

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE

TESI DI LAUREA

In

ARCHITETTURA TECNICA I

Il degrado delle strutture in legno.

CANDIDATO

Gennaro Caputo

RELATORE:

Ing. Luca Venturi

Anno Accademico 2015/16

Sessione I

INDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUZIONE | 3 |
| | |
| 1. CAPITOLO I – Il legno: caratteristiche generali | 4 |
| 1.1 Le specie legnose | 4 |
| 1.2 La struttura del fusto | 7 |
| 1.3 Le caratteristiche fisiche | 9 |
| 1.4 Le caratteristiche meccaniche | 13 |
| 1.5 I difetti e le patologie | 17 |
| 1.5.1 Fibratura e fessure da ritiro | 17 |
| 1.5.2 Fusto | 19 |
| 1.5.3 Legno di reazione | 20 |
| 1.5.4 Nodi | 21 |
| 1.5.5 Cipollatura | 22 |
| | |
| 2. CAPITOLO II –Le cause del degrado | 23 |
| 2.1 Il degrado biotico | 23 |
| 2.1.1 Umidità | 24 |
| 2.1.2 Classi di rischio | 26 |
| 2.1.3 Muffe e funghi | 27 |
| 2.1.4 Insetti | 28 |
| 2.1.4.1 Coleotteri | 30 |
| 2.1.4.2 Isotteri | 31 |
| 2.2 Il degrado non biotico | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 3. CAPITOLO III – Protezione e preservazione | 34 |
| 3.1 La normativa | 34 |
| 3.2 Durabilità e durata | 34 |
| 3.3 Misure di protezione | 37 |
| 3.4 Trattamenti | 38 |
| 3.4.1 Trattamenti curativi | 41 |
| 3.4.2 Essiccazione | 42 |
| | |
| 4. CAPITOLO IV- Diagnostica delle strutture in opera | 44 |
| 4.1 Le condizioni preliminari | 44 |
| 4.2 L’analisi visiva | 45 |
| 4.2.1 Analisi dei difetti | 47 |
| 4.2.2 Analisi del degrado | 48 |
| 4.3 Le forature e i carotaggi | 48 |
| 4.4 La prova di carico | 50 |
| 4.5 Gli strumenti | 51 |
| 4.6 Casi studio | 52 |
| 4.6.1 Edificio plurifamiliare (Imola BO) | 52 |
| 4.6.2 Chiesa di San Giacomo Maggiore del Carmine (Imola BO) | 60 |
| | |
| CONCLUSIONI | 67 |
| BIBLIOGRAFIA | 68 |

Introduzione

Da sempre si è impiegato il legno nelle costruzioni sia sotto l'aspetto strutturale, sia per le finiture. Nel corso dei secoli l'utilizzo ha comunque subito impieghi altalenanti, dovuti più alle mode del momento che non al reperimento della materia prima, oppure ad una sua diminuzione per quel che riguarda le caratteristiche e le proprietà meccaniche.

Particolare cura deve essere posta alla messa in opera dei vari elementi lignei in quanto a parità di materiale e/o di esposizione questa influisce pesantemente sulla sua durabilità.

Risulta quindi fondamentale capire quali possono essere le problematiche legate alla conservazione in opera del materiale onde evitare deterioramento, ma soprattutto per aumentarne la durabilità nel tempo, eventualmente anche attraverso semplici metodi curativi e/o preservanti.

CAPITOLO PRIMO

1 Legno: caratteristiche generali

1.1 Le specie legnose

Tra tutte le specie legnose, quella più utilizzata ad uso strutturale è l'Abete rosso. Le ragioni di questo uso quasi esclusivo sono legate alla sua elevata reperibilità, nonché alla possibilità di certificarne il prodotto nei confini nazionali. Queste caratteristiche lo rendono più economico, oltre al fatto di essere facilmente lavorabile, poiché più "tenero" rispetto alle altre specie legnose (ad oggi i macchinari e gli utensili sono orientati quasi alla sua unica lavorazione).

Leggendo i trattati del passato, da quello di Vitruvio, si nota però che l'Abete non era affatto tra i più consigliati per usi strutturali preferendo altre specie quali Castagno, Olmo, Larice e Quercia.¹



Fig.1 Abete Rosso (www.e-wood.it)



Fig.2 Larice (www.e-wood.it)

¹ Il Larice di circa sessant'anni superiore all'Abete.

In Emilia-Romagna le specie maggiormente presenti nelle zone montuose sono l'Abete, il Castagno, il Faggio e il Larice. Nelle zone di pianura e collina troviamo il Frassino, il Pioppo, l'Olmo e la Quercia mentre sulla costa si trova il Pino.

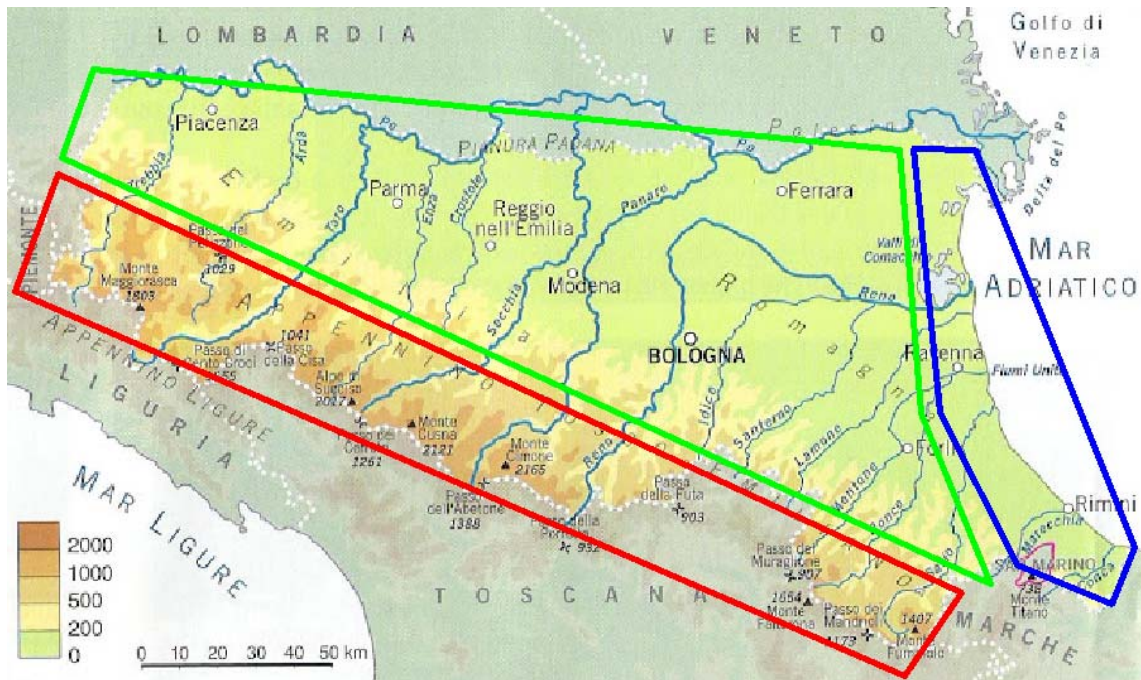

















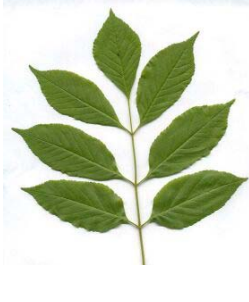



Fig.3 carta fisica dell'Emilia-Romagna

| | | |
|---|------------------------|---|
|  | <i>pianura collina</i> | <i>Frassino, Pioppo, Olmo e Quercia</i> |
|  | <i>montuosa</i> | <i>Abete, Castagno, Faggio e Larice</i> |
|  | <i>costiera</i> | <i>Pino</i> |

Tab.1 Distinzione specie legnose in base alla loro posizione nell' Emilia-Romagna

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| <i>Abete</i> | <i>Castagno</i> | <i>Faggio</i> | <i>Larice</i> |
|  |  |  |  |

Tab.2 Specie legnose caratteristiche delle zone montuose dell'Emilia-Romagna e dettaglio della foglia per la loro identificazione.

| | | | |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| <i>Frassino</i> | <i>Pioppo</i> | <i>Olmo</i> | <i>Quercia</i> |
|  |  |  |  |

Tab.3 Specie legnose caratteristiche delle zone di pianura e collina dell'Emilia-Romagna e dettaglio della foglia per la loro identificazione.

1.2 La struttura del fusto

Il fusto si suddivide sostanzialmente in tre parti che sono partendo dall'esterno sono: la corteccia, l'alburno e il durame. Più all'interno troviamo il midollo.

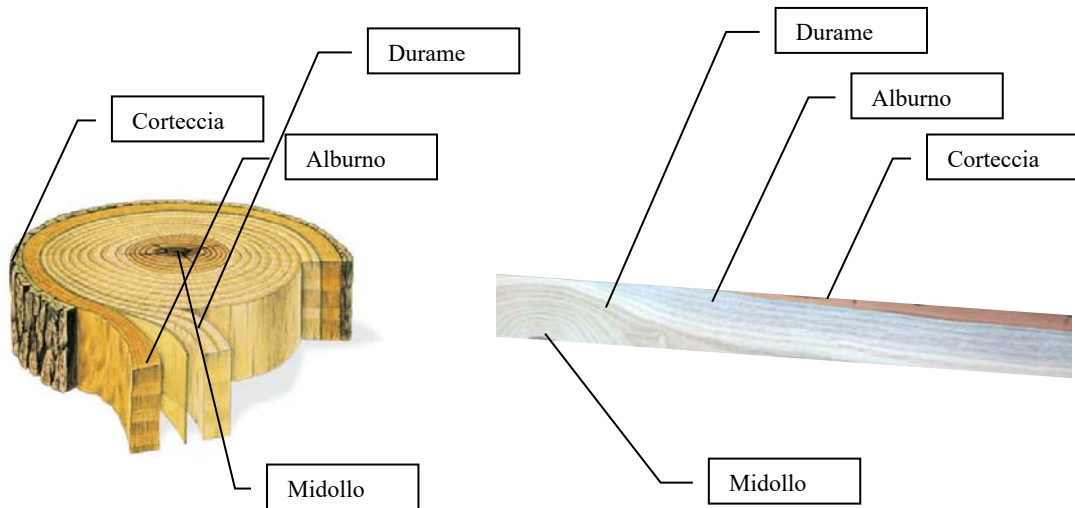


Fig.4 Struttura del fusto
(www.tecmatied.com)

Fig.5 Listello in legno di Abete nel quale sono ben visibili midollo, durame, alburno e corteccia. (fonte propria)

La corteccia esterna protegge il fusto e nella sua parte più interna scorrono le sostanze nutritive. È importante non mettere mai in opera legno con la corteccia, in quanto ostacola la fuoriuscita dell'acqua di costituzione ed è un forte richiamo per gli insetti. Le travi in opera con corteccia sono dunque un indice di trascuratezza.

Nella zona più esterna subito dopo la corteccia si trova l'alburno, di colore più chiaro che partecipa ancora attivamente alla vita dell'albero. Nella zona più interna si trova il durame di colore talvolta differente rispetto all'alburno che svolge solo funzione meccanica di sostegno. La differenza di colorazione tra alburno e durame può essere più o meno visibile ad occhio nudo a seconda della specie legnosa. Avremo quindi durame indifferenziato dove la differenza di colorazione tra alburno e durame non è ben visibile per le specie di Abete rosso, Abete bianco, Faggio, Acero, Tiglio e Frassino. Si parlerà

invece di durame obbligatoriamente differenziato dove la distinzione sarà ben visibile per le specie di Querce, Noce, Olmo, Pini, Larice, Cipresso, Cedri e Douglasia.

Bisogna prestare attenzione a zone denominate “falso durame” in cui la colorazione più scura non corrisponde alle proprietà del durame.

La formazione del durame avviene in modo diverso a seconda delle circostanze in cui l'albero si trova e a seconda della specie legnosa. Per questo motivo non si hanno spessori costanti di albarno e durame e comunque lo spessore di albarno aumenta verso la cima dell'albero.

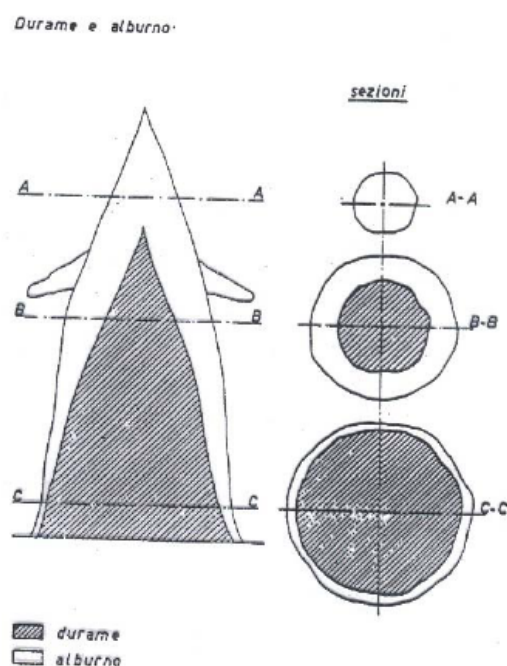


Fig.6 –Variazione dello spessore di albarno e durame a seconda della sezione del fusto (Roberto Zanuttini)

Risulta molto importante la distinzione tra albarno e durame.

Il durame presenta vantaggi, quali la maggiore durabilità naturale grazie a estrattivi detti “duramificanti” (fenoli, polifenoli, tannini) che lo rendono meno appetitoso agli insetti. Un altro parametro che lo rende più durabile è la sua maggiore permeabilità a gas e liquidi che gli permette una minore velocità di adeguamento alle variazioni di umidità circostanti.

Ci sono anche alcuni svantaggi del durame rispetto all'alburno, quali la scarsa attitudine all'incollaggio, la tendenza a corrodere metalli, macchiarsi o macchiare e una difficoltà a impregnarsi con prodotti preservanti.

1.3 Le caratteristiche fisiche

Ogni cellula che costituisce il legno ha forma fuseiforme (allungata) costituita a sua volta da un involucro a più strati.

La cavità all'interno detta *lume* contiene aria, acqua e estrattivi (riserva di sostanze nutritive prevalentemente amido). La parete è composta da lignina e cellulosa che conferiscono le proprietà di resistenza meccanica. La lignina è amorfa e conferisce resistenza a compressione, mentre la cellulosa a struttura fibrosa e cristallina conferisce resistenza a trazione (si può notare l'analogia con il cemento armato in cui il calcestruzzo assorbe sforzi di compressione e sono demandati all'acciaio gli sforzi di trazione).

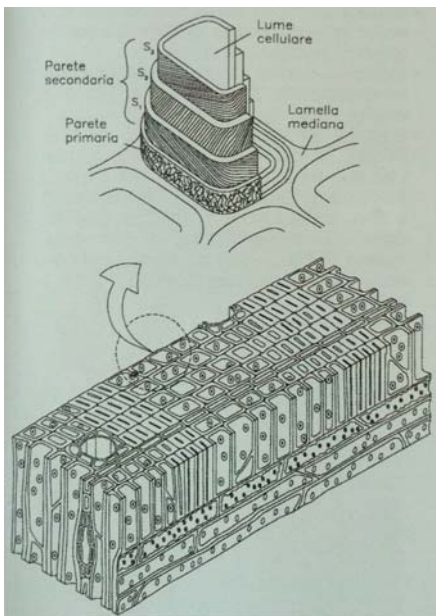


Fig.7 Organizzazione della parete cellulare (fonte il manuale del legno strutturale L.uzielli 2008)



Fig.8 Trave di Abete con cuore spaccato e midollo affiorante in cui si nota l'elevata porosità della specie (fonte propria)

L'albero, assimilabile ad un'asta incastrata alla base, deve sostenere in natura carichi quali peso proprio, neve e spinta laterale del vento. Per resistere a tali forze, la gran parte delle cellule è allineata secondo l'asse del fusto. La disposizione delle cellule caratterizza la resistenza alla sollecitazione anche a livello macroscopico, infatti il legno è un materiale ortotropo. La resistenza parallela alla fibratura risulta 10-15 volte maggiore rispetto a quella perpendicolare alla fibratura.

In base all'organizzazione cellulare si distinguono due grandi categorie. Le conifere (*softwoods resinose o agose*) e le latifoglie (*hardwoods*).

Le principali conifere utilizzate in Italia per uso strutturale sono l'Abete rosso e bianco, il Pino silvestre, il Larice, la Douglasia mentre per quanto riguarda le latifoglie troviamo il Castagno, la Rovere, la Farnia, il Gattice e il Pioppo bianco.

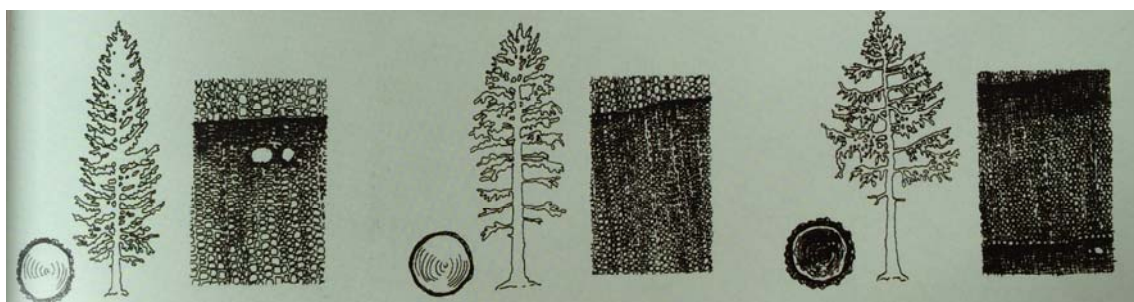


Fig.9 – Conifere: Abete rosso, abete bianco, Larice (fonte il manuale del legno strutturale op.cit.)

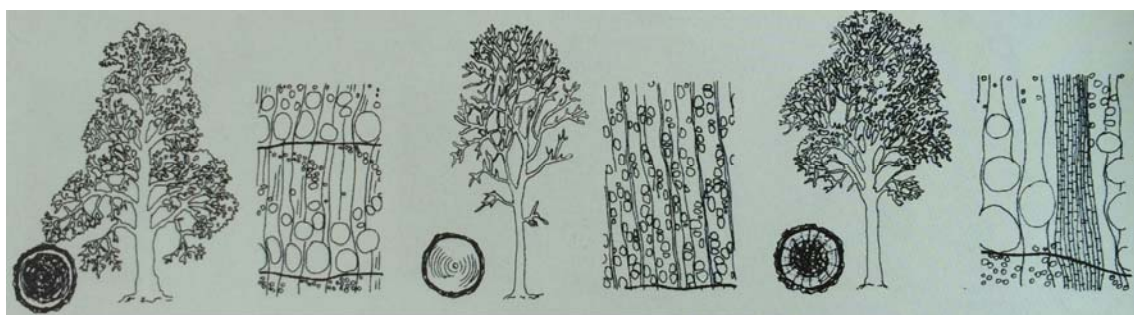


Fig.10 – Latifoglie: Castagno, Pioppo, Quercia caducifolia (fonte il manuale del legno strutturale op.cit.)

Le dimensioni delle cellule non sono costanti, ma sono influenzate dal susseguirsi delle stagioni. Con l'arrivo della primavera le cellule presentano una cavità maggiore e pareti sottili, nella stagione estiva la necessità di flusso di linfa si attenua con una conseguente riduzione della cavità, per poi arrestarsi del tutto in inverno con la formazione dell'anello di chiusura. Il susseguirsi degli anni provoca la formazione degli anelli di accrescimento tipici delle zone temperate, non visibili nei legni originari delle fasce tropicali dove l'attività vegetativa non subisce interruzioni.



Fig.11 – sequenza di anelli di accrescimento dal midollo alla corteccia, la parte tardiva più scura alternata a quella primaticcia più chiara e ampia (fonte il manuale del legno strutturale op.cit.)

L'albero vivo non svolge solo funzioni di sostegno meccanico, ma trasporta liquidi (linfa e acqua), questa affinità con l'acqua dà origine a un comportamento igroscopico del materiale, che lo caratterizza anche da stagionato ed in opera, tanto che tutte le proprietà fisico-meccaniche del materiale variano al variare dell'umidità presente.

Il passaggio da legno fresco (ricco di umidità 40-200%) a legno normale (umidità 12%) è accompagnato dal ritiro volumetrico β_v differente da specie a specie e a seconda delle direzioni (longitudinale, radiale e tangenziale).

| Specie legnosa | β_v % |
|-----------------------|-------------------------------|
| <i>Abete rosso</i> | 10,5 |
| <i>Abete bianco</i> | 11 |
| <i>Larice</i> | 12 |

| | |
|-----------------------|-------|
| <i>Pino silvestre</i> | 12 |
| <i>Castagno</i> | 11 |
| <i>Quercia</i> | 13-23 |

Tab.4-Ritiro volumetrico β_v delle principali specie legnose.

| | |
|-----------------------------|-----------|
| <i>Ritiro longitudinale</i> | 0,2 – 0,5 |
| <i>Ritiro radiale</i> | 3 – 6 |
| <i>Ritiro tangenziale</i> | 6 – 12 |

Tab.5-Variazioni di ritiro a seconda delle direzioni.

Il rapporto tra massa (m) e volume (V) si definisce massa volumica (oppure densità ρ). In genere l'umidità di riferimento per la misurazione della massa e del volume è del 12%.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{Kg/m}^3]$$

| | <i>Massa volumica ad umidità normale (g/cm³)</i> | | <i>Densità commerciale (Kg/m³)</i> |
|------------------|---|-------|---|
| | min. | max. | media |
| <i>Abete</i> | 0.31 | 0.619 | 440 |
| <i>Larice</i> | 0.38 | 0.93 | 650 |
| <i>Castagno</i> | 0.37 | 0.70 | 580 |
| <i>Faggio</i> | 0.52 | 0.93 | 730 |
| <i>Pioppo</i> | 0.26 | 0.52 | 340 |
| <i>Douglasia</i> | 0.44 | 0.60 | 500 |

Tab.6-Massa volumica ad umidità del 12 delle principali specie legnose.

I valori riportati in tabella si ritengono comunque valori medi indicativi in quanto vi è una variazione all'interno della stessa specie legnosa che può superare i venti punti percentuali. La massa volumica è un indice di compattezza del legno, che varia a causa

della differenza di porosità delle specie legnose. Si passa da specie molto porose e quindi leggere (100 Kg/m^3) a specie molto compatte e pesanti (1200 Kg/m^3).

La determinazione della massa volumica è importante perché collegata ad altre caratteristiche quali la durezza, la resistenza, il ritiro e la deformabilità.

1.4 Le caratteristiche meccaniche

Il legno per impiego strutturale viene considerato un materiale a comportamento fragile, in quanto condizionato dalla presenza di difetti (fessure, fibratura deviata, nodi, ecc.) dove si innesca la frattura iniziale che porta al cedimento e al collasso. Ne consegue che si considera un andamento elastico-lineare fino alla rottura del provino di legno strutturale a differenza di un provino di legno netto (privo di difetti) dove si evidenzia un comportamento di tipo duttile. È un materiale anisotropo infatti a seconda delle direzioni (longitudinali L, radiali R, tangenziali T) varia la sua resistenza.

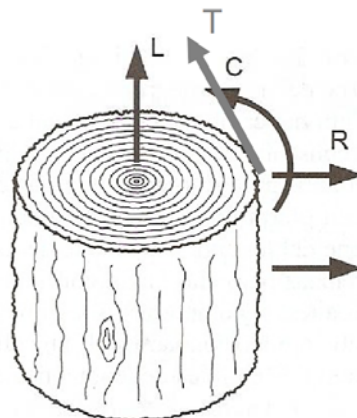


Fig.12 direzioni anatomiche principali.

| Moduli elastici E: | Coefficiente di Poisson |
|---|---------------------------|
| E assiale $7.5 - 15 \text{ KN/mm}^2$ | V radiale $0.38-0.34$ |
| E radiale $1/8 - 1/20$ di quella assiale | V tangenziale $0.44-0.48$ |
| E tangenziale $1/10 - 1/25$ di quella assiale | |

Coefficiente di dilatazione termica $\alpha_T = 5 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ (parallelo alle fibre)

Coefficiente di dilatazione termica $\alpha_T = 30\text{-}70 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ (ortogonale alle fibre)

Classi di resistenza del CNR 2006/2007 in accordo con la normativa europea UNI-EN 338.

| Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica | | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Resistenze [MPa] | | | | | | | | | | | | | |
| flessione | $f_{m,k}$ | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,k}$ | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 |
| trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,k}$ | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,k}$ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 |
| compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,k}$ | 2.0 | 2.2 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.1 | 3.2 |
| taglio | $f_{v,k}$ | 1.7 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.4 | 3.8 | 3.8 | 3.8 |
| Modulo elastico [GPa] | | | | | | | | | | | | | |
| modulo elastico medio parallelo alle fibre | $E_{0,mean}$ | 7 | 8 | 9 | 9.5 | 10 | 11 | 11.5 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | $E_{0,05}$ | 4.7 | 5.4 | 6.0 | 6.4 | 6.7 | 7.4 | 7.7 | 8.0 | 8.7 | 9.4 | 10.0 | 10.7 |
| modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | $E_{90,mean}$ | 0.23 | 0.27 | 0.30 | 0.32 | 0.33 | 0.37 | 0.38 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.50 | 0.53 |
| modulo di taglio medio | G_{mean} | 0.44 | 0.50 | 0.56 | 0.59 | 0.63 | 0.69 | 0.72 | 0.75 | 0.81 | 0.88 | 0.94 | 1.00 |
| Massa volumica [kg/m ³] | | | | | | | | | | | | | |
| massa volumica caratteristica | ρ_k | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 |
| massa volumica media | ρ_m | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 |

Tab.7 18-1 classi di resistenza secondo EN 338 per legno di conifere e pioppo.

| Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica | | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|
| Resistenze (MPa) | | | | | | | |
| flessione | $f_{m,k}$ | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,k}$ | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,k}$ | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,k}$ | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,k}$ | 8.0 | 8.4 | 8.8 | 9.7 | 10.5 | 13.5 |
| taglio | $f_{v,k}$ | 3.0 | 3.4 | 3.8 | 4.6 | 5.3 | 6.0 |
| Modulo elastico (GPa) | | | | | | | |
| modulo elastico medio parallelo alle fibre | $E_{0,mean}$ | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | $E_{0,05}$ | 8.0 | 8.7 | 9.4 | 11.8 | 14.3 | 16.8 |
| modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | $E_{90,mean}$ | 0.64 | 0.69 | 0.75 | 0.93 | 1.13 | 1.33 |
| modulo di taglio medio | G_{mean} | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.88 | 1.06 | 1.25 |
| Massa volumica (kg/m ³) | | | | | | | |
| massa volumica caratteristica | ρ_k | 530 | 560 | 590 | 650 | 700 | 900 |
| massa volumica media | ρ_m | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 |

Tab.8 18-2 classi di resistenza secondo EN 338 per legno di latifoglie (escluso pioppo)

| Proprietà | | Abete / Nord | | | Abete / Centro Sud | | | Larice / Nord | | | Douglasia / Italia | | Altre Conifere / Italia | | |
|---|---------------|-------------------------------|-----------|-----|--------------------|-----|-----|---------------|-----|------|--------------------|-------|-------------------------|------|------|
| | | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2 | S3 | S1 | S2/S3 | S1 | S2 | S3 |
| | | Flessione (5-percentile), MPa | $f_{m,k}$ | 29 | 23 | 17 | 32 | 28 | 21 | 42 | 32 | 26 | 40 | 23 | 33 |
| Trazione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{t,0,k}$ | 17 | 14 | 10 | 19 | 17 | 13 | 25 | 19 | 16 | 24 | 14 | 20 | 16 | 13 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{t,90,k}$ | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Compressione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{c,0,k}$ | 23 | 20 | 18 | 24 | 22 | 20 | 27 | 24 | 22 | 26 | 20 | 24 | 22 | 20 |
| Compressione perpendi-colare alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{c,90,k}$ | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2.6 | 2.6 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| Taglio (5-percentile), MPa | $f_{v,k}$ | 3.0 | 2.5 | 1.9 | 3.2 | 2.9 | 2.3 | 4.0 | 3.2 | 2.7 | 4.0 | 3.4 | 3.3 | 2.7 | 2.4 |
| Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio), MPa ($\times 10^3$) | $E_{0,mean}$ | 12 | 10.5 | 9.5 | 11 | 10 | 9.5 | 13 | 12 | 11.5 | 14 | 12.5 | 12.3 | 11.4 | 10.5 |
| Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile), MPa ($\times 10^3$) | $E_{0,05}$ | 8 | 7 | 6.4 | 7.4 | 6.7 | 6.4 | 8.7 | 8 | 7.7 | 9.4 | 8.4 | 8.2 | 7.6 | 7 |
| Modulo di elasticità perpen dicolare alla fibratura -(medio), MPa ($\times 10^2$) | $E_{90,mean}$ | 4 | 3.5 | 3.2 | 3.7 | 3.3 | 3.2 | 4.3 | 4 | 3.8 | 4.7 | 4.2 | 4.1 | 3.8 | 3.5 |
| Modulo di taglio (medio), MPa ($\times 10^2$) | G_{mean} | 7.5 | 6.6 | 5.9 | 6.9 | 6.3 | 5.9 | 8.1 | 7.5 | 7.2 | 8.8 | 7.8 | 7.7 | 7.1 | 6.6 |
| Massa volumica (5-percentile), kg/m^3 | r_k | 380 | 380 | 380 | 280 | 280 | 280 | 550 | 550 | 550 | 400 | 420 | 530 | 530 | 530 |
| Massa volumica (media), kg/m^3 | r_{mean} | 415 | 415 | 415 | 305 | 305 | 305 | 600 | 600 | 600 | 435 | 455 | 575 | 575 | 575 |

| Proprietà | | Castagno / Italia | Querce caducifoglie / Italia | Pioppo e Ontano / Italia | Altre Latifoglie / Italia |
|---|---------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | S | S | S | S |
| Flessione (5-percentile), MPa | $f_{m,k}$ | 28 | 42 | 26 | 27 |
| Trazione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{t,0,k}$ | 17 | 25 | 16 | 16 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{t,90,k}$ | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.5 |
| Compressione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{c,0,k}$ | 22 | 27 | 22 | 22 |
| Compressione perpendi-colare alla fibratura (5-percentile), MPa | $f_{c,90,k}$ | 3.8 | 5.7 | 3.2 | 3.9 |
| Taglio (5-percentile), MPa | $f_{v,k}$ | 2.0 | 4.0 | 2.7 | 2.0 |
| Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio), MPa ($\times 10^3$) | $E_{0,mean}$ | 11 | 12 | 8 | 11.5 |
| Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile), MPa ($\times 10^3$) | $E_{0,05}$ | 8 | 10.1 | 6.7 | 8.4 |
| Modulo di elasticità perpen dicolare alla fibratura -(medio), MPa ($\times 10^2$) | $E_{90,mean}$ | 7.3 | 800 | 5.3 | 7.7 |
| Modulo di taglio (medio), MPa ($\times 10^2$) | G_{mean} | 9.5 | 750 | 5 | 7.2 |
| Massa volumica (5-percentile), kg/m^3 | r_k | 465 | 760 | 420 | 515 |
| Massa volumica (media), kg/m^3 | r_{mean} | 550 | 825 | 460 | 560 |

Tab.9- 18-3 classi di resistenza secondo EN 11035 per specie legnose di provenienza italiana

Nei confronti del comportamento al fuoco, è possibile notare che il materiale, bruci con una carbonizzazione delle superfici di velocità pari a circa 0.5-0.7 mm/min. Questo porta alla riduzione della sezione resistente, ma non altera in modo significativo le resistenze del legno incombusto, che permette la tenuta della struttura durante un incendio. Ciò non si verifica per esempio in strutture in acciaio, le quali non bruciano ma in presenza di temperature elevate (350-500 °C incendi ordinari) presentano un rapido abbassamento delle resistenze che porta ad una notevole diminuzione della capacità portante.

Secondo la norma UNI 9504 la velocità di carbonizzazione per l'abete e il larice è di 0.7 mm/min. per ogni faccia esposta al fuoco. Ne consegue che per avere una resistenza al fuoco di 90' si calcola lo spessore del manufatto in legno che verrà bruciato in questo arco di tempo.

Es. per l'abete $mm. 0,7 \times \text{minuti } 90 = mm. 63$ di spessore.

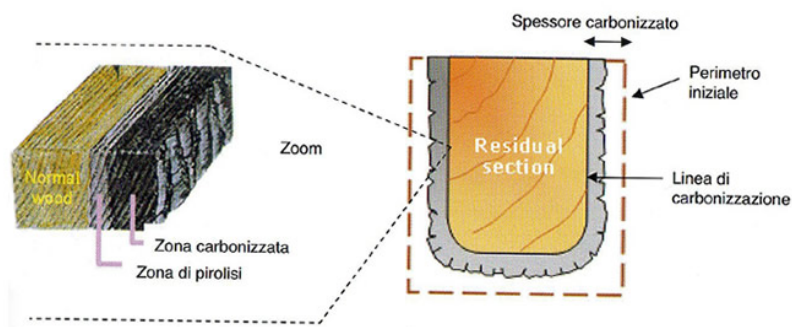


Fig.14 Carbonizzazione legno (legnolego.it)

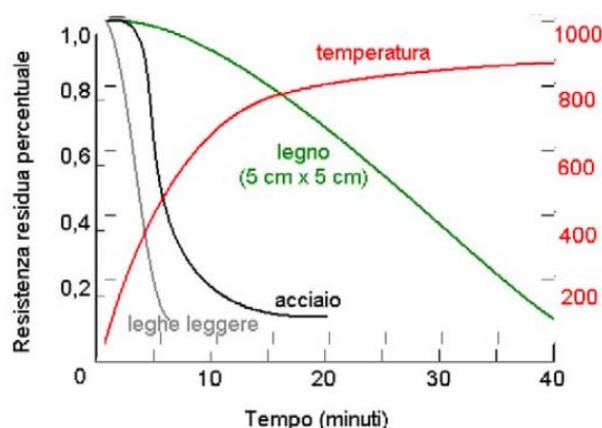


Fig.15 Confronto delle evoluzioni delle prestazioni meccaniche di alcuni materiali da costruzione esposti ad un incendio normalizzato (luav.it)

1.5 I difetti e patologie

La maggior parte dei “difetti del legno” sono di carattere naturale e quindi fisiologico, ma è necessario conoscerli e classificarli per stabilirne l’incidenza sulla resistenza a livello strutturale.

1.5.1 Fibratura e fessure da ritiro

Il termine *fessura* è in edilizia sintomo di una condizione di sofferenza e un segnale di possibili eventi negativi. Nel caso del legno tale fenomeno è da ritenersi del tutto fisiologico in seguito alla perdita di acqua (stagionatura).

La parola fessura da ritiro si riferisce al legno massiccio in quanto per il legno lamellare non sono ammesse.



Fig.16- Fessure da ritiro
(www.ingegneri.info)



Fig.17- Fessura da ritiro su una trave in opera
(www.ingegneri.info)

Le fessurazioni viste nella direzione radiale partono dal midollo e sono tanto maggiori quanto più ci allontaniamo da esso. A seconda della storia dell’albero (es. albero isolato ed esposto a vento) vi possono essere delle inclinazioni della fibratura rispetto all’asse, che risultano molto pericolose ai fini della stabilità strutturale. Maggiore è la deviazione della fibratura e quindi della fessura da ritiro minore sarà la resistenza meccanica dell’elemento.

Da qui si evince che sarebbe meglio comprare legno già stagionato e quindi con fessure già evidenti, anche se viene venduto quasi sempre “fresco” per minori costi dell’azienda produttrice (si evita di fare “magazzino-deposito”).

Senza dubbio travi con “cuore spaccato” (trave ricavata da metà tronco) e travi “fuori cuore” (assenza di midollo) permettono un più rapido allontanamento dell’acqua di costituzione e una minore formazione di spaccature a V (conseguenti dal ritiro in direzione radiale) che insorgono nelle travi con cuore.

Risulta però una minore resistenza per travi fuori cuore dove l’interruzione delle fibre crea una discontinuità che fa sì che già inclinazioni del 10% della fibratura siano sufficienti per innescare la rottura, a differenza delle travi con cuore che non si verifica discontinuità delle fibre e possono raggiungere inclinazioni del 20% (il doppio) prima di giungere a rottura. *Che il legno massiccio fessuri è fisiologico ma se so dove si forma la fessura e che inclinazione ha non la temo*.²

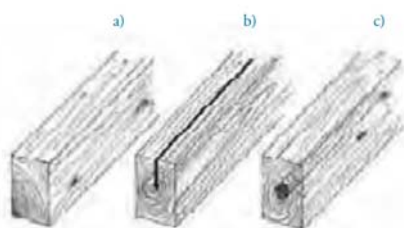


Fig.18- Espedienti per eliminare o attenuare le fessure da ritiro (a travi fuori cuore; b scanalatura longitudinale su metà sezione; c foro centrale lungo tutta la trave) (F.Laner)



Fig.19- Determinazione dell’angolo α in base al quale vengono attribuiti i coefficienti riduttori della resistenza.

² Le fessure nel legno massiccio: fisiologiche o patologiche (F.Laner)

1.5.2 Fusto

In genere un albero cresce in verticale con il fusto praticamente rettilineo, ma per vari motivi questo può crescere con curvature già alla base. Ad esempio la sciabolatura comune nel Castagno e nel Larice, fa' sì che gli elementi estratti da fusti sciabolati presentino deviazioni della fibratura e legno di reazione. In alberi sollecitati in modo asimmetrico si può verificare una sezione ovale del fusto. Gli elementi generati da sezioni ovali presentano legno di reazione e in genere un'eccentricità del midollo.

Una graduale rastremazione del fusto è inevitabile, ma nel caso questa sia eccessiva produce un'accentuata deviazione della fibratura (fenomeno che in genere si verifica nel Larice).

I fusti delle latifoglie sono più inclini alle biforcazioni. Il fusto della Quercia e del Castagno, in genere si biforca già a pochi metri da terra, in questo caso la fibratura assume un andamento molto irregolare che porta a un comportamento anomalo dell'elemento dal punto di vista meccanico.

Essendo il legno costituito prevalentemente da cellule morte, qualsiasi lesione che avviene nell'albero vivo viene cicatrizzata senza alcuna rigenerazione dei tessuti, ciò porta alla formazione di sacche o tasche di resina o di gomma che costituiscono di per sé un difetto abbastanza grave dal punto di vista strutturale. Le cause delle lesioni sono svariate: cause meccaniche (mezzi forestali, proiettili), cause biologiche (insetti, funghi), cretti da gelo (se la temperatura del bosco varia rapidamente), lesioni da fulmine.



Fig.20- Sezione trasversale con doppio midollo ed inclusione di corteccia (manuale del legno strutturale op.cit)

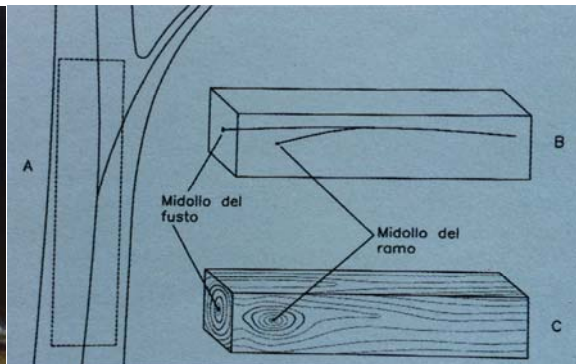


Fig.21- Schema della biforcazione dell'albero (manuale del legno strutturale op.cit.)

1.5.3 Legno di reazione

Si viene a formare legno di reazione negli alberi sollecitati asimmetricamente dalla forza di gravità (pendii e vento). Questo tessuto ritenuto anomalo è caratterizzato da un elevato ritiro 6-10 % rispetto al legno normale 0,1-0,5% inducendo tensioni interne tali da portare a deformazioni e persino a rottura delle travi che presentano tale difetto.

Nelle conifere il legno di reazione si presenta nella parte del fusto che per effetto della sollecitazione esterna è sottoposto a compressione e per questo motivo il legno anomalo viene chiamato legno di compressione.

Nelle latifoglie il legno di reazione si viene a formare nella parte del fusto sottoposta a trazione e per questo motivo il legno anomalo viene chiamato legno di trazione.

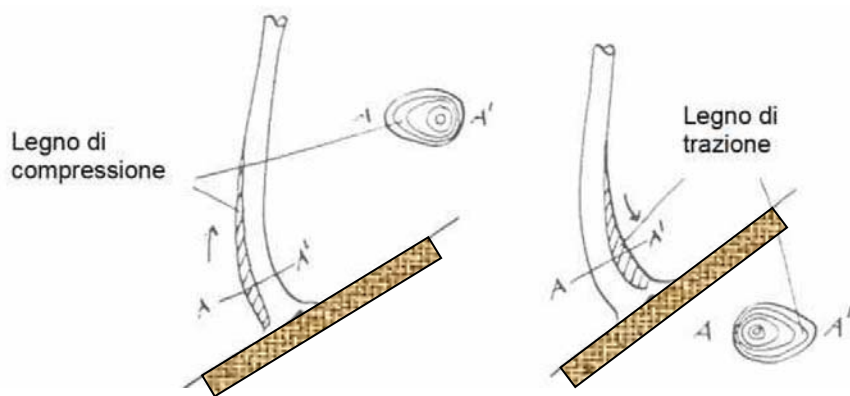


Fig.22- Legno di reazione di conifere (sinistra) e di latifoglie (destra)

1.5.4 Nodi

Si definiscono nodi le parti di rami rimaste inglobate nel fusto.

Si tratta di un difetto inevitabile che costituisce una delle principali cause di discontinuità del materiale. Dal punto di vista strutturale la presenza di nodi riduce la resistenza dei segati in quanto secondo le vigenti normative deve essere considerato come non collaborante e nella zona intorno al nodo vi è una forte inclinazione della fibratura. Le norme tecniche infatti prevedono metodi di misurazione e classificazione dei nodi in base al diametro, al numero e alla loro posizione per valutarne la riduzione di resistenza dell'elemento.

Gli elementi lignei provenienti da conifere sono ricchi di nodi di piccolo diametro a differenza delle latifoglie dove sono presenti meno nodi ma di elevato diametro.

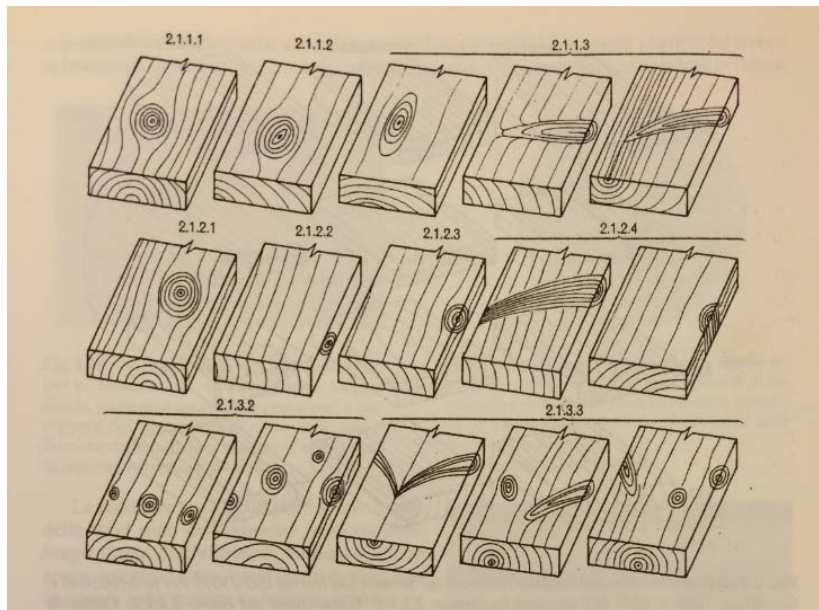


Fig.23 Indicazione schematica dei nodi (da Giordano 1981, UTET) Nodo rotondo, nodo allungato, nodo di faccia, nodo di bordo, nodi raggruppati (nido di nodi), nodi collegati (a chiave e a baffo).

1.5.5 Cipollatura

Per cipollatura si intende una discontinuità tangenziale del tessuto legnoso, per un tratto più o meno lungo del fusto come un distacco di due anelli di accrescimento contigui. La cipollatura è un grave difetto che riduce notevolmente la capacità portante dei segati.

La normativa che un tempo non ammetteva questo difetto, oggi prevede severi limiti di ammissibilità.

I casi che si verificano maggiormente sono o una cipollatura parziale (a mezza luna) oppure completa (ad anello). Per quanto riguarda le specie nostrane utilizzate nella costruzione si riscontra maggiormente nel Castagno e in misura minore nel Larice e l'Abete bianco.



Fig.24 Vari esempi di cipollature: cipollature concentriche, cipollatura completa, cipollature multiple ravvicinate, traccia di cipollatura su un elemento segato (il manuale del legno strutturale op.cit.)

CAPITOLO SECONDO

2 Le cause del degrado

2.1 Il degrado biotico

Il legno è sensibile agli attacchi di numerosi organismi viventi che possono trovare in esso un rifugio oppure direttamente o indirettamente il nutrimento per il loro ciclo vitale.

Il legno può essere considerato tra i materiali completamente biodegradabili. Questa caratteristica che risulta ottima in un'ottica ecologica risulta "sfavorevole" nel caso dell'impiego strutturale. Il degrado delle strutture lignee si sviluppa mediante l'azione di attacchi di diverso tipo, ognuno dei quali avviene solo in determinate condizioni.



Fig.25 – Trave molto degradata a causa della sua esposizione alle intemperie al punto da perdere completamente la sua funzione strutturale (Fonte propria)



Fig.26 – Solaio evidentemente degradato (www.gruppoburraco.it)

2.1.1 Umidità

Una delle principali cause del degrado del legno è l'acqua. Si può infatti parlare di sistema legno-acqua più che legno puro o anidro, inesistente in natura. Il legno appena abbattuto contiene un'elevata percentuale d'acqua e anche dopo stagionatura, grazie alla sua elevata igroscopicità, continua a scambiare acqua con l'ambiente in cui si trova (adsorbimento e desorbimento).

L'eurocodice 5 stabilisce che per un legno con un'umidità del 20% o inferiore non ci siano problemi di attacco biotico (percentuale che scende al 18% per elementi in legno che hanno già subito in passato attacchi biotici (funghi e insetti).

| Valori indicativi di umidità percentuale | Stato del legno |
|--|-------------------------------|
| 40/200 | Fresco (appena tagliato) |
| 30 | Saturo |
| <18 | Al sicuro da attacchi fungini |
| 12 | Normale (20°C 65%) |
| 0 | Anidro |

Tab.10 –Valori principali di umidità del legno a seconda del suo stato (fonte propria)

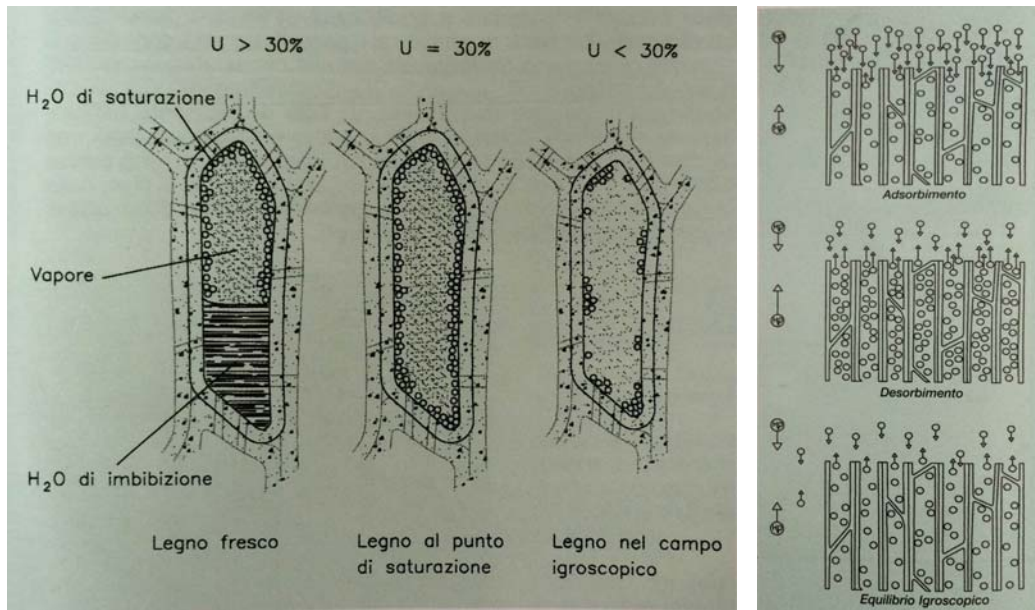


Fig.27 –Dinamica equilibrio igroscopico (fonte il manuale del legno strutturale op.cit.)

| Umidità relativa dell'aria % | Temperatura T | | | |
|---------------------------------|---------------|-----------|-------|-------|
| | 0 °C | 20 °C | 40 °C | 60 °C |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 30 | 6 | 6 | 6 | 5 |
| 50 | 10 | 9 | 9 | 7 |
| 65 | 13 | 12 | 11 | 10 |
| 80 | 17 | 16 | 15 | 14 |
| 90 | 22 | 21 | 19 | 17 |

Tab.11 –Umidità tendenziale di equilibrio igroscopico (fonte il manuale del legno strutturale op.cit.)

2.1.2 Classi di rischio

Il rischio di degrado di tipo biotico è direttamente proporzionale alla quantità di umidità contenuta nel legno, risulta pertanto importante dove questo è posizionato. In un manufatto ligneo vi possono essere differenze tra i singoli elementi a seconda se questi sono più o meno protetti, a contatto con l'acqua, con il terreno, con l'acqua marina. Per questo la norma UNI-EN 355 prevede cinque classi di rischio biotico (vedi tab.12).

| Classe di rischio | Descrizione | Umidità prevedibile | Esempi | Rischio biotico | |
|-------------------|--|--|------------------------|-----------------------|---------------|
| | | | | primario | secondario |
| 1 | Legno coperto (interni) | 12% o comunque minore del 20% | Legno tetti e solai | Insetti | |
| 2 | Con rischi di umidificazione | Occasionalmente sopra 20% | Legno nei tetti | Carie | Insetti muffe |
| 3 | Non a contatto con il terreno ma non coperto | Frequentemente sopra 20% ma protetto dal dilavamento | Finestre porte esterne | Carie | Insetti muffe |
| | | Non protetto dal dilavamento | Staccionate | Carie | Insetti muffe |
| 4 | Nel terreno o in acqua dolce | Permanentemente sopra 20% | Paleria | Carie | Insetti muffe |
| 5 | In mare | Permanentemente sopra 20% | Paleria | Organis. marini carie | |

Tab.12 classi di rischio biotico UNI-EN 355

Relativamente alla norma tecnica di attuazione del 2008 sono previste tre classi di servizio:

| | |
|-----------------------------|---|
| <i>Classe di servizio 1</i> | È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno. |
| <i>Classe di servizio 2</i> | È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un umidità relativa dell'aria circostante che superi l' 85%, solo poche settimane all'anno. |
| <i>Classe di servizio 3</i> | È caratterizzata da un'umidità più elevata della classe di servizio 2. |

Tab.13 classi di servizio NTC 2008

2.1.3 Muffe e funghi

La muffa non reca danno strutturale e basta rimuoverla con un trattamento antimuffa e una successiva spazzolatura. La stessa cosa si può dire per i funghi cromogeni (es bluettatura) che creano solo danni visivi e deprezzamento.

Invece i funghi della famiglia dei basiomiceti e dei ascomiceti detti più comunemente carie, demoliscono la cellulosa per poi nutrirsi. In questo caso il legno perde i suoi legami e quindi le sue caratteristiche meccaniche.¹

Strutture attaccate da funghi sono di fatto difficilmente sanabili e per questo si collocano al primo posto tra le più preoccupanti cause di degrado.

Gli attacchi più diffusi sono ad opera dei basiomiceti detti carie bruna e carie bianca. La differenza sostanziale tra le due sta nel fatto che la prima demolisce maggiormente la

¹ Basta pensare che una riduzione del 10% della massa corrisponde a una perdita di resistenza del 90%.

cellulosa lasciando la lignina pressoché intatta mentre la seconda attacca sia la cellulosa che la lignina sbriciolando il legno.

Con gli attacchi degli ascomiceti si ha la carie soffice tipica del legno immerso in acqua.



Fig.28 Fig.29 –Attacco fungino (fonte propria)

2.1.4 Insetti

Il degrado del legno da parte dell'azione fungina è in genere più grave di quello ad opera di insetti. Va però sottolineato che questi ultimi riescono ad attaccare anche il legno più stagionato.

Gli insetti recano danno scavando delle gallerie (principalmente le larve) lasciando *rosime* (polvere di legno ed escrementi). Risulta importante ai fini diagnostici valutare il diametro, il numero e la posizione dei fori anche se questi non sono direttamente collegati all'estensione delle gallerie.

Nella maggior parte dei casi attaccano solo l'alburno che contiene sostanze zuccherine di cui ne sono ghiotti. In genere non attaccano il durame, anche se si possono trovare tracce di attacchi nel caso di durame indifferenziato.

Il danno arrecato è maggiormente estetico in quanto un lieve attacco in genere non compromette la stabilità strutturale. È importante capire il tipo di specie per poter attuare i trattamenti durante la fase dello “*sfarfallamento*” (accoppiamento che varia da specie a specie).



Fig.30 –Attacco xilofago ai danni del solo alburno (il manuale del legno op.cit.)



Fig.31 –Attacco xilofago (fonte propria)

| Famiglia insetti | Preferenza legno | Condizioni ambientali | Forma e dimensione foro di sfarfallamento | Rosume | Gallerie |
|-------------------------|-------------------------|--|--|------------------|--|
| Anobidi | Conifera latifoglia | Secco | Circolare 1,5-3 mm | Polvere fine | In tutte le direzioni fino a 3mm di diametro |
| | Alburno talvolta durame | | | | |
| Cerambicidi | Conifera latifoglia | Legno in fase di stagionatura, appena stagionato | Circolare-ovale 3-10 mm | Polvere farinosa | Ovali fino a 13 mm di diametro |
| | Alburno talvolta durame | | | | |

| | | | | | |
|--------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| Bostrichidi | Latifolia | Legno fresco, appena stagionato | 2,5-7 mm | Polvere simile al talco | Circolari 1.6-10 mm di diametro |
| | Alburno | | | | |
| Lictidi | Latifolia | Legno appena stagionato | Circolare-ovale 0.8-2 mm | Polvere simile al talco | Circolari numerose e in tutte le direzioni |
| | Alburno | | | | |

Tab.14 Principali famiglie di insetti che causano il degradamento del legno in opera

2.1.4.1 Coleotteri

I coleotteri rappresentati da cerambicidi, lictidi e anobidi degradano il legno durante il loro stato di larva, questa si accresce fino a diventare un insetto perfetto e tenderà ad uscire verso l'esterno attraverso un foro (foro di sfarfallamento). È da tenere presente che il numero dei fori di sfarfallamento non è sempre in relazione alla gravità del degrado, in particolare quando l'insetto ha un lungo ciclo biologico ad un solo foro possono corrispondere gallerie di grande lunghezza.

Il *Capricorno delle case*, appartenente alla famiglia dei cerambicidi è una delle principali minacce per il legno di conifere. Questo coleottero attacca prevalentemente travi di carpenteria non più vecchie di 90 anni, perché non albergano nell'intestino batteri che digeriscano per lui la lignina. Ha bisogno, quindi, di trovare le sostanze azotate che gli permettano questa funzione nel legno stesso, sostanze che non sono più presenti nelle travi in opera dopo 90 anni.



Fig.32 Fig.33- Larva e insetto capricorno delle case (*Hilotrupes baiulus*) che attacca preferibilmente legno di conifera (www.arterestauro.it)



Fig.34 Fig.35- *Lyctus brunneus* e *Hesperophanes cinereus* che attaccano preferibilmente legno di latifoglia (www.naturamediterraneo.com)

2.1.4.2 Isotteri

Gli isotteri presenti in Italia sono la *termite sotterranea* (*Reticulitermes lucifugus*) e la *termite del legno secco* (*Kaloterмес flavicollis*).

Sono insetti sociali, con un'organizzazione complessa e distinta in caste ognuna delle quali con una specifica funzione.

La termite sotterranea è la più diffusa (in Italia isole, sud e centro sino a Liguria ed Emilia-Romagna con alcuni focolai in Lombardia). Queste termiti raggiungono il legno anche a notevoli altezze (duomo di Napoli 41 m di altezza). Le gallerie sono prive di rosime ma piene di detriti legnosi e terra compattate dalla saliva (legno di sostituzione). È di difficile identificazione in quanto non sono presenti fori di sfarfallamento sul legname e ci si accorge dell'attacco spesso quando ormai l'elemento ligneo risulta molto degradato.

Le colonie termiti sono composte da centinaia di migliaia di individui perciò il degrado è molto rapido. Per quanto riguarda la termite del legno secco è meno diffusa e meno dannosa e si può meglio identificare in quanto periodicamente espelle, mediante fori in superficie gli escrementi e gli individui morti.



Fig.36 -termite sotterranea (*Reticulitermes lucifugus*) (www.naturamediterraneo.com)

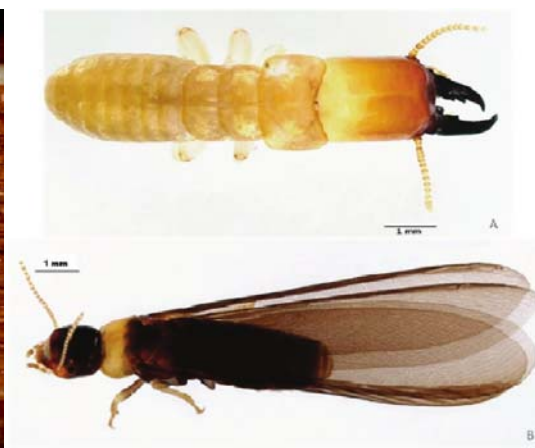


Fig.37 -termite del legno secco (*Kalotermes flavicollis*) (www.researchgate.net)

2.2 Degrado non biotico

Il legno grazie alla sua struttura presenta ottime caratteristiche di resistenza agli agenti chimico-fisici riscontrabili ordinariamente in natura, principali le radiazioni ultra violette, il fuoco e gli agenti chimici.

I raggi ultravioletti (U.V.) causano un'ossidazione fotochimica dello strato superficiale del legno, che questi provocano un iniziale ingiallimento o imbrunimento dei legni di colore chiaro o uno sbiancamento dei legni di colore scuro. In seguito il colore tende al bruno pallido per poi ingrigire. In assenza di ossigeno o in presenza di filtri anti-u.v. (es. vernice) le variazioni di colore sono quasi inesistenti. Il legno anche se esposto al sole per molto tempo e quindi "ingrigito" non perde per questo le sue proprietà meccaniche e

se lo incidiamo possiamo trovare già a pochi decimi di millimetro sotto il primo strato legno di colore naturale come appena segato.



Fig.38 pochi decimi di mm al di sotto del legno ingrigito compare il colore naturale (il manuale del legno strutturale)

Relativamente al fattore temperatura è da sapere che ogni specie legnosa è in grado di mantenere nel tempo temperature superiori agli 80-100 gradi senza indurre alterazioni apprezzabili.

Infine, relativamente agli agenti chimici è possibile affermare che il legno non risente in modo particolare dell'azione degli inquinanti presenti nell'aria e nelle acque meteoriche. La buona stabilità chimica lo rende capace di resistere a molti sali, solventi organici e soluzioni acquose acide o alcaline, è in oltre manifestata, indipendentemente dalla specie legnosa una insensibilità quasi totale alle deiezioni organiche, come testimoniano le antiche strutture lignee esposte da secoli al guano dei piccioni.

CAPITOLO TERZO

3 Protezione e preservazione

3.1 La normativa

Il CEN (comitato europeo di normazione) ha messo a punto numerosi documenti correlati, poi concepiti a livello nazionale dall' UNI e in particolare dalle NTC (norme tecniche per le costruzioni), che i progettisti delle strutture in legno devono conoscere. Le principali norme a livello nazionale sono la norma UNI-EN 1995-1-1 "Regole di progettazione e verifica delle strutture di legno la quale afferma *"il legno e i materiali di legno devono avere una durabilità naturale (definita dalla norma EN 350-2) adeguata alla specifica classe di utilizzo (definita nelle EN 335-1, 335-2 e 335-3) o in alternativa devono essere soggetti a un trattamento preservante scelto in conformità alle EN 351-1 e EN 460.*

3.2 Durabilità e durata

"In relazione alla classe di servizio della struttura e alle condizioni di carico, dovrà essere predisposto in sede progettuale un programma delle operazioni di manutenzione e di controllo da effettuarsi durante l'esercizio della struttura".¹

La durabilità si può suddividere in due categorie: durabilità naturale e conferita.

La durabilità naturale è una proprietà intrinseca della specie legnosa che grazie alla presenza di estrattivi nel durame è in grado di proteggere il materiale dagli attacchi biotici.

Si parla di durabilità conferita quando l'uomo mediante l'applicazione di trattamenti preservanti prolunga la durata dell'elemento ligneo.

¹ (NTC 2008 4.4.13)

La durata di un'opera lignea è in funzione della durabilità (naturale e/o conferita) ma anche dalle caratteristiche del manufatto ligneo e delle condizioni di servizio in cui si trova il singolo elemento strutturale.



Fig.38 – Heddal stavkirke (XII secolo) situata vicino ad Oslo è la più grande chiesa della Norvegia in legno



Fig.39 - Sarcofago di Butehamon in legno decorato (1076-722 a.C.) (museo egizio di Torino)

Può quindi nascere la problematica del come gestire la durata di un'opera in legno.

È pensabile operare per fasi rappresentate da:

- Progettazione: stimare la classe di rischio a cui sarà sottoposto il legno, selezionare la durabilità appropriata (naturale o conferita), adottare accorgimenti tecnici (dettagli costruttivi) e specifiche misure di controllo.
- Collaudo: facendo riferimento alle norme e ai capitolati.
- Esecuzione: fare attenzione allo stoccaggio in cantiere
- Esercizio: eseguire i monitoraggi e la manutenzione con adeguata frequenza.

E di conseguenza definire classi di durabilità in funzione dell'età dell'elemento esposto (vedi tab.15) ma anche in funzione delle diverse specie legnose (vedi tab.16)

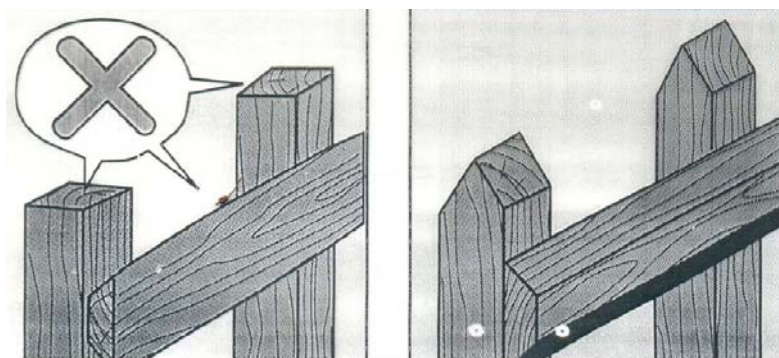


Fig.40 precauzioni progettuali per prevenire il ristagno di acqua (Roberto Zanuttini)

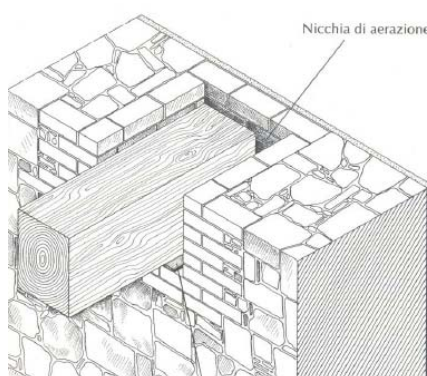


Fig.41- Schema di una trave lignea innestata nel muro con l'intercapedine necessaria al passaggio di aria (Roberto Zanuttini)



Fig.42- Testa di una trave innestata nel muro con l'intercapedine necessaria al passaggio di aria e protetta da uno strato di sughero. (P.M.V.C.)

| Classe di durabilità | Definizione | Vita media nel terreno (anni) |
|----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 | Molto durabile | >25 |
| 2 | Durabile | 15-25 |
| 3 | Moderatamente durabile | 10-15 |
| 4 | Poco durabile | 5-10 |
| 5 | Non durabile | <5 |

Tab.15- Classi di durabilità naturale del legno nei confronti dei funghi ignivori (basidiomiceti) UNI-EN 350-1

| Specie legnosa | Resistenza | Principale uso | Durabilità anni |
|-----------------------|-------------------|--|------------------------|
| Abete | 4 | Struttura e strati interni | 5-15 |
| Douglas | 3-4 | Struttura, strati interni e rivestimenti | 15-25 |
| Larice | 2 | Struttura e rivestimento esterno | 20-30 |
| Pino silvestre | 3-4 | Struttura, strati interni e rivestimenti | 5-15 |
| Rovere | 2 | Rivestimento esterno | 30-50 |

Tab.16- Specie lignee, classi di durabilità UNI-EN 350-2

3.3 Misure di protezione

Una delle principali misure di protezione è il controllo dell'umidità. Infatti in un elemento ligneo tenuto ad umidità costantemente inferiore al 20% non si ha la formazione di funghi. Per farlo bisogna considerare tutti i possibili casi di apporto di umidità al legno, come lo stato di stagionatura al momento della messa in opera, prevenire infiltrazioni di acqua piovana e la progettazione ed esecuzione di dettagli costruttivi in modo da evitare l'ingresso e/o il ristagno di acqua (vedi fig.40).

È indispensabile favorire lo smaltimento dell'acqua piovana, aerare le testate delle travi, ventilare i sottotetti, prevedere scossaline e altre protezioni per le parti a contatto diretto con gli agenti atmosferici.

Per quanto riguarda la protezione contro gli insetti, anche una semplice rete a maglia sottile nei punti di apertura per l'aerazione, può risultare un efficace barriera al loro passaggio.

3.4 Trattamenti

I trattamenti si suddividono in due categorie a seconda dello scopo per il quale vengono impiegati. Si definiscono trattamenti curativi se volti a bloccare un attacco in corso con l'eliminazione di tutti gli organismi infestanti presenti. Si chiamano trattamenti preservanti quelli con lo scopo di prevenire un ipotetico attacco futuro.

Sono miscele di biocidi in grado di uccidere funghi ignivori e/o insetti xilofagi e sono considerati “*presidi medico-chirurgici*” sottoposti alla regolamentazione del Ministero della Sanità. Più o meno nocivi a seconda del principio attivo e delle dosi possono risultare pericolosi per l'operatore durante il trattamento, specialmente se impiegati con mezzi artigianali, in quanto generano una specie di nube tossica che svanisce col tempo a seconda del trattamento utilizzato.

Ad oggi i trattamenti sono classificati e definiti dalla norma UNI-EN 351-1: 1998.

| Classe di rischio | Umidità | Rischio biotico | Obbiettivo | Zona da proteggere | Intervento |
|---|---------------|-----------------|-------------|--------------------|--|
| <i>1 legno al coperto ben ventilato e non a contatto con il terreno</i> | Sotto al 20% | Insetti | Prevenzione | Alburno | Specie legnosa Applicaz. superf. Applicaz. profondità. |
| | | | | Durame | Specie legnosa App. superficiale |
| | | | Cura | Alburno | Tratt. curativi App. profondità |
| | | | | Durame | Tratt. curativi Lotta biologica |
| <i>2 legno con rischio di umidità</i> | Supera il 20% | Insetti | Prevenzione | Alburno | Cont. umidità legno App. profondità |
| | | | | Durame | Specie legnosa Cont. umidità legno |
| | | | Cura | Alburno | App. profondità Cont. umidità legno |
| | | | | Durame | Cont. umidità legno |

| | | | | | |
|--|--|--------|-------------|---------|--|
| | | | | | |
| | | Funghi | Prevenzione | Alburno | Specie legnosa App. superficiale App. profondità |
| | | | | Durame | Specie legnosa App. superficiale |
| | | | Cura | Alburno | App. profondità Tratt. curativi |
| | | | | Durame | Tratt. curativi Lotta biologica |

Tab.17- Misure di prevenzione e cura a seconda dell'attacco.

Vi possono poi essere i trattamenti superficiali che avvengono mediante l'utilizzo di utensili relativamente semplici e non richiedono una particolare esperienza dell'operatore. Tra le principali tecniche troviamo le applicazioni a pennello, a spruzzo e a spazzola. Con questi metodi il legno viene rivestito da uno strato protettivo che dovrà essere ripristinato ogni volta che viene interrotto, ad esempio per lavorazioni successive o in caso di fessurazioni da ritiro. È utilizzato prevalentemente a scopo preventivo perchè agisce solo in superficie.



I metodi di impregnazione più utilizzati sono in autoclave (a cellula piena, a cellula vuota, vac-vac) ma sono impraticabili per elementi in opera.

Una tecnica utilizzabile in opera consiste in delle iniezioni in cui il preservante viene iniettato in profondità mediante pressione. Risulta molto efficace nell'alburno dove riesce a penetrare con più facilità rispetto al durame.

Per ottenere una migliore efficacia, le iniezioni devono avere una distanza massima tra i fori non maggiore di una decina di centimetri.



Fig.43- Trattamento in autoclave (isve produzione macchinari per trattamento legno)

| Classe di impregnabilità | Descrizione | Comportamento all'impregnazione |
|--------------------------|----------------------------|---|
| 1 | Impregnabile | Facile da impregnare, i segati possono essere penetrati completamente senza difficoltà mediante trattamento a pressione. |
| 2 | Moderatamente impregnabile | Abbastanza facile da impregnare, normalmente non è possibile una penetrazione completa, ma con un trattamento a pressione di 2-3 ore si può raggiungere una penetrazione laterale di 6 mm nelle conifere e un'alta percentuale dei vasi delle latifoglie. |
| 3 | Poco | Difficile da impregnare, un trattamento a pressione |

| | | |
|---|------------------|--|
| | impregnabile | da 3-4 ore permette al più una penetrazione laterale compresa fra 3-6mm. |
| 4 | Non impregnabile | Virtualmente impossibile da impregnare, scarsa quantità di preservante assorbito anche dopo 3-4 ore di impregnazione a pressione, la penetrazione laterale e longitudinale è minima. |

Tab.18 classificazione impregnabilità EN 350-2

| Specie legnosa | Classe di impregnabilità | |
|----------------|--------------------------|--------|
| | Alburno | Durame |
| Abete bianco | 4 | 4 |
| Abete rosso | 4 | 4 |
| Douglasia | 2-3 | 3 |
| Larice | 2 | 3 |
| Castagno | 2 | 4 |
| Faggio | 1 | 1 |
| Pioppo | 1 | 2 |
| Rovere | 1 | 4 |

Tab.19 Impregnabilità legni.

3.4.1 Trattamenti curativi

Per le gravi infestazioni di insetti xilofagi in genere si ricorre ad un'atmosfera tossica di gas velenosi come il bromuro di metile in modo da eliminare ogni organismo presente nel legno, facendo anche attenzione alle modalità di posa in opera in quanto la maggior parte dei gas sono da considerarsi pericolosi anche per l'uomo.

Un altro metodo è quello di tenere il materiale in atmosfera priva di ossigeno (azoto o anidride carbonica). Eliminare gli insetti per asfissia ci permette di non utilizzare gas tossici, ma risulta difficoltoso mantenere i livelli di ossigeno bassi nel tempo.



Fig.44 Fig.45-Possibili trattamenti curativi. Atmosfera priva di ossigeno (www.ipest.it)



*Fig.46- Possibili trattamenti curativi.
Trattamento a microonde dei tarli
(www.novaprima.com)*



*Fig.47- Possibili trattamenti curativi.
Trattamento con riscaldamento focalizzato
dei tarli (www.ipest.it)*

3.4.2 Essiccazione

L'essiccazione è una fase fondamentale di trasformazione della materia prima in esame poiché il legno allo stato fresco (detto verde) non è direttamente utilizzabile.

Consiste nell'eliminare parte dell'acqua contenuta nel legno fino a raggiungere la cosiddetta umidità di impiego. Può avvenire sostanzialmente in due modi: per stagionatura naturale oppure per essiccazione artificiale.

La stagionatura naturale è molto difficile da attuare in quanto si stagiona grossomodo un centimetro l'anno partendo dalla superficie esterna dell'elemento.

L'essiccazione artificiale operata in apposite celle raggiunge ottimi risultati già in pochi giorni e consente l'eliminazione di eventuali organismi xilofagi presenti. Rispetto alla naturale quella artificiale riduce i volumi di scarto, nonché i tempi di stoccaggio.



Fig.48 essiccatoi artificiali per legno (www.baschild.com)

CAPITOLO QUARTO

4 La diagnostica delle strutture in opera

4.1 Le condizioni preliminari

Per una corretta diagnosi del manufatto ligneo risulta molto importante che questo sia accessibile in ogni sua parte. Spesso alcune parti dell'elemento ligneo non risultano accessibili, (come ad esempio le facce superiori delle travi di un solaio) o non sono facilmente ispezionabili. In altri casi intere strutture lignee sono nascoste da tramezzi o controsoffitti (che nelle strutture più datate risultano essere realizzate in cannicciato).



Fig.49 –Travi in legno non ispezionabili poiché coperte da controsoffitto (firenze.repubblica.it)



Fig.50 –Travi in legno non ispezionabili poiché coperte da controsoffitto (fonte propria)

Prima di ogni intervento un'accurata pulizia delle superfici lignee è indispensabile ma è altrettanto importante evitare alleggerimenti strutturali inopportuni. La pulizia viene eseguita mediante l'utilizzo di semplici spazzole e solo nei casi dove risulta necessario vengono impiegate sabbiatrici.



Fig.51 Fig.52– Travi in legno non ispezionabili poiché rivestimento in cannicciato (fonte propria)



Fig.53 Fig.54– Volte in gesso nel sottotetto della chiesa del Carmine a Imola che rendono molto difficoltosa ogni operazione (fonte P.M.V.C)

4.2 L'analisi visiva

È indispensabile ai fini diagnostici un accurato esame visivo della struttura ancora prima della sua pulizia per rilevare eventuali tracce di rousse, attacchi fungini e punti di condensa o ristagno di acqua.

Durante l'analisi di una struttura lignea ai fini di valutarne il suo degrado è importante esaminarla in ogni suo punto. Ad esempio una trave che a prima vista sembra sana, può

nascondere all'estradosso oppure alle sue estremità incastrate nel muro una parte degradata (ciò non si verifica in una trave in cemento armato o in acciaio, dove in genere basta esaminare un tratto per dare un giudizio sull'intero elemento).

Molta attenzione va posta nei punti di mancato ricircolo dell'aria, ad esempio le teste delle travi incastrate nel muro, sono considerate uno dei principali punti di marcimento della trave.

L'identificazione della specie legnosa dalla quale dipendono tutte le caratteristiche del legno viene effettuata mediante la duplice osservazione a livello macroscopico e microscopico dell'elemento. Ad esempio l'Abete rosso e il Larice sono molto simili a livello microscopico ma presentano evidenti differenze di colorazione visibili ad occhio nudo (biancastro e a durame indifferenziato il primo, rosa-bruno il secondo).

Per l'analisi microscopica è sufficiente un provino di 1 cm di lato o anche meno, purché non sia degradato biologicamente.

Per un esame accurato del legname spesso sono sufficienti pochi strumenti, di facile reperibilità e non molto ingombranti al punto da entrare in una valigetta, accompagnati però da esperienza e occhio critico da parte dell'operatore che esegue la diagnosi.



Fig.55– Strumenti di indagine del prof. Franco Laner :torcia scalpello seghetto chiodi spago coltellino trivelle metro rigido martello (diagnostica delle strutture lignee)

Oltre un'accurata indagine visiva risulta molto importante ascoltare la risposta del legno alla percussione.

Una semplice percussione con un martello ci può dare un indice della consistenza del legno in esame: il rimbalzo del martello accompagnato da un suono chiaro indica un'elevata consistenza del legno, viceversa un suono sordo è indice di scarsa consistenza.

L'età del legno, il suo contatto con deiezioni animali o atmosfera inquinata sono parametri del tutto trascurabili, in quanto non incidono sulla resistenza dell'elemento ligneo.

4.2.1 Analisi dei difetti

Per l'analisi dei difetti del legno è in genere sufficiente una buona analisi visiva con l'aiuto di una lametta per mettere a nudo in alcuni tratti l'elemento in esame. La profondità e la direzione delle fessurazioni da ritiro, possono essere esaminate con l'ausilio di una lamina d'acciaio o con la punta piatta di un cacciavite nel caso di fessure più ampie.

Al variare dell'inclinazione che la lamina percorre rispetto alla superficie si distinguono le fessure radiali che puntano al midollo con direzione perpendicolare alla superficie, dalle cipollature assai più gravi con direzione tangente alla superficie.

I nodi sono ben visibili ad occhio nudo e non risulta molto importante che questo sia sano o marcio. Bisogna invece valutare ai fini della resistenza la loro grandezza (diametro) e la loro posizione (vicino al bordo o a metà spessore).



Fig.56- Utilizzo di una lamina di acciaio per verificare lo stato di fessurazione della trave (l manuale del legno strutturale)

4.2.2 Analisi del degrado

Il degrado del legno è ad opera principalmente di funghi ed insetti.

Per l'analisi del degrado fungino è importante analizzare prima le parti più esposte all'umidità, in quanto proprio nelle zone che hanno umidità maggiore del 20% si verifica l'attacco. Il legno alterato da questo tipo di attacco deve essere considerato "a resistenza zero".

Una semplice punta metallica ci può dare una indicazione circa la compattezza. Basta infatti sollevare una scheggia dall'elemento con la punta piatta di un cacciavite e verificare come avviene la rottura, se questa avviene distante dalla punta metallica il legno è sano, viceversa se la rottura avviene sopra la punta si ha un legno con caratteristiche di resistenza meccaniche ridotte.

La rivelazione della presenza di insetti viene eseguita cercando tracce di larve e insetti vivi, l'osservazione dei fori di sfarfallamento e l'ascolto dei rumori caratteristici provenienti dall'interno dell'elemento ligneo. La dimensione, la forma e il numero dei fori, la presenza e il tipo di rosura, sono gli aspetti da tenere conto per identificare il tipo di insetto che ha infestato il legno in esame. Data l'integrità del legno tra le gallerie degli insetti un legno moderatamente attaccato si può considerare ancora collaborante ai fini strutturali. È pertanto importante capire l'estensione delle gallerie per attribuire i giusti coefficienti riduttori della resistenza.

4.3 Le forature e i carotaggi

Per l'analisi degli strati sottostanti la superficie, vengono praticati dei fori con trapani elettrici. I fori ci danno un indice della consistenza del legno in base alla difficoltà che l'operatore incontra durante la perforazione. È preferibile eseguirli con punte "da muro" meno taglienti di quelle "da legno" per avere una maggiore resistenza all'avanzamento del foro e permettere di capire meglio il livello di consistenza dell'elemento. Questa tecnica è utilizzata ad esempio per determinare la consistenza delle testate di elementi lignei inserite nelle murature praticando un foro a 45° rispetto alla faccia della trave.

Il diametro dei fori varia dai 3-5 mm nel caso di punte sottili e arriva fino a 20-30 mm nel caso carotaggi.

Un numero elevato di fori e/o in posizione inopportuna possono danneggiare l'elemento più degli eventuali attacchi o alterazioni da mettere in evidenza. Pertanto è necessario ridurre al minimo questi.

Quando si vuole analizzare il legno alle varie profondità si procede con il carotaggio in genere con foro a 90° rispetto alla fibratura del legno, eseguibile a mano con *Trivella di Pressler* o con punte carotatrici applicate a trapani elettrici.



Fig.57- Trivella Pressler (www.elmeg.org)

I campioni prelevati sono analizzati per indicare la presenza di attacchi biotici (funghi e gallerie di insetti) e la determinazione della specie legnosa. Se sufficientemente grandi e esenti da degrado le carote vengono utilizzate per la determinazione della massa volumica e la resistenza meccanica.

Anche una semplice vite avvitata nel legname ci può fornire molte informazioni in merito alla consistenza del legname stesso, in base alla resistenza che questa oppone alla sua estrazione.

4.4 La prova di carico

La prova di carico è sostanzialmente la misurazione della deformazione elastica che l'elemento ha subito in seguito all'applicazione di un carico noto, per ricavare il modulo di elasticità E dell'elemento in esame.



Fig.58 Fig.59- Prove di carico (www.ortupillola.it) (www.ri-legno.it)

Per eseguire la prova è necessario conoscere le caratteristiche geometriche e le condizioni di vincolo. È possibile utilizzare un filo teso alle due estremità della trave per misurare l'abbassamento in mezzeria dovuto al carico applicato.

La prova teoricamente molto semplice presenta comunque situazioni difficili. Infatti non è sempre possibile liberare la trave dalle strutture circostanti, le condizioni di vincolo non sono facilmente schematizzabili e la sezione degli elementi spesso non è costante sia per sua forma originaria che per la presenza di zone degradate che non sono collaboranti.

Seguendo tale principio di misurazione del modulo E si può eseguire una prova di scarico sfruttando il ritorno elastico dovuto alla rimozione di carichi permanenti gravanti sulla struttura (es. la pavimentazione).

“L'esecuzione delle prove di carico per le strutture con elementi portanti di legno o con materiali derivati dal legno, dovrà tener conto della temperatura ambiente e dell'umidità del materiale. L'applicazione del carico dovrà essere in grado di

evidenziare la dipendenza del comportamento del materiale dalla durata e dalla velocità di applicazione del carico.”¹

4.5 Gli strumenti

I misuratori elettrici a resistenza (igrometri da legno) sono lo strumento più utilizzato per la determinazione dell'umidità del legno in opera. Questi sono poco ingombranti e sono alimentati da una batteria. Forniscono errori sulla misurazione che sono al massimo di due punti percentuali, ma non sono ammessi in caso di contenzioso.

Il funzionamento si basa sulla correlazione che lega l'umidità del legno alla sua resistenza al passaggio della corrente elettrica, in quanto il legno allo stato anidro è un pessimo conduttore.

Gli igrometri sono composti sostanzialmente da un ohmetro che misura la resistenza elettrica collegato a due elettrodi metallici che vengono infissi nel legno.



Fig.60- Igrometro da legno (ri-legno.it)

¹ (NTC 2008 4.4.16)

4.6 Casi di studio

4.6.1 Edificio plurifamiliare (Imola BO)

Fra le principali cause del degrado delle strutture lignee c'è sicuramente l'errore umano di posa in opera

Nel caso di una recente ristrutturazione di un fabbricato sito in Imola, l'impresa edile ha fatto notare alla committenza il possibile deterioramento dei pilastri in legno presenti nel porticato esterno.



Fig.61- Pilastri del porticato in esame (fonte P.M.V.C.)

L'azienda ha fatto presente che nonostante la parte del pilastro a vista era in ottime condizioni, la parte inferiore immersa nel calcestruzzo avrebbe potuto presentare qualche problema.

Infatti nonostante la trave fosse sigillata da silicone e il plinto racchiuso da un cassero di rame, le escursioni termiche hanno comunque permesso l'infiltrazione d'acqua piovana. La presenza d'acqua, combinata alla mancanza di aerazione ha causato il marcimento della base del pilastro ligneo. Al momento dell'apertura del cassero, il legname presentava un aspetto completamente inconsistente e friabile a causa dell'azione fungina.





Fig.62 Fig.63 Fig.64- Stato di degrado trovato al momento dell'apertura del cassero in rame (fonte P.M.V.C.)

Si è quindi provveduto a puntellare la struttura per eseguire in sicurezza i lavori. Come prima lavorazione ha proceduto all'asportazione della parte ammalorata con l'utilizzo di seghe elettriche. In corrispondenza di ogni taglio è stato applicato un trattamento preservante per gli attacchi di funghi ed insetti.



Fig.65 Fig.66- Taglio mediante sega elettrica della parte ammalorata (P.M.V.C.)



Fig.67 Fig.68- Legno completamente frantumato dall'azione fungina (fonte P.M.V.C.)

Grazie all'identificazione di un foro di sfarfallamento del *capricorno delle case*, presente su uno dei pilatri, si è potuto salvare un pezzo dell'elemento che risultava ancora collaborante ai fini della resistenza strutturale.



Fig.69- Parte di legno colpita dal coleottero capricorno delle case in cui è ben visibile il foro di sfarfallamento cerchiato in rosso (fonte P.M.V.C.)



Fig.70 Fig.71- Pilastri dopo l'asportazione della parte ammalorate (fonte P.M.V.C.)

Successivamente si è provveduto a inserire una protesi in acciaio per ripristinare la resistenza meccanica.

La protesi realizzata da un fabbro è costituita da un profilato tubolare a sezione quadrata, saldato a due piastre nelle quali sono stati praticati quattro fori.

Per collegare la parte metallica alla parte inferiore formata dal plinto in cemento è stato necessario praticare quattro fori e alloggiarvi in ognuno una barra filettata mediante collante chimico. Una volta messa in posizione la protesi, mediante bullonaggio dalla parte inferiore, si è provveduto ad avvitarela nel legno sano sovrastante.



Fig.72 Fig.73 Posizionamento profilato in acciaio mediante bullonatura (fonte P.M.V.C.)



Fig.74 Fig.75 Posizionamento profilato in acciaio mediante bullonatura (fonte P.M.V.C.)



Fig.76- Ripristino della funzione portante dei pilastri (fonte P.M.V.C)

Si è ritenuto opportuno dato lo scarso spessore del copriferro e l'elevata ossidazione dei ferri di armatura del plinto un trattamento passivante. Il composto chimico ha creato una pellicola protettiva attorno ai ferri che riesce ad evitare future ossidazioni. In aggiunta ai ferri presenti ne sono stati inseriti altri.



Fig.77- Trattamento passivante dei ferri (fonte P.M.V.C)

Si è realizzato un cassero per contenere il getto di ripristino del plinto.



Fig.78 Fig79- Cassero per il getto di ripristino (fonte P.M.V.C.)

E infine è stato realizzato il getto mediante colaggio di una malta cementizia autolivellante, per meglio riempire ogni interstizio.

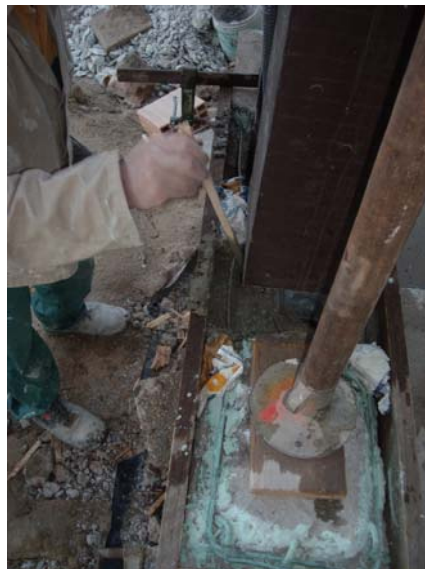


Fig.80 Fig.81 Fig.83- Getto di malta espansiva colabile autolivellante (fonte P.M.V.C.)



Fig.84- Lavoro di ripristino ultimato (fonte P.M.V.C.)

4.6.2 Chiesa di San Giacomo Maggiore del Carmine (Imola BO)

Un'altra problematica legata al degrado del legno si presenta nelle strutture di copertura quando l'acqua meteorica non è ben convogliata.

L'impresa edile P.M.V.C. è stata incaricata di ispezionare il tetto della chiesa del Carmine sita in Imola, a causa delle continue infiltrazioni d'acqua piovana provenienti dalla copertura.

Durante la visita, si è riscontrato un abbassamento notevole della linea di falda, a causa dal marcimento di una capriata del sottotetto. La copertura, presentava più strati di tegole sovrapposte, messe in opera nel tempo per colmare l'avvallamento causato dalla capriata. L'aggiunta di strati di tegole ha tamponato per poco tempo l'emergenza e ha causato un aumento dei carichi che ha favorito un più rapido abbassamento della linea di falda, al punto di avere una pendenza opposta a quella voluta per il defluire delle acque piovane.



Fig.85- Avvallamento della copertura ben visibile dopo l'asportazione del manto di copertura (fonte P.M.V.C.)

Subito dopo l'accantieramento si è provveduto alla pulizia del sottotetto, di non semplice accesso e ricoperto da più strati di detriti.



Fig.86 Fig.87 Detriti e sporcizia presenti nel sottotetto (fonte P.M.V.C.)

Tutte le lavorazioni da eseguire nel sottotetto sono state molto difficili dalla presenza di volte in gesso non praticabili.



Fig.88- Volte in arellato non calpestabili (fonte P.M.V.C.)

Il puntone della capriata a causa delle infiltrazioni e della maggiorazione dei carichi presentava una curvatura concava che nel punto più basso raggiungeva i 40 cm.

Nel corso degli anni si è provveduto ad inserire ometti in legno poggiati sulla catena per sostenere il puntone ammalorato al posto di sostituirlo.

Nel caso dell'intervento si è provveduto a puntellare la struttura dove possibile tra una volta e l'altra.



Fig.89 Fig.90- Capriata ammalorata che presenta un notevole abbassamento del puntone e la presenza di ometti in legno per sostenerlo (fonte P.M.V.C.)



Fig.91 Fig.93 Fig.94- Messa in sicurezza della struttura mediante tubi innocenti inseriti dove possibile evitando le volte (fonte P.M.V.C.)

Per eseguire in maniera più agevole la sostituzione del puntone si è realizzato un impalcato incastrato ai muri e puntellato nei punti calpestabili.



Fig.95 Fig.96 Fig.97- Impalcato per meglio eseguire la sostituzione del puntone (fonte P.M.V.C.)

Si è poi provveduto alla sostituzione della parte ammalorata.

La nuova trave lignea con la funzione di puntone è stata sollevata dalla gru di cantiere e messa in posizione dagli operatori grazie a un foro praticato nel muro esterno.



Fig.98 Fig.99- Posizionamento del nuovo puntone sollevato dall'esterno mediante gru (fonte P.M.V.C.)

Gli ancoraggi delle travi lignee nei muri sono stati eseguiti a regola d'arte, realizzando un'apposita nicchia per l'aerazione e la testa lignea a contatto con la muratura che è stata avvolta da uno strato di sughero per evitare il marcimento.



Fig.100- Incastro della trave lignea alla muratura (fonte P.M.V.C.)

I punti di collegamento della capriata sono stati realizzati mediante tagli a 45 gradi nei punti di incastro degli elementi.



Fig.101- Collegamenti della capriata eseguiti a regola d'arte (fonte P.M.V.C.)

I nodi delle capriate presenti nel sottotetto sono stati rinforzati da fasciature metalliche per evitare la perdita di equilibrio della struttura in caso di sisma.



Fig.102- Capriate rinforzate da fasciature metalliche (fonte P.M.V.C.)

Si è provveduto a ripristinare l'orditura di supporto al manto di copertura. Durante il ripristino sono stati utilizzati i pezzi sani ricavati dalle travi ammalorate opportunamente trattati con prodotti preservanti al fine di eseguire il bloccaggio delle terzere.



Fig.103- Bloccaggio delle terzere mediante pezzi di recupero (fonte P.M.V.C.)

Infine si è provveduto al ripristino del manto di copertura.

Conclusioni

Il legno da sempre è un ottimo materiale da costruzione, utilizzato non solo per le sue qualità estetiche ma soprattutto per quelle strutturali, che a distanza di secoli, offrono ancora oggi garanzie di tenuta e di solidità.

La durabilità delle opere in legno è sicuramente influenzata dalle caratteristiche delle diverse specie legnose ma soprattutto dalla loro esposizione agli agenti biotici.

È importante conoscere il materiale e i suoi difetti per capirne il comportamento.

Gli interventi per aumentare la durata del materiale sono numerosi e vanno calibrati caso per caso essendo il legno un materiale non omogeneo che varia da specie a specie, dalla storia dell'albero, ma anche da dove l'elemento si colloca all'interno della struttura.

Ecco quindi che il degrado delle strutture in legno, oltre ad essere legato alle caratteristiche del materiale è spesso legato a una errata posa in opera da parte delle maestranze come dimostra il primo caso di studio (dove il mancato ricircolo di aria ha permesso il marcimento della base del pilastro) e correlato a una mancata o non sufficiente manutenzione come nel caso del secondo caso di studio (dove le ispezioni non erano periodiche e gli interventi eseguiti nel passato sono risultati peggiorativi).

Bibliografia

Libri:

G.Tampone, *Il restauro delle strutture di legno*

F.Laner, *Diagnostica delle strutture lignee,*

F.Laner, *Tecnologia del recupero delle strutture lignee*

F.Laner, U.Barsian *Capriate e tetti in legno progetto e recupero*

L.Uzielli, *Il manuale del legno strutturale vol. 1,2,3 e 4*

L.zevi, *Il manuale del restauro architettonico*

Siti internet:

www.e-wood.it

www.tecmatied.com

www.legnolego.it

www.ingegneri.info

www.arterestauro.it

www.naturamediterraneo.com

www.ipest.it

www.novaprima.com

Ringraziamenti

Non è facile citare e ringraziare, in poche righe, tutte le persone che hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di questa tesi di laurea: chi con una costante collaborazione, chi con un supporto morale, chi con consigli e suggerimenti, sono stati in tanti a dare il proprio apporto alla mia carriera universitaria e questo progetto.

In particolare, voglio rivolgere un ringraziamento speciale al Professore Luca Venturi che nonostante i suoi impegni ha sempre trovato il tempo per ascoltarmi, consigliarmi e per indirizzare il mio lavoro di tesi e per avermi fornito insegnamenti preziosi per il mio futuro professionale.

Ringrazio la falegnameria Eros Menzolini s.n.c. e l'impresa edile P.M.V.C s.r.l. ed i rispettivi titolari che in prima persona si sono messi a completa disposizione per fornendomi con passione tutte le informazioni necessarie.

Ringrazio inoltre i docenti del corso di laurea in Ingegneria Edile dell'Università di Ravenna, per gli insegnamenti, non solo accademici, ricavati dalle loro lezioni in questi duri, ma formativi anni di vita universitaria.

Ringrazio di cuore tutti i miei familiari, in particolare i miei genitori e mia sorella che mi sono stati vicini in questi anni, e grazie a loro sono riuscito a superare i momenti più difficili, e ho trovato gli stimoli per dedicarmi a questa tesi di laurea.

Un ringraziamento speciale va ai miei amici, e compagni di università in particolare a Stefano, Serena e Andrea che mi hanno accompagnato nel mio percorso universitario.

Grazie ancora a tutti voi.