonal bracings, with all pin-jointed dowel-type connections. Braced frame structures with dowel-type connections should be designed according to 13.11.
	f) <u>Vertical cantilever structures^a</u> Vertical cantilever structures are those where the primary seismic structure is composed of vertically continuous cantilever glulam, LVL, GLVL or CLT walls or columns without any horizontal joints (wall on the left on the figure). Vertical cantilever structures should be designed according to 13.12.
^a CLT structures can belong to category a) if the height of shear walls is equal to one interstorey height (platform frame construction – see 3.1.21); they belong to category f) if the height of shear walls is greater (balloon frame construction – see 3.1.2).	

$k_{deg}=0,8$ in assenza di risultati sperimentali

Principali modifiche EC8 – Nuovo formato delle verifiche allo SLV

(2) Il valore di progetto delle resistenze delle componenti non dissipative in classe di duttilità DC2 e DC3 e di tutte le componenti in classe di duttilità **DC1** devono essere calcolate utilizzando la Formula (13.2).

$$F_{Rd,nd} = k_{mod} \frac{F_{Rk,nd}}{\gamma_M} \quad (13.2)$$

dove:

$F_{Rd,nd}$ è il valore di progetto della resistenza delle componenti non dissipative;

$F_{Rk,nd}$ è il valore caratteristico della resistenza delle componenti non dissipative, secondo la norma EN1995-1-1:2024, paragrafi 8, 11 e 12;

k_{mod} è il fattore di modificazione della resistenza per la durata del carico e per l'umidità secondo la norma EN1995-1-1:2024, 5.2.1, Tabella 5.4;

γ_M è il fattore parziale sulle resistenze secondo la norma EN1995-1-1:2024, 4.5.2, Tabelle 4.3, 4.4 e 4.5.

NOTE I valori del coefficiente γ_M sono:

- Per progetto in DC1, quelli dati dalla norma EN1995-1-1:2024, 4.5.2, Tabelle 4.3 e 4.4, per le combinazioni persistenti e transitorie (fondamentali) (>1), a meno che gli Allegati Nazionali forniscano valori diversi;
- Per progetto in DC2 e DC3, quelli dati dalla norma EN1995-1-1:2024, 4.5.2, Tabella 4.5, per le combinazioni eccezionali ($=1$), a meno che gli Allegati Nazionali forniscano valori diversi.

Principali modifiche EC8 – Nuova definizione e aggiornamento dei fattori di comportamento q

$$q = q_s \cdot q_R \cdot q_D = \frac{V_1}{V_d} \cdot \frac{V_{SD}}{V_1} \cdot \frac{V_E}{V_{SD}}$$

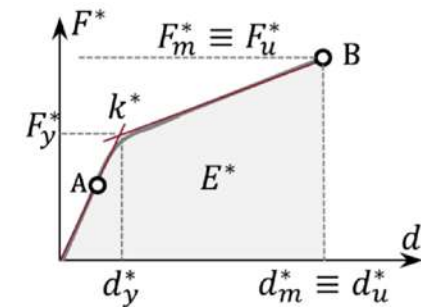
(1)
(2)

- (1) q_s : Over-strength component introduced in the design phase (1.5 material independent)
- (1) q_R : Over-strength component due to the redistribution of seismic action in redundant structures
- (1) q_D : Deformation capacity and energy dissipation component
- (2) V_d : Design base-shear
- (2) V_1 : First plasticization base-shear
- (2) V_{SD} : Significant Damage base-shear
- (2) V_E : Elastic response base-shear

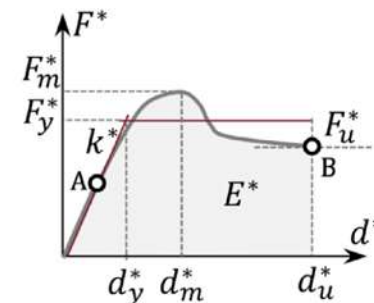
Key

A first yield

B ultimate displacement



(a)



(b)

Principali modifiche EC8 – Nuova definizione e aggiornamento dei fattori di comportamento q

Table 13.2 — Default values of the behaviour factors q for buildings regular in elevation and maximum seismic action index S_8 for design in DC1

Structural type		Maximum S_8 for design in DC1 [m/s ²]	Ductility class						
			DC1	DC2			DC3		
			q	q_D	q_R	q	q_D	q_R	q
a)	Cross laminated timber (CLT) structures, any height H	4,0	1,5	1,2	1,3	2,3	1,4	1,5	3,2
b1)	Framed wall structures, any height H With fully anchored walls	5,0	1,5	1,5	1,1	2,5	2,4	1,1	4,0
b2)	Framed wall structures, any height H With non-fully anchored walls	3,0	1,5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
c)	Log structures $H \leq 9,0$ m	4,0	1,5	1,2	1,1	2,0	N/A	N/A	N/A
d)	Log structures $H > 9,0$ m	4,0	1,5	1,0	1,1	1,65	N/A	N/A	N/A
d1)	Moment-resisting frames, any height H Single storey	4,0	1,5	1,3	1,1	2,1	2,0	1,1	3,3
d2)	Moment-resisting frames any height H Multi-storey, one-bay	4,0	1,5	1,3	1,2	2,3	2,0	1,2	3,6
d3)	Moment-resisting frames any height H Multi-storey, multi-bay	4,0	1,5	1,3	1,3	2,5	2,0	1,3	3,9
e)	Braced frame structures with dowel-type connections $H \leq 20$ m	4,0	1,5	1,3	1,0	2,0	N/A	N/A	N/A

Table 13.2 — Default values of the behaviour factors q for buildings regular in elevation and maximum seismic action index S_8 for design in DC1

[illegible]

Principali modifiche EC8 – Regole di duttilità per le zone dissipative

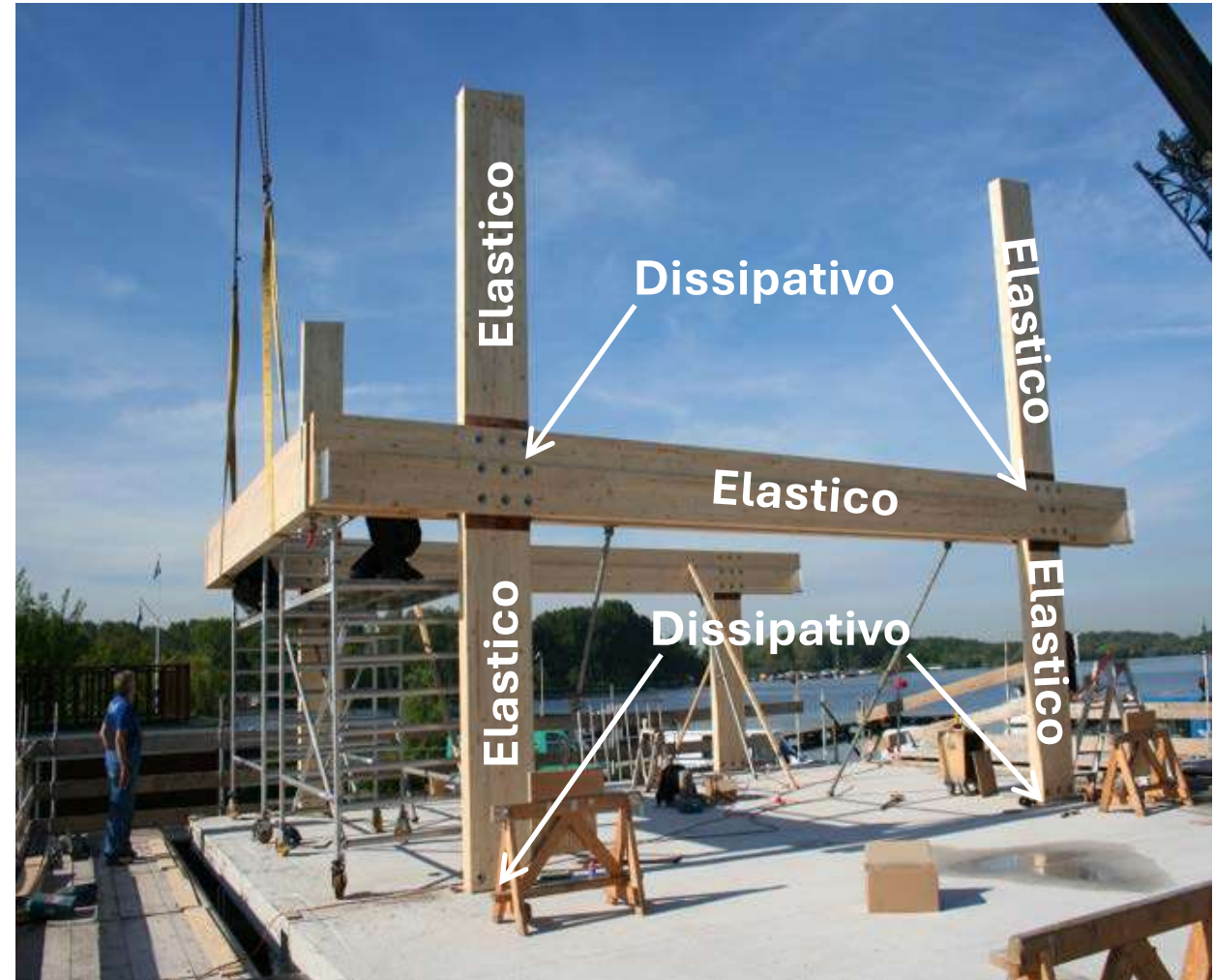
13.2 Basi di progettazione

13.2.1 Concetti progettuali

(6) In edifici progettati in DC2 o DC3, **le zone dissipative devono essere ubicate in a) o in b):**

- a) **giunti e connessioni;**
- b) **specifici sistemi di dissipazione energetica.**

(8) La dissipazione energetica in giunti e connessioni deve avvenire per snervamento a flessione di connettori metallici a spinotto o barre di acciaio incollate caricate lateralmente, mentre **gli elementi in legno devono rimanere in campo elastico.**

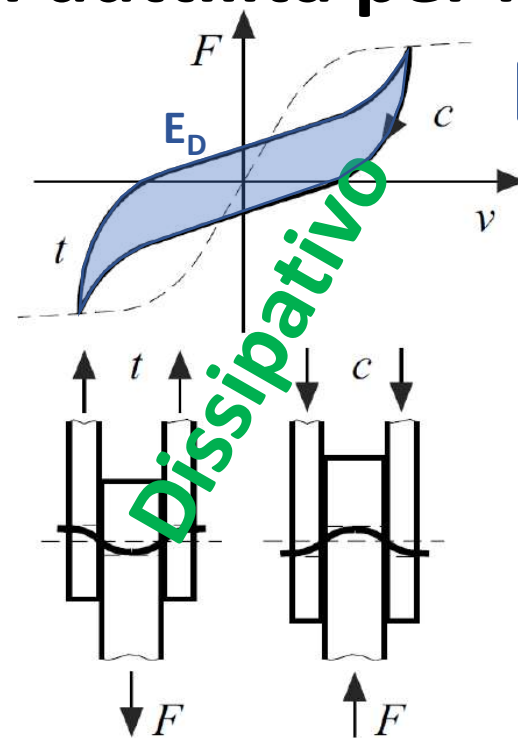


Principali modifiche EC8 – Regole di duttilità per le zone dissipative

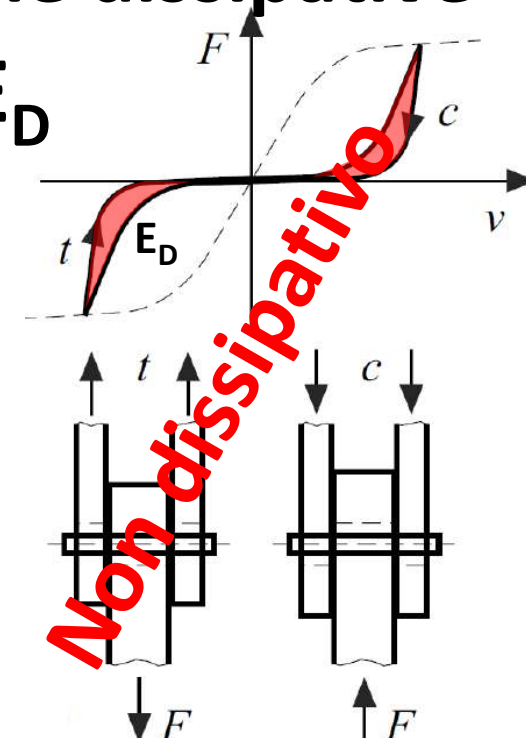
13.2 Basi di progettazione

13.2.1 Concetti progettuali

(8) La **dissipazione energetica in giunti e connessioni deve avvenire per snervamento a flessione di connettori metallici a spinotto** o barre di acciaio incollate caricate lateralmente, mentre gli elementi in legno devono rimanere in campo elastico.



Meccanismo dissipativo: plasticizzazione a flessione degli elementi metallici a gambo cilindrico, e rifollamento del legno a contatto con gli elementi metallici

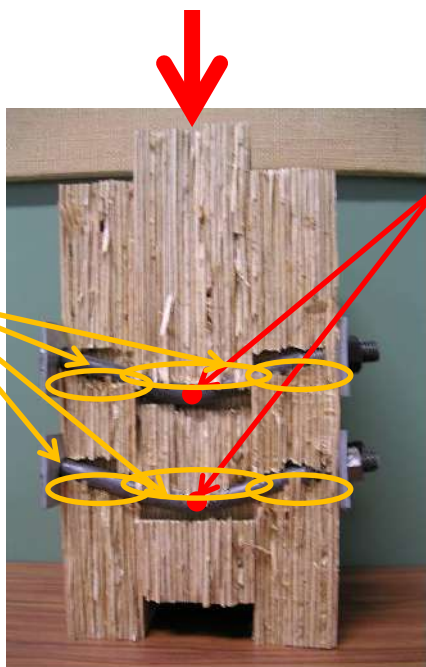


Meccanismo non dissipativo: rifollamento del legno a contatto con gli elementi metallici a gambo cilindrico, con questi ultimi in campo elastico

Formazione di una cerniera plastica a flessione nel connettore metallico

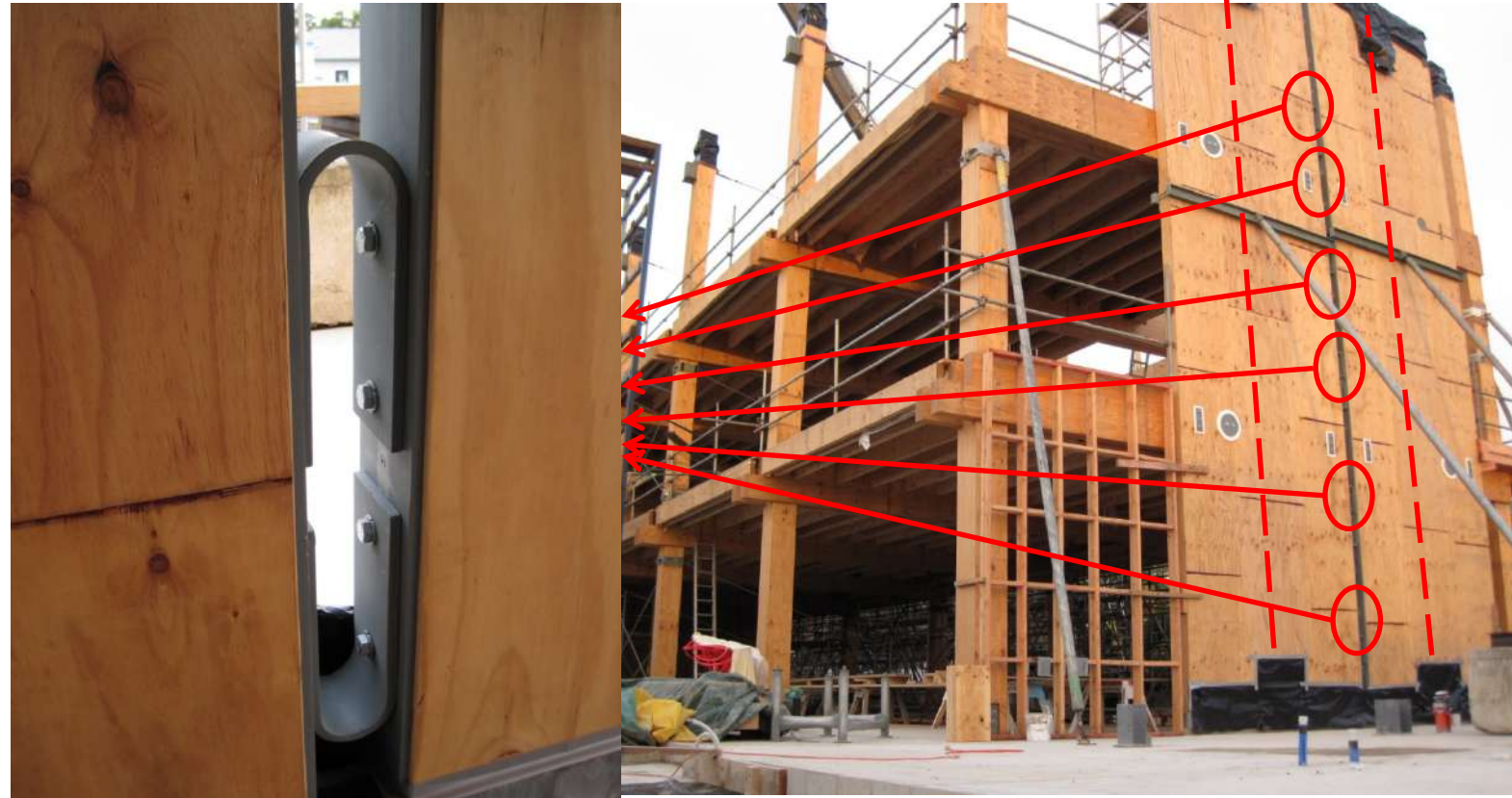
(7) **Edifici nei quali tutti i giunti e le connessioni sono realizzati con elementi a gambo cilindrico** caricati assialmente e/o barre incollate caricate assialmente **devono essere progettati in DC1**, in quanto non sono in grado di dissipare energia.

Schiacciamento del legno parallelamente alla fibratura all'interfaccia con il connettore metallico (rifollamento del legno)



Principali modifiche EC8 – Regole di duttilità per le zone dissipative

(10) Se le zone dissipative sono ubicate in dissipatori energetici specificamente progettati, sia le membrature in legno che i giunti devono essere **considerati a comportamento elastico** e devono essere **progettati in capacità** secondo la norma EN 1998-1-1:2024, 4.5.2(2), in relazione alla resistenza del dissipatore energentico. Questi devono soddisfare la norma EN 1998-1-1:2024, 6.8, e il paragrafo 9 e l'Allegato D della norma prEN1998-1-2, ma non il paragrafo 13.4.



Principali modifiche EC8 – Regole di duttilità per le zone dissipative

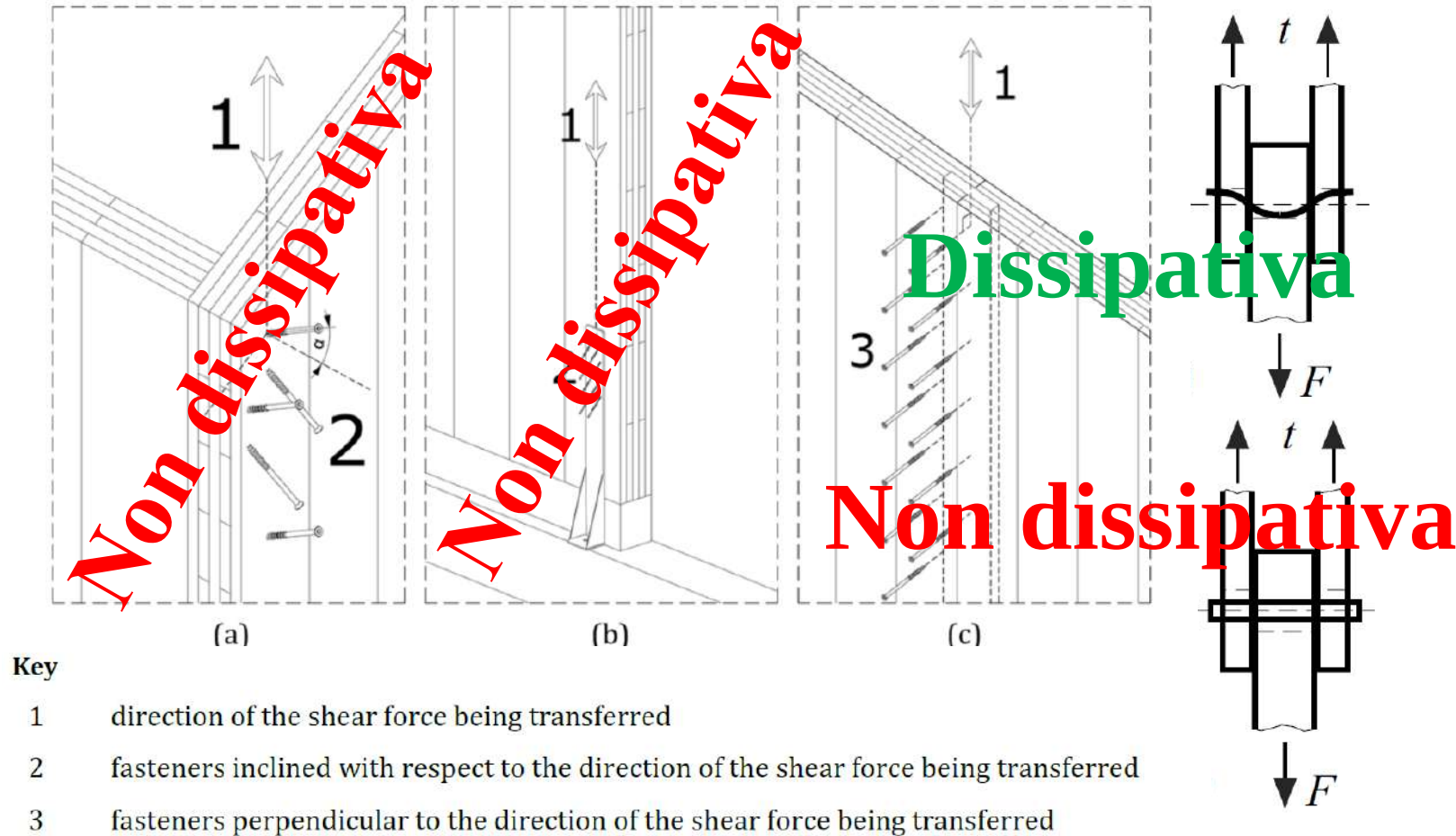
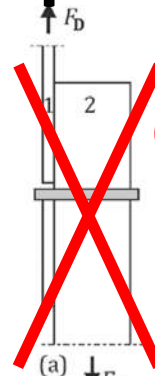
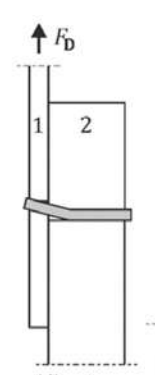


Figure 13.1 — Examples of non-dissipative and dissipative connections: (a) and (b) connection with fasteners inserted inclined with respect to the direction of the shear force, transferring most of the load via axial resistance, which should not be considered as dissipative; (c) connection with fasteners inserted perpendicular to the direction of the shear force, transferring most of the action effect via shear resistance, which may be considered dissipative

Principali modifiche EC8 – Regole di duttilità per le zone dissipative



(DC1)



DC2



DC2

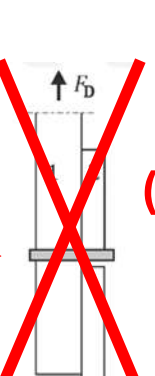
$$1, 2 \cdot \min(F_{D,k,(d)}; F_{D,k,(e)}; F_{D,k,(f)}) \leq \min(F_{D,k,(a)}; F_{D,k,(b)}; F_{D,k,(c)})$$

$$F_{D,k} = \min \left\{ \begin{aligned} & \frac{f_{h,1,k} t_{h1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_{h2}}{t_{h1}} + \left(\frac{t_{h2}}{t_{h1}} \right)^2} \right] + \beta^3 \left(\frac{t_{h2}}{t_{h1}} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_{h2}}{t_{h1}} \right) \right] \\ & 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_{h1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_{h1}^2}} - \beta \right] \\ & 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_{h2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_{h2}^2}} - \beta \right] \\ & 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,k} f_{h,1,k} d} \end{aligned} \right.$$

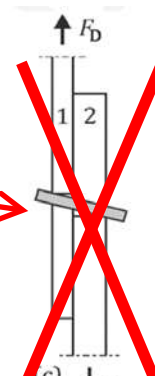
with $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$

where

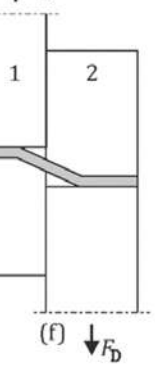
$f_{h,1}, f_{h,2,k}$ are the characteristic embedment strengths of members 1 and 2, given in T;
 t_{h1}, t_{h2} are the embedment depths of members 1 and 2, see Figures 11.6 and 11.7;
 $M_{y,k}$ is the characteristic yield moment given in Table 11.7;
 d is the diameter of the fastener.



(DC1)



(DC1)



DC3

mode (a)

mode (b)

mode (c)

mode (d)

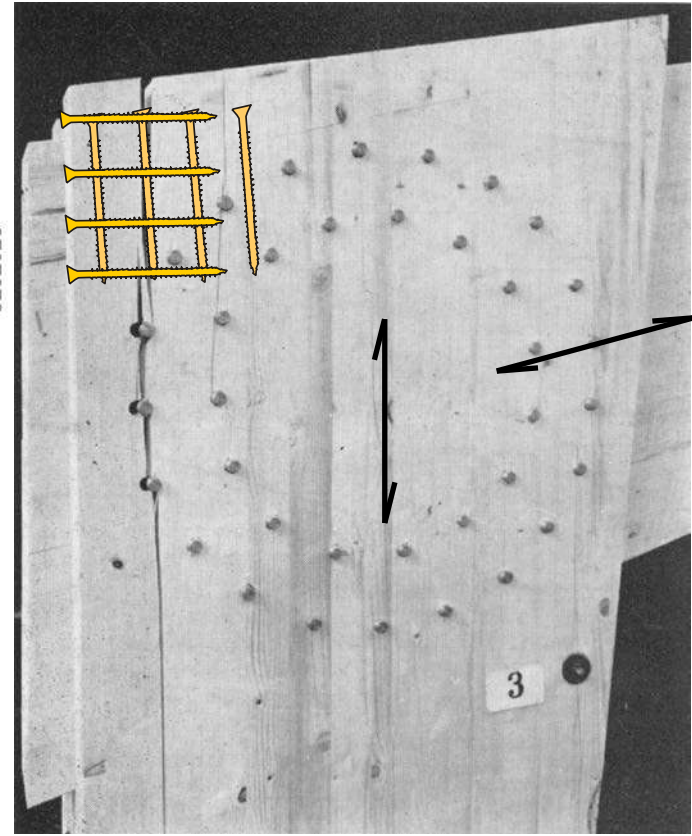
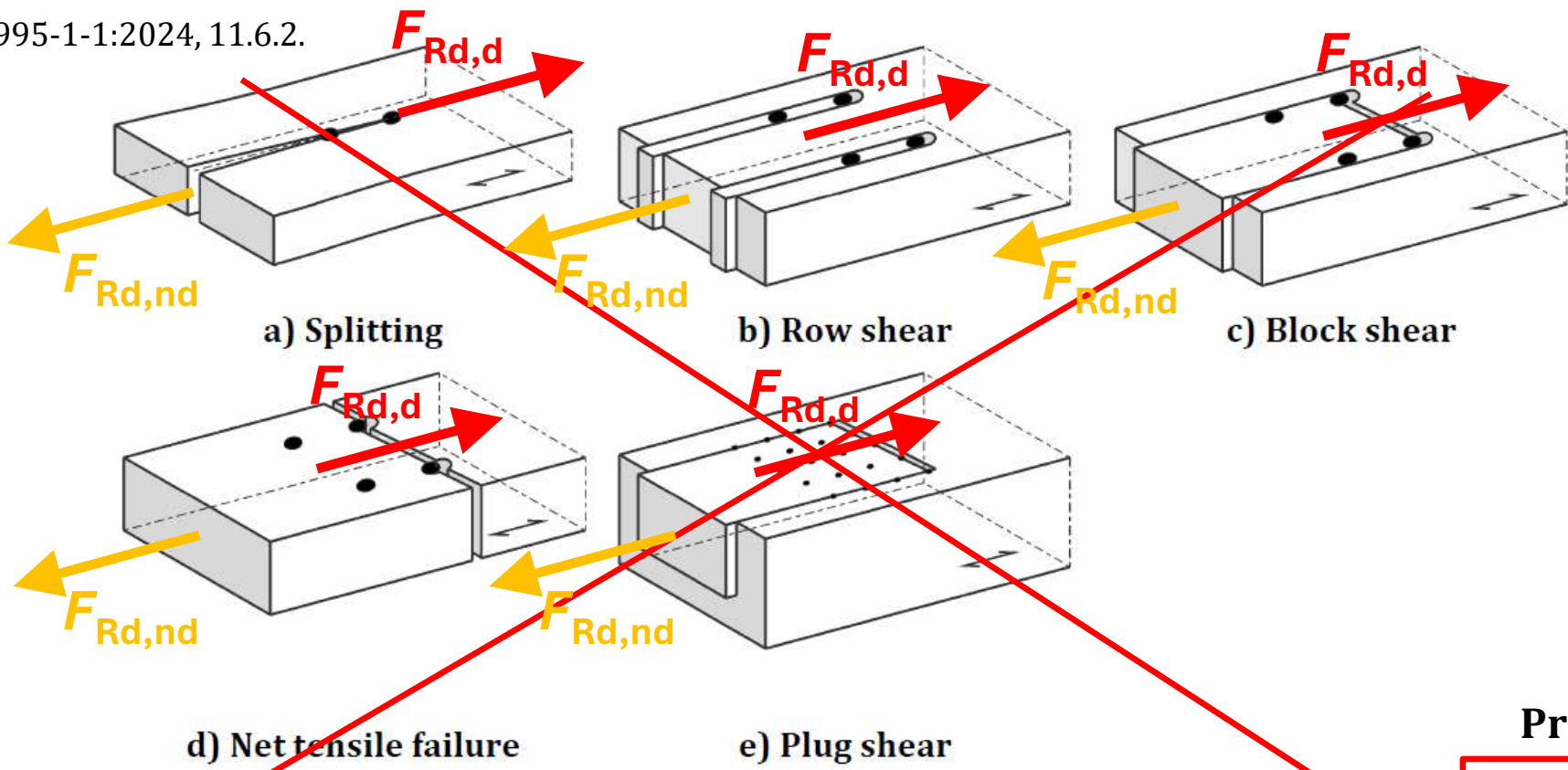
mode (e)

mode (f)

Principali modifiche EC8 – Regole di duttilità per le zone dissipative

(4) **Modi di rottura fragili** come spacco longitudinale, taglio lungo una riga, rottura a taglio di un blocco, rottura a taglio con espulsione di un tassello, e strappo del legno a trazione parallela alla fibratura, come definiti nella EN 1995-1-1:2024, 11.5, **devono essere evitati nella zone dissipative** soddisfacendo la **Formula (13.4)**.

NOTA Per evitare queste rotture di tipo fragile si possono rinforzare le zone dissipative come indicato nella EN1995-1-1:2024, 11.6.2.



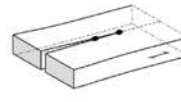
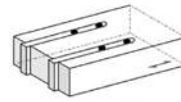
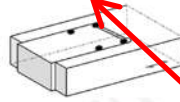
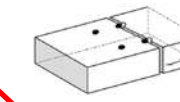
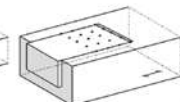
Progettazione in capacità:

$$\frac{\gamma_{Rd}}{k_{deg}} F_{Rd,d} \leq F_{Rd,nd} \quad (13.4)$$

Figure 11.22 — Examples of brittle failure modes

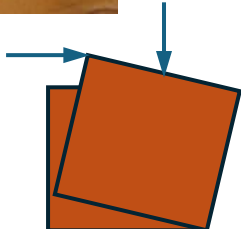
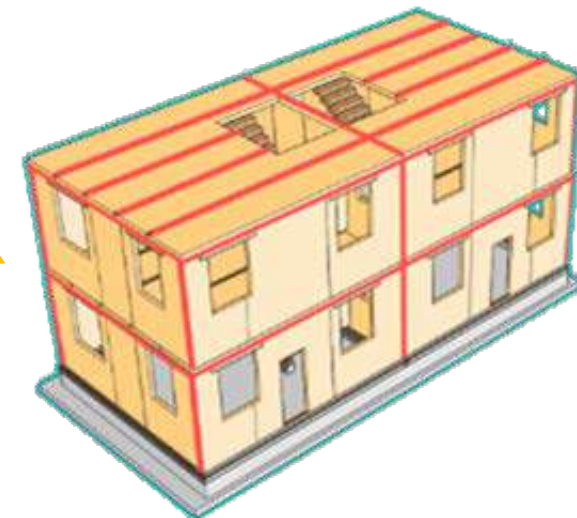
Principali modifiche EC8 – Progettaz. in capacità e sovraresistenza

Table 13.4 — Values of the overstrength factors γ_{Rd} to be used in capacity design

     a) Splitting b) Row shear c) Block shear d) Net tensile failure e) Plug shear	Overstrength factor γ_{Rd}	Formula No.	
		Connection level	Wall and building level
Failure modes of timber	1,6 ^b	(13.4)	Refer to the relevant structural type sections (from 13.7 to 13.14)
Failure of metal plates ^a in steel-to-timber or steel-to-foundation connections	1,6 ^b	(13.4)	
Failure of anchor bolts connecting metal plates ^a to the foundation or of anchor bolts connecting two separate metal plates ^a	1,6 ^b	(13.4)	
Failure of axially loaded timber-to-timber or timber-to-steel connections including axially-loaded bonded-in rods	1,6 ^b	(13.4)	
Failure of laterally loaded timber-to-timber or timber-to-steel dowel-type connections	1,3	(13.4)	
Stabilising moment due to gravity loads in log shear walls	1,3	-	(13.19)

^a 2D, 3D plates, connectors or any other equivalent element.

^b For high ductility moment-resisting frames with expanded tube fasteners and Densified Laminated Wood (according to 13.10.3(2)) and log structures, the value of γ_{Rd} may be reduced to 1,3.



Principali modifiche EC8 – Progettaz. in capacità e sovraresistenza

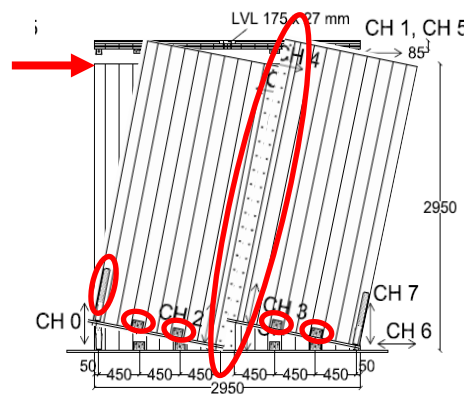
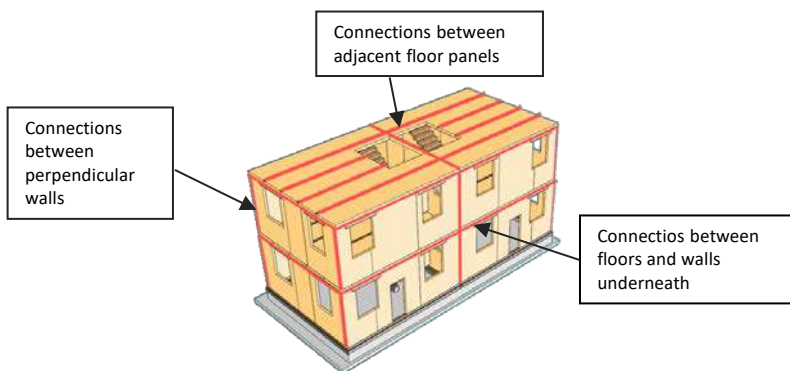
PER CIASCUN SISTEMA STRUTTURALE SISMO-RESISTENTE:

REGOLE GENERALI

Descrizione generale dei componenti strutturali (pareti, solai) e dei sistemi di connessione generalmente utilizzati

REGOLE DI PROGETTAZIONE IN CAPACITA' PER LE CLASSI DI DUTTILITA' DC2 E DC3

REGOLE DI PROGETTAZIONE IN CAPACITA' A LIVELLO DI EDIFICIO E DI PARETE



REGOLE DI PROGETTAZIONE IN CAPACITA' A LIVELLO DI CONNESSIONE E DI PIASTRE CHIODATE 2D E 3D



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

Quali sono le zone dissipative in un edificio a pannelli in compensato di tavole?

Prova su tavola vibrante eseguita a Tsukuba in Giappone su un edificio di tre piani (cortesia del Prof. Ceccotti – copyright CNR IVALSa):

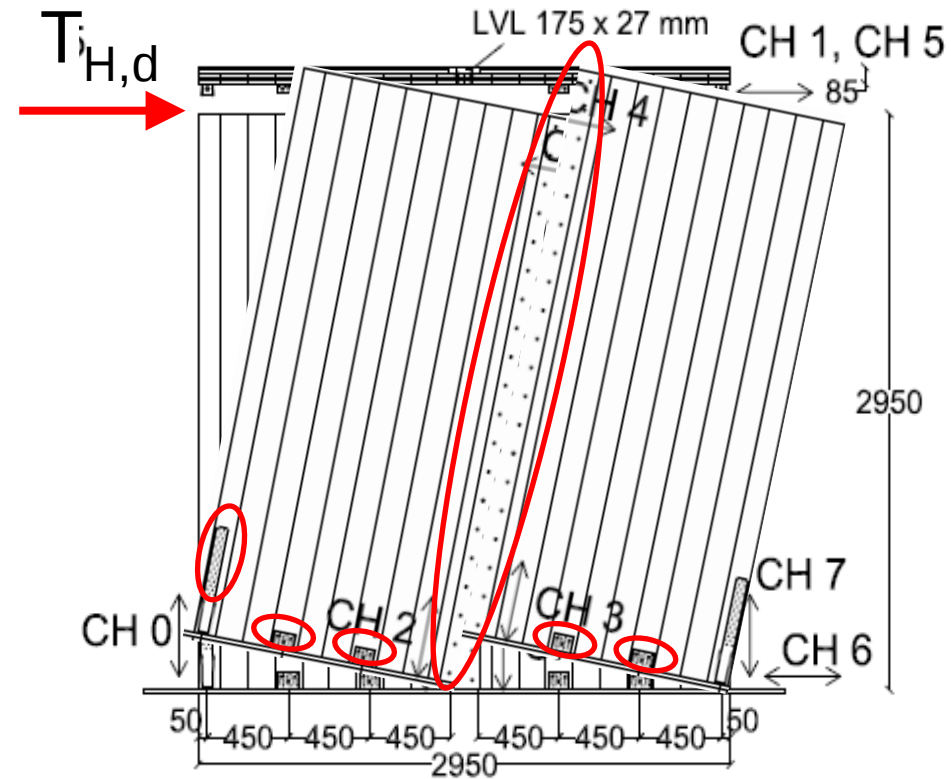
**Meccanismo dissipativo:
dondolio delle pareti in Xlam**



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

Per consentire il dondolio delle pareti in Xlam, è necessaria la plasticizzazione delle seguenti connessioni:

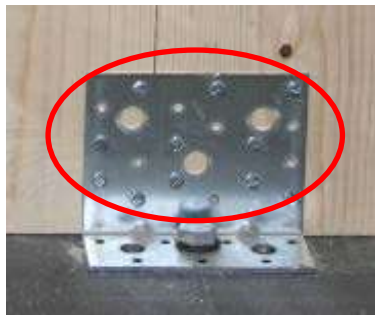
- Connessioni a vite tra pareti adiacenti
- Connessioni a chiodo tra piastre metalliche (hold-downs, angolari) e pareti lignee



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

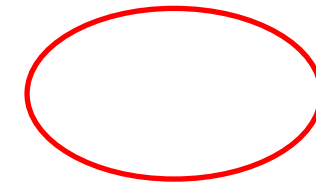


Angolari con 10
chiodi $\phi 4 \times 60$ mm



Strisce di microlamellare (LVL) con viti
autoperforanti $\phi 8 \times 80$ mm usate per
collegare pareti complanari adiacenti

Hold-down con 12 chiodi $\phi 4 \times 60$ mm

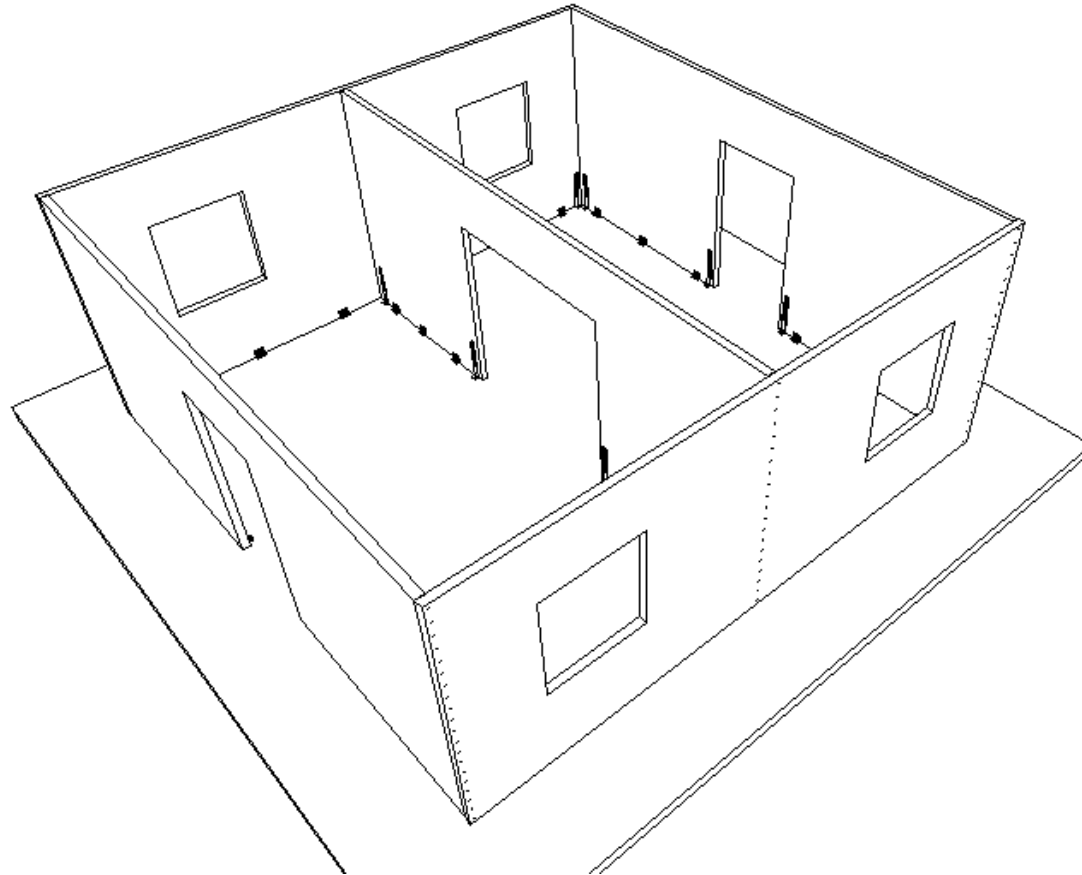


Connessioni
dissipative

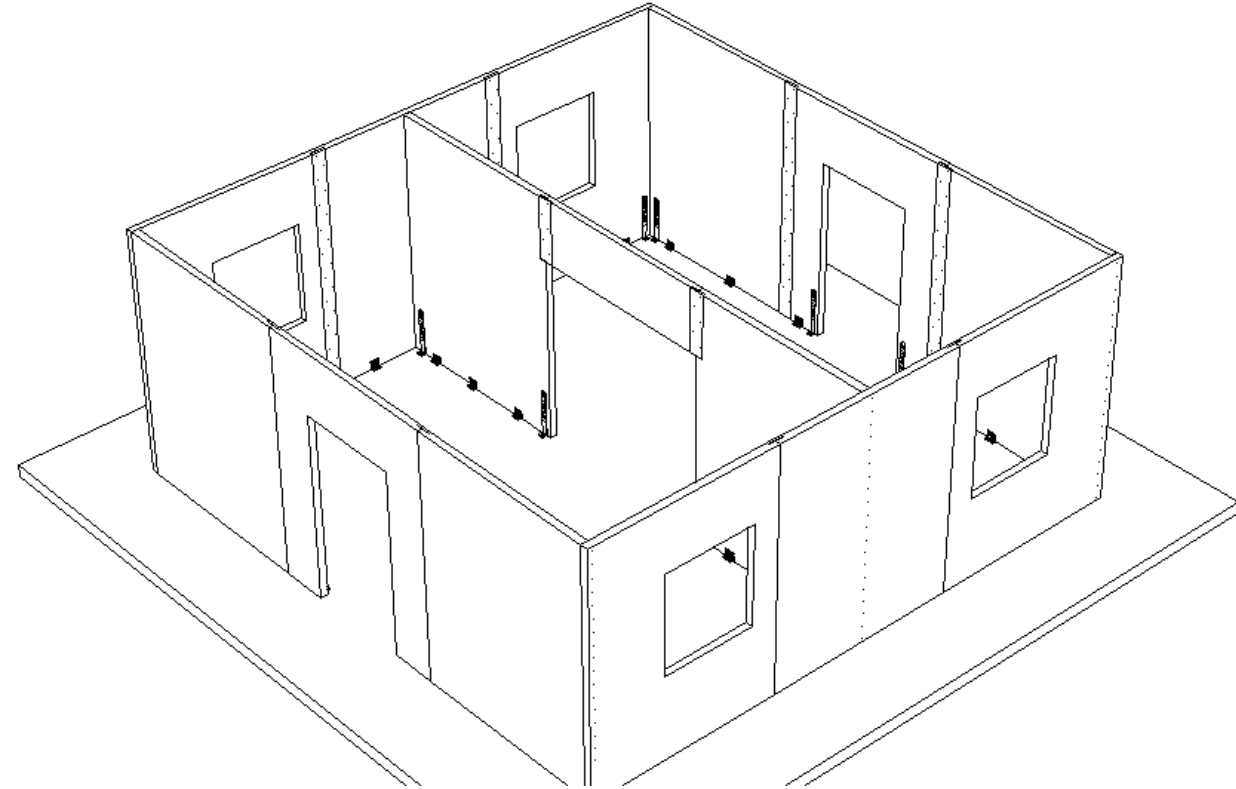


Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

DC2 - $q=2,3$



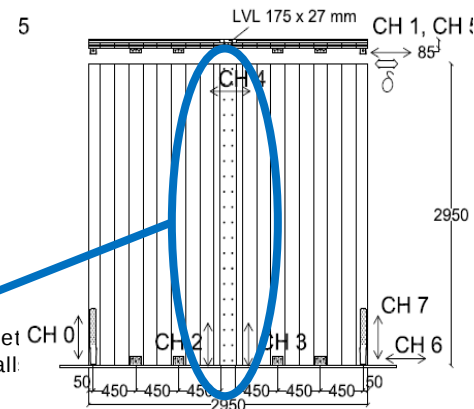
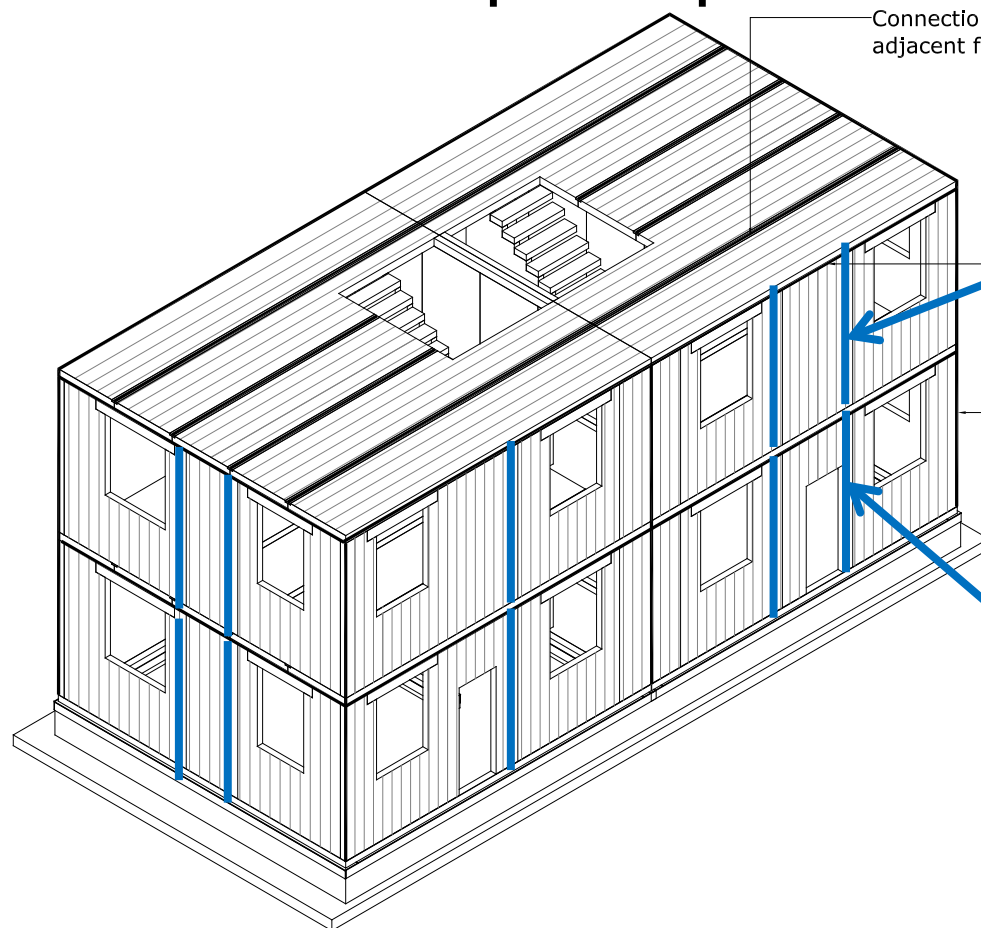
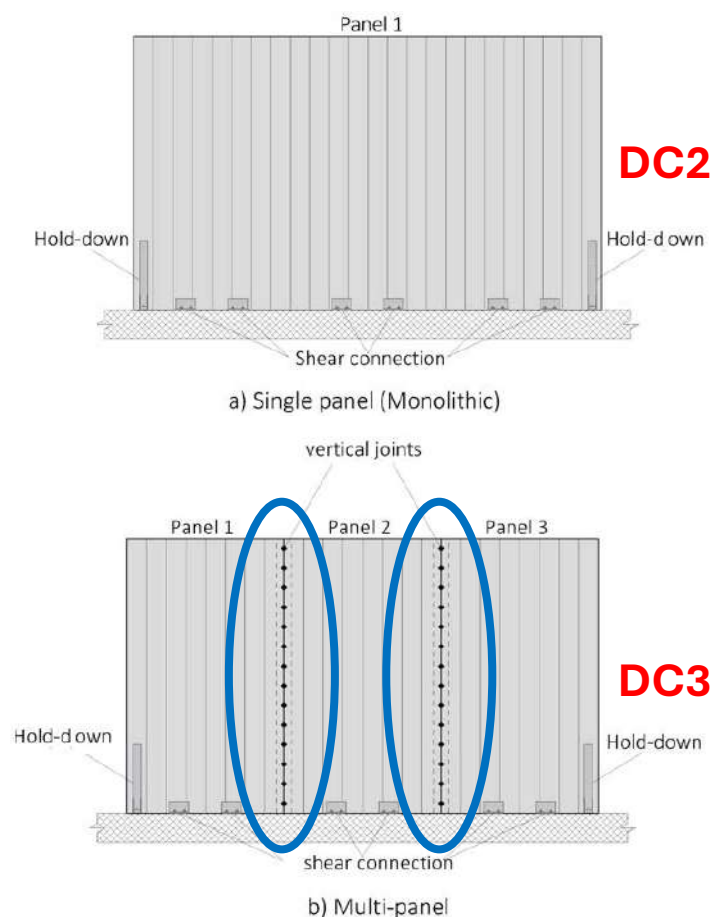
DC3 - $q=3,2$



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

(5) I **panelli parete** devono **estendersi da un piano, fondazione inclusa, al successivo**. Lungo la loro larghezza, devono essere costituiti o da un **pannello singolo** ('parete monolitica', Figura 13.3(a)) o da **più di un pannello**, che deve possedere una larghezza di almeno $0,25h_s$ dove h_s è l'altezza di interpiano. Ciascuno di questi pannelli deve essere collegato agli altri pannelli complanari per mezzo di giunti con viti o chiodi verticali ('parete segmentata', Figura 13.3(b)).

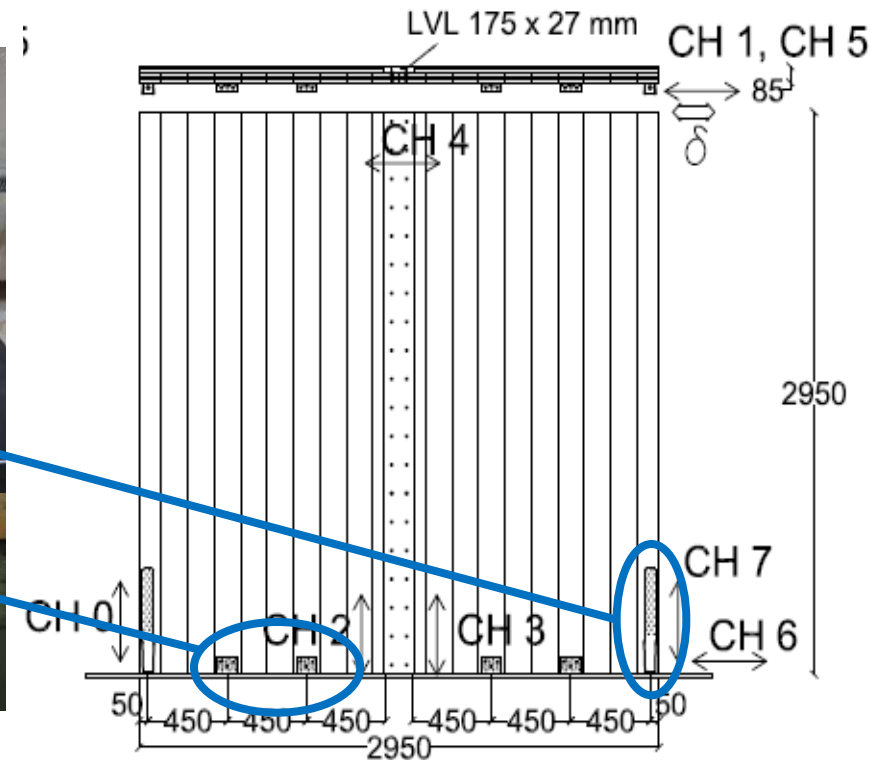
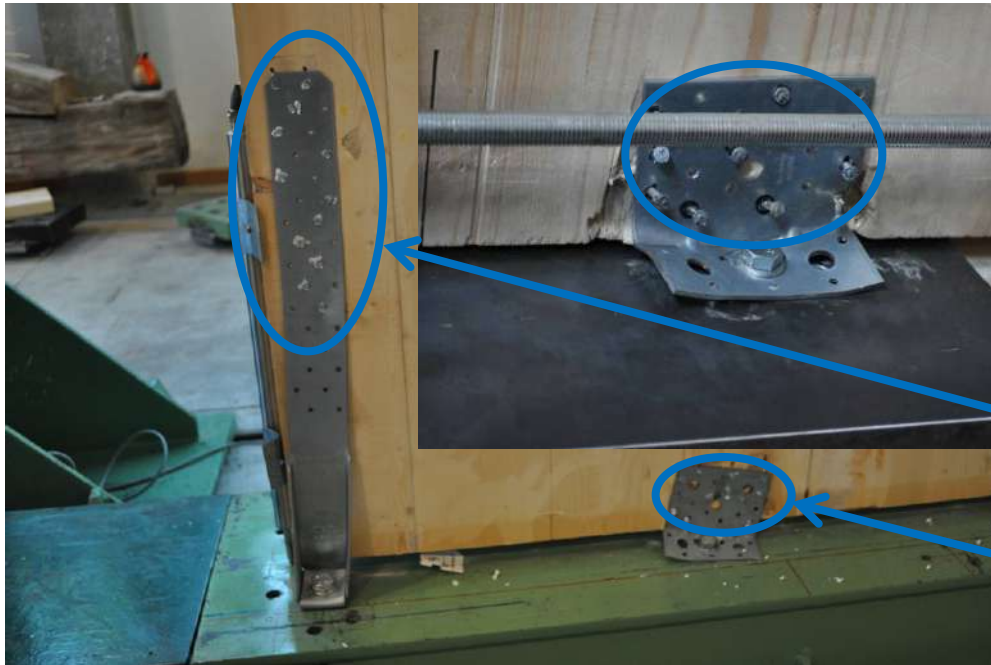
Connessioni dissipative in DC3: i giunti a vite verticali tra pannelli parete adiacenti



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

Zone dissipative (DC2 e DC3):

- Giunti chiodati tra angolari (connessioni a taglio) e pannello parete;
- Giunti chiodati tra hold-down (connessioni a trazione) e pannello parete.



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

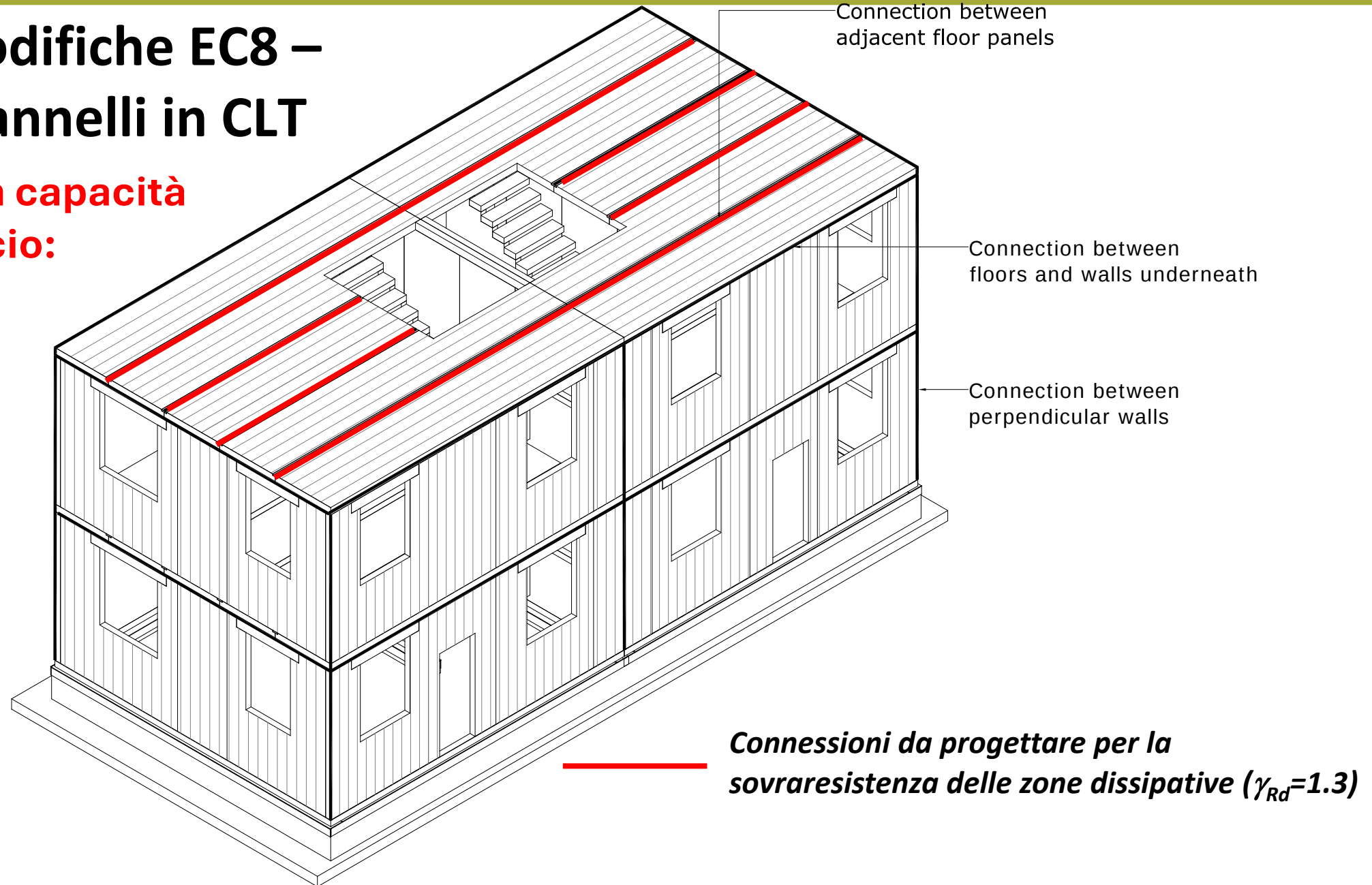
Progettazione in capacità a livello di edificio:

Al fine di assicurare la plasticizzazione a flessione dei giunti dissipativi, **tutti gli altri elementi strutturali e le connessioni non dissipative saranno progettati con sufficiente sovreresistenza** al fine di prevenire rotture di tipo fragile. Tale prescrizione si applica in particolare ai:

- **Giunti tra pannelli solaio in CLT adiacenti** al fine di limitare il più possibile lo scorrimento relative tra di essi e assicurare un comportamento a diaframma rigido nel piano;

Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

**Progettazione in capacità
a livello di edificio:**



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

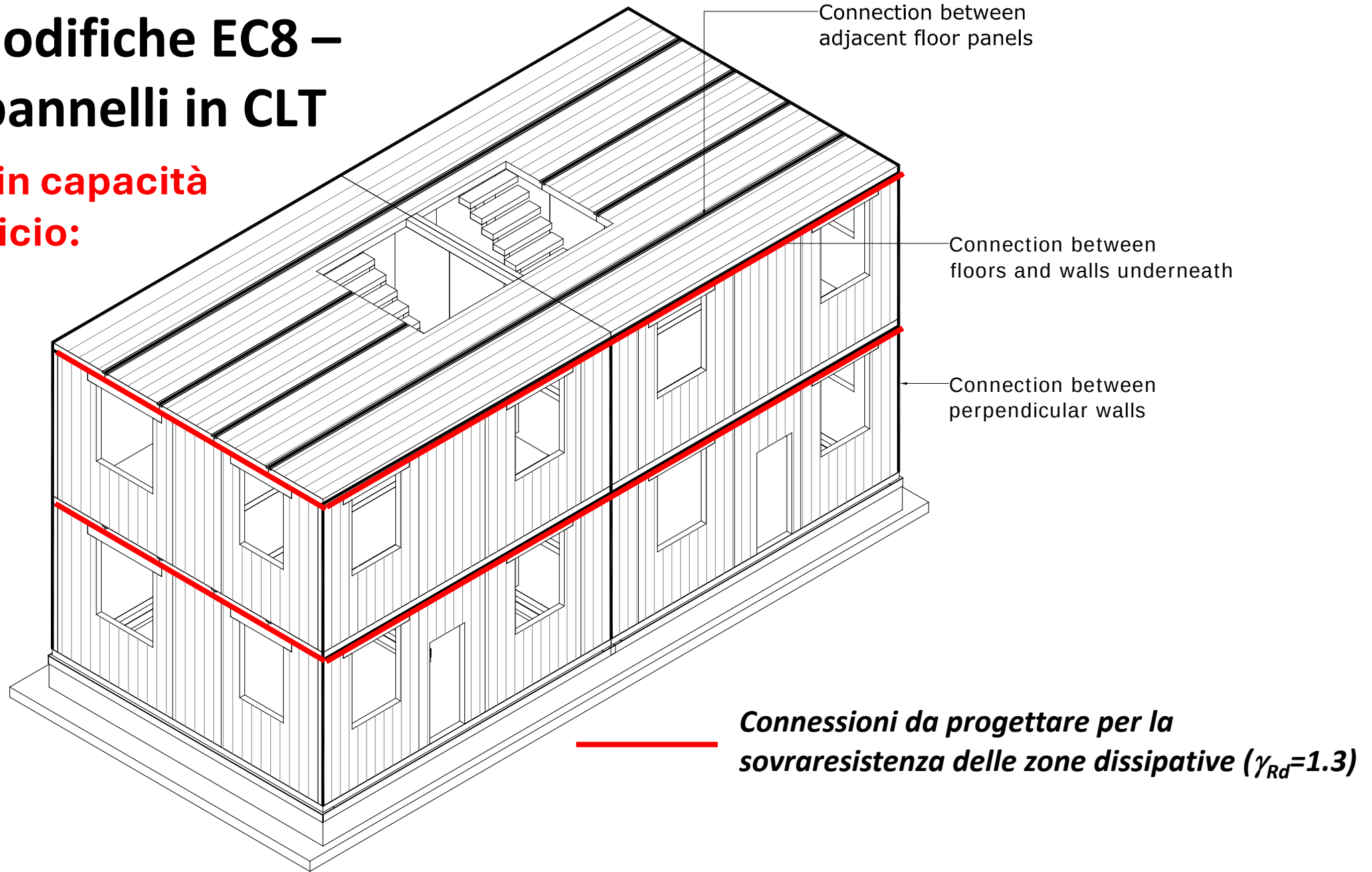
Progettazione in capacità a livello di edificio:

Al fine di assicurare la plasticizzazione a flessione dei giunti dissipativi, **tutti gli altri elementi strutturali e le connessioni non dissipative saranno progettati con sufficiente sovrarresistenza** al fine di prevenire rotture di tipo fragile. Tale prescrizione si applica in particolare ai:

- **Giunti tra pannelli solaio in CLT adiacenti** al fine di limitare il più possibile lo scorrimento relative tra di essi e assicurare un comportamento a diaframma rigido nel piano;
- **Giunti tra solai e pareti inferiori** assicurando che a ciascun livello vi sia un solaio a diaframma rigido nel piano al quale le pareti sono rigidamente connesse;

Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

**Progettazione in capacità
a livello di edificio:**



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

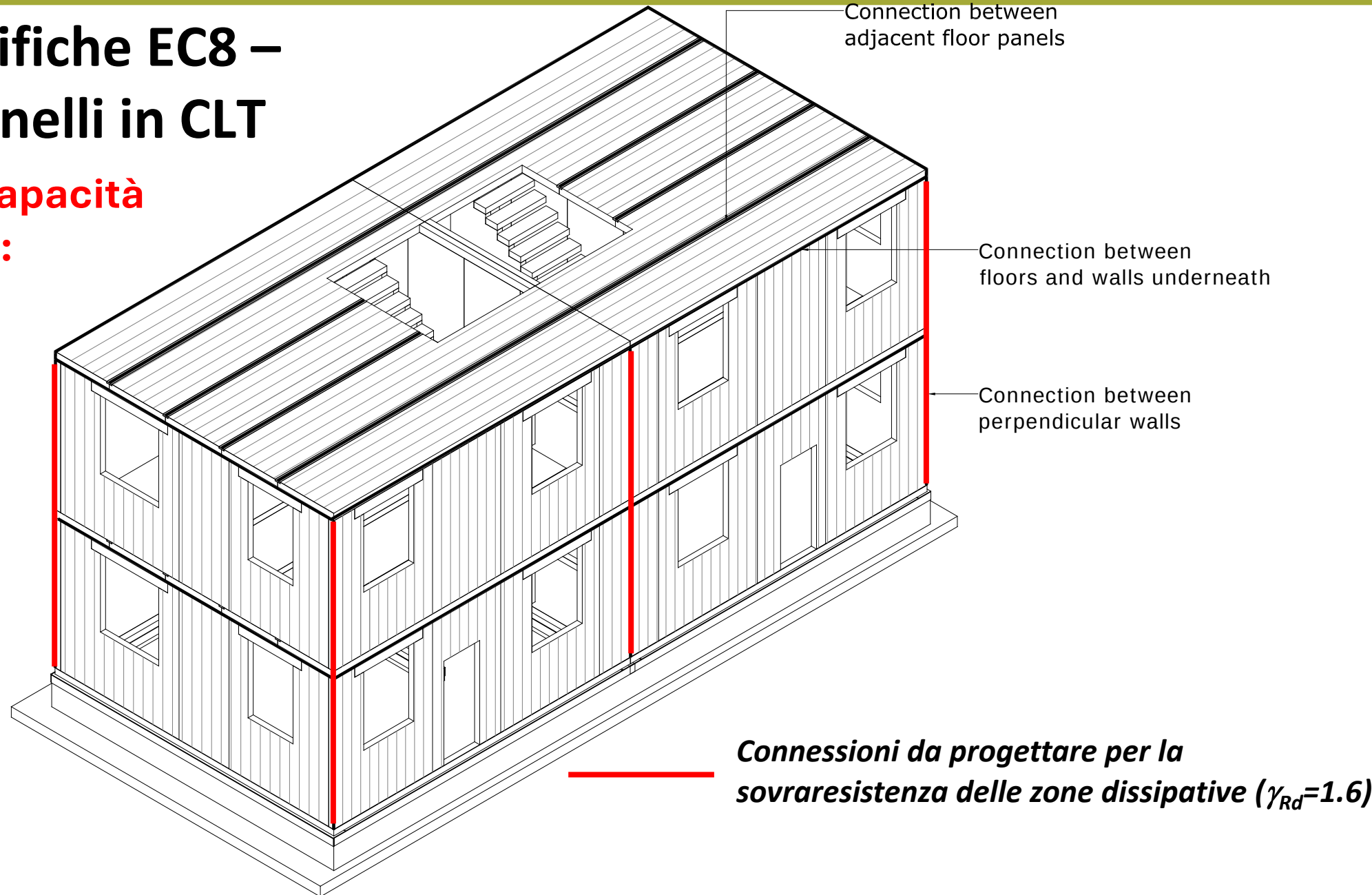
Progettazione in capacità a livello di edificio:

Al fine di assicurare la plasticizzazione a flessione dei giunti dissipativi, **tutti gli altri elementi strutturali e le connessioni non dissipative saranno progettati con sufficiente sovreresistenza** al fine di prevenire rotture di tipo fragile. Tale prescrizione si applica in particolare ai:

- **Giunti tra pannelli solaio in CLT adiacenti** al fine di limitare il più possibile lo scorrimento relativo tra di essi e assicurare un comportamento a diaframma rigido nel piano;
- **Giunti tra solai e pareti inferiori** assicurando che a ciascun livello vi sia un solaio a diaframma rigido nel piano al quale le pareti sono rigidamente connesse;
- **Giunti tra pareti ortogonali**, particolarmente agli angoli dell'edificio, al fine di assicurare la stabilità delle pareti stesse e il comportamento scatolare dell'edificio;

Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

**Progettazione in capacità
a livello di edificio:**



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

Progettazione in capacità a livello di edificio e di piastre di connessione 2D e 3D:

La sovraresistenza deve essere applicata anche a:

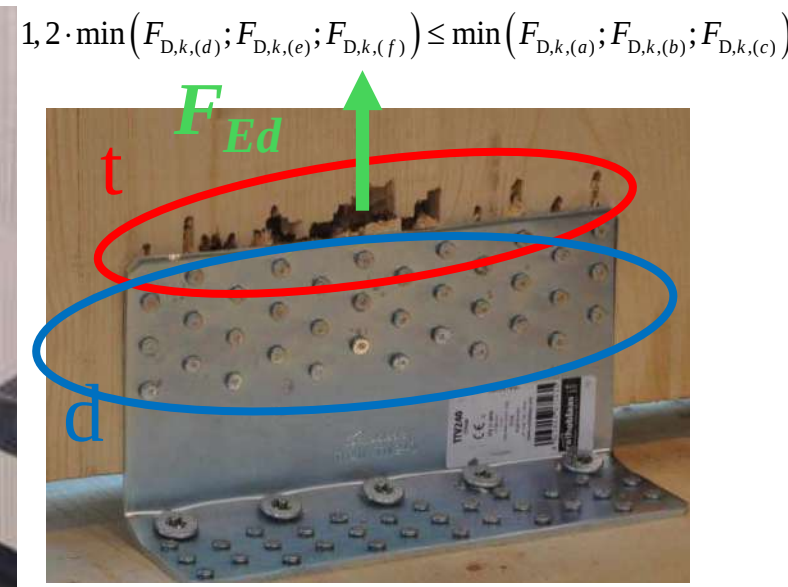
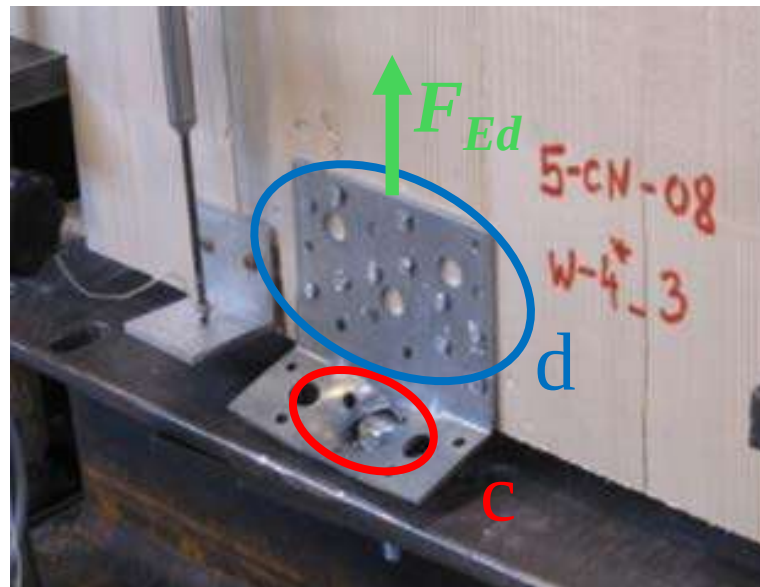
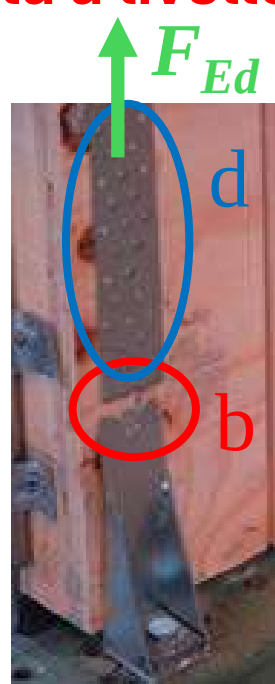
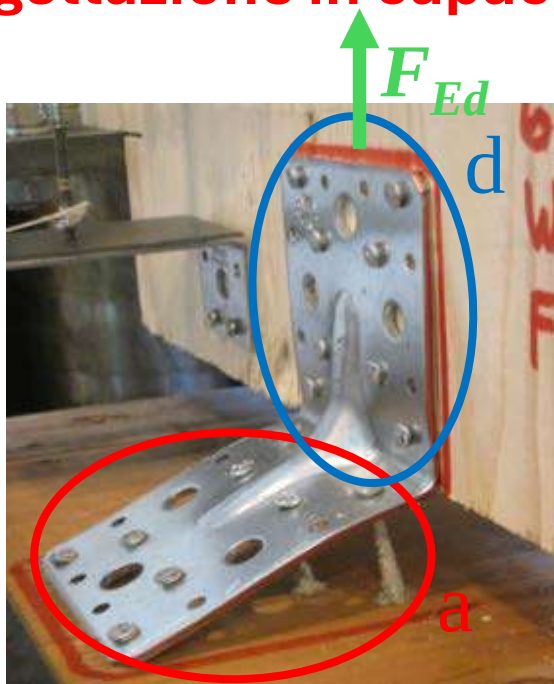
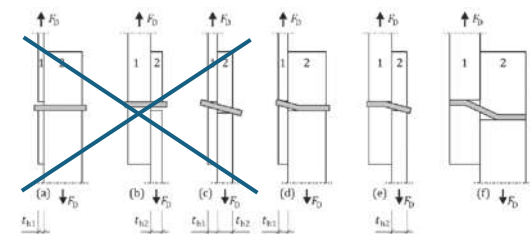
- Pannelli parete sotto le azioni sismiche nel loro piano e pannelli solaio sotto le azioni sismiche di diaframma ($\gamma_{Rd}=1.6$);
- Parti metalliche di hold-down e angolari al fine di evitare rotture fragili di strappo a trazione o rotture fragili a taglio ($\gamma_{Rd}=1.6$);
- Collegamenti degli holddown e degli angolari alla fondazione o ai pannelli parete inferiori ($\gamma_{Rd}=1.6$).



Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

Progettazione in capacità a livello di piastre di connessione 2D e 3D:

d: connessione duttile



$$1, 2 \cdot \min(F_{D,k,(d)}; F_{D,k,(e)}; F_{D,k,(f)}) \leq \min(F_{D,k,(a)}; F_{D,k,(b)}; F_{D,k,(c)})$$

$$F_{D,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_{h1} d}{f_{h,2,k} t_{h2} d} \\ \frac{f_{h,1,k} t_{h1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_{h2}}{t_{h1}} + \left(\frac{t_{h2}}{t_{h1}} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_{h2}}{t_{h1}} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_{h2}}{t_{h1}} \right) \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_{h1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_{h1}^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_{h2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_{h2}^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,k} f_{h,1,k} d} \end{array} \right.$$

$$F_{v,d} = k_{mod} \frac{F_{D,k}}{\gamma_M} + F_{rp,d}$$

1,6

$$F_{Ed} = \frac{\gamma_{Rd}}{k_{deg}} \cdot F_{v,d, \text{nails in shear } (d)} \leq$$

0,8

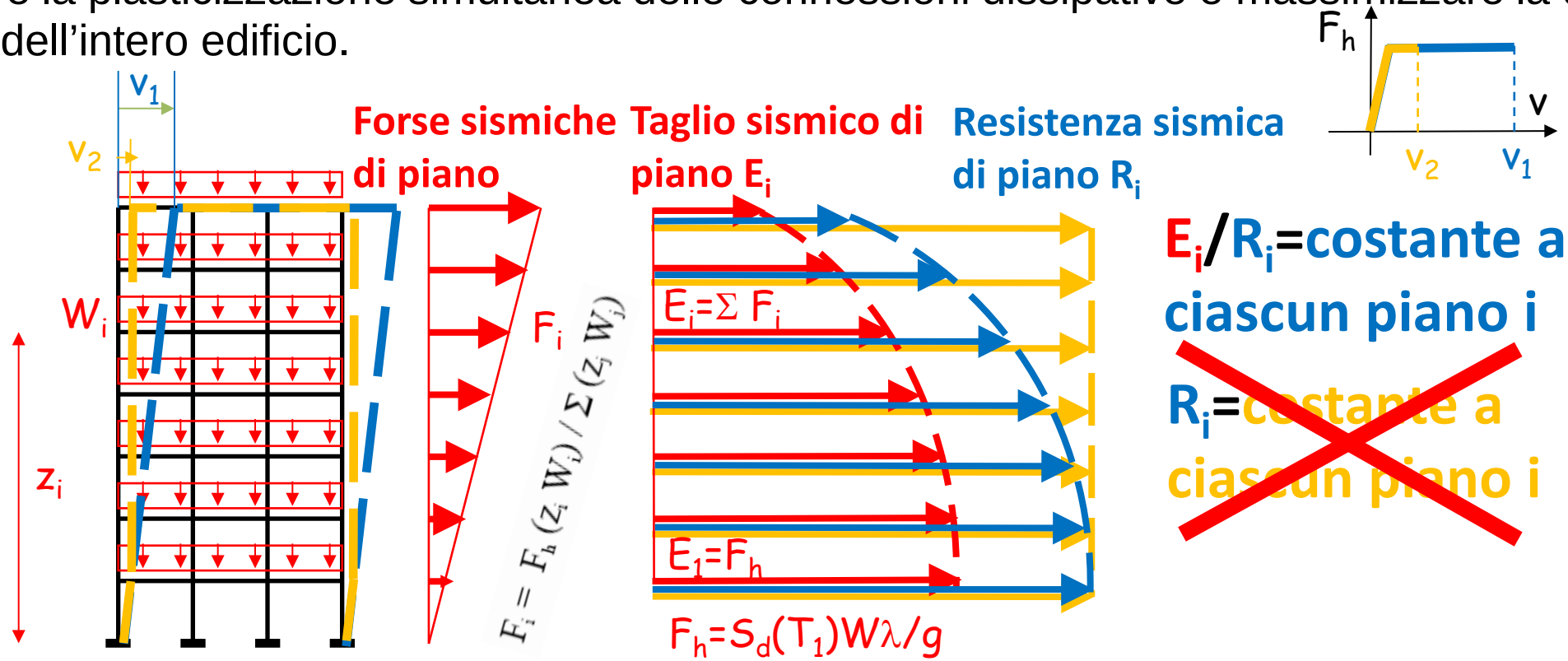
$$\left\{ \begin{array}{l} F_{v,d, \text{withdrawal screws } (a)} \\ F_{v,d, \text{metal plate in tension } (b)} \\ F_{v,d, \text{anchor bolt pull-through } (c)} \\ F_{v,d, \text{timber fracture in tension } (t)} \end{array} \right.$$

Principali modifiche EC8 – Edifici con pannelli in CLT

Progettazione in capacità a livello di edificio:

(9) The maximum storey overstrength ratio $\max(\Omega_{d,i})$ and the minimum storey overstrength ratio Ω_d , with Ω_d given by Formula (13.8), should satisfy Formula (13.14). $\frac{\max(\Omega_{d,i})}{\Omega_d} \leq 1,25 \quad (13.14)$

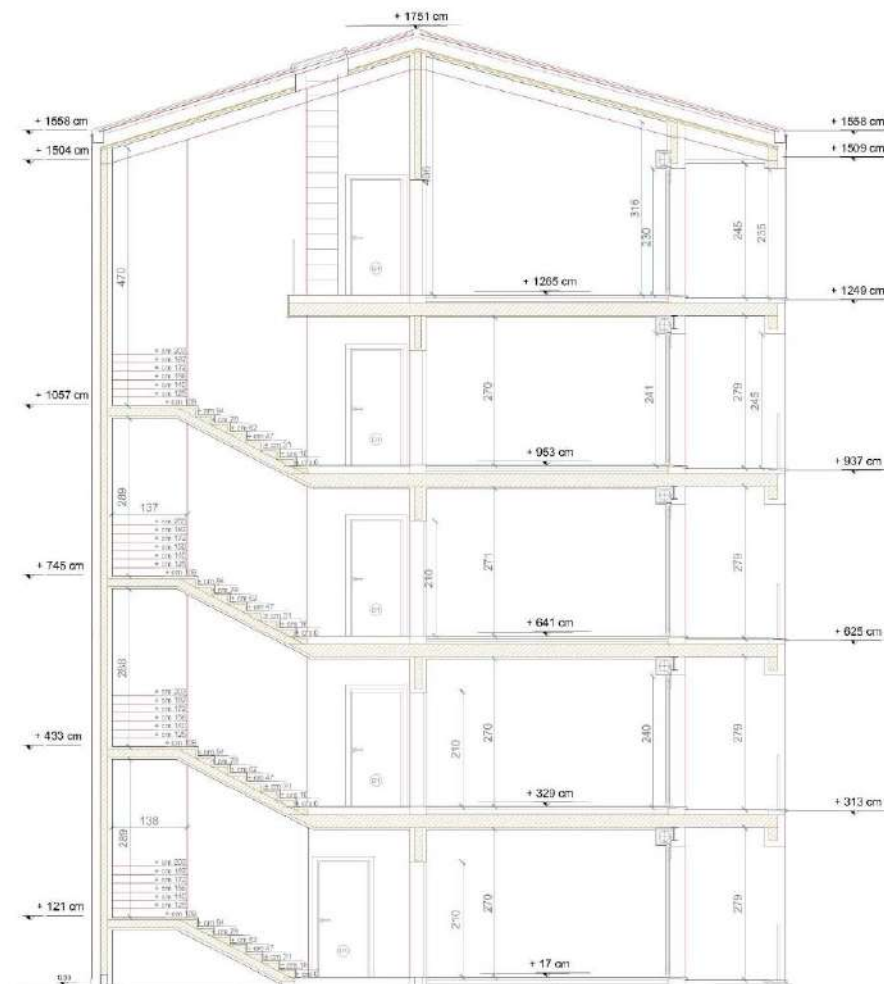
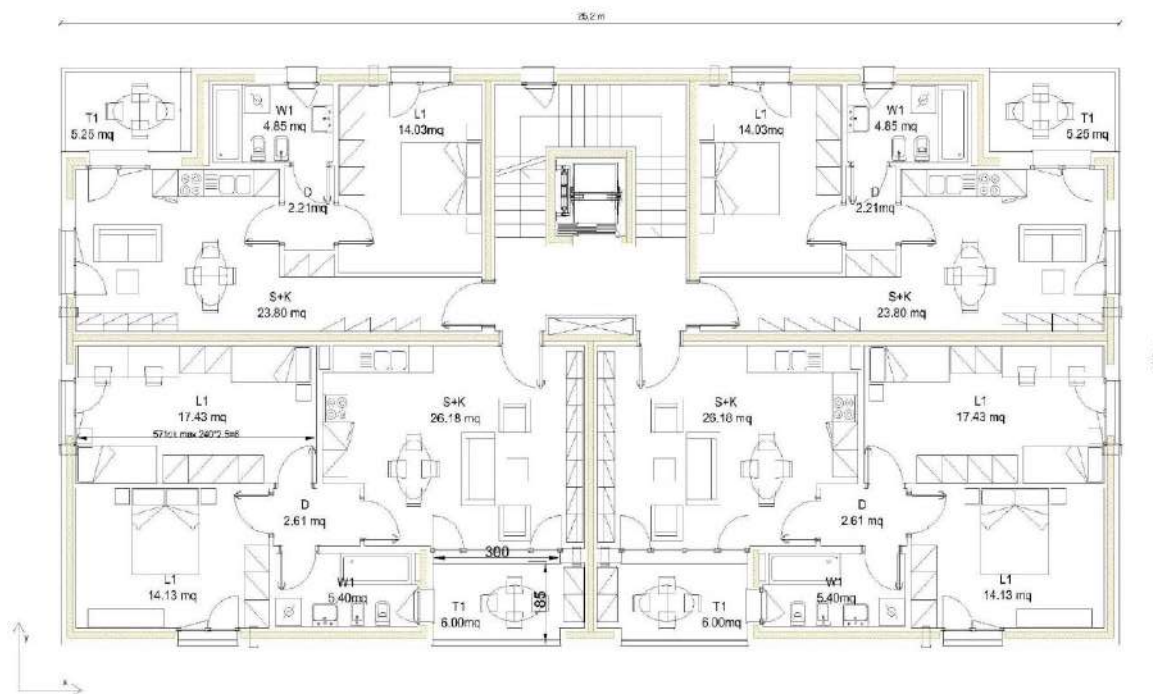
La resistenza sismica delle pareti in CLT deve essere superiore alle pareti inferiori e deve decrescere ai piani alti proporzionalmente alla riduzione del taglio sismico di piano, al fine di promuovere la plasticizzazione simultanea delle connessioni dissipative e massimizzare la dissipazione di energia dell'intero edificio.



Esempio di calcolo di un edificio multipiano in pannelli in CLT

Progetto di ricerca DPC-ReLuis 2022-2024 finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile

- Esempio di progettazione di un edificio multipiano a pannelli in CLT in zona ad alta sismicità
- Modello FE con connessioni deformabili
- Progettazione con analisi dinamica lineare
- Confronto tra progettazione in DC2 (NTC 2018) e DC3 (EC8)

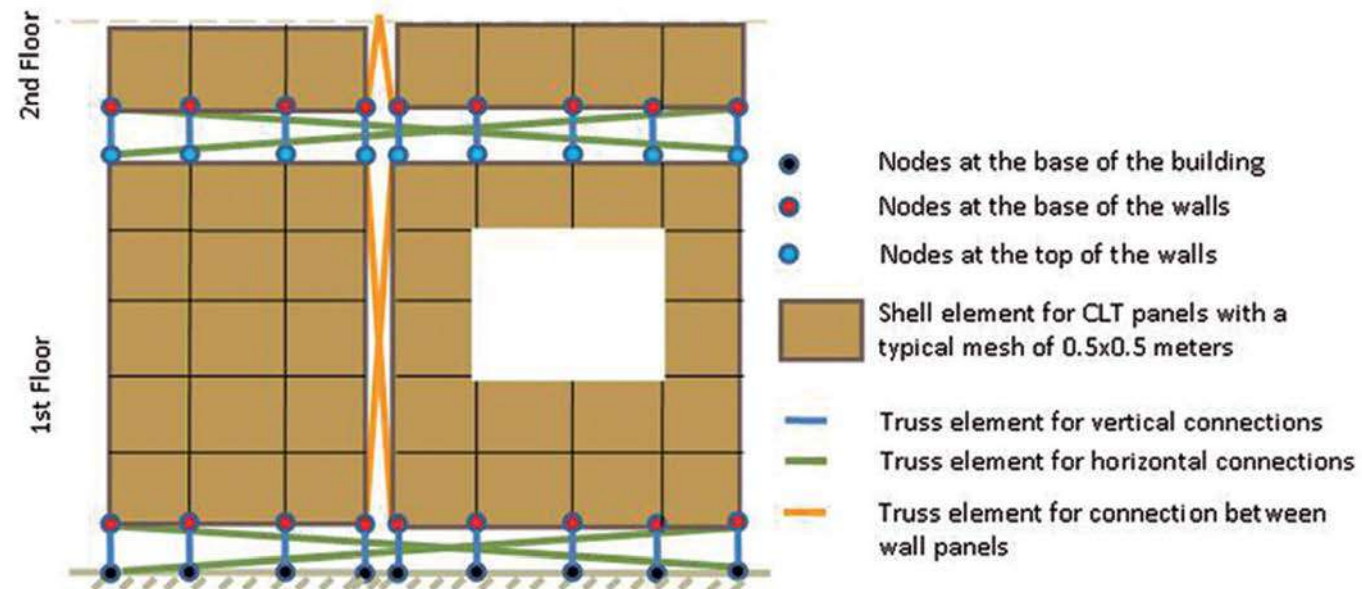


Esempio di calcolo di un edificio multipiano in pannelli in CLT

Modello numerico agli elementi finiti per analisi dinamica lineare:

- Implementato in **SAP 2000**;
- **Utilizzo di:**
 - **elementi shell** a 4 nodi e 24 gradi di libertà con comportamento a piastra e lastra **per i pannelli in CLT**;
 - **elementi truss (asta)** a 2 nodi e 6 gradi di libertà **per i giunti (verticali e orizzontali) tra pannelli parete**; e
 - **elementi beam (trave)** a 2 nodi e 12 gradi di libertà **per le architravi sopra le aperture**.
- **Ulteriori informazioni sulla strategia di modellazione agli elementi finiti di edifici a pannello in CLT sono disponibili in:**

Follesa, M., Christovasilis, I.P., Vassallo, D.,
Frangiaco, M., and Ceccotti, A. (2013).
“Seismic design of multi-storey CLT buildings
according to Eurocode 8.” *Ingegneria Sismica/
International Journal of Earthquake Engineering,
Special Issue on Timber Structures*, No. 4
October-December 2013, pp. 27-53.



Progetto Triennale DPC-ReLUIs 2022-2024

Contributi ReLUIs per una revisione della normativa tecnica italiana

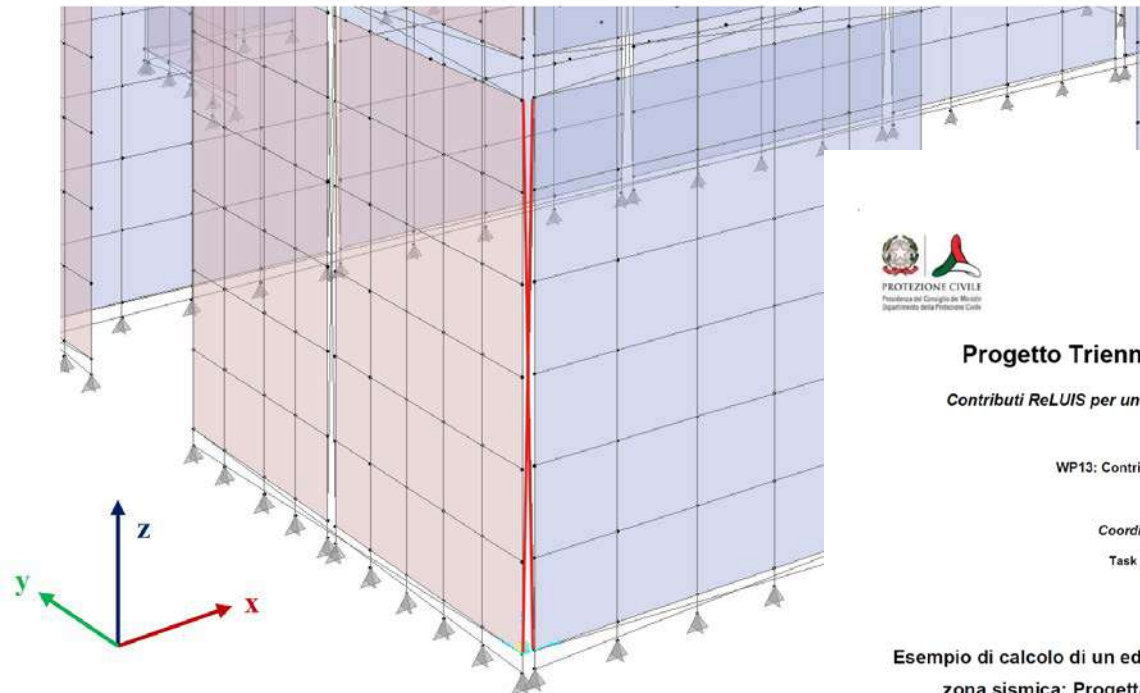
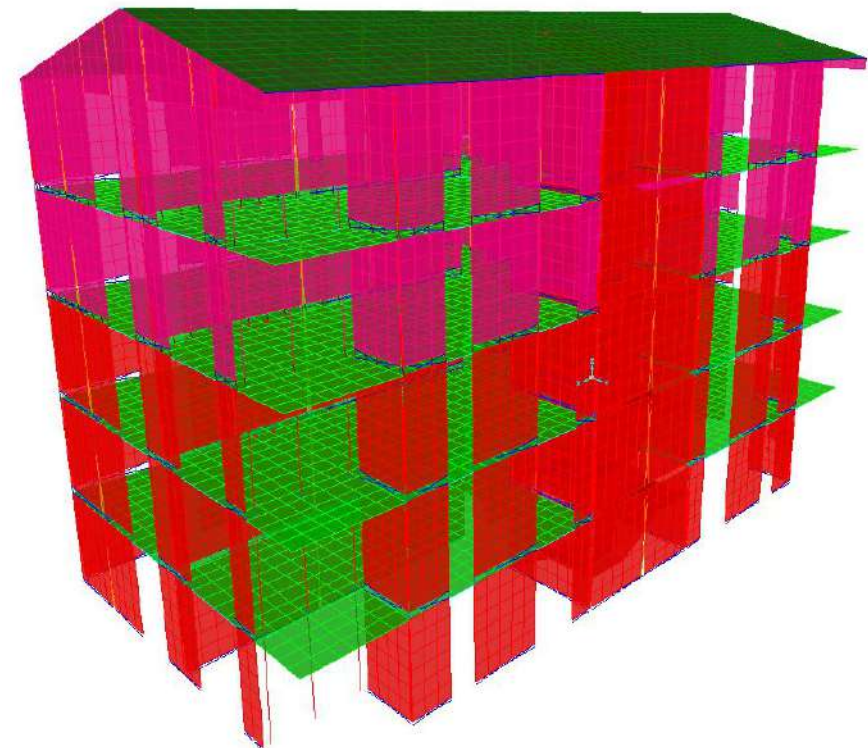
WP13: Contributi normativi – Strutture di legno

Coordinatore WP: Maurizio Piazza

Task 1: Edifici a pannelli massicci

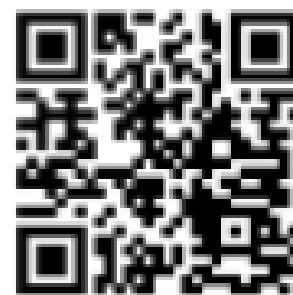
**Esempio di calcolo di un edificio a pannelli di compensato di tavole in
zona sismica: Progettazione in bassa, media e alta duttilità**

Esempio di calcolo di un edificio multipiano in pannelli in CLT



Se interessati all'esempio di calcolo:

- Cliccare su: <http://tiny.cc/VolumeContributiNormativi> oppure inquadrare il QR code:
- Andare su: Capitolo 4 Costruzioni in legno
- Quindi scaricare il file: Allegato 4_Cap 4.pdf (è **disponibile liberamente**)



Conclusioni e ringraziamenti

Il capitolo sul legno del nuovo EC8 (EN 1998-1-2) rappresenta un passo in avanti nella progettazione antisismica degli edifici in legno, in quanto comprende, per diversi sistemi strutturali:

Una **descrizione completa** della tipologia strutturale sismoresistente con un disegno;

Valori aggiornati dei fattori di struttura q per progettazione in classi di duttilità DC2 e DC3;

Regole per la progettazione in capacità a livello globale e locale **e valori dei fattori di sovrarresistenza.**

E' stato pubblicato e reso **liberamente disponibile** un **esempio di progettazione in zona sismica di un edificio multipiano** a pannelli in compensato di tavole sviluppato nell'ambito del progetto ReLUIS 2022-24



Si ringraziano:

I componenti del gruppo di Lavoro CEN/TC250/SC8/WG3 per la stesura del nuovo Cap. 13, e in particolare i membri italiani (ing. Follesa, dott. Casagrande, prof. Piazza)

Il supporto finanziario del Dipartimento della Protezione Civile attraverso i progetti ReLUIS 2022-24 e Reluis 2024-26.

GRAZIE MILLE PER L'ATTENZIONE!

Email: massimo.fragiacomo@univaq.it