

**arch. Andrea BOZ**



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

www.arkboz.com  
andrea@4ad.it



## 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

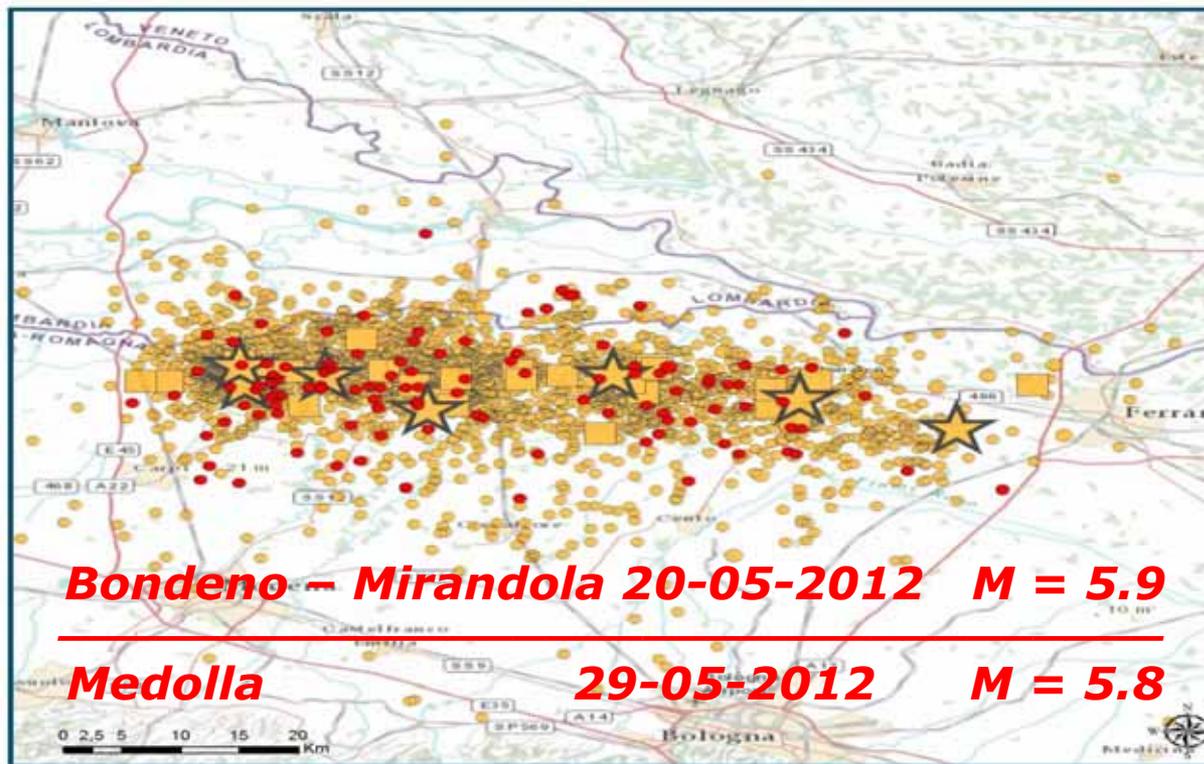


Effetti distruttivi per carichi di vento e neve



Esempi di costruzioni rurali abbandonate nella pianura svedese

## PRINCIPALI CAUSE DI COLLASSO DELLE STRUTTURE



SEQUENZA SISMICA  
aggiornata al 27 giugno  
ore 14.00

EVENTI ULTIMI 7 giorni  
magnitudo ML

- Minore di 3.0
- Maggiore uguale di 3.0 e minore di 4.0
- Maggiore uguale di 4.0 e minore di 5.0
- ★ Maggiore uguale di 5.0

EVENTI dal 19 maggio

- magnitudo ML
- Minore di 3.0
  - Maggiore uguale di 3.0 e minore di 4.0
  - Maggiore uguale di 4.0 e minore di 5.0
  - ★ Maggiore uguale di 5.0

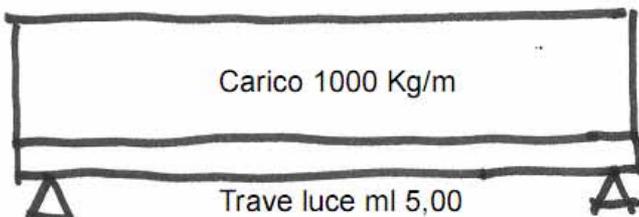
1) Cattiva esecuzione

2) Scarsa duttilità

3) Peso elevato

## 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

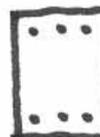
Sez. 200x350 peso 42 Kg/m = 210



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

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### NORMATIVA DI RIFERIMENTO

D.M. del 14.01.2008

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**

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

### FATTORE DI STRUTTURA

Azione sismica  tipologia di struttura

$$q = q_0 \cdot K_R$$

Duttilità  dissipazione di energia

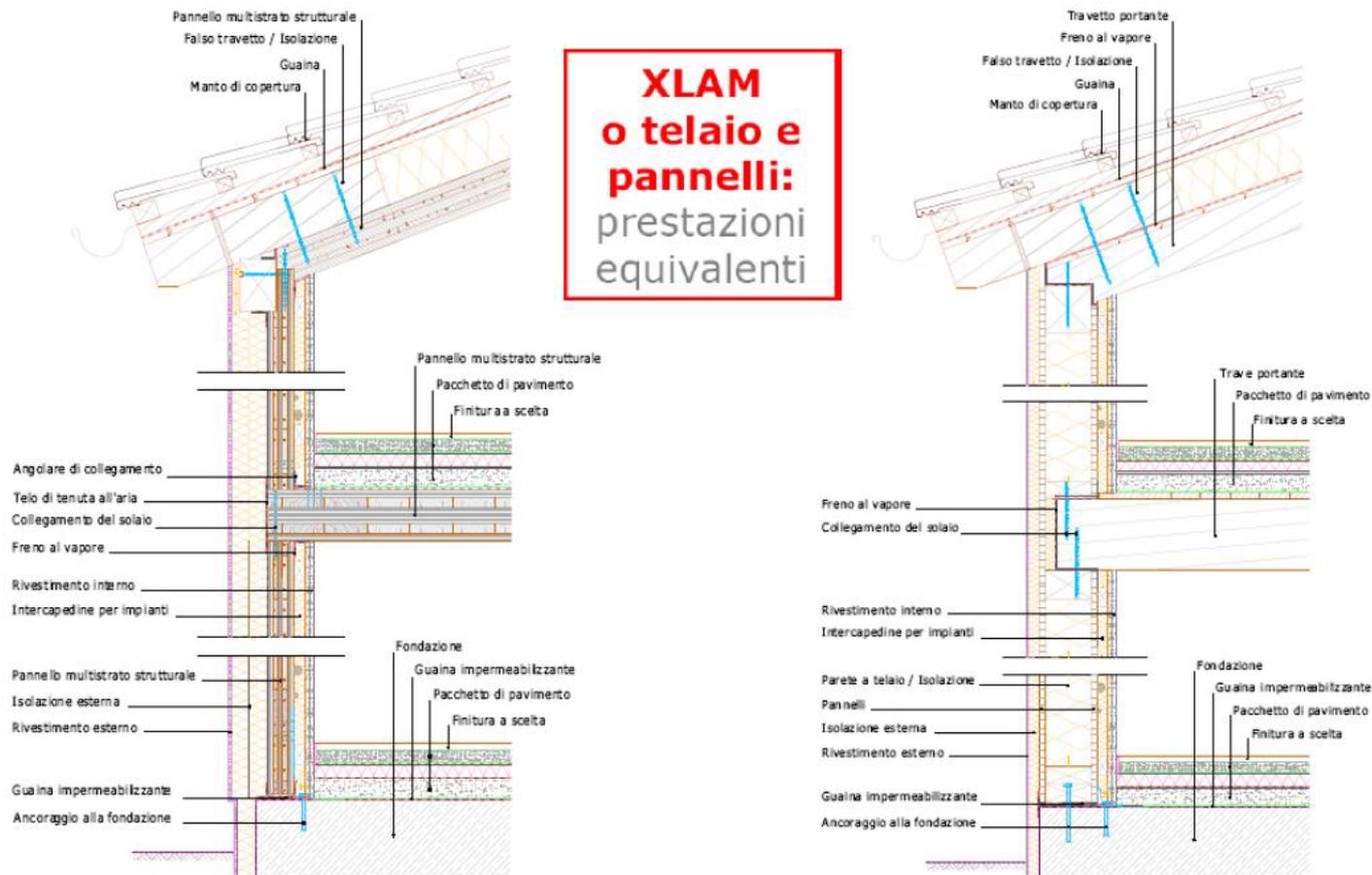
*$q_0$  dipende da materiale, tipologia, duttilità, sovraresistenza e regolarità in pianta della struttura*

*$K_r = 0,8-1,0$  per costruzioni irregolari/regolari in altezza*

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

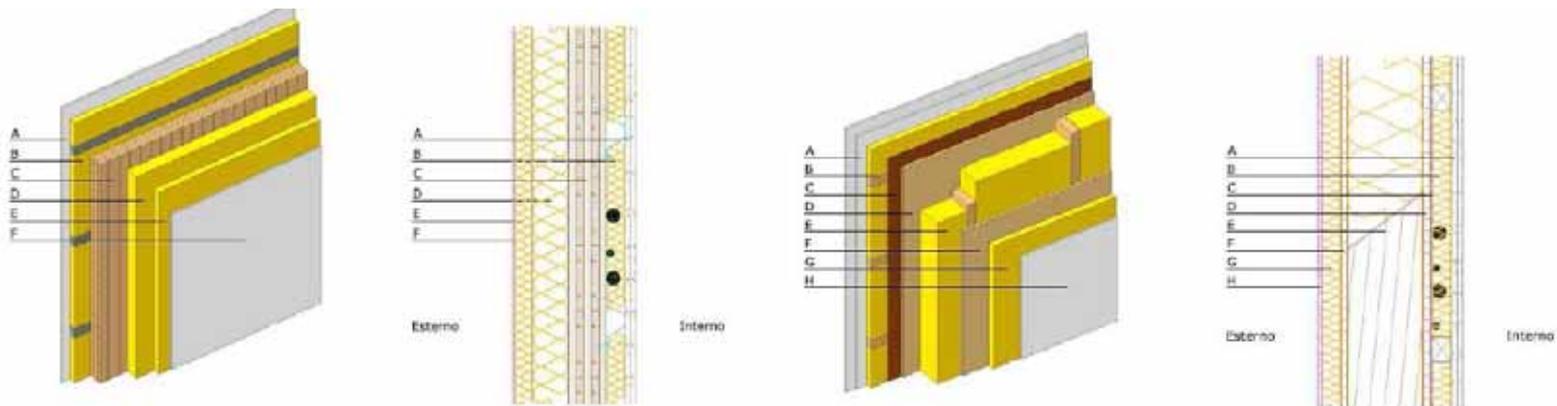
Classe		$\eta$	Esempi di strutture
A	Strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati
		4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del §7.7.3
		5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B	Strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismoresistente) in legno e tamponature non portanti. Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del §7.7.3
		2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del §7.7.3

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



Tratto da: Manuale tecnico – *Consorzio Stile 21*

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



### 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	90
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 ICOPAL DEX 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

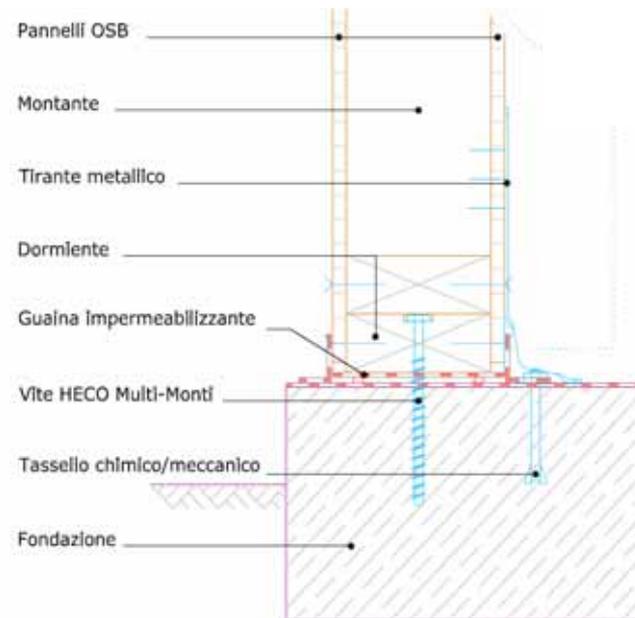
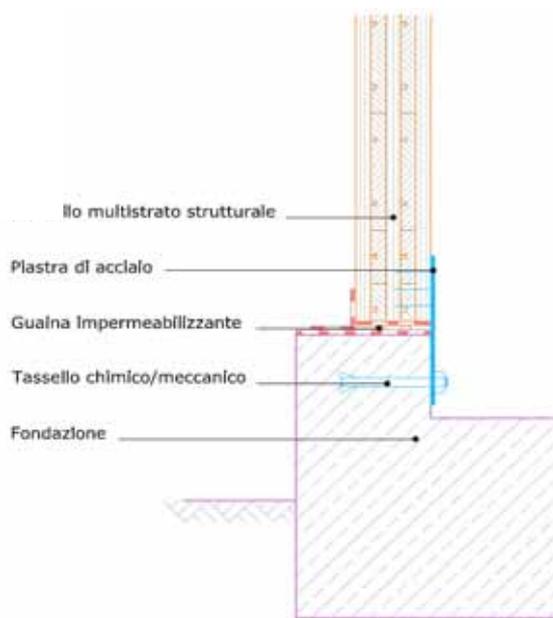
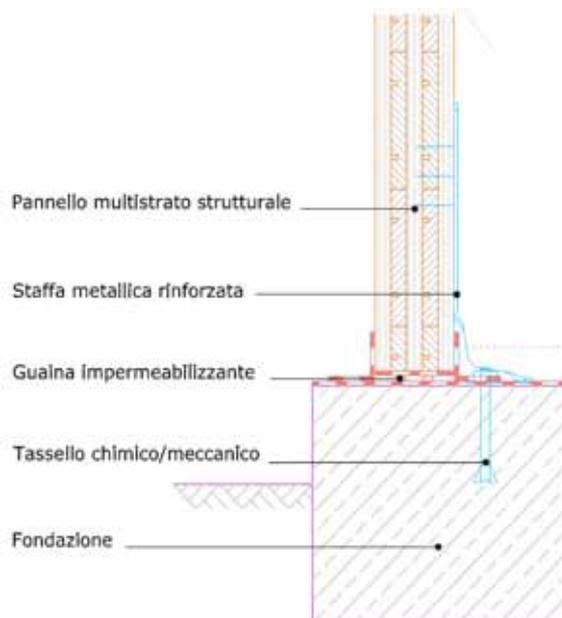
Isolamento acustico: 52 dB

Resistenza al fuoco: 60'

Spessore: 300 mm

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Sistemi di giunzione attacchi a terra



Tratto da: Manuale tecnico – *Consorzio Stile 21*

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

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	2,084	0,7451
$\Sigma U*L$			1,1096

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

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

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

$$\psi = -0,2965$$

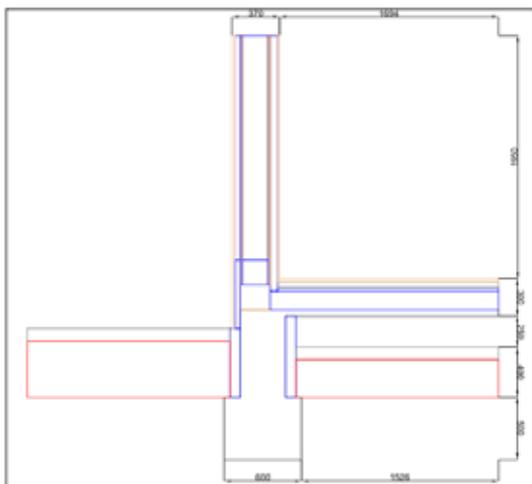


Diagramma isoterme

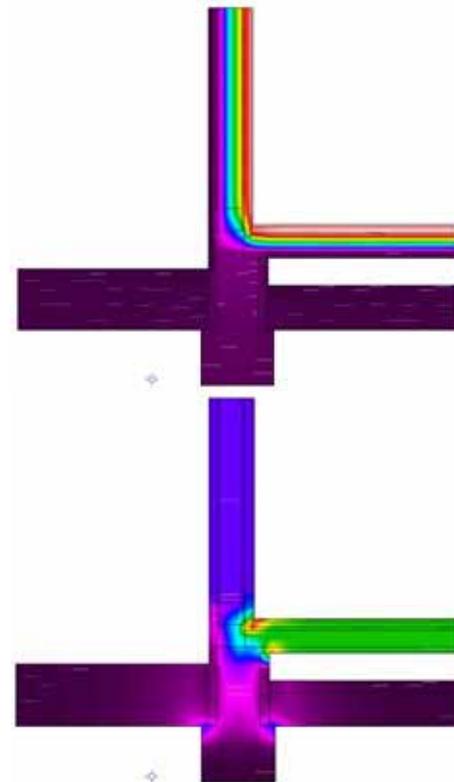


Diagramma flussi di calore

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



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

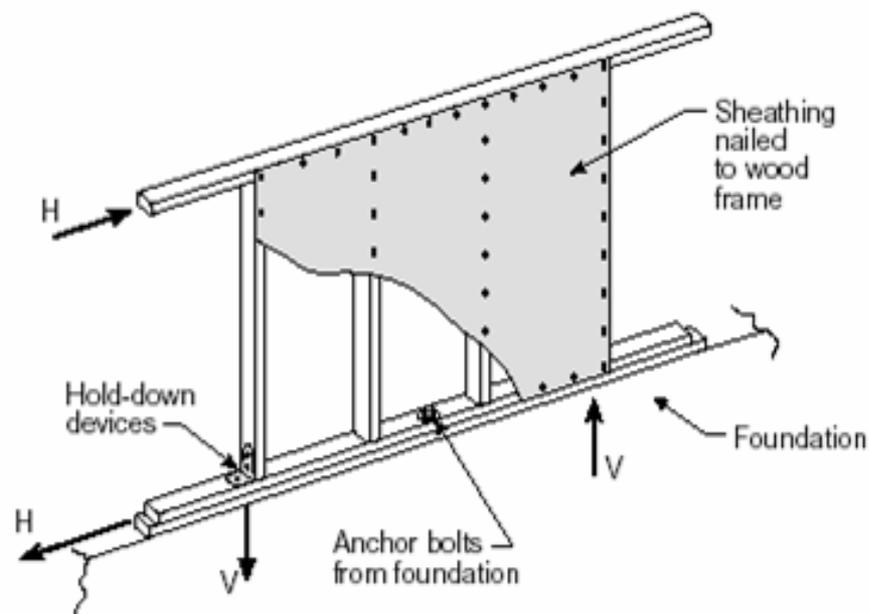


Attacchi a terra strutture in legno



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

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

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



Sistemi intelaiati e controventati con tavole



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



Sistemi intelaiati e controventati con pannelli



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Pareti portanti controventanti

#### Telaio in legno

- Corrente superiore (C24)
- Corrente inferiore (C24)
  - Montanti (C24)

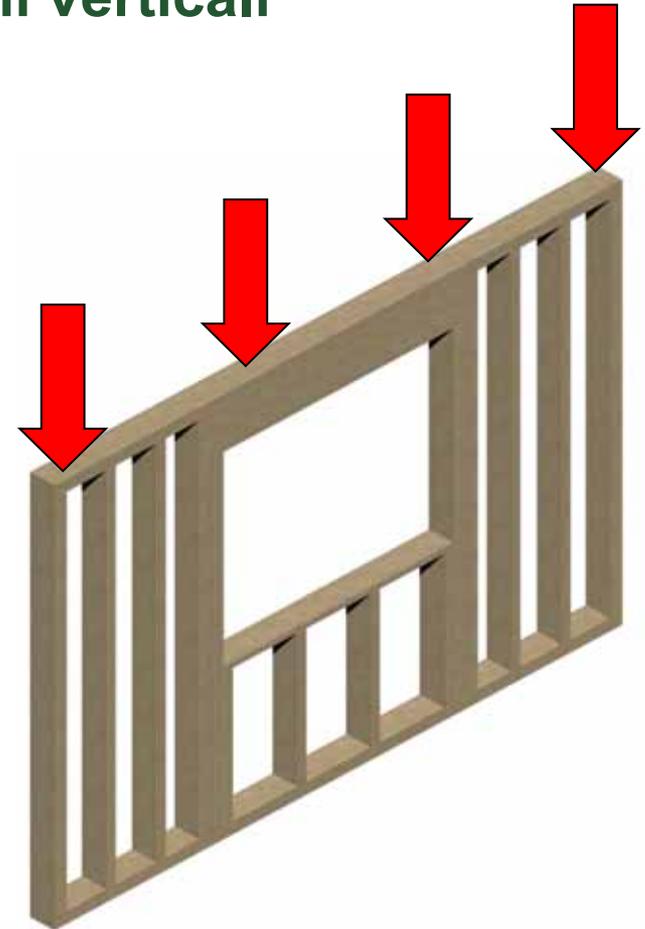
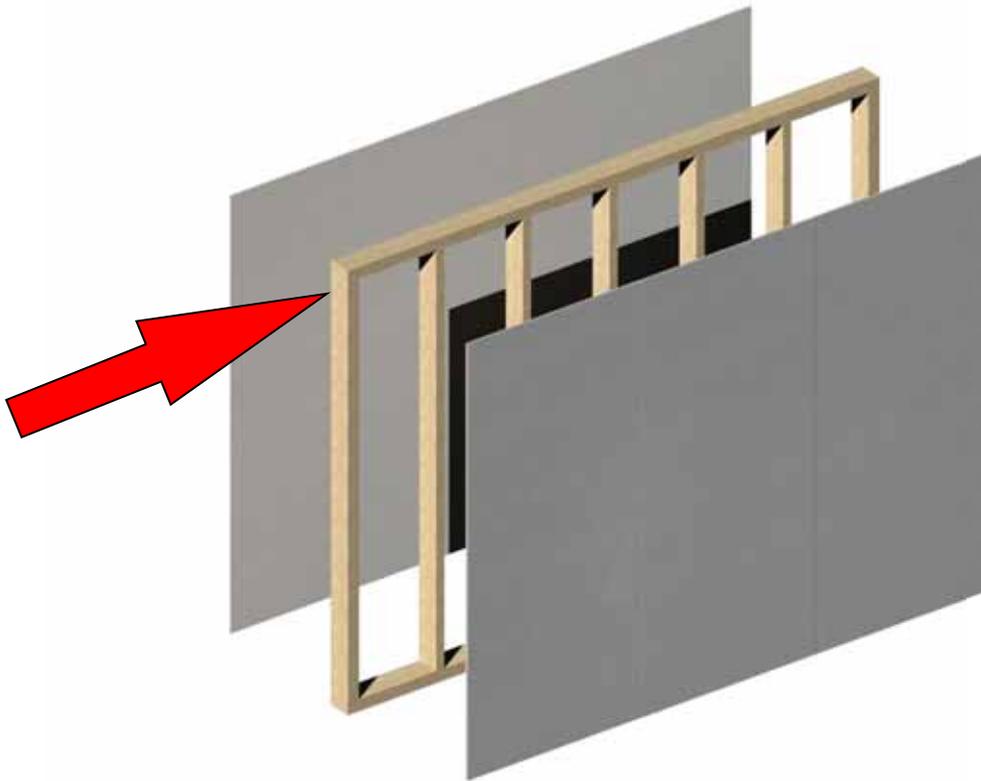
#### Pannelli di chiusura

- Pannello in Masonite  
Osب, Gesso fibra, etc.

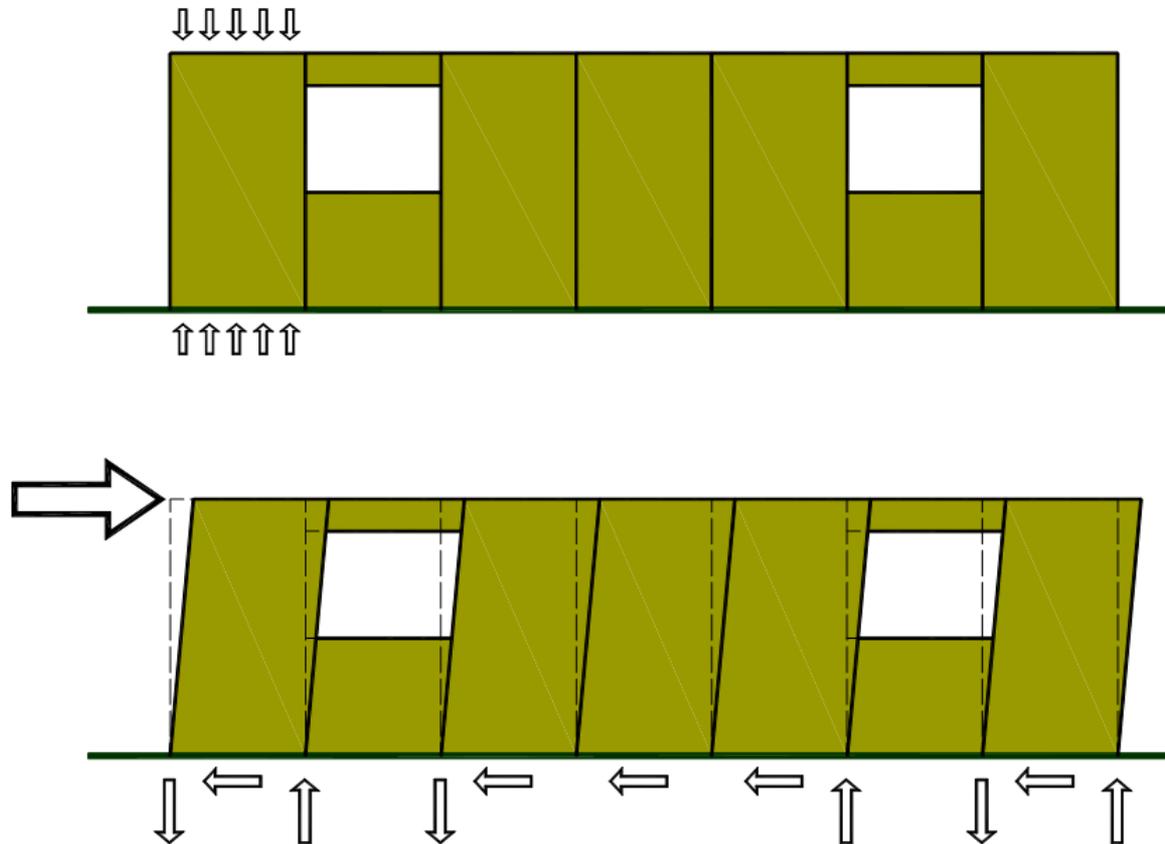


## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Carichi orizzontali vs Carichi verticali



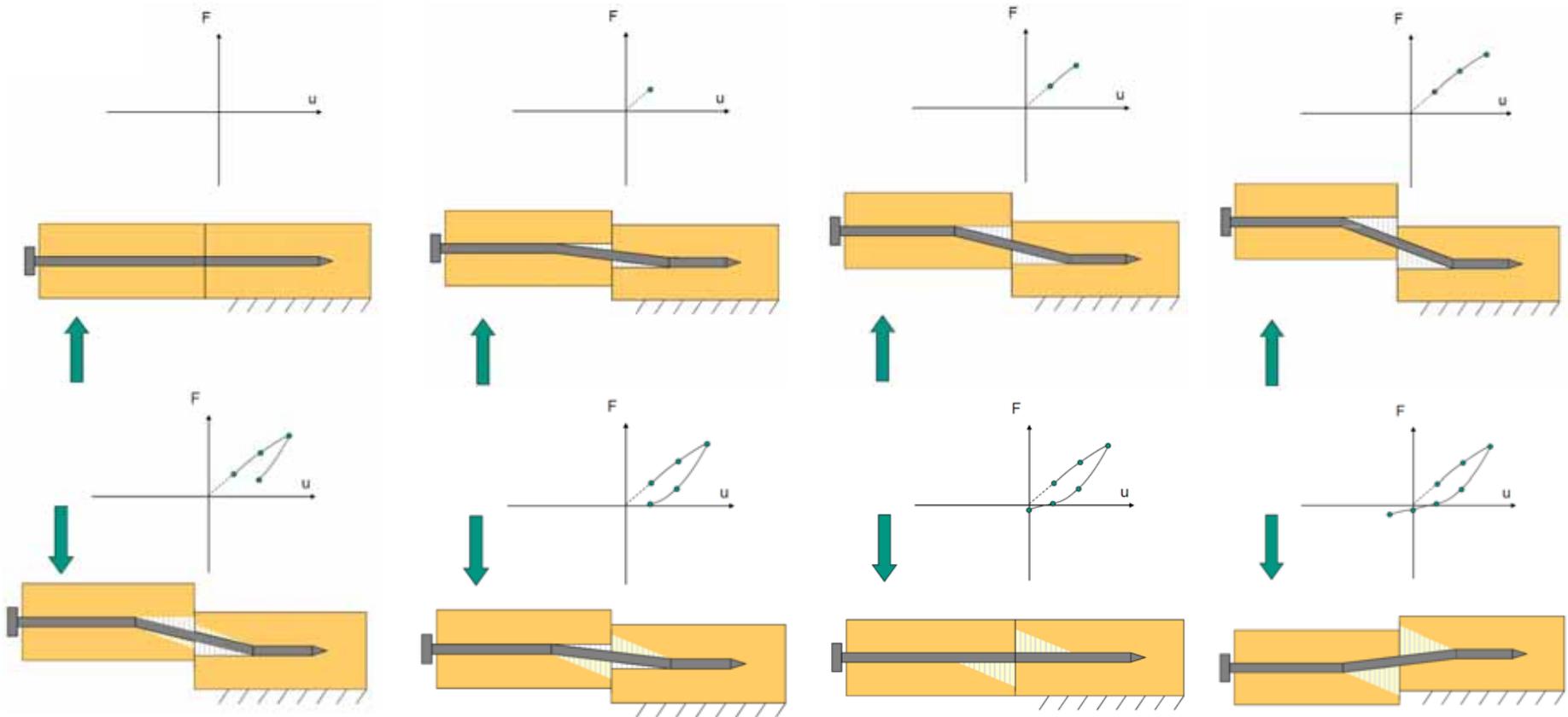
## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



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

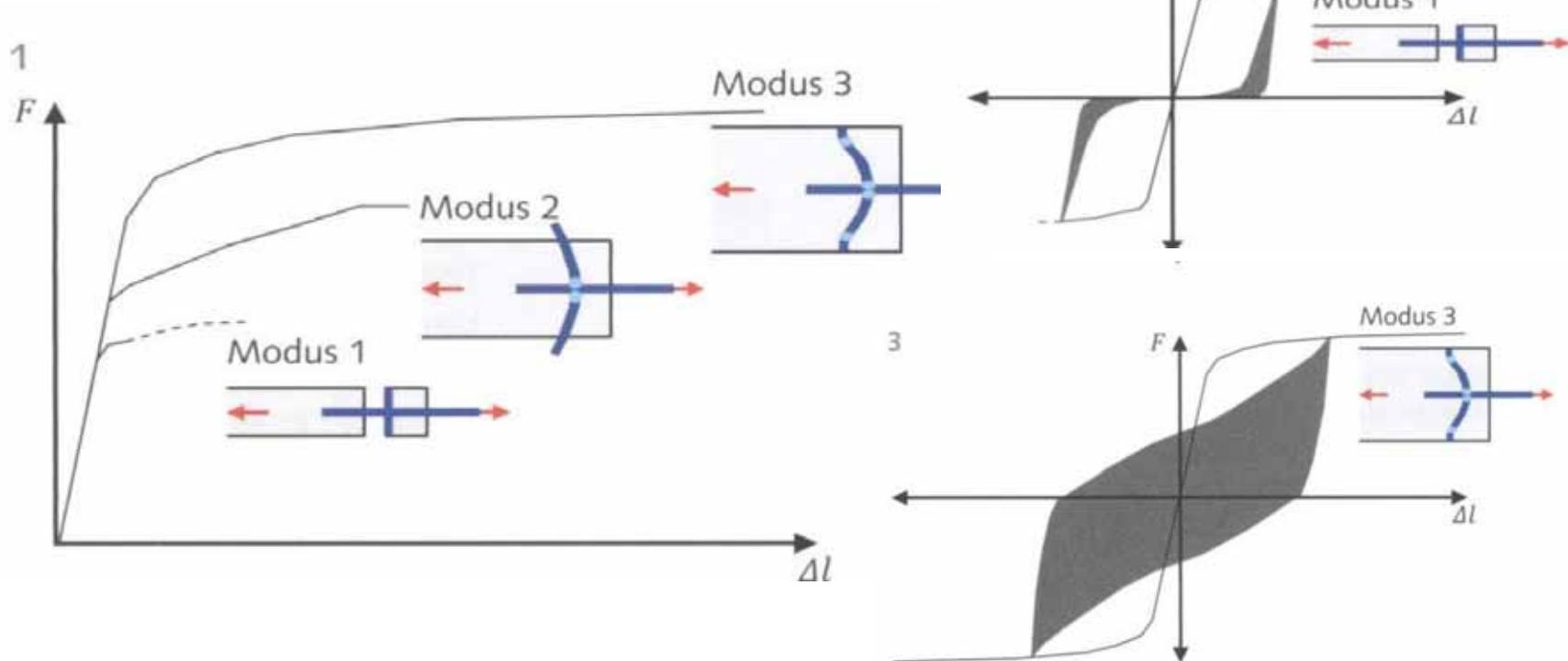
## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Dissipazione di energia e rifollamento



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### Dissipazione di energia e rifollamento



## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

### 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

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

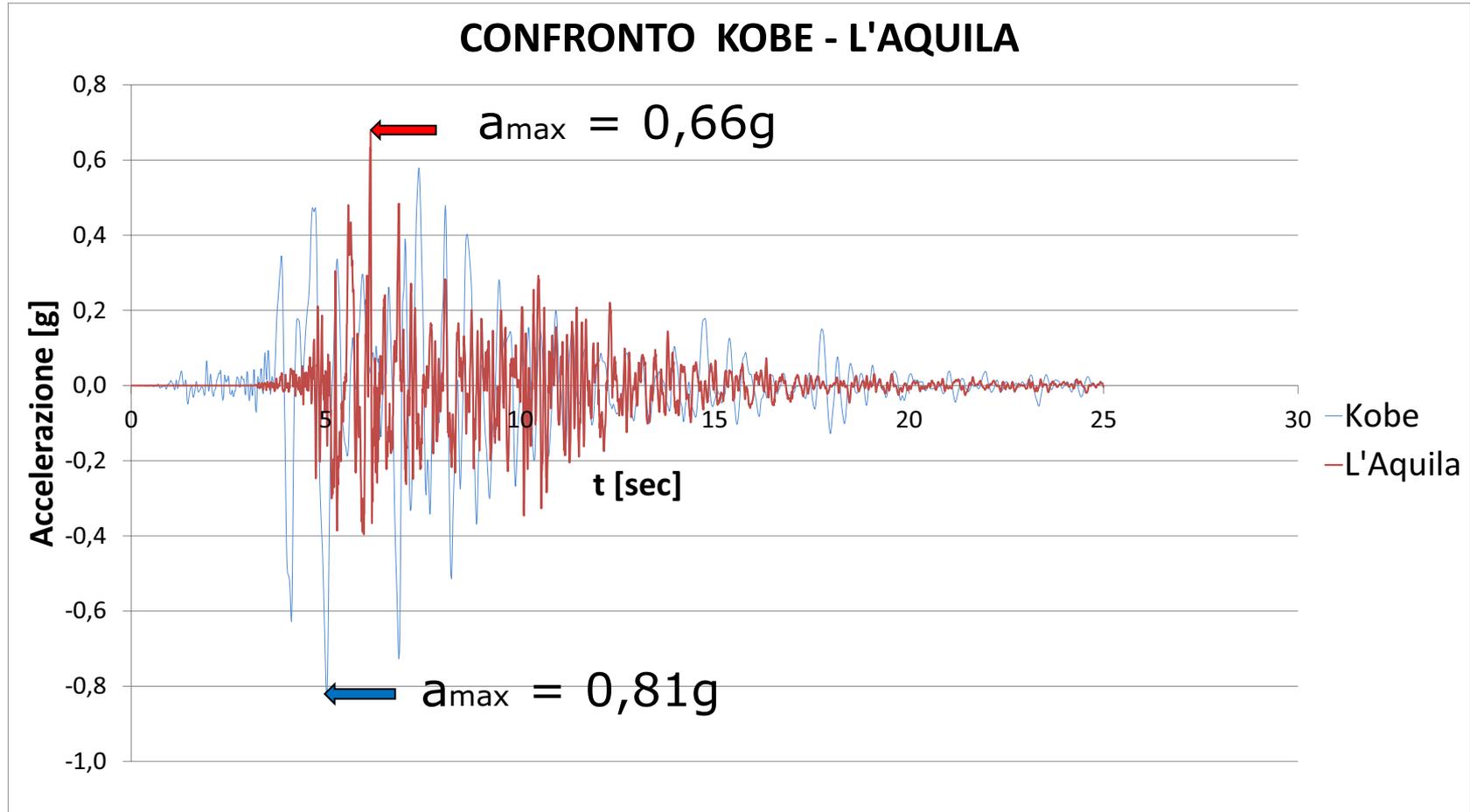
## Progetto di ricerca: EUCENTRE – Pavia

### Dati generali

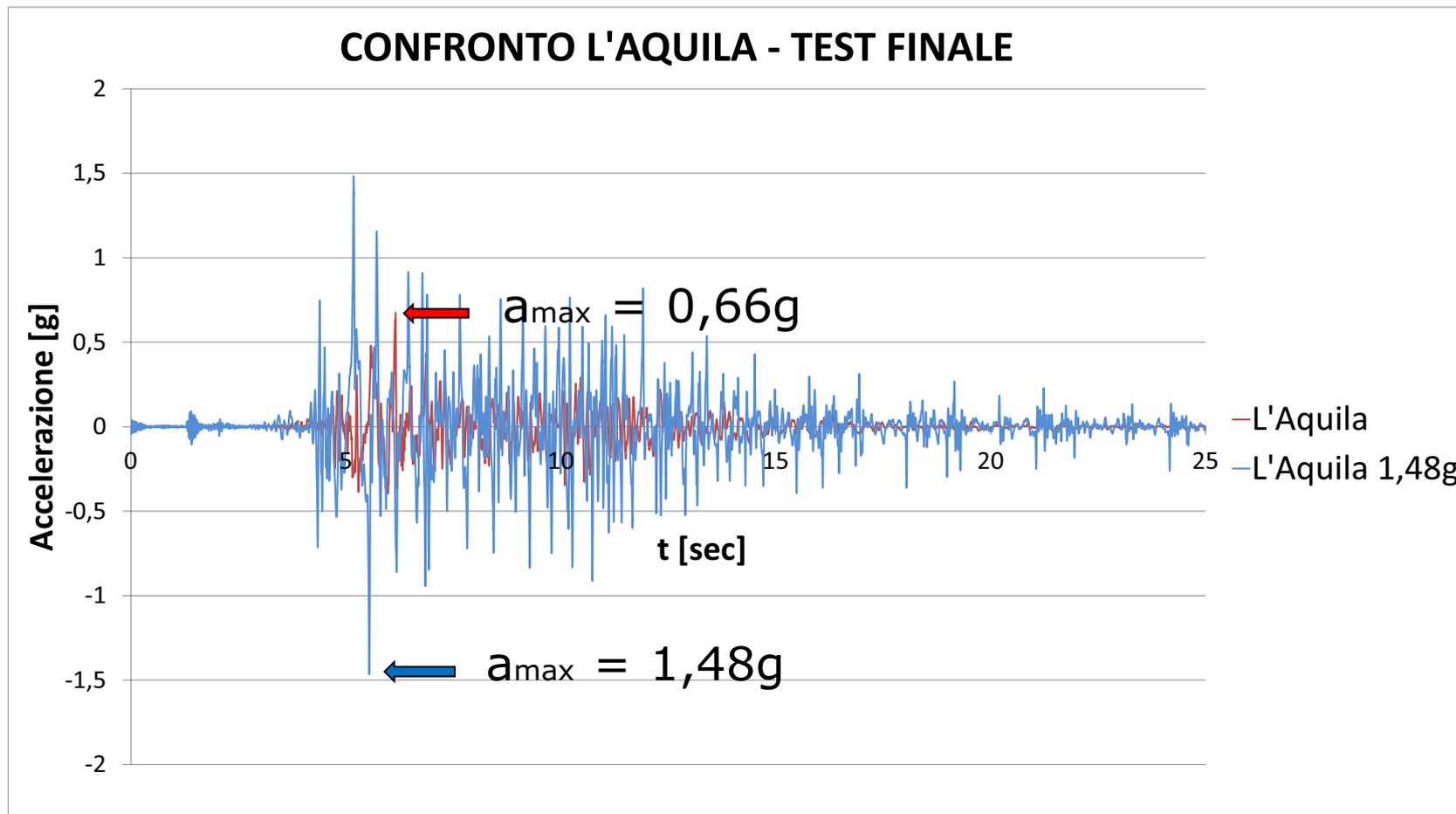
- Struttura di 4 piani;
- Altezza  $h = 11,65\text{m}$ ;
- Peso struttura  $\approx 48\text{t}$
- Struttura più alta testata in Europa



## Progetto di ricerca: EUCENTRE – Pavia



## Progetto di ricerca: EUCENTRE – Pavia



## Progetto di ricerca: EUCENTRE – Pavia

### Risultato finale dei test

Sulla struttura finita sono state eseguite quattro prove con accelerazioni di picco tutte superiori a 1g con un massimo pari a **1,48g** (**224%** rispetto a L'Aquila).

Tale accelerazione risulta essere pari al **529%** di quella massima prevista in normativa.

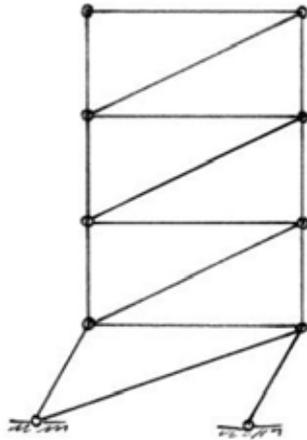
**NESSUN DANNO !**

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Individuazione zone dissipative: gerarchie delle resistenze

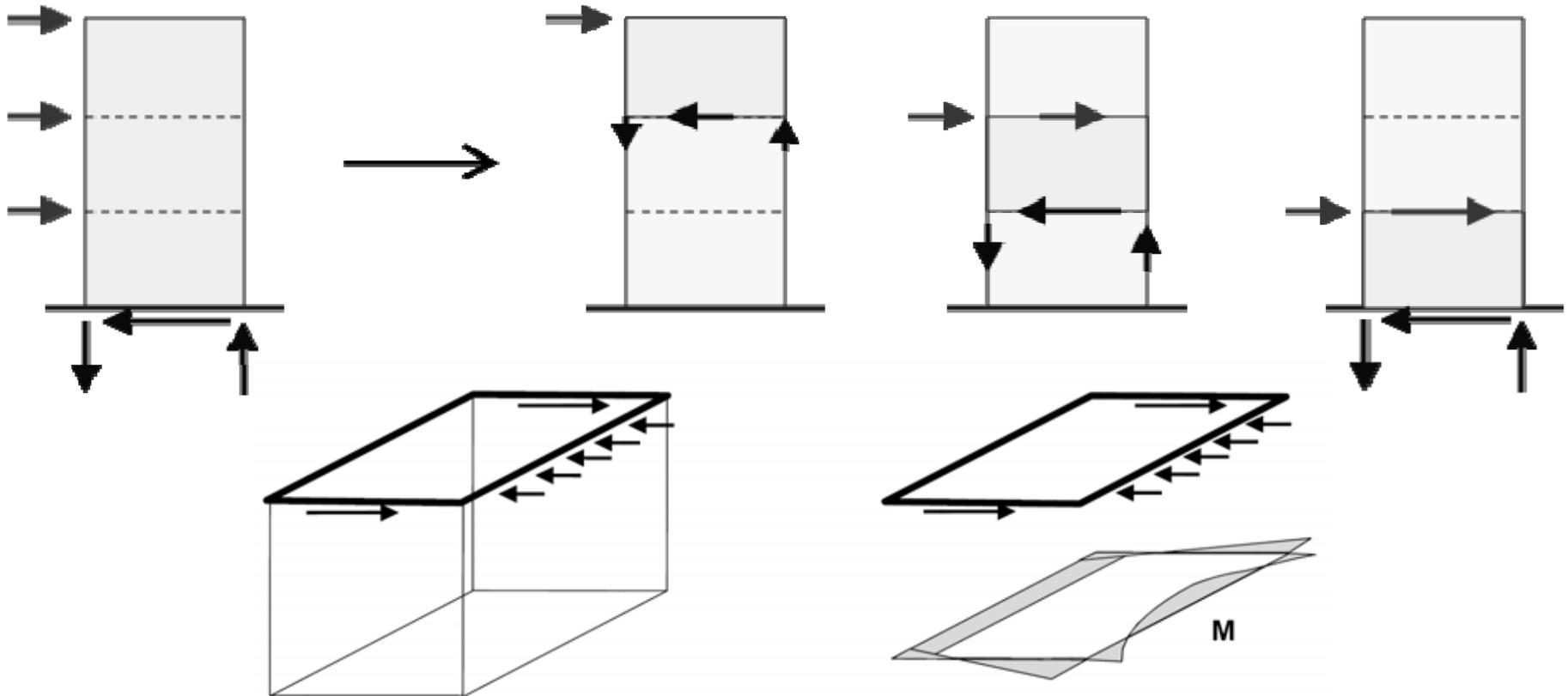


gerarchia delle resistenze non rispettata  
-> poca dissipazione



gerarchia delle resistenze rispettata  
-> dissipazione in tutti piani

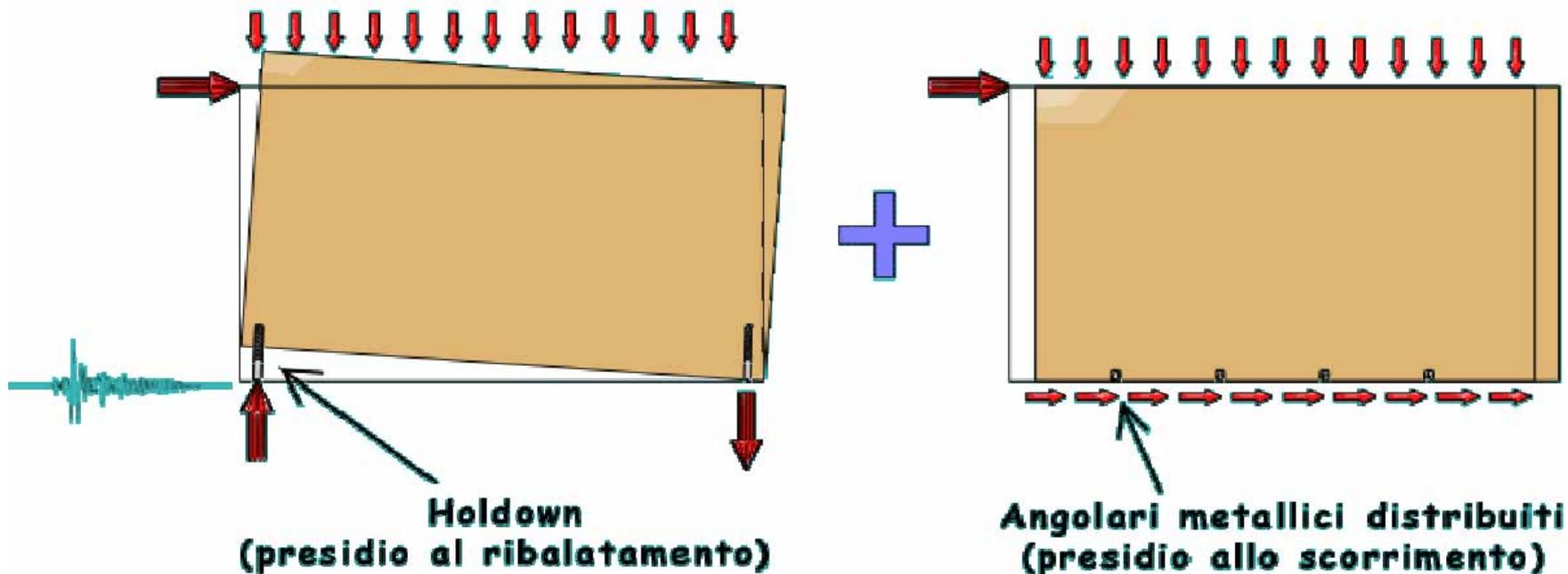
## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



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

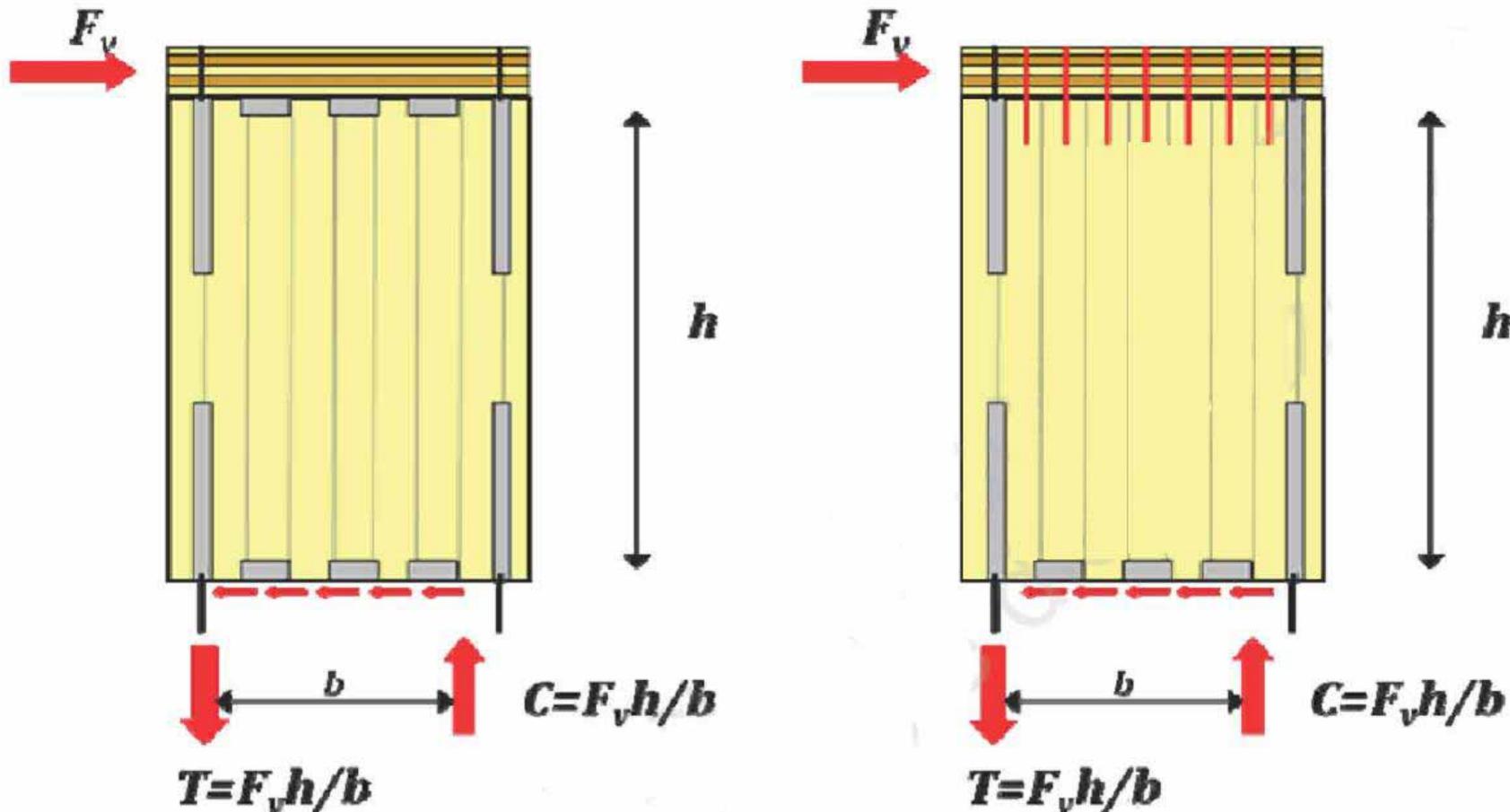
## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

Schema funzionale elementi di collegamento principali



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

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO



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

## PRINCIPI GENERALI DI PROGETTAZIONE E CALCOLO

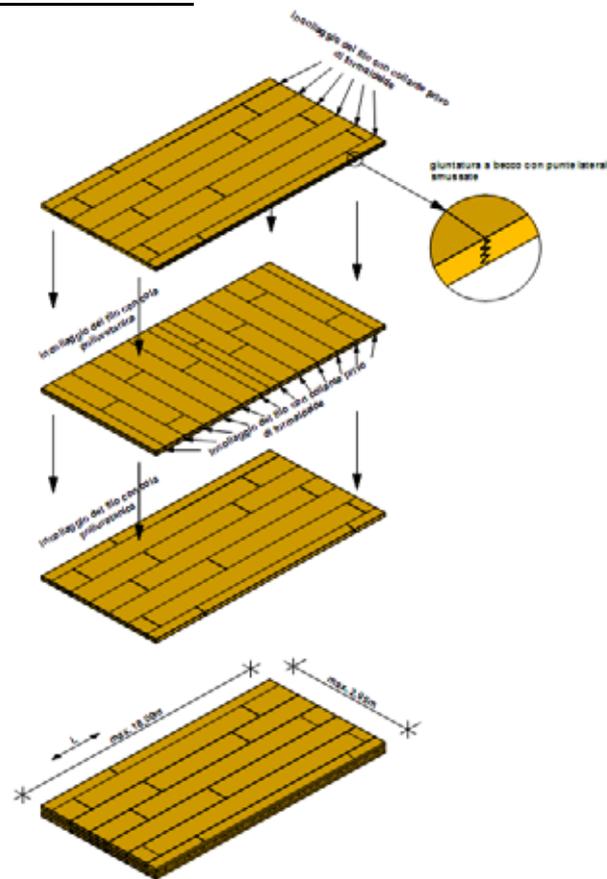
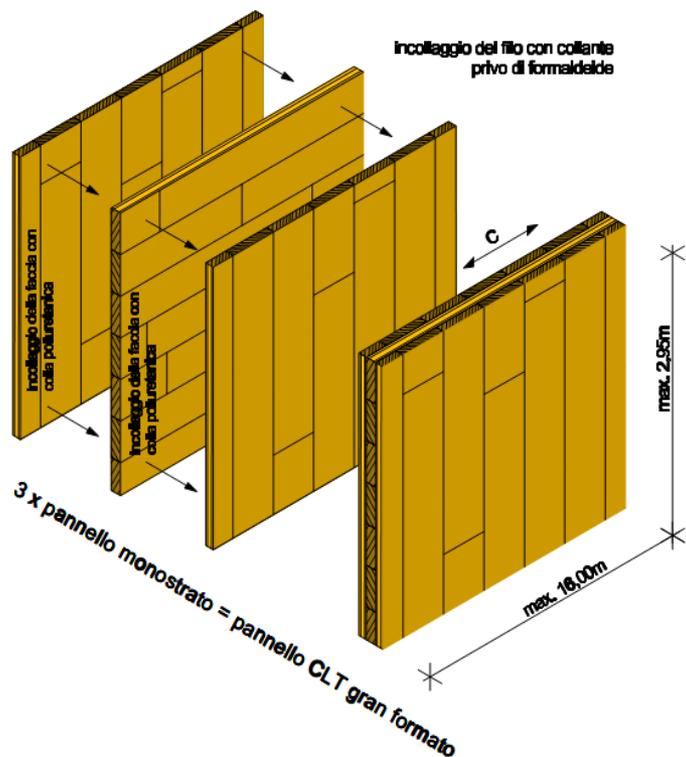


Esempi di ancoraggi tipo per struttura X-lam



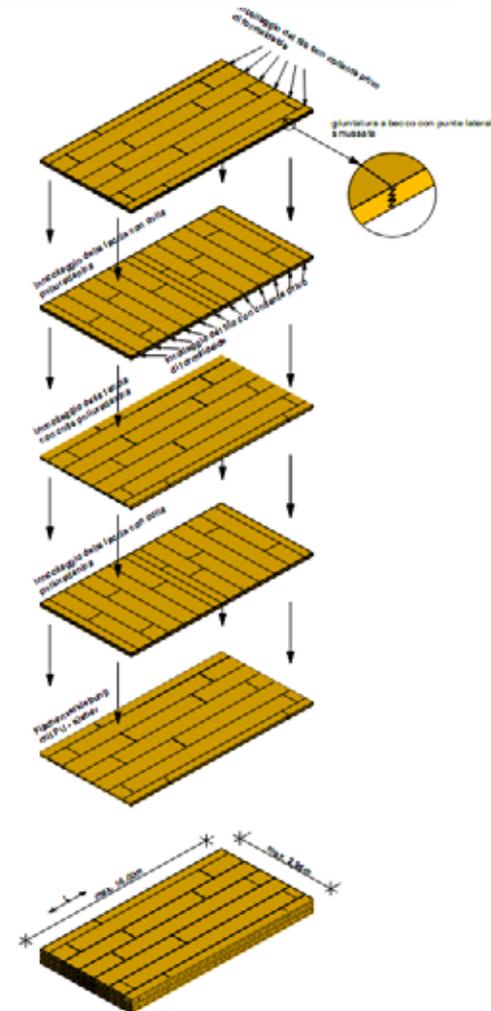
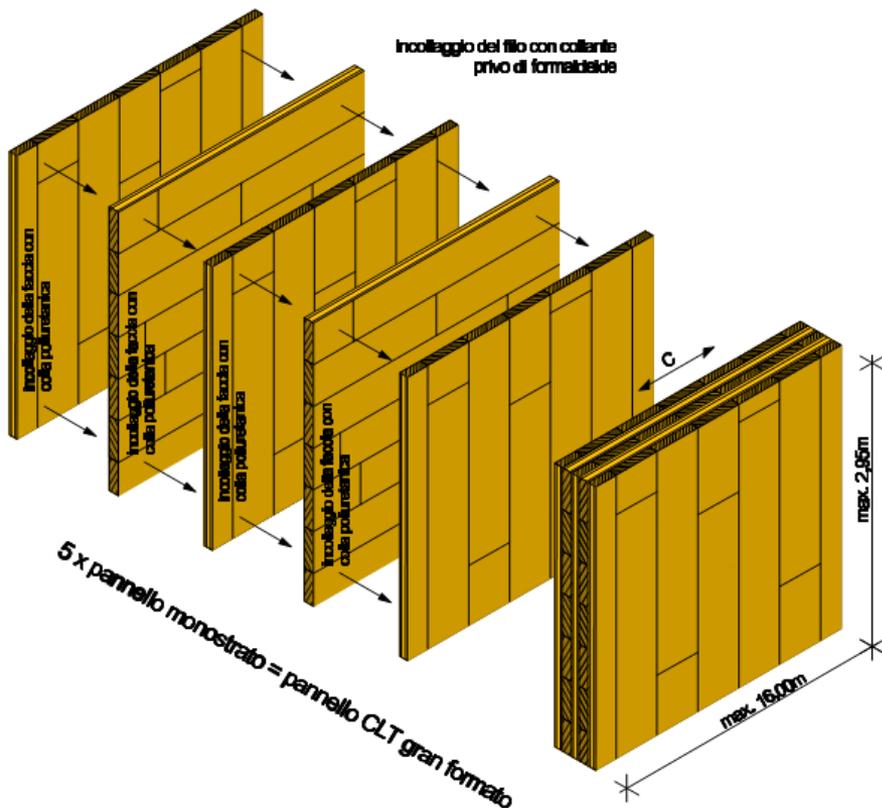
## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM

### Pannelli 3 strati – Pareti e solai

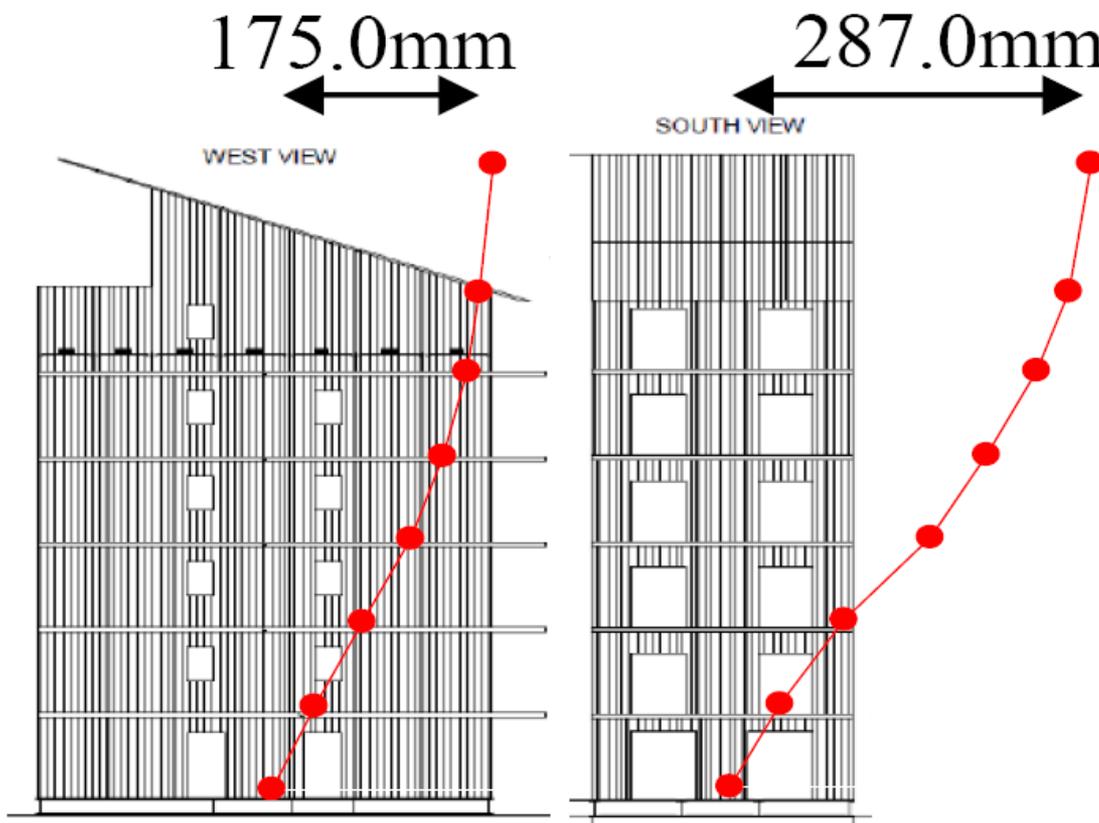


## TECNOLOGIE COSTRUTTIVE INNOVATIVE LIGNEE: L'X-LAM

Pannelli 5 strati – Pareti e solai



## 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



## 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



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

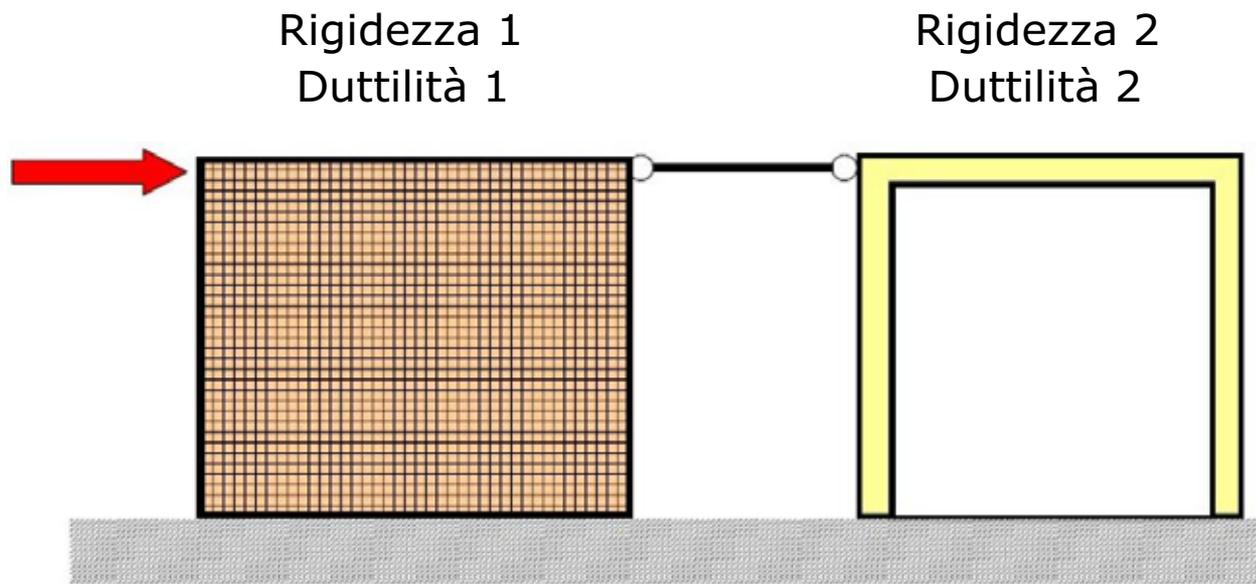


Tipologie miste moderne vs storiche



## 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.**

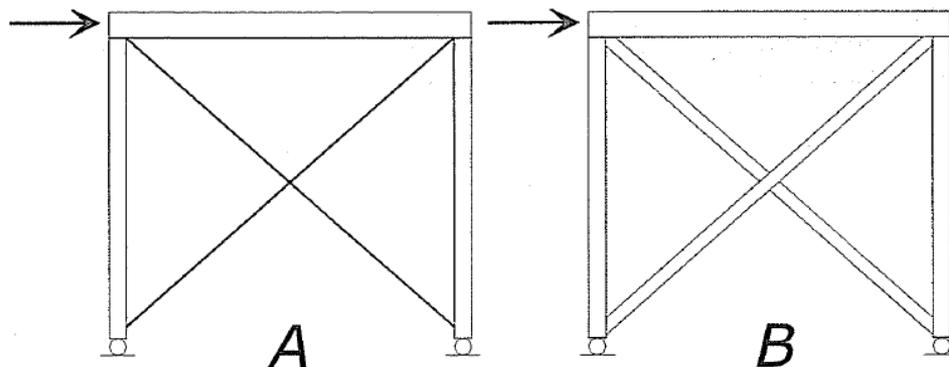


## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Strutture impropriamente considerate miste

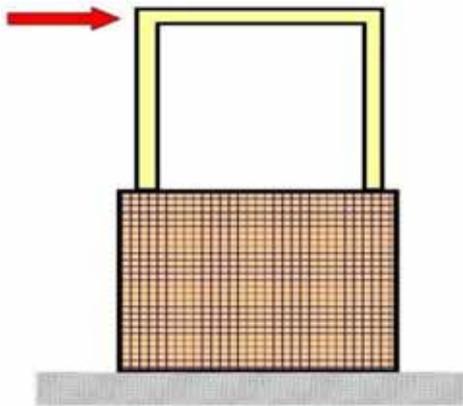
A) Controvento a croce  
in acciaio

B) Controvento a croce  
in legno



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

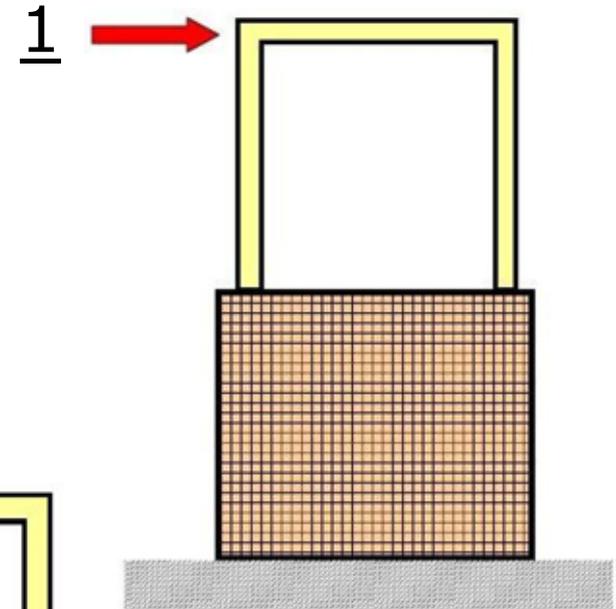
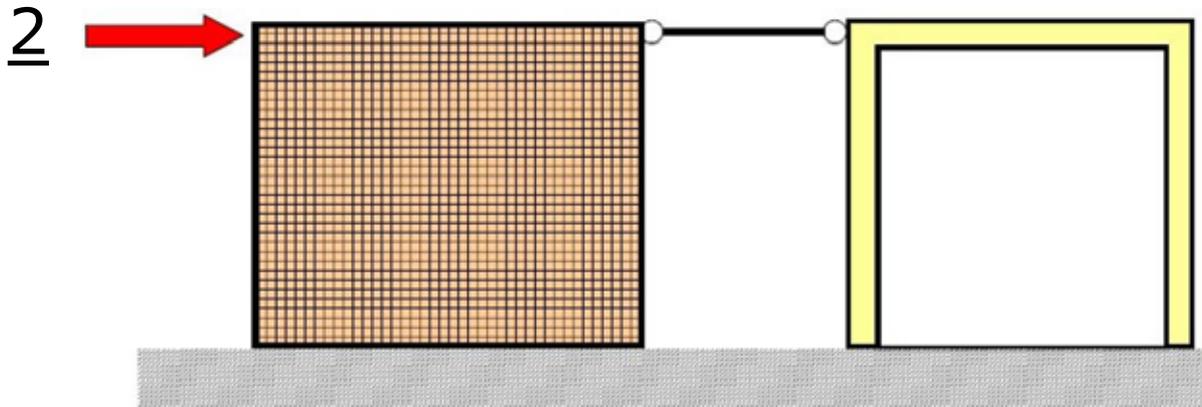
### Strutture impropriamente considerate miste



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

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

2) Fattore di struttura  $q_0 = 1$

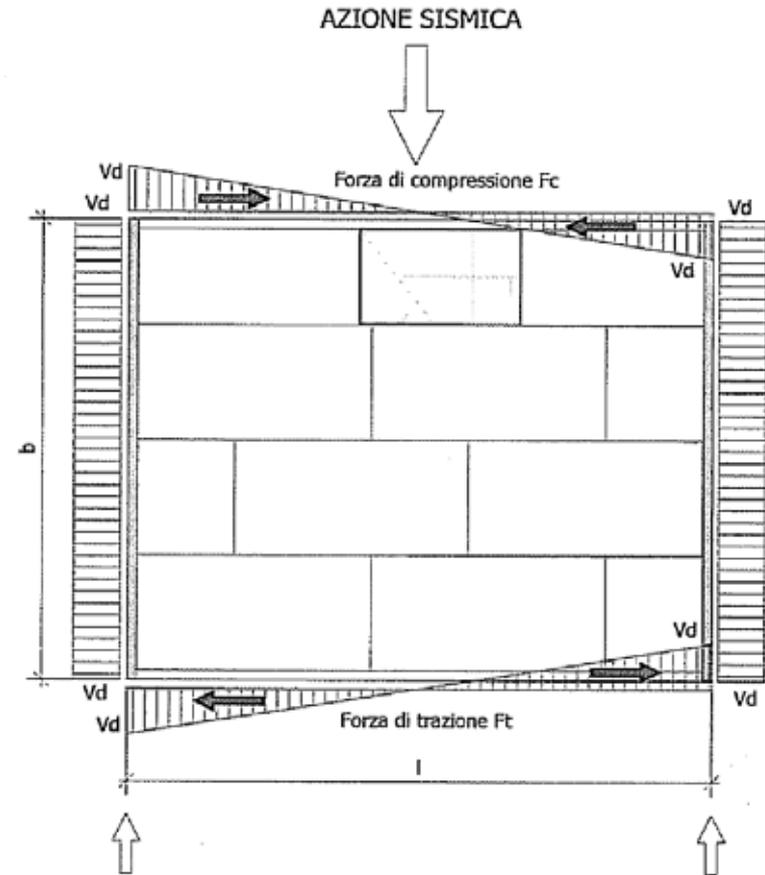


## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Ruolo dei solai: distribuzione uniforme sforzi orizzontali

#### NTC 2008

-§ C7.2.6 ...possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano se, modellandone la deformabilità nel piano, i loro spostamenti orizzontali massimi in condizioni sismiche non superano per più del 10% quelli calcolati con l'assunzione di piano rigido.



## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

### Ruolo dei solai: distribuzione uniforme sforzi orizzontali

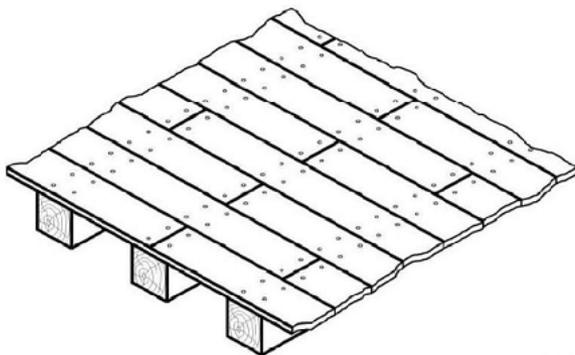
Nel caso di analisi sismiche è necessario determinare la rigidità nel piano dei solai per calcolare la distribuzione delle forze orizzontali derivanti dal sisma sulle singole pareti.

I due estremi sono rappresentati da:

- solaio infinitamente deformabile →  $F_{\text{orizzontale}} \propto$  all'area di influenza della parete;
- solaio infinitamente rigido →  $F_{\text{orizzontale}} \propto$  alla rigidità della parete stessa.

#### SPERIMENTAZIONE SU SOLAI LIGNEI: RINFORZO E IRRIGIDIMENTO NEL PIANO

Tipologia di solaio: solaio di riferimento 5 m x 4 m

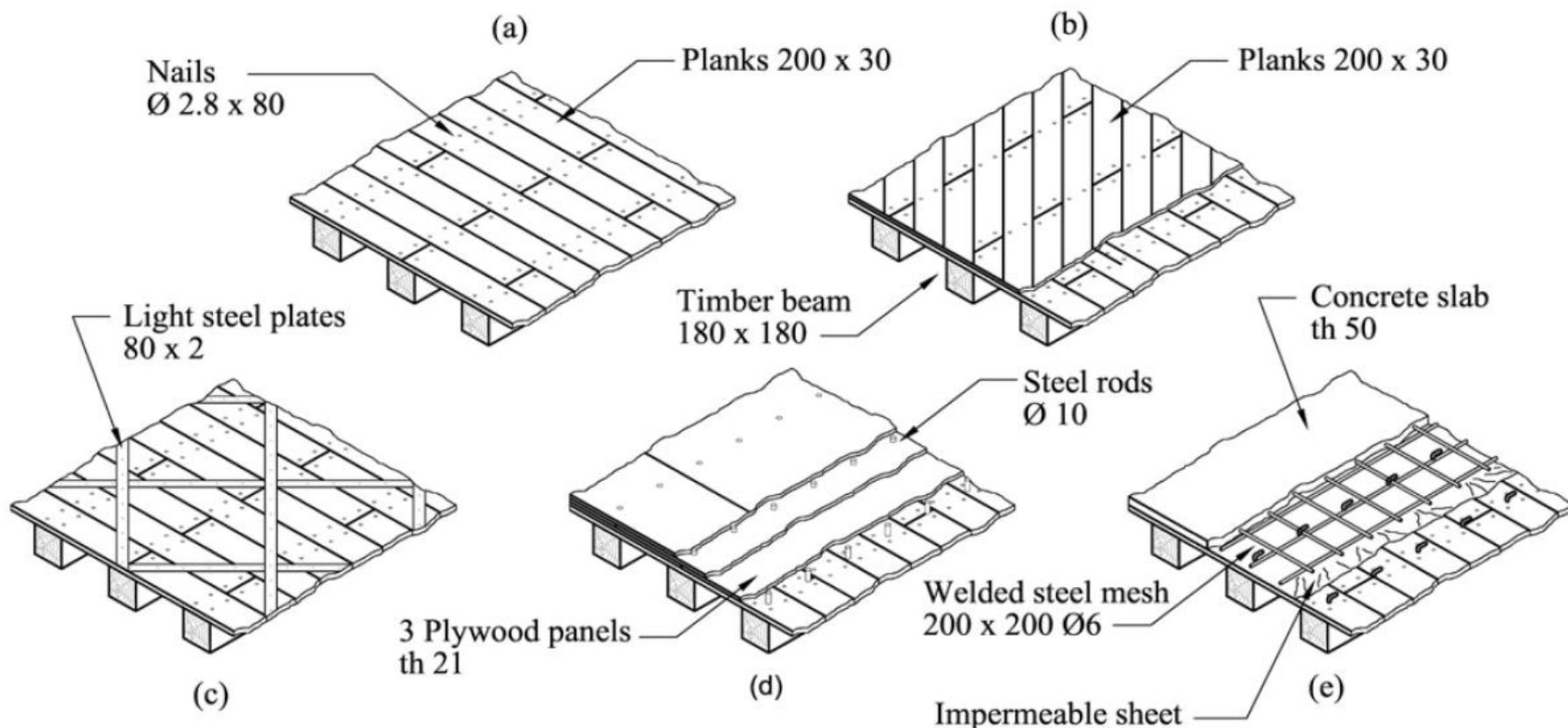


- Solaio ligneo in semplice appoggio
- Sezione dei travetti 180 x 180 mm, interasse 0,5 m
- Tavole in legno d'abete (200 mm x 30 mm)
- Chiodi  $\Phi 2.8 \times 80$  (interasse 100 mm, 4 ogni intersezione tavola-travetto)
- L'impalcato è composto da un singolo strato di tavole disposte ortogonalmente alla direzione dei travetti

Influenza sulla risposta globale della rigidità di solai lignei – Ing. Ivan Giongo et al. - ANIDIS Bari 2011

## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

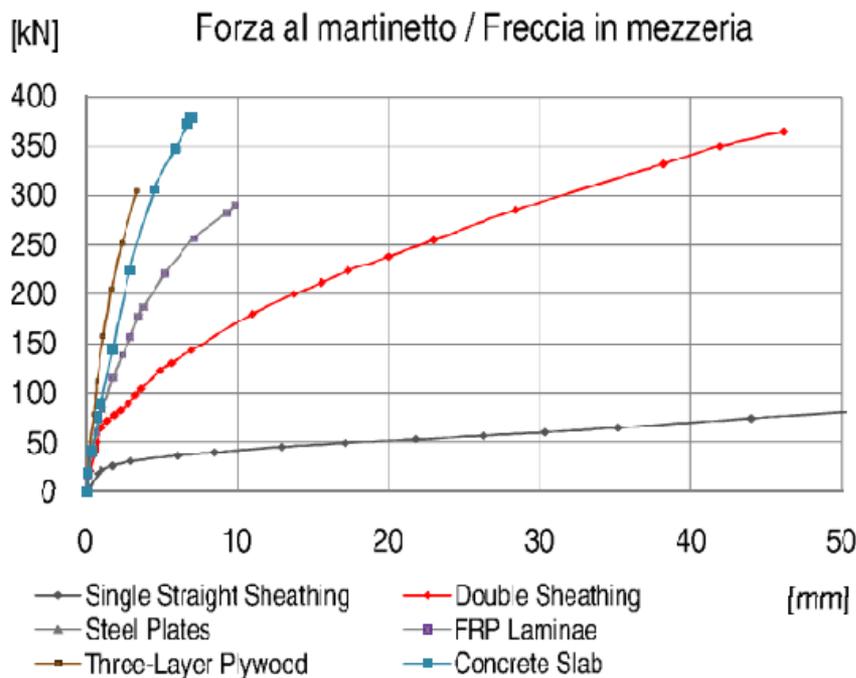
### Ruolo dei solai: distribuzione uniforme sforzi orizzontali



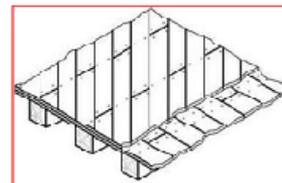
Influenza sulla risposta globale della rigidità di solai lignei – Ing. Ivan Giongo et al. - ANIDIS Bari 2011

## STRUTTURE MISTE E RELATIVI SCHEMI DI CALCOLO

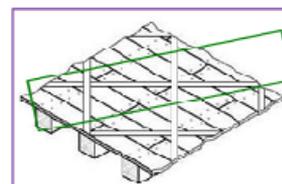
### Ruolo dei solai: distribuzione uniforme sforzi orizzontali



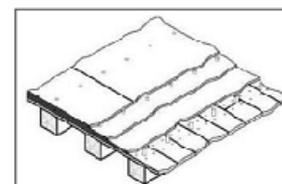
1. Doppio tavolato



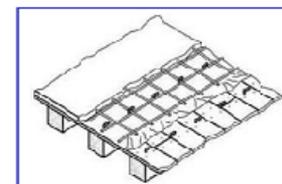
2. Bandelle metalliche



3. CFRP

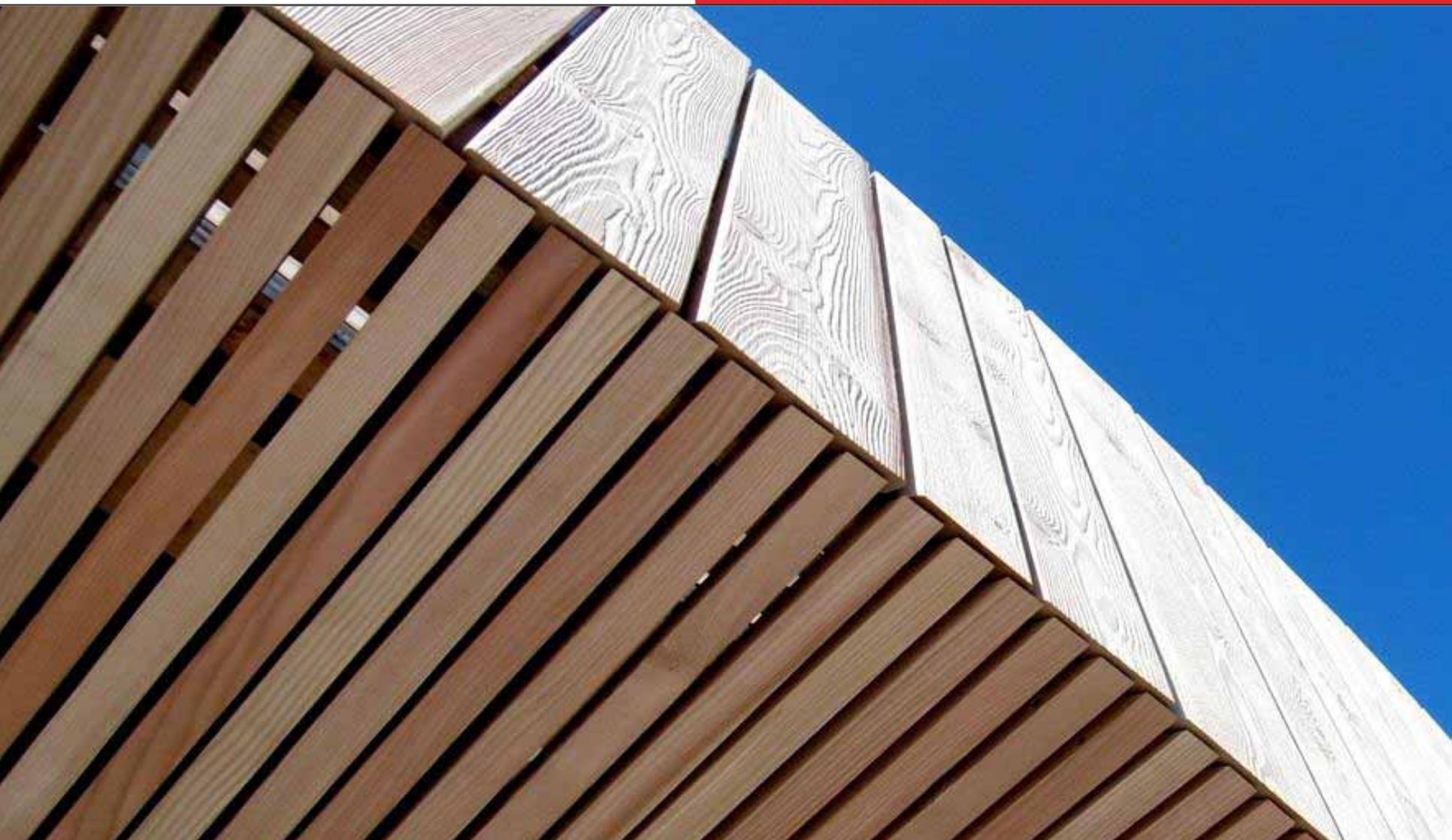


4. Pannelli compensato



5. Soletta cls

*Influenza sulla risposta globale della rigidezza di solai lignei – Ing. Ivan Giongo et al. - ANIDIS Bari 2011*



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