

IL LEGNO LAMELLARE

**“Una tecnologia che ha origini nel passato e si proietta
nel futuro”**

Michele Paradiso

1 INTRODUZIONE.

Legno lamellare : materiale da costruzione prefabbricato, la cui materia prima è il legno tagliato in assi (lamelle) di limitata larghezza e lunghezza, sovrapposte e legate tra loro mediante collanti ad alta resistenza, in modo da dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilita.



Il *legno lamellare* è un modo nuovo di usare un materiale antico quanto la storia abitativa dell'uomo.

L'impiego del *legno lamellare*, come materiale ed elemento strutturale, trova sempre più spazio e credito nel settore costruttivo offrendo possibilità alternative e concorrenziali, soprattutto nel settore di strutture a grandi luci e dimensioni (le dimensioni sono solo condizionate dai limiti imposti dal trasporto) e in quello della ristrutturazione (si fa presente che la maggior parte delle costruzioni nei centri storici ha l'orditura dei solai e dei tetti realizzata in legno).

La novità tecnologica di questo materiale è di essere ottenuto mediante l'incollaggio di tavole di legno, in modo da formare elementi strutturali ad ampia flessibilità compositiva e formale, non disgiunta da una certa validità estetica (archi anche a sezione variabile).

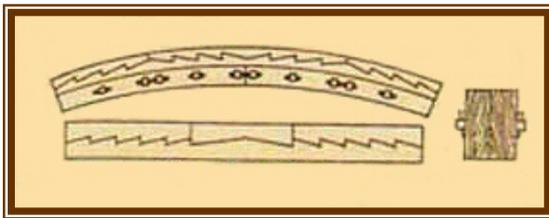
Ulteriori vantaggi derivano dalla possibilità di una prefabbricazione che consente di ottenere un materiale con caratteristiche di omogeneità ed uniformità di resistenza superiore alla corrispondente essenza legnosa, nonché un migliore sfruttamento della materia prima con minore scarto di materiale, che diventa sempre più raro e costoso sul mercato mondiale.

Non trascurabile è la motivazione ecologica (bioedilizie) legata al così detto "impatto ambientale". La ricerca di materiali che non siano inquinanti e che possano rigenerarsi come il legno, ripropone tale materiale ed i suoi derivati in una posizione di primaria attenzione. Una oculata programmazione di taglio e di piantumazione degli alberi non solo non arreca alcun danno ambientale, ma può continuamente fornire del legno da impiegare nell'edilizia.

Si pensi, inoltre, ai problemi legati alla demolizione e smaltimento di strutture in c.a.. Dal disuso delle strutture in legno, oltre al più semplice smantellamento, si può recuperare almeno l'energia combustibile.

2 LA STORIA.

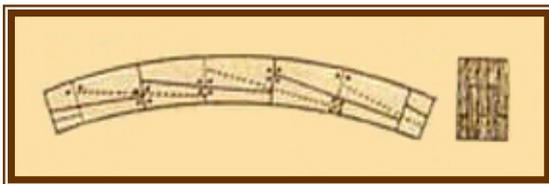
Dal punto di vista storico il *legno lamellare* nasce col fine di superare i limiti dimensionali del tondame dal quale si ricavano le travature. Da un solo fusto è infatti impossibile ottenere elementi di sezione e lunghezza necessarie a consentire la copertura di luci libere di 20-30 metri. Inoltre il portamento tipico dei fusti non consente di ottenere travi curve, o della curvatura voluta, di sezione sufficiente. Al primo problema si è ovviato storicamente tramite la realizzazione di travi composte più o meno effettivamente collaboranti, ad esempio tramite giunzioni a dente di sega.



Leonardo: XV secolo

Questa ultima soluzione, la cui prima intuizione si fa risalire a Leonardo, è attuabile con semplicità, ed è stata frequentemente utilizzata nel caso di membrature orizzontali, quali ad esempio le catene, che devono

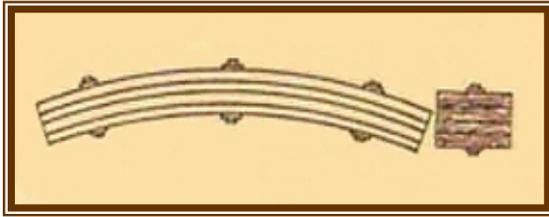
superare ampie luci. Il secondo problema fu affrontato per la prima volta, a memoria, nel XVI secolo, quando si sviluppò nei costruttori l'idea di utilizzare il legno mediante assemblaggio di varie parti per ottenere centine ed archi.



Delorme: XVI secolo

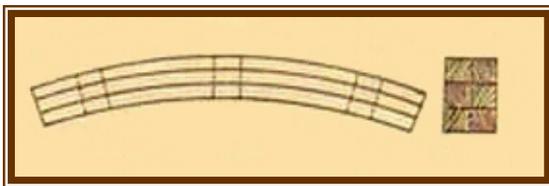
Il primo tentativo concreto a cui si sappia dare paternità è stato quello di Philibert Delorme in Francia, il quale riuniva mediante chiodatura più tavole in strati sovrapposti dando

approssimativamente la forma dell'arco voluto, quindi profilando con una sega l'estradosso. Le tavole mantengono la loro planarità e la trasmissione dei carichi è affidata essenzialmente alla tenuta della chiodatura.

**Emy, XIX secolo**

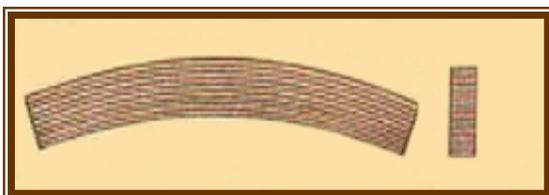
Il passo successivo è stato compiuto da Emy nel 1823, realizzando archi mediante chiodatura di tavole unite in pacchi con bulloni passanti. In seguito, prima Migneron e poi Wiebeking, misero a punto un sistema

che prevedeva un arco con lamelle formate da travi curvate a freddo e tenute a pressione da staffe metalliche, ma a differenza del francese Migneron, nel sistema ideato da Wiebeking, il bloccaggio delle travi era assicurato da biette in legno che assorbivano le possibili tensioni di scorrimento.

**Migneron, Wiebeking, XIX secolo**

Una svolta radicale si ebbe dalla coniugazione tra la tecnica della laminazione del legno e quella dell'incollaggio che fu possibile però soltanto a partire dal XX secolo, in concomitanza con il fiorire delle industrie ed il concretizzarsi degli studi sulla composizione e la produzione delle colle. L'artefice di questa

trasformazione fu il maestro carpentiere Otto Freidrich Hetzer (1846 – 1911) che nel 1901, per l'assemblaggio delle lamelle, sostituì a staffe e bulloni un collante a base di caseina: era nato così il *legno lamellare* incollato. In pochi anni il brevetto di Hetzer si diffuse in tutta Europa, riscuotendo ovunque premi e riconoscimenti mentre in Svizzera, paese di origine del nuovo materiale, già nel 1920 si potevano contare oltre 200 realizzazioni. Nello stesso periodo il brevetto viene esportato negli Stati Uniti, ove però susciterà diffidenza e incontrerà molte resistenze, almeno fino alla metà degli anni Trenta.

**Otto Freidrich Hetzer, XX secolo**

Anche in Italia, nel periodo compreso tra 1935 e il 1939, vengono realizzate le prime opere in legno incollato, soprattutto sotto forma di archi a tre cerniere, con luci che raggiunsero i 30

metri. Il procedimento adottato consisteva nella curvatura a freddo e nella

successiva sovrapposizione delle tavole, con interposti strati di colla alla caseina; l'assemblaggio era effettuato a piè d'opera, inchiodando il primo strato alla sagoma e fissando tra loro i successivi con un prefissato numero di chiodi o bulloni. Gli spessori e le intestature delle tavole erano particolarmente curati e le lunghezze scelte erano tali da non permettere né sovrapposizioni, né successivi avvicinamenti dei giunti. Per contro, non veniva effettuato alcun controllo del legname, impiegando di fatto sempre una terza scelta, e soprattutto rimaneva irrisolte le tradizionali problematiche relative all'attaccabilità del legno da parte di funghi e insetti, nonché alla sua infiammabilità.

E' solo nel secondo dopoguerra che l'industria chimica, con l'introduzione delle resine sintetiche, degli impregnanti e dei prodotti ignifughi, ha permesso di apportare al settore quel contributo tecnologico grazie al quale la "tecnica del lamellare" si è potuta sviluppare ed evolvere fino ai giorni nostri.

3 TECNOLOGIA DI PRODUZIONE.

Il *legno lamellare* è ancora indubbiamente legno e di questo mantiene tutti i pregi, ma è anche un prodotto nuovo, un prodotto industriale che attraverso il procedimento tecnologico supera i difetti propri del legno massello. Il processo di produzione del *legno lamellare* incollato è l'insieme delle operazioni eseguite in appositi stabilimenti, che consistono essenzialmente nella riduzione del tronco in assi e nella loro ricomposizione, tramite incollaggio, fino a dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilita.

Tutte le fasi di lavorazione richiedono un particolare ambiente produttivo ben attrezzato e rispondente ad alcuni requisiti fondamentali:

- settori di fabbricazione collocati in modo ordinato e funzionale;
- ambiente climatizzato con temperatura e umidità costanti ed idonee per la conservazione e la lavorazione delle materie prime impiegate.

3.1. Scelta della specie legnosa :

Le caratteristiche tecniche del prodotto finito dipendono dal materiale di base. E' ovvio che per ottenere risultati attendibili, occorre partire da una materia prima avente caratteristiche il più omogenee e uniformi possibile. Qualsiasi tipo di legname può essere potenzialmente utilizzato per tale tecnologia, anche se scelte tecnico-economiche indirizzano, di fatto, l'industria produttrice all'uso di legnami facilmente reperibili, incollabili e meno costosi, compatibilmente ai requisiti richiesti. La scelta del tipo di specie legnosa da utilizzare tiene conto quindi di alcune caratteristiche fondamentali:

- caratteristiche fisio-meccaniche del materiale;
- attitudine all'incollaggio;
- durabilità (legata strettamente anche all'impiego che ne viene fatto);
- disponibilità di approvvigionamento;
- costo;
- esigenze estetiche.

I legnami più utilizzati in Europa che corrispondono a queste esigenze sono:



Abete Rosso: Per la disponibilità del materiale, caratteristiche intrinseche e facilità di lavorazione



Abete bianco: Meno pregiato di quello rosso, presenta un accrescimento irregolare, con seguente riduzione delle caratteristiche meccaniche



Larice: Buone caratteristiche meccaniche e di durezza, ampiamente utilizzato per le strutture esposte agli agenti atmosferici, aspetto particolarmente piacevole



Pino Silvestre: Facile lavorazione, facile reperibilità, poco utilizzato in edilizia

Le essenze legnose vengono suddivise, per il *legno lamellare*, in due categorie o classi, che ne individuano la qualità e le caratteristiche fisico-meccaniche e che condizionano i valori delle corrispondenti tensioni massime ammissibili. Tali classi o categorie sono (secondo le DIN 1052):

I Categoria: legno scelto senza traccia di putredine o danni di insetti, inclinazione massima della direzione delle fibre rispetto alla direzione della tavola non superiore al 10%, nodi sani, non raggruppati, con diametro massimo pari a 30 mm, peso specifico non superiore a 500 Kg/mc (al 20% di umidità) e spessore medio annuo di crescita del tronco non superiore a 3 mm.

II Categoria: legno scelto con criteri meno rigidi, tuttavia senza traccia di putredine o danni di insetti, ma con tolleranze maggiori di diametro dei nodi (fino a 40 mm), inclinazione di fibre (fino al 12%), pesi specifici non inferiori a 400 Kg/mc (al 20% di umidità) e spessore medio annuo di crescita non superiore a 4 mm.

3.2. Dimensionamento delle lammelle :

Questa operazione viene regolata dalla normativa DIN che da una parte non fissa la lunghezza minima delle assi, dall'altra ne limita lo spessore e la sezione trasversale e precisamente :

l'area della sezione trasversale massima non deve superare 60 cm² (per legni di conifera), 50 cm² (per legni di latifolia);

la massima larghezza consentita è pari a 25 cm per la singola lamella con uno spessore non superiore a 30 mm, anche se può essere aumentato fino a 40 mm in elementi costruttivi dritti, i quali non siano esposti a variazioni climatiche rilevanti.

Nella pratica costruttiva le lamelle hanno uno spessore finito intorno ai 33 mm e una larghezza pari a quella della sezione trasversale dell'elemento strutturale, normalmente variabile fra 10 e 22 cm, con variazioni modulari di 2 cm e lunghezza delle lamelle di 400-500 cm. Nelle travi curve, per limitare le tensioni di curvatura che possono nascere in direzione sia parallela sia normale alle fibre, il raggio di curvatura degli elementi strutturali in lamellare deve essere pari almeno a 200 volte lo spessore delle singole lamelle.

3.3. Essiccazione.

L'umidità è uno dei parametri più importanti del legno poiché ne influenza tutte le caratteristiche, sia fisiche che meccaniche.

Ci sono diversi gradi di umidità:

- *Umidità normale del legno*: pari al 12% con temperatura di 20° C e umidità relativa dell'aria del 65%;
- *Umidità allo stato fresco*: superiore al 20%;
- *Umidità al punto di saturazione*: attorno al 30%;
- *Umidità commerciale*: pari al 15%, si raggiunge con la stagionatura naturale del materiale;
- *Umidità d'impiego*: è l'umidità con cui si dovrebbe lavorare l'elemento strutturale ligneo affinché risulti in equilibrio con l'ambiente. I valori di riferimento sono (tolleranza 3%):
 - Ambiente esterno: 15%;
 - Ambiente chiuso, non riscaldato: 12%;
 - Ambiente chiuso riscaldato: 9%.

La fase di essiccazione, dunque, è tesa a ottenere quel grado di umidità del legno compatibile col tipo di colla e, soprattutto, confacente alla destinazione delle strutture. Come visto sopra essa deve essere compresa fra il 9 e il 15%. Fra due lamelle successive però la differenza di umidità non deve superare il 4%.

Gli impianti per la produzione del lamellare dispongono di essiccatoi. Il legname è messo nelle celle di essiccazione e portato al grado di umidità necessario alla lavorazione ed alla resistenza richiesta. Dopo l'essiccazione, poiché il tasso di umidità non è regolare all'interno di una stessa lamella, essendo più basso in periferia che al centro, le lamelle vengono lasciate riposare per due, tre giorni all'interno dello stabilimento prima di essere portate alla linea di lavorazione.

3.4. Controllo qualità delle assi.

Prima della giuntatura le tavole subiscono un controllo dell'umidità e della difettosità, più o meno automatizzato a seconda dell'azienda, il quale porta all'eliminazione dei difetti più gravi e delle eventuali sacche di umidità.

La verifica dell'umidità (*Fig.1*) avviene sulle lamelle prima della loro intestazione per mezzo di test selezionatore tipo passa - non passa. Se l'umidità rilevata nelle lamelle è compresa fra i limiti prefissati, un segnale verde consente il

proseguimento delle operazioni, altrimenti il segnale rosso lo arresta fino alla rimozione del pezzo fuori controllo.

Le condizioni ambientali, invece, sono costantemente registrate su apposite carte che segnalano eventuali anomalie, evidenziando i valori che superano i limiti inferiori e superiori delle bande di controllo. Queste verifiche interessano tutto il reparto dove si svolgono le lavorazioni, che si succedono a cascata, dal deposito delle lamelle, alla loro intestazione, piallatura, incollaggio, sovrapposizione e pressaggio. Contemporaneamente al controllo dell'umidità delle lamelle, viene effettuato quello visivo degli eventuali difetti del legno (*Fig.2*), come per esempio l'eccessivo numero di nodi, imbarcamenti, inclinazione delle fibre, cipollature, ecc. e vengono tagliate le estremità delle assi, eliminando screpolature e fessurazioni di testa. Questa fase deve essere affidata a maestranze qualificate e responsabili.



Fig. 1 : Controllo dell'umidità



Fig. 2 : Controllo di eventuali difetti del legno: numero nodi, cipollatura, fessurazione, ecc.

3.5. Giuntura di testa.

Per realizzare elementi strutturali di lunghezza maggiore della singola tavola o asse sono necessari giunzioni di testa. Di solito le giunzioni trasversali correnti fra le varie lamelle vengono effettuate con giunti detti a pettine o a dita (*Fig.3*), e vengono opportunamente sfalsate al fine di non indebolire una stessa sezione trasversale o una zona dell'elemento strutturale.

Questo tipo di giunto è oramai nella prassi considerato come il più vantaggioso, in quanto consente di ottenere un'ampia superficie di incollaggio, una volta

realizzata l'unione è autoserrante, e ha bassi sfridi rispetto ad altri tipi di giunzioni quale ad esempio il bisello, detto anche a becco di flauto. Successivamente alla fresatura si ha l'incollaggio di testa delle tavole (*Fig.4*), effettuato da apposite macchine che applicano forze di compressione variabili in relazione alla lunghezza dei denti dei giunti.



Fig. 3 : Fresatura della testa a pettine



Fig. 4 : Giunzione di due teste

3.6. Piallatura e calibratura delle tavole.

Le tavole così composte vengono piallate, in modo da offrire superfici piane in vista dell'incollaggio delle facce delle tavole per la successiva formazione della trave. Questo tipo di operazione, unitamente alla calibratura attraverso la quale si ottengono tavole di spessore costante, evita l'instaurarsi di tensioni che possono dare luogo alla formazione di cretti durante la pressatura. Inoltre la piallatura consente di ottenere superfici lisce, requisito molto importante in fase di incollaggio.

3.7. Incollaggio delle lamelle.

Le colle e le operazioni di incollaggio costituiscono una fra le operazioni più importanti e delicate dal punto di vista operativo e tecnologico. Gli incollanti devono instaurare legami intermolecolari fra la colla stessa e le sostanze che costituiscono il legno, cioè le fibre di cellulosa e lignina, in modo da garantire, nel piano di incollaggio, lo stesso legame della corrispondente essenza legnosa.

Le resistenze fisico-meccaniche del collante devono essere almeno eguali a quelle del legno, in modo che i piani di incollaggio non siano piani preferenziali di rottura.

Le colle più comunemente usate nella pratica costruttiva sono:

Colle a base di urea-formolo:

queste colle, di colore bianco, hanno una tenuta mediocre, soprattutto se sottoposte a elevate temperature e quindi in presenza di notevoli escursioni termiche. Per contro presentano un costo abbastanza vantaggioso. Sconsigliabili per esterni e per elementi strutturali esposti agli agenti atmosferici.

Colle a base di resorcina-formaldeide:

di colore rosso-bruno, sono tra le più usate perché più resistenti all'aggressione degli agenti atmosferici, specialmente in climi caldo-umidi, anche se sono le più onerose per costi fra le colle del legno; consentono ottime prestazioni in ambienti difficili e mantengono le proprie caratteristiche nel tempo.

Colle a base di melammina-urea-formaldeide:

ultimamente molto utilizzate, queste colle sembrano offrire caratteristiche meccaniche assimilabili a quelle delle colle resorciniche e sono di colore bianco. La normativa attuale non consente comunque il loro utilizzo per strutture portanti all'aperto.

L'applicazione della colla sulle lamelle avviene automaticamente e il sistema attualmente più utilizzato è quello della cosiddetta "incollatrice a fili" (Fig.5) che consente di ottenere la realizzazione di un piano di incollaggio con distribuzione abbastanza uniforme della colla.



Fig. 6 : Pressa

Fig.5 : Incollatrice a Fili

3.8. Pressatura.

Per realizzare l'incollaggio fra le lamelle bisogna sottoporre l'elemento strutturale a una pressione il più possibile uniforme; tale operazione viene effettuata in apposite presse (*Fig.6*). Le presse sono costituite da una struttura fissa sulla quale si fa agire un meccanismo di pressatura costituito normalmente da martinetti idraulici o pneumatici. L'operazione di posizionamento delle lamelle e di chiusura della pressa deve essere fatta il più rapidamente possibile, onde evitare che la colla cominci a indurire. Per la chiusura delle presse si procede dal centro verso le estremità. Le travi così realizzate rimangono in pressa per un periodo di 12 ore o più, secondo il tipo di colla, la temperatura e la forma della trave. La temperatura ambiente non deve comunque essere mai inferiore a 18° C. In caso di travi curve, si utilizza un'altra pressa dotata di guide mobili che vengono posizionate secondo una sagoma precedentemente disegnata sul suolo. Dalla descrizione delle fasi di produzione fin qui condotta si intuisce l'importanza del condizionamento dei locali di produzione; il legname non deve variare il proprio contenuto idrometrico durante la produzione delle travi poiché il processo chimico che sta alla base della polimerizzazione delle colle è fortemente influenzato dalle condizioni termoigrometriche dell'ambiente in cui esso avviene.

3.9. Piallatura delle travi.

Rimosse dalla pressa le travi sono lasciate 1-2 giorni a riposo all'interno dello stabilimento. Quindi fatte passare dentro una pialla fissa di forte capacità in modo da dare all'elemento lo spessore finito e rendere uniformi e lisce le superfici laterali (Fig. 7).



Fig.7 : Piallature delle travi



Fig.8: Finitura

3.10. Finitura e impregnatura.

Nel reparto finitura (Fig.8) la trave viene intestata realizzando le sagomature di progetto, i fori ed i tagli necessari per l'assemblaggio di elementi metallici. L'ultima operazione in ordine di tempo consiste nell'applicazione di prodotti impregnanti tramite semplice spennellatura, sostanze cioè con funzione di preservare il legno da insetti, funghi, umidità e con un pigmento che conferisca alle travi il colore voluto. Tale operazione dovrebbe rientrare in seguito tra le operazioni di manutenzione ordinaria.

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.

Nel nostro paese la progettazione e la realizzazione di opere di ingegneria civile sono regolate da un corpus legislativo costituito da leggi e decreti la cui applicazione è obbligatoria. Scopo comune a tutte le norme tecniche è garantire che le costruzioni posseggano i livelli di sicurezza minimi scelti dal legislatore. A tal fine ogni progetto comprendente strutture in c.a., c.a.p., o metalliche deve essere depositato, a cura del costruttore, in un archivio esistente presso l'Ufficio del Genio Civile competente per territorio. Tale obbligo però non riguarda le strutture in *legno lamellare*. In Europa la situazione ha una connotazione molto diversa, determinata dalla presenza di specifiche norme nazionali, tra cui citiamo quelle internazionalmente più conosciute:

<i>DIN 1052 - Germania :</i>	si tratta di una norma generale di calcolo estremamente valida e completa, si pensi che la prima edizione vide la luce nel 1933, mentre l'ultimo aggiornamento risale al 1996
<i>REGLES C.B. 71 - Francia :</i>	elaborate nel 1981 dal Centre technique du bois;
<i>SIA 164 - Svizzera :</i>	Construction en bois (Zurigo, 1981);
<i>BSI 5268/1988 - Inghilterra :</i>	Structural use of timber; code of practice for permissible stress design, materials and workmanship (Londra, 1988);
<i>ÖNORM - Austria :</i>	B 4100, parte 1 (Costruzioni in legno – simboli), parte 2 (Strutture portanti in legno) e B 4101 (Costruzioni in legno, strutture portanti nell'edilizia).

Nel quadro dell'armonizzazione europea, e nell'ambito dell'attuazione della Direttiva CEE 89/106/EEC relativa ai prodotti dell'industria, è stato preparato a cura del CEN (Comitato Europeo di Normazione) l'Eurocodice 5 sulle strutture in legno, suddiviso in tre parti: 1.1 Regole generali e regole per gli edifici, 1.2 Regole generali, progettazione strutturale contro l'incendio, 2 Ponti. L'Eurocodice è una formulazione di normativa da applicarsi ai paesi europei aderenti alla CEE che coinvolge tecnici, produttori, ditte operanti nel settore, al fine di giungere a una codificazione unica, anche a difesa della qualità e della produzione del *legno lamellare*, nonché della qualificazione del personale che deve essere specializzato. In Italia, la traduzione dell'Eurocodice 5 nelle sue tre parti è stata effettuata a cura dell'UNI - Ente Nazionale Italiano di Unificazione - come Norma Europea Sperimentale (ENV). L'UNI è il corrispondente del CEN in Italia. Tuttavia il relativo NAD (Documenti di Applicazione Nazionale), aventi la funzione di interfacciare il codice europeo con la norma italiana, non è mai stato pubblicato per il semplice fatto che non c'era nessuna norma italiana, promulgata dall'Autorità pubblica nazionale - il Ministero dei Lavori, nella fattispecie - da interfacciare. Proprio per porre fine a tale mancanza, nel luglio del 1999, si è insediata presso il Ministero dei Lavori Pubblici la commissione incaricata della redazione delle Norme tecniche Italiane per la progettazione, esecuzione e collaudo delle Costruzioni di Legno (N.I.CO.LE.).

Da Gennaio 2005 dopo dieci anni di sperimentazione, l'Eurocodice 5 è stato pubblicato come norma EN, e come tale ha rimpiazzato le corrispondenti norme nazionali esistenti. In Italia la suddetta normativa è stata recepita e pubblicata come norma UNI EN 1995-1:2005 e UNI EN 1995-2:2005 . Le ditte produttrici italiane hanno fatto, fino al 2004, prevalentemente riferimento alle tedesche DIN 1052 che più volte il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha dichiarato ammissibile essendo normativa europea di comprovata affidabilità.

Le principali ditte italiane sono in possesso, inoltre, del certificato di incollaggio "Tipo A" rilasciato dall'Istituto per la Ricerca e Prova dei Materiali nel settore edile "Otto-Graf" dell'Università di Stoccarda. Esso abilita l'unità produttiva a realizzare strutture portanti in *legno lamellare* incollato di qualunque tipo e dimensione, riconoscendo l'elevato livello tecnologico degli impianti utilizzati e la specializzazione del personale addetto. Per la conservazione del Certificato,

l'azienda non solo si impegna a produrre secondo le norme DIN 1052, ma si sottopone periodicamente ad ispezioni e controlli dei reparti produttivi e conserva per cinque anni campioni e registri degli elementi prodotti a disposizione degli ispettori tedeschi.

Nelle tabelle sottostanti sono riportate le caratteristiche tecniche del legno lamellare incollato, nonché un esempio di certificazione di Incollaggio secondo le norme DIN 1052:

Attestato di incollaggio "A"



Tensioni ammissibili [N/mm²]

Tipo di tensione		flessione	trazione // fibre	trazione ⊥ fibre	compressione // fibre	compressione ⊥ fibre	taglio // fibre.	taglio ⊥ fibre	torsione
		σ_f amm	$\sigma_{t//}$ amm	$\sigma_{t\perp}$ amm	$\sigma_{c//}$ amm	$\sigma_{c\perp}$ amm	τ_{s} amm	τ_{0} amm	τ_r amm
legno lamellare	I	14	10.5	0.20	11.0	2.5	0.9	1.2	1.6
	II	11	8.5	0.20	8.5	2.5	0.9	1.2	1.6
conifere	I	13	10.5	0.05	11.0	2.0	0.9	0.9	1.0
	II	10	8.5	0.05	8.5	2.0	0.9	0.9	1.0
	III	7	0	0	6.0	2.0	0.9	0.9	0

Per la condizione di carico 2 i valori indicati si possono aumentare del 25%

Module di elasticità [N/mm²]

Tipo di legno	modulo di elasticità assiale		modulo di taglio G
	E_{\parallel} fibre	E_{\perp} fibre	
conifere LM	10.000	300	500
legno lamellare LL	11.000	300	500

Caratteristiche del legno

Coefficiente medio di ritiro o rigonfiamento per variazioni percentuali unitarie di umidità	0,24
densità media del legno	500 kg/m ³
raggio di curvatura minimo	200 • s

s: spessore delle lamelle

Freccia ammissibile

TIPO DI TRAVE	con controfreccia		senza controfreccia	pilastri e traverse soggetti a carico laterale (vento ecc.)	L/200	
	q	g+q	g+q		g+q	g+1kN
trave piena in legno lamellare	L/300	L/200	L/300	L/200	L/100	
trave a sbalzo	Lsb/150	Lsb/100	Lsb/150			
reticolari	calcolo appross.	L/600	L/400	L/200	L/100	
	calcolo esatto	L/300	L/200			L/300
trave di solaio	—	—	L/300	10 mm	20 mm	
arcarecci, correntini	—	—	L/200			

q: carico accidentale g+q: carico totale L: luce di calcolo Lsb: sbalzo

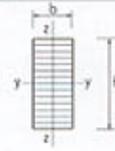
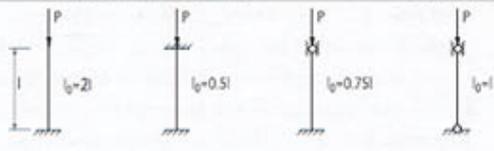
Coefficiente per carico di punta – snellezza: $\lambda = l_0/i$

λ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
LL I	1.0	1.0	1.0	1.0	1.03	1.13	1.28	1.51	1.92	2.43	3.00	3.63	4.32	5.07	5.88	6.75	7.68	8.67	9.72	10.83
LL II	1.0	1.0	1.0	1.0	1.03	1.11	1.25	1.45	1.75	2.22	2.74	3.32	3.95	4.63	5.37	6.17	7.02	7.92	8.88	9.89
LM	1.0	1.04	1.08	1.15	1.26	1.42	1.62	1.88	2.20	2.58	3.00	3.63	4.32	5.07	5.88	6.75	7.68	8.67	9.72	10.83

LL I: legno lamellare cl. I

LL II: legno lamellare cl. II

LM: conifere cl. I-II



$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 0.289 \times b$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.289 \times h$$

5 LE CARATTERISTICHE.

Leggero, perché il suo peso specifico è inferiore ai 500 chilogrammi al metro cubo, contro, ad esempio, i 2.000-2.500 del cemento armato e i 7.800 dell'acciaio.

Resistente, perché l'efficienza prestazionale del *legno lamellare* ai fini strutturali ha qualità simili a quelle dell'acciaio. L'efficienza prestazionale può essere definita come il rapporto tra il modulo di elasticità E e un parametro di resistenza f (es. resistenza a compressione).

Materiale	E/f
<i>Calcestruzzo (Rck300, fck ≈ 25 Mpa)</i>	≈ 1250
<i>Acciaio Fe430 (ft = 430 Mpa)</i>	≈ 480
<i>Legno lamellare (BS 11 ÷ BS 18)</i>	≈ 470
<i>Alluminio (lega 7020, ft ≈ 355 Mpa)</i>	≈ 200

Economico, perché il suo ciclo di produzione ottimizza l'uso di una risorsa naturale di per sé povera, offrendo elementi altrimenti non utilizzabili in natura e limitati solo dalle dimensioni di trasporto.

Affidabile, perché l'intero processo produttivo segue una prassi normata e continuamente monitorata. Il risultato finale è un prodotto dalle prestazioni definite e certificate.

Innovativo, perché le tecniche di progettazione, lavorazione, assemblaggio e giunzione sono in continua evoluzione e offrono sempre nuove possibilità sia in termini di fattibilità che di contenimento dei costi.

Di aspetto gradevole, perché il materiale viene selezionato anche sotto l'aspetto estetico per essere presentato, in tutta la sua naturalezza, compatto e privo di difetti.

Curvabile, infatti, durante l'incollaggio le lamelle possono essere curvate con un raggio di curvatura minimo della trave che deve essere pari ad almeno 200 volte lo spessore della lamella stessa.

Di facile lavorabilità, perché tanto in stabilimento quanto in cantiere, può essere agevolmente forato, tagliato, fresato e piallato.

Assemblabile a secco: le connessioni della struttura in *legno lamellare* si realizzano quasi sempre a secco, migliorando affidabilità ed economicità della posa in opera, oltre a garantire la pulizia esecutiva e del cantiere.

Materiale naturale e risorsa rinnovabile: perché la coltivazione della materia prima (legno di abete e di larice) aiuta il nostro pianeta. Infatti, per uso industriale, il legname viene sottoposto a segagione prima dell'invecchiamento e sono proprio le piante giovani quelle che trasformano più anidride carbonica in ossigeno.

Basso contenuto di energia di produzione perché, a confronto con materiali metallici, plastici o cementizi, gli elementi strutturali in legno richiedono poca energia primaria per essere prodotti (assumendo come unità di misura le MJ/ton: il valore per le strutture in legno è 1, per il cemento armato 4, per i laterizi 6, per il vetro 24, per l'acciaio 60, per l'alluminio 250, per il titanio 800 e per le fibre composite 4.000).

Biodegradabile e riciclabile: nel ciclo completo di vita di una costruzione, lo smaltimento di una struttura in legno costituisce un onere minore rispetto ad altre tecnologie costruttive, se non addirittura una risorsa, laddove è possibile riutilizzarlo o riciclarlo in altre forme.

6 IL RISPETTO VERSO L'AMBIENTE.

Il rispetto dell'ambiente e, di conseguenza, la riduzione dell'impatto ambientale sono diventati temi che, negli ultimi decenni, hanno interessato via via tutte le attività dell'uomo, affinché le generazioni future possano godere dell'ambiente che ci circonda nello stesso modo in cui lo hanno fatto quelle passate. Dunque, anche l'architettura contribuisce a questo scopo mediante una progettazione orientata all'utilizzo di materiali e processi produttivi ecosostenibili e biocompatibili. Questo modo di fare architettura viene detto *bioarchitettura* o *bioedilizia*.

Tra i materiali che gli architetti utilizzano per fare bioarchitettura troviamo il legno, in particolare, oggi, il *legno lamellare*, proprio perché risponde pienamente alle richieste di questa nuova architettura.



6.1. Ecosostenibilità.

Si tratta di un processo che promuove lo sviluppo economico salvaguardando la salute dei singoli, della società e dell'ecosistema, senza sprecare risorse.

Utilizzare il legno come materiale da costruzione diviene una scelta naturale per una edilizia sostenibile.

Infatti i principi generali su cui essa si basa sono:

- l'**utilizzo di materiali rinnovabili**, traspiranti e gradevoli al tatto;
- la **riduzione del consumo di energia** in tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio: produzione trasporto, costruzione, esercizio, demolizione e smaltimento),
- la **minimizzazione dell'impatto su suolo, acqua ed aria** in tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio,
- rendere facili le rimozioni, sostituzioni o integrazioni.



6.2. Il Legno Lamellare nella Bioarchitettura.

Il *legno lamellare* pur essendo un prodotto trasformato rispetto al materiale di origine, viene considerato bio-compatibile perché le sue caratteristiche sono riconducibili a quelle del legno massiccio. L'unica incompatibilità è rappresentata dalle colle che comunque sono utilizzate in modesta quantità, e che ultimamente, grazie alla ricerca, sono state sostituiti da quelle a base di urea.

I prodotti a base legno, infatti, soddisfano pienamente i 4 principi della bioedilizia:

- ridurre l'impiego di energia in tutto il ciclo di vita della struttura;
- minimizzare l'inquinamento ambientale;
- ridurre il consumo di risorse non rinnovabili;
- minimizzare l'inquinamento dell'ambiente abitato e i possibili danni alla salute degli occupanti.

L'Istituto Nazionale di Bioarchitettura (INBAR) riconosce:

- il *legno lamellare* in edilizia come prodotto valido per tecnica di produzione, rispetto ambientale ed ecocompatibilità;
- che il *legno lamellare* offre caratteristiche di resistenza strutturale maggiori rispetto alla stessa quantità (mc) di legno massiccio;
- che le tecniche di produzione del *legno lamellare* privilegiano specie autoctone a rapido accrescimento;
- il progressivo superamento delle riserve un tempo esistenti su colle e vernici, grazie l'introduzione di nuovi prodotti.

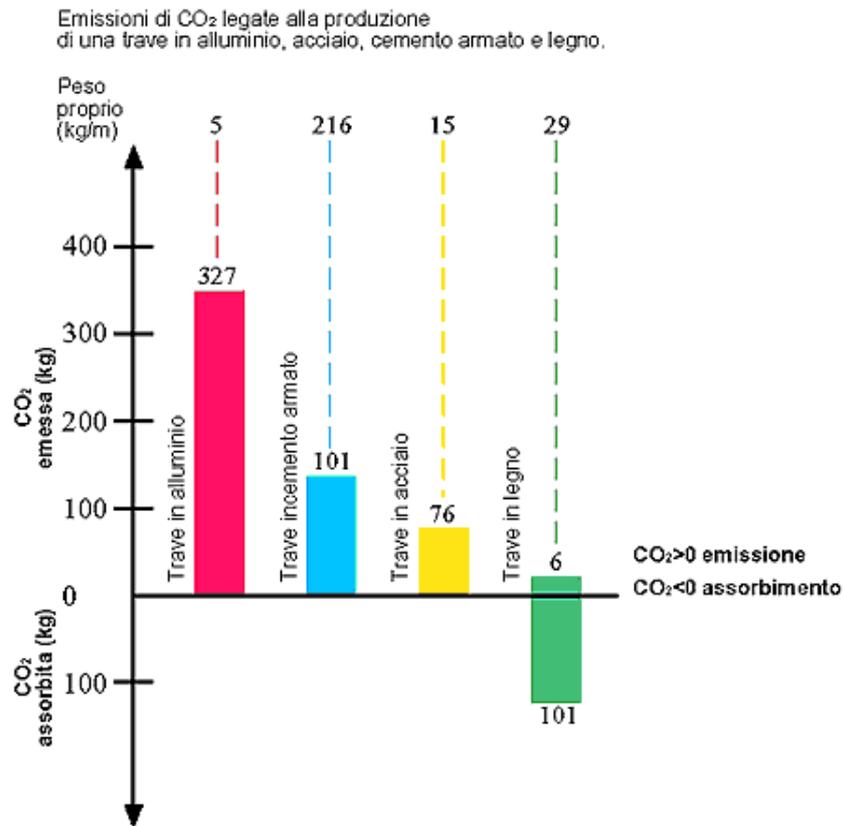
6.3. Un confronto a vantaggio del legno.

Materiale naturale e rinnovabile, trasformabile con bassi costi energetici, il legno è di gran lunga preferibile agli altri materiali da costruzione per l'edilizia, a tutto vantaggio per l'ambiente e per il risparmio energetico.

- E' ormai risaputo che la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera che nel 1900 era di 290 parti per milione, ai giorni nostri è arrivata a 360 parti per milione, superando le soglie di rischio per l'ambiente.

L'aumento dell'CO₂ nell'atmosfera legato alle diverse attività umane, è infatti responsabile al 50% dell'effetto serra.

Gli alberi con la loro crescita rilasciano ossigeno e assorbono grandi quantità di anidride carbonica. In un metro cubo di legname c'è la stessa quantità di CO₂ di un milione di metri cubi d'aria. Come sintetizzato nella figura sottostante il *legno è l'unico materiale per edilizia che assorbe anidride carbonica.*



- Secondo il ministero per l'ambiente francese, il fabbisogno energetico per il trasporto e la trasformazione del legname è di gran lunga inferiore a quello degli altri materiali, da 8 a 30KWh a metro cubo, contro i 150/200 necessari per produrre lo stesso volume di cemento, 500/600 dell'acciaio e gli 800KWh dell'alluminio.

Nella tabella di seguito sono riassunti i dati di raffronto dei consumi energetici necessari per produrre elementi prefabbricati con luce 20 m nei diversi materiali.

Consumo	Tipo di materiale
37 kWh/m ³	Trave bifalda in legno lamellare
33 kWh/m ³	Travi reticolari in legno lamellare con diagonali in legno massiccio
155 kWh/m ³	Travi reticolari in acciaio
62 kWh/m ³	Travi in C.A.P.

- Un altro aspetto da considerare è la caratteristica del materiale di essere rigenerabile e riciclabile. Contro il rischio della deforestazione i paesi

produttori di legname hanno già attivato azioni di rimboschimento: il legno utilizzato in edilizia non deriva da foreste secolari, bensì da piantagioni giovani e facilmente rinnovabili. Una struttura in legno, una volta dismessa, può essere recuperata integralmente e riutilizzata.

7 IL SUO UTILIZZO.

Dopo che negli ultimi decenni l'acciaio e il cemento armato sembravano averlo soppiantato definitivamente e relegato a poche residue nicchie di mercato, oggi l'impiego del legno come materiale da costruzione è tornato assolutamente realistico e di rinnovato interesse.

Il *legno lamellare* trova impiego in diverse applicazioni, dalla produzione di infissi, fino anche alla produzione di mobili, ma il settore che più di tutti lo ha utilizzato e che lo ha reso noto, apprezzato e in alcuni casi indispensabile, è l'edilizia, sia in nuove costruzioni che in interventi di restauro.

Nel primo caso l'uso del *legno lamellare* e quindi il ritorno all'uso del legno come materiale da costruzione, oltre che a motivi legati all'ambiente e all'ecologia, è legato a ragioni di ordine estetico, funzionale, ed economico. E' fuori dubbio che il legno piace. Piace alla vista perché il suo colore è mielato e le sue venature ci trasmettono sensazioni positive.

Nel secondo caso il *legno lamellare* offre la possibilità di ripristinare parti, ormai deteriorate dal tempo o dai parassiti, di edifici del passato senza alterare l'aspetto stesso dell'edificio e soprattutto con un apprezzabile risparmio di materia prima e risorse economiche.

7.1. L'uso nelle grandi luci.

Il bisogno di coprire luci sempre più grandi è uno dei motivi che hanno spinto l'uomo a ideare il *legno lamellare*. Grazie alla sovrapposizione delle lamelle, la luce libera di inflessione di una trave ha potuto raggiungere anche 30 – 40 m, cosa che era impensabile ottenere con il legno massiccio. Questa sua peculiarità, dunque, è stata sempre sfruttata in diverse tipologie edilizie, dove si è preferito utilizzare il legno piuttosto che altri materiali.

Qui di seguito vengono illustrati alcuni esempi applicativi.

• **Ponti e passerelle:**



Il ponte carrabile in lamellare più lungo del mondo realizzato sul fiume Glomma a Flisa in Norvegia: ha una lunghezza totale di 181,5 metri con trave centrale di 71.



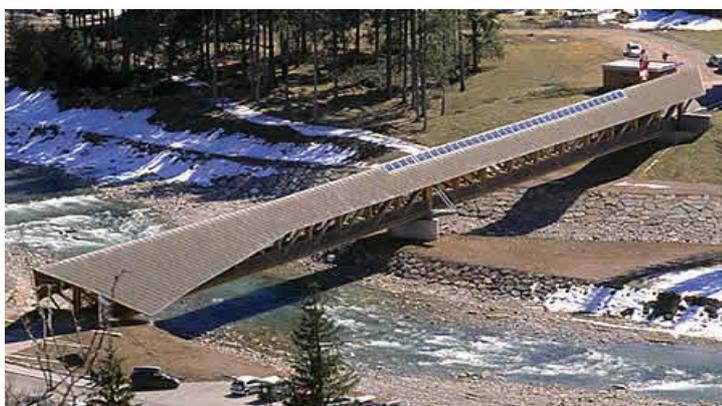
Ponte pedonale sul fiume Sile a Treviso:

Caratterizzato da una sagoma curva e realizzato interamente in legno lamellare largo circa 4 metri, il ponte ha una luce di circa 24 metri.



Ponte pedonale sul fiume Coghinas SS:

Lo sviluppo complessivo del ponte è di 74.20 mt con due appoggi intermedi costituiti da pile innalzate direttamente nel letto del fiume; le due campate laterali hanno una luce di 12 mt mentre la campata centrale copre una luce considerevole di 50.20 mt.



Passerella ciclope-donale sull'Avizio:

ha una lunghezza complessiva di circa 105 m, con un unico appoggio centrale, costituito da una pila in calcestruzzo armato presente al centro dell'alveo del fiume, che definisce una luce statica massima delle strutture portanti di 52 metri.

- **Sport:**



Palasport di Livorno:

La copertura a pianta circolare copre un'area di 9.294 mq è stata realizzata mediante una struttura a cupola tridimensionale in legno lamellare di 10.024 mq; la luce libera del corpo principale è di 109 mt per un'altezza massima di 3.33



Copertura del palazzo del ghiaccio di Merano:

La superficie coperta è di circa 4570 m² e la struttura ha un volume di quasi 35.800 m³. La distanza minima tra la quota del ghiaccio e l'intradosso della reticolare in legno lamellare è 12 m. Le gradinate hanno 2458 posti a sedere e c'è spazio per altri 400 posti in piedi.



Piscina olimpionica comunale a Cagliari:

L'orditura principale è realizzata con travi reticolari in legno lamellare ad andamento curvilineo.



Copertura di una tribuna:

costituita da travi a sbalzo con rastremazione e tirante inclinato.

- **Commercio e servizi polifunzionali**



Centro commerciale "le acciaierie" 8000 mq di innovazione:

La più grande copertura ad ombrello realizzata in Europa. La **cupola** del diametro di 43 metri è realizzata con archi in legno lamellare. Gli archi sono incernierati nella parte alta, verso il centro della cupola, su una **torre** centrale, alta 29 metri; mentre l'altro estremo è collegato ad una trave reticolare della lunghezza di circa 17.50 metri



Padiglioni Atrium Torino:

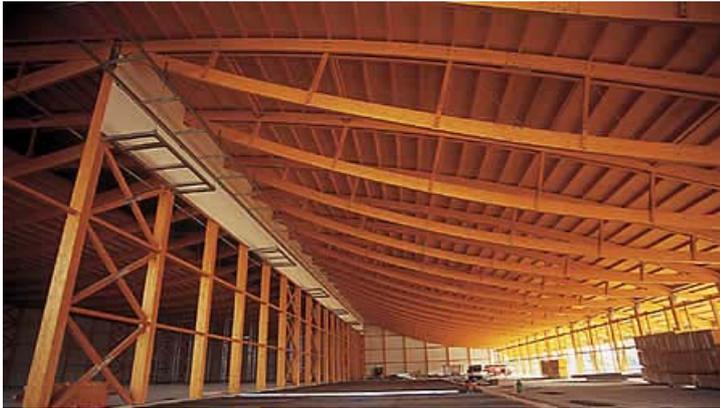
I due padiglioni, impostati su una superficie in pianta di 15,0x68,0 metri, sono caratterizzati da una coppia di archi in legno lamellare, che si elevano longitudinalmente con un'inclinazione di 29° rispetto alla verticale. Il raggio di curvatura è di circa 37 metri per cui, la convergenza dei due archi al centro del padiglione risulta impostata ad un'altezza di circa 13,80 metri da terra.



Funivia di Melcesine sul monte Baldo:

La struttura portante è composta da sei travi arcuate connesse a terra tramite cerniere sagomate e con quattro appoggi intermedi

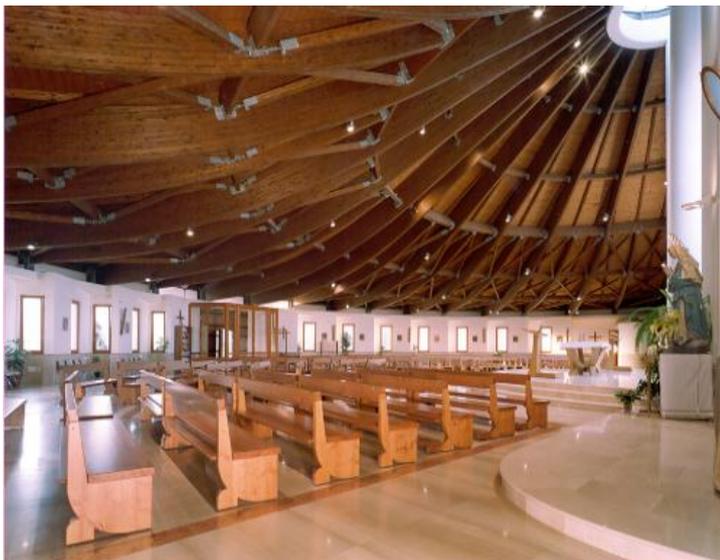
- **Industria e artigianato**

**Una industria di pollame:**

Costituito da un corpo principale, largo 84 metri e lungo 123, l'edificio è suddiviso in due campate, una con larghezza di 34 metri, destinata alle spedizioni, e l'altra che costituisce il vero e proprio magazzino frigorifero automatizzato, larga circa 50 metri. La superficie coperta complessiva del corpo di fabbrica è di circa 11.700 metri quadrati.

**Impianto industriale ad Oderzo:**

- **Culto**

**Chiesa di San Gerardo Corato (BA):**

Travi sagomate in semplicemente appoggiate.

7.2. L'uso nelle medie e piccole luci.

Se per le grandi luci l'uso del *legno lamellare* è obbligato per motivi pratici, quali i limiti dimensionali, statici e di forma della semplice struttura ricavata dal fusto di un albero, per le medie e piccole luci i motivi sono solo di carattere economico, ambientale, estetico e funzionale. Infatti date le discrete dimensioni, l'uso del legno massiccio non costituirebbe una limitazione ma una risorsa da non dissipare.

Di seguito vengono illustrate alcune applicazioni per luci medie e piccole:

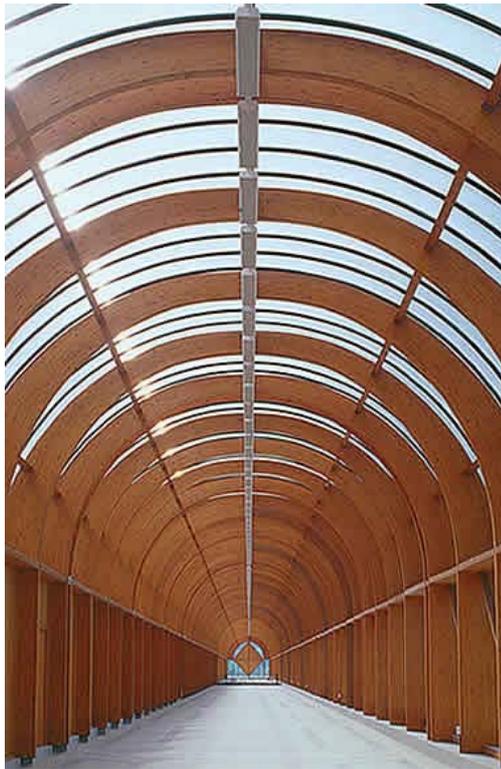
- **Uffici, scuole e ristoranti**



Ufficio amministrativo



Attività ricettiva Country INN



Università degli studi di Potenza



Pensilina



Ristorante



Gazebo di un impianto turistico

• **Civili abitazioni**

