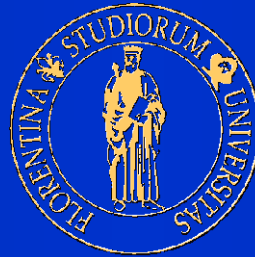


*“Progetto delle costruzioni in legno ai sensi del
D.M. 14.01.2008 ed Eurocodice 5”*



**Solai misti legno-calcestruzzo
Parte II**

Prato 31/10/2012

Relatore: Prof.Ing. Enrico Mangoni

**Docente di Progetto di Strutture presso la Facoltà
d'Ingegneria dell'Università di Firenze**

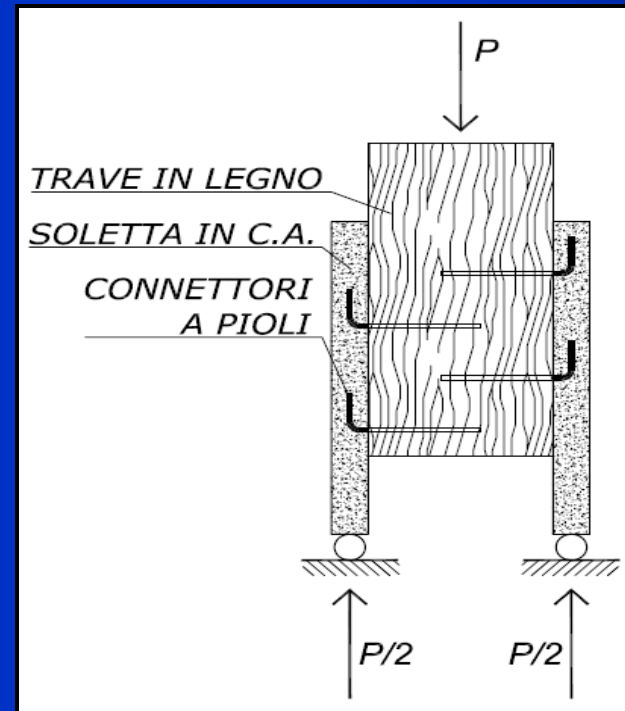
emangoni@dicea.unifi.it, ing.enrico@studiomangoni.it

Connettori a “piolo” metallico

Sono connettori metallici che venivano realizzati nella prima versione d'impiego, esclusivamente con barre da C.A. piegate, inserite previa foratura, nella trave in legno.

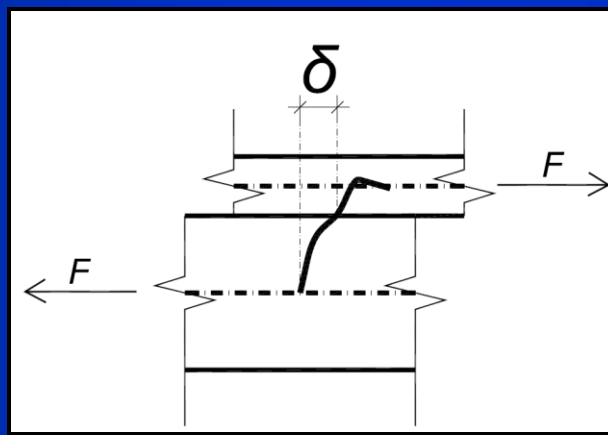


Il comportamento dei connettori siffatti è stato studiato da diversi autori (Turrini-Piazza(1), Giuriani(2), etcc.).In genere per caratterizzarli vengono eseguite prove di push-out:



Da tali prove Turrini-Piazza hanno determinato una relazione sperimentale per la rigidità dei pioli come sopra realizzati (valida per pioli con diametri 12/16mm)

$$K_{piolo} = 0.08 E_{\ell} \phi (N / mm^2)$$



$$K_{piolo} = \frac{F}{\delta}$$

Tali autori definiscono anche uno sforzo limite nel piolo in esercizio:

$$F_{piolo} = 0.05 E_{\ell} \phi (N)$$

N.B.:

- Pertanto gli scorrimenti ammissibili in esercizio sono dell'ordine di 0,6; 0,7 mm
- E' la rigidezza a guidare il dimensionamento dei pioli e non la resistenza.

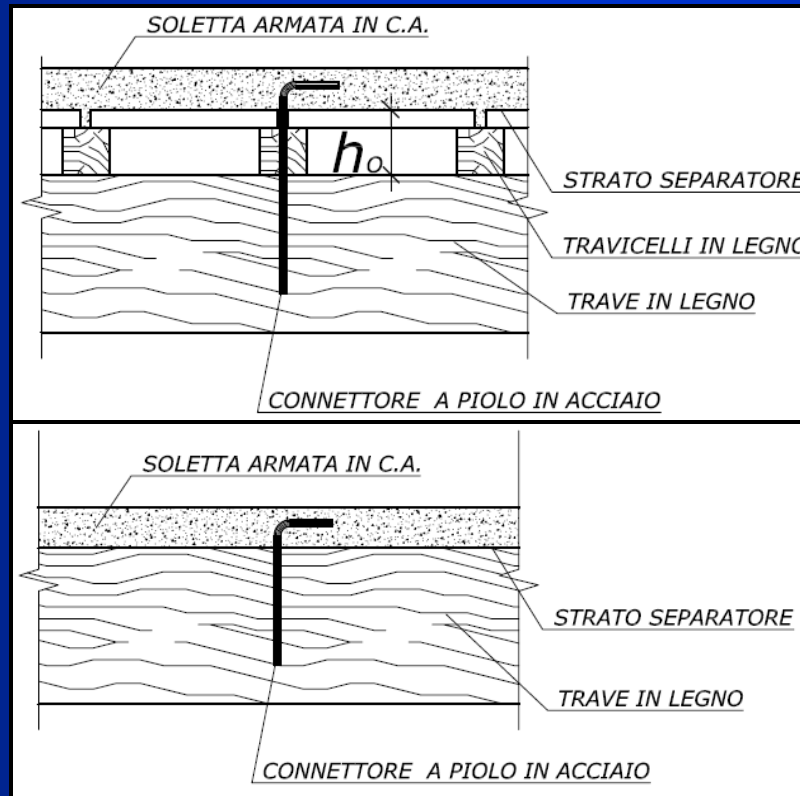
Infatti per il tranciamento del piolo risulta:

$$F_{Tadm} = \tau_{adm} \frac{\pi \phi^2}{4} \cong 0.8 \tau_{adm} \phi^2$$

$$\frac{F_{Tadm}}{F_{piolo}} = \frac{0.8 \tau_{adm} \phi^2}{0.05 E_{\ell} \phi} \cong 1,7 \div 3$$

con $\left(\frac{\tau_{adm}}{E_{\ell}} \right)_{medio} = 0.01$

Le espressioni precedenti sempre secondo Turrini-Piazza, sono valide per il comportamento prevalentemente a “taglio” del piolo. Devono essere ridotte per comportamento di tipo misto “taglio-flessione”.



Comportamento misto
“Taglio-Flessione”

Comportamento a
“Taglio”

N.B.: Le sezioni precedenti si riferiscono all’asse longitudinale di travi composte, rispettivamente senza riempimento dello spazio fra i travicelli, e con riempimento.

Poiché il modulo elastico del legno è circa 2,5-3 volte inferiore rispetto a quello del calcestruzzo, nel primo caso il piolo può deformarsi trasversalmente, nel secondo caso tale deformazione è trascurabile. Quindi abbiamo:

$$K_{piolo,r} = K_{piolo} q$$

$$q = 3 \left[(\alpha h_0 - 1)^3 + 4 \right]^{-1}$$

$$\alpha = \frac{0.74}{\phi} \left(\frac{E_l}{E_a} \right)^{1/3}$$

Se

$$\frac{E_l}{E_a} \cong 0.05 \rightarrow \alpha \cong \frac{0.27}{\phi}$$

Ad esempio se:

$$\phi = 16mm$$

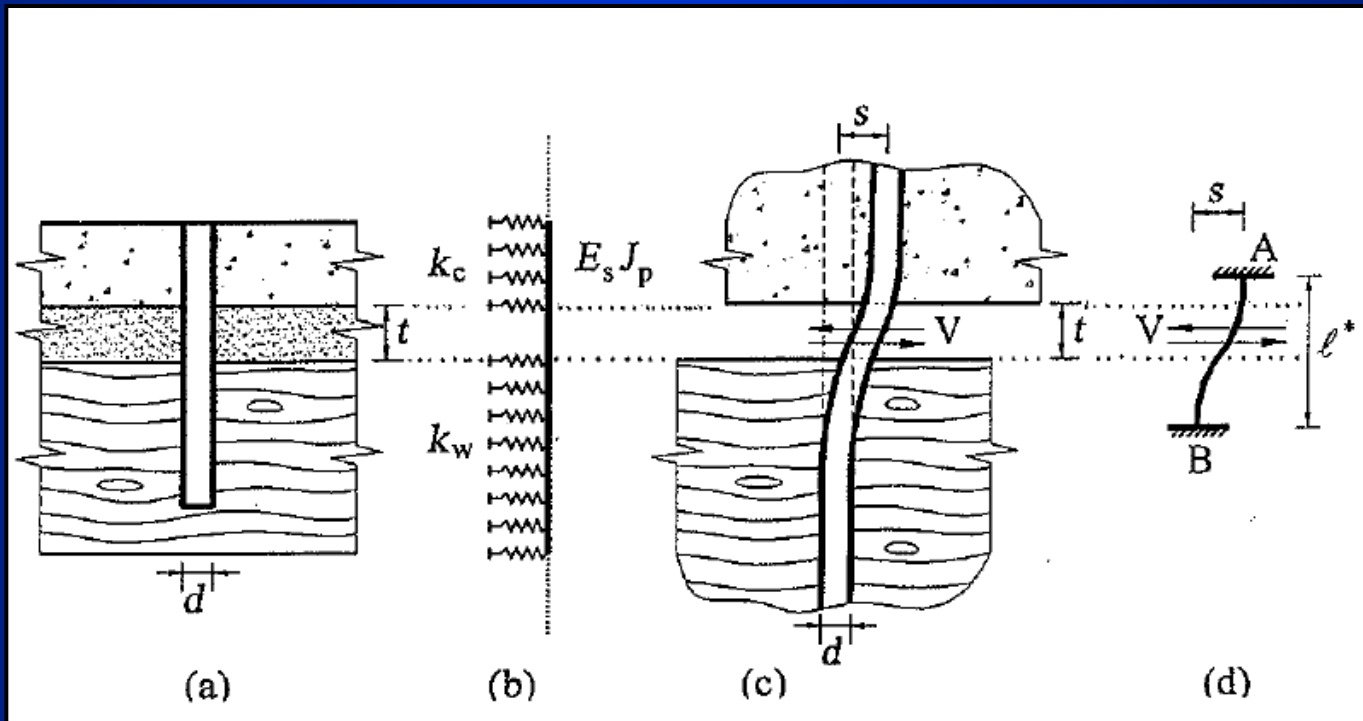
$$h_0 = 100mm$$

$$q = 0.7$$

$$K_{piolo,r} \cong 70\% K_{piolo}$$

$$F_{piolo,r} \cong 70\% F_{piolo}$$

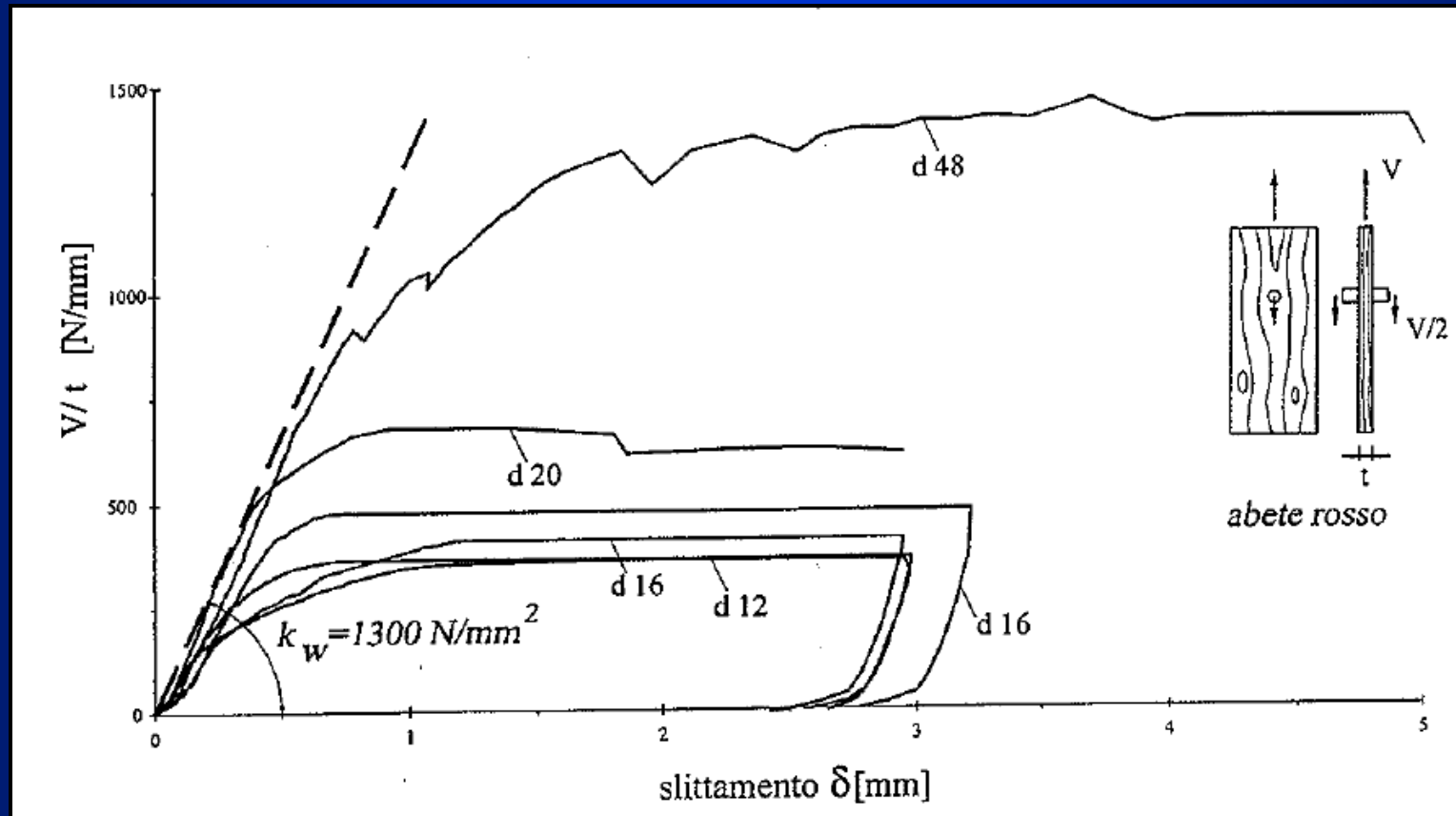
Altre espressioni della rigidezza sono per esempio, quelle fornite da Giuriani(2):

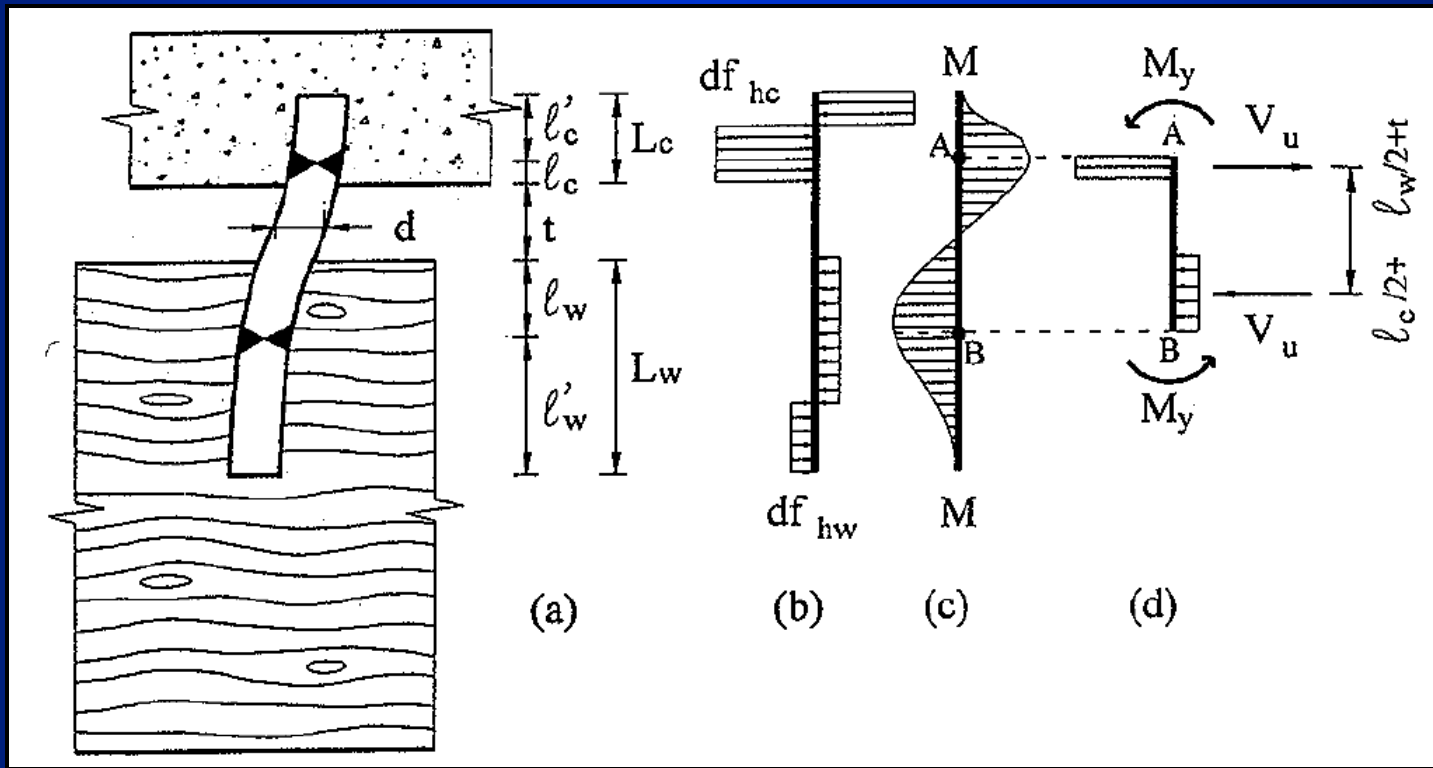


$$K_p = \frac{12E_s J_p}{l^{*3}}$$

$$l^* \cong 11.6 + 0.009k_w + 0.88t + 4.34d$$

K_w è la rigidezza a rifollamento del piolo nel legno. Tale rigidezza dipende dal tipo di legno e dal diametro del piolo ovviamente. Ci sono poche prove sperimentali relative alla determinazione di K_w . Giuriani(2) ha eseguito tali prove nel caso di legno di abete rosso.





$$V_u = \chi_w f_{hw} d^2$$

$$\chi_w = \frac{1}{1 + f_{hw} / f_{hc}} \left(\sqrt{\frac{2}{3} \frac{f_y}{f_{hw}} \left(1 + \frac{f_{hw}}{f_{hc}} \right) + \left(\frac{t}{d} \right)^2} - \frac{t}{d} \right)$$

V_u : resistenza ultima della connessione per singolo piolo

f_{hc}, f_{hw} : resistenze a rifollamento del calcestruzzo e del legno

N.B.: K_w ha le dimensioni di una lunghezza per unità di superficie perché è il rapporto tra la forza che si scambiano piolo e legno per unità di lunghezza del piolo, e lo spostamento del piolo.

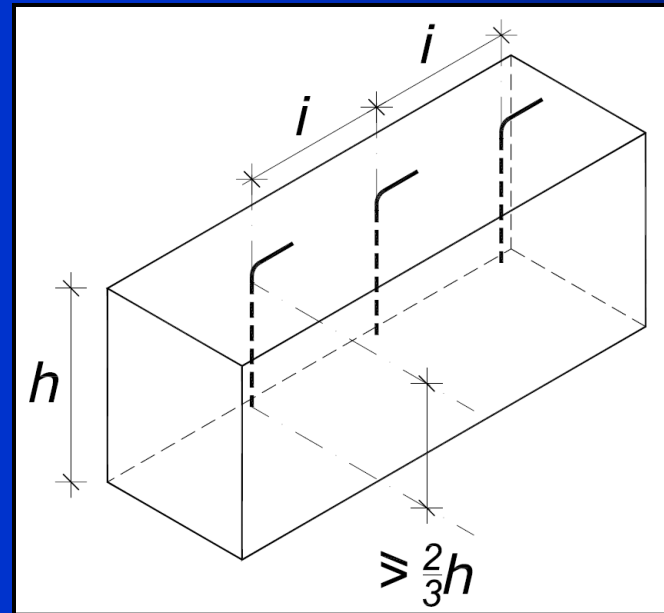
La disposizione dei connettori a piolo lungo la trave deve essere efficiente nel senso che non deve indebolire la struttura della trave in legno ed allo stesso tempo essere efficiente per il funzionamento della trave composta.

Il piolo si inserisce nella trave in legno per circa i $2/3$ dell'altezza.

L'interasse tra i connettori "i" deve essere tale che

$$8\phi \leq i \leq 30\phi$$

Ovviamente il limite inferiore serve a prevenire i fenomeni di "splitting", ovvero di rottura per fessurazione longitudinale nel legno, mentre il limite superiore serve ad evitare distacchi fra la soletta ed il legno, nonché concentrazioni tensionali.



Prima abbiamo definito lo sforzo ammissibile nel piolo

$$F_{\text{piolo,adm}}$$

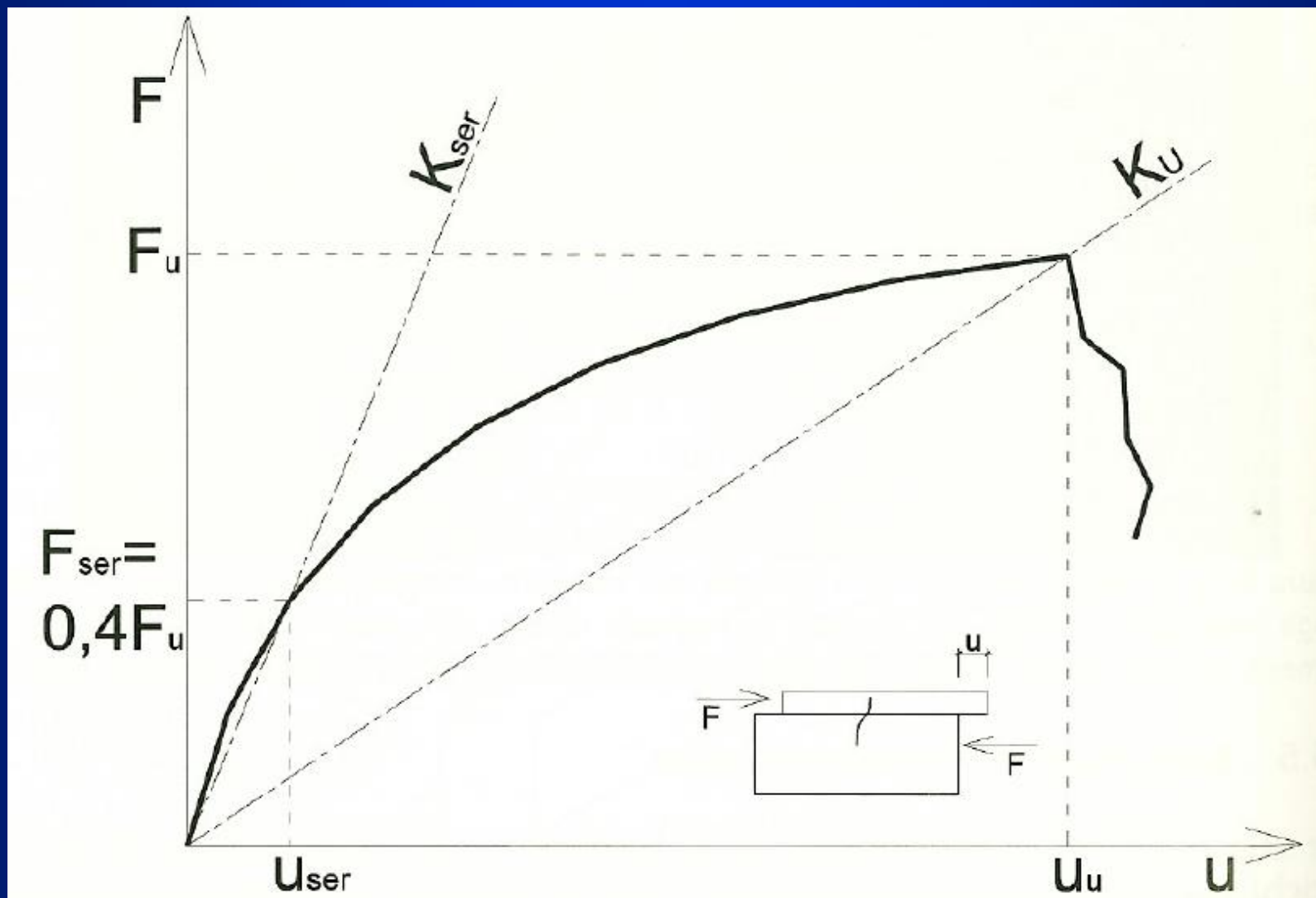
Lo sforzo ultimo nel piolo secondo l'EC5 è pari a 2,5 volte quello in esercizio. Quindi in sostanza

$$F_{\text{piolo,u}} = 2,5 F_{\text{piolo,adm}}$$

Questo di nuovo ci fa capire che la crisi del sistema composto non avviene per rottura ovvero per tranciamento del piolo, bensì per rifollamento del foro.

Infatti in base alle considerazioni fatte prima, quando nel piolo si raggiunge lo sforzo $F_{\text{piolo,u}}$, nell'acciaio si raggiunge circa la tensione ammissibile a taglio, quindi il piolo non si trancia.

Qualunque tipo di connessione meccanica posta fra due elementi di legno o fra legno e calcestruzzo, se sottoposta a sforzi di taglio si deforma secondo la curva rappresentata in figura:



-Comportamento viscoso dei materiali

Le relazioni che risolvono la trave composta, sono per quanto visto dipendenti dai moduli elastici dei materiali. Poiché materiali diversi hanno comportamento diverso nel tempo, occorre tener conto del comportamento del sistema a tempo infinito (lungo termine) ovvero a tempo zero (breve termine).

Tale comportamento (comportamento viscoso dei materiali) dovrebbe essere considerato per la soletta in calcestruzzo, per la trave in legno, per la connessione in acciaio.

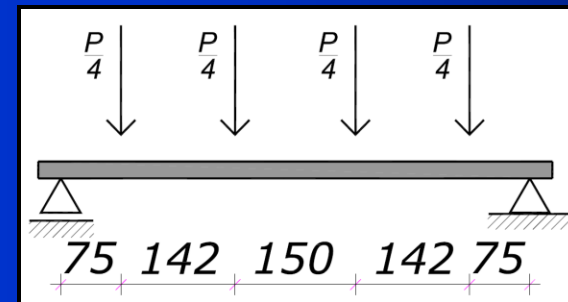
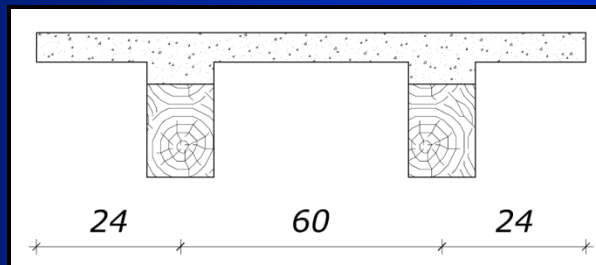
A questo proposito può essere utilizzata la tabella seguente dell'EC5.

Tabella 2.9 Valori di k_{def} per i prodotti strutturali a base di legno (EN 1995-1-1). Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} sarà aumentato di 1,0; si osservi come i valori di k_{def} per pannelli risultano maggiori quanto più il componente di base del pannello risulta piccolo, in accordo con quanto detto nel capitolo 1

Materiale	Riferimento	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Microlamellare (LVL)	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Compensato	EN 636			
	Parte 1	0,80	–	–
	Parte 2	0,80	1,00	–
	Parte 3	0,80	1,00	2,50
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300			
	OSB/2	2,25	–	–
	OSB/3 OSB/4	1,50	2,25	–
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312			
	Parte 4	2,25	–	–
	Parte 5	2,25	3,00	–
	Parte 6	1,50	–	–
	Parte 7	1,50	2,25	–
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	–	–
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	–
Pannelli di fibre, media densità	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	–	–
	MBH.HLS1,	3,00	4,00	–
	MBH.HLS2			

-Confronto fra l'efficienza di diverse tipologie di solaio
composto legno-calcestruzzo:

Piazza e Ballerini(3) hanno analizzato diversi tipi di solaio composto legno-clc, sottoponendo a prova di flessione, porzioni di solaio realizzate con due travi e pacchetto superiore realizzato con perlinato, isolante e soletta in c.a.



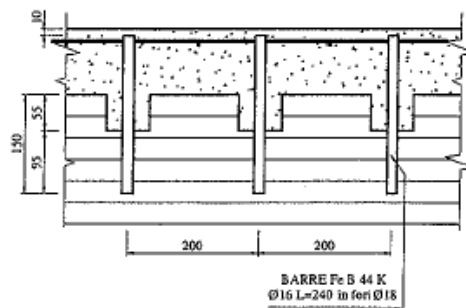
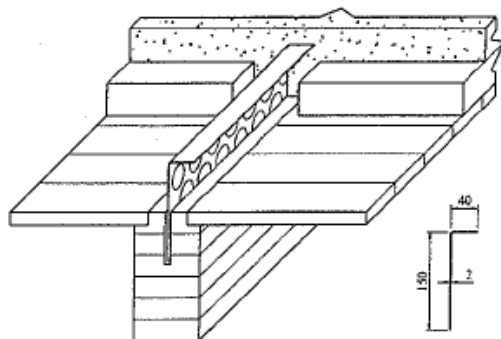
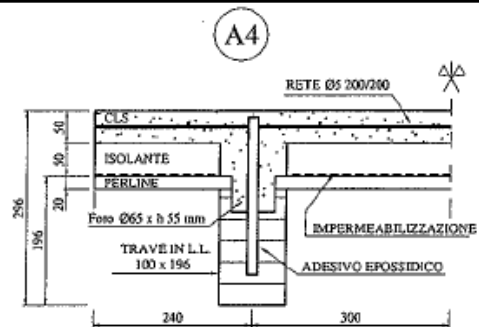
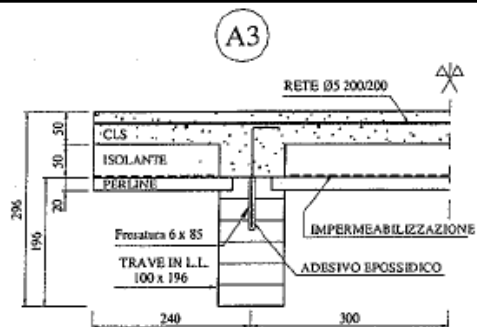
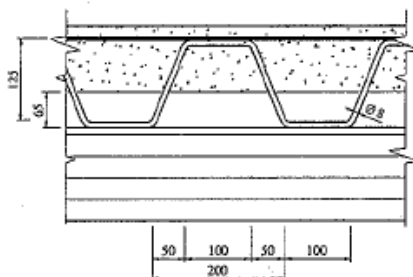
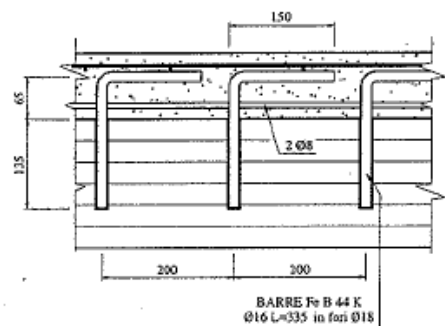
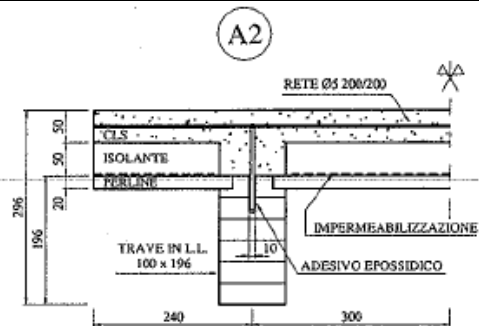
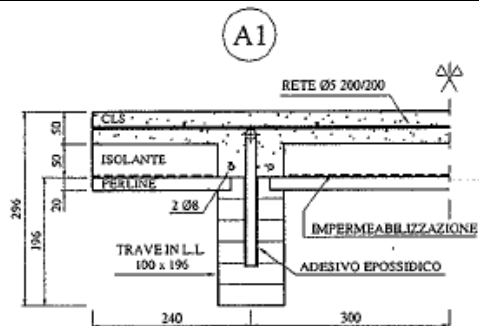
-si sono utilizzate travi in legno lamellare di abete di II classe (norma DIN) per le travi, calcestruzzo R_{ck} 350 per la soletta.

-I sistemi di connessione utilizzati sono riportati di seguito. Possono suddividersi in sistemi di tipo A (connessioni di tipo incollato), B (connessioni non incollate), C (connettori non metallici).

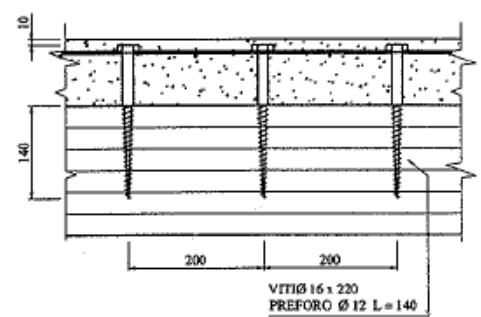
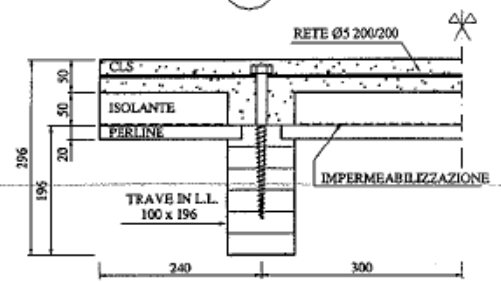
-Tutte le connessioni sono state dimensionate con carico imposto pari a 400 (kg/m²) e limitazione della freccia a L/600 sotto tale valore.

Campione	$f_{ser}^{(1)}$ (mm)	$q_{test,el}$ (kN/m ²)	f_{el} (mm)	$q_{test,u}$ (kN/m ²)	f_u (mm)	Modalità di rottura
A1	6.2 (L/940)	11.4	17.7 (L/330)	26.6	71.2 (L/80)	travi
A2	6.6 (L/890)	14.8	24.4 (L/240)	28.1	86.8 (L/70)	travi
A3	6.0 (L/970)	27.9	41.8 (L/140)	29.7	67.1 (L/90)	connessione
A4	5.6 (L/1040)	12.8	17.9 (L/330)	28.7	51.6 (L/110)	travi
B1	5.7 (L/1030)	11.2	15.9 (L/370)	22.6	56.0 (L/105)	travi
B2	6.2 (L/940)	10.5	16.0 (L/370)	22.3	71.1 (L/80)	travi
B3	8.0 (L/730)	4.0	6.3 (L/930)	23.6	74.7 (L/75)	travi
C1	8.3 (L/700)	2.7	4.7 (L/1240)	7.5	25.5 (L/230)	connessione

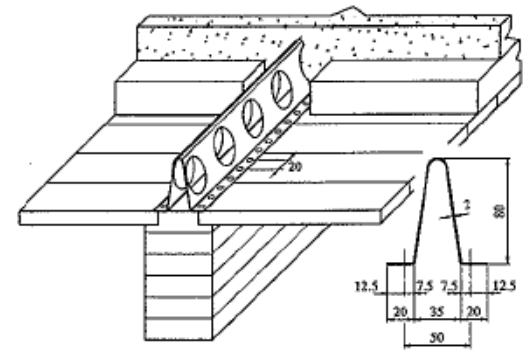
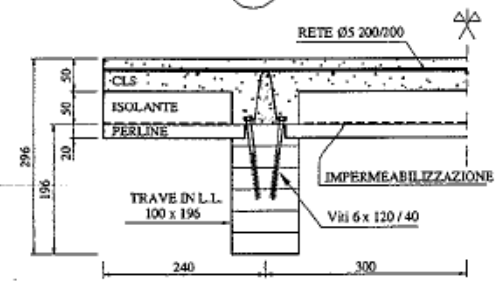
⁽¹⁾ : freccia dei campioni in corrispondenza del carico utile equivalente di prova $q_{ser} = 4 \text{ kN/m}^2$.



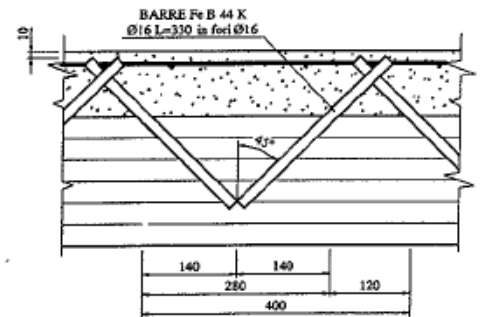
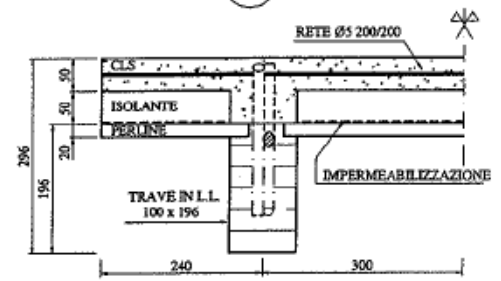
B1



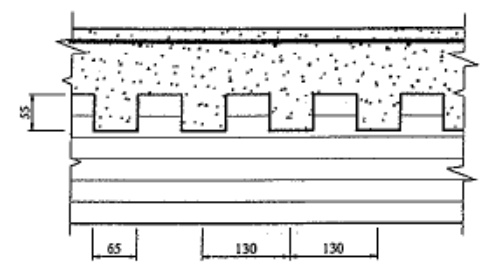
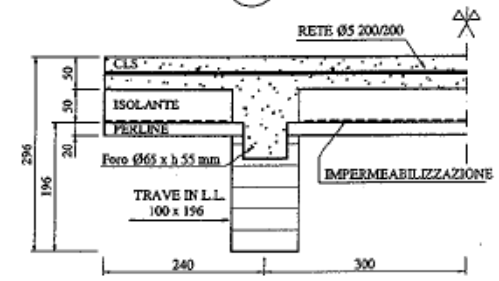
B2



B3



C1



-Le prove hanno evidenziato sempre rotture nel legno e non nella connessione ad eccezione dei casi A3 (rottura all'interfaccia acciaio/legno) e C1 (rottura a tensoflessione dei perni)

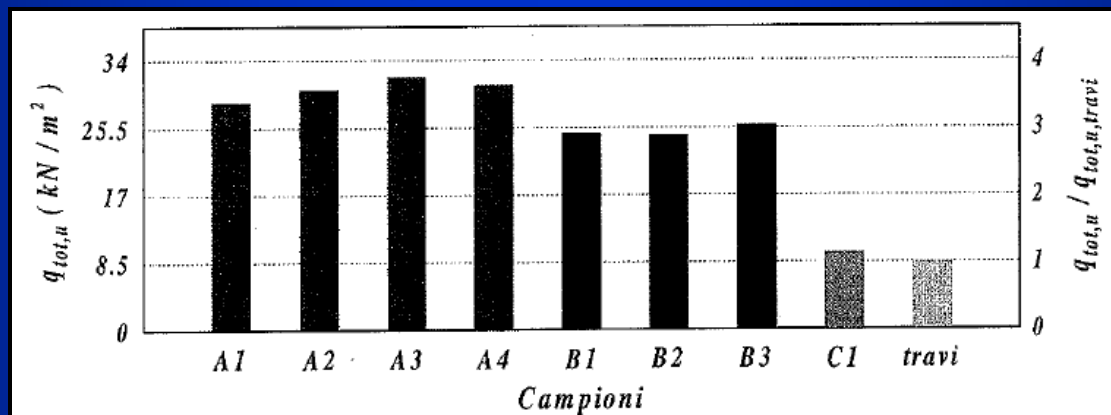
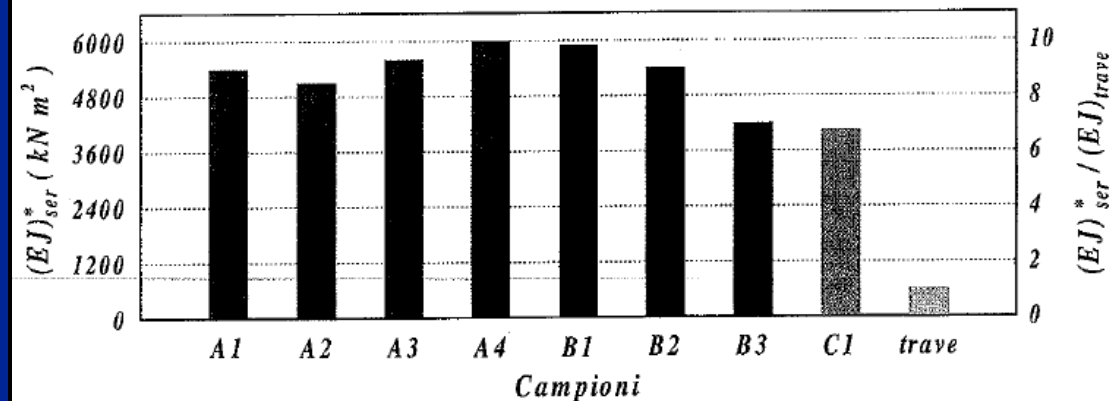
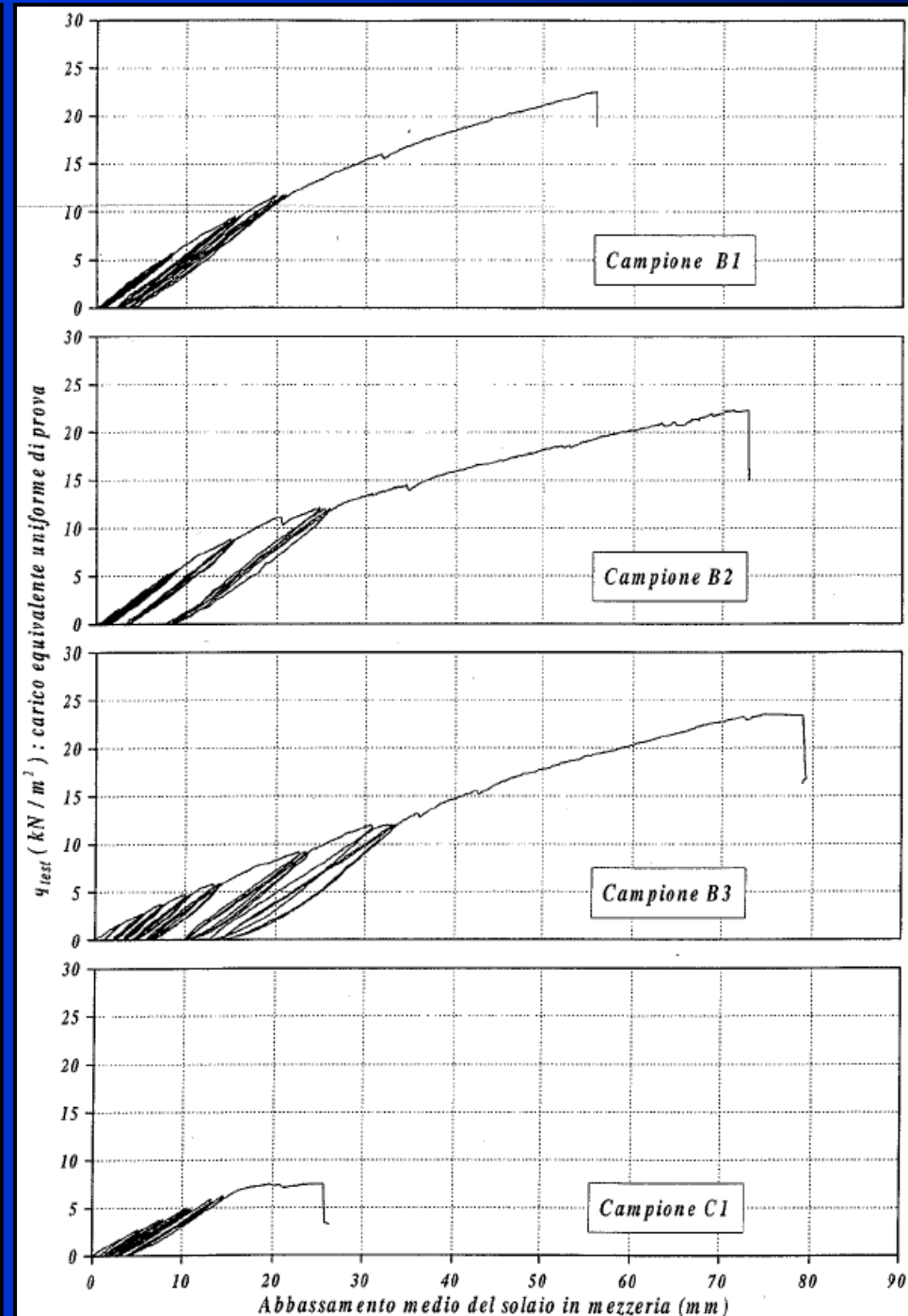
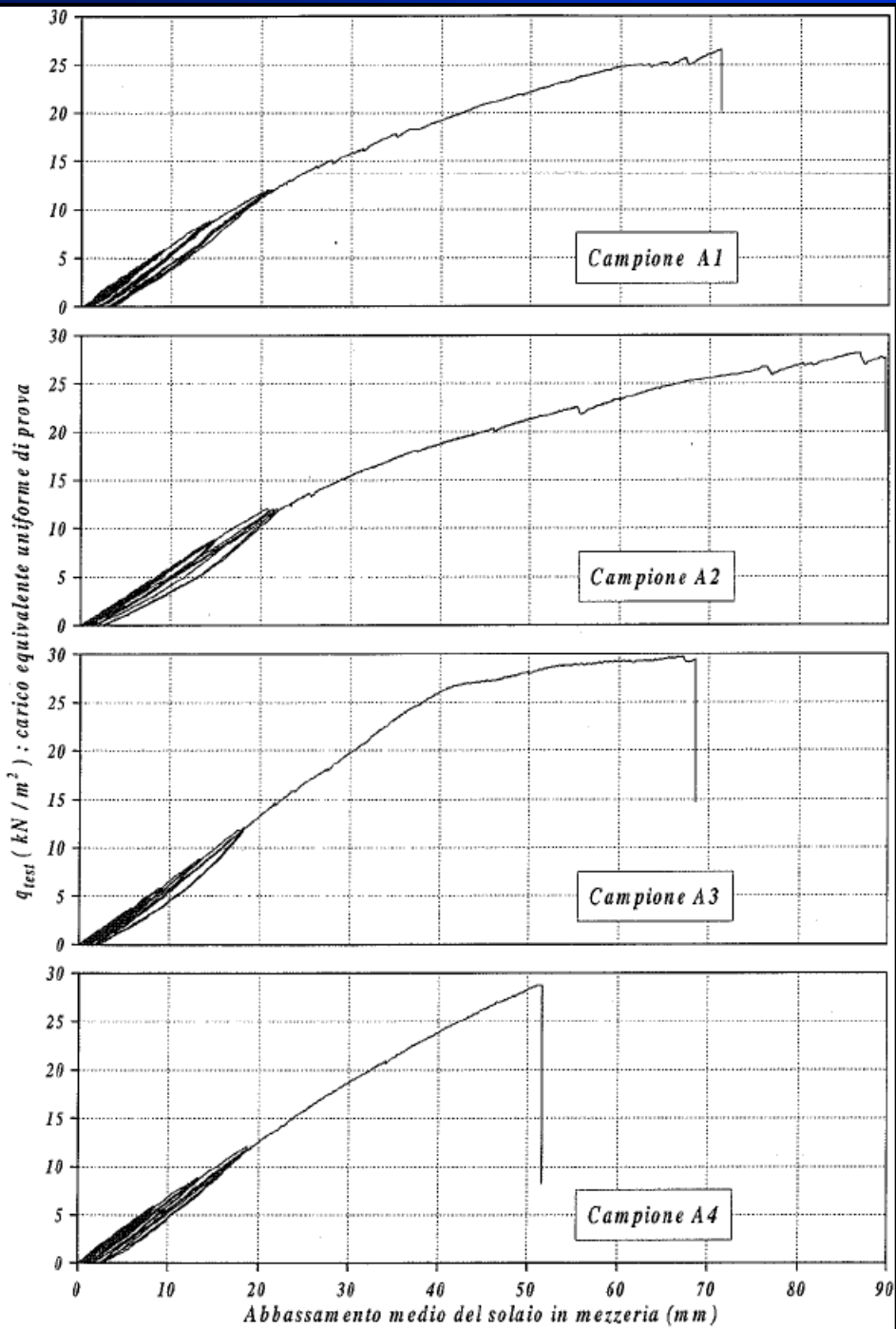
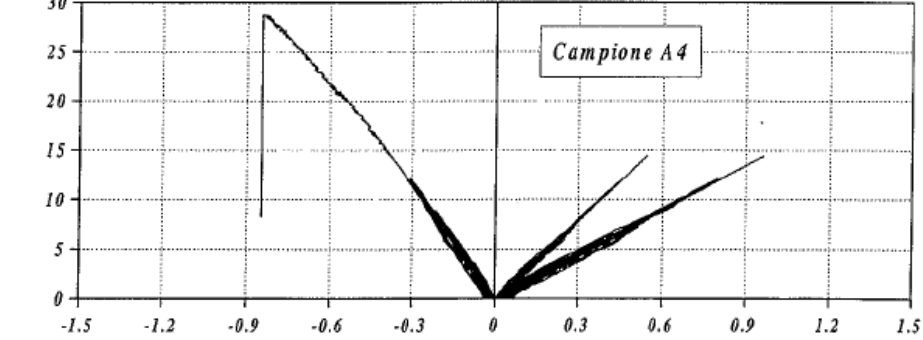
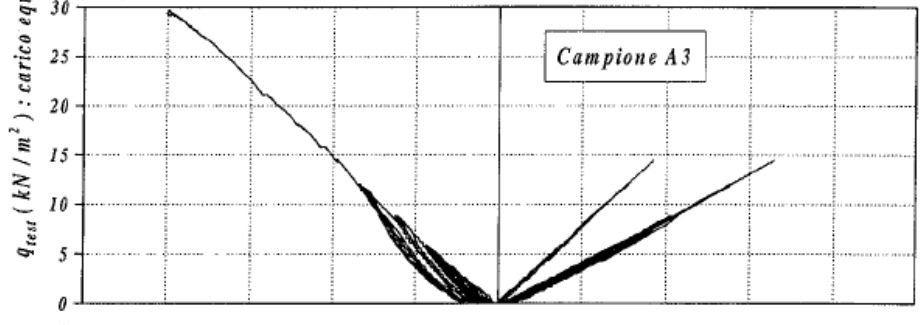
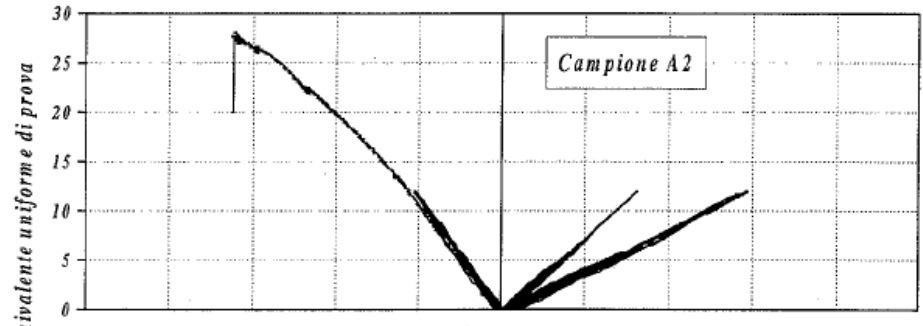
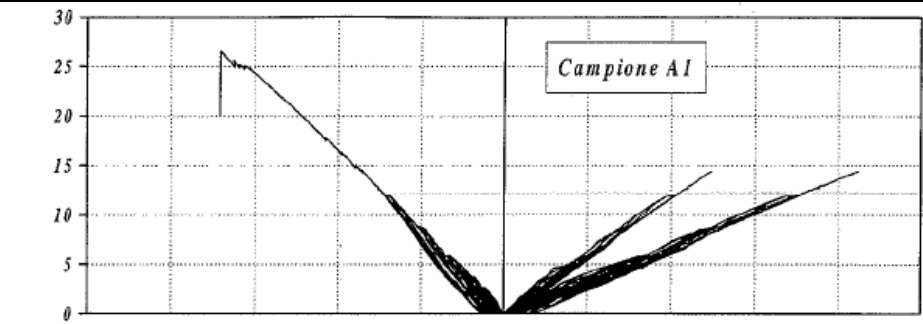


Fig. 7 - Confronto fra i carichi totali ultimi (uniformi equivalenti) dei campioni e quello delle travi lignee ($f_{m,medio} = 35$ MPa).

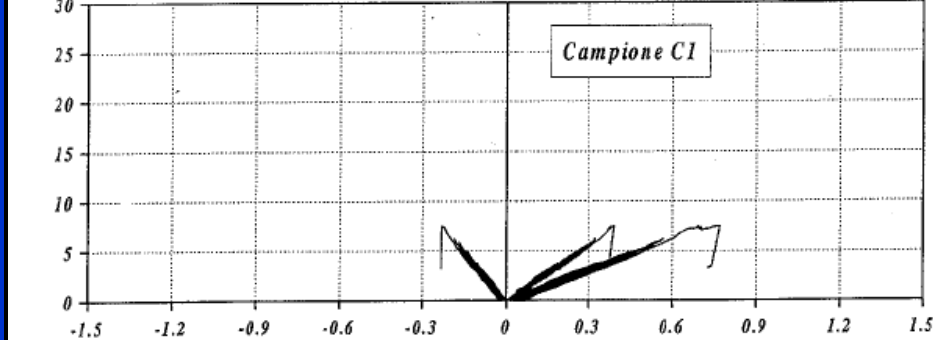
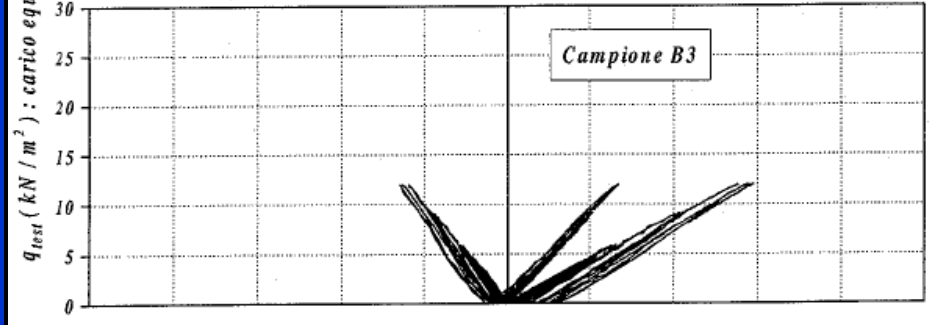
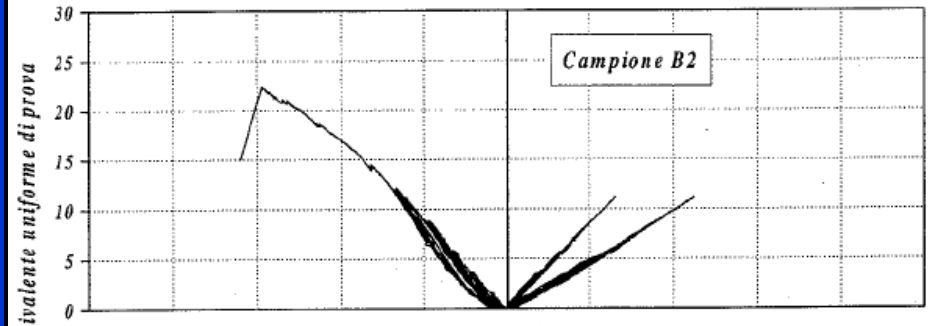
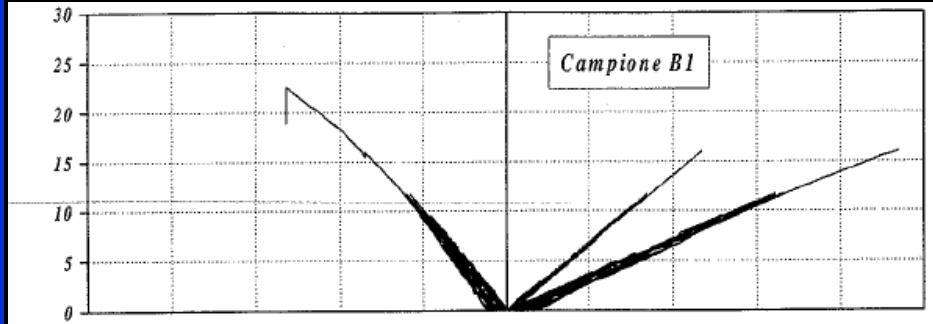


-Dalla figura precedente, si osserva che le travi composte mostrano carichi ultimi pari a circa 3 volte quelli delle singole travi in legno, mentre le deformazioni sono soltanto il 10-15% di quelle delle travi in legno corrispondenti.





Deformazioni medie in mezzera ($\times 10^{-3}$)
 al lembo inferiore ed a quello baricentrico delle travi, al lembo superiore della soletta



Deformazioni medie in mezzera ($\times 10^{-3}$)
 al lembo inferiore ed a quello baricentrico delle travi, al lembo superiore della soletta

$q_{test} (kN / m^2) : \text{carico equivalente uniforme di prova}$

$q_{test} (kN / m^2) : \text{carico equivalente uniforme di prova}$

-Per quanto riguarda la curva carico-spostamento, si hanno essenzialmente tre tipi di comportamento. Un primo che riguarda i campioni A1,A2,A4,B1,B2 che presenta un primo tratto lineare fino al 50% del carico ultimo, seguito da un tratto incrudente con rigidzze variabili fra il 30 % ed il 70% di quella iniziale dovuta al comportamento non lineare della connessione. Il secondo relativo al campione A4 che è praticamente lineare fino a rottura.

-Un terzo tipo di comportamento, è relativo invece ai campioni B3 e C1 che risulta non lineare quasi da subito. Questo per la tipologia B3 è dovuto alla mancanza di incollaggio con resina delle barre al legno, e quindi all'allentamento dei perni nei fori, per il tipo C1 al degrado dei "denti" in cls.

-I diagrammi carico-scorrimento alle testate, consentono di apprezzare l'accumulo dello scorrimento di estremità nei diversi casi. I campioni della serie A (connessioni incollate) presentano accumuli di scorrimento sensibilmente inferiori a quelli della serie B (connessioni non incollate).

In sostanza l'efficacia di una connessione deve valutarsi in base ai seguenti fattori:

-Carico ultimo raggiunto

-Rigidezza iniziale della connessione

-Capacità di mantenere elevata la rigidezza nel tratto di comportamento extra-servizio

-Capacità di presentare ridotti accumuli di scorrimento delle estremità

Si riportano di seguito altre tipologie di solai composti legno-calcestruzzo

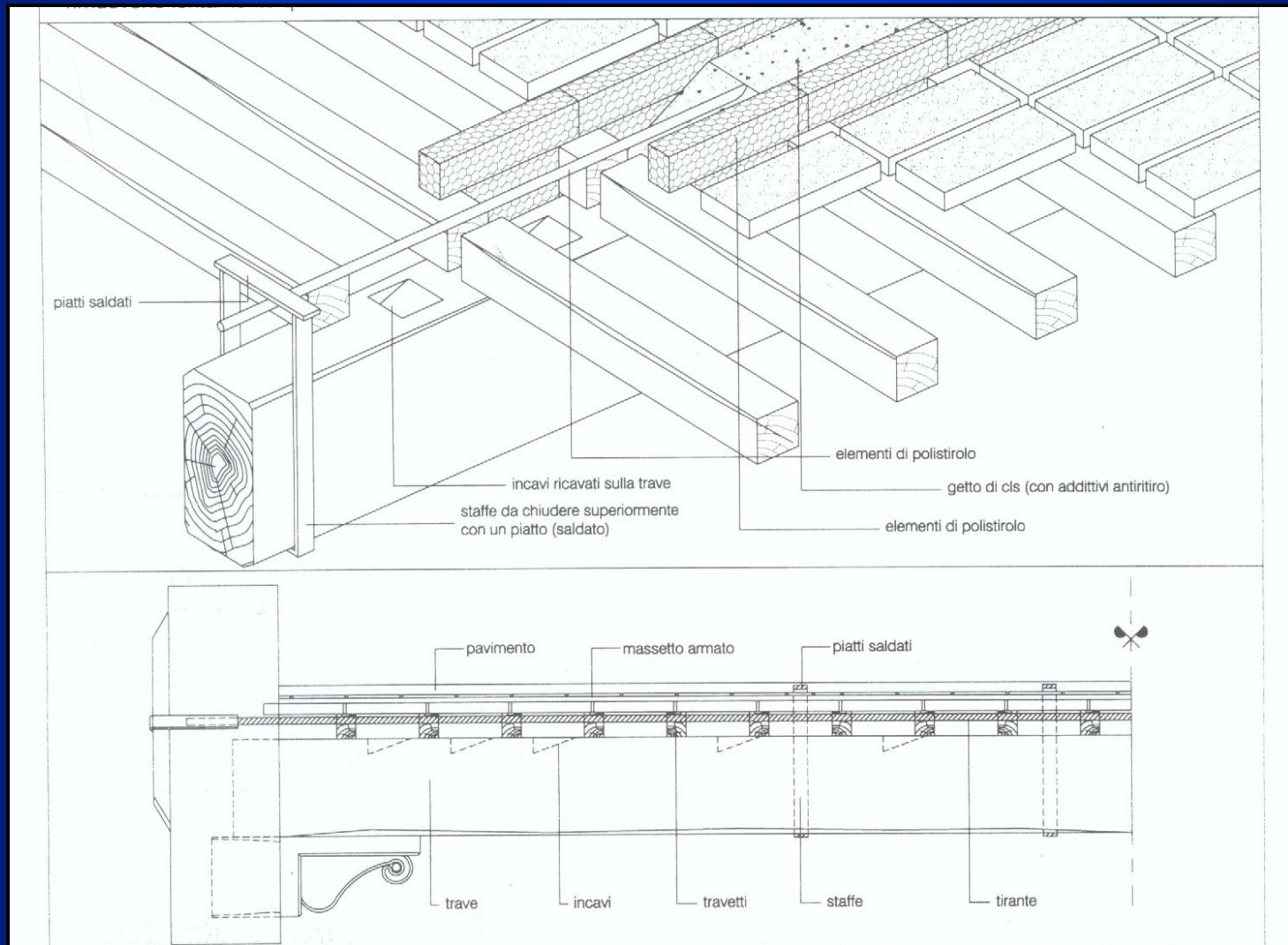
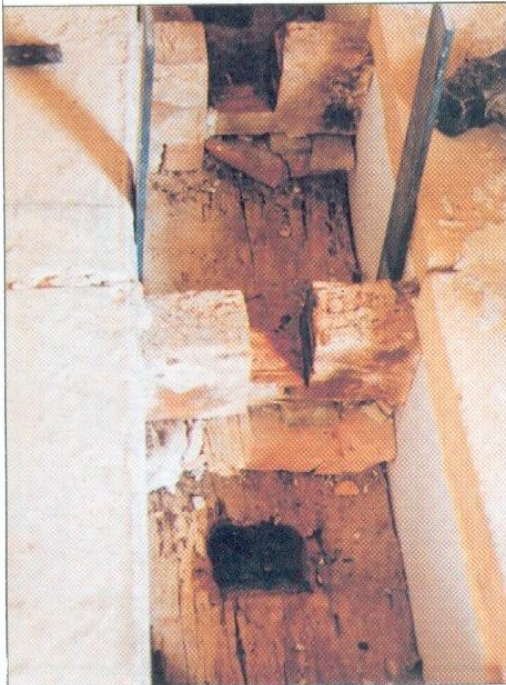


Fig.1:Immagine riportata dal manuale del recupero di Roma II edizione



A sinistra si può osservare la staffa che viene tagliata dopo il posizionamento della rete elettrosaldata. Un piatto viene quindi saldato alle due estremità.

A destra si vede la catena posta nella scanalatura tra i travetti. I cunei visibili in ambedue le foto sono stati realizzati con un trapano e rifiniti con lo scalpello.

E' interessante notare che eseguendo il getto di calcestruzzo secondo lo schema indicato, si ottiene una sensibile variazione dello schema statico dei travetti che passano da un vincolo di semplice appoggio ad uno di semincastro.

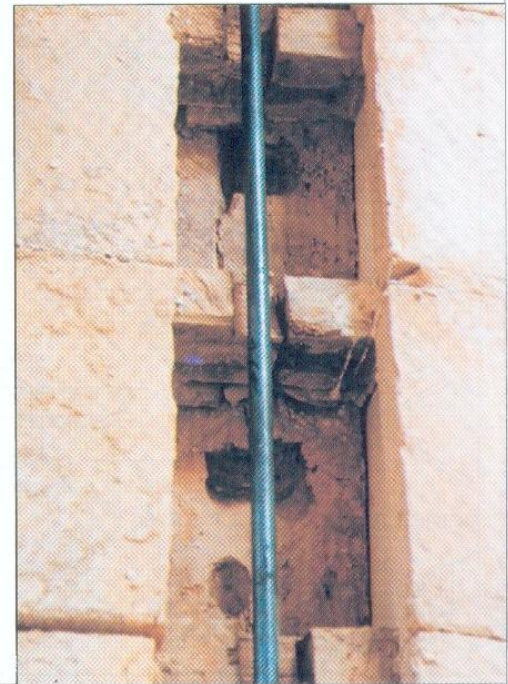


Fig.1: Immagine riportata dal manuale del recupero di Roma II edizione

CONSOLIDAMENTO DELLA TRAVE CON TAVOLA D'INTRADOSSO COLLABORANTE E CONNETTORI LIGNEI (elaborazione dal Manuale del Recupero di Roma II edizione)

Scheda
SO3

La tecnica di consolidamento delle travature lignee con sistema legno-legno, prevede l'inserimento di una tavola collaborante disposta sull'estradosso dei travicelli, vincolata con connettori lignei verticali ed inclinati a 45°. La tavola, dello spessore minimo di cm 5, è connessa alla trave mediante spessori lignei posti nello spazio vuoto fra i travicelli; una volta disposta la tavola superiore si realizzano i fori per l'inserimento dei cavicchi costituiti da spinotti in legno. Per una migliore connessione fra i componenti lignei è opportuno utilizzare della colla poliuretanicca ad espansione per legno da carpenteria e lamellare. L'intervento richiede la rimozione di parte della sovrastruttura e del pianellato (o tavolato) di supporto, mentre il sistema presenta dei vantaggi non producendo alterazioni dell'intradosso.

Le prove sperimentali eseguite su travi consolidate con questa tecnica hanno fornito risultati soddisfacenti.

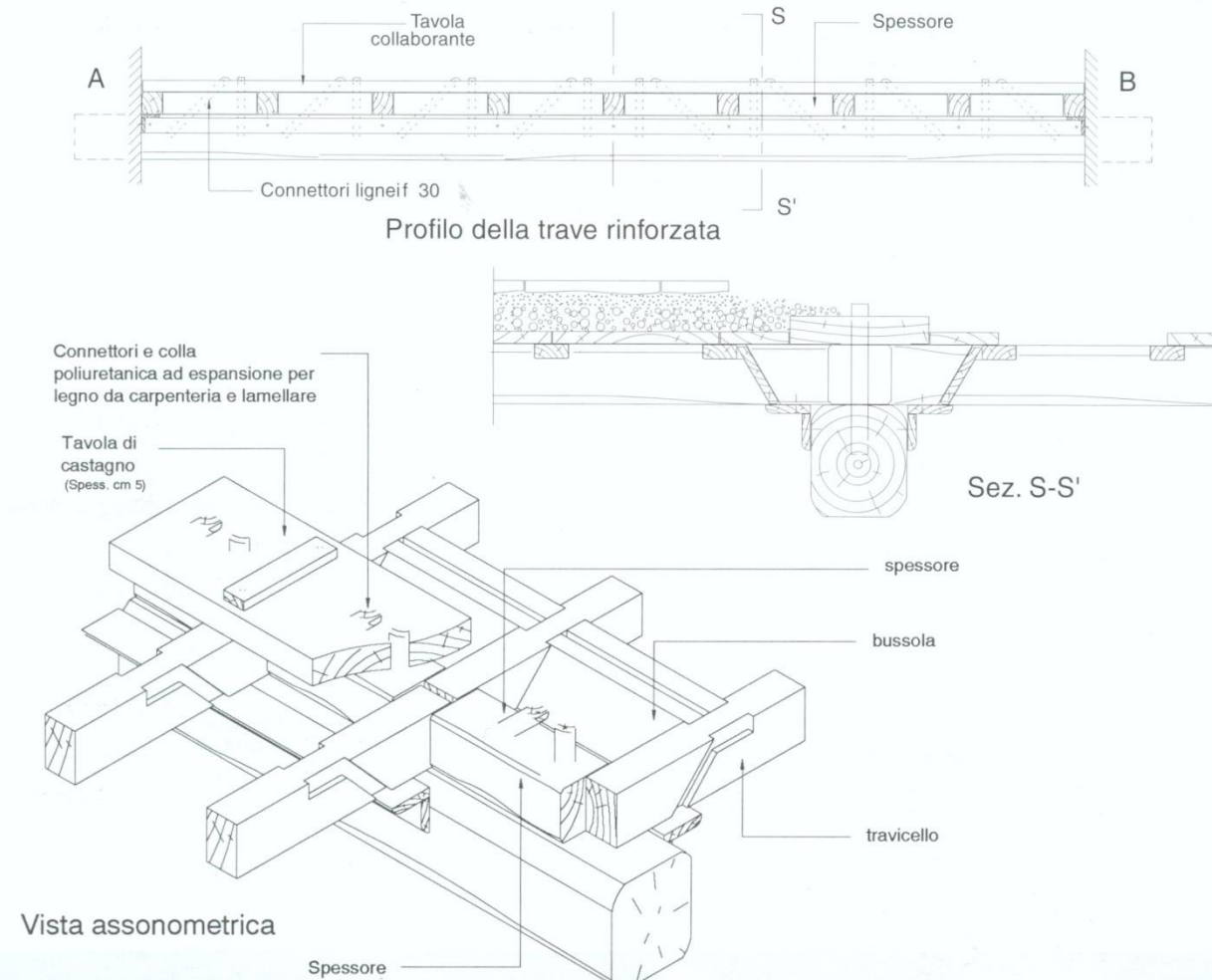


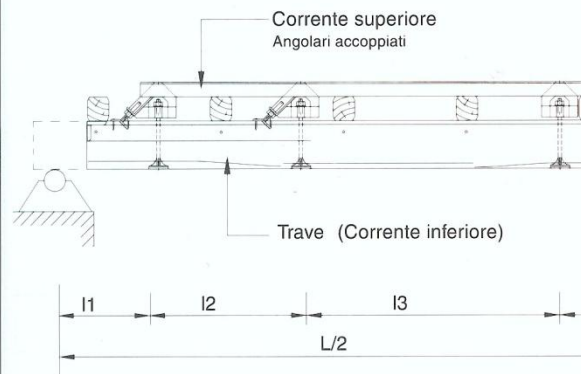
Fig.2: Immagine riportata dal manuale del recupero di Roma II edizione



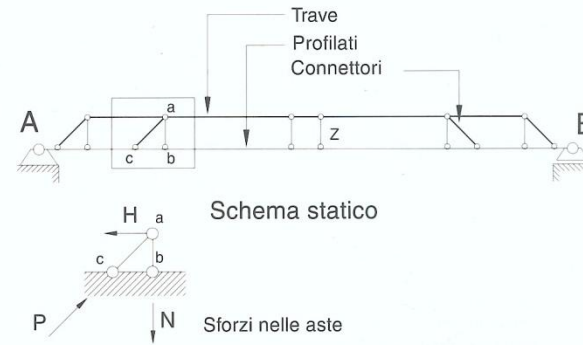
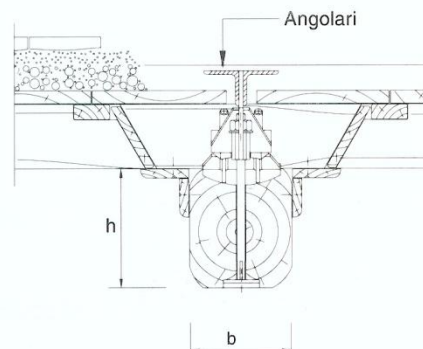
Fig.2: Immagine riportata dal manuale del recupero di Roma II edizione

Il sistema a traliccio, composto dalla trave in legno, dal corrente superiore e dai connettori in acciaio, assicura una resistenza flessionale molto superiore a quella della struttura originaria. L'applicazione della protesi metallica richiede la predisposizione di fori verticali in asse alla trave per l'inserimento dei montanti e la realizzazione di incavi sull'estradosso per creare il contrasto dei puntoni diagonali compressi. Prima di inserire gli elementi d'acciaio e mettere in tensione la struttura, è necessario ridurre gli stati deformativi della trave (recupero della freccia elastica) agendo all'intradosso con martinetti idraulici. Successivamente sarà possibile correggere la configurazione del sistema reticolare operando con i dadi di regolazione disposti nello spazio vuoto fra gli appoggi dei travicelli.

Questa tecnica di consolidamento si affida alla capacità dei connettori di trasferire gli sforzi di taglio alla trave di legno.



Sezione e profilo della trave rinforzata



Particolari del connettore e meccanismo di regolazione

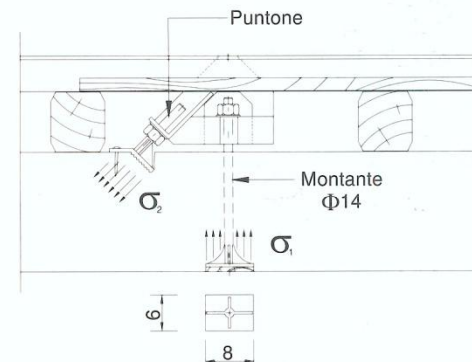
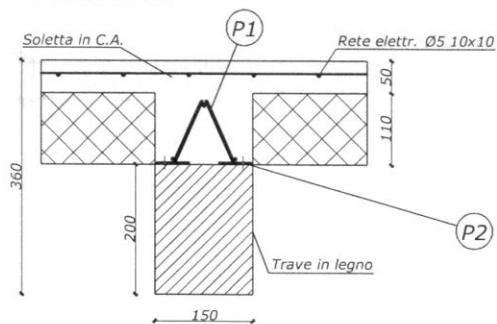


Fig.3: Immagine riportata dal manuale del recupero di Roma II edizione

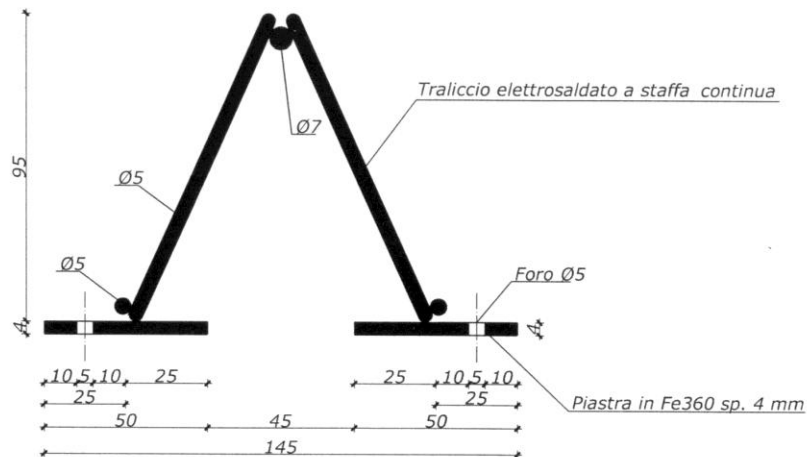


Fig.3: Immagine riportata dal manuale del recupero di Roma II edizione

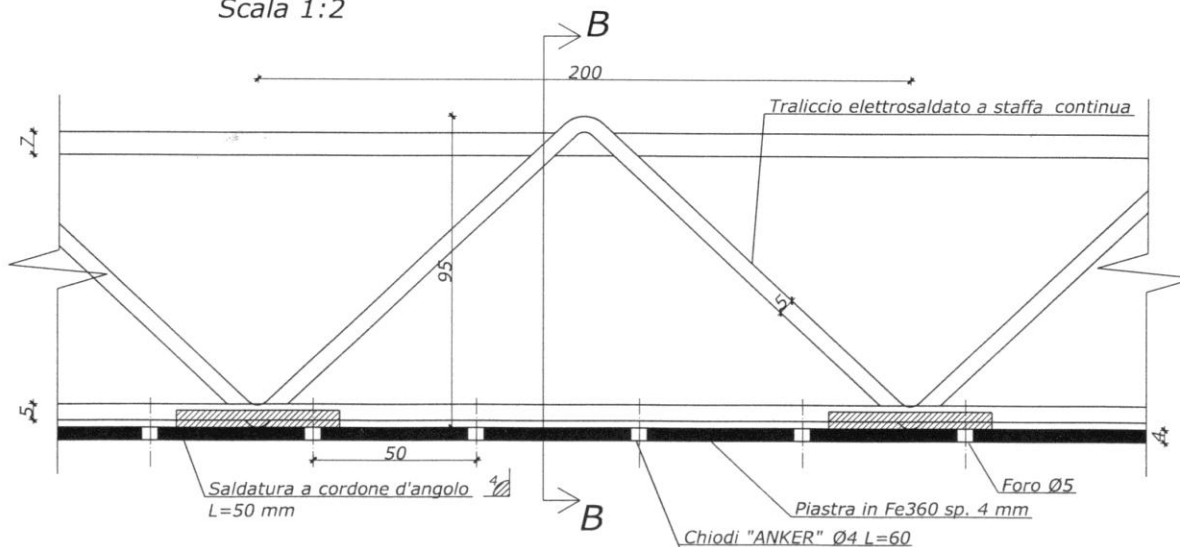
Schema tipo della trave "mista" legno-C.L.S.
 Scala 1:10



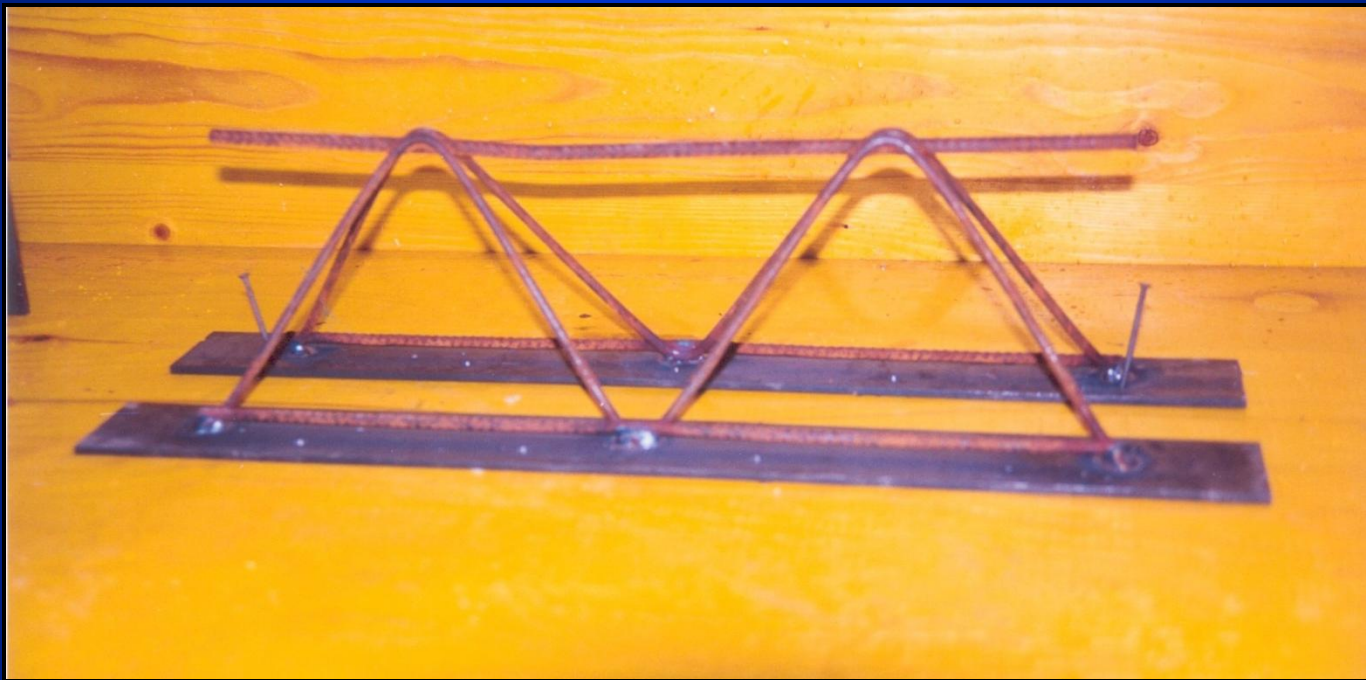
Sezione B-B



Particolare (P1) - Traliccio elettrosaldato standard
 Scala 1:2

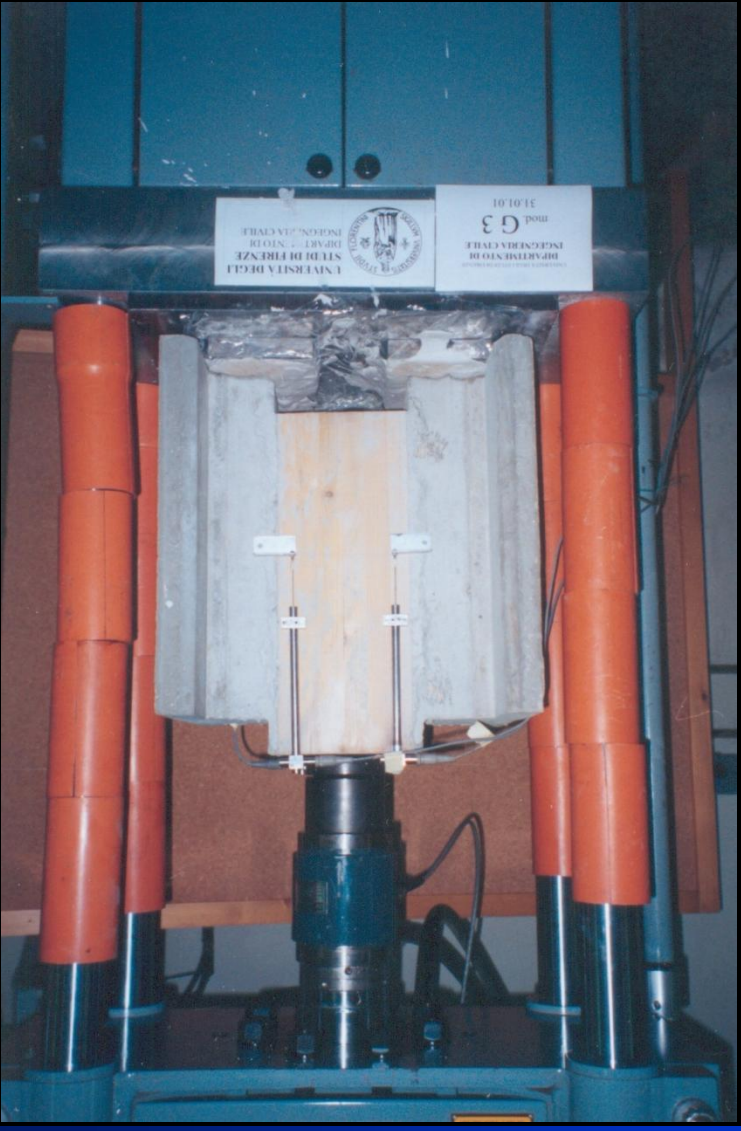


Solaio provato da Ing. Mangoni prove presso il laboratorio
 Strutture del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di





UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FERRARA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE
10/10/11

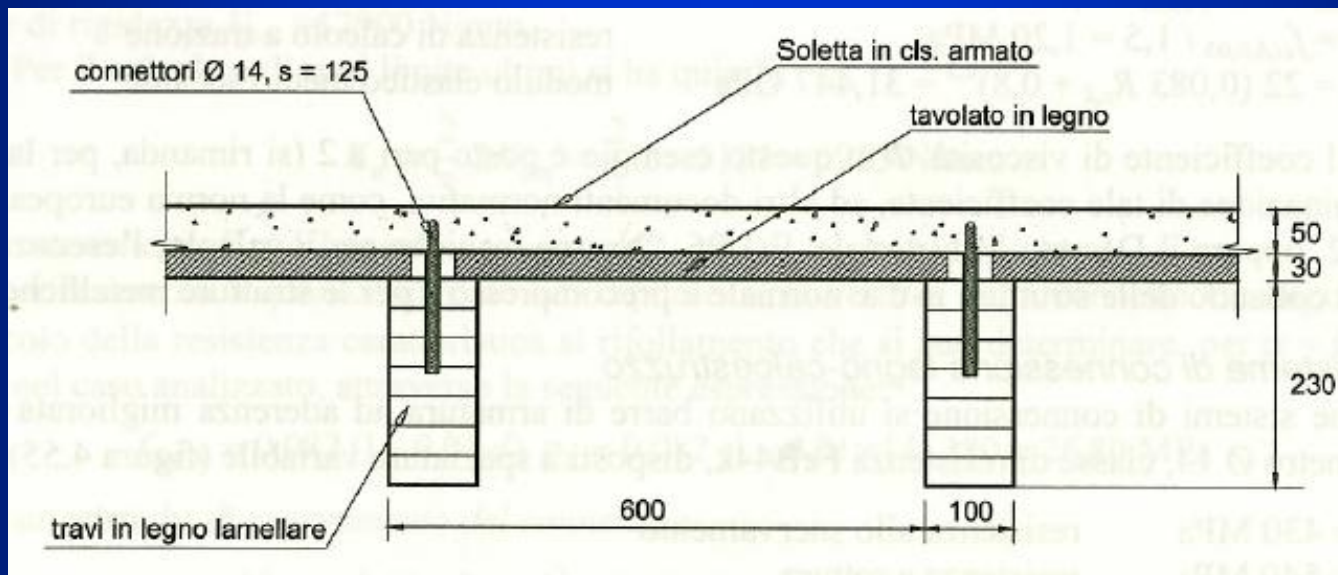




Solaio composto legno-calcestruzzo con connessione deformabile

Esempio di calcolo

- Caratteristiche geometriche



Spessore soletta

$$s = 50 \text{ mm}$$

Distanza (tavolato ed elementi isolanti)

tra soletta e trave

$$t = 30 \text{ mm}$$

Base della sezione della trave

$$b = 100 \text{ mm}$$

Altezza della sezione della trave

$$h = 230 \text{ mm}$$

Interasse tra le travi

$$i = 600 \text{ mm}$$

Luce teorica delle travi

$$l = 5 \text{ m}$$

Diametro dei pioli

$$\varnothing = 14 \text{ mm}$$

Interasse equivalente dei pioli

$$s_{eq} = 125 \text{ mm}$$

Lunghezza dei connettori

$$l_b = 180 \text{ mm}$$

Lunghezza di infissione dei pioli

nel legno (almeno $8 \div 10 \varnothing$)

$$l_w = 140 \text{ mm}$$

nel calcestruzzo

$$l_c = 30 \text{ mm}$$

- Caratteristiche materiale legno

Legno lamellare GL24h; massa volumica $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

Classe di servizio: 1 $\rightarrow k_{\text{def}} = 0,6$

Classe di durata del carico: permanente $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0,6$

Classe di durata del carico: media durata $\rightarrow k_{\text{mod}} = 0,8$

Valori di modulo elastico

$E_{0,\text{mean}} = 11600 \text{ MPa}$

$E_{0,05} = 9400 \text{ MPa}$

$G_{\text{mean}} = 720 \text{ MPa}$

Valori di resistenza

Valori caratteristici		Valori di progetto		$k_{\text{mod}} = 0,8$	$k_{\text{mod}} = 0,6$
$f_{m,y,k}$ (MPa)	27,60	$f_{m,y,d}$ (MPa)		17,66	13,25
$f_{m,z,k}$ (MPa)	27,60	$f_{m,z,d}$ (MPa)		17,66	13,25
$f_{t,0,k}$ (MPa)	18,98	$f_{t,0,d}$ (MPa)		12,14	9,11
$f_{t,90,k}$ (MPa)	0,4	$f_{t,90,d}$ (MPa)		0,26	0,19
$f_{c,0,k}$ (MPa)	24	$f_{c,0,d}$ (MPa)		15,36	11,52
$f_{c,90,k}$ (MPa)	2,7	$f_{c,90,d}$ (MPa)		1,73	1,30
$f_{v,k}$ (MPa)	2,7	$f_{v,d}$ (MPa)		1,73	1,30

- Caratteristiche materiale calcestruzzo

$$R_{c,k} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{c,k} = 25 \text{ MPa}$$

$$f_{c,d} = 0,83 f_{c,k} / 1,5 = 13,83 \text{ MPa}$$

$$f_{c,t,m} = 0,3 (f_{c,k})^{2/3} = 2,60 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,k,0,05} = 0,7 f_{c,t,m} = 1,80 \text{ MPa}$$

$$f_{c,t,d} = f_{ct,k,0,05} / 1,5 = 1,20 \text{ MPa}$$

$$E_{c,m} = 22 (0,083 R_{c,k} + 0,8)^{0,3} = 31,447 \text{ GPa}$$

resistenza cubica caratteristica

resistenza cilindrica caratteristica

resistenza di calcolo a compressione

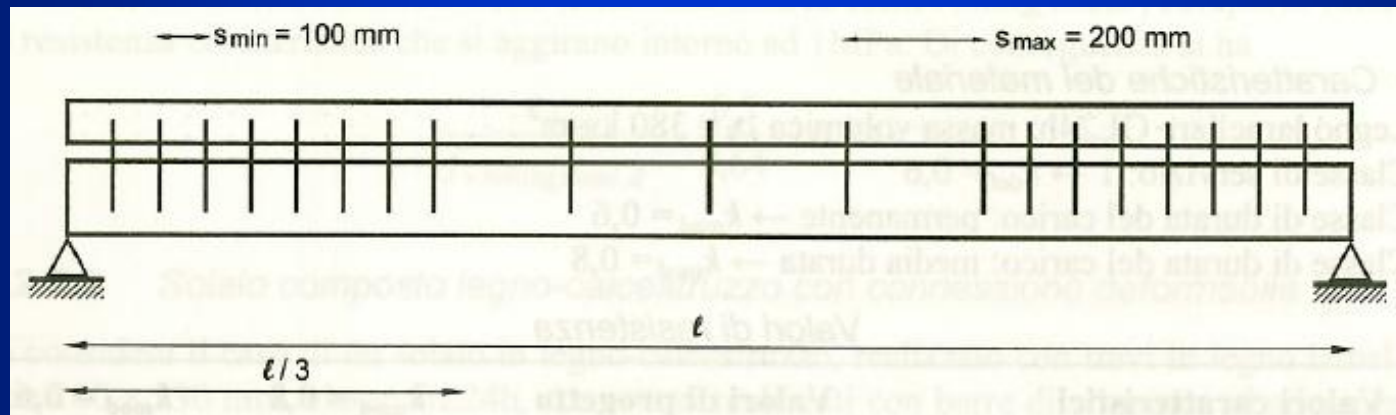
resistenza media a trazione

resistenza caratteristica a trazione

resistenza di calcolo a trazione

modulo elastico medio secante

- Sistema di connessione legno-calcestruzzo



Si utilizzano barre di armatura ad aderenza migliorata $\Phi 14$

$f_{y,k} = 430 \text{ MPa}$	resistenza allo snervamento
$f_{u,k} = 540 \text{ MPa}$	resistenza a rottura
$s_{\min} = 100 \text{ mm}$	passo minimo tra i connettori vicini agli appoggi per un tratto $\approx l/3$
$s_{\min} = 200 \text{ mm}$	passo massimo tra i connettori in mezzzeria per un tratto $\approx l/3$

$$s_i = 0,75 \cdot s_{\min} + 0,25 \cdot s_{\max} = 125 \text{ mm}$$

Interasse efficaci

$$K_{\text{ser}} = \rho_k^{1,5} \cdot \frac{d}{20} = 380^{1,5} \cdot \frac{14}{20} = 5185 \text{ N/mm}$$

$$K_{\text{ser}} = 10370 \text{ N/mm}$$

Rigidezza del sistema di connessione

$$K_u = \frac{2}{3} 2K_{\text{ser}} = \frac{2}{3} 2 \times 5185 = 6913 \text{ N/mm}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k = 0,082 (1 - 0,01 \times 14) 380 = 26,80 \text{ MPa}$$

Rifollamento

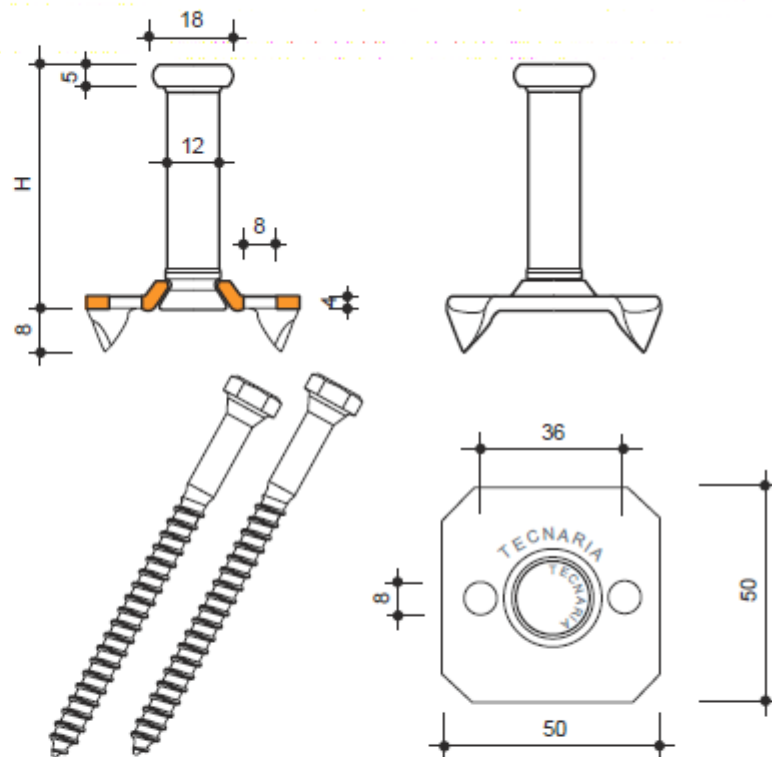
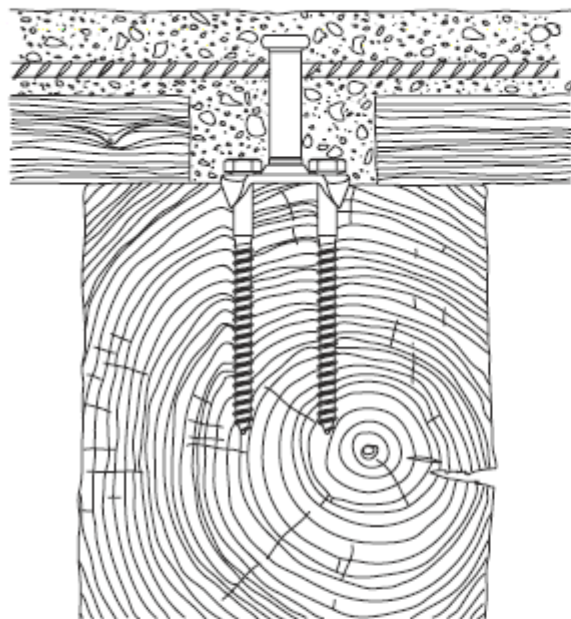
$$M_{y,k} = 0,08 \cdot f_{u,k} \cdot d^3 = 0,08 \times 540 \times 14^3 \approx 118541 \text{ Nmm}$$

Snervamento del connettore



connettore BASE

piastra di base 50 X 50 mm viti Ø 8 mm



Voce di capitolato: connettore a piolo composto da una piastra di base 50 X 50 X 4 mm, modellata a ramponi, avente due fori atti al passaggio di due viti tirafondi Ø 8 mm, con sottotesta tronco-conico, gambo in acciaio zincato Ø 12 mm, unito alla piastra tramite ricalco a freddo. Altezze gambo disponibili: 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175 e 200 mm. Lunghezza viti disponibili: 70, 100 e 120 mm

Valori meccanici su legno di abete C16 (EN338) corrispondente alla classe S7 (DIN 4074) secondo il metodo delle:

TENSIONI AMMISSIBILI	direttamente su trave	su tavolato di 2 cm	su tavolato di 4 cm
RESISTENZA (carico ammissibile) [N]	7500	5100	3500
RIGIDEZZA (modulo di scorrimento di servizio) [N/mm]	20800	3140	1410

Valori meccanici su legno di abete C16 (EN338) corrispondente alla classe S7 (DIN 4074) secondo il metodo degli:

STATI LIMITE	direttamente su trave	su tavolato di 2 cm	su tavolato di 4 cm
RESISTENZA CARATTERISTICA f_k [N]	20900	14190	9760
MODULO DI SCORRIMENTO INIZIALE K_{ser} [N/mm]	17200	2740	1330
MODULO DI SCORRIMENTO ULTIMO K_u [N/mm]	7410	1730	970

- Carichi e azioni interne

$$G_k = 2,5 \text{ kN/m}^2 \rightarrow k_{mod} = 0,6$$

Carichi permanenti

$$Q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad k_{mod} = 0,8$$

Carichi variabili

Nelle verifiche a breve termine ($t=0$) si dovrebbero considerare due comb. di carico. N.B. non è immediato dire quale sia la peggiore, cambia k_{mod} !!!.

$$q_{d,I} = (1,35 \times 2,5 + 1,5 \times 2) \times 0,6 = 3,83 \text{ kN/m}$$

$$q_{d,II} = (1,35 \times 2,5) \times 0,6 = 2,03 \text{ kN/m}$$

$$M_{d,I} = \frac{3,83 \times 5^2}{8} = 11,95 \text{ kNm}$$

Momento in mezzeria

$$T_{d,I} = \frac{3,83 \times 5}{2} = 9,56 \text{ kNm}$$

Taglio agli appoggi

Tabella 2.5 Valori di k_{mod} per i prodotti strutturali a base di legno (EN 1995-1-1)

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantaneo	
Legno massiccio	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Legno lamellare incollato	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Microlamellare (LVL)	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90

- Verifiche di resistenza

Verifica a tempo $t=0$

$$E_1 J_1 = 31447 \times 600 \times 50^3 / 12 = 1,97 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 J_2 = 11600 \times 100 \times 230^3 / 12 = 1,18 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$E_1 A_1 = 31447 \times 600 \times 50 = 9,43 \times 10^8 \text{ N}$$

$$E_2 A_2 = 11600 \times 100 \times 230 = 2,67 \times 10^8 \text{ N}$$

$$(EJ)_0 = 1,37 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EA)_0 = 2,08 \times 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$(EJ)_\infty = 7,38 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_1 = 1 / \left(1 + \frac{\pi^2 \times 9,43 \times 10^8 \times 125}{6913 \times 5000^2} \right) \cong 0,13$$

$$a_2 = \frac{0,13 \times 9,43 \times 10^8 \times (50/2 + 230/2 + 30)}{0,13 \times 9,43 \times 10^8 + 2,67 \times 10^8} \cong 54 \text{ mm}$$

$$a_1 = (50/2 + 230/2 + 30) - 54 = 116 \text{ mm}$$

$$(EJ)_{\text{ef}} = 1,97 \times 10^{11} + 1,18 \times 10^{12} + 0,13 \times 9,43 \times 10^8 \times 116^2 + 1 \times 2,67 \times 10^8 \times 54^2 \\ \cong 3,80 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$\eta = \frac{(EJ)_{\text{ef}} - (EJ)_0}{(EJ)_\infty - (EJ)_0} = \frac{3,80 - 1,37}{7,38 - 1,37} = 0,404$$

Per il calcestruzzo si ha:

$$\sigma_1 = \frac{0,13 \times 31447 \times 116}{3,80 \times 10^{12}} \times 11,95 \times 10^6 \cong 1,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,1} = \frac{0,5 \times 31447 \times 50}{3,80 \times 10^{12}} \times 11,95 \times 10^6 \cong 2,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,c} = 1,50 + 2,47 = 3,97 \text{ MPa} < 13,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,t} = 2,47 - 1,50 = 0,98 \text{ MPa} < 1,2 \text{ MPa}$$

Per il legno si ha:

$$\sigma_2 = \frac{1 \times 11600 \times 54}{3,80 \times 10^{12}} \times 11,95 \times 10^6 \cong 1,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,2} = \frac{0,5 \times 11600 \times 230}{3,80 \times 10^{12}} \times 11,95 \times 10^6 \cong 4,20 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_2}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,2}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,95}{12,41} + \frac{4,20}{17,66} \cong 0,40 < 1$$

$$\tau_{2,\max} = \frac{0,5 \times 11600 \times (230/2 + 54)^2}{3,80 \times 10^{12}} \times 9,56 \times 10^3 \cong 0,41 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{2,\max}}{f_{v,d}} = \frac{0,41}{1,73} \cong 0,24 < 1$$

Per la connessione si ha:

$$F = \frac{0,13 \times 9,43 \times 10^8 \times 116 \times 125}{3,80 \times 10^{12}} \times 9,56 \cong 4,492 \text{ kN}$$

$$R_k = \begin{cases} f_{h,k} \cdot l_w \cdot d_{\text{eff}} = 52523 \text{ N} \\ f_{h,k} \cdot d_{\text{eff}} \cdot l_w \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d_{\text{eff}} \cdot l_w^2}} - 1 \right] = 22944 \text{ N} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d_{\text{eff}}} = 15338 \text{ N} \end{cases}$$

$$F = 4,492 \text{ kN} < R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{0,6}{0,8} \times \frac{15,338}{1,3} = \frac{7,079}{9,438} \text{ kN}$$

Verifica a tempo $t = \text{infinito}$

$$E_{c,\infty} = \frac{E_c}{(1 + \psi_2 \cdot \phi)} = \frac{31447}{(1 + 1 \times 2)} \cong 10482 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean},\infty} = \frac{E_0}{(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})} = \frac{11600}{(1 + 1 \times 0,6)} \cong 7250 \text{ MPa}$$

$$K_{u,\infty} = \frac{K_u}{(1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}})} = \frac{6913}{(1 + 1 \times 0,6)} \cong 4321 \text{ N/mm}$$

	Verifica a tempo $t = 0$	Verifica a tempo $t = \infty$
<i>Calcestruzzo</i>		
$E_{c,m}$	31447 MPa	10482 MPa
$(EJ)_1$	$1,97 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$	$6,55 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}^2$
$(EA)_1$	$9,43 \cdot 10^8 \text{ N}$	$3,14 \cdot 10^8 \text{ N}$
<i>Legno</i>		
$E_{0,\text{mean}}$	11600 MPa	7250 MPa
$(EJ)_2$	$1,18 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$	$7,35 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
$(EA)_2$	$2,67 \cdot 10^8 \text{ N}$	$1,67 \cdot 10^8 \text{ N}$
<i>Connessione</i>		
K_u	6913 N/mm	4321 N/mm

Tabella 2.9 Valori di k_{def} per i prodotti strutturali a base di legno (EN 1995-1-1). Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto ad essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} sarà aumentato di 1,0; si osservi come i valori di k_{def} per pannelli risultano maggiori quanto più il componente di base del pannello risulta piccolo, in accordo con quanto detto nel capitolo 1

Materiale	Riferimento	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Microlamellare (LVL)	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Compensato	EN 636			
	Parte 1	0,80	–	–
	Parte 2	0,80	1,00	–
	Parte 3	0,80	1,00	2,50
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300			
	OSB/2	2,25	–	–
	OSB/3 OSB/4	1,50	2,25	–
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312			
	Parte 4	2,25	–	–
	Parte 5	2,25	3,00	–
	Parte 6	1,50	–	–
	Parte 7	1,50	2,25	–
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	–	–
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	–
Pannelli di fibre, media densità	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	–	–
	MBH.HLS1,	3,00	4,00	–
	MBH.HLS2			

Verifica a tempo $t = 0$

Verifica a tempo $t = \infty$

Caratteristiche sistema misto

$(EJ)_0$	$1,37 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$	$8,01 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$
$(EA)_0$	$2,08 \cdot 10^8 \text{ N}$	$1,09 \cdot 10^8 \text{ N}$
$(EJ)_\infty$	$7,38 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$	$3,95 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$
γ_1	0,13	0,22
γ_2	1	1
a_1	116 mm	120 mm
a_2	54 mm	50 mm
$(EJ)_{\text{eff}}$	$3,80 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$	$2,21 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$
μ	0,404	0,45

Caratteristiche di sollecitazione

Calcestruzzo

$\sigma_{1,c}$	3,97 MPa	2,91 MPa
$\sigma_{1,t}$	0,98 MPa	-0,08 MPa

Legno

$\sigma_{t,2}$	1,95 MPa	1,95 MPa
$\sigma_{m,2}$	4,20 MPa	4,50 MPa
τ_d	0,41 MPa	0,43 MPa

Connessione

F	4,492 kN	4,448 kN
-----	----------	----------

Verifica a tempo $t = 0$

Verifica a tempo $t = \infty$

Verifiche di resistenza

Calcestruzzo

Compressione 0,29 0,21

Trazione 0,81

Legno

Formule flessione + trazione 0,40 0,42

Taglio 0,24 0,25

Connessione

Verifica F/R ~~0,48~~ 0,63 ~~0,48~~ 0,63

- Verifiche della freccia

Verifica a tempo $t=0$

$$K_{t=0} = 2 \times K_{\text{ser}} = 2 \times \rho_k^{1,5} \cdot \frac{d}{20} = 2 \times 380^{1,5} \cdot \frac{14}{20} \cong 10370 \text{ N/mm}$$

$$(EJ)_{\text{ef,ser,t=0}} \cong 4,37 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Rigidezza efficace

$$u_{g,\text{ist}} = 1,1 \times \frac{5}{384} \times \frac{1,5 \times 5000^4}{4,37 \times 10^{12}} \cong 3,1 \text{ mm} \cong \frac{l}{16000}$$

Freccia istantanea
per carichi permanenti

$$u_{q,\text{ist}} = 1,1 \times \frac{5}{384} \times \frac{1,2 \times 5000^4}{4,37 \times 10^{12}} \cong 2,5 \text{ mm} \cong \frac{l}{2000}$$

Freccia istantanea
per carichi accidentali

Verifica a tempo $t = \infty$

$$K_{t=\infty} = \frac{K_{t=0}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{10370}{1 + 0,6} \cong 6481 \text{ N/mm}$$

Rigidità efficace

$$(EJ)_{\text{ef,ser},t=0} \cong 2,50 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$u_{g,\text{fin}} = 1,1 \times \frac{5}{384} \times \frac{1,5 \times 5000^4}{2,50 \times 10^{12}} \cong 5,4 \text{ mm}$$

Freccia per carichi permanenti

$$u_{q,\text{fin}} = 1,1 \times \frac{5}{384} \times \frac{1,2 \times 5000^4}{2,50 \times 10^{12}} \cong 4,3 \text{ mm}$$

Freccia per carichi accidentali

$$u_{\infty,\text{tot}} = u_{g,\text{fin}} + \psi_2 \cdot u_{q,\text{fin}} = 5,4 + 0,2 \times 4,3 \cong 6,3 \text{ mm} \cong \frac{l}{800}$$

Freccia totale

Bibliografia:

- (1) Turrini G., Piazza M. “Il comportamento statico della struttura mista legno-calcestruzzo, in Recuperare n°6, 1983
- (2) Giuriani E., Gelfi P., Marini A. “Comportamento della connessione a piolo nelle travimiste in legno e calcestruzzo: modellazione teorica e confronti sperimentali, in III Workshop italiano sulle Strutture Composte, Ancona, Ottobre 1998
- (3) Piazza M., Ballerini M. “Solai lignei composti: confronto sperimentale tra diverse tipologie di connessione, in III Workshop italiano sulle Strutture Composte, Ancona, Ottobre 1998
- (4) Mangoni E. “Nuovi sviluppi nel calcolo delle strutture composte legno-calcestruzzo, in Bollettino Ingegneri, Agosto, n°7-8, 2000

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!