



**Software  
Tecnico  
Scientifico**

# Impiego e verifica di pannelli X-LAM

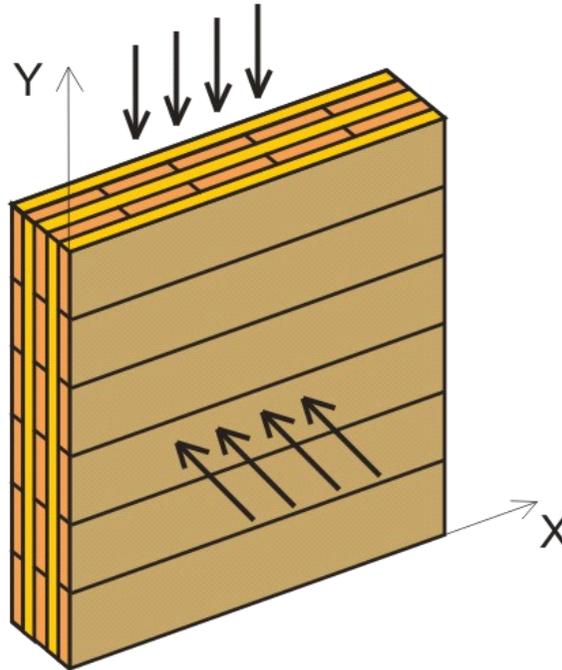


***Horae*** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)*

# IL MATERIALE X-LAM

Nel programma **CDSWin** il materiale X-LAM pu ò essere utilizzato solo come elemento parete verticale. Quindi, dal punto di vista strutturale, il suo comportamento è prevalentemente a lastra, a cui si aggiunge l'effetto di piastra quando la stessa è sollecitata a flessione dall'azione di forze ortodionali alla parete (ad esempio il vento).



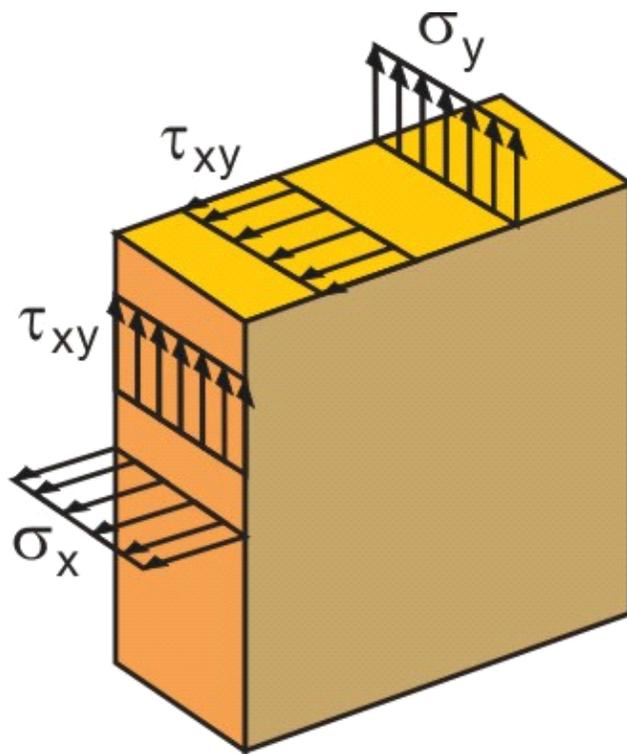
L'asse X della parete è orizzontale ed è orientato dal nodo iniziale a quello finale; l'asse Y è verticale verso l'alto.

**Horae** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

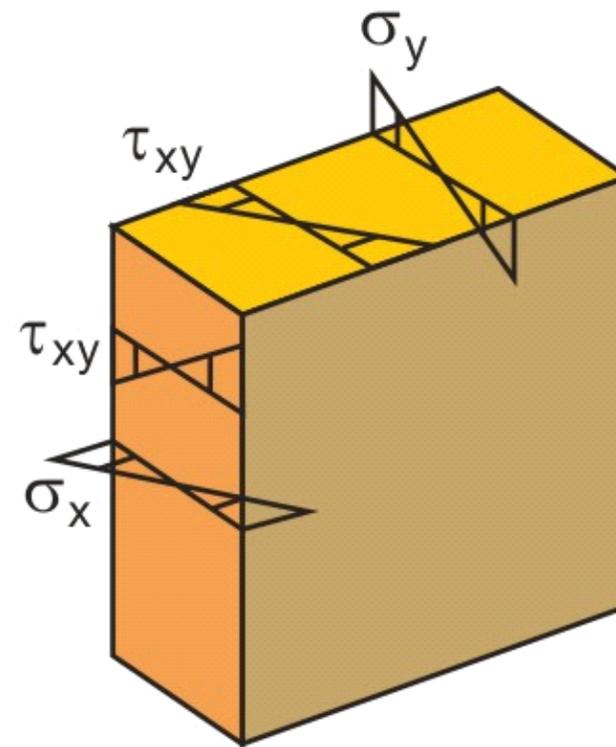
Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# ***STATO TENSIONALE DEL PANNELLO X-LAM***

Il calcolo dello stato tensionale viene effettuato con la teoria degli elementi finiti; quindi, ad analisi ultimata, si perverrà ad uno stato tensionale del tipo di quello rappresentato in figura:



Comportamento a Lastra



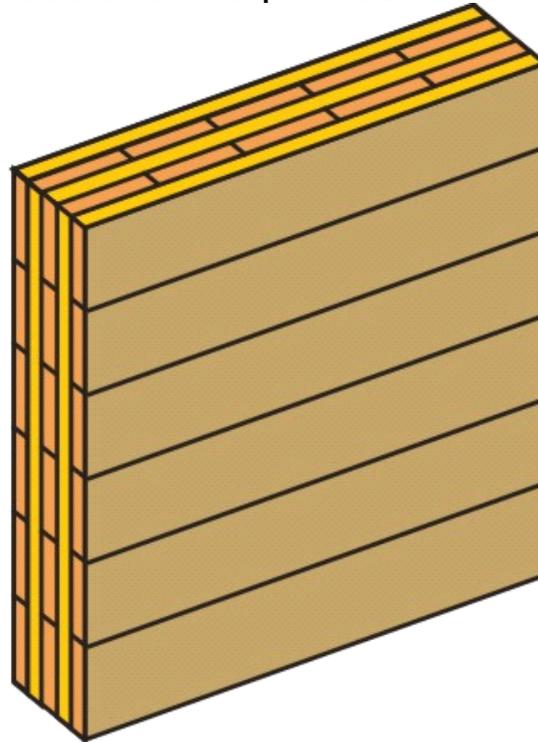
Comportamento a Piastra

***Horae*** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/en/contacts/horae/horae)

## ***COMPORTAMENTO DEL PANNELLO X-LAM***

La particolarità del materiale X-LAM, essendo ottenuto dall'incollaggio di tavole di legno in due direzioni ortogonali, è quella di non avere un comportamento isotropo, ma pressoché ortotropo (sia per il materiale adottato che per costruzione geometrica della sezione).



Essendo il Modulo Elastico perpendicolare alle fibre molto più basso di quello parallelo, non si commette un grossolano errore a trascurare la rigidità delle tavole ortogonali e considerare solo quelle orientate nella stessa direzione dell'asse in esame.

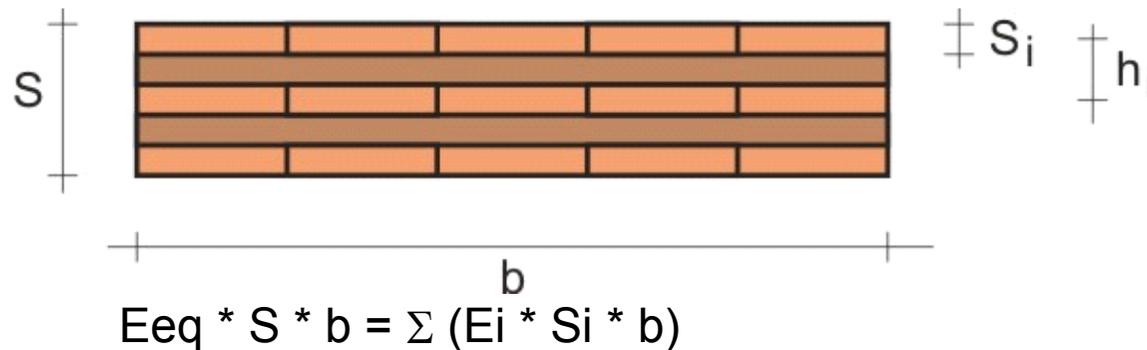
***Horae*** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: horaesr12345*

# ***DETERMINAZIONE DELLA MATRICE DEL LEGAME TENSIONI DEFORMAZIONI***

## ***Comportamento a lastra***

Affinché si possa utilizzare il modello delle lastre ortotrope di spessore  $S$  (pari alla somma di tutti gli strati) si deve determinare, nella direzione in esame, un Modulo Elastico equivalente ( $E_{eq}$ ), tale che la rigidezza assiale ( $E \cdot A$ ) fra la sezione reale e quella di spessore  $S$  sia la stessa.



estendendo la sommatoria solo agli strati paralleli all'asse

$$E_{eq} \cdot S \cdot b = E \cdot (\sum S_i) \cdot b$$

$$\mathbf{E_{eq} = E \cdot (\sum S_i) / S}$$

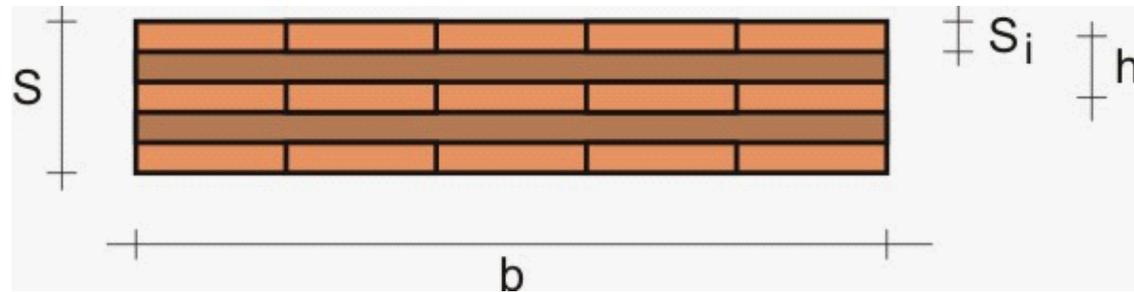
***Horae*** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# ***DETERMINAZIONE DELLA MATRICE DEL LEGAME TENSIONI DEFORMAZIONI***

## ***Comportamento a piastra***

Discorso analogo vale per il comportamento a piastra, ma in questo caso si devono eguagliare le rigidezze flessionali ( $E \cdot J$ ):



$$E_{eq} \cdot S^3 \cdot b / 12 = \sum (E_i \cdot S_i^3 \cdot b / 12) + \sum (E_i \cdot S_i \cdot b \cdot h_i^2)$$

estendendo la sommatoria solo agli strati paralleli all'asse e dividendo per  $b / 12$

$$E_{eq} \cdot S^3 = E \cdot (\sum S_i^3) + E \cdot 12 \cdot \sum (S_i \cdot h_i^2)$$

$$\mathbf{E_{eq} = E \cdot (\sum S_i^3 + 12 \cdot \sum (S_i \cdot h_i^2)) / S^3}$$

***Horae*** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# ***DETERMINAZIONE DELLA MATRICE DEL LEGAME TENSIONI DEFORMAZIONI***

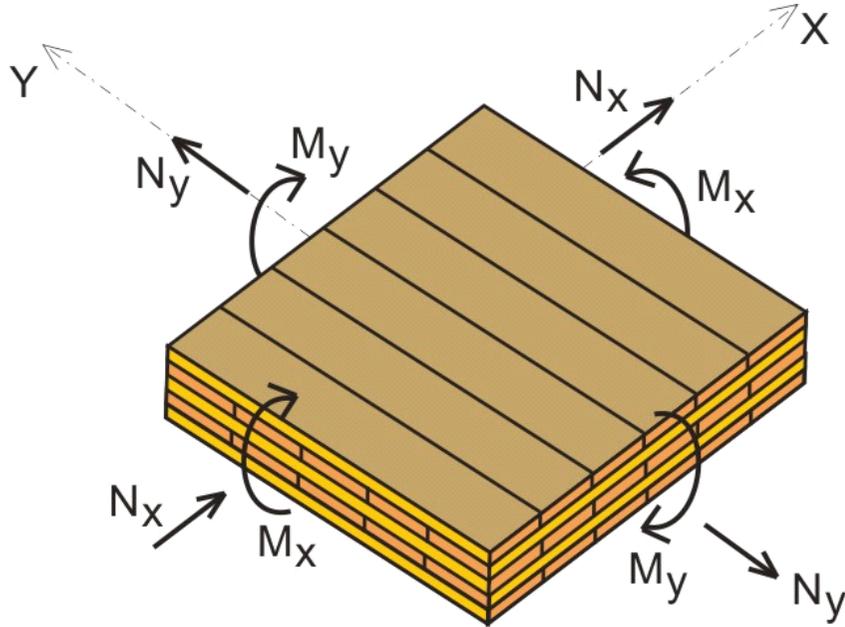
## ***Comportamento a lastra-piastra***

Come si può notare le formule di equivalenza delle rigidezze portano a dei valori di  $E_{eq}$  differenti fra il comportamento a lastra e quello a piastra che dovrà opportunamente essere tenuto in conto nelle fasi di analisi non potendosi utilizzare i modelli tradizionali degli elementi ortotropi.

***Horae*** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

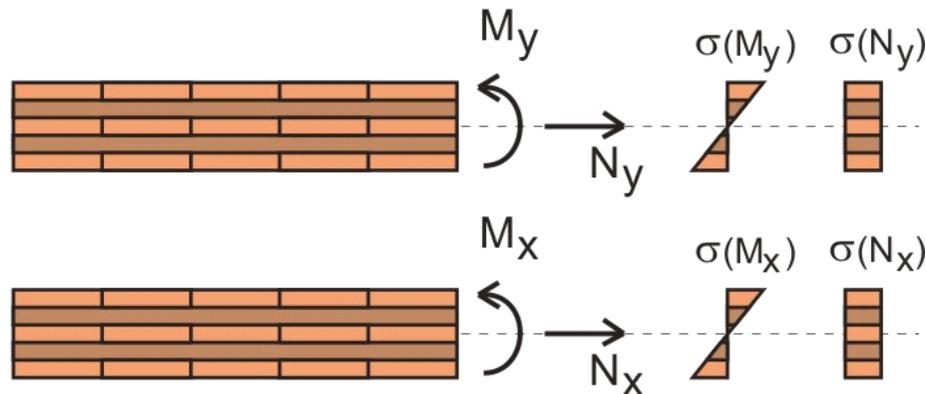
*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: horaesr12345*

# VERIFICHE A FLESSIONE COMPOSTA



Dall'analisi si determina lo stato tensionale dell'elemento bidimensionale considerato di spessore  $S$  ed ortotropo. Da questo stato tensionale per integrazione sullo spessore è possibile calcolare i momenti e gli sforzi normali per unità di lunghezza.

Dalle sollecitazioni, tenendo opportunamente in conto che le sezioni non sono continue ma a strisce, si possono ricavare le tensioni massime derivanti sia da momento che da sforzo normale:



**Horae** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# ***VERIFICHE A FLESSIONE COMPOSTA***

E quindi le verifiche assumono, per la direzione x, la forma seguente:

$$\sigma_{mx,max}/f_{m,d,XLAM} + \sigma_{cx,max}/f_{c,d,XLAM} \leq 1 \quad \text{o} \quad \sigma_{mx,max}/f_{m,d,XLAM} + \sigma_{tx,max}/f_{t,d,XLAM} \leq 1$$

a secondo se la tensione da sforzo normale sia di compressione o di trazione. Analogamente per la direzione y.

$$\sigma_{my,max}/f_{m,d,XLAM} + \sigma_{cy,max}/f_{c,d,XLAM} \leq 1 \quad \text{o} \quad \sigma_{my,max}/f_{m,d,XLAM} + \sigma_{ty,max}/f_{t,d,XLAM} \leq 1$$

dove:

$f_{c,d,XLAM}$  è il valore di calcolo della resistenza a compressione delle lamelle

$f_{t,d,XLAM}$  è il valore di calcolo della resistenza a trazione delle lamelle

$f_{m,d,XLAM}$  è il valore di calcolo della resistenza a flessione delle lamelle

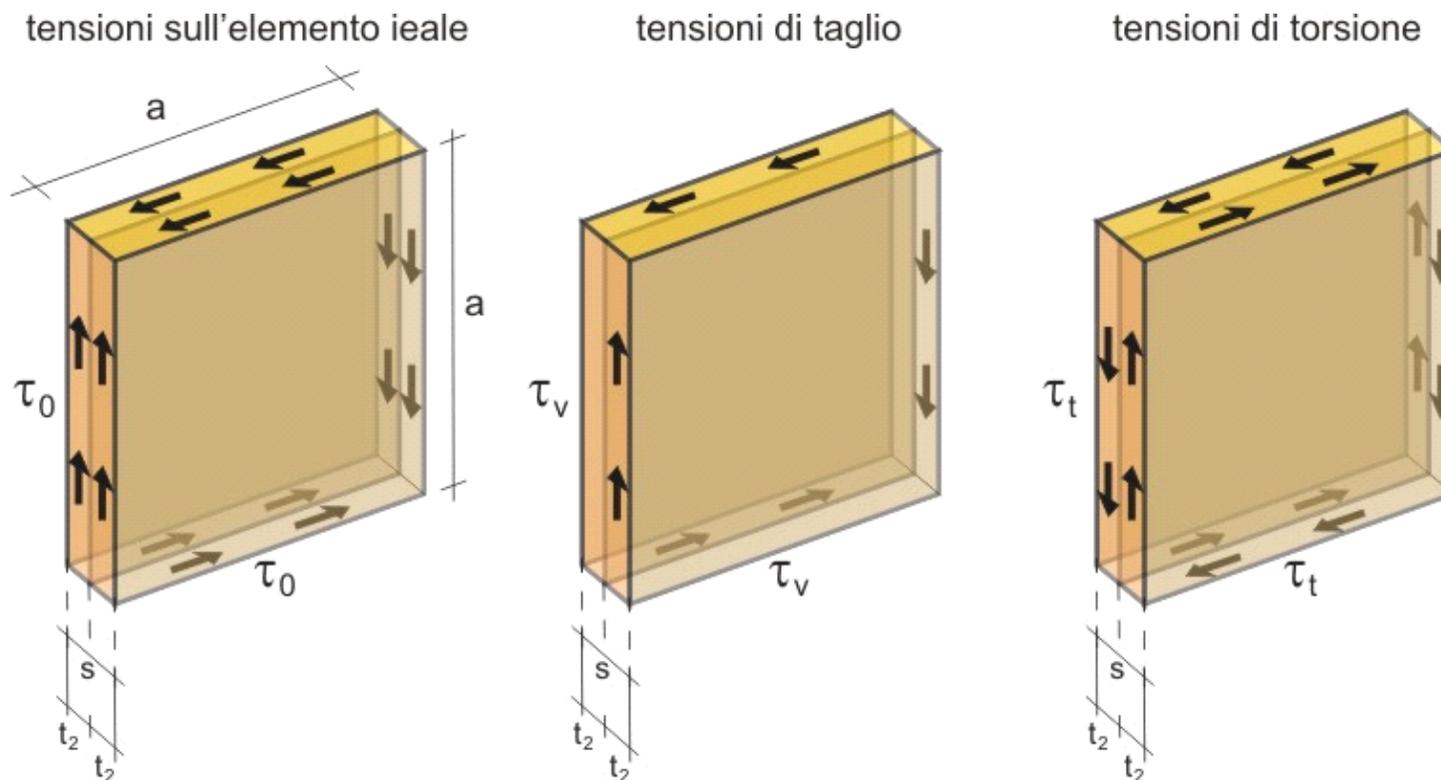
$$f_d = (f_k / \gamma) * K_{mod}$$

***Horae*** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)*

# ***IMPOSTAZIONE SEMPLIFICATA DELLE VERIFICHE A TAGLIO CON DUE PANNELLI***

Il trasferimento delle sollecitazioni a taglio fra i pannelli pu ò avvenire solo tramite l'attivazione di un momento torcente agente sulla superficie di contatto fra le due tavole ortogonali.



***Horae*** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/partners/horaesr12345)

# ***IMPOSTAZIONE SEMPLIFICATA DELLE VERIFICHE A TAGLIO CON DUE PANNELLI***

Detto  $V_{xy}$  la sollecitazione tagliante agente su una porzione di lunghezza  $a$ , la tensione di taglio sull'elemento ideale vale:

$$\tau_0 = \frac{V_{xy}}{s \cdot a}$$

mentre nel caso di elemento reale vale:

$$\tau_v = \frac{V_{xy}}{t \cdot a} = \frac{n_{xy}}{t}$$

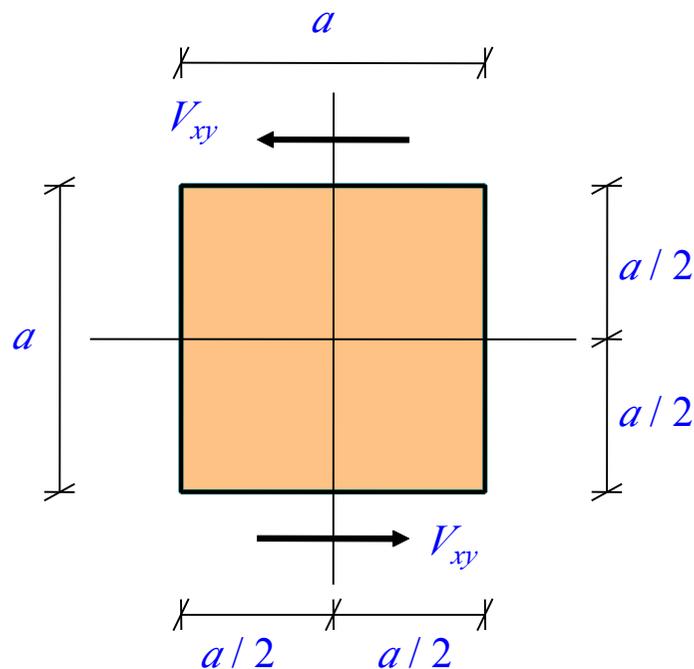
Essendo  $n_{xy}$  sollecitazione tagliante per unità di lunghezza  $V_{xy}/a$

***Horae*** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# IMPOSTAZIONE SEMPLIFICATA DELLE VERIFICHE A TAGLIO CON DUE PANNELLI

La tensione dovuta alla torsione si ottiene da rapporto fra il momento torcente e il momento di inerzia polare e moltiplicando per la distanza massima (ovvero dividendo il momento per per  $W_p$ ):



$$M_t = V_{xy} \cdot \frac{a}{2} \cdot 2$$

$$I_p = I_x + I_y = \frac{1}{12} \cdot a \cdot a^3 + \frac{1}{12} \cdot a^3 \cdot a = \frac{1}{6} \cdot a^4$$

$$W_p = \frac{I_p}{a/2} = \frac{1}{6} \cdot a^4 \cdot \frac{2}{a} = \frac{a^3}{3}$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} = V_{xy} \cdot a \cdot \frac{3}{a^3} = \frac{V_{xy}}{a} \cdot \frac{3}{a} = n_{xy} \cdot \frac{3}{a}$$

**Horae** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# ***VERIFICHE A TAGLIO CASO GENERALE***

Per la verifica a taglio si è utilizzata la formula seguente:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{n_{xy,d}}{t_{min}} \leq f_{v,d} XLAM$$

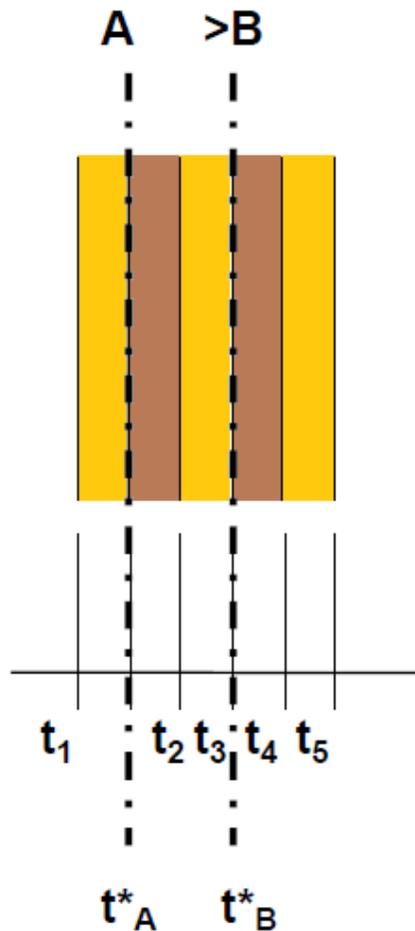
dove  $t_{min}$  è la somma minima degli spessori nella stessa direzione.

Il coefficiente 3/2 presuppone una distribuzione delle tensioni di taglio simili a quella della trave inflessa.

***Horae*** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

## VERIFICHE A TORSIONE CASO GENERALE



Per la verifica a torsione è necessario definire degli spessori ideali in riferimento alle superfici incollate, valutati come di seguito indicato.

**Per gli strati esterni:** il valore minimo fra lo spessore dello strato interno ed il doppio dello spessore dello strato esterno alla superficie incollata considerata.

Ad esempio per la superficie A:  $t^*_A = \min (2*t_1, t_2)$

**Per gli strati interni:** il valore minimo degli spessori degli strati adiacenti alla superficie incollata.

Ad esempio per la superficie B:  $t^*_B = \min (t_3, t_4)$

**Horae** Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale

Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)

# ***VERIFICHE A TORSIONE CASO GENERALE***

Lo spessore totale ideale della lastra è dato dalla somma di tutti gli spessori ideali:

$$t_{tot} * = \sum_1^n t_i *$$

Si noterà che, essendo la sommatoria estesa al numero delle superfici da incollate e che i singoli spessori ideali sono al più uguali agli spessori effettivi, lo spessore totale ideale è sempre minore dello spessore effettivo della lastra.

***Horae*** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)*

## ***VERIFICHE A TORSIONE CASO GENERALE***

Definiti spessori ideali e spessore totale ideale, la singola forza di taglio scambiata fra le superfici incollate la si può ottenere dalla formula seguente:

$$n_{xy,i} = n_{xy} \cdot \frac{t_i^*}{t_{tot}^*}$$

Sostituendo questa relazione in quella trovata precedentemente nel caso di due pannelli si ottiene:

$$\tau_{t,d} = 3 \cdot \frac{n_{xy}}{t_{tot}^*} \cdot \frac{t_i^*}{a} \leq f_{t,d} XLAM$$

E' da notare che i meccanismi di collasso a taglio e a torsione, eseguiti in modo separato, devono essere ambedue soddisfatti e il minimo dei due valori resistenti definisce il valore del taglio massimo sopportabile dal pannello.

***Horae*** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)*



**Software Tecnico Scientifico**

Grazie per l'attenzione  
per maggiori informazioni consultate

**www.horae.it**

**Horae** *Software per la Progettazione Architettonica e Strutturale*

*Rivenditore autorizzato STS, via Romana 21 – Perugia - tel 075/5003198 – mob. 329/9434130 - mail: [horae@horae.it](mailto:horae@horae.it) – skype: [horaesr12345](https://www.skype.com/name/horaesr12345)*