

■ 6 Solai in legno

6.1 Caratteristiche delle strutture lignee

Particolare importanza, nei fabbricati monumentali in muratura, assumono gli orizzontamenti a struttura lignea.

Va precisato che i solai con struttura di travi in legno hanno una lunga durata nel tempo se il fabbricato stesso ed i solai sono stati realizzati ed hanno avuto la dovuta attenzione.

Rispondono ancora alla loro funzione statica solai con struttura lignea datati anche 400 anni o più, se sono stati adeguatamente conservati e mantenuti in ambiente ad umidità costante e riguardano dai parassiti. A dimostrazione di quanto detto, sia considerata la durezza dei paletti lignei infissi al di sotto delle murature per il costipamento dei terreni fondali dei fabbricati veneti, tenuti in ambiente permanentemente umido.

Le strutture lignee subiscono un degrado molto veloce se vengono bagnate ed asciugate frequentemente (infatti la parte delle imbarcazioni in legno che per prima tende a degradarsi è la linea del bagnasciuga), le fibre tendono a snervarsi per la continua dilatazione e contrazione a cui sono sottoposte, infatti anche una modesta variazione di umidità del 5% induce una dilatazione nelle fibre del legno pari al 10%).

Altri nemici del legno sono rappresentati dai parassiti, come tarme, ecc.

Le fessurazioni longitudinali e parallele al verso delle fibre, se non si presentano eccessivamente aperte ed in prossimità della mezzeria, non danno in genere preoccupazione. La trave va invece immediatamente sostituita, o adeguatamente rinforzata, se presenta anche lievi fessurazioni ortogonali alla sua lunghezza in mezzeria o anche delle importanti fessurazioni orizzontali in corrispondenza dell'asse neutro in prossimità degli appoggi.

Vanno anche considerate le eventuali eccessive deformazioni plastiche con l'abbassamento in mezzeria delle travi in legno, anche senza fessurazioni, per cui si dovrà procedere alla verifica del momento massimo a cui è sottoposta la trave. Tali calcoli, trattandosi di strutture isostatiche appoggiate-appoggiate, sono di facile verifica.

Il legno è stato adoperato sin dai tempi antichi per la realizzazione degli orizzontamenti strutturali delle costruzioni, sia per i solai piani che per le coperture a capriata.

Le costruzioni in epoca preromana erano dotate di solai e coperture in legno, infatti le parti dei reperti archeologici fuori terra sono quasi sempre prive di orizzontamenti, ad esempio i templi greci, ancorché recuperate le parti di fabbrica in materiale lapideo, sono tutti privi di copertura.

I solai dei fabbricati civili o anche monumentali, erano quasi tutti per i piani superiori, con struttura in legno a causa delle caratteristiche di resistenza e leggerezza del materiale adoperato fino a fine '800.

6.2 Caratteristiche chimico fisiche del legno

Il legno è costituito da fasci di fibre di emocellulosa per il 20÷30% e cellulosa, per il 40÷50% circa, la cui formula è $C_6 H_{10} O_5$ e possono essere assimilati a fasci di tubicini sottilissimi, detti tracheidi, aventi la funzione del trasporto delle sostanze nutritive della pianta. Le tracheidi sono in pratica come dei fasci di cannuccie. Le fibre di cellulosa ed emocellulosa sono saldate tra loro dalla lignina, una resina organica presente nel legno con percentuali variabili dal 20÷30% con formula $C_{22} H_{30} O_4 (C_{10} H_{12} O_3)_s$.

La densità del legno è il suo peso specifico, cioè la misura di riconoscimento, ed indica il rapporto tra la massa legnosa ed il suo volume, e viene misurata in Kg/mc.

La lignina ha una densità di circa 350 Kg/mc, mentre la cellulosa, che determina il peso specifico del legno, ha una densità di circa 1.450 Kg/mc ed è circa la stessa per tutti i legni, al contrario la sua presenza nelle varie essenze è molto diversa infatti il legno di balsa ha una densità di 80-160 Kg/mc, l'abete 550 Kg/mc; la quercia, 900 Kg/mc. Il diverso spessore delle pareti delle fibre di cellulosa determina il peso specifico del legno e la sua specifica proporzionale resistenza.

La cellulosa appartiene alla famiglia degli zuccheri ed è formata da molecole di glucosio e molecole di ossigeno e idrogeno che rappresentano le molecole più facilmente deperibili perché sono aggredite da muffe e funghi.

Come detto, fisicamente la struttura del legno è costituita da fasci di fibre di cellulosa con una disposizione longitudinale secondo la naturale direzione di crescita della pianta; tale insieme di caratteristiche conferisce al legno la sua notevole resistenza meccanica alla trazione assiale a rottura che è pari a ($W=10^4 J/m^2$), e per la quercia da 800 a 1200 Kg/cm² (a parità di peso abbiamo valori simili a quelli dell'acciaio dolce e dell'alluminio); dalla conformazione fisica del legno scaturisce la sua scarsa resistenza di sollecitazione al taglio pari ad 1/20 della resistenza a trazione, se considerato parallelo al senso longitudinale delle fibre di cellulosa, ed anche la ridotta resistenza a compressione, circa la metà di quelle a trazione, a causa delle singole fibre che sono facilmente indotte alla presso-flessione, mentre resta comunque elevato il valore di resistenza del legno alla torsione, poiché le molecole di cellulosa formano delle fibrille molto lunghe ed avvolte ad elica intorno all'asse delle cellule. Le fibre stesse del legno, poiché tendono a disunirsi e scorrere nel tempo tra di loro, determinano le fessurazioni longitudinali ed anche lo scorrimento viscoso, che causa la lenta e progressiva freccia di abbassamento delle travi in legno che si incurva progressivamente durante gli anni, anche con carico costante.

L'essenza lignea maggiormente adoperata per le strutture dei solai era la quercia sia per le sue intrinseche caratteristiche di resistenza a compressione e trazione sia per la sua caratteristica di resistenza al taglio secondo il suo asse longitudinale determinato dalla maggiore presenza di alcune fibrille disposte anche radialmente sul piano ortogonale all'asse longitudinale del tronco.

6.3 Cause del degrado

La causa degli scorrimenti viscosi del legno è determinata dagli ossidrili, composizione chimica formata dall'ossigeno più l'idrogeno, che essendo un materiale igroscopico tende ad assorbire l'acqua, infatti il legno tende al medesimo tasso di umidità dell'ambiente circostante, mentre all'origine l'albero da legname appena tagliato contiene circa il 50% di acqua, per il suo uso viene lasciato in ambiente areato dove, dopo la sua stagionatura ed essiccazione, perde l'umidità che discende spontaneamente al 15%. Il tasso di umidità nei legnami va tenuto costante e dovrebbe oscillare fra l'8% e il 15%, tale tasso di umidità non dovrebbe comunque mai superare il 18% poiché il legno, come detto risente in larga misura delle variazioni idrometriche con l'assorbimento delle molecole di acqua all'interno delle pareti cellulari causando un rigonfiamento relativo delle fibre con la sua conseguente snervatura; una variazione del tasso igrometrico del 5% determina variazioni di rigonfiamento del legno pari al 10% o anche attacchi biologici. Infatti se il tasso di umidità del legno supera il 18% si sviluppano colonie di funghi parassiti della cellulosa.

Il legno al massimo della sua capacità di assorbimento di acqua ha delle caratteristiche di resistenza pari ad un terzo di un legno con un tasso di umidità pari al 18%.

La stagionatura del legno viene di norma realizzata lasciandolo essiccare all'aperto, mentre per l'essiccazione industriale lo si stagiona a vapore in modo tale da ottenere una maggiore stabilità dimensionale. Le tavole in legno, durante l'essiccazione, tendono ad incurvarsi con il lato convesso volto verso il nucleo della pianta ed il lato concavo verso l'esterno, mentre conservano una forma più parallelepipeda se tagliate radialmente, il cui centro è il centro della pianta. Per tale motivo si rende necessaria la stagionatura del legno poiché se mantenuto in ambiente a tasso costante di umidità potrà conservare nel tempo le sue caratteristiche geometriche e dimensionali.

Come ricorda G. Rocchi (*Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali*, Hoepli) le principali patologie determinate da agenti biologici del legno quando il tasso di umidità supera il 12% sono:

- Carie secca, dovuta al fungo *Merulius lacrimans*, che produce veli simili alle ragnatele che trasportano l'infezione lungo i muri (che vanno sterilizzati con la fiamma) e che riduce il legno in polvere.
- Carie umida, dovuta alla *Cariophora cerebella* o fungo delle cantine, con formazione di spore, meno resistenti della carie secca.
- Insetti, coleotteri, curculionidi, ecc., che forano il legno e ne compromettono interamente la resistenza.

TAB. 6.1 Agenti patogeni del legno.

Specie di fungo	Legname normalmente attaccato	Luogo	Identificazione
Marciume secco <i>Merulius lacrimans</i>	Sia legni dolci che legni duri. Alcuni sono più resistenti di altri, ma l'alburno è il più vulnerabile	In luoghi umidi non aerati dove il contenuto di umidità del legname è superiore al 20% ma non è al grado di saturazione	Il legname affetto ha una colorazione rosso-brunstra; è di basso peso specifico e friabile. Si rompe comunemente nella vena e si spacca in blocchetti cubici
Marciume umido <i>Coniophora cerebella</i>	Sia legni dolci che legni duri	Di solito in luoghi dove si viene a creare grande umidità come vicino a condutture con perdite di acqua o grondaie, o dove vi è grande condensazione. Questo marciume è normalmente limitato all'area in cui esiste una eccessiva umidità	Il legno si scurisce sensibilmente e si rompe nel verso della vena. L'anima di un pezzo di legno è talora più intaccata della parte esterna.
<i>Poria vaillantii</i>	Normalmente legni dolci	Generalmente in luoghi molto umidi, come miniere umide	Aspetto simile a quello del marciume secco
<i>Poria xantha</i>	Legni dolci	Si trova frequentemente in serre riscaldate etc. dove l'aria è calda umida	Legname generalmente scurito e si rompe in senso trasversale della vena.

TAB.6.2 Prospetto dei principali alberi che somministrano legname da costruzione.

Denominazione	Peso/mc	Altezza Tronco ml	Altezza Albero ml	Diametro ml	Grossezza anelli in mm
Quercia	900	15	27	0,81	2,5
Castagno	700	14	24	0,72	2,5
Olmo	750	14	24	0,80	3,5
Noce	680	9	19	0,95	4,5
Faggio	720	14	24	0,76	3,0
Frassino	800	12	20	0,70	4,5
Pi2á	600	15	24	0,87	2,5
Abete	550	18	32	1,20	3,0
Larice	650	15	25	0,90	3,0
Cipresso	640	13	27	0,70	1,5
Pioppo	400	14	24	0,80	4,5
Ontano	650	14	25	0,75	3,0
Betulla	700	15	25	0,70	3,5
Carpino	760	5	12	0,54	2,5
Acerò	640	10	27	0,75	5,0
Platano	540	14	27	0,96	4,5
Tiglio	560	10	18	0,66	4,0
Salice	460	8	15	0,30	9,5
Robinia	780	6	12	0,49	3,0

TAB. 6.3 Pesì specifici e dati di resistenza ed elasticità dei legnami piú comuni.

	Peso specifico G/cm ⁴	Carico di rottura a compressione Kg/cm ^q	Carico di rottura a trazione Kg/cm ^q	Carico di rottura al taglio Kg/cm ^q	Modulo di elasticità E
Essenze forti					
Acero	0,5-0,8	350-450	800-1000	60-70	100.000
Bosso	0,9-1,0	500-600	900-1400	60-70	130.000
Carpino	0,7-0,9	500-600	800-1200	50-60	130.000
Castagno	0,6-0,7	450-550	800-1200	40-50	100.000
Faggio	0,7-0,8	450-550	900-1200	60-70	150.000
Frassino	0,7-0,8	450-450	900-1200	50-60	130.000
Noce	0,6-0,8	350-550	900-1200	50-60	120.000
Olivo	0,8-1,0	500-550	800-1200	50-60	140.000
Quercia	0,6-0,9	450-550	900-1200	70-80	130.000
Robinia	0,7-0,9	450-550	1000-1400	70-80	130.000
Teak	0,6-0,8	450-550	900-1200	50-60	120.000
Mogano	0,6-0,8	500-600	800-1200	50-60	110.000
Essenze dolci					
Betulla	0,6-0,7	300-400	600-800	40-60	130.000
Ontano	0,4-0,7	300-400	700-900	30-40	80.000
Pioppo	0,4-0,5	250-350	550-800	30-40	90.000
Salice	0,4-0,6	250-350	600-800	30-40	90.000
Tiglio	0,4-0,6	250-350	600-800	30-40	80.000
Essenze resinose					
Abete bianco	0,4-0,5	250-350	600-800	30-40	100.000
Abete rosso	0,4-0,6	300-400	650-900	30-40	100.000
Cipresso	0,5-0,7	350-450	700-1000	35-45	110.000
Larice	0,5-0,7	350-450	700-1000	35-45	120.000
Pino silvestre	0,5-0,7	300-450	800-1100	35-45	110.000
Abete Douglass	0,4-0,7	350-450	700-1000	30-40	100.000
Pitch pine	0,7-0,8	400-500	800-1100	35-45	110.000

I valori dei moduli elastici E sono ricavati da:

$$E = 9595 \cdot \sqrt{\sigma_{amm}} \quad \text{per le essenze non resinose}$$

$$E = 9090 \cdot \sqrt{\sigma_{amm}} \quad \text{per le essenze resinose}$$

Ad esempio per il legno di quercia avremo

$$E = 100.000 = 9595 \cdot \sqrt{350/3}$$

I valori delle σ ammissibili per legni **nuovi o in ottimo stato di conservazione** per la trazione assiale valgono circa 6/10 della σ a rottura, e per la compressione assiale circa 28/100 della σ a rottura;

$$\begin{aligned} \sigma_{amm} \text{ a trazione assiale} &= \sigma_r \text{ 60\%} \\ \sigma_{amm} \text{ a compressione assiale} &= \sigma_r \text{ 28\%} \\ \sigma_{amm} \text{ a flessione circa } &1/3 \text{ della } \sigma_r \text{ a trazione.} \end{aligned}$$

Per travi di solai di antica fattura assumeremo un valore della σ_{amm} e della τ_{amm} minore di 1/3 dei valori a rottura, della σ_{amm} relativa a legnami nuovi.

Per la flessione:

- per le essenze forti da 102 a 138 kg/cmq
- per le essenze dolci e resinose da 82 a 133 kg/cmq

Per la sola compressione:

- per le essenze forti da 92 a 128 kg/cmq
- per le essenze dolci e resinose da 77 a 122 kg/cmq

In pratica per i solai di antica fattura in quercia assumeremo una σ_{amm} a flessione massimo di 90÷100 Kg/cmq.

Mentre per i valori a taglio avremo:

- per le essenze forti da 12 a 20 kg/cmq
- per le essenze dolci e resinose da 10 a 15 kg/cmq

Per travi di solai di antica fattura assumeremo un valore della σ_{amm} a trazione o compressione massimo di 90÷100 Kg/cmq.

Il valore della σ_{amm} è variabile in funzione del coefficiente C determinato dall'altezza h della trave come dalla seguente tabella.

Tab 6.4 Coefficiente C determinato dall'altezza h (*).

h (cm)	C
< 15	1
15 ÷ 23	0,90
26	0,85
≥ 30	0,80

* B. Furiuzzi e AA.VV., *Prontuario per il calcolo di elementi strutturali*, Le Monnier, Firenze.

Le caratteristiche di deformabilità f_{max} delle travi devono essere verificate secondo la seguente tabella (6.5)

Tab. 6.5 Deformabilità fmax delle travi.

$f_{max} \leq \ell / 150$	per strutture a sbalzo, senza sovraccarichi mobili.
$f_{max} \leq \ell / 200$	per le strutture di copertura.
$f_{max} \leq \ell / 300$	per i solai, strutture a sbalzo, senza sovraccarichi mobili etc.
$f_{max} \leq \ell / 400$	per travi di solai su cui poggiano muri di tamponamento.

Per la determinazione della freccia massima in mezzeria in relazione alla luce delle travi ed al carico distribuito, adotteremo la seguente formula:

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \frac{q \ell^4}{EJ} = 0,001302 \frac{q \ell^4}{EJ} (*)$$

* f_{\max} in mezzeria si può ricavare dall'equazione differenziale della linea elastica

Il valore della freccia dovrà risultare minore o uguale agli abbassamenti della tabella 6.5.

6.4 Solai

Come afferma Aldo Aveta (*Materiali e tecniche tradizionali nel Napoletano. Note per il restauro architettonico*, Napoli, 1987), i solai sono strutture piane orizzontali che, fin dall'antichità, sono stati costruiti per coprire gli edifici e per realizzare all'interno di questi i livelli intermedi. La conoscenza delle loro caratteristiche costruttive e dello stato di conservazione rappresenta la fase preliminare del progetto di restauro; ogni intervento, pertanto, dovrà essere preceduto da indagini e saggi tendenti ad individuare la tipologia strutturale e le condizioni fisiche del solaio.

Dopo tale attenta fase di analisi si potranno definire le opere di restauro o la eventuale sostituzione degli elementi originari in legno fatiscenti con altri realizzati in materiali moderni, quali l'acciaio e il c.a.

6.5 Solai in legno

I solai in legno, frequentissimi prima della introduzione del ferro e del c.a. nelle costruzioni, non vengono ora più usati negli edifici delle nostre città.

Nel nostro paese l'adozione dei solai in legno ha un interesse limitato per la carenza di legname, per cui rimane circoscritta a casi di modeste costruzioni in muratura o per il restauro di fabbricati di interesse storico ed artistico.

L'esecuzione di un solaio ligneo può essere effettuata, molto semplicemente, disponendo di una serie di travi, "panconi", uno vicino all'altro, parallelamente alla campata più corta dell'ambiente, sostenendo direttamente "l'assito" di tavole.

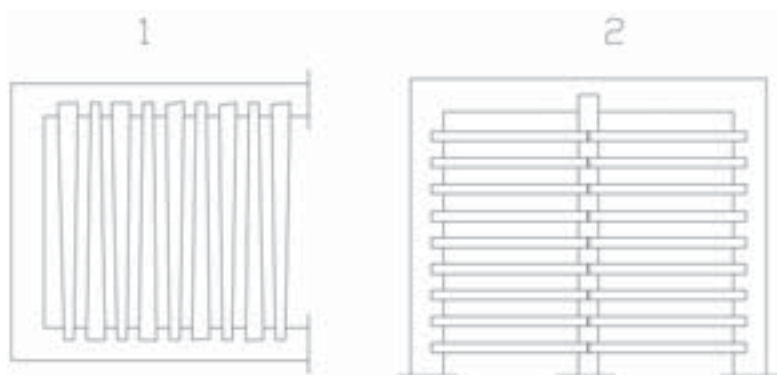


fig. 1