

Il recupero delle strutture lignee

Dott. Alessandro Trevisani – Istituto Giordano

Dott. Paolo Lavischi – Legno DOC

Dott. Massimo Mannucci – Legno DOC

La conservazione delle strutture lignee esistenti è espressamente prescritta dalle norme applicabili nell'ambito dei Beni Culturali, ma è spesso vantaggiosa anche per le strutture ordinarie. Un approccio corretto e il supporto di specialisti del settore consente di elevare la qualità del progetto di conservazione e ridurre l'intervento all'indispensabile, minimizzando gli imprevisti in corso d'opera ed economizzando tempi e costi.

IL QUADRO NORMATIVO

Nella maggior parte degli edifici dei centri storici, come nelle costruzioni rurali, sono presenti strutture lignee portanti, normalmente costituenti le coperture e i solai. In molti casi le strutture di legno messe in opera nel Medio Evo sono tuttora in buono stato, senza aver ricevuto trattamenti preservanti, grazie ad una corretta manutenzione. Troppo spesso, in passato, le strutture di legno sono state sostituite o pesantemente modificate anche a fronte di un degrado limitato e localizzato, sulla base di un quadro normativo carente o distorto e di valutazioni tecnico/economiche approssimative e con conseguenze gravi in certi casi (ad es. quello della Basilica di S. Francesco ad Assisi). Viceversa il loro recupero, correttamente progettato ed eseguito, riesce normalmente a soddisfare le esigenze prestazionali e di conservazione senza far lievitare il costo dell'intervento.



Un'importante conferma di questa evidenza è fornita dalle Linee Guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'Ordinanza P.C.M. 3274/2003. Il testo, redatto da un Gruppo di Lavoro istituito dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri di concerto con il Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, è finalizzato alla valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio. Correttamente si prescrive, ai paragrafi 6.3.4

(solai) e 6.3.5 (coperture), che è "in linea generale" opportuno il mantenimento delle strutture di legno, in quanto capaci di limitare le masse nella parte più alta dell'edificio e di garantire un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante.

Le modalità di intervento previste sono tutte riferibili alle tradizionali tecniche di carpenteria. Finalmente la normativa torna a convalidare l'esperienza rivelatasi corretta anziché negarla a favore di ardite sperimentazioni.

Per il progettista interessato a maggiori dettagli operativi, due norme UNI e un documento del CNR contribuiscono in maniera significativa alla definizione dei requisiti di un corretto processo di restauro:

- la UNI 11119:2004 - Beni Culturali, Manufatti lignei, Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera definisce la metodologia diagnostica finalizzata a descrivere in maniera oggettiva e quantitativa lo stato di conservazione;

- la UNI 11138:2004 - Beni culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici. Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi descrive chiaramente l'approccio da seguire alla luce dello stato dell'arte del settore e dell'esperienza plurisecolare dei carpentieri, ma anche dei molteplici requisiti formali (legislazione, normativa tecnica, parere delle Soprintendenze..) tipici di una attività interdisciplinare com'è quella del restauro;
- le CNR-DT 201/2005 - Istruzioni per interventi di consolidamento statico di strutture lignee mediante l'utilizzo di compositi fibrorinforzati elencano le problematiche tipiche di questo settore in rapida evoluzione (compatibilità, durabilità, selezione dei materiali...) e guidano alla scelta delle tecniche di progettazione ed esecuzione più corrette, anche in funzione della semplicità di esecuzione.

PRIMA DEL PROGETTO LA DIAGNOSI

Le strutture lignee, sia antiche che recenti (anche in legno lamellare), possono presentare situazioni di degrado assai diverse ma normalmente accomunate da una causa ben precisa: carenze di progettazione o di manutenzione. Viceversa non mancano in ogni parte d'Italia gli esempi di strutture ottimamente conservate, a testimonianza che la durabilità del materiale è assai elevata, a patto che sia rispettata una regola di base: evitare il ristagno di umidità, favorendo il drenaggio e la ventilazione delle parti di possibile accumulo (testate e collegamenti). Le caratteristiche costruttive (tipologia, modalità delle unioni, ecc.), la specie legnosa, le dimensioni e la qualità meccanica degli elementi, le condizioni ambientali, le vicissitudini storiche, ecc. fanno sì che ogni struttura sia diversa dall'altra anche dal punto di vista del proprio stato di conservazione. Al degrado biotico (funghi ed insetti) del quale si conoscono cause e rimedi, può sommarsi un degrado meccanico (dissesti, sconnessioni, fratture), con effetti cumulati a volte critici per la sicurezza.

Diagnosticare in modo affidabile ed oggettivo le condizioni della struttura sulla quale ci si appresta ad intervenire costituisce una esigenza imprescindibile per garantire la qualità del progetto e la sua rispondenza ai requisiti della committenza. Per questi motivi è stato messo a punto uno specifico procedimento di indagine che integra le conoscenze tecnico-scientifiche di base, gli accorgimenti derivanti dalla pratica di cantiere e le soluzioni tecnologiche più adatte allo specifico campo applicativo.

Il procedimento, i cui elementi essenziali sono descritti nella UNI 11119, prevede la raccolta e la elaborazione dei soli dati effettivamente necessari ai fini dei calcoli di verifica statica e della progettazione degli eventuali interventi di consolidamento, pertanto il livello di approfondimento può essere adeguato ai requisiti definiti dal progettista. L'indagine, che deve essere eseguita da tecnici specializzati e qualificati, ha lo scopo di fornire per ciascuna unità e/o elemento strutturale portante, almeno le seguenti informazioni:

- geometria, dimensioni, caratteristiche delle unioni;
- specie legnosa (identificazione macroscopica o microscopica);
- umidità del legno (misurazione con igrometro elettrico a resistenza o capacitivo);
- classe di qualità meccanica (classificazione a vista in base ai difetti, vedi Tabella);

Tabella - sunto regole di classificazione per elementi strutturali lignei in opera, secondo UNI 11119.

CARATTERISTICA	CATEGORIA IN OPERA		
	I	II	III
Smussi	◆ 1/8	◆ 1/5	◆ 1/3
Lesioni varie, Cretti da gelo, Cipollature	assenti limitate	assenti	ammissibili, se
Nodi singoli	◆ 1/5 ◆ 50 mm	◆ 1/3 ◆ 70 mm	◆ 1/2
Gruppi di nodi	◆ 2/5	◆ 2/3	◆ 3/4
Inclinazione della fibratura (pendenza %)	in sez. radiale	◆ 1/8 (12%)	◆ 1/5 (20%)
	in sez. tangenziale	◆ 1/10 (10%)	◆ 1/5 (20%)
Fessurazioni radiali da ritiro	ammissibili, purché non passanti		

- quantificazione del degrado e determinazione delle sezioni efficaci: indagine visiva ove possibile; indagine strumentale non distruttiva - ad es. mediante la tecnica resistografica - nelle parti non a vista, tipicamente gli appoggi sulle murature e la zona interna delle parti a vista;
- stato delle unioni (indagine visiva e/o strumentale).

Obiettivi, limiti e modalità di esecuzione della diagnosi debbono essere chiaramente definiti dal tecnico competente (Progettista o Direttore Lavori).

VERIFICHE STRUTTURALI E PROGETTAZIONE

La UNI 11138 e le CNR-DT 201/2005 forniscono indicazioni abbastanza dettagliate per la progettazione e la selezione dei materiali.

La valutazione delle condizioni del manufatto e degli stati di sollecitazione, sempre necessaria, può tuttavia essere svolta a differenti livelli di dettaglio in funzione della complessità del problema da analizzare e dell'entità degli interventi previsti. In generale nella schematizzazione strutturale si dovrà fare riferimento a:

- schema statico complessivo, tale da identificare chiaramente l'apporto fornito dalla struttura lignea al comportamento statico globale dell'edificio analizzato e schemi statici di dettaglio delle singole unità strutturali (capriate, solaio, ecc.);
- modelli di dettaglio dei singoli elementi strutturali lignei, dei collegamenti o dei vincoli.

Si dovrà prestare particolare cura alle verifiche di dettaglio dei collegamenti in corrispondenza delle sezioni terminali, nonché, in generale, in prossimità di qualsiasi variazione di sezione trasversale dell'elemento. Nei casi particolarmente semplici, si potrà fare riferimento solo a modelli di dettaglio relativi al singolo elemento o alla singola struttura (ad es. nei casi in cui sia già decisa l'attuazione di ripristini localizzati o la sostituzione di un elemento non recuperabile).

Il progetto deve basarsi sulla valutazione preliminare dell'efficacia dell'intervento proposto e della compatibilità tra i differenti materiali, evidenziando:

- il fine specifico di ogni operazione e la localizzazione dell'intervento;
- i materiali che si intendono utilizzare e le metodologie di applicazione, con la descrizione delle eventuali apparecchiature;
- la valutazione preliminare dell'efficacia dell'intervento;
- i controlli previsti in fase di esecuzione ed alla fine dell'intervento, nonché quelli da svolgere periodicamente.

Dal punto di vista strutturale il progetto dovrà, per quanto possibile, rispettare il modello statico di comportamento globale: tale requisito va considerato valido anche se vengono inseriti elementi localizzati di rinforzo in singoli elementi, ma non può essere imposto quando sia chiaramente dimostrato che la configurazione attuale non è comunque compatibile con i livelli di sicurezza, anche dopo eventuali interventi di consolidamento a tal fine progettati. I collegamenti, nodi e vincoli dovranno essere ripristinati mantenendo valori di rigidità simili a quelli posseduti nella struttura originaria, a meno che non sia dimostrato che i valori di rigidità attuali sono responsabili dei dissesti rilevati. Deve essere garantita la possibilità di variazioni dimensionali dell'elemento ligneo, a seguito di variazioni di umidità, senza che ciò determini apprezzabili stati tensionali di coazione. Non sono quindi ammissibili interventi che impediscano dilatazioni e ritiri trasversali del legno, come ad es. il riempimento con materiali rigidi (legno, stucco...) delle fessure longitudinali da ritiro.

Il reintegro di continuità strutturale tra parti diverse di uno stesso elemento può essere realizzato mediante collegamenti tradizionali a secco utilizzando elementi metallici ovvero, quando possibile, lignei. Esso può anche realizzarsi mediante un apposito sistema di collante ed elementi metallici o lignei. È esclusa la possibilità di utilizzo del collante per trasmettere tensioni di trazione ortogonali al piano di incollaggio: in tale piano possono quindi essere presenti

solo stati di tensione tangenziale e/o normale di compressione. Tuttavia tensioni di trazione ortogonali al piano di incollaggio possono essere tollerate quali stati tensionali secondari.

Occorre comunque cautelarsi contro stati tensionali di trazione ortogonale al piano di incollaggio introducendo opportuni presidi, dimensionati prescindendo completamente dall'apporto di resistenza fornito dal legno per trazione ortogonale alla fibratura. Infine, gli interventi che fanno ricorso a stati di coazione permanenti nella struttura o in singole membrature sono da valutare con particolare cura, in particolare quando inducono tensioni ortogonali alla fibratura.

Attualmente stanno aparendo sul mercato vari prodotti e sistemi di consolidamento basati su nuove tecnologie e/o materiali, non sempre adeguatamente sperimentati: alcuni professionisti li rifiutano a priori perché "troppo nuovi", altri li scelgono con entusiasmo anche senza valutarne bene i limiti applicativi. Spesso è stato riscontrato che la soluzione ottimale si consegue attraverso la compatibilizzazione di tecniche e materiali diversi, impiegati in quantità il più possibile limitate ed in sinergia con le orditure lignee esistenti o con protesi in legno nuovo: ad esempio i sistemi basati sull'impiego di adesivi epossidici specificamente formulati per il legno e dispositivi metallici (o compositi) hanno dimostrato in molti casi una serie di vantaggi. L'adesivo da impiegare dovrà essere specificatamente formulato per l'impiego strutturale su legno e la scheda tecnica del prodotto dovrà evidenziare qual è il livello di compatibilità meccanica raggiunto. Il metodo di prova della compatibilità legno/adesivi è basato sulla resistenza a taglio misurata prima e dopo idonei cicli di invecchiamento accelerato, sia sul legno massiccio che all'interfaccia.

Il calcolo dell'intervento più diffuso (protesi lignee connesse mediante barre incollate) si basa sulla resistenza all'estrazione delle barre e quindi sul calcolo delle tensioni all'interfaccia legno/adesivo. La sollecitazione prevalente è quella di trazione parallela alla fibratura del legno. La sollecitazione di taglio derivante dal peso proprio della catena viene ampiamente assorbita per contatto lungo la superficie di separazione inclinata, e non necessita di particolari verifiche. La sollecitazione di flessione dovuta al peso proprio della catena è normalmente ininfluenza e quindi trascurabile.

ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI

La UNI 11138 indica un criterio utile in generale, anche per strutture in legno lamellare. La norma prescrive che "gli interventi sono da affidare unicamente a personale tecnico specializzato, restauratori ed operatori tecnici specialisti nel settore. L'idoneità del personale che interviene sul manufatto dovrà essere dimostrata (comprovata) sulla base di adeguato curriculum di lavori eseguiti con caratteristiche analoghe a quello in questione direttamente dal personale stesso". L'esperienza del carpentiere non si improvvisa, e non può essere sottovalutata la necessità di farvi ricorso, anche per gli interventi apparentemente meno complessi.

Le tipologie descritte di seguito sono state estensivamente sperimentate in laboratorio e convalidate da vari anni di esperienza in cantiere, ma vanno comunque valutate e adattate in funzione delle specifiche caratteristiche di ogni struttura. In linea generale, è molto importante curare la qualità delle lavorazioni effettuate sul legno, finalizzandola a produrre superfici idonee all'incollaggio. La scelta degli utensili e l'esperienza nel riconoscere le caratteristiche del legno (fibratura, forma dei nodi, presenza di legno di reazione...) possono comportare una grande differenza in termini di efficacia e tempi di esecuzione. Tra gli accorgimenti più utili: ripassare con frese o scalpello le superfici ottenute con la motosega, che spesso sono unte; aspirare le polveri anziché compattarle sul fondo dei fori con l'aria compressa, fare attenzione alle bruciature prodotte dall'elevata frizione causata dalle lame a disco impiegate non correttamente. Con temperature basse (<10°C) o alte (>30°C) occorre considerare eventuali difficoltà di lavorazione dell'adesivo, controllando la scheda tecnica. Qualora le strutture lignee possano essere smontate, può essere conveniente consolidarle a piè d'opera o in officina e riposizionarle successivamente. Poiché qualsiasi intervento lascerà una traccia, questa non deve essere nascosta ma armonizzata nel contesto attuale. La reversibilità deve essere intesa come tendenza perseguibile, e non in senso assoluto.

Ricostruzione di testate degradate

Questa tecnica è utilizzabile quando è solo la testata di un elemento ad essere degradata. È fondamentale conoscere con esattezza dove finisce la zona degradata e dove inizia il legno sano al quale ci si può ancorare con la protesi, per minimizzare l'impatto dell'intervento. In passato la zona degradata veniva ricostruita con un getto di "betoncino epossidico", ma tale tecnica è superata a causa dell'eccessiva onerosità e della limitata compatibilità con il legno: la protesi in betoncino è un blocco "fermo" mentre il legno è un materiale fortemente igroscopico che manifesta ritiri e rigonfiamenti, soprattutto in senso ortogonale alla fibratura, al variare delle condizioni termoigrometriche stagionali. Oggi si preferisce quindi realizzare delle protesi di legno, massiccio o lamellare (la scelta dipende dalla possibilità di reperire materiale con umidità inferiore al 18%) e connetterle con barre o lamine incollate. In mancanza di sezioni sufficienti in legno massiccio stagionato, si ricostruisce la protesi come un "lamellare in opera" affiancando delle tavole ed incollandole tra loro. L'unione della protesi al legno viene effettuata con barre di acciaio ad aderenza migliorata oppure in composito, incollate mediante un adesivo epossidico tixotropico (che non cola), posizionando le barre in sedi ricavate nel legno parallelamente alla fibratura e coprendole con un listello di legno di spessore adeguato (tipicamente 3-5 cm). Ciò consente di sollecitare le fibre di legno nel senso in cui sono state "progettate" dalla natura (a trazione o compressione in direzione parallela all'asse longitudinale del tronco). L'inserimento delle barre parallelamente alla fibratura, che è la direzione secondo la quale il legno ha ritiri e rigonfiamenti trascurabili, migliora inoltre la compatibilità fra i materiali. Una barra inserita trasversalmente rispetto alla fibratura contrasterebbe invece il ritiro e rigonfiamento del legno generando autotensioni di taglio alternate sull'incollaggio. Per questo motivo è opportuno che le barre siano sempre inserite parallelamente alla fibratura.

Nelle capriate, spesso il puntone risulta degradato solo in una piccola zona di contatto con la catena, in corrispondenza del dente di incastro. In questo caso è sufficiente ripristinare il giunto eliminando l'area degradata ed inserendo una chiave di legno duro (ad es. quercia); oltre a risolvere il problema del degrado, si facilita così anche il montaggio della protesi: la chiave viene realizzata alla fine, su misura, lasciando i margini per gli eventuali aggiustamenti di forma da eseguire su di un elemento maneggevole. La capriata deve essere opportunamente puntellata e forzata in maniera tale da provocare il leggero distacco di catena e puntone. Si esegue il taglio della zona degradata (normalmente su un piano inclinato di 60° rispetto all'orizzontale) con motosega a catena, utilizzando come guida due tavole inchiodate; eventualmente la superficie di taglio può essere regolarizzata con la lama stessa della motosega o con una pialla elettrica. Se le condizioni lo richiedono, le barre possono essere inserite in appositi fori praticati di testa mediante punte da legno di opportuna lunghezza e diametro e la resina può essere iniettata attraverso fori di controllo eseguiti lateralmente. Le barre sono alloggiare dopo aver riempito i canali con adesivo epossidico tixotropico, avendo cura di spingerle in profondità affinché risultino completamente avvolte dall'adesivo. A prodotto ancora fresco i canali dovranno essere tappati con listelli forzati all'interno mediante morsetti che andranno mantenuti per almeno 24 ore; la corretta esecuzione potrà essere verificata controllando in questa fase l'espulsione dell'adesivo in eccesso. Per legni duri, poco bagnabili dall'adesivo (quercia, castagno) può essere necessario utilizzare un primer adeguato.

Incremento della capacità portante di solai

Spesso si riscontra che, in funzione di un utilizzo diverso da quello previsto in passato, è necessario l'adeguamento di una struttura che non risulta idonea per degrado e/o insufficienza delle sezioni delle travi. L'approccio più diffuso è quello che prevede la realizzazione di una soletta di cls armato, resa collaborante con le travi mediante connettori di varia tipologia: tra le più diffuse ed efficaci si possono ricordare le barre piegate incollate (metodo "Turini-Piazza"), i connettori a piolo e rampone (tipo "Tecnaria"), le viti a 45° (tipo "SFS"). Ma se il peso della soletta viene ritenuto eccessivo per le murature, è possibile realizzare un doppio tavolato in legno compensato collaborante con le travi stesse. Tale intervento consente di aumentare notevolmente sia la portata del solaio che la rigidità nei confronti dei carichi verticali; inoltre conferisce al solaio la rigidità nel proprio piano che attualmente manca, infine consente di ridurre la tensione

massima nelle travi riportandola a valori ammissibili. Sono sempre da prevedere ancoraggi perimetrali fra soletta e muratura mediante staffe metalliche o simile. Gli interventi di miglioramento sopra descritti non producono sostanziali modifiche nel comportamento strutturale globale della struttura perché non ne alterano lo schema statico preesistente ma si limitano a rinforzarla localmente, inoltre non producono una sostanziale variazione di carico e non alterano la distribuzione delle masse e delle rigidezze.

Trattamenti preservanti

Gli interventi preservanti di tipo passivo, volti a migliorare le condizioni microclimatiche delle membrature ed in particolare delle sezioni trasversali (testate), sono fondamentali per mantenere una elevata durabilità della struttura lignea e sono, normalmente, più che sufficienti. Tuttavia, in presenza di condizioni di elevato rischio biologico, è ipotizzabile un trattamento di preservazione preventivo. Analogamente, a fronte di attacchi biotici attivi può rendersi necessario un trattamento curativo.

Il trattamento preventivo rende il legno inadatto all'insediamento ed allo sviluppo degli organismi xilofagi: per esempio, impedendo agli insetti di deporre le uova sulla superficie e negli interstizi del legno trattato ed alle spore fungine, che sono sempre presenti nell'aria, di svilupparsi venendo a contatto con il legno.

Il trattamento curativo deve invece distruggere gli organismi xilofagi già presenti all'interno del legno, come uova, larve insetti e micelio fungino, impedendo il progredire del danno nel legno attaccato ed il diffondersi dell'infestazione al materiale sano. I trattamenti con mezzi fisici (calore, microonde) o con gas sono curativi, ma non hanno durata nel tempo, in quanto il legno può essere di nuovo attaccato da insetti o funghi, quando si ristabiliscono le condizioni idonee per il loro insediamento e sviluppo.

L'efficacia di un trattamento dipende, oltre che dalla natura del principio attivo del preservante, dalla quantità di sostanza assorbita dal legno (che viene espressa in kg/m^3 o in g/m^2) e dalla profondità di penetrazione. L'assorbimento e la penetrazione dipendono dalla specie legnosa, dal tipo di preservante e dai metodi di applicazione. Le classi di penetrazione del preservante sono indicate nella UNI EN 351/1. Secondo la UNI EN 599-2 il produttore del preservante deve fornire almeno le seguenti informazioni:

- principio attivo e sua concentrazione;
- codice della o delle classi di rischio adatte al prodotto (1, 2, 3, 4 o 5 secondo UNI EN 335);
- procedimento di applicazione: trattamento solamente superficiale, solamente per impregnazione oppure entrambi; in aggiunta l'indicazione se il prodotto deve essere usato solamente con un rivestimento;
- indicazione del tipo di legno su cui il prodotto deve essere applicato: solamente latifolia, solamente conifera oppure entrambi i gruppi;
- valore critico corrispondente alla classe di rischio/tipo di legno, in g/m^2 o kg/m^3 e relativo dosaggio di applicazione raccomandato.

ANALISI DEI COSTI

Ogni intervento è molto diverso per accessibilità, estensione, requisiti, qualità della manodopera disponibile... quindi è assai difficile generalizzare. Facendo riferimento ad interventi semplici, con sezioni limitate e buona accessibilità i costi a consuntivo sono risultati nell'ordine dei 6-700 Euro/testata. All'estremo opposto, per interventi su grandi sezioni o legni duri e scarsa accessibilità i costi possono raggiungere i 2.500- 3.000 Euro/testata. In un caso recente, che può essere considerato abbastanza tipico (capriate di abete, luce 13 m, sezione della catena 25x40 cm), il consolidamento delle testate della catena ha avuto un costo complessivo di puntellatura, apertura e risarcitura della muratura di circa 1450 €. Poiché l'intervento con protesi di betoncino epossidico sarebbe costato circa 2.700 Euro, il risparmio è stato del 40% circa. Il costo è stato comunque inferiore anche rispetto alla sostituzione della sola catena (circa 1.900 Euro) o del rifacimento dell'intera capriata in legno lamellare (circa 3.200 Euro per la sola

fornitura e posa). Generalizzando si può stimare che il costo del consolidamento in opera, con le tecniche descritte, di una testata di capriata o trave di solaio, risulti inferiore del 30-40% rispetto alla tecnica con "betoncino epossidico" e del 50-60% rispetto alla sostituzione dell'intero elemento strutturale.