SARDEGNA RICERCHE

Sardegna FESR 2014/2020 - ASSE PRIORITARIO I

"RICERCA SCIENTIFICA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE"

Azione 1.1.4 Sostegno alle attività collaborative di R&S per lo sviluppo di nuove tecnologie sostenibili, di nuovi prodotti e servizi

Progetto Cluster Top Down
"PLES"
PRODOTTI LOCALI PER L'EDILIZIA SOSTENIBILE

SVILUPPO DI SOLUZIONI COSTRUTTIVE ECOSOSTENIBILI
PER PARETI E SOLAI ENERGETICAMENTE EFFICIENTI

LINEE GUIDA
PROGETTAZIONE DEI PANNELLI CLT SECONDO LE NORME VIGENTI

UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale

REPUBBLICA ITALIANA

REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

POR FESR SARDEGNA 2014-2020

Università degli Studi di Cagliari
Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Architettura

SARDEGNA RICERCHE

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI PANNELLI IN CLT SECONDO LE NORME VIGENTI

Sommario

1. PREMESSA 3
2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO 3
3. GENERALITÀ 3
4. CARATTERISTICHE DEI PRODOTTI COMPONENTI 4
4.1 Legno delle lamelle 4
4.1.1 Classificazione secondo UNI EN 338:2016 4
4.2 Lamelle 7
4.3 Strati lignei 7
4.4 Strati con pannelli a base di legno 7
5. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI PANNELLI CLT 7
5.1 Dimensioni della sezione trasversale 8
5.2 Limiti dimensionali degli strati 8
5.2.1 Spessore degli strati 8
5.2.2 Dimensioni delle lamelle 8
5.2.3 Incisioni e incollaggio dei bordi 9
5.2.4 Deviazioni massime accettabili 9
5.3 Dimensioni corrette e fattore di deformazione dell'umidità 9
5.4 Layup 10
6. CARATTERISTICHE MECCANICHE 11
6.1 Determinazione da dati geometrici e proprietà degli strati 11
6.1.1 Rolling shear 11
6.1.2 Resistenza caratteristica a compressione normale 11
6.1.3 Densità 12
6.1.4 Calcolo della rigidezza flessionale 12
6.2 Determinazione da prove di laboratorio 13

1. PREMESSA

Nel presente documento sono sinteticamente riportate le principali indicazioni fornite dalle fonti normative in vigore in merito alle caratteristiche geometriche e agli approcci di valutazione delle proprietà di resistenza e rigidezza dei pannelli in legno lamellare incrociato CLT (Cross Laminated Timber) per uso strutturale.

Lo scopo del documento è quello di fornire un prontuario, benché non esaustivo, ad utilizzo di tecnici e produttori per impostare un corretto predimensionamento dei pannelli in CLT.

Quando non diversamente specificato, le specifiche riportate nel report faranno riferimento ai contenuti della norma UNI EN 16351:2015 "*Strutture di Legno - Pannello di Tavole Incrociate – Requisiti*". Il richiamo all'uso di tale normativa viene espressamente indicato anche dal CNR DT 206–R1/2018 "*Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*" al § 4.3.2.2.2.

La definizione delle caratteristiche meccaniche dei pannelli CLT attraverso prove di laboratorio non costituisce oggetto del presente documento.

2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

I principali provvedimenti normativi cui si farà riferimento nel seguito sono:

- UNI EN 16351:2015 "Strutture di Legno - Pannello di Tavole Incrociate – Requisiti".
- European Assessment Document 130005-00-0304:2015 "Solid Wood Slab Element to be used as a Structural Element in Buildings".
- EN 1995-1-1:2004 "Eurocodice 5: Progettazione delle Strutture in Legno"
- UNI EN 338:2016 "Legno strutturale - Classi di resistenza".
- D.M. 17 febbraio 2018 "Aggiornamento delle 'Norme Tecniche per le Costruzioni'".
- CNR DT 206–R1/2018 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno".

3. GENERALITÀ

La realizzazione di edifici a struttura portante in legno secondo il sistema costruttivo in CLT, già largamente utilizzato da tempo in ambito europeo, ha visto negli ultimi anni anche in Italia una crescente diffusione grazie ad alcuni indiscutibili vantaggi. Alle qualità statiche (anche in ambito sismico, affidando la capacità dissipativa alle connessioni metalliche), si affiancano infatti velocità di realizzazione, sostenibilità ambientale, e proprietà di isolamento termico. La tecnologia CLT si attua mediante realizzazione di pannelli lignei portanti ottenuti dalla sovrapposizione di strati di tavole di legno incrociati (generalmente secondo un angolo di 90°), incollati e pressati a formare un unico elemento bidimensionale. I pannelli multistrato così prodotti possono essere utilizzati nella realizzazione di pareti, solai e diaframmi di copertura in ogni genere di struttura.

La funzione portante del pannello può esplicarsi in base al suo uso secondo un comportamento "a lastra", quando sollecitato da azioni nel piano (tipicamente nelle pareti), oppure secondo un comportamento "a piastra", quando sollecitato da azioni ortogonali al piano (tipicamente nei solai).

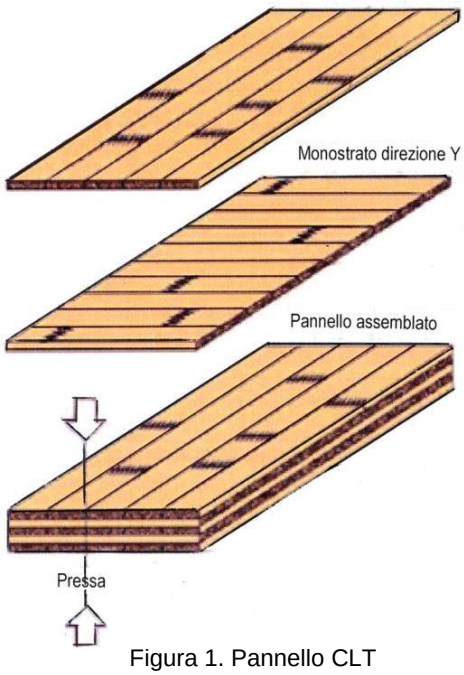


Figura 1. Pannello CLT

4. CARATTERISTICHE DEI PRODOTTI COMPONENTI

4.1 Legno delle lamelle

Le tavole di legno utilizzate nelle lamelle devono essere classificate in base alla resistenza o testate secondo la EN 14081-1[1], e identificate in base alle classi di resistenza tabellate nella EN 338, oppure sulla base di una classe di resistenza specifica dichiarata del produttore, oppure come valori individuali.

Non è consentito l'utilizzo di legno usato.

4.1.1 Classificazione secondo UNI EN 338:2016

La norma UNI EN 338:2016 stabilisce un sistema di classi di resistenza per elementi in legno ad uso strutturale, in particolare fornisce caratteristiche di resistenza e rigidezza e valori di densità per le classi a cui si riferisce la EN 14081-1.

Per le specie lignee di conifere (legno tenero) caratterizzate in base a prove a flessione, nella Tabella 1 sono riportati i valori caratteristici di resistenza, rigidezza e densità per le classi di resistenza **C**xx, dove xx si riferisce al valore caratteristico di resistenza a flessione.

Per le conifere caratterizzate invece in base a prove a trazione, nella Tabella 2 sono riportati i valori caratteristici di resistenza, rigidezza e densità per le classi di resistenza **T**xx, dove xx si riferisce al valore caratteristico di resistenza a trazione. Questo tipo di classificazione, introdotto con la più recente versione della norma (2016), nasce con l'intento di massimizzare le proprietà meccaniche del legno soprattutto per quanto riguarda i sistemi che lavorano principalmente a trazione (ad es. tavola che costituisce il profilo di un elemento di legno lamellare).

1 La norma specifica i requisiti per una prima classificazione, a vista e a macchina, secondo la resistenza, del legno strutturale con sezione rettangolare.
I requisiti della EN 14081-1 si applicano anche alla classificazione delle tavole con spessori da 6 mm a 22 mm.

Per le specie lignee di latifoglie (legno duro) caratterizzate in base a prove a flessione, nella Tabella 3 sono riportati i valori caratteristici di resistenza, rigidezza e densità per le classi di resistenza **D**xx, dove xx si riferisce al valore caratteristico di resistenza a flessione.

Per alcune specie di latifoglie, come pioppo e castagno, la norma prevede l'attribuzione alle classi C e T in alternativa alla classe D, in quanto caratterizzate da profili di resistenza e densità assimilabili a quelli delle conifere.

I valori riportati all'interno della UNI EN 338:2016 si riferiscono a legname in equilibrio igrometrico con l'ambiente caratterizzato dal 65% di umidità e 20°C di temperatura (quindi un legno avente circa il 12% di umidità).

Un elemento classificato come "C" può indifferentemente lavorare di "coltello" o di "piatto". Un elemento classificato come "T" in esercizio lavorerà di "piatto".

Nelle tabelle di seguito riportate le classi di resistenza sono designate da un numero che indica il valore della resistenza a flessione o a trazione (in N/mm^2), le classi di resistenza utilizzate più comunemente in Europa sono evidenziate in grassetto.

Table 1 — Strength classes for softwood based on edgewise bending tests – strength, stiffness and density values

	Class	C14	**C16**	**C18**	C20	C22	**C24**	C27	**C30**	C35	C40	C45	C50
Strength properties in N/mm²													
Bending	$f_{m,k}$	14	**16**	**18**	20	22	**24**	27	**30**	35	40	45	50
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	7,2	**8,5**	**10**	11,5	13	**14,5**	16,5	**19**	22,5	26	30	33,5
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	**0,4**	**0,4**	0,4	0,4	**0,4**	0,4	**0,4**	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	**17**	**18**	19	20	**21**	22	**24**	25	27	29	30
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	**2,2**	**2,2**	2,3	2,4	**2,5**	2,5	**2,7**	2,7	2,8	2,9	3,0
Shear	$f_{v,k}$	3,0	**3,2**	**3,4**	3,6	3,8	**4,0**	4,0	**4,0**	4,0	4,0	4,0	4,0
Stiffness properties in kN/mm²													
Mean modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,mean}$	7,0	**8,0**	**9,0**	9,5	10,0	**11,0**	11,5	**12,0**	13,0	14,0	15,0	16,0
5 percentile modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,k}$	4,7	**5,4**	**6,0**	6,4	6,7	**7,4**	7,7	**8,0**	8,7	9,4	10,1	10,7
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{m,90,mean}$	0,23	**0,27**	**0,30**	0,32	0,33	**0,37**	0,38	**0,40**	0,43	0,47	0,50	0,53
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	**0,50**	**0,56**	0,59	0,63	**0,69**	0,72	**0,75**	0,81	0,88	0,94	1,00
Density in kg/m³													
5 percentile density	ρ_k	290	**310**	**320**	330	340	**350**	360	**380**	390	400	410	430
Mean density	ρ_{mean}	350	**370**	**380**	400	410	**420**	430	**460**	470	480	490	520

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, char. modulus of elasticity in bending, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus have been calculated using the equations given in EN 384.

NOTE 2 The tension strength values are conservatively estimated since grading is done for bending strength.

NOTE 3 The tabulated properties are compatible with timber at moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %, which corresponds to a moisture content of 12 % for most species.

NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408.

NOTE 5 These classes may also be used for hardwoods with similar strength and density profiles such as e.g. poplar or chestnut.

NOTE 6 The edgewise bending strength may also be used in the case of flatwise bending.

Tabella 1. Classi di resistenza per conifere, basate su prove a flessione

Table 2 — Strength classes for softwood based on tension tests – strength, stiffness and density values

	Class	T 8	T 9	T 10	**T 11**	T 12	T 13	**T 14**	T 14,5	T 15	T 16	**T 18**	**T 21**	**T 22**	T 24	T 26	T 27	T 28	T 30
Strength properties in N/mm²																			
Bending	$f_{m,k}$	13,5	14,5	16	**17**	18	19,5	**20,5**	21	22	23	**25,5**	**29**	**30,5**	33	35	36,5	37,5	40
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	9	10	**11**	12	13	**14**	14,5	15	16	**18**	**21**	**22**	24	26	27	28	30
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	**0,4**	0,4	0,4	**0,4**	0,4	0,4	0,4	**0,4**	**0,4**	**0,4**	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	17	**18**	19	20	**21**	21	21	22	**23**	**25**	**26**	27	28	29	29	30
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,1	2,2	**2,2**	2,3	2,4	**2,5**	2,5	2,5	2,6	**2,7**	**2,7**	**2,7**	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0
Shear	$f_{v,k}$	2,8	3,0	3,2	**3,4**	3,6	3,8	**4,0**	4,0	4,0	4,0	**4,0**	**4,0**	**4,0**	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Stiffness properties in kN/mm²																			
Mean modulus of elasticity parallel tension	$E_{t,0,mean}$	7,0	7,5	8,0	**9,0**	9,5	10,0	**11,0**	11,0	11,5	11,5	**12,0**	**13,0**	**13,0**	13,5	14,0	15,0	15,0	15,5
5 percentile modulus of elasticity parallel tension	$E_{t,0,k}$	4,7	5,0	5,4	**6,0**	6,4	6,7	**7,4**	7,4	7,7	7,7	**8,0**	**8,7**	**8,7**	9,0	9,4	10,1	10,1	10,4
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{t,90,mean}$	0,23	0,25	0,27	**0,30**	0,32	0,33	**0,37**	0,37	0,38	0,38	**0,40**	**0,43**	**0,43**	0,45	0,47	0,50	0,50	0,52
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,47	0,50	**0,56**	0,59	0,63	**0,69**	0,69	0,72	0,72	**0,75**	**0,81**	**0,81**	0,84	0,88	0,94	0,94	0,97
Density in kg/m³																			
5 percentile density	ρ_k	290	300	310	**320**	330	340	**350**	350	360	370	**380**	**390**	**390**	400	410	410	420	430
Mean density	ρ_{mean}	350	360	370	**380**	400	410	**420**	420	430	440	**460**	**470**	**470**	480	490	490	500	520

NOTE 1 Values given above for bending strength, compression strength, shear strength, char. modulus of elasticity in tension, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus have been calculated using the equations given in EN 384.
NOTE 2 The bending strength values are conservatively estimated since grading is done for tension strength.
NOTE 3 The tabulated properties are compatible with timber at moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %, which corresponds to a moisture content of 12 % for most species.
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408.
NOTE 5 These classes may also be used for hardwoods with similar strength and density profiles such as e.g. poplar or chestnut.
NOTE 6 The bending strength may be used in the case of edgewise or flatwise bending.

Tabella 2. Classi di resistenza per conifere, basate su prove a trazione

Table 3 — Strength classes for hardwoods based on edgewise bending tests – strength, stiffness and density values

	Class	D18	**D24**	D27	**D30**	D35	**D40**	D45	**D50**	D55	**D60**	D65	**D70**	D75	D80
Strength properties in N/mm²															
Bending	$f_{m,k}$	18	**24**	27	**30**	35	**40**	45	**50**	55	**60**	65	**70**	75	80
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	11	**14**	16	**18**	21	**24**	27	**30**	33	**36**	39	**42**	45	48
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,6	**0,6**	0,6	**0,6**	0,6	**0,6**	0,6	**0,6**	0,6	**0,6**	0,6	**0,6**	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	18	**21**	22	**24**	25	**27**	29	**30**	32	**33**	35	**36**	37	38
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	4,8	**4,9**	5,1	**5,3**	5,4	**5,5**	5,8	**6,2**	6,6	**10,5**	11,3	**12,0**	12,8	13,5
Shear	$f_{v,k}$	3,5	**3,7**	3,8	**3,9**	4,1	**4,2**	4,4	**4,5**	4,7	**4,8**	5,0	**5,0**	5,0	5,0
Stiffness properties in kN/mm²															
Mean modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,mean}$	9,5	**10,0**	10,5	**11,0**	12,0	**13,0**	13,5	**14,0**	15,5	**17,0**	18,5	**20,0**	22,0	24,0
5 percentile modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,k}$	8,0	**8,4**	8,8	**9,2**	10,1	**10,9**	11,3	**11,8**	13,0	**14,3**	15,5	**16,8**	18,5	20,2
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{m,90,mean}$	0,63	**0,67**	0,70	**0,73**	0,80	**0,87**	0,90	**0,93**	1,03	**1,13**	1,23	**1,33**	1,47	1,60
Mean shear modulus	G_{mean}	0,59	**0,63**	0,66	**0,69**	0,75	**0,81**	0,84	**0,88**	0,97	**1,06**	1,16	**1,25**	1,38	1,50
Density in kg/m³															
5 percentile density	ρ_k	475	**485**	510	**530**	540	**550**	580	**620**	660	**700**	750	**800**	850	900
Mean density	ρ_{mean}	570	**580**	610	**640**	650	**660**	700	**740**	790	**840**	900	**960**	1020	1080

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, char. modulus of elasticity in bending, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in EN 384.
NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %, which corresponds to a moisture content of 12 % for most species.
NOTE 3 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408.
NOTE 4 The edgewise bending strength may also be used in the case of flatwise bending.

Tabella 3. Classi di resistenza per latifoglie, basate su prove a flessione

4.2 Lamelle[2]

Se la resistenza a trazione caratteristica o la resistenza a flessione caratteristica dei giunti a pettine nelle lamelle, ottenuta da prove in conformità all'allegato E della UNI EN 16351:2015, soddisfa i requisiti indicati rispettivamente in una delle due formule di seguito riportate, le proprietà delle lamelle devono essere considerate come quelle delle tavole di legno:

$$f_{t,j,k} \geq f_{t,0,l,k} + 5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,j,k} \geq 1{,}4\, f_{t,0,l,k} + 8 \text{ N/mm}^2$$

Formule (1) e (2) § 5.1.2 UNI EN 16351:2015

In cui:

$f_{t,j,k}$ resistenza caratteristica a trazione del giunto a pettine (in N/mm^2);

$f_{m,j,k}$ resistenza caratteristica a flessione del giunto a pettine in flessione piatta (in N/mm^2);

$f_{t,0,l,k}$ resistenza caratteristica a trazione del legno (in N/mm^2);

Se si intende produrre legno lamellare a strati incrociati trattato con conservanti, i test sui giunti a pettine devono essere eseguiti sul legno trattato.

4.3 Strati lignei

Ogni strato deve essere costituito da lamelle appartenenti ad un'unica classe di resistenza tra quelle previste nella EN 338 (oppure una resistenza specifica dichiarata dal produttore). Le lamelle di uno strato possono comunque essere di specie lignee miste, a condizione che tali specie abbiano proprietà tecniche simili, soprattutto per quanto riguarda il rigonfiamento e il ritiro.

Come proprietà degli strati si assumeranno le proprietà delle lamelle di cui gli stessi sono costituiti.

4.4 Strati con pannelli a base di legno

Alcuni strati del legno lamellare incrociato CLT possono essere realizzati, invece che da tavole affiancate, da pannelli a base di legno (vedere Figura 5). Possono essere utilizzati solo pannelli a base di legno che soddisfano i requisiti per l'uso nella classe di servizio 2 o 3 secondo EN 1995-1-1.

La resistenza dei giunti di testa e dei giunti incollati tra i pannelli a base di legno appartenenti a uno strato deve essere considerata pari a zero.

Non sono ammessi pannelli a base di legno contenenti legno usato.

Come proprietà del materiale degli strati di pannelli a base di legno si assumeranno le proprietà del materiale dei pannelli a base di legno di cui sono costituiti.

5. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI PANNELLI CLT

I dati geometrici rilevanti (dimensioni della sezione trasversale, layup, spessore e orientamento dello strato, presenza di incisioni, eventuale incollaggio dei bordi e rapporto di laminazione larghezza/spessore) dovranno essere determinati e dichiarati in quanto requisiti del pannello CLT.

2 Per "lamella" (lamination) si intende la sequenza delle tavole, appartenenti allo stesso strato, collegate con giunti a pettine lungo i lati corti; la lamella può identificarsi con un'unica tavola se questa è abbastanza lunga e comunque non richiede giunti nella lunghezza dello strato di cui fa parte.

5.1 Dimensioni della sezione trasversale

Lo spessore totale dei pannelli lignei in CLT non deve superare i 500 mm.

5.2 Limiti dimensionali degli strati

5.2.1 Spessore degli strati

Lo spessore finito t_l di ogni strato deve essere maggiore o uguale a 6 mm e minore o uguale a 45 mm (il CNR consiglia uno spessore non inferiore a 10 mm), ad eccezione dei pannelli CLT a tre strati in cui lo strato ligneo interno può avere uno spessore finito fino a 60 mm (vedi Figura 2).

Inoltre, per i pannelli CLT curvilinei lo spessore massimo finito t_l delle lamelle (dello strato) è dipendente anche dal raggio r di curvatura della lamella con il raggio minore, e dalla resistenza caratteristica a flessione dei giunti terminali. Lo spessore finito t_l deve essere conforme alla formula di seguito riportata:

$$t_l \le \frac{r}{250}\left(1+\frac{f_{m,j,dc,k}}{80}\right)$$

Formula (3) § 5.2.2.3 UNI EN 16351:2015

In cui:

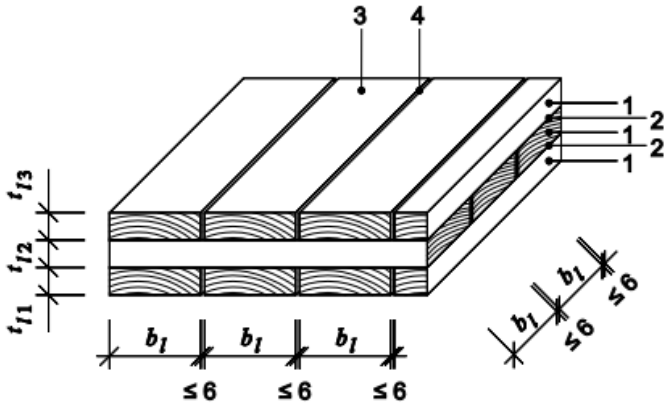
t_l è lo spessore finito della lamella (in mm);

r è il raggio della lamella con il raggio più piccolo (in mm);

$f_{m,j,dc,k}$ è la resistenza a flessione caratteristica dichiarata dei giunti a pettine (in N/mm^2).

5.2.2 Dimensioni delle lamelle

La larghezza finita b_l di qualsiasi lamella, in uno strato senza bordi incollati, deve essere maggiore o uguale a 40 mm e inferiore o uguale a 300 mm (vedere Figura 2). Il CNR DT 206–R1/2018 al § 4.3.2.2.2 impone invece una larghezza minima delle tavole o delle lamelle pari a 100 mm.



$6 \le t_{l,3} \le 45$ $\quad 6 \le t_{l,2} \le 60$ $\quad 40 \le b_l \le 300$

In cui:

1 Strato ligneo

2 Interfaccia tra gli strati

3 Lamella

4 Spaziatura tra le lamelle

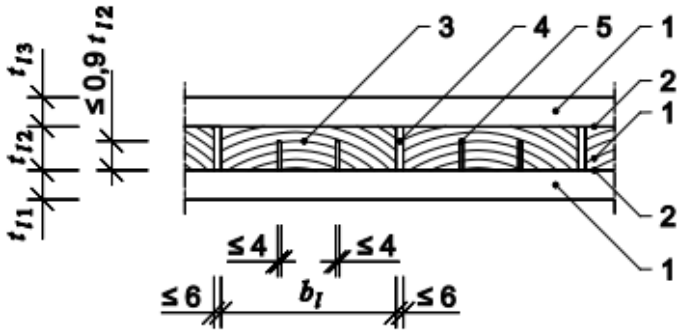
Figura 2. Limiti geometrici delle lamelle nel caso di pannello CLT a tre strati (misure in mm)

Le lamelle parallele all'interno dello stesso strato possono essere incollate lungo i bordi oppure no. La larghezza degli spazi tra lamelle adiacenti di uno strato di legno deve essere inferiore o uguale a 6 mm, come indicato in Figura 3.

Il CNR indica inoltre che la distanza tra due giunti a dita consecutivi di una stessa lamella non può essere inferiore a cinque volte la larghezza della lamella.

5.2.3 Incisioni e incollaggio dei bordi

Per ridurre la formazione di fenomeni fessurativi è possibile effettuare delle incisioni nelle lamelle. Le incisioni possono avere un massimo di profondità del 90% dello spessore della lamella e una larghezza massima di 4 mm (vedi Figura 3).



In cui:

1 Strati lignei del pannello

2 Interfaccia tra gli strati

3 Lamella

4 Spaziatura tra le lamelle

5 Incisioni nelle lamelle

Figura 3. Limiti geometrici delle incisioni e spaziatura tra le lamelle (misure in mm)

Le distanze tra incisioni adiacenti nelle lamelle e le distanze tra le incisioni e i bordi delle lamelle devono essere maggiori o uguali a 40 mm.

Inoltre, qualora si intenda dichiarare la resistenza al taglio per rolling shear, si applicano ulteriori limitazioni al rapporto tra larghezza/spessore delle lamelle, come meglio specificato nel § 6.1.1.

5.2.4 Deviazioni massime accettabili

Lo spessore corretto della sezione trasversale del pannello CLT non deve differire rispetto allo spessore nominale di oltre ± 2 mm oppure del 2% dello spessore nominale, a seconda di quale sia la misura maggiore.

Lo spessore corretto dei singoli strati non deve discostarsi di più di ± 1 mm dallo spessore nominale.

5.3 Dimensioni corrette e fattore di deformazione dell'umidità

Le dimensioni effettive dei pannelli CLT sono influenzate da rigonfiamento e ritiro dovuto a variazioni del contenuto di umidità.

I rapporti di rigonfiamento e ritiro di una certa specie possono essere considerati valori costanti nelle direzioni perpendicolare e parallela alle venature del legno.

Se il contenuto di umidità effettivo è diverso dal contenuto di umidità di riferimento, viene calcolata una quantità corretta dalla quantità effettiva dalla Formula:

$$a_{cor} = a_a \left(1 + k_{cor,a} \left(u_{ref} - u_a\right)\right)$$ Formula (4) § 5.2.2.6 UNI EN 16351:2015

in cui:

a_{cor} è la misura corretta (in mm);

a_a è la misura effettiva (in mm);

$k_{cor,a}$ è il fattore di deformazione dell'umidità perpendicolare alla fibratura per una variazione del contenuto di umidità dell'1% per un contenuto di umidità che va dal 6% al 25% (incluso);

u_{ref} = 12%, è il contenuto di umidità di riferimento, in percentuale.

A meno che non venga preso dal rispettivo codice di progettazione, il fattore di deformazione dell'umidità per deformazioni non contrastate indotte da umidità e per le specie lignee ammissibili possono essere prese come:

$k_{cor,90}$ = 0,0024 per deformazioni perpendicolari al piano;

$k_{cor,0}$ = 0,0002 per deformazioni nel piano.

Nel CNR DT 206–R1/2018 viene precisato che i pannelli di tavole incrociate non possono essere usati per opere in classe di servizio 3, in riferimento alle classi di servizio riportate nella Tabella 4.4.II del D.M. 2018.

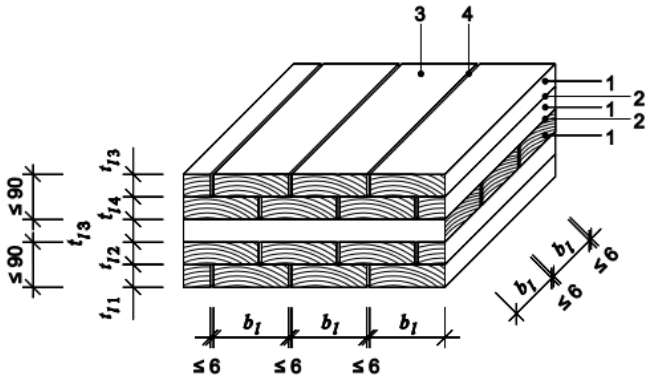
5.4 Layup

Per layup si intende la disposizione in sezione trasversale degli strati, composti da tavole di legno oppure da pannelli a base lignea[3], in cui ogni strato può essere costituito da specie diverse e può avere differenti classi di resistenza.

Ogni layup deve comprendere almeno tre strati, almeno due dei quali costituiti da lamelle di tavole di legno. Un esempio di un layup composto da tre strati è riportato nella Figura 2.

Gli strati costituiti da lamelle o pannelli a base legno devono essere disposti ortogonalmente, fatte salve le seguenti eccezioni: all'interno di un pannello CLT composto da quattro o più strati, fino a max tre strati adiacenti di spessore totale non superiore a 90 mm, possono essere incollati parallelamente alla fibratura nella direzione di uno degli assi principali del pannello CLT, vedi Figura 4.

La somma degli spessori di tutti gli strati costituiti da pannelli a base di legno in un pannello CLT può arrivare al massimo al 50% dello spessore complessivo, vedere la Figura 5. Gli strati costituiti da pannelli a base di legno possono essere incollati a strati costituiti da lamelle lungo uno degli assi principali dei pannelli stessi.



In cui:

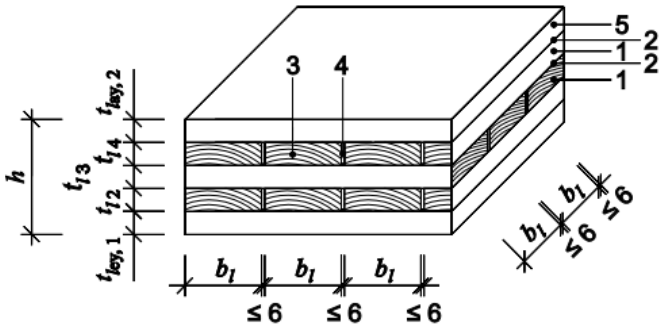
1 Strati lignei del pannello

2 Interfaccia tra gli strati

3 Lamella

4 Spaziatura tra le lamelle

Figura 4. Esempio di un layup a cinque strati di tavole con gli strati più esterni incollati parallelamente alla fibratura (misure in mm)



In cui:

1 Strati di tavole di legno

2 Interfaccia tra gli strati

3 Lamella

4 Spaziatura tra le lamelle

5 Strati di pannelli a base di legno

Figura 5. Esempio di layup con strati costituiti da pannelli a base di legno (misure in mm)

3 compensato strutturale, legno microlamellare (LVL) e pannelli strutturali in legno massiccio secondo EN 13986 e LVL strutturale secondo EN 14374

6. CARATTERISTICHE MECCANICHE

Ai fini del presente report si intenderanno come "proprietà di resistenza e rigidezza del legno lamellare incrociato": il modulo di elasticità, la resistenza a flessione, la resistenza a compressione, la resistenza a trazione e a taglio del legno lamellare incrociato. Tali proprietà possono essere ottenute secondo due diversi approcci:

- a partire dalla determinazione e dichiarazione dei dati geometrici e delle proprietà rilevanti degli strati (vedi successivo § 6.1);
- mediante prove di laboratorio sul legno lamellare incrociato e dichiarazione dei dati geometrici e delle proprietà rilevanti degli ricalcolate con test.

Per uno stesso pannello CLT alcune proprietà possono essere verificate facendo riferimento alle proprietà degli strati componenti, e altre mediante prove.

6.1 Determinazione da dati geometrici e proprietà degli strati

Se le proprietà di resistenza e rigidezza del legno lamellare a strati incrociati sono espresse a partire dai dati geometrici e proprietà degli strati, devono essere fornite le seguenti informazioni:

- dati geometrici (dimensioni della sezione trasversale, spessori e orientamenti degli strati, incisioni (se presenti), presenza (eventuale) di bordi incollati, e rapporto tra larghezza e spessore delle lamelle, secondo quanto descritto al §4;
- proprietà di resistenza, rigidezza e densità degli strati di tavole di legno secondo § 4.3, e degli strati di pannelli a base di legno secondo § 4.4, se pertinente;
- resistenza(e) a flessione dei giunti a pettine a tutta sezione[4] , se pertinente.

6.1.1 Rolling shear

In un pannello in legno lamellare a strati incrociati, quando non siano presenti dati sperimentali, la EN 16351:2015 prevede che si possa assumere come resistenza caratteristica al taglio per rolling shear il valore:

$f_{v,\,9090,\,k} = 1{,}1\ N/mm^2$

Ciò è valido a condizione che il pannello CLT sia:

- fatto di strati di legno incollati lungo i bordi,

oppure

- costituito da strati di legno, che hanno uno spessore fino a 45 mm (incluso), con lamelle non incollate lungo i bordi e aventi un rapporto larghezza/spessore ≥ 4.

Le incisioni nelle lamelle, se presenti, devono essere considerate come bordi liberi (non incollati).

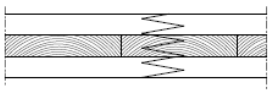
In uno strato di legno senza bordi incollati avente uno spessore fino a 45 mm (incluso), quando il rapporto larghezza/spessore delle lamelle non rispetti la limitazione di cui sopra, la resistenza al taglio caratteristica per rolling shear $f_{v,9090,k}$ può essere presa, in mancanza di prove, come:

$f_{v,9090,k} = 0{,}7\ N/mm^2$

6.1.2 Resistenza caratteristica a compressione normale

Se la resistenza caratteristica a compressione perpendicolare alla fibratura di un legno lamellare a strati incrociati costituito solo da strati di legno non è determinata da prove, può essere assunta come

4 Giunti a pettine a tutta altezza nella sezione del pannello CLT (vedi esempio nella Figura seguente)



$f_{c,90,xlam,k}$ = 3 N/mm^2.

6.1.3 Densità

La densità caratteristica del legno lamellare a strati incrociati può essere presa come

$\rho_{xlam,k} = 1{,}1\ \rho_{lay,k}$

dove $\rho_{lay,k}$ è la densità caratteristica del grado di legno più basso dichiarato di uno strato di legno all'interno del pannello CLT.

La densità media del legno lamellare a strati incrociati deve essere considerata come

$\rho_{xlam,\,mean} = \rho_{lay,\,mean}$

dove $\rho_{lay,\,mean}$ è la densità media del grado di legno più basso dichiarato di uno strato di legno all'interno del pannello CLT.

6.1.4 Calcolo della rigidezza flessionale

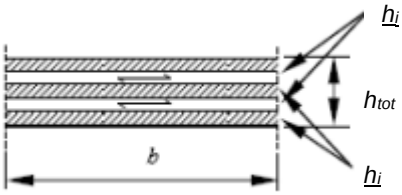
Per effettuare la valutazione della rigidezza flessionale di un pannello CLT per via analitica viene fatto comunemente riferimento alle indicazioni riportate nel § B.2 dell'Allegato B alla EN 1995-1-1 (Eurocodice 5), che possono poi essere integrate dalle ulteriori osservazioni riportate nel § 2.2.1.1 della EAD 130005-00-0304.

Secondo tale approccio, noto come Metodo Gamma ("Mechanically Jointed Beams Theory"), la rigidezza flessionale (effettiva) di un pannello CLT può essere ricavata a partire dalle caratteristiche geometriche e meccaniche degli strati.

In particolare, per il calcolo della rigidezza flessionale efficace l'Eurocodice 5 riporta la seguente formula:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{3} (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$ Formula (B.1) § B.2 EN 1995-1-1

In cui:



$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$ momento di inerzia baricentrico dello strato i-esimo (nella direzione delle azioni)

$A_i = b_i h_i$ area dello strato i-esimo (nella direzione delle azioni);

a_i area dello strato i-esimo (nella direzione delle azioni);

γ_i fattore di efficacia della connessione ("Connection Efficiency Factor")

Il coefficiente γ_i viene introdotto per tenere conto della deformazione a taglio degli strati trasversali, e viene espresso dalla formula:

$$\gamma_i = \left[1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i l^2)\right]^{-1}$$ Formula (B.5) § B.2 EN 1995-1-1

Tale espressione, che è basata sull'ipotesi di collegamenti discontinui tra gli strati, può essere corretta per adeguarla al caso dei pannelli CLT mediante le indicazioni contenute nel § 2.2.1.1 della EAD 130005-00-0304.

In particolare, l'espressione s_i/K_i, dovrà essere sostituita da:

$d_i/(G_{9090} \cdot b_i)$,

in cui:

G_{9090} modulo di taglio delle tavole ortogonali; si assume: G_{9090} = 50 N/mm^2

b_i larghezza degli strati (∀ b_i=b); nel calcolo si assume b_i= 100 cm

d_i spessore dello strato ortogonale

Il valore γ=1 indica un incollaggio perfetto mentre γ=0 l'assenza totale di unione. Valori attendibili del coefficiente γ oscillano tra 0,85 e 0,99 (Gagnon S., 2011). Questo approccio può essere applicato al caso del legno lamellare incrociato, considerando gli strati ortogonali come i connettori tra gli strati longitudinali.

Nella pratica progettuale si adotta generalmente un approccio semplificato rispetto a quanto sopra esposto, ipotizzando γ=1 per tutti gli strati longitudinali e contemporaneamente assumendo trascurabile il contributo degli strati ortogonali. In sostanza negli strati longitudinali, orientati nella direzione della sollecitazione, si terrà conto di $E_{0,mean}$ (modulo di elasticità parallelo alla fibratura), mentre il contributo $E_{90,mean}$ (modulo di elasticità ortogonale) degli strati trasversali verrà ipotizzato pari a zero. Tale assunzione appare accettabile considerando che il rapporto, per una medesima classe di resistenza del legno, è pari a $E_{0,mean}$ / $E_{90,mean}$ = 30 circa.

A valle di tali considerazioni l'espressione della rigidezza flessionale si semplifica assumendo la forma:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^{3} (E_i I_i + E_i A_i a_i^2)$$ dove i =1…n è l'i-esimo strato longitudinale

La distribuzione degli sforzi corrispondente a quanto appena enunciato può essere rappresentata dall'immagine seguente.

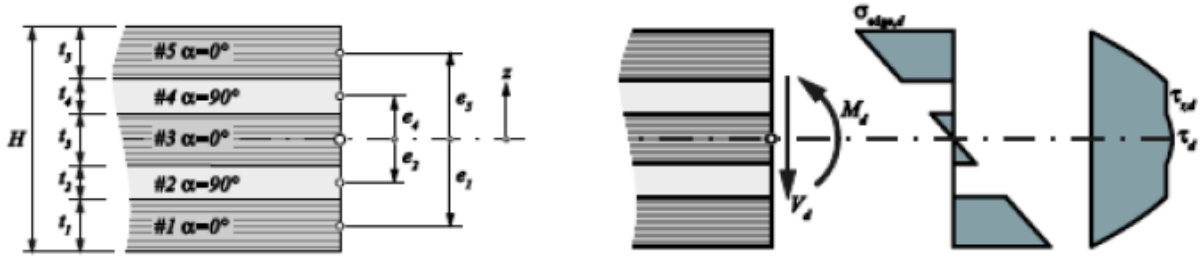


Figura 6. Pannello CLT a cinque strati sottoposto ad azione flettente: distribuzione degli sforzi

6.2 Determinazione da prove di laboratorio

Quando le proprietà di resistenza e rigidezza del pannello in legno lamellare incrociato sono determinate da prove, tali prove devono essere eseguite e valutate secondo l'allegato F della UNI EN 16351:2015. Le proprietà di resistenza e rigidezza del pannello CLT saranno espresse come:

- dati geometrici (dimensioni della sezione trasversale, spessori e orientamenti degli strati, incisioni (se pertinenti), presenza (eventuale) di bordi incollati e rapporto tra larghezza e spessore delle lamelle, secondo quanto descritto al §4[5];
- proprietà di resistenza, rigidezza e densità degli strati di tavole di legno e degli strati di pannelli a base di legno, se pertinente;
- resistenza(e) a flessione dei giunti a pettine a tutta sezione, se pertinente.

5 Come nel caso in cui la determinazione si ottiene da dati geometrici e proprietà degli strati (vedi § 5.1)