Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Aldo Aveta

Dario Flaccovio Editore

CONSOLIDAMENTO E RESTAURO DELLE STRUTTURE IN LEGNO

Tipologie - Dissesti - Diagnostica - Interventi

Scheda sul sito ›

Tipologie costruttive tradizionali ✓
Comportamento strutturale del legno ✓
Diagnosi del degrado e dei dissesti ✓
Tecniche di consolidamento ✓

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Aldo Aveta

Consolidamento e restauro delle strutture in legno

TIPOLOGIE - DISSESTI - DIAGNOSTICA - INTERVENTI

Dario Flaccovio Editore

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Aldo Aveta
CONSOLIDAMENTO E RESTAURO DELLE STRUTTURE IN LEGNO

ISBN 9788857902487

© 2013 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: dicembre 2013

Aveta, Aldo <1948->

Consolidamento e restauro delle strutture in legno : tipologie, dissesti, diagnostica, interventi / Aldo Aveta. - Palermo : D. Flaccovio, 2013.
ISBN 978-88-579-0248-7
1. Strutture in legno – Consolidamento [e] Restauro.
624.184 CDD-22 SBN Pal0265282

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, dicembre 2013

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.
L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.
La fotocopiatura dei libri è un reato.
Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

INDICE

Premessa

1. L'uso del legno nell'edilizia storica: tipologie costruttive tradizionali
1.1. I trattatisti e il legno ..... pag. 9
1.2. Solai ..... » 11
1.3. Capriate ..... » 18

2. Il comportamento strutturale del legno
2.1. Caratteristiche fisiche e difetti ..... » 25
2.2. Proprietà meccaniche ..... » 36
2.3. Schemi statici di solai e capriate ..... » 39

3. Diagnosi del degrado e dei dissesti
3.1. Prove in sito e in laboratorio ..... » 49
3.2. Diagnosi del degrado e dei dissesti ..... » 67

4. Tecniche di consolidamento
4.1. Introduzione ..... » 79
4.2. Leggi e raccomandazioni ..... » 82
4.3. Trattamenti protettivi ..... » 87
4.4. Rafforzamenti ..... » 93
4.4.1. Incalmo e fettonatura ..... » 94
4.4.2. Ricostruzione con giunti a dardo di Giove ..... » 95
4.4.3. Rinforzo con travi in legno o in materiali innovativi ..... » 96
4.4.4. Rinforzo con sistemi legno-legno per i solai ..... » 99
4.4.5. Impiego del legno lamellare ..... » 103
4.5. Consolidamento con sistemi legno-calcestruzzo ..... » 105
4.6. Consolidamento con strutture in acciaio ..... » 110
4.6.1. Consolidamento con profilati all'estradosso delle travi in legno ..... » 111
4.6.2. Ferri piatti all'interno della trave ..... » 112
4.6.3. Profilati ai lati delle travi in legno ..... » 113
4.6.4. Profilati all'intradosso delle travi in legno ..... » 114
4.6.5. Consolidamento delle parti terminali delle travi ..... » 115
4.6.6. Rinforzo dei nodi delle capriate ..... » 116
4.6.7. Tiranti e nastri in acciaio ..... » 117

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

4.7. Collegamenti alle murature e appoggi di solai e capriate ..... » 123
4.8. Impiego di resine ..... » 129
4.8.1. Stuccatura delle fessure ..... » 130
4.8.2. Iniezioni con resine e inserimento di barre di vetroresina .... » 130
4.8.3. Ricostruzioni con protesi di betoncini epossidici ..... » 131
4.8.4. Incollaggi e inserimento di barre ..... » 132
4.9. Utilizzo di materiali compositi e pultrusi ..... » 134

Appendice
Norme UNI e documenti internazionali per il legno (R. Amore) ..... » 147
Tre interventi su capriate e cassettonati in legno (C. Aveta) ..... » 178
Esempi di calcolo e di verifiche di solai lignei esistenti
e nuovi (L.M. Monaco) ..... » 193

Bibliografia (M.C. Rapalo) ..... » 233

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Premessa

Negli anni recenti la fortuna pubblicistica del legno – quale materiale naturale impiegato nell'architettura storica per usi strutturali e non – e delle relative tecniche di consolidamento evidenzia, da un lato, il crescente interesse di professionisti ed esperti verso problematiche progettuali di grande attualità, dall'altro, l'esigenza di un approccio consapevole che consideri tali strutture non esclusivamente dal punto di vista tecnico, ma anche quali documenti di storia materiale, frutto del lavoro di artigiani e carpentieri, e, dunque, elementi dell'edilizia storica da conservare.

Quest'ultimo aspetto, in particolare, modifica sostanzialmente l'approccio progettuale, che si deve allineare agli indirizzi e alle norme più recenti, a livello nazionale e internazionale, i quali mirano a coniugare le esigenze della sicurezza con quelle della conservazione. Hanno influito, in tale direzione, gli effetti degli eventi sismici che hanno colpito, negli ultimi decenni, la nostra nazione e che hanno evidenziato danni e rischi connessi ai dissesti delle strutture lignee, da considerare, comunque, non come elementi autonomi ma quali parti integranti dell'organismo edilizio e, dunque, interagenti con altri elementi costruttivi, portanti e non.

Il volume, che si presenta all'attenzione dei tecnici impegnati nel restauro e nel recupero di tali strutture, si sofferma innanzitutto sullo stato dell'arte, sottolineando ed esplicitando le principali tappe di un percorso metodologico ampiamente condiviso dalla cultura specialistica, che parte dalla fase della conoscenza per pervenire alla definizione delle scelte progettuali di consolidamento.

Nei primi due capitoli, dopo il necessario riferimento all'uso del legno nella storia della tecnica edilizia e all'attenzione che a questo materiale è stata rivolta nel corso dei secoli dai trattatisti, vengono descritti il comportamento strutturale del legno, con le sue caratteristiche fisiche e i suoi difetti, le sue proprietà meccaniche, nonché gli schemi statici di solai e capriate, da considerare ai fini delle verifiche e dei calcoli.

Il terzo capitolo riguarda la diagnostica e illustra le prove in situ e in laboratorio utili oggi per valutare il degrado e i principali dissesti, avvalendosi di tecnologie e indagini non invasive.

Si tratta di analisi oggi indispensabili, sperimentate da decenni, ma sempre in

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

continuo aggiornamento per il contributo che lo sviluppo della tecnologia offre.
Particolare attenzione viene rivolta, nel quarto capitolo, alle tecniche di consolidamento, sia affrontando gli aspetti legislativi e le raccomandazioni, sia illustrando i più diffusi trattamenti protettivi, i rinforzi e i consolidamenti, sia di tipo tradizionale che innovativo. Tra i diversi interventi possibili, proprio per le esigenze indicate in premessa, il progettista dovrà scegliere attentamente quello più adeguato a rispettare contestualmente le esigenze statiche, ma anche quelle conservative tenendo conto dei principi e dei criteri del restauro. Nel volume, dunque, si è cercato di sottolineare lo stretto rapporto tra il consolidamento e il restauro, anche perché le strutture lignee sono diffusamente presenti negli edifici vincolati ai sensi del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, e nell'edilizia storica tipica dei centri, piccoli, medi e grandi, che caratterizzano il territorio nazionale, al cui interno sono possibili solo interventi conservativi. Una particolare attenzione viene rivolta, altresì, alla vigente normativa sismica e a quanto questa prevede per le strutture lignee.
Infine, è stato ritenuto utile per i progettisti riportare in Appendice le norme UNI vigenti, anche commentate, alcuni interventi significativi, nonché una serie di esempi di calcolo e di verifica dei solai, utilizzando i metodi oggi applicabili.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

1. L'uso del legno nell'edilizia storica: tipologie costruttive tradizionali

1.1. I trattatisti e il legno

Il legno è stato uno dei primi materiali utilizzati nel campo delle costruzioni grazie alla sua disponibilità in natura, alle qualità di resistenza, lavorabilità e adattabilità che ne hanno favorito l'uso diffuso per realizzare strutture di vario tipo: dagli arcotravi ai solai sino alle capriate e ad elementi più complessi come le travi composte. Per tale motivo nei trattati di architettura si trovano importanti riferimenti anche per quel che riguarda le modalità costruttive di tali elementi[1].
Non tutti, come segnala L.B. Alberti, sono stati concordi nel ritenere il legname come primo materiale da costruzione[2]. È anche noto che nelle case di Creta e nel palazzo di Cnosso vi erano travi in legno che, collegando i diversi elementi costruttivi, probabilmente conferivano alle murature una maggiore resistenza alle azioni sismiche[3]. In proposito, S. Di Pasquale dimostra come gli antichi abbiano sopperito alla mancanza di adeguate conoscenze matematiche e fisiche con l'esperienza fondata sull'individuazione degli effetti piuttosto che sulla scienza delle cause e, dunque, definisce la loro *arte del costruire*[4].
Nella civiltà greca G. Glotz ha registrato un largo impiego del legno anche nelle abitazioni più semplici[5]. Nelle case borghesi le travi principali, disposte nel senso della lunghezza ad intervalli più o meno regolari, erano rinforzate da travi trasversali. È indiscussa, poi, l'importanza dell'impiego del legno – prima del ricorso alle strutture in pietra – nella costruzione di alcune parti dei templi greci[6]: solo da fonti letterarie o rari reperti frammentari si può desumere che le colonne e le coperture[7] venivano realizzate in legno.

[1] Cfr. S. Di Pasquale, *Il legno nell'opera dei trattatisti. Riflessioni e note marginali su due ponti di A. Palladio*, in AA.VV., *Il restauro del legno*, vol. II, Nardini, Firenze 1989.
[2] Cfr. L.B. Alberti, *De re aedificatoria*, 1452, trad. di G. Orlandi, Il Polifilo, Milano 1966, L. II, cap. IV, p. 110.
[3] Cfr. R. Sparacio, *La scienza e i tempi del costruire*, Utet, Napoli 1999.
[4] Cfr. S. Di Pasquale, *L'arte del costruire*, Marsilio, Firenze 1963.
[5] Cfr. G. Glotz, *La civiltà greca*, Einaudi, Milano 1969, pp. 126-130.
[6] Cfr. H. Berve, G. Gruben, *I templi greci*, Sansoni, Firenze 1962.
[7] Cfr. A.C. Quatremère De Quincy, *Dizionario storico di Architettura*, trad. a cura di V. Farinati e G. Teyssot, Marsilio, Venezia 1992.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Anche le prime capanne etrusche avevano struttura portante formata da un sistema di grossi pali posti all'interno del loro perimetro[8].
Vitruvio afferma che gli uomini, per le loro case, in un primo tempo avevano realizzato pareti di fango utilizzando sostegni incrociati e rami disposti trasversalmente: esse venivano rinforzate con assi di legno e ricoperte di canne e foglie per preservarle dalla pioggia e dal sole[9].
Sin dall'antichità, sulla base di valutazioni empiriche, erano ben chiare le proprietà del materiale, che differivano nelle differenti specie arboree: lo stesso Vitruvio, ad esempio, descrive i diversi tipi di legname e ne consiglia l'impiego in funzione delle specifiche caratteristiche[10].
L'Alberti[11] pone grande attenzione ai problemi del taglio degli alberi, dell'essiccatura del materiale e dei rimedi contro i possibili difetti. Citando i consigli degli antichi, egli indica i periodi più favorevoli al taglio e i provvedimenti che possono conferire resistenza agli effetti degli agenti esterni[12].
Il Milizia, nel XIX secolo, tratta con accuratezza il problema dei difetti degli alberi[13] e, tra questi, indica lo stravolgimento o slogamento del legno, e, ancora, il diacciuolo, la spellatura, il doppio alburno, il diacciuolo lardato.
Importanti sono i rimedi indicati per la protezione del legno dalle tarlature: tra questi va citata l'operazione di iniezione di sostanze idonee, che trova corrispondenza nello sviluppo delle tecniche moderne: l'intervento era ben noto nel XIX secolo, come dimostra il Curioni nel suo Trattato.
È da sottolineare come, nel corso delle varie epoche, in mancanza di principi o teorie, l'intervento di consolidamento delle strutture lignee non sia stato affatto preso in considerazione: si ritrovano, piuttosto, indicazioni sul modo di farle durare più a lungo. Nel *De re aedificatoria* L.B. Alberti, ad esempio, suggerisce vari rimedi contro l'invecchiamento del legno e il suo degrado tra i quali la tecnica di cospargerlo di morcia d'olio, per proteggerlo dai tarli, o di pece per difenderlo dall'acqua.
Gli aspetti evidenziati nella trattatistica storica non sono molto diversi da quelli che tuttora si devono affrontare per il consolidamento delle strutture in legno: le tecniche possono essere differenti, ma le questioni di maggior rilievo restano quelle della prevenzione dall'attacco degli insetti e della protezione dall'umidità, oltre che dal fuoco.

[8] Cfr. L. Donati, *Architettura civile, sacra e domestica*, in M. Torelli (a cura di), *Gli Etruschi*, Bompiani, Milano 2000, p. 317.
[9] Cfr. M. Vitruvio Pollione, *De Architectura*, I sec. a.C., trad. di L. Mingotto, Studio Tesi, Pordenone 1990, L. II, 1, p. 67.
[10] Cfr. M. Vitruvio Pollione, cit., L. II, IX, p. 107.
[11] Cfr. L.B. Alberti, cit., L. II, cap. IV, p. 124.
[12] *Ivi,* p. 116.
[13] Cfr. F. Milizia, *Principi di architettura civile*, opera curata ed illustrata da G. Antolini, riproduzione anastatica conforme all'originale della seconda edizione milanese del 1847, G. Mazzotta, Milano 1972, p. 432.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

1.2. Solai

Nell'architettura storica il legno è stato utilizzato, in particolare, per realizzare l'orditura principale e secondaria dei solai. In epoca romana il solaio era formato da travi principali che sostenevano un tavolato superiore sul quale era poggiato il pavimento che, a sua volta, poteva essere formato da un tavolato. Il tipo più semplice era detto *contabulatio* o *contignatio*, con le travi portanti disposte in un'unica direzione, anche se Plinio, a tal proposito, fa cenno pure all'impiego di travature incrociate. Per abitazioni di prestigio venivano impiegati i *lacunares*, cioè i solai a cassettonato[14].

In tale epoca la conoscenza dei possibili difetti era ben chiara e, tra questi, le deformazioni dovute all'umidità[15]. Particolare attenzione era rivolta alla protezione delle travi, che venivano coperte con felci o paglia per impedire che venissero a contatto con la malta di calce. Al di sopra del tavolato veniva disteso uno strato di ciottoli di spessore contenuto e, quindi, si eseguiva un getto di ghiaia, sabbia e calce (tre parti di ghiaia e una di calce, se realizzato ex novo, o rispettivamente cinque e due se si trattava di un reimpiego): il masso veniva pressato con mazze di legno fino ad ottenere uno spessore di tre quarti di piede. Successivamente veniva disposto un ulteriore strato formato da coccio e calce (tre parti di coccio e una di calce) fino a raggiungere lo spessore di sei pollici, sul quale porre in opera il pavimento; in totale, il masso aveva lo spessore di circa 10÷11 cm. Alcuni studi hanno evidenziato che a Pompei lo spessore del masso di malta, posto al di sopra del tavolato, variava dai 15 ai 20 cm ed era poi rivestito con *opus signinum* o con un mosaico. Adottando un simile procedimento venivano realizzati solai molto pesanti; ma le travi erano ben isolate. J.P. Adam indica alcune dimensioni di travi dell'edilizia pompeiana desumendole dai fori delle incassature nei muri, nonché i relativi interassi[16].

Per il collegamento delle travi lignee alle murature l'Alberti segnala la soluzione con mensole – adottata dagli antichi costruttori – piuttosto che l'inserimento entro fori praticati nei muri. Egli critica questa tecnica in quanto il muro viene indebolito, in relazione agli incendi, e l'intera costruzione si rende malsicura, "perché

[14] Cfr. C.F. Giuliani, *L'Edilizia nell'antichità*, Carocci, Roma 1993.

[15] Cfr. M. Vitruvio Pollione, cit., L. VII, I, p. 311.

[16] Questi risultano di circa 25÷28 cm; le travi avevano sezioni rettangolari con base di 14÷17 cm ed altezze di circa 28 cm, oppure sezioni circolari con diametro variabile dai 14 ai 18 cm. Si evidenzia che gli interassi erano modesti e, in genere, minori o uguali a due volte la dimensione della base delle travi; queste potevano essere incastrate nelle pareti in appositi fori o anche appoggiate su mensole di pietra attraverso una trave parallela alla parete e ortogonale all'orditura principale. Lo stesso Adam segnala che talora i fori in cui le travi rettangolari venivano incassate erano accuratamente riquadrati da materiali ceramici che avevano una duplice funzione: isolare il legno dalla muratura e consentire, in caso di necessità, di sostituire facilmente le travi. I tronchi circolari, invece, erano incassati direttamente nella muratura. Cfr. J.P. Adam, *L'arte di costruire presso i Romani*, Longanesi, Milano 1988, p. 214.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Figura 2.7. Portici, Maneggio coperto della Reggia: i danni da insetti xilofagi e guano

Figura 2.8. Portici, Maneggio coperto della Reggia: particolare dell'appoggio nel muro della capriata lignea

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

2.2. Proprietà meccaniche

Il legno è un materiale anisotropo e tale caratteristica dipende dalla sua struttura che, peraltro, si accresce nel tempo. I tessuti cellulari da cui è costituito sono orientati in modo differente: ne deriva che la risposta alle sollecitazioni esterne non è uguale per tutte le direzioni, ma dipendente dalla direzione di questa rispetto a quella delle fibre.
Le principali proprietà variano in intervalli molto ampi in funzione della specie legnosa, del grado di umidità (il legno è un materiale igroscopico), dei difetti del legno stesso (nodi, cipollature, deviazioni della fibratura, ecc.), dell'angolo tra la retta d'azione dei carichi e la direzione della fibratura, del tipo di sollecitazione (trazione, compressione, flessione, taglio, torsione), della durata di azione dei carichi (di breve o lunga durata).
È opportuno ricordare che le direzioni di riferimento sono determinate in relazione alla struttura anatomica del legno e, quindi, bisogna riferirsi a quella delle fibre, assimilando idealmente il tronco dell'albero a un cilindro a sezione circolare, il cui asse longitudinale coincide con quello del midollo; in ogni punto del fusto è possibile individuare tre direzioni:

- la direzione longitudinale L, che è corrispondente alla direzione della fibratura;
- la direzione radiale R, che è perpendicolare alla L e definita dal raggio passante per quel punto: corrisponde alla direzione dei raggi parenchimatici;
- la direzione tangenziale T (ortogonale alle prime due), tangente agli strati di accrescimento.

In tal modo si individuano tre sezioni obbligate:

- la sezione trasversale, definita dal piano RT, formato dalla direzione radiale e dalla direzione tangenziale;
- la sezione longitudinale-radiale (o semplicemente radiale), definita dal piano LR, formato dalla direzione longitudinale e da quella radiale;
- la sezione longitudinale-tangenziale (o solo tangenziale), definita dal piano LT, formato dalla direzione longitudinale e dalla direzione tangenziale.

Con tale semplificazione le tre direzioni vengono considerate costanti e ortogonali fra loro e, pertanto, per descrivere il comportamento del materiale può essere utilizzato il modello ortotropo semplificato rispetto a quello anisotropo. Gli elementi ricavati dai tronchi non sempre seguono le direzioni ideali, per cui è possibile che la direzione della fibratura non sia parallela alla direzione longitudinale della trave.
Le caratteristiche meccaniche sono migliori nella direzione parallela alla fibratura che, pertanto, rappresenta la direzione portante principale, mentre si registrano valori inferiori nelle altre due direzioni (radiale e tangenziale). Di conseguenza,

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

poiché la distinzione tra direzione radiale e tangenziale è difficilmente realizzabile ai fini del dimensionamento e non porterebbe a significativi vantaggi sia tecnici che economici nelle valutazioni statiche del legno[4], si riconoscono due sole direzioni per la determinazione delle caratteristiche di resistenza, quella parallela e quella ortogonale alla fibratura. I moduli elastici sono invece riferiti alle tre direzioni anatomiche.
Ciò premesso, le principali proprietà meccaniche che occorre conoscere per caratterizzare il comportamento del materiale sono il peso specifico, i valori dei moduli elastici (modulo di Young, modulo di elasticità tangenziale e coefficiente di Poisson) secondo le direzioni longitudinale, radiale e tangenziale, il valore della resistenza a trazione e compressione in direzione parallela e in direzione perpendicolare alle fibre, il valore della resistenza a flessione statica e la resistenza a taglio parallela alle fibre, il comportamento reologico del materiale.
Il legno inoltre presenta un'ottima efficienza strutturale, una buona resilienza e una altrettanto buona deformabilità prima della rottura.
Si deve, poi, tener conto della differenza tra il legno netto, il legno strutturale e il legno in opera.
Il legno netto è quello che si considera privo di difetti, il legno strutturale è il materiale nel quale la presenza dei difetti riduce le capacità di resistenza, il legno in opera è quello che si trova impiegato negli elementi costruttivi.
La distinzione è molto importante in quanto, soprattutto nel caso del consolidamento delle antiche strutture, i valori delle resistenze comunemente riportati nella letteratura tecnica non possono essere accettati se non previa accurata ispezione ed esecuzione di prove.
In generale i valori di resistenza del legno netto sono maggiori di quelli del legno strutturale: i risultati ottenuti dalle prove devono essere pertanto accettati con grande prudenza, in particolar modo se si opera nel campo del consolidamento di strutture esistenti, che hanno una loro storia di adattamenti alle condizioni ambientali, le quali possono modificare ulteriormente i parametri di resistenza.
A causa della variabilità delle caratteristiche del materiale, dovuta sia alla sua stessa natura che alla presenza di difetti e alla influenza della umidità, si deve necessariamente fare riferimento alle normative che indicano i metodi di classificazione e i parametri di resistenza dei segati (cioè gli elementi di legno ricavati dai tronchi).
A livello europeo si ritrovano differenti norme per la classificazione a vista del legno secondo la resistenza[5], per cui è risultato indispensabile emanare una norma

[4] Cfr. A. Bernasconi, G. Schickhofer, K. Frühwald, G. Traetta, *Il materiale legno*, Dispense Promo-legno, *Corso sull'uso strutturale del legno,* 2005.
[5] Per quanto riguarda le norme europee, le indicazioni generali per la classificazione secondo la resistenza si trovano nella EN 14081. Cfr. A. Bernasconi, G. Schickhofer, K. Frühwald, G. Traetta, cit.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

quadro che in Italia è stata recepita come norma italiana UNI EN 518 del marzo 1997, come precisato in Appendice.
Per quanto concerne i *materiali e prodotti a base di legno*, le Norme Tecniche del 2008 vi dedicano il paragrafo 11.7 (*Caratteristiche fisiche e meccaniche*): sono riferite, però, al legno massiccio e ai prodotti a base di legno per usi strutturali, ma solo per nuove costruzioni. Dunque, per il progetto e la verifica di questi si richiede la conoscenza dei valori di resistenza, modulo elastico e massa volumica, che, comunque, dovranno risultare conformi alla norma europea UNI EN 14081.
In relazione agli aspetti della sicurezza strutturale le Norme Tecniche citate, al paragrafo 4.4, *Costruzioni in legno*, precisano che: "la presente norma può essere usata anche per le verifiche di strutture in legno esistenti purché si provveda ad una corretta valutazione delle caratteristiche del legno e, in particolare, degli eventuali stati di degrado".
Al successivo punto 4.41 è indicato che "la valutazione della sicurezza deve essere svolta secondo il metodo degli stati limite. I requisiti richiesti di resistenza, funzionalità e robustezza si garantiscono verificando gli stati limite ultimi e gli stati limite di esercizio della struttura, dei singoli componenti strutturali e dei collegamenti".
Per quanto concerne l'analisi della struttura, questa si potrà effettuare assumendo un comportamento elastico lineare dei materiali e dei collegamenti considerando i valori pertinenti del modulo elastico dei materiali e della rigidezza delle unioni, in funzione dello stato limite e del tipo di verifica considerati.
Le norme si soffermano, poi, sulle azioni e loro combinazioni (classi di durata del carico, classi di servizio, resistenza di calcolo, stati limite di esercizio, stati limite ultimi).
Per le verifiche di resistenza connesse agli stati limite ultimi, vengono indicate le condizioni da soddisfare per:

- trazione parallela della fibratura
- trazione perpendicolare della fibratura
- compressione parallela della fibratura
- compressione perpendicolare della fibratura
- flessione
- tensoflessione
- pressoflessione
- taglio
- torsione
- taglio e torsione.

Si aggiungono a tali tipi di possibili verifiche quelle di stabilità, ovvero quelle necessarie ad accertare la sicurezza della struttura o delle singole membrature nei

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

confronti di possibili fenomeni di instabilità, quali lo svergolamento delle travi inflesse (instabilità flesso-torsionale) e lo sbandamento laterale degli elementi compressi o pressoinflessi.

2.3. Schemi statici di solai e capriate

Nell'edilizia storica le strutture lignee si ritrovano diffusamente impiegate nella costruzione di solai e di strutture principali dei tetti, quali le capriate.
I *solai* in legno costituiscono la più antica struttura orizzontale, utilizzata ininterrottamente fino all'avvento delle travi metalliche a doppia T. L'evoluzione costruttiva è stata continua, caratterizzandosi con soluzioni varie nelle diverse aree geografiche sia per l'orditura principale che per quella secondaria.
Il solaio deve assolvere vari compiti: si va da quello statico, di sopportare il peso proprio e i carichi accidentali, a quello di assicurare una coibenza acustica e termica soddisfacente, oltre alla funzione ad esso assegnata in tempi recenti, per le costruzioni in zona sismica, che è quella di consentire la ripartizione delle forze sismiche sulle strutture perimetrali verticali. In tal senso, i solai dovrebbero avere una rigidezza nel proprio piano che non sempre possiedono; inoltre, di frequente si ritrova un insufficiente collegamento con le strutture verticali.
Nonostante le descritte vulnerabilità e gli elementi di debolezza, si deve riconoscere che i solai con struttura in legno hanno una vita molto lunga, se sono stati ben realizzati e conservati.
Orizzontamenti costruiti da diversi secoli continuano a mantenere la loro efficienza statica e assolvere ai loro compiti, se sono stati protetti dall'umidità e dai parassiti. Fessurazioni longitudinali e parallele alla fibratura possono convivere con gli elementi strutturali, mentre destano preoccupazioni fessurazioni poste ortogonalmente al verso della fibratura. Altrettanto spesso ci si trova di fronte a travi con evidenti deformazioni non necessariamente accompagnate da fessurazioni, per cui si deve procedere alle necessarie verifiche.
L'esecuzione di un solaio in legno, nella maggior parte dei casi, è stata eseguita molto semplicemente disponendo una serie di travi principali disposte ad un certo interasse che sostengono la struttura secondaria superiore.
Tale tipo di solaio si chiama *ad orditura semplice* e gli elementi portanti sono costituiti dalle travi principali, in genere disposte parallelamente al lato minore dell'ambiente di forma rettangolare, ad interasse variabile da 40÷70 cm sino a 90 cm, in funzione della destinazione d'uso del manufatto e, quindi, dei carichi a cui deve essere sottoposto. Le travi possono avere sezione rettangolare o circolare (come accade nei descritti solai napoletani): in quest'ultimo caso le sezioni di estremità delle travi non avevano le stesse dimensioni, ma risultavano rastremate secondo lo sviluppo dei tronchi di alberi.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Di conseguenza le travi venivano poste in opera in modo tale da alternare le sezioni maggiori con le minori. Esse erano appoggiate sulla muratura previa interposizione di dormiente costituito da una tavola di legno duro resistente all'umidità, che aveva la funzione di ripartire i carichi sull'appoggio.
L'*assito* (o tavolato) era disposto superiormente e in senso ortogonale alle travi principali, con uno spessore pari a 3÷5 cm, che serviva da base di appoggio per la realizzazione del masso e della pavimentazione. Nelle costruzioni rurali spesso l'assito fungeva anche da pavimentazione.
Nei solai napoletani sulle travi principali erano disposti i "panconcelli", come è stato descritto nel capitolo primo; per ovviare all'imbarcamento delle travi portanti potevano essere posti in opera i "sarcenali", travi in legno di castagno disposte in direzione ortogonale rispetto alle travi del solaio e messe in forza contro di esse con cunei in legno.
La *caldana*, realizzata in materiale leggero e con spessore minimo di 3÷4 cm, veniva gettata al di sopra dell'assito. Sul masso si disponeva l'eventuale massetto e la pavimentazione, oppure, nel caso dei solai di copertura, l'impermeabilizzazione veniva eseguita con tecniche e materiali tradizionali.
Per migliorare il collegamento con le murature si potevano adoperare staffe orizzontali che congiungevano le travi ad elementi metallici verticali (*bulzoni*) collegati alle murature.
Nel solaio a semplice orditura, quindi, gli elementi portanti risultano costituiti dalle travi principali, parallele tra loro, e dagli elementi portati ovvero dall'assito (o da panconcelli) e dal sovrastante masso, nonché dal massetto e dalla pavimentazione. L'interasse tra le travi principali, come si è detto, può essere sensibilmente variabile in funzione dei carichi che sono chiamate a sopportare.
È ben chiaro che vi sono specifiche caratterizzazioni regionali, legate a sistemi costruttivi tradizionali, uso di essenze lignee disponibili in sito, terminologie dialettali, ecc. (figura 2.9).
Gli schemi statici da adottare nelle verifiche sono semplici e di fatto, nella maggior parte dei casi, si riferiscono all'orditura principale, ovvero alle travi portanti: si adotta il modello di una trave appoggiata alle estremità soggetta ai carichi permanenti e accidentali, combinati secondo le indicazioni delle normative. Occorre ricordare che nel caso di deformazione evidente della trave, si deve verificare che la stessa sia compatibile con la vita di esercizio della struttura.
Le sollecitazioni prevalenti per tale tipo di schema statico sono quelle dovute:
al momento flettente, che raggiunge il suo valore massimo in mezzeria:

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8}$$

al taglio, che raggiunge il suo valore massimo in corrispondenza degli appoggi:

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

$$T_{\max} = \frac{ql}{2}$$

dove q rappresenta il valore del carico distribuito sulla trave ed l è la luce di calcolo. Devono essere eseguite sia le verifiche di resistenza, che assicurino che la trave sopporta le sollecitazioni in condizioni di sicurezza, sia le verifiche relative alla

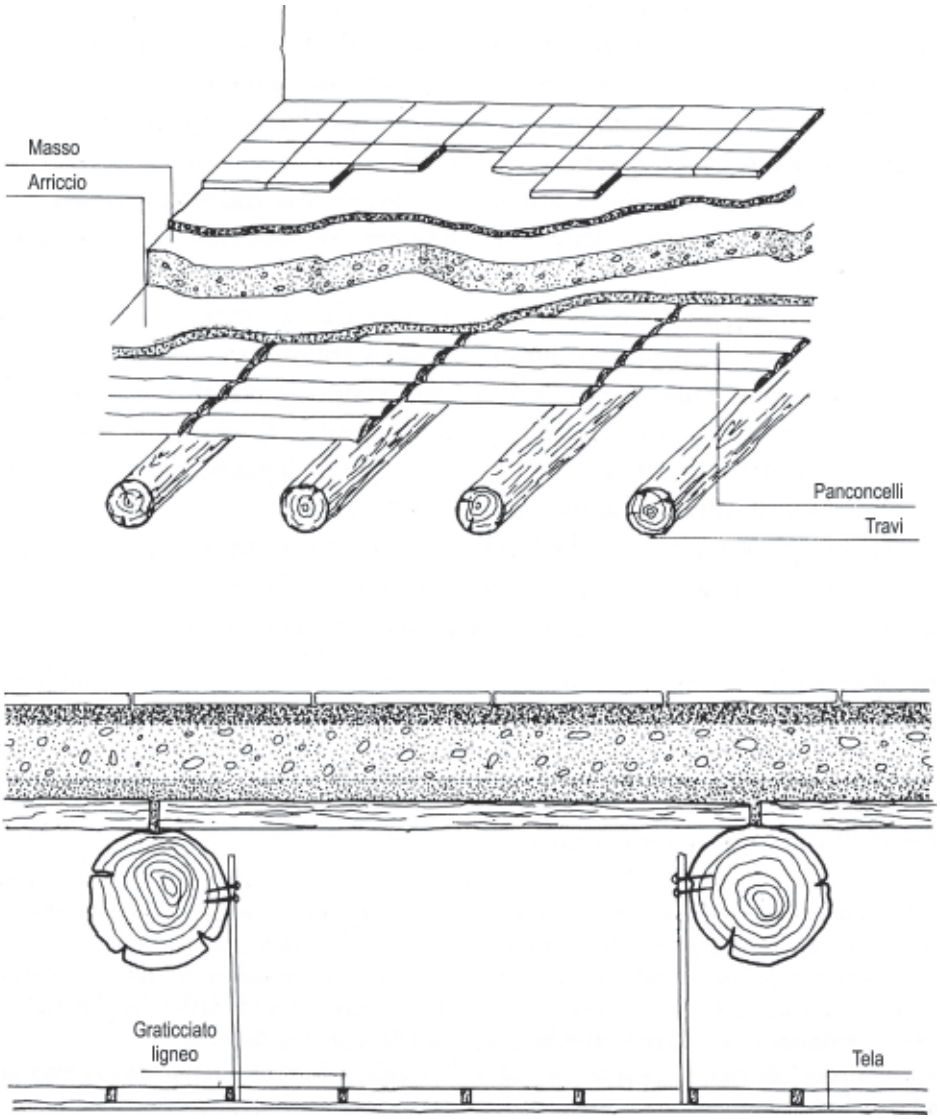

Figura 2.9. Solaio a semplice orditura, vista e sezione (fonte: Aveta, 1987)

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

deformabilità che garantiscano che la freccia massima sia contenuta entro i limiti ammissibili. Inoltre, deve essere verificato che la sezione di muratura sulla quale la trave si appoggia possa sopportare in sicurezza il carico che le viene trasmesso.
Nel caso di ambienti di grandi dimensioni (per luci oltre i sette metri), sono stati realizzati solai composti o a doppia orditura, i quali sono costituiti da un'orditura principale disposta parallelamente al lato minore della superficie rettangolare e da un'orditura secondaria collegata alle travi principali, sulla quale venivano poggiati l'assito in legno e la pavimentazione con relativo massetto. La differenza principale rispetto al solaio a semplice orditura consiste nel fatto che la struttura portante è costituita da due ordini di travi ortogonali e collegate tra di loro. Le travi principali risultano disposte ad interasse tale da ripartire in maniera conveniente la luce (che può variare anche dai 2,00 ai 4,00 metri), mentre l'orditura secondaria era disposta ortogonalmente a quella principale ad interasse molto minore.
Si è fatta la distinzione tra solai monodirezionali e bidirezionali: si deve tener ben presente che le tipologie di tali elementi costruttivi possono essere molto diverse. Ogni area geografica, in funzione delle proprie possibilità di reperimento dei materiali, delle conoscenze tecniche e, più in generale, dei contesti culturali e ambientali, ha sviluppato metodi di esecuzione differenti, per cui è importante che l'approccio a tali strutture avvenga sempre in modo critico e, soprattutto, considerando i casi reali con i quali ci si confronta.
Lo schema da assumere per la verifica dei solai bidirezionali è più complesso rispetto al tipo più semplice: ci si trova di fronte a una struttura costituita da un graticcio di travi di differente sezione e come tale dovrebbe essere verificata.
Gli elementi sui quali è necessario porre l'attenzione sono i collegamenti tra le travi principali e quelle secondarie: nel caso più comune le travi secondarie risultano appoggiate a quelle principali; altre soluzioni prevedevano la formazione di giunzioni ad incastro tra i due ordini di travi. Nel caso semplice di travi secondarie appoggiate a quelle principali può restare valido, almeno in prima approssimazione, l'adozione di un modello di verifica con travi appoggiate agli estremi.
Le travi secondarie si appoggiano sulle travi principali e sono soggette al carico distribuito costituito dai carichi permanenti e dai sovraccarichi; le travi principali si appoggiano sui muri e sono soggette ai carichi puntuali trasmessi, nei punti di appoggio, dalle travi secondarie.
Le *capriate* costituiscono l'altra tipologia strutturale in legno che si ritrova con maggiore frequenza nell'edilizia storica. Le forme sono differenti e si va dalle strutture più semplici costituite da puntoni con catena sino ai tipi più complessi per luci maggiori.
Le capriate possono essere strutture spingenti o non spingenti: dipende dall'esistenza o meno della catena.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Considerando una capriata con catena, gli elementi costruttivi principali sono i seguenti:

- i *puntoni,* travi inclinate che sopportano il peso della copertura e trasmettono i carichi alle murature perimetrali. I puntoni sono soggetti a sollecitazioni di compressione e flessione per la presenza del carico della copertura. La struttura secondaria di copertura è costituita da *terzere* (*o correnti*), eventualmente fermate dai *gattelli*. Sulle terzere vengono disposti i travetti che sorreggono le tegole, con la presenza di un eventuale tavolato;
- il *monaco* (detto anche *ometto*) è un elemento verticale: consente il collegamento in sommità tra i due puntoni e tiene la capriata in un piano verticale grazie a una staffa metallica che imbraca la catena. La staffa avvolge semplicemente la catena e questo collegamento ha lo scopo di consentire che il monaco e le parti che collega si mantengano in un unico piano; nel contempo è data libertà al monaco di potersi deformare al variare del carico. Il monaco a sua volta può essere collegato ai puntoni attraverso i contraffissi. Si deve infine tener presente che la staffa di collegamento tra monaco e catena può non essere presente: il monaco può essere svincolato dalla catena e collegato ai puntoni mediante i contraffissi o può essere direttamente poggiato sulla catena con la presenza di una staffa metallica;
- la *catena* è l'elemento orizzontale inferiore che collega i puntoni e di fatto serve ad assorbire la componente orizzontale della forza che essi esercitano sui muri verticali. Spesso è divisa in due pezzi che sono uniti in corrispondenza della staffa che la collega al monaco;
- i *contraffissi* (detti anche *saette* o *saettoni*) collegano il monaco ai puntoni per i quali costituiscono un elemento di appoggio; limitano la deformazione per inflessione degli stessi puntoni e trasferiscono i carichi al monaco. In genere sono posizionati a circa un terzo della lunghezza del puntone a partire dal colmo.

Per luci sino a circa 20 metri l'interasse tra le capriate è in genere di 2÷3 metri; per luci maggiori vengono aggiunti ulteriori elementi lignei ad integrazione dello schema descritto.
Nella costruzione delle coperture le capriate rappresentano gli elementi principali: tra le coperture impiegate con maggiore frequenza in Italia, vi sono quelle dette *alla piemontese* e quelle *alla lombarda*.
Nella copertura alla piemontese la capriata, in assenza del muro centrale, sorregge la trave di colmo, che a sua volta costituisce l'appoggio per le travi intermedie inclinate, i cosiddetti *falsi puntoni*. Nella copertura alla lombarda o romana sulle capriate sono disposte le terzere che sorreggono i travicelli.
Grande importanza assumono i nodi di collegamento tra i vari elementi. La ma-

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

nualistica tecnica si è interessata in modo approfondito di tale aspetto e si ritrovano disegnate e definite differenti tipologie (figura 2.10). Un giunto particolare che si trova talora impiegato nelle capriate è quello detto *a dardo di Giove*, realizzato anche senza l'impiego di elementi metallici di connessione: è utilizzato per gli elementi soggetti a flessione e non è efficace ai fini della resistenza a sforzi di trazione.

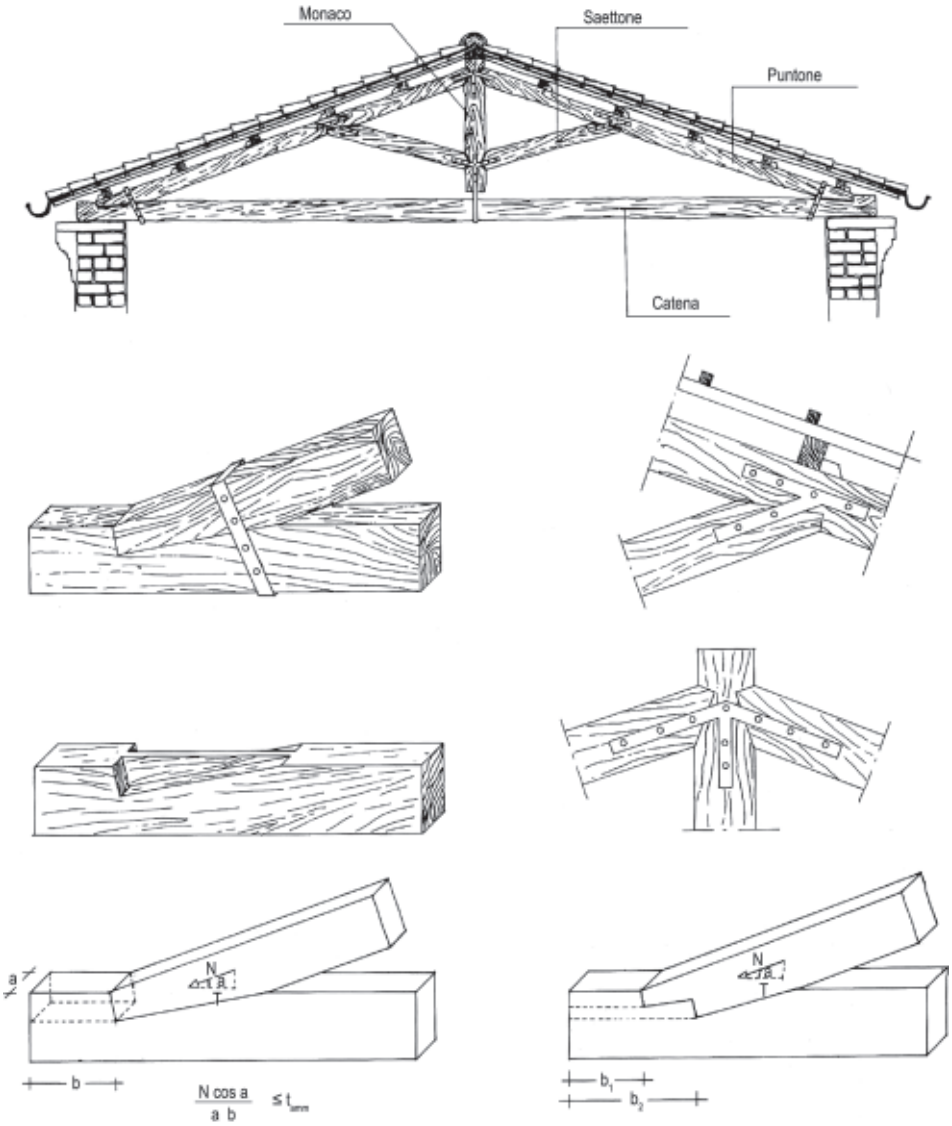

Figura 2.10. Tipi di capriate e incastri (fonte: Aveta, 1987)

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Per la capriata la verifica può risultare complessa; spesso si presenta come una struttura iperstatica per cui bisogna tener conto delle diverse rigidezze degli elementi che la costituiscono per poter determinare lo stato di sollecitazione interna. Occorre, dunque, valutare il grado di connessione e di vincolo tra i vari elementi: operazione non facile perché nel tempo la struttura ha subito modifiche o dissesti che hanno provocato adattamenti della struttura stessa per ritrovare nuove condizioni di equilibrio. Spesso, pertanto, si ricorre a modelli semplificati che descrivono in modo sufficientemente aderente alla realtà il comportamento della capriata.
La capriata viene di fatto assimilata a una struttura reticolare i cui elementi sono collegati da nodi-cerniera. In tale schema i carichi sono ricondotti a forze concentrate nei nodi e l'unica sollecitazione presente è quella dovuta allo sforzo normale. I puntoni sono soggetti a compressione, il monaco e la catena sono gli elementi tesi. Lo schema che si va a risolvere è, dunque, quello di una struttura reticolare, in genere isostatica, nella quale, frequentemente, il monaco è considerato collegato alla catena con una cerniera.
In tale schema le forze esterne vengono trasferite lungo gli assi esclusivamente attraverso la trasmissione di sforzi assiali. La soluzione oggi avviene attraverso l'impiego di opportuni programmi di calcolo, ma si può ricorrere ai metodi della statica grafica, come ad esempio al metodo di Ritter.
Nel caso di monaco distaccato dalla catena si può eliminare il vincolo cerniera tra i due elementi: ci si trova però di fronte a uno schema strutturale che non è più quello di una struttura reticolare, ma è simile a quello di un arco a tre cerniere. Per tener conto delle effettive condizioni di sollecitazione dei singoli elementi delle capriate, oltre allo schema con carichi concentrati nei nodi (reticolare o meno), si deve considerare la presenza del carico distribuito sui puntoni, per i quali si adotta uno schema di trave con appoggi alle estremità in cui la sollecitazione prevalente sarà dovuta al momento flettente. Anche in questo caso si deve attentamente tener presente la struttura che si va ad esaminare: i contraffissi, che collegano il puntone al monaco, costituiscono un vincolo per il puntone stesso.
Dunque, lo schema statico da adottare per lo stesso puntone non è quello di una trave semplicemente appoggiata, ma quello di una trave continua, dove l'appoggio intermedio si trova nel nodo di collegamento puntone-contraffisso.
Al fine di ottenere un migliore modello della effettiva connessione degli elementi si possono ovviamente impiegare metodi di calcolo di maggiore complessità, e in particolare quello agli elementi finiti. Così si possono opportunamente definire i nodi, per verificarne il comportamento e introdurre legami costitutivi non lineari per il materiale. È il caso però di ricordare che tali verifiche devono essere accuratamente eseguite e controllate per ottenere risultati effettivamente rispondenti alle reali condizioni della struttura.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Inoltre, come si è già segnalato, particolarmente importante è la verifica delle connessioni tra i vari elementi: puntone-catena, puntoni-monaco, contraffisso-puntone, ecc. Nei vari tipi di collegamento è fondamentale la corretta trasmissione della sollecitazione di compressione trasmessa tra i due elementi: le irregolarità nei giunti, la mancanza di ortogonalità della direzione della fibratura rispetto alla superficie di contatto degli elementi, la differenza nelle sezioni degli stessi elementi, sono tutti fattori di cui bisogna tenere debito conto in quanto possono influire negativamente sul corretto funzionamento del collegamento. Nel caso di antiche strutture gli aspetti si complicano ulteriormente se si pensa agli adattamenti che esse hanno subito con conseguente variazione delle condizioni di vincolo ed eventuale presenza di sollecitazioni anomale di cui non si ha conoscenza.
Un punto sicuramente critico che occorre verificare è il nodo di collegamento tra il puntone e la catena. Il giunto può essere realizzato a dente semplice, a dente arretrato o a doppio dente.
Nel collegamento a dente semplice lo sforzo N_d trasmesso dal puntone viene scomposto in due componenti F_1 e F_2 perpendicolari alle superfici di intaglio, che danno luogo a:

- tensioni tangenziali τ_d che agiscono sulla superficie orizzontale della catena per il tratto che parte dal nodo di collegamento con il puntone:

$$\tau_d = \frac{N_d \cos\alpha}{bv}$$

con
b = spessore elementi di legno
v = distanza del nodo dal termine della catena.

- tensioni normali di compressione $\sigma_{c,d}$ che agiscono sulla superficie del dente frontale:

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_d \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{bt}$$

con
b = spessore elementi di legno
t = altezza del dente frontale.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

4.4.1. Incalmo e fettonatura

Nella manualistica storica sono descritte le tecniche dell'*incalmo* e della *fettonatura*[17]. L'incalmo prevede la connessione tra gli elementi lignei sostituendo le parti deteriorate con altre nuove; il rinforzo delle strutture dissestate con altre poste ai suoi lati è definito, poi, fettonatura che prende il nome dagli elementi posti come rinforzo detti appunto *fettoni*. Sia l'incalmo che la fettonatura possono essere eseguiti anche con nuovi materiali come lamine o profilati di acciaio o conglomerati epossidici, ma si prestano molto bene ad essere compiuti adoperando elementi lignei. Particolarmente interessanti sono le connessioni che devono essere realizzate con un'opportuna sagomatura degli elementi, resi solidali con chiodature o bulloni.

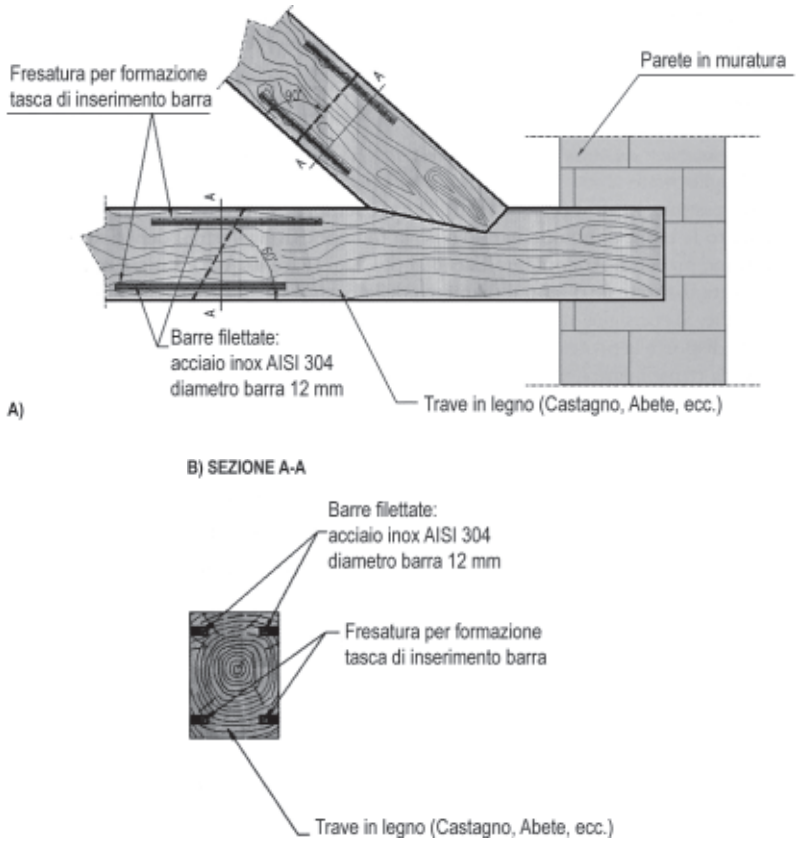

Figura 4.1. Ricostruzione di elementi di estremità di capriata mediante protesi di testata: a) sezione longitudinale; b) sezione trasversale (fonte: *Linee guida per Riparazione e rafforzamento*, 2012)

[17] Cfr. F. Laner, A. Menegotto, *Incalmi e fettoni: indicazioni per la riparazione degli elementi degradati*, in *Adrastea* n. 17, 2001. Nel testo si precisa che il termine "incalmo" deriva da incalzare, operazione di innesto in agraria.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Figura 4.2. Castello del Valentino: protesi in legno lamellare (fonte: Mattone, 2013)

Affinché l'incalmo possa dare esiti positivi, è indispensabile utilizzare un legno che abbia le stesse caratteristiche di quello esistente e con un tenore di umidità compatibile con l'ambiente (sono stati proposti valori di 12±2% per ambienti chiusi e riscaldati e 15±2% per ambienti non riscaldati). In caso contrario, la perdita d'acqua del legno non stagionato può causare ritiro, fessurazione e torsione con distacchi e discontinuità (figure 4.1 e 4.2).

4.4.2. Ricostruzione con giunti a dardo di Giove

Il giunto a dardo di Giove, tecnica di tipo tradizionale, può essere utile nella sostituzione di elementi ammalorati per collegare i nuovi elementi a quelli esistenti: è il caso, ad esempio, delle parti terminali delle catene delle capriate. Per eseguire l'intervento, si deve innanzitutto puntellare la capriata, forzandola al fine di provocare il distacco tra la catena e il puntone. Successivamente si elimina la parte degradata della catena con un taglio dal profilo dentato – che costituisce il profilo del giunto – e si pulisce la parte residua prestando attenzione alle eventuali fessure da ritiro sui denti del giunto. Esse, infatti, indeboliscono l'unione per cui è opportuno che vengano chiuse con malta epossidica iniettata o con chiodi, contrariamente agli altri casi in cui si è sottolineata l'inutilità o i danni prodotti da tali sigillature.

La realizzazione dell'integrazione lignea deve essere effettuata molto accuratamente perché non sempre è possibile smontare le due parti congiunte. Posizionata la protesi, si inseriscono i cunei di chiave serrandoli bene per impedire eventuali movimenti; si esegue una serie di fori nei quali si introducono le barre filettate che collegano il nuovo elemento alla parte restante della catena e si giuntano i due pezzi; in alternativa, le unioni possono essere realizzate con spinotti o squadrette in acciaio.

L'intervento è sicuramente distinguibile e può essere circoscritto alle sole parti ammalorate: dunque, rispetta il principio del minimo intervento, non preclude interventi futuri e non altera il comportamento strutturale. I tempi dell'operazione risultano più lunghi se confrontati con analoghi interventi con materiali moderni, come i betoncini epossidici, ma viene garantita la compatibilità fisico-chimica e meccanica tra l'elemento oggetto di integrazione e la protesi.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

4.4.3. Rinforzo con travi in legno o in materiali innovativi

Il rafforzamento con travi può essere realizzato con travi lignee collegate all'intradosso, all'estradosso o ai lati di quelle dissestate sostituendo le parti che non assolvono più la loro funzione statica. Si tratta di un intervento complesso per il quale è indispensabile garantire l'effettiva connessione tra i vari elementi; pur rispettando la compatibilità fisico-chimica e meccanica dei materiali utilizzati con quelli in opera, risulta decisamente invasivo e, comunque, una parte della trave viene sostituita. Nel campo del restauro di edifici di importanza storico-artistica la sua applicazione dovrebbe essere limitata, pertanto, solo ai casi in cui non vi siano valide alternative.

Una prima modalità di esecuzione consiste nel posizionare l'elemento di rinforzo all'intradosso di quello dissestato. Le fasi di realizzazione iniziano dal puntellamento della zona di solaio dissestato in modo che la trave su cui si deve intervenire risulti completamente scarica. Successivamente si eliminano le parti degradate e si predispongono i collegamenti con un taglio dentato o con alloggi per le biette; le lavorazioni possono essere più agevoli quando è possibile rimuovere la trave in opera sfilandola dai muri. Nel contempo si prepara la nuova trave, avente una base sagomata per realizzare l'unione con l'elemento in opera; dopo aver trattato le due parti con un adeguato prodotto preservante e protettivo, esse vengono sovrapposte e collegate con caviglie e bulloni serrati ottenendo una trave composta, determinando anche un miglioramento delle caratteristiche di resistenza. È importante, però, che l'unione sia eseguita bene per impedire scorrimenti tra i due elementi. Al fine di migliorare il collegamento è possibile adoperare resine per l'incollaggio delle due sezioni; in passato per le giunzioni si adoperavano prevalentemente biette di legno duro, le quali non sempre assicuravano una perfetta aderenza.

Un'altra modalità esecutiva consiste nel posizionare una o due travi accanto a quella da rinforzare, nel collegarle con bulloni o fasce in acciaio, alloggiando le parti nuove in appositi fori nelle murature perimetrali. Il rafforzamento si esegue in opera senza smontaggi, previa puntellatura della trave dissestata; può essere limitato a una sola parte di essa o esteso all'intera lunghezza.

La verifica statica si riconduce a quella di una trave formata dalla somma di più sezioni; per contrastare l'instabilità laterale si possono utilizzare regoli superiori, se si opera su un travetto di solaio, o un maggior numero di collegamenti. Prima del puntellamento devono essere verificate le condizioni delle strutture alle quali sarà trasferito temporaneamente il carico delle travi; il disarmo deve essere compiuto solo dopo il controllo della corretta esecuzione di tutti i collegamenti.

Anche in questo caso, la riuscita dell'intero intervento è strettamente correlata all'efficacia delle giunzioni; in luogo dei bulloni si possono usare fasce esterne in acciaio opportunamente serrate, rimovibili più facilmente e facilmente distinguibili.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

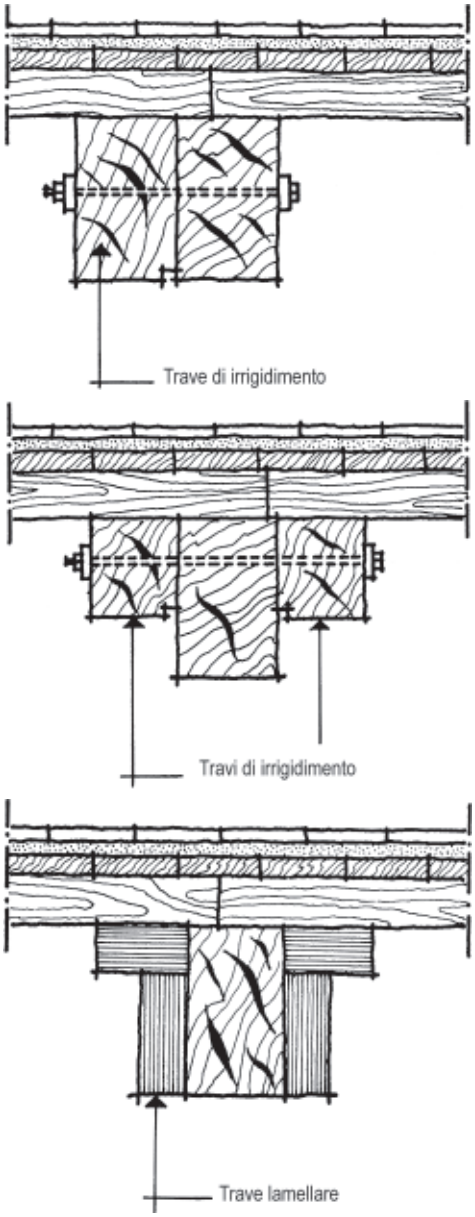

Figura 4.3. Rinforzo: a, b) con travi in legno affiancate; c) con travi in legno lamellare

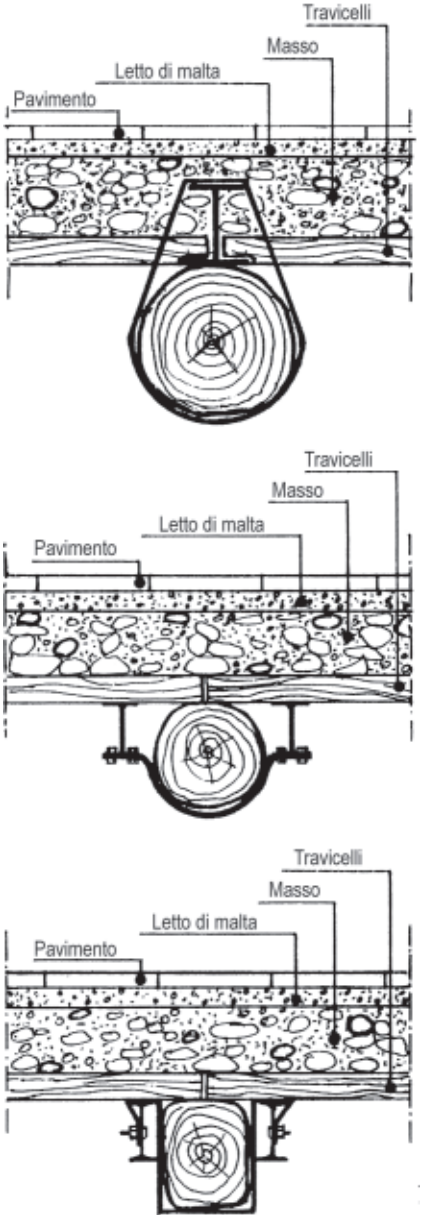

Figura 4.4. Rinforzo: a) con trave metallica all'estradosso; b, c) con travi metalliche affiancate (fonte: Munafò, 1990)

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Figura 4.5. Inserimento di travi pultruse in fibra di vetro tra le travi di castagno di un solaio di grande luce nel Palazzo Montemiletto, Napoli: estradosso prima dell'intervento e viste dall'alto dopo l'intervento

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

L'inserimento di elementi esterni per aumentare le sezioni resistenti può avvenire anche utilizzando guance di legno duro, lamellare o compensato strutturale collegate ad entrambi i lati delle travi esistenti con ponticelli metallici posizionati in modo tale da contrastare le rotazioni all'estremità. Ci si avvicina così alla condizione di vincolo incastro e si ottiene una riduzione delle sollecitazioni nella sezione di mezzeria; in alternativa il collegamento può essere realizzato con ganci di fissaggio e perni in acciaio inox[18] (figure 4.3 e 4.4).
Gli interventi con elementi di rinforzo posti inferiormente o affiancati alle travi esistenti non possono essere eseguiti quando si ci trova di fronte a solai con intradossi decorati o dipinti, o se non è possibile modificare le particolari condizioni di vincolo. Inoltre se le travi hanno una sezione circolare, le difficoltà di realizzazione crescono considerevolmente.
Nei casi in cui per le prescrizioni delle Soprintendenze non è possibile rafforzare un solaio ligneo all'intradosso (decorato o controsoffittato) negli anni recenti sono state utilizzate travi pultruse inserite longitudinalmente tra le travi di legno, così da assorbire quota parte del carico (figura 4.5).

4.4.4. Rinforzo con sistemi legno-legno per i solai

Per il rinforzo dei solai, i sistemi misti legno-legno consentono di ottenere un buon aumento della resistenza e della rigidezza, e di rispettare la condizione di compatibilità fisico-meccanica dei materiali: la tecnica di esecuzione è completamente a secco, non si determinano alterazioni all'intradosso e si ha il vantaggio di poter rimuovere i nuovi elementi.
L'opportunità di irrigidire il solaio con un altro tavolato disposto su quello esistente è stata messa in evidenza sin dagli anni Settanta nel progetto CNR-Geodinamica[19] (figura 4.6). Dopo aver puntellato il solaio e rimosso il masso, si verifica lo stato del tavolato o dei panconcelli e si procede a un'accurata pulizia consolidando o sostituendo gli elementi degradati; se non vi sono particolari esigenze di conservazione il tavolato esistente viene rimosso. L'intervento, con il quale si ottengono un aumento dell'inerzia del sistema strutturale e una diminuzione della freccia elastica, è realizzabile nel caso in cui le travi portanti presentino condizioni accettabili di conservazione e resistenza, per cui l'obiettivo dell'operazione è il miglioramento della rigidezza di piano. Il secondo strato di tavolato, dello spes-

[18] Cfr. G. Tampone, *Il restauro delle strutture in legno*, Hoepli, Milano 1996, p. 306.
[19] Cfr. D. Benedetti, L. Formis, *Raccolta di interventi per il ripristino di edifici in muratura*, in CNR-Progetto finalizzato Geodinamica, *Riparazione e consolidamento di edifici in muratura*, p. 7: "L'irrigidimento dei solai in legno può essere effettuato sia tramite applicazione di un tavolato ortogonale a quello esistente sia tramite il getto di una solettina in cls. armata con rete elettrosaldata. Il collegamento alle murature adiacenti è effettuato nel primo caso tramite piattine metalliche ancorate al solaio e bloccate"; A. Defez, *Il consolidamento degli edifici*, Liguori, Napoli 2002.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

UNI 11119:2004 – *Beni culturali – Manufatti lignei – Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera*
La norma si articola in otto punti, oltre un'appendice: 1. *Scopo e campo di applicazione*; 2. *Riferimenti normativi*; 3. *Definizioni*; 4. *Obiettivi dell'Ispezione*; 5. *Condizioni preliminari per l'esecuzione dell'ispezione*; 6. *Limitazioni applicative*; 7. *Procedimenti per l'esecuzione dell'ispezione*; 8. *Resoconto*. L'appendice A riguarda le *Tensioni e moduli di elasticità per le categorie in opera*.
Al punto 1 viene stabilito lo scopo e il campo di applicazione della norma, ovvero indicare le metodiche operative e i requisiti per definire lo stato di conservazione di elementi lignei in opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, nonché la stima della loro resistenza e della loro rigidezza, attraverso l'esecuzione di ispezioni in situ e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive.
Essa può essere applicata ad elementi di qualsiasi specie legnosa, così come definiti dalla UNI ENV 1995-1-1, e definisce le deroghe ammissibili alle procedure di cui alla norma UNI EN 518, allo scopo di rendere applicabile agli elementi strutturali in opera il metodo della classificazione secondo la resistenza, anche quando non è possibile ispezionare l'elemento nella sua totalità, essendo già in opera.
Al punto 2 sono definiti i riferimenti alle altre norme UNI, ovvero alle norme UNI 11118 (*Beni culturali – Manufatti lignei – Criteri per l'identificazione delle specie legnose*), UNI EN 335-1 (*Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Definizione delle classi di rischio di attacco biologico – Generalità*), UNI EN 335-2 (*Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno – Definizione delle classi di rischio di attacco biologico – Applicazione al legno massiccio*), UNI EN 518 (*Legno strutturale – Classificazione – Requisiti per le norme di classificazione a vista secondo la resistenza*), UNI ENV 1995-1-1 (Eurocodice 5 – *Progettazione delle strutture di legno – regole generali e regole per gli edifici*).
Al punto 3 sono indicate le definizioni di tredici termini che trovano applicazione nella norma, ovvero: alterazione, classificazione secondo la resistenza, danno meccanico, degradamento, diagnosi, difetto (del legno), impatto (di una prova non distruttiva), prestazioni, prova non distruttiva, sezione critica, sezione efficace, stato di conservazione e zona critica. Si tratta di definizioni elaborate, come tutte le norme in esame, al fine di ottenere un lessico condiviso che tenga conto del reale stato dell'arte della materia e del necessario grado di consenso.
Al punto 4 sono specificati gli obiettivi che l'ispezione deve prefiggersi, ovvero la raccolta di una serie di informazioni relative a ciascun elemento ligneo portante facente parte della struttura, al fine di valutarne l'integrità e le prestazioni. In particolare, dovranno essere determinati: specie legnosa, umidità del legno ed eventuali gradienti di umidità, classe di rischio biologico (secondo le UNI EN 335-1 e UNI EN 335-2), geometria e morfologia dell'elemento ligneo, localizzazione e estensione dei principali difetti, degrado e danni eventualmente presenti, posizione e forma delle zone critiche, classificazione secondo la resistenza dell'elemento ligneo nel suo complesso o delle singole zone critiche.
Per specifiche strutture con problematiche particolari, potranno essere chiaramente concordati preventivamente anche ulteriori obiettivi.
Al punto 5 sono elencate le condizioni preliminari per l'esecuzione dell'ispezione, ovvero l'accessibilità, la pulizia e una adeguata illuminazione. Qualora tali condizioni dovessero non essere garantite, la norma prevede che si dovranno realizzare interventi preliminari atti ad assicurarle.
Al punto 6 sono indicate le limitazioni all'applicazione di tale norma, ovvero la sua parziale inapplicabilità per gli elementi in legno lamellare, vista l'impossibilità di determinare in sito la qualità degli incollaggi, e per gli elementi lignei decorati e/o rivestiti, poiché non sempre tutte le superfici esterne risultano visibili.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Al punto 7 sono definite, passo passo, le procedure per l'esecuzione dell'ispezione, facendo riferimento – se del caso – ad esistenti altre norme. Di particolare interesse sono le indicazioni per la realizzazione del rilievo geometrico e per la classificazione secondo la resistenza del legno. La restituzione grafica del rilevo dovrà essere tale da evidenziare con chiarezza dimensioni e forma dell'elemento, presenza di smussi e deformazioni, particolarità del legno in funzione del suo accrescimento (posizione del midollo, biforcazioni, ecc.), tipo, posizione ed estensione dei principali difetti, forma di danno e di degrado presenti, zone critiche, eventuali altre caratteristiche ritenute influenti sulla capacità portante dell'elemento. La classificazione secondo la resistenza deve basarsi su metodi di valutazione visiva dell'elemento ligneo, mediante l'accurata ispezione di tutte le parti che lo costituiscono, ovvero su misurazioni non distruttive di una o più proprietà fisico-meccaniche, oppure su combinazioni delle due citate metodologie.
Per quanto attiene alla identificazione, localizzazione e descrizione delle zone e delle sezioni critiche, la norma stabilisce che tali operazioni siano eseguite nel rispetto di alcuni criteri generali e delle indicazioni fornite in due prospetti riepilogativi contenuti nella norma. I criteri generali da seguire sono:

- classificare l'intero elemento costruttivo, anche per parti o per zone critiche, qualora fosse necessario;
- considerare le limitazioni derivanti dalle condizioni di accessibilità della struttura (quanto le facce visibili e, dunque, indagate di ogni singolo elemento sono inferiori a tre occorre riportare tale circostanza nel resoconto);
- nel caso di alterazioni dovute a danno meccanico o a degrado biologico, la classificazione va riferita alla sola sezione efficace;
- nel caso di fenomeni di degradazione diffusi, dovute, ad esempio, da attacchi di insetti xilofagi estesi a tutta la sezione, la classificazione riguarderà l'intera sezione indicando, però, ai fini dell'analisi strutturale valori delle proprietà fisico-meccaniche ridotte in funzione dell'area della sezione occupata dalle gallerie;
- per l'assegnazione del legno a una delle tre categorie esistenti è necessario che tutte le caratteristiche e/o i difetti rientrino nei limiti specificati; non è ammessa, infatti, l'assegnazione di categorie intermedie;
- per le specie non previste nel prospetto 1, l'elemento va classificato facendo riferimento alla specie più prossima dal punto di vista dell'anatomia del legno e della massa volumica media.

Il prospetto 1, *Regole di classificazione per elementi strutturali in opera*, definisce una serie di parametri geometrici relativi a smussi, lesioni, cretti, nodi, gruppi di nodi, inclinazione della fibratura, dal cui confronto con i dati rilevati in sito è possibile procedere ad assegnare la categoria al legno ispezionato.
Il prospetto 2, *Modalità di misurazione delle caratteristiche quantificabili sugli elementi strutturali in opera*, fornisce i criteri per definire smussi, nodi, gruppi di nodi e inclinazione della fibratura.
Nel caso in cui si volesse ricorrere all'esecuzione di una o più prove non distruttive, esse dovranno essere sempre estese alla zone critiche e il loro impatto deve essere trascurabile sulla struttura.
La norma prevede anche modalità operative diverse da quelle sin qui descritte: nel caso in cui si dovesse non utilizzare il metodo proposto, al punto 7.6 della UNI 11119 sono fissati i requisiti delle diverse modalità operative che si dovranno comunque soddisfare.
In conclusione, al punto 8 la norma prevede i contenuti minimi del resoconto di ispezione, ovvero della relazione scritta da elaborare ad ispezione avvenuta. Essa dovrà contenere: i dati della struttura, del committente e di referenti tecnici; gli specifici obiettivi dell'ispezione, il periodo di effettuazione, la descrizione delle eventuali prove non distruttive effettuate, la re-

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

stituzione dei risultati relativi alla struttura o alle singole unità strutturali, mediante grafici o sotto forma tabulare; il nome e la qualifica del tecnico responsabile.
In appendice alla norma vi è anche il prospetto 3 nel quale sono riportati, per elementi lignei di diverse specie legnose e relative categorie classificate, le tensioni massime, utilizzabili con il metodo delle tensioni ammissibili, e i valori medi di modulo elastico a flessione, per il calcolo delle deformazioni della struttura agli stati limiti di esercizio.

UNI 11118:2004 – *Beni culturali – Manufatti lignei – Criteri per l'identificazione delle specie legnose*
La norma si articola in sei punti: 1. *Scopo e campo di applicazione*; 2. *Riferimenti normativi*; 3. *Termini e definizioni*; 4. *Scelta del metodo di identificazione*; 5. *Prelevamento di un campione*; 6. *Rendiconto della identificazione*.
Al punto 1 è chiaramente definito lo scopo della norma, ovvero descrivere i criteri da seguire per l'identificazione della specie legnosa. Soprattutto per le opere d'arte lignee tale identificazione risulta essere essenziale per intervenire in maniera corretta. La norma in esame fornisce l'iter metodologico per tale definizione, correlandosi direttamente con la norma UNI 11161:2005 – *Beni culturali – Linee guida per la conservazione, il restauro e la manutenzione, essendo l'identificazione della specie legnosa uno dei requisiti essenziali dei progetti di conservazione, manutenzione e restauro*.
Al punto 2 sono individuati ulteriori riferimenti normativi, ovvero le norme UNI 2853, 2854 e 3917, relative ai nomi delle specie legnose che, rispettivamente, vegetano spontaneamente in Italia, sono esotiche ma coltivate in Italia, sono esotiche e importate.
Al punto 3 vi sono 11 definizioni terminologiche. Sono definite, infatti, alcune delle caratteristiche dei legnami, come la fibratura, la specie legnosa, la taxon, la venatura, nonché la descrizione delle diverse sezioni ottenibili da un tronco ligneo, ovvero quella trasversale e quelle longitudinale radiale e tangenziale. Ancora, sono definite le operazioni di identificazione macroscopica e microscopica delle specie legnose, che si basano, rispettivamente, sull'esame dei caratteri del legno visibili ad occhio nudo (colore, venatura, tessitura ed eventuali caratteri anatomici) o con ingrandimento non maggiore di 10x, o sull'esame dei caratteri e/o strutture anatomiche del legno osservabili solo con l'ausilio di un microscopio.
Al punto 4 è indicata la metodica attraverso la quale procedere all'identificazione del taxon, che risulta ovviamente subordinata alle condizioni di conservazione del bene. Le operazioni dovranno essere eseguite per fasi successive partendo dall'esame macroscopico. Nel caso in cui i caratteri anatomici identificati non fossero sufficienti, si potrà procedere alla identificazione microscopica direttamente sul manufatto. Se tale operazione non può essere eseguita, si dovrà verificare l'ammissibilità di un prelievo di un campione da esaminare in laboratorio. Le modalità del prelevamento di tale campione sono definite al punto 5. In particolare, la norma prescrive:
- che si dovrà procedere a un numero di prelievi pari al numero dei taxon che si ritiene aver identificato all'osservazione diretta;
- che il campione dovrà essere orientato in modo da poter ricavare le tre sezioni anatomiche precedentemente citate ed avere dimensioni minime;
- che la zona di prelevamento dovrà essere di quelle meno visibili del manufatto, prediligendo quelle parti che dovessero risultare già parzialmente distaccate e/o danneggiate;
- che il campione, eseguite le indagini, dovrà, poi, essere adeguatamente conservato.

Al punto 6 la norma in esame fornisce specifiche indicazioni sui contenuti del resoconto da effettuare ad identificazione avvenuta.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

International Council on Monuments and Sites
ICOMOS

INTERNATIONAL WOOD COMMITTEE

Principles for the Preservation of Historic Timber Buildings (1999)

The aim of this document is to define basic and universally applicable principles and practices for the protection and preservation of historic timber structures with due respect to their cultural significance. Historic timber structures refer here to all types of buildings or constructions wholly or partially in timber that have cultural significance or that are parts of an historic area. For the purpose of the preservation of such structures, the Principles:

- recognise the importance of timber structures from all periods as part of the cultural heritage of the world;
- take into account the great diversity of historic timber structures;
- take into account the various species and qualities of wood used to build them;
- recognise the vulnerability of structures wholly or partially in timber due to material decay and degradation in varying environmental and climatic conditions, caused by humidity fluctuations, light, fungal and insect attacks, wear and tear, fire and other disasters;
- recognise the increasing scarcity of historic timber structures due to vulnerability, misuse and the loss of skills and knowledge of traditional design and construction technology;
- take into account the great variety of actions and treatments required for the preservation and conservation of these heritage resources;
- note the Venise Charter, the Burra Charter and related UNESCO and ICOMOS doctrine, and seek to apply these general principles to the protection and preservation of historic timber structures;
- and make the following recommendations:

Inspection, Recording and Documentation

1. The condition of the structure and its components should be carefully recorded before any intervention, as well as all materials used in treatments, in accordance with Article 16 of the Venice Charter and the ICOMOS Principles for the Recording of Monuments, Groups of Buildings and Sites. All pertinent documentation, including characteristic samples of redundant materials or members removed from the structure, and information about relevant traditional skills and technologies, should be collected, catalogued, securely stored and made accessible as appropriate. The documentation should also include the specific reasons given for choice of materials and methods in the preservation work;
2. A thorough and accurate diagnosis of the condition and the causes of decay and structural failure of the timber structure should precede any intervention. The diagnosis should be based on documentary evidence, physical inspection and analysis, and, if necessary, measurements of physical conditions and non-destructive testing methods. This should not prevent necessary minor interventions and emergency measures.

Monitoring and Maintenance

3. A coherent strategy of regular monitoring and maintenance is crucial for the protection of historic timber structures and their cultural significance.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Interventions

4. The primary aim of preservation and conservation is to maintain the historical authenticity and integrity of the cultural heritage. Each intervention should therefore be based on proper studies and assessments. Problems should be solved according to relevant conditions and needs with due respect for the aesthetic and historical values, and the physical integrity of the historic structure or site.
5. Any proposed intervention should for preference:
   a. follow traditional means;
   b. be reversible, if technically possible; or,
   c. at the least not prejudice or impede future preservation work whenever this may become necessary;
   d. and not hinder the possibility of later access to evidence incorporated in the structure.
6. The minimum intervention in the fabric of an historic timber structure is an ideal. In certain circumstances, minimum intervention can mean that their preservation and conservation may require the complete or partial dismantling and subsequent reassembly in order to allow for the repair of timber structures;
7. In the case of interventions, the historic structure should be considered as a whole; all material, including structural members, in-fill panels, weather-boarding, roofs, floors, doors and windows, etc., should be given equal attention. In principle, as much as possible of the existing material should be retained. The protection should also include surface finishes such as plaster, paint, coating, wall-paper, etc. If it is necessary to renew or replace surface finishes, the original materials, techniques and textures should be duplicated as far as possible;
8. The aim of restoration is to conserve the historic structure and its loadbearing function and to reveal its cultural values by improving the legibility of its historical integrity, its earlier state and design within the limits of existing historic material evidence, as indicated in articles 9 - 13 of the Venice Charter. Removed members and other components of the historic structure should be catalogued, and characteristic samples kept in permanent storage as part of the documentation.

Repair and Replacement

9. In the repair of an historic structure, replacement timber can be used with due respect to relevant historical and aesthetical values, and where it is an appropriate response to the need to replace decayed or damaged members or their parts, or to the requirements of restoration. New members or parts of members should be made of the same species of wood with the same, or, if appropriate, with better, grading as in the members being replaced. Where possible, this should also include similar natural characteristics. The moisture content and other physical characteristics of the replacement timber should be compatible with the existing structure. Craftsmanship and construction technology, including the use of dressing tools or machinery, should, where possible, correspond with those used originally. Nails and other secondary materials should, where appropriate, duplicate the originals. If a part of a member is replaced, traditional woodwork joints should, if appropriate and compatible with structural requirements, be used to splice the new and the existing part;
10. It should be accepted that new members or parts of members will be distinguishable from the existing ones. To copy the natural decay or deformation of the replaced members or parts is not desirable. Appropriate traditional or well-tested modern methods may be used to match the colouring of the old and the new with due regard that this will not harm or degrade the surface of the wooden member;
11. New members or parts of members should be discretely marked, by carving, by marks burnt into the wood or by other methods, so that they can be identified later.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Historic Forest Reserves

12. The establishment and protection of forest or woodland reserves where appropriate timber can be obtained for the preservation and repair of historic timber structures should be encouraged. Institutions responsible for the preservation and conservation of historic structures and sites should establish or encourage the establishment of stores of timber appropriate for such work.

Contemporary Materials And Technologies

13. Contemporary materials, such as epoxy resins, and techniques, such as structural steel reinforcement, should be chosen and used with the greatest caution, and only in cases where the durability and structural behaviour of the materials and construction techniques have been satisfactorily proven over a sufficiently long period of time. Utilities, such as heating, and fire detection and prevention systems, should be installed with due recognition of the historic and aesthetic significance of the structure or site;
14. The use of chemical preservatives should be carefully controlled and monitored, and should be used only where there is an assured benefit, where public and environmental safety will not be affected and where the likelihood of success over the long term is significant.

Education and Training

15. Regeneration of values related to the cultural significance of historic timber structures through educational programmes is an essential requisite of a sustainable preservation and development policy. The establishment and further development of training programmes on the protection, preservation and conservation of historic timber structures are encouraged. Such training should be based on a comprehensive strategy integrated within the needs of sustainable production and consumption, and include programmes at the local, national, regional and international levels. The programmes should address all relevant professions and trades involved in such work, and, in particular, architects, conservators, engineers, craftspersons and site managers.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

VERIFICA DELLE BARRE

Si fa riferimento alle norme CNR-DT 206/2007 par. 7.10.2.

Verifica ad estrazione
La resistenza all'estrazione della singola barra viene calcolata come valore minimo tra:
- il valore corrispondente alla rottura per trazione della barra in acciaio;
- il valore corrispondente alla rottura per scorrimento del legno all'interfaccia con l'adesivo;
- il valore corrispondente alla rottura completa o parziale dell'elemento ligneo per trazione.

Valori di calcolo per le verifiche

f_{yd}	Tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio = f_{yk}/γ_m = 450/1,5	391 N/mm^2
A_{res}	Sezione resistente della barra di acciaio	154 mm^2
d_{eq}	Diametro equivalente = min (d foro; 1,10d) = min (18; 1,10 · 14)	15,4 mm
L_{ad}	Lunghezza di ancoraggio effettiva della barra	200 mm
$f_{v,d}$	Resistenza a scorrimento (Tab. 7-11, norme CNR-DT 206/2007)	4 N/mm^2
$f_{t,0,k}$	Tensione caratteristica di trazione nella direzione della fibratura del legno	11 N/mm^2
$f_{t,0,d}$	Tensione di progetto di trazione = $k_{mod} \cdot f_{t,0,k}/\gamma_m$ = 0,8 · 11/1,5	5,87 N/mm^2
A_{eff}	Area efficace di rottura del legno (Fig. 7-18, norme CNR-DT 206/2007) $(3d + l_b) \cdot (3d + l_h)$	5929 mm^2

Calcolo del valore caratteristico della capacità portante della barra incollata in direzione parallela alla fibratura – $F_{ax,Rd}$

Rottura per trazione della barra in acciaio	$f_{yd} \cdot A_{res}$ = 391 · 154	60214 N
Rottura per scorrimento del legno all'interfaccia con l'adesivo	$\pi \cdot d_{eq} \cdot L_{ad} \cdot f_{v,d}$ = 3,14 · 15,4 · 200 · 4	38684,80 N
Rottura completa o parziale dell'elemento ligneo per trazione	$f_{t,0,d} \cdot A_{eff}$ = 5,87 · 5929	34803,23 N

Capacità portante della barra di progetto = $k_{mod} \cdot F_{ax,Rd}/\gamma_m$ = 0,8 · 34803,23/1,5 = 18561,66 N

Forza massima agente sulla barra: $N_{b\max}$ =17743,2 daN < 18561,66 N

La verifica è soddisfatta.

Verifica a compressione della sezione di contatto tra i due elementi in legno
La sezione di contatto tra i due elementi in legno (trave e protesi), inclinata a 45°, *è soggetta a tensione di compressione inclinata rispetto alla fibratura.*
Per tale verifica si fa riferimento all'Eurocodice 5, punto 6.2.2, le cui prescrizioni si riportano di seguito.
Deve risultare:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\dfrac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Valori di calcolo per le verifiche

F_c	Forza agente sulla superficie tra le due sezioni	23864,8 daN
A_c	Area della sezione di verifica (240 – 2 · 35) · (120 – 2 · 35)/cos 45°	12020, 81 mm²
$f_{c,0,d}$	Resistenza a compressione direzione fibre = $k_{mod} \cdot f_{c,0,k}/\gamma_m$ = 0,8 · 18/1,5	9,6 mm N/mm²
$f_{c,90,d}$	Resistenza a compressione direzione fibre = $k_{mod} \cdot f_{c,90,k}/\gamma_m$ = 0,8 · 2,2/1,5	1,17 mm N/mm²
$k_{c,90}$	Fattore il cui valore è fornito dal punto 6.1.5 dell'Eurocodice 5	1

Calcolo tensioni

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = 23864,8 / 12020,81 = 1,98 \text{ N/mm}^2 < 2,80 \text{ N/mm}^2$$

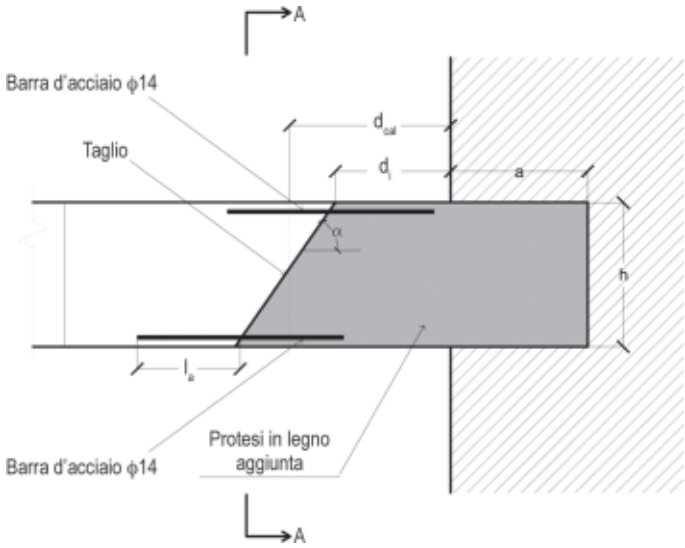

Figura A9. Inserimento di protesi in legno collegata con barre

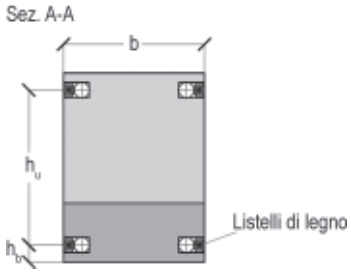

Figura A10. Sezione trasversale della trave con le barre

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

Bibliografia

Maria Chiara Rapalo

Lo scopo di precisare riferimenti bibliografici per gli argomenti trattati nel volume è quello di facilitare gli studiosi e i professionisti nell'approfondimento di argomenti specifici, consultando una vasta gamma di testi pubblicati dall'antichità fino all'attualità. In tal senso, vengono ricordati importanti trattatisti dei secoli scorsi, quali Vitruvio, Serlio, Palladio, Rondelet, Breymann ecc., che hanno fornito fondamentali contributi nel campo della scienza e dell'arte del costruire.
Coscienti dell'esistenza di una ricchissima bibliografia sul legno e sui suoi impieghi, si è consapevoli che i seguenti riferimenti non sono completi ed esaustivi; tuttavia si può affermare che essi sono il frutto di una scrupolosa e approfondita selezione che ha comportato la scelta di alcuni testi piuttosto che di altri. In primis, si segnala che si è voluto privilegiare i volumi di più facile consultazione, in lingua ed edizione italiana, anche se saggi interessanti sono stati curati anche da autori stranieri, e gli argomenti trattati sono stati al centro del dibattito in molti congressi e convegni nazionali e internazionali. Inoltre, si ritrovano volumi che, pur importanti per i contenuti, non risultano aggiornati rispetto all'avanzare della sperimentazione e all'evolversi delle tecnologie moderne. Va precisato ancora che, a fronte dei molteplici utilizzi del legno, sono stati presi in considerazione soltanto i volumi sul legno quale materiale strutturale dell'edilizia storica.
Le scelte compiute sono apparse opportune per fornire un adeguato supporto ai professionisti impegnati nel consolidamento delle strutture lignee che deve necessariamente tener conto delle esigenze conservative.

L. Seneca, *Epistole morali a Lucio*, 4-10 d.C.

M. Vitruvio Pollione, *De Architettura*, I sec. a.C., trad. di L. MINGOTTO, Studio Tesi, Pordenone 1990, L.II, 1.

Mariano Di Jacopo, detto il Taccola, *Liber Tertius de ingeneis ad aedificatiis*, 1427-1433.

L.B. Alberti *De re aedificatoria*, 1452, trad. di G. Orlandi, Il Polifilo, Milano, 1966, L. II, cap. IV.

F. Di Giorgio Martini, *Trattato di architettura, ingegneria, arte militare* (1481), trascritto da L.M. Degrassi, vol. 3, commento di R. Bonelli e P. Portoghesi, Milano, 1967.

Palladio, *I quattro libri dell'architettura*, Venezia, 1570.

S. Serlio, *I sette libri dell'architettura*, 1584.

V. Scamozzi, *L'idea dell'architettura universale*, Venezia, 1615.

F. Milizia, *Principi di architettura civile*, Majocchi Editore, Milano, 1715.

J.N.L. Durand, *Précis des leçons d'architecture*, Paris, 1819.

F. Pizzagalli, *Dell'arte pratica del carpentiere*, Milano, 1827.

N. Cavalier San Bertolo, *Istituzioni di architettura statica e idraulica*, Fratelli Negretti, Mantova, 1831.

G. Valadier, *L'architettura pratica dettata nella Scuola e Cattedra dell'insigne Accademia di S. Luca*, Roma, 1831.

M.J. Sganzin, *Programma o sunti delle lezioni di un corso pratico di costruzioni*, Milano, 1832

J. Rondelet, *Trattato teorico pratico dell'arte di edificare*, Paris 1802-1805, trad. italiana, Tipografia del Gallo, Napoli, 1839.

A.R. Emy, *Trattato dell'arte del carpentiere*, Antonelli, Venezia, 1856-1858.

A. Cantalupi, *Istituzioni pratiche e elementari sull'arte del costruire le fabbriche civili*, Galli e Omodei, Milano, 1862.

G. Curioni, *L'arte del fabbricare. Costruzioni civili, stradali e idrauliche*, vol. I, A.F. Negro, Torino, 1864.

J.F. Blondel, P. Patte, *Cours d'architecture*, Paris, 1871-1877.

A. Cantalupi, *Le costruzioni rurali. Trattato di architettura pratica*, Milano, 1876.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

G. Curioni, *Materiali da costruzione e analisi dei loro prezzi*, Tipografia A.F. Negro, Torino, 1878,

L. Mazzocchi, *Trattato sulle costruzioni in legno*, Vallardi, Milano, 1879.

G.A. Breymann, *Trattato di costruzioni civili con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose*, vol. II, Milano, 1885.

C. Formenti, *La pratica del fabbricare: il finimento delle fabbriche*, parte II, Hoepli, Milano, 1895.

D. Donghi, *Manuale dell'architetto*, G. Cilenti, Venezia, 1905.

D. Donghi, *Manuale dell'architetto*, vol. 1, parte I, Torino, 1925.

A. Arcangeli, *Tecnica delle costruzioni: le costruzioni in legno*, Milano, 1949.

Manuale dell'architetto, a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 1953.

P. Pogliano, *Manuale pratico del carpentiere in legno*, Lavagnolo, Torino, 1960.

S. Di Pasquale, *L'arte del costruire*, Marsilio, Firenze, 1963.

G. Giordano, *Tecnica delle costruzioni di legno*, Hoepli Editore, Milano, 1964.

S. Mastrodicasa, *Dissesti statici delle strutture edilizie*, I ed., Hoepli Editore, Milano, 1965.

E.E. Viollet-Le-Duc, *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI siècle au XVI siècle*, *1854-1868*, rist. F. De Nobele, Paris, 1967.

G. Glotz, *La civiltà greca*, Einaudi, Milano, 1969.

G. Giovannoni, *La tecnica della costruzione presso i Romani*, rist. anast. Bardi, Roma, 1972.

F. Mazzolani, *Costruzioni in Legno*, Mondadori, 1973.

R. Nardi Berti, *Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno. La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego*, Consiglio Nazionale delle Ricerch-Istituto del Legno, Firenze, 1979.

G. Giordano, *Tecnica del legno*, vol. I, *La materia prima*, UTET, Torino, 1981.

C. Guenzi, *L'arte di edificare: Manuali in tutta Italia 1750-1950*, Be-Ma Editore, Milano, 1981.

A. Gambetta, E. Orlandi, *Durabilità naturale di 100 legnami indigeni e di importazione a funghi, insetti e organismi marini*, in *Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza e utilizzazione del legno*, 1982.

G. Giordano, *Tecnica del legno*, vol. II, *Le utilizzazioni industriali*, UTET, Torino, 1983.

J. Jokilento, *Valutazione sulla consistenza delle parti lignee*, in *Recupero Edilizio*, Rilevamento e diagnostica, Edizioni Ente Fiera Bologna, 1983.

M. Piazza, G. Turrini, *Una tecnica di recupero di solai in legno*, in *Recuperare*, nn. 5-6-7, 1983.

G. Della Giustina, *La pathologie des charpentes en bois*, Editions du Moniteur, Parigi, 1985.

AA.VV., *Legno nel restauro e restauro del legno*, a cura di G. Tampone, vol. 2, Palutan, Milano, 1987.

A. Aveta, *Materiali e tecniche tradizionali nel napoletano. Note per il restauro architettonico*, Arte Tipografica, Napoli, 1987.

A. Bebber, O. Pignatelli, *Dendrocronologia: l'albero racconta*, Verona, 1987.

J.P. Adam, *L'arte di costruire presso i Romani*, Longanesi, Milano, 1988.

G. Tampone, *IL restauro del legno*, vol. I, Nardini Editore, Firenze, 1988.

AA.VV., *Manuale del recupero del Comune di Roma*, Edizioni DEI, Roma, 1989.

A. Aveta, *Restauro e conoscenza strutturale*, Arte Tipografica, Napoli, 1989.

V. Battista, *Il degrado delle materie*, in AA.VV., *Tecnologie del recupero edilizio*, a cura di G. Caterina, Torino, 1989.

S. Di Pasquale, *Il legno nell'opera dei trattatisti. Riflessioni e note marginali su due ponti di A. Palladio*, in AA.VV., *Il restauro del legno*, vol. II, Nardini, Firenze, 1989.

G. Tampone, *Legno e Restauro*, Messaggerie Toscane, Firenze, 1989.

R. Di Stefano, *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*, ESI, Napoli, 1990.

F. Doglioni, *Per la conservazione degli antichi legni*, in «Progetto Legno», Ribera, Milano, 1990.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

P. Munafò, *Recupero dei solai in legno*, Dario Flaccovio, Palermo, 1990.

G. Tampone, *IL restauro del legno*, vol. II, Nardini Editore, Firenze, 1990.

A. Walker, *Enciclopedia del legno*, Istituto Geografico Deagostini, Novara, 1990.

C. Benedetti, V. Bacigalupi, *Legno e architettura. Il futuro della tradizione*, Edizioni Kappa, Roma, 1991.

P. Diotallevi, P. Pozzati, F. Zarri, *Teatro comunale di Bologna, Consolidamento della copertura e del soffitto della grande sala*, in AA.VV., *L'acciaio nel recupero edilizio e nel restauro*, Crea, Massa, 1991.

M. Fioravanti, N. Macchioni, M. Negri, *Caratteristiche che influiscono sulla resistenza del legno in opera. Difetti e alterazioni*, in *Recuperare*, n. 9/1991.

G. Liotta, *Gli insetti e i danni del legno. Problemi di restauro*, Cardini Editore, Firenze, 1991.

G. Bonamini, L. Uzielli, *Sulla valutazione della resistenza meccanica del legno antico*, in *L'Edilizia*, n. 12/1992, De Lettera, Milano, 1992.

B. De Sivo, G. Cito, G. Giordano, R. Iovino, *Il recupero delle coperture*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 1992.

A. Ceccotti, H.J. Larsen, *L'Eurocodice 5 "Strutture in legno"*, in *L'Edilizia* n. 12/1992, De Lettera, Milano, 1992.

A. Gambetta, *Biodegradamento e preservazione del legno in edilizia*, in *L'Edilizia* n. 12, De Lettera, Milano, 1992.

G. Giordano, *Conoscenze indispensabili per un corretto impiego del legno in edilizia*, in *L'Edilizia*, n. 12, De Lettera, Milano, 1992.

F. Laner, *Il recupero del legno*, in *Recuperare*, n. 2/1992.

F. Laner, G. Brusati, *Innovazione dal recupero*, in *Recuperare*, n. 5/1992.

F. Laner, V. Ortolani, *Le relazioni strutturali. Un approccio ordinatore per il recupero del legno*, in *Recuperare*, n. 8/1992.

T.C. Triantafillou, N. Deskovic, *Prestressed FRP sheets as external reinforcement of wood members*, in *Journal of Structural Eingeneering*, n. 5, vol. 118, 1992.

T.C. Triantafillou, N. Plevris, *Frp – reinforced wood as structural material*, in *Journal of materials in Civil Engineering*, n.3 , vol. 4, 1992.

F. Laner, *Il nodo monaco-catena delle capriate in legno*, in *Recuperare*, n. 5/1993.

F. Laner, *Legno e concezione strutturale*, in *Recuperare*, n. 8/1993.

A. Richardson Barry, *Wood preservation*, New York, E & FN Spoon, 1993.

U. Barbisan, F. Laner, *I solai in legno*, Franco Angeli, Milano, 1994.

C. Bertolini Cestari, *Tecniche di consolidamento e loro durabilità: problemi di intervento e aspetti progettuali*, RILEM, Trento, 1994.

C. Pesarini, A. Sabbadini, *Insetti della fauna europea. Coleotteri Cerambicidi*, vol. 85, in *Rivista di Scienze Naturali del Museo Civico di Storia Naturale di Milano*, Milano, 1994.

F. Augelli, *Le alterazioni e le manifestazioni macroscopiche del degrado dei materiali lignei: Lessico. Contributi per una proposta di normalizzazione*, in *Te.Ma.*, n. 4/1995, Franco Angeli Editore, Milano, 1995.

U. Barbisan, F. Laner, *I solai di legno*, Franco Angeli, Milano, 1995.

G. Giordano, *Manuale tecnico del legno*, Legno Legno, Reggio Emilia, 1995.

F. Laner, *Nuove tecnologie per il recupero dei solai di legno*, in *Adrastea*, n. 2/1995.

N. Anselmi, G. Govi, *Patologia del legno*, Edagricole, Bologna, 1996.

G. Brusati, M. Piscicelli, *Il restauro ed il consolidamento dei solai storici*, in *Adrastea*, n. 7/1996.

F. De Cesaris, *Gli elementi costruttivi tradizionali*, E4 (i solai piani), pp. 121-145 e E5 (le coperture), pp. 147-175, in AA.VV., *Trattato di restauro architettonico*, diretto da G. Carbonara, vol. II, Utet, Torino, 1996.

S. Di Pasquale, *L'arte del costruire*, Marsilio, Venezia, 1996.

C. Singer, E.F. Homayard, A.R. Hall, T.I. Williams, *Storia della tecnologia*, trad. italiana, Boringhieri, Torino, 1996.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

G. Tampone, *Il restauro delle strutture in legno: il legname da costruzione, le strutture lignee e il loro studio, restauro, tecniche di esecuzione del restauro*, Hoepli, Milano, 1996.

AA.VV., *Manuale del recupero del Comune di Roma*, a cura di F. Giovanetti, II ed., Roma, 1997.

F. Laner, *Dal cantiere al laboratorio e dal laboratorio al cantiere. Cronistoria dei connettori continui della Peter Cox*, in *Adrastea*, n. 9/1997.

M. Mattone, *Indagini non distruttive per la valutazione dello stato di conservazione delle strutture lignee*, in *Adrastea*, n. 9/1997.

AA.VV., *Restauro conservativo di capriate lignee. La Pieve di San Marino*, CLUT, Torino, 1998.

G. Bonamini, M. Togni, R. Pascucci, *Regole di classificazione per le travi in castagno*, CLUT, Torino, 1998.

G. Brusati, M. Piscicelli, *Tecnologie appropriate di recupero dei solai storici*, in *Adrastea*, n. 11/1998.

L. Castelletti, S. Minoia, *Palazzo Natta: la copertura. Rapporto preliminare sullo studio silotomico dell'apparato ligneo*, in *Te.Ma.*, n. 3/1998, Franco Angeli Editore, Milano, 1998.

F. Giovanetti, *Manuale del recupero del Comune di Città di Castello*, DEI, Roma, 1998.

L.M. Monaco, A. Santamaria, *Indagini, prove e monitoraggio nel restauro degli edifici storici*, ESI, Napoli, 1998.

A. Borri, G. Terenzi, M. Bartoloni, P. Caliterna, *Travi lignee: tecniche di rinforzo basate su disposizioni diversificate di nastri in CFRP*, in *L'Edilizia*, nn. 7-8, De Lettera, Milano, 1999.

T. Campisi, *I soffitti storici in legno e canne*, in *Bollettino degli Ingegneri della provincia di Palermo*, Anno LII, nn. 3-4, 1999.

G. Giordano (con A. Ceccotti e L. Uzielli), *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano, 1999.

ICOMOS, International Wood Committee, *Principles of Practice for the Preservation of Historic Timber Buildings*, 1999.

N. Macchioni, M. Manucci, *Anomalie e difetti del legno*, in *Recupero e Conservazione*, n. 29/1999.

M. Mannucci, M. Togni, *Classificazione del legname in opera*, in *Recupero e Conservazione*, n. 30/1999.

R. Sparacio, *La scienza e i tempi del costruire*, Utet, Napoli, 1999.

G. Tampone, *Il restauro delle strutture in legno*, Hoepli, Milano, 1999.

U. Barbisan, F. Laner, *Capriate e tetti di legno*, Franco Angeli, Milano, 2000.

A. Borri, M. Corradi, *Consolidamento di strutture lignee con tessuti in materiale composito: risultati di una sperimentazione*, in *L'Edilizia*, De Lettera, Milano, nn. 5-6, 2000.

V. Dattone, *I materiali compositi FRP applicati agli elementi strutturali in lamellare e nel consolidamento delle strutture lignee*, in *Adrastea*, n. 15/2000.

F. Laner, U. Barbisan, *Capriate e tetti in legno. Progetto e recupero*, Franco Angeli, Milano, 2000.

N. Macchioni, M. Manucci, *Tecniche di indagine strumentale*, in *Recupero e Conservazione*, n. 31/2000.

N. Macchioni, M. Mannucci, *Tecniche per la valutazione del degrado biologico*, in *Recupero e Conservazione*, n. 33/2000.

M. Mattone, *La valutazione dello stato di conservazione di interventi di strutture lignee attraverso prove non distruttive*, in *Adrastea*, n. 15/2000.

M. Piazza, L. Candelpergher, *Meccanica delle connessioni tradizionali con elementi metallici nelle capriate in legno*, in *L' Edilizia*, nn. 9-10, De Lettera, Milano, 2000

G. Tampone, *Solai. Degradazioni generali e restauro*, in *Recupero e Conservazione*, n. 33/2000.

AA.VV. *Il manuale del restauro architettonico*, Mancosu, Roma, 2001.

G. Bonamini, L. Uzielli, *Ispezioni e diagnosi in situ delle strutture*, in *L'Edilizia*, n. 1, De Lettera, Milano, 2001.

A. Borri, M. Corradi, E. Speranzini, *Travi in legno rinforzate con barre o con tessuti in fibra di carbonio*, in *L'Edilizia*, n. 4, De Lettera, Milano, 2001.

E. Cattelan, L.M. Cestaro, L. Contin, F. Laner, *Sperimentazioni e proposte progettuali con l'impiego di legno di eucalipto fibrorinforzato*; A. Borri ed altri, *Travi in Legno rinforzate con barre o con tessuti in fibra di carbonio*, in *L'Edilizia*, n. 4, De Lettera, Milano, 2001.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

E. Chiappini, G. Liotta, M.C. Reguzzi, A. Battisti, *Insetti e restauro*, Calderini Edagricole, Bologna, 2001.

I. Clabassi, M. Babici, M. Marini, V. Zaffagnini, *Presenza e controllo di termiti del genere Reticulermes a Trieste*, in *Notiziario ERSA*, n. 6/2001.

A. Gambetta, *Progettare la durabilità: organismi xilofagi e metodi preservanti per la sicurezza e il comfort nelle abitazioni con strutture in legno*, Verona, 2001

F. Laner, A. Menegotto, *Incalmi e fettoni: indicazioni per la riparazione degli interventi degradati*, in *Adrastea*, n. 17/2001.

P. Lavisci, S. Berti, B. Pizzo, P. Triboulot, R. Zanuttini, *A shear test for structural adesive used in the consolidation of old timber*, in *Holz als Roh – und Werkstoff*, n. 61, 2001.

G. Tampone, *Rappresentazione delle strutture di legno antiche*, in *Recupero e Conservazione*, n. 40/2001.

M. Uzielli, *Il manuale del legno strutturale ed altri*, Mancosu Editore, Roma, 2001.

AA.VV., *Il legno, le interpretazioni, le tesi*, a cura di U. Barbisan, M. Guardini, numero monografico del Bollettino del Dipartimento di Costruzione dell'Architettura, IUAV, Venezia, Luglio 2002.

AA.VV., *Speciale legno strutturale*, in *L'Edilizia*, n. 4/2002, De Lettera, Milano, 2002.

S. Berti, B. Pizzo, M. Lauriola, P. Lavisci, G. Rizzo, *Consolidamento con adesivi epossidici delle strutture lignee. Parte I: indagine sulla durabilità degli interventi*, in *Arkos*, n. 1/2002.

S. Berti, B. Pizzo, P. Lavisci, C. Misani, G. Rizzo, *Consolidamento con adesivi epossidici delle strutture lignee. Parte II: compatibilità strutturale tra adesivi e legno*, in *Arkos*, n. 2/2002.

A. Borri, M. Corradi, G. Tampone, A. Trimboli, *Sull'impiego di alcuni materiali innovativi nel consolidamento delle strutture lignee*, in *Bollettino Ingegneri*, anno XLVIII, Firenze, 2002.

M. Del Senno, G. Michelon, M. Piazza, *Valutazione di elementi strutturali in legno. Applicabilità di indagini strumentali*, in *L'Edilizia*, n. 4/2002, De Lettera, Milano, 2002.

L. Feligioni, P. Lavisci, M. De Ciechi, P. Spinelli, *Consolidamento con adesivi epossidici nelle strutture lignee. Parte 3: L'impiego di barre e resine*, in *Arkos*, n. 2/2002.

D. Morigi, *Datazione scientifica di antiche travi in legno*, in *Recuperare l'edilizia*, n. 25/2002.

P. Munafò, *Le capriate lignee antiche per i tetti a bassa pendenza. Evoluzione, dissesti, tecniche di intervento*, Alinea, Firenze, 2002.

B. Pizzo, P. Lavisci, N. Macchioni, C. Misani, *A new approach to the design of epoxy adesive for the restoration of timber structures*, European Timber Buildings as an Expression of Technological and Technical Cultures, Ed. Alsevier SAS, 2002.

G. Tampone, *Metodi tradizionali ed innovativi per il restauro strutturale*. Istanze ideologiche e innovazione tecnologica nella conservazione delle strutture in legno, in *Restauro*, n. 159, ESI, Napoli, 2002.

G. Tampone, M. Mannucci, N. Macchioni, *Strutture di legno. Cultura, conservazione, restauro*, De Lettera Editore, Milano, 2002.

L. Uzielli, *La classificazione del legname strutturale*, in *L'Edilizia*, n. 4, De Lettera, Milano, 2002.

AA.VV., *Il manuale del legno strutturale*, Ed. Mancosu, Roma, 2003.

AA.VV., *Trattato sul consolidamento*, a cura di P. Rocchi, Ed. Mancosu, Roma, 2003.

R. Antonucci, *Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria*, Maggioli, Rimini, 2003.

A. Bernardi, *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Padova, il Prato, 2003.

M. Ceccotti, L. Uzielli, *Manuale delle Costruzioni di Legno*, Mancosu Editore, Roma, 2003.

A. Gambetta, *Durabilità e Protezione del Legno*, Istituto per la Ricerca sul Legno – CNR, 2003.

F. Laner, *Capire le fessure nel legno strutturale*, Edizioni LegnoIndustria di A. Ribera, Arese, Milano, 2003.

M. Migliore, F. Ramundo, *La diagnostica non distruttiva nel legno strutturale*, in *Te. Dia: La diagnostica per la Tutela dei Materiali e del Costruito*, San Leucio, Caserta, 4 dicembre 2003.

B. Pizzo, P. Lavisci, M. Lauriola, C. Misani, M. Moschi, *Tecniche di restauro delle strutture lignee con l'applicazione di adesivi epossidici*, in *Arkos*, n. 1/2003.

B. Pizzo, P. Lavisci, C. Misani, P. Triboulot, N. Macchioni, *Measuring the shear strenght ratio of glued joints within the same specimen*, in *Holz als Roh – und Weekstoff*, n. 61, vol. 4, 2003.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

B. Pizzo, P. Lavisci, C. Misani, P. Triboulot, *The compatibility of structural adhesives with wood*, *Holz als Roh – und Werkstoff*, n. 61, vol. 4, 2003.

AA.VV., *Manuale del legno strutturale*, a cura di L. Uzielli, vol. IV, Ed. Mancosu, Roma, 2004.

F. Augelli, M. Boriani, *Le ispezioni e le indagini per il recupero dei solai lignei dell'ex Monastero di S. Michele a Lonate Pozzolo*, in *Politecnico*, n. 1/2004.

A. Borri, A. Giannantoni, *Elementi pultrusi in FRP: il rinforzo di solai lignei*, in *L'Edilizia*, n. 134, De Lettera, Milano, 2004.

M. Brunner, M. Schürigher, *Timber beams strengthened with prestressed fibres: delamination*, Proceedings of Timber Conference WCTE 8, Lahti (Finland), vol. I, 2004.

A. Duarte, J. Negrao, H. Cruz, *Rehabilitation of timber beams with reinforced epoxy mortar plates*, Proceedings of Timber Conference WCTE 8, Lahti (Finland), vol. I, 2004.

E. Giuriani, *L'Organizzazione degli impalcati negli edifici storici*, in *L'Edilizia*, n. 134/2004, De Lettera, Milano, 2004.

B. Kasal, S. Prospisil, I. Jirovsky, A. Heiduschke, M. Drdacky, P. Haller, *Seismic performance of laminated timber frames with fiber-reiforced joints*, in *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, n. 33/2004.

M. Mariani, *Consolidamento delle strutture lignee con l'acciaio*, Dei, Roma, 2004.

M. Mattone, *Il legno, materiale della tradizione costruttiva. Considerazioni per la conservazione*, CELID, Torino, 2004.

M. Piazza, *Interventi di consolidamento con l'uso di elementi meccanici di collegamento: solai misti legno-legno*, in *Il manuale del legno strutturale*, vol. IV *Interventi sulle strutture*, Ed. Mancosu, Roma, 2004.

M. Piazza, G. Brentari, *Analisi di strutture antiche. Un esempio di metodologia. Le capriate di copertura del Teatro Sociale di Trento*, in *L'Edilizia*, n. 134/2004, De Lettera, Milano, 2004.

AA.VV., *Conservation of Historic Wooden Structures. Proceedings of the international conference*, a cura di G. Tampone, Atti del Convegno (Firenze, 22-27 febbraio 2005) (2 voll.), Firenze, 2005.

A. Aveta, *Le tecniche tradizionali per la conservazione dell'architettura: applicabilità e limiti*, in AA.VV., *Restauro e consolidamento*, a cura di A. Aveta, S. Casiello, F. La Regina, R. Picone, Mancosu, Roma, 2005.

A. Balsamo, A. Colombo, G. Manfredi, P. Negro, A. Prota, *Seismic Behaviour of a full-scale RC frame repaired using CFRP laminates*, 2005.

A. Bernasconi, G. Schickhofer, K. Frühwald, G. Traetta, *il materiale legno*, in *Dispense Promo Legno. Corso sull'uso strutturale del legno*, 2005.

A. Borri, M. Corradi, A. Grazini, *A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials*, in *Composites part B engineering*, n. 36/2, 2005.

A. Brignola, S. Lagomarsino, S. Podestà, L. Romano, *Deconsolidamento di solai lignei, La scelta dell'intervento e le verifiche di sicurezza*, in *L'Edilizia*, n. 141/2005, De Lettera, Milano, 2005.

A. Ceccotti, M. Follesa, M.P. Lauriola, *Le strutture di legno in zona sismica. Criteri e regole per la progettazione e il restauro*, CLUT, Torino, 2005.

E. Cosenza, G. Fabbrocino, G. Manfredi, *Ingegneria 'concorrente' per la salvaguardia dei beni architettonici, storici e archeologici*, in AA.VV., *Restauro e Consolidamento*, Mancosu Editore, Roma, 2005.

S. Di Tondo, C. Macchia, M. Ottolenghi, F. Patti, *Progettare il recupero delle strutture in legno*, Maggioli, Rimini, 2005.

C. Faella, F. M. Mazzolani, *Innovative Strategies for Structural Protection of Built Heritage*, PRIN, Milano, 2005.

S. Franceschini, L. Germani, *Capitolato speciale di appalto - Restauro architettonico, Edilizia storica e restauro archeologico*, Dei, Roma, 2005.

F. Laner, *Diagnostica delle strutture lignee*, Le Guide Peter Cox, vol. 1, Flap Edizioni, Mestre, 2005.

Abstract tratto da www.darioflaccovio.it - Tutti i diritti riservati

F. Laner, *Durabilità e manutenzione*, in *Prontuario*, n. 3, Promo Legno, Milano, 2005.

F. Laner, *Durabilità e manutenzione delle costruzioni in legno*, proHolz Austria per Promo Legno, Milano, 2005.

F. Laner, *La protezione del legno*, Corso Promo Legno sull'uso strutturale del legno, 2005.

F. Laner, *Tecnologia del recupero delle strutture lignee*, Flap Edizioni, Mestre, 2005.

M. Massaccesi, *Risultati di una campagna sperimentale per il tracciamento delle curve di correlazione per lo sclerometro per legno*, DRC Developmnt & Research Centre di Ancona, 2005.

M. Migliore, R. Baraldi, A. Izzo, N. Maturo, L. Mollo, *Le coperture lignee della Real Casa dell'Annunziata in Aversa: tra tradizione ed innovazione. Teoria e pratica del Costruire: saperi, strumenti, modelli*, Ravenna, 2005.

Servizio diagnostica strutture: *Voci di capitolato – Diagnosi su elementi strutturali lignei (travi e capriate)*, a cura di Legnodoc, 2005.

G. Coppola, *La costruzione nel Medioevo*, Elio Sellino Editore, Avellino, 2006.

A. Capizzi, *La scomparsa del bromuro di metile e le fumigazioni di strutture di interesse culturale*, in *Recupero e Conservazione*, n. 69/2006.

E. Coïsson, *L'evoluzione del sistema di capriate della navata centrale*, in AA.VV., *La Fabbrica del Duomo di Parma*, a cura di C. Blasi, E. Coïsson, Grafiche Step, Parma, 2006.

A. Giuffrè, *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Bari, 2006.

F. Laner, *Tecnologia del recupero delle strutture di legno*, Le Guide Peter Cox, vol. 2, Flap Edizioni, Mestre, 2006.

F. Augelli, *Il ruolo del legno nell'idea dell'architettura universale di Vincenzo Scamozzi (1615)*, Il Prato, 2007.

A. Aveta, L.M. Monaco, *Consolidamento delle strutture in legno. Diagnostica e interventi conservativi*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 2007.

A. Bernasconi, M. Del Senno, M. Piazza, *Il legno e il fuoco: nozioni di base e introduzione al calcolo*, Promo Legno, Milano, 2007.

A. Bernasconi, M. Piazza, *Il calcolo delle strutture in legno: basi tecniche e esempi di applicazione*, Promo Legno, Milano, 2007.

G. Liotta, *Agli insetti piacciono le opere d'arte*, Edimed, Palermo, 2008.

AA.VV., *Travi e montanti di legno: prestazioni, misure, impieghi*, Promo Legno, Milano, 2009.

U. Barbisan, *Il legno: tradizione e innovazione*, Cà Zorzi edizioni, Forlì, 2009

I. Crivelli Visconti, G. Caprino, A. Langella, *Materiali Compositi Tecnologie – Progettazione – Applicazioni*, Hoepli Editore, 2009.

G. Giordano, *Manuale tecnico del legno. Gli impieghi delle varie specie legnose*, Legnolegno, 2009.

F. Laner, *Strutture di legno e sicurezza*, Le Guide Peter Cox, vol. 6, Flap Edizioni, Mestre, 2009.

F. Mazzolani, *Protection of historical building*, CRC press, 2009.

A. Gambetta, *Funghi e insetti nel legno. Diagnosi, prevenzione e controllo*, Nardini Editore, 2010.

M. Migliore, F. Ramundo, *A model for limit state analysis of wooden structures*, COST C26 – Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, 2010.

F. Laner, *Il restauro delle strutture di legno*, Grafill, Palermo, 2011.

S. Valtieri, V. Vacante, *Insetti e opere lignee d'arte e di architettura. Degradi e Restauro*, Bentivoglio Editoria, Ginevra, 2011.

Linee guida per Riparazione e Rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni, a cura di M. Dolce, G. Manfredi, ReLUIS, Doppiavoce, Napoli, 2012.

F. Laner. *Legno: materiale e tecnologia per progettare e costruire*, UTET, Torino, 2012.

AA.VV., *I difetti del legno. Effetti positivi e negativi e tecniche gestionali*, Compagnia delle foreste, 2013.

D. Brigante, *Strutture in legno rinforzate con FRP*, Grafill, Palermo, 2013.

M. Mattone, *Innovazione e tradizione nel consolidamento delle strutture lignee*, in AA.VV., *Roberto Di Stefano. Filosofia della Conservazione e prassi del Restauro*, a cura di A. Aveta e M. Di Stefano, Arte Tipografica, Napoli, 2013.