



Sistemi di connessione innovativi per edifici ad alte prestazioni

Prof. Ing. Roberto Scotta

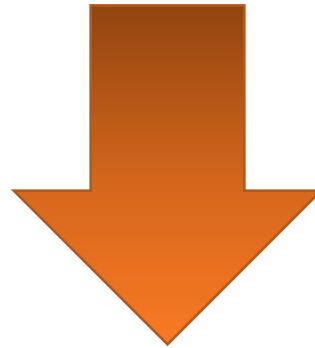
UniPD - Dipartimento di Ing. Civile Edile Ambientale

15/04/2021

Negli ultimi anni **L'INNOVAZIONE NEL MONDO DELLE CONNESSIONI** si è particolarmente concentrata su 3 aspetti:



Innovazione nei
connettori a gambo
metallico
(ambito connessioni)



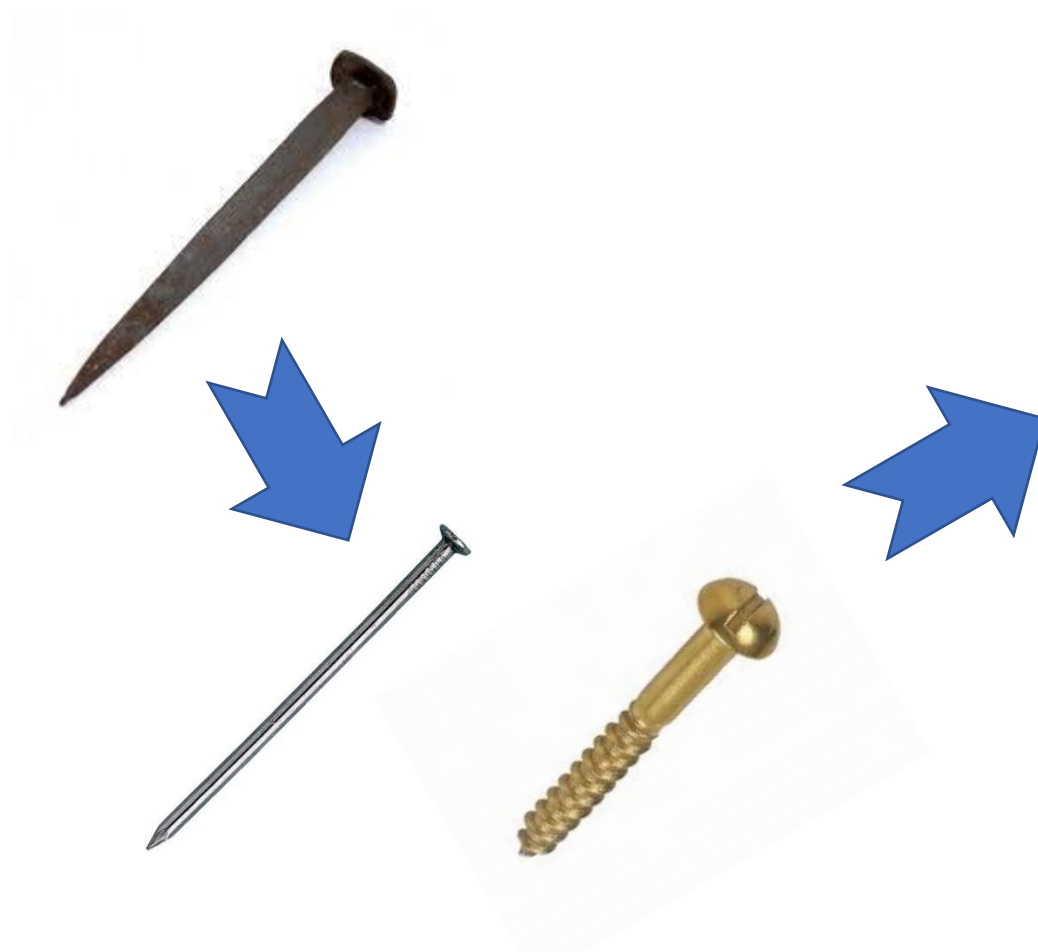
Miglioramento delle
performance sismiche
delle strutture
(ambito progettuale)



Aspetti di durabilità,
velocità e precisione di posa
(ambito di cantiere)

Innovazione dei connettori a gambo metallico

Modern screw types



«Tirafondo»
DIN 571
screws

Self-tapping
partial thread
screws

Self-tapping
Full thread
screws

Self-tapping
Double thread
screws

Sistemi costruttivi a pareti in legno più popolari

EDIFICI A TELAIO

- Sistema deformabile
- **PARTE** delle performance sismiche sono dovute alle connessioni tra pannelli e a terra



EDIFICI A PANNELLI MASSICCI (X-LAM /CLT):

- Comportamento rigido dei pannelli
- le performance sismiche sono dovute **PER LA MAGGIOR PARTE** alle connessioni



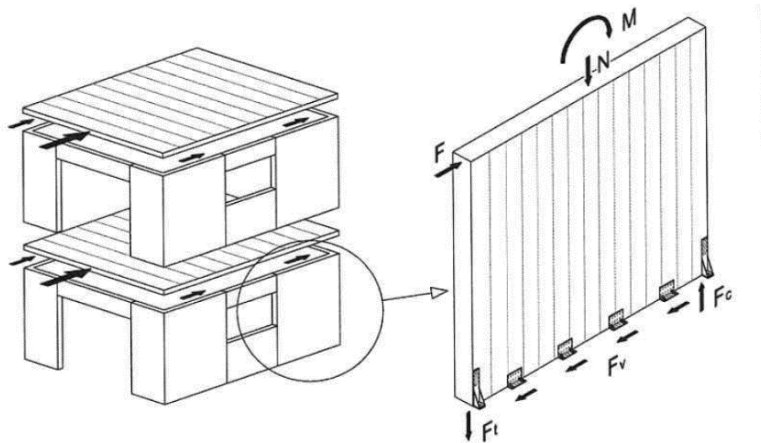
Elementi in legno + **connettori** = Sistema sismo-resistente

Metodologia costruttiva

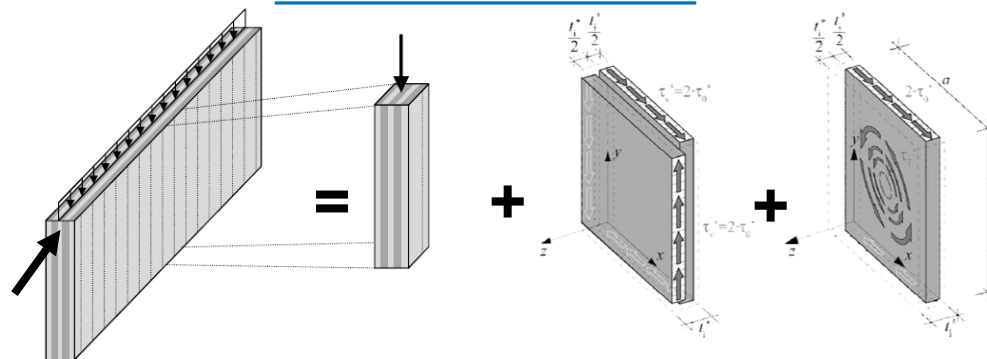
Resistenza strutturale

Comportamento sismico

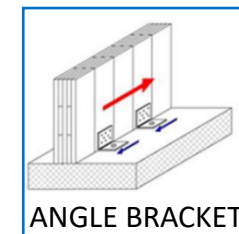
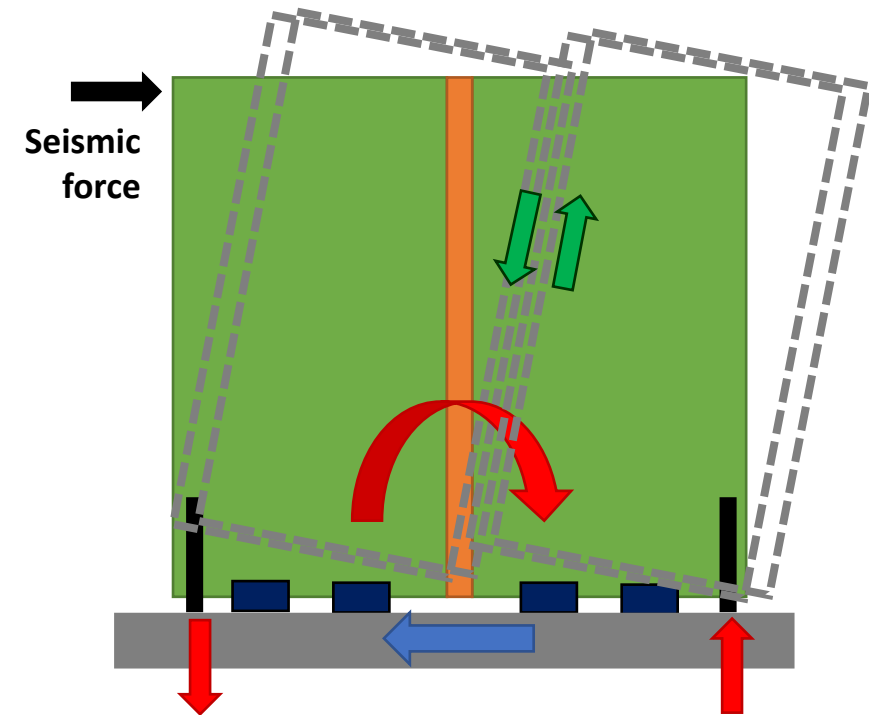
Innovazione nella progettazione sismica



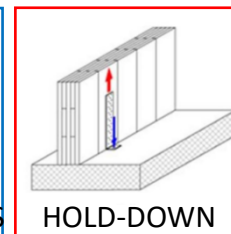
VERY HIGH STRENGTH AND STIFFNESS IN THE PLANE OF THE PANEL



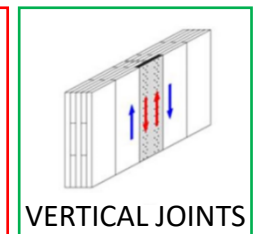
RESISTANCE TO EARTHQUAKE AND DUCTILITY ASSURED BY METAL CONNECTIONS



SLIDING



ROCKING

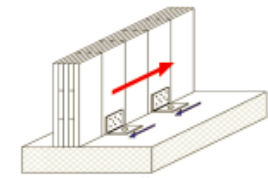


Connessioni «tradizionali» (1^a generazione)

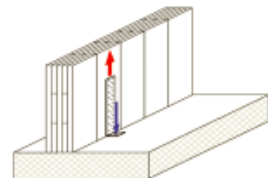
Connessioni tipo hold-down e staffe angolari sono state **originariamente sviluppate per costruzioni a telaio**.



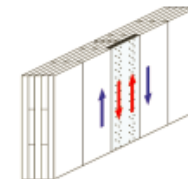
<http://temec2012.blogspot.com>



Angolari a taglio



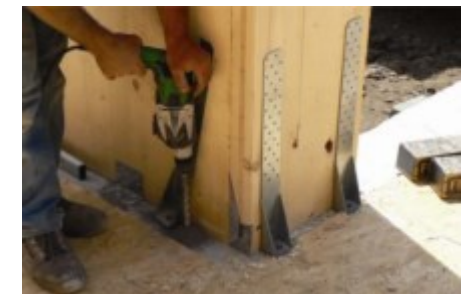
Hold-down



Giunti verticali



Test su tavola vibrante (CNR Ivalsa)



Applicazione al sistema X-Lam
(Ceccotti et al., 2006)

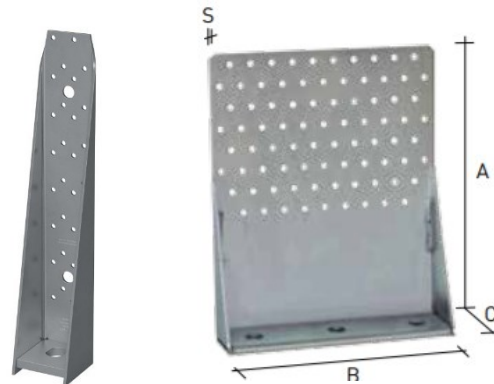
- Piastre sottili
- Chiodatura parziale

Connessioni «tradizionali» (2^a generazione)

La richiesta di sistemi **con maggior resistenza e robustezza** ha portato allo sviluppo di una sorta di seconda «generazione» di connessioni



Ceccotti et al. 2013



Aumento degli spessori, nuovi irrigidimenti per contrastare deformazioni locali, aumento del **numero di chiodi**

Connessioni tradizionali: problemi tuttora pendenti

- Il rifollamento del legno per azioni cicliche nelle connessioni a gambo cilindrico porta a una ridotta **capacità di dissipazione energetica**.

TEST SPERIMENTALE SU HOLD-DOWN A CHIODATURA PARZIALE (12 CHIODI)

Gavric I., Ceccotti A.,
Fragiacomo M. (2011).
“Experimental cyclic tests on
cross-laminated timber panels
and typical connections”. In
proceedings of ANIDIS

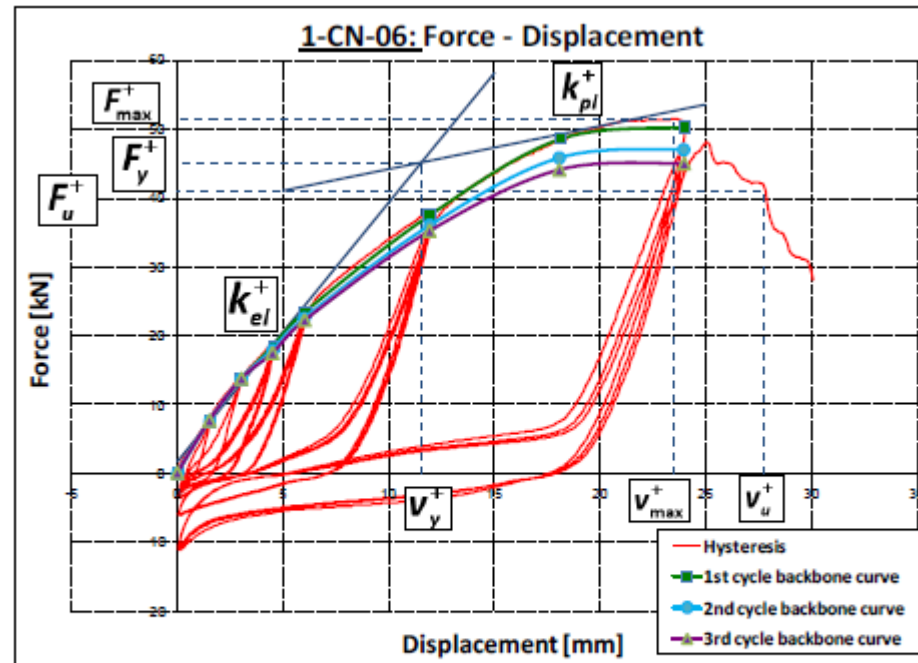


Figure 9. Hysteresis loops of a hold-down loaded in tension.



The hold-downs used in the tests were type WHT540 with 12 annual ringed nails 4x60 mm, type Anker. This relatively new type of hold-down matches well with the geometry and thickness of the older type HTT22 of hold-down, originally used in SOFIE project.

Conessioni tradizionali: problemi tuttora pendenti

- Il rifollamento del legno per azioni cicliche nelle connessioni a gambo cilindrico porta a una ridotta **capacità di dissipazione energetica e decadimento.**

TEST SPERIMENTALE SU CONNESSIONE VERTICALE FRA PANELLI CON COPRIGIUNTO IN LVL

Gavric I., Ceccotti A.,
Fragiacomo M. (2011).
“Experimental cyclic tests on
cross-laminated timber panels
and typical connections”. In
proceedings of ANIDIS

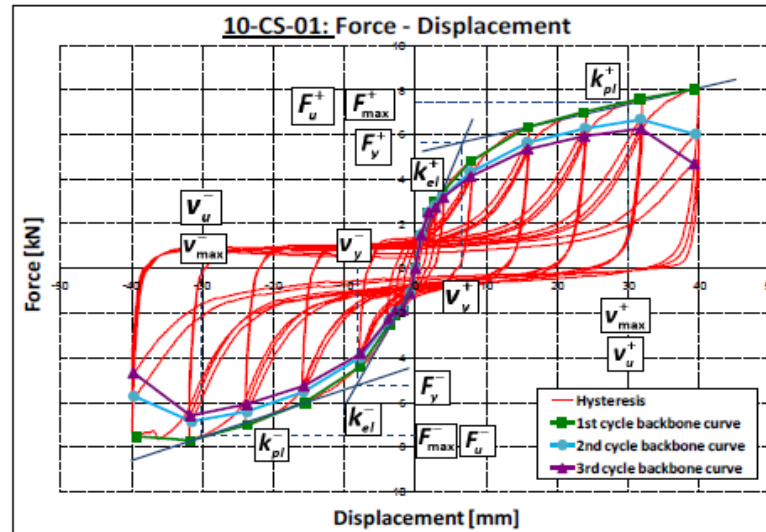


Figure 21. Hysteresis loops of a screwed joint with LVL strips between adjacent panels loaded under in-plane shear.

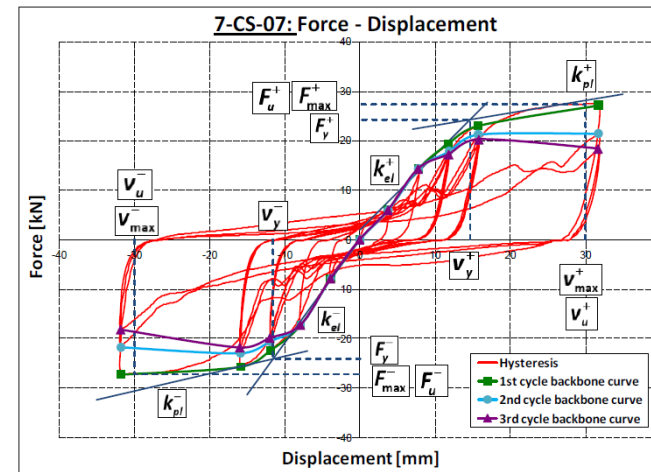


Connessioni tradizionali: problemi tuttora pendenti

- Il rifollamento del legno per azioni cicliche nelle connessioni a gambo cilindrico porta a una ridotta **capacità di dissipazione energetica e decadimento**.
- **Comportamenti accoppiati taglio-trazione** di difficile interpretazione.
- Difficile applicazione di una **corretta progettazione in capacità** a livello locale



Hold-down soggetto a taglio



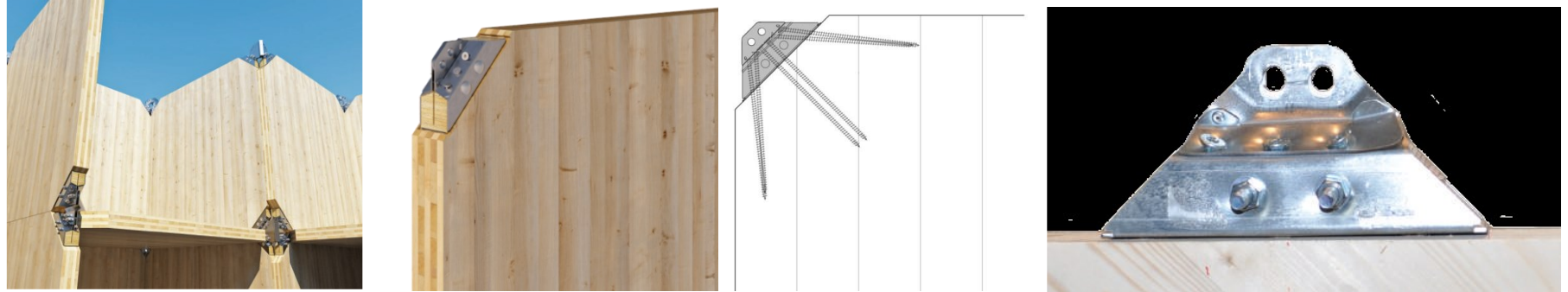
Pinching per carichi ciclici



Progettazione in capacità errata

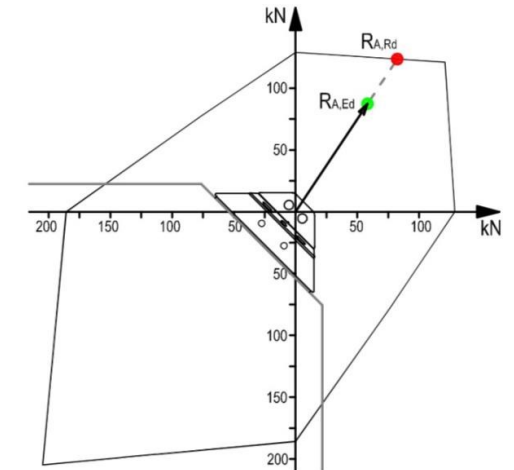
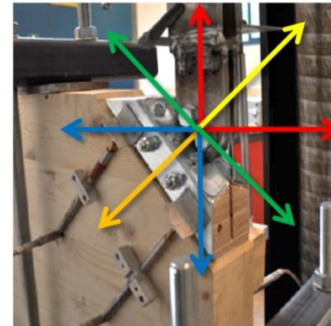
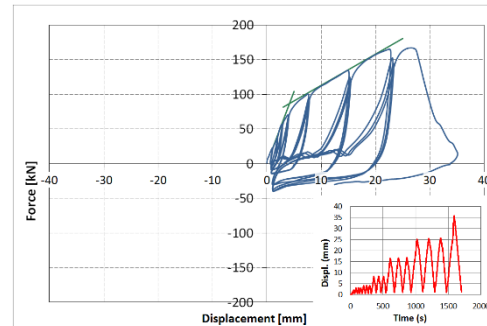
Connessioni innovative

Ci si sta muovendo nell'ottica di una prefabbricazione più spinta...



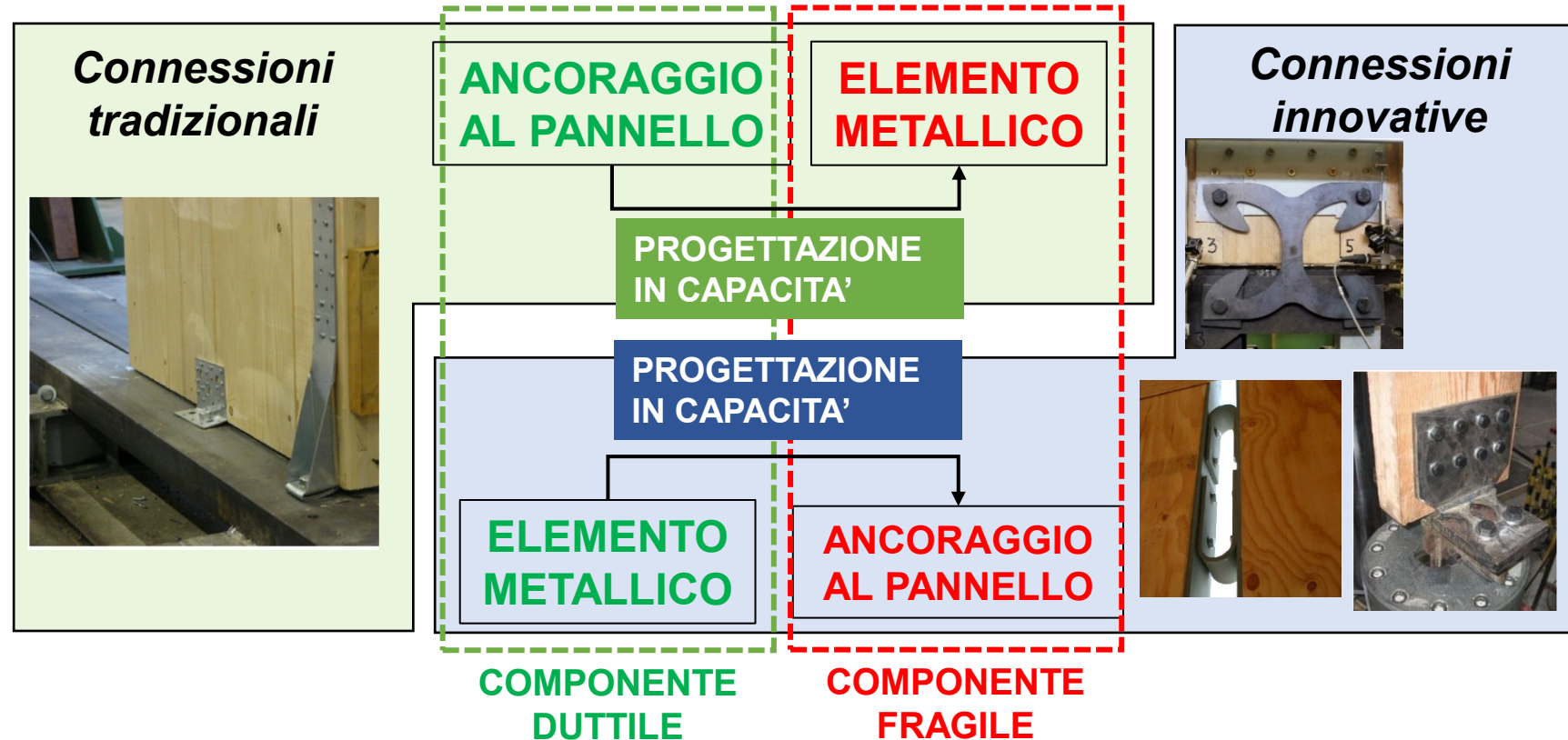
Sistema X-Rad (Rothoblaas)

e di un comportamento accoppiato Taglio-Trazione definito...



Connessioni innovative

Si invertono i ruoli tra ancoraggio e piastre:



Connessioni innovative (3^a generazione)

Tali connessioni sviluppano oltre ad notevole **resistenza**, elevata **duttilità** e **dissipazione energetica** per cicli ripetuti

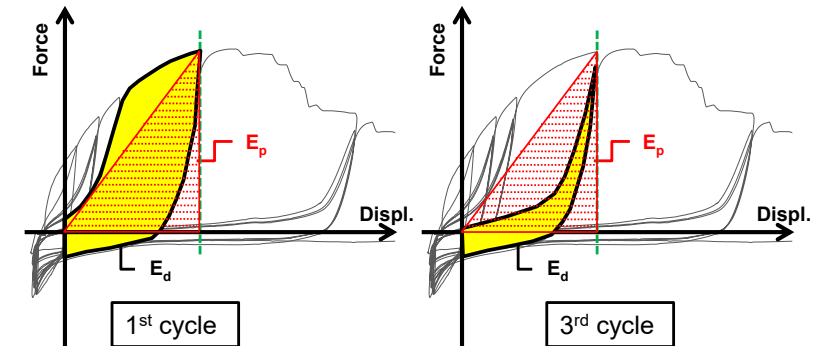


UFC (Baird et al. 2014)

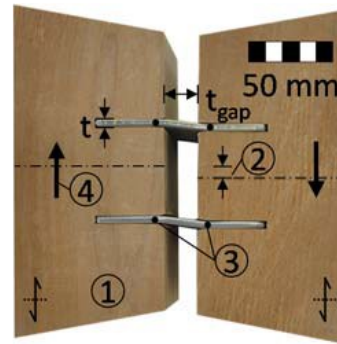


(Quenneville et al. 2014)

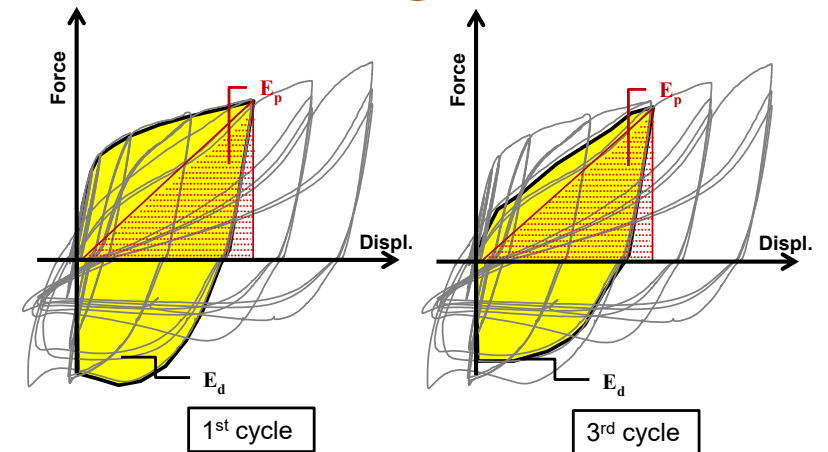
$$n_{eq} = \frac{E_d}{2\pi E_p}$$



XI-Stub (Latour and Rizzano 2015)



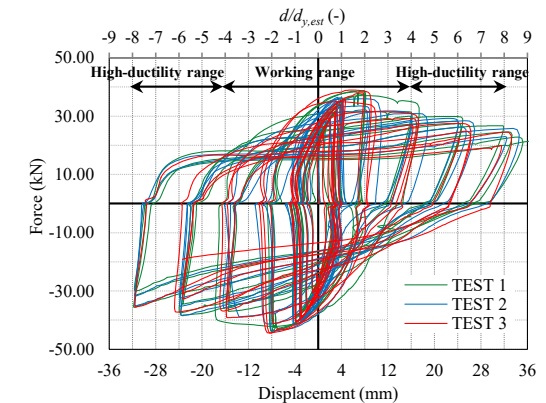
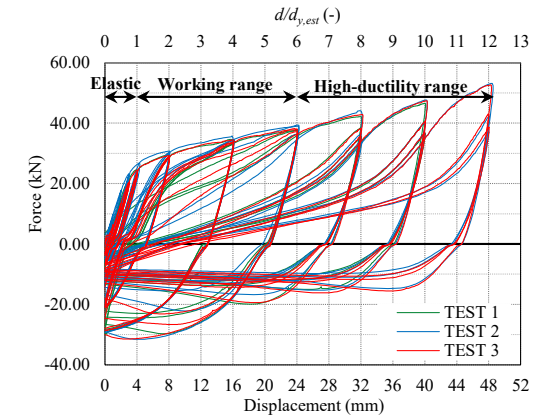
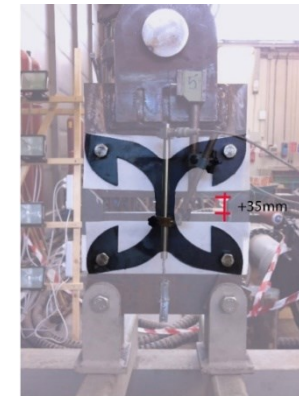
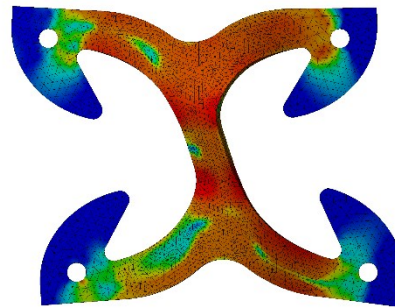
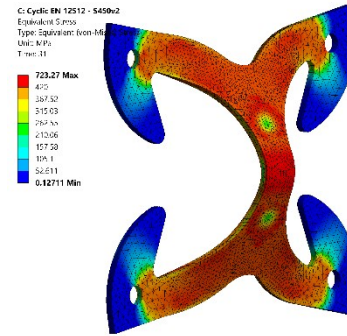
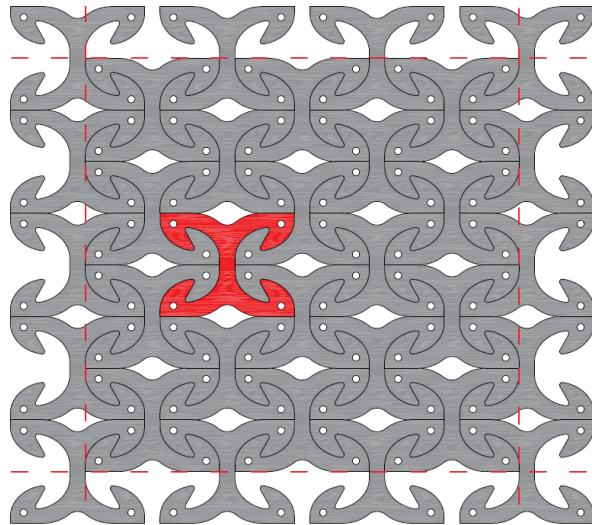
(Blass et al. 2017)



Connessioni innovative

X-bracket - brevetto **dell'Università di Padova**

Elemento in acciaio progettato per assicurare duttilità e capacità dissipativa a taglio, trazione o per una loro combinazione



Connessioni innovative

X-bracket - brevetto **dell'Università di Padova**

Applicazione a vista

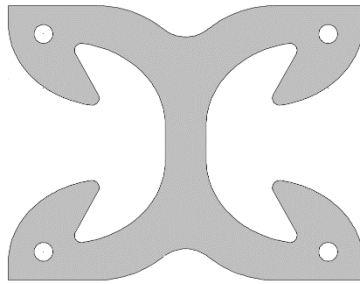


A scomparsa

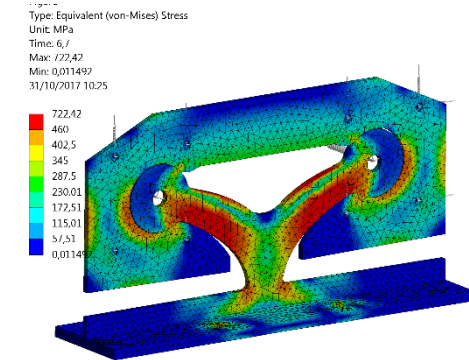
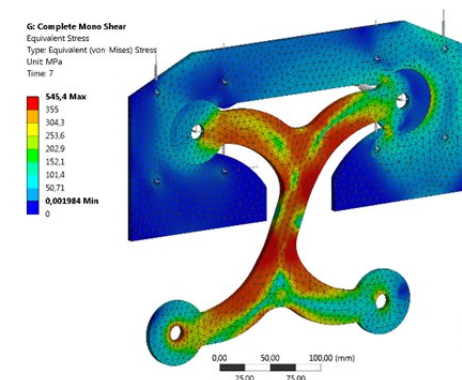
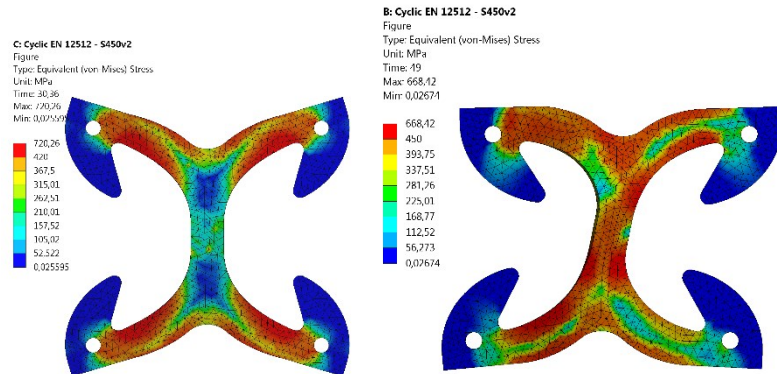
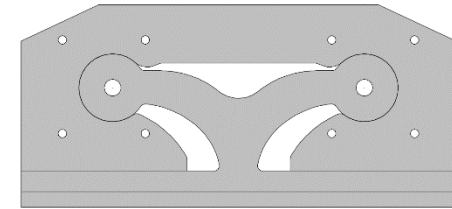
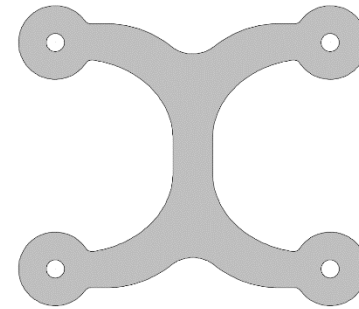
Connessioni innovative

X-bracket - brevetto **dell'Università di Padova**

A vista

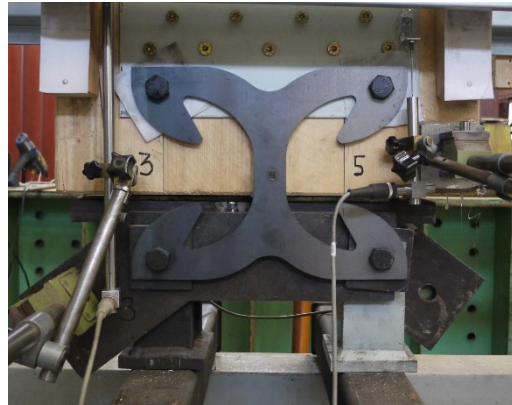


A scomparsa

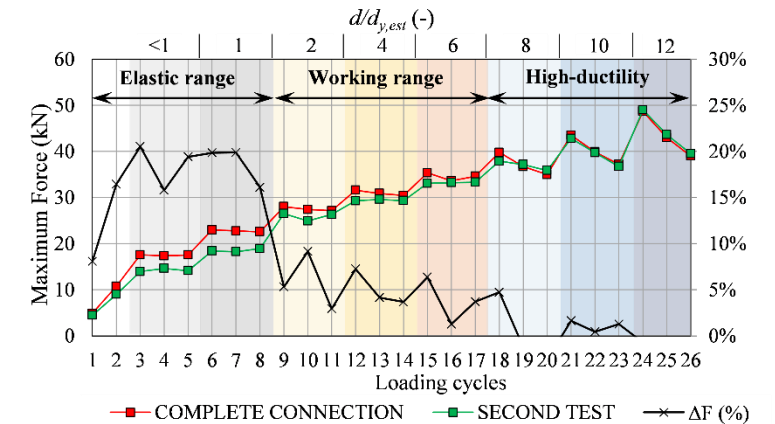
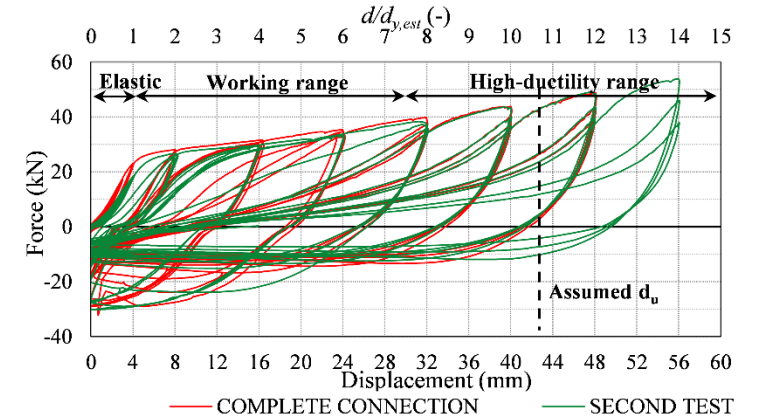


Connessioni innovative

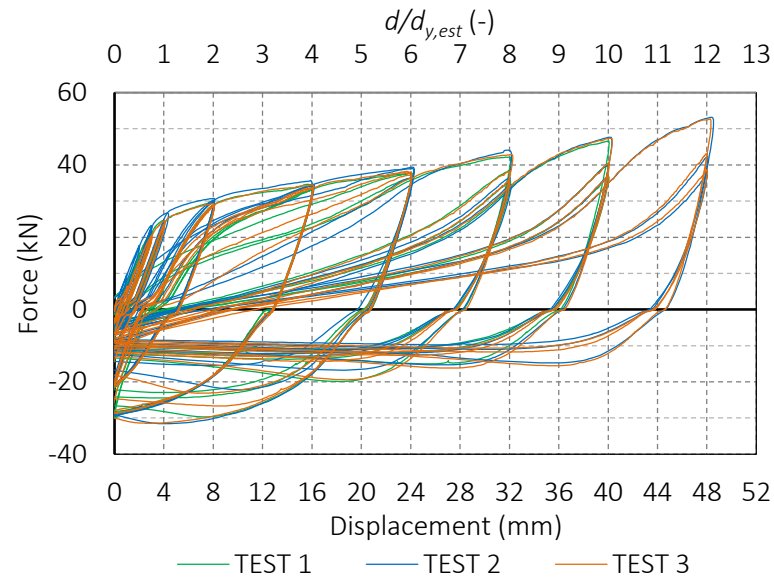
Test-ciclico della staffa **ancorata ad un campione di X-Lam** dimostrando il rispetto della progettazione in capacità **senza manifestare una diminuzione** della risposta energetica del dissipatore



Concetto di connessione **FUSIBILE**



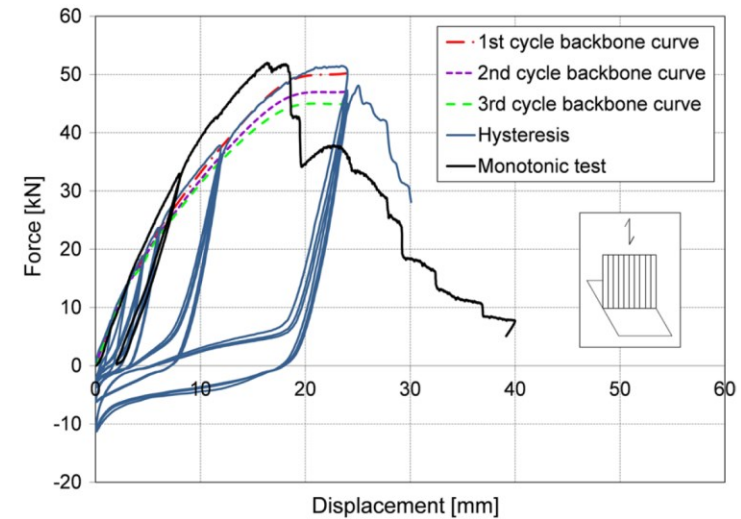
INNOVATIVE DISSIPATIVE CONNECTION: X-BRACKET IN TENSION



DUCTILITY

12.58

TRADITIONAL HOLD-DOWN



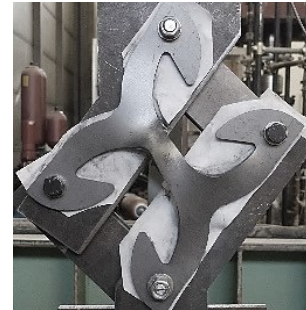
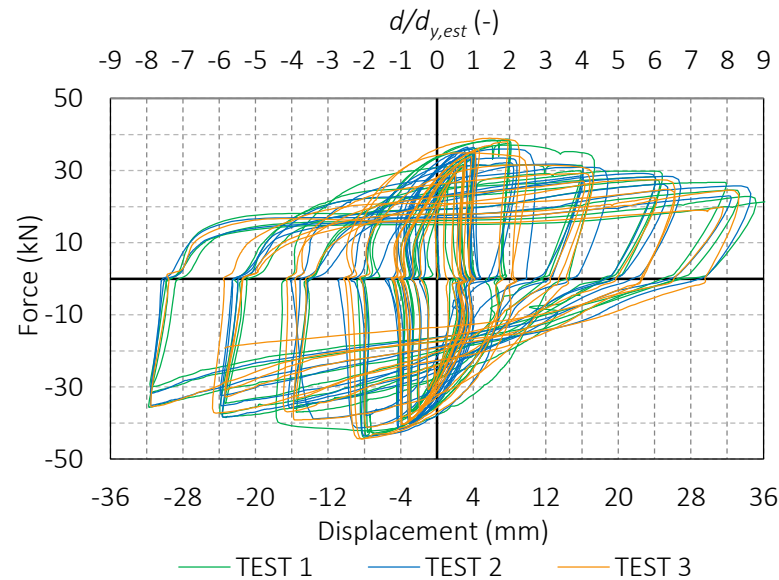
DUCTILITY

2.76

I. Gavric, M. Fragiaco, A. Ceccotti, Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross laminated (CLT) structures, Mater. Struct. 48 (6) (2015) 1841–1857

Innovazione nella progettazione sismica

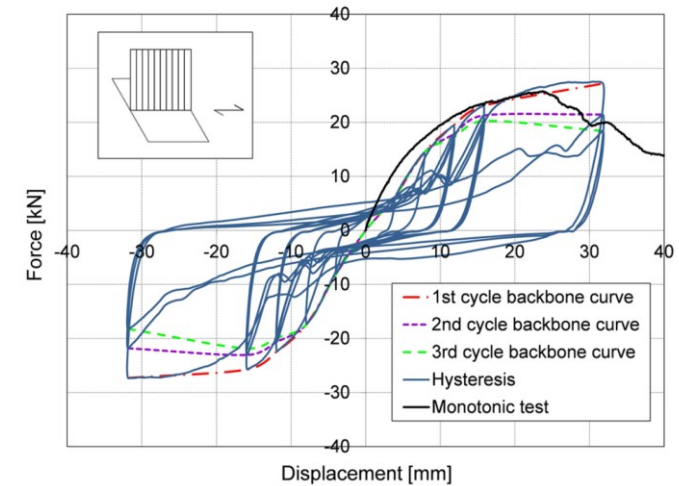
INNOVATIVE DISSIPATIVE CONNECTION: X-BRACKET IN SHEAR



DUCTILITY

19.20

TRADITIONAL ANGLE BRACKET



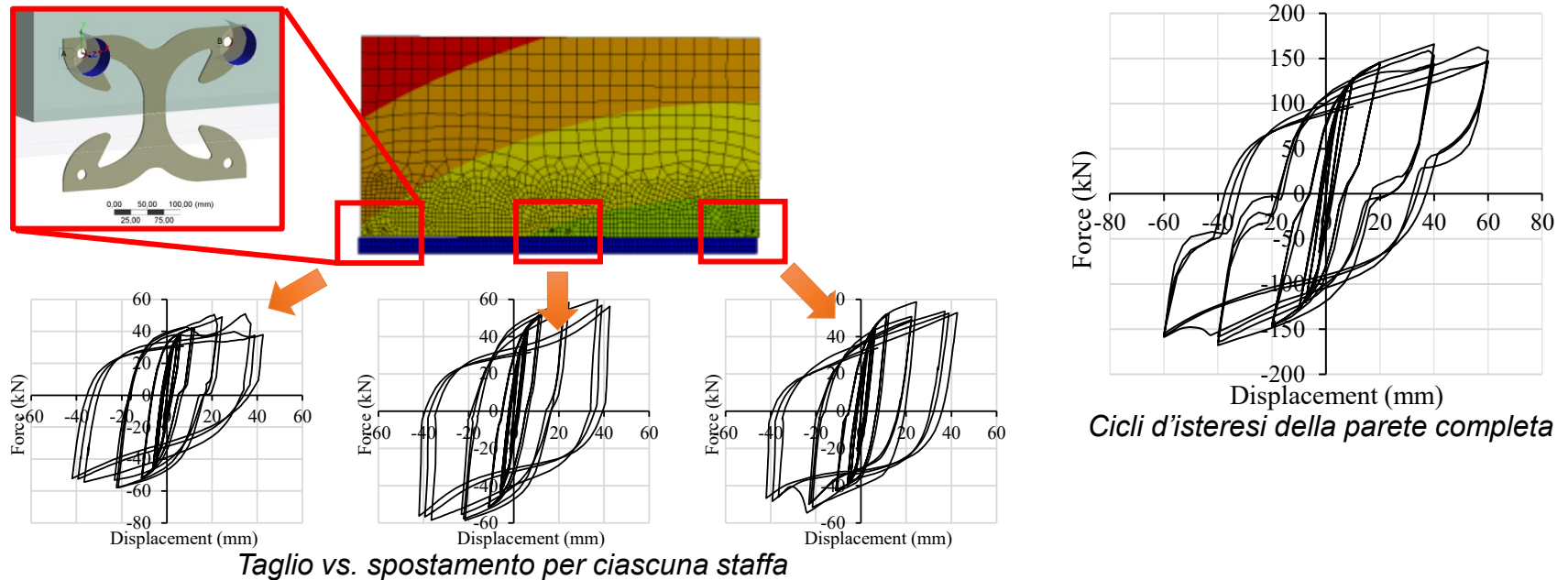
DUCTILITY

2.63

I. Gavric, M. Fragiaco, A. Ceccotti, Cyclic behaviour of typical metal connectors for cross laminated (CLT) structures, Mater. Struct. 48 (6) (2015) 1841–1857

Connessioni innovative

Modelli numerici di pareti includendo molteplici non-linearità: geometriche (buckling fuori piano) di materiale, contatti ad attrito, carichi (analisi time-history).



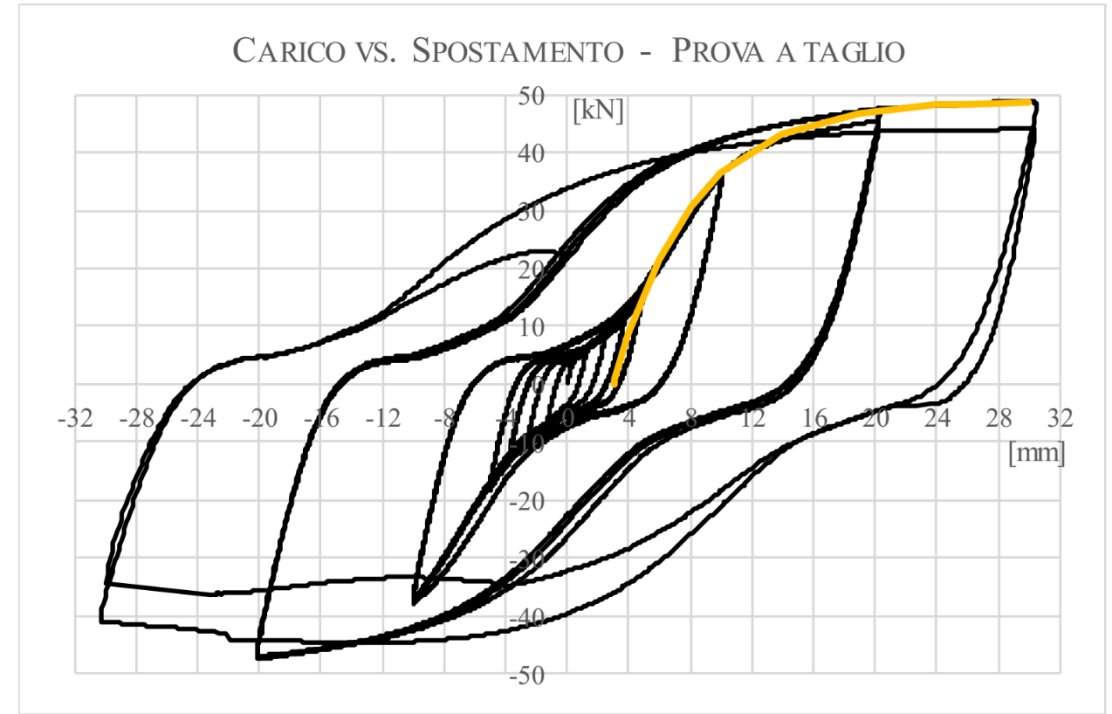
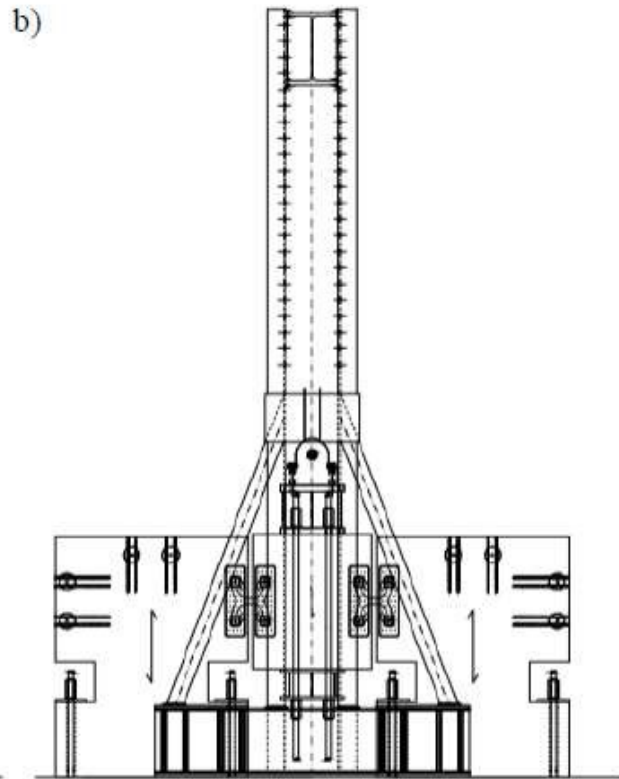
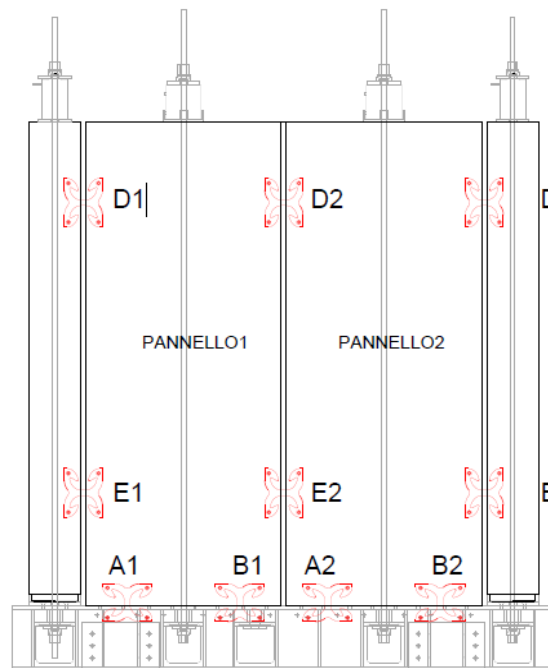
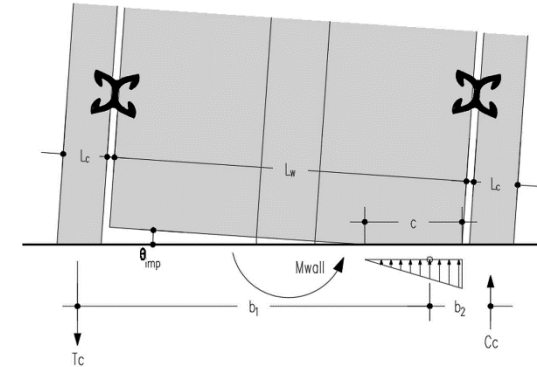


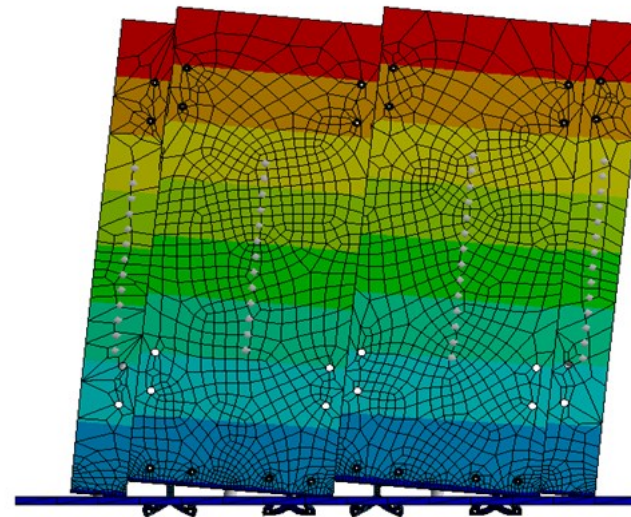
Fig. 4-6: Diagramma d'isteresi ottenuto dalla prova ciclica a taglio.

Innovazione nella progettazione sismica

Design and tests of low-damage post-tensioned CLT shear wall assemblies connected with replaceable steel connections



Design

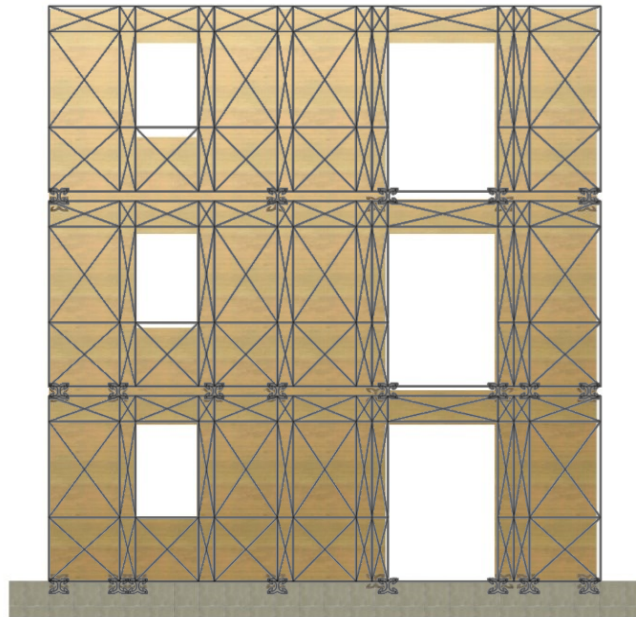


FEM simulation

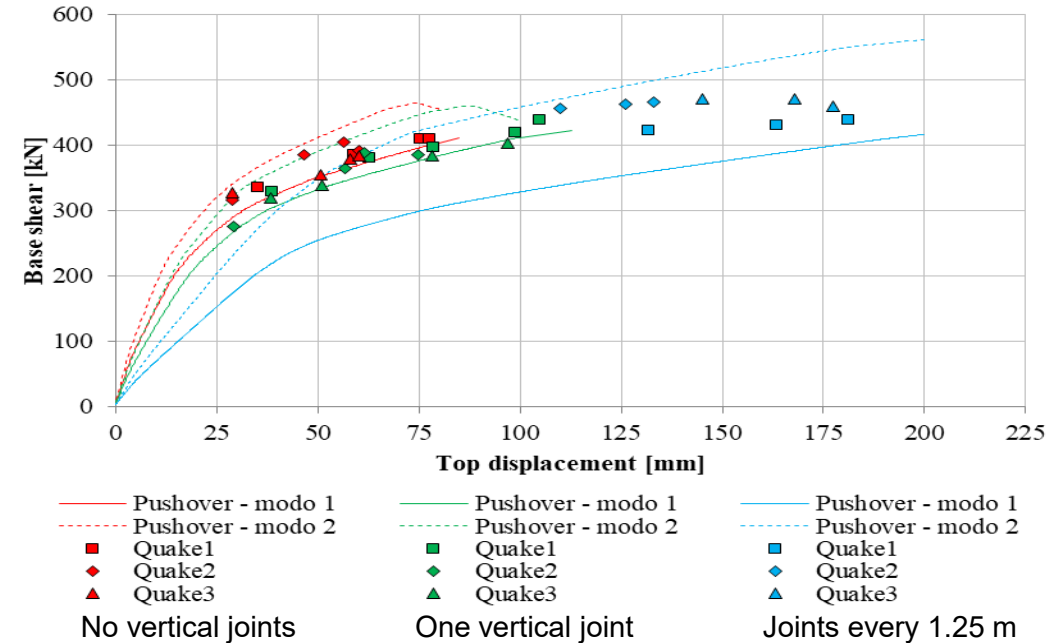


Full scale cyclic test

Risultati numerici di edifici 2D e analisi IDA



Geometria derivate dal
"Progetto Case" L'Aquila



Case study	Top displ. at PGA_u [mm]	Base shear at PGA_y [kN]	Max base shear [kN]	PGA_u [g]	PGA_d [g]	q_0	Ω	q
No joints	78	335	408.7	0.77	0.33	3.0	1.6	4.74
One joint	105	328	437.9	0.88	0.33	3.6	1.5	5.42
Joints / 1.25m	181		438.0	1.00	0.33	4.1	1.5	6.15

Applicazione a edifici alti (pareti in X-Lam post-tese + elementi dissipativi)

Giacomo Torresan, tesi di laurea in Ing. Civile, Università di Padova, 2020

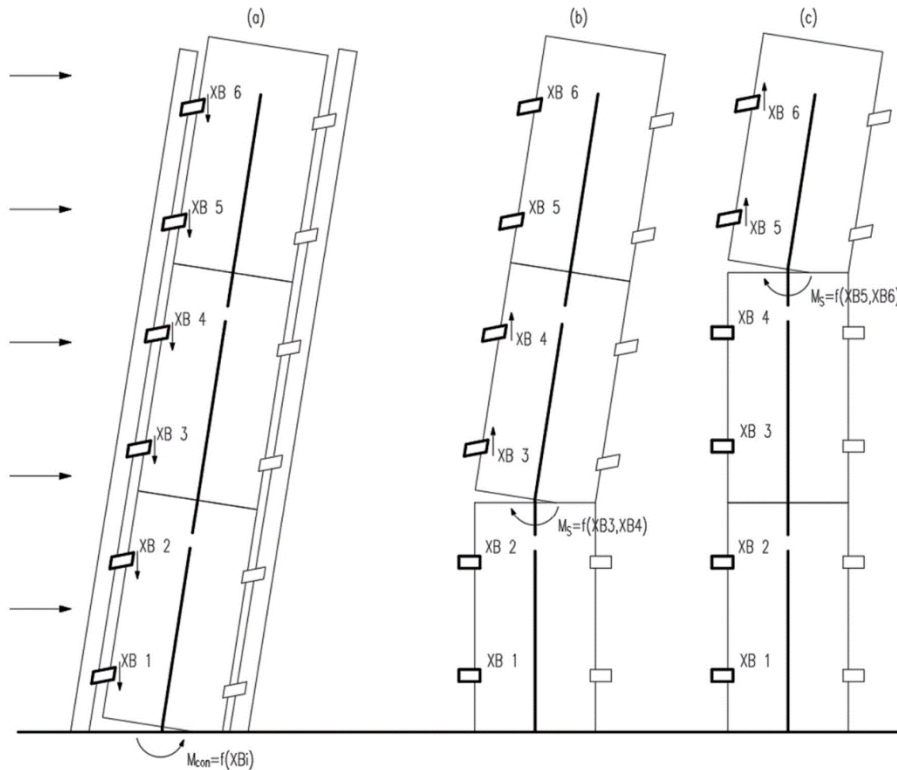


Fig. 4-8: Schema di funzionamento degli accoppiatori XBracket durante la fase di spinta e la fase di ricentrimento.

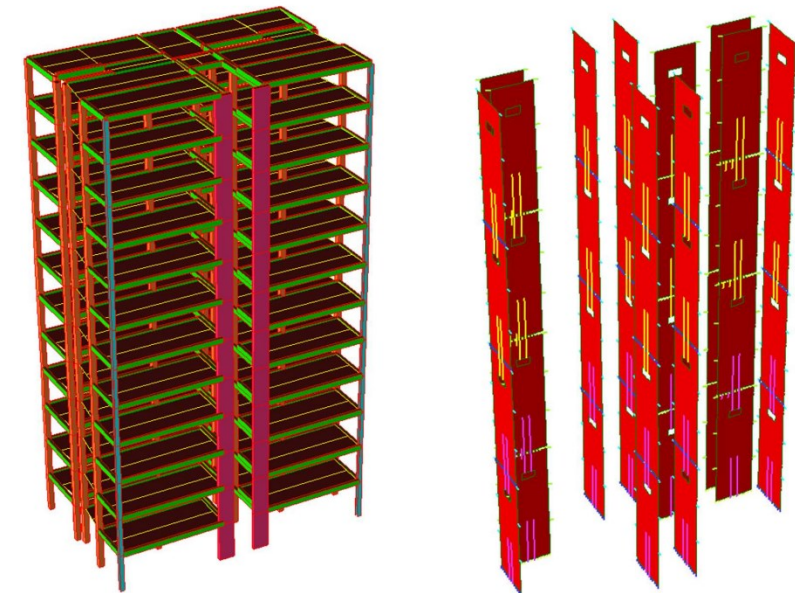
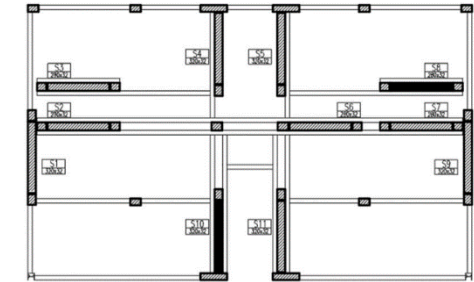


Fig. 5-15: Modello dell'edificio in Straus. Struttura resistente alle azioni verticali (a sinistra) e struttura resistente alle azioni orizzontali (a destra).

Applicazione a edifici alti (pareti in X-Lam post-tese + elementi dissipativi)

Giacomo Torresan, tesi di laurea in Ing. Civile, Università di Padova, 2020

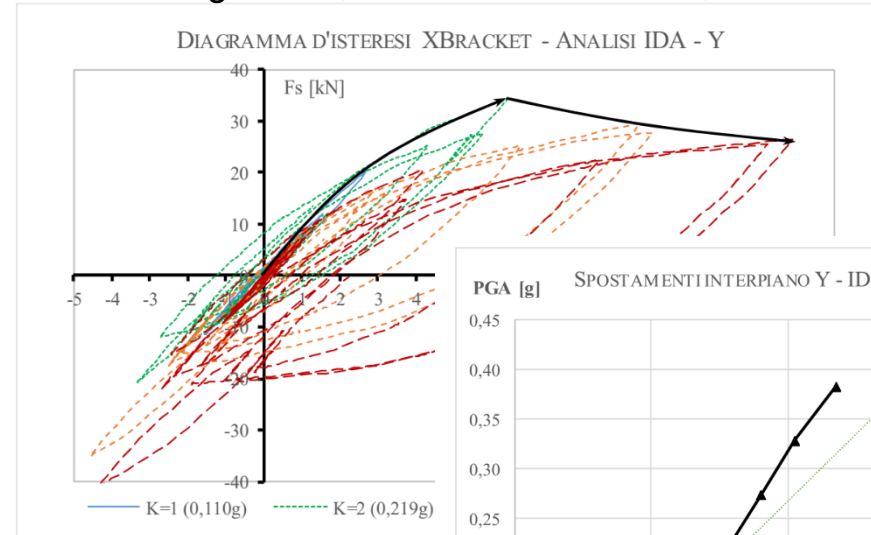
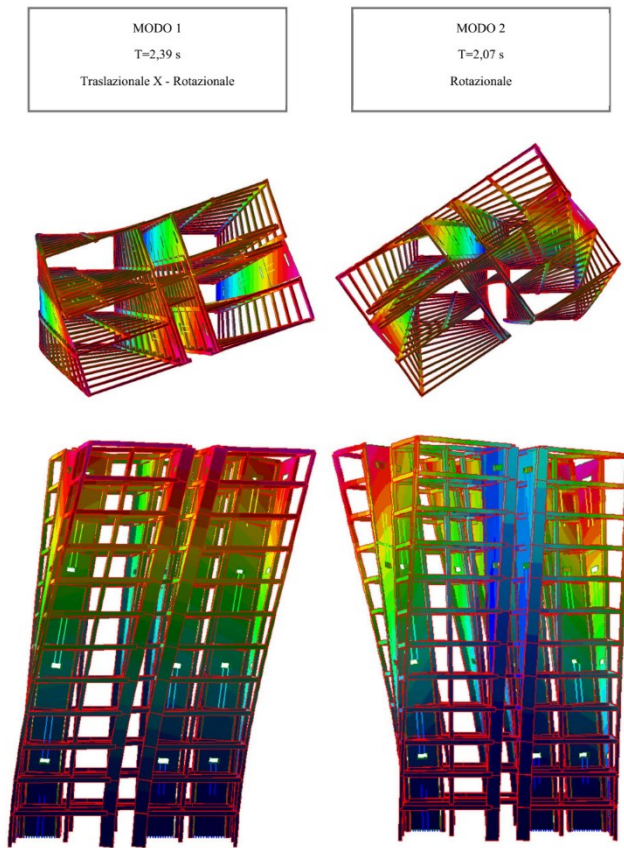


Fig. 7-21: Diagramma d'isteresi XBracket.

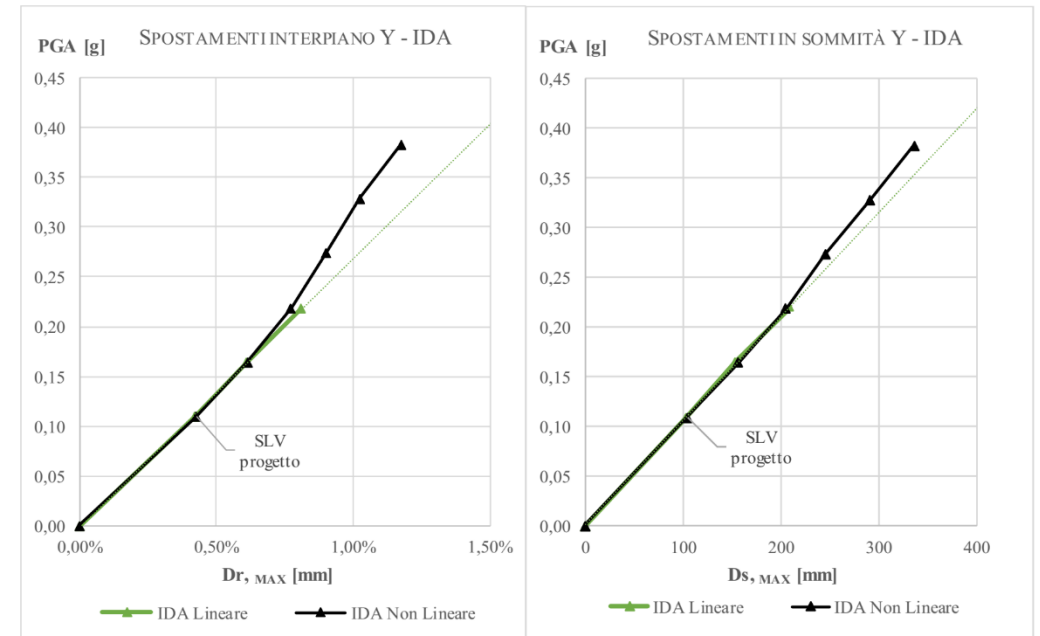


Fig. 7-24: Interstorey drift massimi, direzione Y. Confronto modello lineare e non lineare.

Fig. 7-25: Spostamenti di picco in sommità, direzione Y. Confronto modello lineare e non lineare.

L'ancoraggio alla fondazione:
Non è solamente un problema di progettazione strutturale...



ma anche di attenzione alla fase esecutiva ...

In particolare: difficoltà nella posa in opera delle pareti

Le tolleranze delle fondazioni in c.a. non sono sempre compatibili con la sovrastruttura in legno, causando disallineamenti considerevoli «a giochi ormai fatti»



Disallineamenti orizzontali



Rimozione del calcestruzzo per il disallineamento orizzontale



Schiacciamento della trave radice

In particolare: difficoltà nella posa in opera delle pareti

La D.L. deve pertanto rimediare o limitare i danni che non possono essere facilmente previsti sulla carta.



Scavando il cordolo



Riempiendo i vuoti di schiuma



Usare cunei di supporto



Reinstallando le connessioni

In particolare: attenzione al dettaglio costruttivo

Il **contatto diretto tra la parete in legno e la fondazione in c.a.** o un **errato isolamento** possono portare ad un rapido degrado della struttura portante la quale necessita di interventi difficili, quando l'umidità è adsorbita ed intrappolata nella base del muro.



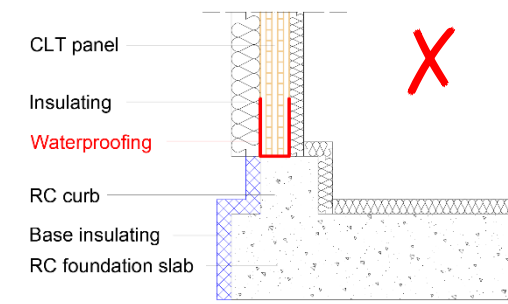
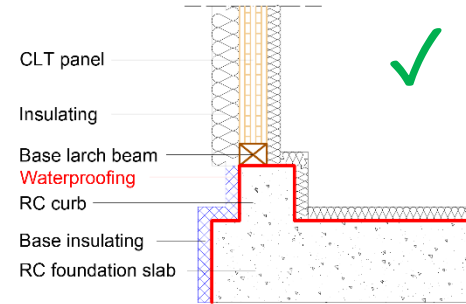
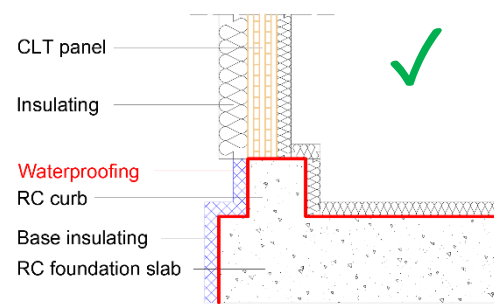
Immagini da www.woodlab.info

Soluzioni “tradizionali” sono tuttora efficaci se ben eseguite

→ Il cordolo in c.a. rimane un punto fisso, ma risente della **qualità delle opere realizzate sul posto: possibili imprecisioni geometriche** portano a conseguenti disallineamenti tra le superfici in calcestruzzo e la struttura prefabbricata in legno.

→ La trave sacrificale in larice può ovviare al problema, ma la compressione ortogonale alle fibre potrebbe **limitare la capacità portante della parete**.

→ Corretto isolamento igrometrico

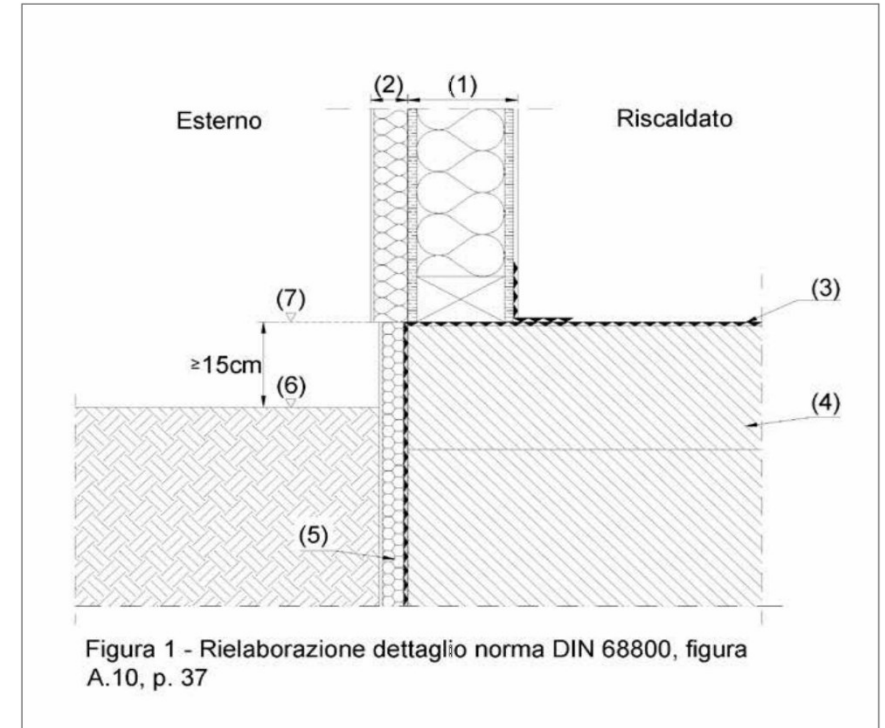


Isolamento dell'attacco a terra secondo ÖNORM 2320 (2017)

Soluzioni “tradizionali” sono tuttora efficaci se ben eseguite

→ Dislivelli minimi tra

→ Operare in condizioni di cantiere asciutto



Non sempre possibile!!!

Soluzioni innovative

Hanno soprattutto lo scopo di «semplificare» la posa in opera.

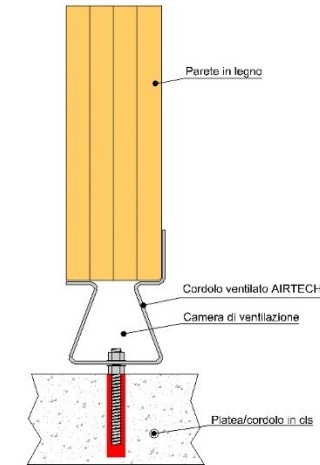
Sostituzione della trave radice con **elementi metallici**. Il cordolo in c.a. rimane un punto fisso **ma la risalita dell'umidità è efficacemente contrastata**.



www.alufoot.com/it



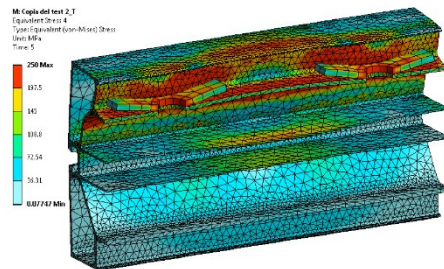
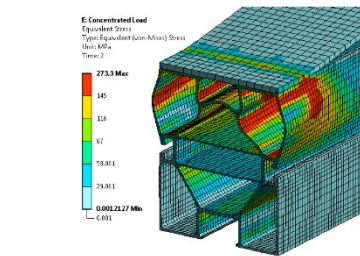
www.cordoloventilato.it/



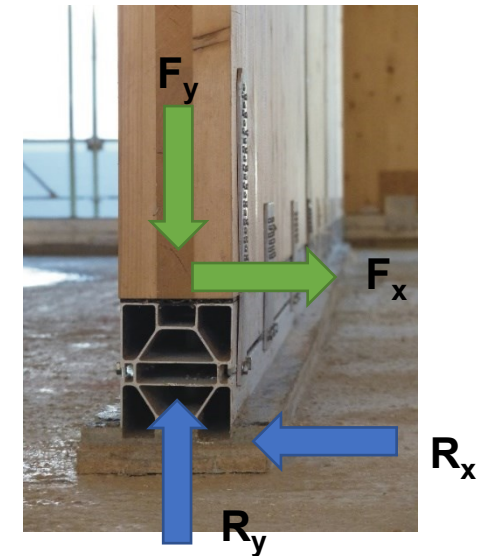
Permettono di operare anche in condizioni altrimenti critiche (platea bagnata)

Soluzioni innovative

Tuttavia tali sistemi non possono essere del tutto improvvisati poiché devono essere progettati e analizzati per sostenere:



Carichi statici: distribuiti e localizzati

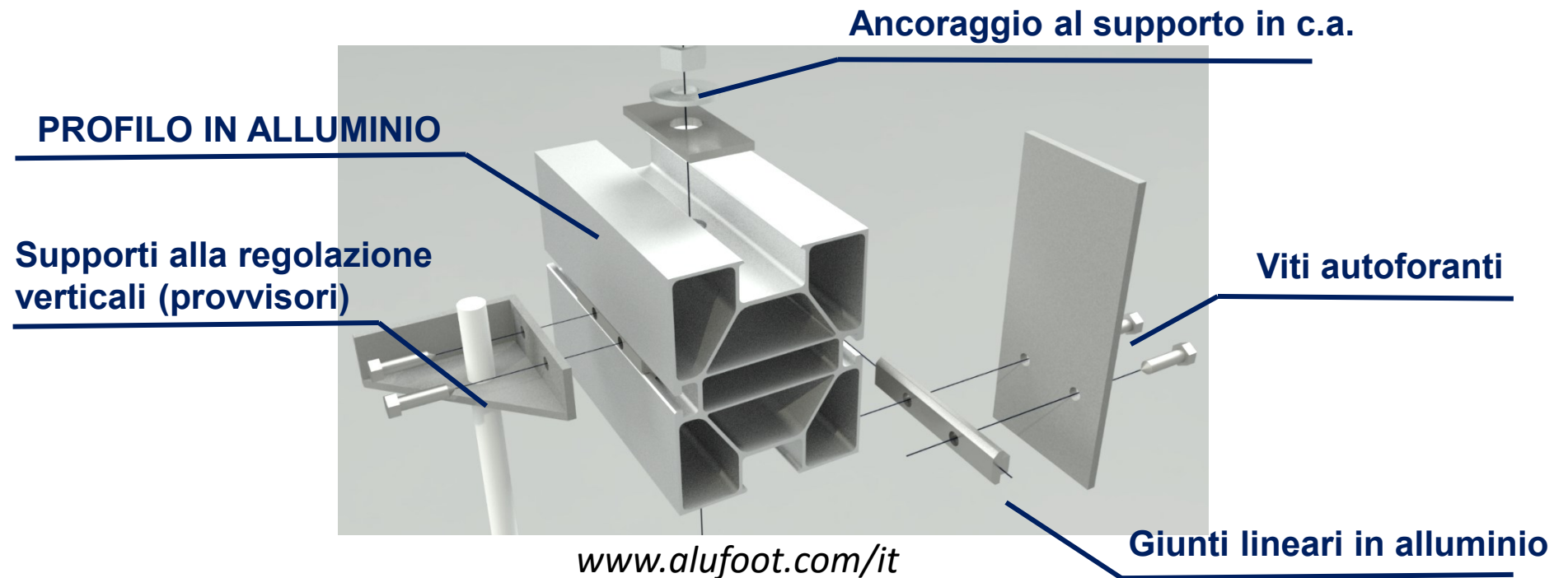


Carichi sismici

Necessità di preferire sezioni «chiuse» e localmente stabili ad azioni nel piano ma anche fuori piano

Alufoot® - marchio e brevetto dell'Università di Padova

Sostituzione della trave radice con **elementi in alluminio estruso** che evitano la risalita dell'umidità e migliorano la fase di posa in opera evitando problemi di disallineamento orizzontale e verticale



In conclusione:

- L'innovazione nel mondo delle connessioni mira a risolvere problemi di natura **strutturale** ma anche di **pratica di cantiere**;
- L'incremento delle strutture in legno in territori ad alta sismicità sta producendo un necessario **cambio generazionale delle connessioni sismo resistenti**;
- La «minor esperienza» in materia di realizzazione di strutture in legno rispetto ad altri paesi sta facendo da cardine per portare innovazione che porti ad accrescere il **livello di sicurezza e di durabilità di tali strutture**.

Organizzato da:



In collaborazione con:



Promosso da:



Partner tecnico:



Con il patrocinio di:



Con il supporto di:



Media partner:



Partner tecnico finanziario:



Premium partner:

