

# Interventi strutturali su impalcati lignei in edifici di pregio



# Argomenti

*Impalcato: struttura di travi ed assi formante un palco, un soffitto o un pavimento*

- Cause di intervento
- Requisiti dell'intervento
- Rinforzo delle teste in appoggio
- Rinforzo diretto della travatura
- Protesi
- Rinforzo dei nodi
- Sistema di ripristino solaio collaborante legno-legno

# Cause di intervento

*ammaloramento*



*deformabilità*



*adeguamento  
sismico*



Interventi strutturali su impalcati lignei di  
pregio

# Requisiti intervento

- Miglioramento strutturale
- Conservazione “estetica” dell’impalcato
- Recupero di materiali
- Preservazione del contesto architettonico
- Aumento della durabilità (futura)

# Rinforzo delle teste



Interventi strutturali su impalcati lignei di pregio

# Protezione delle teste

Membrana in polipropilene impermeabile per proteggere la testa delle travi dall'infiltrazione di acqua o calcestruzzo. Il valore altamente traspirante della membrana consente però lo smaltimento di eventuale umidità residua.

- Membrana in polipropilene impermeabile ad alta traspirabilità (h= 27,5 cm)
- Abbinabile a Flexi Band per la sigillatura precisa dei dettagli

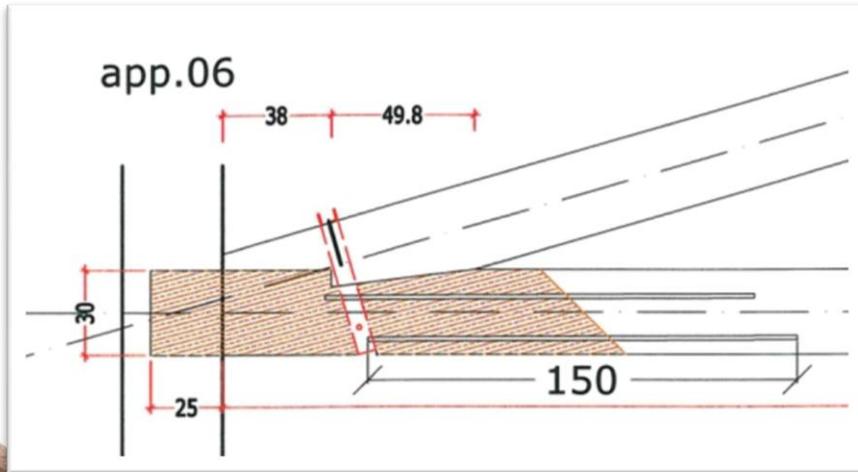


# Protesi / 1



Interventi strutturali su impalcati lignei di pregio

# Protesi / 2



Exemple of protesys made with epoxy glue and steel bar

Interventi strutturali su impalcati lignei di pregio

# Rinforzo diretto armato

Il rinforzo delle travi lignee può essere realizzato mediante la posa in opera di una "lamella armata" sul lato teso della trave collegata con adesivo epossidico. L'efficacia del rinforzo è dovuta alla presenza delle barre di armatura.

- Perfetta adesione tra barra di armatura e legno
- 
- Ottime caratteristiche di colabilità, bagnabilità e adesività



# Rinforzo diretto reversibile laterale

## SOLUZIONE COSTRUTTIVA:

Il rinforzo delle travi lignee può essere realizzato mediante la posa in opera di un'altra trave in legno affiancata ed opportunamente connessa. Inoltre, grazie alla connessione a secco, tale sistema è poco invasivo e totalmente reversibile.

- Elevate resistenze con pochi connettori
- Testa cilindrica per inserimento a scomparsa

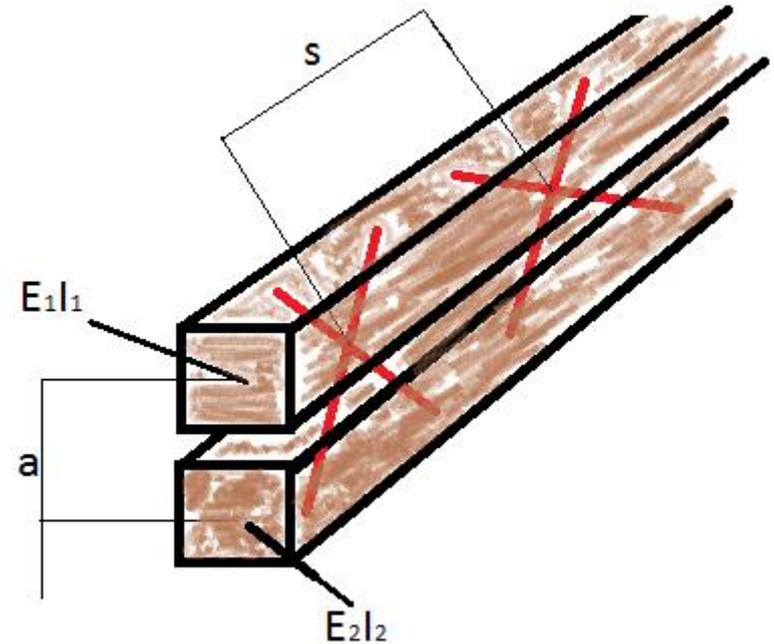


# Rinforzo diretto reversibile: accoppiamento



Interventi strutturali su impalcati lignei di  
pregio

# Rinforzo diretto reversibile: accoppiamento



Interventi strutturali su impalcati lignei di  
pregio

# Rinforzo diretto reversibile: accoppiamento

La rigidezza efficace (modello semplificato):

$$(EI)_{ef} = \sum^2 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

Dove:  $\gamma_2 = 1$

$$\gamma_i = \left[ 1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i l^2) \right]^{-1}$$

Misura della rigidezza della  
connessione

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 a}{\gamma_1 E_1 A_1 + E_2 A_2}$$

$$K_{ser} = 780 \cdot d^{0.2} \cdot l_{ef}^{0.4}$$

$$a_1 = a - a_2$$

$K = K_{ser}$  per gli stati limite di esercizio

$K = 2/3 K_{ser}$  per gli stati limite ultimi

$S_i = 0,75 s_{MIN} + 0,25 s_{MAX}$  : passo equivalente

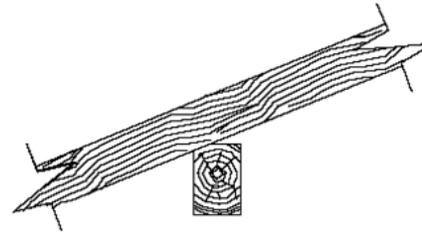
$$a = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} + t$$

a = distanza tra i baricentri  
geometrici delle sezioni

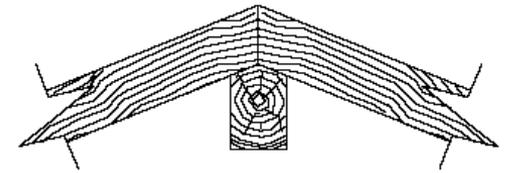
# Rinforzo dei nodi

Interventi strutturali su impalcati lignei di  
pregio

# Necessità di rinforzo



*Appoggio su trave rompitratta  
con smusso su metà sezione*



*Appoggio su colmo smussato*



Interventi strutturali su impalcati lignei di  
pregio

# Prescrizioni normative

NTC 2008:

## 7.7.2 materiali e proprietà delle zone dissipative

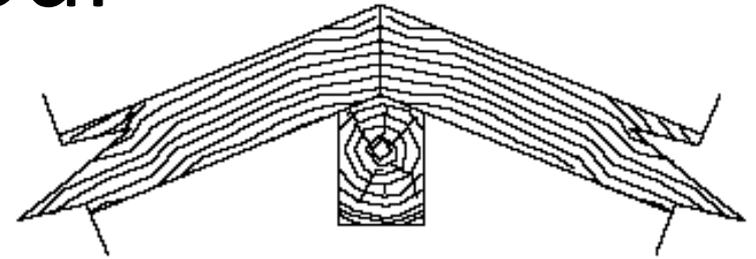
I nodi di carpenteria possono essere utilizzati solamente quando questi possono garantire una sufficiente dissipazione energetica, senza presentare rischi di rottura fragile per taglio o per trazione ortogonale alla fibratura, e con la presenza di **dispositivi atti ad evitarne la sconnessione**.

## 7.7.6 verifiche di sicurezza

al fine di garantire lo sviluppo del comportamento ciclico dissipativo in corrispondenza delle zone assunte come dissipative, tutti gli altri elementi strutturali e/o connessioni devono essere progettati con adeguati valori di sovraresistenza. [...]

i giunti di carpenteria non presentano rischi di rottura fragile se la verifica per tensioni tangenziali condotta in accordo con la 4.4 è soddisfatta utilizzando un ulteriore **coefficiente parziale di sicurezza pari a 1,3**.

# Falsi nodi



Esempio:

Travetto sezione cm 12 x 16

Interasse travetti m 0,66

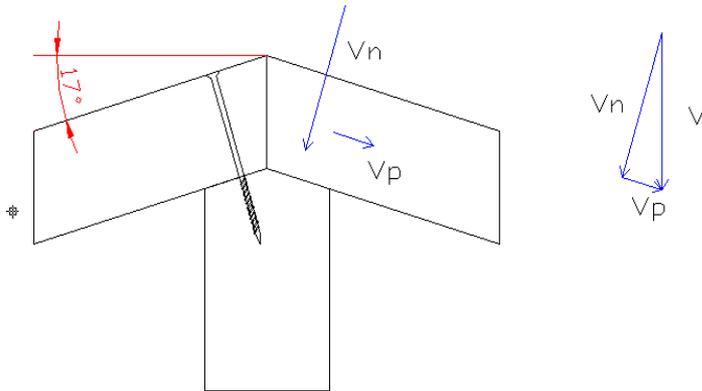
Lunghezza travetto m 4,00

Carico complessivo 2,70 kN/mq

$$V = \text{carico} \times \text{interasse} \times \text{lunghezza}/2 = 3,56 \text{ kN}$$

$$V_n = V \cos 17^\circ = 3,41 \text{ kN}$$

$$V_p = V \sin 17^\circ = 1,04 \text{ kN}$$



La componente di scivolamento deve essere contrastata dalla vite a taglio

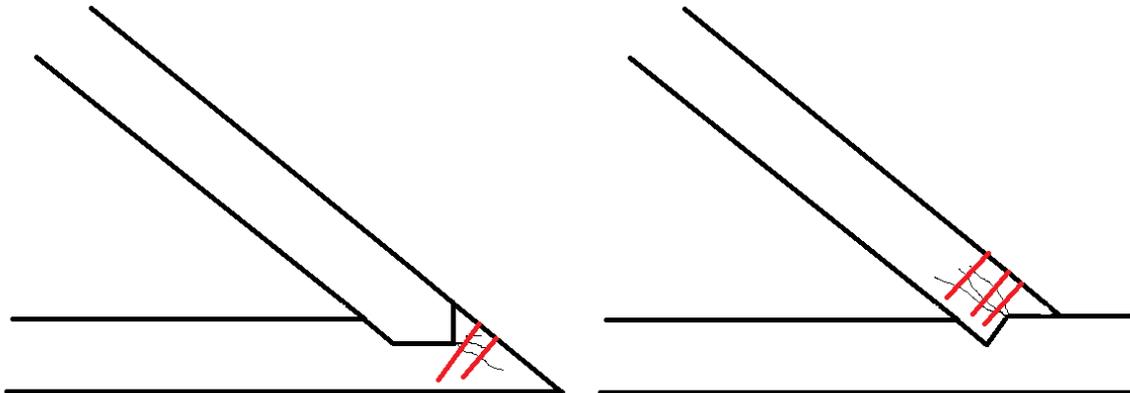
# Nodo puntone-catena



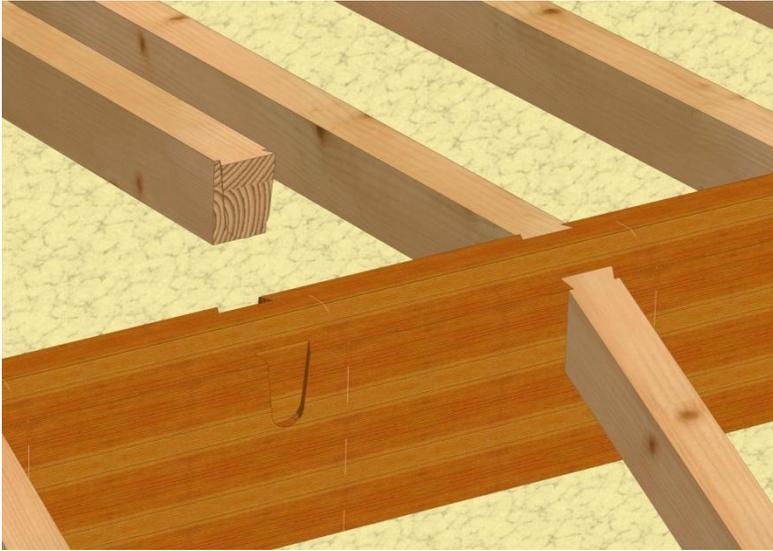
Chiesa del cimitero di Sologno (NO)



Tacco di capriata (UNITN)

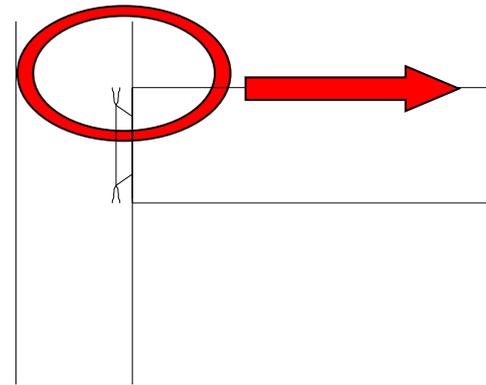
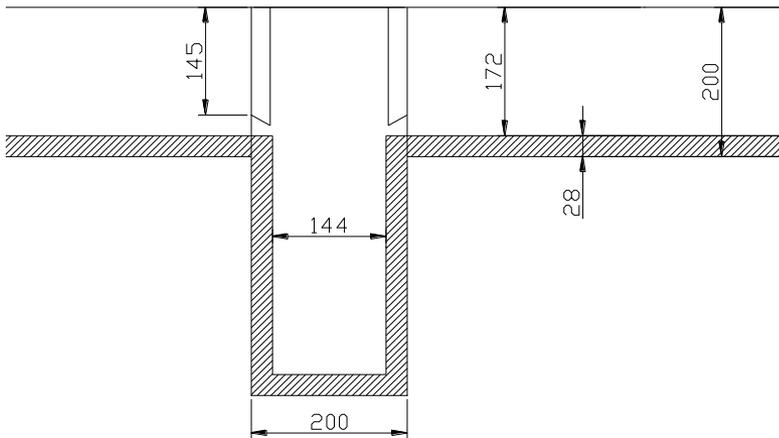


# Nodi fragili

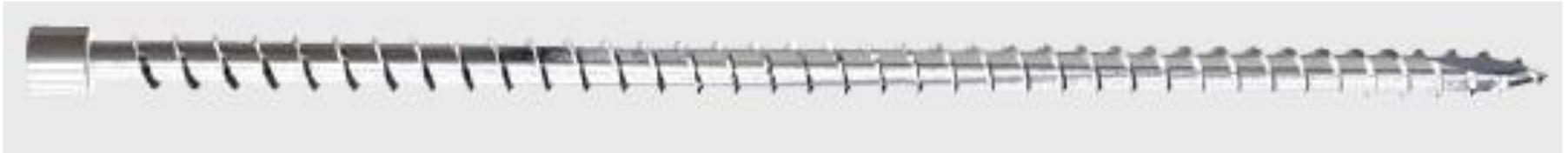


## SVANTAGGI:

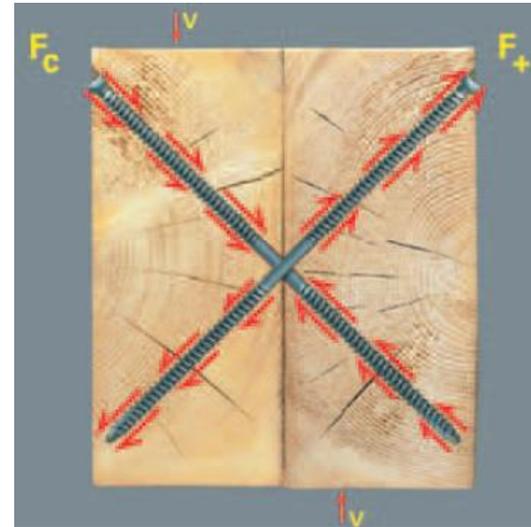
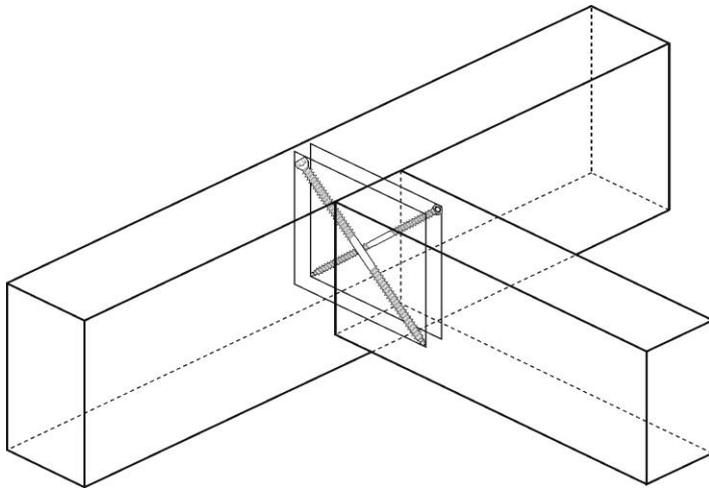
- Resistenza al fuoco bassa (circa R20)
- Modalità di rottura fragile



# Nodi fragili

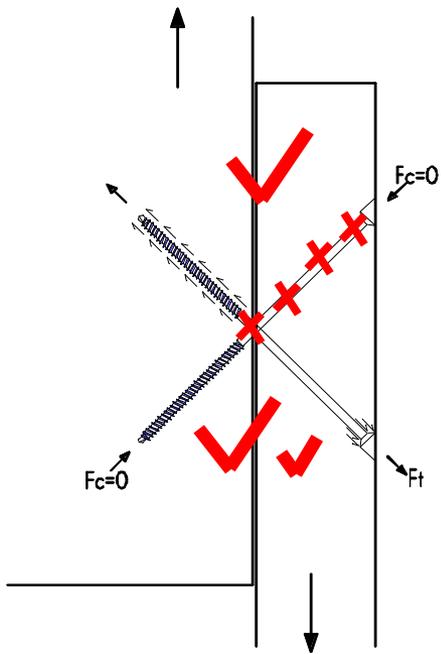


## Collegamento trave primaria-secondaria

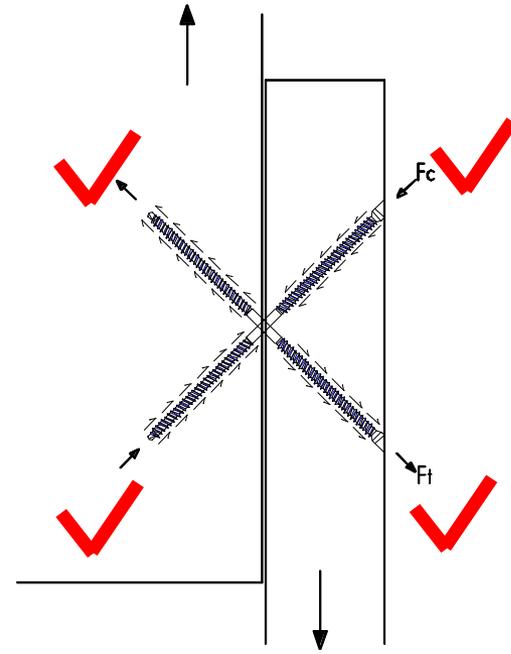


# Nodi fragili

Perché non ottengo gli stessi risultati con una normale vite da legno?



VITE NORMALE

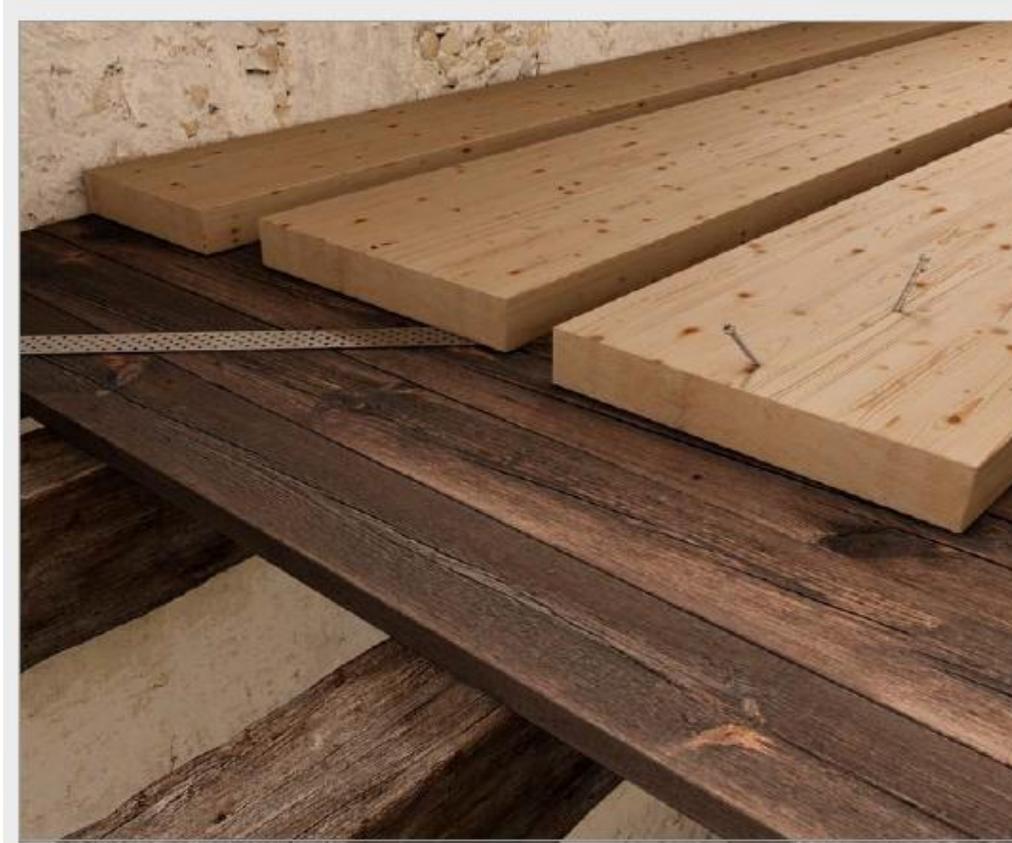


SISTEMA TUTTO FILETTO



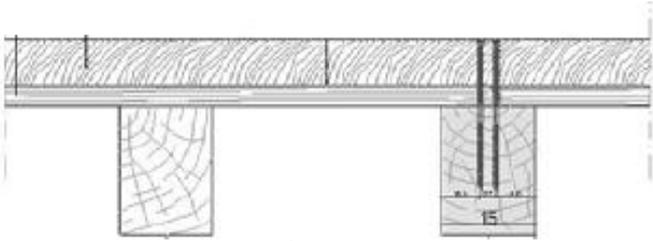
# Rinforzo dei solai con tecnica legno-legno

# La tecnica



Interventi strutturali su impalcati lignei di pregio

# I vantaggi



- Estetico
- Completamente a secco e **reversibile**
- Ingombro (spessore) limitato
- Miglioramento sismico (con nastri)
- Leggerezza
- Logistica di cantiere

# La descrizione

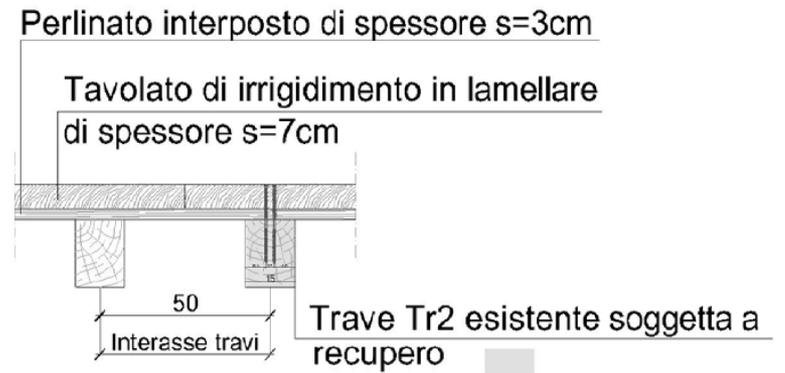
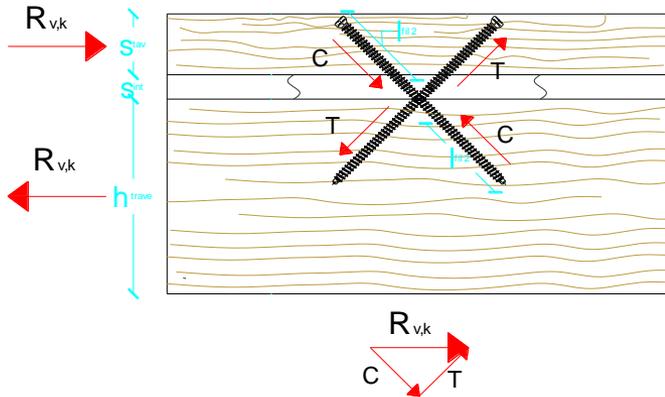
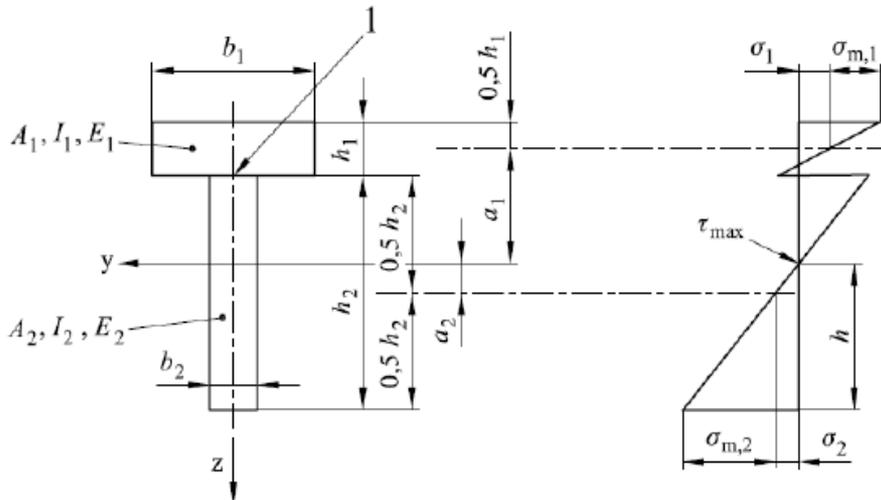


Figure 1.9: SCHEMA DI PROGETTO



# Il modello semplificato

La rigidezza efficace del sistema misto si può determinare con:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^2 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

Dove:  $\gamma_2 = 1$

$$\gamma_i = \left[ 1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i l^2) \right]^{-1}$$

Misura della rigidezza della  
connessione

$K = K_{ser}$  per gli stati limite di esercizio

$K = 2/3 K_{ser}$  per gli stati limite ultimi

$S_i = 0,75 s_{MIN} + 0,25 s_{MAX}$  : passo equivalente

$$C = K_{ser} = 780 \cdot d^{0.2} \cdot l_{ef}^{0.4}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 a}{\gamma_1 E_1 A_1 + E_2 A_2}$$

Con  $a$  distanza tra i baricentri  
geometrici delle sezioni

$$a = \frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2} + t$$

$$a_1 = a - a_2$$

# Il calcolo

Conoscendo la rigidezza efficace si possono determinare le sollecitazioni normali e flessionale

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i E_i a_i M}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,i} = \frac{0,5E_i h_i M}{(EI)_{ef}}$$

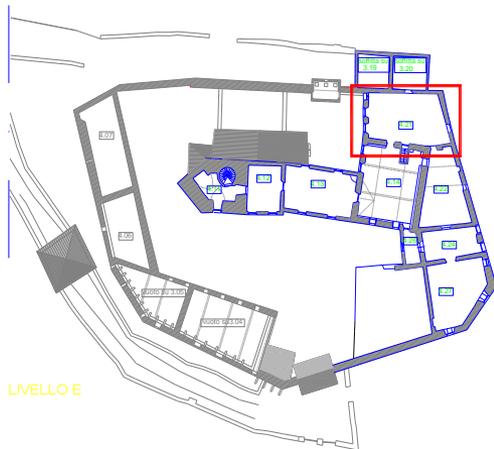
Si può determinare la forza agente su ciascun connettore

$$F_i = \frac{\gamma_i E_i A_i a_i s_i V}{(EI)_{ef}}$$

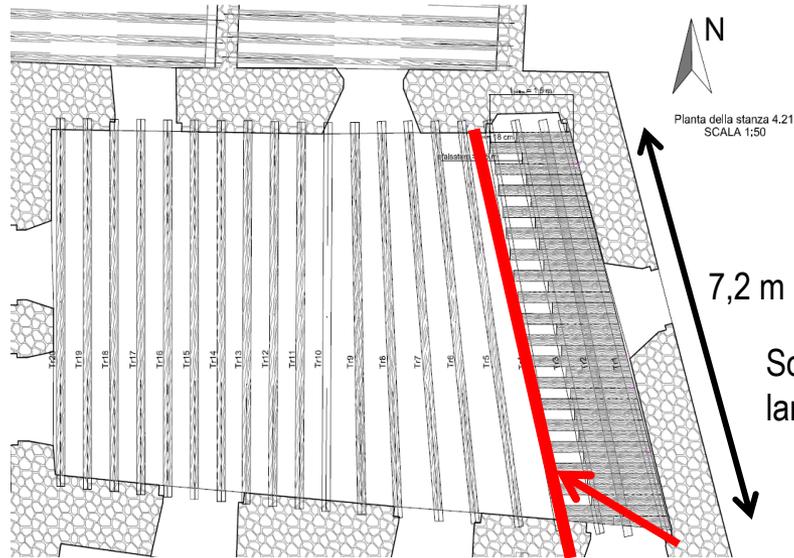
La forza di taglio agente sull'elemento di anima (2)

$$\tau_{2,max} = \frac{0.5E_2 h_2^2 V}{(EJ)_{eff}}$$

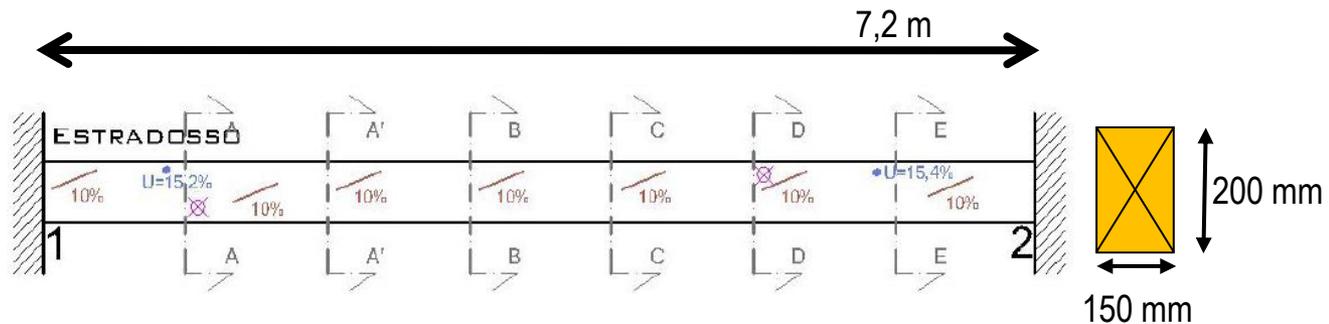
# Caso studio: Castel Belasi



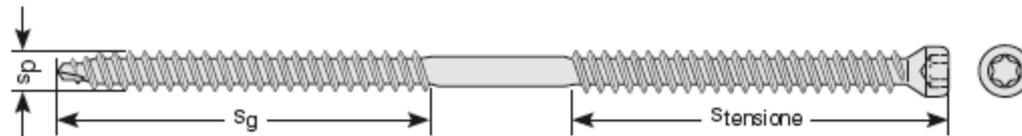
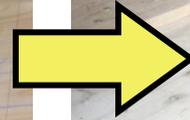
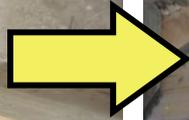
# Parametri intervento



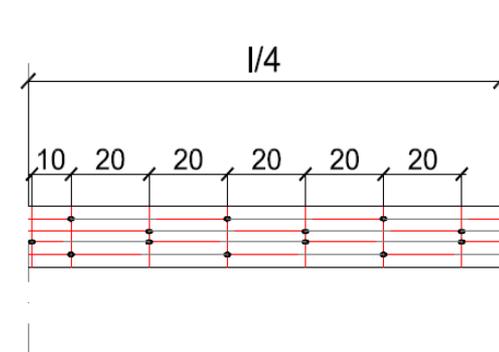
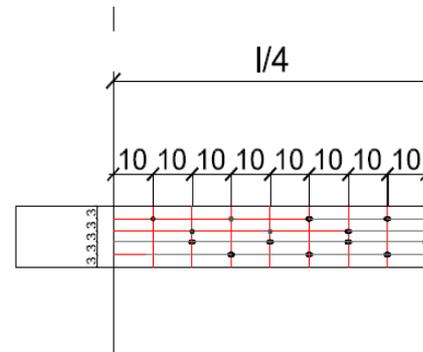
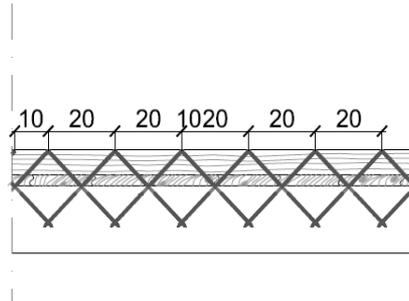
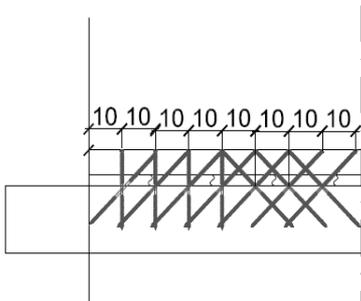
Solaio realizzato mediante 20 travi di larice in condizioni abbastanza buone



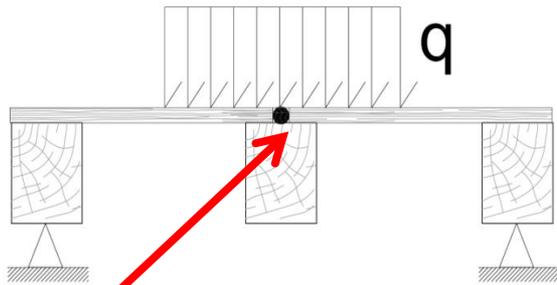
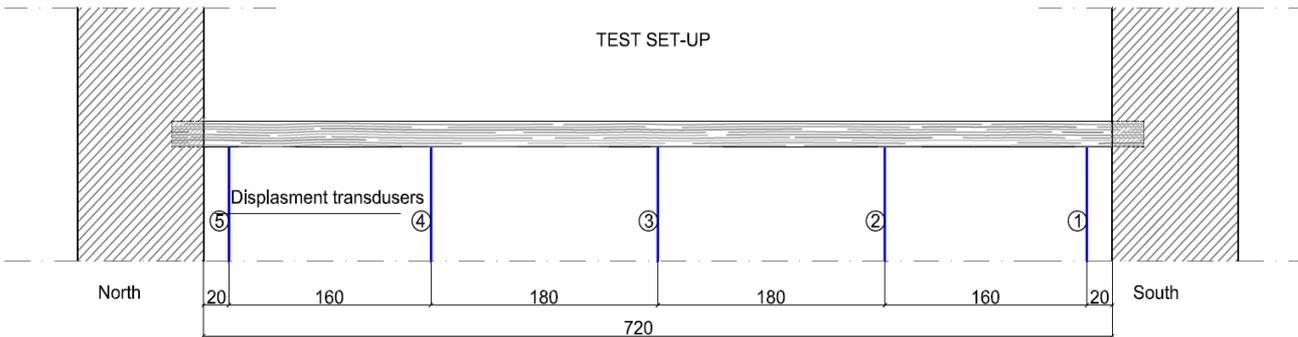
# In pratica



Coppie di viti tutto o doppio filetto messe con un'inclinazione di 45° rispetto alla fibra

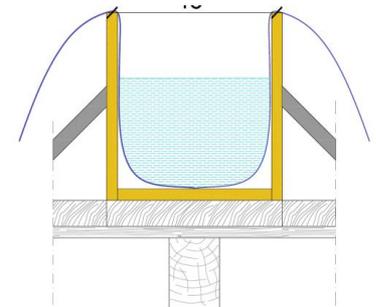
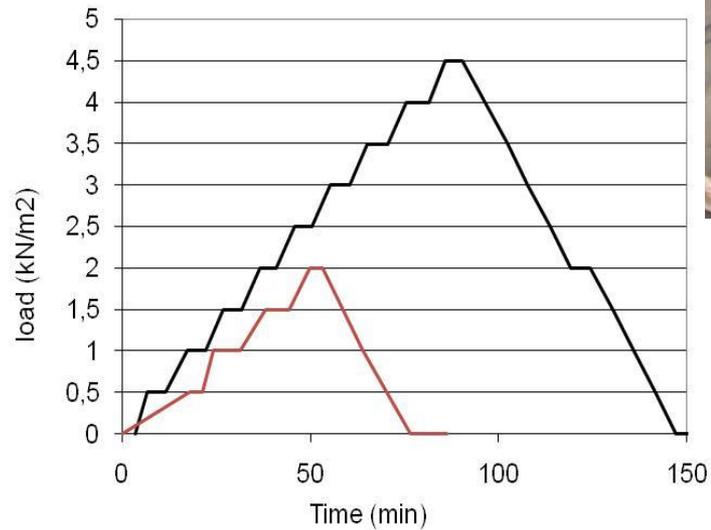


# Test di validazione

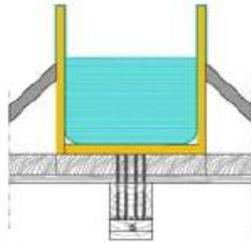


Taglio nel tavolato per evitare il contributo flessionale

Travi laterali temporaneamente puntellate

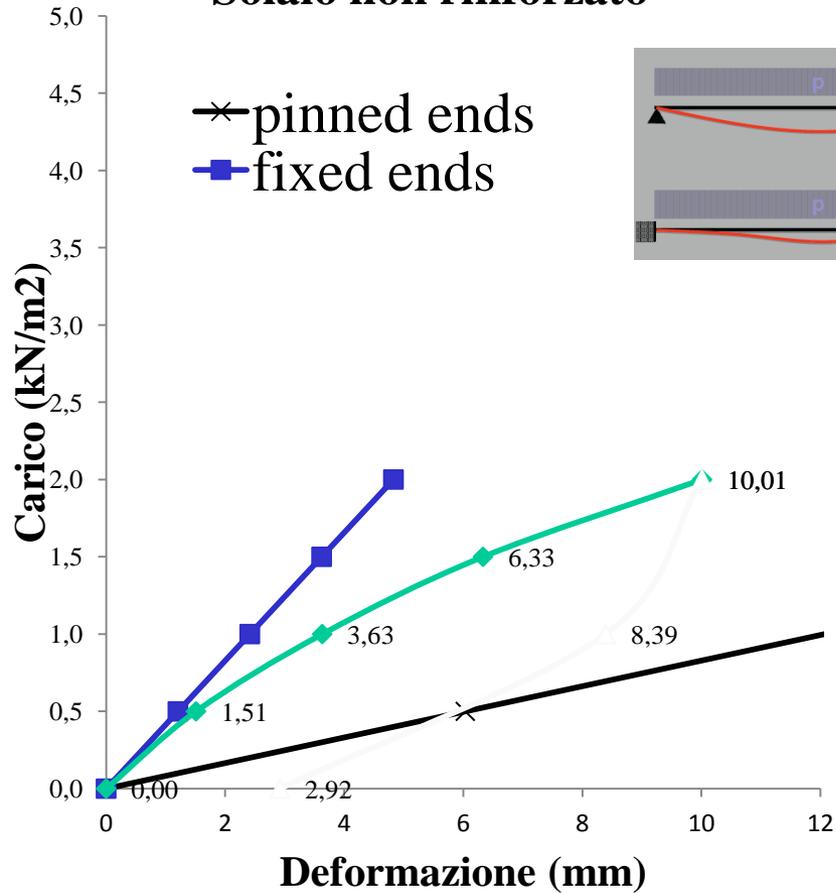


# Test di validazione

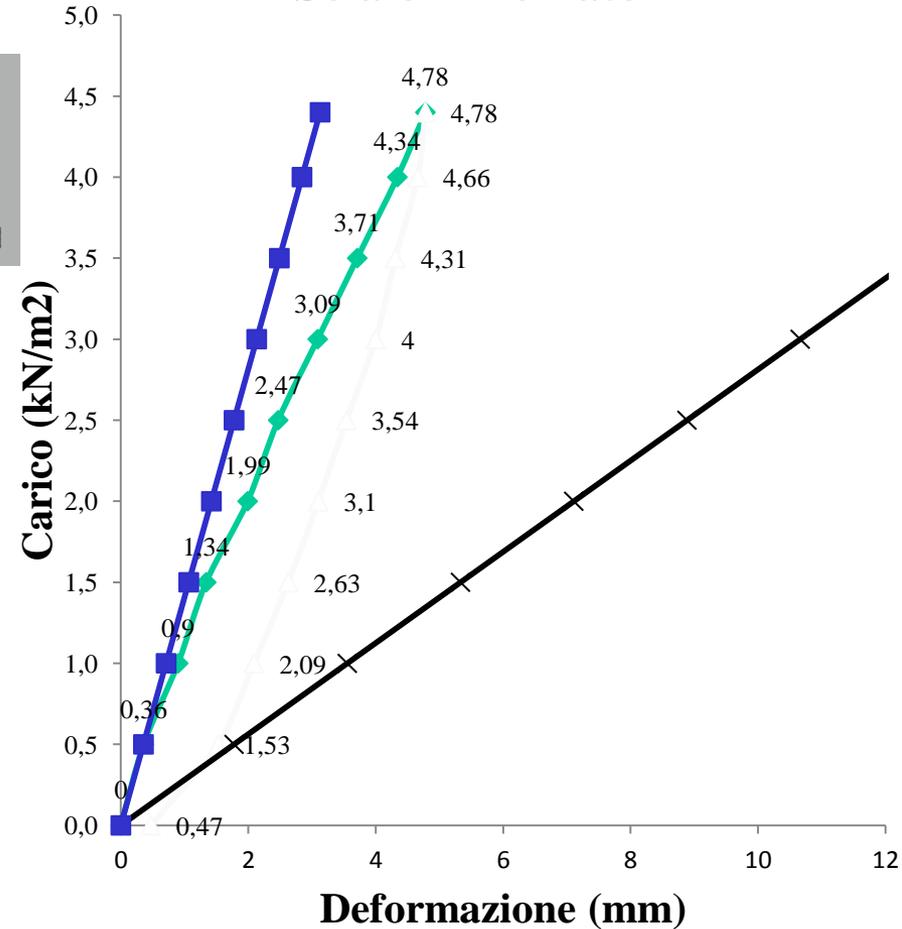


# Validazione sperimentale

## Solaio non rinforzato



## Solaio rinforzato



# Sintesi

- Prediligere tecniche a secco
- Prediligere tecniche reversibili
- Assicurarasi la compatibilità dei materiali
- Assicurarasi la possibilità di calcolare/valutare i benefici meccanici dell'intervento

**Grazie dell'attenzione!**