



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Scuola di Ingegneria

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN
INGEGNERIA CIVILE

PRESENTAZIONE DELLA TESI DI LAUREA EFFETTUATA IL
13/10/2016

COMPORTAMENTO STRUTTURALE DEL SISTEMA BLOCKHOUSE

Relatore:
Prof. Ing. Lauriola Marco Pio

Tesi di laurea di:
Micol Manenti

Correlatore:
Prof. Ing. Facchini Luca

Sommario

1. Introduzione:.....	3
2. “Structural behaviour of log timber walls under lateral in-plane loads”	3
Principali aspetti inflenti sulla resistenza.....	4
Conclusioni tratte dall’articolo.....	5
3. Progetto di un edificio	5
Vento trasversale.....	5
Azioni di taglio.....	6
Azione sismica	6
Carichi statici verticali	7
Verifiche effettuate	7
Verifiche di sollevamento	8
Verifiche a taglio.....	8
Conclusioni progettuali	9
4. Deformazione finale	9
5. Meccanismo resistente principale.....	10
6. Confronto conclusioni dell’articolo e progettuali.....	11

1. Introduzione

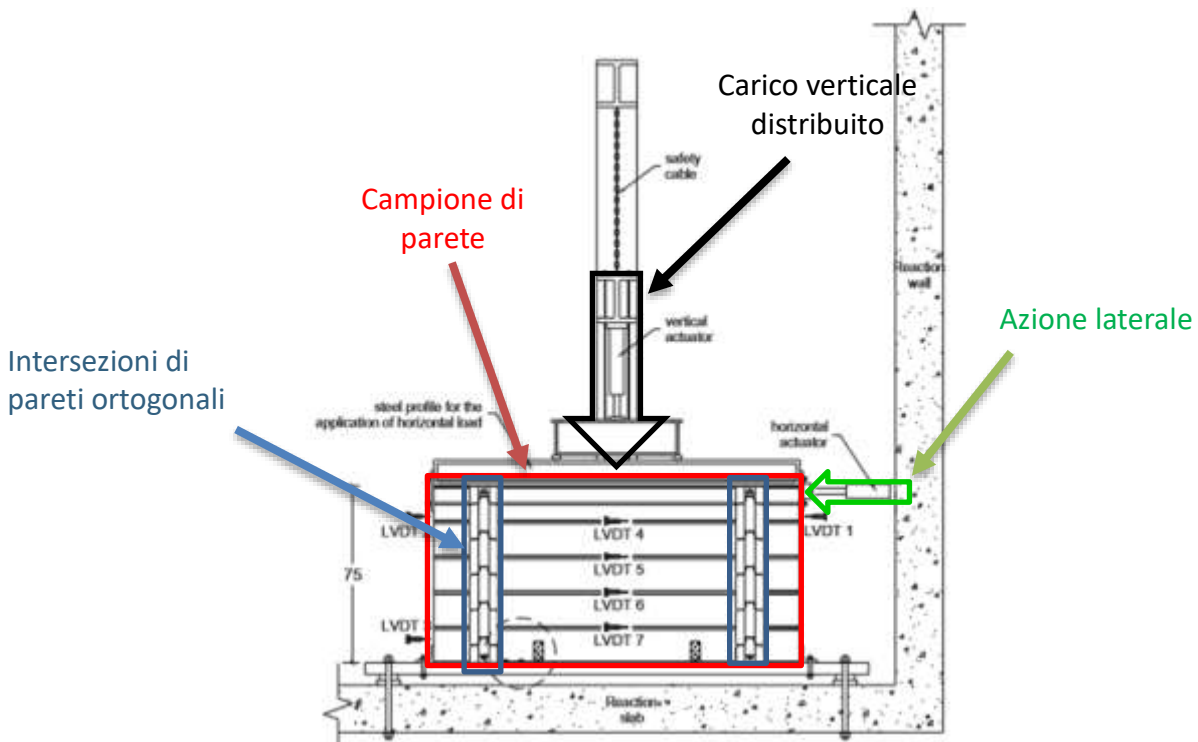
Gli edifici Blockhouse sono edifici in legno con la particolarità di avere le pareti formate da tronchi di legno sovrapposti.



Per valutare il comportamento di questo sistema costruttivo si confrontano i risultati riportati in un articolo tratto dalla rivista scientifica Engineering Structures, con i risultati ottenuti dal progetto di un edificio.

2. “Structural behaviour of log timber walls under lateral in-plane loads”

In questo articolo il comportamento delle pareti viene valutato attraverso il seguente macchinario che permette di riportare il campione alle condizioni in cui sarebbe soggetto nella realtà.



Sono presenti le intersezioni di pareti ortogonali e è applicato un carico distribuito ed infine un'azione concentrata laterale nel proprio piano.

Questa azione laterale simula l'azione esterna di taglio a cui le pareti sono soggette nella realtà, dovute al vento o al sisma. Per valutare il comportamento delle pareti si considera agente l'azione sismica modellata da prove cicliche. Variando le caratteristiche geometriche del campione o le azioni agenti su di esso, si osserva la variazione dell'energia dissipata, rappresentata dall'area sottesa dal diagramma forza-spostamento.

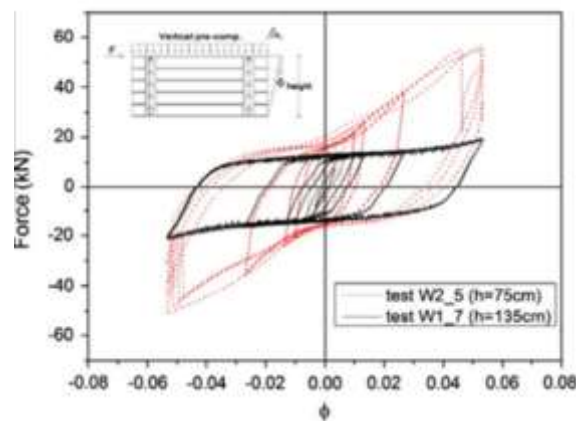
L'energia dissipata rappresenta la capacità della struttura di assorbire l'energia ottenuta dall'azione esterna, quindi la sua resistenza. Maggiore è l'energia dissipata e migliore possiamo considerare il comportamento dell'edificio.

Principali aspetti influenti sulla resistenza

Valutiamo quali sono le caratteristiche che influiscono sul comportamento del sistema Blockhouse confrontando il comportamento di due campioni di altezze diverse ma stessa sezione si valuta l'influenza della snellezza e successivamente si confrontano i risultati ottenuti variando il carico distribuito verticale.

- Snellezza:

Il campione con altezza inferiore (curve rosse) è in grado di dissipare maggiore energia rispetto a quello con altezza superiore (curve nere) e quindi con maggiore snellezza, ciò è mostrato dal grafico Forza-Spostamento avendo un'area sottesa dalle curve superiore. All'aumentare della snellezza diminuisce l'energia dissipata e quindi diminuisce la resistenza delle pareti.



- Carico distribuito:

Il carico distribuito agente sul campione rappresenta il pre-carico agente sulle pareti, cioè la quota parte di copertura che sostiene staticamente la parete considerata. Variando il valore del carico distribuito agente si osserva il comportamento del campione.

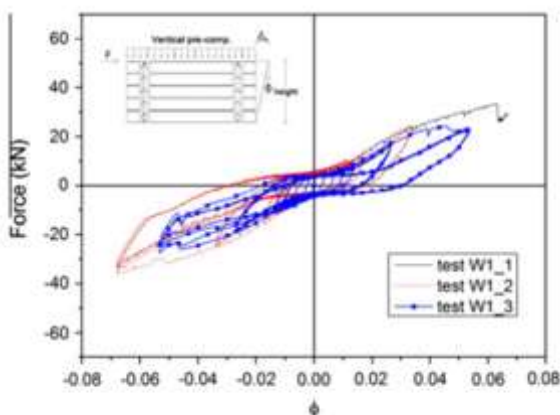


Fig. 13. Horizontal load-shear strain curves obtained from walls type 1 and vertical pre-compression of 10.1 kN.

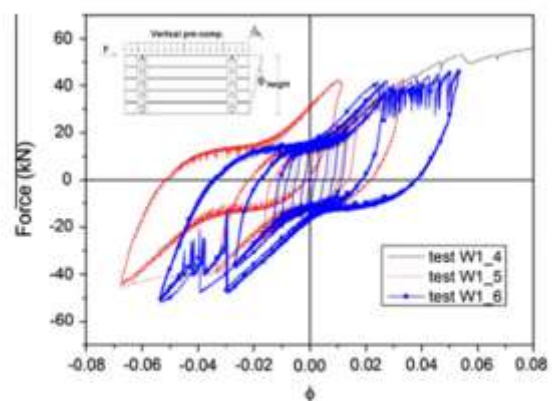


Fig. 14. Horizontal load-shear strain curves obtained from walls type 1 and vertical pre-compression of 48 kN.

Nei grafici Forza-Spostamento si può notare che l'energia dissipata aumenta all'aumentare del carico distribuito verticale, quindi aumenta la resistenza.

Conclusioni tratte dall'articolo

Lo studio effettuato nell'articolo permette di affermare che il carico verticale distribuito contribuisce ad aumentare la resistenza, perchè schiacciando le fibre dei tronchi causa un maggior attrito fra gli stessi, ma non deve essere un carico eccessivo altrimenti la tensione di compressione ortogonale agente supera quella resistente di progetto causando rottura e collasso strutturale.

L'aumento della snellezza delle pareti, ovvero il rapporto tra altezza e spessore, influisce invece negativamente cioè comporta una diminuzione della resistenza.

3. Progetto di un edificio

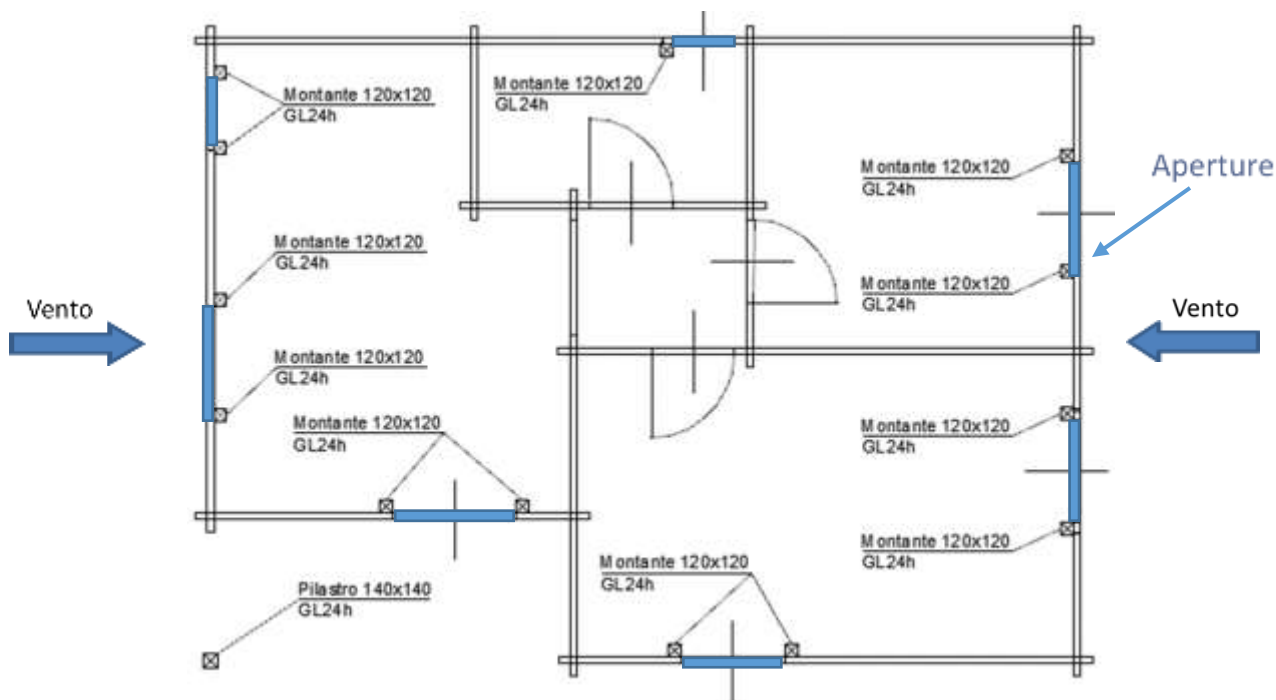
Si riportano i principali aspetti legati alla valutazione del comportamento del sistema sotto azioni esterne (vento o sisma), di una struttura molto simile a quella seguente:



Le azioni agenti sulla struttura valutate sono trasversali e di taglio.

Vento trasversale

Le azioni trasversali sono individuate dal vento, il quale agisce sulle pareti esterne ortogonalmente, come rappresentato in figura sottostante.



Laddove sono presenti aperture, finestre o porte, le tavole presentano un unico appoggio (incrocio delle pareti ortogonali) quindi con l'azione del vento trasversale si ha il rischio di rotazione delle

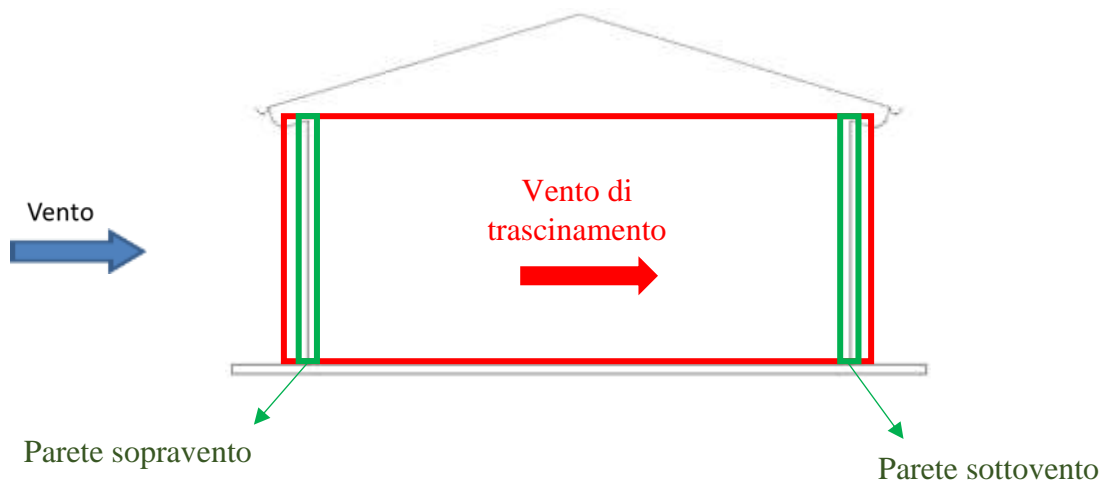
tavole attorno all'unico appoggio. Si sceglie di inserire delle travi che corrono per tutta l'altezza delle pareti e si comportano come ulteriori appoggi, irrigidendola, le quali si chiamano "montanti".

Azioni di taglio

Le azioni che risultano di taglio alle pareti sono dovute al vento o al sisma e si assumono per le verifiche i valori maggiori, a favore di sicurezza.

L'azione del vento considerata si determina moltiplicando il vento di trascinamento per l'area della parete considerata. Se essa è collegata a pareti sopravento o sottovento le azioni agenti vengono sommate a quella iniziale, perché lavorano a taglio solo pareti nella stessa direzione dell'azione esterna. Anche la copertura deve essere considerata, solo se grava staticamente e nella condizione più sfavorevole, cioè sopravento, a favore di sicurezza.

Azione di taglio= Vento di trascinamento x Area parete considerata + Azioni del vento di pareti ad esse collegata o della copertura se grava su di essa



Azione sismica

L'azione sismica viene determinata con l'analisi statica lineare equivalente, ovvero si schematizza come una forza statica, dalla seguente espressione:

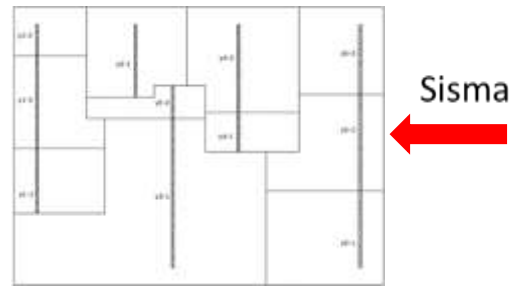
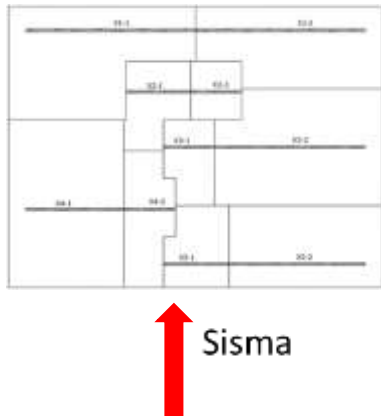
$$F_{eq} = M \cdot S_d(T)$$

Dove:

$S_d(T)$ = Spettro di risposta di progetto cioè il valore massimo dello spettro elastico ottenuto con il programma "Spettri-NTC08" ottenuto dal sito del Ministero.

M = Massa sismica = Peso parete + Peso copertura + peso pareti collegate

Il peso della copertura viene suddiviso in base alla direzione della azione sismica e all'aperture presenti, come di seguito illustrato.



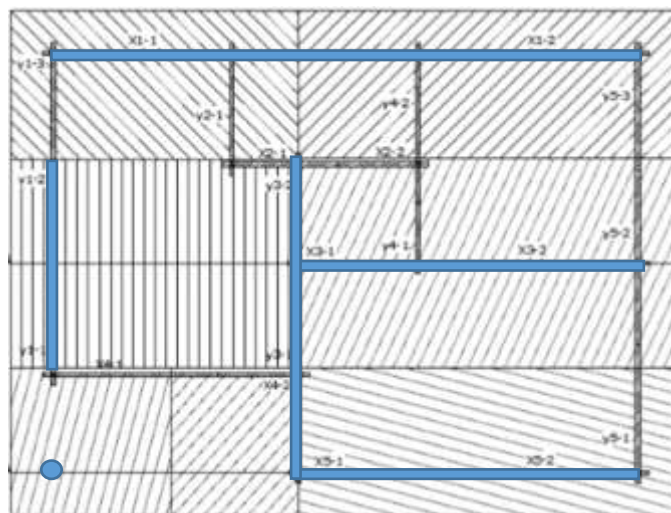
Carichi statici verticali

Altre azioni che giocano un ruolo importante sono quelle dei carichi statici verticali N.

$$N = \text{Peso}_{\text{parete}} + \text{Peso}_{\text{copertura}} \quad \leftarrow \text{Se presente}$$

Il peso della copertura grava staticamente sulle pareti su cui poggiano le travi di copertura e, (laddove sono presenti) la trave di colmo e di bordo.

Riportiamo la suddivisione delle aree di influenza per la copertura su cui sono indicate le pareti chiamate a sostenerla.



Verifiche effettuate

Verifica di resistenza carichi verticali:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_{d,i}}{l_{par,i} \cdot s} \leq f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

Verifica di stabilità del pilastro:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F}{A_{lorda}} < k_c \cdot f_{c,0,d} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} \cdot \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_m}$$

Verifica a compressione delle maschiature:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{Td}{A_{res,comp}} < f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

Non tutte le pareti risultano verificate

Azione di taglio suddivisa per il numero di incroci

Verifica a taglio ortogonale delle maschiature:

$$\tau_d = \frac{Td}{A_{res,taglio} \cdot k_{cr}} < f_{v,d} = \frac{f_{v,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

Non tutte le pareti risultano verificate

Carico statico verticale

Verifica a sollevamento delle pareti:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_i}{L_{par,i} \cdot s} + \frac{6 \cdot M_i}{l_{par,i}^2 \cdot s} \leq f_{c,90,d}$$

Momento azione di taglio

Verifica di contenimento del danno:

Verifica di contenimento del danno:

$$d_r < 0,01 \cdot h$$

Verificato

Verifiche di sollevamento

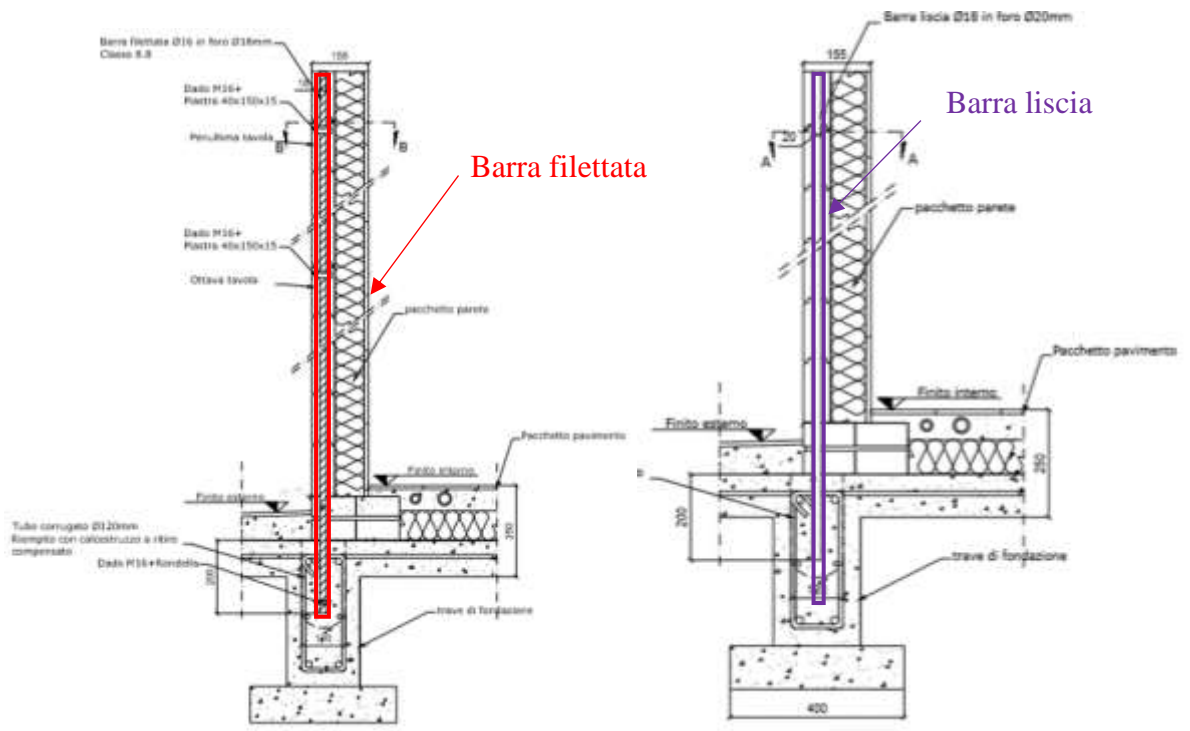
Le verifiche di sollevamento vengono effettuate controllando che la tensione di compressione ortogonale delle fibre sia inferiore al valore di resistenza a compressione ortogonale di progetto. Nella formula vediamo che la tensione agente è composta da due termini, il primo è riferito alla tensione causata dal carico statico verticale mentre il secondo è riferito al momento che la tensione laterale di taglio ha generato con il centro della parete. Quindi il carico verticale distribuito non può essere eccessivo altrimenti si avrebbe rottura per compressione. Nell'altro estremo della parete si ha una tensione di sollevamento, la quale è data dagli stessi termini appena descritti con la differenza che la tensione generata dal momento viene sottratta alla tensione generata dal carico distribuito e questo indica che il carico distribuito deve essere tale da controbilanciare l'azione di sollevamento.

Per le pareti che risultano non verificate all'azione di sollevamento si decide di inserire una barra filettata collegata a due piastre, una posta tra le prime tavole e l'altra tra la penultima e ultima tavola.

Verifiche a taglio

Per le pareti in cui le maschiature non risultano verificate si decide di inserire una barra liscia che assorbe totalmente l'azione tagliante. Si inseriscono in numero differente in base al valore della azione di taglio determinata nella parete.

Figura 1 Sezione con barra filettata



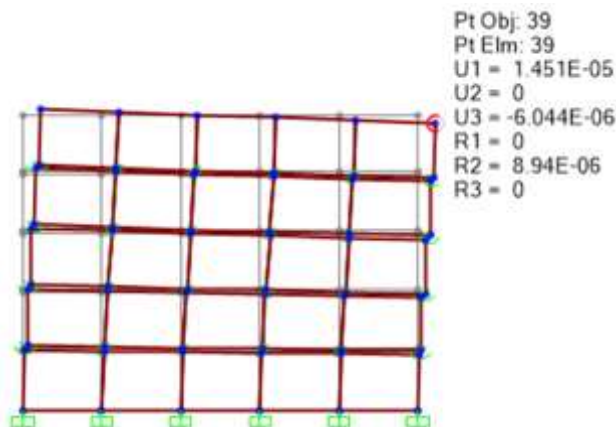
Conclusioni progettuali

Confrontando i risultati ottenuti dallo studio dell'articolo e dal progetto effettuato si può affermare che gli elementi fondamentali del sistema Blockhouse sono gli incroci delle pareti d'angolo, nelle quali avviene la dissipazione di energia per le azioni esterne di taglio.

4. Deformazione finale

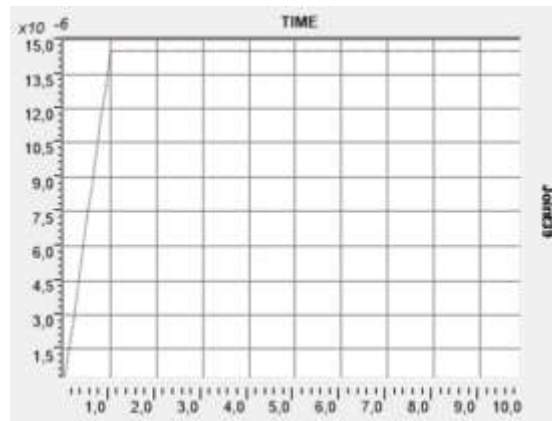
Per capire meglio come si deforma il campione sottoposto all'azione esterna nel proprio piano si effettua una modellazione con il programma SAP2000, dove si riportano le stesse caratteristiche geometriche e di rigidità. Le intersezioni con le pareti ortogonali sono rappresentate dai Non-linear-link con rigidità in direzione verticale come indicato nell'articolo.

Si ottiene la seguente deformazione del campione analizzato:



Oltre allo spostamento orizzontale indicato con U1, si ottiene uno spostamento verticale indicato con U3 di abbassamento per la parte destra mentre di sollevamento per la sinistra.

Per lo stesso punto 39 indicato nella deformazione si riporta il grafico di carico orizzontale-spostamento. Possiamo notare che lo spostamento del punto in questione aumenta linearmente all'applicazione della forza orizzontale fino ad un valore massimo ($U1= 14,5E-06$) che poi resta costante nel tempo.



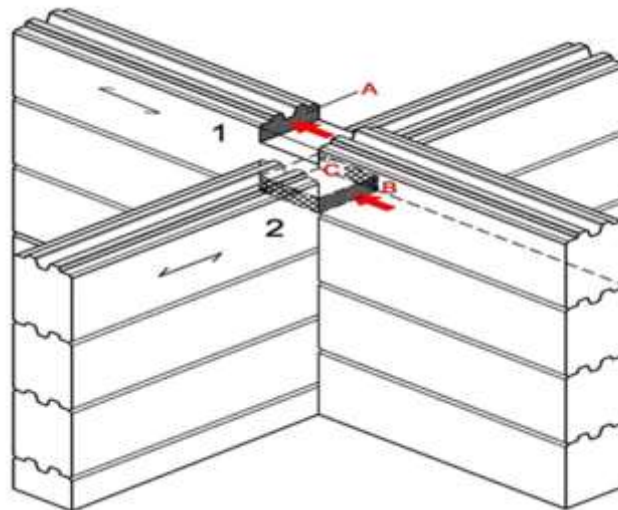
La forza di taglio applicata genera anche un momento che tende a far ruotare i tronchi semplicemente appoggiati gli uni sugli altri attorno al centro della parete, nel punto più basso della stessa. Questo comporta che in un estremo della parete le fibre dei tronchi siano soggette a una compressione ortogonale e nell'altro estremo al sollevamento.

5. Meccanismo resistente principale

Il meccanismo resistente principale alle azioni di taglio è individuato negli incroci delle pareti ortogonali, opportunamente sagomati in modo da rendere i tronchi parzialmente sovrapposti.

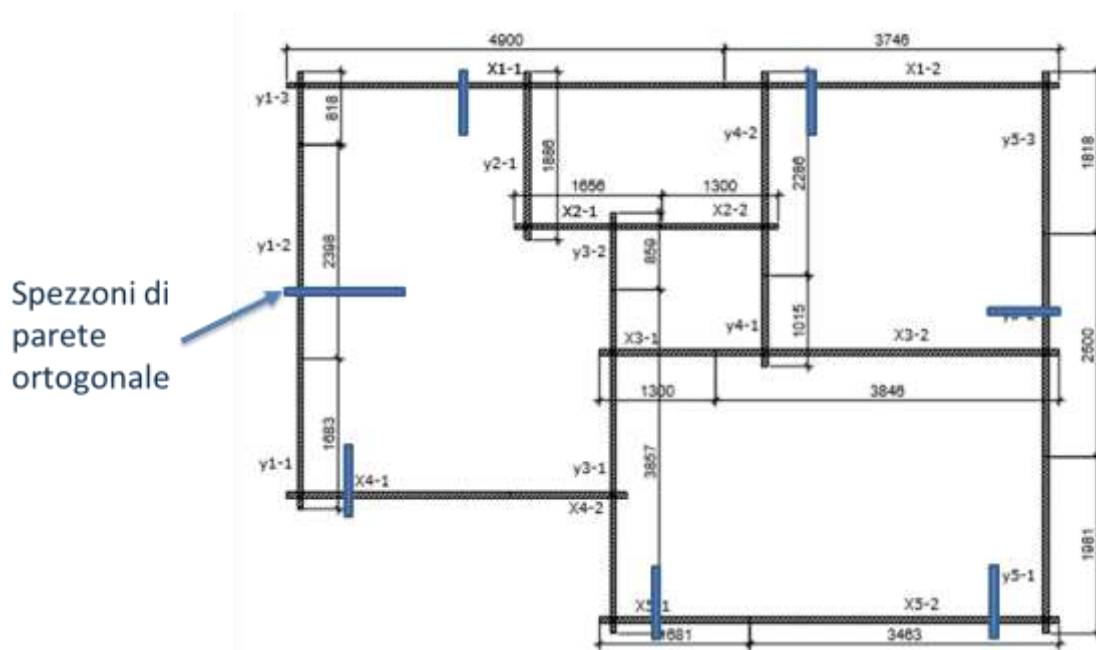


La forza di taglio che corre lungo la parete, indicata con la freccia rossa, incontra la resistenza del materiale posto nella direzione perpendicolare, sia nella superficie B che offre resistenza a compressione e sia nelle due superfici C che offrono resistenza a taglio ortogonale. La superficie A indicata in figura ricorda che la sagomatura è effettuata in modo da ottenere la stessa resistenza descritta per due tronchi ortogonali.



6. Confronto conclusioni dell'articolo e progettuali

Per le pareti in cui le verifiche delle maschiature non risultano soddisfatte si può quindi anche pensare di inserire spezzoni di pareti ortogonali, senza funzionamento strutturale, per aumentare la dissipazione di energia e quindi la resistenza.



Un altro aspetto importante è il carico verticale distribuito il quale deve essere di un valore adeguato da contrastare l'azione di sollevamento ma non eccessivo per non causare rottura.

- | | | |
|---------------------------------|---|---|
| Il carico verticale distribuito | → | Contrasta l'azione di sollevamento ma non deve essere eccessivo |
| Il numero di maschiature | → | Permettono una maggiore dissipazione di energia |

7. Bibliografia-Sitografia

- “Structural behaviour of log timber walls under lateral in-plane loads” in Engineering Structures. Autori: Jorge M. Branco †, João P. Araújo, ISISE, Univ. of Minho, Dept. of Civil Engineering, Campus de Azurém, 4810-058 Guimarães, Portugal
- Eurocodice 5 - UNI ENV 1995-1-1 Progettazione delle strutture in legno Parte 1-1 Regole generali e regole generali per gli edifici
- Guida all'eurocodice 8 - EN 1998-1, EN 1998-5 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica / Autori: M. N. Fardis, E. C. Carvalho, A. Elnashai, E. Faccioli, P. E. Pinto, A. Plumier
- IstruzioniCNR_DT206_2007
- Norme CNR 10011-88
- Piazza M., Tomasi R., Modena R. (2005), Strutture in legno - Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee, Ulrico Hoepli Editore, Milano
- Ceccotti A., Follesa, M., Lauriola, M. P. (2005), Le strutture di legno in zona sismica, Criteri e regole per la progettazione ed il restauro, Edizioni CLUT, Torino
- Natterer J., Sandoz J. L., Rey M. (2000), Construction en bois, Traité de Génie Civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Volume 13, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR)
- <http://www.buinilegnami.it/info/I/rif000002/1081/CASA-IN-LEGNO-BLOCKHAUS>
- <http://www.prezzicaseinlegno.com/cerreto-blockhaus/>
- <http://risponde.promolegno.com/uploads/pics/mecca2.jpg>
- <http://risponde.promolegno.com/domanda/data/vorrei-alcuni-chiarimenti-sulle-verifiche-di-resistenza-degli-incroci-delle-pareti-a-taglio-nel-sist/>
- <http://www.ordineingegneri.pistoia.it/wp-content/uploads/Leonardo-Negro-Caso-studio-n.3-Lezione-12-11-2010.pdf>
- <http://www.teknoproject.it/costruzione-case-legno/sistema-blockhaus.html>