



dal 1972 *Cenci* anticipa l'evoluzione delle strutture in legno

# COLLEGAMENTI DI ELEMENTI IN LEGNO CON PIASTRE METALLICHE A SCOMPARSA

## IL CALCOLO DELLE TRAVI A GINOCCHIO



I collegamenti tradizionali a secco  
con spinotti o bulloni  
non sempre conseguono  
una completa *performance statica*,  
particolarmente nei confronti del fuoco,  
che invece è assicurata  
dai sistemi CNP (Cenci, Nosedà, Piazza)<sup>®</sup>  
che utilizzano gli adesivi epossidici XEPOX<sup>®</sup>.

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**<sup>®</sup>  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

Caro progettista, rispondo al quesito che mi ha posto. Oggetto è il dimensionamento e la verifica della tenuta del giunto di una trave a ginocchio con la tecnica CNP (Cenci, Nosedà, Piazza)<sup>®</sup>, che trova origine nelle mie inventive e nell'impiego degli adesivi Xepox.

L'occasione mi è propizia per raffrontare con la massima onestà la tecnica CNP con quella tradizionale, cosiddetta "a secco", che pure consiste nell'inserire una piastra a scomparsa nel legno, però fissandola con una serie di spinotti in acciaio.

Dimostrerò che il sistema CNP è a norma e permette anche un notevole risparmio economico. Altrettanto non può dirsi per il sistema tradizionale a secco, più oneroso non tanto per occorrenza di materiale ma per operatività costruttiva ed anche meno affidabile ai fini della sicurezza.

Certamente noterà le esemplificazioni che ho adottato, che però sono tutte a favore di sicurezza.

Il tema è dunque il giunto di una trave per la formazione di abbaini (cappuccine), avente la geometria in fig. 1), che esemplificando, pure a favore di sicurezza, Lei ha previsto soggetta ad un carico uniforme di  $\text{daN/m}^2$  240 per una banda di influenza di mt. 1,50. Quindi un carico complessivo di  $\text{daN/m}$  360 che arrotondo a  $\text{daN/m}$  380, comprensivo del peso proprio della trave.

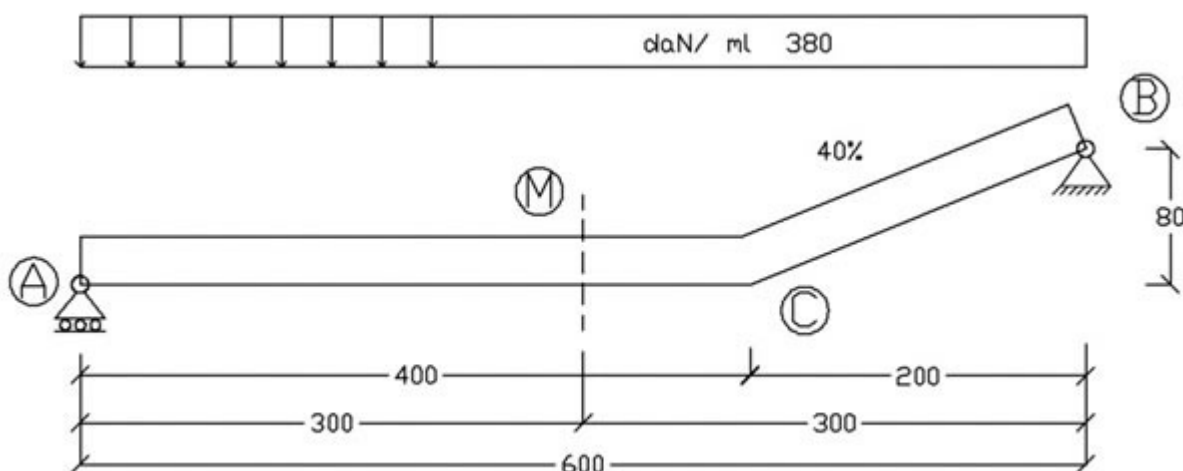


Fig.1

Stante lo schema, risulterà:

$$M_{\max(m)} = q \cdot l^2 / 8 = 380 \cdot 6,00^2 / 8 = \text{daN} \cdot \text{m} \ 1.710$$

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

Nell'ipotesi di impiegare lamellare BS11, quello più comunemente usato, ai fini della massima sollecitazione flessionale ammissibile di  $\text{daN/cm}^2$  110, sarà:

$$W_{\min} = M / \sigma = \text{daN} \cdot \text{cm} \ 171.000 / 110 = \text{cm}^3 \ 1.554,54$$

posto  $b = \text{cm} \ 16$ , determino:  $h_{\min} = \sqrt{W \times 6/b} = \sqrt{155.454 \times 6/16} = \text{cm} \ 24,1$

Fatto salve successive verifiche, se adottassi una sezione  $\text{cm} \ 16 \times 24$ ,

l'inerzia sarebbe  $\rightarrow J = b \cdot h^3 / 12 = 16 \cdot 24^3 / 12 = \text{cm}^4 \ 18.432$

La deformazione elastica risulta:

$$f = 5/384 \cdot (q \cdot \ell^4) / E // \cdot J = 5/384 \cdot (3,8 \cdot 600^4) / (110.000 \cdot 18.432) = \text{cm} \ 3,162 = \ell / 189$$

Siccome la trave è troppo deformabile, verifico con la sezione maggiore  $\text{cm} \ 16 \times 28$ .

Essendo  $W = b \cdot h^2 / 6 = \text{cm}^3 \ 2.090,6$

$\sigma_{\text{fless}} = M / W = 171.000 / 2090,6 = \text{daN/cm}^2 \ 81,8 < 110$

Essendo  $J = \text{cm}^4 \ 2.9269$ , risulterà  $f = \text{cm} \ 1,99 = \ell / 301$

Sarà ancora:

$$T_A = R_A = R_B = q \cdot \ell / 2 = 380 \cdot 6,00 / 2 = \text{daN} \ 1.140$$

$$\tau = T \cdot 1,5 / A = (1.140 \cdot 1,5) / (16 \cdot 28) = \text{daN/cm}^2 \ 3,81 < 12$$

e nel nodo **B** sarà:

$$T_B = R \cdot \cos \alpha = 1.140 \cdot \cos 21^\circ,8 = \text{daN} \ 1.058$$

$$N_B = R \cdot \sin \alpha = 1.140 \cdot \sin 21^\circ,8 = \text{daN} \ 423 \text{ (trazione)}$$

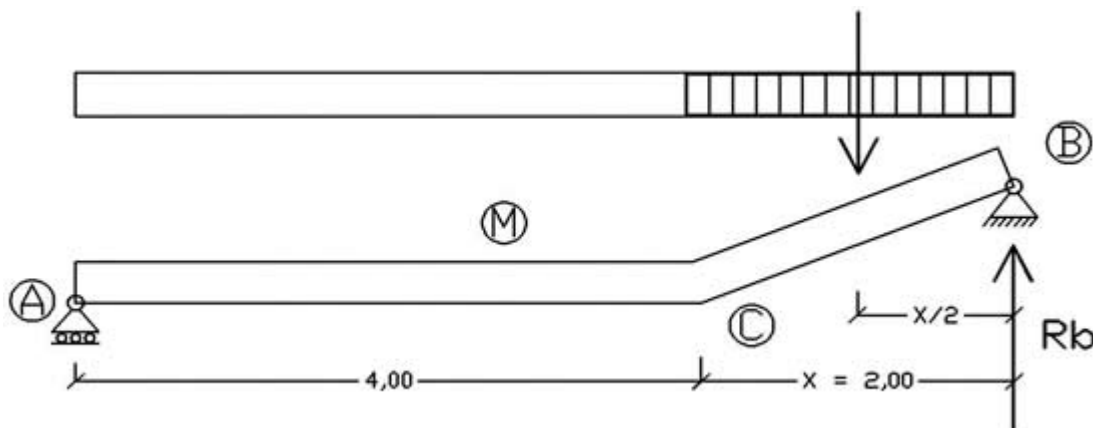


Fig.2

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

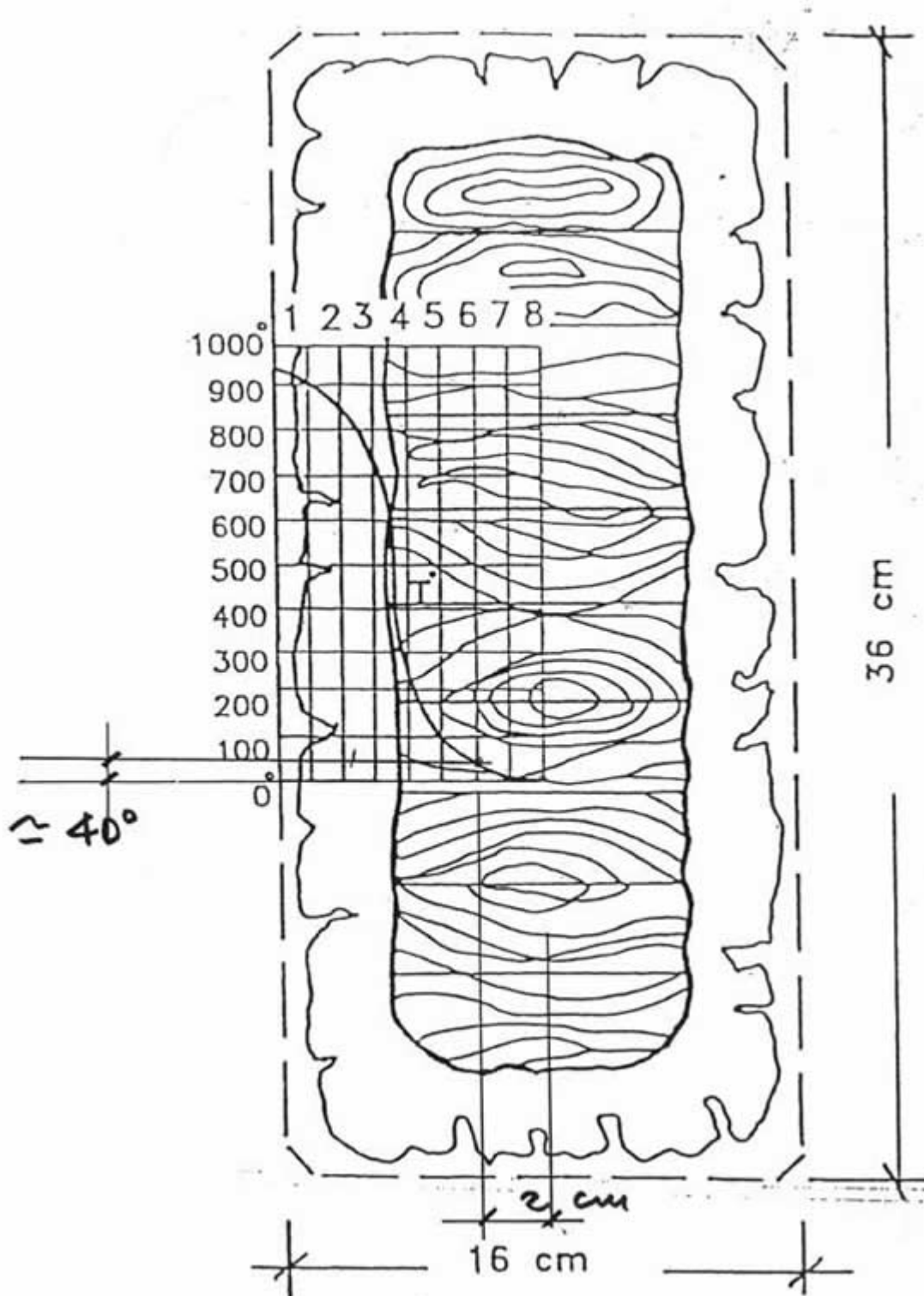


Fig.3

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

$$M_C = R_B \cdot x - q \cdot x \cdot x/2 = q \cdot l/2 \cdot x - q \cdot x^2/2 = q \cdot (l/2 \cdot x - x^2/2) =$$

$$= 380 \cdot (3,00 \cdot 2,00 - 2,00^2/2) = \text{daN } 1.520$$

Presumendo un collegamento con un solo inserto metallico ed ipotizzando una fresatura di cm 2, considero la sezione utile del legno di cm 14x28.

Di per se, questa sezione lignea netta è sufficiente, anche non considerando l'apporto del ferro omogeneizzato a legno.

Pensiamo sin d'ora che questo giunto, così importante, debba essere certificato per una resistenza al fuoco di 60 minuti primi.

Facendo riferimento al diagramma sperimentale dei Vigili del Fuoco (fig.3), sappiamo che la temperatura del legno resta praticamente invariata già sotto 2 cm dalla superficie della sezione residua.

L'adesivo epossidico inserito all'interno della sezione lignea non subisce alcuna modificazione se ben protetto dal legno stesso.

Anche in corrispondenza dell'accostamento di testa delle due aste lignee, la penetrazione della carbonizzazione avviene con la stessa intensità stimata per il legno.

Per tale motivo fisso in cm  $0,07 \cdot 60' + \text{cm } 2$  della fresata = cm 6,2 la minima distanza dal punto più profondo dell'intaglio rispetto all'intradosso della trave.

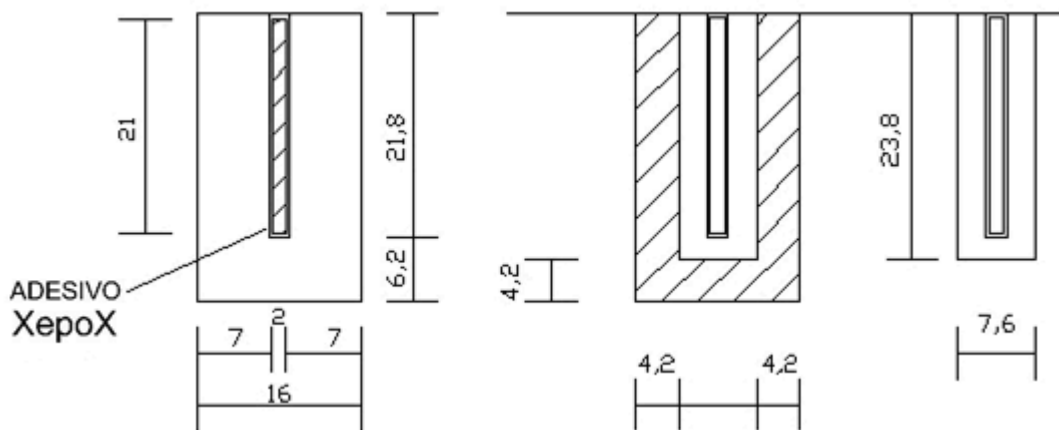


Fig. 4

sezione residua dopo 60' di fuoco

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**XepoX**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



## 1ª VERIFICA CONDIZIONE ORDINARIA

In questa prima verifica non teniamo conto del contatto legno-legno.

Fissiamo in cm 21 l'altezza della piastra metallica, che intendiamo sia costituita da n°2 lamiere striate con le striature rivolte verso l'esterno. Le piastre dovranno essere ben spianate per poterle inserire senza difficoltà e saranno fissate tra loro con alcuni punti di saldatura lungo il perimetro ed anche nelle zona centrale. Le superfici dovranno essere pulite e preferibilmente sabbiate con trattamento SA3, protetto da una velatura di zinco inorganico (circa 40 micron [ $\mu$ ]).

Le piastre striate sono convenzionalmente in acciaio Fe 36, a volte Aq 42 (Fe 43). Supponiamo di disporre di lamiere striate Fe 43 ( $\sigma_{\text{ammissibile}}$  daN/cm<sup>2</sup> 1900).

$$W_{\text{min piastra}} = M_c / \sigma_{\text{Fe43}} = 152.000 / 1900 = \text{cm}^3 80$$
$$\text{spessore minimo} = W \cdot 6 / h^2 = 80 \cdot 6 / 21^2 = \text{cm } 1,09$$

Quindi n°2 lamiere mm 6 + mm 2 risalti, il tutto per uno spessore complessivo del ferro di mm 16, incluso i risalti, inserito in una fresatura della larghezza di mm 20, avendo lasciato un gioco di mm 2 per parte.

Volendo includere nella verifica anche l'azione assiale e l'azione tagliante, peraltro assai modeste, nel caso specifico essendo:

$$M_c = \text{daN}\cdot\text{cm } 152.000$$

$$N_c = \text{daN } 141$$

$$T_c = \text{daN } 353$$

$$A_{\text{Fe}} = 2 \cdot 0,6 \cdot 21 = \text{cm}^2 25,2$$

$$W_{\text{Fe}} = 2 \cdot 0,6 \cdot 21^2 / 6 = \text{cm}^3 88,2$$

$$\sigma_{\text{Fe id}} = \sqrt{(152.000/88,2)^2 + (141/25,2)^2 + 3 \cdot (353 \cdot 1,5/25,2)^2} =$$
$$= \sqrt{1.723^2 + 5,6^2 + 3 \cdot 21^2} = \text{daN/cm}^2 1.723,3 < 1.900$$

(Ovviamente, nel nel caso specifico, questa verifica si poteva evitare. E' stata proposta al solo fine di promemoria della procedura)

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

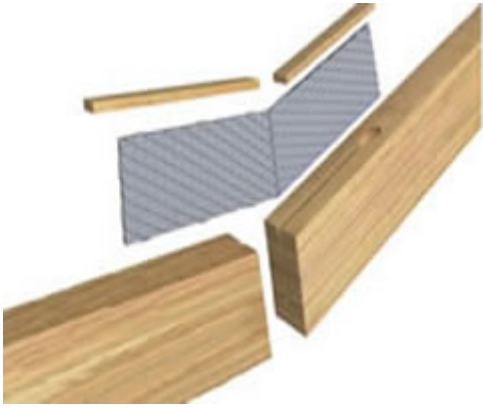


fig 5

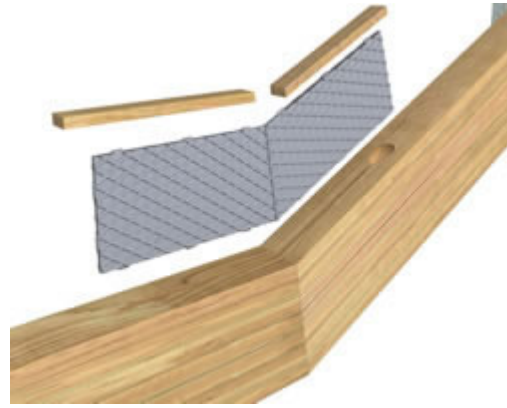


fig 6



fig 7



fig 8

Fig.5 - Le lastre ancora discostate, la doppia lamiera striata ed i listelli per la chiusura provvisoria delle fresate;

Fig.6 - Come sopra, ma con le aste accostate di testa;

Fig.7 - Colatura dell'adesivo bicomponente dopo aver applicato i listelli, siliconandoli sul perimetro;

Fig.8 - Vista del giunto dopo la rimozione dei listelli di tamponamento provvisorio;

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

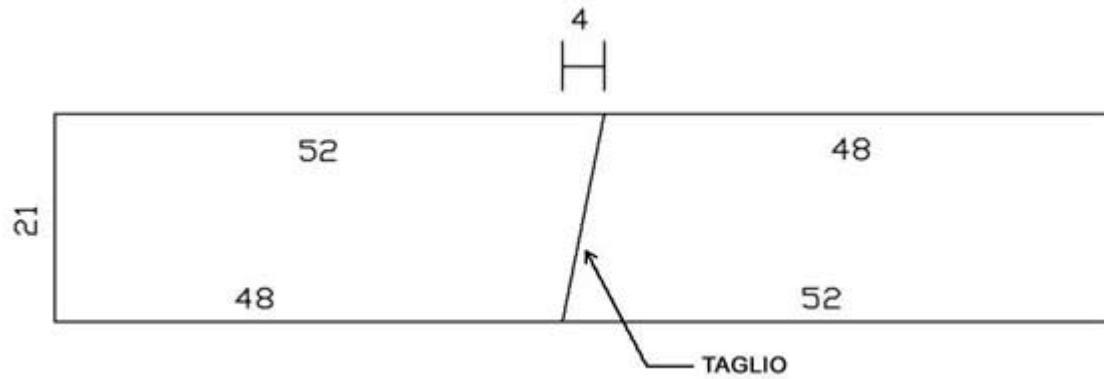


Fig. 9

Pensiamo di utilizzare lamiere di m 1 di larghezza, che tagliamo come in fig. 9

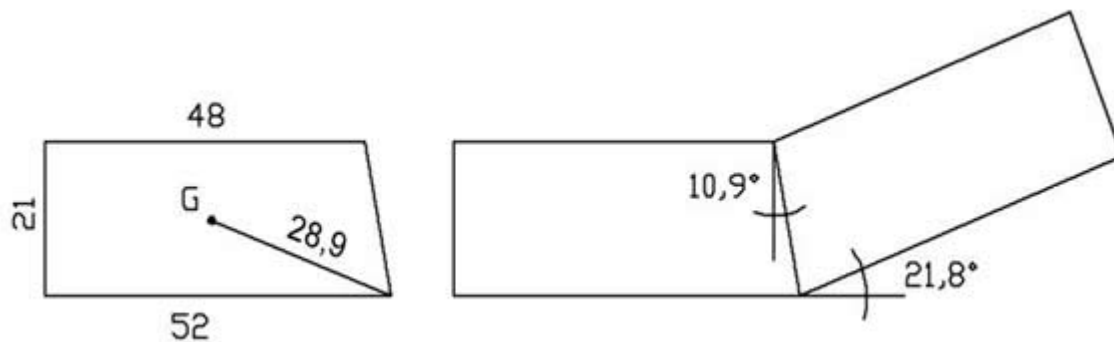


Fig. 10

$$\text{Inerzia polare della superficie interfacciata} = J_p = \begin{cases} J_x = \text{cm}^4 30.473 \\ J_y = \text{cm}^4 219.251 \end{cases}$$

$$J_p = J_x + J_y = \text{cm}^4 249.724$$

La flessione induce la piastra ad un comportamento torsionale nei confronti delle superfici incollate con le quali detta piastra si interfaccia.

Essendo il legno l'elemento più debole, la resistenza usufruibile è quella a taglio del legno, che non deve superare  $\text{daN/cm}^2 12$ . Le superfici interfacciate sono due. Il legno di conifera rompe a taglio //  $38 \div 42 \text{ daN/cm}^2$ ; l'adesivo epossidico Xepox rompe a taglio circa 10 volte tanto.

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



Nell'incollaggio il **momento torcente** è pari al **momento flettente** nella trave.

$$\mathcal{T}_{(\text{torc})} = (M \cdot d) / (2 \text{ facce} \cdot J_p) = (152.000 \cdot 28,9) / (2 \cdot 249.724) = \text{daN/cm}^2 \text{ } 8,5$$

A differenza di questo caso specifico, spesso i valori di taglio o sforzo assiale sono consistenti.

Tali forze si combinano tra loro e danno una risultante **R**, ripresa in modo uniforme dalle superfici interfacciate.

Essendo **N** e **T** forze ortogonali tra loro, risulterà:

$$R = \sqrt{N^2 + T^2} \text{ . Pertanto:}$$

$$\mathcal{T}_{(R)} = \sqrt{N^2 + T^2} / (2 \text{ facce} \cdot \text{Area}) = \sqrt{141^2 + 353^2} / (2 \cdot \text{cm}^2 \text{ } 1050) = \text{daN/cm}^2 \text{ } 0,18$$

$$\mathcal{T}_{\text{eff}} = \mathcal{T}_{\text{torc.}} + \mathcal{T}_R = 8,5 + 0,18 = \text{daN/cm}^2 \text{ } 8,68 < 12$$

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

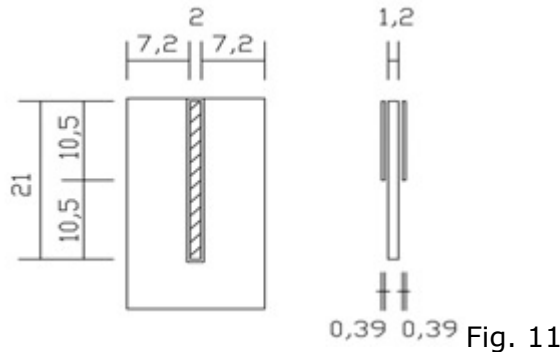
## 2ª VERIFICA CONDIZIONE ORDINARIA CONSIDERANDO IL CONTATTO LEGNO-LEGNO

E' possibile tener conto del contatto legno-legno di testa.

Incominciamo con il definire il fattore di omogeneizzazione **m** dell'acciaio con il legno, che individuiamo in base al rapporto tra i moduli di elasticità, per cui:

$$m = E_{Fe} / E_{LL} = 2.100.000 / 110.000 = 19$$

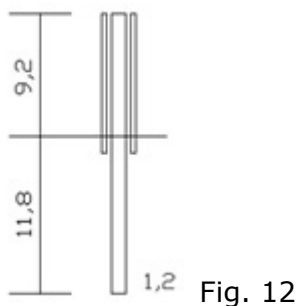
Questa la sezione in essere:



Esemplificando il procedimento e, a favore di sicurezza, scartando l'ipotesi di utilizzare la resina per il contatto legno-legno in zona tesa, sarà:

$$\text{Spessore ideale del legno per parte} = ( 16 - 1,2 ) / ( 2 \cdot 19 ) = \text{cm } 0,39$$

Possiamo provare a ridurre lo spessore del ferro, oppure passare ad una lamiera Fe 36. Con lamiera Fe 36 in prima istanza risulta:



$$A = \text{cm}^2 33,39$$

$$J = \text{cm}^4 1.171,7$$

$$z_{\text{max}} = \text{cm } 11,8$$

$$W_{\text{min}} = \text{cm}^3 99,3$$

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

In seconda istanza risulta :

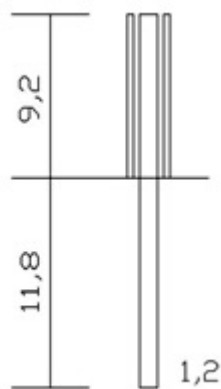


Fig. 13

$$A = \text{cm}^2 32,38$$

$$J = \text{cm}^4 1.171$$

Per la zona superiore compressa:

$$z = 9,2 ; W = 1171 / 9,2 = \text{cm}^3 127,28$$

$$\sigma_{\text{max id}} = M / W = 152.000 / 127,28 = \text{daN/cm}^2 1.194 < 1.600$$

Per la zona tesa:

$$z = 11,8 ; W = 1171/11,8 = \text{cm}^3 100,9$$

$$\sigma_{\text{max}} = M / W = 152.000 / 100,9 = \text{daN/cm}^2 1.506,4 < 1.600$$

La verifica assicura che le piastre striate possono appartenere anche alla classe Fe 36.

Invece, l'utilizzo di n°2 lamiere striate Fe 43 spessore mm 5 + risalti, avrebbe comportato:

$$\sigma_{\text{max id compr}} = \text{daN / cm}^2 1.360 < 1.900$$

$$\sigma_{\text{max traz}} = \text{daN / cm}^2 1.804 < 1.900$$

Spesso, la verifica a torsione di piastre molto allungate non produce risultati convenienti. Infatti allungando la piastra viene aumentata anche la distanza tra il baricentro ed il punto periferico più sollecitato, per cui il beneficio è modesto.

I sistemi di connessione rigidi, come si è visto, possono essere valutati per la loro resistenza a torsione, ma quando usufruiscono di piastre molto allungate, è meglio verificarli come mezzi di connessione in grado di riprendere le forze secondo la teoria della flessione semplice (diagramma farfalla).



Fig. 14

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

Gli stessi principi della succitata teoria regolano la determinazione della lunghezza necessaria della piastra metallica, tenendo conto che la sollecitazione tagliante sulla superficie lignea interfacciata indotta dalla flessione della piastra è massima in corrispondenza dei bordi. Per tale ragione la massima sollecitazione a taglio attribuibile a legno, al limite dei bordi compressi e tesi, è accettabile nella misura di  $\text{daN/cm}^2$  12 per il legno lamellare e di  $\text{daN/cm}^2$  9 per il legno massiccio e si riduce progressivamente verso l'asse neutro.

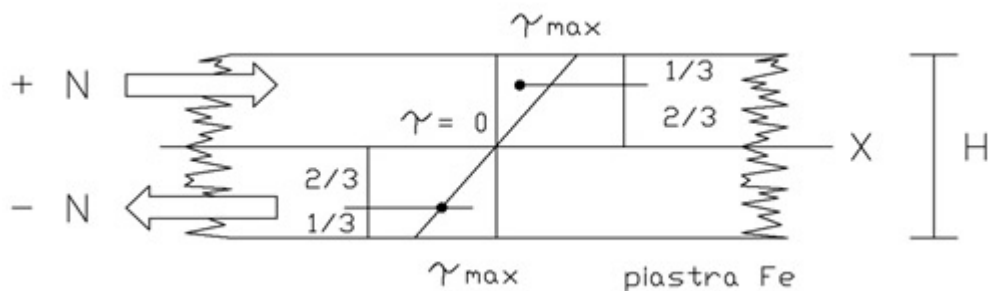


Fig. 15

$$N_{\text{max attribuibile alla piastra}} = \sigma_{\text{Fe max}} \cdot \text{spessore piastra} \cdot (h/2 \text{ piastra})^2 / 2$$

$$N_{\text{unitaria assorbibile a taglio dal legno}} = (h/2 \text{ piastra}) \cdot (2/3 \cdot \tau_{\text{adm}})$$

$$\text{lunghezza della piastra} = N_{\text{Fe}} / 2 \text{ facce} \cdot N_{\text{unit. legno}}$$

Ritornando al nostro caso:

$$M = \text{daN} \cdot \text{m} \ 1.520$$

$$h_{\text{piastra}} = \text{cm} \ 21$$

$$N_{\text{Fe}} = 152.000 / (21 \cdot 2/3) = 152.000 / 14 = \text{daN} \ 10.857$$

$$N_{\text{unit. applicabile al legno}} = \text{daN/cm}^2 \ 12 \cdot 21/2 \cdot 2/3 = \text{daN/cm} \ 84$$

$$\ell_{\text{piastra}} = \text{daN} \ 10.857 / \text{daN/cm} \ 84 \cdot 2 \text{ facce} = \text{cm} \ 64,6$$

In questo caso, l'utilizzo della verifica per coppia di forze è risultata meno conveniente. Volta per volta si deciderà sulla modalità di verifica. Magari eseguendole tutte a favore di sicurezza.

Altro aspetto che qui non trattiamo, ma che necessita di verifica è la saldatura delle piastre. Meglio, cautelativamente, pensarla di II classe.

E' sempre conveniente prescrivere saldature a completa penetrazione, richiedendo che i bordi siano opportunamente cianfrinati. Il provetto saldatore sa bene tutte le regole, incluso il leggero stacco (1 mm) da dare alle piastre per la saldatura.

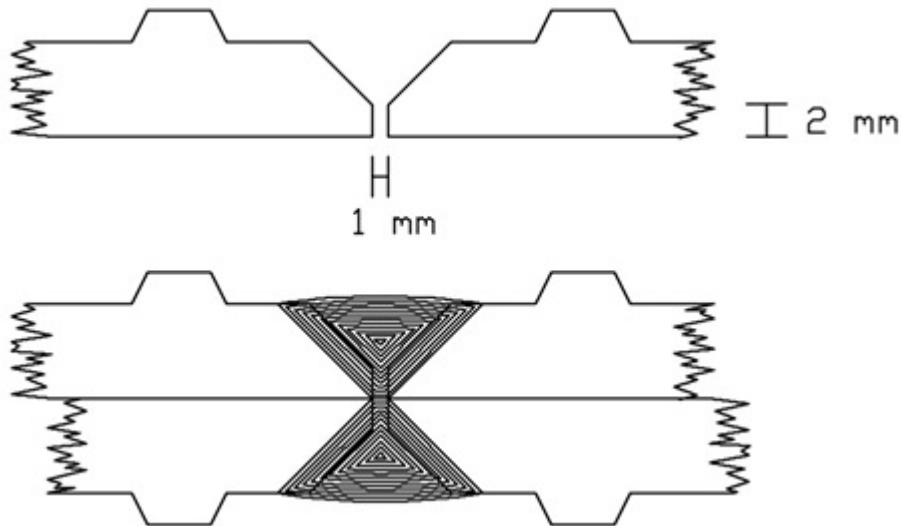


Fig. 16

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



## VERIFICA AL FUOCO DEL GIUNTO RESINATO

La zona geografica corrisponde alla pianura veneta. Altitudine inferiore a mt. 200 s.l.m.

La verifica al fuoco viene fatta applicando una riduzione del 30% al sovraccarico neve

$$q_{\text{neve ordinario}} = 0,8 \cdot 160 = \text{daN/m}^2 \text{ 128}$$

Il carico imposto complessivo sarà:

$$\text{mt. } 1,5 \cdot \text{daN/m}^2 ( 240 - 128 \cdot 0,3 ) = \text{daN/ml } 302,4$$

Considerando che anche la sezione della trave andrà a ridursi sotto il carico di incendio. Pur molto cautelativamente possiamo assumere  $q = \text{daN/ml } 300$

Per la posizione **M**

$$M_{\text{max}} = 300 \cdot 6,00^2 / 8 = \text{daN}\cdot\text{m } 1.350$$

$$\text{Sez. trave a } 60' \text{ Fuoco} = b \cdot h = [ 16 - ( 2 \cdot 60 \cdot 0,07 ) ] \times ( 28 - 60 \cdot 0,07 ) = 7,6 \times 23,8$$

$$A = \text{cm}^2 \text{ 180}$$

$$W = \text{cm}^3 \text{ 717}$$

$$J = \text{cm}^4 \text{ 8.538}$$

$$\sigma_{\text{fless M}} = 135.000 / 717 = \text{daN/cm}^2 \text{ 188,28 ( compreso tra daN/cm}^2 \text{ 180 e 240 )}$$

Per la posizione del gomito risulterà:

$$M_c = 300 \cdot ( 3,00 \cdot 2,00 - 2,00^2 / 2 ) = \text{daN}\cdot\text{m } 1.200$$

$$R_A = R_B = 300 \cdot 6,00 / 2 = \text{daN } 900$$

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

### Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



Verifichiamo per le seguenti condizioni:

- A - Verifica della piastra metallica sul passaggio tra i due elementi lignei **senza tener conto** del contatto legno-legno;
- B - Verifica della piastra metallica sul passaggio tra le due sezioni, **tenendo conto** del contatto legno-legno;
- C - Verifica della sezione ideale in essere all'interno del collegamento

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

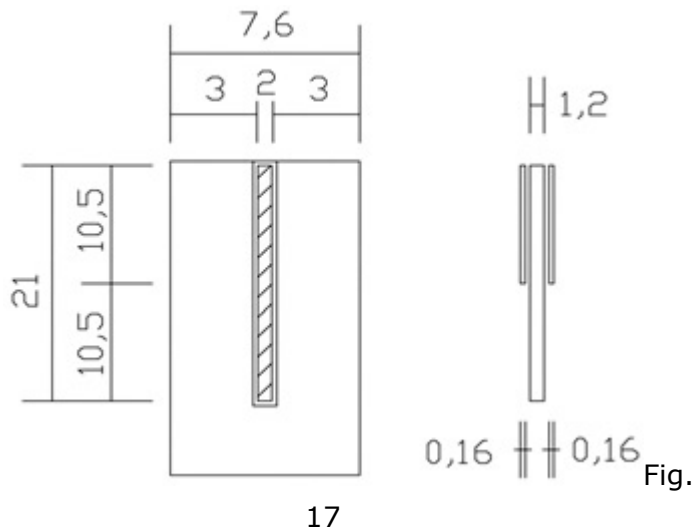
**A ) Sul passaggio tra le due sezioni, senza tener conto del contatto legno-legno.**

Quanto già precedentemente analizzato, per condizioni di carico ben superiori, garantisce il buon funzionamento anche per la condizione fuoco.

**B ) Sul passaggio tra le due sezioni, tenendo conto del contatto legno-legno.**

La verifica è del tutto simile a quella precedentemente fatta con il legno a sezione piena, prima dell'attacco del fuoco

Esemplificando il procedimento, a favore di sicurezza e scartando l'ipotesi di utilizzare la resina per il contatto legno-legno teso, sarà:

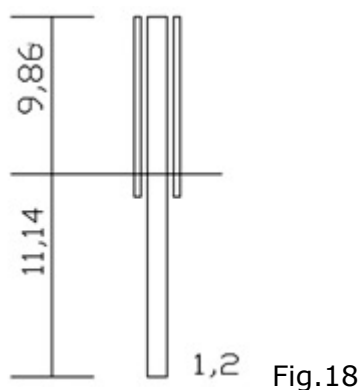


Spessore complessivo  
residuo a 60' fuoco =  
= 16 - 2 x 4,2 = cm 7,6

Spessore legno per parte =  $( 7,6 - 1,2 ) / ( 2 \cdot 19 ) = \text{cm } 0,168$

Possiamo provare a ridurre lo spessore del ferro; oppure pensare ad una lamiera Fe 36.

Utilizzando lamiera Fe36, risulta in prima istanza:



$A = \text{cm}^2 28,73$   
 $J = \text{cm}^4 1.043,8$   
 $Z_{\text{max}} = \text{cm } 11,14$   
 $W_{\text{min}} = \text{cm}^3 93,7$

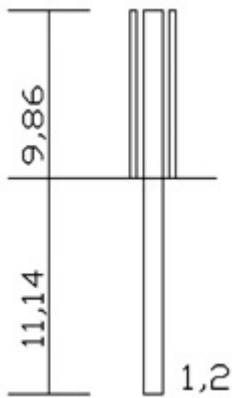
maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

In seconda istanza:



$$A = \text{cm}^2 28,51$$

$$J = \text{cm}^4 1.043,7$$

Per la zona superiore compressa:

$$z = 9,86 ; W = 1.043 / 9,86 = \text{cm}^3 105,8$$

$$\sigma_{\text{max id}} = M / W = 120.000 / 105,8 = \text{daN/cm}^2 1.134 < 1600$$

Per la zona tesa:

$$z = 11,14 ; W = 1.043 / 11,14 = \text{cm}^3 93,62$$

$$\sigma_{\text{max}} = M / W = 120.000 / 93,62 = \text{daN/cm}^2 1.281 < 1600$$

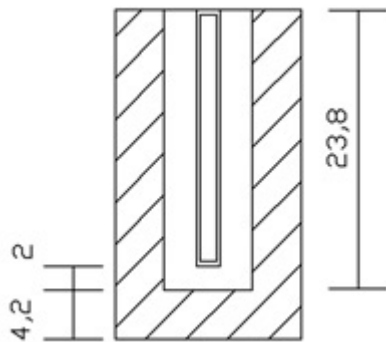
Le piastre striate possono appartenere anche alla classe Fe 36, se dello spessore utile di mm 6+6.

Invece, l'utilizzo di n°2 lamiere striate spessore mm 5 + risalti (  $J_{\text{id}} = \text{cm}^4 887,36$  ), avrebbe comportato:

$$\sigma_{\text{max id compr}} = \text{daN / cm}^2 1317 < 1900$$

$$\sigma_{\text{max traz}} = \text{daN / cm}^2 1522 < 1900$$

### C) Disponibilità di sezione utile interna alla giunzione.



$$\begin{aligned} \text{Sezione lorda utile } 60' \text{ fuoco} &= \\ &= \text{cm } 7,6 \times 23,8 \end{aligned}$$

Fig. 20

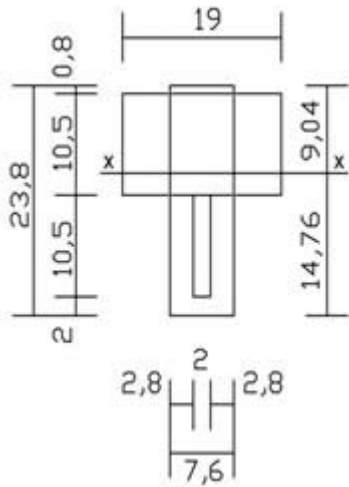
maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

Sezione omogeneizzata, in 1<sup>a</sup> istanza:



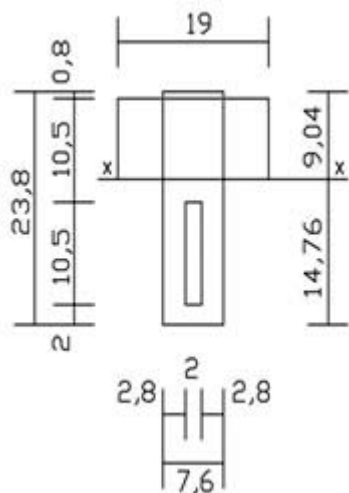
Con n°2 piastre striate accoppiate di cm 0,5 ciascuna, spessore id Fe =  $2 \cdot 0,5 \cdot 19 = \text{cm } 19$

$$A_{id} = \text{cm}^2 279,5$$

$$J_{id} = \text{cm}^4 10.802$$

Fig. 21

Sezione omogeneizzata in 2<sup>a</sup> istanza



$$A_{id} = \text{cm}^2 253,8$$

$$J_{id} = \text{cm}^4 10.755$$

$$W_{sup} = 10.755 / 9,04 = \text{cm}^3 1.189$$

$$W_{inf} = 10.755 / 14,76 = \text{cm}^3 728$$

Fig. 22

La sollecitazione ideale massima a flessione nella zona copressa risulta:

$$\sigma_{id} = 120.000 / 1.189 = \text{daN/cm}^2 109 < ( 180 \div 240 )$$

La sollecitazione massima a flessione nella zona tesa risulta:

$$\sigma_{id} = 120.000 / 728 = \text{daN/cm}^2 164,8 < ( 180 \div 240 )$$

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



## VERIFICA DI UN COLLEGAMENTO "A SECCO" CON FUNZIONE EQUIPARABILE AL PRECEDENTE GIUNTO RESINATO

Passiamo ora a considerare una connessione di tipo tradizionale, cosiddetta "a secco", attenendo esclusivamente alla norma DIN 1052 ed alle norme in materia di resistenza al fuoco.

Per la stessa coppia di forze di  $\pm$  daN 10.857, definita sulla base del momento di daN·m 1.520 e del braccio di cm 14, opterò per un collegamento con piastra a scomparsa utilizzando spinotti, anziché bulloni che offrono minori prestazioni ed hanno una superficie maggiormente esposta al fuoco. In effetti, dovrò applicare qualche bullone calibrato, a valere anche come spinotto e con funzione di ritenuta della connessione.

Devo scegliere tra spinotti  $\varnothing$  mm 16 e  $\varnothing$  mm 20. Per comodità, facendo riferimento alle tabelle del mio libro del 1980, utilizzando spinotti  $\varnothing$  mm 16, per ciascun elemento laterale di due sezioni resistenti, ciascuna dello spessore di mm 70, sarà  $N = \text{daN } 616$  ( oppure con spessore mm 75 sarà  $N = \text{daN } 660$  ). Invece, con spinotti  $\varnothing$  mm 20, per ciascuna elemento laterale di due sezioni resistenti, se ciascuna dello spessore di mm 70,  $N = \text{daN } 770$ ; però con ciascuna sezione di mm 75 sarà  $N = \text{daN } 825$ .

Essendo l'elemento centrale costituito da una piastra in acciaio, le suddette forze resistenti sono amumentabili del 25%.

La distanza tra i perni deve essere di non meno di cinque volte il loro diametro e la distanza dai bordi di 3 volte il diametro. Inoltre i perni vanno fissati in posizione sfalzata. (Vedi fig. 20)

Il dettaglio delle regole DIN su spinotti e bulloni è ben evidenziato nel mio libro, recuperabile integralmente e gratuitamente dal mio sito [www.cenci.com](http://www.cenci.com), facendo il seguente percorso : "Home page" / "Cenci" / "Pubblicazioni e bibliografia" e cliccando poi sulla voce "**free download**" all'altezza del libro: "**Giovanni Cenci, 1980 - STRUTTURE IN LEGNO - Calcolo e costruzione con riferimento alla DIN 1052**".

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



fig 23

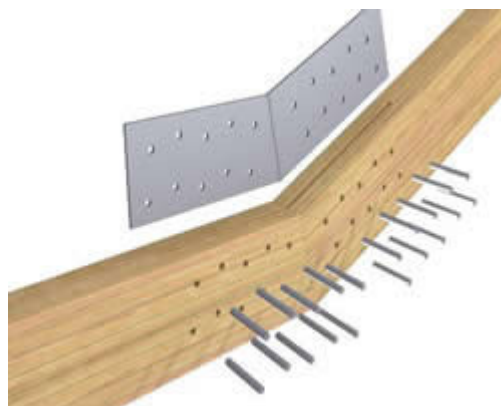


fig 24



fig 25



fig 26

Fig.23 - Le lastre ancora discostate, la lamiera liscia ed i connettori disinseriti;

Fig.24 - Come sopra, ma con le aste accostate di testa;

Fig.25 - Inserimento della lamiera e degli spinotti;

Fig.25 - Vista del giunto assemblato;

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

## COLLEGAMENTO CON SPINOTTI Ø 16 mm

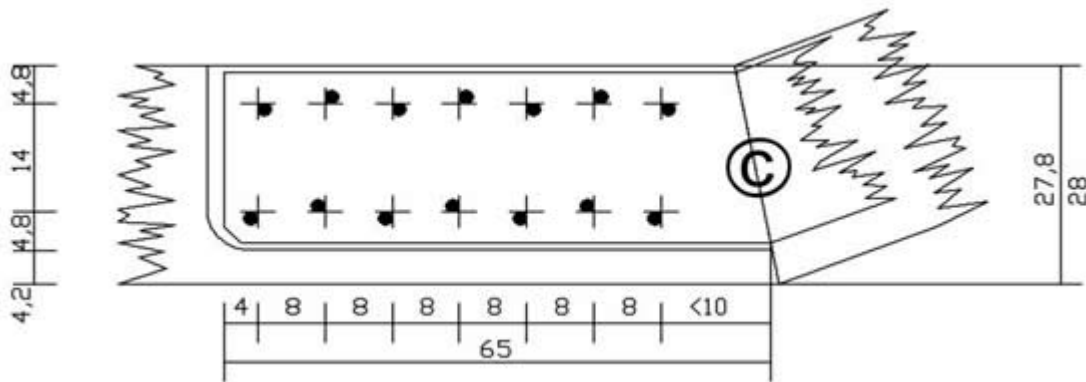


Fig. 27

$$M_c = \text{daN.m } 1520$$

Per la coppia di file con spinotti Ø mm 16

$$N_{\text{adm}} = 2 \cdot 616 \cdot 1,25 = \text{daN } 1.540$$

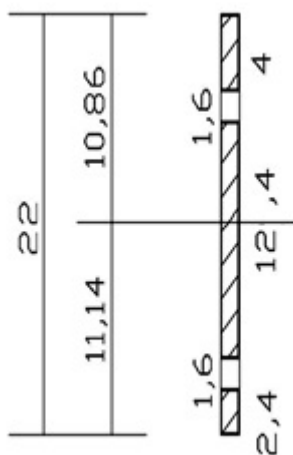
$$n^{\circ} \text{ perni} = 10.857 / 1.540 = n^{\circ} 7,05 \text{ ---} > n^{\circ} 7$$

$$\text{Per il polo compresso: ---} > \text{lunghezza} = 3 \varnothing + 6 \cdot 5 \varnothing + 3 \varnothing = 36 \varnothing = \text{cm } 57,6 \text{ ---} > \text{cm } 60$$

$$\text{Per il polo teso: ---} > \text{lunghezza} = 6 \varnothing + 6 \cdot 5 \varnothing + 3 \varnothing = 39 \varnothing = \text{cm } 62,4 \text{ ---} > \text{cm } 65$$

$$\text{L'altezza della piastra deve essere: ---} > 2 \cdot (2 \varnothing + 1/2 \varnothing) + 14 = \text{cm } 22 > 21$$

Lamiera Fe 36 spessore mm 10



$$A_{\text{id Fe}} = \text{cm}^2 18,8$$

$$J_{\text{id Fe}} = \text{cm}^4 727,4$$

$$W_{\text{min Fe}} = 65,29 / 9,04 = \text{cm}^3 1.189$$

$$\sigma_{\text{fless Fe}} = \text{daN/cm}^2 2.328 > 1.600$$

Con lo spessore della piastra di mm 10 è necessario impiegare Fe 51. Invece, se si adotta lamiera Fe 36, lo spessore deve essere non meno di mm 15.

Fig. 28

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

### VARIANTE CON SPINOTTI Ø 20 mm

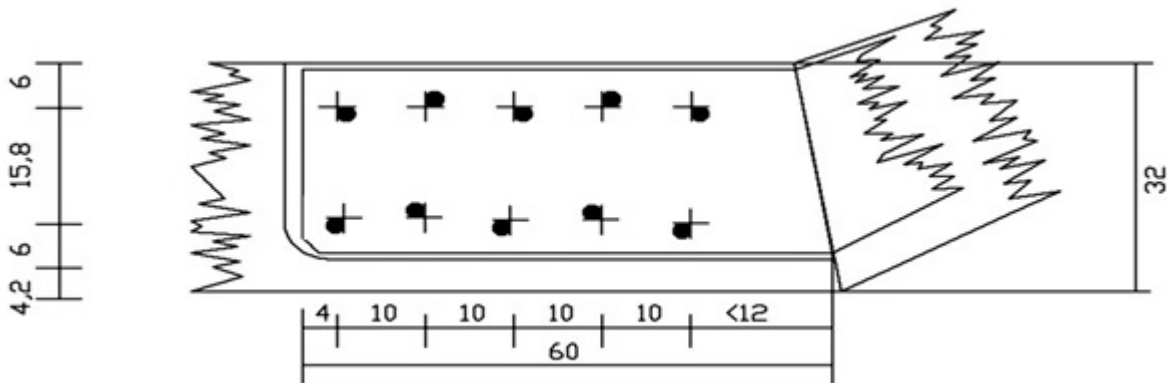


Fig. 29

$$M = \text{daN.m } 1520$$

$$N = 152.000 / 15,8 = \text{daN } 9620$$

Per la coppia di file con spinotti Ø mm 20

$$N_{\text{adm}} = 2 \cdot 770 \cdot 1,25 = \text{daN } 1.925$$

$$n^{\circ} \text{ perni} = 9.620 / 1.925 = n^{\circ} 4,99 \text{ ---} \rightarrow n^{\circ} 5$$

Per il polo compresso:

$$\text{lunghezza} = 3 \varnothing + 4 \cdot 5 \varnothing + 3 \varnothing = 26 \varnothing = \text{cm } 52 \text{ ---} \rightarrow \text{cm } 55$$

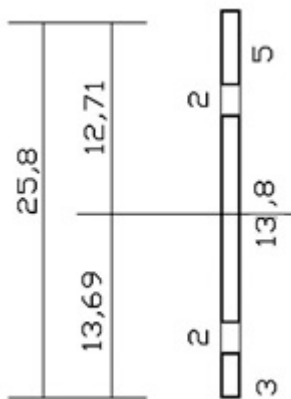
Per il polo teso:

$$\text{lunghezza} = 6 \varnothing + 4 \cdot 5 \varnothing + 3 \varnothing = 29 \varnothing = \text{cm } 58 \text{ ---} \rightarrow \text{cm } 60$$

L'altezza della piastra sarà non meno di:

$$15,8 + 2 \cdot (2 \varnothing + 1/2 \varnothing) = \text{cm } 25,8 > 21$$

Lamiera Fe 36 spessore mm 10



$$A_{\text{id Fe}} = \text{cm}^2 21,8$$

$$J_{\text{id Fe}} = \text{cm}^4 1.175$$

$$W_{\text{min Fe}} = \text{cm}^3 89,76$$

$$\sigma_{\text{fless Fe}} = \text{daN/cm}^2 1.693 > 1.600$$

Con Fe 36 è opportuno adottare lamiera spessore mm 12. Invece con Fe51 è sufficiente lo spessore di mm 8

Fig. 30

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



Per la lamiera occorre ancora verificare la sollecitazione a rifollamento in base alla formula:

$$\sigma_{\text{rif Fe}} = N_{\text{spinotto}} / \varnothing \cdot \text{spessore} < \sigma_{\text{adm Fe}} . \text{ Per il nostro caso non ci sono problemi.}$$

Alcune riflessioni costruttive:

- 1 - Per evitare danneggiamenti al legno è opportuno utilizzare due o più bulloni provvisori durante l'infissione dei perni.
- 2 - Con perni  $\varnothing$  mm 16 ne occorrono n° 28 per ciascun giunto. Con perni  $\varnothing$  mm 20 n° 20 per ciascun giunto.
- 3 - Per ritrovarsi con i fori nell'acciaio corrispondenti a quelli nel legno, è sempre opportuno posizionare le aste nella loro geometria, sovrapporre le piastre forate, tracciare i fori ed eseguire i fori con trapano a colonna.

## COMPORAMENTO AL FUOCO DEL GIUNTO TRADIZIONALE "A SECCO"

Abbiamo protetto la piastra dal fuoco, giustamente inserendola all'interno della sezione lignea, alla maggior distanza dalle superfici esposte, però non abbiamo provveduto ad isolare i perni. Anche ricoprendoli con tappini dello spessore di mm 10, questi sparirebbero nei primi minuti dell'incendio. Tappi più lunghi riducono la lunghezza degli spinotti e il carico attribuibile. Altrimenti occorrerebbe aumentare lo spessore delle aste, e conseguentemente il volume di tutta la massa lignea.

### Consideriamo i perni $\varnothing$ mm 16

Dopo appena **15** minuti del tempo convenzionale dell'incendio, la superficie esposta al fuoco risulterebbe per ciascuno spinotto pari a:

$$2 \cdot ( 0,8^2 \cdot \pi + 1,6 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 0,07 ) = \text{cm}^2 14,57 ( \text{m}^2 0,001457 )$$

e dopo **30** minuti di incendio:

$$2 \cdot ( 0,8^2 \cdot \pi + 1,6 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 0,07 ) = \text{cm}^2 25,13 ( \text{m}^2 0,002513 )$$

$$\text{Il volume di ciascun spinotto è:---> } 0,8 \cdot \pi \cdot \text{cm } 16 = \text{cm}^3 32,17$$

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)

Fatto riferimento alla norma UNI 9503, attinente il procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio, si adotta il prospetto VI° (fig. 31) per elementi in acciaio non protetti:

Prospetto VI — Temperature  $\theta_a$  di elementi di acciaio non protetti esposti al fuoco

$\epsilon_t = 0,5$ $c_a$ (vedere 8.1.2)		Fattore di massività $S/V$ $m^{-1}$								
Tempo di esposizione $t$ min	Temperatura gas $\theta_t$ °C	10	20	30	50	100	150	200	250	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	95	164	226	333	514	612	664	691	705
30	842	215	367	484	637	781	814	824	829	831
45	902	343	552	682	808	877	888	893	895	896
60	945	467	700	814	897	930	936	939	940	941
75	979	580	809	898	949	967	972	974	975	976
90	1 006	678	889	954	985	997	1 000	1 002	1 003	1 003

fig.31

Con fattore di massività a **15'** =  $S / V = 0,001457 / 0,00003217 = 45$

Fatto riferimento al prospetto VI della norma UNI, la temperatura dello spinotto in acciaio sarà di  $( 333^{\circ}C - (333 - 226)/4 ) = 306^{\circ}C$

Con fattore di massività a **30'** =  $S / V = 0,002513 / 0,00003217 = 78$

Fatto ancora riferimento al prospetto VI della norma UNI, la temperatura dello spinotto in acciaio sarà di  $( 637^{\circ}C + (781 - 637) \cdot 38/50 ) = 746^{\circ}C$  ---> circa  $750^{\circ}C$

Dopo 15' di tempo di incendio la temperatura di circa  $306^{\circ}C$  assunta dallo spinotto in acciaio comporta una riduzione di solo il 22% del limite convenzionale di snervamento dell'acciaio normale (Vedi fig. 32) ed una modesta riduzione del proprio modulo di elasticità, che pertanto può considerarsi ancora efficiente.

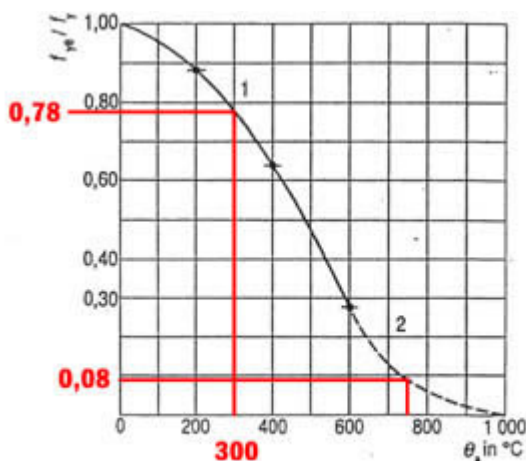


Fig. 1 — Variazione con la temperatura del limite convenzionale di snervamento dell'acciaio normale per carpenteria laminato a caldo

fig.32

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: cencilegno@cenci.com - www.cenci.com

Però, dopo un tempo di incendio di 30' la temperatura dello spinotto raggiunge addirittura circa 750°C ed il modulo di elasticità dell'acciaio è azzerato. Vale a dire che gli spinotti si comportano come materiale plastico e non hanno alcuna resistenza. (Vedi figura 33)

Infatti, in base alla fig. 1 della UNI 9503 (fig.28), con una temperatura di circa 750°C, il limite convenzionale dell'acciaio normale per carpenteria si è ridotto del 92% circa, ossia l'acciaio ha ceduto e la trave a ginocchio è crollata.

Non così capita adottando un giunto CNP (Cenci, Nosedà, Piazza)<sup>®</sup> con adesivo Xepox<sup>®</sup>.

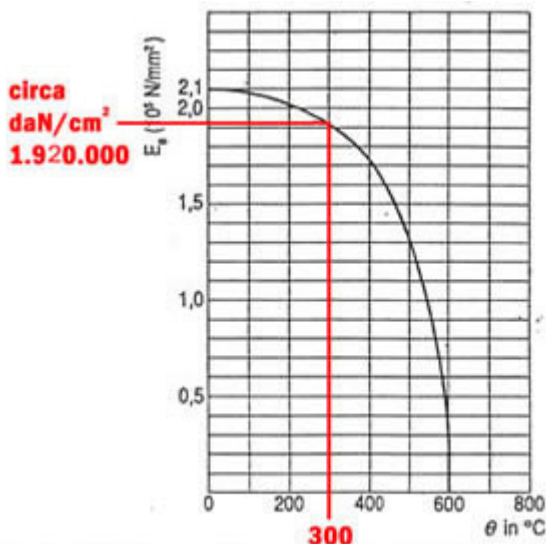


Fig. 2 — Variazione con la temperatura del modulo di elasticità convenzionale dell'acciaio normale per carpenteria laminato a caldo

Fig.

Debbo far presente che l'accensione del legno si verifica fra i 250-280°C. Per tale ragione, già dopo 15 minuti primi del tempo di incendio gli spinotti iniziano ad esercitare un'azione devastante sulla massa lignea che costituisce l'insieme nodale. Perciò è verosimile che dopo un'altra manciata di minuti il sistema statico generale crolli, nonostante le aste siano state dimensionate per resistere al fuoco per un tempo di tutto rispetto.

Altra considerazione da sviluppare ampiamente in seguito è che nei sistemi a secco non è impedita l'intrusione di acqua, sporcizia ed altro. Ciò può costituire l'innesco di processi di deterioramento. Il problema non si verifica con l'impiego dell'adesivo epossidico, che viene fatto percolare nella fase costruttiva e satura qualsiasi cavità ed interstizio, impedendo intrusioni indesiderate.

Ecco allora dimostrato che il sistema tradizionale a secco non soddisfa gli imperativi sulla sicurezza, motivati dalla necessità di salvaguardare persone e beni.

maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**<sup>®</sup>  
assicura sicurezza

Cenci Legno sas

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)



dal 1972 *Cenci* anticipa l'evoluzione delle strutture in legno

Il sistema innovativo CNP (Cenci, Nosedà, Piazza)<sup>®</sup>, invece, si comporta molto bene nei confronti del fuoco e per la conservazione della struttura nel tempo.

Vanno certamente approfondite le capacità dei sistemi CNP di resistenza al sisma, certamente assolutamente idonei ed appropriati rispetto a sistemi con collegamenti tradizionali, giacché il vero problema è insito nel risultato comportamentale delle giunzioni, con cui si possono conseguire efficaci elementi compositi intelaiati.

E' visibile che la più parte dei sistemi tradizionali realizzati offrono scarsissima sicurezza nei confronti del fuoco. E' possibile il loro adeguamento, riportando guanciali o altri mezzi di protezione dei giunti. Sulle nuove costruzioni, qualora si voglia perseguire la tecnica tradizionale, non possono essere evitati guanciali di copertura dei giunti.

Sull'uso delle vernici intumescenti resta il problema estetico e la limitata efficacia della protezione oltre il breve-medio termine (3÷5 anni).

Dovevano essere brevi note ed invece ne è uscita una analisi comparativa, certamente non completa ma corretta.

Caro progettista, la ringrazio di avermi sollecitato sull'argomento, resto a disposizione per ogni delucidazione e cordialmente saluto.

*Cenci* 23.05.2004

**GIOVANNI CENCI**

geometra

Strutturistica per il legno lamellare e l'edilizia industrializzata

I-22100 - COMO - Piazza A. Volta, 33

Tel. 031.26.78.13

Fax 031.26.78.16

Port. 348.79.063.70

E-mail: [cenci@cenci.com](mailto:cenci@cenci.com) - <http://www.cenci.com>

C.F. CNC GNN 40A02 H501T

P.IVA 0038619 013 6

Albo Geometri Como n° 1064

Codice C-000-01064-G-00001, elenco prevenzione incendi

European Glulam Award 1999, sez. Italia - Aquilone di Chicco



maxiadesivo epossidico  
strutturale  
**Xepox**  
assicura sicurezza

**Cenci Legno sas**

Sede: Piazza Alessandro Volta, 33 - 22100 - COMO, Italy - P.IVA 02289540136 - tel. (031) 26.78.13 - fax (031) 26.78.16

E-mail: [cencilegno@cenci.com](mailto:cencilegno@cenci.com) - [www.cenci.com](http://www.cenci.com)