

OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

MODULO 3 : LEGNO PER USO STRUTTURALE: NUOVE COSTRUZIONI ED INTERVENTI SULL'ESISTENTE

Il legno nelle costruzioni esistenti: valutazioni e tecniche di intervento

Prof. Ivan Giongo

(Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento di
Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento)

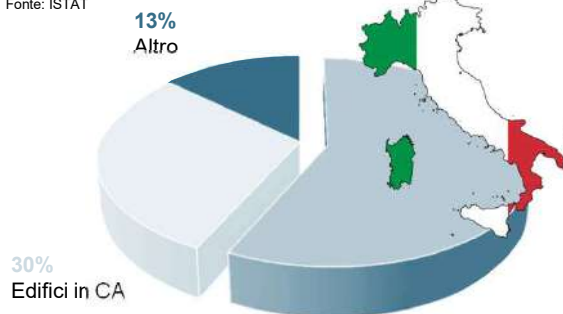


CON IL PATROCINIO DI:



IL LEGNO NELLE COSTRUZIONI ESISTENTI IN ITALIA

Fonte: ISTAT



[Cortesia M. Piazza]

Solai e coperture in
edifici tradizionali



Edifici in muratura

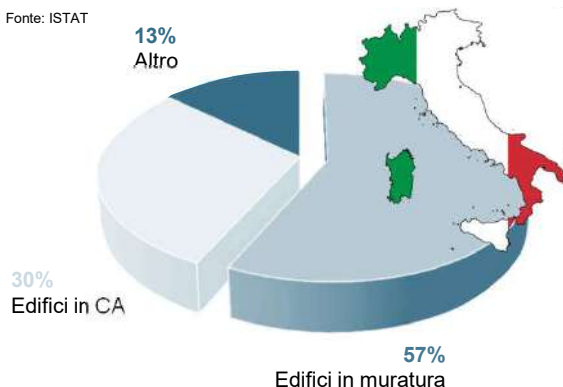


TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



IL LEGNO NELLE COSTRUZIONI ESISTENTI IN ITALIA

Fonte: ISTAT



Collasso fuori piano di porzioni
murarie (Meccanismi di I modo)

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



IL LEGNO NELLE COSTRUZIONI ESISTENTI IN ITALIA



CEN/TC 250

Date: 2024-08

FprEN 1998-3:2025

Secretariat: BSI

Eurocode 8 — Design of structures for earthquake resistance —
Part 3: Assessment and retrofitting of buildings and bridges

Einführendes Element — Haupt-Element — Ergänzendes Element

Élément introductif — Élément central — Élément complémentaire



University of Milano
School of Engineering

TU/e
Eindhoven
University of
Technology



CAPITOLO 10 | REGOLE SPECIFICHE PER GLI EDIFICI IN LEGNO

10	Specific rules for timber buildings	114
10.1	Field of application	114
10.2	Identification of geometry, details and materials	114
10.2.1	General	114
10.2.2	Geometry	115
10.2.3	Details	115
10.2.4	Materials	115
10.3	Classification of timber structural members	119
10.3.1	Timber diaphragms	119
10.3.2	Timber frames	121
10.4	Structural modelling	123
10.4.1	General	123
10.4.2	Diaphragms	123
10.4.3	Frames	125
10.5	Structural analysis	125
10.5.1	General	125
10.5.2	Local analysis of diaphragms with a force-based approach	125
10.6	Resistance models for assessment	127
10.6.1	General	127
10.6.2	Timber diaphragms	127
10.6.3	Carpentry connections	128
10.6.4	Dowel-type fastener connections	131
10.7	Verification to limit states	131
10.7.1	Timber diaphragms	131
10.7.2	Timber frames	132
10.7.3	Carpentry connections	132
10.7.4	Dowel-type connections	132
10.8	Resistance models for retrofitting	132
10.8.1	Material design resistance	132
10.8.2	Diaphragms	133
10.8.3	Timber frames	136
10.8.4	Carpentry connections	137
10.8.5	Dowel-type connections	139

CAPITOLO 10 | REGOLE SPECIFICHE PER GLI EDIFICI IN LEGNO

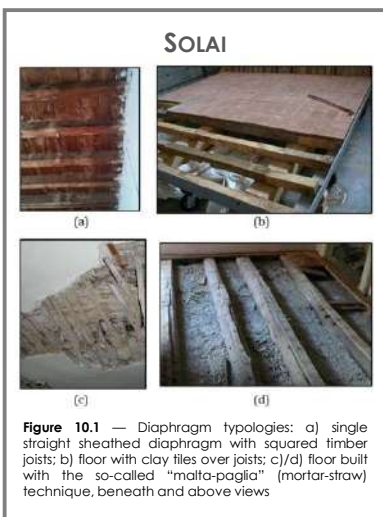


Figure 10.1 — Diaphragm typologies: a) single straight sheathed diaphragm with squared timber joists; b) floor with clay tiles over joists; c) floor built with the so-called "malta-paglia" (mortar-straw) technique, beneath and above views

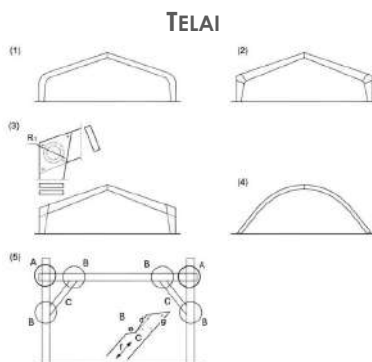


Figure 10.3 — Timber frames addressed: 1) frames with relatively thin lamellas (glued), 2) finger joint (glued) connections, 3) dowelled connections, 4) arches, 5) traditional frames

COLLEGAMENTI DI CARPENTERIA

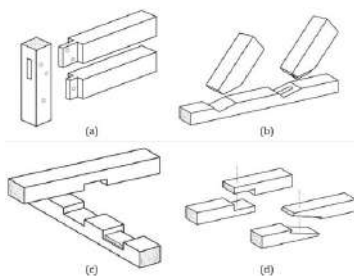


Figure 10.4 — Examples of carpentry connections: (a) Through pinned mortise and tenon (a') Blind pinned mortise and tenon (b) Notched joint between main rafters and tie-beam (c) Half-lap joint (c') Cogged half-lap joint (d) Halved scarf-joint (d') Scarf-joint with under-squinted ends

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Regole generali

$$X_d = \varphi \frac{X_k \cdot \eta}{\gamma_R}$$

Parametro che dipende dallo «stato di conservazione» (degrado) del manufatto

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

5.4.4 (1) a) KLM1 (Minimum knowledge) is attained when no direct information on the mechanical properties of the construction materials is available, either from original design specifications or from original test reports. Default values should be assumed in accordance with standards at the time of construction, accompanied by limited in-situ testing in the most critical members. In the case of masonry structures, direct testing may be avoided, and reference values of predefined masonry types may be attributed after an extended visual survey of masonry features (according to Table 5.1). **In the case of timber buildings and timber members, direct testing may be avoided provided that an accurate visual inspection is performed according to 10.2.4.1.**

5.4.4 (1) b) KLM2 (Average knowledge) is attained when information on the mechanical properties of the construction materials is available either (i) from extended in-situ testing; or (ii) from original design specifications complemented by limited in-situ testing. In the case of masonry structures, when original design documents are not available, direct testing may still be avoided, but, in addition to what is required for KLM1, the knowledge should be enhanced by extended non-destructive testing, as specified in Table 5.3 for inspections, which allows a more accurate classification of masonry types in the structure. **In the case of pre-1940 timber buildings, when original design documents are not available, direct testing may be avoided, but, in addition to what is required for KLM1, the knowledge should be enhanced by non-destructive testing, as specified in Table 10.1.**

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Regole generali

$$X_d = \varphi \cdot \frac{X_k \cdot \eta}{\gamma_R}$$

Parametro che dipende dallo «stato di conservazione» (degrado) del manufatto

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

5.4.4 (1) a) KLM1 (Minimum knowledge) is attained when no direct information on

the mechanical properties of the construction design specifications or from original test results in accordance with standards at the time of testing in the most critical members. In the case avoided, and reference values of predefined extended visual survey of masonry features (timber buildings and timber members) provided that an accurate visual inspection is required.

5.4.4 (1) b) KLM2 (Average knowledge) is attained when information on the

5.4.1 (1) c) KLM3 (High knowledge) is attained when information on the mechanical properties of the construction materials is available either (i) from comprehensive in-situ testing; or (ii) from original test reports, complemented by limited in-situ testing; or (iii) from original design specifications, complemented by extended in-situ testing. In the case of masonry structures, in addition to what is required for KLM2, direct testing of material properties in the critical areas should be performed, in order to update the reference values of predefined masonry types; material properties should then be defined by using results of tests for updating the reference values for the masonry types. **In the case of timber structures, in addition to what is required for KLM2, (semi) non-destructive testing**, e.g. by resistance drilling, and/or density measurements on small samples in order to define the material properties in the critical zones should be performed (see Table 10.1).

Materials is available either (i) from extended investigations complemented by limited in-situ testing or (ii) from original design documents are not available, direct access to what is required for KLM1, the knowledge for destructive testing, as specified in Table 5.3 for the classification of masonry types in the structure. In addition, when original design documents are not available, destructive testing should be avoided, but, in addition to what is required for KLM1, the knowledge for non-destructive testing should be enhanced by non-destructive testing techniques.

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Regole generali

Table 10.1 fornisce una panoramica di metodi selezionati per la valutazione dello stato degli elementi strutturali in legno attraverso prove non distruttive (NDT) e prove semi-distruttive (SDT), basandosi sulle due raccomandazioni a cura del comitato tecnico **RILEM TC AST 215 "In-situ assessment of structural timber"**

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	✓
Moisture measurements	NS	Yes						KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Digital radioscopy	NDT		Yes	Limited			Yes	KLM3 (*)	
Ground penetrating radar	NDT	Limited	Limited				Limited	KLM3 (*)	
Infrared thermography	NDT	Limited	Limited				Limited	KLM3 (*)	
Stress waves	NDT		Limited	Limited	Limited	Estimate		KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Ultrasound methods	NDT		Limited	Limited	Limited	Estimate	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Resistance drilling	NDT		Yes	Yes	Limited		Limited	KLM2 (*) - KLM3	✓ (**)
Core drilling	SDT		Yes		Estimate	Estimate		KLM2 (*) - KLM3 (*)	
Tension micro-specimens	SDT				Estimate	Estimate		KLM2 (*) - KLM3 (*)	
Glue-line test	SDT	Limited	Limited		Limited			KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Screw withdrawal	SDT		Limited		Limited			KLM2 (*) - KLM3 (*)	
Needle penetration	NDT		Limited		Limited			KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Pin pushing	SDT		Yes	Limited	Estimate			KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Surface hardness	SDT		Limited		Limited			KLM2 (*) - KLM3 (*)	

(*) Not mandatory
(**) If relevant
NDT: Non-Destructive Technique
SDT: Semi-Destructive Technique
NS: NDT or SDT, depending on the testing methodology used

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Regole generali

Table 10.1 fornisce una panoramica di metodi selezionati per la valutazione di elementi strutturali in legno attraverso prove non distruttive (NDT) e prove semi-distruttive (SDT), basandosi sulle due raccomandazioni tecniche RILEM TC AST 215 "In-situ assessment of structural timber"

Table 10.1 — NDT and SDT methods to assess structural timber

Method	Determine species	Measure MC	Locate defects	Identify hidden details	Knowledge level	Condition assessment
Visual inspection	NDT		Limited		KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Remote visual inspection	NDT		Limited	Yes	KLM3	✓ (**)
Species identification	NDT	Yes			KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Moisture measurements	NS	Yes			KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Digital radioscopes	NDT		Yes	Yes	KLM3 (*)	
Ground penetrating radar	NDT	Limited	Limited	Limited	KLM3 (*)	
Infrared thermography	NDT	Limited	Limited	Limited	KLM3 (*)	
Stress waves	NDT		Limited		KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Ultrasound methods	NDT		Limited		KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Resistance drilling	NDT		Yes	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Core drilling	SDT		Yes	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Tension micro-specimens	SDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Glue line test	SDT	Limited	Limited		KLM2 (*) - KLM3	✓ (**)
Screw withdrawal	SDT		Limited		KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Needle penetration	NDT		Limited	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Pin pushing	SDT		Yes	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Surface hardness	SDT		Limited	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)

(*) Not mandatory

(**) If relevant

NDT: Non-Destructive Technique

SDT: Semi-Destructive Technique

NS: NDT or SDT, depending on the testing methodology used

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Regole generali

Table 10.1 fornisce una panoramica di metodi selezionati per la valutazione di elementi strutturali in legno attraverso prove non distruttive (NDT) e prove semi-distruttive (SDT), basandosi sulle due raccomandazioni tecniche RILEM TC AST 215 "In-situ assessment of structural timber"

Table 10.1 — NDT and SDT methods to assess structural timber

Method	Determine species	Measure MC	Locate defects	Identify hidden details	Knowledge level	Condition assessment
Visual inspection	NDT		Limited		KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Remote visual inspection	NDT		Limited	Yes	KLM3	✓ (**)
Species identification	NDT	Yes			KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Moisture measurements	NS	Yes			KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Digital radioscopes	NDT		Yes	Yes	KLM3 (*)	
Ground penetrating radar	NDT	Limited	Limited	Limited	KLM3 (*)	
Infrared thermography	NDT	Limited	Limited	Limited	KLM3 (*)	
Stress waves	NDT		Limited		KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Ultrasound methods	NDT		Limited		KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Resistance drilling	NDT		Yes	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Core drilling	SDT		Yes	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Tension micro-specimens	SDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Glue line test	SDT	Limited	Limited		KLM2 (*) - KLM3	✓ (**)
Screw withdrawal	SDT		Limited	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Needle penetration	NDT		Limited	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Pin pushing	SDT		Yes	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Surface hardness	SDT		Limited	Limited	KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)

(*) Not mandatory

(**) If relevant

NDT: Non-Destructive Technique

SDT: Semi-Destructive Technique

NS: NDT or SDT, depending on the testing methodology used

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Regole generali

Table 10.1 fornisce una panoramica di metodi selezionati per la valutazione dello stato degli elementi strutturali in legno attraverso prove non distruttive (NDT) e prove semi-distruttive (SDT), basandosi sulle due raccomandazioni a cura del comitato tecnico **RILEM TC AST 215** "In-situ assessment of structural timber"

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

Method		1	2	3	Knowledge level	Condition assessment
Visual Inspection	NDT				KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Remote visual inspection	NDT				KLM3	✓ (**)
Species identification	NDT				KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Moisture measurements	NS				KLM1 - KLM2 - KLM3	✓
Digital radiography	NDT				KLM3 (*)	
Ground penetrating radar	NDT				KLM3 (*)	
Infrared thermography	NDT				KLM3 (*)	
Stress waves	NDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Ultrasound methods	NDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Resistance drillina	NDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Sclerometro da legno	SDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	
Needle penetration	SDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Pin pushing	SDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	✓ (**)
Surface hardness	SDT				KLM2 (*) - KLM3 (*)	

(*) Not mandatory
(**) If relevant
NDT: Non-Destructive Technique
SDT: Semi-Destructive Technique
NS: NDT or SDT, depending on the testing methodology used

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

Regole generali

$$X_d = \varphi \cdot \frac{X_k \cdot \eta}{\gamma_R}$$

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

Table 5.3 – Values of k_{mod}

Material	Service class	Load-duration of action				Instantaneous
		Permanent	Long-term	Medium-term	Short-term	
Structural timber (ST), Finger-jointed timber (FJT), Glued solid timber (GST), Glued-laminated timber (GL), Black glued glulam (BGL), Cross laminated timber (CLT), Solid wood panels (SWP), SWP-C, Laminated veneer lumber (LVL), Glued laminated veneer lumber (GLVL), Plywood (PWP), Dissolved laminated wood (DLW)	1 and 2	0.60	0.75		0.90	1.10
Structural Timber (ST), Glued-laminated timber (GL), Laminated veneer lumber (LVL), Finger-jointed timber (FJT)	4	0.55	0.60	0.70	0.80	1.00
Structural timber (ST)	4	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Orthostrand board (OSB)	OSB/2	1	0.30	0.45	0.65	0.85
	OSB/3, OSB/4	1	0.40	0.50	0.70	0.90
		2	0.30	0.40	0.55	0.70

prEN 1995-1-1:2023

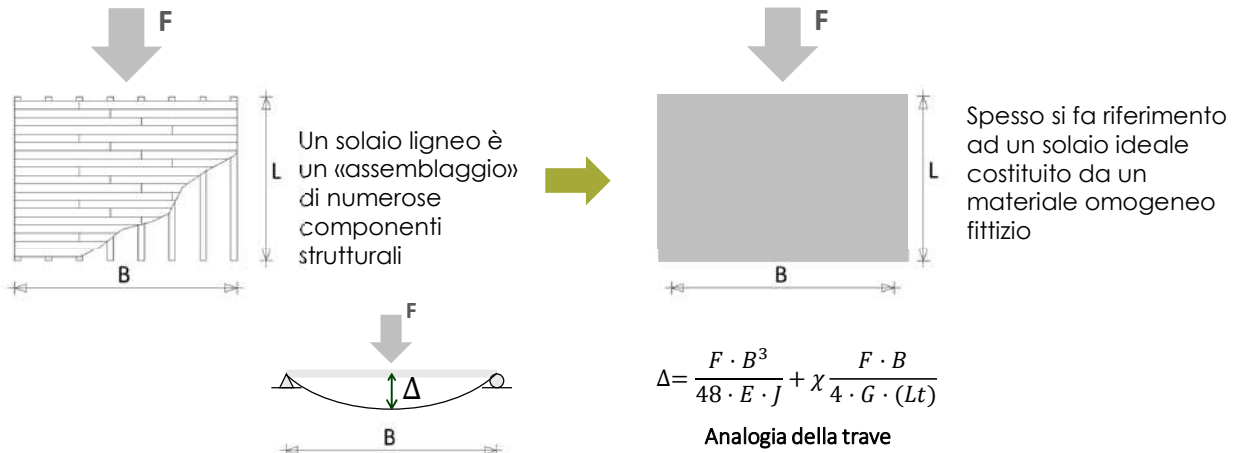
Condition assessment factors (φ) for timber diaphragms

Condition rating	Condition description	As-built	(*) Retrofitted
D1 - Good	Timber free of borer; no signs of past water damage*; little or no nail rust; floorboard-to-joist connection tight, coherent and unable to wobble	1.00	1.00
D2 - Fair	Little or no borer; little or no signs of past water damage*; some nail rust but integrity still fair; floorboard-to-joist connection has some but little movement; small degree of timber wear surrounding nails	0.75	0.90
D3 - Poor	Considerable borer; water damage evident*; nail rust extensive; significant timber degradation surrounding nails; floorboard joist connection appears loose and able to wobble	0.30	0.70

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

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

Rigidezza nel piano dei solai lignei

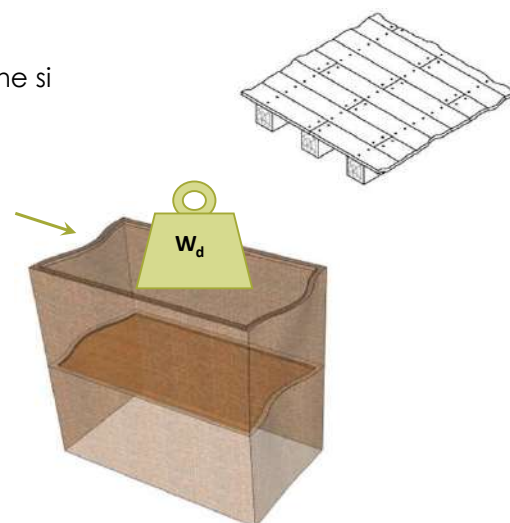
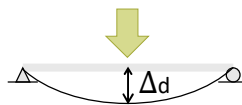


Rigidezza nel piano dei solai lignei

Il solaio viene trattato come se fosse una trave che si deforma esclusivamente a taglio

La **rigidezza a taglio equivalente** (G_d) diventa un parametro chiave

$$\Delta_d = \beta \frac{W_d B}{G_d L}$$



Rigidezza nel piano dei solai lignei

$$G_{d0,eff} = \varphi \cdot \alpha_m \cdot \frac{A_n}{A} \cdot G_{d,0}$$



Tavolato semplice

Table 10.7 Reference values for the equivalent shear stiffness, $G_{d,0}$ [kN/m]**

	No retrofit	Retrofit			
		(a)	(b)	(e)	(f)**
Single straight sheathing	150	3000	1800	3000	3000
Single straight sheathing (SQ joists)*	400	3600	2400	4100	3800

* When the diaphragm is loaded in the direction perpendicular to the joists.

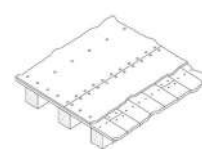
** Given values can be considered as reference values. Background information is provided in Annex D2

*** This retrofit strategy, that is mainly intended for improving diaphragm out-of plane performance, requires squat joists (SQ) in order to be effective.

SOLUZIONI DI RINFORZO A "BASE-LEGNO"



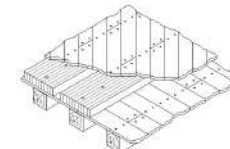
(a) Tavolato aggiuntivo (tavole diagonali)



(b) Rivestimento con pannelli a "base-legno"



(e) "Soletta" con pannelli CLT o LVL



(f) "Tavoloni" e tavolato aggiuntivo

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Rigidezza nel piano dei solai lignei

- Geometrie molto diverse (dimensioni, rapporto di forma)
- Campioni costruiti in laboratorio (raramente solai esistenti)
- Direzione di carico (parallelo ai travetti, ortogonale ai travetti)
- Caratteristiche del rinforzo (spessore pannelli, spaziature e tipo connettori)



Wilson (2011)



Giongo et al. (2012)



Modena, Valluzzi et al. (2008)



Brignola (2009)



Gubana & Melotto (2018)

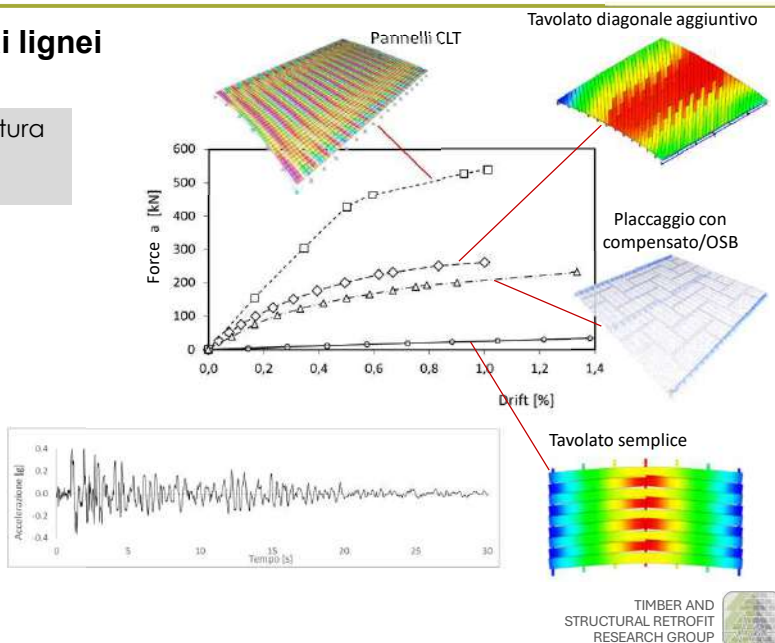
Valori di $G_{d,0}$ piuttosto
differenti!

Rigidezza nel piano dei solai lignei

Necessario trovare una chiave di lettura «unica», che permetta di definire caratteristiche di validità generale

Studi parametrici su:

- ✓ Rapporto di forma
- ✓ Fattore di scala
- ✓ Direzione di carico
- Diversi approcci di modellazione
- Analisi statiche non lineari
- Analisi dinamiche non lineari



Rigidezza nel piano dei solai lignei

La forza d'inerzia totale che agisce sul solaio...



$$F_a = (S_d \cdot m_{ap} \cdot g) / q_{ap}$$

$S_d = S_{ap}$ è l'accelerazione spettrale cui è sottoposto il solaio

q_{ap} è il fattore di comportamento

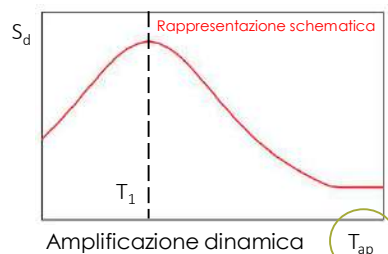
$m_{ap} \cdot g = W_{ap}$ è il peso sismico del solaio

$$T_{ap} = \alpha_T \cdot \left(\frac{m_{ap} g \cdot L_a}{1000 \cdot G_{d0,eff} \cdot B} \right)^{0.5}$$

QUOZIENTE DI RAYLEIGH

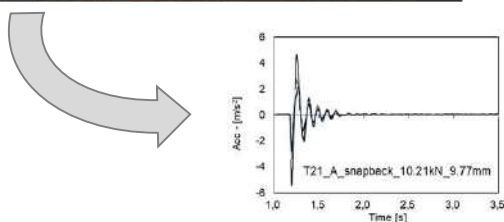
$$S_d(T_{ap}) = \alpha \cdot S \cdot \left(\frac{3 \cdot \left(1 + \left(\frac{Z}{2005} \right)^2 \right)}{1 + \left(1 - \frac{T_{ap}}{T_1} \right)^2} - 0.5 \right)$$

$$S_d(T_{ap}) = f(T_1, \dots) \Rightarrow \text{prEN 1998-1-2:2022 (E)}$$



Periodo naturale del solaio

Periodo di oscillazione dei solai | Test di snap-back



Test n°	DATI SPERIMENTALI		VALORI ANALITICI	
	T [s]	Disp. [mm]	T [s]	Err. [%]
T19_A	0.34	120,97	0.33	3%
T23_A	0.34	101,55	0.33	1%
T36_B	0.10	10,09	0.12	19%
T44_C	0.17	35,83	0.16	3%

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Criteri di verifica | Verifica di resistenza

$$v_{Ed} \leq v_{Rd}$$

Forza di taglio unitaria sul
bordo del solaio

$$v_{Ed} = \frac{F_a}{2B}$$

Table 10.4 Acceptance criteria in terms of unit shear strength v_R [kN/m]**

	No retrofit	Type of retrofit			
		(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 value reported in the table.
** Given values can be considered as mean reference values.



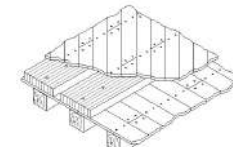
(a) Tavolato aggiuntivo
(tavole diagonali)



(b) Rivestimento con
pannelli a "base-legno"



(e) "Soletta" con pannelli
CLT o LVL



(f) "Tavoloni" e tavolato
aggiuntivo

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



Criteri di verifica | Verifica di deformazione

$$d_r = \frac{2 \cdot \Delta_d}{L_a} \cdot 100 \leq d_{r,max}$$

Domanda di
spostamento

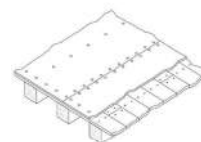
$$\Delta_d = 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \mu_d \cdot S_d(T_{ap}) \cdot \frac{L_a \cdot m_{ap}}{B \cdot G_{d,eff}}$$

Table 10.4 Acceptance criteria in terms of drift ratios $d_{r,max}$ [%]

	No retrofit	Type of retrofit			
		(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%



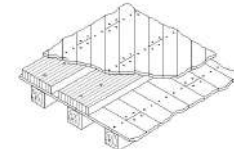
(a) Tavolato aggiuntivo
(tavole diagonali)



(b) Rivestimento con
pannelli a "base-legno"



(e) "Soletta" con pannelli
CLT o LVL



(f) "Tavoloni" e tavolato
aggiuntivo

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE SISMICA DEGLI ORIZZONTAMENTI LIGNEI

APPLICAZIONE DELLE PROCEDURE A CASI STUDIO



DIREZIONE NAZIONALE
PROTEZIONE CIVILE



Contributi ReLUIs per una revisione
della normativa tecnica italiana
Esiti delle attività svolte nell'ambito dei progetti
DPC-ReLUIs

a cura di:
Raffaello Landolfi
Matteo Antonietti Andre
Matteo Diore



Progetto Triennale DPC-ReLUIs 2022-2024
Contributi ReLUIs per una revisione della normativa tecnica italiana

WP10: Contributi normativi - Strutture di legno

Coordinatore WP10: Maurizio Piazza

Team 4: Valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti

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

Allegato 3 Cap.4

- Selezione di edifici con diverse caratteristiche;
- Applicazione delle procedure previste dalle Norme di riferimento;
- Diverse ipotesi di comportamento;
- Effetti del rinforzo sulle verifiche di sicurezza



d/

Link: <https://www.reluis.it/divulgazione/pubblicazioni/>

Unità di Ricerca: UNIFE
Responsabile UNIFE: Ivan Giongo
Componenti UNIFE: Ivan Giongo, Maurizio Piazza, Rino Pizzi, Sofia Geronzi, Anna Lanzetta

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



UNA NUOVA OPPORTUNITÀ: RINFORZI A «BASE-LEGNO»



WP5 | INTERVENTI DI RAPIDA ESECUZIONE A BASSO IMPATTO ED INTEGRATI

Coordinatori Francesca da Porto, Andrea Prota

Task 5.1 – Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti



UR - UNITN
Responsabile: I. Giongo



UR - UNIBG
Responsabile: A. Marini



UR - UNICT
Responsabile: I. Calò



UR – UNIPD-b
Responsabile: M.R. Valluzzi



UR - UNIPV
Responsabile: F. Graziotti

Sistemi di rinforzo in legno applicati ad edifici esistenti in muratura e c.a.

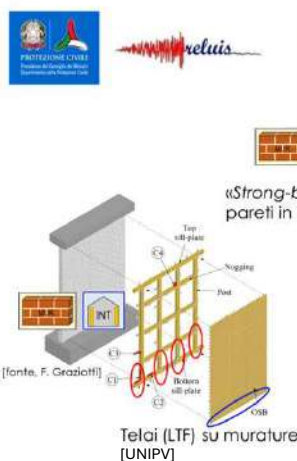
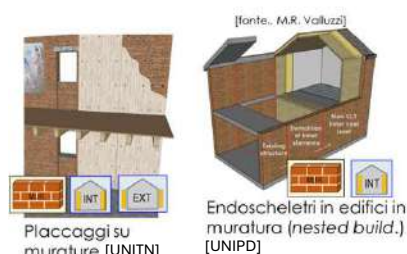


Joint Research Centre (Ispra)
Responsabile: D. Bournas

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



UNA NUOVA OPPORTUNITÀ: RINFORZI A «BASE-LEGNO»



UNA NUOVA OPPORTUNITÀ



Progetto DPC-ReLUIS 2024-2026

Criteri e soluzioni per la progettazione

	Indice
d 3. Temi emergenti dall'applicazione ai casi studio	21
Raff 3.1. Interventi locali su nodi in c.a. e rinforzo delle tamponature	21
3.1.1. Ambiti di applicabilità	24
3.1.2. Vantaggi e svantaggi	25
3.2. Interventi locali sui collegamenti e rinforzo delle murature	26
3.2.1. Interventi sui collegamenti: applicabilità, vantaggi e svantaggi	29
3.2.2. Interventi su pareti in muratura: applicabilità, vantaggi e svantaggi	32
3.3. Esoscheletri in acciaio	37
3.3.1. Ambiti di applicabilità	39
3.3.2. Vantaggi e svantaggi	41
3.4. Criticità e interventi sui solai	42
3.4.1. Diaframmi di piano negli edifici in c.a.	44
3.4.2. Diaframmi di piano negli edifici storici in muratura	49
<u>3.5. Interventi con sistemi in legno</u>	56
3.5.1. Ambiti di applicabilità	62
3.5.2. Vantaggi e svantaggi	64

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI IN MURATURA ATTRAVERSO L'USO DI COSTOLATURE IN LEGNO

Rinforzo del comportamento fuori-piano



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

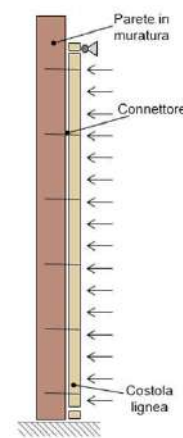
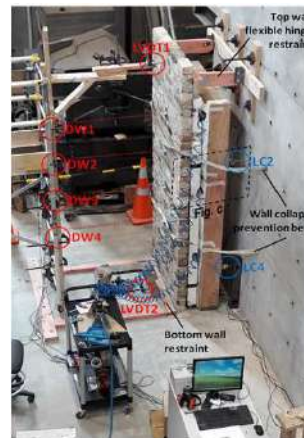
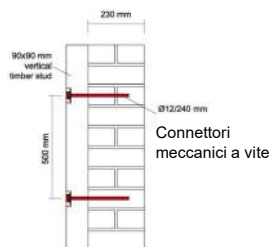


COSTOLATURE LIGNEE «STRONG-BACKS»



THE UNIVERSITY
OF AUCKLAND
NEW ZEALAND
Te Whare Wānanga o Tāmaki Makaurau

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO
Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

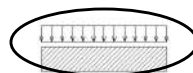


COSTOLATURE LIGNEE «STRONG-BACKS»

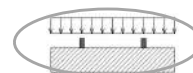
5 CAMPIONI



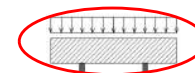
3 CONDIZIONI TESTATE



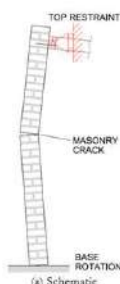
Campione non rinforzato



“Strong-backs” sul lato compresso



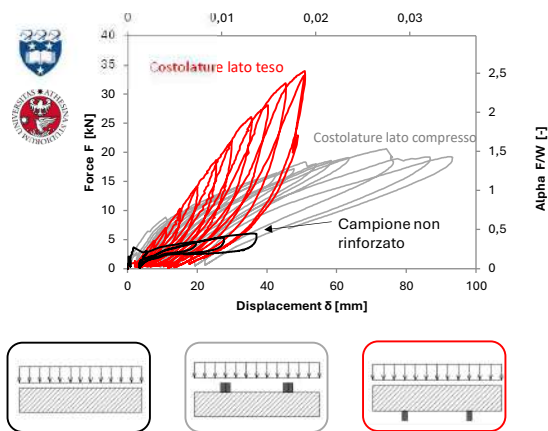
“Strong-backs” sul lato teso



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



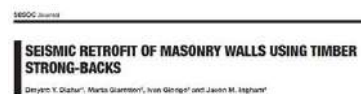
COSTOLATURE LIGNEE «STRONG-BACKS» | CONFRONTO RISULTATI



ID muro	Forza orizzontale	Alpha	Drift δ/h^{**} (%)	Incremento capacità (%) ***
W1.URM			0.15	-
W1.C			2.78	254
W2.URM			1.37	-
W2.C			2.78	242
W2.T			1.89	463
W3.URM			1.07	-
W3.C			2.89	179
W4.URM			1.11	-
W4.C			1.70	501
W5.URM			1.40	-
W5.C			3.04	315
W5.T			2.81	1008

Note: **h = quota vincolo (2700 mm per tutti i campioni); *** incremento rispetto al campione non rinf. (W#.URM).

Disponibili metodi di calcolo/progetto differenti



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI IN MURATURA TRAMITE «PLACCAGGI» CON PANNELLI LIGNEI

Rinforzo del comportamento nel-piano e fuori-piano



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



RINFORZO DI MURATURE MEDIANTE PANNELLI X-LAM



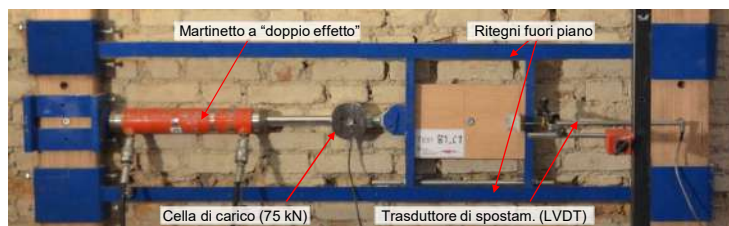
- ✓ Intervento reversibile
- ✓ Lavorazioni a secco
- ✓ Aumento di massa contenuto
- ✓ Miglioramento efficienza energetica
- ✓ Mantenimento della facciata esterna
- ✓ Durabilità
- ✓ Velocità di esecuzione

- ✗ Interruzione d'uso (limitato)
- ✗ Riduzione del volume interno
- ✗ Impossibilità di realizzare rinforzi di parete continui

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PROVE SPERIMENTALI (IN-SITU): CONNESSIONI A SECCO



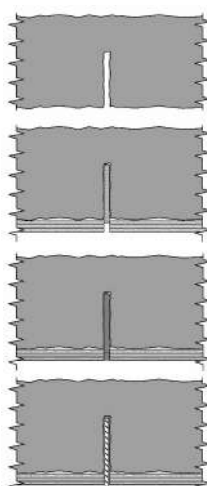
54 test



PROVE SPERIMENTALI (IN-SITU): CONNESSIONI «BAGNATE»



2 DIAMETRI: $\phi 14\text{mm}$; $\phi 20\text{mm}$

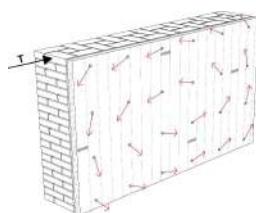


TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI IN MURATURA TRAMITE «PLACCAGGI» CON PANNELLI LIGNEI

Test sperimentali *in situ* su pareti rinforzate



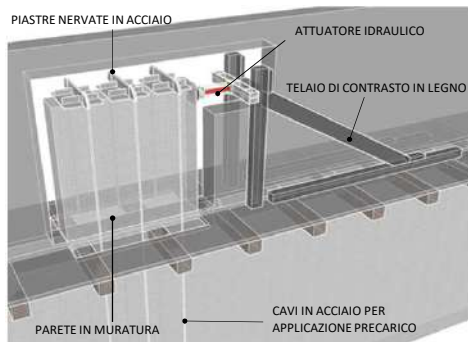
«Grande Albergo Terme» (Terme di Comano, Stenico - TN)



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PROVE IN-SITU SU PARETI RINFORZATE CON PANNELLI CLT



Pressione verticale necessaria per impegnare la resistenza a taglio della parete

Incrementi di carico fino a:

$$T_{cavi} \approx 23 \text{ kN}$$

$$\sigma_0 \approx 0.22 \text{ MPa}$$



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PROVE IN-SITU SU PARETI RINFORZATE CON PANNELLI CLT

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

Structures and Buildings ice Publishing

On-site testing of masonry shear walls strengthened with timber panels

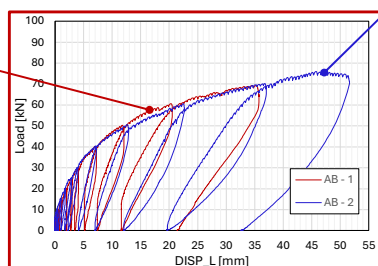
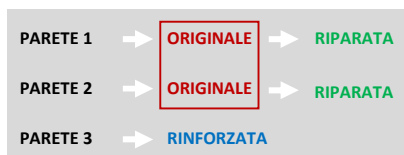
Ivan Giongo, PhD
Assistant Professor, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Trento, Italy
ORCID: 0000-0001-7018-1000 (corresponding author)
ivan.giongo@unitn.it

Enrico Rizzo, PhD
PhD Fellow, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Trento, Italy

Corrado Riccardone, PhD
PhD Candidate, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Trento, Italy
Riccardo Piazza, PhD
PhD Fellow, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Trento, Italy ORCID: 0000-0001-8279-4803



PROVE IN-SITU SU PARETI RINFORZATE CON PANNELLI CLT



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PROVE IN-SITU SU PARETI RINFORZATE CON PANNELLI CLT



Pannelli CLT (3 strati)

Tipo di connettore		A	B
Lunghezza	[mm]	180	230
Lunghezza filetto	[mm]	100	160
Diametro filetto	[mm]	12.0	10.0
Diametro foro	[mm]	10	8
Resistenza a trazione**	[kN]	25	58

** Valori caratteristici

≈ 5 connettori / m²



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



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
Diametro filetto	[mm]	12.0	10.0
Diametro foro	[mm]	10	8
Resistenza a trazione**	[kN]	25	58

** Valori caratteristici

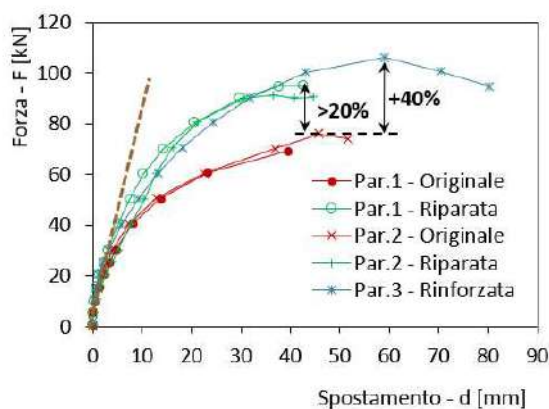


≈ 8 connettori / m²

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PROVE IN-SITU SU PARETI RINFORZATE CON PANNELLI CLT



PARETE	F _{max} [kN]	K _{s UR} [kN/mm]	dr _{max} * [%]	F _{max HD} [kN]	K _{HD} [kN/mm]
Par.1 - Orig.	69.3	6.62		--	--
Par.1 - Rip.	95.0	6.53		39.9	4.75
Par.2 - Orig.	75.9	5.94		--	--
Par.2 - Rip.	91.1	4.50	2.5	32.4	3.54
Par.3 - Rinf.	106.0	5.28	4.5	53.0	2.63

* I valori fanno riferimento alla deformazione max. raggiunta durante i test.

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP





www.reluis.it

Caso studio 9: edificio ad uso pubblico in muratura in provincia di Trento

https://www.reluis.it/000/DPG-84/L123-2022-2024/TSPP/03_GAT_Corso_3EUR.pdf



TIPOLOGIA	
Deduzione d'uso	Struttura esistente
Struttura esistente	Muratura
Epoca di costruzione	fine XIX sec.
Nuovo di piano	5 floors total
Area in piano	718 mq a piano
Superficie calpestabile	3291 mq
Regole in piano	No
Reg. in elevazione	No
Classe d'uso	II

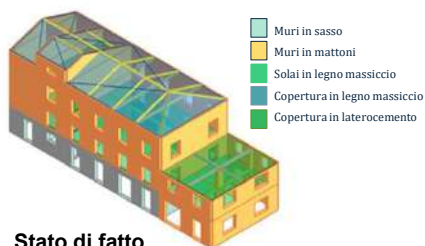


* Il piano livello fino a quota zero, con visibile allungamento, è costituito dalla sovrapposizione parziale del piano terra sulla zona a nord (sovrapposizione edilizia a quota zero).

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



APPLICAZIONE CASO STUDIO



Stato di fatto

Zammattio, G., Cassol, D., & Giongo, I. (2025). Timber-Based Retrofit of a Urm Historic Case-Study Building in a High Seismicity Region. In Proceedings of 7th International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures (pp. 305-315). University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology.



Stato di progetto

Nuova destinazione d'uso: ristorante / sala eventi



Muri in sasso
Muri in mattoni
Nuovi solai GL24h
Nuovo tetto

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



APPLICAZIONE CASO STUDIO

Rinforzo pareti con placcaggi in CLT

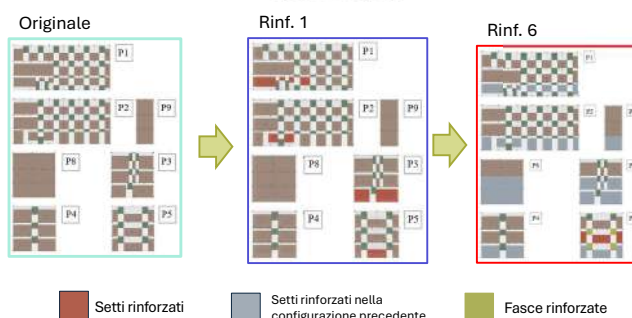
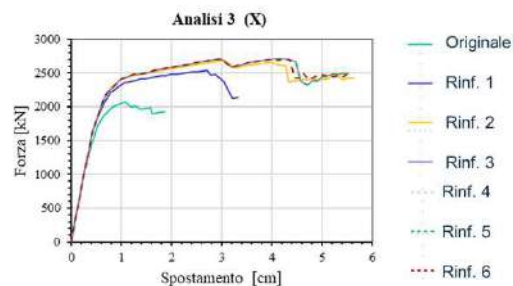
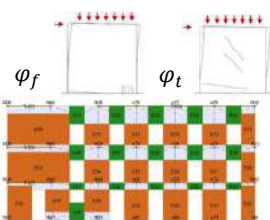
Incremento proprietà meccaniche muratura
attraverso dei coefficienti migliorativi stimati in
modo analitico

Analisi pushover

STADATA 3muri

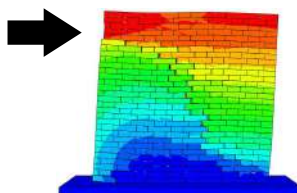


Stato di progetto



MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI IN MURATURA TRAMITE «PLACCAGGI» CON PANNELLI LIGNEI

Aggiornamento degli approcci di modellazione e sviluppo di metodi di calcolo

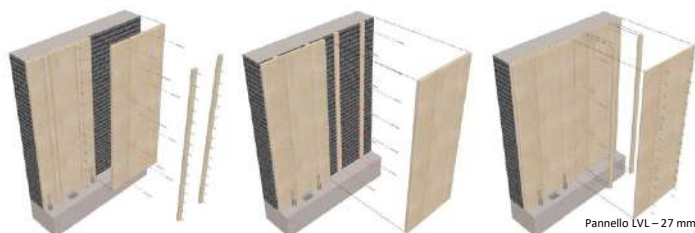
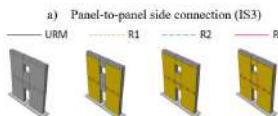
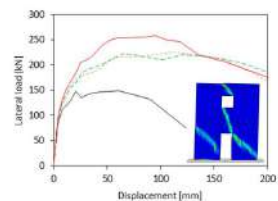
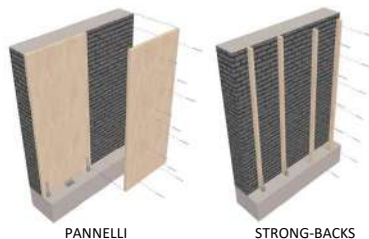


STUDIATE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI RINFORZO A «BASE-LEGNO»

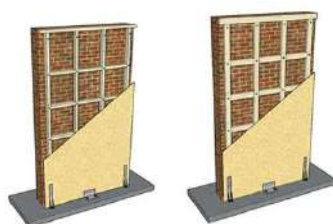
CONFERENZA 2023
Compositional Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering
M. Papadimitriou, M. Fragoulidis (eds.)
Research Notes on Earthquake Engineering, 2023, 10, 1-10

NUMERICAL STUDY ON SEISMIC RETROFIT OF URM WALLS USING TIMBER PANELS
B. Casoli¹, I. Giongo², and M. Piazza³

Matteo Bonetti, Davide Casoli, Alessandro Paoletti and Ivan Giongo

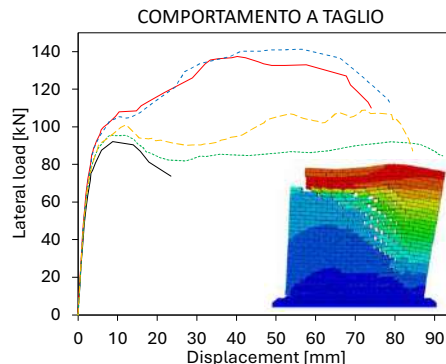
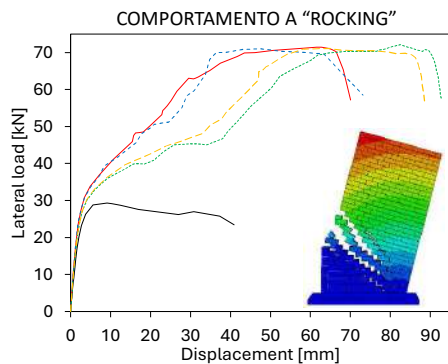


SOLUZIONI IBRIDE



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

STUDIATE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI RINFORZO A «BASE-LEGNO»



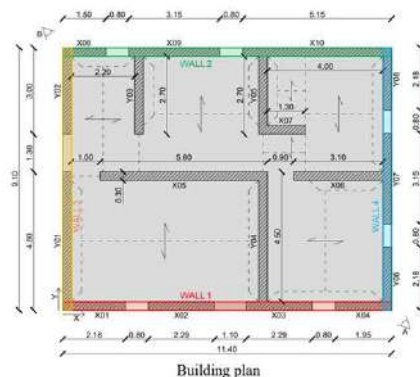
- ✓ Aumento della capacità portante fino al 130%
- ✓ Aumento della capacità di deformazione fino al 220%



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

STUDIATE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI RINFORZO A «BASE-LEGNO»

«CAPPOTTO LIGNEO»



ANALISI NON-LINEARE STATICA



Studio delle singole pareti

Nessun vincolo tra solaio e parete



Comportamento dell'edificio

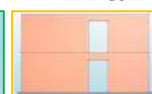
Rinforzo applicato alle sole pareti perimetrali



PARETE 1



PARETE 2



PARETE 3



PARETE 4

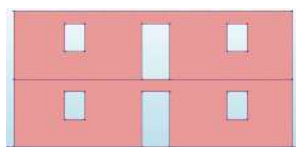
Cassol D., Nagliati E., Giongo I., "Seismic retrofit of a URM building with timber-based coating: a numeric study", SAHC International Conference on Structural Assessment of Historical Constructions Kyoto 12-15 September 2023 DOI: 10.1007/978-3-031-39603-8_99

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

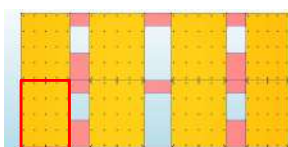


STUDIATE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI RINFORZO A «BASE-LEGNO»

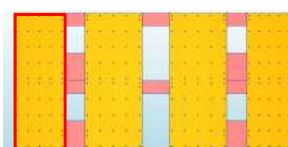
PARETE 1 | CONFIGURAZIONI DI RINFORZO



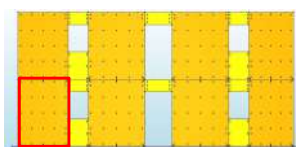
Parete in muratura non rinforzata (URM)



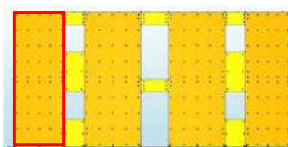
Rinforzo applicato ai soli maschi (RP1)



Rinforzo applicato ai soli maschi,
pannelli continui (RP2)



Rinforzo applicato a maschi e fasce (RS1)



Rinforzo applicato a maschi e fasce, pannelli
"maschio" continui (RS2)



Rinforzo applicato a maschi e fasce,
"pareti monolitiche" (RS3)



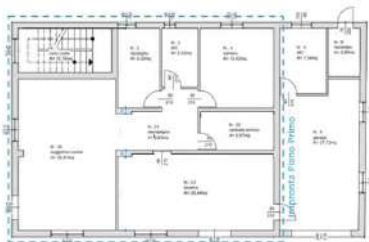
Configurazioni di rinforzo determinate
tenendo in considerazione le dimensioni
massime trasportabili



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



CASO STUDIO | ADEGUAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE



Pianta Piano Terra



Adeguamento sismico di edifici esistenti in muratura con pannelli XLAM: un caso studio

ingenio

Gianni Schiro, PhD, Ingegnere Strutturista - REAVIS Srl; Ivan Giongo, Professore Associato - Università degli Studi di Trento

Ringraziamento a Ing. G. Schiro

ALCUNI DATI

- ✓ Due piani (pianta 17.6 m x 10.7 m)
- ✓ Muratura piano terra: blocchi forati di calcestruzzo (spessore 30 cm)
- ✓ Muratura primo piano: laterizio semipieno (spessore 33 cm)
- ✓ Secondo solaio fuori terra: latero-cemento senza cappa collaborante, poggia su tramezze di spessore 10 cm
- ✓ Copertura tavelloni in laterizio poggianti su frenelli in laterizio forato

REQUISITI/VINCOLI PROGETTUALI

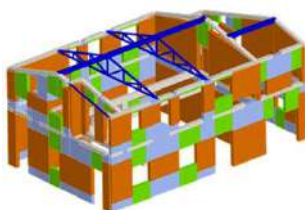
- ✓ Ampliamento volume abitativo a primo piano (adeguamento)
- ✓ Intervento di rinforzo applicabile solo dall'esterno (piano terra abitato)

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

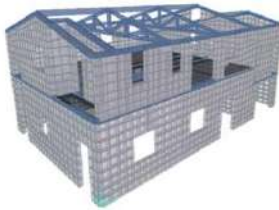


CASO STUDIO | ADEGUAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE

STATO DI FATTO



MODELLO A MACROELEMENTI



MODELLO A SHELL

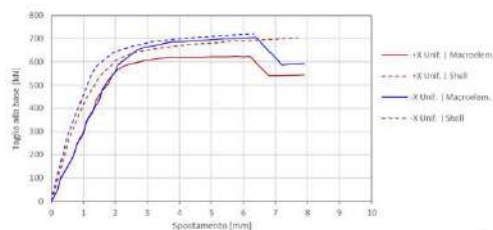
MODELLO A "MACROELEMENTI"

Modo	T [s]	Mx [%]	ΣMx [%]	My [%]	ΣMy [%]
1*	0.22	14.51	14.51	55.31	55.31
2*	0.18	72.08	86.59	23.44	78.75
3*	0.14	9.30	95.89	16.24	94.99

MODELLO A SHELL

Modo	T [s]	Mx [%]	ΣMx [%]	My [%]	ΣMy [%]
1*	0.24	16.00	16.00	57.23	57.23
2*	0.21	74.15	90.15	17.52	74.75
5*	0.14	1.75	92.15	14.59	91.82

Analisi Locali:	- Stato limite di salvaguardia della vita (SLV): $\zeta_{E,SLV} = 0.95$ - Stato limite di danno (SLD): $\zeta_{E,SLD} = 1.30$
Analisi Globali:	- Stato limite di salvaguardia della vita (SLV): $\zeta_{E,SLV} = 0.455$ - Stato limite di danno (SLD): $\zeta_{E,SLD} = 0.652$



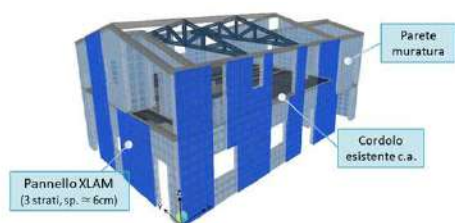
TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



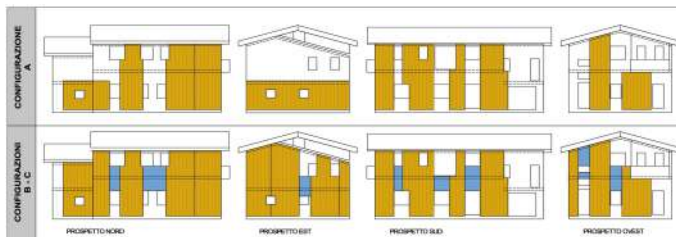
CASO STUDIO | ADEGUAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE

VALUTAZIONI PRELIMINARI

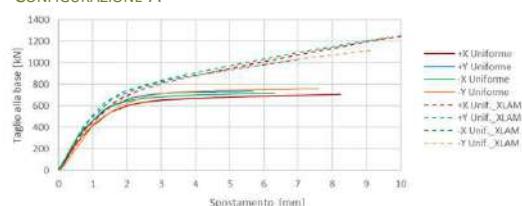
- ✓ sistemi "maschio-fascia" ibridi (accoppiamento dei "maschi" in XLAM garantito dal cordolo in c.a. e dalle fasce murarie)
- ✓ pannelli XLAM «corti» ma continui da terra fino al cordolo (4 m)
- ✓ collegamento XLAM-edificio a livello del cordolo (barre in acciaio)
- ✓ ancoraggio a terra con piastre metalliche saldate/bullonate al cordolo di base delle pareti e fissate al pannello ligneo tramite viti a tutto-filetto



DIVERSE CONFIGURAZIONI DI RINFORZO



CONFIGURAZIONE A



Incremento > 70% del taglio resistente alla base

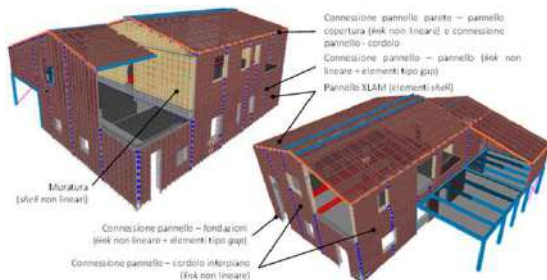
TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



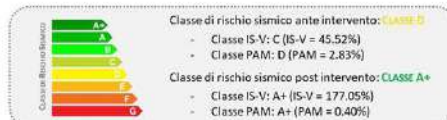
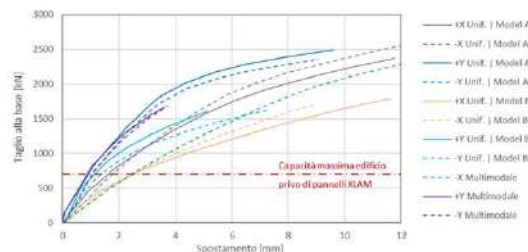
CASO STUDIO | ADEGUAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE

SOLUZIONE FINALE

- ✓ Modifiche architettoniche → revisione sostanziale del progetto
- ✓ Nuova terrazza parzialmente coperta in adiacenza (struttura intelaiata in acciaio «tamponata» con pannelli XLAM, soletta in lamiera grecata e getto collaborante)
- ✓ Nuovi modelli numerici
- ✓ Collegamenti in campo elastico



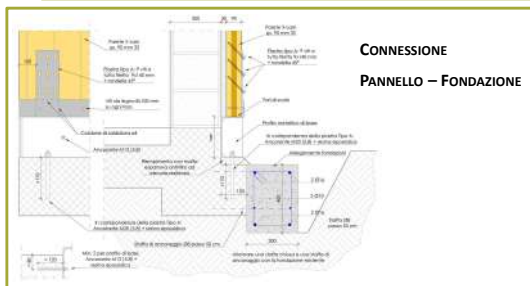
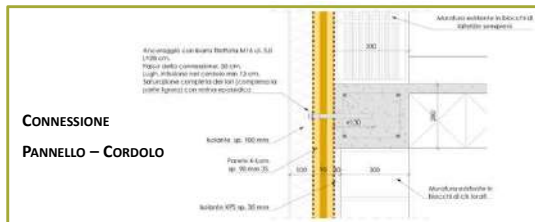
SCHEMA DI TAGLIO DEI PANNELLI



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



CASO STUDIO | ADEGUAMENTO SISMICO DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE



XLAM DOLOMITI
The wood building r-evolution



Immagini dell'intervento in fase di realizzazione (cortesia di Ing. Artuso)

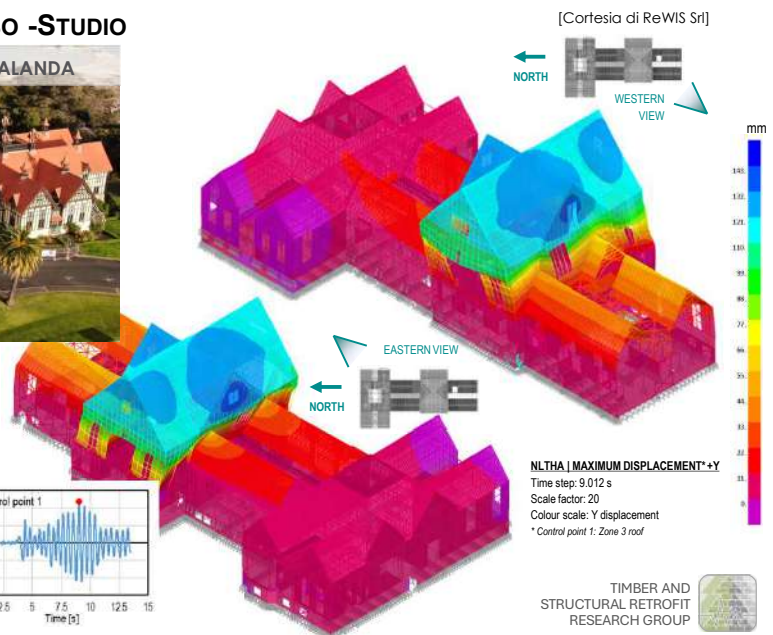
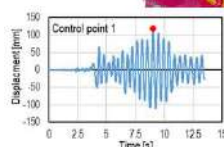
TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PLACCAGGI CON PANNELLATURE | CASO -STUDIO



- Edificato nel 1908
- Bene di interesse storico – Categoria 1: siti di particolare o straordinaria importanza storica o culturale
- Attualmente chiuso a seguito del terremoto di Kaikura del 2016 (M7.8)
- Edificio misto con porzioni in muratura e porzioni a telaio con tamponamenti "Old English Style"



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

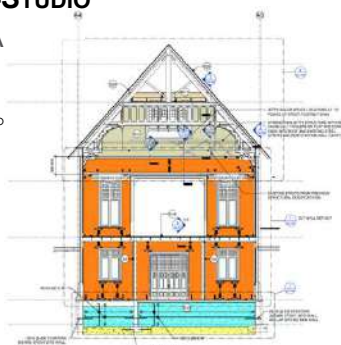


PLACCAGGI CON PANNELLATURE | CASO -STUDIO

ROTORUA MUSEUM – ROTORUA, NUOVA ZEALANDA



[Cortesia di ReWIS Srl]



[Cortesia di Dizhur Consulting]



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PLACCAGGI CON PANNELLATURE | CASO -STUDIO

ROTORUA MUSEUM – ROTORUA, NUOVA ZEALANDA



Irrigidimento della falda con pannelli in compensato

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PLACCAGGI CON PANNELLATURE | CASO -STUDIO

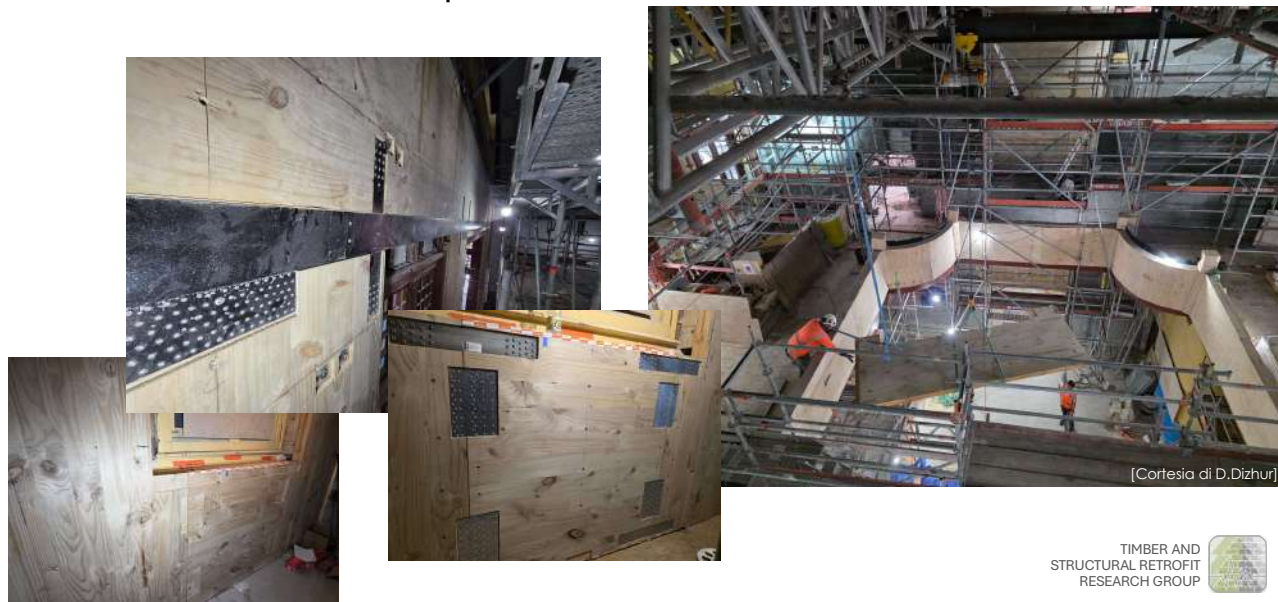


[Cortesia di D.Dizhur]

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PLACCAGGI CON PANNELLATURE | CASO -STUDIO

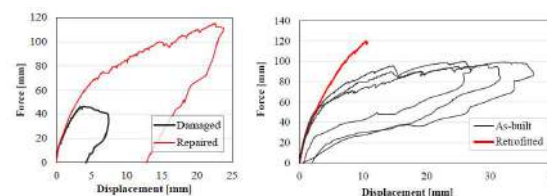
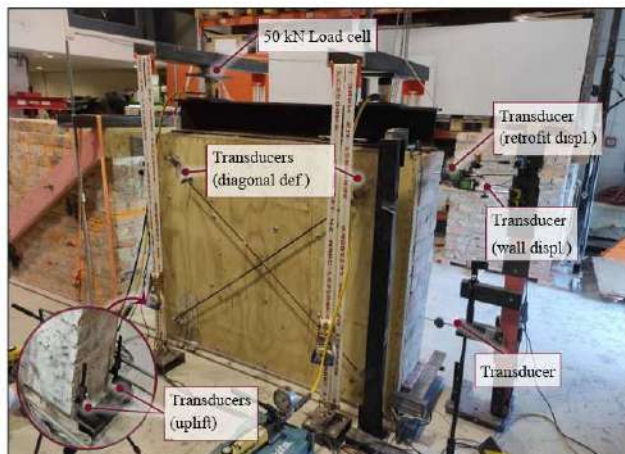


[Cortesia di D.Dizhur]

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PLACCAGGI CON PANNELLATURE | PANNELLI IN COMPENSATO

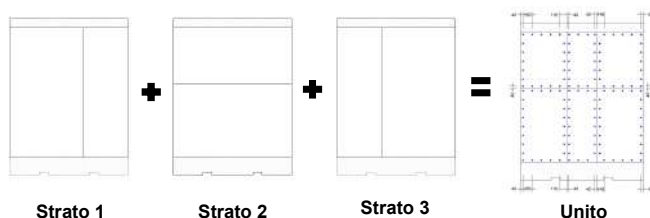


Giongo, I., Cassol, D., Gelvez, F., Dizhur, D., & Hudson, R. (2025). Full-scale experimental validation of the use of plywood panels for the in-plane strengthening of URM walls. In New Zealand Society for Earthquake Engineering 2025. New Zealand Society for Earthquake Engineering.

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



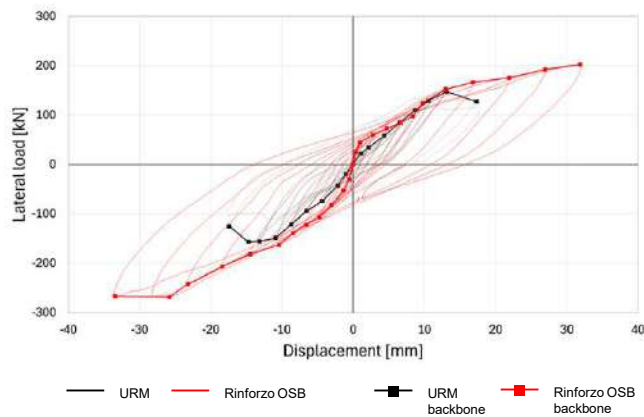
PLACCAGGI CON PANNELLATURE | PANNELLI OSB



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



PLACCAGGI CON PANNELLATURE | PANNELLI OSB



- Campione rinforzato → connettori a secco
- Incremento di capacità medio **+53% rispetto URM**
- Incremento di deformazione ultima medio **+120% rispetto URM**



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



RINFORZO CON SOLUZIONI A GRATICCIO



Inizio prova



Fine prova

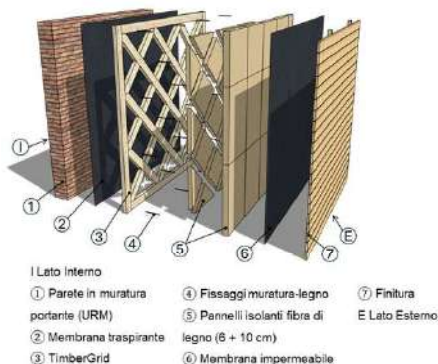
- Campione rinforzato
Incremento di capacità
medio **+34%**
- Incremento di
deformazione ultima
medio **+53%**

Zammattio, G., Riccadonna, D., Cassol, D., Danovska, M., Prada, A., Piazza, M., & Giongo, I. (2026). TimberGrid: a novel integrated timber-based solution for the seismic and energy retrofitting of masonry existing buildings. *Procedia Structural Integrity*, 78, 1253-1260.



RINFORZO CON SOLUZIONI A GRATICCIO

Test in camera climatica



Valori di trasmittanza parete

Configurazione studiata	Test	Norma EN ISO 6946:2018
URM	1.934	2.073
URM + CLT (6 cm)	0.683	1.018
URM + CLT + insulation (15 cm)	0.166	0.203
URM + TimberGrid + insulation (10cm)	0.383	0.298

Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani

return

Progetto PNRR | SAFER REBUILT (Coordinatore Angelo Masi, UNIBAS)

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI INTELAIATI IN CALCESTRUZZO ATTRAVERSO L'USO DI ELEMENTI IN LEGNO



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



COSTOLATURE LIGNEE SU TAMPONAMENTI | PROGETTO AV-X



- ☐ Aumento della capacità portante fuori piano
- ☐ Evitare qualsiasi crollo e caduta di detriti

SOLUZIONE DI RINFORZO APPLICABILE DALL'ESTERNO DELL'EDIFICIO



RINFORZO ACCOPPIATO CON PARETE VENTILATA



INTERVENTO INTEGRATO



MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI TERMO-FISICHE E DELL'ASPETTO ESTETICO



**XLAM
DOLOMITI**
The wood building revolution

AVANTGARDE
7-evolution technical wall

Seismic out-of-plane repair and strengthening of masonry infill walls using timber strong-backs

Davide Cassol*, Jason Ingham*, Ivan Giongo*

ESEMPIO DI COLLASSO DEI TAMPONAMENTI



[Archivio Reluis 2016]

DETTAGLI DEL SETUP DI PROVA



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



COSTOLATURE LIGNEE SU TAMPONAMENTI | PROGETTO AV-X | CAMPAGNA SPERIMENTALE

1

Strong-backs in XLAM



2

Connettori a "secco"



3

Collegamenti "bagnati"



4

Pannelli isolanti



5

Struttura di supporto



6

Rivestimento parete ventilata



**XLAM
DOLOMITI**
The wood building revolution

AVANTGARDE
7-evolution technical wall

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



COSTOLATURE LIGNEE SU TAMPONAMENTI | PROGETTO AV-X | CAMPAGNA SPERIMENTALE

4 TIPOLOGIE DI TEST

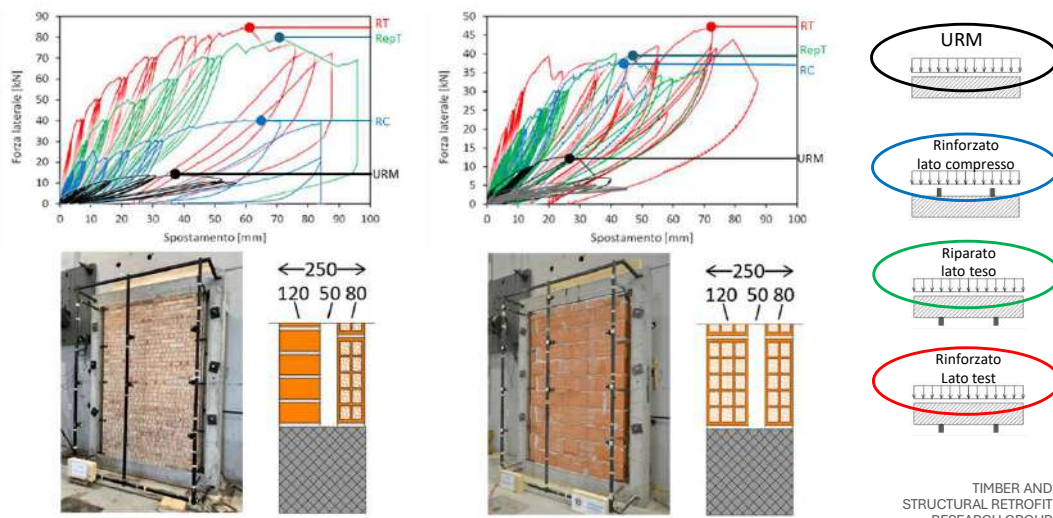


Laboratorio LPMS (UNITN)

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

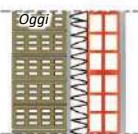
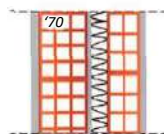
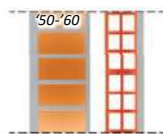
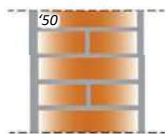
COSTOLATURE LIGNEE SU TAMPONAMENTI | PROGETTO AV-X | CAMPAGNA SPERIMENTALE

AUMENTO DELLA CAPACITÀ PORTANTE → 190% ÷ 900%



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

RUOLO DEI TAMPONAMENTI



[Verderame et al. (2012)]

- **Tipicamente non considerati** nei modelli di calcolo (no ruolo strutturale)

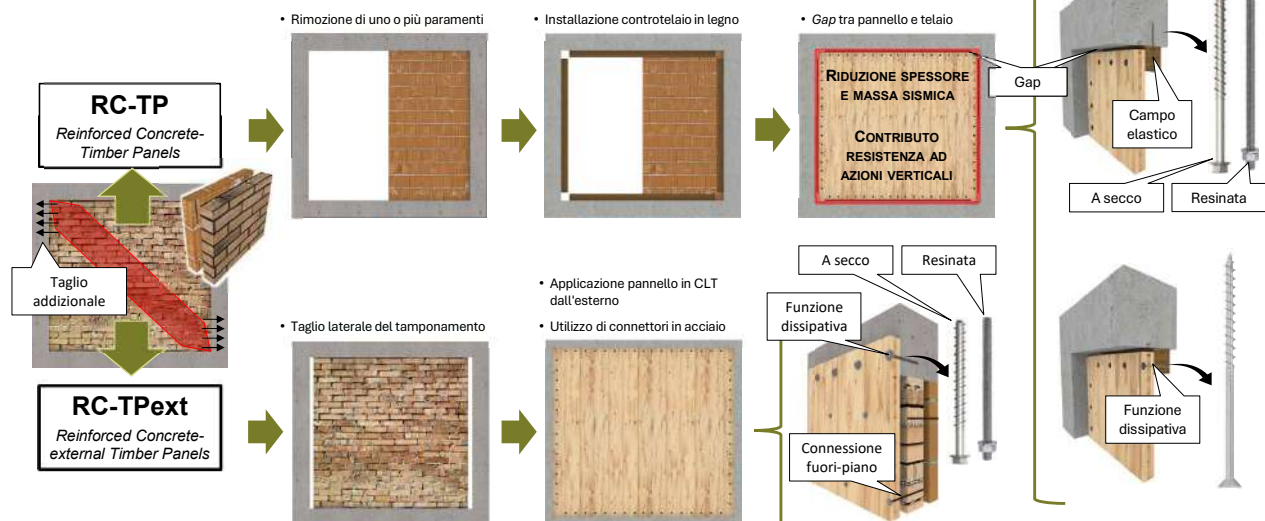


- **Influenzano la risposta** degli edifici
 - In termini di **resistenza e rigidità**
 - Modificano il **periodo fondamentale** della struttura e quindi la **domanda sismica**
 - Trasmettono **azioni taglianti aggiuntive**
 - Modificano sensibilmente il **comportamento sismico e la modalità di collasso**

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



INTERVENTO PROPOSTO



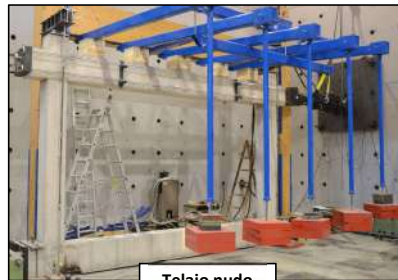
Smiroldo F., Paviani I., Giongo I., Zanon S., Albatici R., Piazza M.: An Integrated Approach to Improve Seismic and Energetic Behaviour of RC Framed Buildings Using Timber Panels. Sust. 2021
Smiroldo F., Kallioras S., Bournas D.A., Piazza M., and Giongo I.: Pannelli XLAM per il miglioramento sismico e energetico di edifici in CA esistenti. Ingenio.it, 2022
Smiroldo F., Giongo I., Piazza M.: Use of timber panels to reduce the seismic vulnerability of concrete frame structures. Engineering Structures, 2021

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



TEST SPERIMENTALI

- Quattro telai isolati monopiano a una campata
- Analisi nel piano cicliche quasi statiche
 - Telaio nudo: campo elastico
 - Altre configurazioni: fino a collasso



Telaio nudo



Tamponato in muratura



RC-TP



RC-TPext

Laboratorio LPMS (UNITN)

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



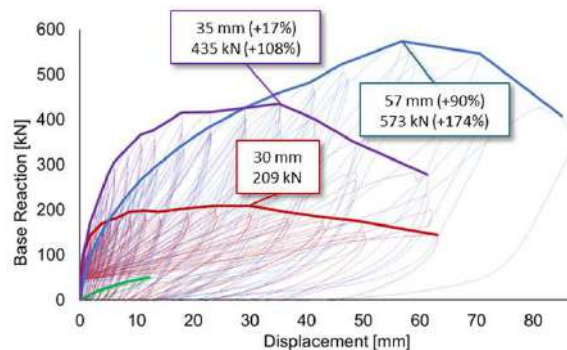
TEST SPERIMENTALI



Telaio nudo



RC-TP



Tamponato in muratura



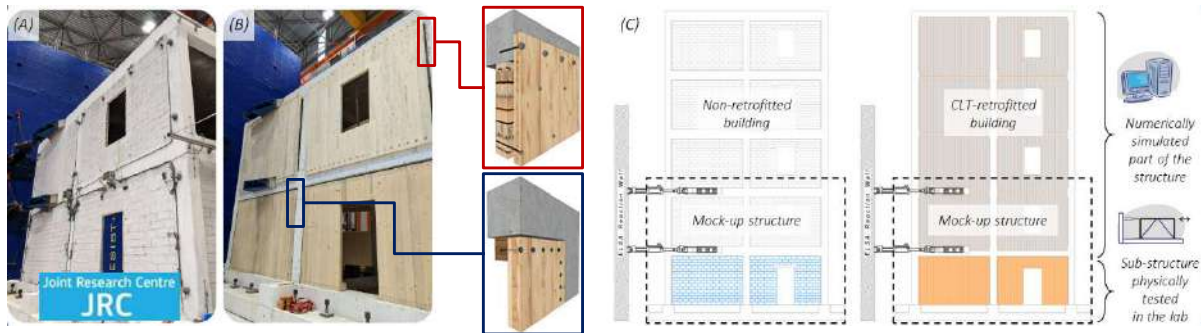
RC-TPext

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



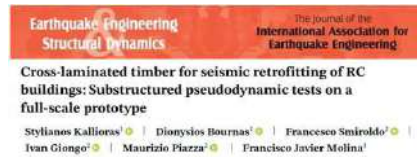
ULTERIORE VALIDAZIONE SPERIMENTALE

Variazioni della tecnica RC-TP applicate ad un edificio mock-up di due piani



Test condotti presso lo "European Laboratory for Structural Assessment (ELSA): Reaction Wall facility" (Ispra, VA)

- Prova ibrida pseudo-dinamica (edificio di 5 piani)
- Test fino ad un livello di danneggiamento moderato (1.5% drift)
- Incremento del 50% della pga



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

ULTERIORE VALIDAZIONE SPERIMENTALE

ERIES-STRONG – SUSTAINABLE TIMBER RETROFIT OF CONCRETE BUILDINGS



Partners



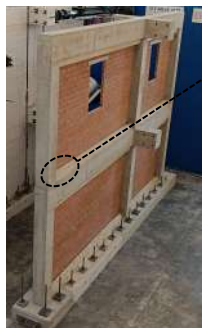
TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

ULTERIORE VALIDAZIONE SPERIMENTALE

ERIES-STRONG – ELEMENTI DI NOVITÀ

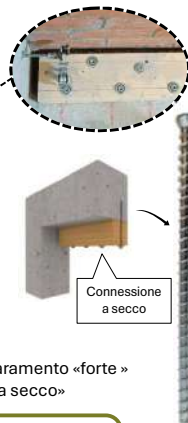


- Telaio multi-campata multi-piano
- Rapporto di forma delle maglie
- Presenza delle aperture
- Tamponamenti rappresentativi del periodo '50-'60



- Rimozione del solo paramento «forte»
- Sistema totalmente «a secco»

- ☐ No «DOWNTIME» E LIMITATO DISTURBO AGLI OCCUPANTI
- ☐ DISASSEMBLAGGIO A FINE VITA



- Connessione CLT-tamponamento
- Rivestimento non strutturale

- ☐ IMPEDISCE IL RIBALTAMENTO FUORI-PIANO DEI TAMPONAMENTI
- ☐ APPLICAZIONE «REALISTICA»



Giongo I., Graziotti F., Stathas N., Bousias S., Smirardo F., Bartolotti A., Damiani N., Angeli A., Dizhur D., "Seismic Retrofitting of RC Buildings Using Cross-Laminated Timber Panels: Insights from the ERIES-STRONG Project" in Engineering Research Infrastructures for European Synergies Proceedings of ERIES-IW2025, Switzerland: Springer, Cham, 2025, p. 255-267. - (LECTURE NOTES IN CIVIL ENGINEERING). - ISBN: 9783031988929

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



ULTERIORE VALIDAZIONE SPERIMENTALE

ERIES-STRONG – COSTRUZIONE CAMPIONI

Connessione tra pannello
CLT e tamponamento



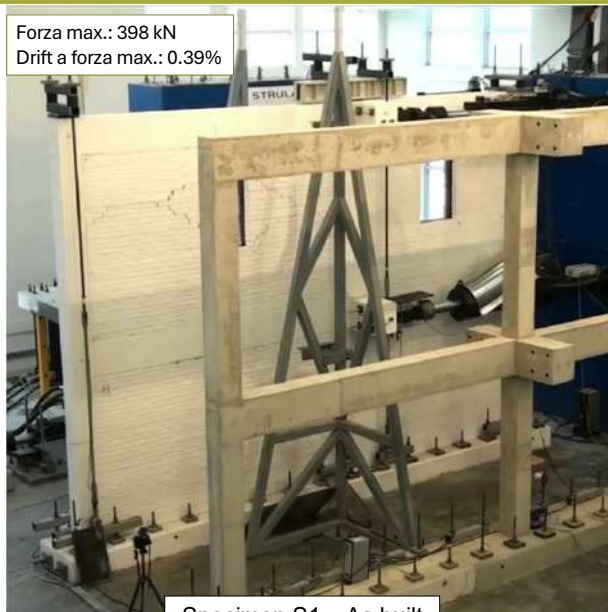
Fissaggio delle guide verticali a
supporto della parete ventilata



Installazione delle piastre di finitura

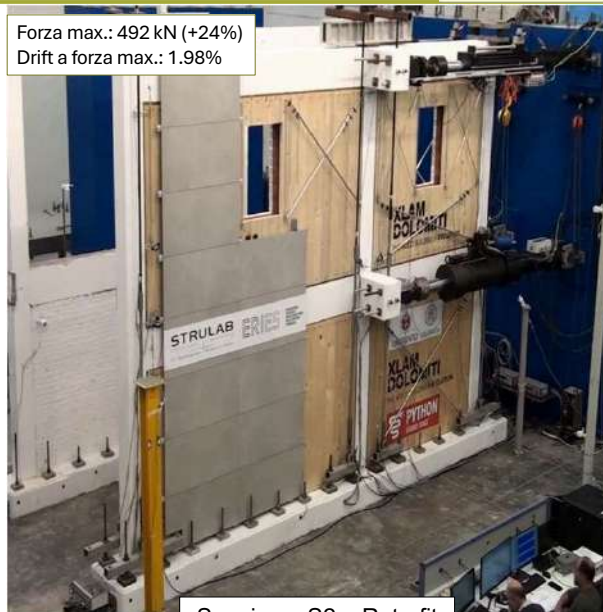


Forza max.: 398 kN
Drift a forza max.: 0.39%



Specimen S1 – As built

Forza max.: 492 kN (+24%)
Drift a forza max.: 1.98%



Specimen S2 – Retrofit



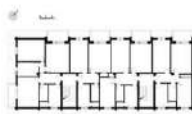
Appendice

Caso studio 4: edificio residenziale in cemento armato sito in provincia di Torino

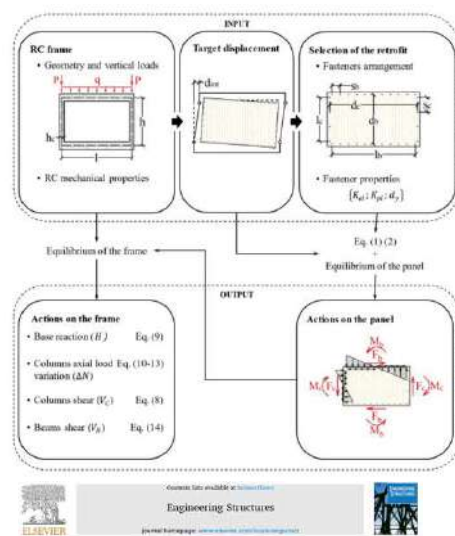
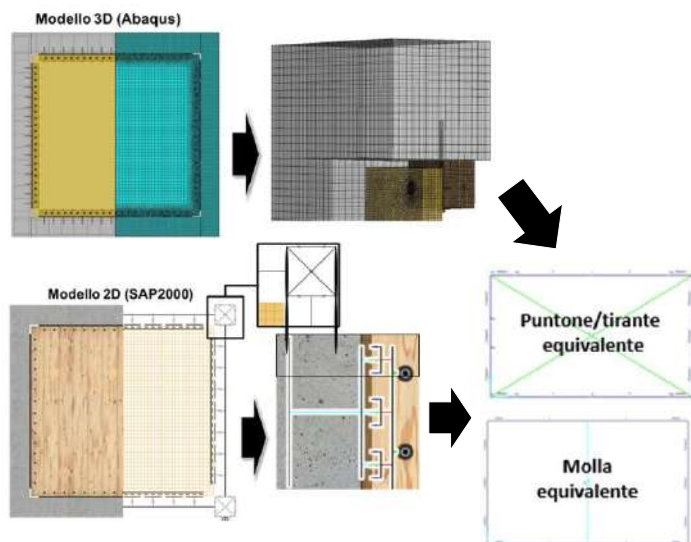
http://www.reluis.it/661-DPC-2003-2004-WFS/10_TORINO_residenze_Capit



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Residenziale e commerciale
Sistema costruttivo	Tela (testa e le due estremità) e semi (due estremità) in c.a.
Epoca di costruzione	1955
Numero di piani	5 Piano terra
Area in pianta	1800 mq a piano
Superficie copribile	9000 mq
Esigibilità in pianta	Si
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II



MODELLI NUMERICI E FORMULAZIONI ANALITICHE

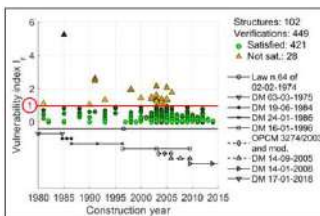


A simplified analytical approach for CLT-based seismic retrofit of existing reinforced concrete structures

Andrea Bartolotti, Francesco Scudellà, Ivan Giongo

STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

STRUTTURE IN LEGNO ESISTENTI... «RECENTI» STRUTTURE CON ELEMENTI IN LEGNO LAMELLARE DI GRANDE LUCE



ANALISI DI 101 STRUTTURE LIGNEE A GRANDE LUCE



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

STRUTTURE IN LEGNO ESISTENTI... «RECENTI» EDIFICI MULTI-PIANO



Fonte: 8° Rapporto Edilizia in Legno – Federlegno (2023)

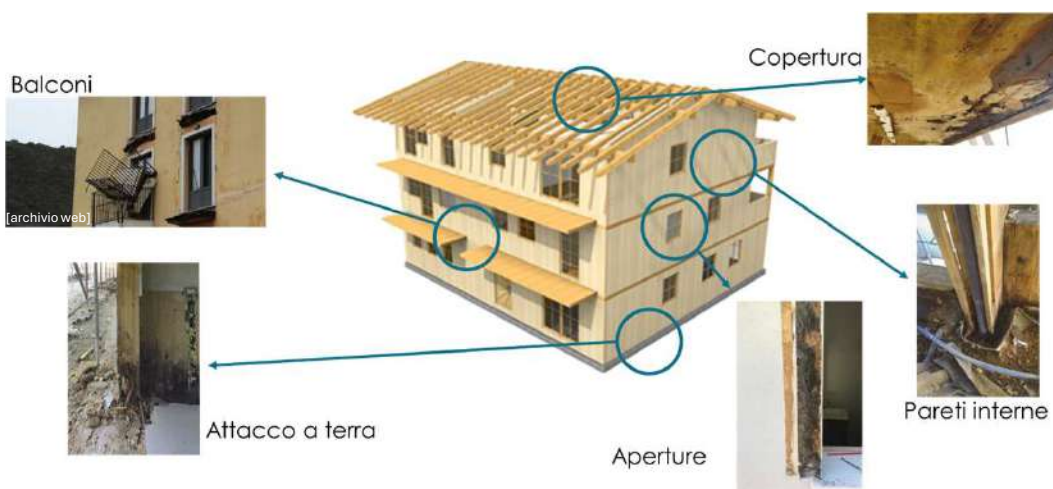
- L'Italia è al terzo posto in Europa per le costruzioni in legno.
- Circa **1 casa su 17 è costruita in legno**, raggiungendo oggi una percentuale sul complessivo dei permessi di costruire che è pari al 6,0%.
- Sono circa **3.963 le nuove abitazioni** e gli edifici non residenziali realizzati nel 2022



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



EDIFICI A STRUTTURA PORTANTE LIGNEA | LA SFIDA DELLA DURABILITÀ



TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



EDIFICI A STRUTTURA PORTANTE LIGNEA | LA SFIDA DELLA DURABILITÀ



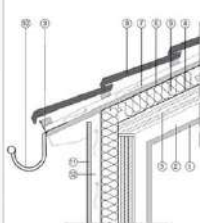
WP-12 CONTRIBUTI NORMATIVI RELATIVI A COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI DI
LENGO E COMPOSTE



Coordinatore Raffaele Landolfo, Referente DPC Daniele Spina

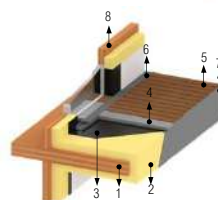
Task 12.2.3 - Durabilità

“Linee guida per il progetto della durabilità delle costruzioni in legno”



Esempio di connessione tra la parete e il tetto inclinato

1. Finitura interna
2. Stratificazione interna
3. Pannelli CLT
4. Barriera/freno al vapore
5. Isolamento
6. Guaina impermeabile
7. Camera di ventilazione
8. Finitura esterna
9. Protezione anti-uccelli
10. Grondaia
11. Rivestimento della parete esterna
12. Camera di ventilazione



Soluzioni progettuali per balconi con struttura in CLT

1. Pannello Xlam/CLT solaio
2. Isolante
3. Membrana impermeabile
4. Tappeto drenante
5. Finitura superiore
6. Canale di drenaggio
7. Scossalina metallica
8. Pannello Xlam/CLT parete



Situazioni di degrado in dettagli costruttivi relativi a: a) nodo copertura; b) nodo copertura; c) nodo balcone-parete

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!

ivan.giongo@unitn.it

Un grazie particolare a:

Andrea **Bartolotti**
Marco **Carlet**
Mirco **Capovilla**
Andrea **Gaspari**
Sofia **Gelmetti**
Sebastiano **Gianordoli**

Edoardo **Nagliati**
Simone **Piarulli**
Elena **Pettene**
Daniele **Riccadonna**
Ermes **Rizzi**
Gianni **Schiro**

Daniele **Salzani**
Denis **Sempreboni**
Francesco **Smiroldo**
Giada **Zammattio**

TIMBER AND
STRUCTURAL RETROFIT
RESEARCH GROUP

