

arch. Andrea BOZ  
[www.arkboz.com](http://www.arkboz.com)



**CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE**

**SOLUZIONI ANTISISMICHE NELLE COSTRUZIONI  
IN LEGNO E MISTE**

**arch. Andrea BOZ**

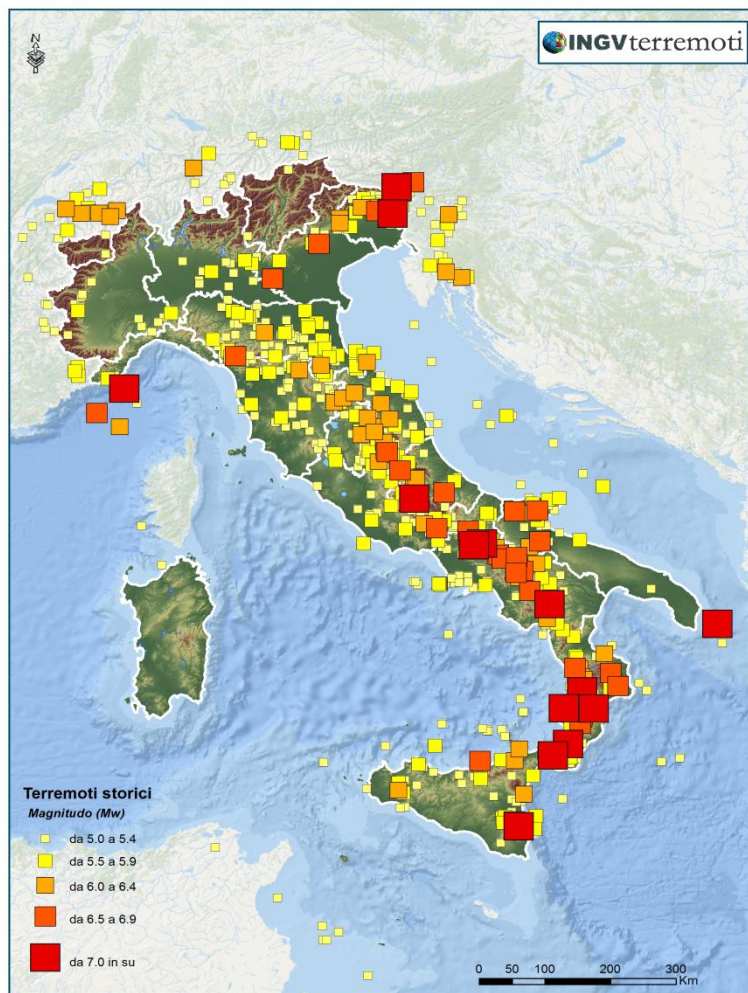


Via Nazionale, n°44  
33026 - Paluzza (Ud)  
Tel. 0433890282

[www.arkboz.com](http://www.arkboz.com)  
[andrea@4ad.it](mailto:andrea@4ad.it)



## PRINCIPALI CAUSE E RESPONSABILITA' COLLASSO STRUTTURALE



### 1) Cattiva esecuzione

***Impresa & Direzione lavori***

### 2) Scarsa duttilità

***Progettista***

### 3) Peso elevato

***Progettista***

| Magnitudo (M) – scala Richter | Data | Zona               | Danni causati                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7.1                           | 1908 | Stretto di Messina | Terremoto associato ad un violento tsunami, con run-up fino a 12 metri, dovuto principalmente ad una frana sottomarina originatasi davanti Giardini Naxos. Oltre 60 mila morti. |
| 7.0                           | 1915 | Marsica            | Grandi sconvolgimenti nel territorio, con frane e voragini. Oltre 40 mila morti.                                                                                                |
| 6.9                           | 1980 | Irpinia            | Coinvolti 5 milioni di persone. Strade e ferrovie bloccate. Circa 3000 morti, 250 mila senzatetto.                                                                              |



## SOLLECITAZIONI ECCEZIONALI DESTABILIZZANTI



Villa Fini distrutta da una tromba d'aria – Mira (Padova) Luglio 2015



## SOLLECITAZIONI ECCEZIONALI DESTABILIZZANTI



Effetti distruttivi sollecitazioni sismiche



12/01/2010 Terremoto di Haiti 7,3 Mj – 250/300.000 vittime Vs 17/01/1995 Terremoto di Kobe 7,0 Mj – 6434 vittime



## SOLLECITAZIONI ECCEZIONALI DESTABILIZZANTI



Collassi dovuti a coperture pesanti



2016 Terremoto in centro Italia – Immagini varie

## SOLLECITAZIONI ECCEZIONALI DESTABILIZZANTI



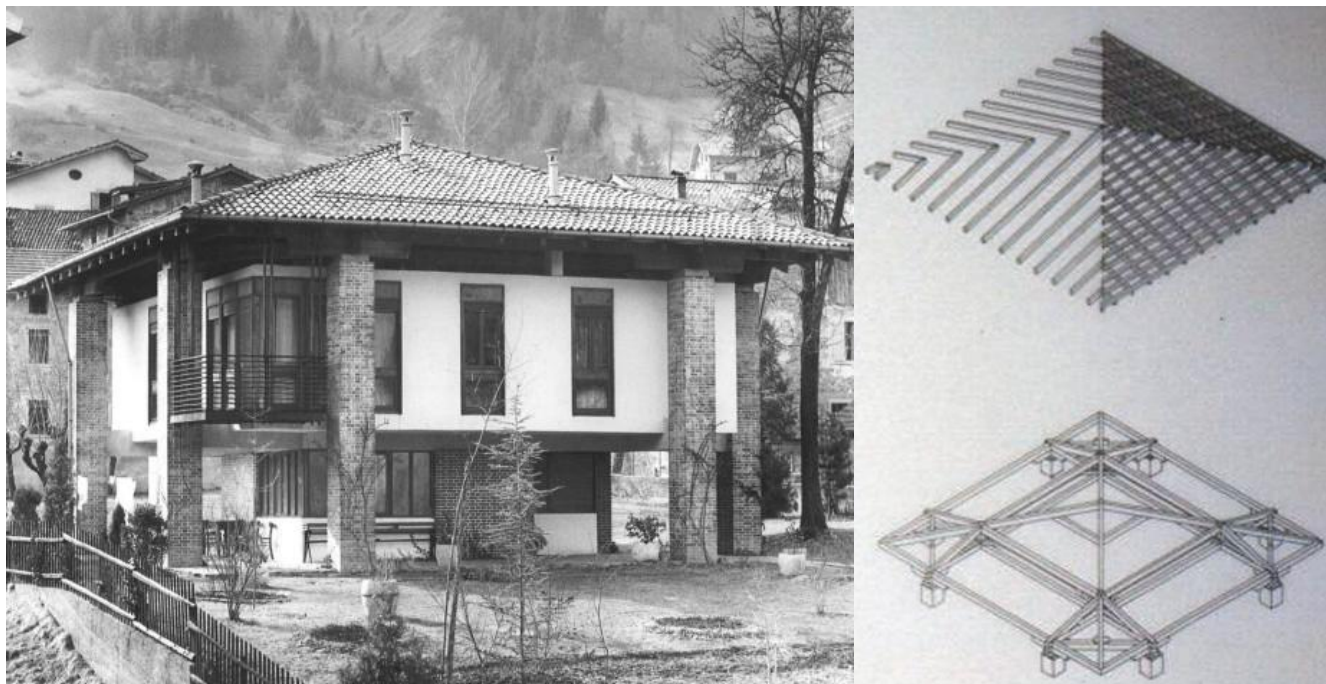
Collassi totale con schiacciamento dall'alto





## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

Arch. Gino VALLE – Casa Quaglia: “La nuvola” – Sutrio 1954 – Copertura in legno 150 mq



Struttura tetto in legno 30 kg/mq Vs Laterocemento 250 kg/mq

*Peso proprio permanente strutturale: 4500 kg Vs 37500 kg*

***Soluzione lignea: - 33 TONELLATE in copertura !!!***

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

Arch. Carlo MOLLINO – Casa Capriata – Progetto 1954 & Politecnico di Torino – Realizzazione 2011



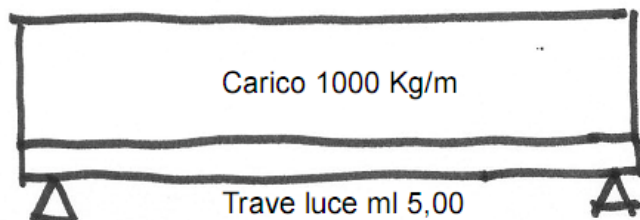
Casa Clima Oro –  $IE_{isc} > 10 \text{ kW/mq*anno}$  – 5740 gg –  $T_u = -18,5^\circ\text{C}$

Gressoney Saint Jean (Aosta) – 2100 m.s.l.m.



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

Raffronto prestazionale esemplificativo per elemento strutturale

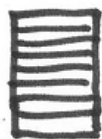


Leggero 500-600 Kg/mc

Basse forze inerziali

Tetto in legno = 70 Kg/mq

Tetto in laterocemento = 250 Kg/mq



Legno lamellare 1cat

Peso 600 Kg/mc

**Sez. 200x350 peso 42 Kg/m = 210**



Acciaio HEA Fe 360

Peso 7800 Kg/mc

**Sez. 180x171 peso 36 Kg/m = 180**



Cemento armato 3+3 ø16

Peso 2500 Kg/mc

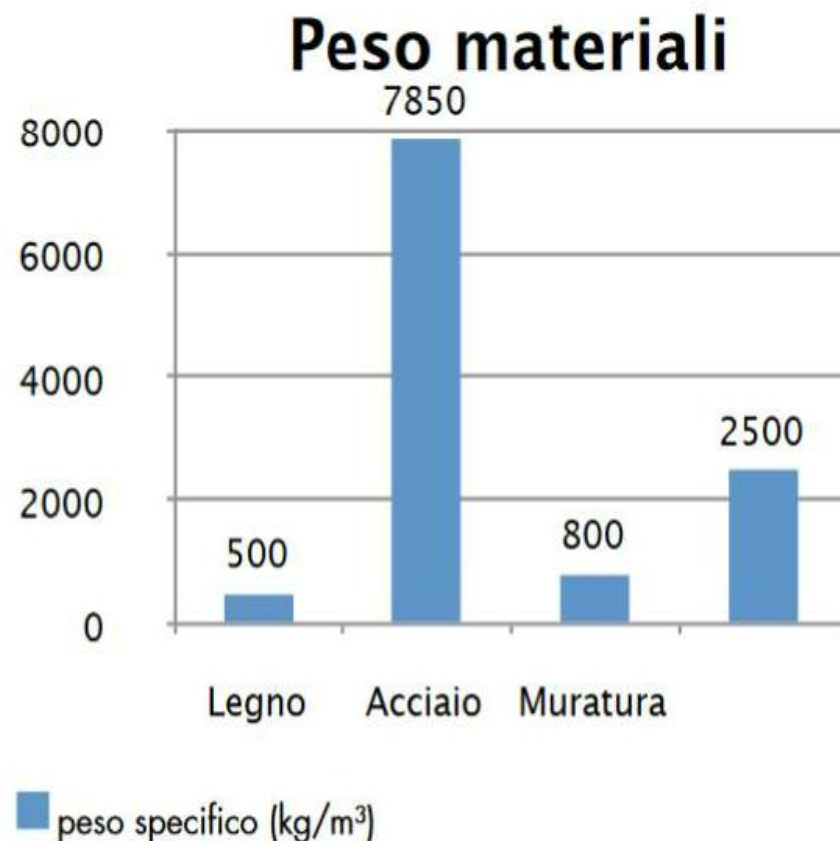
**Sez. 250x300 peso 188 Kg/m = 940**

Alto rapporto resistenza/peso

| PROPRIETA'                                         | LEGNO     | ACCIAIO   | CALCES<br>TRUZZO |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|------------------|
| Tensione<br>ammissibile $\sigma_{adm}$<br>[MPa]    | 10        | 160       | 10               |
| Peso specifico $\gamma_m$<br>[daN/m <sup>3</sup> ] | 600       | 7850      | 2400             |
| <b>Rapporto <math>\gamma_m/\sigma_{adm}</math></b> | <b>60</b> | <b>50</b> | <b>240</b>       |

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

Il sisma nasce come effetto di una accelerazione del sottosuolo indicata solitamente con il termine “a ” che va a sollecitare la massa dell’edificio “W” secondo la legge  $F=W*a$  che qui riportiamo notevolmente semplificata rispetto a quanto previsto dalla normativa. Ne segue che a pari valore di a si avrà una diminuzione della forza sismica al diminuire della massa W: cioè più l’edificio è leggero e minore sarà la forza sollecitante. Il valore di a è fornito dalla normativa (NTC '08).





## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. del 14.01.2008

**D.M. del 17.01.2018**

Stati limite;

Azioni sulle costruzioni;

Costruzioni civili ed industriali

–

Costruzioni di legno;

Progettazioni per azioni sismiche

–

Requisiti nei confronti degli stati limite;

Criteri generali di progettazione e modellazione;

Costruzioni di legno;

Allegati;

- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27);
- Eurocodice 1 – Basi di calcolo ed azioni sulle strutture;
- Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio;
- Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture in legno  
Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- 1. Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture;

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

11.7.10 – Procedure di qualificazione e accettazione

### DIRETTORE LAVORI: VERIFICA FORNITURA

- **Certificato CE** del legname da opera e l'**Attestato di qualificazione di Produttore**
- Eventuale attestato di qualificazione ministeriale per **Centro di trasformazione** a fronte della presenza di un **Direttore tecnico della produzione** per la trasformazione dei prodotti strutturali marchiati CE in elementi sagomati/pretagliati pronti alla posa
- **Marchiatura** del produttore su ogni elemento ed **Istruzioni di posa** allegate



ATTESTATO DI DENUNCIA DELL'ATTIVITA' di  
LAVORAZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI IN LEGNO

n. 27/11 - CL



## **PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO**

Classificazione a vista/meccanica legname secondo le resistenze caratteristiche a flessione

| <b>Classe d'appartenenza in base alla DIN 4074</b> | <b>Classe di resistenza secondo la EN338</b> |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>S7, MS7</b>                                     | <b>C16</b>                                   |
| <b>S10, MS10</b>                                   | <b>C24</b>                                   |
| <b>S13</b>                                         | <b>C30</b>                                   |
| <b>MS13</b>                                        | <b>C35</b>                                   |
| <b>MS17</b>                                        | <b>C40</b>                                   |

| <b>Classe d'appartenenza delle lamelle secondo la DIN 4074</b> | <b>Classe di resistenza del lamellare secondo le DIN</b> | <b>Classe d'appartenenza del lamellare secondo la EN 386</b> |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>S10-MS10</b>                                                | <b>BS11</b>                                              | <b>GL24</b>                                                  |
| <b>S13</b>                                                     | <b>BS14</b>                                              | <b>GL28</b>                                                  |
| <b>MS13</b>                                                    | <b>BS16</b>                                              | <b>GL32</b>                                                  |
| <b>MS17</b>                                                    | <b>BS18</b>                                              | <b>GL36</b>                                                  |

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Categorie strutturali e resistenze caratteristiche legno massiccio

| <b>LEGNO MASSICCIO</b>                                     |          |            |            |            |            |            |
|------------------------------------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pioppo, Abete rosso, abete bianco, pino, larice, Douglasia |          |            |            |            |            |            |
|                                                            |          | <b>C16</b> | <b>C24</b> | <b>C30</b> | <b>C35</b> | <b>C40</b> |
| Proprietà di resistenza in N/mm <sup>2</sup>               |          |            |            |            |            |            |
| Flessione                                                  | fm,k     | 16         | 24         | 30         | 35         | 40         |
| Trazione // alle fibre                                     | ft,0,k   | 10         | 14         | 18         | 21         | 24         |
| Trazione per ⊥ alle fibre                                  | ft,90,k  | 0,3        | 0,4        | 0,4        | 0,4        | 0,4        |
| Compressione // alle fibre                                 | Fc,0,k   | 17         | 21         | 23         | 25         | 26         |
| Compressione ⊥ alle fibre                                  | Fc,90,k  | 4,6        | 5,3        | 5,7        | 6,0        | 6,3        |
| Taglio                                                     | Fv,k     | 1,8        | 2,5        | 3,0        | 3,4        | 3,8        |
| Proprietà di rigidezza in KN/mm <sup>2</sup>               |          |            |            |            |            |            |
| Modulo di elasticità medio // alle fibre                   | E0,mean  | 8          | 11         | 12         | 13         | 14         |
| Modulo di elasticità // alle fibre                         | E0,05    | 5,4        | 7,4        | 8,0        | 8,7        | 9,4        |
| Modulo di elasticità ⊥ alle fibre                          | E90,mean | 0,27       | 0,37       | 0,40       | 0,43       | 0,47       |
| Modulo di taglio medio                                     | Gmean    | 0,50       | 0,69       | 0,75       | 0,81       | 0,88       |
| Massa volumica in Kg/m <sup>3</sup>                        |          |            |            |            |            |            |
| Massa volumica                                             | pk       | 310        | 350        | 380        | 400        | 420        |
| Massa volumica media                                       | pmean    | 370        | 420        | 460        | 480        | 500        |



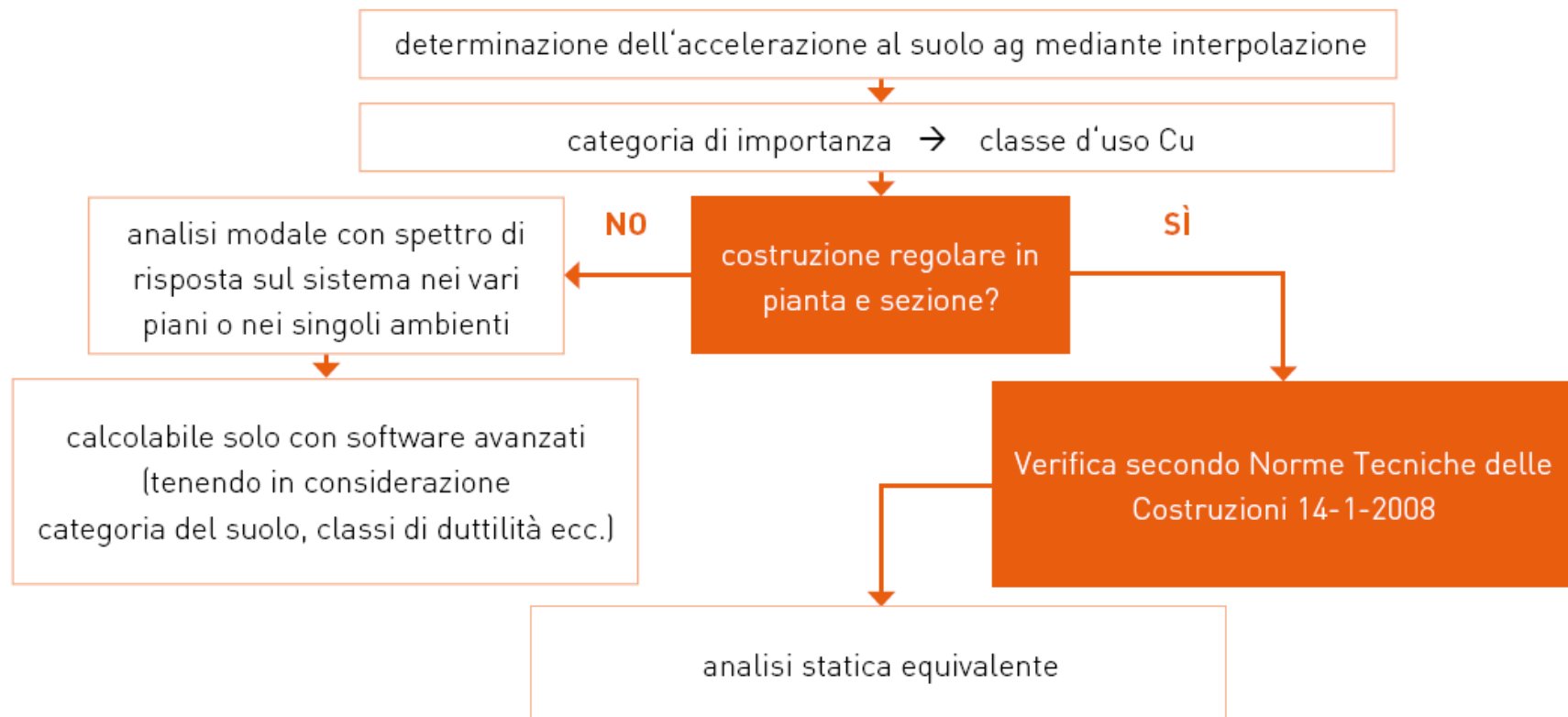
## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Categorie strutturali e resistenze caratteristiche legno lamellare

| LEGNO LAMELLARE                              |            |       |       |       |       |  |
|----------------------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|--|
|                                              |            | GL24  | GL28  | GL32  | GL36  |  |
| Proprietà di resistenza in N/mm <sup>2</sup> |            |       |       |       |       |  |
| Flessione                                    | fm,g,k     | 24    | 28    | 32    | 36    |  |
| Trazione // alle fibre                       | ft,0,g,k   | 16,5  | 19,5  | 22,5  | 26    |  |
| Trazione per ⊥ alle fibre                    | ft,90,g,k  | 0,40  | 0,45  | 0,50  | 0,60  |  |
| Compressione // alle fibre                   | Fc,0,g,k   | 24    | 26,5  | 29    | 31    |  |
| Compressione ⊥ alle fibre                    | Fc,90,g,k  | 2,7   | 3,0   | 3,3   | 3,6   |  |
| Taglio                                       | Fv,g,k     | 2,7   | 3,2   | 3,8   | 4,3   |  |
| Proprietà di rigidezza in N/mm <sup>2</sup>  |            |       |       |       |       |  |
| Modulo di elasticità medio // alle fibre     | E0,g,mean  | 11600 | 12600 | 13700 | 14700 |  |
| Modulo di elasticità // alle fibre           | E0,g,05    | 9400  | 10200 | 11100 | 11900 |  |
| Modulo di elasticità ⊥ alle fibre            | E90,g,mean | 390   | 420   | 460   | 490   |  |
| Modulo di taglio medio                       | G,g,mean   | 720   | 780   | 850   | 910   |  |
| Massa volumica in Kg/m <sup>3</sup>          |            |       |       |       |       |  |
| Massa volumica                               | Pg,k       | 380   | 410   | 430   | 450   |  |

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

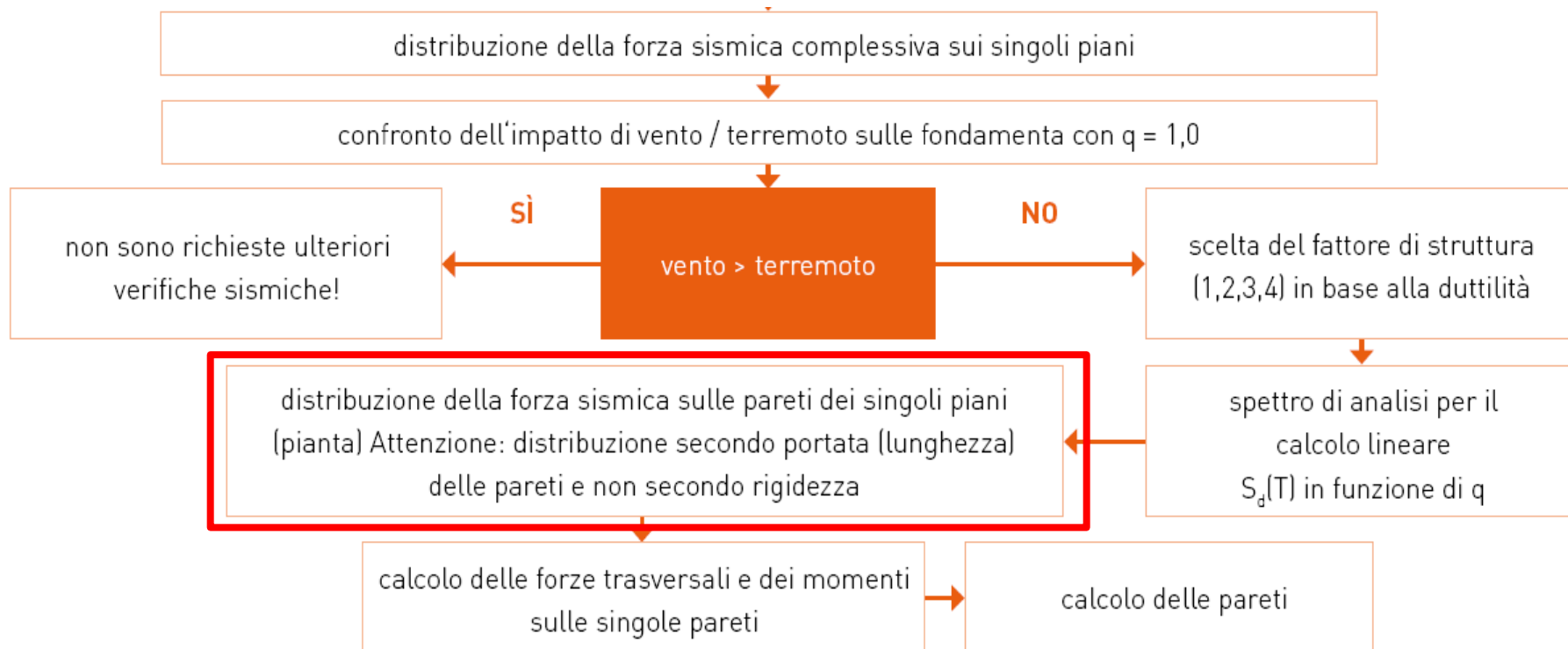
### ITER DI PROGETTAZIONE SISMICA



Tratto da: Costruzioni in legno antisismiche con le lastre in gesso fibra – *Fermacell* 2014

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### ITER DI PROGETTAZIONE SISMICA





## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### ITER DI PROGETTAZIONE SISMICA

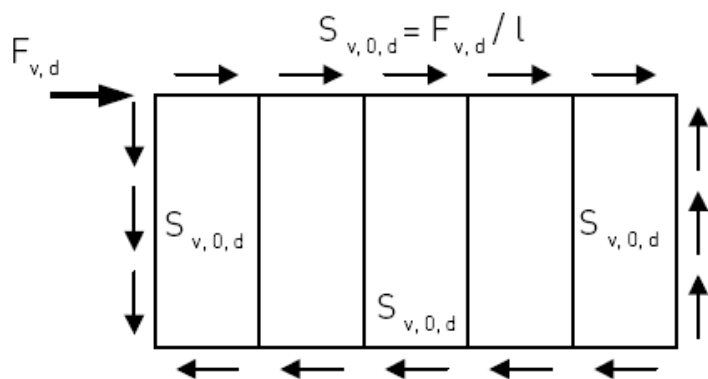
#### Distribuzione sulle singole pareti

Distribuzione pro quota dei carichi orizzontali sulle singole pareti in pianta secondo la portata (lunghezza) e non secondo la rigidezza.

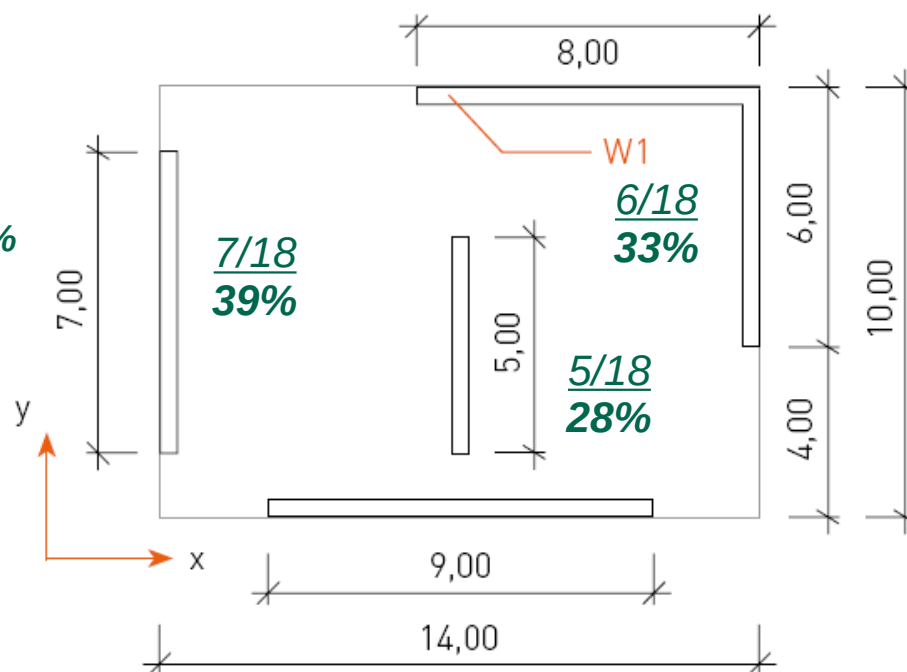
#### “Rapporto” tra rigidezze direzione Y:

$$(5^2+6^2+7^2)=110 - 5^2/110=23\% \quad 6^2/110=33\% \quad 7^2/110=44\%$$

#### Schema di principio: flusso di taglio



#### Pianta (tutti i piani)



Tratto da: Costruzioni in legno antisismiche con le lastre in gesso fibra – *Fermacell* 2014

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### FATTORE DI STRUTTURA

Azione sismica  tipologia di struttura

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (7.3.1)$$

Duttilità  dissipazione di energia

$q_0$  è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto  $\alpha_u/\alpha_1$  tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

$K_R$  è un fattore riduttivo 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.

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### FATTORE DI STRUTTURA COSTRUZIONI IN CA – $Max q_0=5,8$

| Tipologia strutturale                                           | $q_0$                   |                         |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                                                                 | CD''A''                 | CD''B''                 |
| <b>Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)</b>                  |                         |                         |
| Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)   | $4,5 \alpha_w/\alpha_1$ | $3,0 \alpha_w/\alpha_1$ |
| Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)                | $4,0 \alpha_w/\alpha_1$ | 3,0                     |
| Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)             | 3,0                     | 2,0                     |
| Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)                      | 2,0                     | 1,5                     |
| Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1) | 3,5                     | 2,5                     |

Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di  $\alpha_w/\alpha_1$ :

a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai

- strutture a telaio di un piano  $\alpha_w/\alpha_1 = 1,1$
- strutture a telaio con più piani ed una sola campata  $\alpha_w/\alpha_1 = 1,2$
- strutture a telaio con più piani e più campate  $\alpha_w/\alpha_1 = 1,3$

b) Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti

- strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale  $\alpha_w/\alpha_1 = 1,0$
- altre strutture a pareti non accoppiate  $\alpha_w/\alpha_1 = 1,1$
- strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti  $\alpha_w/\alpha_1 = 1,2$



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### FATTORE DI STRUTTURA COSTRUZIONI IN ACCIAIO – *Max $q_0=6,5$*

| Tipologia strutturale                                                            | $q_0$                   |         |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|
|                                                                                  | CD''A''                 | CD''B'' |
| Costruzioni d'acciaio (§ 7.5.2.2) e composte di acciaio-calcestruzzo (§ 7.6.2.2) |                         |         |
| Strutture intelaiate                                                             | 5,0 $\alpha_u/\alpha_1$ | 4,0     |
| Strutture con controventi eccentrici                                             |                         |         |
| Strutture con controventi concentrici a diagonale tesa attiva                    | 4,0                     | 4,0     |
| Strutture con controventi concentrici a V                                        | 2,5                     | 2,0     |
| Strutture a mensola o a pendolo inverso                                          | 2,0 $\alpha_u/\alpha_1$ | 2,0     |
| Strutture intelaiate con controventi concentrici                                 | 4,0 $\alpha_u/\alpha_1$ | 4,0     |
| Strutture intelaiate con tamponature in murature                                 | 2,0                     | 2,0     |

Per le strutture regolari in pianta possono essere adottati i seguenti valori di  $\alpha_u/\alpha_1$ :

- edifici a un piano  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$
- edifici a telaio a più piani, con una sola campata  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
- edifici a telaio con più piani e più campate  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$
- edifici con controventi eccentrici a più piani  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$
- edifici con strutture a mensola o a pendolo inverso  $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### **FATTORE DI STRUTTURA COSTRUZIONI IN LEGNO – $Max q_0=5,0$**

| Tipologia strutturale                                                                                                                                                           | $q_0$   |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
|                                                                                                                                                                                 | CD''A'' | CD''B'' |
| <b>Costruzioni di legno (§ 7.7.3)</b>                                                                                                                                           |         |         |
| Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni<br>Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati        | 3,0     | 2,0     |
| Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico                                                                                                                      | 4,0     | 2,5     |
| Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.                                                                 | 5,0     | 3,0     |
| Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni<br>Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti |         | 2,5     |
| Strutture cosiddette miste, con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti                                                                             |         |         |
| Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali                                              |         | 1,5     |

**STRUTTURE INTELAiate  $q_0=5,0$  vs STRUTTURE XLAM  $q_0=2,5$**

## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Sezione Prima



**OGGETTO:** Richieste di chiarimenti relativi all'applicazione del DM 14/01/2008 e relativa Circolare Ministero Infrastrutture e Trasporti n. 617 del 2 febbraio 2009.

Adunanza del 19 luglio 2011

Protocollo 53/2011

13) *Nelle zone sismica 2, 3 e 4 è possibile realizzare una struttura con un piano interrato in c.a. ed un piano fuori terra in legno (ad esempio case prefabbricate)? A quale tipologia strutturale dovrebbe essere associata tale struttura? Quali dovrebbero essere i criteri di verifica ed i particolari costruttivi da rispettare?*

14) *Nelle zone sismica 2, 3 e 4 è possibile realizzare una struttura a due piani fuori terra con il piano terra in c.a. ed il piano superiore in legno (ad esempio case prefabbricate)? A quale tipologia strutturale dovrebbe essere associata tale struttura? Quali dovrebbero essere i criteri di verifica ed i particolari costruttivi da rispettare?*

13)

E' certamente possibile realizzare una struttura in legno che spicca da una struttura interrata in c.a., come avviene normalmente anche per le costruzioni in acciaio.

In tal caso il coefficiente di struttura sarà determinato dalla tipologia della struttura in elevazione, che verrà progettata rispettando tutte le prescrizioni costruttive che le competono quanto a tipologia e a materiale impiegato.

14)

Si veda la risposta al quesito n. 13.



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

NTC 2018 – Circolare S.LL.PP del 21 gennaio 2019

### ***C7.7.3 Tipologie strutturali***

#### **a) Sistemi strutturali in parallelo**

*“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.*

*In alternativa dovranno essere utilizzate analisi di tipo non lineare”.*

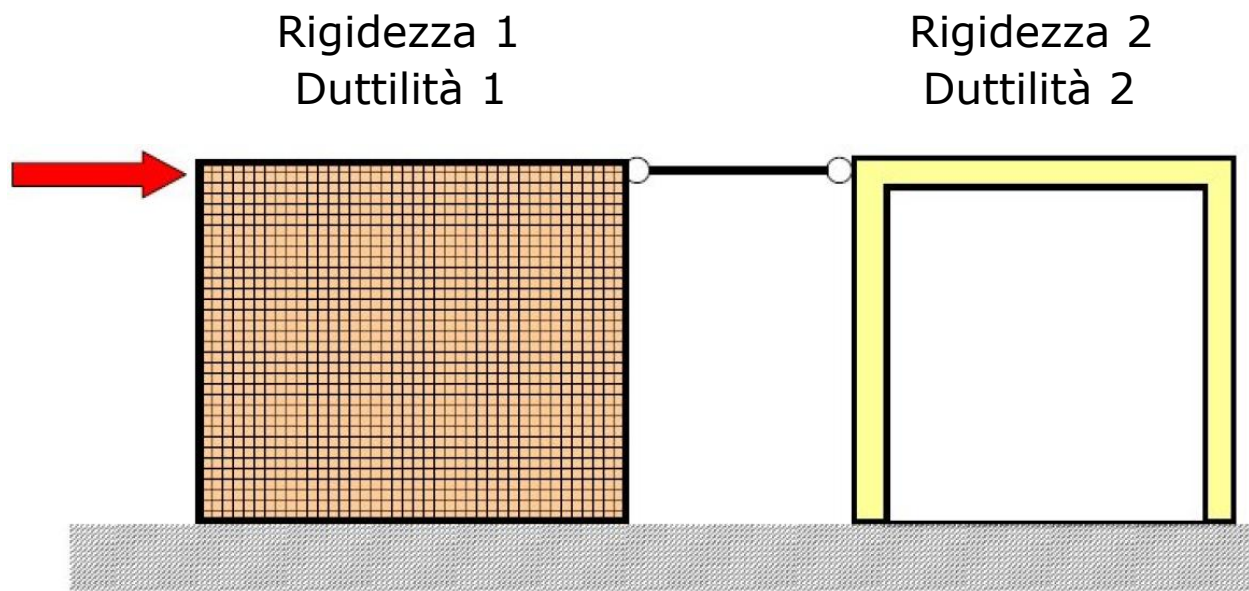
#### **b) Sistemi strutturali sovrapposti**

*“È consentito realizzare una struttura in legno che sormonti una struttura realizzata con altra tipologia di materiale (calcestruzzo armato, muratura, acciaio, ecc)...*

*In generale, nel caso in cui la **sottostruttura possa essere considerata rigida** rispetto alla sovrastruttura in legno, progettata come dissipativa, **l’analisi delle azioni sulla sovrastruttura in legno può essere eseguita indipendentemente dalla sottostruttura**, utilizzando i fattori di struttura nella Tab. 7.3.II delle NTC relativi alle strutture in legno.*

## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

**Una struttura si intende mista ai fini sismici quando elementi di diversa natura strutturale lavorano insieme (in parallelo) per trasferire l'azione sismica.**

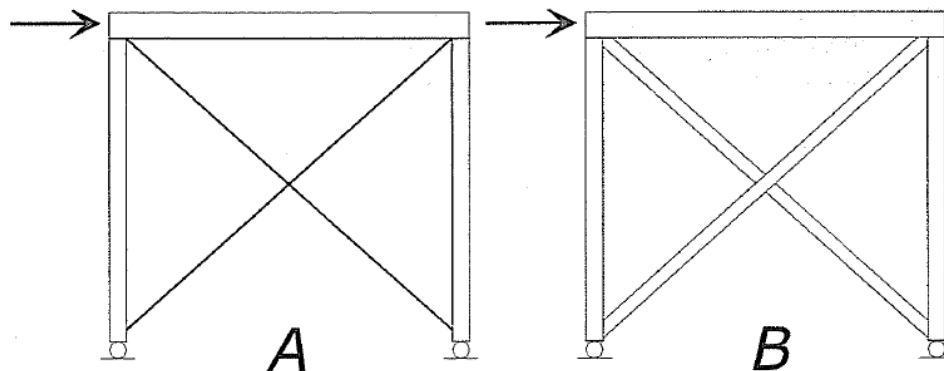


## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Strutture impropriamente considerate miste

A) Controvento a croce  
in acciaio

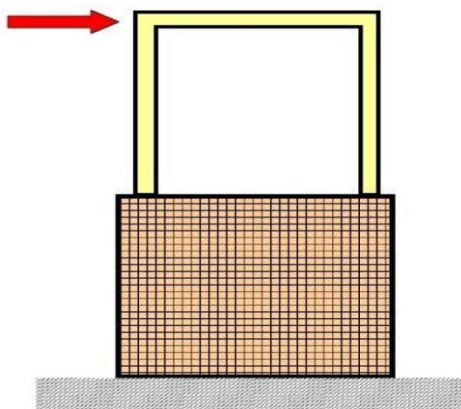
B) Controvento a croce  
in legno





## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Strutture impropriamente considerate miste



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

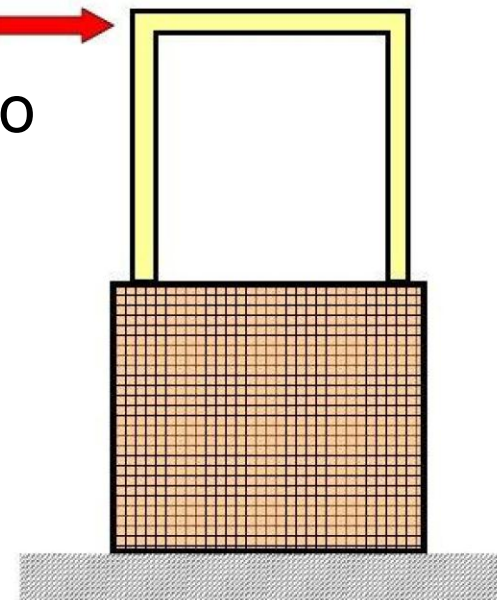
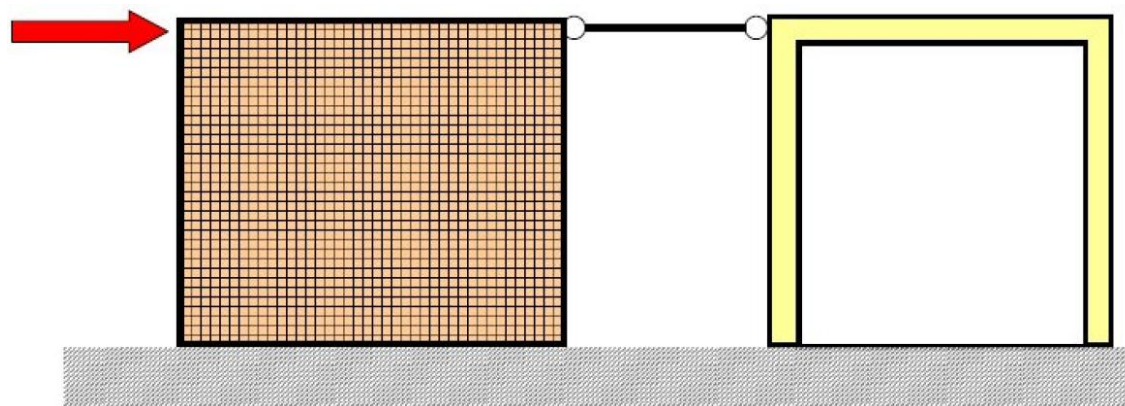
1) Se la sottostruttura è rigida 1 →  
si utilizzano fattori  $q$  diversi per piano

2) A favore di sicurezza si adotta

Il fattore di struttura minore

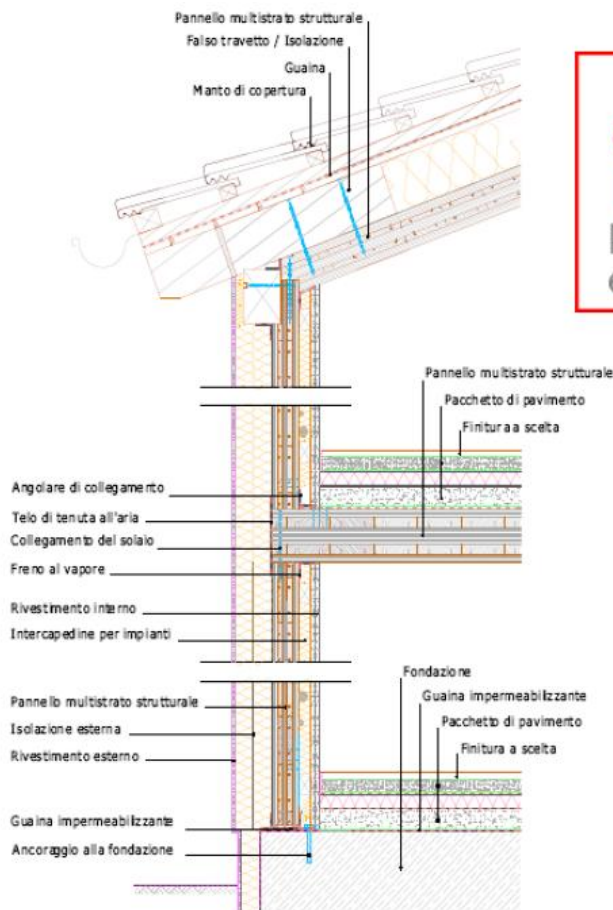
*Altrimenti analisi di tipo non lineare*

2 →

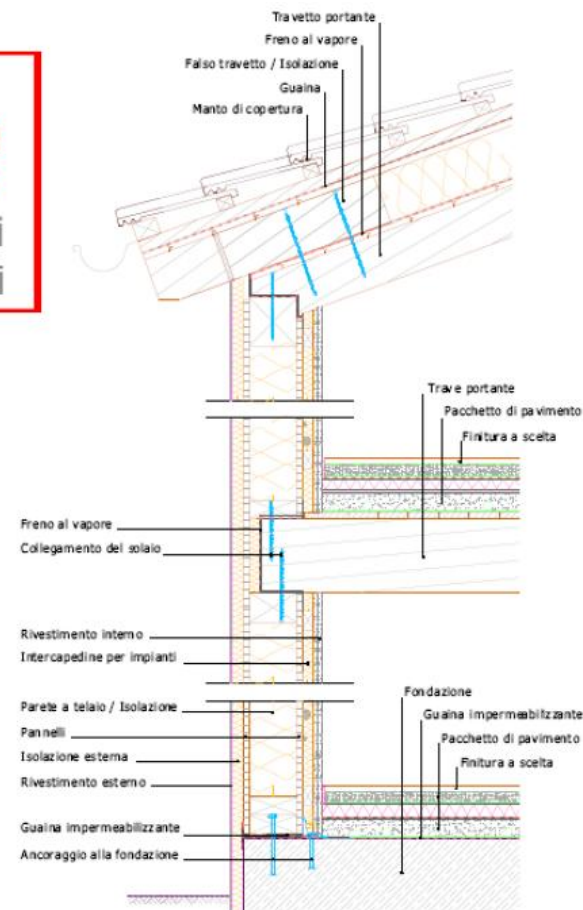




## PRESTAZIONI ENERGETICHE SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI



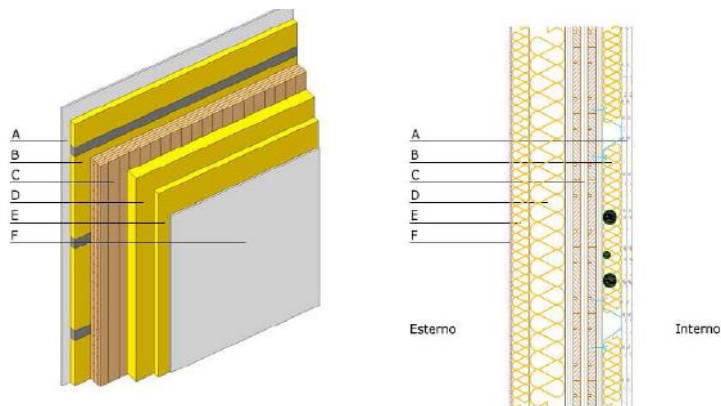
**XLAM  
o telaio e  
pannelli:**  
prestazioni  
equivalenti



Tratto da: Manuale tecnico – *Consorzio Stile 21*



## PRESTAZIONI ENERGETICHE SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI



**Stratigrafia**

| Materiale                                                    | Spessore<br>(mm) |
|--------------------------------------------------------------|------------------|
| A Pannelli di cartongesso + Idropittura SOLAS M20            | 2x12,5           |
| B Intercapepine per impianti / CELENIT Vital <sup>1)</sup>   | 40               |
| C Pannello multistrato strutturale (90-120 mm) <sup>2)</sup> | 90               |
| D CELENIT FL/150                                             | 80               |
| E CELENIT FL/250 C                                           | 40               |
| F Rasatura + Idropittura SOLAS Forte M15                     | 5                |
|                                                              | 280              |

Trasmittanza: 0,21 W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento: 14 h

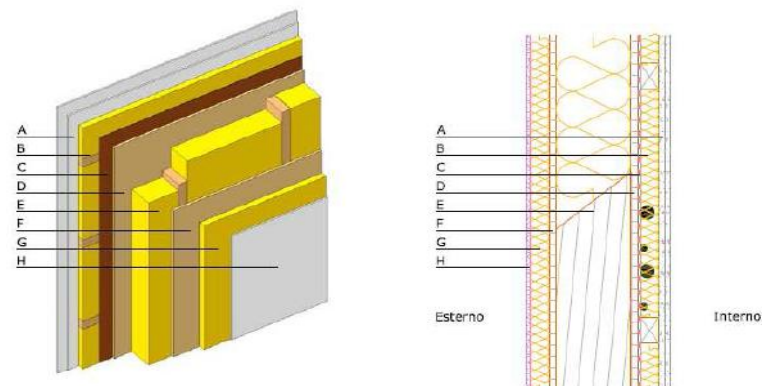
Attenuazione: 0,11

Diffusione vapore: 8,1\*10<sup>-5</sup> g/m<sup>2</sup>hPa

Isolamento acustico: 54 dB

Resistenza al fuoco: 90'

Spessore: 280 mm



**Stratigrafia**

| Materiale                                         | Spessore<br>(mm) |
|---------------------------------------------------|------------------|
| A Pannelli di cartongesso + Idropittura SOLAS M20 | 2x12,5           |
| B Intercapepine per impianti / CELENIT Vital      | 40               |
| C Freno vapore ICOPAL De'X Multi                  | -                |
| D Pannello OSB                                    | 15               |
| E Struttura in legno / Isolante                   | 160              |
| F Pannello OSB                                    | 15               |
| G CELENIT FL/250 C                                | 40               |
| H Rasatura + Idropittura SOLAS Forte M15          | 5                |
|                                                   | 300              |

Trasmittanza: 0,17 W/m<sup>2</sup>K

Sfasamento: 12 h

Attenuazione: 0,13

Diffusione vapore: 9,2\*10<sup>-5</sup> g/m<sup>2</sup>hPa

Isolamento acustico: 52 dB

Resistenza al fuoco: 60'

Spessore: 300 mm

## PRESTAZIONI ENERGETICHE SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI

Parete in compensato di tavole sp. 85 mm  
+ cappotto in materiale fibroso sp. 90 mm

$U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\gamma_{ie} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\varphi = 7\text{h}13'$

$f_a = 0,47$



Parete in compensato di tavole sp. 85 mm  
+ Celenit FL/150 sp. 80 mm  
+ Celenit N/C sp. 25 mm

$U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\gamma_{ie} = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\varphi = 11\text{h}49'$

$f_a = 0,31$



SFASAMENTO\*  
(ore)

$\varphi > 12$

$12 > \varphi > 10$

$10 > \varphi > 8$

$8 > \varphi > 6$

$\varphi < 6$

ATTENUAZIONE\*\*

$f_a < 0,15$

$0,15 < f_a < 0,30$

$0,30 < f_a < 0,40$

$0,40 < f_a < 0,60$

$f_a > 0,60$

PRESTAZIONI

ottime

buone

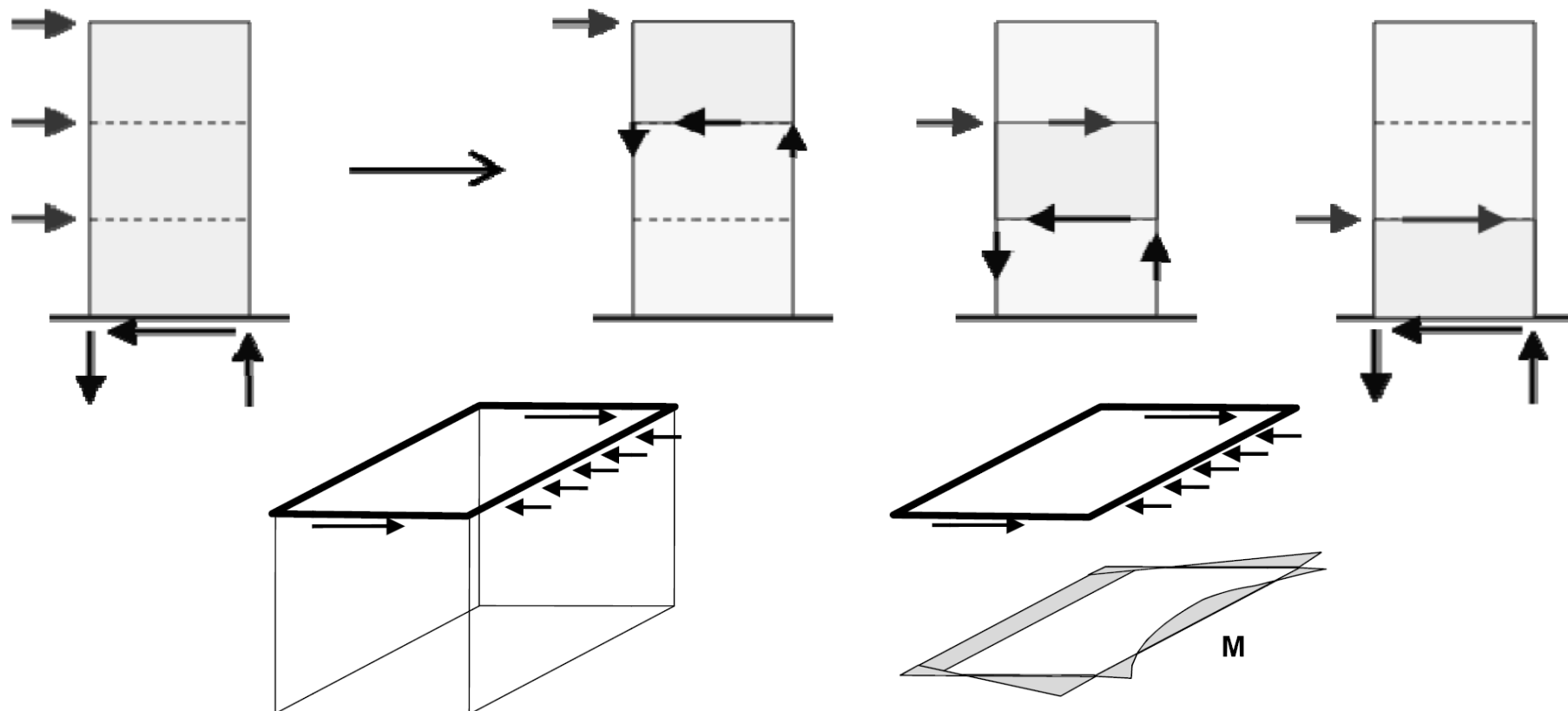
medie

sufficienti

mediocri



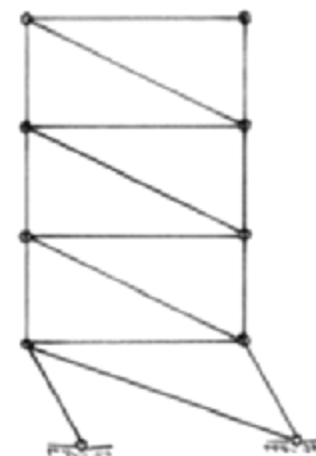
## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



Tratto da: Aspetti strutturali della copertura e del tetto in un edificio – ing. Andrea Bernasconi - promo legno

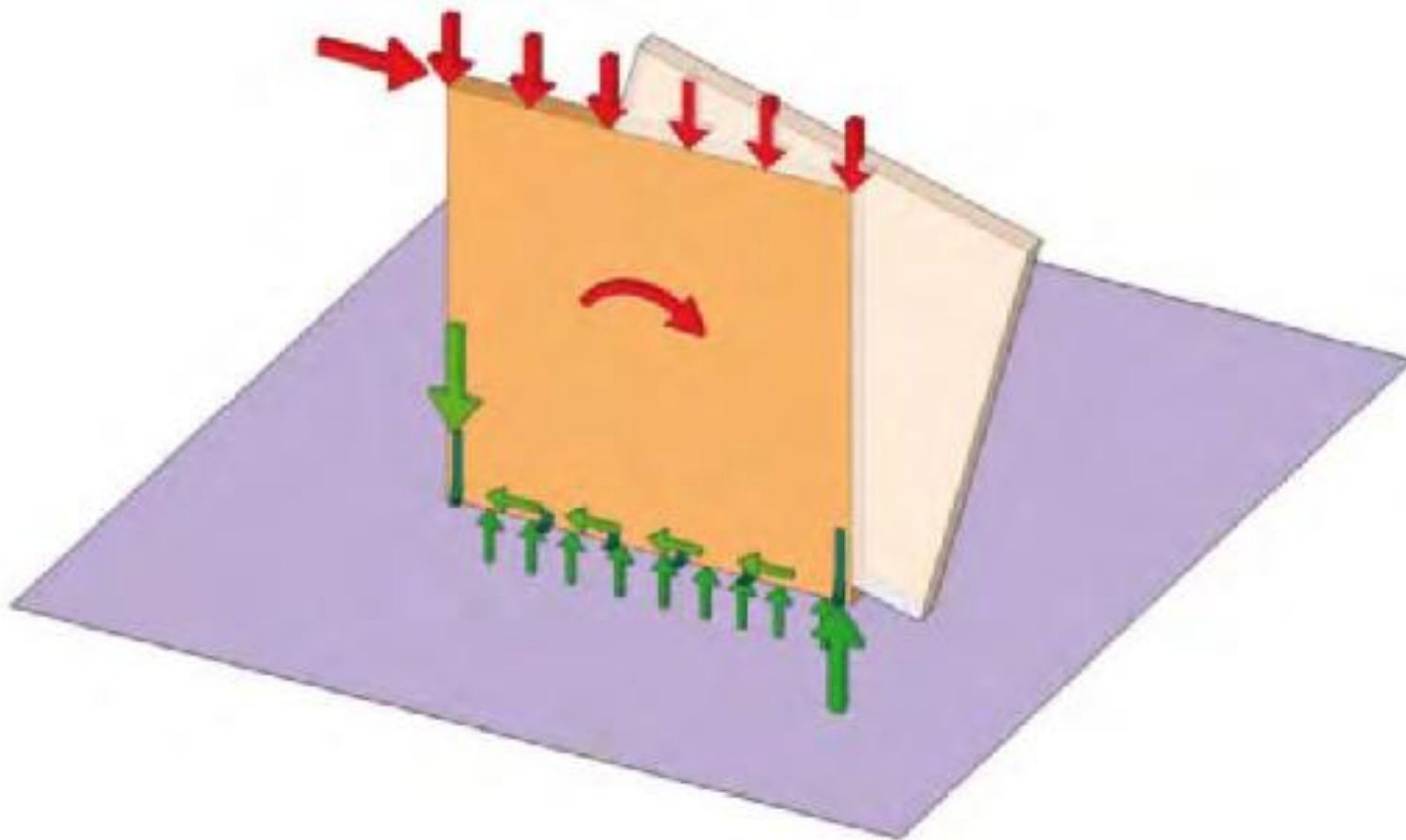


## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



Prof. dott. ing. Ario Ceccotti - CNR - IVALSA – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree

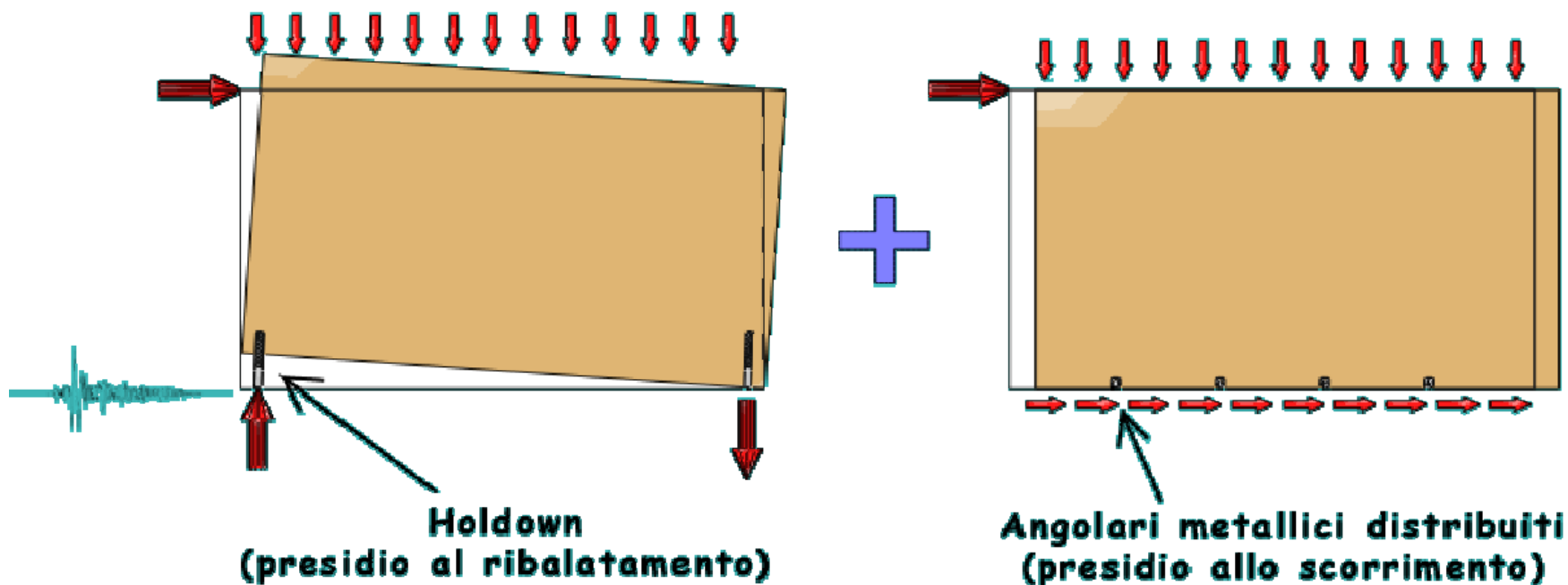
## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



Tratto da Il libro del carpentiere – ing. Franco Piva - Ergodomus

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

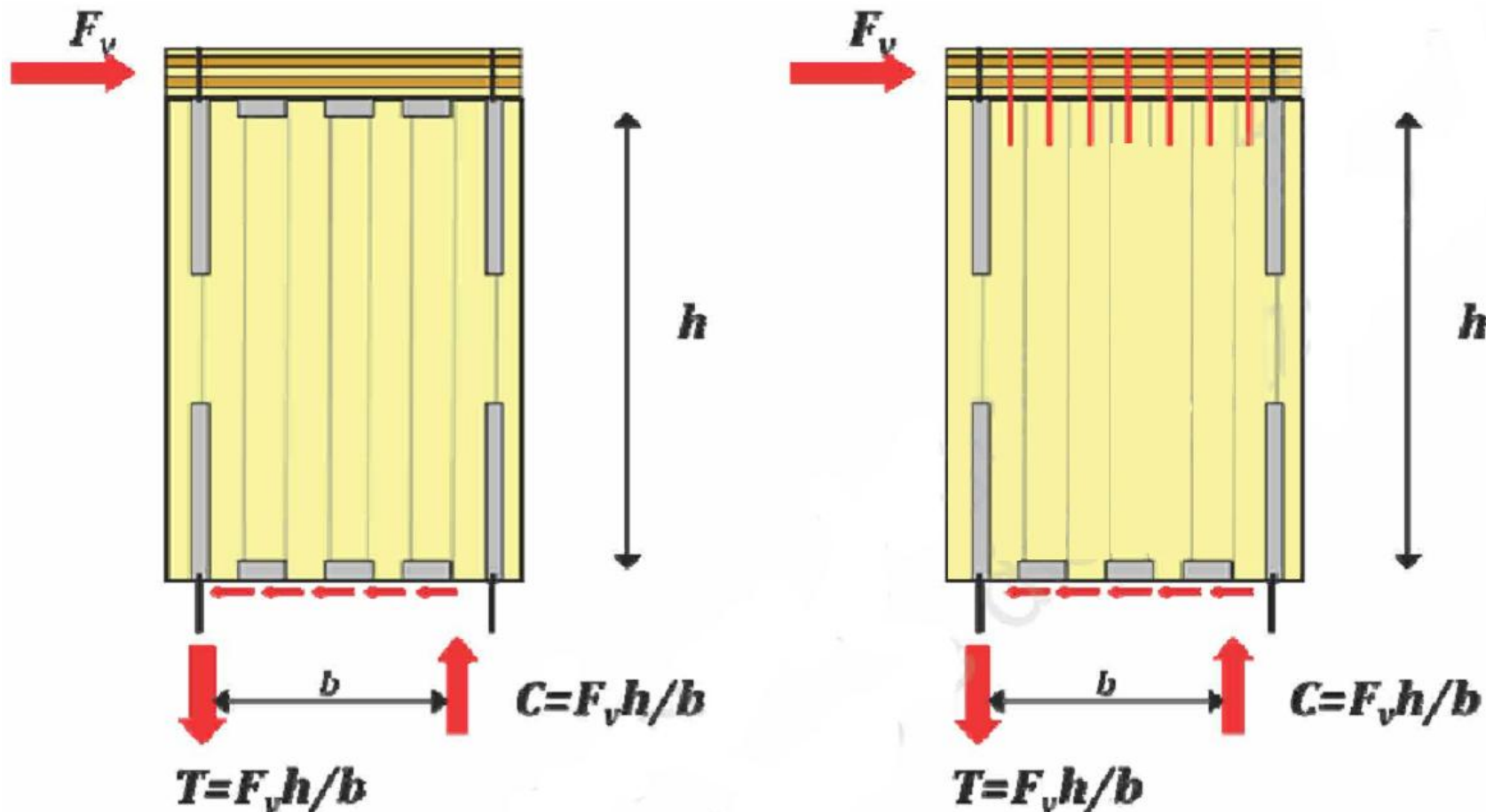
Schema funzionale elementi di collegamento principali



Tratto da: Edifici in legno in X-lam: sismica – ing. Maurizio Follesa - promo\_legno



## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

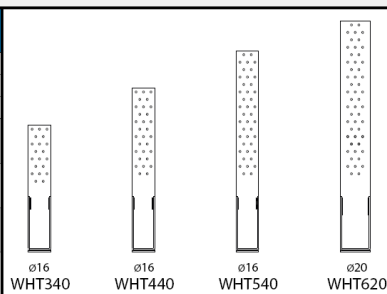


Tratto da: Edifici in legno in X-lam: connessioni e collegamenti – ing. Roberto Tomasi - promo\_legno

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

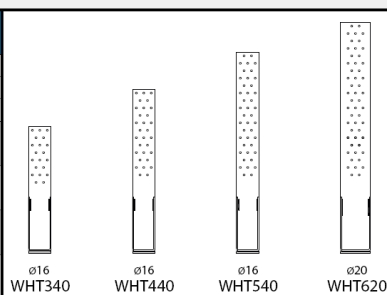
### DATI TECNICI - GIUNZIONE ELEMENTO VERTICALE SU LEGNO

| WHT - CHIODATURA PARZIALE |                                    |               | Resistenza caratteristica a trazione |                              |                             |                                |
|---------------------------|------------------------------------|---------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| TYP WHT                   | Fissaggio Fori Ø 5<br>(connettori) |               | R <sub>k</sub> lato legno            |                              | R <sub>k</sub> lato acciaio |                                |
|                           |                                    |               | n <sub>conn</sub><br>[pz.]           | R <sub>k</sub> legno<br>[kN] | Rondella                    | R <sub>k</sub> acciaio<br>[kN] |
|                           | Chiodi Anker                       | Viti Speciali |                                      |                              |                             |                                |
| 340                       | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 14                                   | 22,0                         | -                           | 42,0                           |
|                           | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 27,0                         |                             |                                |
| 440                       | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 20                                   | 31,4                         | -                           | 42,0                           |
|                           | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 38,6                         |                             |                                |
| 540                       | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 26                                   | 40,8                         | -                           | 42,0                           |
|                           | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 50,2                         |                             |                                |
| 620                       | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 32                                   | 50,2                         | -                           | 42,0                           |
|                           | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 61,8                         |                             |                                |



Utilizzando 2 angolari TYP WHT per singola giunzione, le resistenze di progetto raddoppiano.

| WHT - CHIODATURA TOTALE |                                    |               | Resistenza caratteristica a trazione |                              |                             |                                |
|-------------------------|------------------------------------|---------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| TYP WHT                 | Fissaggio Fori Ø 5<br>(connettori) |               | R <sub>k</sub> lato legno            |                              | R <sub>k</sub> lato acciaio |                                |
|                         |                                    |               | n <sub>conn</sub><br>[pz.]           | R <sub>k</sub> legno<br>[kN] | Rondella                    | R <sub>k</sub> acciaio<br>[kN] |
|                         | Chiodi Anker                       | Viti Speciali |                                      |                              |                             |                                |
| 340                     | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 20                                   | 31,4                         | -                           | 42,0                           |
|                         | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 38,6                         |                             |                                |
| 440                     | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 30                                   | 47,1                         | * H                         | 63,4                           |
|                         | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 57,9                         | 10 mm                       |                                |
| 540                     | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 42                                   | 65,9                         | * H                         | 63,4                           |
|                         | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 81,1                         | 10 mm                       |                                |
| 620                     | Ø 4,0 x 40                         | Ø 5,0 x 40    | 52                                   | 81,6                         | ** H                        | 85,2                           |
|                         | Ø 4,0 x 60                         | Ø 5,0 x 50    |                                      | 100,4                        | 20 mm                       |                                |



\* Rondella UL505610 \*\* Rondella UL570720

In accordo all'ETA -10/0010 la resistenza caratteristica lato legno è calcolabile come prodotto tra il numero di connettori inseriti (n<sub>conn</sub>) e la portata del singolo connettore:

$$R_{k, \text{legno}} = n_{\text{conn}} \cdot R_{k, \text{conn}}$$

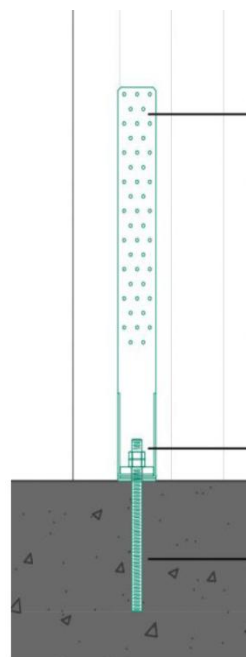
dove la portata del singolo connettore è pari ai valori riportati nella tabella a fianco. La resistenza di progetto R<sub>d</sub> dell'angolare WHT si determina come il valore minimo tra la resistenza di progetto dei connettori lato legno e la resistenza di progetto dell'angolare lato acciaio. I coefficienti K<sub>mod</sub> e Y<sub>m</sub> sono da assumersi in funzione della norma utilizzata per il calcolo.

| Resistenza connettori |            |                      |
|-----------------------|------------|----------------------|
| Chiodi                | Viti       | R <sub>k, conn</sub> |
| Ø 4,0 x 40            | Ø 5,0 x 40 | 1,57 kN              |
| Ø 4,0 x 60            | Ø 5,0 x 50 | 1,93 kN              |

$$R_{d, \text{WHT}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{k, \text{legno}} \cdot K_{\text{mod}}}{Y_{m, \text{conn}}} \\ \frac{R_{k, \text{acciaio}}}{Y_{m, \text{acciaio}}} \end{array} \right.$$

Tratto da: Scheda tecnica angolare per forze di trazione WHT – Catalogo Rothofixing

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



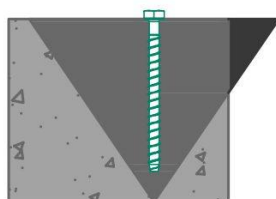
$$R_{d, \text{legno}} = \frac{R_{1, k \text{ legno}} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = 57,93 \text{ kN}$$

**1kN = 100 kg**

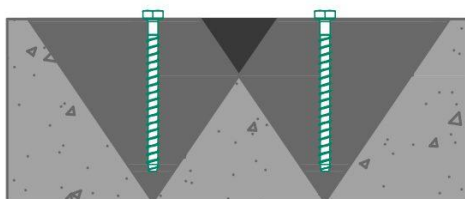
$$R_{d, \text{acciaio/piatto hold-down}} = \frac{R_{1, k \text{ acciaio}}}{\gamma_{\text{acciaio}}} = 50,72 \text{ kN}$$

$$R_{d, \text{cls}} = \frac{R_{1, k \text{ cls}}}{\gamma_{\text{cls}}} = 48,48 \text{ kN}$$

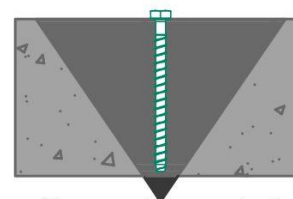
min =  $R_d = 48,48$



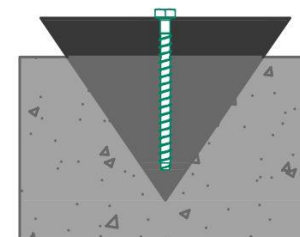
Distanza dal bordo insufficiente



Interasse inadeguato



Spessore del supporto di base insufficiente



Ridotta profondità di ancoraggio

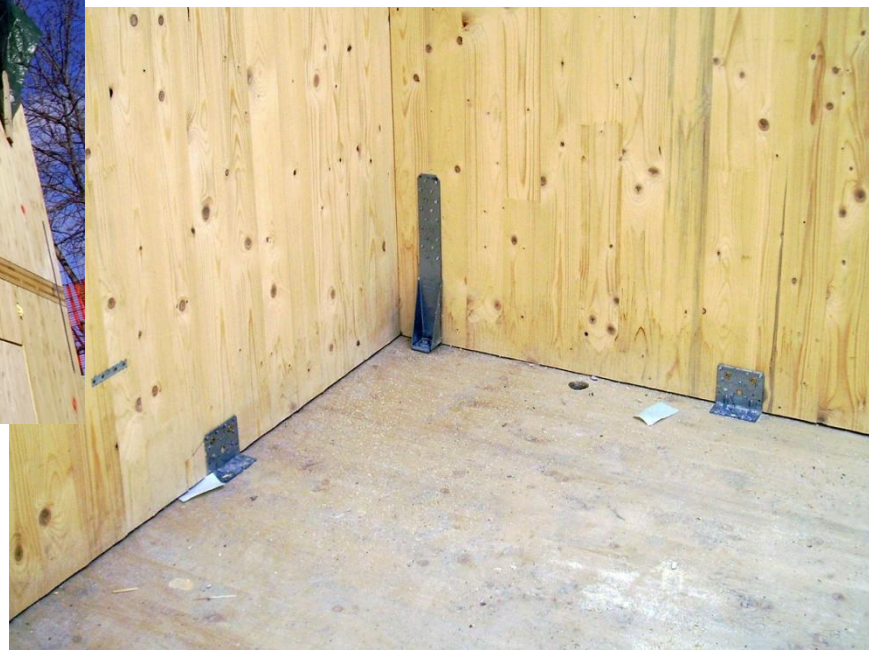
Tratto da: 1+1+1+1+1 ≠ 5 !? – Ing. Franco Piva Ergodomus



## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

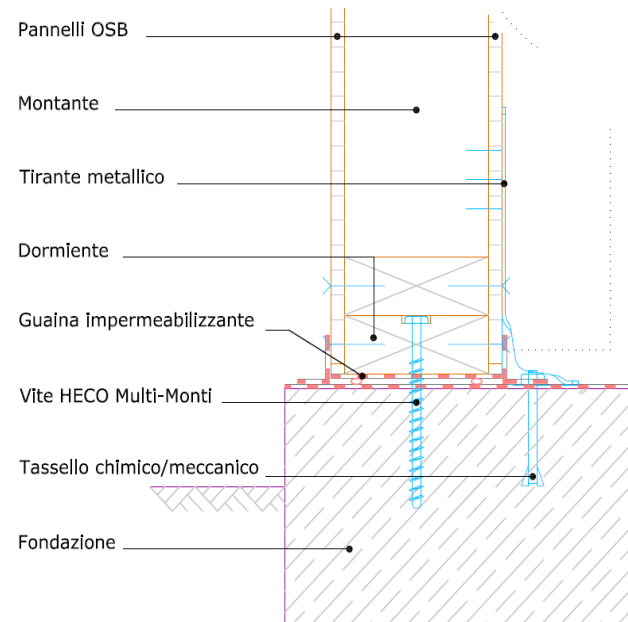
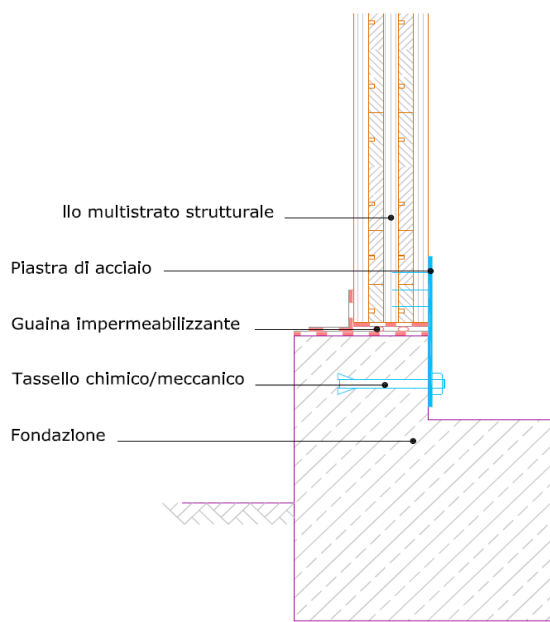
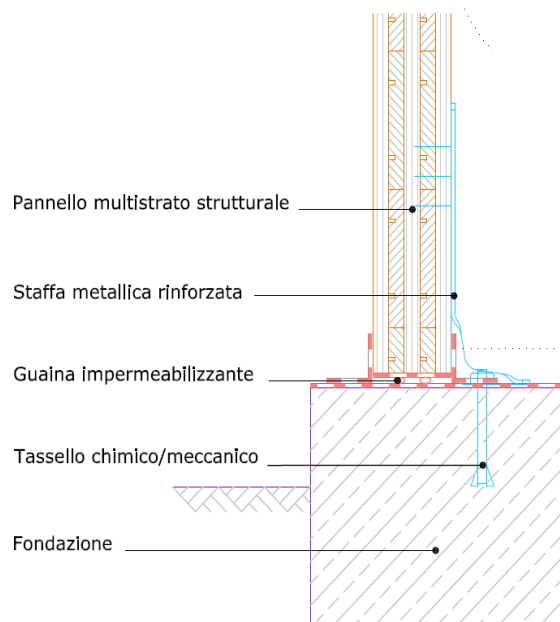


Esempi di ancoraggi tipo per struttura X-lam



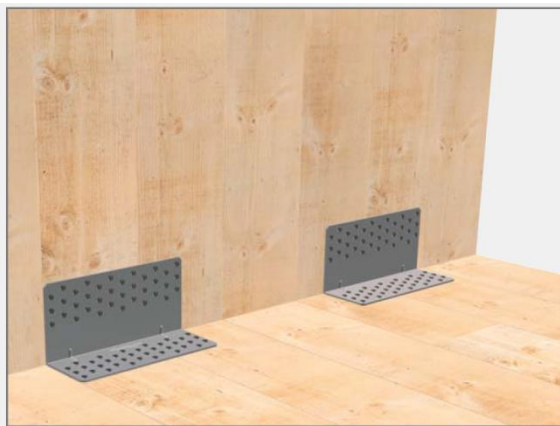
## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

### Sistemi di giunzione attacchi a terra



Tratto da: Manuale tecnico – Consorzio Stile 21

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



Giunzione legno-legno con angolare TITAN



Fissaggio trave di banchina



Giunzione cemento-legno con angolare TITAN



Giunzione cemento-legno con piastra TITAN

Tratto da: Scheda tecnica angolare per forze di taglio TITAN– *Catalogo Rothofixing*



## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

Analisi ponte termico nodo collegamento a terra struttura intelaiata con dormiente in legno

|              | U      | L [m] | U*L    |
|--------------|--------|-------|--------|
| Parete       | 0,1620 | 2,250 | 0,3645 |
| Pavimento    | 0,3610 | 2,064 | 0,7451 |
| $\Sigma U*L$ |        |       | 1,1096 |

|         | Total Length= | U-factor= | L [m] | L2D    |
|---------|---------------|-----------|-------|--------|
| Interno | 3645          | 0,223076  | 3,645 | 0,8131 |

$$\psi_i + \Sigma U*L = L2D$$

$$\psi_i = L2D - \Sigma U*L$$

$$\psi_i = -0,2965$$

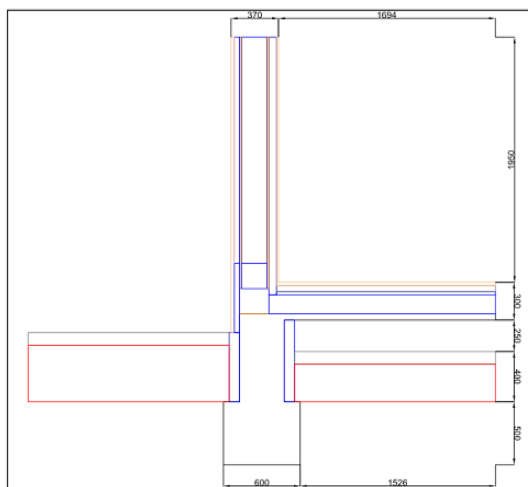


Diagramma isoterme

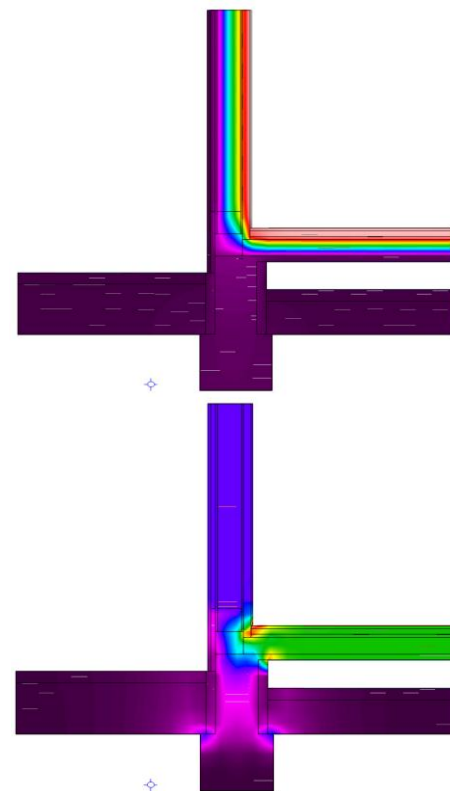


Diagramma flussi di calore

Analisi caso studio - Abitazione unifamiliare – Località Cormòns (Gorizia) – Diagnosi energetica arch. Andrea Boz

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

Analisi ponte termico nodo collegamento a terra struttura intelaiata con dente in calcestruzzo

|              | U      | L [m] | U*L    |
|--------------|--------|-------|--------|
| Parete       | 0,1620 | 2,250 | 0,3645 |
| Pavimento    | 0,3610 | 2,064 | 0,7451 |
| $\Sigma U*L$ |        |       | 1,1096 |

|         | Total Length= | U-factor= | L [m] | L2D    |
|---------|---------------|-----------|-------|--------|
| Interno | 3645          | 0,230737  | 3,645 | 0,8410 |

$$\psi + \Sigma U*L = L2D$$

$$\psi = L2D - \Sigma U*L$$

$$\psi = -0,2686$$

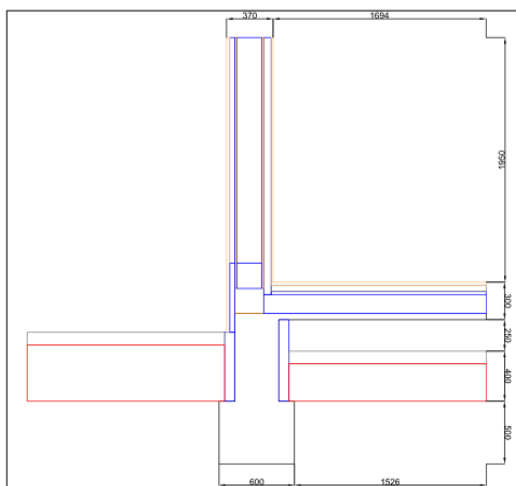


Diagramma isoterme

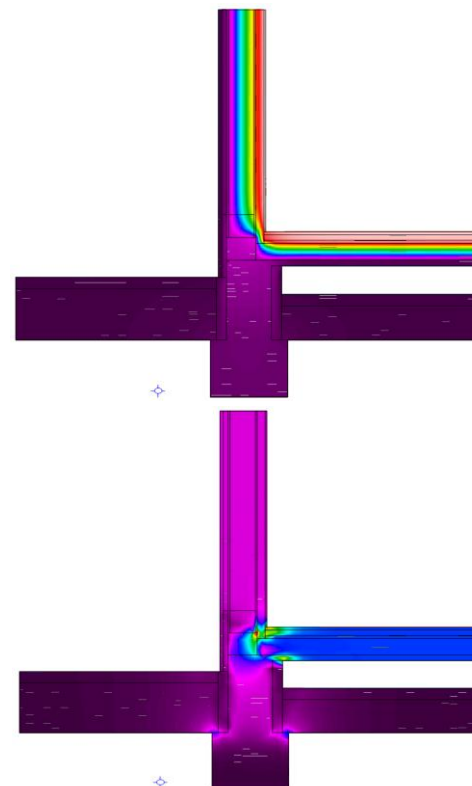


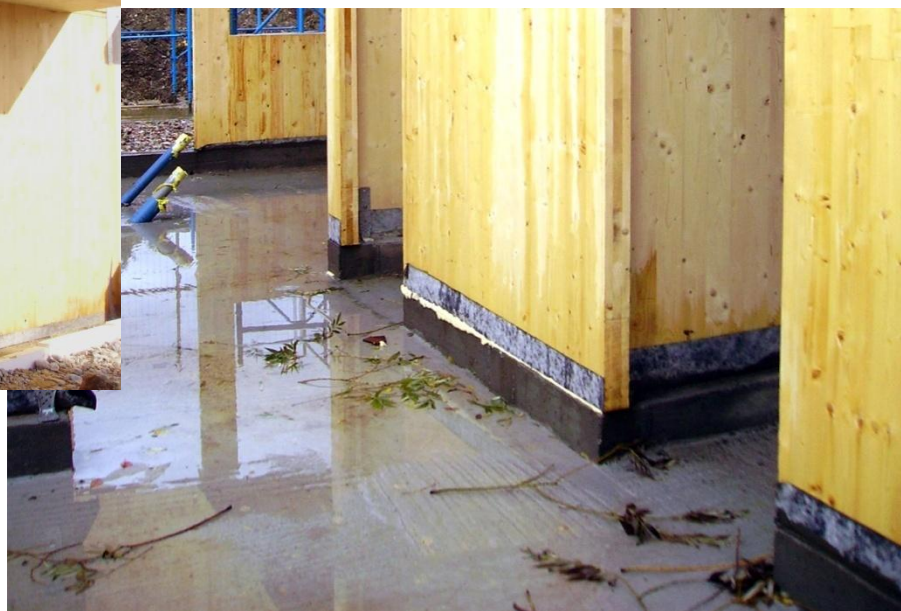
Diagramma flussi di calore

Analisi caso studio - Abitazione unifamiliare – Località Cormòns (Gorizia) – Diagnosi energetica arch. Andrea Boz

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



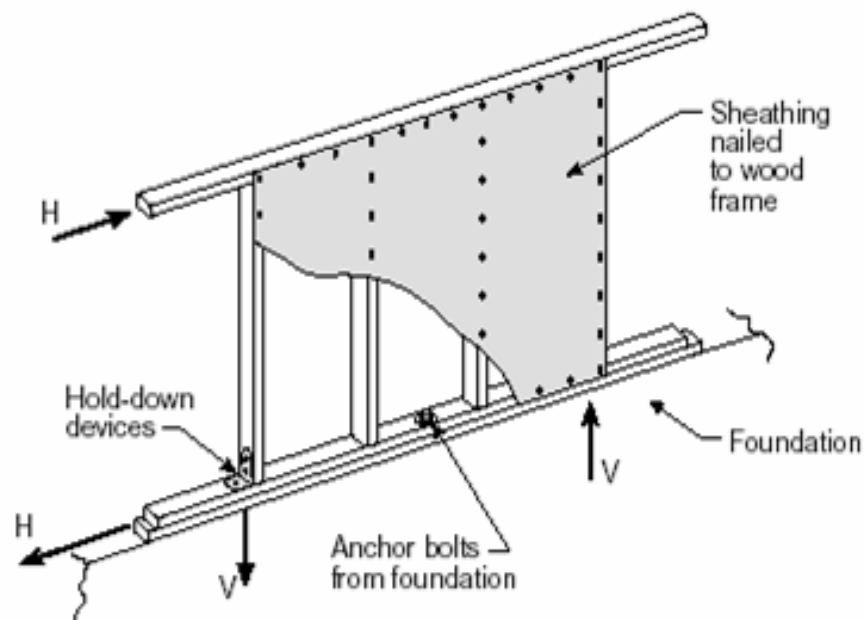
Attacchi a terra strutture in legno





## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

Sistemi intelaiati e controventati ad alta capacità dissipativa -  $q=5$



Tratto da: Collegamenti: problemi speciali nelle costruzioni di legno in zona sismica – ing. Maurizio Piazza e Roberto Tomasi - promo legno

## **SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI**



Sistemi intelaiati e controventati con tavole

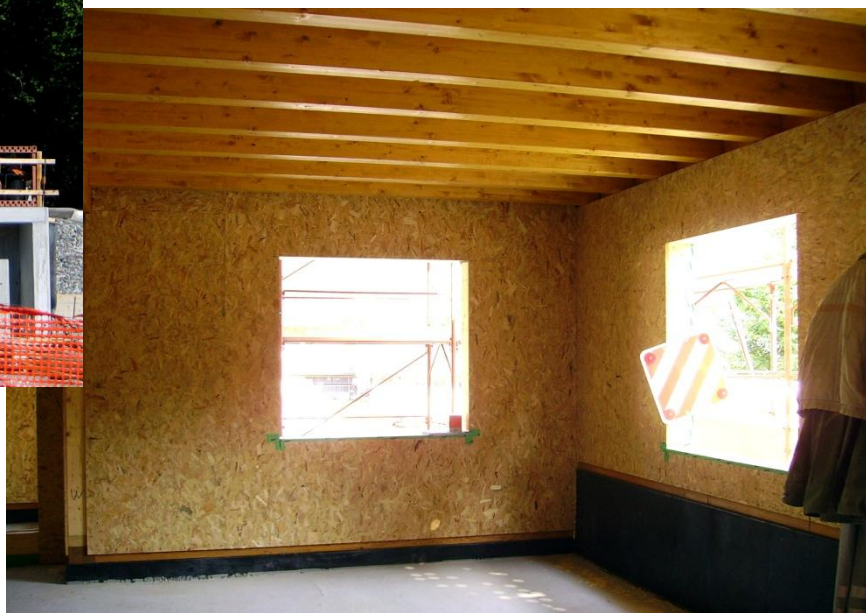




## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI



Sistemi intelaiati e controventati con pannelli



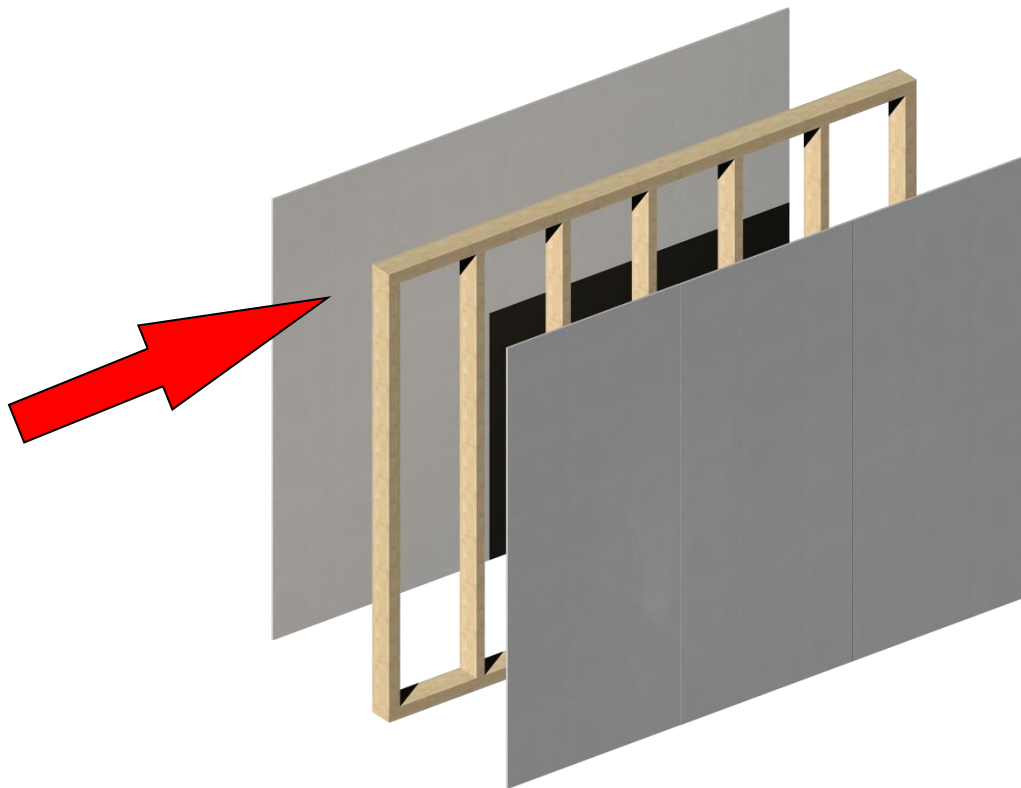


## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

### Carichi orizzontali vs Carichi verticali

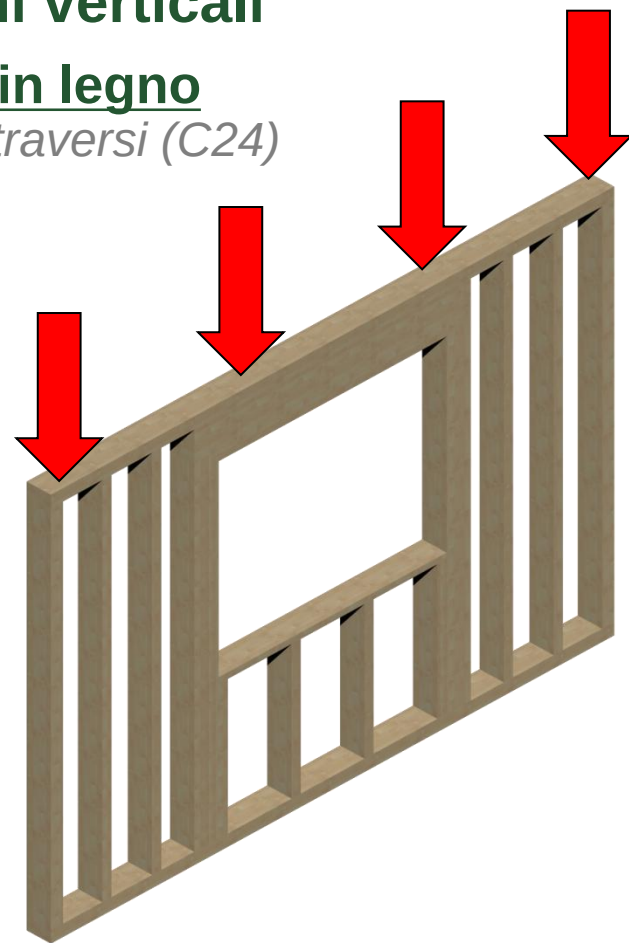
#### Pannelli di chiusura

*Osb, Masonite, Gesso fibra, etc*

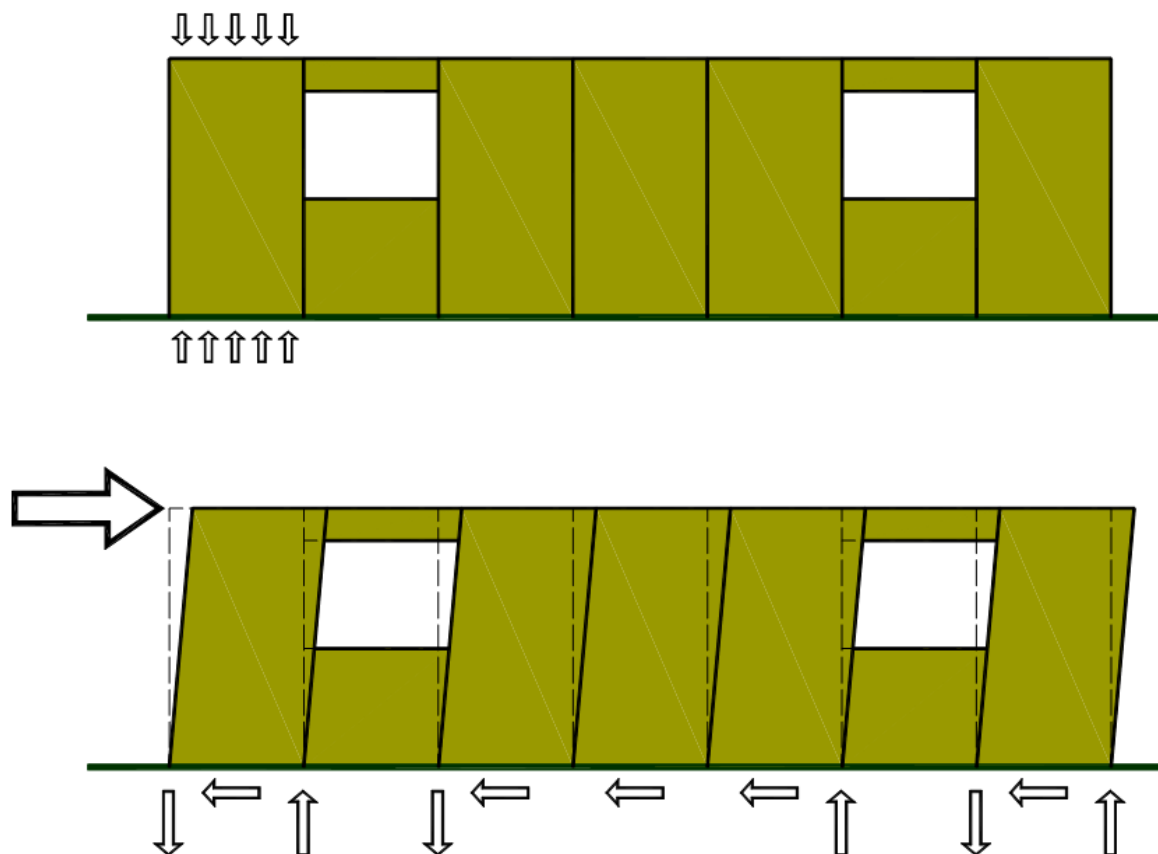


#### Telaio in legno

*Montanti e traversi (C24)*



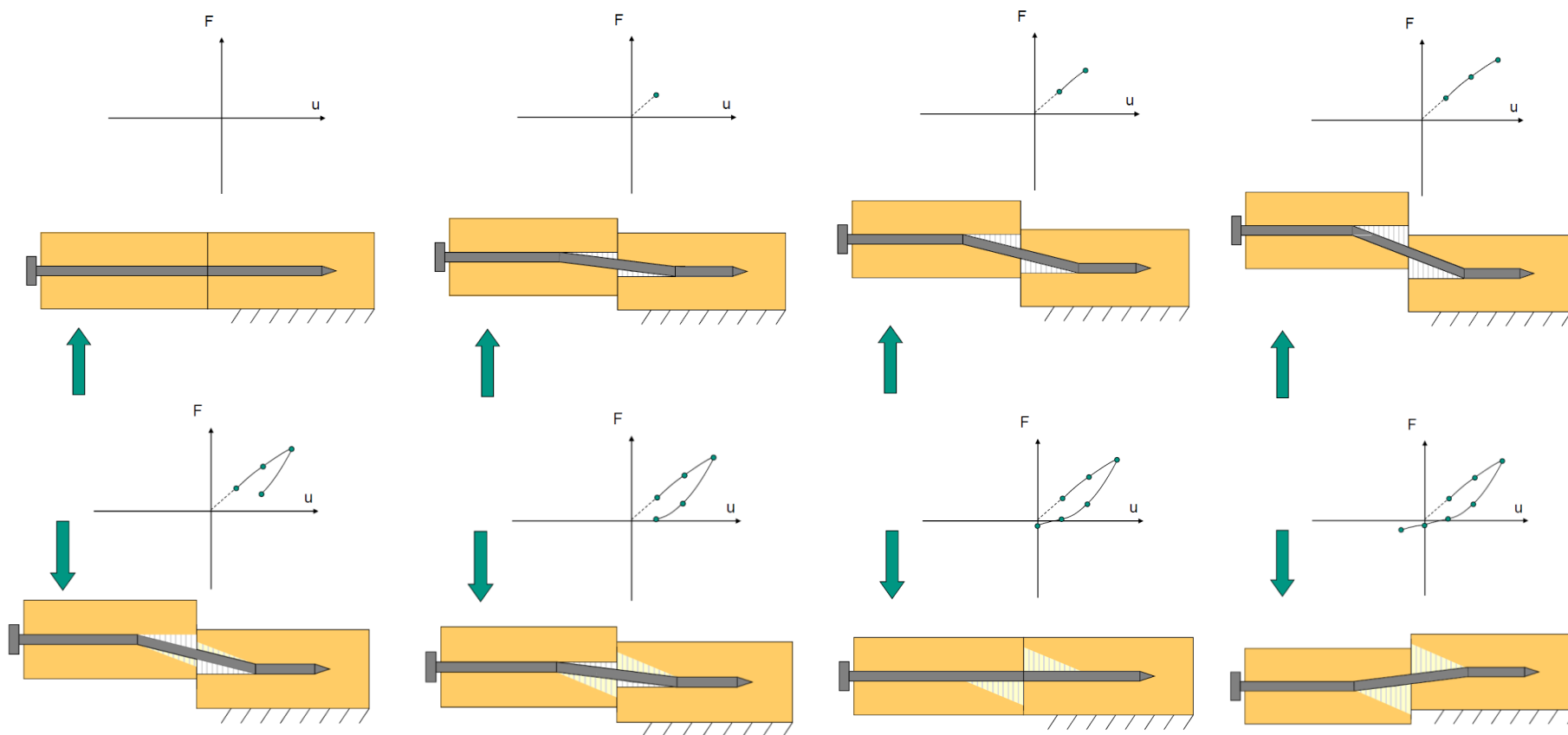
## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI



Effetti strutturali differenti nel caso di azioni verticali ed orizzontali su una parete

## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

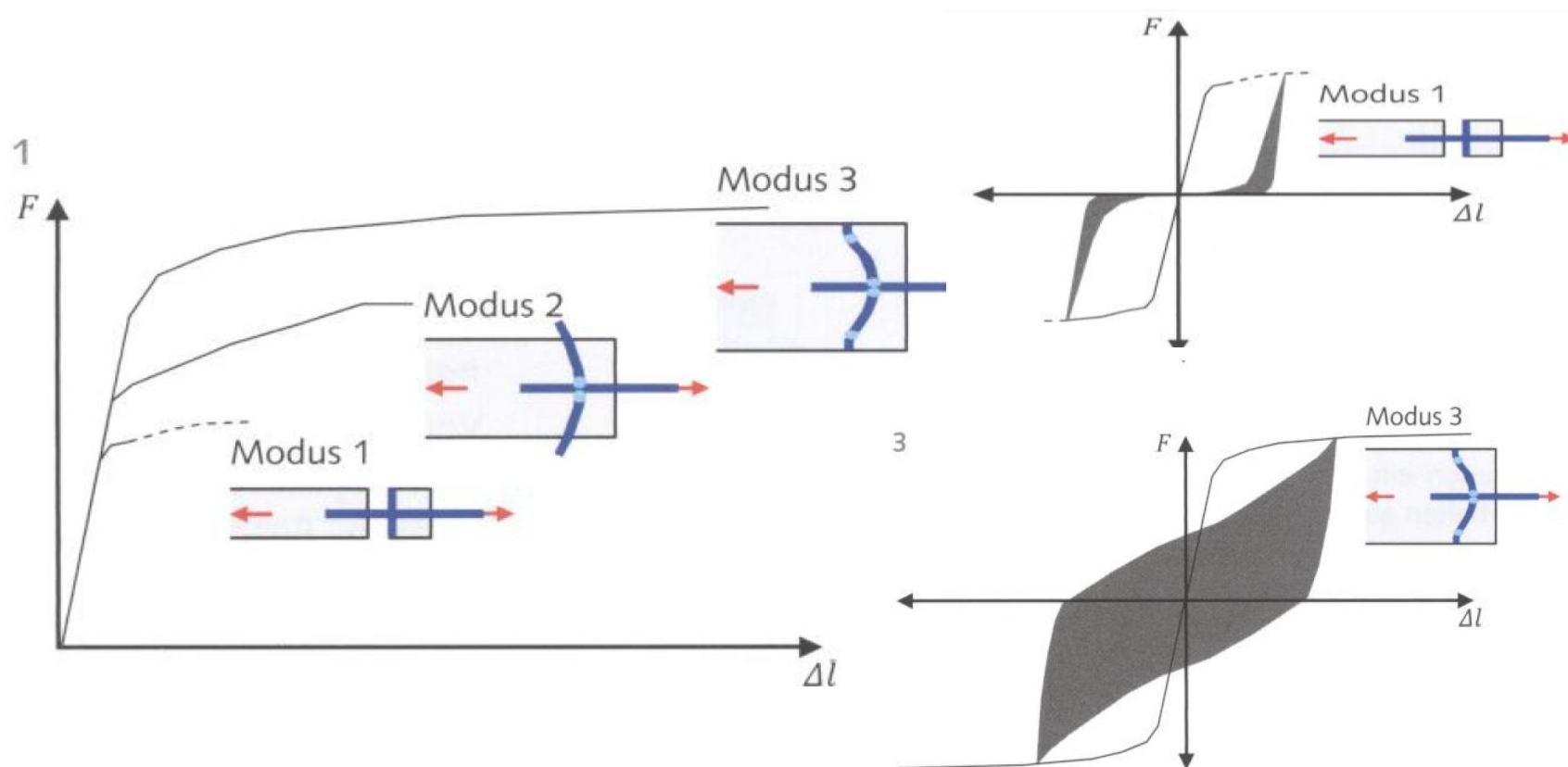
### Dissipazione di energia e rifollamento





## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

### Dissipazione di energia e rifollamento



## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

### Dissipazione di energia

#### NTC 2008 - Prescrizioni costruttive §7.7.3:

Per poter considerare la struttura ad alta duttilità:

a) I collegamenti legno-legno o legno acciaio

$$d \leq 12\text{mm}; \quad s \geq 10d$$

b) Il materiale di rivestimento strutturale è di

legno o di materiale derivato

$$d \leq 3,1\text{mm}; \quad s \geq 4d$$

## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

### Progetto di ricerca: EUCENTRE – Pavia

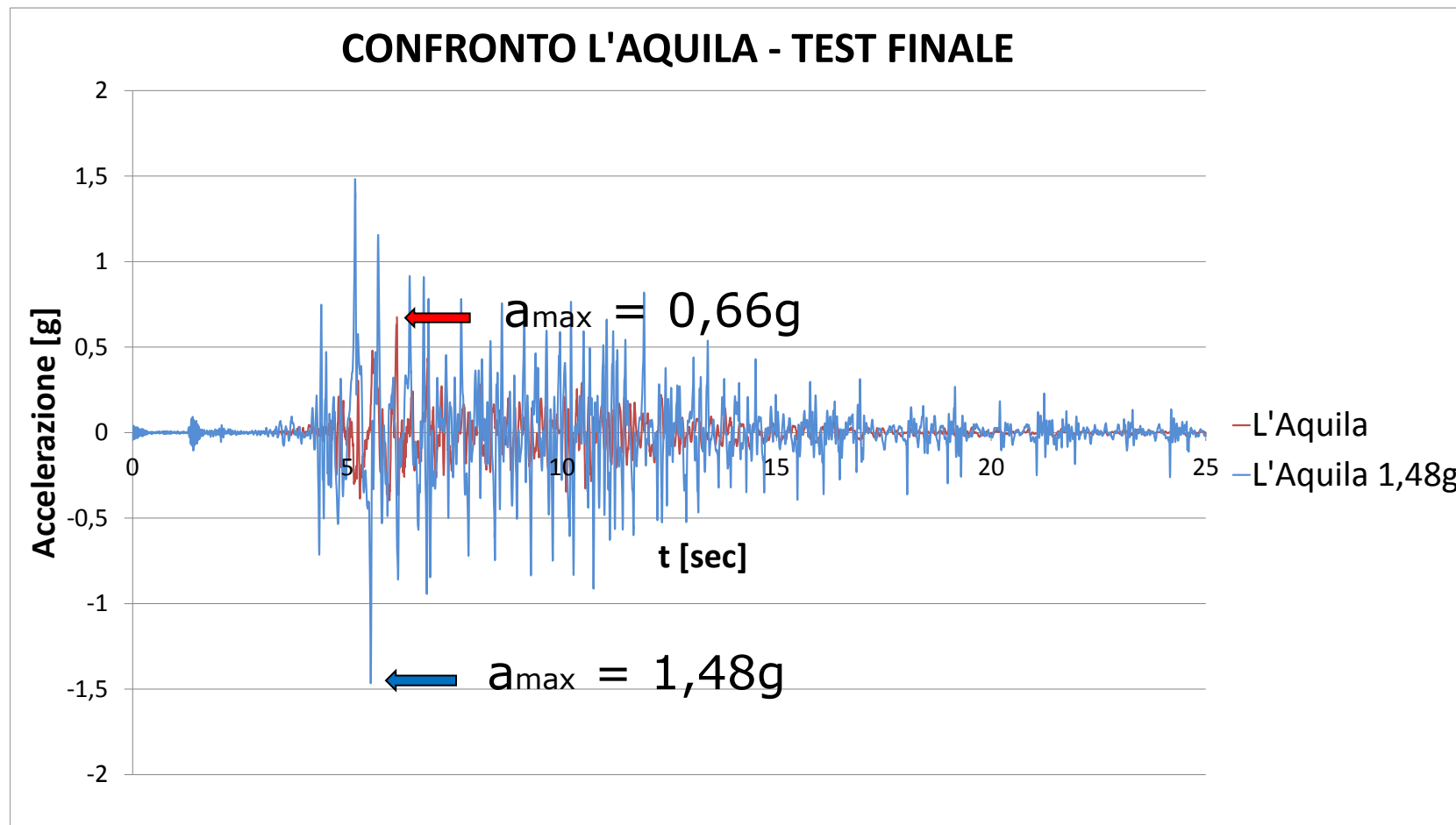
#### Dati generali

- Struttura di 4 piani;
- Altezza  $h = 11,65\text{m}$ ;
- Peso struttura  $\approx 48\text{t}$
- Struttura più alta testata in Europa





## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI



## **SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI**

### **Riqualificazione facciate con elementi modulari intelaiati**



Progetto sperimentale europeo Renew School – Scuola a Wetter (Germania)

## **SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI**

### **Riqualificazione facciate con elementi modulari intelaiati**



Progetto sperimentale europeo *Renew School* – Scuola a Wetter (Germania)



## **SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI**

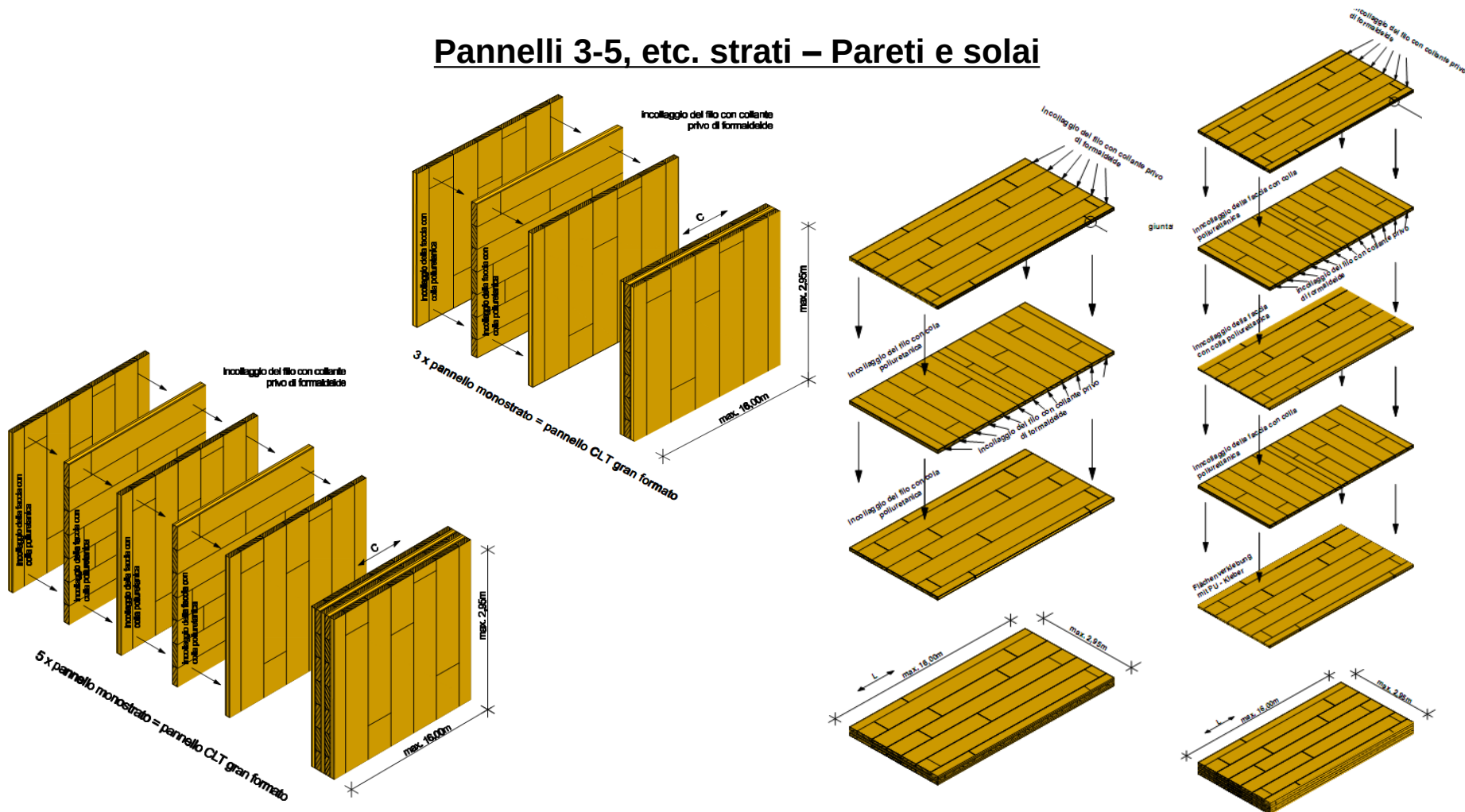
### **Riqualficazione facciate con elementi modulari intelaiati**



Progetto sperimentale europeo *Renew School* – Scuola a Wetter (Germania)

## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM

### Pannelli 3-5, etc. strati – Pareti e solai



## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM

### Pannelli 3-5, etc. strati – Pareti e solai

| nome prodotto                      | omologazioni       |                    |                    |                  |                                  |                         |                                 |                                           |                  |                                            |                                  |                       |                                    |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
|                                    | lunghezza max. (m) | larghezza max. (m) | larghezza min. (m) | spessori ** (mm) | a 3-strati (mm)<br>parete/solaio | parete                  | solaio                          | a 5-strati (mm)<br>parete/solaio          | parete           | solaio                                     | a 7-strati (mm)<br>parete/solaio | solaio                | a 7-strati (mm)***<br>solaio       |
| KLH<br>Kreuzlagen-<br>holz         | 16,5               | 2,95               |                    | 57 – 500         |                                  | 57, 72, 94              | 60, 78, 90,<br>95, 108,<br>120  |                                           | 95, 128,<br>158  | 117, 125,<br>140, 146,<br>162, 182,<br>200 |                                  | 202, 226              | 208, 230,<br>248                   |
| BBS<br>Binder<br>Brettsperholz     | 24                 | 1,25               | 0,25               | 75 – 334         | 75, 90,<br>98, 114, 125          |                         |                                 | 98, 114,<br>146, 161,<br>177, 195,<br>209 |                  |                                            | 230, 245,<br>272, 293,<br>334    |                       |                                    |
| CLT<br>Cross Lamina-<br>ted Timber | 16                 | 2,95               |                    | 72 – 400         |                                  | 72, 84, 95,<br>105, 121 | 81, 90, 95,<br>107, 116,<br>129 |                                           | 123, 141,<br>160 | 132, 147,<br>159, 171,<br>183, 199,<br>215 |                                  | 203, 221,<br>235      | 210, 235,<br>257, 269,<br>285, 301 |
| MM-BSP                             | 16,5               | 3                  | 1,2                | 78 – 278         | 98, 118                          | 78                      |                                 | 134, 146,<br>160                          |                  | 173, 184,<br>198                           |                                  | 214, 240,<br>258, 278 |                                    |
| HMS-BSP                            | 18                 | 4                  |                    | 60 – 400         | 75, 81, 93                       |                         |                                 | 125, 131,<br>143, 155                     |                  |                                            | 175, 181,<br>193, 205,<br>217    |                       |                                    |

\* Panoramica dei prodotti dei maggiori produttori in Austria.

\*\* In linea di principio gli elementi X-Lam si possono applicare in tutti gli spessori disponibili tanto come parete che come solaio, a seconda delle esigenze del progetto di calcolo.

\*\*\* le tavole dei 2 strati esterni su entrambi i lati sono orientate parallelamente.

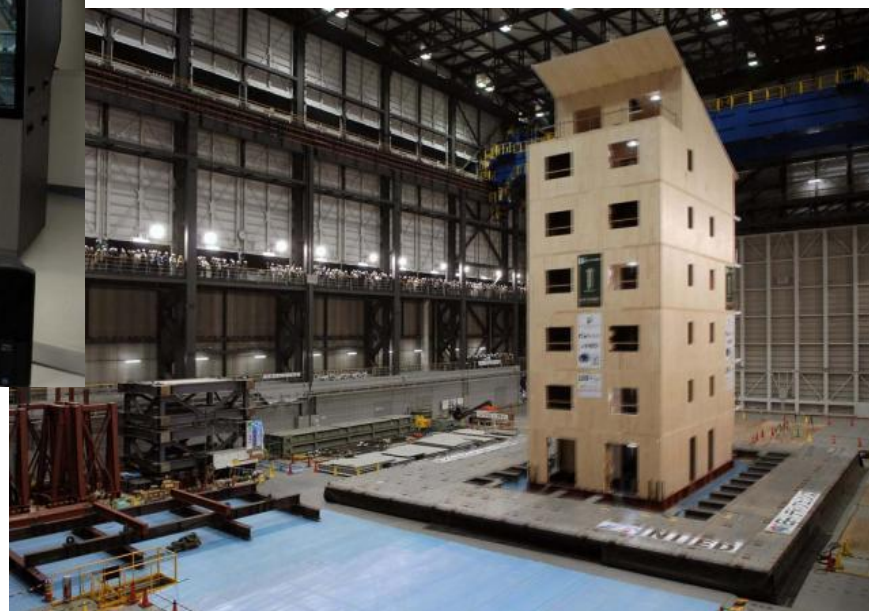


## **TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM**

| PRODUTTORE    | ETA     | ESSENZA AMMESSA                                               | QUALITA' DEL TAVOLAME |                                           | ADESIVO            |
|---------------|---------|---------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| Xlam dolomiti | 12/0347 | Solo abete Rosso Europeo                                      | Strati esterni        | 100% C24                                  | Poliuretano        |
|               |         |                                                               | Strati interni        | 40% C18                                   |                    |
| KLH           | 06/0138 | Abete Rosso Europeo o Conifera                                | Tutti gli strati      | 90% C24                                   | Poliuretano        |
|               |         |                                                               |                       | 10% C16                                   |                    |
| HASSLACHER    | 12/0281 | EGL                                                           | Strati esterni        | 100% C24                                  | Ureica Melaminica  |
|               |         |                                                               | Strati interni        | 30% C16                                   |                    |
| ESSEPI        | 12/0362 | Conifera                                                      | Tutti gli strati      | 100% C24                                  | Poliuretano        |
| BINDERHOLZ    | 06/0009 | Abete Rosso Europeo o Conifera                                | Strati esterni        | Da C16 a C35 percentuale non identificata | Ureica Poliuretano |
|               |         |                                                               | Strati interni        | 10% C16                                   |                    |
| MOSER         | 07/0338 | Legno Essiccato                                               | Strati esterni        | 100% C24                                  | Poliuretano        |
|               |         |                                                               | Strati interni        | 15% C16                                   |                    |
| STORA         | 08/0271 | Legno di conifera (abete rosso, abete bianco, pino silvestre) | Tutti gli strati      | 90% C24<br>10% C16                        | Poliuretano        |
| ARTUSO        | 10/0339 | Abete rosso Europeo o resinoso                                | Strati esterni        | 100% C24                                  | Poliuretano        |
|               |         |                                                               | Strati interni        | 10% C18<br>90% C24                        |                    |

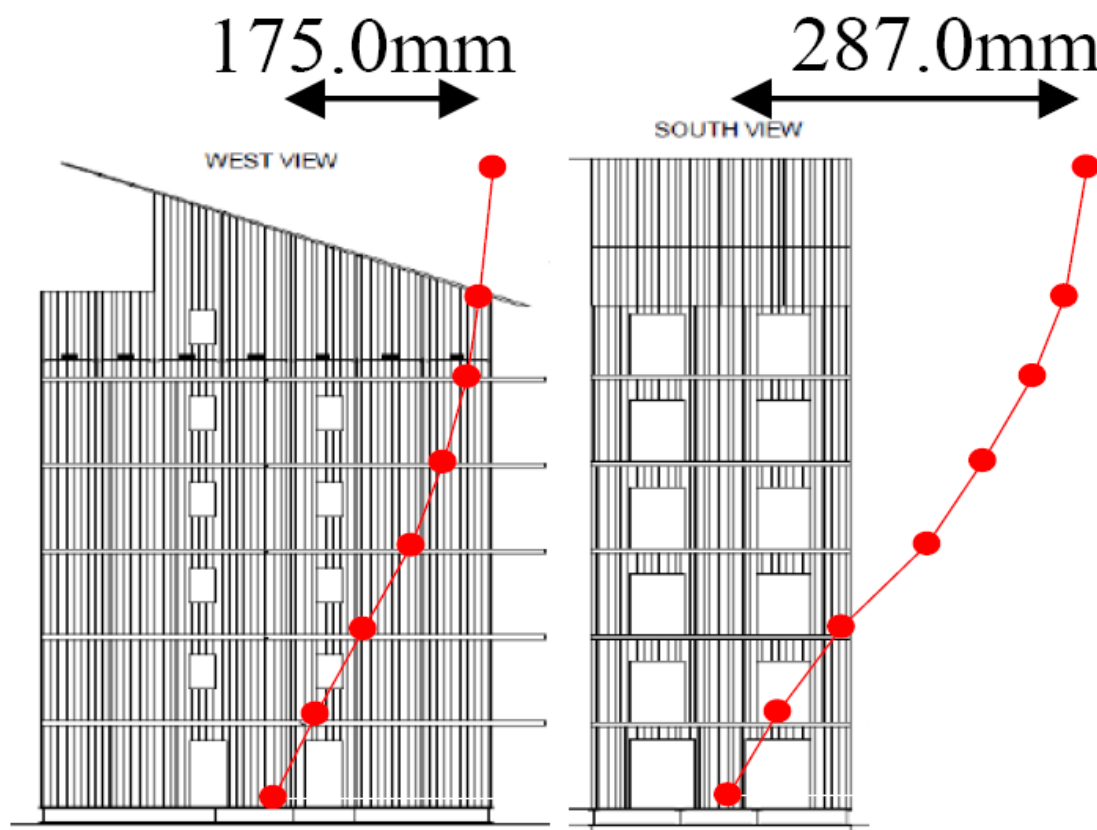
Tratto da: Sei sicuro che i pannelli Xlam siano tutti uguali- *WoodLab* – Farra di Soligo (TV)

## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Prof. dott. ing. Ario Ceccotti - CNR - IValsa – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree

## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



### DATI GENERALI

#### SPESSORI PARETI X-LAM

0-1 Liv. = 14,2 cm

2-3 Liv. = 12,2 cm

4-7 Liv. = 8,5 cm

#### LEGNAME DI ABETE ROSSO

Tempo ricrescita boschi trentini = 2 ore

Volume lordo in tronchi = 250 mc

Peso proprio legname = 120 Ton

Zavorre totali ogni piano = 150 ton

#### FERRAMENTA

Hold down metallici = 800 pz

Angolari metallici = 2.200 pz

Viti per legno = 52.000 pz

Chiodi per legno 32.000 pz



## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Prof. dott. ing. Ario Ceccotti - CNR - IVALSa – Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree

## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza strutturale al fuoco Sistema CLT





## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza strutturale al fuoco Sistema CLT

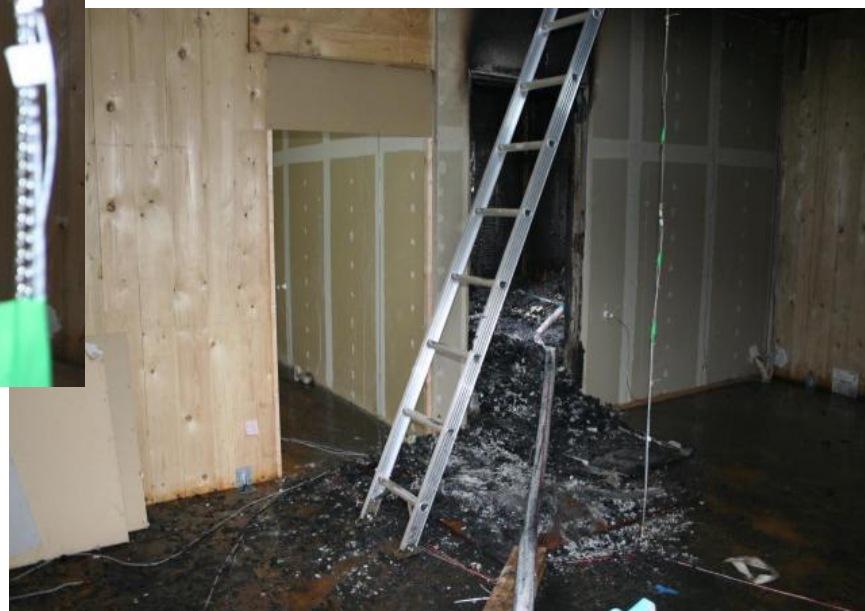




## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza strutturale al fuoco Sistema CLT



## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza strutturale al fuoco Sistema CLT



Garage multi piano – Innsbruck (Austria)

## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM

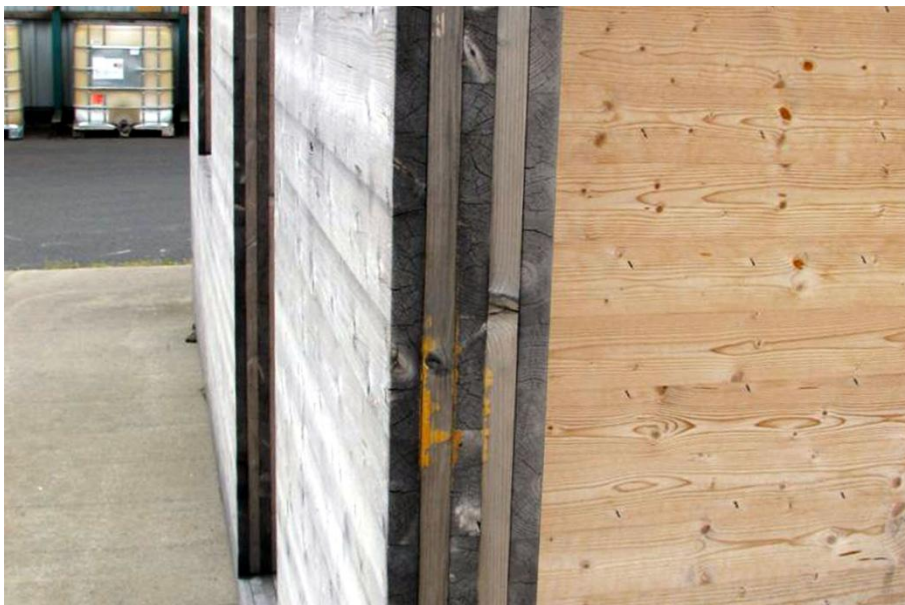


Resistenza alle intemperie Sistema CLT





## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza alle intemperie Sistema CLT



## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza del legno all'umidità e salsedine

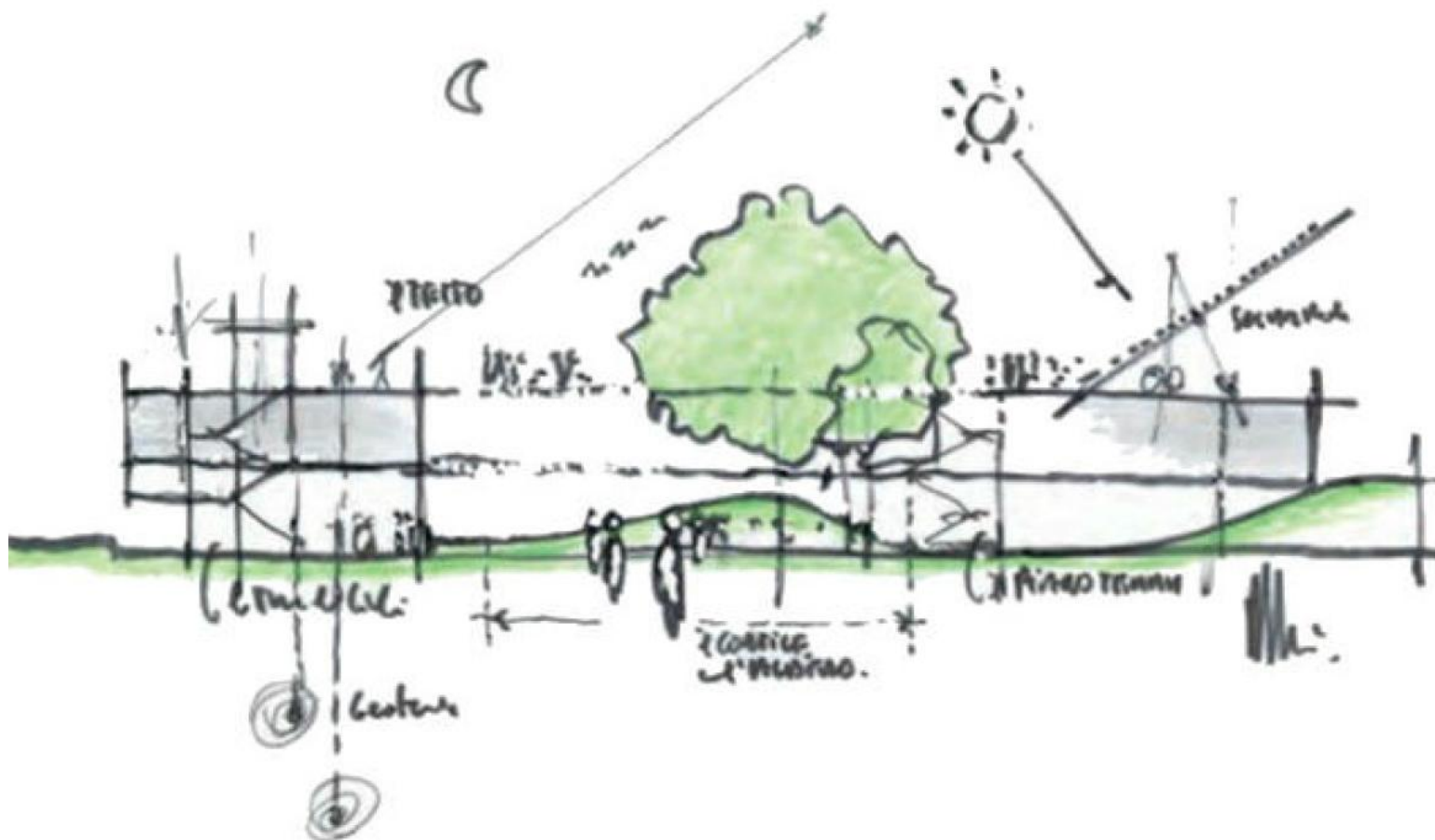


Capannoni Le Gaggiandre – Arsenale di Venezia – Elementi lignei originali del XIII Secolo



## **RENZO PIANO: "LA MIA SCUOLA PERFETTA E' IN LEGNO "**

*La scelta ideale e' il legno: bello, sicuro, antisismico e profumato.  
Ma innanzitutto e' energia rinnovabile. 14/09/2017*







**MANDI E GRASIE PA L'ATENZION!**