



**Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Pistoia**

Corso di aggiornamento professionale
***“Progettazione di strutture in legno
massiccio e lamellare secondo le NTC 2008”***
Pistoia, 16-29 ottobre e 5-12 novembre 2010



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia
Via Panciatici, 11 – 51100 Pistoia
Tel. 0573 25931 - fax 0573 24383
info@ordineingegneri.pistoia.it www.ordineingegneri.pistoia.it



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA

Corso di aggiornamento professionale
**“Progettazione di strutture in legno
massiccio e lamellare secondo le NTC 2008”**

Pistoia, 16-29 ottobre e 5-12 novembre 2010



2° CASO STUDIO

**Travata di grande luce a doppia rastremazione in L.L.I., esempi
di ancoraggio travata – cordolo in c.a. / fondazione in c.a.**

Pistoia, 22/10/2010

Ing. Marie-Claire NTIBARIKURE

SOMMARIO

- **Un po' di storia...**
- Cenni sulla tecnologia del L.L.I.
- Le travi 'speciali': normativa e stato tensionale
- Dimensionamento di una trave a doppia rastremazione
- Dimensionamento del collegamento alle strutture di bordo
- Dimensionamento di un collegamento in fondazione



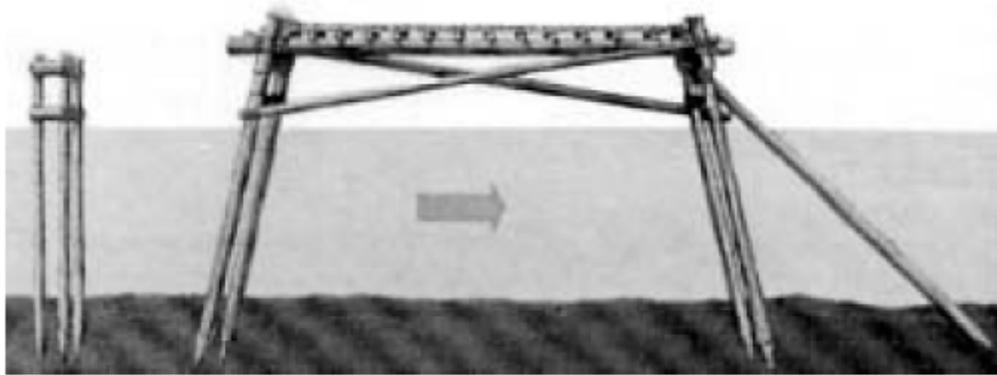


Immagine 2.5: Ponte sul Reno di Giulio Cesare 55 a.C.
... costruito in 10 gg

Il legno, unitamente alla pietra, è stato uno dei primi materiali impiegati nelle costruzioni ed era anche l'unico che poteva indifferentemente essere impiegato a compressione, a trazione e, soprattutto, a flessione.



Ponte Kintai in legno in Giappone costruito nel 1673, ancora in uso

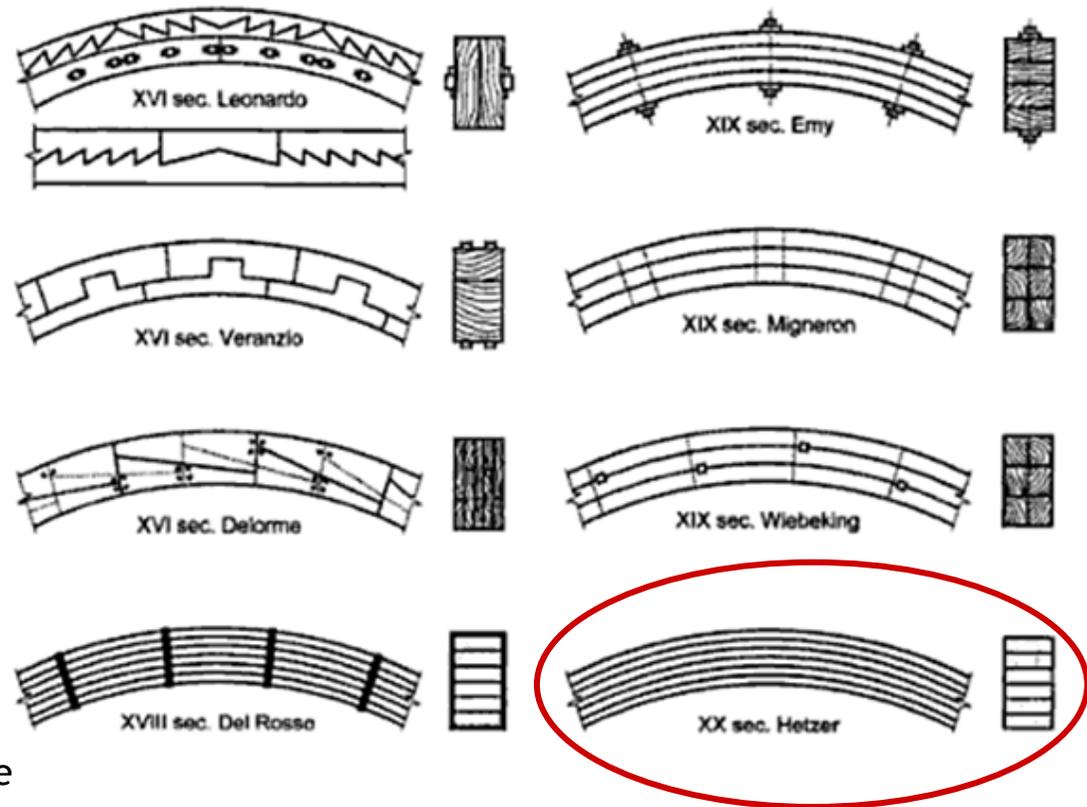
Il rapporto molto favorevole fra resistenza e peso ha favorito la diffusione di strutture in legno di luce notevole.

<i>Materiale</i>	<i>f/ρ (m²/s²)</i>	<i>E/f</i>
Legno lamellare (GL24h)	~ <u>63.000</u>	~ 480
Calcestruzzo (R _{ck} 30)	~ 10.400	~ 1200
Acciaio (Fe430)	~ <u>55.000</u>	~ 480
Alluminio (lega 7020)	~ 130.000	~ 200

f parametro di resistenza (longitudinale per il legno)
ρ peso specifico
E modulo di elasticità

TRAVI DI GRANDE LUCE

- Necessità di superare i limiti dimensionali, di forma e di approvvigionamento (realizzazione con solai, controsoffitti, ponti)
- Elementi reticolari
- Elementi lignei composti con tecniche di esecuzione interessanti (collegamenti con biette in legno duro, staffe e chiodature metalliche)



Leonardo, XVI sec

Elementi composti con collegamenti realizzati con biette di legno duro, staffe e chiodature e denti inclinati o retti

De L'Orme, XVI sec

Accostamento di tavole disposte a coltello

Del Rosso XVIII sec, Emy XIX sec

Tavole di piatto (simile al L.L. moderno) con elementi di collegamento di tipo discreto (staffature, biette di legno)

1905 Brevetto Hetzer (Austria + Svizzera) per il legno lamellare incollato.

Le travi di grande luce hanno avuto un notevole sviluppo con l'utilizzo del legno lamellare incollato

TRAVI DI GRANDE LUCE



Salone dei 500, dimensioni 23m x 52m



Ponte progettato dall'ing. Miozzi nel 1932 a Venezia

Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

- Un po' di storia...
- **Cenni sulla tecnologia del L.L.I.**
- Le travi 'speciali': normativa e stato tensionale
- Dimensionamento di una trave a doppia rastremazione
- Dimensionamento del collegamento alle strutture di bordo
- Dimensionamento di un collegamento in fondazione



Cenni sulla tecnologia del legno lamellare incollato

- Qualità fisiche simili al legno massiccio
- Qualità meccaniche migliori del legno massiccio
- Selezione rigorosa → Minore difettosità (nodi)
- Essiccazione controllata → Minori fessurazioni
- Elementi curvi

UNI EN 14080

UNI EN 1194

UNI EN 386:2003

UNI EN 387:2003

UNI EN 390

MARCATURA CE

CLASSE DI RESISTENZA

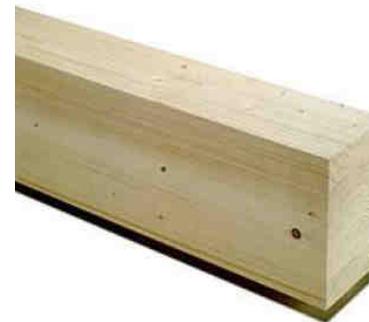
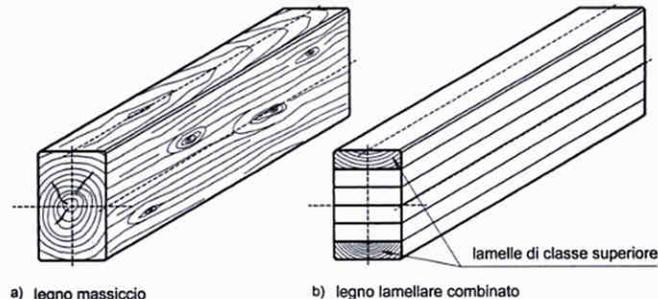
DIMENSIONI LAMELLE

GIUNTI A DITA

TOLLERANZE DIMENSIONALI



- Legno lamellare omogeneo o combinato



	GL 24h	GL 24c
$f_{m,g,k}$	24	24
$f_{t,0,g,k}$	16,5	14
$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,35
$f_{c,0,g,k}$	24	21
$f_{c,90,g,k}$	2,7	2,4
$f_{v,g,k}$	2,7	2,2
$E_{0,g,mean}$	11 600	11 600
$E_{0,g,05}$	9 400	9 400
$E_{90,g,mean}$	390	320
$G_{g,mean}$	720	590
$\rho_{g,k}$	380	350

Esempi di composizioni di travi conformi ai prospetti 1 e 2; classi di resistenza delle lamelle in conformità alla EN 338

Classe di resistenza del legno lamellare incollato	GL 24	GL 28	GL 32
Legno lamellare incollato omogeneo	C24	C30	C40
Legno lamellare incollato combinato: lamelle esterne/interne	C24/C18	C30/C24	C40/C30



Cenni sulla tecnologia del legno lamellare incollato

Tabella 1.18 Dimensioni tipiche di produzione per travi in legno lamellare con lamelle da 33 mm e 40 mm

Larghezza della trave b (cm)						
8-10-12-14-16-18-20-22						
Altezza della trave h (cm), da 2 a 66 lamelle da 33 mm						
–	39,7	76,9	113,7	150,6	187,4	
6,2	43,1	80,2	117,1	153,9	190,8	
9,6	46,4	83,6	120,4	157,3	194,1	
12,9	50,1	86,9	123,8	160,6	197,5	
16,3	53,4	90,3	127,1	164,0	200,8	
19,6	56,8	93,6	130,5	167,3	204,2	
23,0	60,1	97,0	133,8	170,7	207,5	
26,3	63,5	100,3	137,2	174,0	210,9	
29,7	66,8	103,7	140,5	177,4	214,2	
33,0	70,2	107,0	143,9	180,7	217,6	
36,4	73,5	110,4	147,2	184,1	220,9	
Altezza della trave h (cm), da 3 a 50 lamelle 40 mm						
–	40,0	76,0	112,0	148,0	184,0	
–	44,0	80,0	116,0	152,0	188,0	
12,0	48,0	84,0	120,0	156,0	192,0	
16,0	52,0	88,0	124,0	160,0	196,0	
20,0	56,0	92,0	128,0	164,0	200,0	
24,0	60,0	96,0	132,0	168,0	–	
28,0	64,0	100,0	136,0	172,0	–	
32,0	68,0	104,0	140,0	176,0	–	
36,0	72,0	108,0	144,0	180,0	–	

Cenni sulla tecnologia del legno lamellare incollato



LIMITI DIMENSIONALI

PRODUZIONE

TRASPORTO



Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

- Un po' di storia...
- Cenni sulla tecnologia del L.L.I.
- **Le travi 'speciali': normativa e stato tensionale**
- Dimensionamento di una trave a doppia rastremazione
- Dimensionamento del collegamento alle strutture di bordo
- Dimensionamento di un collegamento in fondazione



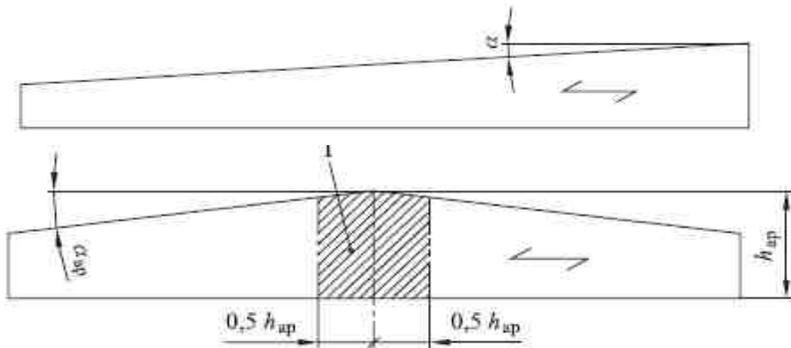
NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **DM 14/01/2008 (NTC) e CIRCOLARE N. 617 DEL 2/2/2009:**
CAP. 4.4 - CAP. 7.7 - CAP. 11.7

ALTRI RIFERIMENTI TECNICI (cap. 12 NTC):

- **EUROCODICI (EC5 e EC8):**
 - UNI EN 1995-1-1_2009: Progettazione delle strutture in legno. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici.
 - UNI EN 1995-1-2_2005: Progettazione delle strutture in legno. Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio.
 - UNI EN 1995-2_2005: Progettazione delle strutture in legno. Parte 2: Ponti
 - UNI EN 1998-1_2005: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1
- **Istruzioni CNR-DT 206/2007 (28.11.2007 - rev. ottobre 2008) :** Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno (disponibile on line)
- **DIN 1052:2008**

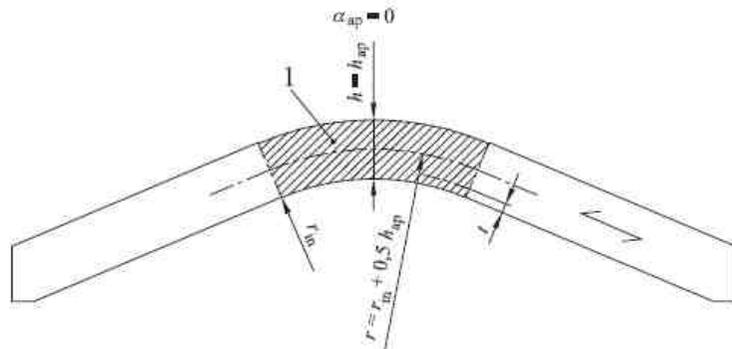
LE TRAVI SPECIALI



TRAVE A SEMPLICE E A DOPPIA RASTREMAZIONE

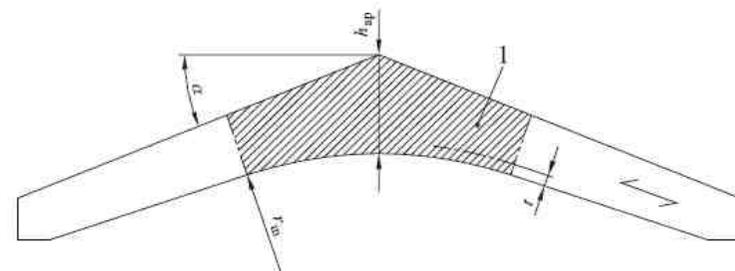
Travi ad altezza variabile con intradosso rettilineo

Pendenza: 3-10° Luce: 10-30m
Altezza: $h \approx l/30$ $H \approx l/16$



TRAVE CURVA

Travi ad asse curvilineo



TRAVE CENTINATA

Travi con estradosso piano a doppia pendenza e intradosso curvilineo

Pendenza: 3-15° Luce: 10-30m
Altezza: $h \approx l/30$ $H \approx l/16$

TRAVI SPECIALI – NORMATIVA

4.4.8 STATI LIMITE ULTIMI

NTC 2008

4.4.8.1 Verifiche di resistenza

Le tensioni interne si possono calcolare nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare tra tensioni e deformazioni fino alla rottura.

Le resistenze di calcolo dei materiali X_d sono quelle definite al § 4.4.6

Le prescrizioni del presente paragrafo si riferiscono alla verifica di resistenza di elementi strutturali in legno massiccio o di prodotti derivati dal legno aventi direzione della fibratura coincidente sostanzialmente con il proprio asse longitudinale e sezione trasversale costante, soggetti a sforzi agenti prevalentemente lungo uno o più assi principali dell'elemento stesso (Fig. 4.4.1).

A causa dell'anisotropia del materiale, le verifiche degli stati tensionali di trazione e compressione si devono eseguire tenendo conto dell'angolo tra direzione della fibratura e direzione della tensione.

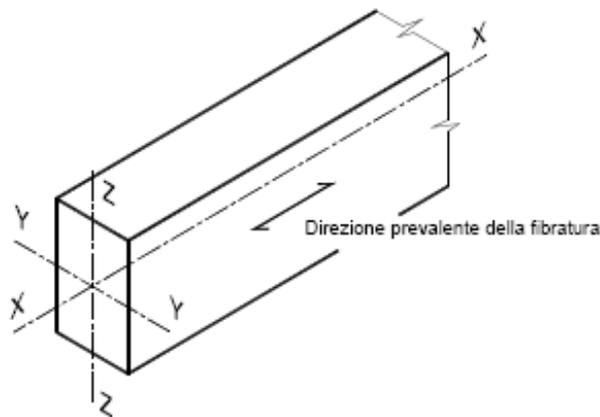


Figura 4.4.1 - Assi dell'elemento

Per la verifica delle travi rastremate occorre far riferimento a normative di comprovata validità:

- **EUROCODICE 5 - § 6.4**
- **CNR-DT 206/2007 - § 8.1**

TRAVI SPECIALI – EUROCODICE 5

Eurocodice 5
Progettazione delle strutture di legno
Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici

UNI EN 1995-1-1

MARZO 2009

Versione italiana
del settembre 2009

Eurocode 5
Design of timber structures
Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings

	prospetto	6.1	Lunghezza efficace espressa in rapporto alla luce	34
6.4			Progettazione di sezioni trasversali in elementi a sezione trasversale variabile o di forma curva	35
6.4.1			Generalità	35
6.4.2			Travi a rastremazione semplice	35
	figura	6.8	Trave a rastremazione semplice	35
6.4.3			Travi a doppia rastremazione, curve e centinate	36
	figura	6.9	Travi a doppia rastremazione (a), curve (b) e centinate (c) con la direzione della fibratura parallela al bordo inferiore della trave	39



6.4.3 Travi a doppia rastremazione, curve e centinate

(1) Il presente punto si applica soltanto al legno lamellare incollato e al LVL.

TRAVI SPECIALI – EUROCODICE 5

6.4 Progettazione di sezioni trasversali in elementi a sezione trasversale variabile o di forma curva

6.4.1 Generalità

- (1)^P Deve essere tenuto conto degli effetti della combinazione fra forza assiale e momento flettente.
- (2) Si raccomanda di verificare le parti pertinenti dei punti 6.2 e 6.3.

(...)

6.2		Progettazione di sezioni trasversali soggette a tensioni combinate	32
6.2.1		Generalità	32
6.2.2		Tensioni di compressione inclinata rispetto alla fibratura	32
	figura	6.7	
		Tensioni di compressione inclinata rispetto alla fibratura	32
6.2.3		Flessione e trazione assiale combinate (tensoflessione)	32
6.2.4		Flessione e compressione assiale combinate (pressoflessione)	32
6.3		Stabilità degli elementi portanti	33
6.3.1		Generalità	33
6.3.2		Colonne soggette a compressione o a pressoflessione	33
6.3.3		Travi soggette a flessione o a pressoflessione	34
	prospetto	6.1	
		Lunghezza efficace espressa in rapporto alla luce	34

(...)

TRAVI SPECIALI – CNR DT 206/2007 rev. 2008

8 - ELEMENTI STRUTTURALI	68
8.1 - TRAVI DI FORMA PARTICOLARE	69
8.1.1 - Travi ad altezza variabile e travi curve.....	69
8.1.2 - Travi a semplice rastremazione	69
 8.1.3 - Travi a doppia rastremazione.....	70
8.1.4 - Travi curve.....	71
8.2 - TRAVI CON INTAGLI O RASTREMAZIONI D'ESTREMITÀ	72
8.3 - TRAVI CON FORATURE D'ANIMA.....	73
8.4 - ELEMENTI STRUTTURALI COMPOSTI.....	74
8.4.1 - Travi composte con connessioni meccaniche.....	74
8.4.2 - Travi incollate.....	74
8.4.2.1 - Travi incollate con anime sottili.....	75
8.4.2.2 - Travi incollate con ali sottili.....	76
8.4.3 - Colonne composte	77

TRAVI SPECIALI – CNR DT 206/2007 rev. 2008

8.1.1 - Travi ad altezza variabile e travi curve

Nel caso di travi ad altezza variabile e curve lo stato tensionale dovrà essere determinato tenendo conto opportunamente della forma particolare dell'elemento strutturale. Le verifiche di resistenza dovranno poi essere svolte considerando la presenza contemporanea della tensione normale parallela alla fibratura, di quella ortogonale alla fibratura e della tensione tangenziale.

Di seguito per alcuni casi particolari si riportano formulazioni semplificate che è possibile utilizzare solo nel rispetto delle limitazioni di volta in volta indicate.

8.1.2 - Travi a semplice rastremazione

Per travi a sezione rettangolare aventi la fibratura parallela ad uno dei bordi e l'angolo di rastremazione $\alpha \leq 10^\circ$, di cui alla Figura 8.1, le tensioni per flessione ai due bordi della generica sezione trasversale possono essere calcolate utilizzando le seguenti espressioni:

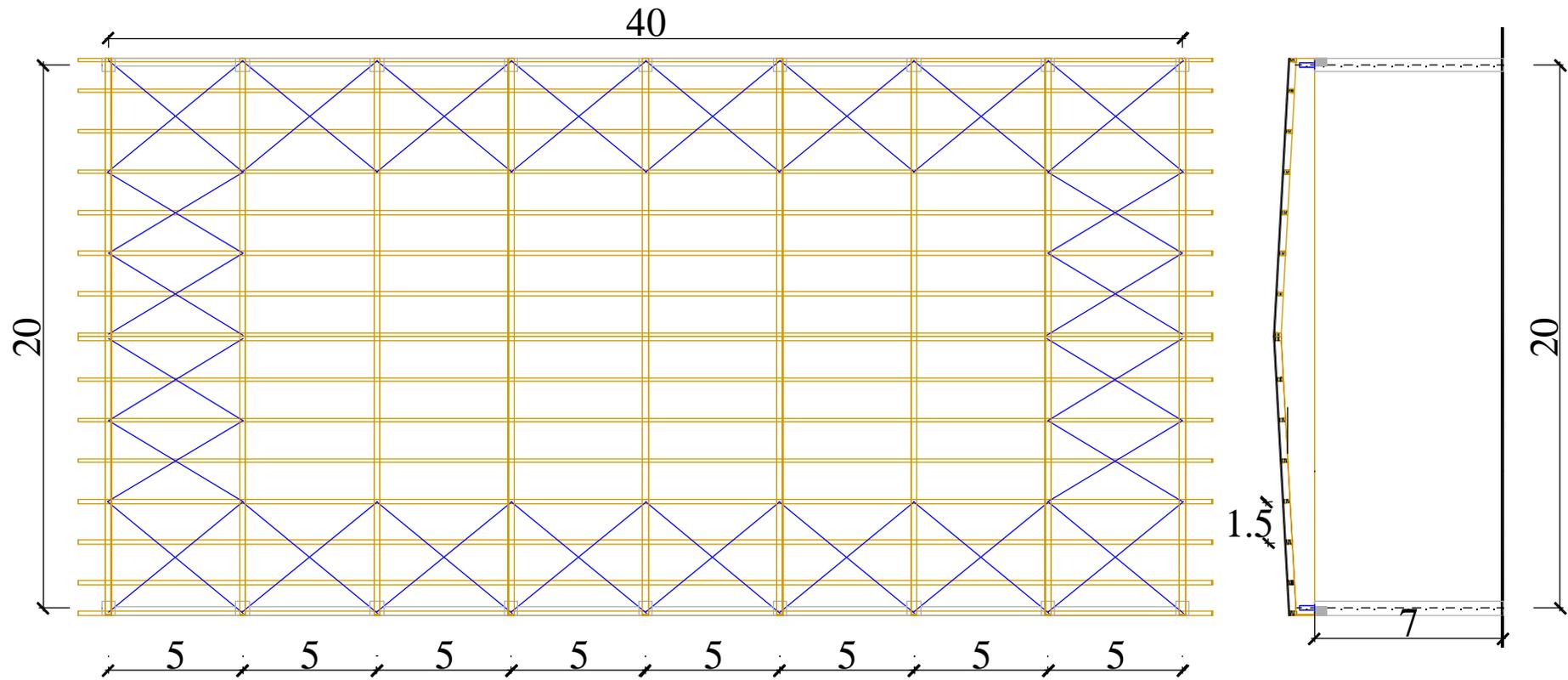
(...)

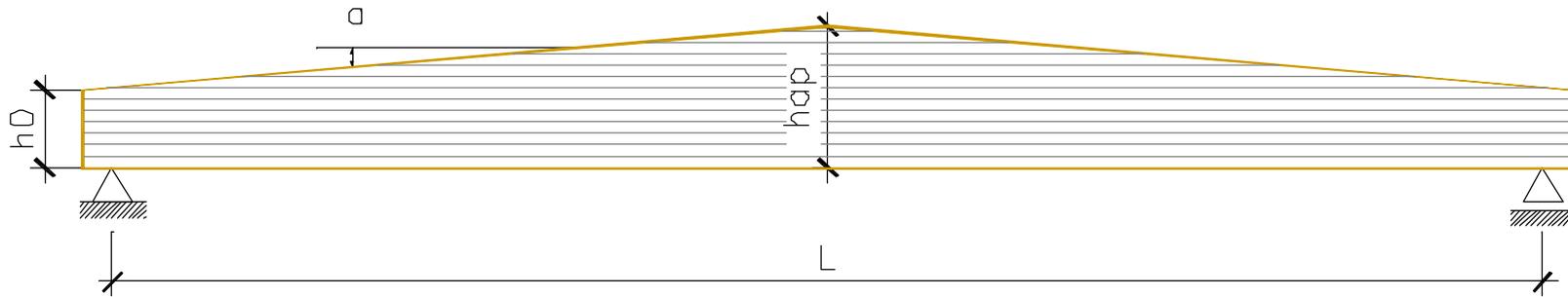
8.1.3 - Travi a doppia rastremazione

Nelle travi a doppia rastremazione, con $\alpha \leq 10^\circ$, la verifica a flessione nelle zone laterali rastremate va svolta come indicato al punto 8.1.2 -.

(...)

Caso studio 2: **Trave a doppia rastremazione in L.L.**





Dati di progetto:

Luce fra gli appoggi: $L=20\text{m}$

Pendenza all'estradosso: $a=3,15^\circ$

Base della sezione: $b=220\text{ mm}$

Altezza all'appoggio: $h_0=700\text{ mm}$

Altezza all'apice: $h_{ap}=1250\text{ mm}$

Lunghezza di appoggio: $l=300\text{ mm}$

Volume della trave: $\text{Vol}_b = 4,35\text{ m}^3$

Interasse travi 5 m

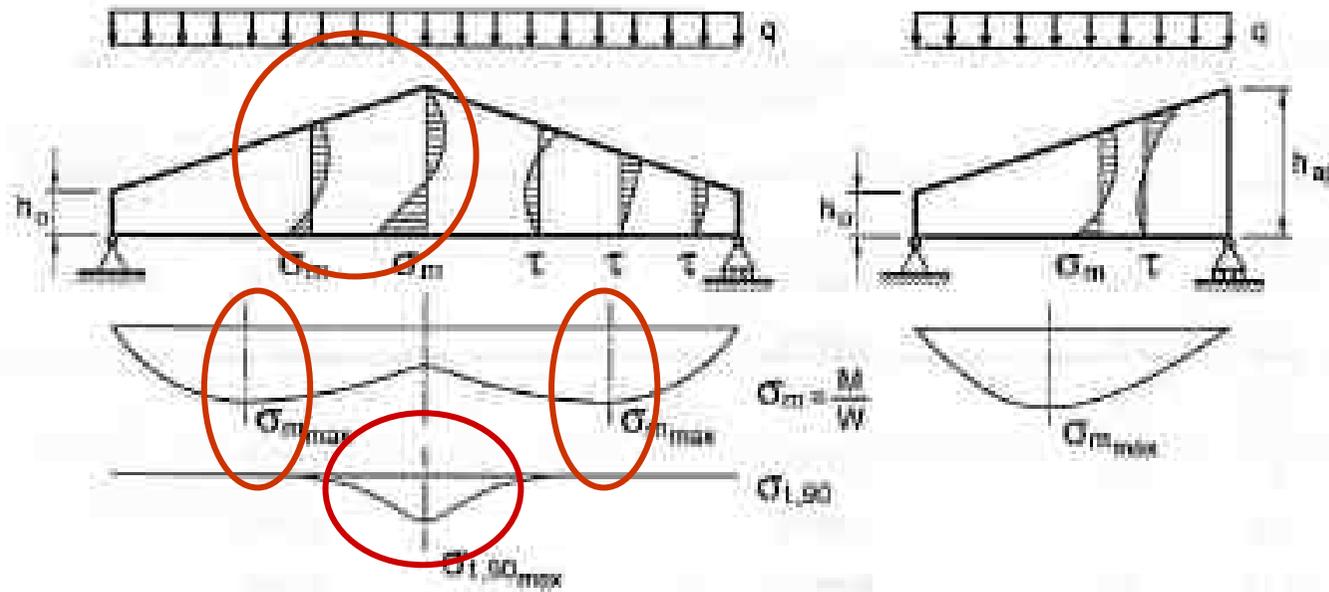
Trave in L.L.I. GL24h (UNI EN 1194:2000)



TRAVI RASTREIMATE – stato tensionale

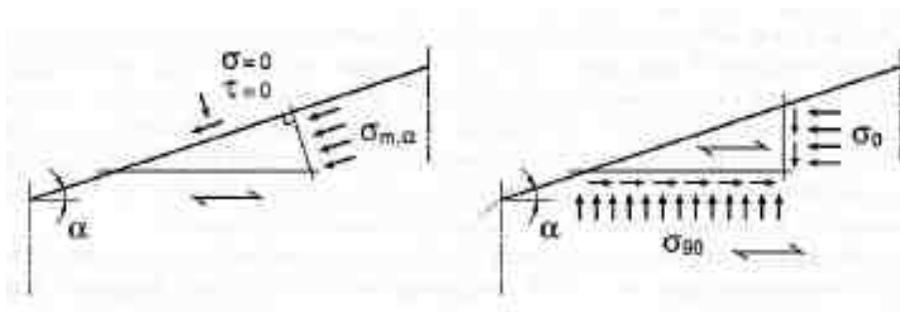
La presenza del lembo rastremato determina una **sostanziale modifica dello stato tensionale** rispetto a quello di una trave ad altezza costante.

1. andamento iperbolico delle tensioni normali (anziché lineare)
2. posizione della tensione massima non coincidente con quella del momento flettente massimo : esistono due massimi locali



TRAVI RASTREIMATE – stato tensionale

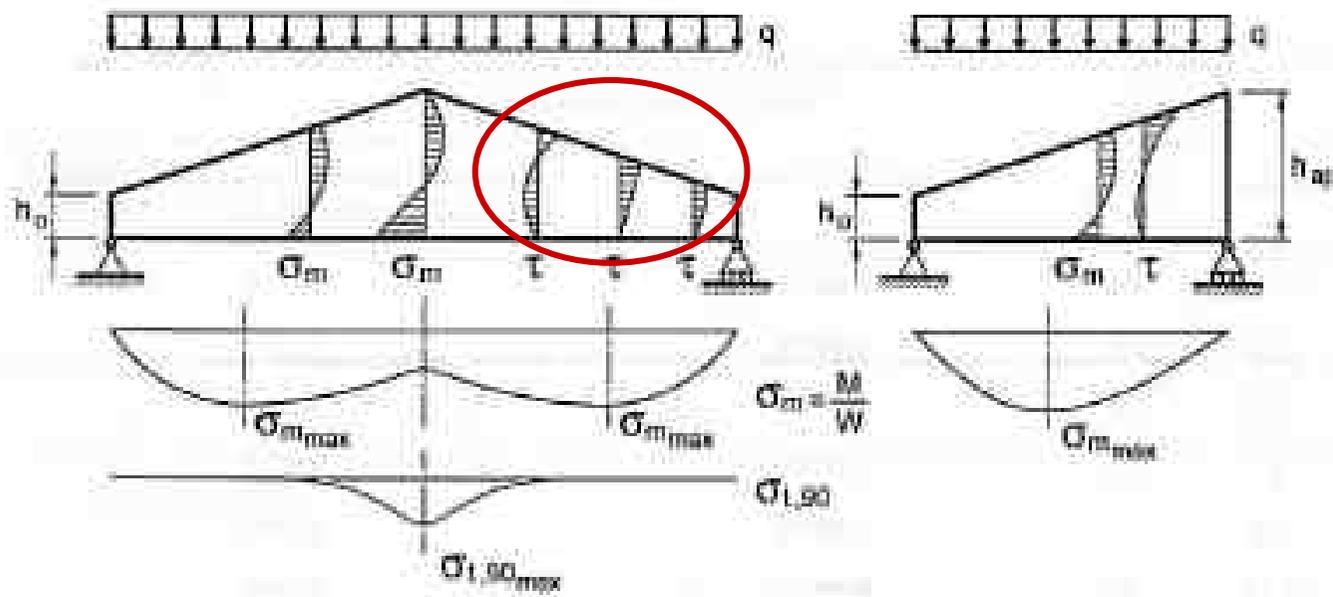
3. in prossimità del lembo rastremato, le tensioni tangenziali non sono nulle e sono presenti tensioni normali ortogonali alle fibre σ_{90}



$$\sigma_0 = \sigma_{m,\alpha} \cdot \cos^2 \alpha$$

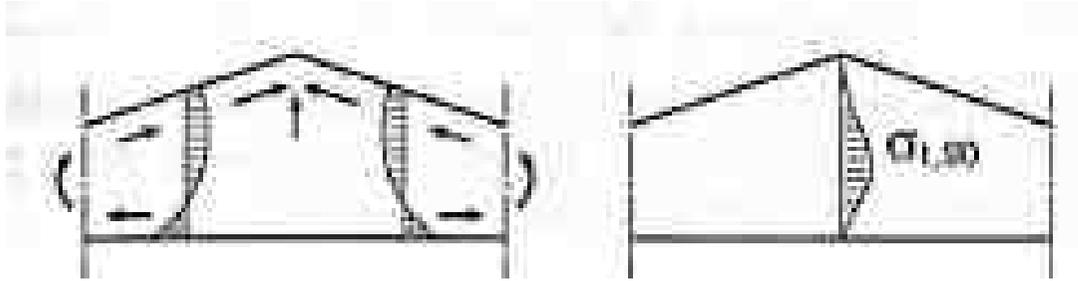
$$\sigma_{90} = \sigma_{m,\alpha} \cdot \sin^2 \alpha$$

$$\tau = \sigma_{m,\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

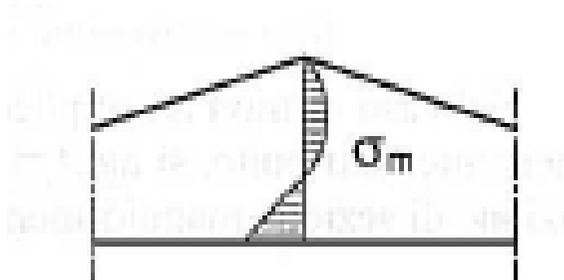


TRAVI RASTREIMATE – stato tensionale

4. nella zona d'apice, nascono delle tensioni ortogonali alle fibre



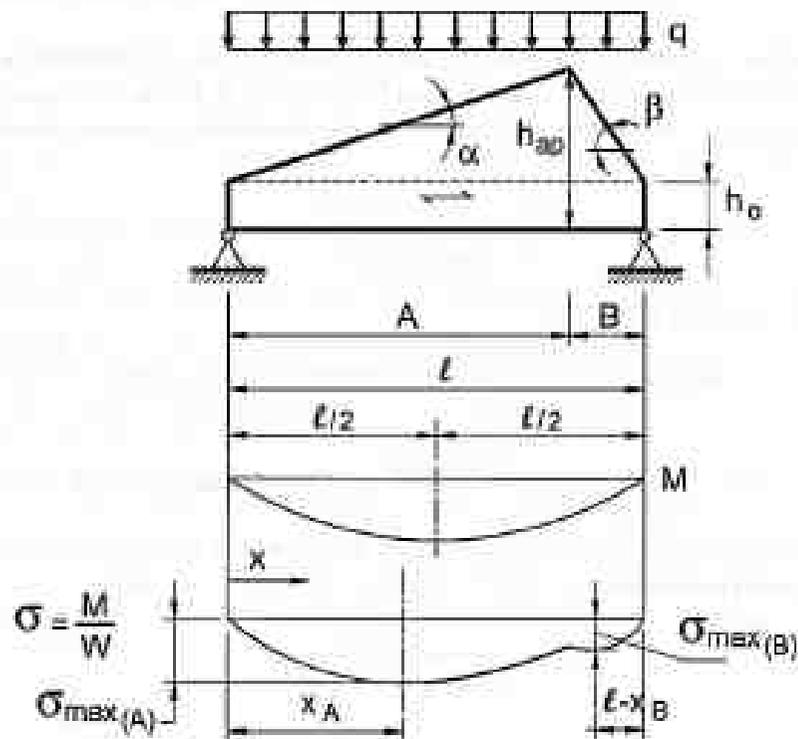
5. nella *sezione* d'apice, le tensioni normali di flessione al lembo superiore sono nulle



TRAVI RASTREIMATE – stato tensionale

Considerando il **caso generico** di trave a doppia rastremazione con apice della trave non simmetrico con carico uniformemente distribuito.

Esistono due massimi locali che si possono determinare minimizzando il seguente rapporto:



$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{d}{dx} \frac{6 \cdot M(x)}{b \cdot h(x)^2} = 0$$

$$h(x) = h_0 + x \cdot \frac{(h_{top} - h_0)}{A}, \text{ nel tratto di lunghezza } A$$

$$h(x) = h_{top} - (x - A) \cdot \frac{(h_{top} - h_0)}{B}, \text{ nel tratto di lunghezza } B$$

$$x_A = \frac{A \cdot l \cdot h_0}{l \cdot h_{top} + h_0 \cdot (2 \cdot A - l)}$$

$$x_B = l - \frac{B \cdot l \cdot h_0}{l \cdot h_{top} + h_0 \cdot (2 \cdot B - l)}$$

$$\sigma_{max,A} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot l^2}{b} \cdot \frac{A}{h_0} \cdot \frac{1}{[l \cdot (h_{top} - h_0) + h_0 \cdot A]}$$

$$\sigma_{max,B} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot l^2}{b} \cdot \frac{B}{h_0} \cdot \frac{1}{[l \cdot (h_{top} - h_0) + h_0 \cdot B]}$$

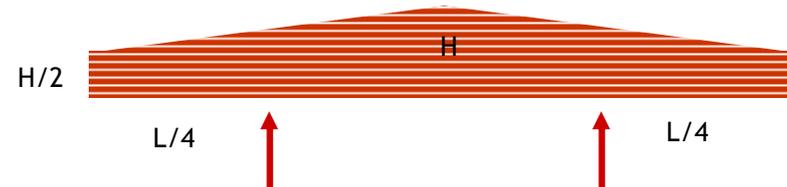
TRAVI RASTREIMATE – stato tensionale

Nel caso di travi a doppia rastremazione con apice della trave simmetrico sollecitata con carico q costante si ha $A = B = l/2$, da cui si ricavano le seguenti espressioni per la posizione di sezione maggiormente sollecitata e per la sollecitazione massima

$$x_{\max} = \frac{l \cdot h_0}{2 \cdot h_{\text{ap}}}$$

$$\sigma_{\max} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot l^2}{b} \cdot \frac{1}{h_0 \cdot (2 \cdot h_{\text{ap}} - h_0)}$$

Se $h_{\text{ap}} = 2h_0 \rightarrow x_{\max} = L/4$

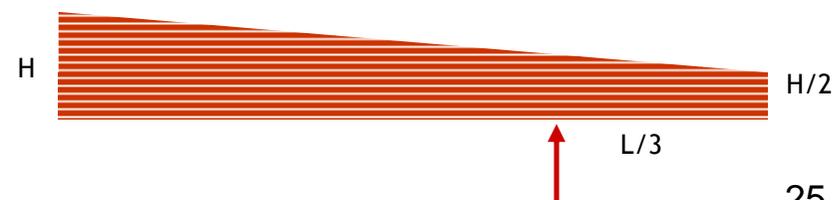


Nel caso di travi a semplice rastremazione sollecitata con il medesimo carico q uniformemente distribuito, si ha $A = l$, $B = 0$, da cui si ricavano le seguenti espressioni per la posizione di sezione maggiormente sollecitata e per la sollecitazione massima

$$x_{\max} = \frac{l \cdot h_0}{(h_{\text{ap}} + h_0)}$$

$$\sigma_{\max} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot l^2}{b} \cdot \frac{1}{h_0 \cdot h_{\text{ap}}}$$

Se $h_{\text{ap}} = 2h_0 \rightarrow x_{\max} = L/3$

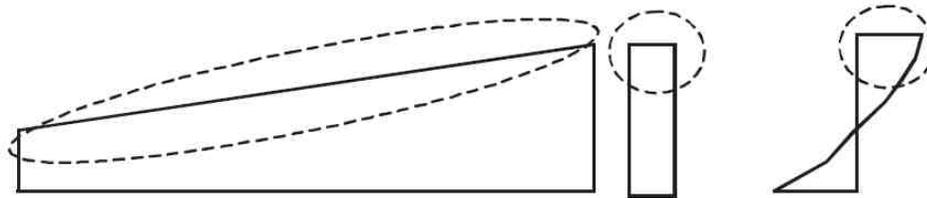


TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

1. TAGLIO ALL'APPOGGIO
2. COMPRESSIONE ORTOGONALE ALLE FIBRE ALL'APPOGGIO
3. FLESSIONE AL LEMBO NON RASTREMATO
4. FLESSIONE AL LEMBO RASTREMATO:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}$$



$k_{m,\alpha}$: coefficiente di redistribuzione delle tensioni di flessione (≤ 1)

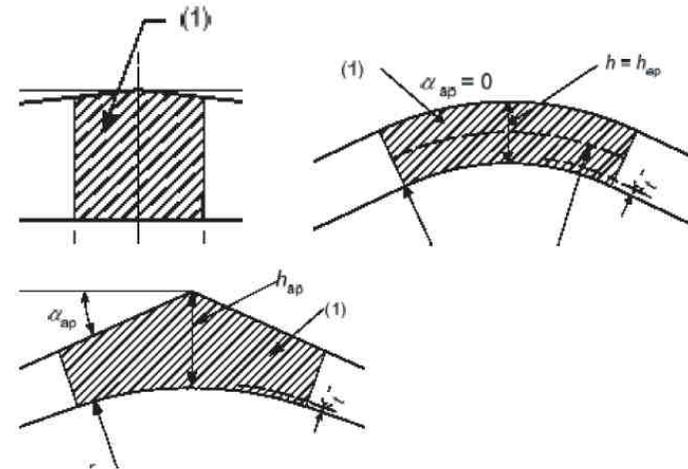
	Tension	Compression
$k_{m,\alpha}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}$

TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

5. FLESSIONE IN ZONA D'APICE:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

k_r : coefficiente di riduzione di resistenza dovuta alla piegatura delle lamelle



	1	
	$\frac{r_{in}}{t} \geq 240$	$\frac{r_{in}}{t} < 240$
	1	$0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t}$

r_{in} : raggio interno
 t : spessore delle lamelle

TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

5. FLESSIONE IN ZONA D'APICE:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad k_l \geq 1$$

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha_{ap} + 5.4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan \alpha_{ap} - 7.8 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

$$r = r_m + 0.5h_{ap}$$

$M_{ap,d}$ è il momento di progetto in corrispondenza del colmo;

h_{ap} è l'altezza al colmo della trave, vedere figura 6.9;

b è la larghezza della trave;

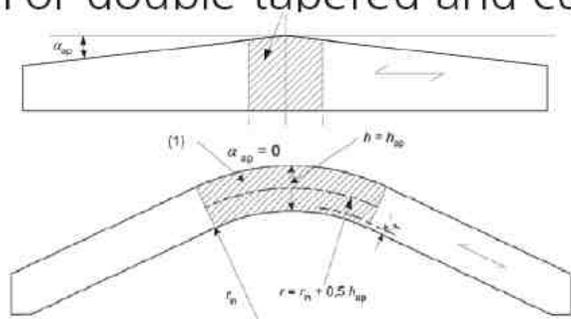
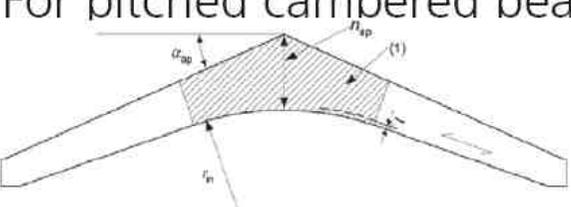
r_{in} è il raggio interno, vedere figura 6.9;

α_{ap} è l'angolo di rastremazione al centro della zona di colmo

TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

6. TRAZIONE ORTOGONALE IN ZONA D'APICE:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$$

	k_{dis}
<p>For double tapered and curved beams</p> 	1,4
<p>For pitched cambered beams</p> 	1,7

k_{dis} : coefficiente di redistribuzione della tensione al colmo

TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

6. TRAZIONE ORTOGONALE IN ZONA D'APICE:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{di} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

k_{vol} : coefficiente di volume

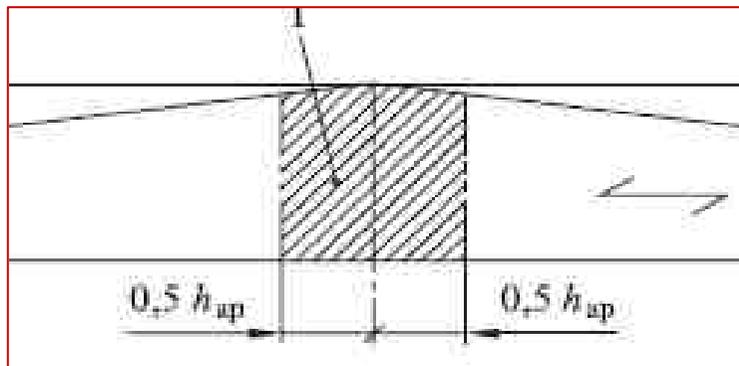
	k_{vol}
For solid timber	1,0
For glued laminated timber and LVL*	$\left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}$

V_0 reference volume of 0,01m³

V stressed volume of apex zone in m³ **but**

$V \leq \frac{2V_b}{3}$, where V_b is the total volume of the beam

*all veneers parallel to the beam axis



V = volume sollecitato a trazione ortogonale alla fibratura

TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

6. TRAZIONE ORTOGONALE IN ZONA D'APICE:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}$$

o

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} - 0,6 \frac{P_d}{b}$$

p_d è il carico uniformemente distribuito agente sulla sommità della trave nella zona di colmo;

b è la larghezza della trave;

$M_{ap,d}$ è il momento di progetto in corrispondenza del colmo, risultante in una tensione di trazione parallela al bordo interno curvo;

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad k_p < 1$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap}$$

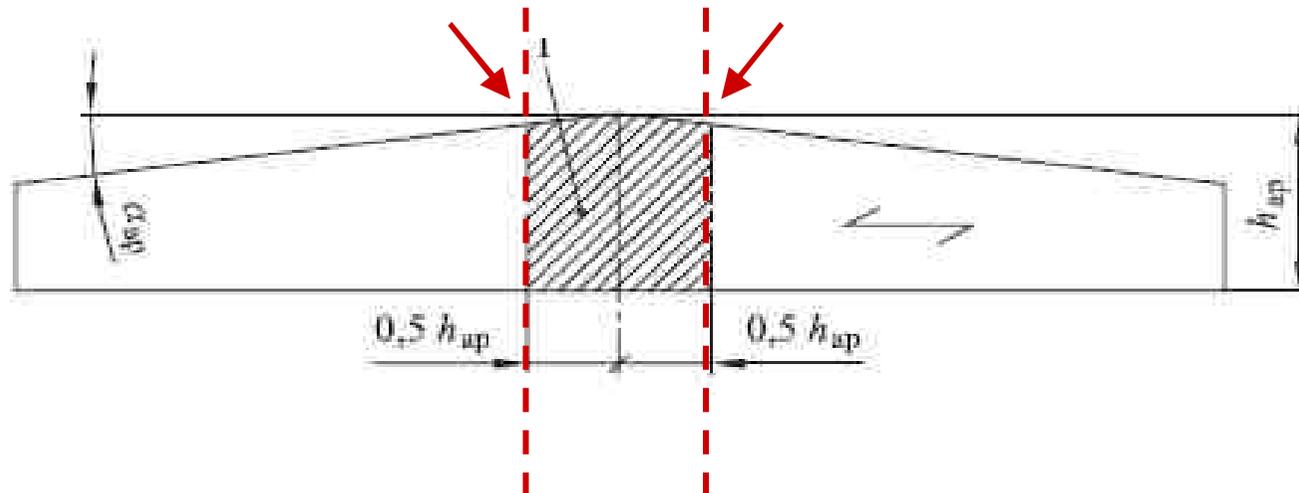
$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap}$$

TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

7. TAGLIO E TRAZIONE ORTOGONALE :

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$$

- τ_d è la tensione a taglio di progetto;
- $f_{v,d}$ è la resistenza a taglio di progetto;
- $\sigma_{t,90,d}$ è la tensione di progetto a trazione perpendicolare alla fibratura.

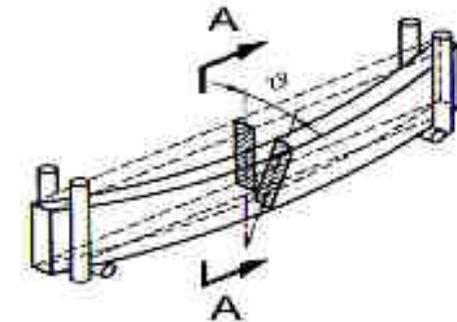
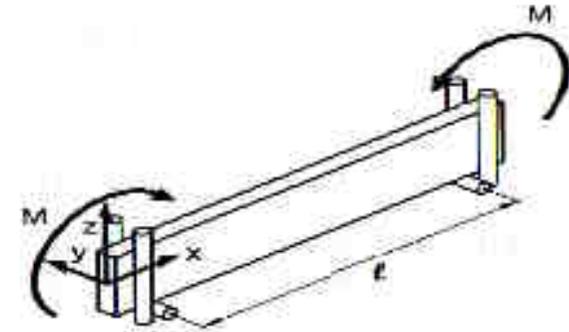


TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

8. FLESSOTORSIONE

$$\frac{\sigma_{m,x,d}}{k_{crit,m} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

- La portanza degli elementi strutturali in legno lamellare incollato con $h/b > 3$ è condizionata da problemi di instabilità flesso-torsionale, ovvero il pericolo di sbandamento laterale a partire dalle sezioni centrali della trave, insieme ad una rotazione intorno all'asse longitudinale, anche se il carico è verticale.
- L'instabilità flesso-torsionale può essere limitata munendo le travi di ritegni torsionali.
- Gli elementi secondari se collegati ad un adeguato **sistema di controvento di falda** (es. croci di Sant'Andrea metalliche nei campi tra gli arcarecci) su cui possano scaricare le forze di instabilizzazione che provengono dalla trave principale possono essere considerati efficaci come ritegni torsionali.



TRAVI RASTREIMATE - VERIFICHE SLU

8. FLESSOTORSIONE

$$\frac{\sigma_{m,x,d}}{k_{crit,m} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

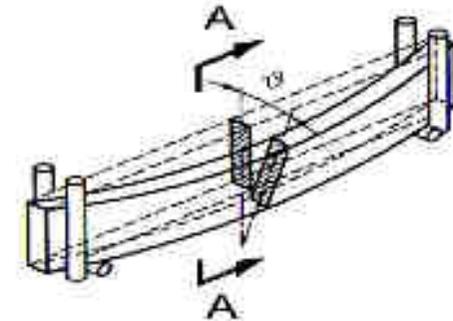
Per aste prismatiche:

$$J_t = \frac{b^3 h}{3 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{b}{h}\right)} \quad J_z = \frac{b^3 h}{12}$$

$$M_{crit} \cong \frac{\pi \sqrt{E \cdot G} \cdot b^3 h}{6 l_{ef}} \quad \text{per } h/b > 4$$

- $k_{crit} = f(\lambda_{rel})$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{per } (0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4) \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$



- $\lambda_{rel} = f(\sigma_{m,crit})$

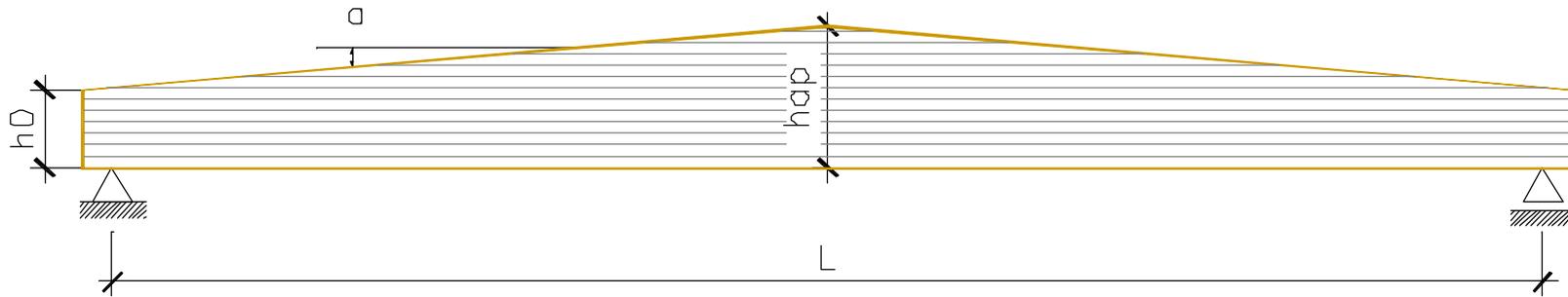
$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

• l_{ef} lunghezza efficace della trave (da non confondere con la lunghezza libera di inflessione l_0) tiene conto sia delle condizioni di vincolo che del tipo di carico.

- $\sigma_{m,crit} = \frac{M_{x,crit}}{W_x}$ e $M_{x,crit} = f(E_{0,05}, G_{0,05}, J_t, J_z, l_{ef})$

- Un po' di storia...
- Cenni sulla tecnologia del L.L.I.
- Le travi 'speciali': normativa e stato tensionale
- **Dimensionamento di una trave a doppia rastremazione**
- Dimensionamento del collegamento alle strutture di bordo
- Dimensionamento di un collegamento in fondazione





Dati di progetto:

Luce fra gli appoggi:	$L=20\text{m}$
Pendenza all'estradosso:	$\alpha=3,15^\circ$
Base della sezione:	$b=220\text{ mm}$
Altezza all'appoggio:	$h_0=700\text{ mm}$
Altezza all'apice:	$h_{ap}=1250\text{ mm}$
Lunghezza di appoggio:	$l=300\text{ mm}$
Volume della trave:	$\text{Vol}_b = 4,35\text{ m}^3$
Interasse travi	5 m

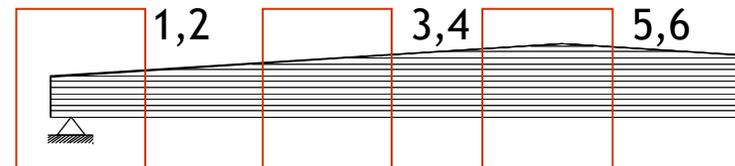


TRAVI RASTREIMATE

- ANALISI DEI CARICHI
- MATERIALE
- DETERMINAZIONE DELLA COMBINAZIONE RILEVANTE AI FINI DELLE VERIFICHE

- VERIFICHE - SLU:

1. Taglio all'appoggio
2. Compressione ortogonale alla fibra all'appoggio
3. Flessione al bordo non inclinato teso (x_{max})
4. Flessione al bordo inclinato compresso (x_{max})
5. Colmo: Flessione
6. Colmo: Trazione ortogonale alla fibratura
7. Verifica combinata a taglio e trazione ortogonale
8. Stabilità flessotorsionale



- VERIFICHE - SLE: Deformabilità a $t=0$ e a $t=\infty$

- VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO: R60 (ipotesi)

- COLLEGAMENTO ALLA STRUTTURA DI BORDO:

Unioni acciaio-legno con bulloni/ Dimensionamento dell'asolatura / Dettagli costruttivi

ANALISI DEI CARICHI

Carichi permanenti:

Lamiera metallica sandwich	0,15 kN/mq
Tavolato sp. 3cm	0,15 kN/mq
Arcarecci in L.L. 14x24cm i=1,5m	0,15 kN/mq
Tot.	0,45 kN/mq
	$\approx 0,50 \text{ kN/mq} \rightarrow g=2,5 \text{ kN/m+p.p.}$

PP. $\approx 1,375 \text{ kN/m}$

(per semplicità, il p.p. della trave è stato valutato per una sezione rettangolare $b \times h_{ap}$)

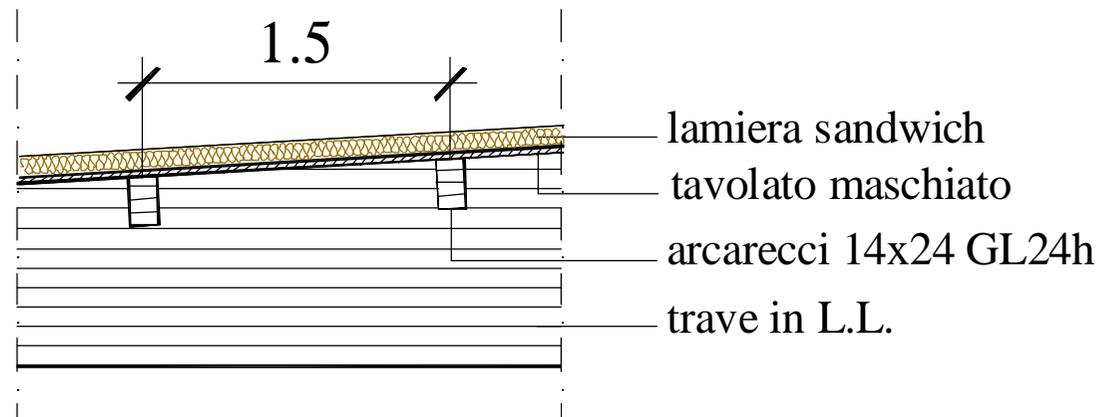
Carichi variabili:

Loc. Pistoia, alt. s.l.m. 67m

NEVE (zona II)

$0,8 \text{ kN/mq} \rightarrow q_n=4 \text{ kN/m}$

VENTO (Zona 3, rugosità B, esposizione IV) $\rightarrow 0,74 \text{ kN/mq} \times c_p$ (di sollevamento: si trascura)



Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

MATERIALE

LEGNO LAMELLARE GL24h (UNI 1194: 2000) in classe di servizio 1 (umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° C e umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno)

I coefficienti k_{mod} (Coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, della **durata del carico** e dell'**umidità della struttura**) sono:

- I carichi permanenti appartengono alla classe di durata *permanente* → $k_{mod}=0,6$
- Il carico neve appartiene alla classe di durata *breve* → $k_{mod}=0,9$
- (Il carico vento appartiene alla classe di durata *istantanea* → $k_{mod}=1$)

Tabella 4.4.IV - Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Coefficiente di sicurezza $\gamma_m = 1,45$

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_m}$$

MATERIALE

Classe di resistenza del legno lamellare incollato		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Resistenza a flessione	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Modulo di taglio	$G_{g,mean}$	720	780	850	910
Massa volumica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

(UNI 1194: 2000)

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m = 1,45$$

VALORI DI RESISTENZA

Valori caratteristici

$f_{m,y,k}$ [MPa]	24
$f_{m,z,k}$ [MPa]	24
$f_{t,0,k}$ [MPa]	16.5
$f_{t,90,k}$ [MPa]	0.4
$f_{c,0,k}$ [MPa]	24
$f_{c,90,k}$ [MPa]	2.7
$f_{v,k}$ [MPa]	2.7

VALORI DI MODULO ELASTICO

$E_{0,mean}$ [MPa]	1 1600
$E_{0,05}$ [MPa]	9400
G_{mean} [MPa]	720

Valori di progetto $k_{mod} = 0.6$

$f_{m,y,d}$ [MPa]	9.93
$f_{m,z,d}$ [MPa]	9.93
$f_{t,0,d}$ [MPa]	6.83
$f_{t,90,d}$ [MPa]	0.17
$f_{c,0,d}$ [MPa]	9.93
$f_{c,90,d}$ [MPa]	1.12
$f_{v,d}$ [MPa]	1.12

Valori di progetto $k_{mod} = 0.9$

$f_{m,y,d}$ [MPa]	14.90
$f_{m,z,d}$ [MPa]	14.90
$f_{t,0,d}$ [MPa]	10.24
$f_{t,90,d}$ [MPa]	0.25
$f_{c,0,d}$ [MPa]	14.90
$f_{c,90,d}$ [MPa]	1.68
$f_{v,d}$ [MPa]	1.68

D. Verifica della combinazione rilevante ai fini delle verifiche

Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata si adotta il coefficiente k_{mod} corrispondente all'azione di minor durata (k_{mod} maggiore)

→ non è detto che la combinazione che determina il carico maggiore (q_d) sia quella determinante ai fini delle verifiche.

Occorre effettuare il controllo seguente:

IPOSTESI: 2 COMBINAZIONI ALLO SLU

COMBINAZIONE 1: $q_1 = \gamma_{g1} \cdot g_1 = 1,3 \cdot g_1 \Rightarrow k_{mod} = 0,6$ (Comb. con soli permanenti)

COMBINAZIONE 2: $q_2 = \gamma_{g1} \cdot g_1 + \gamma_q \cdot q_n \Rightarrow k_{mod} = 0,9$ (Comb. con permanenti e neve)

q_d (azione SLU) → S_d (solllecitazione) → σ_d (tensione) LEGAME LINEARE

$$\left. \begin{aligned} q_1 &\rightarrow \sigma_{d,1} \leq X_k \cdot \frac{k_{mod,1}}{\gamma_m} \rightarrow \frac{\sigma_{d,1} \cdot \gamma_m}{k_{mod,1}} \leq X_k \\ q_2 &\rightarrow \sigma_{d,2} \leq X_k \cdot \frac{k_{mod,2}}{\gamma_m} \rightarrow \frac{\sigma_{d,2} \cdot \gamma_m}{k_{mod,2}} \leq X_k \end{aligned} \right\} \frac{q_1}{k_{mod,1}} \cong \frac{q_2}{k_{mod,2}}$$

Il maggior rapporto è associato alla combinazione determinante

CASO STUDIO 2

Verifica della combinazione rilevante allo SLU:

Combinazione 1: (con soli permanenti) $q_{SLU,1} = 1,3 \cdot G_1$

$$q_{slu,1} = 1,3 \times g = 5,04 \text{ kN/m}$$

$$k_{mod,p} = 0,6$$

$$\gamma_m = 1,45$$

Combinazione 2: (permanenti + neve) $q_{SLU,2} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot Q_n$

$$q_{slu,2} = 1,3 \times g + 1,5 \times q_n = 11,04 \text{ kN/m}$$

$$k_{mod,n} = 0,9$$

$$\gamma_m = 1,45$$

$$\frac{q_{SLU,1}}{k_{mod,p}} = \frac{5,04}{0,6} = 8,4 < \frac{q_{SLU,2}}{k_{mod,n}} = \frac{11,04}{0,9} = 12,3$$

⇒ è determinante la combinazione con la neve

CASO STUDIO 2

Se avessimo avuto, per esempio un solaio di copertura con:

$$G_1 = 2 \text{ kN/mq} \quad k_{\text{mod}}=0,6$$

$$\text{Sovraccarico } Q_n = 0,8 \text{ kN/mq} \quad k_{\text{mod}}=0,9$$

- Combinazione 1: (con soli permanenti strutturali) $q_{SLU,1} = 1,3 \cdot G_1$

$$q_{\text{slu},1} = 1,3 \times 2 = 2,60 \text{ kN/mq}$$

- Combinazione 2: (con permanenti strutturali e sovraccarico)

$$q_{\text{slu},2} = 1,3 \times 2 + 1,5 \times 0,8 = 3,80 \text{ kN/mq}$$

$$q_{SLU,2} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot Q_v$$

$$\frac{q_{SLU,1}}{k_{\text{mod},1}} = \frac{2,60}{0,6} = 4,33 > \frac{q_{SLU,2}}{k_{\text{mod},2}} = \frac{3,80}{0,9} = 4,22$$

⇒ è determinante la combinazione con i soli permanenti strutturali !!!

CASO STUDIO 2

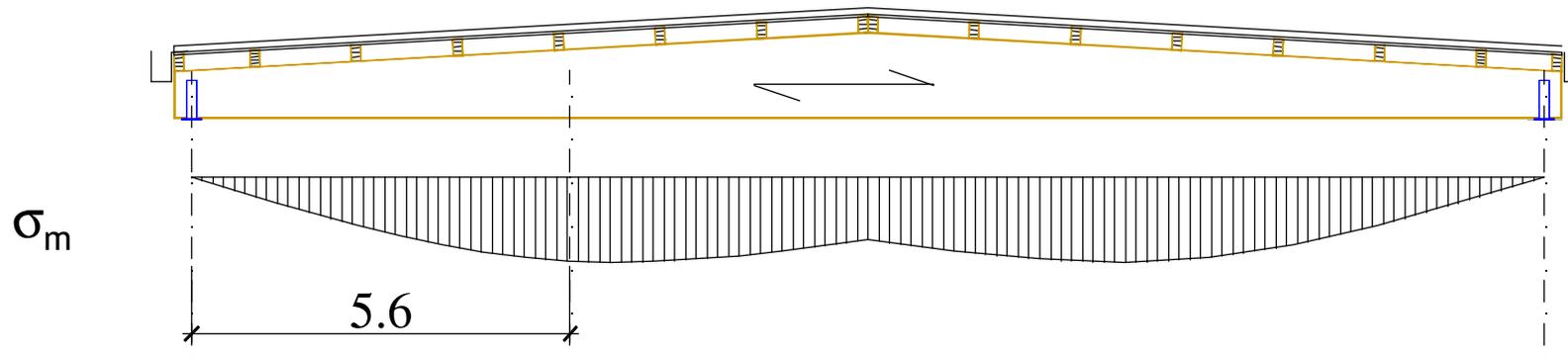
Sollecitazioni e tensioni di calcolo:

$$M_{\max d, \text{mezzeria}} = \frac{q_{SLU} \cdot L^2}{8} = 551,875 \text{ kNm}$$

$$V_d = \frac{q_{SLU} \cdot L}{2} = 110,375 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot L^2}{b} \cdot \frac{1}{h_0 \cdot (2h_{ap} - h_0)} = 11,95 \text{ MPa}$$

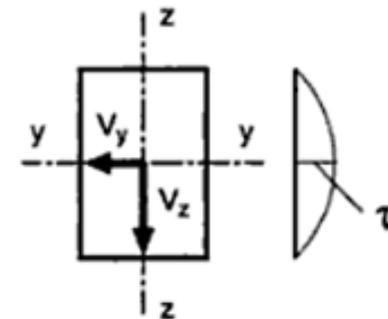
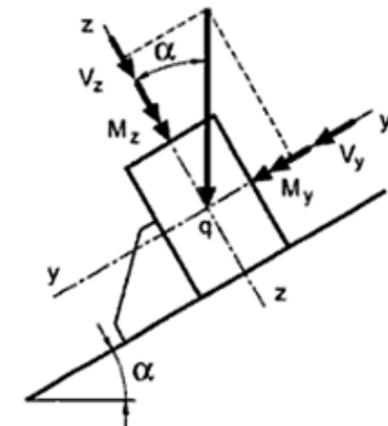
$$x_{\max} = \frac{L \cdot h_0}{2 \cdot h_{ap}} = 5,6 \text{ m}$$



1. TAGLIO ALL'APPOGGIO (§ 4.4.8.1.9 NTC → EC5:2009)

$\tau_d \leq f_{v,d}$ ¶¶	
τ_d ¶¶	<p>tensioni · massima · tangenziale · di · calcolo · per · taglio, · valutata · secondo · la · teoria · di · Jourawski. ¶¶</p> <p>Per · sezioni · rettangolari · ¶¶</p> $\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{T}{A}$ <p>Per · sezioni · circolari · ¶¶</p> $\tau_d = \frac{4}{3} \times \frac{T}{A}$ <p>Nel · caso · di · sollecitazioni · taglianti · agenti · secondo · due · direzioni · (x · e · y): ¶¶</p> $\tau_d = \sqrt{\tau_{x,d}^2 + \tau_{y,d}^2}$
$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}$ ¶¶	Resistenza · di · calcolo · a · taglio. ¶¶

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2} = \frac{1,5}{A} \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$



1. TAGLIO ALL'APPOGGIO (§ 4.4.8.1.9 NTC → EC5:2009)

L'ultima versione dell'EC5 prevede di considerare l'influenza delle fessurazioni tramite un coefficiente $k_{cr} = 0,67$ (coefficiente di fessurazione per la verifica a taglio)

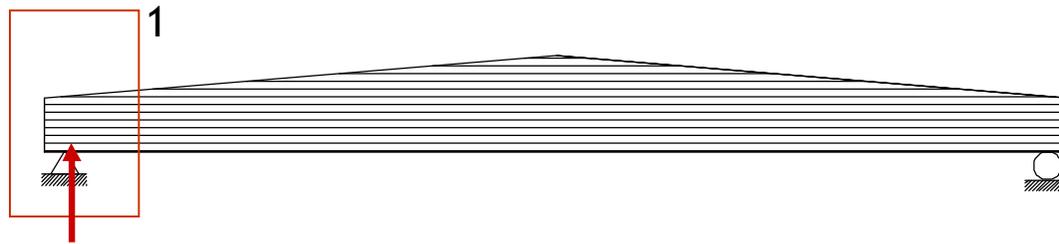
Il valore raccomandato per k_{cr} è dato da:

$k_{cr} = 0,67$ per legno massiccio

$k_{cr} = 0,67$ per legno laminare incollato

$k_{cr} = 1,0$ per altri prodotti a base di legno in conformità alla EN 13986 e alla EN 14374.

Informazioni sulla scelta nazionale si possono trovare nell'appendice nazionale.



Considerando k_{cr} :

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h_0} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{k_{cr} \cdot b \cdot h_0} = 1,5 \cdot \frac{110,375 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 220 \cdot 700} \approx 1,60 < 1,675 = \frac{2,7 \times 0,9}{1,45} MPa$$

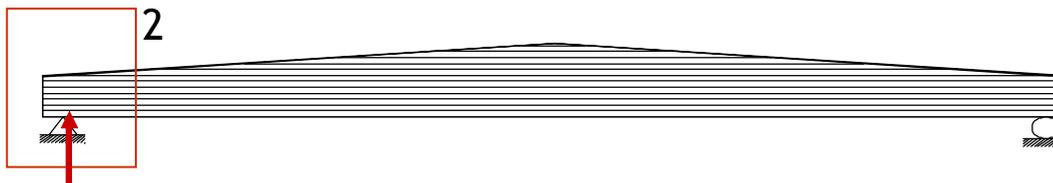
⇒ Verifica soddisfatta

Senza k_{cr} :

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_0} = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_0} = 1,5 \cdot \frac{110,375 \cdot 10^3}{220 \cdot 700} \approx 1,07 < 1,675 MPa$$

2. COMPRESSIONE ORTOGONALE ALLA FIBRA ALL'APPOGGIO

§ 4.4.8.1.4 NTC 2008



$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad [\text{Formula EC5 (2009)}]$		
$\sigma_{c,90,d}$	tensione di progetto a compressione perpendicolare alla fibratura nell'area di contatto efficace;	
$F_{c,90,d}$	carico di progetto a compressione perpendicolare alla fibratura;	
$A_{ef} = b \times l_{ef}$	area di contatto efficace in compressione perpendicolare alla fibratura b larghezza della trave l _{ef} lunghezza efficace di appoggio	
$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \times k_{mod}}{\gamma_m}$	resistenza di progetto a compressione in direzione della fibratura	
$k_{c,90} \leq 1,75$	Coefficiente (≥ 1) che tiene conto della configurazione di carico, della possibilità di rottura per spacco, nonché del grado di deformazione a compressione. Generalmente si assume k=1.	

Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

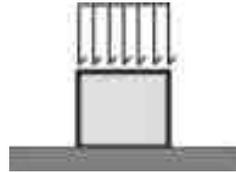
2. COMPRESSIONE ORTOGONALE ALLA FIBRA ALL'APPOGGIO

MECCANISMO RESISTENTE

Compressione ortogonale alle fibre: “effetti di confinamento”

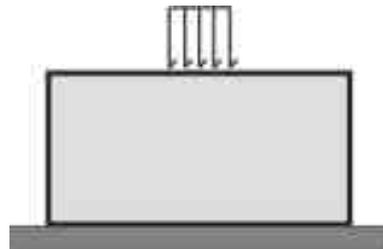
Caso a : CAMPIONE “NON CONFINATO”

Tutte le fibre sono **schiacciate** come un “*fascio di tubi*”



Caso b : CAMPIONE “CONFINATO”

Solo una porzione della superficie del legno superiore è **caricata**, e le fibre adiacenti non caricate assorbono una parte del carico e collaborano al meccanismo resistente



2. COMPRESSIONE ORTOGONALE ALLA FIBRA ALL'APPOGGIO

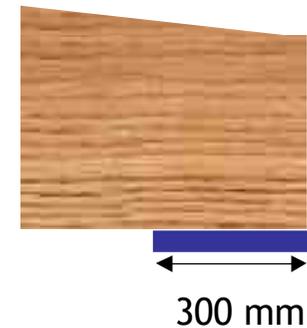
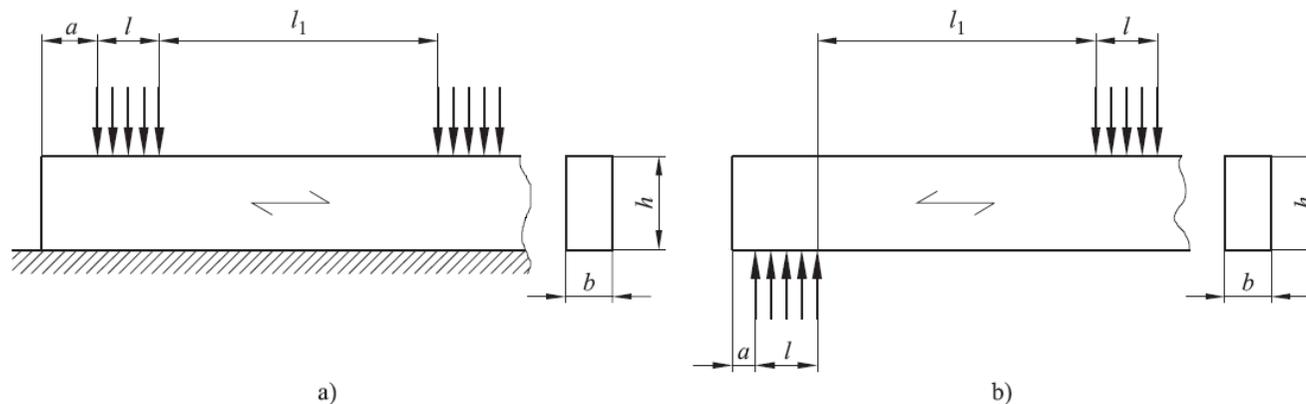
$$F_{c,90,d} = V_d = 110,375 \text{ kN}$$

$$l_{ef} = l + 30\text{mm} = 330\text{mm} \quad (\text{trave tagliata in corrispondenza del filo esterno dell'appoggio})$$

$$A_{ef} = 220 \times 330 = 72.600\text{mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{110,375 \times 10^3}{72.600} \approx 1,52 < 1,675 = \frac{2,7 \times 0,9}{1,45} \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$$

figura 6.2 Elemento su appoggi continui (a) e appoggi discreti (b)

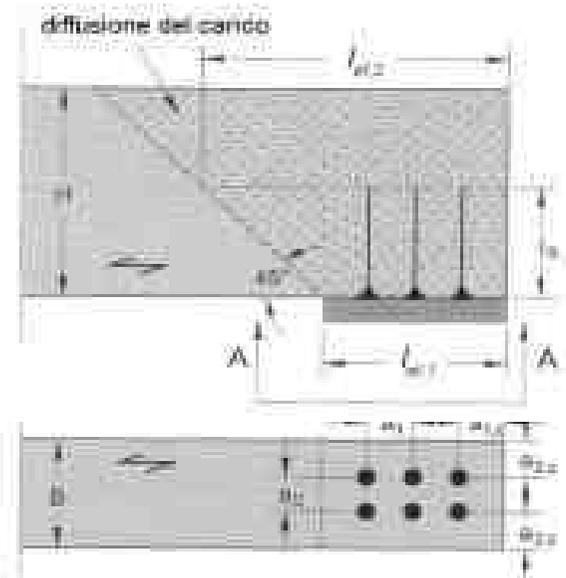


$l = 300\text{mm}$
 $a = 0$
 $l_1 = 19\,700\text{ mm}$

$$l_{ef} = l + \min(30\text{mm}; a; l; \frac{l_1}{2})_{sx} + \min(30\text{mm}; a; l; \frac{l_1}{2})_{dx}$$

SISTEMA DI RINFORZO CON VITI AUTOFILETTANTI

Utilizzo di **VITI AUTOFILETTANTI** a tutto filetto per aumentare la resistenza $R_{c,90}$ e limitare le deformazioni localizzate, grazie all'attivazione di meccanismi di resistenza supplementari



Meccanismo di penetrazione delle viti nel legno



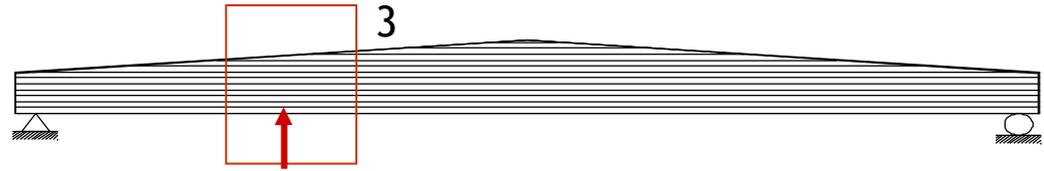
Analogia con il comportamento di una fondazione su pali

Meccanismo di instabilizzazione delle viti nel legno (viti snelle)



Analogia con il comportamento di una colonna snella

3. FLESSIONE BORDO NON INCLINATO (TESO) $x=5,6m$



Tensione a flessione di progetto:

- Formula EC5 (2009) - § 6.4.2 e § 6.4.3: $\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2}$

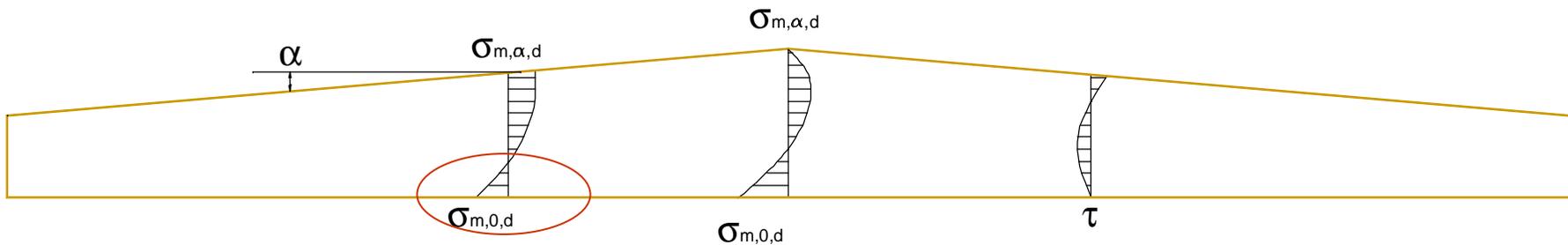
$$\sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2} \approx 11,95 \leq f_{m,d} = \frac{24 \times 0,9}{1,45} = 14,90 MPa$$

⇒ Verifica soddisfatta

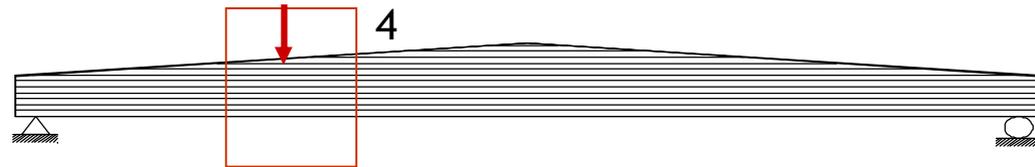
- Formula CNR-DT 206/2007 rev.2008 - § 8.1.2 e § 8.1.3

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \tan^2 \alpha) \cdot \frac{6M_d}{bh^2} \approx 12,09 \leq f_{m,d} = \frac{24 \times 0,9}{1,45} = 14,90 MPa$$

⇒ Verifica soddisfatta



4. FLESSIONE BORDO INCLINATO (COMPRESSO) $x=5,6m$



Presenza di uno stato tensionale pluriassiale: la verifica deve essere effettuata considerando un criterio di rottura (es. Norris, Hankinson)

- Formula EC5 (2009) - § 6.4.2 e § 6.4.3:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}$$

Dove:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2}$$

Per tensioni di compressione parallele al bordo rastremato:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5f_{v,d}} \tan \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha\right)^2}} = 0,95$$

\downarrow 1,675 MPa \downarrow 1,675 MPa \swarrow 3,15° \searrow 14,90 MPa

$k_{m,\alpha}$: coefficiente di ridistribuzione delle tensioni di flessione in una sezione trasversale (≤ 1)

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6M_d}{bh^2} \approx 11,95 \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} = 0,95 \times \frac{24 \times 0,9}{1,45} = 14,16 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Verifica soddisfatta}^{52}$$

4. FLESSIONE BORDO INCLINATO (COMPRESSO) x=5,6m

- Formula CNR-DT 206/2007 rev.2008 - § 8.1.2 e § 8.1.3

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq f_{m,\alpha,d}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2 \alpha) \cdot \frac{6M_d}{bh^2} \approx 11,80 \leq f_{m,\alpha,d} = 14,55 \text{ MPa}$$

⇒ Verifica soddisfatta

Dove:

$$f_{m,\alpha,d} = \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d} \sin^2 \alpha + f_{c,90,d} \cos^2 \alpha}{f_{c,90,d}}} \quad \text{nel caso di tensioni di compressione}$$

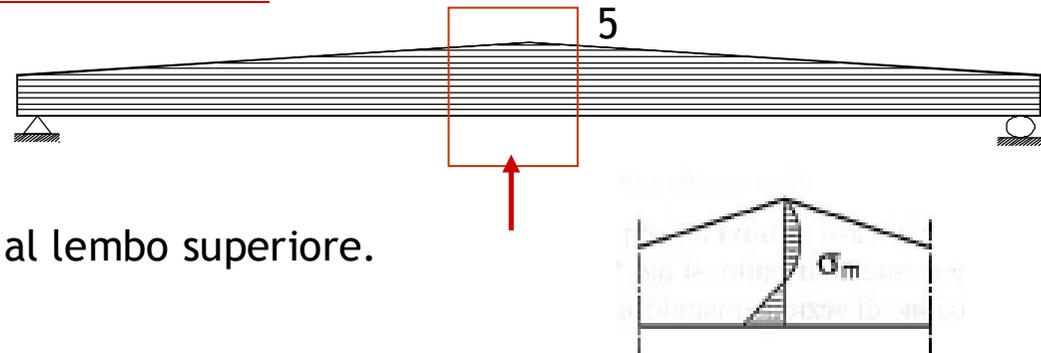
$$\alpha = 3,15^\circ$$

$$f_{m,d} = 14,90 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = 1,68 \text{ MPa}$$

5. FLESSIONE NELLA ZONA DI COLMO

EC5 (2009) \equiv CNR-DT 206/07 rev. 2008



- Le tensioni di flessione sono **nulle** al lembo superiore.
- Al lembo inferiore (rettilineo):

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad (\text{tensione di progetto per flessione nella zona di colmo})$$

$$\sigma_{m,d} = k_1 \cdot \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} = 1,09 \times \frac{6 \times 551,875 \cdot 10^6}{220 \times 1250^2} = 10,53 < 14,90 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \text{ok}$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha = 1,09 \quad (\alpha_{ap} = 3,15^\circ)$$

Nelle travi a doppia rastremazione $k_r = 1$
(coefficiente di riduzione di resistenza dovuta alla piegatura delle lamelle)

La verifica a flessione nella zona d'apice non è in generale quella più severa

6. TRAZIONE ORTOGONALE ALLA FIBRA AL COLMO

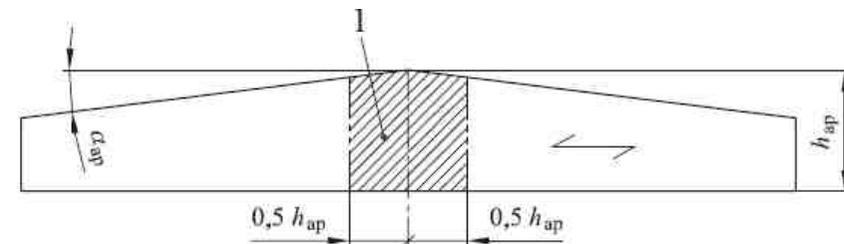
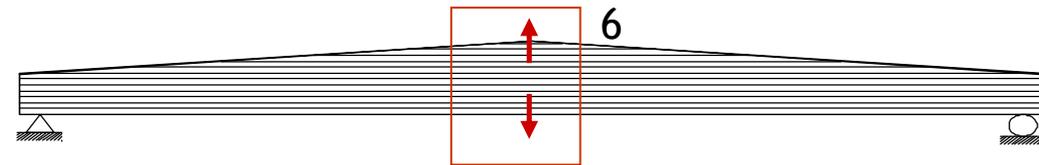
$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$$

con

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{per legno massiccio} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} & \text{per legno lamellare incollato LVL avente tutti gli strati} \\ & \text{paralleli all'asse della trave} \end{cases}$$

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & \text{per travi a doppia rastremazione e curve} \\ 1,7 & \text{per travi centinate} \end{cases}$$

EC5 (2009) \equiv CNR-DT 206/07 rev. 2008



Dove:

- V_0 : volume di riferimento ($= 0,01\text{m}^3$)
- V : volume sollecitato della zona di colmo ($= 0,34 \text{ m}^3$) $\leq 2Vol_b/3$
- k_{vol} : coefficiente di volume ($= 0,49$)
- k_{dis} : coeff. che tiene conto della redistribuzione della tensione al colmo ($=1,4$)

6. TRAZIONE ORTOGONALE ALLA FIBRA AL COLMO

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

Dove:

$$k_p = 0,2 \tan \alpha = 0,011 \quad (\alpha_{ap} = 3,15^\circ)$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} = 0,011 \times \frac{6 \times 551,875 \cdot 10^6}{220 \times 1250^2} = 0,11 \text{ MPa} \leq 1,4 \times 0,49 \times \frac{0,4 \times 0,9}{1,45} = 0,17 \text{ MPa}$$

⇒ Verifica soddisfatta



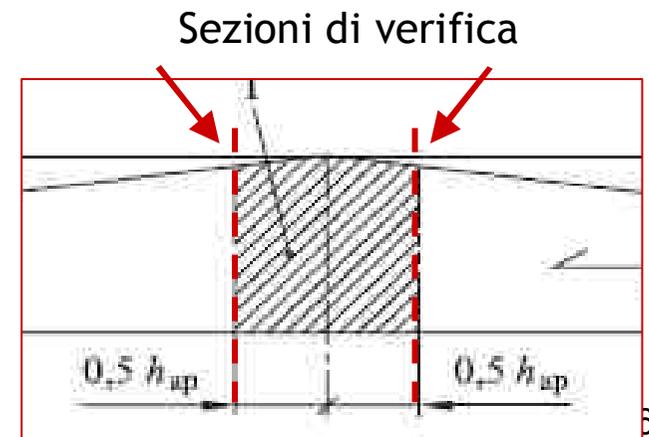
7. COMBINAZIONE TRAZIONE ORTOGONALE E TAGLIO

$$V_d = 6,9 \text{ kN} \Rightarrow \tau_d = 0,06 \text{ MPa}$$

$$M_d = 549,42 \text{ kNm} \Rightarrow \sigma_{t,90,d} = 0,11 \text{ MPa}$$

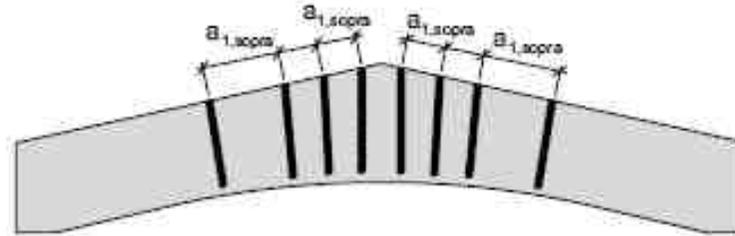
$$f_{v,d} = 1,68 \text{ MPa}; \quad f_{t,90,d} = 0,25 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad 0,65 < 1$$

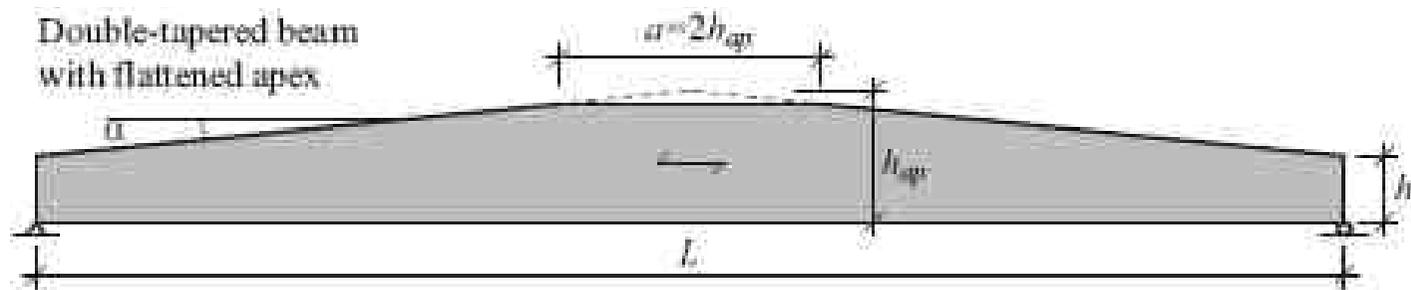


Interventi nel caso di verifica a trazione ortogonale al colmo non soddisfatta

- Inserimento di **barre di acciaio incollate** in senso trasversale in sedi preforate con colle epossidiche ad alta prestazione o **viti autoforanti a filetto completo**

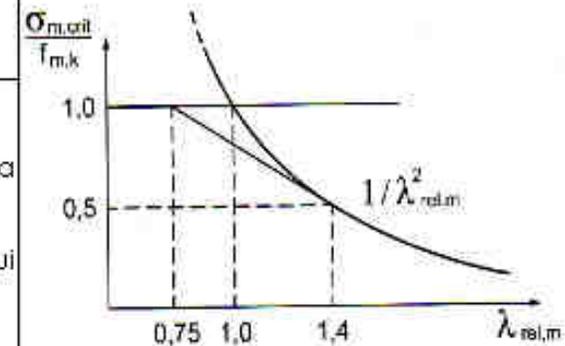
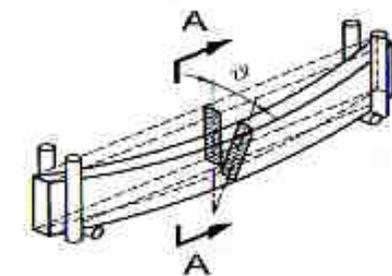
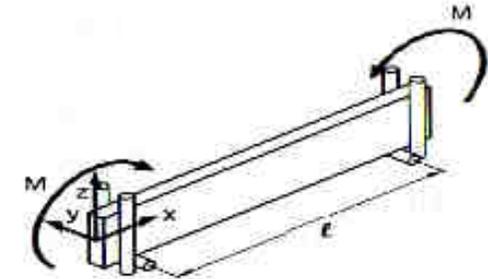


- Soluzione di tipo "costruttivo" con **'cappello non collaborante'** che consente di ridurre le tensioni di trazione ortogonale rispetto alla configurazione con apice e contemporaneamente ridurre il volume d'apice (nel comportamento dei materiali fragili la probabilità di collasso aumenta con il volume del materiale). Viene fissato alla trave tramite connettori puntuali di tipo meccanico (p.e. viti), e non tramite incollaggio.



8. STABILITA' FLESSOTORSIONALE

ELEMENTI INFLESSI (Instabilità di trave per svergolamento nel piano debole) (§ 4.4.8.2.1)	
	$\frac{\sigma_{m,x,d}}{k_{crit,m} \cdot f_{m,d}} \leq 1$
$\sigma_{m,x,d}$	tensione di calcolo massima per flessione
$f_{m,d}$	resistenza di calcolo a flessione
$k_{crit,m} = \frac{\sigma_{m,crit}}{f_{m,k}}$	<p>k_{crit}: coefficiente riduttivo che tiene conto della riduzione della resistenza a flessione dovuta allo sbandamento laterale;</p> <p>$f_{m,k}$: resistenza caratteristica a flessione</p> <p>$\sigma_{m,crit}$: tensione critica per flessione calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici</p> <p>Per travi con deviazione laterale iniziale rispetto alla rettilineità nei limiti di accettabilità del prodotto (cfr. § 4.4.15 NTC):</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> $k_{crit,m} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{per } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$ </div>
$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$	<ul style="list-style-type: none"> - $\lambda_{rel,m}$ snellezza relativa a flessione ($=\lambda/\lambda_{cr}$) - $\sigma_{m,crit}$ tensione critica calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici - λ snellezza dell'elemento strutturale valutata per il piano in cui essa assume il valore massimo



Curva $k_{crit}-\lambda_{rel}$

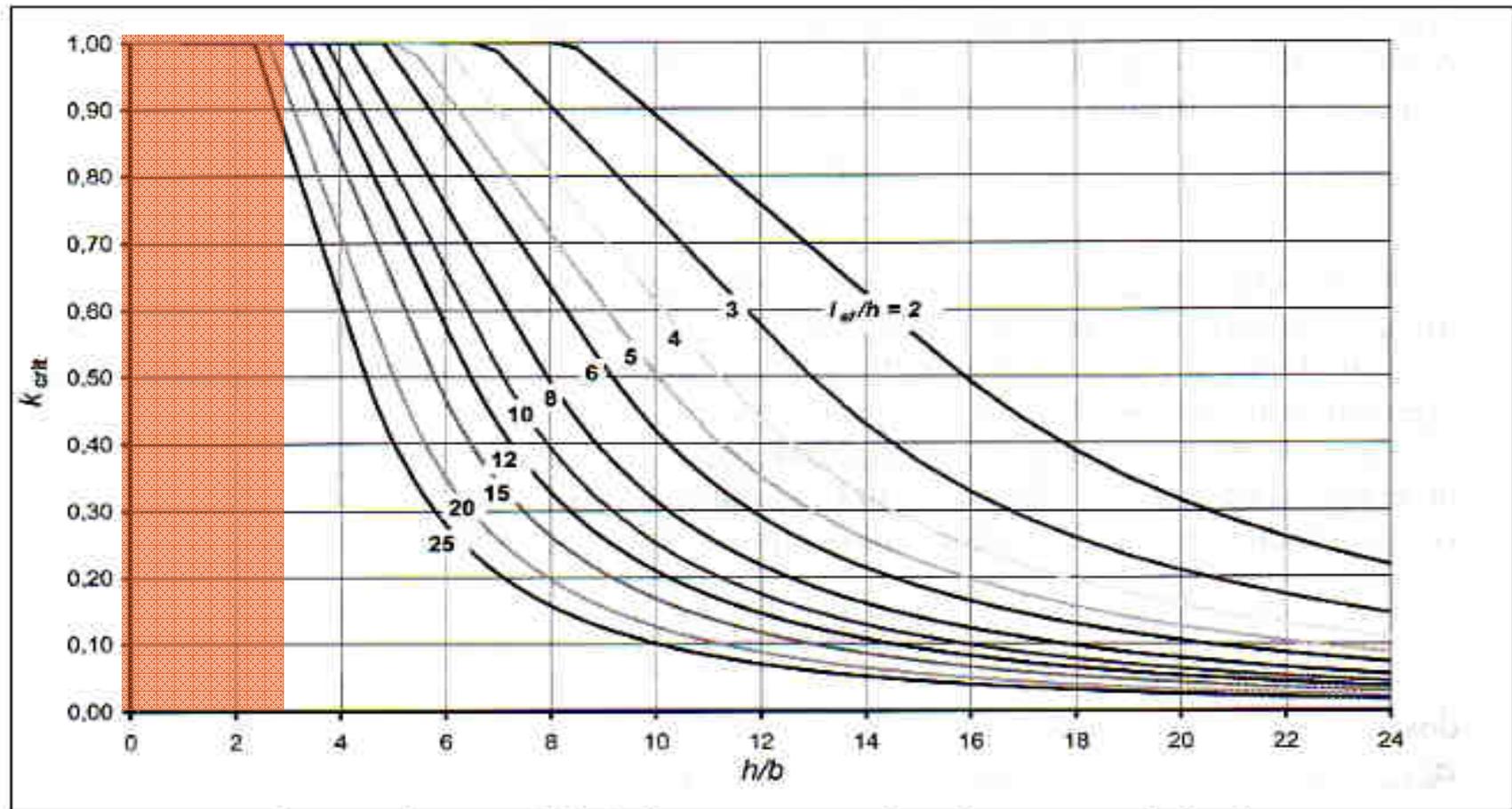
8. STABILITA' FLESSOTORSIONALE

$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{x,crit}}{W_x}$	<p>$M_{x,crit}$ momento flettente critico W_x modulo di resistenza della sezione intorno all'asse forte x</p> $M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{E_{0,05} \cdot J_z \cdot G_{0,05} \cdot J_t}$ <p>Espressione di <u>Prandtl-Michell</u> per il momento critico.</p> <ul style="list-style-type: none"> • J_t momento di inerzia torsionale; • J_z momento di inerzia della sezione nel piano debole; • $E_{0,05}, G_{0,05}$ moduli di elasticità caratteristici • l_{ef} lunghezza efficace della trave (da non confondere con la lunghezza libera di inflessione l_0) tiene conto sia delle condizioni di vincolo che del tipo di carico. 	<p>Per aste prismatiche:</p> $J_t = \frac{b^3 h}{3 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{b}{h}\right)} \quad J_z = \frac{b^3 h}{12}$ $M_{crit} \cong \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{E \cdot G} \cdot \frac{b^3 h}{6} \quad \text{per } h/b > 4$ <p>Per legno di conifere con sezione trasversale piena e rettangolare:</p> $\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} E_{0,05}$ <p>con b: larghezza della trave h: altezza della trave</p>
--	--	--

Per travi appoggiate con vincoli torsionali agli appoggi e carico baricentrico:

Condizioni di vincolo	Tipo di carico o di sollecitazione	l_{eff}
Semplice appoggio	Momento flettente costante nel tratto L	$1.0 L$
	Carico uniformemente distribuito	$0.9 L$
	Forza concentrata in mezzera	$0.8 L$
Incastro ad un estremo (mensola)	Carico uniformemente distribuito	$0.5 L$
	Forza concentrata all'estremo libero	$0.8 L$

8. STABILITA' FLESSOTORSIONALE



Curve di instabilità flessotorsionale al variare di l_{eff}/h

$$h/b < \sim 3 \rightarrow k_{crit} = 1$$

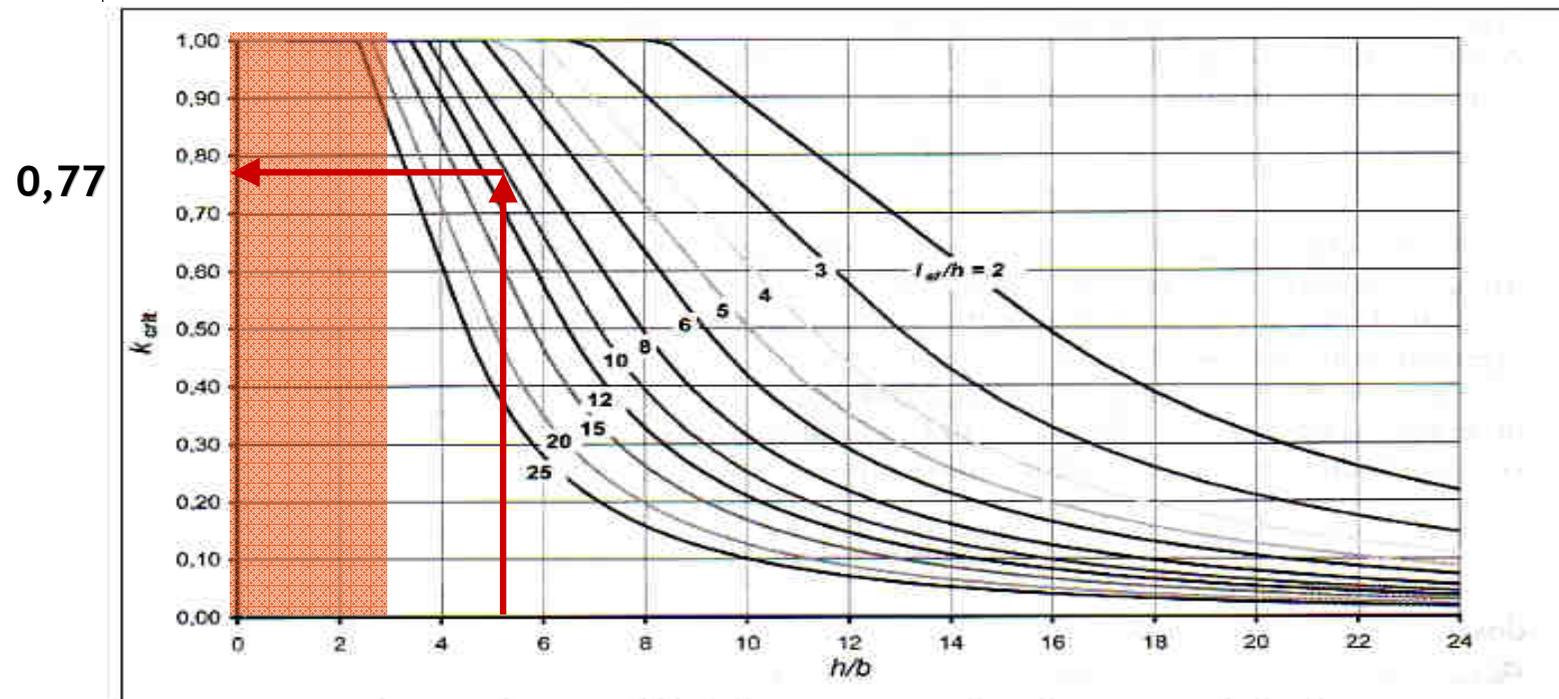
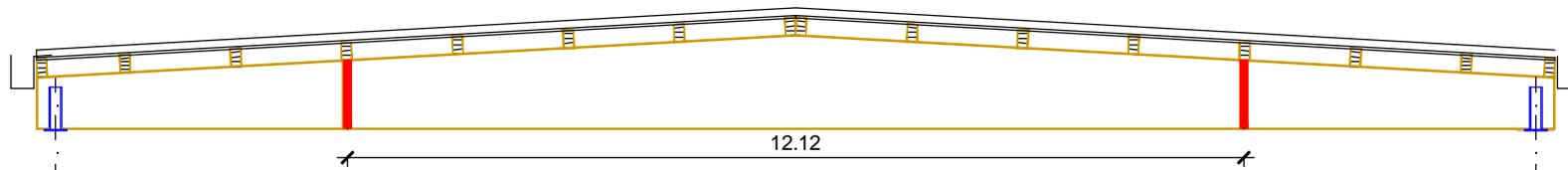
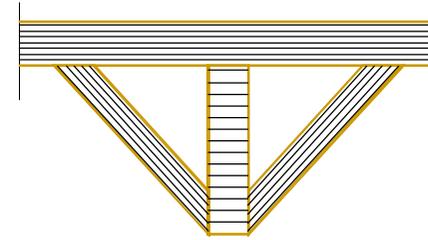
8. STABILITA' FLESSOTORSIONALE

Ipotesi :

$N=0$ (sforzo normale nullo)

$L_{ef} \sim 12,50 \text{ m} \rightarrow L_{ef}/h = 10$

$$\frac{h}{b} = \frac{1250}{220} = 5,68$$



Curve di instabilità flessotorsionale al variare di L_{ef}/h

8. STABILITA' FLESSOTORSIONALE

$$M_{crit} = \frac{\pi}{L_{ef}} \sqrt{E_{0,05} \cdot J_z \cdot G_{0,05} \cdot J_t} = 1.242 \text{ kNm}$$

Geometria:

$b = 220 \text{ mm}$
 $h = h_{ap} = 1\,250 \text{ mm}$
 $J_z = 110\,917 \text{ cm}^4$
 $J_t = 401\,290 \text{ cm}^4$

Materiale

$E_{0,mean} \text{ [MPa]}$
 $E_{0,05} \text{ [MPa]}$
 $G_{mean} \text{ [MPa]}$
 $G_{0,05} \text{ [MPa]}$

11600
9400
720
583

Ipotesi $\frac{G_{0,05}}{G_m} = \frac{E_{0,05}}{E_m}$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{crit}}{W_x} = \frac{6 \times 1242 \times 10^6}{220 \times 1250^2} = 21,67 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24}{21,67}} = 1,05 \Rightarrow k_{crit,m} = 0,77$$

$$\frac{\sigma_{m,x,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,x,d}} = \frac{11,95}{0,77 \times 14,90} = \frac{11,95}{11,47} = 1,04 > 1 \quad \text{!!!!}$$

RIEPILOGO VERIFICHE

Caso studio

Lamellare	GL24h
b [mm]=	220
h0 [mm]=	700
hap [mm]=	1250
L [m]=	20
a [°]=	3.15

Qp [kN/mq]	0.5
Qn [kN/mq]	0.8

Lef [m]	12.5
lapp [mm]	300

EC5

		σ_d [N/mm ²]	f_d [N/mm ²]	σ_d/f_d
SLU	1. Taglio all'appoggio	1.60	1.676	0.96
	2. Compressione ortogonale alla fibra all'appoggio	1.52	1.676	0.91
	3. Flessione al bordo non inclinato teso (xmax)	11.95	14.90	0.80
	4. Flessione al bordo inclinato compresso (xmax)	11.95	14.16	0.84
	5. Colmo: Flessione	10.53	14.90	0.71
	6. Colmo: Trazione ortogonale alla fibratura	0.106	0.172	0.62
	7. Taglio e trazione ortogonale alla fibratura			0.65
	8. Stabilità flessotorsionale	11.95	11.48	1.04

0.64

		L/f	L/flim	f/flim
SLE	t=0	301	300	1.00
	t=∞	232	200	0.86

63

Importanza delle verifiche a trazione ortogonale con $\alpha \rightarrow 10^\circ$

Lamellare	GL24h
b [mm]=	220
h0 [mm]=	780
hap [mm]=	2400
L [m]=	20
a [°]=	9.20

Qp [kN/mq]	1.5
Qn [kN/mq]	0.8

Lef [m]	10
lapp [mm]	500

EC5

		σ_d [N/mm ²]	f_d [N/mm ²]	σ_d/f_d
SLU	1.Taglio all'appoggio	2.50	1.676	1.49
	2.Compressione ortogonale alla fibra all'appoggio	1.65	1.676	0.98
	3.Flessione al bordo non inclinato teso (xmax)	8.34	14.90	0.56
	4.Flessione al bordo inclinato compresso (xmax)	8.34	10.60	0.79
	5.Colmo: Flessione	6.21	14.90	0.42
	6.Colmo: Trazione ortogonale alla fibratura	0.147	0.133	1.11
	7. Taglio e trazione ortogonale alla fibratura			1.15
	8.Stabilità flessotorsionale	8.34	8.84	0.94

1.00



		L/f	L/flim	f/flim
SLE	t=0	716	300	0.42
	t=∞	501	200	0.40

Importanza delle verifiche a flessione con α piccolo

Lamellare	GL24h
b [mm]=	220
h0 [mm]=	1089
hap [mm]=	1353
L [m]=	20
a [°]=	1.51

Qp [kN/mq]	1.5
Qn [kN/mq]	0.8

Lef [m]	5
lapp [mm]	500



EC5

		σ_d [N/mm ²]	f_d [N/mm ²]	σ_d/f_d	
SLU	1. Taglio all'appoggio	1.65	1.676	0.99	0.66
	2. Compressione ortogonale alla fibra all'appoggio	1.52	1.676	0.91	
	3. Flessione al bordo non inclinato teso (xmax)	13.69	14.90	0.92	
	4. Flessione al bordo inclinato compresso (xmax)	13.69	14.72	0.93	
	5. Colmo: Flessione	13.71	14.90	0.92	
	6. Colmo: Trazione ortogonale alla fibratura	0.070	0.166	0.42	
	7. Taglio e trazione ortogonale alla fibratura			0.47	
	8. Stabilità flessotorsionale	13.71	14.90	0.92	

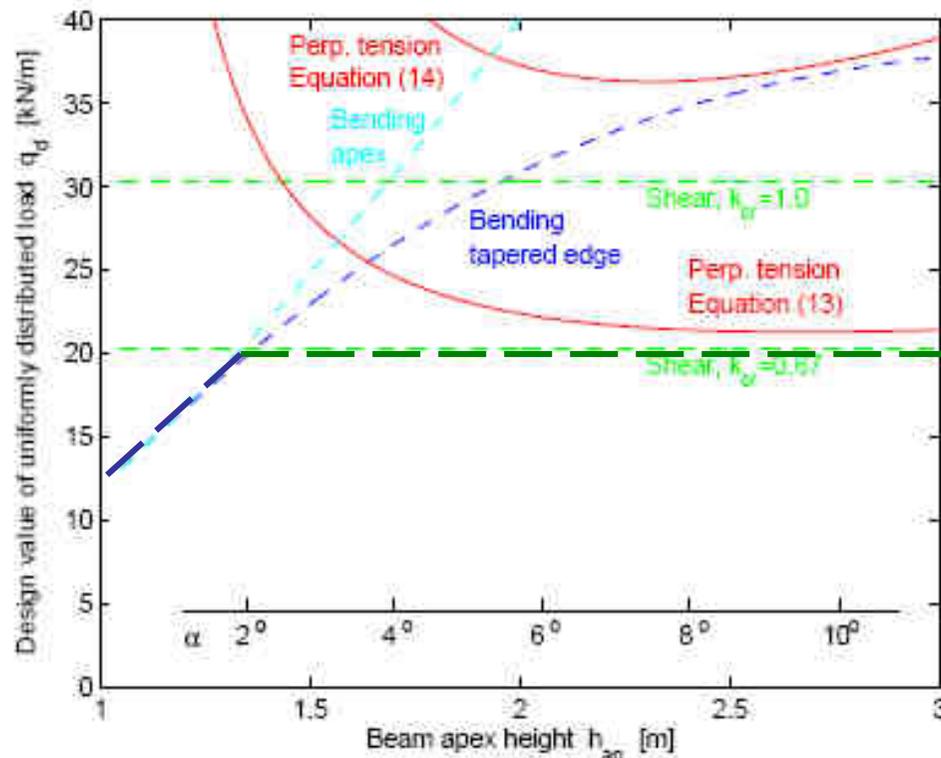


			L/f	L/flim	f/flim
SLE	t=0		304	300	0.99
	t=∞		215	200	0.93

65

CONSIDERAZIONI

- Con l'introduzione del coefficiente di fessurazione k_{cr} ($=0,67$) nell'ultima versione dell'EC5, la **verifica a taglio** è diventata dimensionante ($\alpha \geq \sim 2^\circ$);
- mentre per $\alpha < \sim 2^\circ$ sono rilevanti le **verifiche a flessione** in apice o al lembo rastremato;
- Trascurando la verifica a taglio, al crescere dell'inclinazione della rastremazione, la **verifica a trazione ortogonale** diventa rilevante



Diagramma

**Carico uniforme massimo di progetto -
Altezza all'apice della trave
(costruito per GL28h, L=20m, b=0,2m
 $h_0=1$ m, $k_{mod}=0,8$, $\gamma_M=1.25$)**

F. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

COMBINAZIONI

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

COMBINAZIONE RARA



FRECCIA ISTANTANEA

(Em, Gm, Kser)

**COMBINAZIONE
QUASI PERMANENTE**



FRECCIA A LUNGO TERMINE

(Em/(1+kdef), Gm/(1+ kdef), Kser /(1+ kdef))

k_{def} : coefficiente che tiene conto dell'aumento della deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della **viscosità e dell'umidità del materiale**

Occorre tener conto della **deformabilità dei collegamenti**, con il coefficiente **Kser** (SLE): modulo di scorrimento istantaneo dell'unione

F. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

K_{ser} (EC5)

Valori di K_{ser} per mezzi di unione e connettori in N/mm, nelle connessioni **legno-legno** e **pannello a base di legno-legno**

Tipo di mezzo di unione	K_{ser}
Spinotti Bulloni con o senza gioco ^{a)} Viti Chiodi (con preforatura)	$\rho_m^{1,5} d / 23$
Chiodi (senza preforatura)	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$
Cambrette	$\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$
Connettori ad anello aperto di tipo A secondo EN 912 Connettori a tassello di tipo B secondo EN 912	$\rho_m d_c / 2$
Connettori a piastra dentata:	
- Connettori dei tipi da C1 a C9 secondo EN 912	$1,5 \rho_m d_c / 4$
- Connettori dei tipi C10 e C11 secondo EN 912	$\rho_m d_c / 2$
a) Si raccomanda che il gioco sia aggiunto separatamente alla deformazione.	

per ciascuna sezione resistente a taglio e per singolo mezzo di unione 68

F. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

Kser (CNR-DT 206/2007)

Tipo di connettore	Unioni legno-legno, legno-pannello
Spinotti, bulloni calibrati*, viti, chiodi con preforatura	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d}{20}$
Chiodi (senza preforatura)	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{25}$
Cambrette e graffe	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{60}$
Anelli (tipo A secondo EN 912)	$0.6\rho_k \cdot d_c$
Caviglie (tipo B secondo EN 912)	
Piastre dentate singole (tipo C1-C9 secondo EN 912)	$0.3\rho_k \cdot d_c$
Piastre dentate doppie (tipo C10 e C11 secondo EN 912)	$0.45\rho_k \cdot d_c$
* La deformazione dovuta ai giochi meccanici deve essere assegnata separatamente (comunque con valore non inferiore a 1mm)	

SLE - k_{def}

Coefficiente che tiene conto dell'aumento della deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale

U=12%

Tabella 4.4.V -Valori di k_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno

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
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 (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
	EN 622-5	MDF.LA	2,25	-	-
		MDF.HLS	2,25	3,00	-

Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

F. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

FRECCIA

$$u = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{E_m J} + \chi \frac{ql^2}{8G_m A}$$

5-20%!!!

COMBINAZIONE RARA: freccia istantanea

$$G + Q_1 + \psi_{02} \cdot Q_2 + \psi_{03} \cdot Q_3 + \dots$$

→
$$u_{ist} = u_{ist,G} + u_{ist,Q_1} + \psi_{02} \cdot u_{ist,Q_2} + \psi_{03} \cdot u_{ist,Q_3} + \dots$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE: freccia differita

$$G + \psi_{21} \cdot Q_1 + \psi_{22} \cdot Q_2 + \psi_{23} \cdot Q_3 + \dots$$

$$u_{dif} = u_{dif,G} + \psi_{21} \cdot u_{dif,Q_1} + \psi_{22} \cdot u_{dif,Q_2} + \psi_{23} \cdot u_{dif,Q_3} + \dots$$

→
$$u_{dif} = k_{def} \cdot u_{ist,G} + \psi_{21} \cdot k_{def} \cdot u_{ist,Q_1} + \psi_{22} \cdot k_{def} \cdot u_{ist,Q_2} + \psi_{23} \cdot k_{def} \cdot u_{ist,Q_3} + \dots$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE: freccia finale

$$u_{fin} = u_{ist} + u_{dif}$$

→
$$u_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot u_{ist,G} + (1 + \psi_{21} \cdot k_{def}) \cdot u_{ist,Q_1} + (\psi_{02} + \psi_{22} \cdot k_{def}) \cdot u_{ist,Q_2} + \dots$$

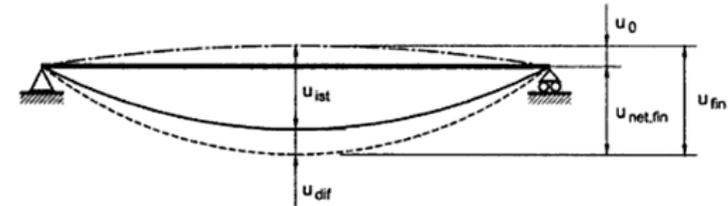
F. VERIFICHE DI DEFORMABILITA' (SLE)

LIMITAZIONI DELLA FRECCIA

u_1 : freccia dovuta ai carichi permanenti

u_2 : freccia dovuta ai carichi variabili

u_0 : controfrecchia (eventuale)



$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0$$

SOLAI DI COPERTURA

$$u_{2,ist} \leq L/300$$

$$u_{2,fin} \leq L/200$$

$$u_{net,fin} \leq L/250$$

SOLAI DI CALPESTIO CON TRAMEZZI E PAVIMENTI RIGIDI

$$u_{2,ist} \leq L/500$$

$$u_{2,fin} \leq L/300$$

$$u_{net,fin} \leq L/350$$

$$u_{1,ist} \leq L/400 \text{ (limitazione delle vibrazioni)}$$

TRAVI RASTREIMATE – deformabilità

Nel calcolo della freccia delle travi rastremate è possibile utilizzare una formula analoga a quella delle travi a sezione costante:

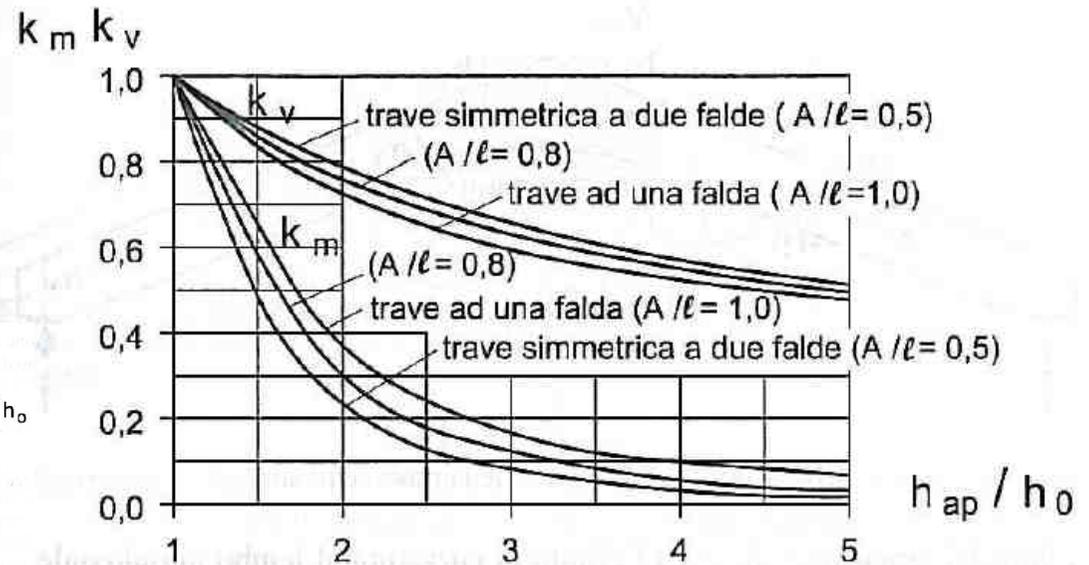
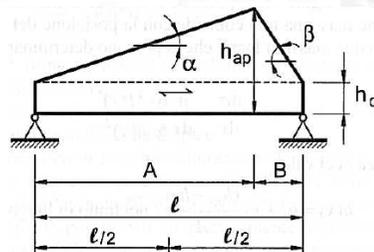
$$f_{\max} = \frac{5q \cdot l^4}{384E_{0,\text{mean}} \cdot J_0} \cdot k_m + \chi \frac{ql^2}{8G_{\text{mean}} A_0} \cdot k_v \rightarrow \text{Pesa di più!!}$$

Nella quale

- J_0 e A_0 sono il momento di inerzia e l'area della sezione di appoggio
- k_m e k_v sono dei coefficienti tabellati in funzione di A/l , ricavabili analiticamente nel caso di travi a doppia rastremazione simmetriche

$$k_m = \left(\frac{h_0}{h_{\text{ap}}} \right)^3 \cdot \frac{1}{0,15 + 0,85 \cdot (h_0 / h_{\text{ap}})}$$

$$k_v = \frac{2}{1 + (h_{\text{ap}} / h_0)^{2/3}}$$



CASO STUDIO: **TEMPO ZERO: freccia istantanea**

Combinazione RARA $\rightarrow q_{RARA} = q_p + q_n$

$$q_p = 3,875 \text{ kN/m}$$

$$q_n = 4 \text{ kN/m}$$

$$J_0 = \frac{bh_0^3}{12} = 6,29 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$A_0 = bh_0 = 154.000 \text{ mm}^2$$

$$E_{o,m} = 11.600 \text{ MPa}$$

$$G_m = 720 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,28$$

$$k_v = 0,81$$

$$u_{1,ist} = f(q_p) = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,875 \times 20.000^4}{11.600 \times 6,29 \cdot 10^9} \times 0,28 + 1,2 \cdot \frac{3,875 \times 20.000^2}{8 \times 720 \times 154.000} \times 0,81 = 32,7 \text{ mm}$$

$$u_{2,ist} = f(q_n) = \frac{5}{384} \cdot \frac{4 \times 20.000^4}{11.600 \cdot 6,29 \cdot 10^9} \times 0,28 + 1,2 \times \frac{4 \times 20.000^2}{8 \times 720 \times 154.000} \times 0,81 = 33,8 \text{ mm}$$

$$u_{\max,ist} = u_{1,ist} + u_{2,ist} = 66,5 \text{ mm} \leq \frac{L}{300} = 66,67 \text{ mm} \Rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$$

CASO STUDIO: **TEMPO INFINITO: freccia finale**

Combinazione **QUASI PERMANENTE** $\rightarrow q_{QP} = q_p + \Psi_2 \cdot q_n$

$\Psi_2 = 0$ (neve)

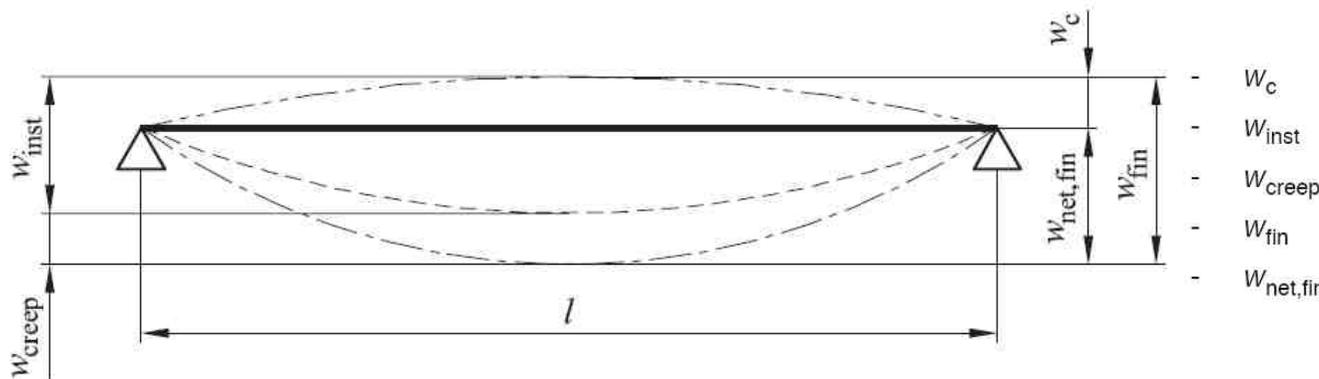
$k_{def} = 0,6$ (L.L., classe di servizio 1)

$$u_{1,fin} = u_{1,ist} \cdot (1 + k_{def}) = u_{1,ist} \cdot (1 + 0,6) = 32,7 \times 1,6 = 52,32 \text{ mm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,ist} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def}) = 33,8 \times (1 + 0) = 33,8 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 52,32 + 33,8 = 86,2 \text{ mm} \leq \frac{L}{200} = 100 \text{ mm}$$

\Rightarrow Verifica soddisfatta



- W_c è la monta della trave (se applicata);
- W_{inst} è la freccia istantanea;
- W_{creep} è la freccia viscoelastica;
- W_{fin} è la freccia finale;
- $W_{net,fin}$ è la freccia finale netta.

CALCOLO DELLO SCORRIMENTO DELLA CONNESSIONE

BULLONI M16

GL24h $\rightarrow \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

$q_{\text{Rara}} = 7,875 \text{ kN/m}$

$q_{\text{QP}} = 3,875 \text{ kN/m}$

Taglio all'appoggio:

$V_{d,\text{Rara}} = q_{\text{Rara}} L/2 = 78,75 \text{ kN}$

$V_{d,\text{QP}} = q_{\text{QP}} L/2 = 38,75 \text{ kN}$

Numero di bulloni: 2

Numero di sezioni di taglio: 2

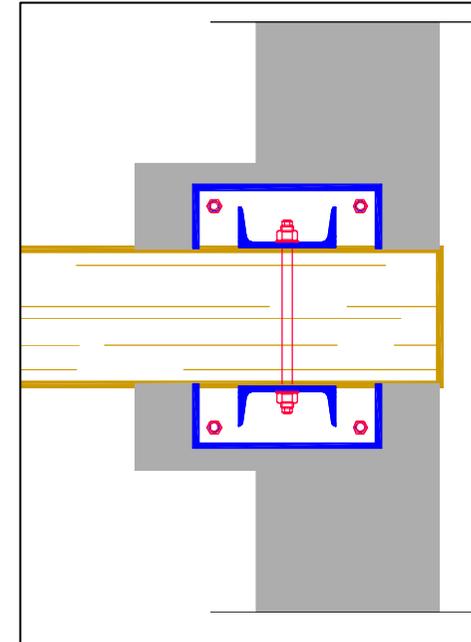
Gioco foro-bullone: 1mm

$k_{\text{def}} = 0,6$

Nel caso di collegamento legno-acciaio:

- $\rho_k \rightarrow \rho_k \text{ legno}$

- K_{ser} viene raddoppiato



Scorrimento istantaneo del collegamento:

$$K_{\text{ser},\text{SLE},t=0} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot \frac{d}{20} = 380^{1,5} \cdot \frac{16}{20} = 47.408 \text{ N/mm}$$

$$d_{\text{ist}} = \frac{V_d}{K_{\text{ser},\text{SLE}}} + 1\text{mm} = \frac{78,75 \cdot 10^3}{47.408} + 1\text{mm} = 2,66\text{mm}$$

Da sommare a $u_{\text{ist}} = 66,5\text{mm} \Rightarrow \sim 70\text{mm}$

Scorrimento differito del collegamento:

$$K_{\text{ser},\text{SLE},t=\infty} = \frac{K_{\text{ser},\text{SLE},t=0}}{1 + k_{\text{def}}} = \frac{47.408}{1,6} = 29.630 \text{ N/mm}$$

$$d_{\text{dif}} = \frac{V_d}{K_{\text{ser},\text{SLE}}} = \frac{38,75 \cdot 10^3}{29.630} = 1,31\text{mm}$$

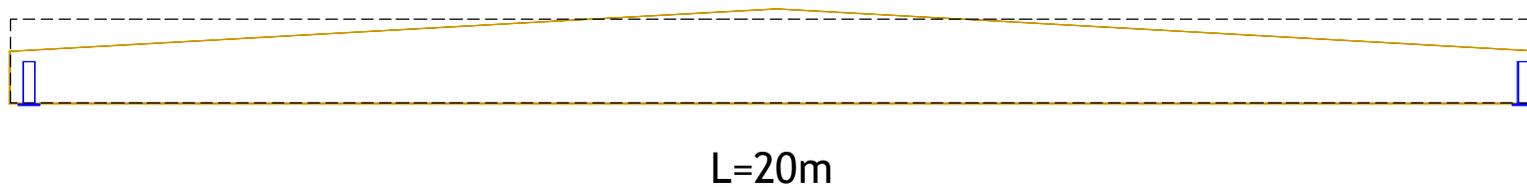
Scorrimento totale:

$$d_{\text{tot}} = d_{\text{ist}} + d_{\text{dif}} = 3,97\text{mm}$$

Da sommare a $u_{\text{fin}} = 86,2\text{mm} \Rightarrow \sim 90\text{mm}$

CONFRONTO CON TRAVE A SEZIONE COSTANTE

Se avessimo progettato una trave a sezione costante, avremmo ottenuto una sezione pari a circa **220x1120mm**:



$$V_{ol, \text{ trave rastremata}} = 4,35 \text{ m}^3$$

**AVREMMO CONSUMATO 15%
IN PIU' DI LEGNO**

$$V_{ol, \text{ rettangolare}} = 5 \text{ m}^3$$

G. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

RESISTENZA AL FUOCO:

indica la capacità di un manufatto di svolgere la propria funzione dal momento in cui viene investito da un incendio

espressa in termini di tempo (usualmente minuti)

DIPENDE

- dalle proprietà fisiche e meccaniche del materiale
- dai criteri costruttivi e realizzativi della struttura (scelte progettuali effettuate)

→ ELEMENTO LIGNEO: Metodo della sezione efficace

→ COLLEGAMENTI

NORMATIVA

- EUROCODICE 5: UNI EN 1995-1-2_2005
- CNR-DT 206/2007 rev. 2008 - § 12

CASO STUDIO - VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

IPOSTESI: requisito di resistenza al fuoco richiesto **R60**

Combinazione **ACCIDENTALE** $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$ $\psi_{2,neve}=0$

$$q_{FUOCO} = q_p = 3,875 \text{ kN/m}$$

Calcolo della sezione efficace:

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$$

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0 = \beta_n \cdot t + 7 = 0,7 \times 60 + 7 = 49 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = 220 - 2 \times 49 = 122 \text{ mm}$$

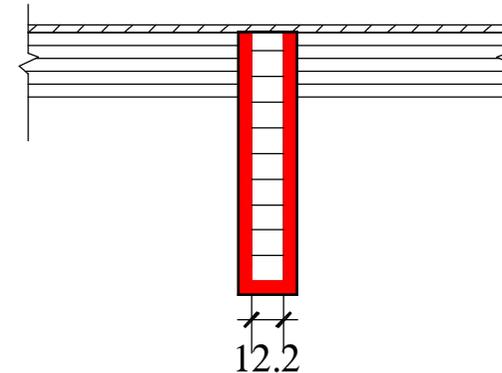
$$h_{ef,0} = 700 - 49 = 651 \text{ mm}$$

$$h_{ef,ap} = 1250 - 49 = 1201 \text{ mm}$$

Parametri di resistenza

Valori di progetto $k_{mod} = 1$; $k_{fi} = 1,15$

$f_{m,y,d}$ [MPa]	27.60
$f_{m,z,d}$ [MPa]	27.60
$f_{t,0,d}$ [MPa]	18.98
$f_{t,90,d}$ [MPa]	0.46
$f_{c,0,d}$ [MPa]	27.60
$f_{c,90,d}$ [MPa]	3.105
$f_{v,d}$ [MPa]	3.105



	Sez. iniziale	Sez. finale (t=60')
Appoggio	220x700	122x651
Apice	220x1250	122x1201

VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

VERIFICHE: consistono nel calcolo della capacità portante (per rottura o per instabilità) **UNICAMENTE** allo **STATO LIMITE ULTIMO**.

1. Taglio all'appoggio → TRASCURABILE [p.to 4.3.1 (1) EC5-1-2]
2. Compressione ortogonale alla fibra all'appoggio → TRASCURABILE [p.to 4.3.1 (1) EC5-1-2]
3. Flessione al bordo non inclinato teso (x_{\max})
4. Flessione al bordo inclinato compresso (x_{\max})
5. Colmo: Flessione
6. Colmo: Trazione ortogonale alla fibratura
7. Colmo: Taglio e trazione ortogonale alla fibratura
8. Stabilità flessotorsionale

Sollecitazioni e tensioni di calcolo:

$$M_{\max d, mezzeria} = \frac{q_{fuoco} \cdot L^2}{8} = 193,75 \text{ kNm}$$

$$V_d = \frac{q_{SLU} \cdot L}{2} = 38,75 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 0,75 \cdot \frac{q \cdot L^2}{b} \cdot \frac{1}{h_0 \cdot (2h_{ap} - h_0)} = 8,36 \text{ MPa}$$

$$x_{\max} = \frac{L \cdot h_0}{2 \cdot h_{ap}} = 5,4 \text{ m}$$

VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO

Si riportano i risultati delle verifiche in termini di rapporto tra tensione sollecitante di calcolo e tensione resistente di calcolo, condotte con le stesse formule viste in precedenza. Deve risultare:

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1$$

		σ_d [N/mm ²]	f_d [N/mm ²]	σ_d/f_d
SLU	1. Taglio all'appoggio	1.09	3.105	0.35
	2. Compressione ortogonale	0.96	3.105	0.31
	3. Flessione al bordo non inclinato	8.36	27.60	0.30
	4. Flessione al bordo inclinato	8.36	26.23	0.32
	5. Colmo: Flessione	7.22	27.60	0.26
	6. Colmo: Trazione ortogonale	0.07	0.36	0.20
	7. Taglio e trazione ortogonale alla fibratura			0.21
	8. Stabilità flessotorsionale	8.36	9.37	0.89

Occorre valutare la resistenza dei collegamenti

			L/f	L/flim	f/flim
SLE	t=0		167	300	1.80
	t=∞		129	200	1.56

VERIFICA NON RICHIESTA

SOMMARIO

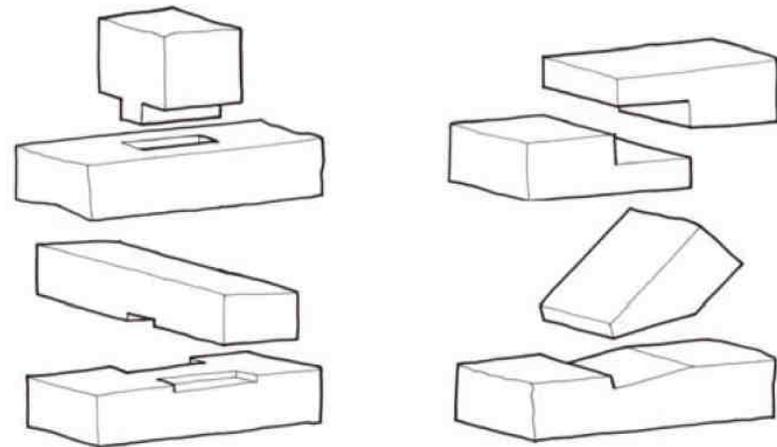
- Un po' di storia...
- Cenni sulla tecnologia del L.L.I.
- Le travi 'speciali': normativa e stato tensionale
- Dimensionamento di una trave a doppia rastremazione
- **Dimensionamento del collegamento alle strutture di bordo**
- Dimensionamento di un collegamento in fondazione



TIPOLOGIE DI COLLEGAMENTI NELLE STRUTTURE LIGNEE:

1. COLLEGAMENTI DI CARPENTERIA:

realizzati per lavorazione delle superfici di contatto (*carpentry joint*), in cui le sollecitazioni vengono trasmesse direttamente tramite sforzi di compressione.

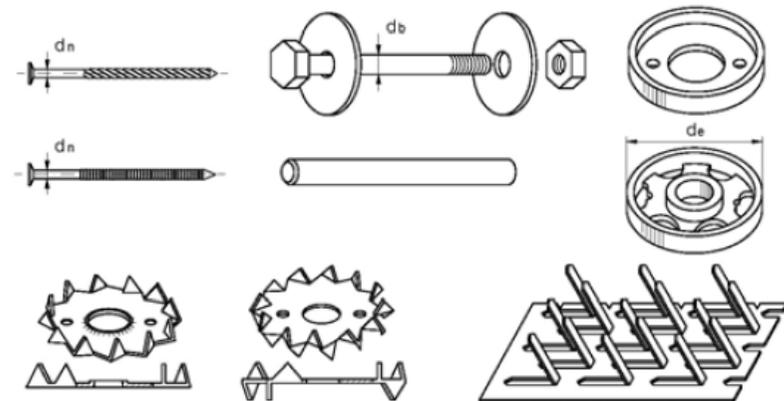


2. COLLEGAMENTI MECCANICI:

nei quali la trasmissione degli sforzi avviene prevalentemente attraverso appositi elementi metallici e, eventualmente, con la presenza di adesivi (*mechanical joint*).

Possono essere suddivisi in:

1. unioni con mezzi di unione metallici a gambo cilindrico (bulloni, chiodi, spinotti o, con superfici lisce o zigrinate);
2. unioni con connettori metallici di superficie (caviglie, anelli, piastre dentate).



TIPOLOGIE DI COLLEGAMENTI NELLE STRUTTURE LIGNEE:

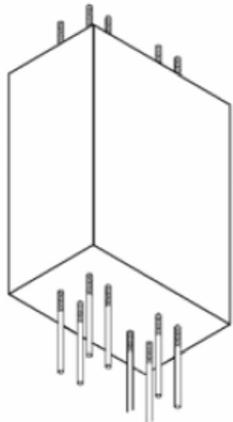
3. COLLEGAMENTI INCOLLATI:

collegamenti con l'impiego di adesivi strutturali. Devono essere limitati a collegamenti in classe di servizio 1 e 2.

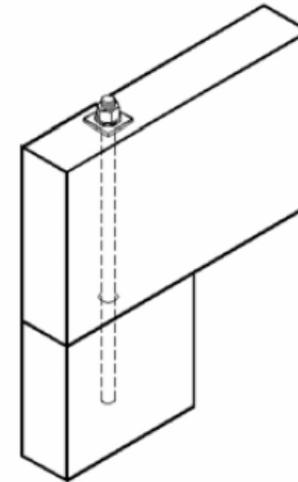
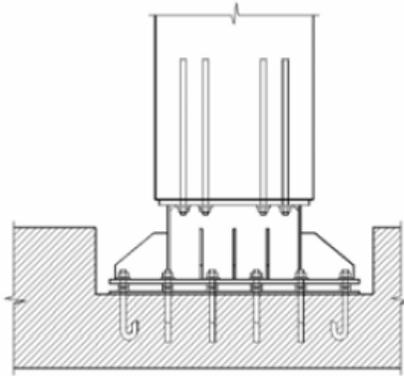
Si possono realizzare:

1. unioni legno-legno
2. unioni con barre (in acciaio o fibra di carbonio) incollate sollecitate a trazione
3. unioni con barre incollate sollecitate a taglio

APPLICAZIONI CON BARRE INCOLLATE PER COLLEGAMENTI RIGIDI



Incastro di base



Nodo d'angolo a momento

COLLEGAMENTI NELLE STRUTTURE LIGNEE - normativa

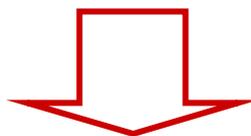
4.4.9 COLLEGAMENTI

Le capacità portanti e le deformabilità dei mezzi di unione utilizzati nei collegamenti devono essere determinate sulla base di prove meccaniche, per il cui svolgimento può farsi utile riferimento alle norme UNI EN 1075:2002, UNI EN 1380:2001, UNI EN 1381:2001, UNI EN 26891: 1991, UNI EN 28970: 1991, e alle pertinenti norme europee.

La capacità portante e la deformabilità dei mezzi di unione possono essere valutate con riferimento a normative di comprovata validità.

Nel calcolo della capacità portante del collegamento realizzato con mezzi di unione del tipo a gambo cilindrico, si dovrà tener conto, tra l'altro, della tipologia e della capacità portante ultima del singolo mezzo d'unione, del tipo di unione (legno-legno, pannelli-legno, acciaio-legno), del numero di sezioni resistenti e, nel caso di collegamento organizzato con più unioni elementari, dell'allineamento dei singoli mezzi di unione.

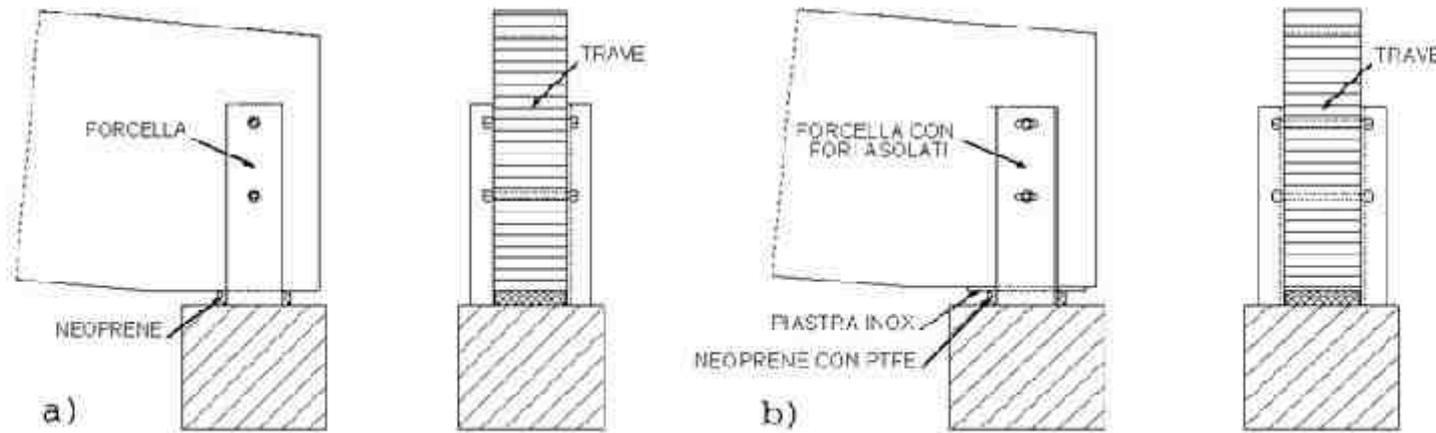
È ammesso l'uso di sistemi di unione di tipo speciale purché il comportamento degli stessi sia chiaramente individuato su base teorica e/o sperimentale e purché sia comunque garantito un livello di sicurezza non inferiore a quanto previsto nella presente norma tecnica.



**Occorre far riferimento a
EUROCODICE 5 / CNR-DT 206/2007 / DIN 1052:2008**

COLLEGAMENTO ALLA STRUTTURA DI BORDO

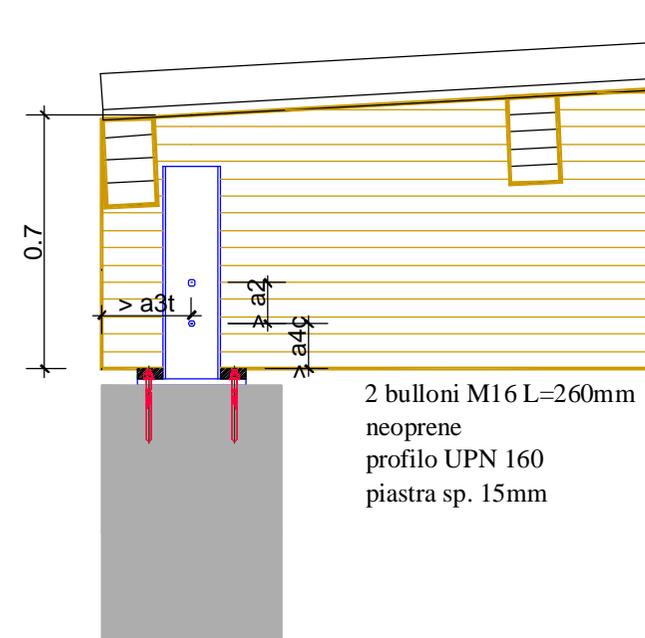
Schema statico di trave isostatica: ad una estremità occorre realizzare una cerniera (appoggio fisso) e all'altra un carrello (appoggio scorrevole)



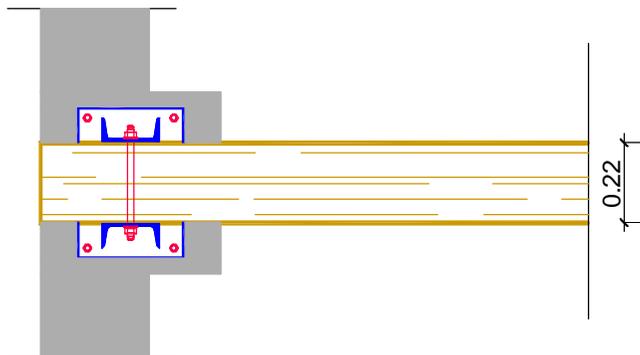
- In generale, quando $b/h < 4$, il vincolo deve costituire un ritegno torsionale per la trave (forcella in acciaio, in c.a. o in legno);
- L'appoggio fisso viene realizzato disponendo una striscia di neoprene opportunamente dimensionata per i carichi verticali previsti;
- L'appoggio scorrevole viene realizzato creando un' asolatura nelle forcelle dimensionata sulla base degli spostamenti orizzontali previsti (desunti dall'analisi = differenza tra spostamenti orizzontali in testa alle colonne, in direzione della trave) e disponendo una striscia di neoprene armata.

COLLEGAMENTO ALLA TRAVE DI BORDO

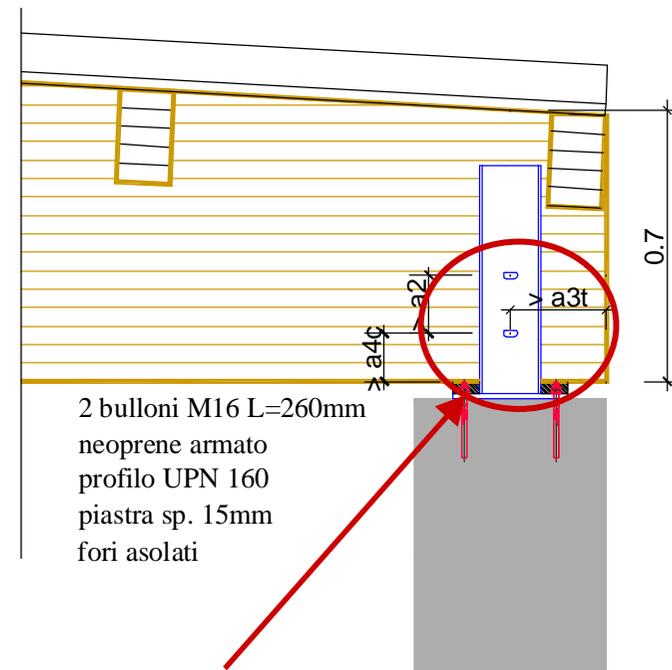
COLLEGAMENTO A CERNIERA



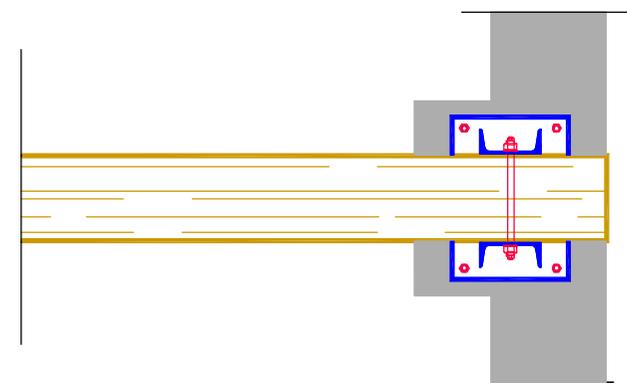
- Connessione acciaio-legno costituita da **2 bulloni M16** a 2 sezioni resistenti
- Disposizione dei bulloni come in figura (distanze minime dai bordi e dalle estremità)



COLLEGAMENTO A CARRELLO



Asolatura



87

COLLEGAMENTO ALLA TRAVE DI BORDO

Verifiche da effettuare:

1. Verifica delle distanze dai bordi, dalle estremità e interassi minimi: le resistenze delle connessioni sono garantite se sono rispettate le spaziature minime (// e \perp alla fibra) e le distanze dai bordi e dalle estremità (soprattutto se sollecitati)
2. Determinazione della resistenza di calcolo del singolo bullone/spinotto:
 - Valore minimo delle formule pertinenti ai sensi della teoria di Johansen (teoria plastica) (ved. EC5 o CNR DT)
 - γ_m per le connessioni pari a 1,5 (secondo NTC)
3. Verifica di resistenza e a rifollamento delle piastre in acciaio
4. Dimensionamento dell'asolatura sulle piastre di acciaio
5. Verifica delle saldature e degli ancoraggi alla struttura in c.a. /acciaio

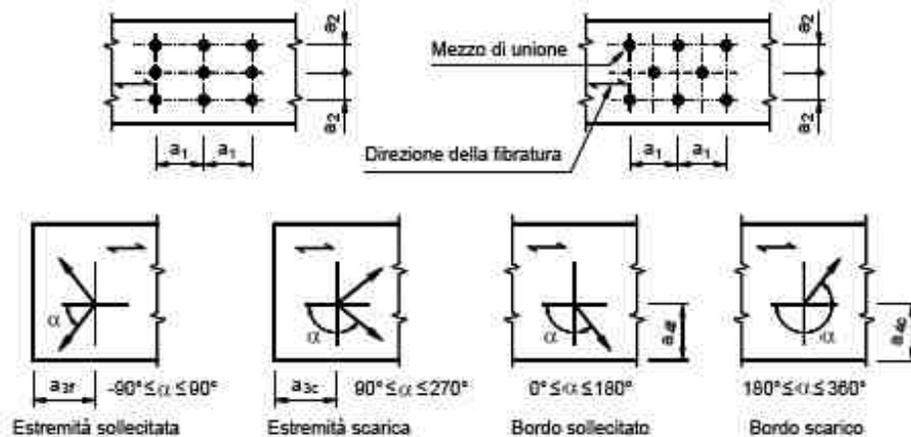
$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_m}$$

Tabella 4.4.III - Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	γ_M
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato pannelli di seuglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

COLLEGAMENTO ALLA TRAVE DI BORDO

1. Verifica delle distanze dai bordi e interassi minimi



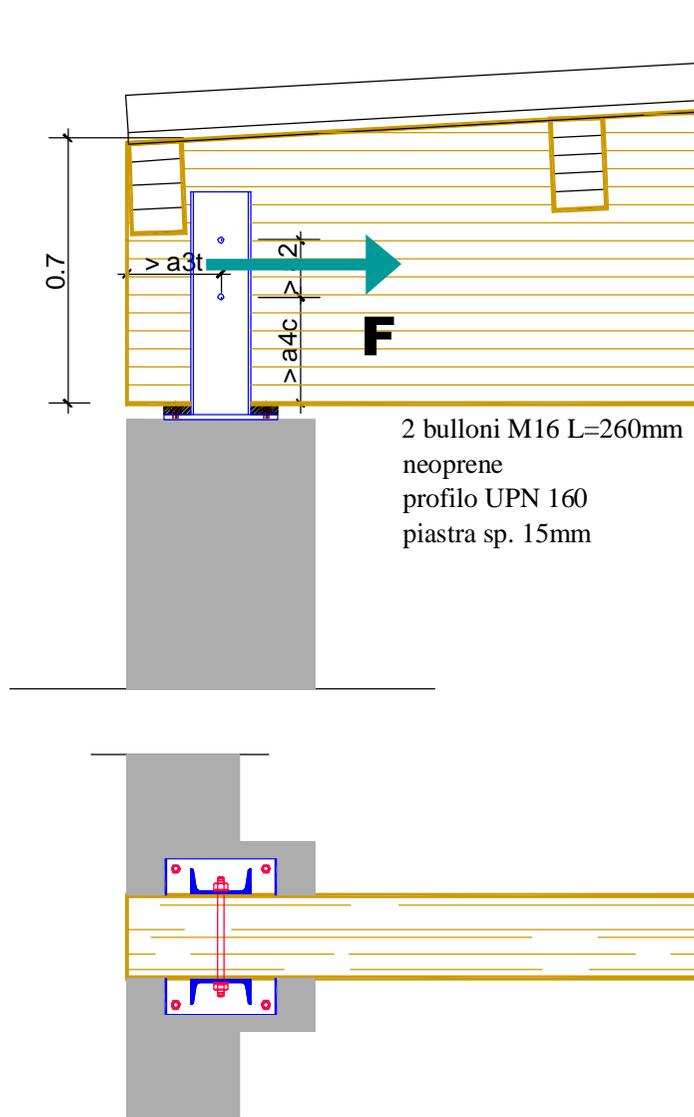
**Disegno
geometria**

Figura 7-12 – Spaziature e distanze minime

Valori minimi di spaziatura e distanza da bordi ed estremità, per bulloni

Spaziature e distanze da estremità/bordi (vedere figura 8.7)	Angolo	Spaziatura o distanza minima
a_1 (parallela alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d \geq 64\text{mm}$
$a_{3,t}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max. $(7 d ; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$ $4d$ $(1 + 6 \sin \alpha) d \geq 112\text{mm}$
$a_{4,t}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max. $[(2 + 2 \sin \alpha) d ; 3d] \geq 64\text{mm}$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

COLLEGAMENTO ALLA TRAVE DI BORDO



2 bulloni M16 L=260mm
neoprene
profilo UPN 160
piastra sp. 15mm

DATI DI PROGETTO

LEGNO LAMELLARE GL24h

Classe di servizio 1

Durata del carico istantanea (sisma) $\rightarrow k_{mod} = 1$

$\gamma_M = 1,5$ (connessione)

Sezione trave lignea all'appoggio

b x h = 220 x 700mm

Bulloni

Classe 4.6, diametro **d = 16mm** ($6\text{mm} \leq d \leq 30\text{mm}$)

$f_{u,k} = 400\text{ MPa}$, $f_{y,k} = 240\text{ MPa}$

n. **2** bulloni

Profili in acciaio UPN 160

Acciaio S355 $f_{u,k} = 510\text{ MPa}$, $f_{y,k} = 355\text{ MPa}$

Anima verticale sp. 10,5mm

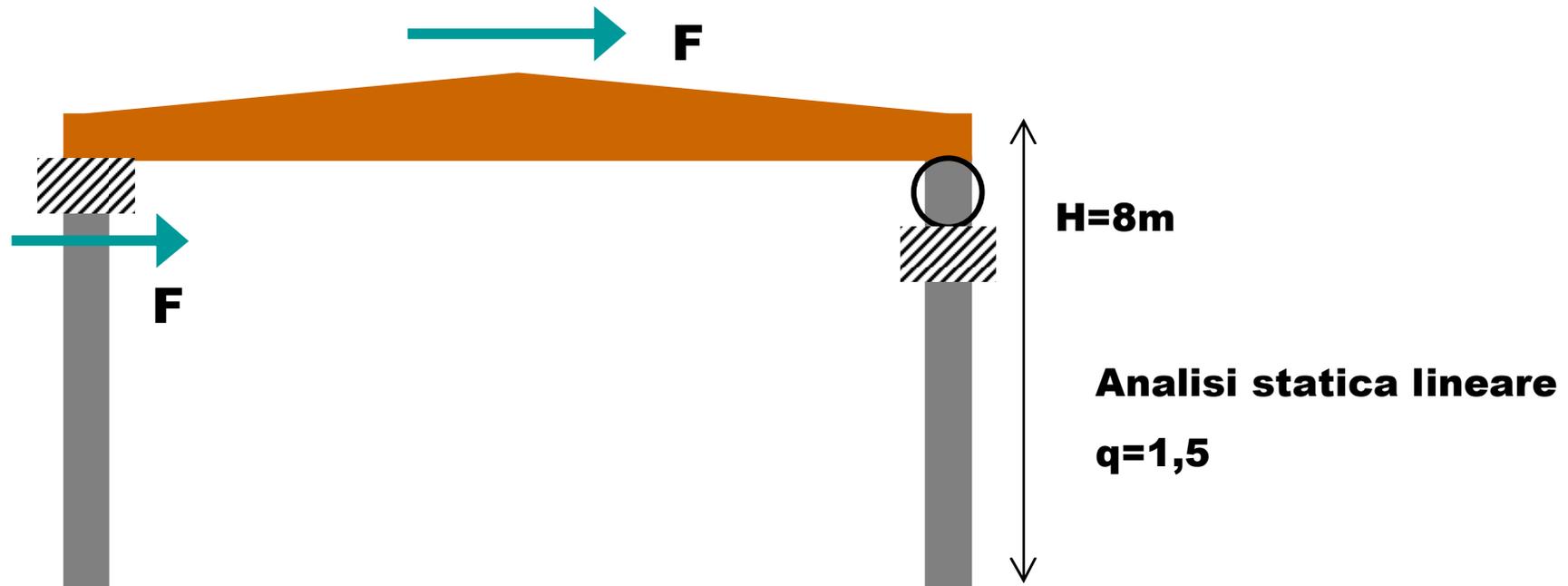
Piastra di base sp. 15mm

Tirafondi M16, classe 8.8

$\gamma_M = 1,25$

*Resistenza al fuoco richiesta **R60**: si dispongono delle pannellature in legno di protezione*

COLLEGAMENTO ALLA TRAVE DI BORDO



$$F = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g = S_d(T_1) \cdot W$$

$$W = 3,875 \text{ kN/m} \cdot 20 = 77,5 \text{ kN} \quad G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{1j}$$

$$S_d(T_1) = \frac{S_e(T_1)}{q} = \frac{a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0}{1,5} = \frac{0,338}{1,5} = 0,225g$$

$$F = 0,225 \times 77,5 = 17,4375 \text{ kN}$$

Taglio sul singolo bullone: **8,72 kN**

UNIONI ACCIAIO - LEGNO

2. Resistenza di calcolo del bullone

D) per unioni a doppio piano di taglio con piastre di acciaio *sottili* poste esternamente:

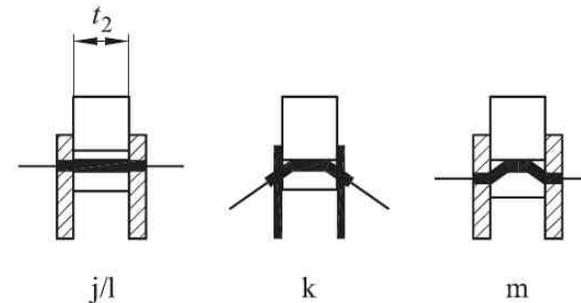
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1.15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases}$$

(j)

(k)

2 x min $F_{v,Rd}$

elemento	massa volumica caratteristica ρ_k [kg/m ³]	spessore t [mm]	K,mod	piastra sottile o spessa
legno	380	220	1.00	interpolazione
acciaio		10.5		
d [mm] =	16			
$\rho_{m,l}$ =	1.5			
$\rho_{m,s}$ =	1.5			
f,w,k [N/mm ²] =	400	4.6		



<i>doppia piastra - sottile</i>		
8.9.j	30 711.3	
8.9.k	8 934.4	Rd [N] = 11 912.6

11,9 kN > 8,72 kN

→ verifica soddisfatta

Se sp. piastra < 0,5 d ⇒ piastra sottile

Se sp. piastra > d ⇒ piastra spessa

Se 0,5 d < sp. piastra < d ⇒ interpolazione

COLLEGAMENTO ALLA TRAVE DI BORDO

4. Dimensionamento dell'asolatura nelle piastre di acciaio

Dimensionata in base a:

- Spostamento massimo dei pilastri in controfase (dall'analisi)
- Deformazione assiale del legno per effetti termoigrometrici (in genere trascurabile)

Deformazione assiale

- L trave = 20m
- Deformazione assiale per effetti termoigrometrici $\sim 10^{-4}$ per ogni punto percentuale di variazione di umidità nel legno.
- Ipotesi: ambiente non riscaldato in inverno: $\Delta u = \pm 3\%$ nel legno

$$\Delta l = 10^{-4} \cdot 6 \cdot 20.000 = 12mm$$

5. Verifica delle saldature e degli ancoraggi alla struttura in c.a.

Verifica a taglio e a pressoflessione (tenuto conto del momento di trasporto dovuto all'eccentricità dell'azione rispetto alla base)

UNIONI ACCIAIO - LEGNO

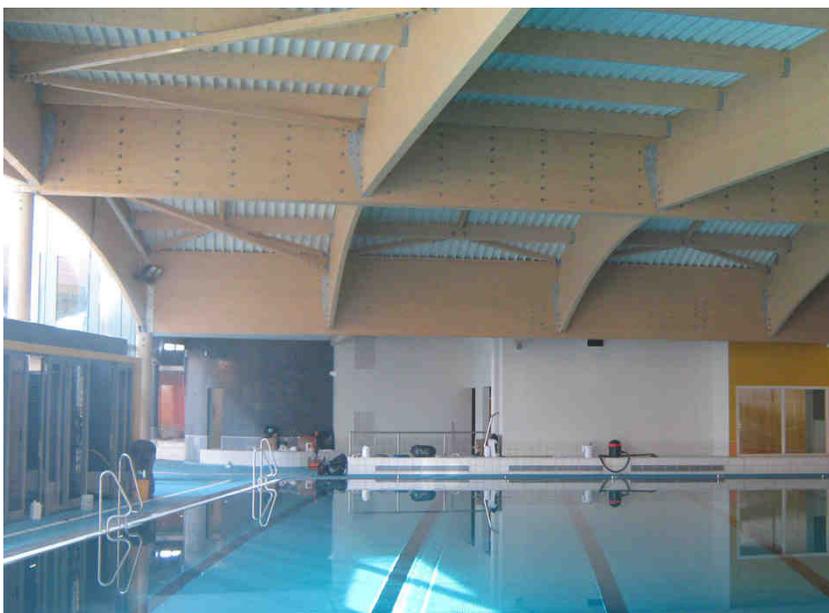
RESISTENZA CARATTERISTICA A RIFOLLAMENTO PER I VARI MEZZI DI UNIONE

UNIONI LEGNO-LEGNO E ACCIAIO-LEGNO	
CHIODI	<p>Per $d \leq 8\text{mm}$, in legno massiccio, lamellare e LVL:</p> <p>senza preforatura: $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ [N/mm²]</p> <p>con preforatura: $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$ [N/mm²]</p> <p>dove: ρ_k è la massa volumica caratteristica del legno, in kg/m³; d è il diametro del chiodo, in mm.</p>
BULLONI/ SPINOTTI	<p>Per $d \leq 30\text{mm}$, la resistenza a rifollamento del legno massiccio, lamellare e LVL, relativa ad un angolo α dello sforzo rispetto alla direzione della fibratura è:</p> $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ <p>dove:</p> <p>$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$ è la resistenza caratteristica a rifollamento per $\alpha = 0^\circ$, in N/mm²;</p> $k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{per legno di conifere massiccio e lamellare} \\ 1,30 + 0,015d & \text{per LVL} \\ 0,90 + 0,015d & \text{per legno di latifoglie massiccio e lamellare} \end{cases}$ <p>ρ_k è la massa volumica caratteristica del legno, in kg/m³; d è il diametro del bullone, in mm.</p>
VITI	<p>Nelle formule occorre fare riferimento al diametro efficace della vite, che tiene conto della filettatura ($d = d_{ef}$).</p> <p>Per viti con parte di gambo liscio e con il diametro esterno della filettatura uguale al diametro del gambo liscio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - d_{ef} = diametro gambo liscio se profondità di penetrazione gambo liscio $\geq 4d$; - altrimenti, $d_{ef} = 1,1 d_{nucleo}$ <p>Per viti con parte di gambo liscio con $d > 6\text{mm}$, si applicano le regole valide per i bulloni e spinotti</p> <p>Per viti con parte di gambo liscio aventi un diametro $d \leq 6\text{mm}$, si applicano le regole valide per i chiodi.</p>

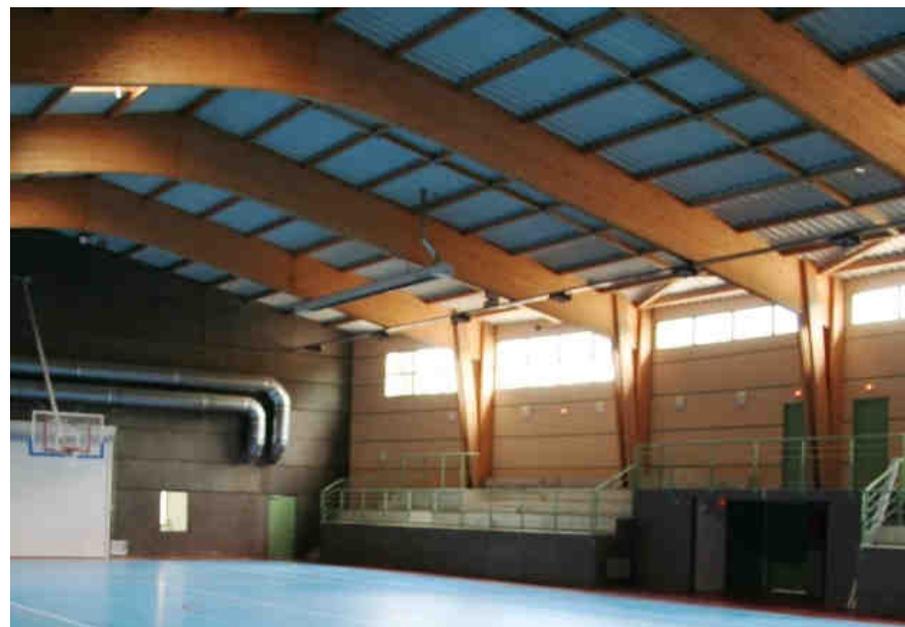
UNIONI ACCIAIO - LEGNO

MOMENTO CARATTERISTICO DI SNERVAMENTO PER I VARI MEZZI DI UNIONE

CHIODI	<p>Per chiodi a gambo liscio prodotti con filo di acciaio avente un valore caratteristico della resistenza ultima a trazione non minore di 600N/mm²:</p> $M_{y,k} = \begin{cases} 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} & \text{per chiodi a gambo cilindrico} \\ 0,45 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} & \text{per chiodi a gambo quadro scanalato} \end{cases}$	<ul style="list-style-type: none"> ■ $f_{u,k}$ è la resistenza ultima caratteristica a trazione dell'acciaio del chiodo; ■ d è il diametro del chiodo, in mm ■ $M_{y,k}$ è il valore caratteristico del momento di snervamento
BULLONI/ SPINOTTI	<p>Per $d \leq 30\text{mm}$,</p> $M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$	<ul style="list-style-type: none"> ■ $f_{u,k}$ è la resistenza ultima caratteristica a trazione dell'acciaio ■ d è il diametro del bullone, in mm ■ $M_{y,k}$ è il valore caratteristico del momento di snervamento
VITI	<p>Nelle formule occorre fare riferimento al diametro efficace della vite, che tiene conto della filettatura ($d = d_{ef}$).</p> <p>Per viti con parte di gambo liscio e con il diametro esterno della filettatura uguale al diametro del gambo liscio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - $d_{ef} =$ diametro gambo liscio se profondità di penetrazione gambo liscio $\geq 4d$; - altrimenti, $d_{ef} = 1,1 \cdot d_{nucleo}$ <p>Per viti con parte di gambo liscio con $d > 6\text{mm}$, si applicano le regole valide per i bulloni e spinotti</p> <p>Per viti con parte di gambo liscio aventi un diametro $d \leq 6\text{mm}$, si applicano le regole valide per i chiodi.</p>	



**EDIFICI SPORTIVI:
PISCINE COPERTE
PALAZZETTI**





**EDIFICI
INDUSTRIALI E
MAGAZZINI**



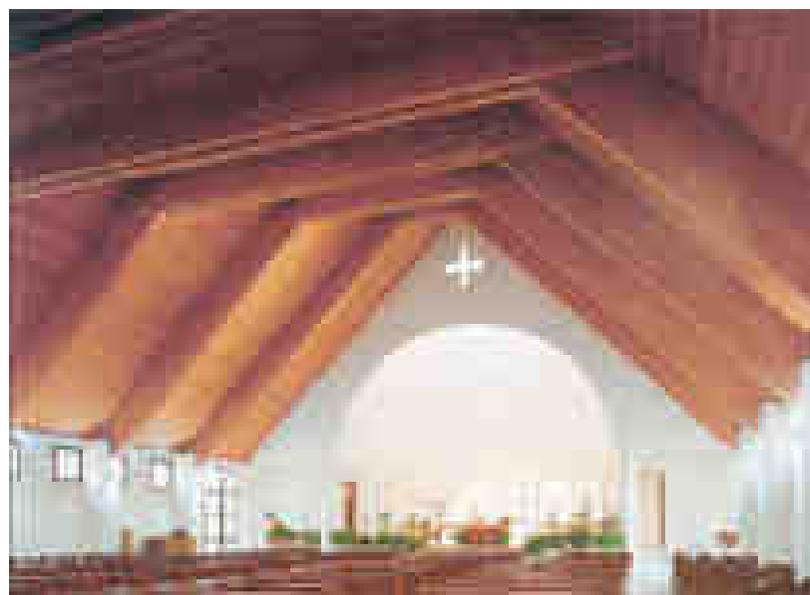
Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.



CENTRI COMMERCIALI



EDILIZIA ALBERGHIERA



EDILIZIA RELIGIOSA

Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

- Un po' di storia...
- Cenni sulla tecnologia del L.L.I.
- Le travi 'speciali': normativa e stato tensionale
- Dimensionamento di una trave a doppia rastremazione
- Dimensionamento del collegamento alle strutture di bordo
- **Dimensionamento di un collegamento in fondazione**



COLLEGAMENTO IN FONDAZIONE

deve essere tale da eliminare le risalite di umidità dal terreno e il contatto diretto fra legno e conglomerato cementizio.

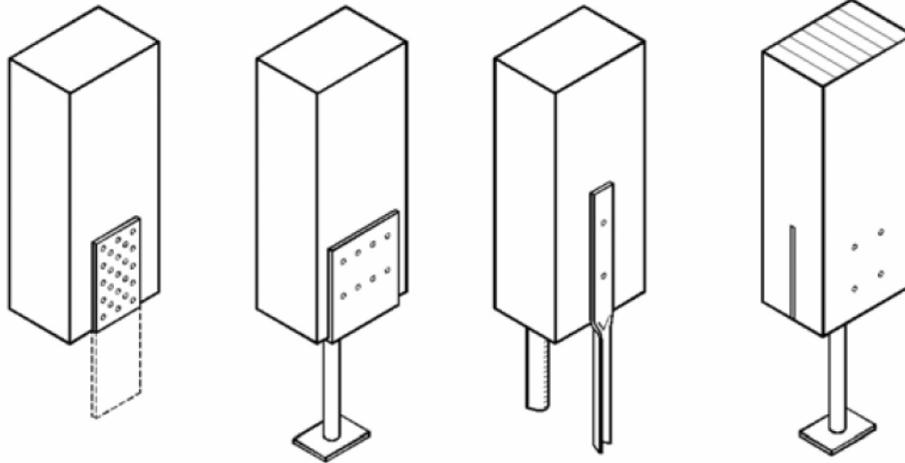
- adeguata **distanza** fra l'elemento ligneo e il piano di fondazione di circa **10/15cm**;
- occorre garantire il **drenaggio** e l'**aerazione dell'estremità** del pilastro ligneo interessato;
- **impiego di connettori metallici** di vario tipo (viti, chiodi, spinotti, bulloni) per legno-acciaio
- **Impiego di barre filettate** completate da dado di serraggio per collegamento della piastra di base alla fondazione di cemento armato
- **protezione al fuoco** (se richiesto) di tutti gli elementi metallici che garantiscono al resistenza del giunto, dunque tappi di legno, tavolette poste come elementi di sacrificio o di ripristino dei tagli delle lavorazioni del pilastro ecc...



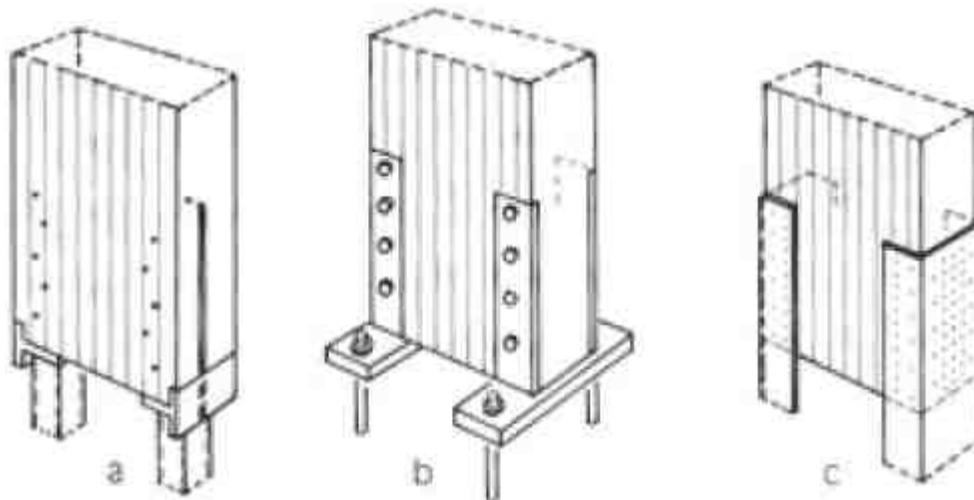
COLLEGAMENTO COLONNA IN LEGNO IN FONDAZIONE

COLLEGAMENTO FLESSIBILE

~ CERNIERA



COLLEGAMENTO SEMI RIGIDO

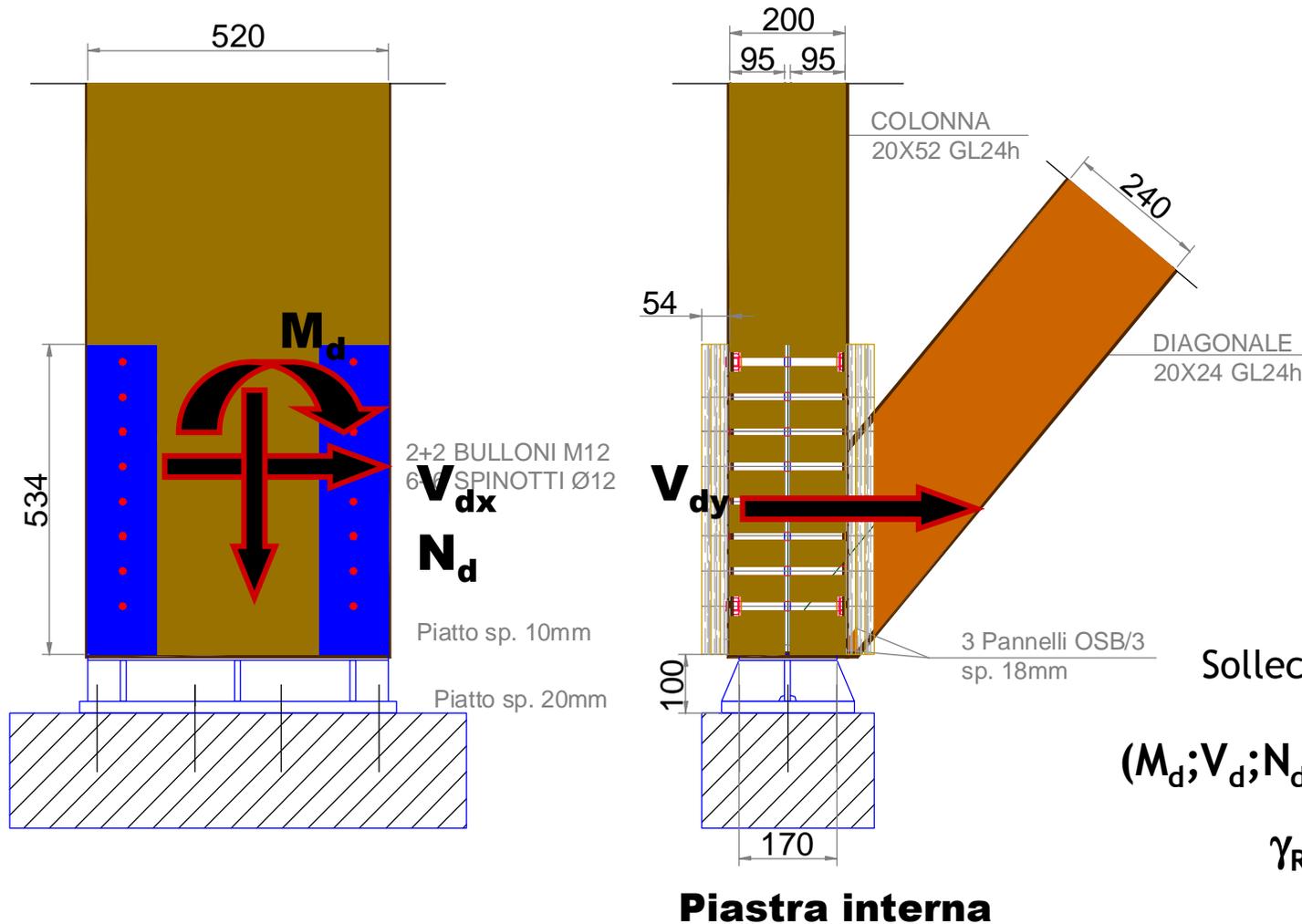


Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

ESERCITAZIONE: COLLEGAMENTO IN FONDAZIONE

COLLEGAMENTO SEMI RIGIDO

Collegamento per il trasferimento di taglio, sforzo normale e momento flettente



Sollecitazioni di calcolo

$$(M_d; V_d; N_d) = \gamma_R^* (M; V; N)_{\text{analisi}}$$

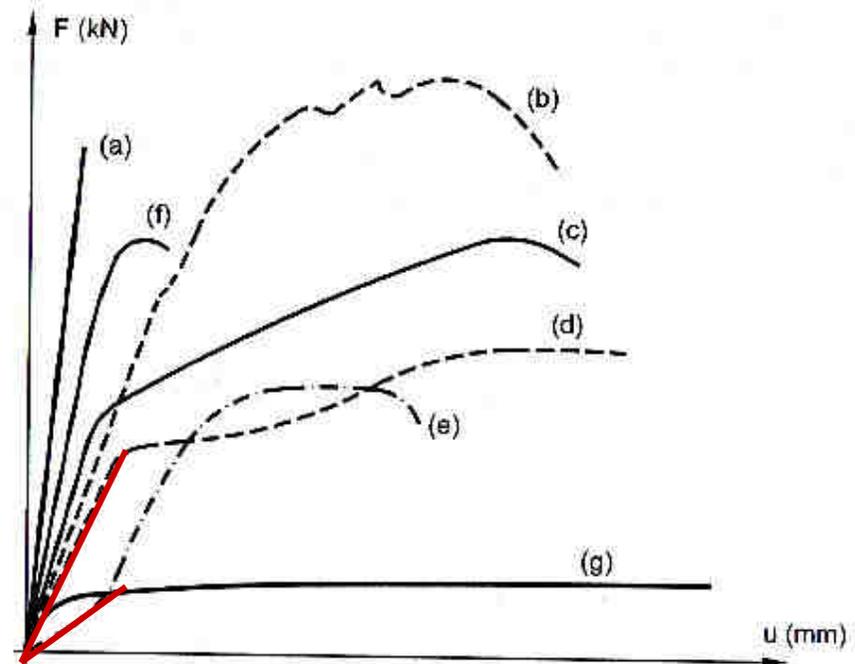
$$\gamma_R = 1,1 \text{ in CD "B"}$$

$$1,3 \text{ in CD "A"}$$

COLLEGAMENTI

- In linea generale si raccomanda di **non combinare**, nella stessa struttura, **elementi di connessione che presentino rigidità molto diversa tra loro**. Ai fini del dimensionamento sono spesso determinanti non i carichi di rottura ma le deformazioni previste in sede d'esercizio: è quindi utile prevedere elementi di collegamento con rigidità tra loro simili.

- **Si considerano solo gli spinotti nelle verifiche di resistenza**
- **Si dispongono 4 bulloni per evitare l'apertura del collegamento**



Diagrammi schematici di comportamento forza-scorrimento per differenti collegamenti:

- a) coll. Incollato
- b) Anello (d=100mm)
- c) Piastra dentata (d=62mm)
- d) Perno (d=14mm)
- e) Bullone (d=14mm)
- f) Piastra stampata (100x100mmq)
- g) Chiodo (d=4,4mm)

Blass H.J., et al.; Timber STEP 1, Centrum Hout 1995

COLLEGAMENTI

- **La loro corretta progettazione ed esecuzione è fondamentale per la statica e la durabilità delle strutture di legno**
- **In linea generale, non bisogna combinare, nella stessa struttura, elementi di connessione che presentino rigidità molto diversa tra loro.**
- **Evitare eccentricità che possono innescare tensioni secondarie da flessione e taglio;**
- **Evitare ristagni di umidità;**
- **Limitare al minimo le variazioni di umidità del legno rispetto alle condizioni di equilibrio previste in esercizio;**
- **Le connessioni possono costituire una quota rilevante dei costi della struttura finita.**

ESERCITAZIONE

DATI DI PROGETTO

LEGNO LAMELLARE GL28h

Classe di servizio 3

Classe di durata del carico istantanea (vento o sisma) → $k_{mod} = 1$

$\gamma_M = 1,5$ (connessione)

Sezione pilastro ligneo

bxh = **200 x 520mm** (13 lamelle sp. 40mm)

Spinotti

Classe 4.6, diametro **d= 12mm** ($6\text{mm} \leq d \leq 30\text{mm}$)

$f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$, $f_{y,k} = 240 \text{ MPa}$

n. **12** spinotti

Piastre in acciaio

Acciaio S355 $f_{u,k} = 510 \text{ MPa}$, $f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$

Piastre verticali sp. 10mm

Piastra di base sp. 20mm

Tirafondi M16, classe 8.8

*Resistenza al fuoco richiesta **R60***: si dispongono delle pannellature in legno di protezione

Resistenze e rigidezza di calcolo

	TRAVE ESISTENTE	
Specie legnosa	GL28h	
Classe di servizio	3	
Coefficiente parziale gm	L. M. DM08 = 1.50	
Classe di durata del carico	istantaneo	
Proprietà di resistenza	N/mm²	
Flessione	$f_{m,d}$	16.80
Trazione parallela	$f_{t,o,d}$	11.70
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,d}$	0.27
Compressione parallela	$f_{c,o,d}$	15.90
Compress. perpendicolare	$f_{c,90,d}$	1.80
Taglio	$f_{v,d}$	1.92
Proprietà di rigidezza	kN/mm²	Tr. Esist.
Modulo el. medio //	$E_{0,mean}$	12.60
Modulo el. 5°per centile //	$E_{0,05}$	10.20
Modulo el. medio Perp.	$E_{90,mean}$	0.42
Modulo tangenziale medio	G_{mean}	0.78
Massa volumica	kg/m³	
Massa volumica 5°perc.	P_k	410
Massa volumica media	P_{mean}	0

ESERCITAZIONE

VERIFICHE DA EFFETTUARE

LATO LEGNO

- geometria (spaziature e distanze dai bordi)
- resistenza della connessione
- resistenza della sezione ridotta del legno (in caso di sollecitazione di trazione)

LATO ACCIAIO

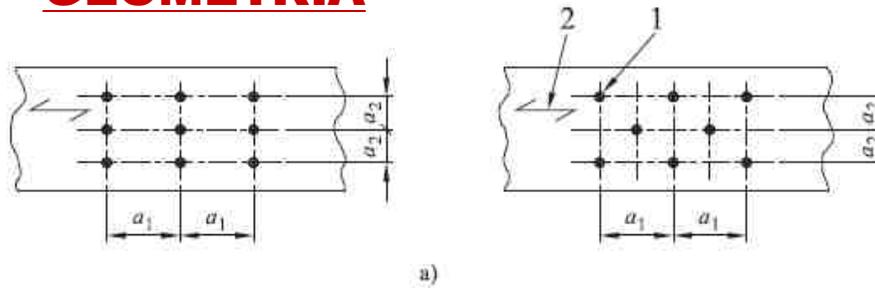
- compressione e stabilità delle piastre
- rifollamento del foro
- dimensionamento e verifica della piastra di base e dei tirafondi
- verifica delle saldature

RESISTENZA AL FUOCO

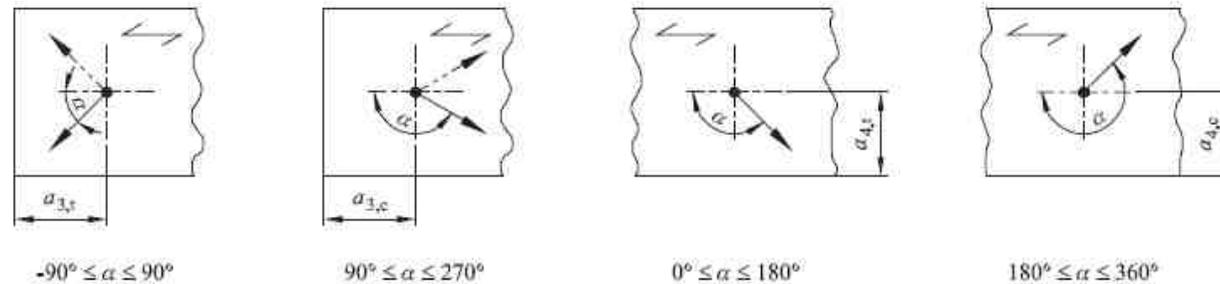
- Verifica e (ri)progettazione del collegamento **oppure**
- Progettazione della protezione del collegamento

GEOMETRIA

SPAZIATURE E DISTANZE DAI BORDI



Spinotti d=12mm



Valori minimi di spaziature e distanze da bordi ed estremità, per spinotti

Spaziature e distanze da bordi/estremità (vedere figura 8.7)	Angolo	Minima spaziatura o distanza da bordo/estremità
a_1 (parallela alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) d$ 60mm
a_2 (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$ 36mm
$a_{3,t}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max. $(7d; 80 \text{ mm})$ 84mm
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	max. $(a_{3,t} \sin \alpha ; 3d)$ $3d$ max. $(a_{3,t} \sin \alpha ; 3d)$ 84mm
$a_{4,t}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max. $([2 + 2 \sin \alpha] d; 3d)$ 48mm
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$ 36mm

RESISTENZA DELLA CONNESSIONE

AZIONE TAGLIANTE MASSIMA AGENTE SUL SINGOLO SPINOTTO

SOLLECITAZIONI DI CALCOLO

Combinazione sismica $\rightarrow k_{\text{mod}}=1; \gamma_M=1,45$

$$N_d = 36 \text{ kN}$$

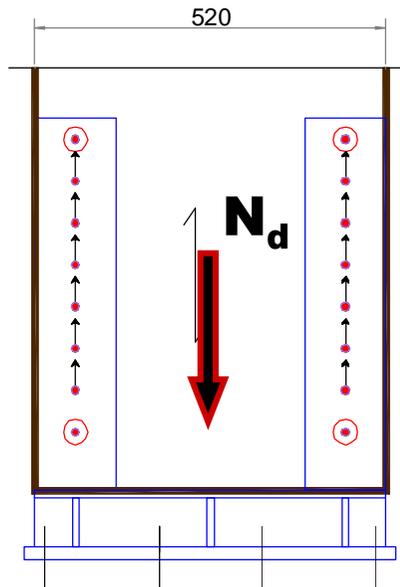
$$V_{dx} = 10 \text{ kN}$$

$$V_{dy} = 2 \text{ kN}$$

$$M_d = 22 \text{ kNm}$$

SFORZO NORMALE

Si considera che lo sforzo N sia trasferito per compressione parallela alla fibra alla base del pilastro.



Area impronta piatto sp. 10 mm: $450 \times 170 = 76.500 \text{ mm}^2$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{\text{impr}}} = \frac{36.000}{76.500} = 0,47 \text{ N/mm}^2 \ll f_{c,0,d}$$

Altrimenti, si ripartisce uniformemente tra gli spinotti.
Occorre valutare n_{ef} in dir. //:

$$V_b = \frac{N_d}{n_{ef}} = \frac{36}{2 \times 3,95} = 4,56 \text{ kN}$$

$$n_{ef} = n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = 6^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{5d}{13d}} = 3,95$$

UNIONI ACCIAIO - LEGNO

COLLEGAMENTO CON MEZZI DI UNIONE MULTIPLI |

La capacità portante di un collegamento realizzato con mezzi di unione multipli, tutti dello stesso tipo e dimensioni, può essere minore della somma delle capacità portanti del singolo mezzo di unione. Per una linea di mezzi di unione disposti parallelamente alla direzione della fibratura (fila), la capacità portante caratteristica efficace nella direzione della fila $F_{ef,Rk}$ deve essere assunta pari a:

$$F_{ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{Rk}$$

dove:

- n_{ef} è il numero efficace di mezzi di unione appartenenti alla fila. I valori di n_{ef} sono forniti in funzione del tipo di mezzo d'unione;
- F_{Rk} è la capacità portante caratteristica di ciascun mezzo di unione, parallelamente alla fibratura.

BULLONI/ SPINOTTI

- Il numero efficace di bulloni di una fila, n_{ef} , deve essere assunto pari a:

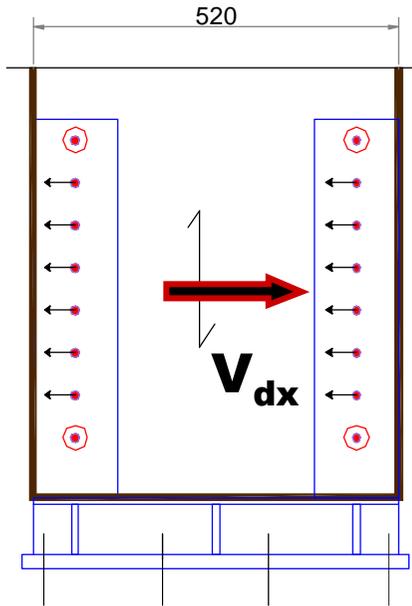
$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot 4 \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

dove:

n è il numero di bulloni nella fila,
 a_1 è la spaziatura fra bulloni in direzione della fibratura;
 d è il diametro del bullone;

- Per carichi ortogonali alla fibratura, il numero efficace di mezzi di unione deve di norma essere assunto pari al numero effettivo ($n = n_{ef}$).
- Per angoli $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ fra direzione del carico e direzione della fibratura, n_{ef} può essere determinato tramite interpolazione lineare tra n e l'espressione di n_{ef} .

RESISTENZA DELLA CONNESSIONE



TAGLIO

Si ripartisce uniformemente tra gli spinotti

$$H_b = \frac{V_{dx}}{n} = \frac{10}{12} = 0,83kN$$

MOMENTO FLETTENTE

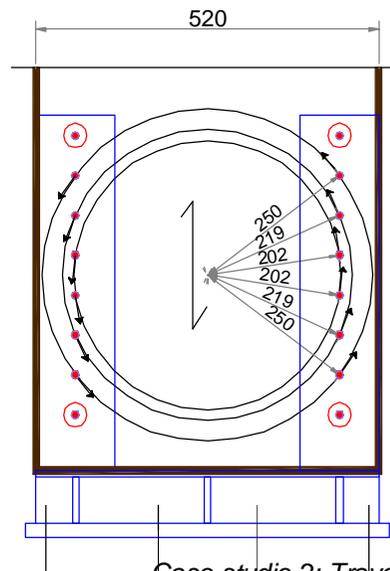
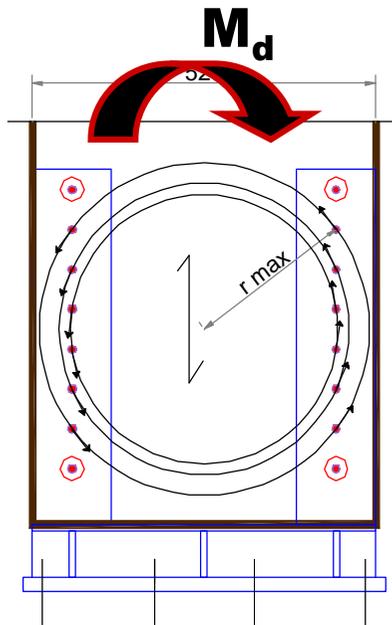
Si ripartisce tra gli spinotti in funzione della loro distanza dal centro del giunto (spinotti tutti uguali)

$$F_i = M_d \cdot \frac{r_i}{\sum_j r_j^2}$$

Inclinate di un angolo α_i rispetto alla fibra.

$$V_{M,b,i} = F_i \cdot \cos(\alpha_i)$$

$$H_{M,b,i} = F_i \cdot \sin(\alpha_i)$$



Caso studio 2: Trave a doppia rastremazione in L.L.

RESISTENZA DELLA CONNESSIONE

RISULTANTE

$$S_{\max} = \sqrt{V^2 + H^2}$$

$$V = V_b + V_{M,b}$$

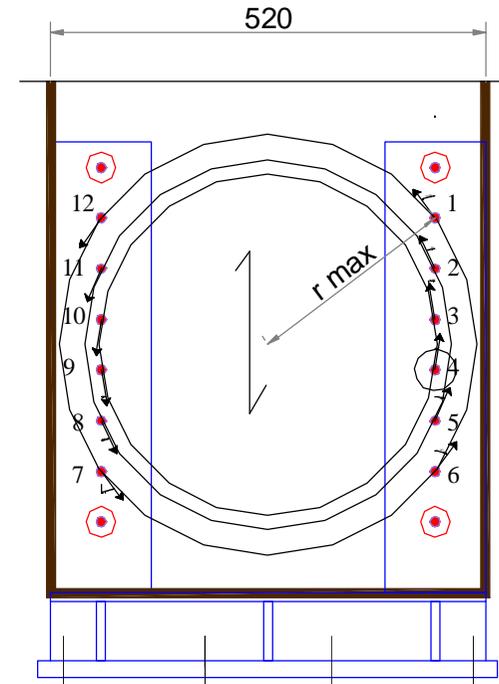
$$H = H_b + H_{M,b}$$

Angolo rispetto alla fibratura:

$$\alpha_{S_{\max}} = \arctan (H/V)$$

Verifica:

$$S_{\max} \leq R_d \quad (\text{unione acciaio-legno con piastra centrale})$$



	momento flettente						sforzo normale			taglio					
	ri (mm)	alfai	ri2	Fi (kN)	Vi	Hi	VN	HT	V	H	S	alfaS	Rd	verifica	
Spinotto 1	250	217.56	62500	9.1	-7.2	-5.5	0	-0.83	-7.2	-6.4	9.6	41.5	228.5	9.7	0.99 ok
Spinotto 2	219	205.01	47961	8.0	-7.2	-3.4	0	-0.83	-7.2	-4.2	8.3	30.2	239.8	10.1	0.83 ok
Spinotto 3	202	189.38	40804	7.3	-7.2	-1.2	0	-0.83	-7.2	-2.0	7.5	15.6	254.4	10.5	0.72 ok
Spinotto 4	202	172.32	40804	7.3	-7.3	1.0	0	-0.83	-7.3	0.2	7.3	-1.2	88.8	10.6	0.69 ok
Spinotto 5	219	156.56	47961	8.0	-7.3	3.2	0	-0.83	-7.3	2.3	7.7	-17.7	72.3	10.3	0.74 ok
Spinotto 6	250	143.82	62500	9.1	-7.3	5.4	0	-0.83	-7.3	4.5	8.6	-31.7	58.3	9.9	0.87 ok
Spinotto 7	250	37.56	62500	9.1	7.2	5.5	0	-0.83	7.2	4.7	8.6	33.2	33.2	9.8	0.88 ok
Spinotto 8	219	25.01	47961	8.0	7.2	3.4	0	-0.83	7.2	2.5	7.6	19.4	19.4	10.3	0.74 ok
Spinotto 9	202	9.38	40804	7.3	7.2	1.2	0	-0.83	7.2	0.4	7.3	2.9	2.9	10.6	0.68 ok
Spinotto 10	202	-7.68	40804	7.3	7.3	-1.0	0	-0.83	7.3	-1.8	7.5	-14.0	-14.0	10.5	0.71 ok
Spinotto 11	219	-23.44	47961	8.0	7.3	-3.2	0	-0.83	7.3	-4.0	8.3	-28.7	-28.7	10.2	0.82 ok
Spinotto 12	250	-36.18	62500	9.1	7.3	-5.4	0	-0.83	7.3	-6.2	9.6	-40.2	-40.2	9.7	0.99 ok

605060

112

RESISTENZA DELLA CONNESSIONE

RESISTENZA DI CALCOLO DEL SINGOLO SPINOTTO

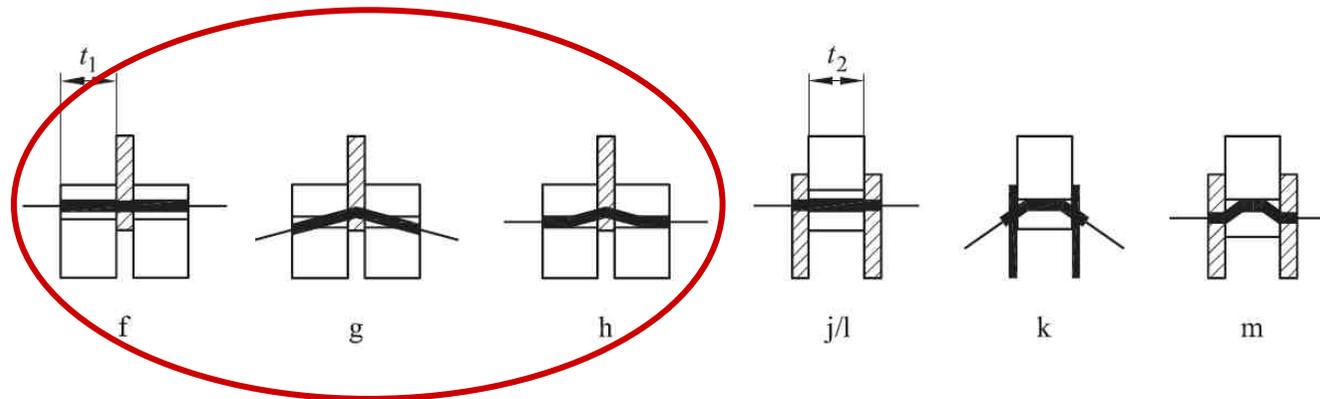
UNIONE ACCIAIO - LEGNO

- Per una piastra di acciaio di qualsiasi spessore interposta come elemento centrale di una connessione a doppio taglio:

$$F_{v,Rk} = \min. \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (h) \end{array} \right.$$

}

**x 2
sezioni
di taglio**



RESISTENZA DELLA CONNESSIONE

RESISTENZA DI CALCOLO DEL SINGOLO SPINOTTO

RESISTENZA CARATTERISTICA A RIFOLLAMENTO PER I VARI MEZZI DI UNIONE

BULLONI/ SPINOTTI	<p>Per $d \leq 30\text{mm}$, la resistenza a rifollamento del legno massiccio, lamellare e LVL, relativa ad un angolo α dello sforzo rispetto alla direzione della fibratura è:</p> $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$ <div style="text-align: right; border: 1px solid red; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">$\alpha = \alpha_R$</div> <p>dove:</p> $f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$ <p style="text-align: right;">ρ_k è la resistenza caratteristica a rifollamento per $\alpha = 0^\circ$, in N/mm^2;</p> $k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{per legno di conifere massiccio e lamellare} \\ 1,30 + 0,015d & \text{per LVL} \\ 0,90 + 0,015d & \text{per legno di latifoglie massiccio e lamellare} \end{cases}$ <p>ρ_k è la massa volumica caratteristica del legno, in kg/m^3; d è il diametro del bullone, in mm.</p>
------------------------------	---

MOMENTO CARATTERISTICO DI SNERVAMENTO PER I VARI MEZZI DI UNIONE

BULLONI/ SPINOTTI	<p>Per $d \leq 30\text{mm}$,</p> $M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$ <ul style="list-style-type: none"> ■ $f_{u,k}$ è la resistenza ultima caratteristica a trazione dell'acciaio ■ d è il diametro del bullone, in mm ■ M_{yk} è il valore caratteristico del momento di snervamento
------------------------------	--

RESISTENZA DELLA CONNESSIONE

RESISTENZA DI CALCOLO DEL SINGOLO SPINOTTO

elemento	massa volumica caratteristica ρ, k [kg/m ³]	spessore t [mm]	K,mod	piastra sottile o spessa
legno	410	95	0.90	interpolazione
acciaio		10		
d [mm] =	12			
$\gamma, m, l =$	1.5			
$\gamma, m, s =$	1.5			
f,w,k [N/mm ²] =	400	4.6		

$\alpha = 0^\circ$

<i>doppio legno - piastra centrale</i>			
8.9.f	20 236.6		
8.9.g	9 059.7	Rd [N] =	8 644.1
8.9.h	7 203.4		

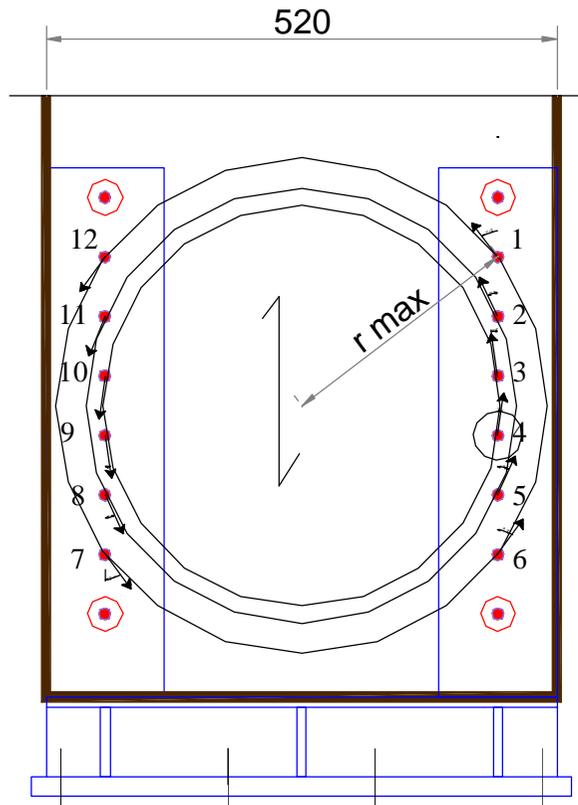
$\alpha = 90^\circ$

<i>doppio legno - piastra centrale</i>			
8.9.f	13 226.5		
8.9.g	6 152.0	Rd [N] =	6 988.3
8.9.h	5 823.6		

-20%



DETERMINAZIONE DELLA RIGIDEZZA A ROTAZIONE DELLA CONNESSIONE



$$M = K_r \cdot \Delta\phi$$

Rigidezza rotazionale del giunto

$$K_r = k_{ser} \cdot \sum n_i \cdot r_i^2 \quad (\text{Nmm})$$

k_{ser} : modulo di scorrimento del singolo spinotto per singola sezione di taglio

$$k_{ser,SLE} = 2 \cdot \rho_k^{1,5} \cdot \frac{d}{20}$$

Unione acciaio-legno: k_{ser} viene raddoppiato

$$k_{ser,SLU} = \frac{2}{3} k_{ser,SLE}$$

Spinotti $d=12\text{mm}$, $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$ (GL28h), 2 sezioni di taglio

$$k_{ser,SLE} \approx 19.924 \text{ N/mm}$$

$$k_{ser,SLU} \approx 13.283 \text{ N/mm}$$

$$K_{r,SLE} \approx 53 \text{ kNm}$$

$$K_{r,SLU} \approx 36 \text{ kNm}$$

RESISTENZA AL FUOCO DEL COLLEGAMENTO

Requisito richiesto R 60

Si dispongono dei pannelli di legno o di cartongesso a protezione del collegamento.

ELEMENTO LIGNEO

Spessore minimo dell'elemento ligneo e distanza minima da bordi e estremità devono essere garantiti al tempo richiesto di resistenza al fuoco, considerando la riduzione della sezione per carbonizzazione e **potendo scontare il tempo già garantito dal collegamento (R20)**

Resistenze al fuoco di unioni non protette con elementi laterali di legno

	Tempo di resistenza al fuoco $t_{d,fi}$ min	Condizioni ^{a)}
Chiodi	15	$d \geq 2,8$ mm
Viti	15	$d \geq 3,5$ mm
Bulloni	15	$t_1 \geq 45$ mm
Spinotti	20	$t_1 \geq 45$ mm
Connettori secondo la EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm

a) d è il diametro del mezzo di unione e t_1 è lo spessore dell'elemento laterale.

Sezione pilastro ligneo iniziale

$b \times h = 200 \times 520$ mm

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0$$

$$= \beta_0 \cdot t + 7 = 0,7 \times 40 + 7 = 35 \text{ mm}$$

Sezione pilastro ligneo finale dopo $t=40'$

$b \times h = 130 \times 450$ mm

$$b_{ef} = 200 - 2 \times 35 = 130 \text{ mm}$$

$$h_{ef} = 520 - 2 \times 35 = 450 \text{ mm} \quad 117$$

VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO - COLLEGAMENTI

→ COLLEGAMENTI

Spessore minimo dell'elemento ligneo e distanza minima da bordi ed estremità devono essere garantiti anche al tempo richiesto di resistenza al fuoco, considerando la riduzione di sezione dovuta alla carbonizzazione e potendosi scontare il tempo già garantito nella medesima

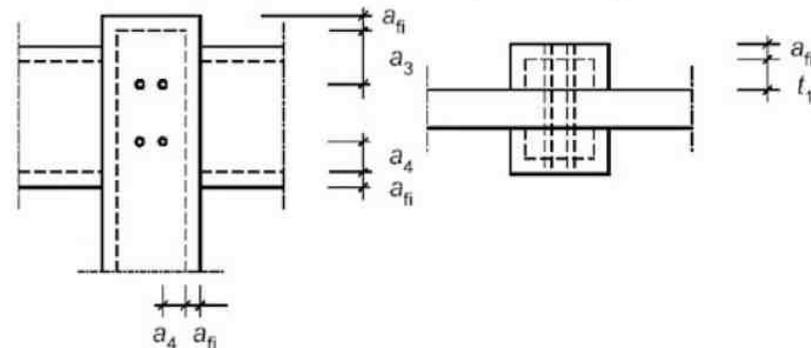
Per $R > 15$ (20) i collegamenti devono essere progettati per la resistenza richiesta oppure deve essere progettata la protezione da applicare agli stessi

VERIFICA DEL COLLEGAMENTO

- A.** Per $t_{req} \leq 30$ min e per collegamenti con spinotti, chiodi o viti con teste non sporgenti, è sufficiente aumentare gli spessori degli elementi lignei, la loro larghezza e la distanza dai bordi dei connettori della quantità a_{fi}

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$$

$$k_{flux} = 1,5$$



- B.** Calcolo del tempo di resistenza del collegamento in funzione di una capacità di resistenza ridotta.

G. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO - COLLEGAMENTI

→ COLLEGAMENTI

PROTEZIONE DEL COLLEGAMENTO

Applicazione di pannelli di legno o a base di legno o di cartongesso, i cui spessori vengono opportunamente dimensionati

Si calcola il ritardo t_{ch} nell'inizio della carbonizzazione del legno che deve offrire il pannello di protezione

$$t_{ch} \geq t_{req} - 0,5 \cdot t_{d,fi}$$

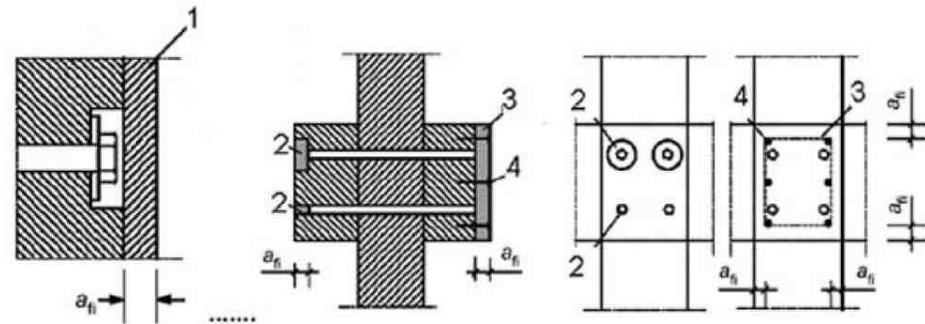
Pannelli di legno, a base di legno o cartongesso tipo A o H (EN 520)

$$t_{ch} \geq t_{req} - 1,2 \cdot t_{d,fi}$$

Pannelli di cartongesso tipo F (EN 520)

Gli elementi di protezione devono conservarsi fino all'inizio della carbonizzazione del legno (t_{ch})

→ gli elementi di protezione e le loro modalità di vincolo alla struttura devono rispettare alcuni requisiti minimi (spessori, fissaggi, ecc.)



Esempi di protezioni delle teste dei bulloni (1), con tappi di legno incollati (2), con pannelli (3) fissati con differenti dispositivi (4)

COLLEGAMENTI: RESISTENZA AL FUOCO

Protezione al fuoco dei collegamenti: *differenti soluzioni*

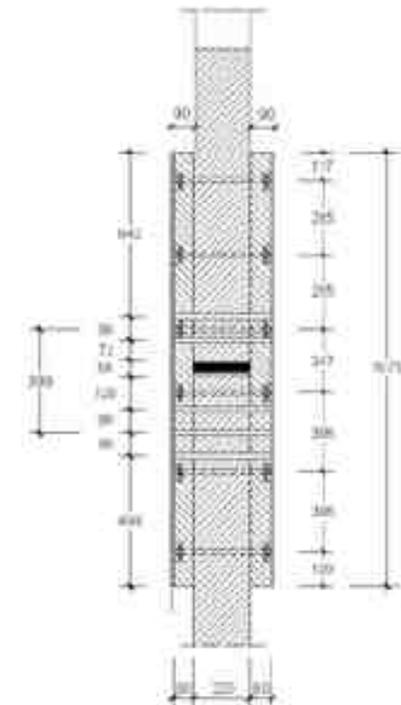
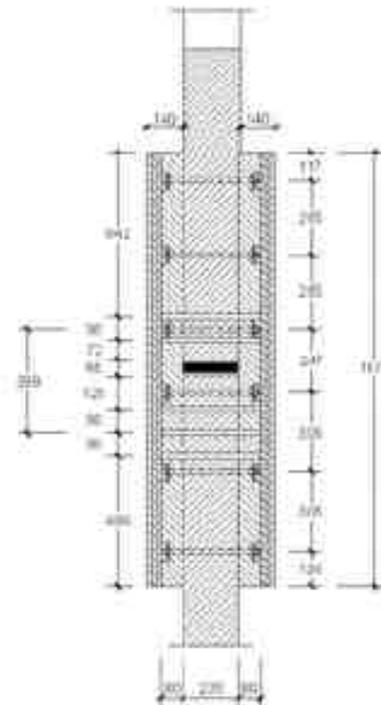
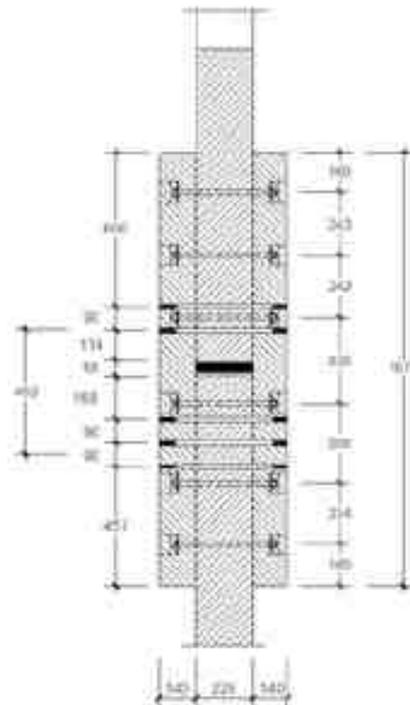
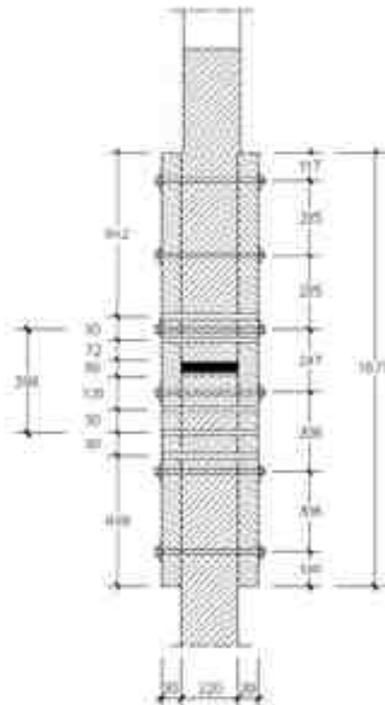
ELEMENTO NON PROTETTO

ELEMENTI PROTETTI R60

"COPRIFERRO"

PANNELLI DI LEGNO

LASTRE DI SILICATI



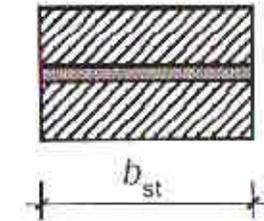
G. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO - COLLEGAMENTI

→ COLLEGAMENTI

PROTEZIONE DEL COLLEGAMENTO

- Nel caso di collegamenti con **piastre metalliche interne** di spessore $\geq 2\text{mm}$, con bordi non sporgenti dal legno e non protetti, la larghezza minima delle piastre deve essere:

		b_{\min} (mm)
Bordi non protetti	R 30	200
	R 60	280
Bordi non protetti (1 o 2 lati)	R 30	120
	R 60	280



- I bordi delle piastre possono essere considerati protetti, quindi non rispettare le dimensioni minime se:



Piastre sp. < 3mm: $d_g \geq 20\text{mm} \rightarrow \text{R30}$

$d_g \geq 60\text{mm} \rightarrow \text{R60}$



Listelli incollati o pannelli: $d_g (h_p) \geq 10\text{mm} \rightarrow \text{R30}$

$d_g (h_p) \geq 30\text{mm} \rightarrow \text{R60}$

G. VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO - COLLEGAMENTI

→ COLLEGAMENTI

PROTEZIONE DEL COLLEGAMENTO

- Nel caso di collegamenti con **piastre metalliche esterne**, il loro calcolo deve essere effettuato in base all'Eurocodice 3 (EN 1993-1-2), considerando non esposta la superficie a contatto con il legno.

In genere $R < 20'$ - $30'$ \Rightarrow conviene disporre pannelli di legno o a base di legno di protezione

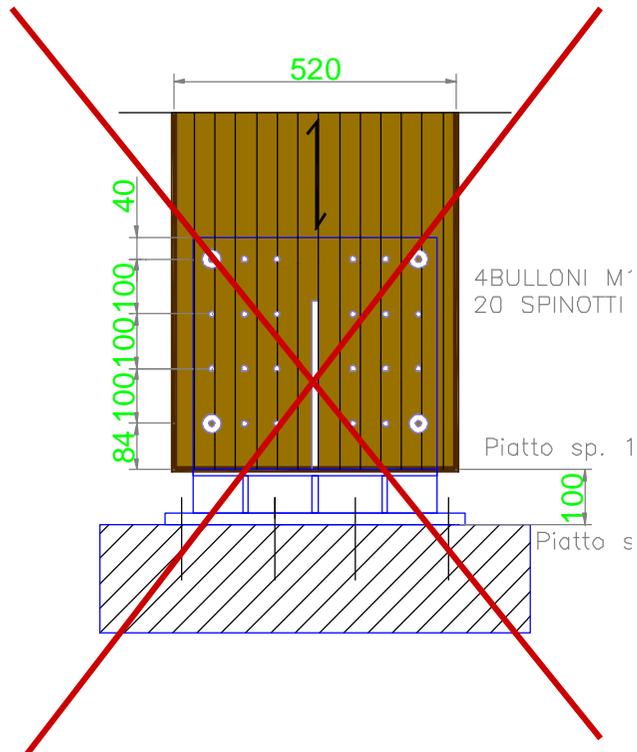
Spessore minimo dei pannelli di protezione delle piastre esterne pari a a_{fi}

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - 5)$$

Resistenza della piastra metallica
pari a 5'

$$k_{flux} = 1,5$$

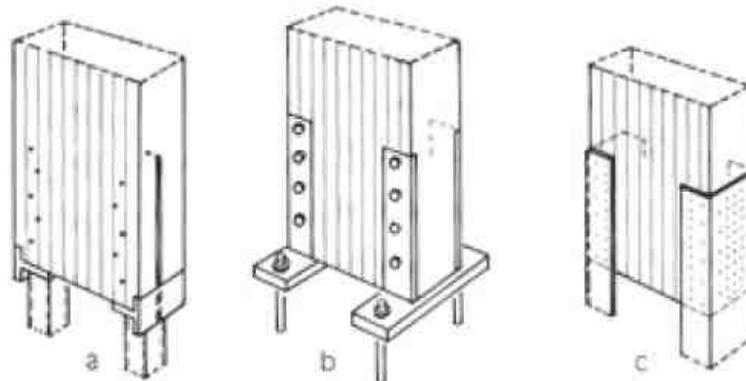
STATI DI COAZIONE NEL LEGNO



ATTENZIONE !

Le tensioni di trazione ortogonale alle fibre che si determinano nella fase di ritiro del legno possono comportare l'insorgere di fessurazioni, la cui entità è funzione della **variazione di umidità** e della **tipologia e geometria del collegamento**

- **Evitare l'uso di grandi piastre**
- **Usare elementi di connessione meno rigidi e posti a distanza ravvicinata**





...GRAZIE PER L'ATTENZIONE...