

# **Legno strutturale e materiali a base di legno**

## 2.1 • LEGNO MASSICCIO E LAMELLARE INCOLLATO

### 2.2.1 Introduzione

La tradizione ha trasmesso, e continua a proporci, l'immagine del legno nella sua forma "massiccio", quella cioè ottenuta più o meno direttamente dalla segazione del tronco, senza superfici incollate e senza giunti a pettine. Fino alla metà dell'800, i tronchi venivano utilizzati con limitate operazioni di prima trasformazione: le tecnologie possedute erano molto scarse e il più delle volte la forza motrice era costituita dalle braccia o, nella migliore delle ipotesi, dall'acqua che, attraverso una serie di pale, ruote dentate e di ingranaggi, spesso anch'esse di legno, azionavano le lame della segheria.

Ormai siamo abituati ad intendere per legno qualcosa che si presenta come una tavola, più o meno lavorata, una trave. Sicuramente il legno massiccio così inteso non è più rappresentativo nell'impiego in edilizia; ad eccezione di qualche travatura per la copertura di un nuovo edificio, l'impiego si limita prevalentemente al recupero degli edifici storici o comunque di quelli già esistenti. Le moderne tecnologie hanno influito sul miglioramento del lavoro a tutti i livelli e quelli che un tempo potevano essere considerati materiali, di seconda, terza scelta o addirittura di scarto oggi vengono rinobilitati grazie ai nuovi processi industriali che ne esaltano le proprietà isolando il difetto o, quantomeno, limitandone l'influenza negativa. Solamente dai tronchi migliori sia in termini dimensionali che in termini qualitativi, si ricavano segati massicci a sezione squadrata.

### 2.2.2 Legno massiccio

A titolo esemplificativo e per fare un po' di ordine possiamo dire che, nel caso di legno massiccio di conifera, le dimensioni standard più utilizzate sono quelle riportate nella tabella successiva e che si rifanno alla norma tedesca DIN 4074-1.

Segato di conifera	Spessore (d) o altezza (h) mm	Larghezza (b) mm
Listello	$6 \leq d \leq 40$	$b < 80$
Tavola	$6 \leq d \leq 40$	$b \geq 80$
Tavolone	$d > 40$	$b > 3d$
Trave	$b \leq h \leq 3b$	$b > 40$

Tabella 2.1 \_Una trave Uso Trieste durante la prima serie di prove di caratterizzazione meccanica sostenuta presso i laboratori IVALS in vista di una revisione della norma UNI EN 11035

Generalmente listelli tavole e tavoloni sono disponibili in commercio con lunghezze di 4 m o, in casi particolari, fino a 6 m.

La lunghezza dipende fondamentalmente da una serie di fattori che vanno dalla lunghezza del materiale d'origine, dalla linea di taglio e dal suo sistema di trasferimento interno della segheria (trattori, nastri trasportatori ecc.) e dal trasporto. Normalmente la lunghezza del legname squadrato o travi, non supera

i 14 m, con incrementi di lunghezza di 0,5 m. L'incremento di sezione può variare dai 20 mm ai 260 mm (solo eccezionalmente superiori) ed è condizionato dal diametro del tronco. Tradizionalmente però la produzione di legname da opera in Italia è rappresentata dalle travi uso Fiume ed uso Trieste. Si tratta di travi in cui, viene rilasciata una grande quantità di smusso (spigolo arrotondato ottenuto sfruttando la naturale curvatura della superficie del tronco originario), allo scopo di utilizzare la maggior sezione possibile del tronco e di incidere la minor quantità di fibra. Le specie utilizzate sono conifere, abete bianco e rosso, douglasia, pino e larice. La differenza tra i due tipi risiede nell'orientamento della linea di taglio.



Figura 2.1 \_Una trave Uso Trieste durante la prima serie di prove di caratterizzazione meccanica sostenuta presso i laboratori IVALSA in vista di una revisione della norma UNI EN 11035

Nell'uso Trieste il piano di taglio è più o meno orientato parallelamente alle facce superficiali del tronco, e quindi segue la rastremazione del tronco. Nell'uso Fiume il piano di taglio è orientato parallelamente all'asse centrale del fusto. Nel primo caso le fibre vengono intaccate solo in minima parte e le sezioni variano con la posizione considerata nella lunghezza dell'elemento. Nel secondo la sezione è costante in tutta la lunghezza dell'elemento, ma la quantità di fibra interrotta dal taglio è maggiore. In tutti e due i casi il materiale d'origine è costituito da tondame (tronchi) di buona qualità, con fusti dritti e con midollo interno. Purtroppo oggi le condizioni di mercato rendono antieconomico mantenere un magazzino fornito; le forniture quindi si allestiscono al momento della richiesta, ed i cicli di essiccazione applicati risultano nella maggior parte dei casi inadeguati. Il risultato è che spesso il legno massiccio viene venduto ancora con un'elevata umidità, o addirittura danneggiato da cicli di essiccazione sbagliati, da cui una serie di problemi che si possono manifestare dopo la messa in opera, anche a distanza di molti mesi.

## 2.2 • PANNELLI STRUTTURALI E ALTRI PRODOTTI INDUSTRIALI

A questi prodotti che dall'abbattimento alla commercializzazione subiscono lavorazioni relativamente modeste, si aggiunge una ampia varietà di materiali da costruzione di legno ottenuti per ricombinazione di parti elementari, di forme e dimensioni regolarizzate e standardizzate, ottenuti tramite segagione, piallatura e fresatura del legno massiccio. I vantaggi di questi prodotti risiedono proprio nella possibilità di avere un "elemento unitario" di ridotte dimensioni, dal quale possono essere esclusi, all'occorrenza ed in maniera preventiva, i difetti e che può più facilmente e velocemente lavorato e trattato prima dell'assemblaggio finale. Le dimensioni dell'elemento unitario sono il primo carattere che distingue i diversi prodotti, fondamentale nel conferire determinate caratteristiche fisico-meccaniche e quindi nel condizionare il comportamento del prodotto finale. Proprio per la sua importanza, la dimensione dell'"elemento unitario" viene utilizzata generalmente per distinguere le diverse tipologie di prodotto.

### 2.2.1 Legno massiccio strutturale (KVH)

Il KVH, acronimo per KonstruktionsVollHolz, è legno massiccio squadrato, piallato a misura, essiccato ed in seguito ricombinato assieme a pezzi analoghi, collegati di testa con un giunto a pettine (fingerjoint), in modo da ottenere lunghe travi con sezioni standardizzate. Il materiale si ottiene generalmente lavorando tronchi di abete rosso, ma frequentemente viene prodotto anche con abete bianco, larice e pino. Il metodo costruttivo si avvale di sofisticate macchine a controllo numerico che, una volta portati a misura gli elementi, rettificano le superfici di incollaggio, sagomano il giunto con teste fresanti e incollano di testa i due pezzi, utilizzando prevalentemente colle poliuretaniche per uso esterno. Il prodotto viene normalmente fornito con lunghezze non superiori ai 14 metri e con umidità di circa il 12-15%.



Figura 2.2\_ Un giunto a pettine (Finger Joint) eseguito in maniera errata in zona nodo. Un giunto così costituito ha già di partenza un difetto che costituisce un punto di debolezza. A destra: la catasta di travi KVH appena uscite dalla linea di produzione.

## 2.2.2 Legno lamellare incollato e LVL

E' costituito da strati di tavole preventivamente essiccate, unite di testa con giunto a pettine e poi incollate sovrapposte, in modo da ottenere travi massicce con caratteristiche anche in questo caso predeterminate.

La produzione del lamellare incollato riunisce due tecniche produttive, la lamellazione e l'incollaggio. In particolare la lamellazione consiste nel taglio del tronco in lamelle di dimensioni omogenee. Lo scopo dell'incollaggio è quello di ricombinare le lamelle ottenute, ricollegando le fibre delle tavole adiacenti in maniera quanto più simile possibile all'originale. Questa tecnologia consente di svincolarsi dal problema delle limitazioni dimensionali imposte dai fusti e permette la realizzazione di semilavorati in grado di coprire grandi luci, con linee curve e con sezione variabile.

Dal momento della segagione le singole lamelle seguono un percorso ormai standardizzato che parte dall'essiccazione in ambiente controllato. Questa fase serve a portare al giusto contenuto di acqua del legno in funzione dell'utilizzo finale. In realtà il legno è un materiale fortemente igroscopico e quindi molto sensibile alle variazioni termoigrometriche dell'ambiente. Per evitare modificazioni durante le fasi lavorative il materiale dopo l'essiccazione viene tenuto come minimo una settimana ad acclimatarsi in locali condizionati ad umidità del 60% ed una temperatura di 15°C. In questa fase gli elementi subiscono anche una classificazione a vista meccanica, assegnate ad una classe di resistenza e suddivise in gruppi in modo da poterle riposizionare all'interno della sezione dell'elemento: una volta in opera la sezione dell'elemento finale infatti non è sottoposta in alle sollecitazioni maniera omogenea: saranno le parti estreme a subire le tensioni maggiori. Le tavole migliori saranno quindi collocate nelle parti esterne della sezione mentre all'interno potranno essere collocate le tavole di qualità peggiore. Prima dell'incollaggio le tavole subiscono una piallatura di pulitura e rettifica delle dimensioni. E' necessario che non trascorrono più di 24 ore di tempo dalla piallatura all'incollaggio, per evitare l'instaurarsi di fenomeni di ossidazione del legno che potrebbero interferire con l'incollaggio stesso. L'incollaggio avviene utilizzando generalmente collanti poliuretanici di colore chiaro o adesivi polifenolici o amminoplastici.

Il "Laminated Veneer Lumber" (LVL), una volta indicato anche come "microlamellare" è composto da fogli ottenuti per sfogliatura, simili a quelli del compensato, ed incollati mantenendo la fibratura parallela tra gli strati. Si tratta di un materiale utilizzato per produrre grosse travature o pannelli ad uso strutturale originariamente in nord America e nord Europa, ma ormai ben conosciuto in Italia sotto le denominazioni commerciali delle industrie che lo producono.

## 2.2.3 Pannelli

Alle tecnologie fin qui descritte, si affiancano tecniche basate su principi molto simili, utilizzate nella produzione dei pannelli a base di legno. Ottenuti, come nei casi precedenti, dalla ricomposizione di elementi unitari di diverse forme e

dimensioni, con l'impiego di collanti e forti pressioni i pannelli costituiscono una grande famiglia in grado di soddisfare le molteplici esigenze progettuali, che siano di tipo strutturale, estetico, fisico o, oggi più che mai, di ecocompatibilità. Le caratteristiche tecnologiche vengono influenzate fundamentalmente dalla specie utilizzata e la sua massa volumica, dal contenuto di umidità del prodotto finale, dal tipo di collante utilizzato e dalle dimensioni e disposizione degli elementi unitari. I pannelli in cui gli elementi unitari costitutivi hanno ancora una certa dimensione, (sfogliati, listelli, segati), mantengono molte delle caratteristiche fisico-meccaniche del legno massiccio, come un certo grado di anisotropia o di resistenza meccanica imputabile alla residua continuità delle fibre, ma è anche possibile continuare a riconoscervi l'aspetto originale del legno, caratterizzato, ad esempio, dalla venatura. Man mano che le dimensioni dell'elemento unitario diminuiscono, si perdono questi caratteri a vantaggio di una maggiore stabilità nei confronti delle variazioni termo-igrometriche ambientali, di una maggiore uniformità delle caratteristiche fisico-meccaniche e di una facilità di lavorazione nell'conferire e mantenere forme o curve particolarmente studiate, aspetto molto apprezzato nella realizzazione di strutture architettonicamente elaborate. E' evidente che minori saranno le dimensioni dell'elemento unitario, minore sarà la necessità di qualità elevata del materiale di origine. Così, in maniera crescente rispetto alle dimensioni degli elementi unitari, possiamo avere:

**Pannelli in legno-cemento**, formati da fibre, farina o lana di legno, agglomerati con leganti di origine minerale, hanno poca importanza e scarso impiego in ambito strutturale.

**Pannelli duri** (HDF=Hard Density Fiberboard o anche HB=Hardboard), i semiduri (MBH) e i teneri (SB Soft Board) o MDF (Medium Density Fiberboard). Sono pannelli di fibre, ottenuti da materiale spesso riciclato che viene frammentato in elementi allungati e ridotti poi ulteriormente con un processo di sfibratura. Ciò che principalmente distingue i diversi tipi pannello è sia la densità raggiunta dai pannelli, si va da oltre 900 kg/m<sup>3</sup> a densità inferiori ai 400 kg/m<sup>3</sup>, ma anche la tecnica di ricombinazione, che per via umida, come i pannelli duri HB, i semiduri MBH e i teneri SB, avviene per via umida, mentre per i più noti pannelli MDF, per via secca.

**OSB (Oriented Strand Board)**. In questo caso i pannelli si ottengono da scaglie di legno che vengono ricomposte con un procedimento di incollaggio a caldo, orientando le fibre. Variante al pannello, che spesso viene confuso con il primo, è il "waferboard" per la cui realizzazione si utilizza la stessa tecnica ma le scaglie si dispongono in maniera del tutto casuale, senza orientamento, ottenendo un prodotto finito dalle caratteristiche meccaniche inferiori.

**Truciolati**. Formatì da particelle, come i pannelli di fibre, non hanno particolari esigenze rispetto alla provenienza del materiale di origine che spesso proviene da riciclaggio. Gli elementi unitari sono ottenuti dalla sola frammentazione e poi ricombinati con incollaggio per pressatura tra piastre calde.

**Listellari**. Gli elementi unitari sono dei veri e propri listelli orientati parallelamente,

contenuti da due strati esterni di sfogliato o di compensato (vedi dopo). Un esempio sono i pannelli da cassaforma. Riguardo a questi ultimi, vale la pena fare una precisazione, rischiando di andare fuori tema, ma la salvaguardia della vita non guarda in faccia alcun tema:

**ATTENZIONE**, non sono pannelli progettati per sostenere carichi, quindi non vanno utilizzati sui ponteggi al posto dei classici tavoloni da 50 mm o dei pannelli di acciaio.

**Compensato e Multistrato.** Sono tra i più diffusi pannelli per edilizia che vengono impiegati in moltissimi casi ed in molte metodologie costruttive. Come dicono le denominazioni, sono ottenuti per incollaggio sovrapposto di sottili strati di legno ottenuti per sfogliatura, orientando la fibra in maniera perpendicolare fra strati contigui. In tal modo si ottiene una "compensazione" reciproca dei movimenti del legno dei diversi strati, per ottenere un materiale dall'eccezionale stabilità dimensionale. L'idoneità per l'impiego in edilizia dipende dal tipo di adesivo utilizzato.

**X-lam.** Caso particolare che influenza oggi e, si potrebbe addirittura aggiungere, rivoluziona il comparto dell'edilizia in legno sono i pannelli di legno massiccio a strati incrociati, meglio conosciuti come X-LAM (si pronuncia crosslam). In pratica si tratta di pannelli di compensato in cui si sostituiscono i fogli con tavole. La struttura tipica è costituita da strati di tavole incollati sovrapposti, con fibratura orientata alternativamente a 90 gradi. Le dimensioni delle tavole variano da larghezze comprese tra mm 80 e 240 con spessori variabili tra i mm 10 e 35; in ogni caso la larghezza deve essere sempre maggiore o uguale a quattro volte lo spessore della tavola.

L'unione tra le tavole è data dall'incollaggio omogeneo tra gli strati o chiodatura. In entrambi i casi sussistono vantaggi e svantaggi evidenziati dai produttori.

Il metodo di produzione, è molto simile per sequenza delle fasi, a quello del legno lamellare incollato. Le tavole, una volta stagionate, passano attraverso una macchina classificatrice che individua i maggiori difetti e li evidenzia, in maniera che siano identificati dalla lama troncitrice che recide il tratto difettato. Le tavole vengono poi giuntate di testa con finger joint, con macchine analoghe a quelle utilizzate per la produzione di legno lamellare, in modo da ottenere elementi interi di lunghezza pari alla lunghezza del pannello finale. L'operazione è realizzata con una linea produttiva continua che consente la realizzazione degli elementi in pochi minuti.

Attualmente per la produzione vengono utilizzate specie di conifere come l'abete, rosso e bianco, il larice, il pino e douglasia, ma sono soprattutto la tipologia di adesivo o di chiodatura, la tecnica d'incollaggio e l'uso di tavole classificate secondo la resistenza meccanica che determinano la qualità del prodotto finale. Allo stesso modo la scelta delle tavole da disporre negli strati superficiali può determinare una qualità estetica a vista o di tipo industriale. Nel caso della qualità a vista è necessario concordare al momento dell'ordinazione la presenza o meno

di una serie di caratteri ammissibili, indicati dalla normativa EN 13017-1, quali la presenza di tasche di resina o di tasche di resina riparate, il tipo di nodi, i giunti d'incollaggio, il colore, lo spessore della linea d'incollaggio ecc.



Figura 2.3 La pressa sotto vuoto, pur non raggiungendo altissime pressioni, garantisce omogeneità e costanza di pressione durante tutta la fase di pressatura.

Le dimensioni finali dei pannelli dipendono molto dalle possibilità delle aziende produttive e dagli impedimenti nella movimentazione e nel trasporto, ma generalmente si passa da pannelli a tre strati con spessori di mm 57 per arrivare a pannelli con spessore di mm 500 lunghezze di 16,5 m, ma anche m 30, e larghezze di m 1,25-4,8.

Attualmente, sia a livello nazionale che europeo, non esistono norme specifiche di riferimento, l'unico riferimento è dato dalle CNR DT 206-2007 in cui si rimarca lo assenza di una normativa specifica rimandando al benessere tecnico che dovrebbe avere ciascun prodotto. In attesa di normative si può solamente fare riferimento a normative relative ad altre tipologie di prodotto, considerando le prescrizioni come indicazioni e valori di massima. Attualmente tali assorbimenti circolano attraverso specifici Benessere Tecnici Europei, che ne consentono la conformità alle vigenti Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 14.01.08). Inoltre il Gruppo di Lavoro Europeo CEN TC 124/WG3/TG4 ha ultimato la redazione di una bozza di norma armonizzata che dovrebbe rendere i tempi di certificazione più snelli rispetto alle attuali procedure EOTA.

## 2.3 • INCOLLAGGI STRUTTURALI: CARATTERISTICHE TECNICHE E TOSSICITÀ

### 2.3.1 Introduzione

Una delle definizioni più appropriate di “adesivo” è quella riportata dal ASTM (*American Society for Testing and Materials*) che lo definisce come “un prodotto capace di tenere insieme i materiali per giunzione superficiale, di generare cioè fenomeni di adesione” (cit. G. Giordano)

Appare chiaro che tale definizione può assumere significati diversi in relazione al campo applicativo, ma nel settore tecnologico l'adesione la si intende riferita all'interazione che si viene a stabilire tra una superficie solida ed un'altra che può essere allo stato solido o liquido. La metodologia con cui si realizza un'adesione di questa natura tra due superfici si definisce incollaggio. Prima di addentrarsi nell'analisi dei diversi tipi d'incollaggio, è necessario compiere un passo indietro per ricordare come la materia sia composta da atomi, uniti da diversi tipi di legame chimico ed in combinazione diversa a formare molecole diverse. E' evidente che questi legami costituiscono delle vere e proprie forze che permettono la coesione tra atomi e che quindi, in base alla diversificazione dei legami, ogni molecola ha un suo contenuto energetico di fondamentale importanza nell'ambito della preparazione delle sostanze, dei materiali o addirittura nelle lavorazioni per la trasformazione dei materiali. A loro volta le molecole si combinano assieme grazie a ulteriori legami di tipo secondario (legami a ponte di idrogeno e forze di van der Waals) che contribuiscono a conferire le proprietà fisico-meccaniche della materia. Tali legami sono di natura elettrica, a volte con struttura asimmetrica (molecole polari) altre con struttura simmetrica. Ciò detto, appare evidente che l'adesione tra una superficie solida e l'adesivo può essere ricondotto ad un fenomeno di attrazione molecolare. Lo scopo di un incollaggio strutturale è quello di unire due corpi lignei in modo tale da renderli un unico elemento strutturale. Il suo compito è quello di riempire gli spazi vuoti, ricostituire la continuità tra gli elementi mettendo a disposizione legami di coesione e di garantire una resistenza almeno pari a quella del legno incollato ed una durabilità compatibile a quella della classe d'esercizio per cui viene realizzato il prodotto finale.

L'applicazione di un adesivo strutturale avviene sempre in forma liquida, inumidendo una o entrambe le superfici da incollare, in funzione del tipo di adesivo e del tipo d'impianto di produzione. La seconda fase, quella dell'indurimento, nel caso di incollaggi di tipo strutturale può avvenire in due modi distinti:

attraverso la combinazione di due fasi:

1. l'evaporazione di un solvente e la reazione chimica, come avviene negli adesivi ureici, fenolici, melamminici e resorcinnici;
2. attraverso un processo chimico in cui si assiste ad una polimerizzazione del collante mediante la formazione di legami primari tra le molecole (colle epossidiche e poliuretaniche).

### 2.3.2. Classificazione degli adesivi

Con tali presupposti è chiaro che la classificazione dei collanti non è univoca.

Diverse possono essere le classificazioni in base ai diversi criteri adottati. Per praticità la classificazione più utilizzata è quella riferita al metodo di applicazione, distinguendo quattro gruppi:

- In soluzione o in dispersione
- a caldo
- a pressione
- a indurimento per reazione chimica.

In realtà il criterio più indicato sarebbe forse quello di riferirsi alla composizione chimica del collante, o meglio al costituente principale, come avviene nell'ambito degli adesivi idonei all'uso strutturale.

A livello di normativa relativa agli incollaggi strutturali sono in vigore attualmente la UNI EN 301 *"Adesivi fenolici e amminoplastici per strutture portanti di legno. Classificazione e requisiti prestazionali"* e la più recente UNI EN 15425 *"Poliuretani monocomponenti per strutture portanti di legno. Classificazione e requisiti prestazionali"*. In realtà, anche per ciò che concerne gli adesivi alla caseina esiste la norma UNI EN 12436 *"Adesivi per strutture portanti in legno – Adesivi caseifici – Classificazione e requisiti"* ma queste colle di origine organica (il costituente principale è una proteina del latte) sono poco resistenti all'acqua e molto sensibili all'attacco di funghi dai quali devono essere protetti con un fungicida idoneo. Per tali motivi non soddisfano i requisiti fondamentali dettati dalla Norma UNI EN 301, che vengono generalmente presi a riferimento: La norma infatti, pur riferendosi agli adesivi fenolici ed amminoplastici, in maniera più generalizzata stabilisce che: *"Un adesivo che risponde ai requisiti specifici per il suo tipo definiti nella presente norma è adeguato all'uso in una struttura portante purché le operazioni di incollaggio siano state effettuate in base a una norma di prodotto appropriata."* Anche l'Eurocodice 5 ammette solamente l'impiego di adesivi conformi a quanto prescritto dalla UNI EN 301. Per tutti gli altri adesivi è necessario rifarsi alle indicazioni contenute all'interno delle rispettive norme nazionali.

La norma citata stabilisce che gli adesivi per giunti strutturali devono garantire resistenza e durabilità tali da mantenere l'efficienza dell'incollaggio nella classe di servizio assegnata per tutta la durata prevista per la struttura e fissa due tipi di adesivo, I e II, in funzione della loro idoneità all'uso in presenza di determinate condizioni climatiche come specificato nella seguente tabella 2.2.

Tipo di Adesivo	T °C	Condizioni climatiche corrispondenti	Esempio	Classe di servizio equivalente EN 1995-1-1
I	>50	Non specificato	Esposizione prolungata a temperatura elevata	1,2,3
I	≤50	>85% u.r. a 20°C.	Piena esposizione alle intemperie	1,2,3
II	≤50	≤85% u.r. a 20°C.	Edificio riscaldato e ventilato All'esterno protetto dalle intemperie Brevi periodi di esposizione alle intemperie	1,2

Tabella 2.2\_Tipi di adesivo da utilizzare in relazione alle diverse condizioni climatiche d'esercizio (UNI EN 301)

Per stabilire l'appartenenza ad un tipo di adesivo la norma prevede una serie di prove che vanno dalle prove a taglio a prove di delaminazione e da prove di danneggiamento delle fibre a prove di sollecitazione al ritiro, i cui metodi sono riportati in dettaglio nella UNI EN 302:2005/6 *"Adesivi per le strutture portanti in legno – Metodo di prova parti 1.2.3.4.5.6.7."*

### 2.3.3. Adesivi attualmente impiegati

#### 2.3.3.1. Adesivi urea-formaldeidici (UF)

Il gruppo urea-formaldeide comprende una serie di adesivi molto versatili che possono essere commercializzati sia in polvere che in forma liquida, si induriscono a tutte le temperature, purché superiori a 10°C e la velocità di indurimento può essere facilmente modificata in base alle esigenze del processo produttivo. Solamente alcuni speciali adesivi ureo-formaldeidici a freddo sono considerati idonei all'uso strutturale. Il loro limite risiede nella scarsa durabilità nei confronti dell'acqua e del calore e nella sensibilità verso le alte temperature raggiungibili in caso d'incendio che tendono a delaminarli. Sono adesivi che necessitano di una carica inerte come riempitivo, in assenza della quale tendono a fratturarsi.

In base ai requisiti richiesti dalla UNI EN 301, questi adesivi appartengono al tipo 2 e vengono impiegati per la produzione di legno lamellare e per finger joint destinati ad un impiego all'interno.

L'adesivo è idoneo all'indurimento mediante radiofrequenza.

Le linee di colla si presentano con una colorazione chiara.

#### 2.3.3.2. Adesivi fenolo-formaldeidici (PF)

Sono adesivi molto alcalini forniti sia in forma liquida, sia in polvere, ma anche sotto forma di pellicola. Si possono avere adesivi fenolo-formaldeidici con indurimento a caldo o a freddo. Nei primi l'indurimento avviene mediante l'esposizione a temperature comprese tra i 110° e i 140°C. e, solo per taluni prodotti, combinando l'azione della temperatura ad un indurente a base di formaldeide. Negli adesivi fenolo-formaldeidici a freddo l'indurimento deve invece avvenire necessariamente

in ambiente acido: viene disciolto l'adesivo in soluzione alcolica e successivamente indurito mediante l'aggiunta di un acido forte. E' importante ricordare che in corrispondenza della linea di colla le superfici lignee possono essere danneggiate dalla presenza dell'acido.

Questa categoria di adesivi è completamente resistente all'acqua, anche salmastra, alla bollitura, all'esposizione agli agenti meteorici ed, esposti alle alte temperature di un incendio non tendono a delaminarsi.

Gli adesivi PF con indurimento a caldo, pur essendo utilizzati nella produzione di pannelli compensati per uso marino, non sono conformi alle indicazioni della UNI EN 301. Discorso a parte va fatto per gli adesivi PF con indurimento a freddo: pur rientrando nei criteri di conformità della UNI EN 301 è stato verificato che alcuni elementi strutturali realizzati in passato con questo tipo di adesivo, a distanza di molti anni dalla messa in opera, sono collassati. In realtà non si conosce bene la motivazione, ma si ritiene ragionevolmente che la causa sia da ricercare nel danno prodotto dagli effetti dell'acido sul legno in corrispondenza dell'interfaccia adesivo-legno, con conseguente perdita di adesione tra gli elementi.

#### **2.3.3.3. Adesivi melammina-urea-formaldeidici (MUF)**

Gli adesivi MUF derivano chimicamente dagli adesivi UF, nei quali viene sostituita una certa percentuale di urea con una equivalente di melammina, allo scopo di rendere l'adesivo più durabile nei confronti dell'umidità ambientale e quindi degli agenti meteorici. Sono commercializzati per incollaggi a freddo, utilizzati in combinazione con adesivi a caldo per la produzione di lamellari incollati e finger-Joint e per incollaggi a caldo mediante pressatura per la produzione di compensati. Solamente gli adesivi utilizzabili a freddo sono conformi ai requisiti della UNI EN 301, rientrando generalmente nella tipologia 2.

#### **2.3.3.4. Adesivi (fenolo)-resorcinolo-formaldeidici (Prf-Rf)**

Adesivi adatti a incollaggi molto forti, duraturi, resistenti all'acqua, anche salmastra, alla bollitura ed agli agenti meteorici, sono costituiti da due componenti, il resorcinolo e la formaldeide. L'induritore può contenere cariche che conferiscono il carattere "riempitivo" all'adesivo. Parte del resorcinolo, visto l'elevato costo, viene generalmente sostituito con fenoli di minor costo (adesivi fenolo-resorcinolo-formaldeidici). Le linee di incollaggio si presentano molto scure, di spessore compreso tra 1 mm e 2 mm (quest'ultimo solo per gli adesivi caricati) ed il prodotto bene si adatta ad indurimento con radiofrequenza. Carattere da non sottovalutare è la mancanza di emissioni di formaldeide o di altre sostanze una volta avvenuta la reazione e la conformità ai requisiti previsti dalla UNI EN 301.

#### **2.3.3.5. Adesivi Poliuretani (Pu) monocomponenti**

L'adesivo sfrutta la capacità del componente reattivo (isocianato) di reagire inizialmente con l'umidità del legno per formare, dopo una breve sequenza di reazioni, in una resina poliuretanica. Il processo reattivo sviluppa anidride carbonica che si traduce nella caratteristico aspetto schiumoso in corrispondenza

della linea d'incollaggio. Hanno una buona resistenza ed una buona durabilità, ma non per tutti è ancora certa la durabilità agli agenti meteorici.

#### **2.3.3.6. Adesivi Poliuretanic (Pu) bicomponenti**

La natura dell'adesivo è simile a quella del monocomponente, ma in questo caso il componente reattivo (isocianato) non reagisce con l'umidità del legno, ma necessita di un secondo componente (alcol). Le proprietà di resistenza e durabilità sono del tutto simili a quelle degli adesivi Pu monocomponenti. I vantaggi dell'impiego risiedono nello stoccaggio, più lungo senza che il prodotto rischi di alterarsi, e nella facilità di manutenzione e gestione dell'impianto d'incollaggio.

#### **2.3.3.7. Adesivi epossidici**

Si tratta di adesivi a due componenti formati da una resina epossidica ed un indurente costituito generalmente da ammine. La caratteristica è quella di avere un'ottima resistenza, ma ancora poco si conosce del loro comportamento nel tempo e nei confronti degli agenti meteorici. Sono adesivi che necessitano di un tempo di reticolazione ed un successivo tempo di maturazione che varia in funzione del tipo di prodotto, delle condizioni ambientali e del quantitativo utilizzato per l'incollaggio. Sono molto riempitivi e, in misura contenuta (attenzione alle indicazioni del produttore), caricabili per modificarne leggermente la viscosità e la colorazione. Il metodo di produzione delle resine è tale da poter confezionare tipologie di resina specifica per all'incollaggio di materiali diversi. Nel settore del legno le resine epossidiche si adattano all'incollaggio di legno con legno, metallo, plastiche, fibre di carbonio, vetroresina ecc. In passato è stato utilizzato come "betoncino" per il consolidamento di parti degradate di strutture lignee, oggi si preferisce impiegarlo solamente come adesivo per evitare problemi di incompatibilità fra grandi quantitativi di materiali diversi (le resine epossidiche sono molto stabili e rigide mentre il legno è un materiale elastico che varia la sua dimensione in relazione al contenuto idrico) e di ebollizione durante la reticolazione (la reazione tra componenti sviluppa alte temperature che, se utilizzati grandi volumi di prodotto, possono mandare in ebollizione la resina stessa con sviluppo di bolle che comprometterebbero l'incollaggio).

Generalmente sono adesivi dall'alto costo utilizzati nel settore strutturale per le riparazioni ed i consolidamenti in opera di parti lignee degradate o per l'incollaggio di elementi di diversa natura "(metallo, plastica, ...).



Figura 2.4 Incollatrice impiegata nella produzione di pannelli (Xlam). A destra: Troncatrice, fresa ed incollatrice utilizzata nella produzione di KVH

### 2.3.4. Tossicità degli adesivi

Il problema della tossicità dei prodotti è una questione sentita da anni ma che solamente da alcuni decenni influenza tutto il mercato. In particolare, nel settore degli adesivi per il legno ci si riferisce principalmente agli effetti legati all'emissione di formaldeide, sostanza considerata pericolosa per gli effetti indotti sull'apparato respiratorio sia a breve, sia a lungo termine.

E' una sostanza chimicamente molto semplice, la più semplice delle aldeidi, con formula chimica  $\text{CH}_2\text{O}$ , e in soluzione acquosa al 37% è commercializzata con il nome di formalina.

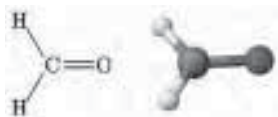


Figura 2.5 Formula chimica della molecola di formaldeide.

Molto solubile in acqua, si presenta come un gas con punto di ebollizione a  $-21^\circ\text{C}$ . Grazie alla sua forte reattività chimica, alla sua azione biocida, al costo relativamente basso e alla facilità d'impiego è utilizzata in molti settori produttivi dell'industria. In particolare, nel settore del legno costituisce la molecola di partenza per la produzione di adesivi ureici, fenolici, melamminici e resorcinolici.

E' una sostanza molto volatile, classificata come sostanza sospetta di cancerogenicità, che manifesta la sua pericolosità soprattutto a carico delle vie respiratorie, dove si manifesta con effetti irritanti ormai noti, indotti anche da basse concentrazioni nell'ambiente (da  $0,01\text{ mg/cm}^3$ . dati da: dott. Franco Bulian).

Il processo di volatilizzazione dovuto ad idrolisi, nella maggior parte dei casi, non si ferma con l'indurimento dell'adesivo, ma si protrae a lungo rilasciando nell'ambiente quantità di formaldeide spesso superiori ai limiti accettabili.

La regolamentazione dell'impiego della formaldeide, fino al 2008, era limitato alla circolare n.57 del ministero della Sanità, pubblicato nel 1983 che riportava relativamente ai "rischi connessi alle possibili modalità d'impiego". Con decreto del ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali n. 288 del 10 ottobre

2008, pubblicato su G.U. del 10 dicembre 2008, e successiva circolare esplicativa del Ministero del Lavoro, della salute e delle politiche sociali dell'agosto 2009, indirizzata agli organi competenti regionali, si stabiliscono alcune disposizioni legate alla produzione, l'importazione ed il commercio di pannelli e manufatti prodotti mediante l'impiego di formaldeide, basato sul principio che "...ai fabbricanti ed agli importatori spetta l'obbligo di immettere sul mercato e/o utilizzare sostanze che non arrechino danno alla salute umana". L'articolo 2 del decreto stabilisce che non possono essere immessi nel mercato pannelli a base di legno o manufatti con concentrazioni di equilibrio di formaldeide superiori a 0,124 mg/m<sup>3</sup>, pari a 0,1 ppm (Classe E1, vedi oltre). Tali concentrazioni vanno misurate con una serie di prove imposte ed indicate dall'art. 3 dello stesso decreto.



## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1]G. Giordano (1981) Tecnologia del legno. UTET
- [2]AA.VV (2003). Il Manuale del legno strutturale. Mancosu editore
- [3]Franco Bulian. Il problema formaldeide nel settore legno-arredo
- [4]D.M.10/10/2008. Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno. G.U. 10/12/2008
- [5]Classi HCHO – documento da "Ufficio Normativa per il sistema legno-arredo"
- [6]www.federlegno.it. Sostanze pericolose e prodotti da costruzione. (<http://www.federlegno.it/tool/home.php?s=0,1,30,45,261,1588>)
- [7]Gherard Schickhofer, Reinhard Katzengruber. Pannelli di Legno – Promo\_legno
- [8]Gherard Schickhofer. Travi e montanti di legno – Promo\_legno
- [9]AA.VV. L'altro massiccio – Promo\_legno
- [10]AA.VV. Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana. – Regione Toscana