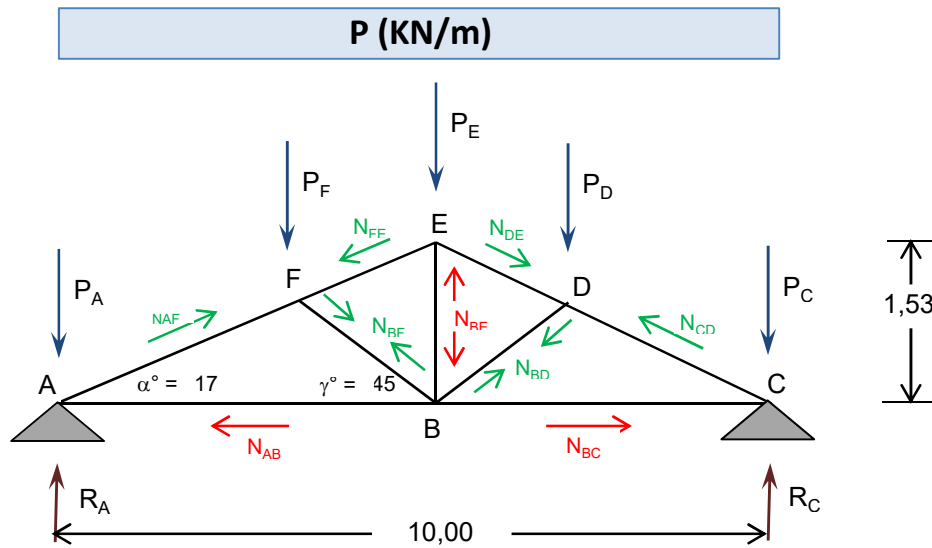


# CALCOLO AGLI S.L.U. DI CAPRIATA IN LEGNO TIPO PALLADIO

(ai sensi del D.M. 17/01/2018)

Editare descrizione: es. Il solaio di copertura sarà portato da capriate in legno del tipo alla Palladio con estremi appoggiati, il cui schema statico si riporta di seguito:



- Aste AB e BC = tiranti (catena ABC)
- Aste CD, DE, AF e FE = puntoni CE e AE
- Aste BD e BF = puntoni (saettoni)
- Asta BE = Tirante (monaco)

### Caratteristiche geometriche della capriata

Luce netta capriata	l =	10,00 m
Interasse capriate	i =	3,00 m
Inclinazione falda	$\alpha =$	17 °
Inclinazione saettoni	$\gamma =$	45 °

Classe di durata del carico: Lunga durata 6 mesi-10 anni (carichi perm. o var. di magaz.)  
 Classe di servizio 1 UR < 65%  $K_{mod} = 0,7$

Fattore di confidenza 1 Nuovo intervento o esistente LC3

### Tirante A - B - C (catena)

Altezza sezione tirante A-B-C	H =	250 mm
Larghezza sezione tirante A-B-C	B =	200 mm
Lunghezza tratto AB	$L_{AB} =$	5,00 m
Lunghezza tratto BC	$L_{BC} =$	5,00 m
Area della sezione resistente dell'elemento in legno	$A_v =$	50000 mm <sup>2</sup>

### Puntoni AE e CE

Altezza sezione puntoni AE e CE	H =	250 mm
Larghezza sezione puntoni AE e CE	B =	200 mm
Lunghezza tratto AF	$L_{AF} =$	4,00 m

Lunghezza tratto FE	$L_{FE} =$	1,22 m
Lunghezza tratto CD	$L_{CD} =$	4,00 m
Lunghezza tratto DE	$L_{DE} =$	1,22 m
Area della sezione resistente dell'elemento in legno	$A_v =$	50000 mm <sup>2</sup>
Momento d'inerzia della sezione del puntone in legno	$J_{min} =$	166666667 mm <sup>4</sup>
Raggio d'inerzia minimo della sezione del puntone in legno	$i_{min}$	57,74 mm
Modulo di resistenza dell'elemento in legno	$W_{pl} =$	2083333,33 mm <sup>3</sup>

### **Puntoni BF e BD (saettoni)**

Altezza sezione puntoni BF e BD	$H =$	200 mm
Larghezza sezione puntoni BF e BD	$B =$	140 mm
Lunghezza tratto BF	$L_{BF} =$	1,66 m
Lunghezza tratto BD	$L_{BD} =$	1,66 m
Area della sezione resistente dell'elemento in legno	$A_v =$	28000 mm <sup>2</sup>
Momento d'inerzia della sezione del puntone in legno	$J_{min} =$	45733333 mm <sup>4</sup>
Raggio d'inerzia minimo della sezione del puntone in legno	$i_{min}$	40,41 mm

### **Tirante BE (monaco)**

Altezza sezione tirante BE	$H =$	200 mm
Larghezza sezione tirante BE	$B =$	140 mm
Lunghezza tratto BE	$L_{BE} =$	1,53 m
Area della sezione resistente dell'elemento in legno	$A_v =$	28000 mm <sup>2</sup>

### **Dormiente in legno agli appoggi della capriata**

Larghezza <i>(inserire 0 se non è previsto dormiente)</i>	$LA_d =$	250 mm
Spessore <i>(inserire 0 se non è previsto dormiente)</i>	$S_d =$	100 mm

### **Caratteristiche comuni elementi in legno**

Peso unità di volume del legno	$=$	6,00 KN/m <sup>3</sup>
Coefficiente parziale per le proprietà del materiale (Tab. 4.4.III)	$\gamma_M =$	Colonna A
Res. a compressione par. fibra legno tipo <input type="text" value="Lamellare GL22h"/>	$f_{c,0,d} =$	10,62 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k} =$	22,00 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,d} =$	8,50 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,d} =$	1,21 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,0,5} =$	8800 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico longitudinale medio	$E_{0,m} =$	10500 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico tangenziale medio	$G_{0,m} =$	650 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di calcolo a flessione	$f_{m,d} =$	10,62 N/mm <sup>2</sup>
Tensione di calcolo a taglio	$f_{v,d} =$	1,69 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di imperfezione dell'elemento in legno	$\beta_c =$	0,10

### **Carico superficiale verticale trasmesso dalla copertura**

Carico trasmesso dal solaio di copertura (a trave rettangolare)	$Q_1 =$	4,80 KN/m <sup>2</sup>
Altri carichi (e/o solaio di copertura diverso dalla tipologia in legno)	$Q_2 =$	0,00 KN/m <sup>2</sup>
Totale carico amplificato	$Q =$	4,80 KN/m <sup>2</sup>

### Carico distribuito verticale agente sulla singola capriata

Carico trasmesso dalla copertura	$P_1 =$	14,39 KN/m
Peso proprio della capriata amplificato di 1,3	$P_2 =$	0,90 KN/m
Totale	$P =$	15,30 KN/m

### Carichi verticali concentrati ai nodi in KN

$P_A$	$P_F$	$P_E$	$P_D$	$P_C$
30,63	39,99	18,73	39,99	30,63

I carichi verticali concentrati ai nodi sono stati ricavati come sommatoria degli sforzi di taglio determinati dal carico verticale distribuito P alle estremità di ciascuna asta considerata incernierata.

### Reazioni vincolari agli appoggi in KN

$R_A$	$R_C$
79,98	79,98

Le reazioni vincolari sono state ricavate applicando la regola dell'equilibrio alla traslazione verticale.

### Sollecitazioni normali agenti sulle aste in KN

$N_{AB}$	$N_{BC}$	$N_{AF}$	$N_{CD}$	$N_{BE}$
161,43	161,43	-168,81	-168,81	98,71

$N_{FE}$	$N_{DE}$	$N_{BF}$	$N_{BD}$
-136,78	-136,78	-69,80	-69,80

I valori con il segno meno indicano le aste sollecitate a compressione assiale (puntoni), mentre i valori con il segno positivo indicano le aste sollecitate a trazione (tiranti). Il calcolo delle sollecitazioni assiali su ciascuna asta della capriata è stato effettuato con il metodo di Ritter e con il metodo dell'equilibrio dei nodi.

### Verifica a trazione parallela alla fibratura dell'asta BE (monaco)

La tensione assiale determinata da  $N_{BE}$  è data da:

$$\sigma_{\text{asta BE}} = N_{BE} / A_v = 3,53 \text{ N/mm}^2 < f_{t,0,d}$$

VERIFICATO

### Verifica a trazione parallela alla fibratura delle aste AB e BC (tiranti)

La tensione assiale determinata da  $N_{AB}$  o  $N_{BC}$  è data da:

$$\sigma_{\text{asta AB}} = N_{AB} / A_v = 3,23 \text{ N/mm}^2 < f_{t,0,d}$$

VERIFICATO

### Verifica a compressione parallela alla fibratura delle aste AF e CD (puntoni)

La tensione assiale determinata da  $N_{AF}$  o  $N_{CD}$  è data da:

$$\sigma_{asta AF} = N_{AF} / A_v = 3,38 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d}$$

VERIFICATO

### Verifica a compressione parallela alla fibratura delle aste FE e DE (puntoni)

La tensione assiale determinata da  $N_{FE}$  o  $N_{DE}$  è data da:

$$\sigma_{asta FE} = N_{FE} / A_v = 2,74 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d}$$

VERIFICATO

### Verifica a compressione parallela alla fibratura delle aste BF e BD (saettoni)

La tensione assiale determinata da  $N_{BF}$  o  $N_{BD}$  è data da:

$$\sigma_{asta BF} = N_{BF} / A_v = 2,49 \text{ N/mm}^2 < f_{c,0,d}$$

VERIFICATO

### Verifica instabilità elementi compressi (puntoni)

La lunghezza libera di inflessione  $l_0$  delle aste, essendo incernierate agli estremi, è uguale alla Lunghezza effettiva delle stesse.

Deve risultare:  $k_{crit,c} \geq \sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d}$

Asta	$\lambda$	$\lambda_{rel,c}$	k	$k_{crit,c}$	$\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d}$	Esito
AF	69,36	1,10	1,15	0,68	0,318	VERIFICATO
CD	69,36	1,10	1,15	0,68	0,318	VERIFICATO
FE	21,20	0,34	0,56	1,00	0,258	VERIFICATO
DE	21,20	0,34	0,56	1,00	0,258	VERIFICATO
BF	28,68	0,46	0,61	0,98	0,235	VERIFICATO
BD	28,68	0,46	0,61	0,98	0,235	VERIFICATO

### Sollecitazioni di flessione e taglio sui puntoni inclinati AF, FE, CD, DE dovuti al carico distribuito verticale P e relativa verifica a flessione, pressoflessione e taglio

I puntoni inclinati sono sollecitati inoltre da un momento flettente massimo in mezzzeria e da uno sforzo di taglio agli estremi dati rispettivamente dalle seguenti espressioni:

$$M_t = P \times L^c / 8$$

$$V_t = P \times L / 2$$

Mentre la tensione normale massima determinata da  $M_t$  e la tensione tangenziale massima determinata da  $V_t$  sono date rispettivamente dalle seguenti espressioni:

$$\sigma_{m,y,d} = M_t / W_{pl}$$

$$\tau_d = 1,5 V_t / (B \times H)$$

### Verifica a flessione

La verifica a flessione è soddisfatta se risultano verificate entrambe le disuguaglianze:

$$A = \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} \leq 1$$

$$B = k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} \leq 1$$

Asta	$M_t$	$\sigma_{m,y,d}$	$k_m$	A	Esito A	B	Esito B
AF	30,66	14,72	0,7	1,39	non ver.	0,97	ver.
FE	2,87	1,38	0,7	0,13	ver.	0,09	ver.
CD	30,66	14,72	0,7	1,39	non ver.	0,97	ver.
DE	2,87	1,38	0,7	0,13	ver.	0,09	ver.

### Verifica a pressoflessione

La verifica a pressoflessione è soddisfatta se risultano verificate entrambe le disuguaglianze:

$$A = (\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,d} \leq 1$$

$$B = (\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,d} \leq 1$$

Asta	Mt	$\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$k_m$	A	Esito A	B	Esito B
AF	30,66	14,72	3,38	0,7	1,49	non ver.	1,07	non ver.
FE	2,87	1,38	2,74	0,7	0,20	ver.	0,16	ver.
CD	30,66	14,72	3,38	0,7	1,49	non ver.	1,07	non ver.
DE	2,87	1,38	2,74	0,7	0,20	ver.	0,16	ver.

### Verifica a taglio

La verifica a taglio è soddisfatta se risulta la seguente disuguaglianza:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Asta	Vt (KN)	$\tau_d$ (N/mm <sup>2</sup> )	Esito
AF	30,63	0,92	VERIFICATO
FE	9,36	0,28	VERIFICATO
CD	30,63	0,92	VERIFICATO
DE	9,36	0,28	VERIFICATO

### Dimensionamento del dormiente

In caso di sistema di appoggio della capriata alle strutture portanti realizzato tramite dormiente in legno di forma parallelepipedica, la lunghezza minima (fissata la larghezza  $LA_d$  e lo spessore  $S_d$ ) è data dall'espressione:

$$LU_d = 2 R_A / (LA_d \times f_{c,90,d}) = 530,17 \text{ mm}$$

Pertanto agli appoggi della capriata sarà inserito un parallelepipedo in legno (dormiente) delle dimensioni:      cm.            25            x            54            x            10 .

**RELAZIONE DI CALCOLO**

La capriata tipo Palladio o all'italiana è una particolare tipologia di travatura reticolare piana costituita da un sistema di puntoni (aste soggette a compressione assiale) e tiranti (aste soggette a trazione assiale), geometricamente simmetrici rispetto ad un asse verticale mediano, in cui le aste si considerano incernierate ai nodi e gli estremi della capriata appoggiati alla struttura.

Il software effettua il calcolo della capriata in legno, lamellare o massiccio, soggetta a carichi esterni lineari uniformemente distribuiti, dai quali vengono desunti i carichi concentrati verticali ai nodi agenti sulla stessa capriata e le reazioni vincolari agli appoggi. Agli appoggi vi è la possibilità di inserire anche un dormiente in legno di forma parallelepipedica, qualora si optasse per tale scelta costruttiva.

Il calcolo viene effettuato con il metodo degli stati limite ultimi ai sensi del D.M. 17/01/2018 (N.T.C. 2018) e tiene conto della classe di durata del carico (breve durata, istantaneo, lunga durata, media durata e permanente), della classe di servizio (variazioni di umidità ed influenza sulle caratteristiche di resistenza e deformabilità del legno) e del relativo coefficiente correttivo dei carichi  $K_{mod}$  (funzione della durata del carico e dell'umidità della struttura). Il coefficiente parziale di sicurezza del materiale  $\gamma_M$  dipende dal tipo di materiale e dalla combinazione di carico considerata. Per la combinazione di carico fondamentale il coefficiente  $\gamma_M$  assume i valori riportati in tabella 4.4.III, colonne A e B, delle N.T.C. 2018 per il legno lamellare e per il legno massiccio.

E' possibile effettuare anche la verifica di capriate esistenti tenendo conto del livello di conoscenza che riduce opportunamente i valori delle resistenze e dei moduli elastici.

I carichi verticali concentrati ai nodi vengono ricavati come sommatoria degli sforzi di taglio agli estremi di ciascuna asta considerata incernierata, determinati dal carico verticale distribuito esterno agente sulla capriata.

Le caratteristiche del legno lamellare sono desunte dalle norme UNI EN 14080, mentre quelle del legno massiccio dalle norme UNI EN 14081-1.

Lo sforzo di taglio agente all'estremità della singola asta della capriata è dato dall'espressione:

$$T = P \cdot L/2$$

dove P è il carico distribuito verticale esterno e L è la lunghezza dell'asta.

Le reazioni vincolari agli appoggi della capriata vengono ricavati applicando la regola dell'equilibrio alla traslazione verticale al nodo.

Gli sforzi normali di compressione e trazione agenti sulle singole aste della capriata vengono determinati con il metodo di Ritter e con il metodo dell'equilibrio dei nodi.

La verifica degli elementi della capriata viene effettuata agli stati limite ultimi, con resistenze dei materiali desunti dal par. 4.4.6 delle NTC 2018, secondo l'espressione:

$$X_d = (K_{mod} \cdot X_k) / \gamma_M$$

dove:  $X_d$  è la resistenza di progetto del materiale;  $X_k$  è la resistenza caratteristica del materiale;  $K_{mod}$  è il coefficiente correttivo dei carichi e  $\gamma_M$  è il coefficiente parziale di sicurezza.

Le verifiche eseguite sono:

- Verifica a trazione parallela alla fibratura della catena e del monaco;
- Verifica a compressione parallela alla fibratura dei puntoni inclinati e dei saettoni;
- Verifica a instabilità degli elementi compressi (puntoni);
- Verifica a flessione, pressoflessione e taglio dei puntoni inclinati;
- Verifica del dormiente agli appoggi della capriata (se previsto).

Per la verifica a trazione parallela alla fibratura degli elementi tesi deve essere soddisfatta la condizione:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

dove:  $\sigma_{t,0,d}$  è la tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura, desunta dall'espressione:

$$\sigma_{t,0,d} = N / A_v$$

dove: N è lo sforzo normale di trazione agente sull'asta e  $A_v$  è l'area netta della sezione dell'asta e  $f_{t,0,d}$  è la resistenza di calcolo a trazione parallela alla fibratura del materiale, desunta da:

$$f_{t,0,d} = (K_{mod} \cdot f_{t,0,k}) / \gamma_M$$

dove:  $f_{t,0,k}$  è la resistenza caratteristica a trazione parallela alla fibratura del materiale.

Per la verifica a compressione parallela alla fibratura degli elementi compressi deve essere

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

dove:  $\sigma_{c,0,d}$  è la tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura, desunta dall'espressione:

$$\sigma_{c,0,d} = N / A_v$$

dove: N è lo sforzo normale di compr. agente sull'asta e  $A_v$  è l'area netta della sezione dell'asta.

e  $f_{c,0,d}$  è la resistenza di calcolo a compressione parallela alla fibratura del materiale, desunta da:

$$f_{c,0,d} = (K_{mod} \cdot f_{c,0,k}) / \gamma_M$$

dove:  $f_{c,0,k}$  è la resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura del materiale.

Per la verifica a instabilità degli elementi compressi (punti), essendo le aste incernierate agli estremi la lunghezza libera di inflessione  $L_0$  è uguale alla lunghezza dell'asta L, pertanto:

$$\lambda = L / i_{min}$$

dove:  $\lambda$  è la snellezza dell'asta, L la lunghezza dell'asta e  $i_{min}$  il raggio d'inerzia minimo della sez. calcolato con l'espressione seguente:

$$i_{min} = (J_{min} / A_v)^{0,5}$$

dove:  $A_v$  è l'area della sezione e  $J_{min}$  è il momento d'inerzia minimo della sezione, ricavato dalla seguente espressione:

$$J_{min} = H \cdot B^3 / 12$$

dove: B e H sono la larghezza e l'altezza della sezione dell'asta.

Affinché l'asta compressa sia verificata a instabilità deve risultare:

$$K_{crit,c} \geq \sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d}$$

dove  $\sigma_{c,0,d}$  è la tensione di calcolo per sforzo normale dell'asta e  $f_{c,0,d}$  è la resistenza di calcolo a compressione del legno.

$$K_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}]$$

dove:

$$K = [(1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2) / 2]$$

dove;  $\beta_c$  (coefficiente di imperfezione dell'elemento in legno) è pari a 0,1 per il legno lamellare e 0,2 per il legno massiccio.

con

$$\lambda_{rel,c} = (\lambda / \pi) \cdot (f_{c,0,k} / E_{0,0,5})^{0,5}$$

dove:  $f_{c,0,k}$  è la resistenza caratteristica a compressione del materiale e  $E_{0,0,5}$  è il modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre e  $K_{crit,c}$  è dato dall'espressione:

$$K_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}]$$

Per effetto del carico esterno verticale portato dalla capriata i puntoni inclinati sono sottoposti anche a flessione, pressoflessione e taglio, le cui espressioni degli sforzi sono, rispettivamente:

$$M_t = P \cdot L^2 / 8$$

$$V_t = P \cdot L / 2$$

dove P è il carico esterno distribuito lineare e L la lunghezza dell'asta.

La tensione normale massima determinata da  $M_t$  e quella tangenziale massima determinata da  $V_t$  sono:

$$\sigma_{m,y,d} = M_t / W_{pl}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot V_t / (B \cdot H)$$

dove:  $W_{pl}$  è il modulo di resistenza dell'elemento in legno ed è dato dall'espressione:

$$W_{pl} = B \cdot H^2 / 6$$

dove: B e H sono la larghezza e l'altezza della sezione dell'asta.

Le aste saranno verificate a flessione se risultano soddisfatte entrambe le seguenti disuguaglianze, in assenza di flessione nel piano xy:

$$\sigma_{m,y,d} / f_{y,d} \leq 1$$

$$k_m \sigma_{m,y,d} / f_{y,d} \leq 1$$

dove  $\sigma_{m,y,d}$  è la tensione di calcolo massima per flessione nel piano xz e  $f_{y,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo a flessione.  $K_m$  è un coefficiente che tiene conto convenzionalmente della ridistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale e vale 0,7 per sezioni trasversali rettangolari e 1,0 per altre sezioni.

Le aste saranno verificate a pressoflessione se risultano soddisfatte entrambe le seguenti in assenza di flessione nel piano xy:

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} \leq 1$$

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d} / f_{m,d} \leq 1$$

dove  $\sigma_{m,y,d}$  è la tensione di calcolo massima per flessione nel piano xz e  $f_{m,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo a flessione.  $K_m$  è un coefficiente che tiene conto convenzionalmente della ridistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale e vale 0,7 per sezioni trasversali rettangolari e 1,0 per altre sezioni.

$\sigma_{c,0,d}$  è la tensione di calcolo massima per compressione e  $f_{c,0,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo a compressione.

Le aste saranno verificate a taglio se risulta soddisfatta la seguente disuguaglianza:



$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

Nelle espressioni sopra riportate  $f_{m,d}$  e  $f_{v,d}$  sono ricavate dalle seguenti espressioni:

$$f_{m,d} = (K_{mod} \cdot f_{m,k}) / \gamma_M$$

$$f_{v,d} = (K_{mod} \cdot f_{v,k}) / \gamma_M$$

dove:  $f_{m,k}$  è la resistenza caratteristica a flessione del materiale e  $f_{v,k}$  la resistenza caratteristica a taglio del materiale,  $K_{mod}$  è il coefficiente correttivo dei carichi e  $\gamma_M$  è il coefficiente parziale di sicurezza.

Per la verifica del dormiente in legno agli appoggi della capriata, fissati la larghezza dello stesso e lo spessore, il calcolo consente di ricavarne la lunghezza con la seguente espressione:

$$LU_d = 2 \cdot Ra / (LA_d \cdot f_{c,90,d})$$

dove:  $Ra$  è la reazione vincolare all'appoggio della capriata,  $LA_d$  è la larghezza scelta per il dormiente e  $f_{c,90,d}$  è la resistenza caratteristica a compressione del materiale.