

COMPORTAMENTO SISMICO DI STRUTTURE IN LEGNO A PANNELLI MASSICCI MULTI-PANNELLO (MP)

Vincenzo Rinaldi, Gloria Rosone, Martina Sciomenta, Massimo Fragiaco

Università degli Studi dell'Aquila

Email: massimo.fragiacomo@univaq.it

PROGETTAZIONE IN DC3 E IN DC2+

La progettazione in classe di duttilità media avanzata (DC2+) si colloca tra la media duttilità (DC2) e l'alta duttilità (DC3), adottando alcune semplificazioni rispetto a quest'ultima. Nelle strutture in CLT progettate in DC3, la dissipazione di energia avviene principalmente nei giunti verticali delle pareti multipannello; la progettazione in capacità si applica sia localmente (nelle connessioni e nelle pareti) sia globalmente (tra i piani), così da favorire una plasticizzazione diffusa. I collegamenti a taglio e contro il sollevamento possono essere considerati dissipativi se plasticizzano dopo i giunti verticali. Per garantire la gerarchia di resistenza, l'Eurocodice 8 - Parte 1-2 (sezione legno) fornisce espressioni analitiche per l'applicabilità della progettazione in capacità in DC3.

Gerarchia delle resistenze tra i dispositivi contro il sollevamento e giunti verticali:

$$F_{Rd,ld} \geq 1,1 F_{Rd,c} \frac{K_{SLS,anc}}{K_{SLS,con}} \quad \text{if } K_{SLS,anc} \geq \eta_1 K_{SLS,con} \quad (1.a)$$

$$F_{Rd,ld} \geq \max \left[1,1 F_{Rd,c} \frac{K_{SLS,anc}}{K_{SLS,con}}; 1,1 \eta_1 F_{Rd,c} \frac{N_{Ed}}{m_{tp}} \right] \quad \text{if } K_{SLS,anc} < \eta_1 K_{SLS,con} \quad (1.b)$$

Gerarchia delle resistenze tra connessioni a taglio alla base delle pareti e dispositivi contro il sollevamento:

$$F_{Rd,s} = 1,1 \frac{M_{Ed,rock}}{M_{Ed,F}} F_{Ed,s} \quad (2)$$

Azione di progetto sui componenti non dissipativi:

$$F_{Rd,ld} \geq \frac{\gamma_{Ed}}{K_{eq}} \Omega_d F_{Ed,ld} + F_{Ed,G} \quad (3)$$

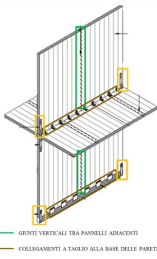


Figura 1. Sistema strutturale in CLT con pareti multi-pannello

Rapporto di sovrarresistenza della struttura:

$$\Omega_d = \min(\Omega_{d,i}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n |M_{d,rock,i}|}{\sum_{i=1}^n |M_{d,ld,i}|} \right) \quad (4)$$

Per garantire che la progettazione in capacità sia rispettata a livello globale ed evitare la formazione di meccanismi di piano soffice deve risultare soddisfatta la seguente equazione:

$$\Omega_d = \frac{\max(\Omega_{d,i})}{\min(\Omega_{d,i})} \leq 1,25 \quad (5)$$

La classe di duttilità media avanzata (DC2+) si basa su alcune semplificazioni rispetto alla classe in alta di duttilità che sono elencate di seguito.

- Non è richiesta la conformità delle equazioni (1), gli hold-down/tie-down sono progettati per il carico di trazione ottenuto dall'analisi sismica moltiplicato per il fattore 1,1.
- Non deve essere garantita l'eq. (2); il sistema anti-scorrimento è progettato con il taglio di progetto dovuto all'azione sismica moltiplicato per il fattore 1,3.
- Per la progettazione di componenti non dissipativi (eq. (3)) il rapporto di sovrarresistenza Ω_d viene assunto con valore costante pari a 1,1; non deve pertanto essere calcolato mediante l'equazione (4).
- La progettazione in capacità a livello globale non è applicata; non deve dunque essere soddisfatta l'equazione (5).

Le semplificazioni introdotte in DC2+ mirano a ridurre la complessità della progettazione. L'incertezza sul comportamento delle pareti, viene compensata attribuendo un fattore di comportamento $q=2,75$ per la DC2+, si vuole dimostrare che tale valore risulta sufficientemente conservativo.

DETERMINAZIONE DEL FATTORE DI STRUTTURA PER LA CLASSE DC2+

1) Definizione degli archetipi strutturali e delle azioni di progetto

Numero di piani:	Da 1 a 4
(Lunghezza parete di taglio 1, Lunghezza parete di taglio 2)	[4,0],[4,4],[6,6],[4,6],[3,6,6],[4,5,6],[4,5,5,6]
lunghezza di influenza delle pareti: (per determinare i carichi verticali)	1m, 5m
lunghezza di influenza delle pareti: (per determinare la Massa sismica)	5m
Categoria sottosuolo: (Categoria topografica T1)	B, C
Profilo di carico: 1° modo	1
Numero analisi	128

Tabella 1. Riassunto delle configurazioni di analisi degli archetipi strutturali

2) Scelta e calibrazione/validazione numerica delle connessioni (anti-scorrimento/ ribaltamento e giunti verticali tra pannelli)

Le connessioni anti-ribaltamento e anti-scorrimento sono state definite tramite prove sperimentali [1] e calibrate numericamente in OpenSees. I parametri sono stati ottenuti mediante fitting sul ciclo isterico di un test di riferimento. Nei giunti verticali, resistenza e rigidità del singolo connettore sono scalate in base al numero di viti. I risultati (Figura 2) mostrano un'elevata corrispondenza tra modelli numerici e prove sperimentali, sia in termini di curva di carico sia di energia dissipata.

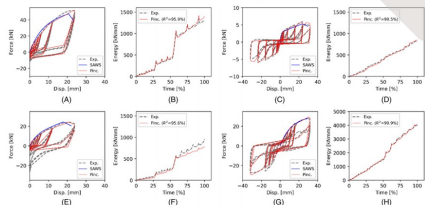


Figura 2. Calibrazione numerica: "hold-down" ciclo isterico (A) ed energia dissipata (B); "singola vite per giunto tra pannelli adiacenti a mezzo-legno" ciclo isterico (C) ed energia dissipata (D); "angolari a trazione" ciclo isterico (E) ed energia dissipata (F); "angolari a taglio" ciclo isterico (G) ed energia dissipata (H). [3]

La validazione, estesa anche a pareti singole (Figura 3) con prove monotone e cicliche [4], ha confermato la coerenza tra dati sperimentali e modello numerico adottato (Figura 4).

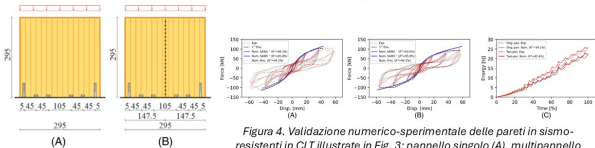


Figura 3. Pareti in CLT sismo-resistenti: pannello singolo (A) e multipannello (B)

3) Progettazione degli archetipi del punto 1) con fattore di comportamento q pari a 2,75

Gli archetipi sono progettati in classe di duttilità DC2+ secondo prEN1998-1-2 e prEN1995-1-1, con fattore di struttura $q=2,75$. La struttura sismo-resistente è costituita da pannelli massicci a 5 strati (spessore totale 120 mm, legno C24). Il carico verticale è stimato con il metodo delle aree tributarie: 18 e 3,6 kN/m (6 e 1,2 kN/m all'ultimo livello) rispettivamente per configurazioni con (W) e senza (WO) carico verticale significativo. In entrambi i casi, la massa sismica è definita su una lunghezza di influenza di 5.

4) Realizzazione di modelli agli elementi finiti degli archetipi strutturali

La valutazione del fattore di comportamento è stata condotta attraverso analisi numeriche condotte su modelli piani (3 gradi di libertà per nodo), Figura 5, utilizzando la piattaforma di calcolo OpenSees [5].

5) Esecuzione di analisi statiche non-lineari (NLS) per la valutazione del fattore di comportamento e i relativi contributi q_0 e q_8

Sono state eseguite analisi statiche non-lineari per il calcolo del fattore di struttura q_0 e q_8 (assumendo $q_5=1,5=cost$); inoltre, gli archetipi sono stati analizzati con (W) e senza (WO) apprezzabili carichi verticali. La metodologia utilizzata per il calcolo delle componenti q_0 e q_8 del fattore di struttura è riportata in Figura 6 ed eq. (6).

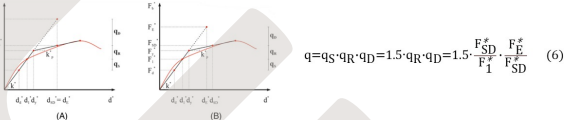


Figura 6. Determinazione delle componenti del fattore di comportamento. (A) Principio dell'equivalenza degli spostamenti (B) Principio dell'equivalenza dell'energia

6) Risultati preliminari delle analisi statiche non-lineari

	DC2+	DC3
DANNO SIGNIFICATIVO	QUASI-COLLASSO	QUASI-COLLASSO
W	...	...
WO	...	...

Figura 7. Danno progressivo delle connessioni, DC2+ e DC3, allo stato limite di salvaguardia della vita (Danno Significativo, SD) e stato limite di collasso (Quasi-collasso, NC)

In DC2+ la plasticizzazione avviene nei giunti verticali tra pannelli (Figura 7), ma i carichi verticali ne riducono il contributo dissipativo. Il confronto tra analisi non-lineari di DC2, DC3 [3] e archetipi in DC2+ conferma i risultati preliminari, validando le attese sia a livello fenomenologico che numerico. I valori del fattore di comportamento sono riportati nelle Tabelle 2 e 3.

	Pareti cariche				Pareti cariche			
	DC2	DC2+	DC3	DC3	DC2	DC2+	DC3	DC3
μ	1,46	1,66	3,59%	1,73	1,46	1,66	3,59%	1,73
μ_0	1,17	2,55%	1,39	3,15%	1,37	2,92%	1,37	2,92%
q	2,57	2,67%	3,47	6,45%	3,57	5,54%	3,57	5,54%

Tabella 2. Confronto dei risultati per pareti cariche (WO)

Tabella 3. Confronto dei risultati per pareti cariche (W)

I risultati mostrano una duttilità inferiore rispetto alla DC3, legata a un meccanismo prevalente di scorrimento. Il valore di q risulta superiore a 2,75, ma si prevede una riduzione tramite analisi di sensitività, variando la duttilità delle connessioni in accordo all'Eurocodice 8. Questo approccio rafforza l'applicabilità del metodo DC2+ e fornisce indicazioni utili per l'aggiornamento normativo.

CAPITOLO 13 DEL NUOVO EC8 - PARTE 1-2

A seguito della finalizzazione della nuova versione dell'Eurocodice 5 - Parte 1-1, l'aggiornamento di tutti i riferimenti nel Capitolo 13 ai paragrafi dell'Eurocodice 5, oltre ad una revisione generale dello stesso Capitolo 13 per la correzione di errori materiali.

AGGIORNAMENTO NORMATIVO

BACKGROUND DOCUMENT AL CAPITOLO 13 DEL NUOVO EC8 - PARTE 1-2

A seguito dell'implementazione dei vari commenti espressi dai comitati normativi nazionali nella fase di inchiesta informale, sono state introdotte svariate modifiche ed integrazioni nel Capitolo 13, che richiedono inevitabilmente un aggiornamento anche del Background Document,

Figura 8. Estratto aggiornamento capitolo 13 del nuovo EC8 - parte 1-2

Figura 9. Estratto aggiornamento del background document al capitolo 13 del nuovo EC8 - parte 1-2

[1] Gavini, I. et al. (2019), Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross-laminated (CLT) structures. Materials and Structures

[2] Gavini, I. et al. (2019), Cyclic behavior of typical screwed connections for cross-laminated (CLT) structures.

[3] Rinaldi, et al. (2023), Verification of the behaviour factors proposed in the second generation of Eurocode 8 for cross-laminated timber buildings.

[4] Gavini, I. et al. (2019), Cyclic behavior of CLT wall systems: experimental tests and analytical prediction models.

[5] Mazzoni, S. et al. (2006), OpenSees command language manual, Pacific earthquake engineering research (PEER) center.