

# SOLUZIONI DI INTERVENTO CON ELEMENTI IN LEGNO

Prof. Ing. Maurizio Piazza  
Università degli Studi di Trento

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Opere provvisionali



CONVENZIONE TRA IL DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE  
UFFICIO SERVIZIO SISMICO NAZIONALE  
E L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA



### MANUALE DELLE OPERE PROVVISORIALI URGENTI POST-SISMA

M. Dolce (coordinatore scientifico),  
D. Liberatore, C. Moroni, G. Perillo, G. Spera, A. Cacosso  
(Università degli studi della Basilicata)

Evento sismico: Terremoto Emilia (2012)

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Opere provvisionali



Evento sismico: Terremoto Abruzzo (2009)

**WP5: Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati**

*Edifici con*  
**speciale valore culturale**  
*Interventi*  
**di "minimo impatto"**

**vs**

*Edifici*  
**di tipo comune**  
*Interventi*  
**di "minimo costo"**

**vs**

**Interventi di minimo impatto, semplici (→ rapidi) e a costo ridotto**

## Strutture di legno esistenti

### Principali patologie

Deficienze statiche, in genere causate da:

- insufficiente rigidezza/resistenza degli elementi
- dimensioni inadeguate, anche per cambio di destinazione d'uso
- nodi/elementi inadeguati
- difetti anatomici di membrature



## Strutture di legno esistenti

### Principali patologie

Deficienze statiche, in genere causate da:

- insufficiente rigidezza/resistenza degli elementi
- dimensioni inadeguate, anche per cambio di destinazione d'uso
- nodi/elementi inadeguati
- difetti anatomici di membrature
- attacchi biotici (riduzione sezione)
- altri tipi di danno



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Rinforzo di elementi e sottostrutture lignee

Gli interventi devono essere progettati a differenti **livelli**

➤ a livello della **Struttura**

Coperture e solai erano tipicamente costruiti per sopportare carichi verticali, con la quasi assenza di accorgimenti volti a rispondere alle azioni orizzontali (sisma, venti estremi ...)



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Rinforzo di elementi e sottostrutture lignee

Gli interventi devono essere progettati a differenti **livelli**

➤ **a livello degli *Elementi***

Per il rinforzo di un edificio spesso si rende necessario migliorare anche "localmente" alcuni elementi di legno



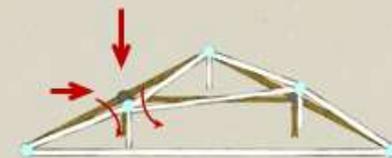
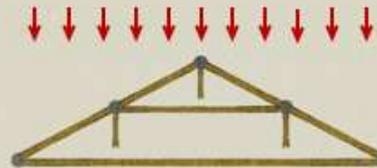
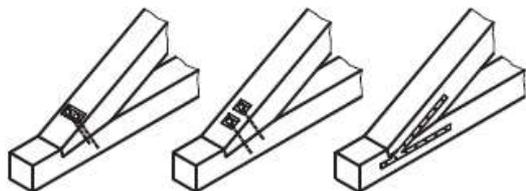
# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Rinforzo di elementi e sottostrutture lignee

Gli interventi devono essere progettati a differenti **livelli**

### ➤ a livello dei **Nodi**

Nelle strutture lignee (vecchie e nuove) è essenziale il ruolo dei collegamenti ai fini del comportamento di tutto il sistema strutturale. Occorre garantire innanzitutto la loro integrità strutturale, anche in condizioni estreme.



Apertura dei nodi e modifica dello schema statico



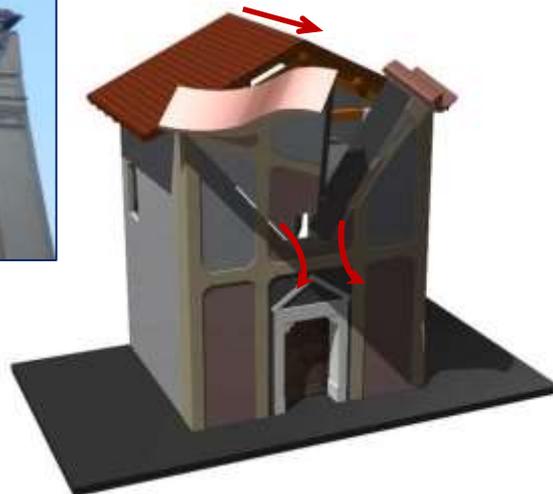
[fonte: Blaß & Fellmoser, Yogyakarta 2006]



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture lignee esistenti

**Solai e coperture eccessivamente deformabili**, anche in presenza di un collegamento efficace diaframma – muratura, non sono in grado di contrastare il **ribaltamento** fuori piano della muratura



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture lignee esistenti - Coperture

Caso studio

**GAT | Grande Albergo Terme**

*Ex Grand Hotel Terme di Comano*

Terme di Comano, Trento



Situazione attuale

Coordinatori U.R.

Prof. M. Piazza

Prof.ssa M. A. Parisi



UNIVERSITÀ  
DI TRENTO

Dipartimento di  
Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica



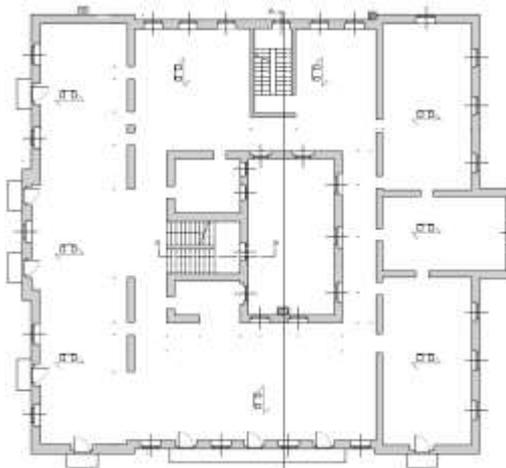
POLITECNICO  
MILANO 1863



TERME DI COMANO



Situazione primi anni del '900



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture lignee esistenti - Coperture

### Caso studio GAT - Analisi di vulnerabilità sismica + definizione degli interventi

Prof. M.A. Parisi - Politecnico di Milano



*Copertura con 13 capriate di diverso tipo*

21.9 Diagonale di falda n° 9 D9		Forma sezione circolare rettangolare altro: x	Dimensione [bxh]: 20 X 20 cm Degradato:
21.9.1 NODO C3-D7-T4		Connettori impiegati Fasce metalliche Efficacia connessione Bassa <b>Intervento suggerito</b>	
21.9.2 NODO D7-D8-D9-T5		Connettori impiegati Nessuno (N) Efficacia connessione Bassa <b>Intervento suggerito</b>	
21.10 Diagonale di falda n° 10 D10		Forma sezione circolare rettangolare altro: x	Dimensione [bxh]: 20 x 22 cm Degradato:
21.10.1 NODO D10-T5		Connettori impiegati verificare Efficacia connessione <b>Intervento suggerito</b>	
21.11 Diagonale di falda n° 11 D11		Forma sezione circolare rettangolare altro: x	Dimensione [bxh]: 20 x 21 cm Degradato:
21.11.1 NODO D11-T4	 	Connettori impiegati Fasce metalliche Efficacia connessione Media (M) <b>Intervento suggerito</b>	

#### Dall'analisi di vulnerabilità:

1. **Schema Strutturale:** 2 capriate con labilità; insufficiente rigidezza longitudinale
2. **Giunti di carpenteria:** elementi metallici di chiusura dei nodi deteriorati e inefficaci
3. **Vincoli:** appoggio delle capriate
4. **Stato di fatto:** elementi degradati

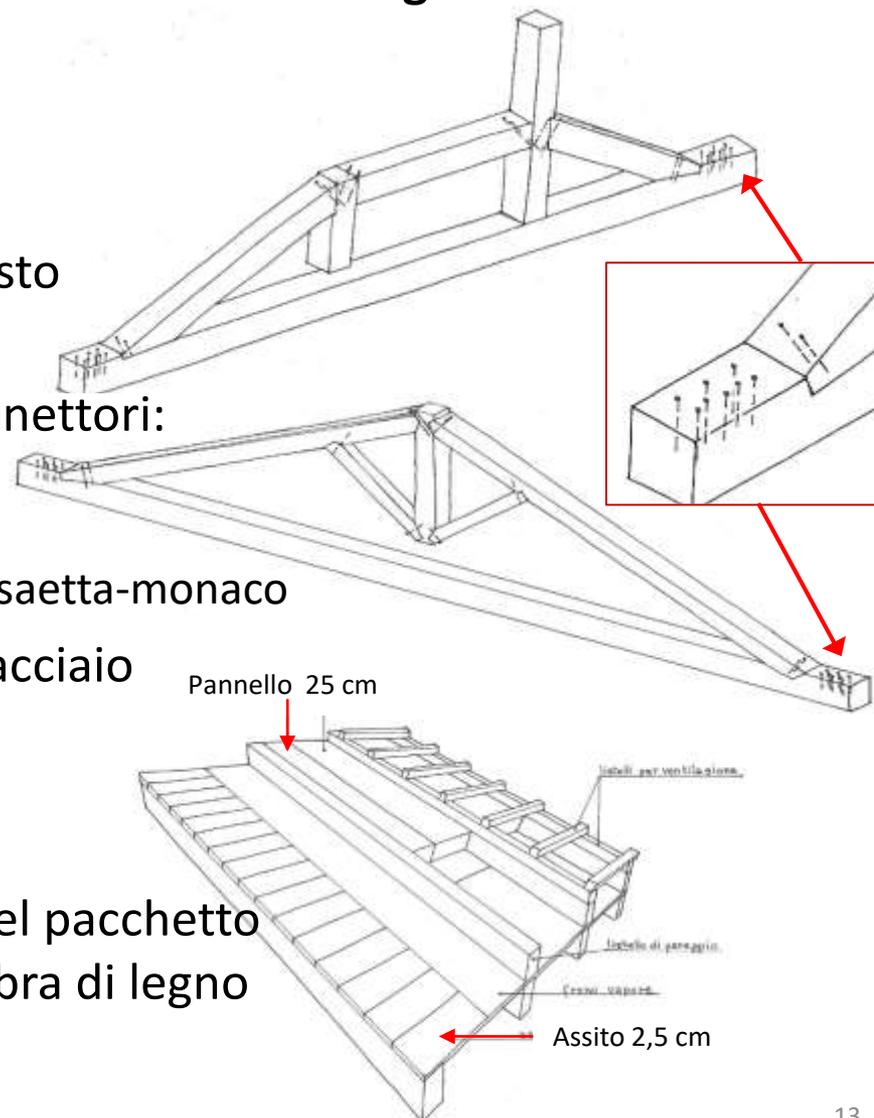
# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture lignee esistenti - Coperture

### Caso studio GAT - Analisi di vulnerabilità sismica + definizione degli interventi

#### Interventi proposti

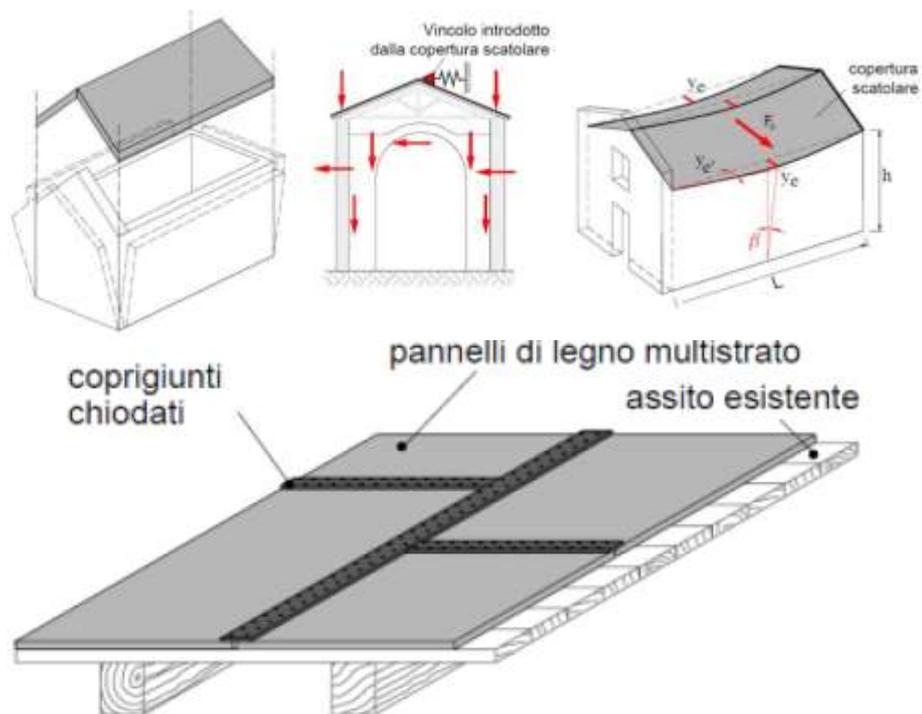
1. **Eliminazione labilità** delle capriate, con inserimento di connettori metallici e **irrigidimento del piano di falda** con assito posto sopra l'orditura primaria
2. **Miglioramento delle giunzioni**, mediante connettori:
  - connessione puntone-catena
  - tallone della catena (rinforzo con viti)
  - connessioni monaco-puntone, saetta-puntone, saetta-monaco
3. **Sistemazione degli appoggi**, con tirafondi in acciaio tra capriata / trave di cordolo / muratura
4. **Sostituzione degli elementi** degradati
5. **Miglioramento energetico**: ricomposizione del pacchetto di copertura con inserimento di pannelli in fibra di legno



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture lignee esistenti - Coperture

### Realizzazione di coperture scatolari in legno



U.R. UNIBS E. Giuriani

U.R. UNIBG A. Marini



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BERGAMO

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture lignee esistenti - Coperture

### Realizzazione di irrigidimento del piano di falda con doppio assito sopra l'orditura

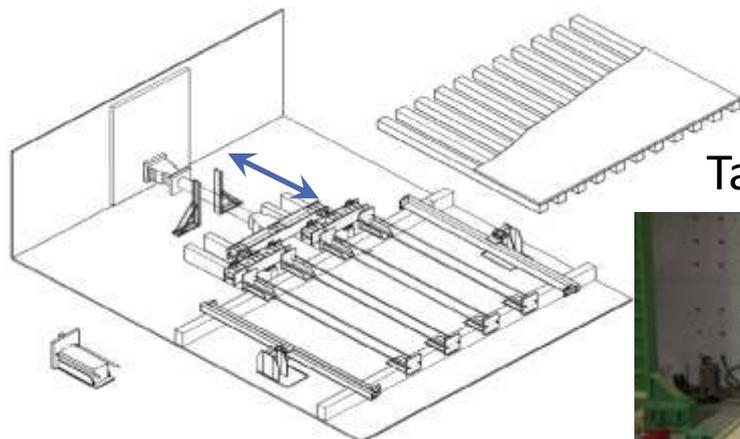


# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai | Test in laboratorio

Dimensione campioni: 5 m × 4 m  
Direzione di carico: parallela ai travetti



Tavolato semplice



Tavolato doppio



Bandelle metalliche / CFRP



Soletta in c.a.



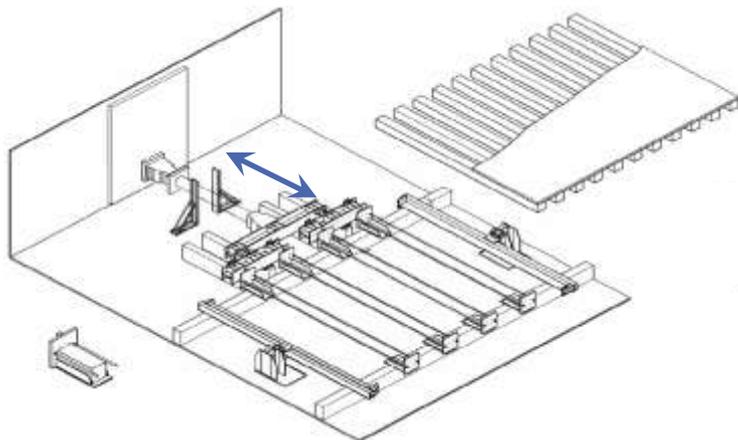
Compensato (3 strati)



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai | Test in laboratorio



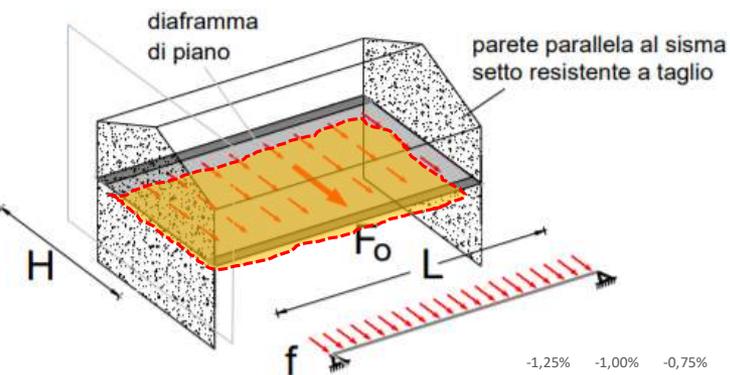
Dimensione campioni: 5 m × 4 m  
Direzione di carico: parallela ai travetti



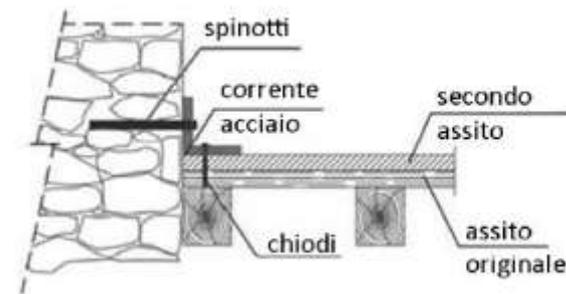
# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

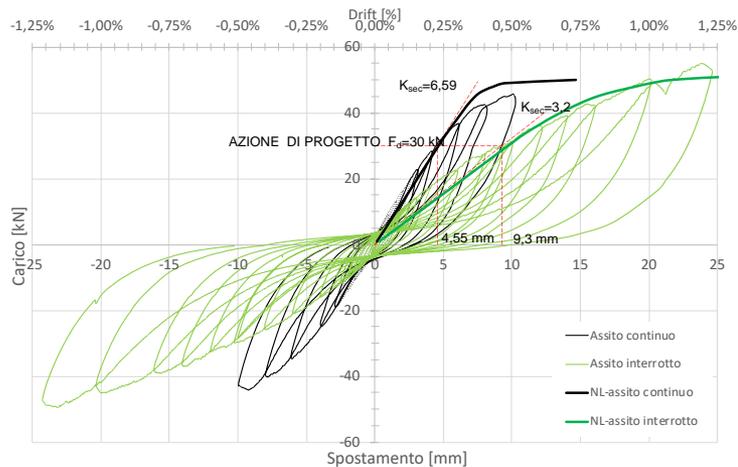
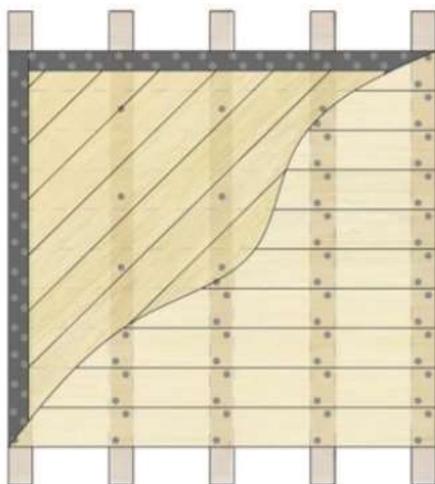
### Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai | Test in laboratorio



Ancoraggio diaframma alla muratura

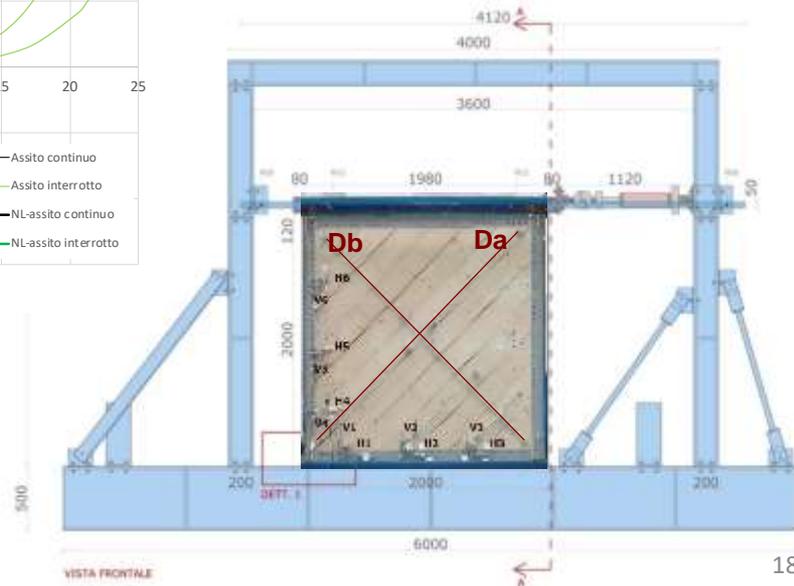


ASSITO INCROCIATO A 45°



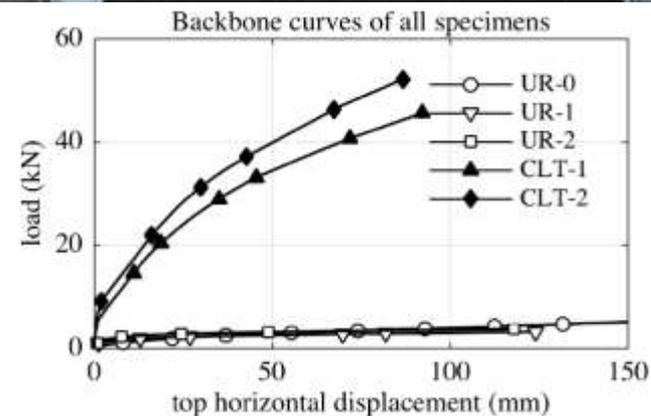
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

U.R. UNIBS  
G. Metelli, E. Giuriani, A. Marini



## Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai | Test in laboratorio

Rinforzo dei solai per azioni nel piano a mezzo di pannelli CLT



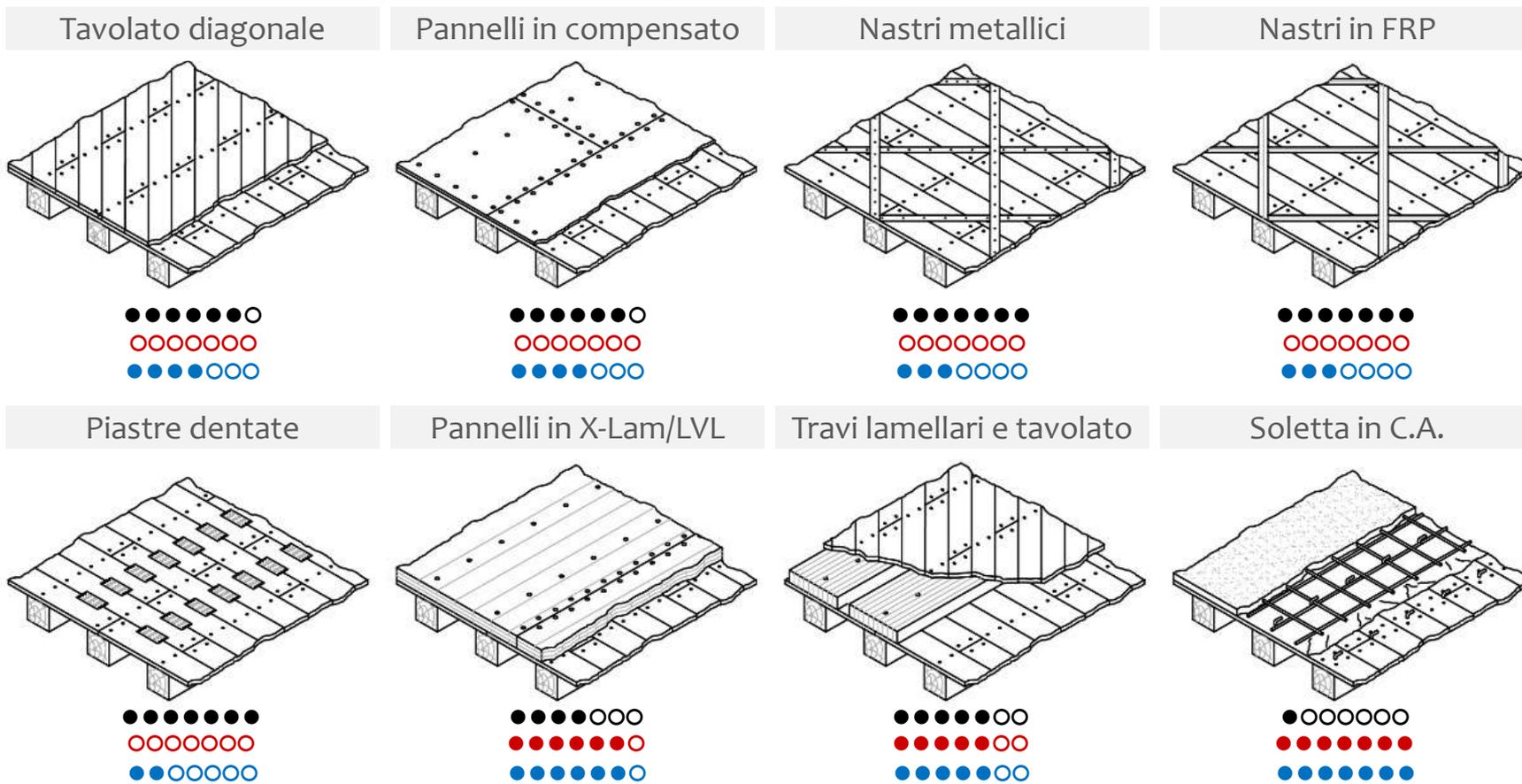
U.R. UNIUD  
A. Gubana, M. Melotto

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai

- **Contenimento masse** | ● **Rigidità fuori piano** | ● **Rigidità di piano**



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai

#### NTC 2018: IL RUOLO DEI SOLAI LIGNEI

##### C8.7.4.1 Criteri per gli interventi di consolidamento



... per gli edifici storici, nel consolidamento di solai lignei sono generalmente preferibili i diaframmi leggeri, di rigidità non trascurabile, realizzati a secco, quali quelli ottenuti con doppio assito, con pannelli a base legno quali quelli citati nel paragrafo 11.7, lamiera di acciaio, reticolari di acciaio, reticolari con fibre o altro materiale idoneo ...

... un rinforzo che consente di conseguire *contemporaneamente un rinforzo nel piano e flessionale*, si realizza, ad esempio, tramite **strutture composte legno-legno mediante solette lignee** ...



**Eurocodice 5, Appendice B**

Travi giuntate meccanicamente



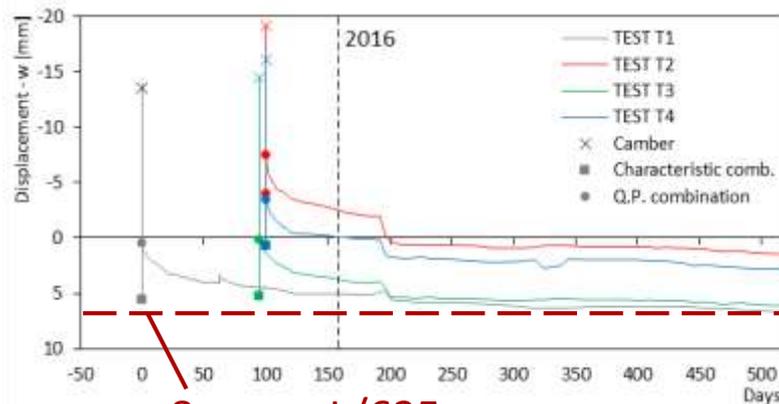
... la tecnica di rinforzo con soletta collaborante in calcestruzzo realizza ugualmente un elevato irrigidimento nel piano e un miglioramento della resistenza ai carichi verticali, ma con un maggiore incremento dei pesi.

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

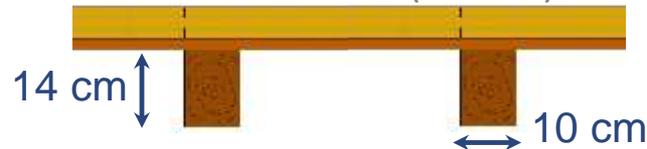
## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Rinforzo dei solai fuori-piano con soluzioni legno-legno

Alte prestazioni, spessore e massa contenuti



Spessore minimo del rinforzo  
X-LAM – 3 strati (57 mm)



Combinazione di carico quasi-permanente		
$g_{2k}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	3.00
$q_k$	[kN/m <sup>2</sup> ]	0.60
Total Load	[kN/m <sup>2</sup> ]	3.60

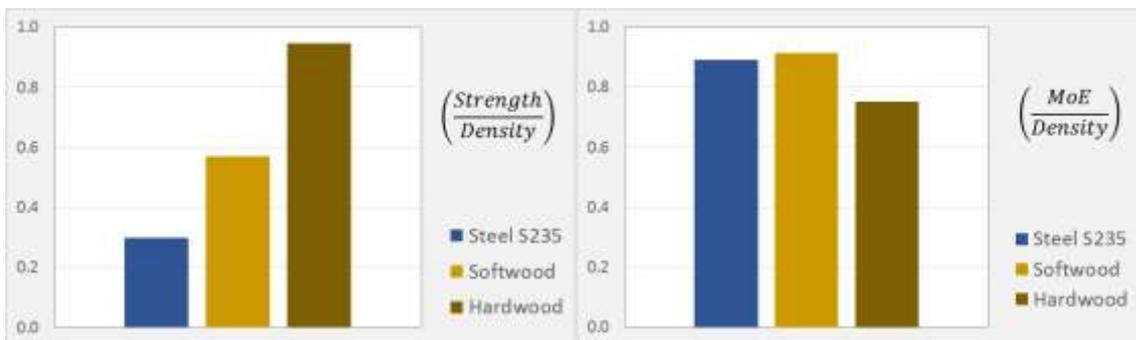
Solaio originario inadatto a supportare i carichi imposti da norma

Prove a lungo termine (2 anni)  
freccia massima << limite richiesto

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Rinforzo dei solai fuori-piano con soluzioni legno-legno



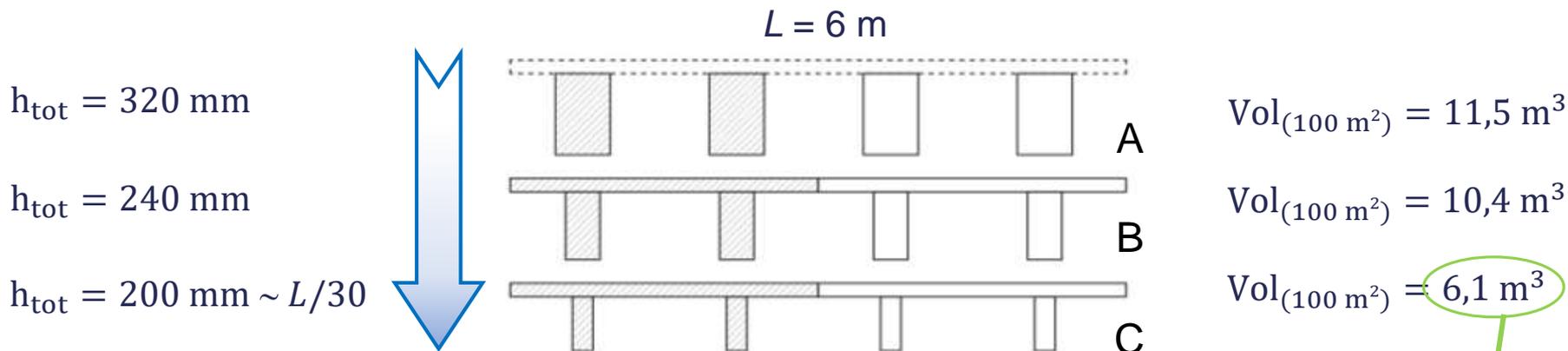
Latifoglia Vs. Conifera			LVL faggio	Conifera
			GL70	GL24
Flessione	$f_{m,k}$	[MPa]	70	24
Trazione	$f_{t,0,k}$	[MPa]	55	17
	$f_{t,90,k}$	[MPa]	0.6	0.5
Compressione	$f_{c,0,k}$	[MPa]	59.4	21.5
	$f_{c,90,k}$	[MPa]	10.2	2.5
Taglio	$f_{v,k}$	[MPa]	4	3.5
MoE	$E_{0,mean}$	[MPa]	16700	11000
Densità	$\rho_{mean}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	~ 740	~ 400



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Vulnerabilità sismica delle strutture – Rinforzo dei solai lignei

### Rinforzo dei solai fuori-piano con soluzioni legno-legno



A Solaio ligneo tradizionale	B Solaio composto standard	C Solaio composto pre-sollecitato
Pannello (portato) 40 mm	Pannello BBQ: 40x900 mm	Pannello BBQ: 40x900 mm
Travetti (2): 120x280 mm	Travetti (2): 100x200 mm	Travetti (2): 60x160 mm

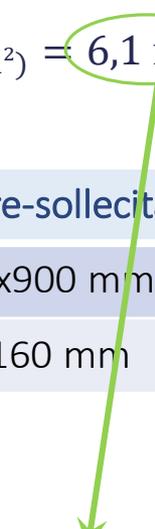
### SOLAIO IN LATERO-CEMENTO A TRAVETTI PREFABBRICATI



LATERO - CEMENTO  
 $\sim 300 \text{ kg/m}^2$

>>

LEGNO  
 $\sim 50 \text{ kg/m}^2$



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Aggiornamento EN1998 – Parte III

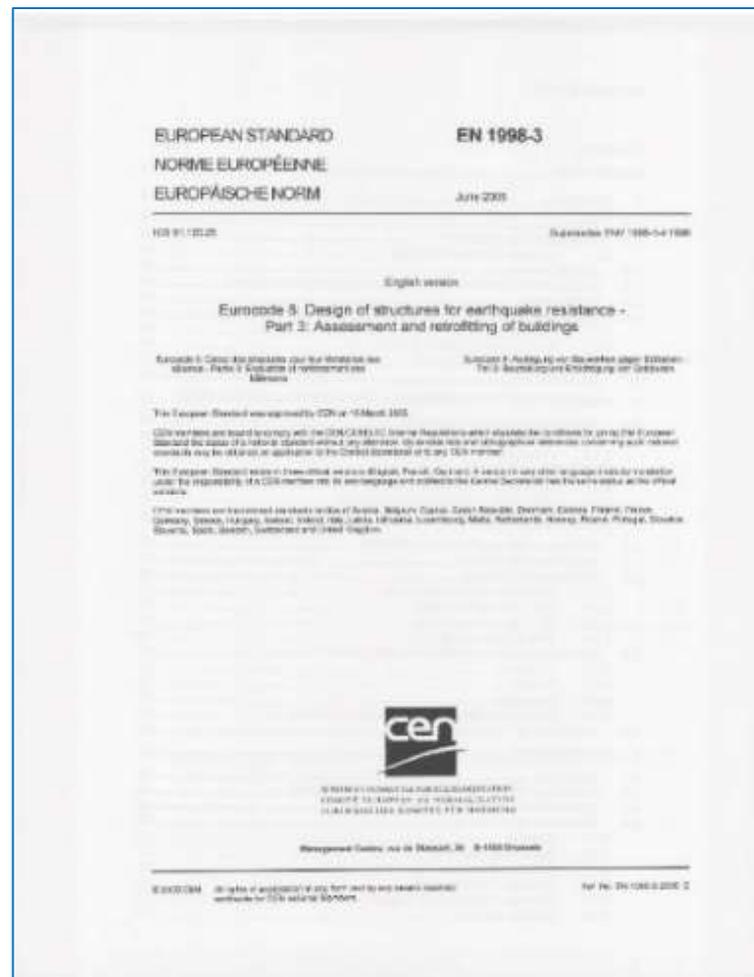
28 pagine

### Eurocode 8

*Design of structures for earthquake resistance – Part 3:  
Assessment and retrofitting of buildings and bridges*

Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 3: Evaluation et renforcement des bâtiments et ponts

Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden und Brücken



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Aggiornamento EN1998 – Parte III

### PARTE GENERALE

28 pagine

**10 SPECIFIC RULES FOR TIMBER BUILDINGS .....94**

**10.1 Scope .....94**

**10.2 Identification of geometry, details and materials.....94**

10.2.1 General .....94

10.2.2 Geometry.....95

10.2.3 Details .....95

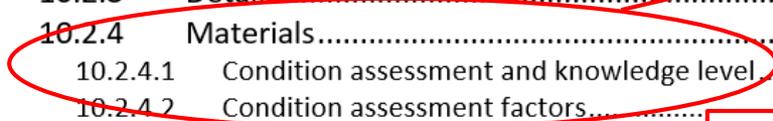
10.2.4 Materials.....95

10.2.4.1 Condition assessment and knowledge level.....95

10.2.4.2 Condition assessment factors.....97

**10.3 Classification of timber structural elements.....97**

$$X_d = \varphi \cdot \frac{X_{rep} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$



**Table 10.2 Knowledge level and  $\varphi$  factor**

Knowledge level	Condition assessment factor - $\varphi$
KLM1 - Minimum knowledge	Refer to D3 class $\varphi$ -value
KLM2 - Average knowledge	Refer to the $\varphi$ -value corresponding to the degradation class immediately worse than the one obtained on the basis of the inspections
KLM3 - High knowledge	Refer to the $\varphi$ -value corresponding to the degradation class obtained on the basis of the inspections

**Table 10.3 Condition assessment criteria ( $\varphi$  factors)**

Condition rating	Condition description	$\varphi$
D1 - Good	Timber free of borer; no signs of past water damage*; little or no fastener rust; tight connections, coherent and unable to wobble	1,00
D2 - Fair	Little or no borer; little or no signs of past water damage*; some rust on the fasteners but integrity still fair; connections have some but little movement/slack; small degree of timber wear surrounding fasteners	0,75
D3 - Poor	Considerable borer; water damage evident*; fastener rust extensive; significant timber degradation surrounding the fasteners; connections appear loose	0,30

(\*) Degradation process is assumed to be no longer active, the biotic cause of degradation is assumed to be no longer present

10.4.3 Frames .....97

**10.5 Structural analysis .....97**

10.5.1 General .....97

10.5.2 Local analysis of diaphragms with a .....97

**Table 10.1 NDT and SDT methods to assess Knowledge Level and Condition assessment of structural timber**

Method	Determine species	Measure MC	Locate deterioration	Quantify deterioration	Assess strength	Determine stiffness	Identify hidden details	Knowledge level	Condition assessment
Visual inspection	NDT		Limited					KLM1 KLM2 KLM3	✓
Remote visual inspection	NDT		Limited	Limited			Yes	KLM3	✓ (+)
Species identification	NDT	Yes						KLM1 KLM2 KLM3	✓

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Aggiornamento EN1998 – Parte III

### VALUTAZIONE DELL'ESISTENTE

- 10.6 Resistance models for assessment .....106**
  - 10.6.1 General ..... 106
  - 10.6.2 **Timber diaphragms** .....
  - 10.6.3 Carpentry joints.....
    - 10.6.3.1 General.....
    - 10.6.3.2 Compression of timber.....
    - 10.6.3.3 Single step joints (SSJ) .....
      - 10.6.3.3.1 Shear crack in the tie beam.....
      - 10.6.3.3.2 Crushing at the front-notch surface.....
    - 10.6.3.4 Double step joints (DSJ).....
      - 10.6.3.4.1 Shear crack in the tie beam.....
      - 10.6.3.4.2 Crushing at the front-notch surface.....
  - 10.6.4 Dowel-type joints ..... 114
  - 10.6.5 Dowel-type joints ..... 114
- 10.7 Verification to limit states .....114**
  - 10.7.1 Timber diaphragms ..... 114
    - 10.7.1.1 **Displacement limitation** ..... 115
    - 10.7.1.2 Force limitation .....
  - 10.7.2 Timber frames .....
    - 10.7.2.1 Displacement limitation .....
    - 10.7.2.2 Force limitation .....
  - 10.7.3 Carpentry joints.....
  - 10.7.4 Dowel-type joints .....

**Table 10.4 Acceptance criteria in terms of force  $v_{R,k}$  [kN/m]**

	No retrofit	Type of retrofit (Figure 10.2)			
		(a)	(b)	(e)	(f)
Parallel to joists	3	30	25	40	30
Perpendicular to joists	5*	45	25	45	40

\* In case of SQ joists, diaphragm shear strength in the direction perpendicular to the joists, can be significantly higher than the  $v_{R,rep}$  value reported in the table.

$$d_r = \frac{2 \Delta_d}{L_a} \times 100 \tag{10.20}$$

where  $\Delta_d$  and  $L_a$  are given in 10.5.2(7).

**Table 10.5 Acceptance criteria for horizontal diaphragms in terms of drift ratios  $d_r$  [%]**

	No retrofit	Type of diaphragm (Figure 10.10 1)			
		(a)	(b)	(e)	(f)
Near Collapse (NC)	6,0%	2,1%	1,6%	1,5%	2,1%
Significant Damage (SD)	4,0%	1,5%	1,2%	1,1%	1,5%
Damage Limitation (DL)	2,5%	0,8%	0,7%	0,6%	0,8%

### VALUTAZIONE DELL'ESISTENTE

- 10.6 Resistance models for assessment** .....
- 10.6.1 General .....
- 10.6.2 Timber diaphragms .....
- 10.6.3 **Carpentry joints** .....
- 10.6.3.1 General .....
- 10.6.3.2 Compression of timber .....
- 10.6.3.3 **Single step joints (SSJ)** .....
- 10.6.3.3.1 Shear crack in the tie beam .....
- 10.6.3.3.2 Crushing at the front-notch surface .....
- 10.6.3.4 **Double step joints (DSJ)** .....
- 10.6.3.4.1 Shear crack in the tie beam .....
- 10.6.3.4.2 Crushing at the front-notch surface .....
- 10.6.4 Dowel-type joints .....
- 10.6.5 Dowel-type joints .....
- 10.7 Verification to limit states** .....
- 10.7.1 Timber diaphragms .....
- 10.7.1.1 Displacement limitation .....
- 10.7.1.2 Force limitation .....
- 10.7.2 Timber frames .....
- 10.7.2.1 Displacement limitation .....
- 10.7.2.2 Force limitation .....
- 10.7.3 Carpentry joints .....
- 10.7.4 Dowel-type joints .....

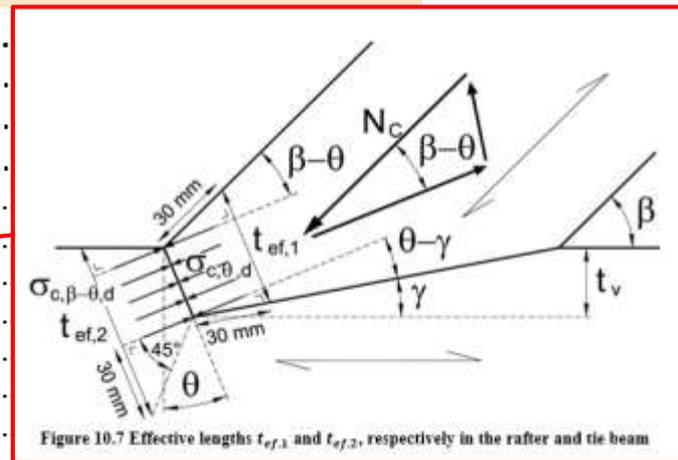


Figure 10.7 Effective lengths  $t_{ef,1}$  and  $t_{ef,2}$ , respectively in the rafter and tie beam

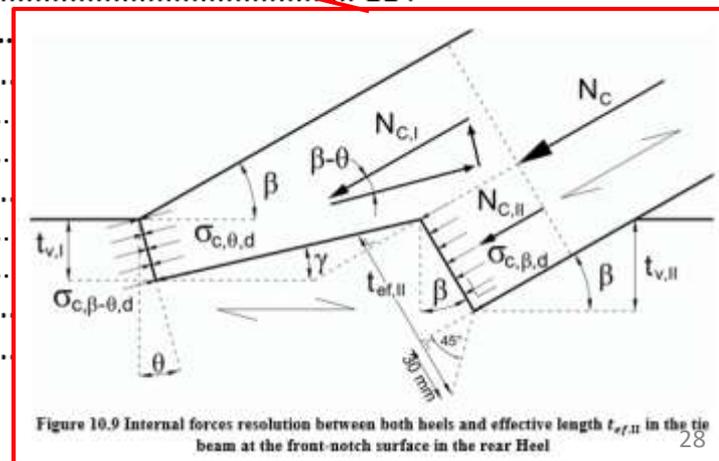


Figure 10.9 Internal forces resolution between both heels and effective length  $t_{ef,II}$  in the tie beam at the front-notch surface in the rear Heel

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Aggiornamento EN1998 – Parte III

### RINFORZO

**10.8 Resistance models for strengthening** .....

10.8.1 Material design resistance .....

10.8.2 Diaphragms .....

10.8.2.1 **Methods for strengthening** .....

10.8.2.2 Modelling and analysis .....

10.8.2.3 Verifications .....

10.8.3 Timber frames .....

10.8.3.1 Methods for strengthening .....

10.8.3.2 Modelling and analysis .....

10.8.3.3 Verifications .....

10.8.4 Carpentry joints .....

10.8.4.1 General .....

10.8.4.2 Repair and reinforcement .....

10.8.4.3 Verifications .....

10.8.5 Dowel-type joints .....

10.8.5.1 Reinforcement measures .....

10.8.5.2 Verifications .....

DPC-ReLUIS  
2019-2021

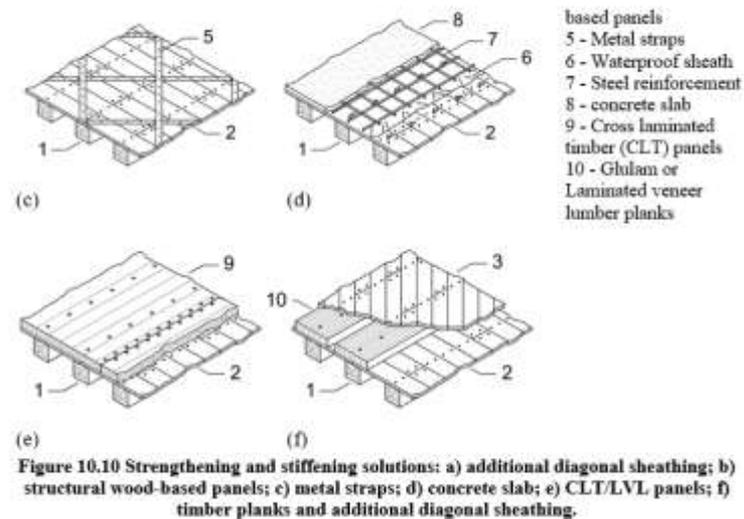


Table 10.7 Equivalent shear stiffness values  $G_{d,0}$  [kN/m]\*

	No retrofit	Type of retrofitted diaphragm (Figure 10.2)			
		(a)	(b)	(e)	(f)**
Single straight sheathing	150	3000	1800	3000	3000
Single straight sheathing (SQ joists) ***	400	3600	2400	4100	3800

\* Given values can be considered as reference values.  
 \*\* This retrofit strategy, that is mainly intended for improving diaphragm out-of-plane performance, requires squat joists (SQ) in order to be effective.  
 \*\*\* When the diaphragm is loaded in the direction perpendicular to the joists.

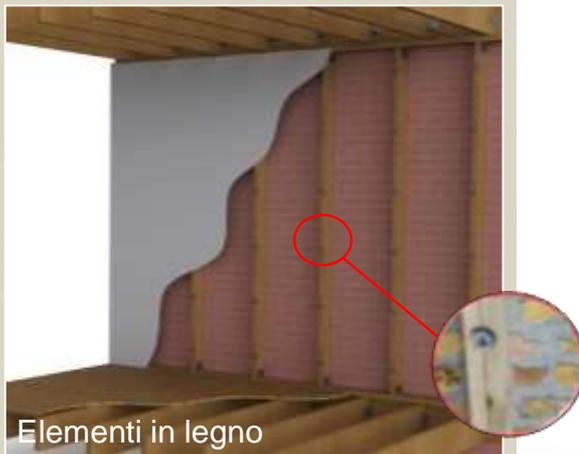
## Contributi normativi relativi a strutture in legno

Riduzione della vulnerabilità sismica di edifici tradizionali tramite interventi sui diaframmi lignei di piano e sulla copertura

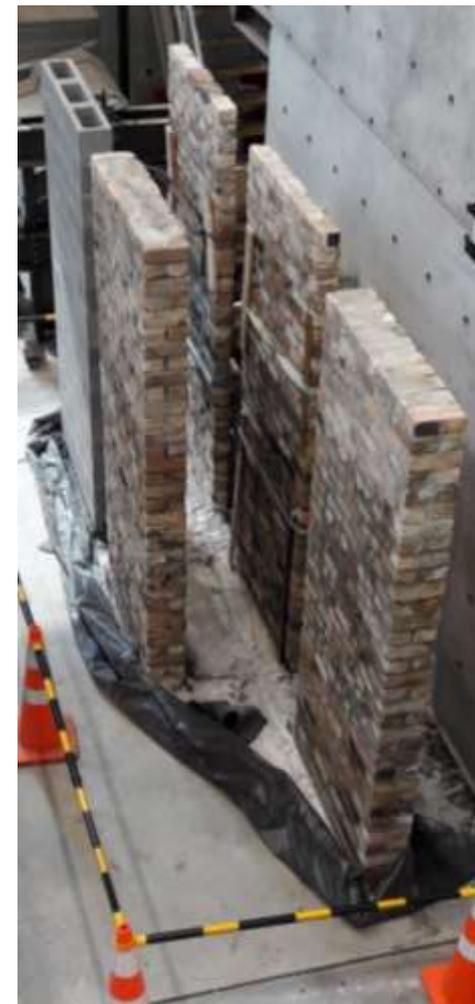
# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

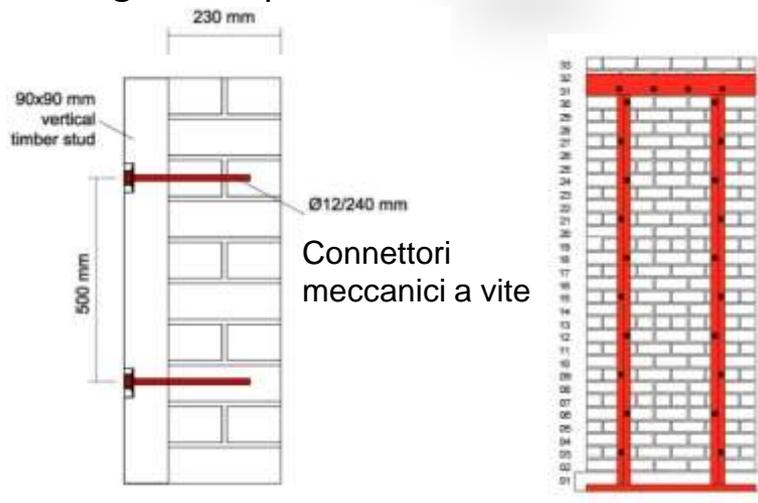
### Elementi monodimensionali in legno a sostegno della muratura



Costolature di rinforzo con collegamenti puntuali diffusi



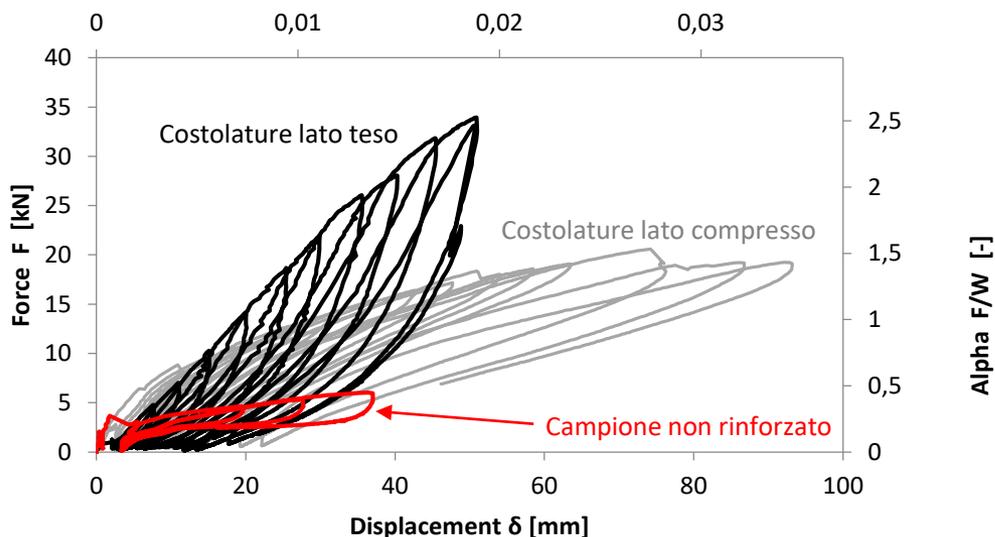
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO  
Dipartimento di Ingegneria Civile  
e Ambientale



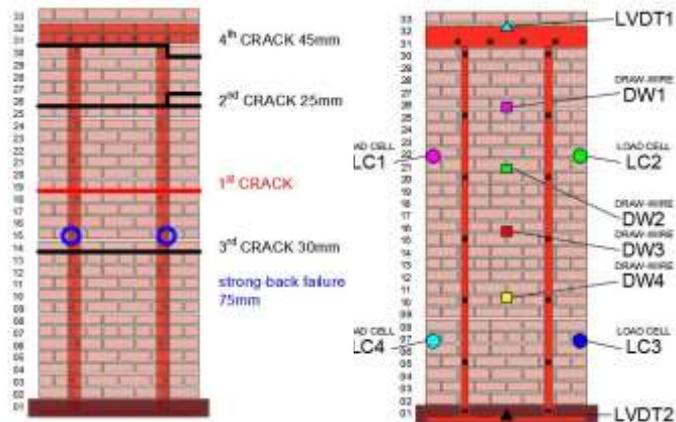
# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Elementi monodimensionali in legno a sostegno della muratura



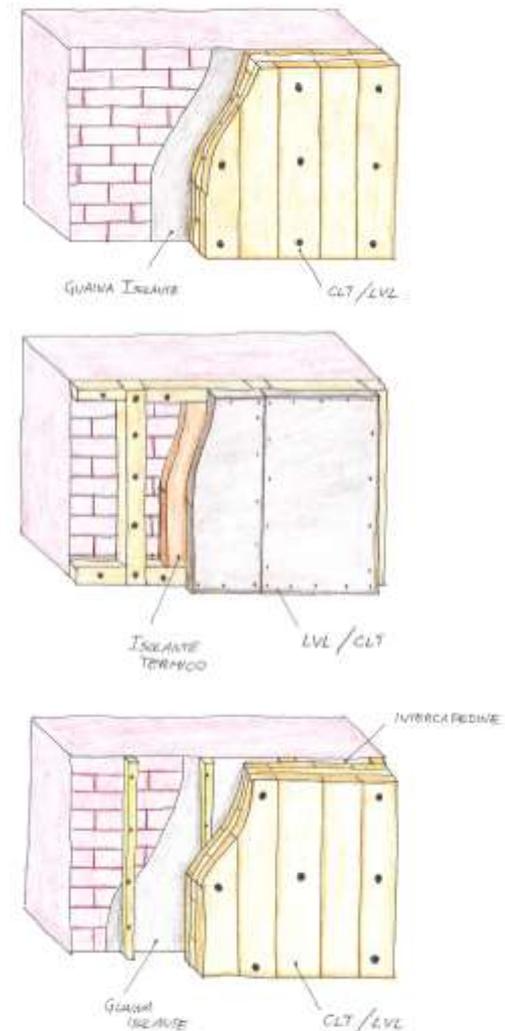
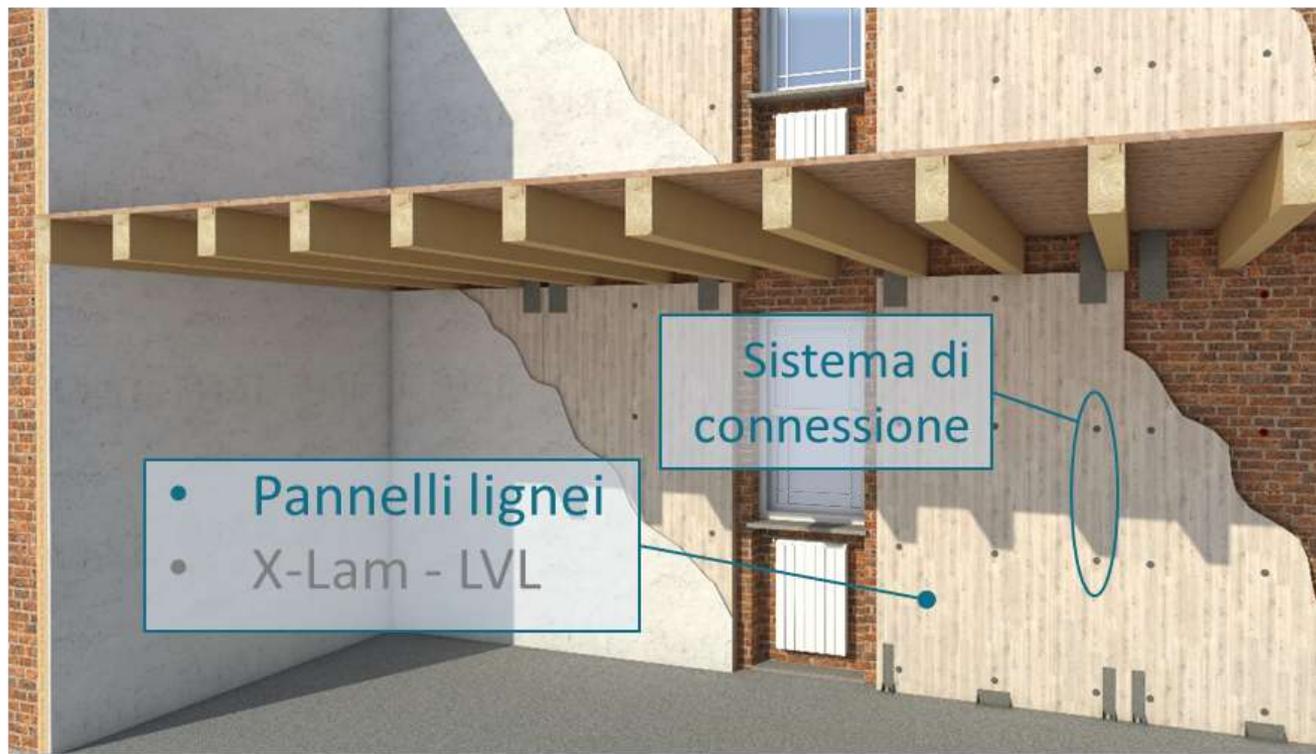
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO  
Dipartimento di Ingegneria Civile  
e Ambientale



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Miglioramento sismico di edifici in muratura con pannelli lignei



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Rinforzo di edifici esistenti in muratura mediante pannelli CLT

Perché utilizzare **Pannelli Lignei** ?

- 
- ✓ Incremento di massa contenuto se confrontato con altre tecniche di consolidamento
  - ✓ Buone proprietà meccaniche (rapporto resistenza/densità)
  - ✓ Miglioramento prestazioni energetiche edificio

Perché inserire i pannelli nel lato interno ?

- ✓ Durabilità
- ✓ Mantenimento delle facciate esterne
- ✓ Volume totale dell'edificio costante
- ✗ Riduzione del volume interno abitabile



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove sperimentali (in-situ): connessioni legno - muratura

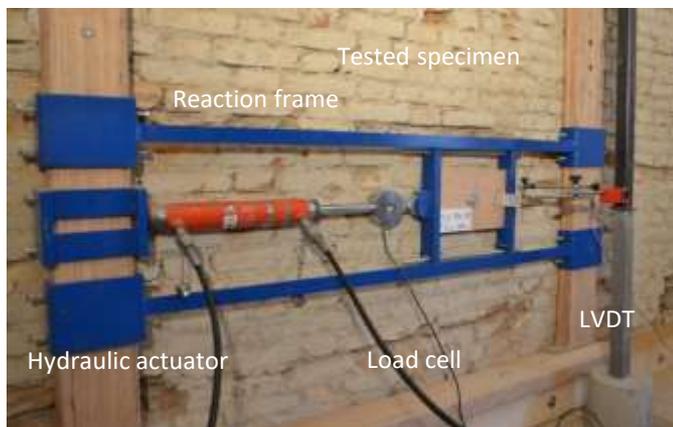
#### CASO STUDIO - GAT | Grande Albergo Terme



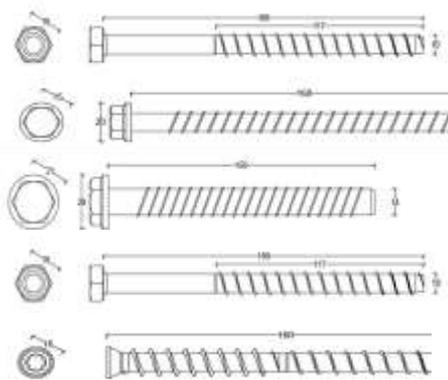
Progetto iniziale 1838-1840



Situazione attuale



#### CONNETTORI



#### TIPOLOGIE MURARIE



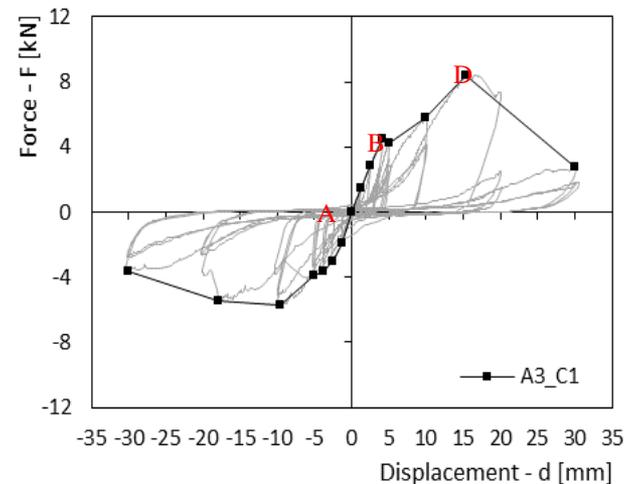
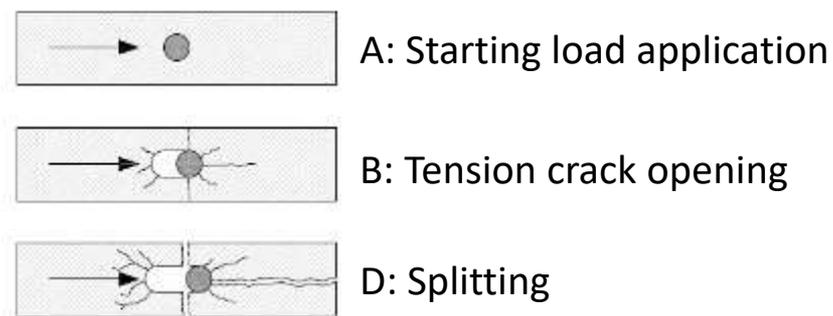
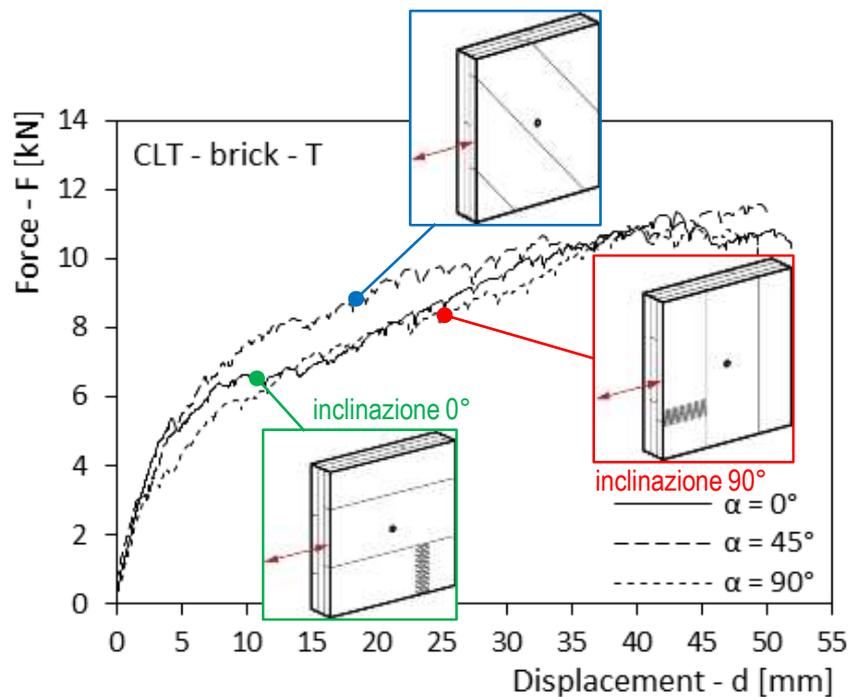
#### PANNELLI LIGNEI

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove sperimentali (in-situ): connessioni legno - muratura

Per differenti angoli di applicazione del carico



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove sperimentali (in-situ): connessioni legno - muratura



#### Risultati test semi-ciclici

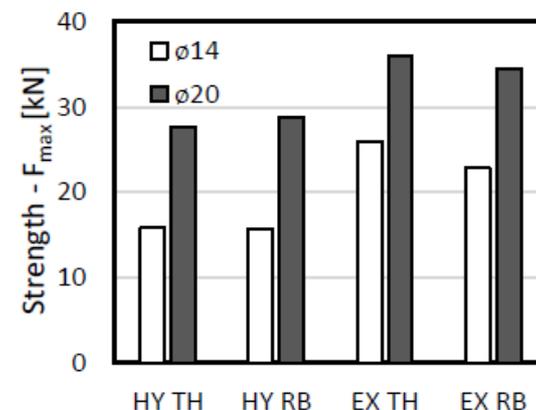
##### Parametri esaminati

- Tipologia di resina (epossidica e ibrida vinilestere/epossidica)
- Diametro barra filettata (14 mm e 20 mm)

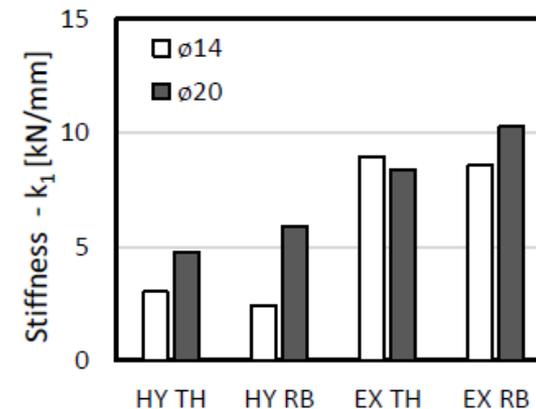
ID	$F_{max}$ (kN)	$k_1$ (kN/mm)
HY 14 TH	15.84	3.01
HY 14 RB	15.77	2.43
HY 20 TH	27.62	4.75
HY 20 RB	28.83	5.90
EX 14 TH	25.97	8.97
EX 14 RB	22.88	8.56
EX 20 TH	35.90	8.39
EX 20 RB	34.51	10.26



Strength  $F_{max}$



1<sup>st</sup> cycle secant stiffness  $k_1$

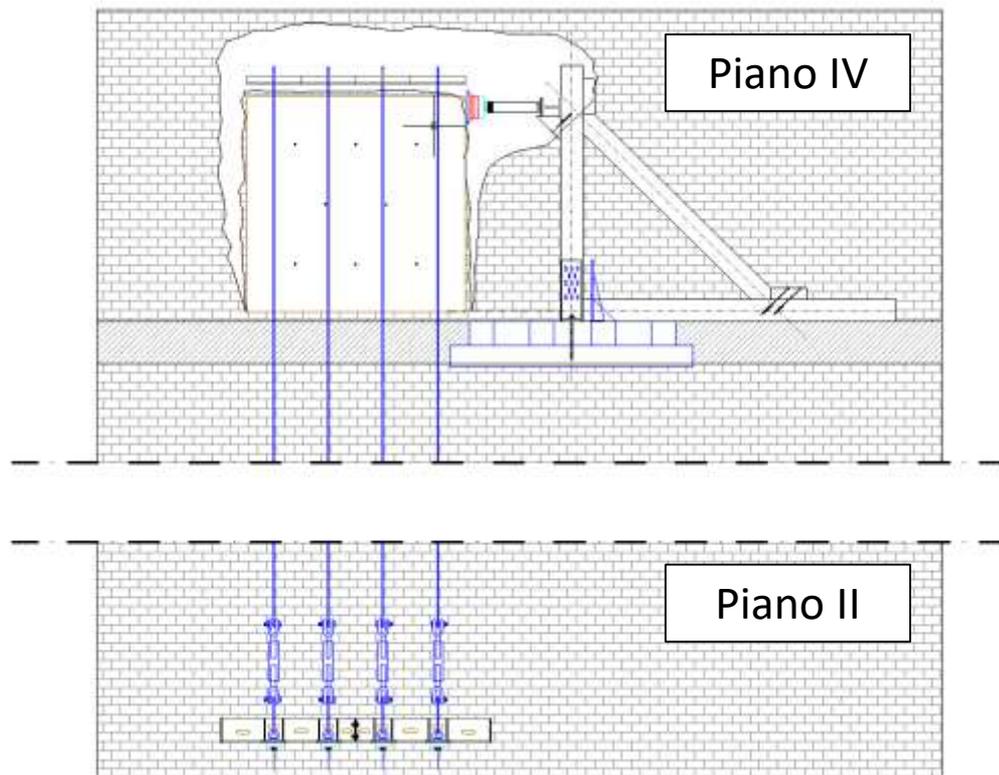


# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove in situ su pareti rinforzate con pannelli CLT

- PARETE 1 → **ORIGINALE** → **RIPARATA**
- PARETE 2 → **ORIGINALE** → **RIPARATA**
- PARETE 3 → **RINFORZATA**



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove in situ su pareti rinforzate con pannelli CLT

- PARETE 1 → **ORIGINALE** → **RIPARATA**
- PARETE 2 → **ORIGINALE** → **RIPARATA**
- PARETE 3 → **RINFORZATA**



Pannelli CLT (3 strati)

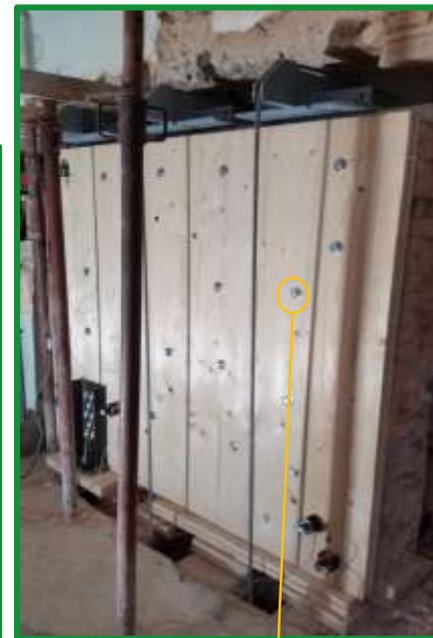
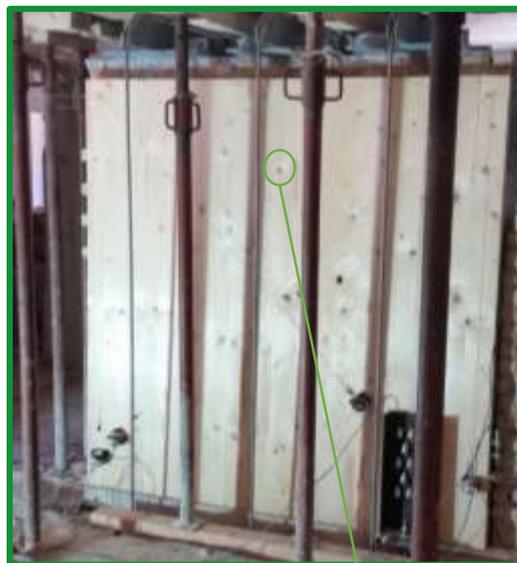
Tipo di connettore		A	B*
Lunghezza	[mm]	180	230
Lunghezza filetto	[mm]	100	160 (70)
Diametro filetto	[mm]	12	10 (12)
Diametro foro	[mm]	10	8
Resistenza a trazione**	[kN]	25	58

\* In parentesi le proprietà del filetto da legno

\*\* Valori caratteristici

≈ 5 connettori / m<sup>2</sup>

≈ 5 connettori / m<sup>2</sup>



VITE DA LEGNO-CEMENTO



CONNETTORE DA CEMENTO + RONDELLA

# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove in situ su pareti rinforzate con pannelli CLT

PARETE 1 → **ORIGINALE** → **RIPARATA**

PARETE 2 → **ORIGINALE** → **RIPARATA**

PARETE 3 → **RINFORZATA**



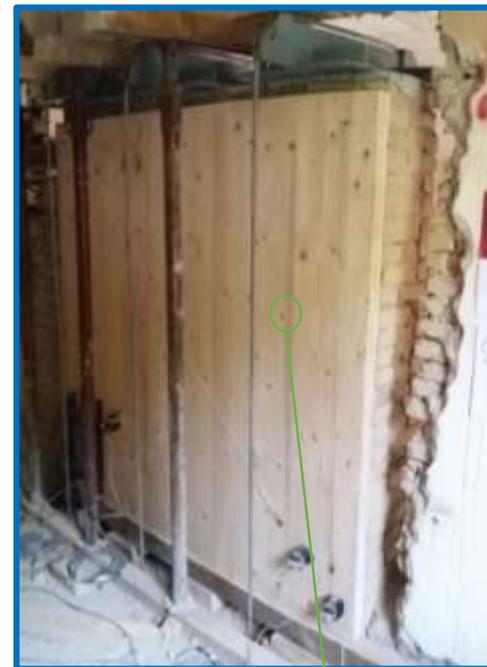
Pannelli CLT (3 strati)

Tipo di connettore		A	B*
Lunghezza	[mm]	180	230
Lunghezza filetto	[mm]	100	160 (70)
Diametro filetto	[mm]	12	10 (12)
Diametro foro	[mm]	10	8
Resistenza a trazione**	[kN]	25	58

\* In parentesi le proprietà del filetto da legno

\*\* Valori caratteristici

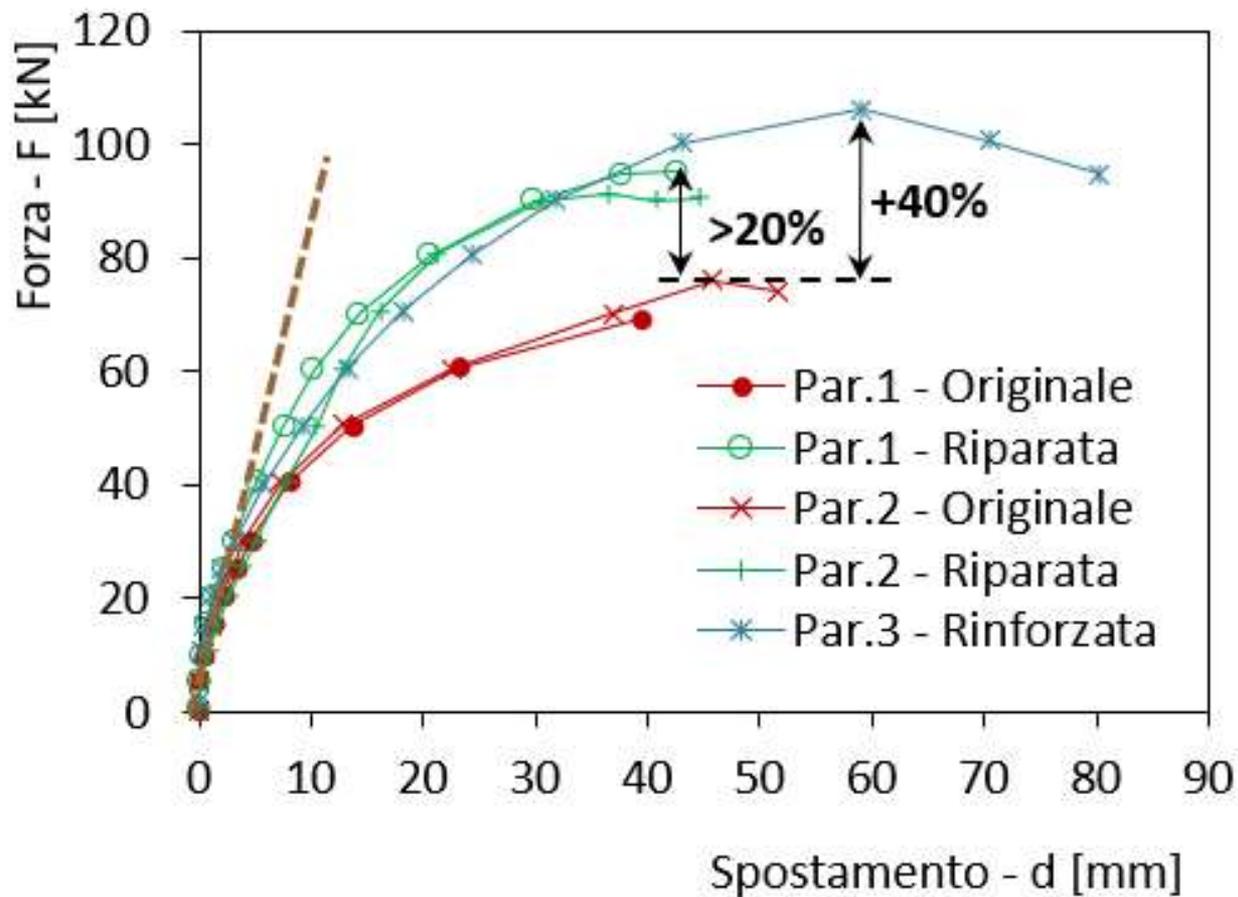
≈ 8 connettori / m<sup>2</sup>



# Soluzioni di intervento con elementi in legno

## Utilizzo degli elementi lignei per il rinforzo delle murature

### Prove in situ su pareti rinforzate con pannelli CLT



## Interventi con elementi di legno

- In **copertura**, valutato lo stato del materiale, gli interventi "minimali" sono assai efficaci per garantire la integrità strutturale dei nodi (compreso quello legno – muratura) e per stabilizzare il piano di falda, non aumentando le masse
- Per i **solai** interventi rapidi, semplici e a basso impatto possono essere realizzati per migliorare il comportamento sia per le azioni nel piano che per quelle fuori piano con *materiali a base legno*, minimizzando le masse
- Per le **pareti in muratura**, il progetto di ricerca prevede di utilizzare i pannelli a base legno come rinforzo della muratura e come miglioramento delle prestazioni energetiche (il progetto di ricerca DPC - ReLUIS è in corso!)

## Elementi di legno per interventi

- **rapidi** ( $\neq$  somma urgenza)
- **semplici, a basso impatto, a costo ridotto**
- **efficaci, a carattere permanente**

## SOLUZIONI DI INTERVENTO CON ELEMENTI IN LEGNO

Prof. Ing. Maurizio Piazza  
Università degli Studi di Trento

# Grazie per l'attenzione