

**arch. Andrea BOZ**



ESPERTO E DOCENTE CASA CLIMA  
ESPERTO PROGETTISTA CASE PASSIVE  
SPECIALIZZATO TUW - URBAN WOOD  
Progettista Accreditato

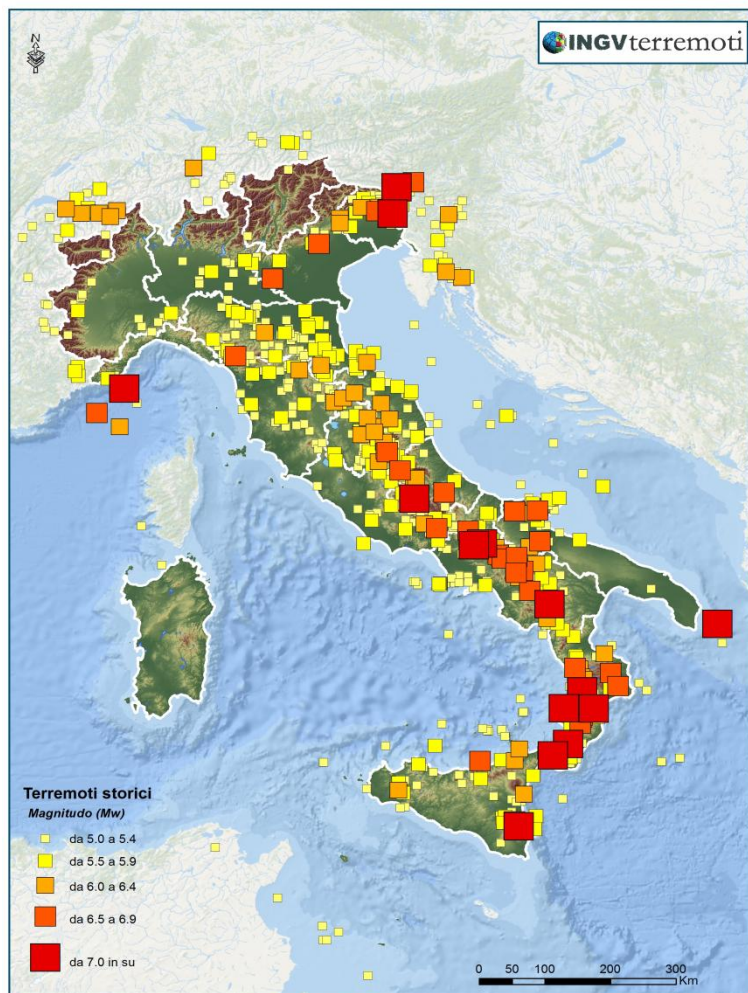


Via Nazionale, n°44  
33026 - Paluzza (Ud)  
Tel. 0433890282

www.arkboz.com  
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

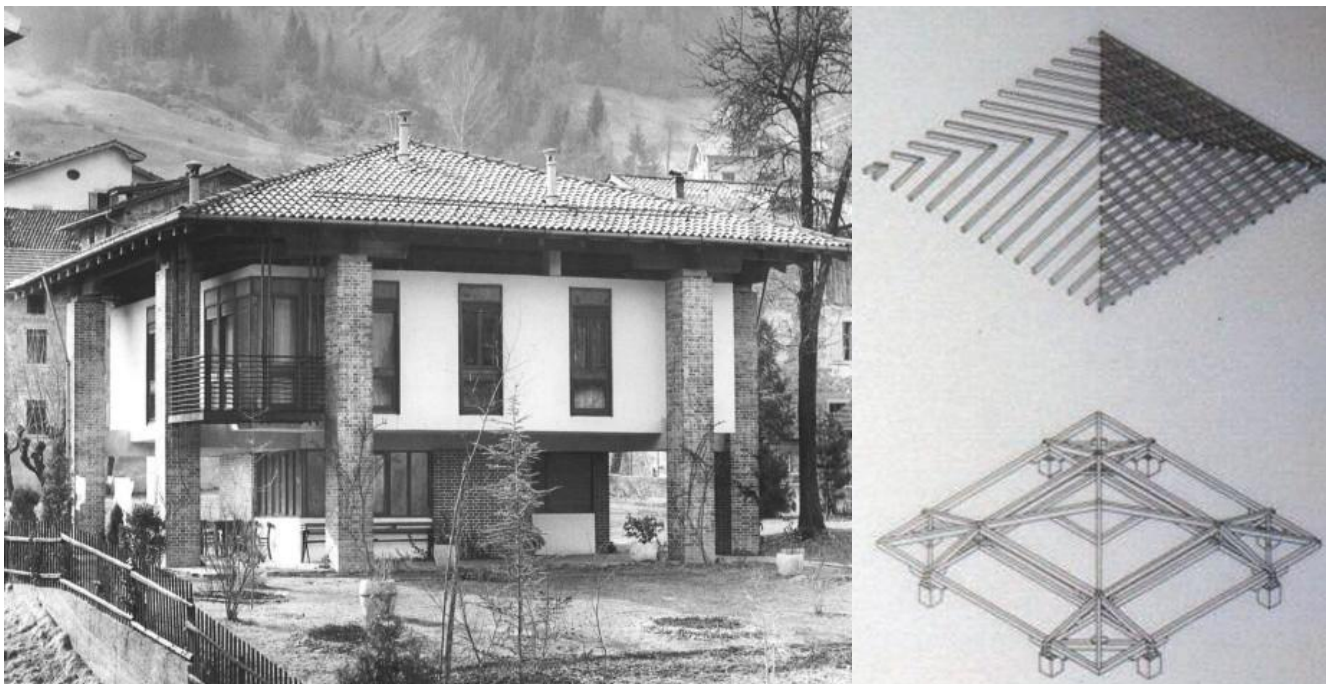


Collassi totale con schiacciamento dall'alto



## 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



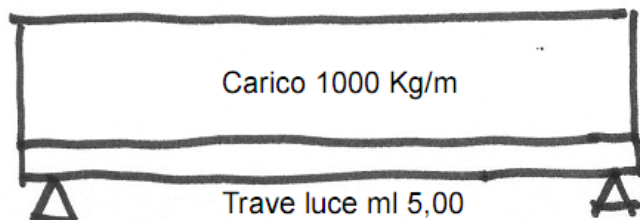
Casa Clima Oro –  $I_{E_{risc.}} > 10 \text{ kW/mq*anno}$  – 5740 gg –  $T_u = -18,5^\circ\text{C}$

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



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

Raffronto prestazionale esemplificativo per elemento strutturale

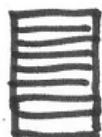


Leggero 500-600 Kg/mc

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  $\varnothing$ 16

Peso 2500 Kg/mc

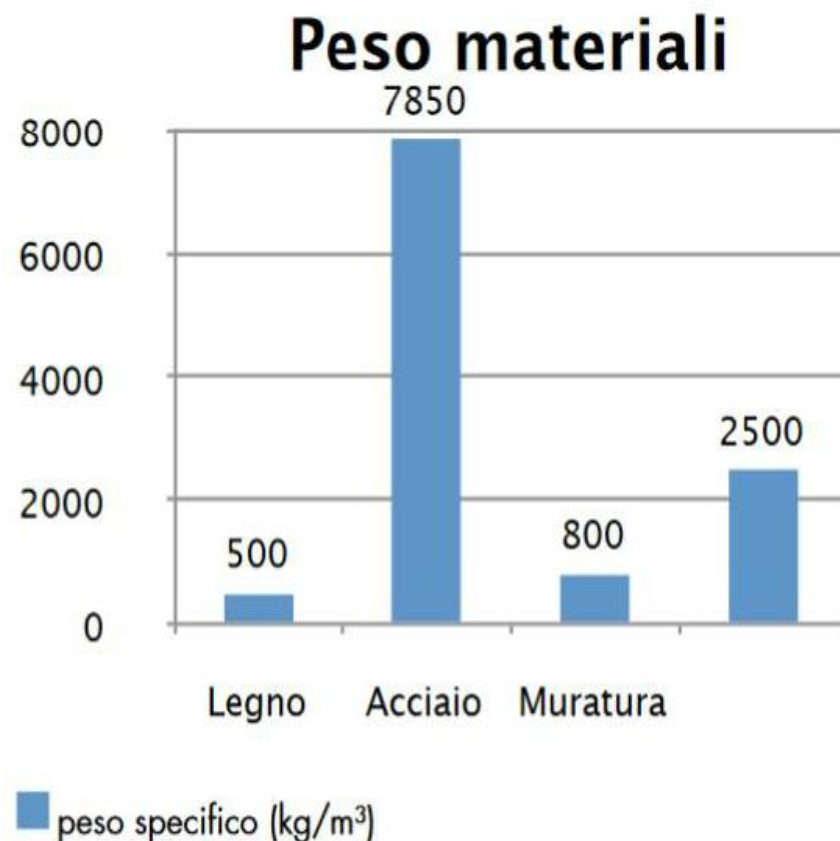
Sez. 250x300 peso 188 Kg/m = 940

Alto rapporto resistenza/peso

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

## 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

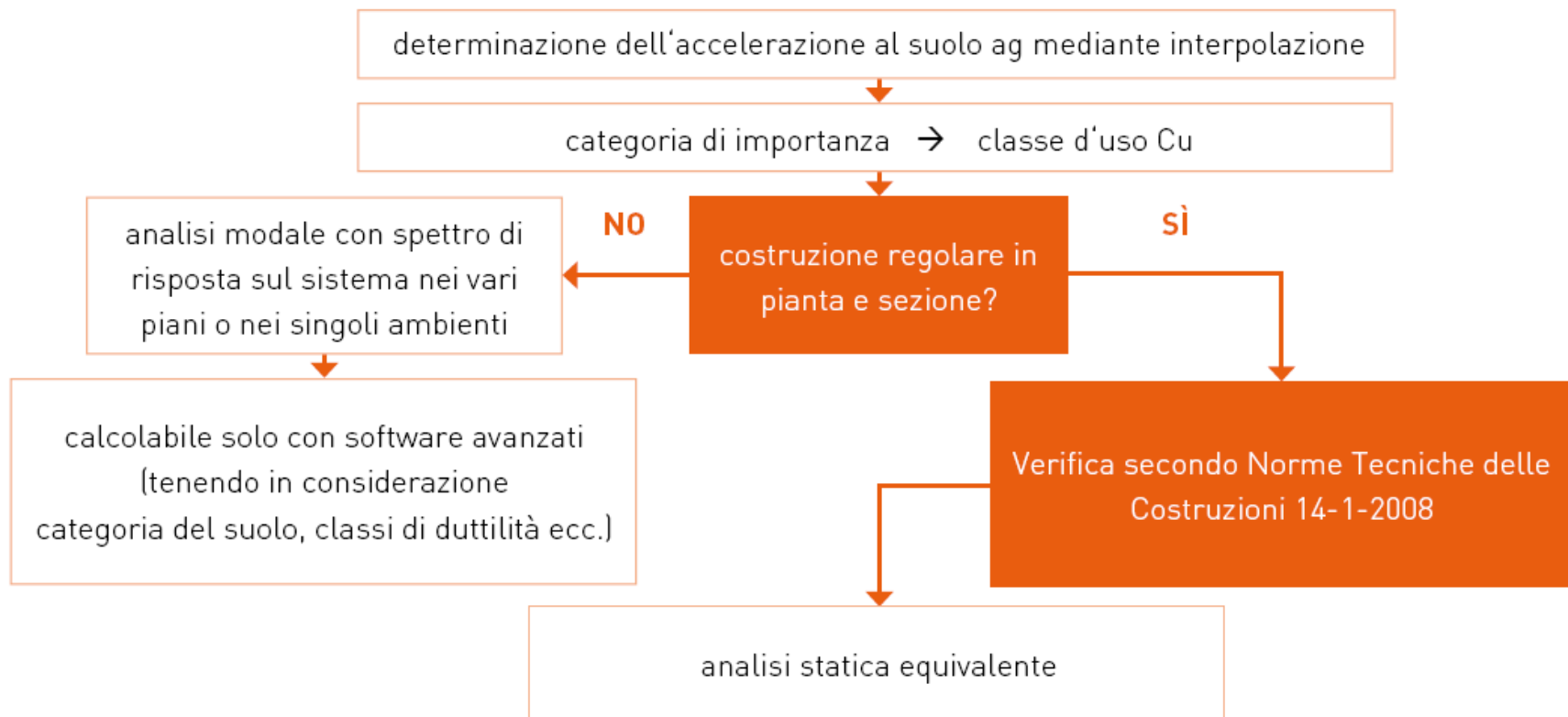
## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Categorie strutturali e resistenze caratteristiche legno lamellare

<b>LEGNO LAMELLARE</b>						
		<b>GL24</b>	<b>GL28</b>	<b>GL32</b>	<b>GL36</b>	
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

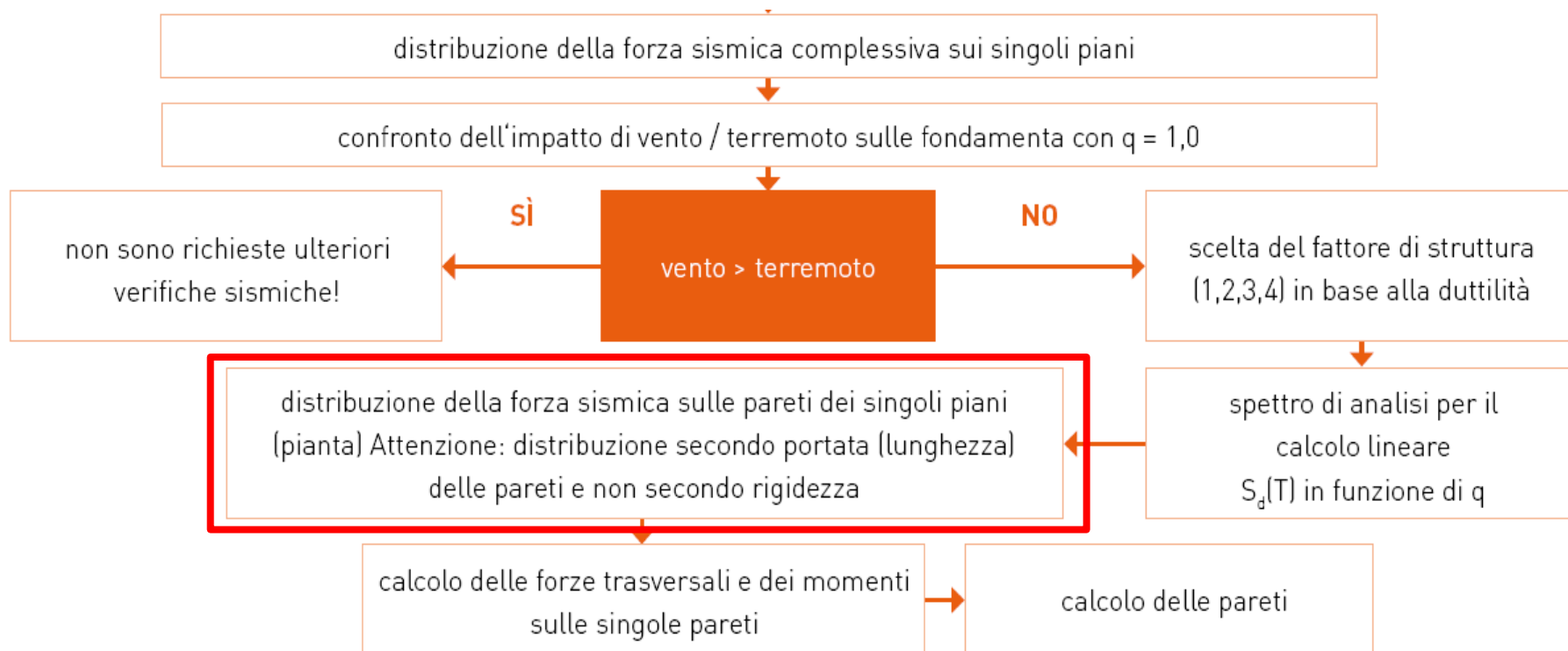


Tratto da: Costruzioni in legno antisismiche con le lastre in gesso fibra – *Fermacell 2014*



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### ITER DI PROGETTAZIONE SISMICA



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### ITER DI PROGETTAZIONE SISMICA

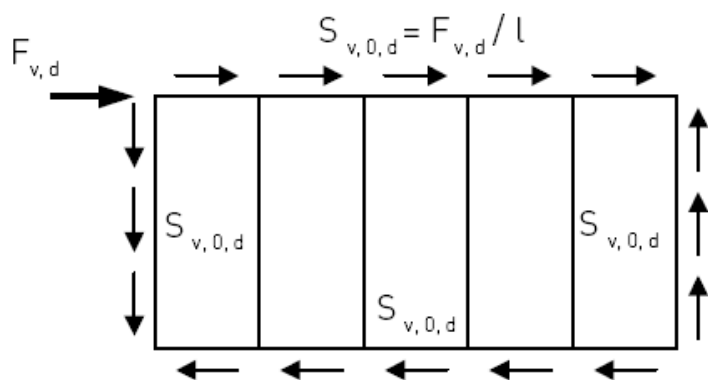
#### Distribuzione sulle singole pareti

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

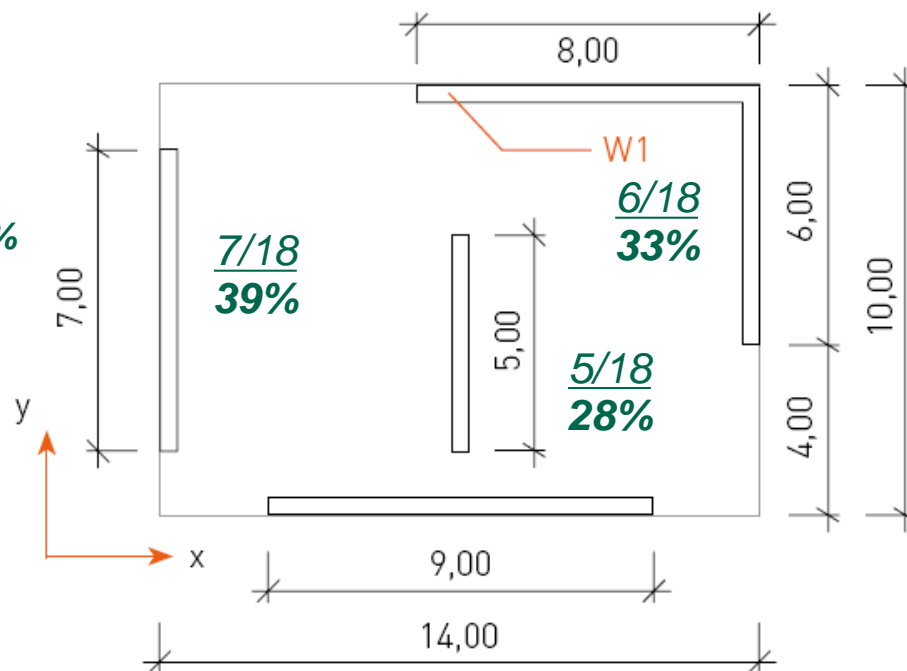
#### “Rapporto” tra rigidezze direzione Y:

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

#### 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''
<b>Costruzioni d'acciaio (§ 7.5.2.2) e composte di acciaio-calcestruzzo (§ 7.6.2.2)</b>		
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 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 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

Adunanza del 19 luglio 2011  
Protocollo 53/2011



**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.

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

### 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA

**E' consentito altresì realizzare costruzioni costituite da struttura muraria nella parte inferiore e sormontate da un piano con struttura in cemento armato o acciaio o legno o altra tecnologia, alle seguenti condizioni:**

-i limiti all'altezza delle costruzioni previsti per le strutture in muratura si intendono comprensivi delle parti in muratura e di quelle in altra tecnologia;

-la parte superiore di diversa tecnologia sia efficacemente ancorata al cordolo di coronamento della parte muraria;

- nel caso di metodo di analisi lineare, l'uso dell'analisi statica (nei limiti di applicabilità riportati al § 7.8.1.5.2) è consentito a patto di utilizzare una distribuzione di forze compatibile con la prima forma modale elastica in ciascuna direzione, calcolata con metodi sufficientemente accurati che tengano conto della distribuzione irregolare di rigidità in elevazione. A tal fine, in assenza di metodi più accurati, la prima forma modale può essere stimata dagli spostamenti ottenuti applicando staticamente alla costruzione la distribuzione di forze definita nel § 7.3.3.2;

-nel caso di analisi statica non lineare, si utilizzino le distribuzioni di forze orizzontali previste al § 7.3.4.1, dove la prima forma modale elastica è stata calcolata con metodi sufficientemente accurati.

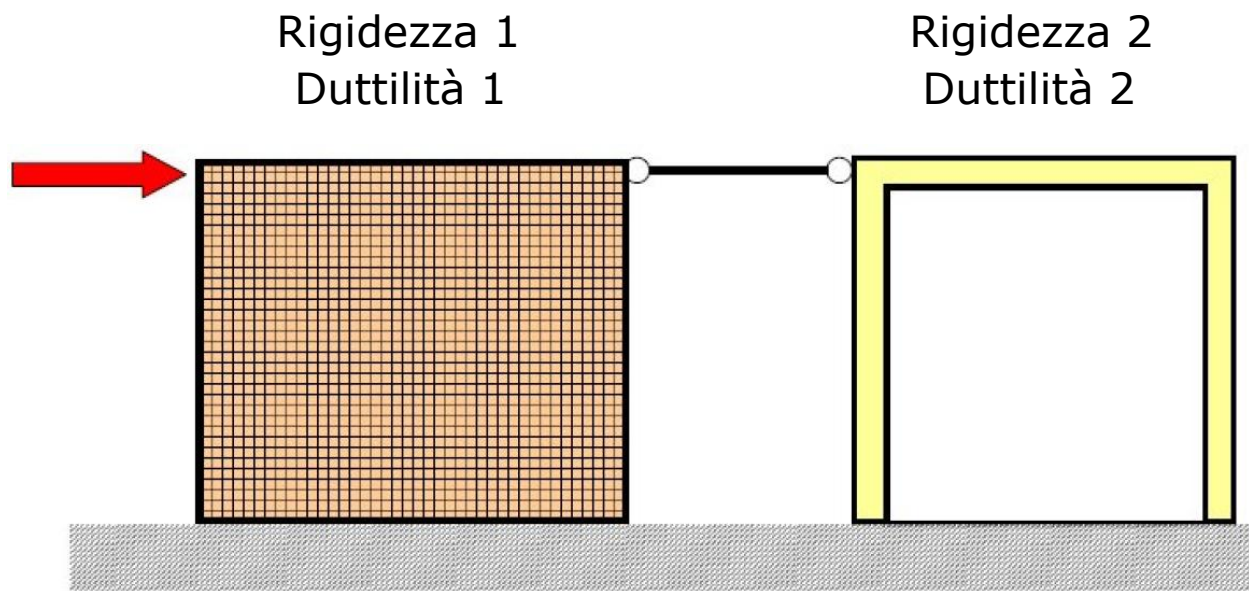
-nel caso di analisi lineare, per la verifica della parte in muratura si utilizzi il fattore di struttura  $q$  prescritto al § 7.8.1.3; per la verifica della parte superiore di altra tecnologia si utilizzi il fattore di struttura adatto alla tipologia costruttiva e alla configurazione (regolarità) della parte superiore, comunque non superiore a 2,5;

-tutti i collegamenti fra la parte di diversa tecnologia e la parte in muratura siano localmente verificati in base alle forze trasmesse calcolate nell'analisi, maggiorate del 30%.



## 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.**

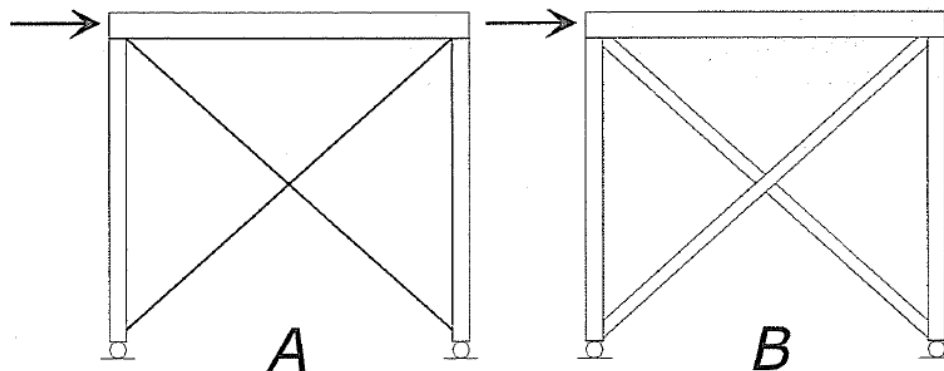


## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Strutture impropriamente considerate miste

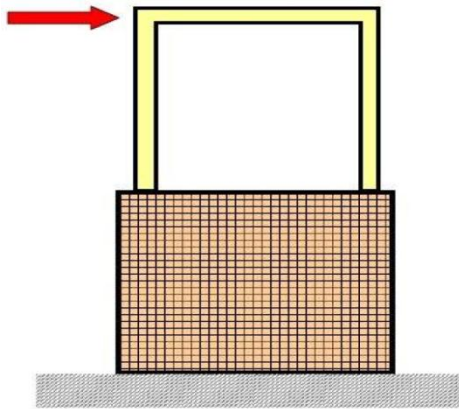
A) Controvento a croce  
in acciaio

B) Controvento a croce  
in legno



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

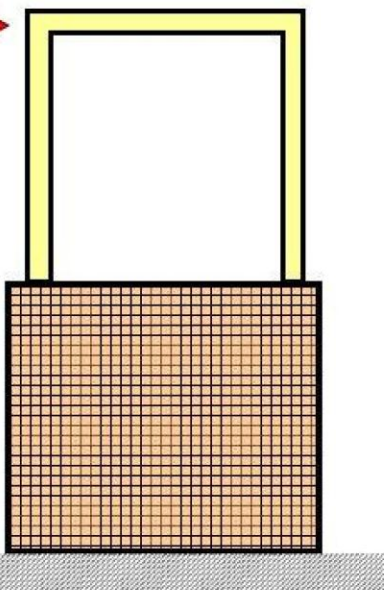
### Strutture impropriamente considerate miste



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

1) Tra i due possibili fattori viene scelto quello più basso

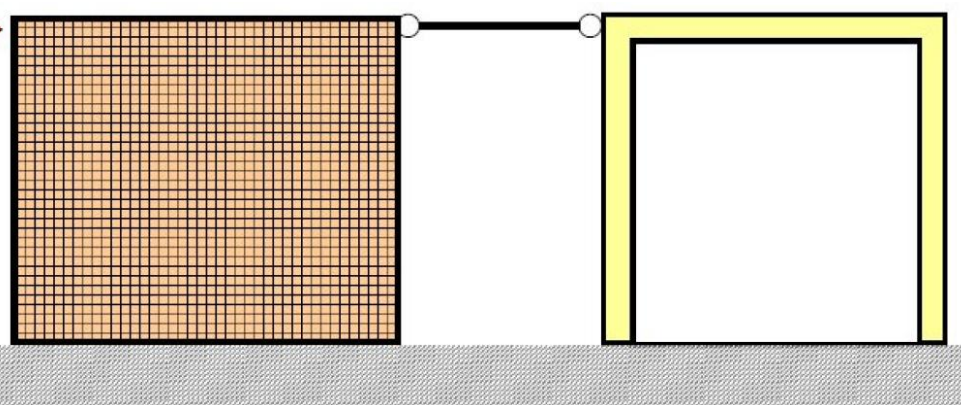
1



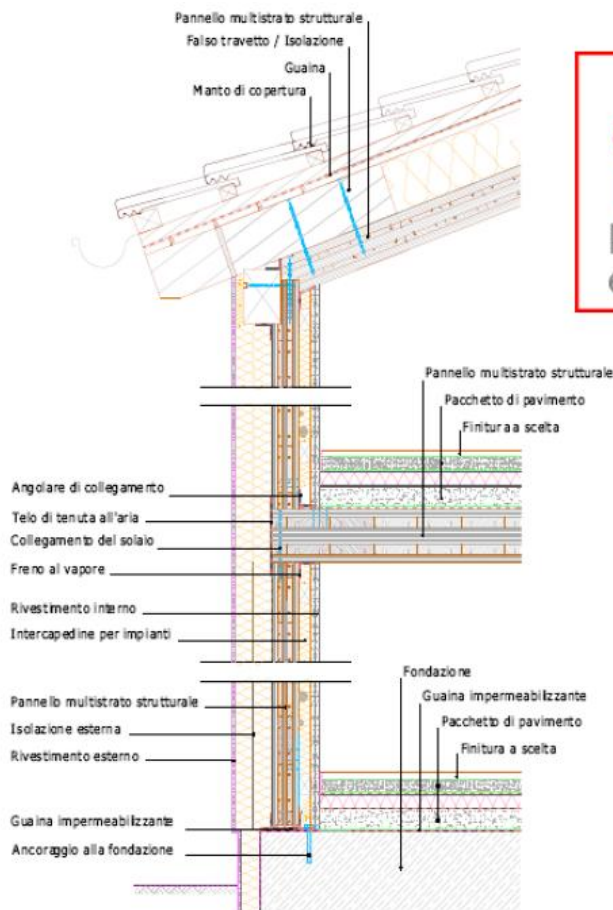
2) Fattore di struttura  $q = 1$

Analisi lineare x sistemi non dissipativi

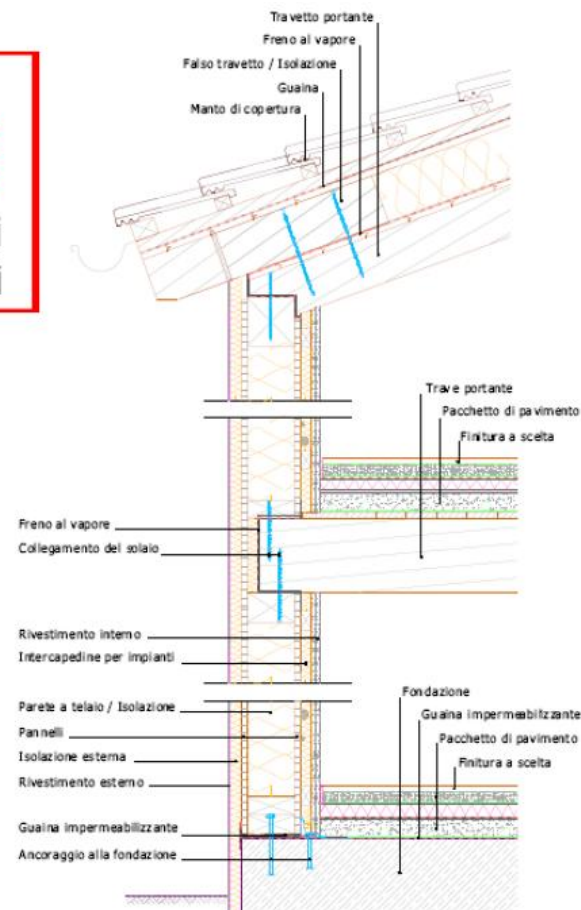
2



## PRESTAZIONI ENERGETICHE SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI

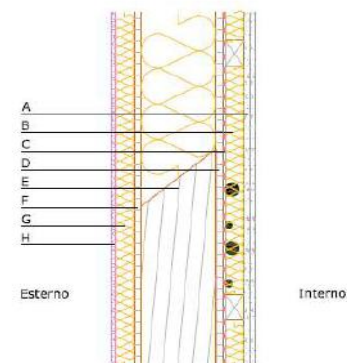
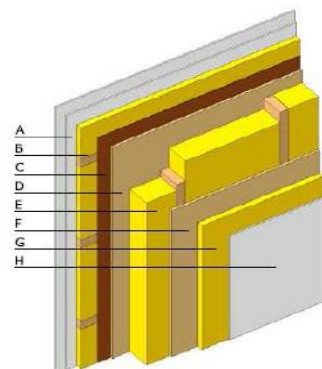
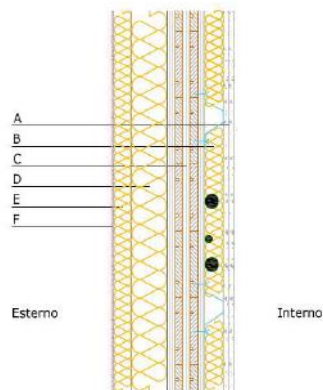
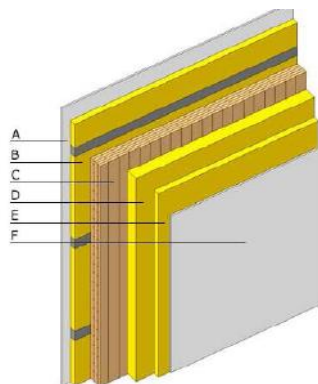


**XLAM**  
**o telaio e**  
**pannelli:**  
prestazioni  
equivalenti



Tratto da: Manuale tecnico – *Consorzio Stile 21*

## PRESTAZIONI ENERGETICHE SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI



### Stratigrafia

Materiale	Spessore [mm]
A Pannelli di cartongesso + Idropittura SOLAS M20	2x12,5
B Intercapedine 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 [mm]
A Pannelli di cartongesso + Idropittura SOLAS M20	2x12,5
B Intercapedine per impianti / CELENIT Vital	40
C Freno vapore ICDPAL DefX 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

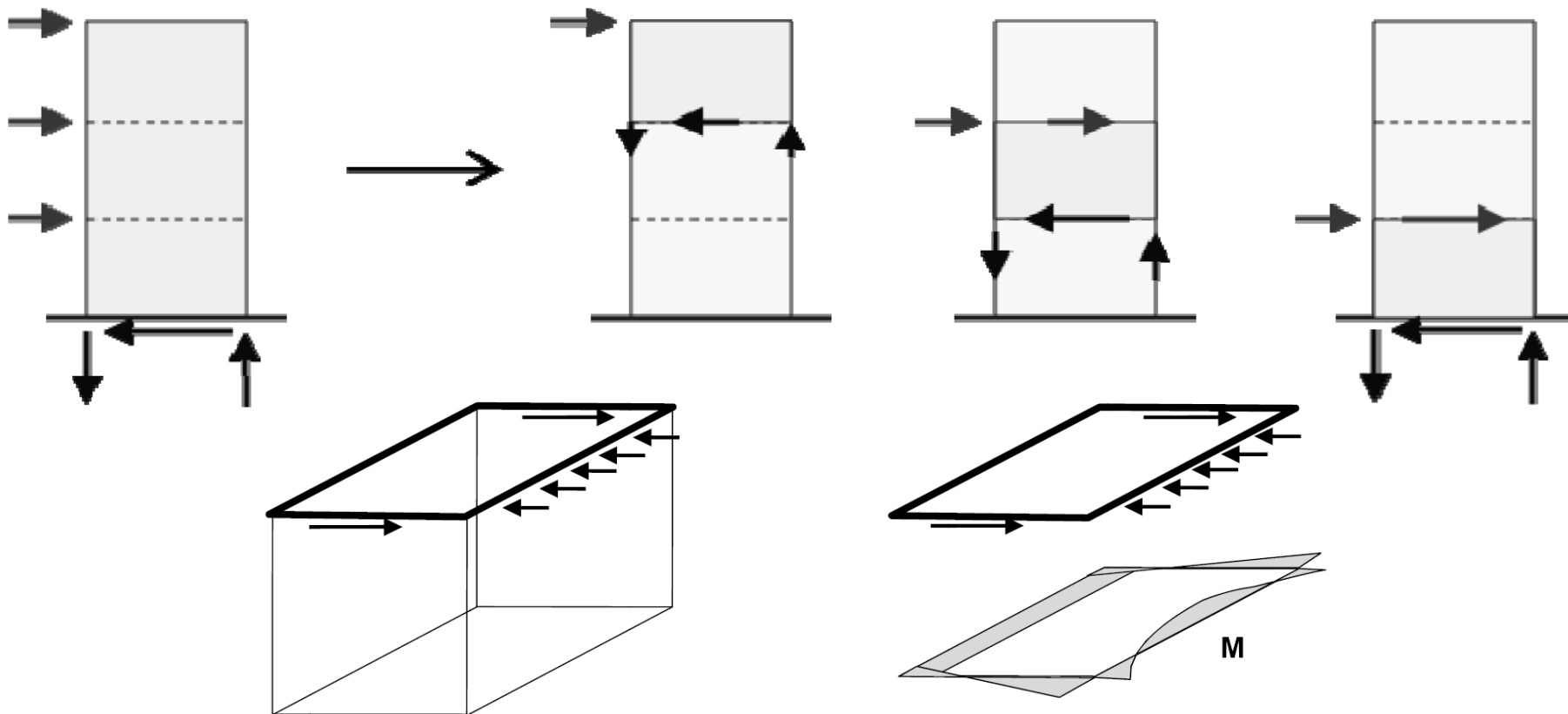
medie

sufficienti

mediocri



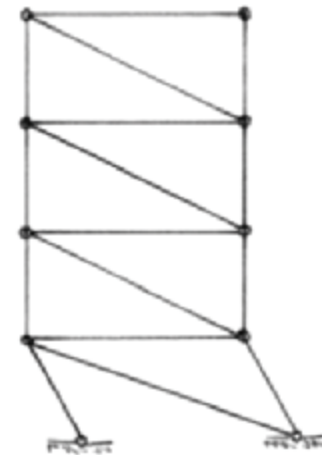
## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



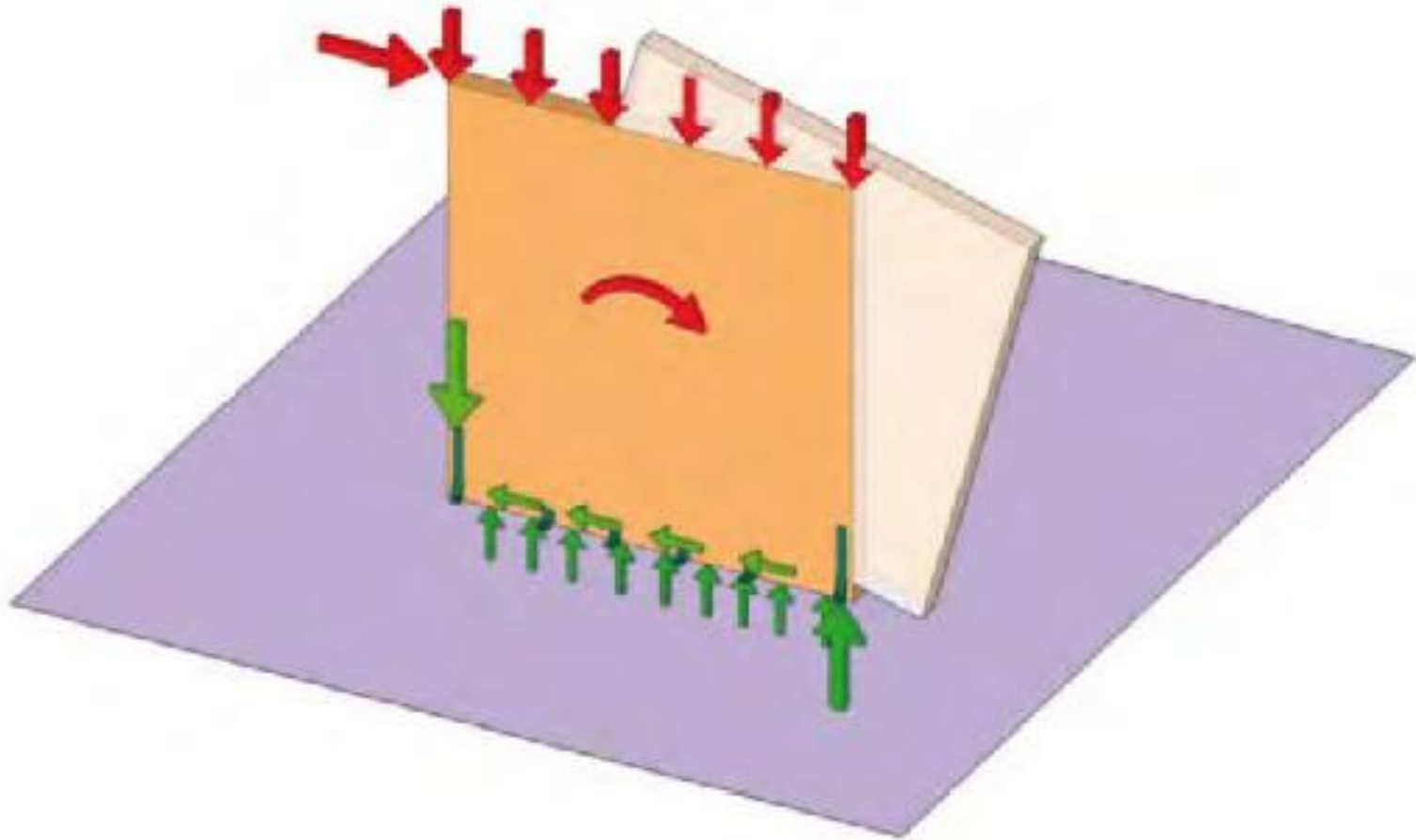
Tratto da: Aspetti strutturali della copertura e del tetto in un edificio – *ing. Andrea Bernasconi* - promo legno



## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



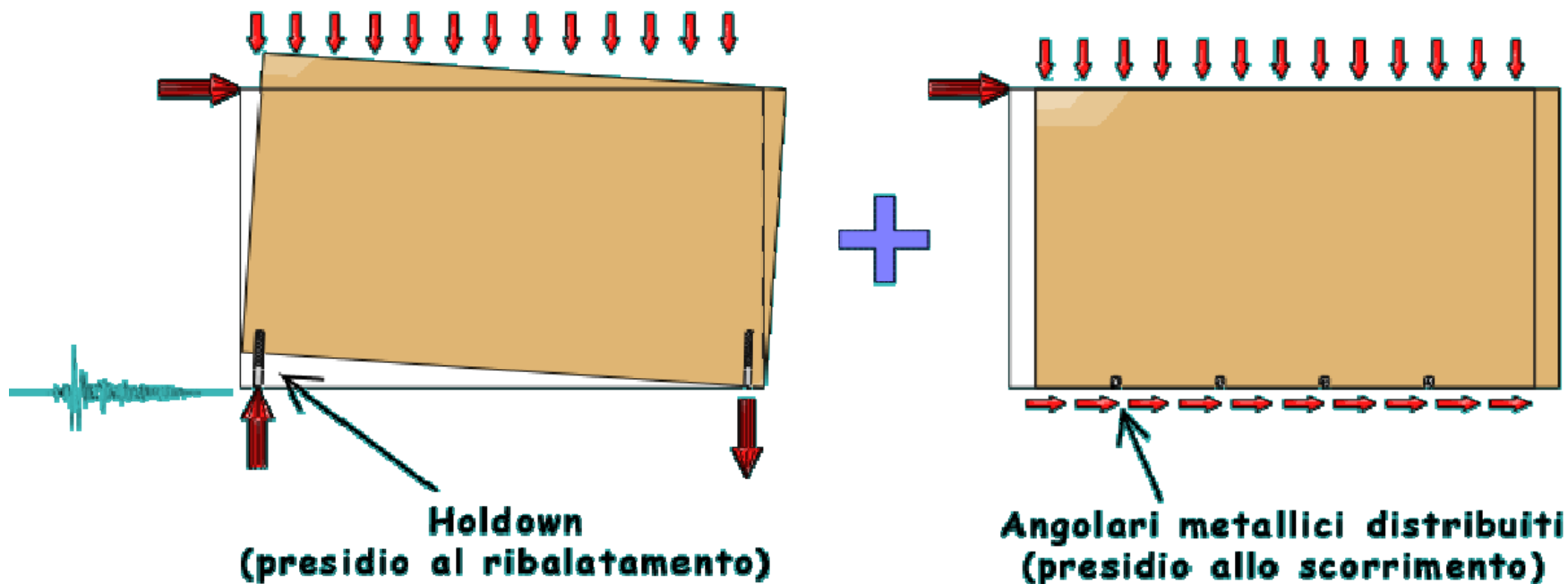
## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



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

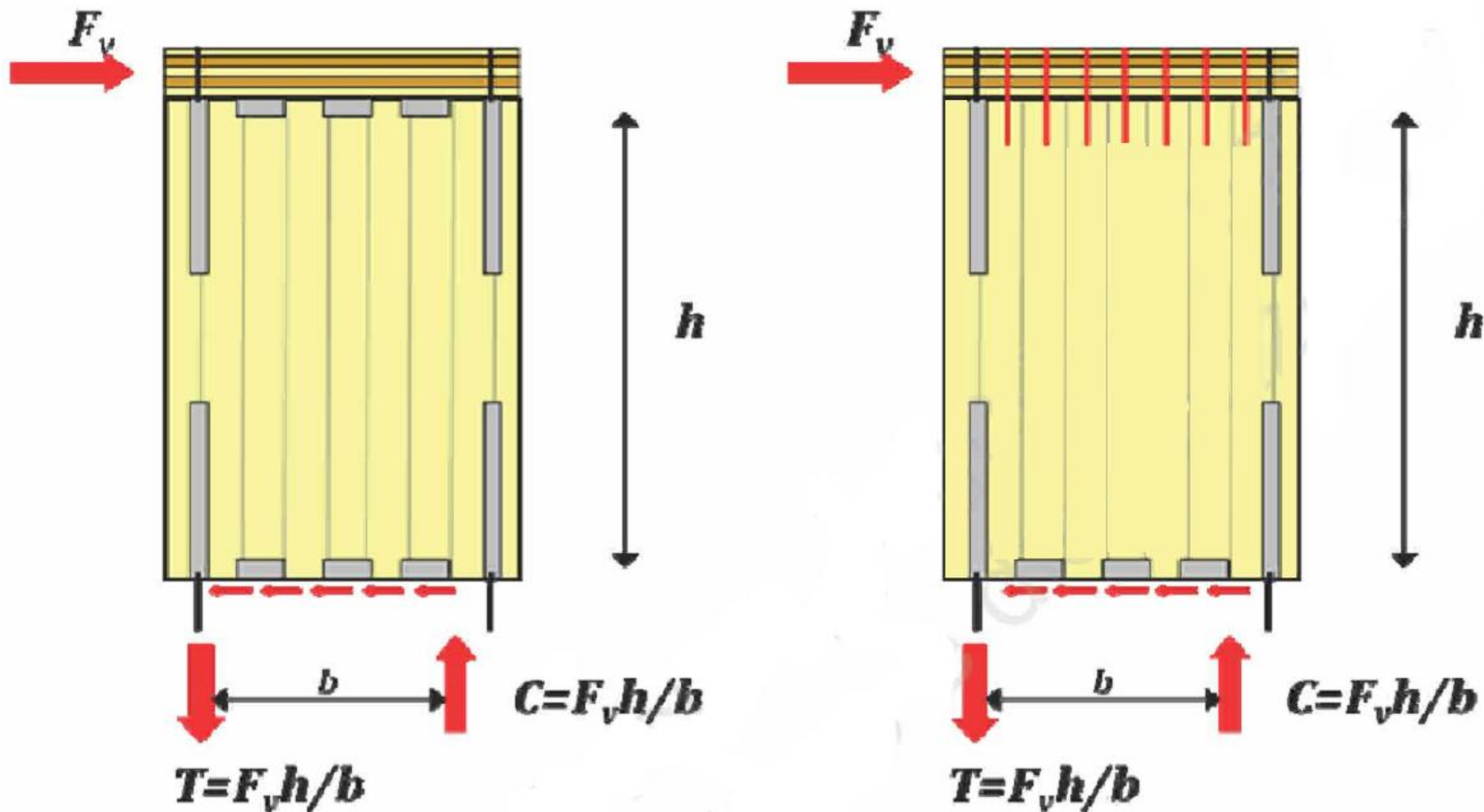
## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

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

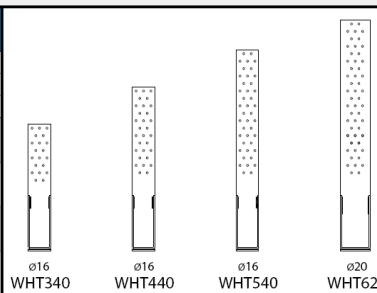


Tratto da: Edifici in legno in X-lam: connessioni e collegamenti – ing. Roberto Tomasi - promo legno

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

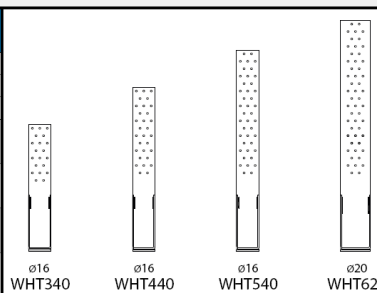
### DATI TECNICI - GIUNZIONE ELEMENTO VERTICALE SU LEGNO

WHT - CHIODATURA PARZIALE			Resistenza caratteristica a trazione			
TYP WHT	Fissaggio Fori Ø 5 (connettori)		R <sub>k</sub> lato legno		R <sub>k</sub> lato acciaio	
			n <sub>conn</sub> [pz.]	R <sub>k</sub> legno [kN]	Rondella	R <sub>k</sub> acciaio [kN]
340	Chiodi Anker	Viti Speciali	14	22,0	-	42,0
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		27,0		
440	Chiodi Anker	Viti Speciali	20	31,4	-	42,0
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		38,6		
540	Chiodi Anker	Viti Speciali	26	40,8	-	42,0
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		50,2		
620	Chiodi Anker	Viti Speciali	32	50,2	-	42,0
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		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 (connettori)		R <sub>k</sub> lato legno		R <sub>k</sub> lato acciaio	
			n <sub>conn</sub> [pz.]	R <sub>k</sub> legno [kN]	Rondella	R <sub>k</sub> acciaio [kN]
340	Chiodi Anker	Viti Speciali	20	31,4	-	42,0
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		38,6		
440	Chiodi Anker	Viti Speciali	30	47,1	* H	63,4
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		57,9	10 mm	
540	Chiodi Anker	Viti Speciali	42	65,9	* H	63,4
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		81,1	10 mm	
620	Chiodi Anker	Viti Speciali	52	81,6	** H	85,2
	Ø 4,0 x 40	Ø 5,0 x 40		100,4	20 mm	



\* Rondella ULS505610 \*\* Rondella ULS707720

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:

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

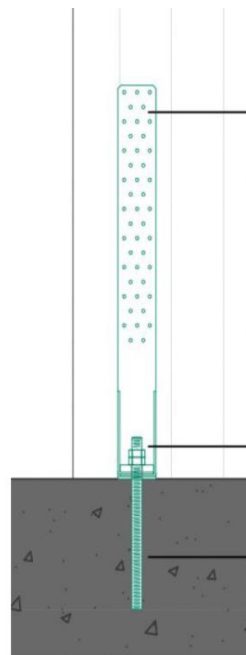
dove la portata del singolo connettore è pari ai valori riportati nella tabella a fianco. La resistenza di progetto R<sub>d</sub> dell'angolare WHT si determina come il valore minimo tra la resistenza di progetto dei connettori lato legno e la resistenza di progetto dell'angolare lato acciaio. I coefficienti 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

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

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

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO



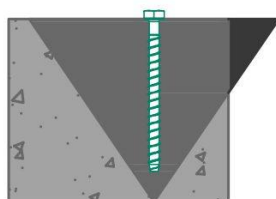
$$R_{d,legno} = \frac{R_{1,k \text{ legno}} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = 57,93 \text{ kN}$$

**1 kN = 100 kg**

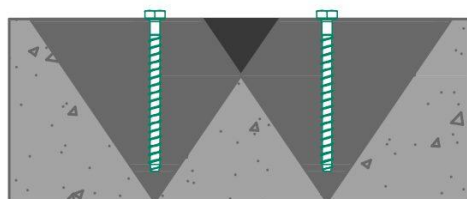
$$R_{d,acciaio/piatto \text{ hold-down}} = \frac{R_{1,k \text{ acciaio}}}{\gamma_{acciaio}} = 50,72 \text{ kN}$$

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

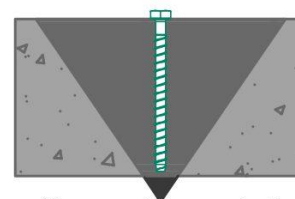
min =  $R_d = 48,48$



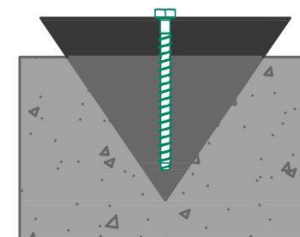
Distanza dal bordo insufficiente



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

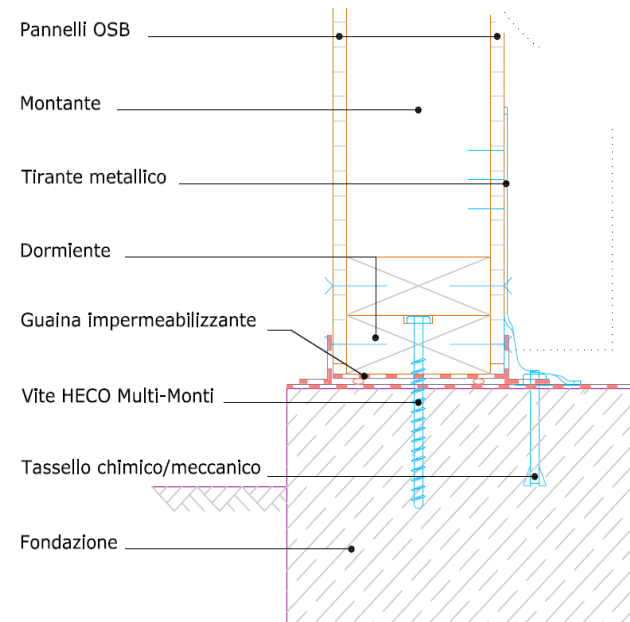
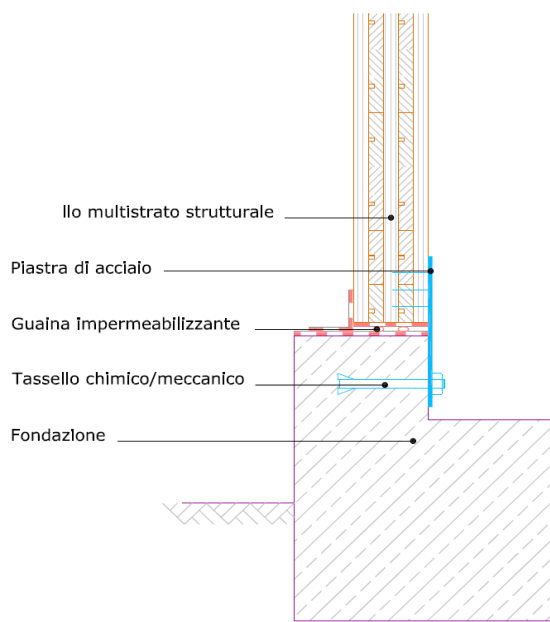
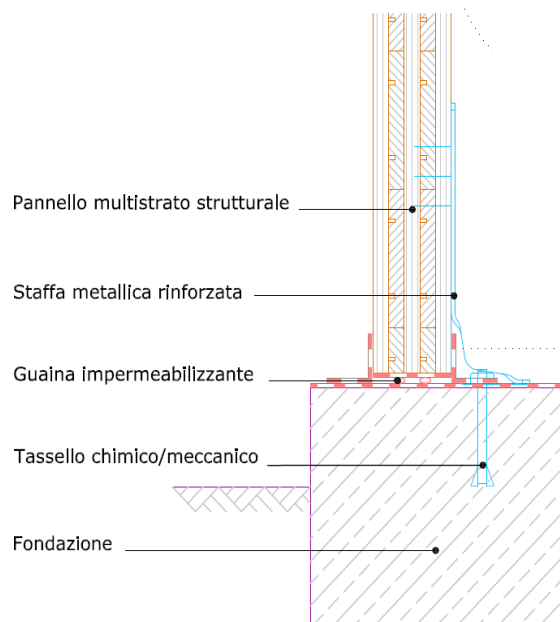


Esempi di ancoraggi tipo per struttura X-lam



## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

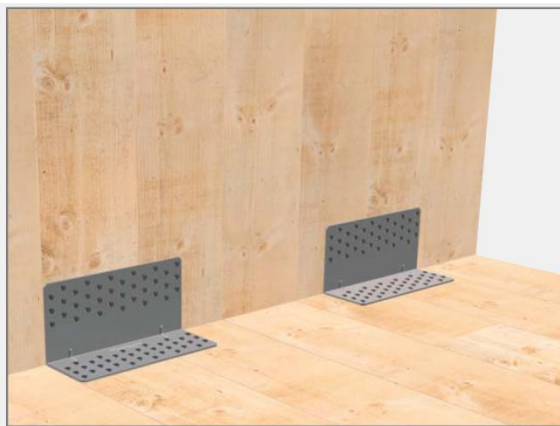
### Sistemi di giunzione attacchi a terra



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

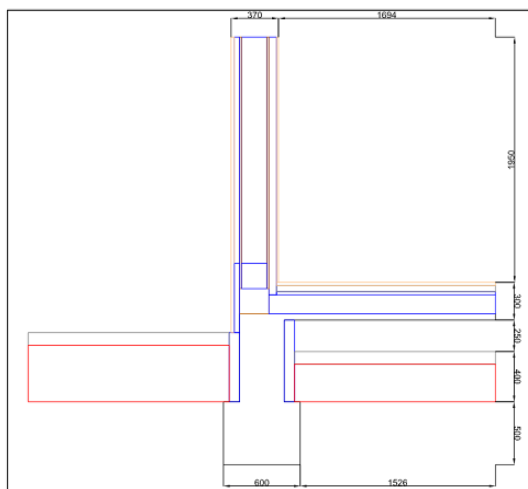
	U	L [m]	U*L
Parete	0,1620	2,250	0,3645
Pavimento	0,3610	2,064	0,7451
$\Sigma U*L$			1,1096

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

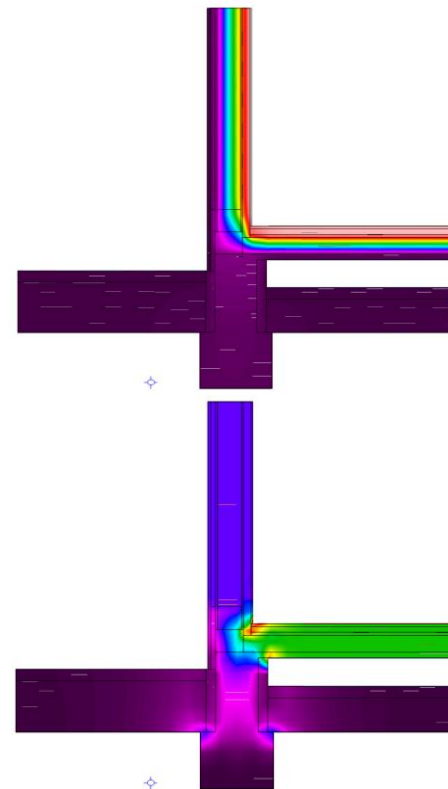
$$\psi_i + \Sigma U*L = L2D$$

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

$$\psi_i = -0,2965$$



**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

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

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

$$\psi = -0,2686$$

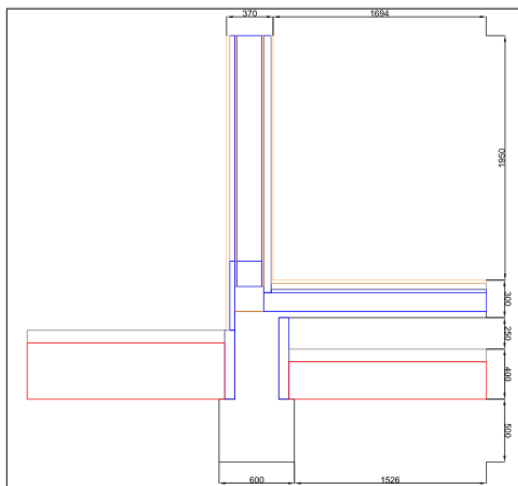


Diagramma isoterme

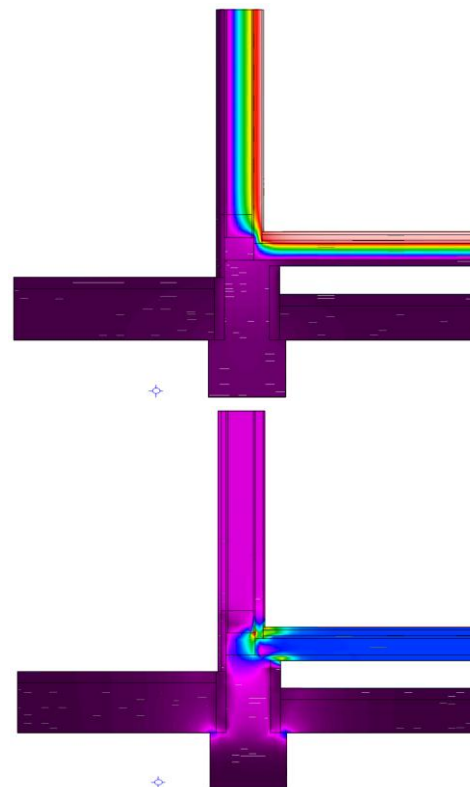


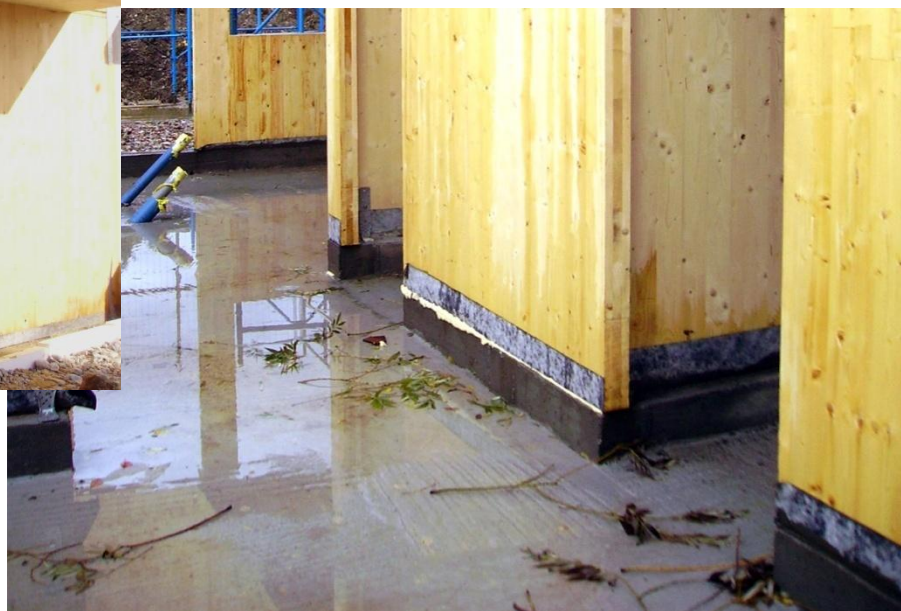
Diagramma flussi di calore

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

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE ANTISISMICHE IN LEGNO

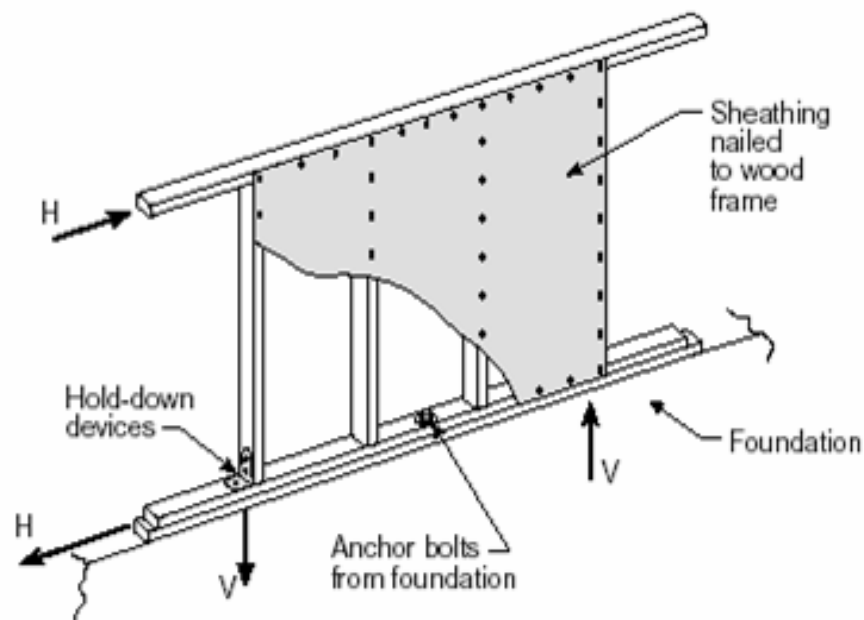


Attacchi a terra strutture in legno



## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

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

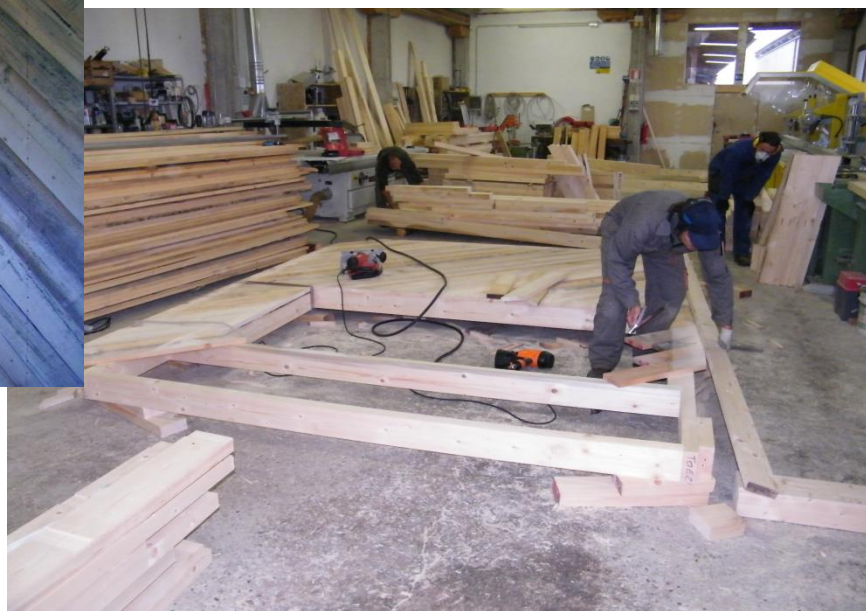


Tratto da: Collegamenti: problemi speciali nelle costruzioni di legno in zona sismica – ing. Maurizio Piazza e Roberto Tomasi - promo legno

## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI



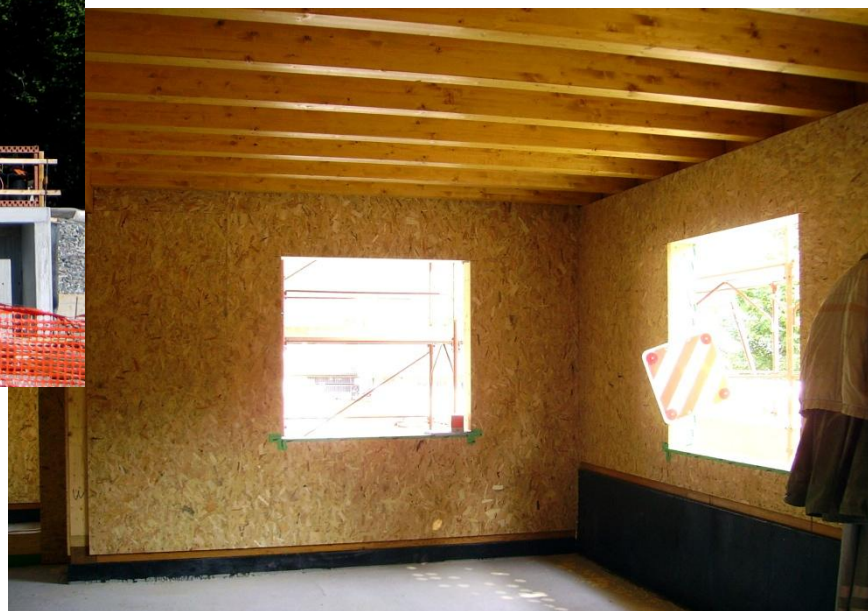
Sistemi intelaiati e controventati con tavole



## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI



Sistemi intelaiati e controventati con pannelli

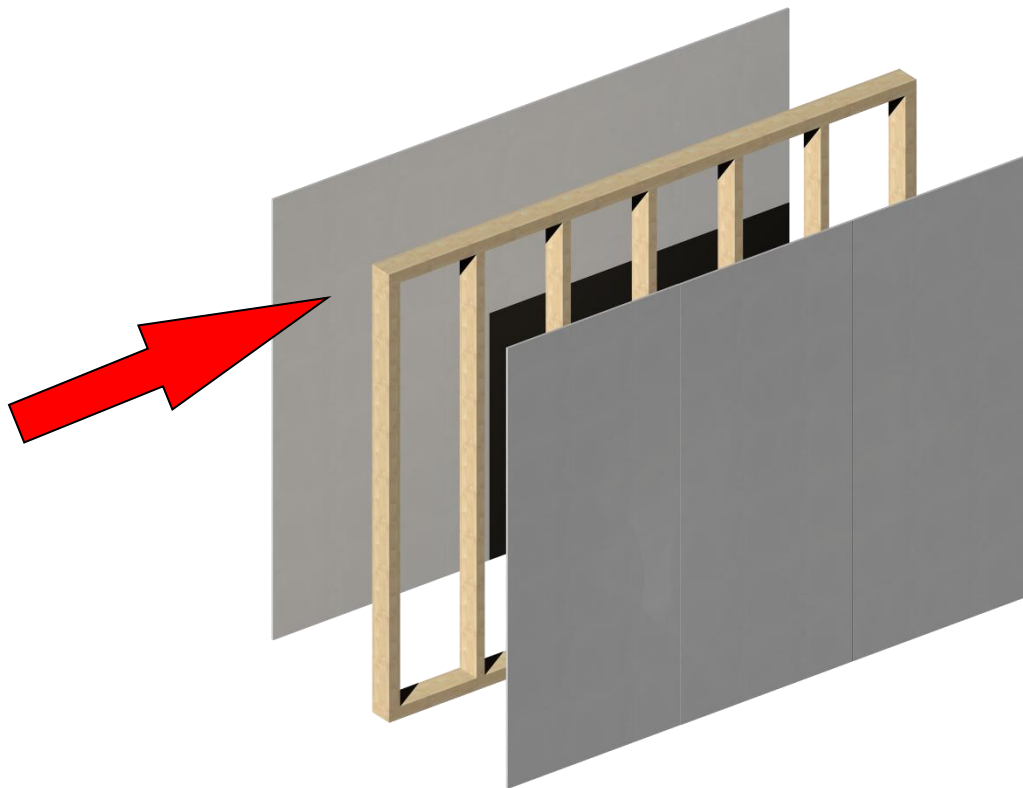


## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

### Carichi orizzontali vs Carichi verticali

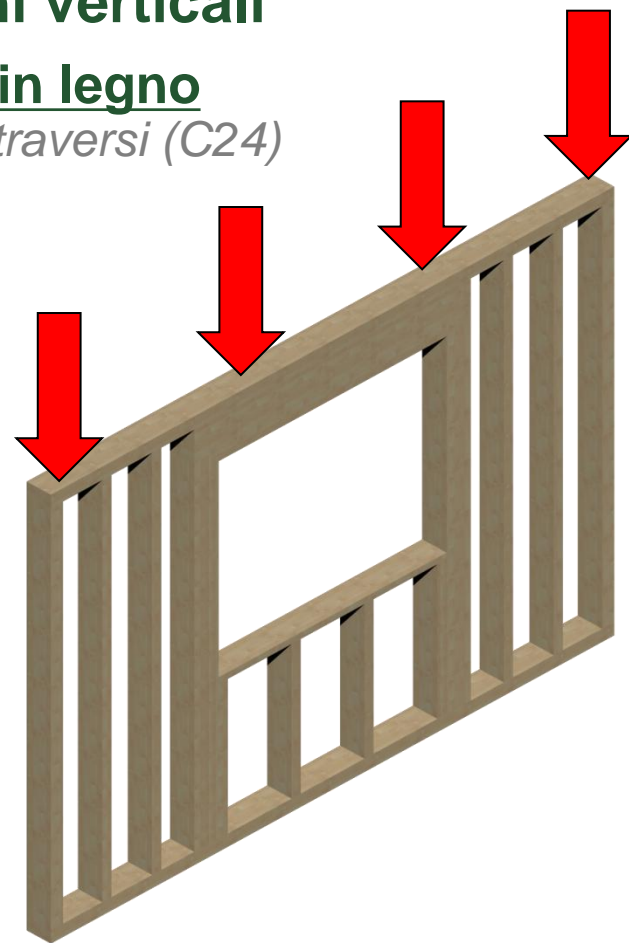
#### Pannelli di chiusura

*Osb, Masonite, Gesso fibra, etc*



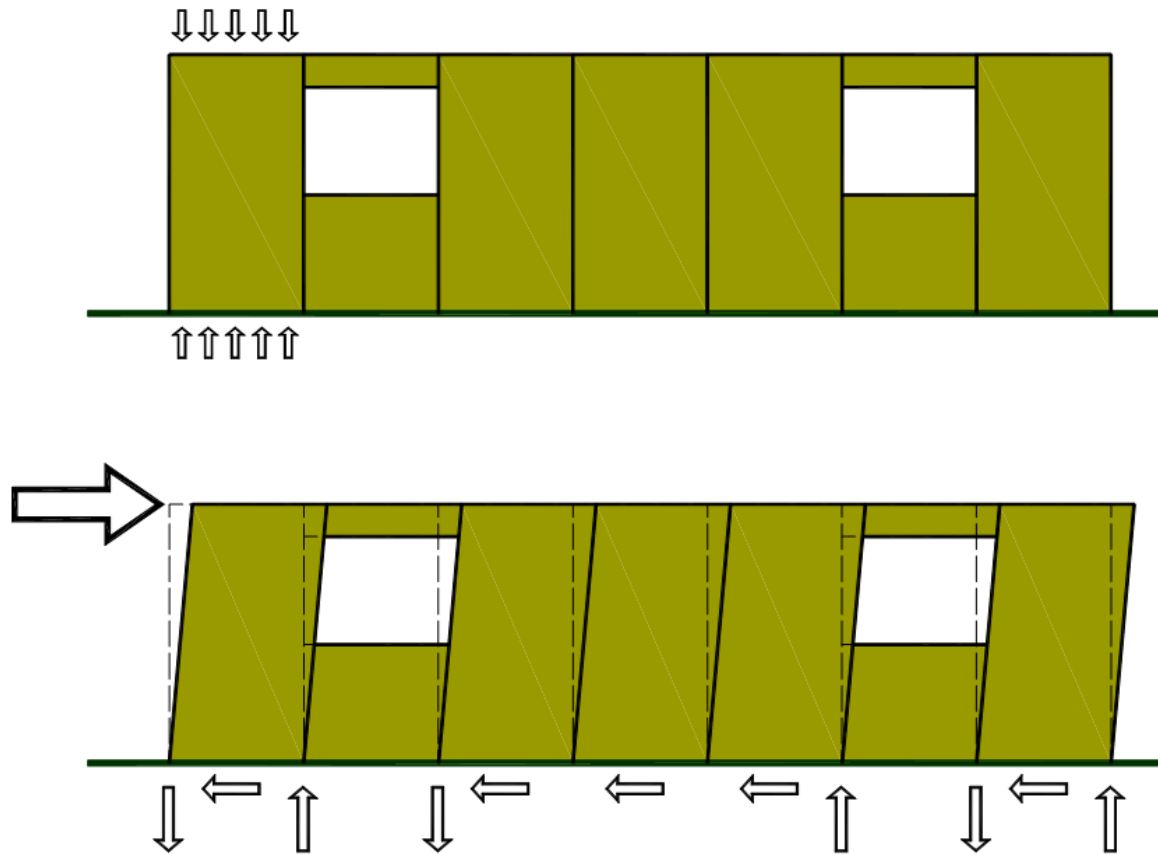
#### Telaio in legno

*Montanti e traversi (C24)*





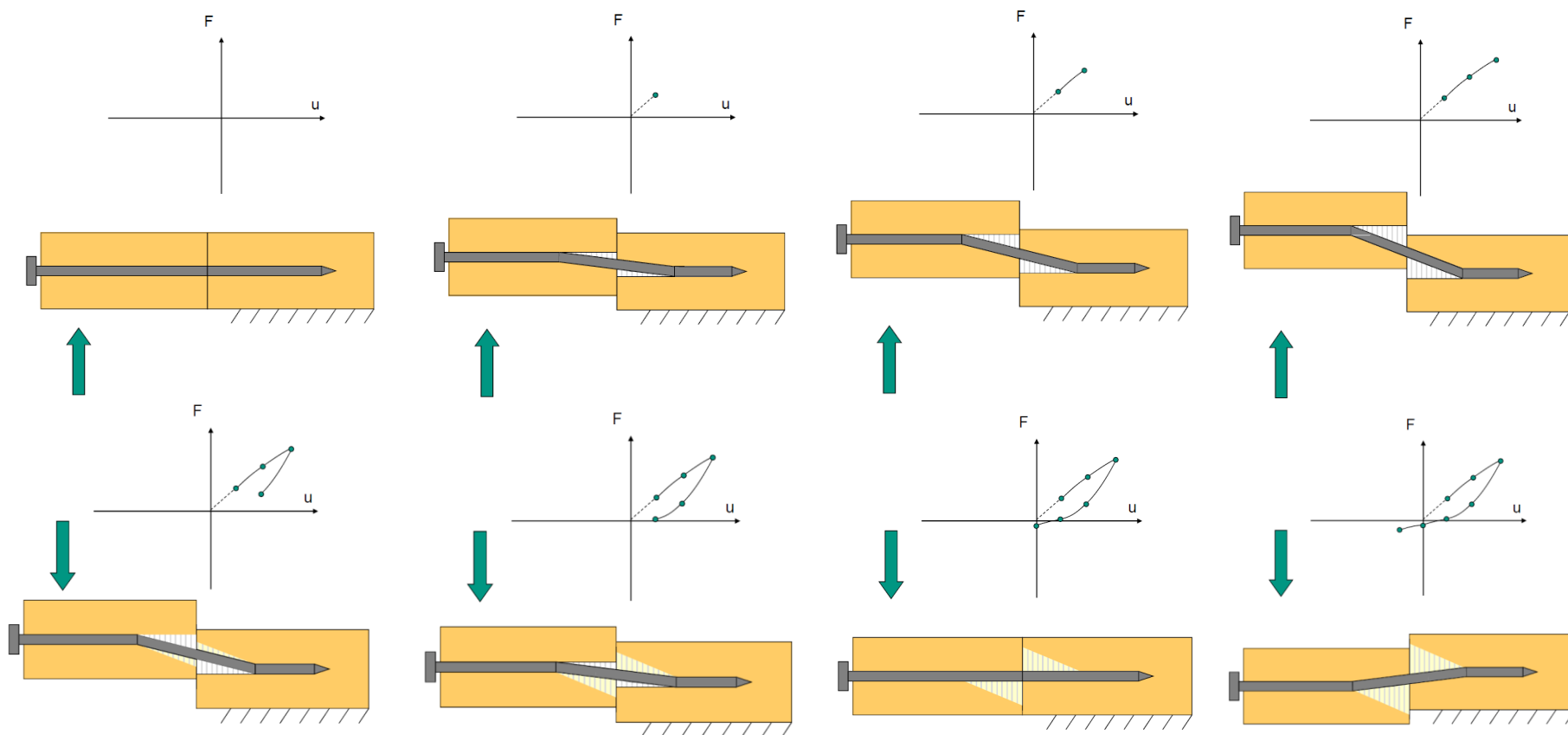
## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI



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

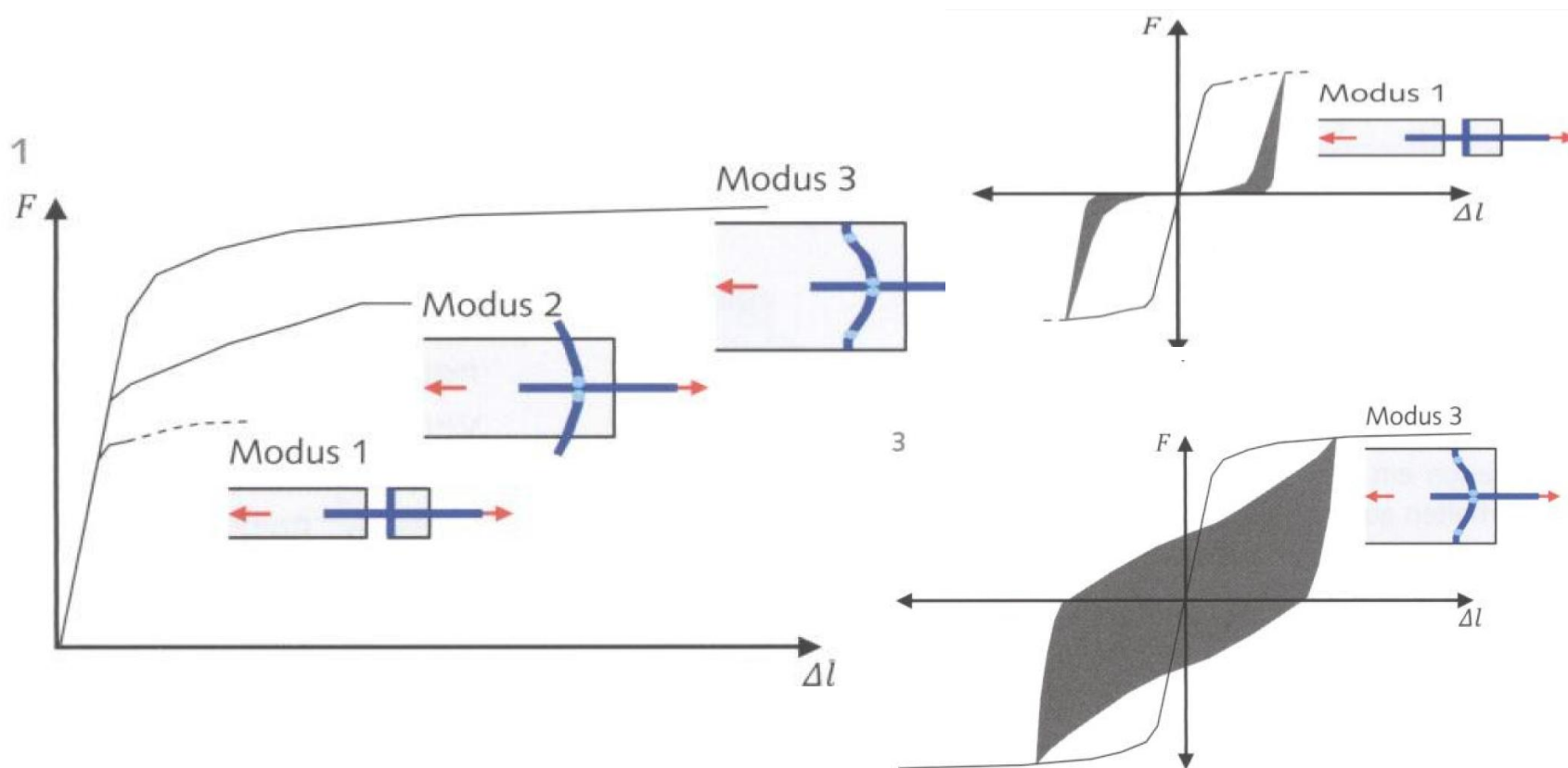
## SISTEMI COSTRUTTIVI LIGNEI INTELAIATI

### 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

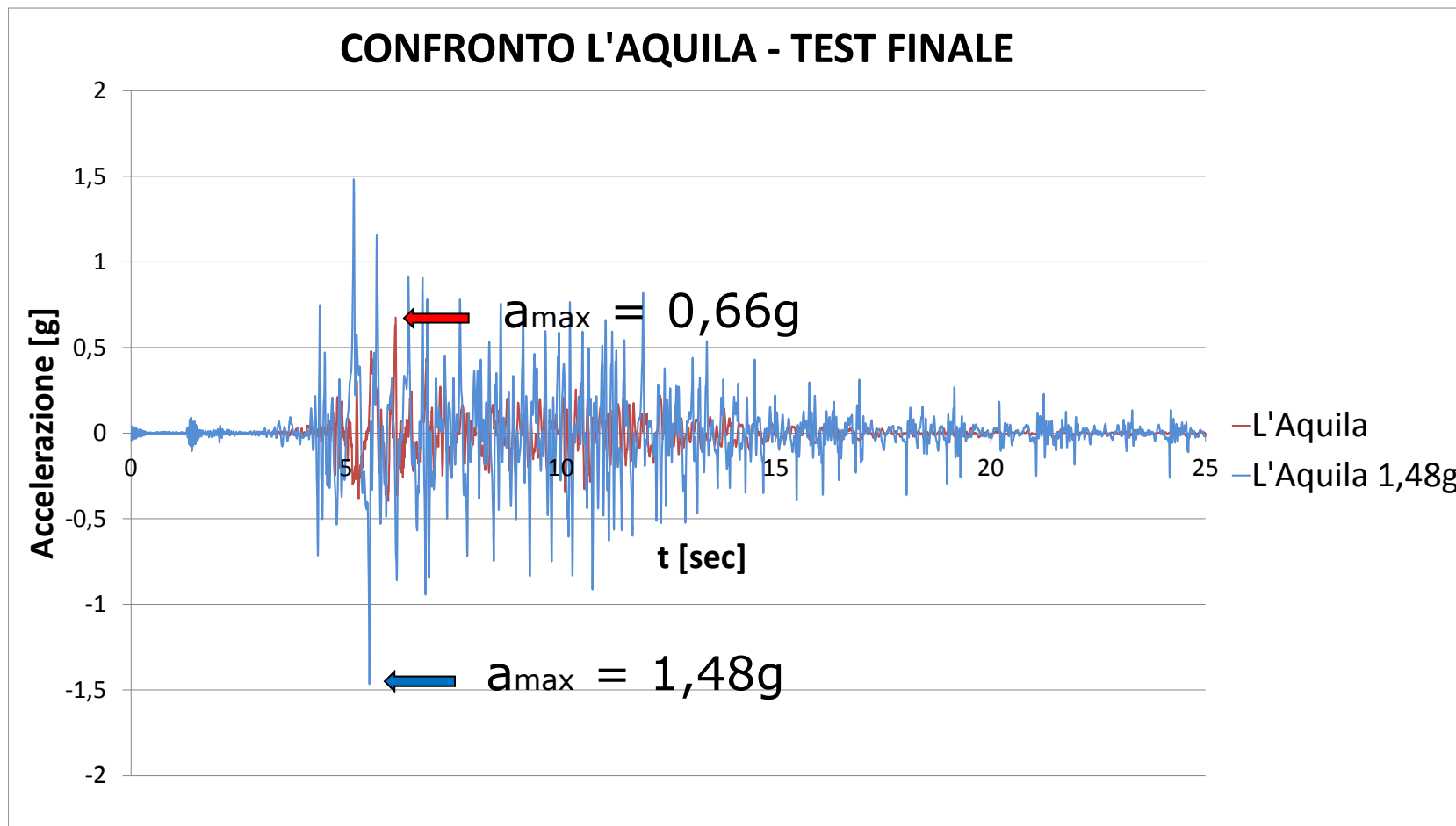
### Progetto di ricerca: EUCENTRE – Pavia

#### 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

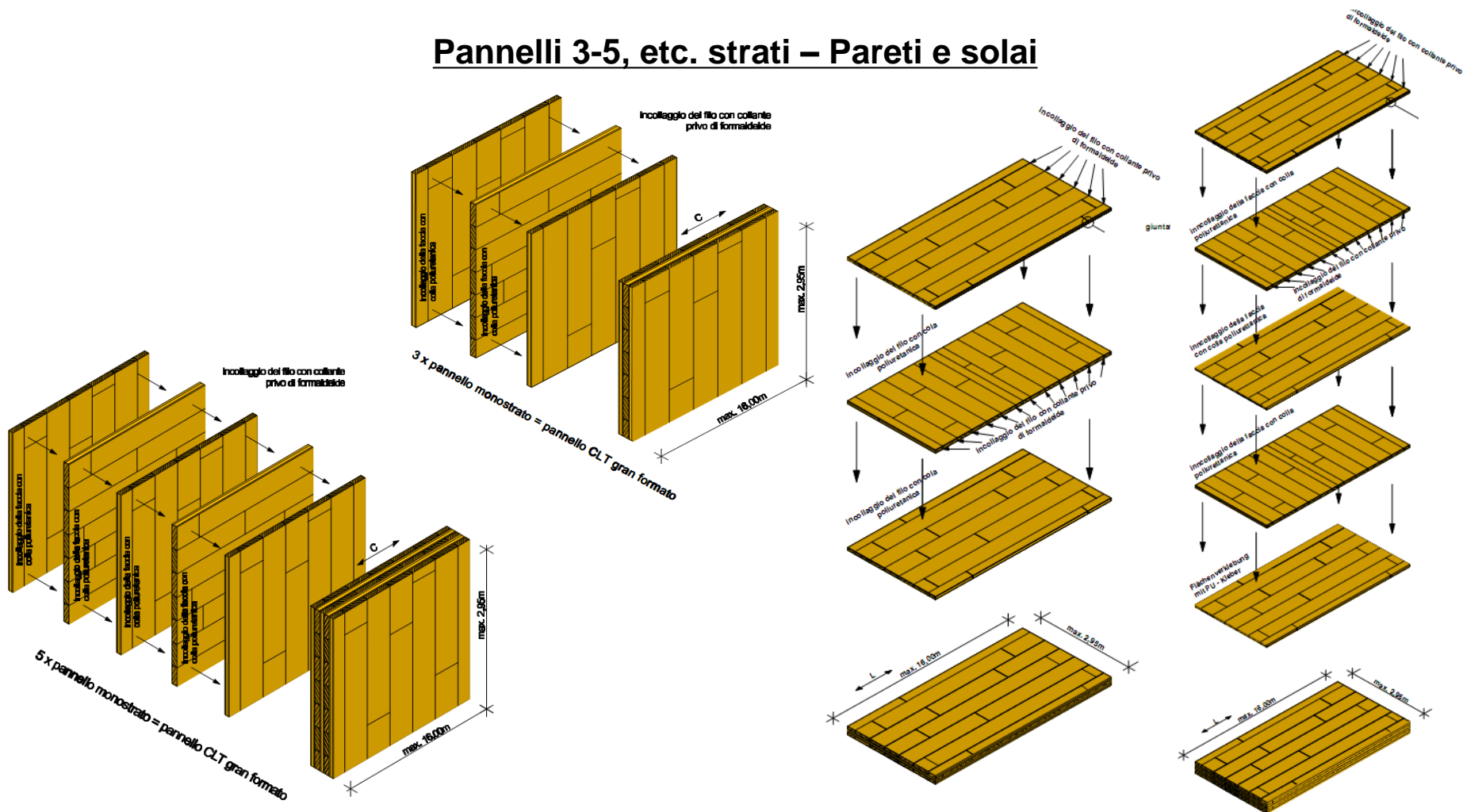
### Riqualificazione facciate con elementi modulari intelaiati



*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) parete/solaio	parete	solaio	a 5-strati (mm) parete/solaio	parete	solaio	a 7-strati (mm) parete/solaio	solaio	a 7-strati (mm)*** solaio
KLH Kreuzlagenholz	16,5	2,95		57-500		57, 72, 94	60, 78, 90, 95, 108, 120		95, 128, 158	117, 125, 140, 146, 162, 182, 200		202, 226	208, 230, 248
BBS Binder Brettsperrholz	24	1,25	0,25	75-334	75, 90, 98, 114, 125			98, 114, 146, 161, 177, 195, 209			230, 245, 272, 293, 334		
CLT Cross Laminated Timber	16	2,95		72-400		72, 84, 95, 105, 121	81, 90, 95, 107, 116, 129		123, 141, 160	132, 147, 159, 171, 183, 199, 215		203, 221, 235	210, 235, 257, 269, 285, 301
MM-BSP	16,5	3	1,2	78-278	98, 118	78		134, 146, 160		173, 184, 198		214, 240, 258, 278	
HMS-BSP	18	4		60-400	75, 81, 93			125, 131, 143, 155			175, 181, 193, 205, 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 10% C16	Poliuretano
ARTUSO	10/0339	Abete rosso Europeo o resinoso	Strati esterni	100% C24	Poliuretano
			Strati interni	10% C18 90% C24	

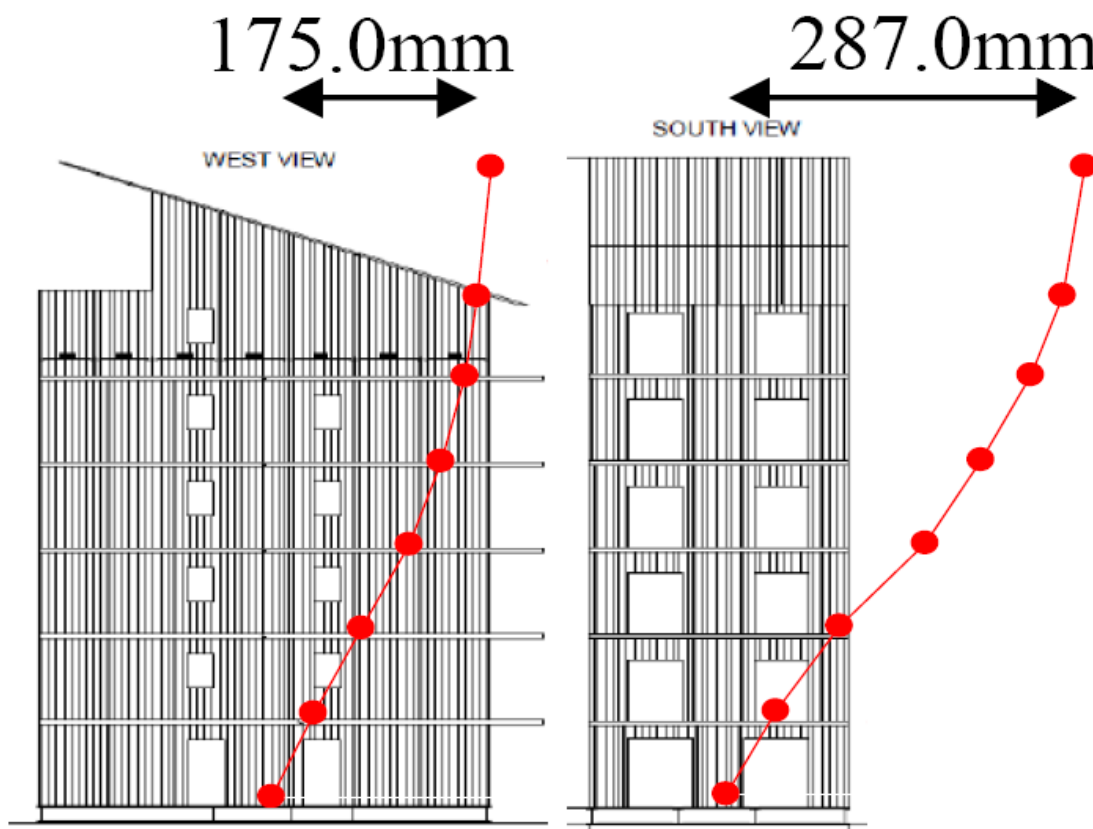
Tratto da: Sei sicuro che i pannelli Xlam siano tutti uguali- WoodLab - Farra di Soligo (TV)

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



*Prof. dott. ing. Ario Ceccotti - CNR - IVALSIA – 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



## 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)

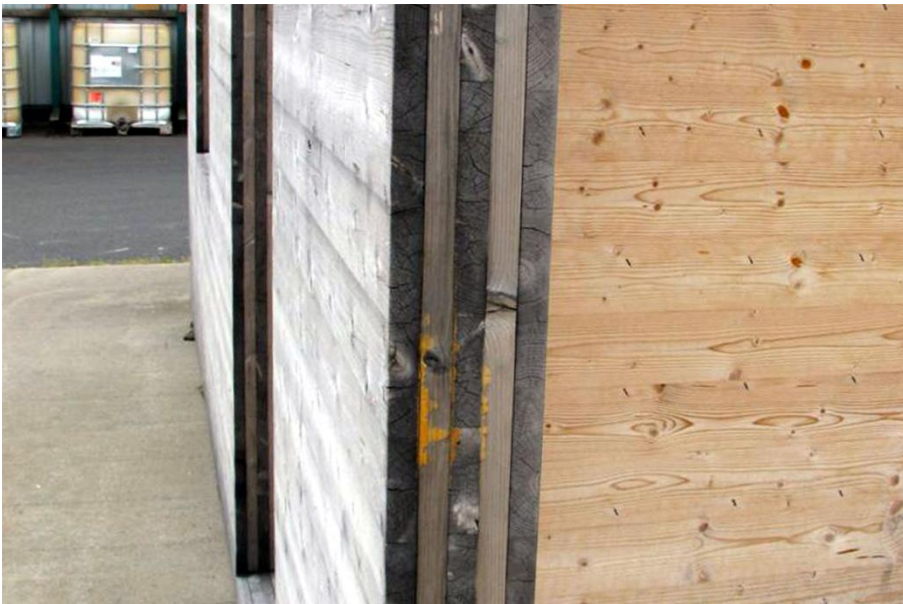
## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM



Resistenza alle intemperie Sistema CLT



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



Resistenza alle intemperie Sistema CLT



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



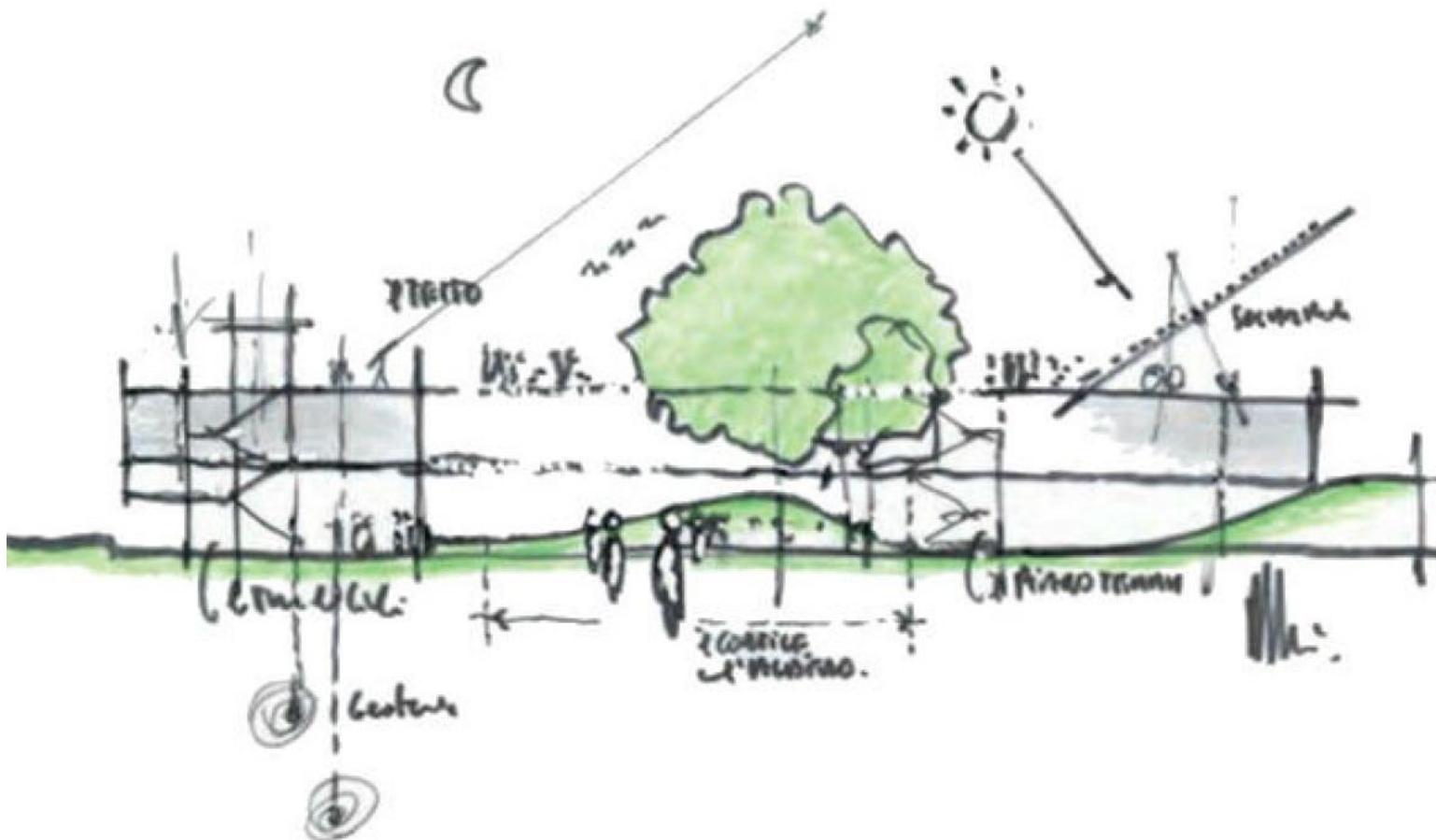
Resistenza del legno all'umidità e salsedine



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*



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



**CORSO DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE**

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



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