

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

*CORSO DI LAUREA A CICLO UNICO IN
INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA*

TESI DI LAUREA

in

ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

**IL CANTIERE DEL RECUPERO DELLE STRUTTURE DI
COPERTURA IN LEGNO: IL CASO DEL CONVENTO DEI FRATI
MINORI CAPPUCINI DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA**

CANDIDATO
Marco Casadio Loreti

RELATORE
Chiar.mo Prof. Marco Alvise Bragadin

CORRELATORI
Prof. Ing. Luca Guardigli
Ing. Michele Naldi

Anno Accademico 2024/25

Sessione I

INDICE

INDICE	1
INTRODUZIONE	3
1. L'UTILIZZO DEL LEGNO NELLE COSTRUZIONI	5
1.1 Cenni storici sull'utilizzo del legno nelle costruzioni	5
1.2 Il legno come materiale da costruzione: vantaggi e svantaggi	10
1.3 La normativa di riferimento	17
1.4 Alcuni esempi significativi di strutture lignee	21
2. IL RECUPERO DELLE STRUTTURE LIGNEE DI COPERTURA	33
2.1 Le strutture lignee	33
2.1.1 I solai in legno	33
2.1.2 La nomenclatura della geometria delle coperture	36
2.1.3 Le capriate in legno	42
2.1.4 Il degrado del legno per agenti biologici	48
2.2 Le indagini conoscitive	52
2.2.1 Il rilievo geometrico architettonico	52
2.2.2 Il rilievo strutturale	53
2.2.3 Il rilievo materico	54
2.3 Le indagini diagnostiche	55
2.3.1 Le indagini visive	56
2.3.2 Le indagini materiche svolte in situ	59
2.3.3 Le indagini materiche svolte in laboratorio	63
2.3.4 Le indagini dinamiche	63
2.3.5 I risultati delle indagini	64
2.4 Le molteplici istanze del recupero	65
2.5 Il cantiere del recupero	67
2.6 Le principali tecniche di intervento	68
2.6.1 CASO 1: Ammaloramento esteso a tutta la capriata	69
2.6.2 CASO 2: Rinforzo degli appoggi della capriata (<i>tacchi</i>)	70
2.6.3 CASO 3: Rinforzo di singoli elementi (puntoni e catena)	74
2.6.4 CASO 4: Rinforzo di singoli nodi	77
2.7 Soluzioni progettuali in funzione del tipo di capriata e di degrado riscontrato	80
3. IL CASO DEL CONVENTO DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA	81
3.1 Introduzione storica	81
3.1.1 Descrizione tipologica del complesso conventuale	81
3.1.2 Descrizione della struttura di copertura	89
3.2 L'analisi dello stato di conservazione	91
3.2.1 I risultati delle indagini svolte	91
3.2.2 Le principali criticità riscontrate	93
3.3 Le esigenze specifiche del nostro caso-studio	95
3.3.1 Le istanze relative alla tutela del bene	95

3.3.2 Le istanze relative al rischio sismico.....	97
3.3.3 Le istanze della committenza	102
3.4 Gli aspetti operativi della cantierizzazione	103
3.4.1 La sicurezza nel cantiere del recupero	103
3.4.2 Il progetto del recupero	104
3.4.3 Le fasi operative della cantierizzazione	106
4. IL PROGETTO DEL RECUPERO.....	112
4.1 La scelta delle tecniche di intervento	112
4.1.1 Le schede di procedimento.....	112
4.2 Gli indicatori chiave di prestazione (KPI).....	118
4.2.1 Rispetto dei costi: KPI (c)	120
4.2.2 Rispetto dei tempi: KPI (t)	121
4.2.3 Sicurezza sul lavoro: KPI (s).....	122
4.2.4 Operatività del cantiere: KPI (o)	123
4.2.5 Eco-sostenibilità: KPI (e)	125
4.2.6 Tutela del bene: KPI (b)	130
4.3 Somma finale dei valori KPI.....	131
4.4 Somma ponderata dei valori KPI	132
4.5 Considerazioni conclusive.....	137
5. L'UTILIZZO DI STRUMENTI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE	138
5.1 La scelta delle tecniche di intervento	138
5.2 Utilizzo di “Chat GPT”	139
5.3 Utilizzo di “Gemini”	141
5.4 Utilizzo di “Microsoft Copilot”	144
5.5 Sintesi finale.....	145
CONCLUSIONE.....	146
BIBLIOGRAFIA.....	148
ALLEGATO.....	150

INTRODUZIONE

Oggetto di questo lavoro è prendere in esame l'intervento di recupero delle strutture lignee storiche di copertura, in particolare le capriate, dal punto di vista delle scelte operative della fase progettuale e degli aspetti tecnici legati alla cantierizzazione.

Nel capitolo 1, dopo avere descritto le caratteristiche peculiari del legno come materiale da costruzione, mettendone in luce vantaggi e svantaggi, si offre una piccola rassegna di casi storici in cui il legno viene utilizzato in modo esemplare per realizzare strutture uniche nel loro genere, che resistono tuttora all'usura dei secoli.

Nel capitolo 2 si procede ad illustrare l'utilizzo specifico del legno nelle strutture di copertura ed in particolare nelle capriate. Grande attenzione viene posta nell'analisi dello stato di degrado del legno, causato da agenti biotici quali insetti, funghi e muffe, in particolari condizioni di temperatura e di umidità. Quindi, si passano in rassegna le principali modalità di indagini conoscitive, materiche e diagnostiche, che vengono utilizzate per definire lo stato di conservazione degli elementi lignei. Si descrivono quindi le principali tecniche di intervento sulle capriate lignee storiche, in funzione del tipo di degrado riscontrato e del livello di estensione dell'ammaloramento.

Nei capitoli successivi si entra nello specifico del caso-studio: l'intervento di recupero e rinforzo del coperto ligneo nel corpo di fabbrica del convento dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna.

Nel capitolo 3 vengono descritte le tappe principali che hanno riguardato l'evoluzione storica del complesso conventuale e contestualmente vengono richiamati i caratteri tipologici dell'architettura cappuccina: in questo modo, emerge chiaramente come il convento rappresenti un bene di valore testimoniale per il territorio nel quale è inserito e come tale esso debba essere tutelato. Si procede con la descrizione della tipologia di copertura lignea sulla quale si è effettuato l'intervento, indicandone la morfologia e lo stato di conservazione, sulla base dei risultati delle indagini diagnostiche effettuate. Quindi, dopo avere richiamato le molteplici esigenze (architettoniche, strutturali, conservative) che questo tipo di intervento richiede, si entra nel dettaglio delle fasi esecutive del progetto di recupero, a partire dalle operazioni di impianto del cantiere, mostrandone le peculiarità specifiche e motivando le scelte effettuate: individuazione

dell'area di cantiere, disposizione delle aree di lavoro, utilizzo di mezzi d'opera, attrezzature e materiali.

Nel capitolo 4 viene scelta una capriata-tipo, che risulta ammalorata nell'appoggio sulla muratura e si passa al confronto in parallelo di 3 soluzioni alternative per il suo rinforzo e consolidamento, attraverso l'analisi comparata di alcuni fattori specifici: stima dei costi, previsione dei tempi, oneri per la sicurezza, facilità di esecuzione operativa, rispetto dei requisiti di ecosostenibilità, tutela e valorizzazione del bene. Per ciascuno di questi aspetti viene assegnato un punteggio, attraverso l'uso di opportuni indicatori chiave di prestazione (KPI): la somma finale dei valori ottenuti per ciascuna lavorazione, permette di confrontare fra loro le 3 ipotesi alternative e scegliere la soluzione ottimale. Oltre alla combinazione normalizzata, in cui tutti i fattori considerati assumono la stessa importanza, si ripete il procedimento attraverso una somma ponderata, assegnando un peso diverso ai singoli fattori in gioco e si ricalcola il valore finale dei KPI: in questo modo, si riesce ad effettuare un'analisi della sensitività del modello di calcolo e di conseguenza si riesce a valutare la resilienza della soluzione migliore. Infine, si confrontano i valori ottenuti, al fine di individuare se la scelta adottata nella fase progettuale fosse effettivamente la più vantaggiosa.

Nel capitolo 5, infine, si ripete il confronto in parallelo delle 3 tipologie di intervento alternative, attraverso una interrogazione qualitativa di 3 diversi software di intelligenza artificiale e si confrontano le risposte fornite da essi, al fine di verificare l'attendibilità dell'approccio proposto, rispetto ad una stima analitica tradizionale o al giudizio sintetico del progettista strutturale.

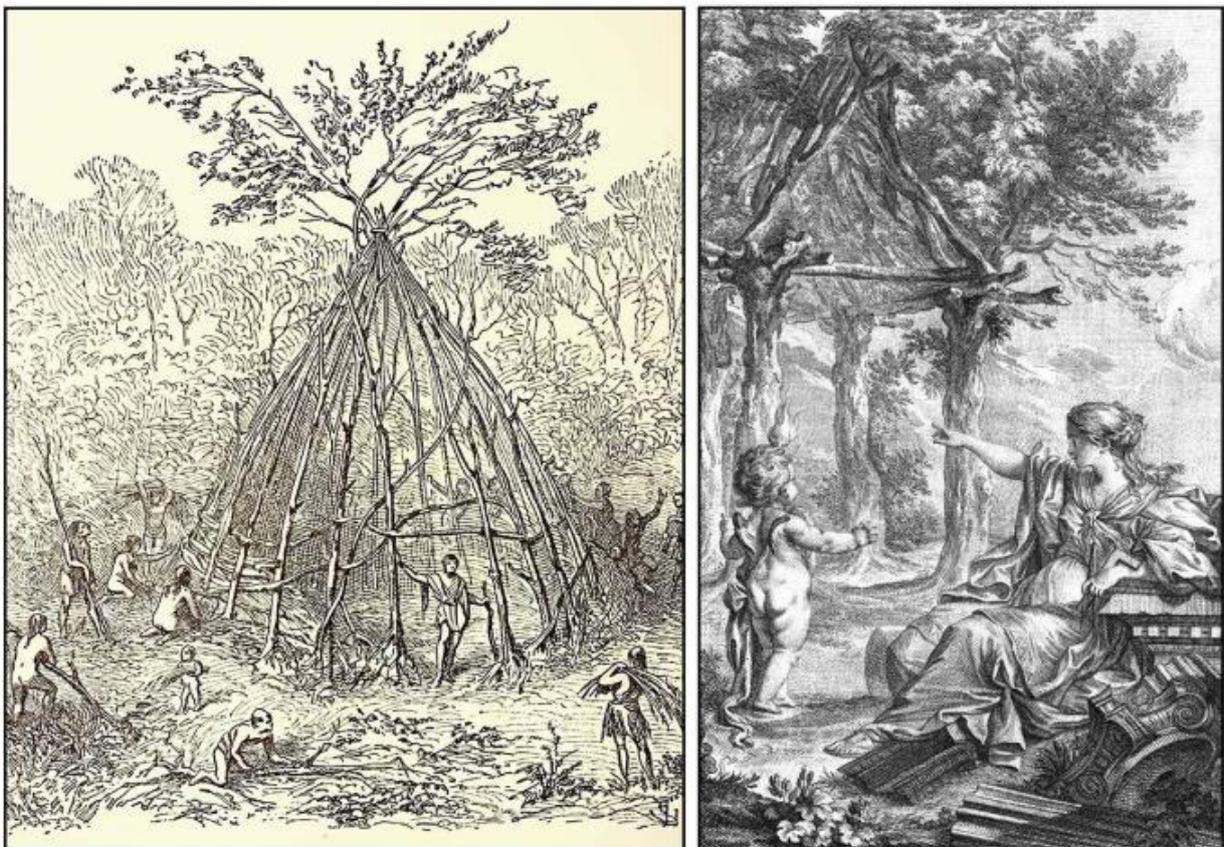
In conclusione, si traccia un bilancio finale del lavoro svolto e si valuta la possibilità di utilizzare il metodo adottato nel caso-studio, attraverso l'uso di opportuni indicatori KPI, come modello predittivo in grado di indicare fin dalla fase progettuale la scelta tecnologica più vantaggiosa da realizzare all'atto esecutivo.

1. L'UTILIZZO DEL LEGNO NELLE COSTRUZIONI

1.1 Cenni storici sull'utilizzo del legno nelle costruzioni

Il legno è da sempre ritenuto il materiale più antico utilizzato dall'uomo per le costruzioni. Alcuni storici fanno corrispondere la prima apparizione di case in legno al Paleolitico, altri al Neolitico. Oltre 40.000 anni fa, l'uomo preistorico nomade, ormai capace di accendere fuochi e cacciare, cominciò ad allontanarsi dalle caverne per costruirsi un rifugio all'aperto. Prese ciò che la natura aveva da offrirgli: tronchi di legno, frasche e canne; le intrecciò tra loro e per ripararsi dal vento e dalla pioggia pensò bene di ricoprire questa intelaiatura con pelli di animali, foglie, paglia o terra pressata.

L'idea primordiale di abitare è ben espressa nell'archetipo della capanna primitiva, trasmesso nel celebre saggio dell'Abate Laugier ("Essai d'architecture", 1753) e ripreso successivamente nel disegno dell'architetto francese Viollet Le Duc.



*Figura 1.1 - Disegni di Viollet Le Duc (a sinistra) e dell'abate Augier (a destra).
Tratto da <https://www.infobuild.it/approfondimenti/pagoda-origini-architettura-in-legno/>*

Ma assai prima di loro, nel I secolo a.C. Vitruvio Pollione raccontò un mito sulle origini dell'abitare. In una radura della foresta, persone precedentemente isolate e selvagge si radunarono attorno alle braci di un fuoco morente: da questo ritrovo sociale sono emerse le istituzioni politiche, il linguaggio umano e la costruzione di rifugi permanenti. Da quando cioè l'uomo si è allontanato dalle caverne ed ha costruito i primi accampamenti e villaggi.

Nell'età preistorica, schemi costruttivi estremamente semplici a forma circolare, costituiti da tronchi o rami di albero, accostati tra loro e «legati» con fango, permettevano di realizzare le prime capanne che proteggevano l'uomo dagli agenti atmosferici.



Figura 1.2 - Esempio di cellula base iniziale. Tratto da <https://www.appuntidistoria.net/abitazioni/>

Con il passare del tempo e con l'esperienza desunta dalle precedenti costruzioni in legno, la «cellula base» assunse forma «rettangolare» e quindi più complessa.

Nelle regioni fredde, la struttura portante degli edifici veniva realizzata tramite tronchi verticali e fango oppure ricoperta con zolle di terra, affinché si potesse garantire una sufficiente coibenza termica.

Nelle regioni calde, invece, i muri erano composti da paglia, così come le coperture.

Inizialmente la «*cellula base*» rispettava le dimensioni massime dettate dalla lunghezza dei tronchi disponibili in natura. All'aumentare dell'esperienza costruttiva, l'uomo imparò ad associare ai tronchi delle strutture lignee puntuali verticali denominate «*pilastrini*» affinché fosse possibile aumentare le dimensioni degli ambienti interni e quindi ridurre le lunghezze dei solai di calpestio.

A causa dei collegamenti non del tutto efficaci tra le varie parti lignee (*realizzati tramite semplici corde vegetali*), le prime strutture risultavano assai vulnerabili alle azioni orizzontali (*vento e/o sisma*).



Figura 1.3 - Esempi di cellule base successive: il villaggio neolitico di Travo (PC).
Tratto da <https://parcoarcheologicoditravo.it/la-storia-del-parco-e-del-museo/>

Con il passare del tempo, l'uomo sviluppò maggiori conoscenze costruttive dettate dall'esperienza e gli edifici in legno divennero così strutture sicure ed affidabili.

Il sistema costruttivo che si venne ad adottare, consentì un'elasticità molto elevata permettendo di assorbire grosse accelerazioni al suolo senza subire danni considerevoli.

Ma le testimonianze più antiche di strutture in legno giunte intatte sino a noi fanno parte, com'è facile immaginare, dell'architettura monumentale o sacra, quella per cui si impegnavano maggiori risorse umane ed economiche e maggiore cura nella qualità della realizzazione e dei materiali adoperati.

Mentre in occidente l'architettura sacra e monumentale aveva sposato la pietra quale materia sacra, inviolabile e duratura, e relegato il legno – considerato più fragile – al ruolo esclusivo di decorazioni e coperture (basti pensare all'architettura classica greca e romana), in oriente il legno aveva una considerazione ben più prestigiosa.

L'architettura orientale si era fin dall'antichità affidata alle straordinarie qualità del legno (flessibilità, lavorabilità, reperibilità, sostenibilità) per erigere i suoi edifici più importanti, ma a tutto tondo: dalla struttura portante alle coperture, decorazioni e arredi. Come per la storia dell'architettura in occidente, anche in Oriente è la religione che definisce e guida le evoluzioni delle costruzioni più rappresentative, come quelle monumentali, dove si condensano tutti i saperi, le arti e le tecniche di quel periodo storico.

Storicamente solo il Giappone (fortemente sismico) ha realizzato edifici imponenti totalmente costituiti da legname, resistenti nel tempo e ai terremoti: questi edifici assunsero il nome di «*pagode*» ed in genere venivano utilizzati per usi religiosi.

Altri esempi molto antichi sono le chiese in legno strutturale denominate “*stavkirke*” che si trovano in Norvegia e nel Nord Europa e che risalgono alla fine del XII secolo.

Ad oggi, negli Stati Uniti, in Canada e in Scandinavia quasi il 90% delle case presenta struttura portante completamente in legno.

In Francia, Austria, Svizzera, e Germania, paesi ove la filiera del legno ha un peso economico importante, le costruzioni di case in legno sono oggi in forte crescita.

Il legno è adottato come tecnica costruttiva non solo nelle regioni continentali dell'emisfero Nord: in Australia ed in Brasile le costruzioni in legno stanno assumendo un'importanza considerevole.

A livello europeo, il mercato italiano ha raggiunto il 3° posto per numero di edifici realizzati in legno, crescendo più della media europea, sostenuto anche dagli investimenti pubblici che stanno scoprendo il legno come materiale da costruzione per scuole, palestre, impianti sportivi, con il Nord Italia che copre i due terzi del costruito.

Dal punto di vista della ecosostenibilità, un edificio realizzato con struttura in legno e componenti a base lignea consente un notevole assorbimento della CO₂, anche se i pezzi e le partizioni sono già lavorate e poste in opera.

1.2 Il legno come materiale da costruzione: vantaggi e svantaggi

VANTAGGI

I principali vantaggi del legno come materiale da costruzione sono:

- Leggerezza
- Rapidità
- Esattezza
- Molteplicità
- Visibilità
- Consistenza

Leggerezza

Il legno è l'unico materiale da costruzione che presenta un peso specifico inferiore a quello dell'acqua (<1 t/mc); rispetto agli altri materiali da costruzione, per esempio:

Legno massello	0,5 ÷ 0,8 t/mc
Muratura a mattoni pieni	1,8 t/mc
Calcestruzzo armato	2,5 t/mc
Acciaio	7,8 t/mc

Grazie alla sua leggerezza, è possibile impiegare il legno per le costruzioni in luoghi inaccessibili alle tradizionali attrezzature da cantiere (*gru, ponteggi, betoniere*).

Rapidità

Grazie alla facilità di posa e montaggio degli elementi e alla semplicità delle connessioni (principalmente a secco), è possibile realizzare in tempi ridotti anche edifici di molti piani, nonché altre differenti tipologie: tralicci, torri radio, ponti, etc.

Esattezza

Le tecniche di produzione degli elementi lignei sono molto esatte e precise; consentono la realizzazione di incastri perfetti fra le parti. La precisione nell'assemblaggio garantisce una struttura solida e di alta qualità, dimostrando che la rapidità non è sempre sinonimo di bassa qualità.

Molteplicità

Il legno rende possibile realizzare facilmente elementi in serie, modulari e ripetibili, pronti per essere assemblati. L'uso di questi elementi modulari permette di risparmiare tempo e denaro in cantiere. Inoltre, essi possono essere utilizzati anche per la prefabbricazione di elementi quali pareti, pilastri e travi.

Visibilità

L'aspetto visivo ed esteriore delle strutture lignee è molto importante: il legno offre un'estetica naturale e calda, che connota fortemente gli spazi interni ed esterni. Per questo motivo, oltre agli elementi strutturali esso è spesso utilizzato per arredi, pavimenti e rivestimenti. La varietà di essenze e di sfumature cromatiche conferisce bellezza, calore e comfort agli spazi in cui viene utilizzato.

Consistenza

Il legno risulta un materiale rigido, ma leggero ed elastico, che presenta un'elevata resistenza a trazione e compressione nella direzione parallela alle fibre. Nonostante il peso molto ridotto, esso presenta ottime caratteristiche di robustezza e di resistenza flessionale, rispetto agli altri materiali da costruzione.

Ad esempio, rispetto al calcestruzzo la resistenza a trazione del legno è superiore, mentre quella a compressione è simile; ma il legno pesa circa 5 volte di meno.

Assemblaggio effettuato interamente a secco

Le costruzioni di legno, non richiedono l'uso di malta o di leganti particolari per la loro posa in loco e proprio per questo vengono definite «*costruzioni a secco prefabbricate*»: per tale motivo, la facilità di posa degli edifici in legno senza necessità di silos o di betoniere in cantiere riduce fortemente i tempi della costruzione con importanti ripercussioni positive sui costi di cantiere.

Tempi rapidi e costi ridotti

La velocità e facilità delle operazioni di montaggio suddette permette una notevole riduzione dei tempi di realizzazione delle lavorazioni ed una conseguente riduzione dei

costi, rispetto agli altri materiali da costruzione. Inoltre, la riduzione dei tempi delle lavorazioni implica una riduzione della probabilità di infortuni nel cantiere.

Sicurezza per la salute dei lavoratori

Il legno è un materiale naturale, non tossico e non emette sostanze nocive, quindi favorisce un ambiente di lavoro salubre e garantisce una maggiore sicurezza per la salute dei lavoratori. Inoltre, esso è facilmente smaltibile.

Materiale rinnovabile e riciclabile

Le strutture lignee possono essere facilmente rinnovate tramite la sostituzione di un singolo elemento o di alcune sue parti. Inoltre, le parti rimosse possono essere ulteriormente riciclate e riutilizzate in altri contesti.

Materiale sostenibile

La biodegradabilità e la minima impronta di carbonio, che caratterizzano le strutture lignee, le pongono in primissimo piano per una scelta rispettosa dell'ambiente e dell'ecosistema. Si pensi che, per produrre 1 t di legno occorrono da 6 a 23 kg di petrolio, mentre la produzione di 1 t di cemento ne richiede 115 kg e per ottenere 1 t di alluminio ne servono addirittura circa 8.400 kg.

Buon isolamento termo-acustico

A parità di ingombro planimetrico complessivo, una casa con struttura portante in legno ha una superficie abitabile di circa il 10% maggiore, rispetto al tradizionale edificio in muratura, grazie agli spessori ridotti delle pareti; inoltre, le caratteristiche di isolamento termico e acustico del legno permettono un miglior controllo del microclima interno, mitigando gli sbalzi termici e garantendo un minor consumo energetico.

Buona resistenza alle azioni sismiche

Dato che l'azione sismica è direttamente proporzionale alle masse ed il legno ha un peso specifico molto ridotto ($< 1 \text{ t/mc}$), questo lo rende un ottimo materiale da costruzione, in merito alla sua risposta alle azioni sismiche.

Le connessioni metalliche fra gli elementi orizzontali e verticali sono fondamentali per conferire alla struttura un comportamento duttile.

Comportamento prevedibile al fuoco

Il legno è un materiale combustibile e infiammabile, però questo non significa che non possieda alcuna resistenza al fuoco.

Anzi, il comportamento al fuoco delle strutture lignee è prevedibile; il legno, infatti, brucia lentamente:

- legno lamellare circa 0,7 mm/minuto
- legno massello circa 0,9 mm/minuto
- pannelli X-Lam circa 0,75 mm/minuto

Lo strato più esterno dell'elemento ligneo esposto al fuoco si trasforma in carbone (carbonatazione); questo rallenta il progredire della combustione e preserva, isolandole, le parti del legno non ancora investite dal fuoco; la parte di legno non carbonizzata rimane efficiente da un punto di vista meccanico all'aumentare della temperatura.

La rottura dell'elemento ligneo avviene a causa della progressiva riduzione della sezione per effetto dell'incendio e non per perdita di resistenza meccanica del materiale.

Inoltre, il legno è un pessimo conduttore di calore: per cui, se all'interno dell'edificio è in atto un incendio, la temperatura esterna rimane sotto controllo, agevolando i soccorsi.

Utilizzo nel restauro e nel recupero

Un'altra caratteristica distintiva del legno come materiale da costruzione è la sua flessibilità nel restauro e nei progetti di ristrutturazione di edifici storici: la capacità del legno di adattarsi alle esigenze strutturali, senza compromettere la solidità e l'integrità dell'edificio storico, è un'opportunità che altri materiali spesso non riescono ad offrire.

La flessibilità del legno consente interventi di restauro meno invasivi e più agevoli rispetto ad altri materiali. In molti casi, permette di preservare l'essenza, la forma e l'architettura originale dell'edificio, mentre si adatta alle nuove esigenze funzionali.

SVANTAGGI

Materiale igroscopico

Il legno per sua natura è un materiale altamente igroscopico: assorbe e cede umidità dall'ambiente, quindi è soggetto sia ad attacchi ambientali sia ad attacchi distruttivi da parte di organismi viventi, che lo utilizzano come nutrimento o abitazione (*attacchi biotici*). La variazione di umidità del legno superiore al 20%, dovuta per esempio alle infiltrazioni meteoriche continue, peggiora le condizioni naturali di conservazione del legname e facilita, per temperature comprese fra 3°C e 40°C, l'attacco di funghi e di insetti alla struttura stessa, degradandola in modo irreversibile (come meglio illustrato nel capitolo successivo).

I ponti lignei e le strutture direttamente esposte alle intemperie senza alcuna protezione sono molto sensibili al degrado, in quanto il legname è costantemente a diretto contatto con le intemperie (piogge, sbalzi di umidità e di temperatura).

Per ovviare a questi inconvenienti e rallentare il degrado del legno, è bene utilizzare alcuni accorgimenti:

- protezione fisica degli elementi lignei dalle piogge tramite elementi “di sacrificio”
- ventilazione delle pareti
- gocciolatoi e sistemi di allontanamento delle acque meteoriche
- distacco dal suolo delle parti lignee
- manutenzione periodica della struttura, tramite pulizia ed indagini visive.

Inoltre, il diverso gradiente di umidità contenuto nelle parti lignee può causare variazioni dimensionali e conseguenti deformazioni degli elementi: se queste superano il 15 % sono ritenute inaccettabili e il pezzo è da scartare. Per ovviare a questo inconveniente, occorre che il legno abbia subito un corretto processo di stagionatura.

Attacchi biologici

I principali responsabili dello stato di degrado delle strutture lignee sono i funghi cromogeni (che alterano il colore del legno) e i funghi xilofagi (che si nutrono di legno). Le spore presenti ovunque, appena trovano condizioni favorevoli di temperatura e di umidità, attecchiscono e sviluppano il fungo, che poi attacca il legno e ne causa la marcescenza.

Oltre ad essi, anche gli insetti xilofagi (coleotteri, isotteri e Capricorno) rappresentano una causa molto frequente di infestazione del legname, che può perdurare senza segni esteriori evidenti anche per parecchi anni, portando a gravi livelli di degrado e alla pressoché totale perdita di resistenza meccanica delle strutture lignee.

Guano

Nelle coperture e nei sottotetti (soprattutto degli edifici storici) spesso il guano dei piccioni rappresenta un ulteriore fattore deleterio per il legname.



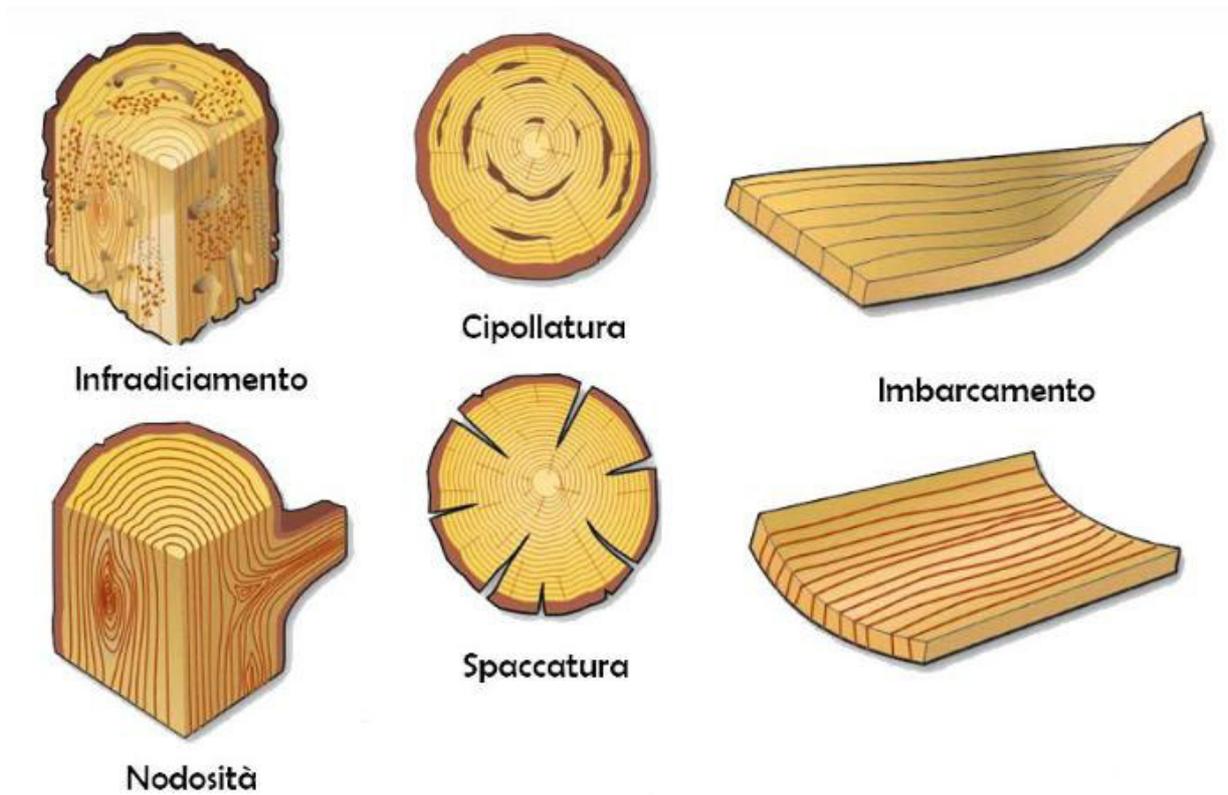
*Figura 1.4 - Elemento ligneo degradato da guano e insetti.
Tratto dal testo n. 1 (vedi Bibliografia)*

Difetti

Il legno è un materiale che può presentare alcune caratteristiche particolari, che vengono chiamate “difetti” perché peggiorano le prestazioni del materiale:

- nodi (rami rimasti inclusi)
- cipollature (fessure anulari)
- fibratura a spirale (causata dal vento)
- fessure da ritiro (per la riduzione dell'umidità)
- fratture da vento (rottture parziali di fibre)
- tasche di resina (cavità schiacciate tra due anelli)
- imbarcamento o curvatura (cattivo immagazzinamento).

Per ovviare a questi inconvenienti, è bene effettuare un'analisi visiva accurata delle nuove strutture lignee da porre in opera, selezionando elementi privi di difetti.



*Figura 1.5 - Principali difetti degli elementi lignei.
Tratto da <https://www.tooltarget.it/archives/127>*

1.3 La normativa di riferimento

Le normative italiane

- D.M. 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)
 - Cap. 4.4. Costruzioni civili e industriali – Costruzioni di legno

Riguarda “le opere costituite da strutture portanti realizzate con elementi di legno strutturale o con prodotti strutturali a base di legno. [...]

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.”

Contiene le norme per la valutazione della sicurezza e per l’analisi strutturale, oltre alle verifiche di resistenza e di stabilità degli elementi.

- Cap. 7.7. Progettazione per azioni sismiche – Costruzioni di legno

Contiene le norme aggiuntive da utilizzare nelle costruzioni soggette ad azione sismica, per la corretta progettazione strutturale, le verifiche di sicurezza, le disposizioni costruttive per i collegamenti e gli impalcati.

- Cap. 11.7. Materiali per uso strutturale – Materiali e prodotti a base di legno

Contiene le proprietà che devono soddisfare i materiali e i prodotti a base di legno, in particolare il rispetto delle normative europee e la marcatura CE.

Inoltre, illustra tutte le procedure per la identificazione e rintracciabilità del prodotto, la qualificazione della produzione e i controlli di accettazione in cantiere.

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- *identificati* univocamente a cura del fabbricante;
- *qualificati* sotto la responsabilità del fabbricante;
- *accettati* dal Direttore dei Lavori, mediante acquisizione e verifica della documentazione di identificazione e qualificazione, nonché mediante eventuali prove di accettazione.

- Istruzioni CNR-DT 206 R1/2018: Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno

Definisce le caratteristiche di materiali e prodotti a base di legno, nonché degli adesivi da utilizzare; i metodi di calcolo per la progettazione degli elementi e dei collegamenti;

i sistemi strutturali come travature reticolari, telai e controventamenti; le regole pratiche di esecuzione delle strutture; i controlli sulla produzione e sull'esecuzione.

- D.L. 22 gennaio 2004 n. 42: Codice dei Beni Culturali

Definisce immobile "vincolato" un bene di proprietà privata, per il quale sia stata notificata e motivata al proprietario una dichiarazione di interesse culturale, da parte della competente Soprintendenza.

Il proprietario di un edificio vincolato è soggetto ad una serie di limitazioni nell'uso del proprio immobile: non può demolirlo, modificarlo o restaurarlo, senza la preventiva autorizzazione del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali; non può adibirlo ad usi non compatibili con il suo carattere storico o artistico, o tali da recare pregiudizio alla sua conservazione o integrità. L'interesse culturale dell'immobile può essere motivato per il suo valore storico, artistico, architettonico o paesaggistico.

- D.P.C.M. 9 febbraio 2011: Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.

Rappresenta il riferimento normativo italiano dal punto di vista sismico, per gli interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità sismica dei beni del patrimonio culturale vincolato.

Tale direttiva, in considerazione della specificità e articolazione del contenuto, nonché delle caratteristiche del patrimonio storico edilizio italiano, è adottabile come riferimento per tutte le costruzioni che comunque abbiano una valenza storica, artistica o urbanistico-ambientale, anche se non esplicitamente vincolate.

Alcune normative straniere

- DIN 1052 (Germania): Progettazione delle strutture di legno
- S.I.A. 164 (Svizzera): Norme per il calcolo e l'esecuzione delle opere in legno
- Regles C.B. 71 (Francia): Regole di calcolo e di progetto delle strutture in legno

Le normative europee

- UNI EN 1995 – Eurocodice 5: Progettazione delle strutture di legno

La norma UNI EN 1995-1-1 fornisce le regole generali di progettazione delle strutture di legno, insieme alle regole di progettazione specifiche per gli edifici. Essa si applica alle strutture di legno (legno massiccio, segato, piallato o sotto forma di pali, legno lamellare incollato oppure prodotti strutturali a base di legno) e ai pannelli a base di legno, uniti mediante adesivi o collegamenti meccanici.

La norma UNI EN 1995-2 tratta la progettazione della struttura principale dei ponti, per esempio gli elementi strutturali per l'affidabilità dell'intera struttura o della maggior parte di essa, realizzata con legno o altri prodotti a base di legno, sia singolarmente sia abbinati con calcestruzzo, acciaio o altri materiali.

- UNI EN 338: Classi di resistenza per legname strutturale

Definisce le diverse classi di resistenza del legname per uso strutturale; è suddivisa in due tabelle: una per conifere e pioppo (classi C) ed una per le latifoglie (classi D).

- UNI EN 942:2007 “Legno in falegnameria – Requisiti generali”

Definisce la qualità generale del legno in opera da falegnameria; non fissa dei limiti di accettabilità della qualità del legno per usi specifici (questo compito è delegato ad altre norme a livello nazionale o alle clausole contrattuali), ma si limita a fornire le basi per la classificazione, che tiene conto di diversi aspetti e caratteristiche (vene, nodi, tasche di resina, fessure, perforazioni da insetti, etc.)

- UNI EN 13307-1:2007 “Segati a misura e profili semilavorati in legno per impieghi non strutturali – Parte 1: Requisiti”

Definisce le deformazioni massime ammesse per i profili in legno. Pur essendo, come cita il titolo, una norma nata per valutare i vari aspetti qualitativi in segati a misura e in profili semilavorati in legno per impieghi non strutturali, in realtà nella pratica essa viene utilizzata per tutti i manufatti lignei, per valutare il più oggettivamente possibile l'ammissibilità o meno di una deformazione dell'elemento.

- UNI 11118 (2004): Beni culturali – Manufatti lignei – Criteri per l'identificazione delle specie legnose

Contiene i criteri per la classificazione degli elementi lignei in opera.

- UNI 11119 (2004): Beni culturali – Manufatti lignei – Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera

Contiene i criteri per l'analisi in loco dello stato di conservazione degli elementi lignei.

- UNI 11130 (2004): Beni culturali – Manufatti lignei – Terminologia del degradamento del legno

Contiene i criteri e i termini da utilizzare per definire lo stato di degrado degli elementi.

- UNI 11138 (2004): Beni culturali – Manufatti lignei – Strutture portanti degli edifici – Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi

Contiene i criteri generali per l'elaborazione del progetto che riguarda interventi atti a garantire la sicurezza o a migliorare il comportamento di strutture lignee esistenti.

- UNI EN 380 (1994): Strutture di legno – Metodi di prova – Principi generali per le prove con carico statico

Contiene i criteri generali per l'esecuzione di eventuali prove di carico su strutture lignee esistenti.

1.4 Alcuni esempi significativi di strutture lignee

GIAPPONE

Le “pagode”

La costruzione in legno più antica, tuttora esistente ed integra, ha circa 1300 anni, è sita in Giappone ed è arrivata ai giorni nostri completamente intatta, nonostante i numerosi cataclismi naturali come terremoti distruttivi, tifoni, tempeste. Si tratta della *Pagoda di Horyuji* nella prefettura di Nara, risalente al VII secolo d.C.



Figura 1.6 - Pagoda di Horyuuj: vista esterna.

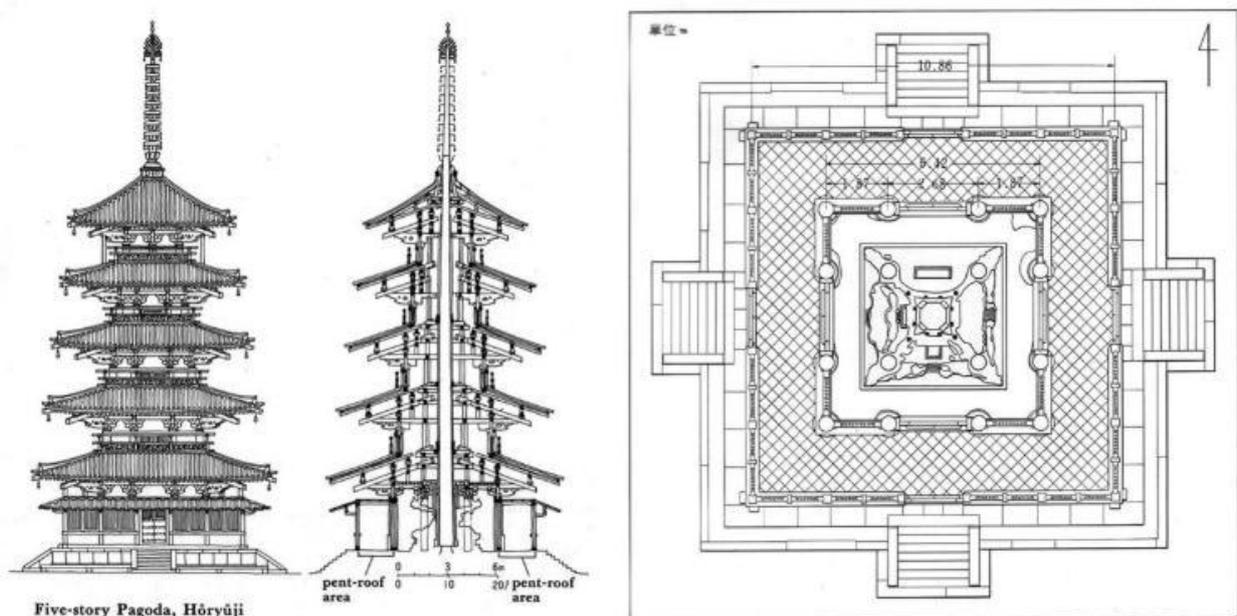
Tratto da <https://www.infobuild.it/approfondimenti/pagoda-origini-architettura-in-legno/>

Originariamente edificata nel 607 e ricostruita intorno al 711 a causa di un incendio, è la più antica struttura in legno del mondo giunta a noi completamente intatta (grazie anche alle opere di manutenzione e restauro eseguite nel tempo che ne hanno permesso la conservazione) ed è la testimonianza vivente di come il legno, se ben progettato e mantenuto, sia un valido materiale da costruzione, di lunga durata e stabilità nel tempo.

Nel millennio occorso al Buddismo per arrivare dall'India al Giappone, l'architettura dei templi religiosi è mutata profondamente. A questo cambiamento contribuirono le differenze climatiche e la grande disponibilità di legname di Cina e Giappone.

La “pagoda” giapponese ebbe origine dall'evoluzione della stupa indiana, un monumento commemorativo e funerario di matrice buddhista: da bassa struttura a cupola emisferica in mattoni, ad edificio multipiano in legno con tetti aggettanti, come soluzione tecnica alle forti piogge locali e per poter essere vista da lontano.

La pagoda di Horyuji è una struttura a quattro lati (pianta quadrangolare) con telaio in legno. Ciascuno dei piani superiori poggia sulla struttura del tetto sottostante, mentre il perimetro di ogni piano diminuisce successivamente. Il palo centrale, eretto sopra una cripta sotterranea che contiene reliquie, non si incastra con il telaio ligneo dei vari piani e quindi non sostiene il carico verticale della struttura: ha un significato più simbolico che pragmatico.



Five-story Pagoda, Hōryūji

Figura 1.7 - Pagoda di Horyuij: struttura interna. Tratto da:

<https://www.infobuild.it/approfondimenti/pagoda-origini-architettura-in-legno/>

La Pagoda di Horyuji è costruita in legno di cipresso (*hinoki*), una specie legnosa giapponese molto forte e resistente, dall'eccezionale durabilità naturale. Il segreto delle pagode, custodito dai mastri carpentieri, risiede nella magia degli incastri. Ogni elemento, trave o pilastro, orizzontale-verticale od obliquo, è lavorato abilmente: scavato, intagliato o inciso a regola d'arte con precisione millimetrica per combaciare

perfettamente con le altre parti della costruzione, a formare un'ossatura completa e organica.

L'elemento più caratteristico di una pagoda è il particolare giunto legno-legno, detto *Kumimono*, l'evoluzione tecnica del nodo trave-pilastro, una sorta di elaborato capitello che permette l'esistenza dei tipici tetti a falda molto pronunciata all'esterno, scaricandone il peso su una rapida successione a cascata di piccoli travetti alternati e incastrati tra loro fino a poggiarsi sulle colonne portanti perimetrali dell'edificio.

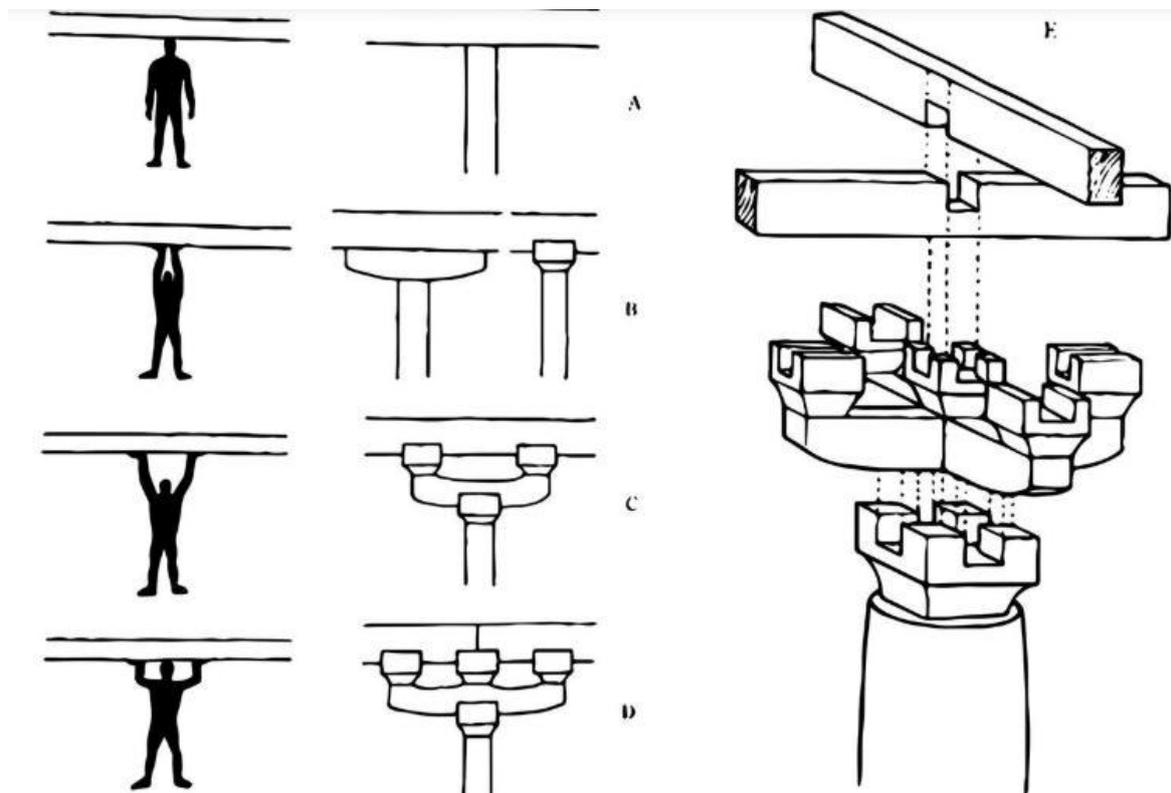


Figura 1.8 - Dettaglio del nodo ad incastro trave-pilastro. Tratto da <https://www.infobuild.it/approfondimenti/pagoda-origini-architettura-in-legno/>

Il valore delle pagode quali modelli di architettura in legno, risiede nella loro raffinata concezione strutturale. Tutta la loro resistenza è affidata esclusivamente al legno: gli elementi metallici sono assenti o ridotti al minimo essenziale.

Ben consapevoli infatti che uno dei nemici mortali del legno è il ferro, gli originali carpentieri del periodo Asuka adoperavano un minimo assoluto di chiodi di ferro; quelli che usavano erano ripetutamente forgiati di modo da ottenere multipli strati sottili. Così anche se la superficie arrugginiva, rimuovendo lo strato superiore si poteva rivelare lo

strato sottostante intatto. Questo spiega il perché dopo oltre un millennio, alcuni chiodi svolgono ancora la loro originaria funzione.

Quando il metallo è inserito nel legno, la ruggine conduce il legno circostante alla marcescenza. Il foro creato dal bullone, a causa della ruggine, si espande fino a due volte la sua taglia danneggiando il legno.

Tutti i piani della pagoda sono strutturalmente indipendenti l'uno dall'altro. Un pilastro centrale si erge su una base di pietra e s'innalza fino al pinnacolo ma non sostiene il tetto o qualsiasi altra parte della struttura.

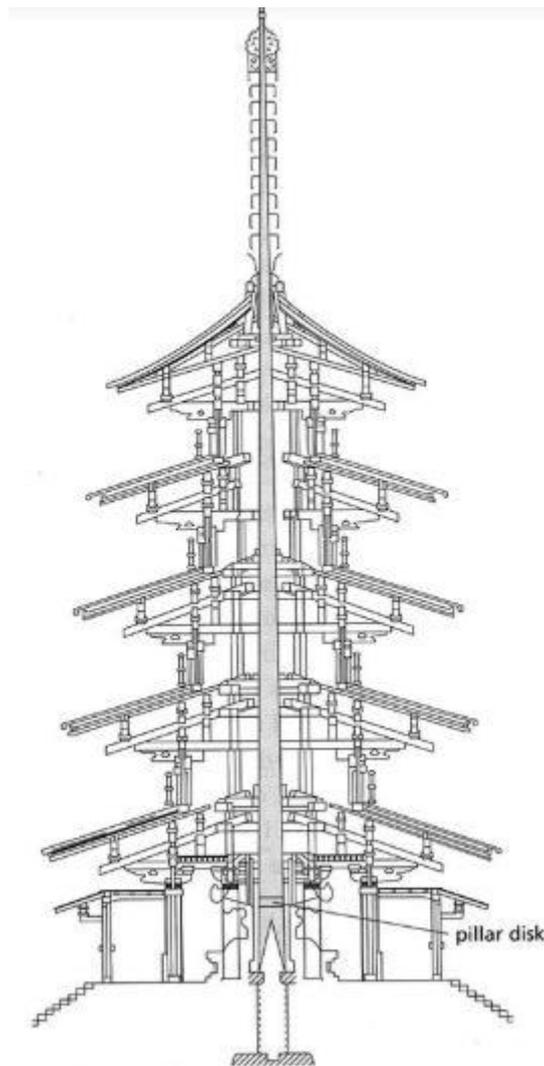


Figura 1.9 - Pagoda di Horyuji: sezione in mezzeria. Tratto da <https://www.infobuild.it/approfondimenti/pagoda-origini-architettura-in-legno/>

Le travi interne ed esterne sono adagate intorno al pilastro centrale, a sostenere il peso di ogni sezione in maniera indipendente a cascata.

La solidità di queste strutture è legata alla loro flessibilità, ottenuta dal montaggio delle parti (incastrati e giunzioni). In caso di un terremoto o tifone, ciascuno dei piani della pagoda vibra e si muove alternativamente in direzione opposta, con un movimento sinuoso ondulatorio che gli antichi costruttori avevano definito “la danza del serpente” e che dona un naturale equilibrio alla struttura.

La colonna centrale poi, fa da cuscinetto alle travi orizzontali che urtano contro di lei. Questo impedisce alla pagoda di barcollare troppo fuori asse e, di conseguenza, di crollare.

NORVEGIA

Le “stavkirke”

La parola norvegese “stavkirke” definisce le chiese a doghe di legno e si riferisce al modo in cui furono edificate. Il nome deriva dalla struttura del vecchio fienile nordico, il cui elemento portante erano i pali (*stav*). Le doghe sono posizionate negli angoli e in altri importanti punti di collegamento nelle strutture, formando un telaio unito ad incastri.



Figura 1.10 - Norvegia: stavkirke di Borgund. Tratto da <https://renneritalia.com/stavkirke-chiese-legno/>

Tra il 1000 e il 1537 furono erette in Norvegia molte chiese con struttura a doghe intagliate in legno di pino. Quelle costruite dopo la Riforma (1537) sono costituite in gran parte da materiali riciclati da quelle precedenti.

La maggior parte di esse si trova nell'interno, in zone note per il clima secco e freddo, fattore che ha indubbiamente contribuito a preservarle fino ad oggi.

A causa della loro cattiva condizione, la direzione per i beni culturali lanciò il programma di conservazione delle stavkirke. Nel 1844 fu istituito il National Trust of Norway, che rappresenta l'inizio della gestione professionale del patrimonio culturale norvegese. Poi nel 1905 fu approvata una legge sulla protezione del patrimonio culturale, che prevedeva la tutela dei monumenti e dei siti precedenti la Riforma del 1537. Analoga tutela fu confermata nella legge sul patrimonio culturale del 1978. Il fatto

che le più antiche siano rimaste in piedi per oltre 850 anni è una testimonianza dell'eccellente qualità della costruzione, dei materiali, dei trattamenti e dell'artigianato. Il legname, prevalentemente pino, doveva essere abbattuto nella foresta e trasportato sul sito: tutte le parti dell'edificio erano fabbricate a mano e quasi ogni aspetto della realizzazione veniva pianificato con largo anticipo. Ancora oggi si ricorre alla stessa tecnica artigianale dell'intagliare il legno, per la loro manutenzione.



Figura 1.11 - Norvegia: stavkirke di Heddal. Tratto da <https://renneritalia.com/stavkirke-chiese-legno/>

Negli anni '90 divenne chiaro che la maggior parte delle chiese richiedeva nuovamente notevoli riparazioni: molte di loro soffrivano gravi danni strutturali agli elementi portanti, inclusi problemi di abbassamento delle fondazioni, oltre a segni di marcescenza e putrefazione. Qualcosa doveva essere fatto con urgenza ed era necessario uno sforzo nazionale. Fu varato così “*Il progetto medievale*” un’iniziativa che durò dal 1991 al 1999 con lo scopo di ripristinare tutti gli edifici di legno secolari costruiti prima del 1537. Quando il piano terminò, circa 230 stabili erano stati recuperati con successo.

Una premessa basilare era garantire che tutte le opere architettoniche fossero rinnovate utilizzando le stesse tecniche e materiali con cui erano state originariamente fabbricate. A tal scopo venne utilizzata e formata una intera generazione di artigiani del legno. In questo modo, il progetto medievale fu molto più di un semplice intervento di riparazione: divenne un programma di sviluppo delle competenze, in cui le conoscenze

trasmesse manualmente, l'artigianato e le abilità manuali furono al centro della scena. La successiva azione pubblica di conservazione delle stavkirke, durata dal 2001 al 2015, intraprese piani per l'informazione pubblica e cantieri aperti in cui assistere ai lavori.

ITALIA

Arsenale di Venezia: sostituzione o conservazione?

Il progetto relativo al recupero di parte dell'Arsenale di Venezia, eseguito dall'architetto Franco Laner nel 1996, rappresenta un esempio di recupero per "sostituzione mirata": si è trattato di un intervento di manutenzione straordinaria alla struttura di copertura delle *tese* (vasti capannoni a pianta rettangolare di dimensioni 25x60 m) della Celestia.

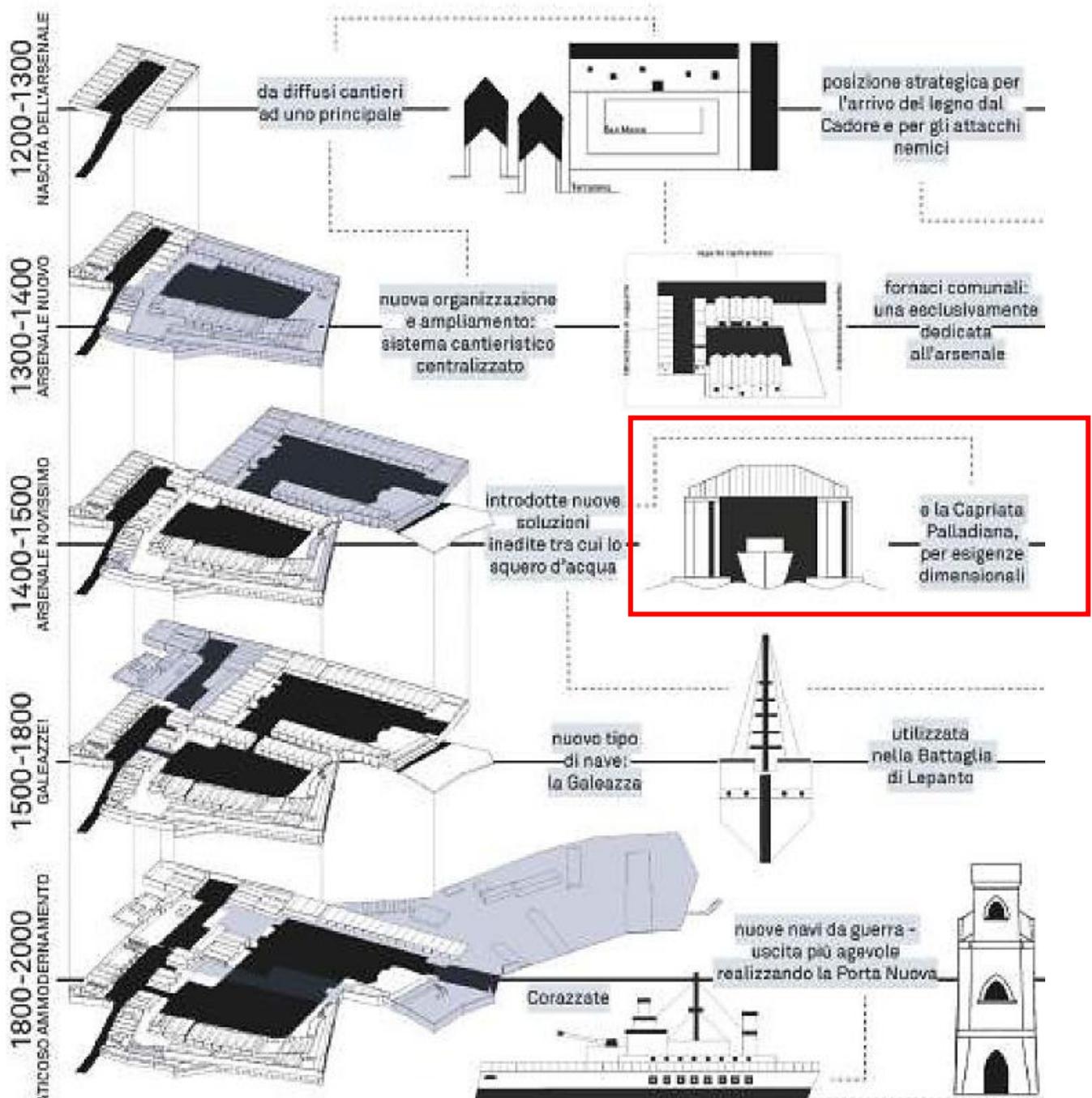


Figura 1.12 - Evoluzione storica dell'arsenale di Venezia. Tratto da: Forti I., Trovò F. "Le Galeazze dell'Arsenale di Venezia. Indagini e proposte per nuovi scenari"

Forti attacchi fungini, dovuti alla scarsa manutenzione delle coperture e degli scarichi dei pluviali, che tracimando dalle gronde di compluvio intasate infradiciavano le murature di appoggio delle grandi capriate, avevano causato forti danni localizzati.



*Figura 1.13 - Nodo puntone-catena totalmente degradato.
Tratto dal testo n. 2 (vedi Bibliografia)*

Dopo un accurato rilievo del degrado, nel predisporre il progetto di recupero si è deciso di intervenire sostituendo le parti “fuori servizio” delle capriate: dal rilievo era emerso, infatti, che anche nel passato si fosse già intervenuti per parti, anche con specie legnose diverse, con utilizzo di elementi strutturali riciclati e incalmi rozzi.

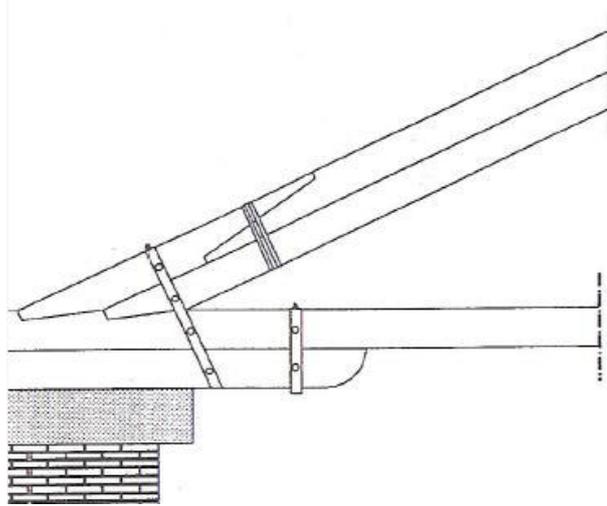
La sostituzione per parti di per sé non risulta difficile in una capriata; ma essa nega di fatto il principio della conservazione.

Oggi si preferisce “conservare”, anche se la conservazione di un elemento ligneo impone il rifacimento della parte ammalorata con tecnologie estranee e a volte anche con materiali diversi dal legno, che irrigidiscono il nodo.

Ma assegnando alla mensola di appoggio della capriata una funzione “di sacrificio”, oltre che di riduzione della luce e di rinforzo, risulta conseguente la sua sostituzione, non appena essa marcisca.

Questa operazione può essere estesa anche ad altri elementi della capriata?

Dopo le teste, gli elementi più vulnerabili sono i puntoni, che spesso subiscono forti attacchi biotici: in generale è possibile intervenire tramite “*incalmo*”, cioè rimozione della parte ammalorata e sostituzione con una protesi di legno nuovo. Certamente questa tecnica risulta più coerente dell’utilizzo di protesi artificiali con materiali estranei.



*Figura 1.14 - Nodo puntone-catena ricostruito tramite "incalmo" ligneo.
Tratto dal testo n. 14 (vedi Bibliografia)*

In sintesi, dunque, l'intervento ha privilegiato la sostituzione degli elementi degradati, mentre ha impiegato incalmi e fettoni per i danni locali e poco estesi: sono state sostituite le mensole marcite con nuove mensole della specie lignea ritenuta originaria. Non sono mai state impiegate resine e le unioni sono state realizzate con staffe e con perni. Per sfilare le mensole ammalorate e sostituirle con le nuove, si è fatto ponte sulle capriate adiacenti e tramite un piccolo argano, dopo aver fatto passare una fune sotto la catena lignea, si è sollevata la capriata e si è riabbassata dopo la sostituzione della mensola.



*Figura 1.15 - Operazioni di sollevamento capriata per la sostituzione delle mensole.
Tratto dal testo n. 2 (vedi Bibliografia)*

La consapevolezza acquisita della vulnerabilità di alcune parti delle strutture lignee ha indicato chiaramente che la vita del manufatto è garantita dalla sua *manutenzione*, che implica anche la eventuale sostituzione di elementi di sacrificio.

In altre parole occorre predisporre un progetto di recupero che contenga in sé un piano di manutenzione, prevedendo elementi facilmente sostituibili. Questa logica si presta meglio nel caso del legno, ovvero di sistemi costruttivi con tecnologie “a secco” (tasselli, incastri) piuttosto che “ad umido” (getti, saldature, resine).



*Figura 1.16 - Vista delle capriate lignee dopo l'intervento di recupero.
Tratto da <https://ilbolive.unipd.it/it/news/cultura/biennale-2025-presentazione>*

2. IL RECUPERO DELLE STRUTTURE LIGNEE DI COPERTURA

2.1 Le strutture lignee

2.1.1 I solai in legno

Si definiscono «solai» le strutture portanti orizzontali denominate “impalcati”, che delimitano i vari piani di un edificio. Essi possono variare molto nella scelta dello schema strutturale, della tipologia e dei materiali utilizzati.

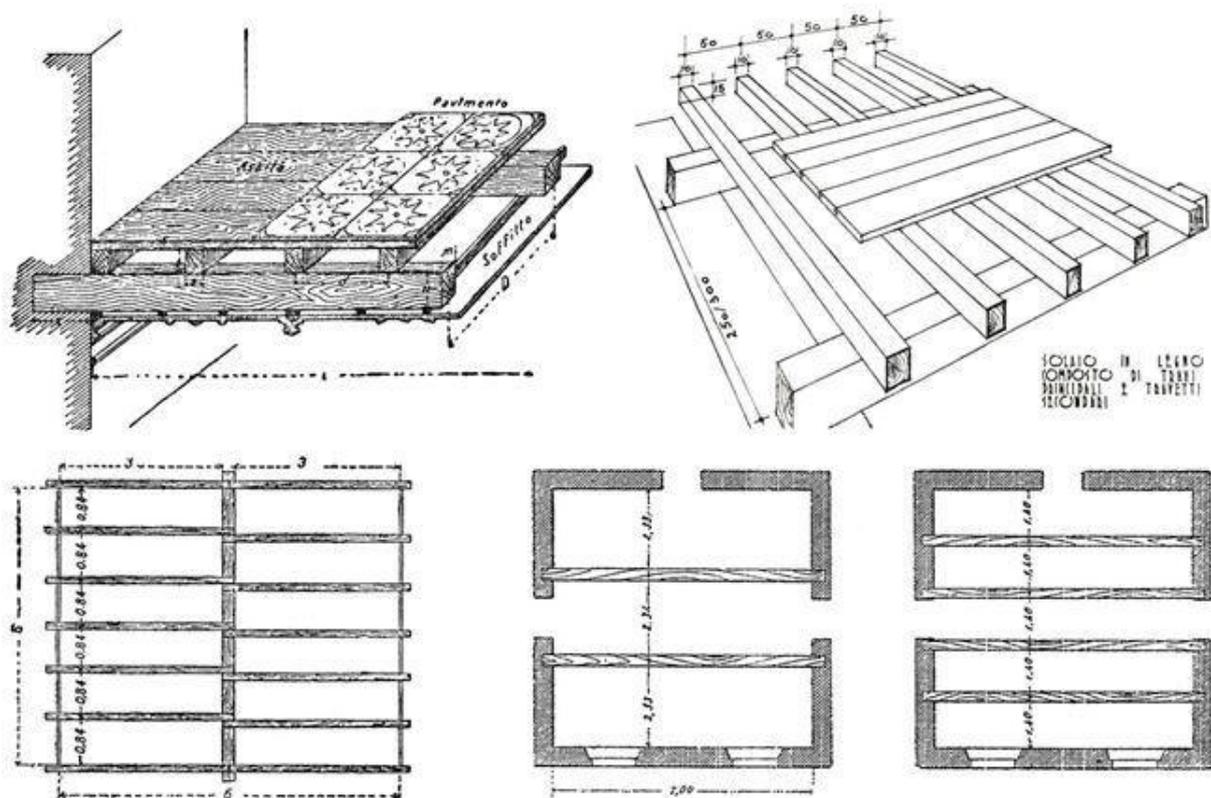


Fig. 2.1 - Struttura di un solaio ligneo. Tratto da <https://www.ingenio-web.it/articoli/solai-a-struttura-ligneo-dalla-conoscenza-all-intervento-di-conservazione-e-recupero/>

I solai a **orditura semplice** monodirezionali, sono realizzati con elementi lignei di sezione ridotta e rettangolare. L'appoggio delle travi nel muro è di circa 10-15 cm. Gli elementi sono posti parallelamente al lato minore del locale, il quale non supera in genere i 4-5 m. Al di sopra delle travi è presente l'impalcato costituito da elementi in laterizio (definiti come “*scemolato* di pianelle in cotto”), per lo più nel Centro Italia, o in legno (tavole o tavoloni), per lo più nel Nord Italia.

Le tavole e i tavoloni dell'impalcato superiore possono essere semplicemente accostati e dotati di coprigiunto o coprifilo, per evitare il passaggio di polvere e per nascondere eventuali imperfezioni, o fornite di giunzione maschio-femmina.

Sopra l'impalcato sono presenti i riempimenti strutturali quali, in genere, il sottofondo, lo strato di allettamento e infine la pavimentazione vera e propria.



*Fig. 2.2 - Intradosso di solaio ligneo ad orditura semplice.
Tratto da <https://www.tecnowood.biz/strutture-in-legno/solai-in-legno/>*

I solai a **orditura composta** bidirezionali, sono realizzati generalmente mediante due orditure, disposte tra loro ortogonalmente.

Tale tipologia è utilizzata per ambienti con luci delle travi principali superiori ai 4-5 m. Sia l'orditura primaria (travi principali) che secondaria (travetti) può essere di sezione variabile. L'orditura principale appoggia sui muri per circa metà del loro spessore, direttamente o mediante mensole lignee fissate con chiodi o mensole in pietra.



Fig. 2.3 - Intradosso di solaio ligneo ad orditura doppia. Progetto: Ing. Michele Naldi

Le *mensole* in corrispondenza degli appoggi nelle murature hanno diversi scopi, tra cui quello di evitare il diretto contatto con la muratura stessa, al fine di preservare la trave da fenomeni di marcescenza, di ridurre la luce libera di inflessione della trave e di tipo estetico. Talvolta è possibile riscontrare anche delle *false mensole* con funzione esclusivamente estetica; queste possono essere in legno o in gesso e penetrano nel muro solo pochi centimetri. In alternativa alle mensole o associate ad esse, la trave può appoggiare su *dormienti* lignei o in pietra, annegati nella muratura, in grado di ripartire le sollecitazioni di compressione su una superficie più ampia.



*Fig. 2.4 - Esempio di mensola lignea con staffe metalliche.
Tratto da <https://tecnaria.com/solai-in-legno/>*

2.1.2 La nomenclatura della geometria delle coperture

Vediamo innanzitutto i termini principali, che riguardano le coperture degli edifici:

- **Falde** = le superfici inclinate che formano il tetto.
- Linea di **gronda** = quota del bordo inferiore della falda.
- Linea di **colmo** = quota del bordo superiore della falda.
- Linea di **compluvio** = intersezione di due falde ad angolo concavo.
- Linea di **displuvio** = intersezione di due falde ad angolo convesso.
- **Pendenza** = inclinazione della falda rispetto all'orizzontale.

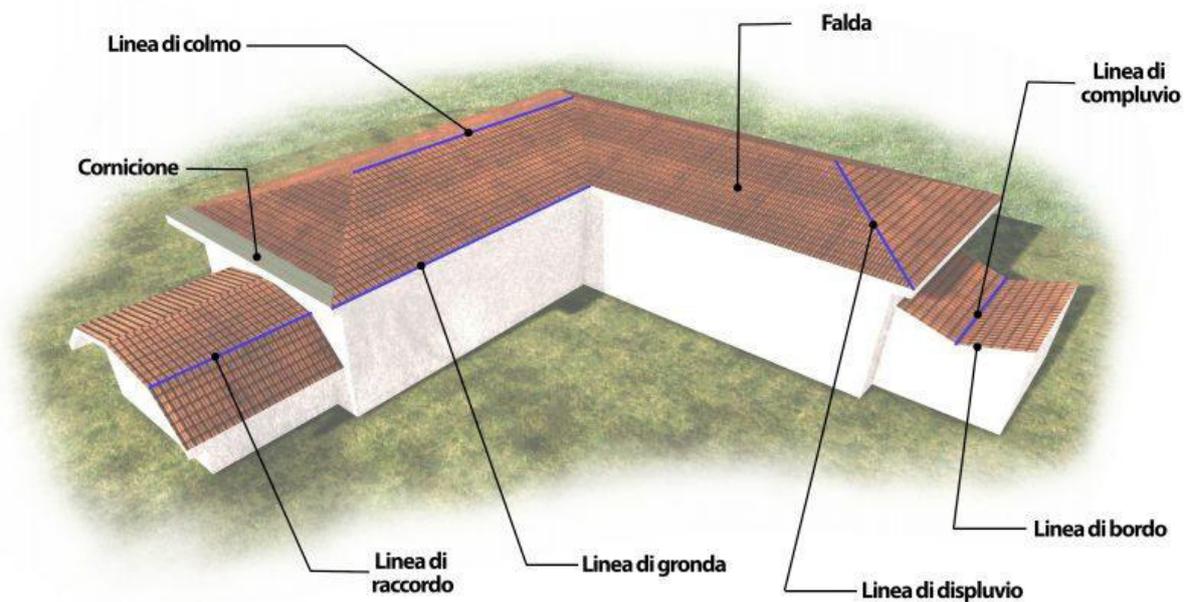


Fig. 2.5 - Nomenclatura degli elementi che costituiscono la copertura.
Tratto da <https://biblus.acca.it/tetto-a-falde/>

Esistono poi diverse tipologie di copertura, in funzione della forma:

- Il tetto ad 1 falda si usa negli edifici la cui larghezza è circa 6-8 metri.
- Il tetto a 2 falde si usa negli edifici a schiera innestati nel tessuto urbano.
- Il tetto a 4 falde si usa negli edifici isolati a pianta rettangolare.
- Se la superficie di copertura è curva, si parla di tetto *curvo*.
- Se la superficie di copertura è orizzontale, si parla di tetto *piano*.

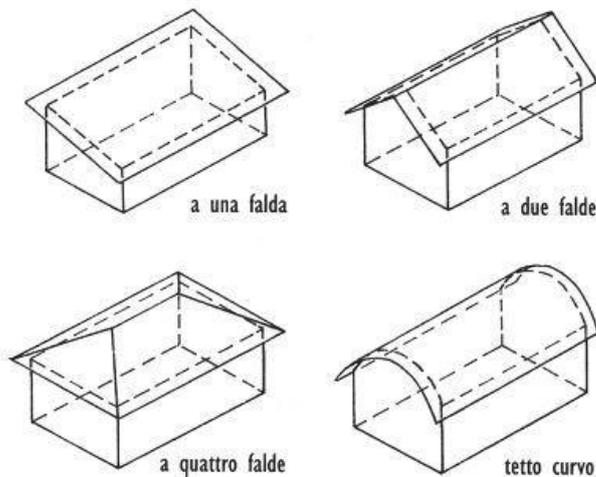


Fig. 2.6 - Tipologie di copertura in funzione della forma.
 Tratto da <http://rilievo.stereofot.it/studenti/aa05/esposito/falde1.htm>

Infine, vediamo le diverse tipologie strutturali di coperture lignee: esse si rifanno a tradizioni costruttive locali, che si distinguono sia per l'approccio culturale (scelta del tipo di legname, studio delle connessioni, etc.) che tecnico (criteri di posa in opera, tipo di manutenzione prevista, etc.).

Le tipologie principali più diffuse in Italia sono le seguenti:

Orditura "alla piemontese"

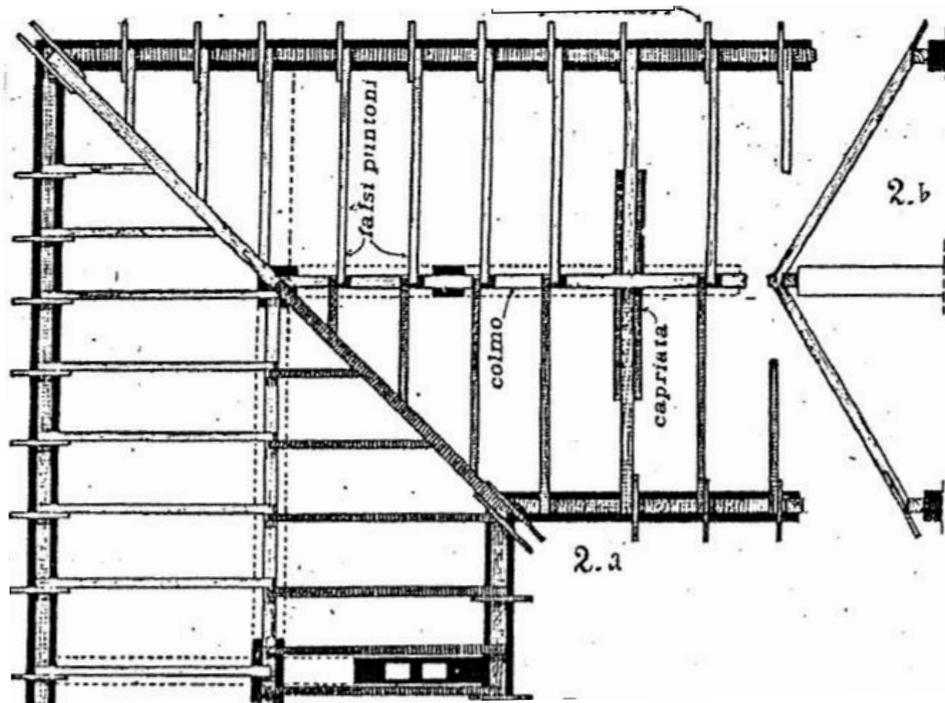


Fig. 2.7.a - Tipologia di orditura "alla piemontese": pianta.
 Tratto dal testo n. 11 (vedi Bibliografia)

Presenta un setto centrale in muratura o pilastri che sorreggono una trave di colmo. I cantonali e i falsi puntoni gravano direttamente sulla trave di colmo e sulle murature perimetrali. Queste travi sono soggette a sforzi di flessione, essendo semplicemente appoggiate al piede e al colmo. Solitamente esse terminano a filo del muro d'ambito.

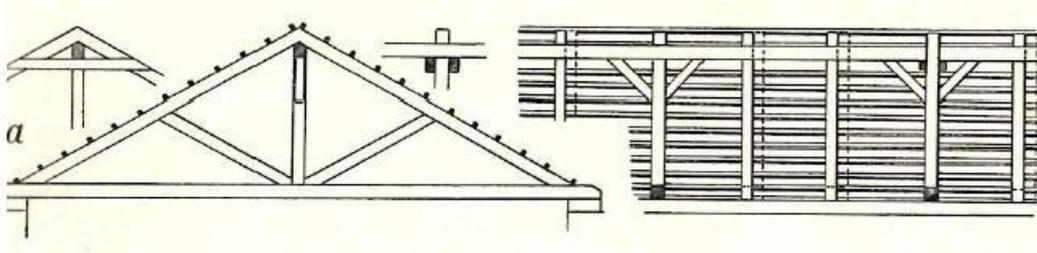


Fig. 2.7.b - Tipologia di orditura "alla piemontese": sezioni.
Tratto dal testo n. 11 (vedi Bibliografia)

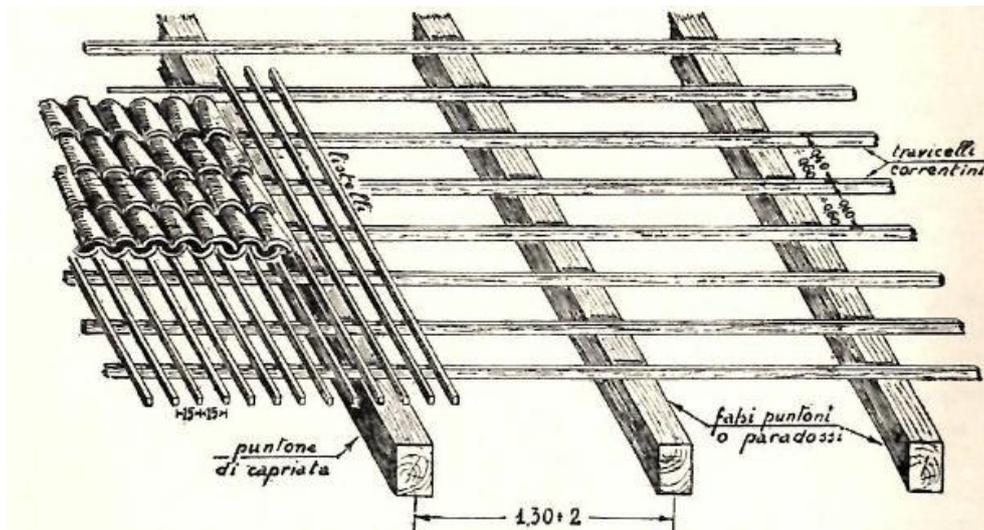


Fig. 2.7.c - Tipologia di orditura "alla piemontese": assonometria.
Tratto dal testo n. 11 (vedi Bibliografia)

Orditura "alla lombarda" o "alla romana"

Presenta setti portanti trasversali, pilastri o capriate, sui quali sono collocate le travi (*terzere*), poggianti sui muri maestri trasversali e parallele ai muri perimetrali, fissate ai puntoni mediante mensoline lignee (*gattelli*).

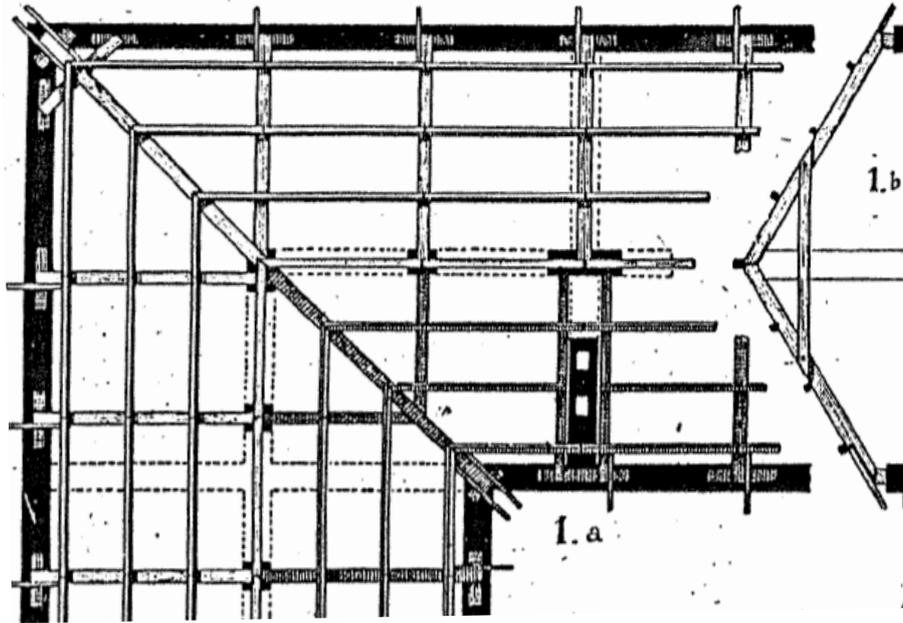


Fig. 2.8.a - Tipologia di orditura "alla lombarda": pianta.
 Tratto dal testo n. 11 (vedi Bibliografia)

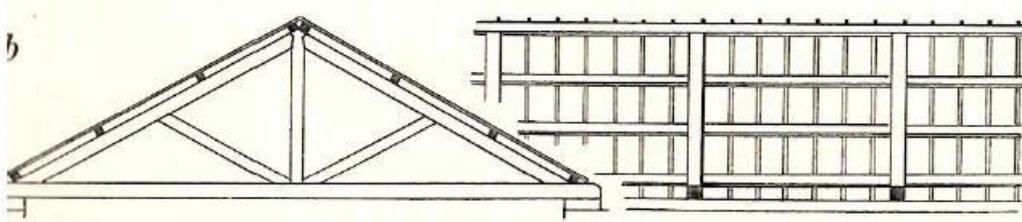


Fig. 2.8.b - Tipologia di orditura "alla lombarda": sezioni.
 Tratto dal testo n. 11 (vedi Bibliografia)

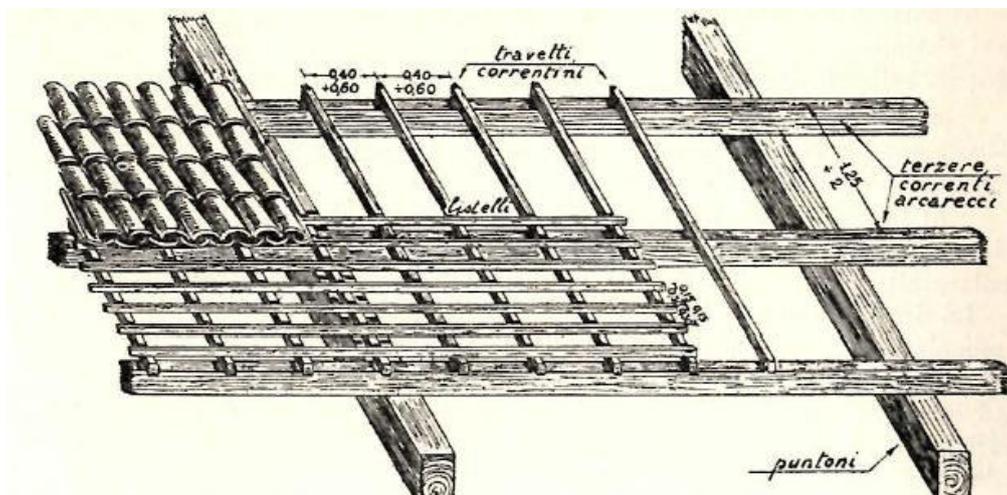
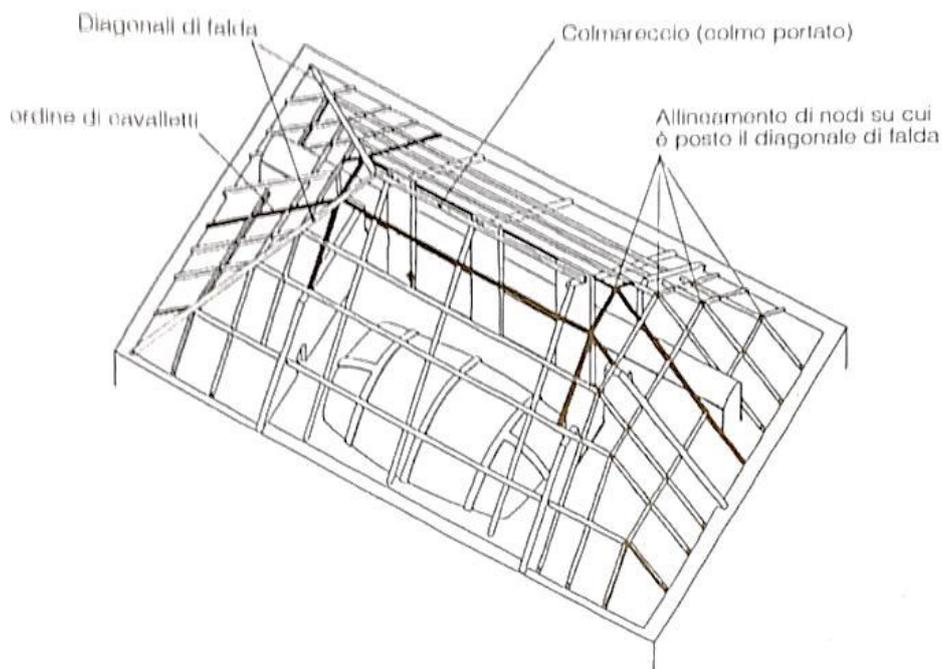


Fig. 2.8.c - Tipologia di orditura "alla lombarda": assonometria.
 Tratto dal testo n. 11 (vedi Bibliografia)

Orditura “alla genovese”

Tecnica utilizzata tra il ‘500 e il ‘600 per coperture a pendenza molto accentuata, tipica delle ville suburbane dell’area genovese, utilizzata principalmente per coprire il vasto ambiente al centro dell’abitazione. La forma è tipicamente a padiglione (pianta rettangolare) o più raramente a diamante (pianta quadrata). Nel tratto terminale la falda presenta una diminuzione di pendenza, per rallentare il deflusso delle acque meteoriche in prossimità della gronda. Attraverso l’ordito delle travi e un sistema di puntelli, la struttura sfrutta un vantaggioso comportamento tridimensionale, accentuato dalla presenza di una fitta trama di travetti e del tavolato soprastante. Le travi principali sono disposte secondo anelli concentrici ed appoggiate a prolungamenti della muratura o a puntelli lignei diagonali. L’orditura dei travetti forma una fitta struttura di raccordo fra le travi, mentre il tavolato costituisce il piano di posa del tipico manto di copertura, in genere costituito da lastre di ardesia.



*Fig. 2.9 - Tipologia di orditura “alla genovese”.
Tratto dal testo n. 9 (vedi Bibliografia)*

Capriate

Quando risultano assenti muri, setti o pilastri di sostegno del colmo, si fa uso di capriate o incavallature, cioè intelaiature a cavalletti rigidi di legno, spesso integrate con elementi metallici soprattutto in prossimità delle connessioni.

Si tratta di strutture reticolari piane, costituite da travi rettilinee caratterizzate dalla disposizione degli “elementi trave” secondo un “reticolo” piano, nei nodi del quale le cerniere connettono gli estremi della trave stessa.

Lo schema è in genere isostatico e sono strutture idonee per realizzare coperture anche di luci non trascurabili. Le principali capriate presentano forma a triangolo isoscele.

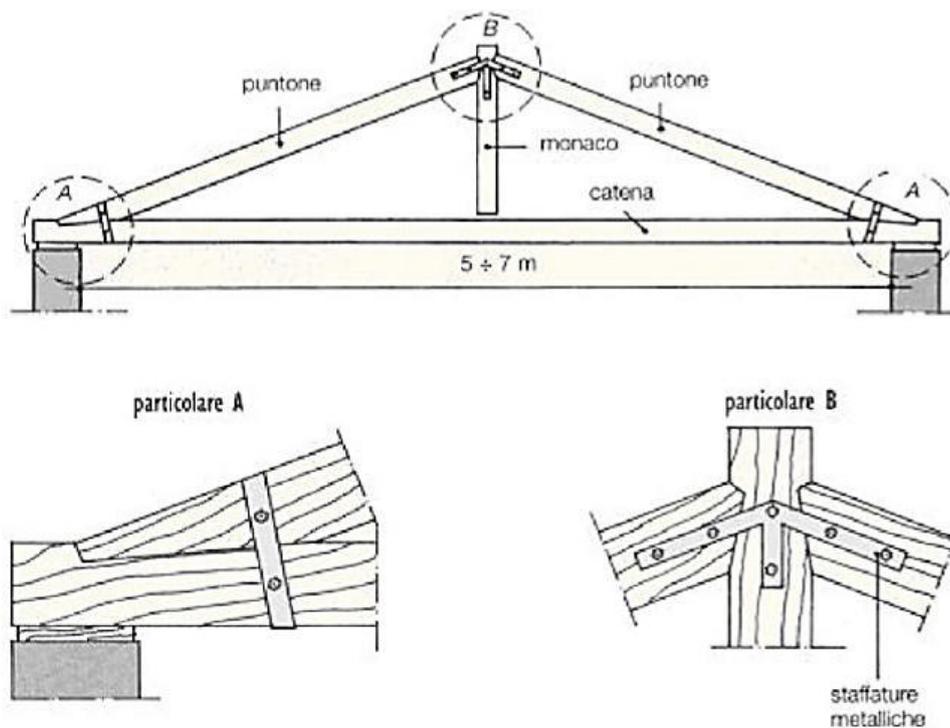


Fig. 2.10 - Vista frontale e dettagli di una capriata lignea.

Tratto da <https://www.unife.it/ing/civile/insegnamenti/pec/materiale-didattico-fino-al-2016-17/pec-403-legno-coperture.pdf>

2.1.3 Le capriate in legno

La tipologia classica della capriata è costituita da una catena, due puntone e un monaco (detto anche *ometto*), disposti a formare un triangolo isoscele. Tale disposizione fa sì che essa sia una struttura isostatica, semplicemente appoggiata sulle murature, quindi non spingente. I puntone sono in genere sollecitati a presso-flessione (nel caso in cui i carichi trasmessi dagli arcarecci soprastanti non siano direttamente applicati nei nodi strutturali) oppure a semplice compressione (nel caso contrario), mentre la catena è sollecitata esclusivamente a trazione. Il monaco ha la sola funzione di migliorare l'unione dei due puntone ed è sottoposto a compressione. Spesso sono presenti due ulteriori aste (chiamate *saette*) che riducono la luce libera di inflessione dei puntone, riducendone le sollecitazioni.

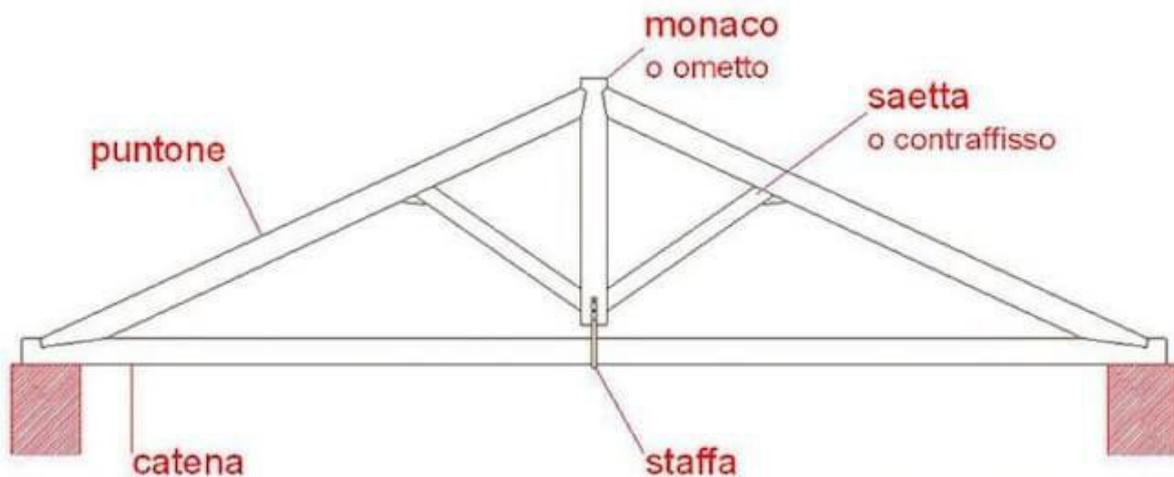


Fig. 2.11 - Elementi che compongono una capriata lignea.
Tratto da <https://www.esamearchitetto.info/la-capriata/>

Tra le varie unioni, l'elemento più vulnerabile della capriata è il *tacco*, ossia la parte terminale della catena che appoggia sulla muratura.

Infatti, accade di frequente che esso risulti sottodimensionato oppure di lunghezza insufficiente o, ancor peggio, in stato di ammaloramento a causa del degrado causato da agenti biologici. Per questi motivi, spesso in prossimità della muratura è presente una staffatura metallica di presidio, in grado di impedire eventuali movimenti tra i due elementi (catena e puntone), rendendoli solidali ed aumentandone la sezione resistente.



Fig. 2.12 - Nodo catena-puntone con staffe metalliche. Progetto: Ing. Michele Naldi

Man mano che aumenta la lunghezza tra gli appoggi, la capriata può diventare più complessa in seguito all'introduzione di ulteriori elementi, come controcatene, sottopuntoni, monaci laterali, dormienti, mensole, etc. Tipologie particolari, già conosciute nei secoli passati, sono le cosiddette capriate *spaziali*, cioè dotate di aste lignee che si sviluppano al di fuori del piano della capriata, creando così unità strutturali controventate.



Fig. 2.13 - Esempio di capriata cosiddetta "spaziale". Tratto da <http://www.ingegneriaedintorni.com/2017/05/il-legno-negli-edifici-storici.html>

Le principali tipologie di capriate lignee utilizzate in Italia sono le seguenti:

Capriata semplice

Rappresenta la tipologia più semplice a forma di triangolo isoscele, costituita solamente da puntoni e catena.

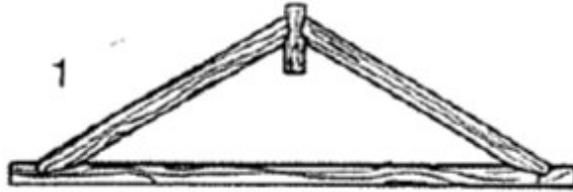


Fig. 2.14.a - Esempio di capriata semplice.

Tratto da <https://cjalzunit.wordpress.com/2018/11/24/la-capriata/>

Capriata "italiana"

Molto diffusa in Italia, è costituita da puntoni, catena e ometto centrale.

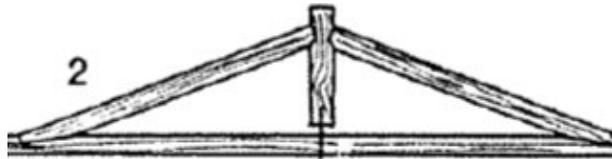


Fig. 2.14.b - Esempio di capriata italiana.

Tratto da <https://cjalzunit.wordpress.com/2018/11/24/la-capriata/>

Capriata "italiana" con saette (detta anche "palladiana")

Simile alla precedente, ma con l'aggiunta delle saette fra puntoni e ometto.

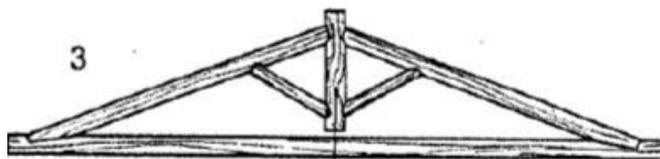


Fig. 2.14.c - Esempio di capriata italiana con saette.

Tratto da <https://cjalzunit.wordpress.com/2018/11/24/la-capriata/>

Capriata “palladiana” (detta anche “palladiana composta”)

Struttura complessa, costituita da puntoni e sottopuntoni, catena, sottocatena e ometti.

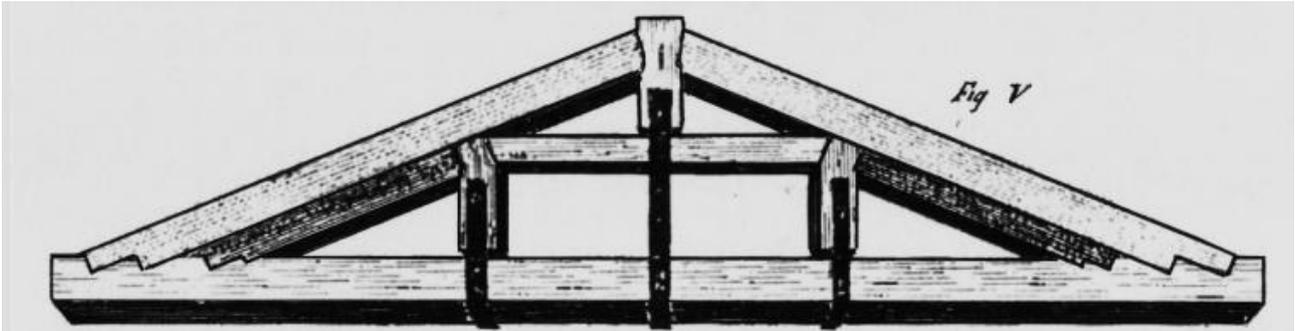


Fig. 2.15.a - Esempio di capriata “palladiana”. Tratto da https://e-l.unifi.it/pluginfile.php/965145/mod_resource/content/1/Lezione%20Van%20Riel%20n%C2%B09%20Le%20coperture%20e%20le%20capriate%20lignee.pdf



Fig. 2.15.b - Capriata “palladiana”: coperto della chiesa di S. Cristina in Bologna (foto Ing. Michele Naldi)

Capriata “Polonceau”

Struttura mista, costituita da puntoni in legno, con nodi, ometti e tiranti in acciaio.

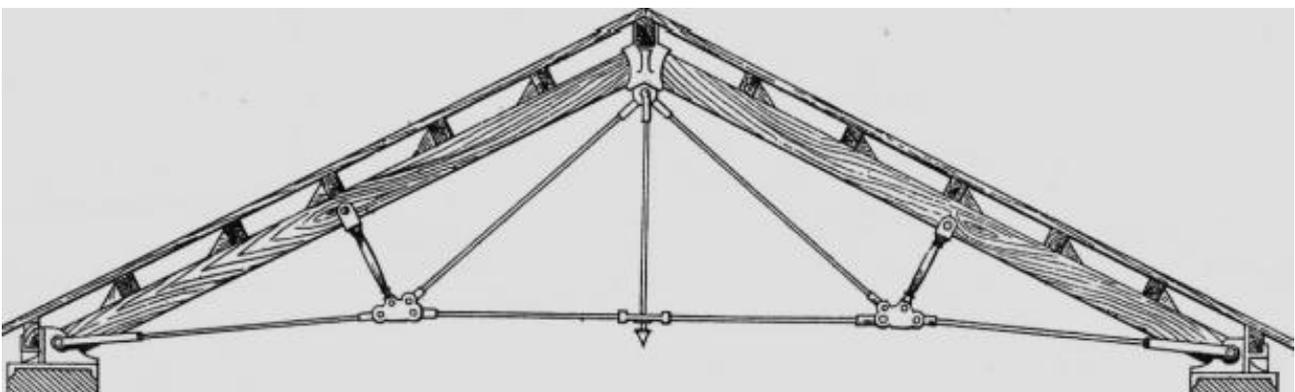


Fig. 2.16 - Esempio di capriata del tipo “Polonceau”. Tratto da <http://kosmostudio.altervista.org/capriata-polonceau.html>

Capriata “Mohnié”

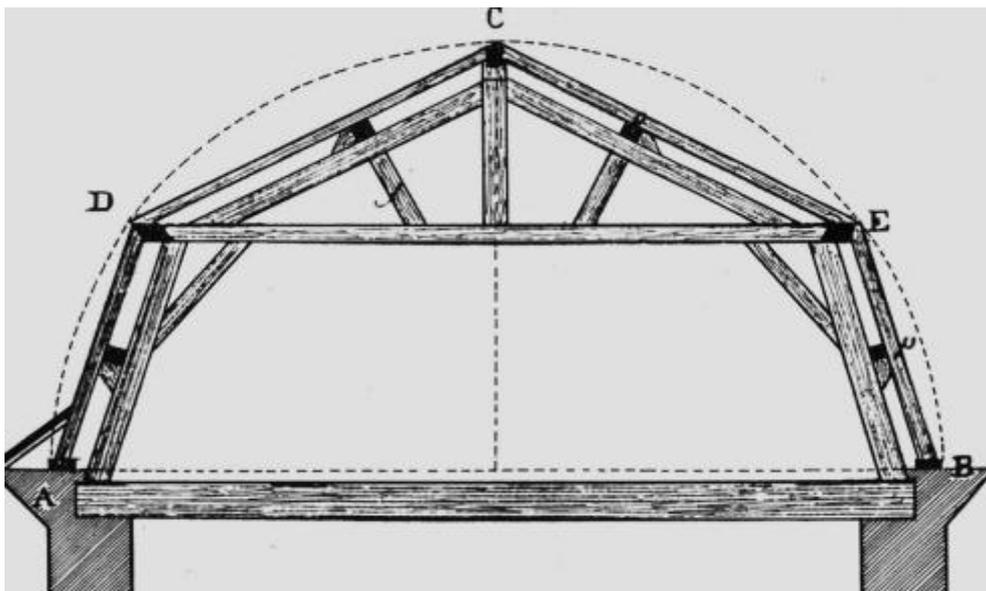
Struttura reticolare composta da puntoni solitamente poco inclinati, da un corrente (catena) inferiore orizzontale e da aste di parete consistenti in montanti ortogonali al corrente inferiore e diagonali disposti in modo da risultare tesi.



*Fig. 2.17 - Esempio di capriata del tipo Mohnié.
Tratto dal testo n. 5 (vedi Bibliografia)*

Capriata “a mansarda”

Struttura lignea composta, utilizzata soprattutto per realizzare tetti con falde a doppia pendenza, per ambienti sottotetto abitabili e per la copertura di volte a botte.



*Fig. 2.18 - Esempio di capriata del tipo “a mansarda”.
Tratto da <https://www.teknoring.com/wikitecnica/storia/mansarda/>*

Incavallatura o capriata “zoppa”

Struttura lignea reticolare piana di forma asimmetrica, utilizzata soprattutto per la copertura delle navate laterali delle chiese.



*Fig. 2.19 - Esempio di capriata “zoppa”. Basilica di S. Francesco in Bologna:
coperto della navata laterale (foto Ing. Michele Naldi)*

2.1.4 Il degrado del legno per agenti biologici

Il legno è, per sua natura, un materiale igroscopico, assorbe e cede umidità dall'ambiente, quindi è soggetto sia ad attacchi ambientali sia ad attacchi distruttivi da parte di organismi viventi che lo utilizzano come nutrimento o abitazione (*attacchi biotici*): l'abete rosso e l'abete bianco, presentano il durame poco resistente agli attacchi fungini, a differenza della quercia che presenta una buona resistenza del durame agli attacchi di funghi, mentre il pioppo (legname tipico della zona costiera dell'Emilia Romagna e molto utilizzato negli edifici storici della provincia di Bologna) non è idoneo per strutture di impiego in edilizia (si pensi che l'uso tipico del pioppo è destinato alla produzione di fiammiferi ed imballaggi, quali cassette per la frutta, cesti, etc).

La presenza di infiltrazioni meteoriche diffuse, nelle coperture esistenti (vedi chiese o palazzi storici) o a contatto diretto con il legname nelle nuove costruzioni, accelerano le condizioni naturali del legname affinché sia possibile un attacco di funghi e di insetti nella struttura stessa, degradandola in modo irreversibile. Si tenga conto infatti che, per umidità superiori al 20%, sono inevitabili attacchi significativi di funghi.

I funghi

L'attacco fungino avanza fintanto che permangono condizioni di umidità e temperatura favorevoli; non appena l'umidità del legno ritorna a valori inferiori al 20%, il fungo cessa la sua attività; tuttavia il danno causato rimane e se l'umidità del legno ritorna ad essere elevata il fungo riprende la sua attività.

Il fungo non è attivo per temperature al disotto dei 3°C e sopra i 40°C.

I funghi che solitamente infestano il legno possono essere di 2 tipi: cromogeni (alterano il colore) e xilofagi (si nutrono di legno).

I **funghi cromogeni** (*ascomiceti*) sono i responsabili delle variazioni cromatiche del legno ma non inficiano la sua resistenza meccanica.

Essi sono di 2 tipi: quelli che possono attaccare il legno solo in superficie dando origine a muffe facili da asportare e quelli che invece penetrano profondamente nel legno producendo una colorazione blu grigia molto evidente.

In entrambi i casi producono importanti danni di tipo estetico; possono però essere contrastati con l'impiego di opportuni impregnanti che contengono delle sostanze biocide, tossiche per i funghi ma innocue per l'uomo.

I **funghi xilofagi** sono invece quelli che si nutrono del tessuto legnoso, procurandone la distruzione. Sono del genere *basidiomiceti* e causano una forte riduzione del peso, della durezza e delle dimensioni. L'attività di questo tipo di funghi è molto pericolosa in quando riduce definitivamente la struttura del legno e la sua resistenza meccanica, pregiudicando nel tempo la funzionalità dell'opera. La loro azione può essere contrastata con l'uso di impregnanti certificati.

Le cause e i meccanismi del degrado

• "Gli insetti"



• Principio

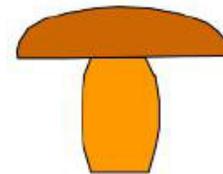
- non si nutrono di legno
- uova deposte nel legno
- la larva "scava" nel legno
- l'adulto lascia il legno

• Risultato

- restano i fori ...



• "I funghi" (i micro-organismi)



• Principio

- spore ovunque
- condizioni favorevoli
- sviluppo del fungo
- distruzione del legno

• Risultato

- "marciume" del legno



Fig. 2.20 - Degrado del legno da agenti biotici. Tratto da www.promolegno.com

La carie del legno

Consiste in vere e proprie alterazioni dei tessuti legnosi, causate da svariati agenti patogeni di tipo fungino, che agiscono degradando le principali componenti del legno: lignina, cellulosa ed emicellulosa. Diverse sono le specie fungine responsabili di carie del legno; esse appartengono a diversi generi, per lo più Basidiomiceti, che spesso vengono favoriti nella loro azione anche da condizioni di stress di varia natura: lesioni agli organi legnosi, senescenza e scarso vigore. Questi funghi sono patogeni: attaccano i tessuti più interni dell'albero, poiché preferiscono tessuto in gran parte morto. La loro avanzata non si ferma con le basse temperature: in inverno, infatti, anche in un intervallo di temperature compreso tra 5°C e 7°C, il fungo continua ad espandersi nel legno, seppur con minore velocità. Esistono tre tipologie di carie del legno:

- la carie *bianca* in cui il fungo degrada la lignina; rimane così la percentuale di cellulosa ed emicellulosa, che attribuisce una colorazione biancastra al legno; ma grazie alle fibrille di cellulosa, il legno mantiene la sua elasticità;
- la carie *bruna* in cui i funghi producono enzimi che alterano la cellulosa ed emicellulosa, attribuendo al legno una colorazione rossastra; ciò che rimane della frazione legnosa sono la lignina e le pectine; il legno, privato della cellulosa, si fessura secondo linee ortogonali;
- la carie *soffice* che consiste nell'alterazione contemporanea e lenta di lignina e cellulosa, generando un ammorbidimento dei tessuti legnosi.



Fig. 2.21 - Degrado da carie bianca (a sinistra) e carie bruna (a destra). Tratto da https://www.researchgate.net/figure/Figg-60-e-61-Trave-attaccata-da-funghi-lignicoli-responsabili-della-malattia-Carie_fig9_281618838

Gli insetti

Gli insetti xilofagi più diffusi in Europa e in Italia sono i coleotteri e gli isotteri.

Gli insetti appartenenti alla famiglia dei **coleotteri** infestano il legno mediante la deposizione delle uova da parte della femmina; dall'uovo si schiude la larva, che poi inizia ad accrescersi, nutrendosi delle sostanze contenute nel legno, fino al raggiungimento dello stadio finale, con lo sfarfallamento dell'insetto adulto. Il danno che si crea è dato dalle gallerie, di dimensioni più o meno grandi, che la larva scava durante il suo ciclo vitale (diversi anni), riscontrabili tramite i fori esterni visibili sulla superficie legnosa.

Invece gli **isotteri** (*termiti*) sono insetti sociali, che vivono in colonie e nidificano nel terreno, ma poi attaccano il legno per nutrirsi; mangiano e digeriscono la cellulosa ed

hanno la capacità di infestare strutture lignee anche molto lontane dal loro nido, raggiungendo altezze notevoli e scavando gallerie nei giunti di malta fra i mattoni. Si tratta di insetti spesso molto più dannosi e più difficili da individuare, poiché intaccano il legname svuotandolo dall'interno e lasciando intatte le superfici, senza fori o altri segni visibili dall'esterno.

Infine, i danni maggiori nei tetti di conifera vengono causati dall'*Hylotrupes Bayulus* un Cerambicide meglio noto con il nome di **Capricorno**. La larva, che si schiude da uova deposte dall'insetto femmina adulto, ha un ciclo di maturità all'interno del legno che va da 4 a 10 anni durante i quali cresce nutrendosi del legno che riesce a rodere. La pericolosità di questo insetto consiste nel fatto, poco comune agli altri parassiti del legno, che riesce a sopravvivere anche all'interno del materiale perfettamente asciutto, accontentandosi dell'umidità dell'aria e della cellulosa che è in grado di digerire.

Durante la sua attività all'interno del legno provoca una rosura sottile, del colore del legno, poco visibile all'esterno per cui il suo attacco spesso non si nota fino a quando la trave non è completamente scavata. Per questo motivo, talvolta le travi subiscono danni irreversibili, prima ancora che ci si accorga del problema.



*Fig. 2.22 - Degrado causato da Capricorno del legno.
Tratto da <https://www.disinfestazionetarli.it/capricorno-delle-case/>*

2.2 Le indagini conoscitive

2.2.1 Il rilievo geometrico architettonico

Il rilievo geometrico architettonico è il primo passo per la conoscenza diretta del sistema di copertura oggetto del nostro intervento: consiste in una sequenza di operazioni di rilevamento e di misura, che poi si traduce in una serie più o meno corposa di elaborati grafici, che rappresentano lo *stato di fatto* attuale, in cui si trova ad oggi la copertura.

Il rilievo geometrico, insieme alle fonti storiche, sono strumenti di conoscenza dello stato di fatto e delle fasi costruttive, sulle quali poi andremo a sviluppare il progetto di recupero e quindi a realizzare gli interventi che abbiamo ipotizzato.

Per la rappresentazione grafica dell'impalcato di copertura, sarà utile indicarne la tipologia, l'orditura, il numero e l'inclinazione delle falde, lo sporto di gronda, la pendenza e le quote altimetriche, segnalando la presenza di lucernai e di asole per il passaggio di cavedi o impianti.

Oltre a piante, sezioni, viste frontali e laterali, possono risultare particolarmente efficaci le rappresentazioni tridimensionali, che restituiscono in maniera più realistica l'immagine complessiva della struttura di copertura.

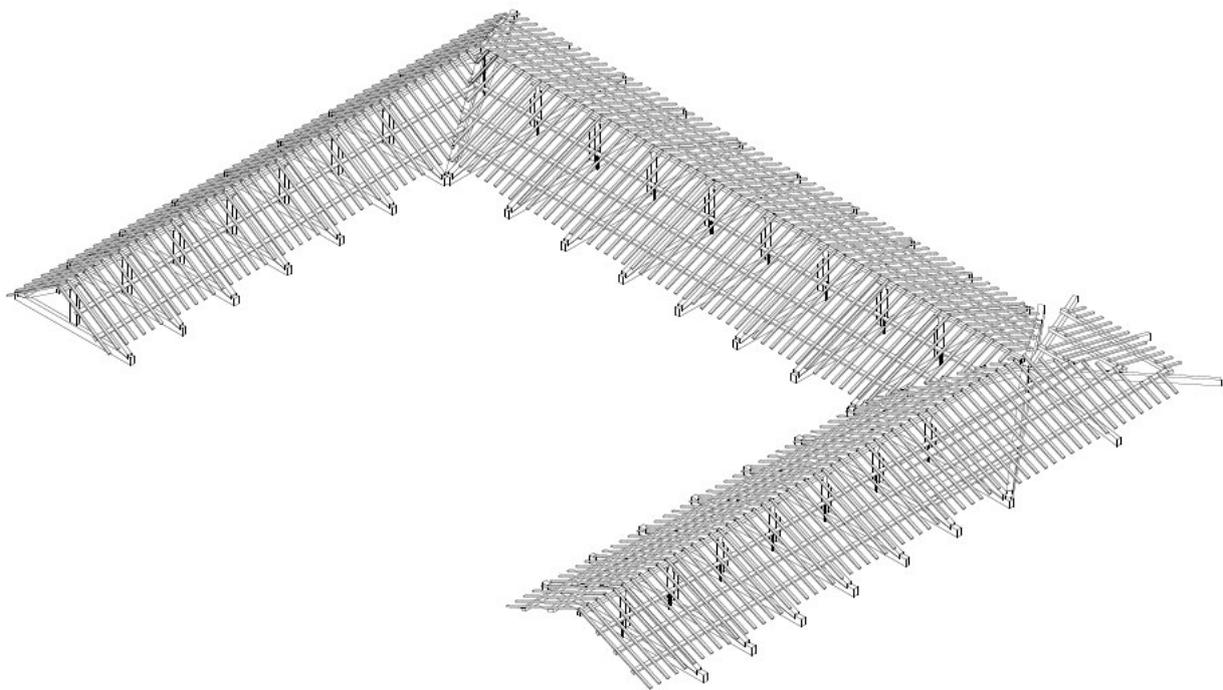


Fig. 2.23 - Assonometria della copertura lignea del convento dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna. Progetto: Ing. Michele Naldi

2.2.2 Il rilievo strutturale

Il rilievo strutturale e dei dettagli costruttivi è utile per la comprensione e la restituzione grafica degli aspetti più prettamente *costruttivi* della struttura di copertura: non solo gli elementi componenti la capriata, ma anche collegamenti in genere, staffature, etc.

Occorre quindi indagare non solo le caratteristiche geometriche, ma anche i caratteri costruttivi e materici, che saranno tipici dell'edilizia storica del periodo nel quale la struttura è stata costruita: la tipologia dei legnami, la loro messa in opera, nonché le tecnologie costruttive tipiche delle varie regioni.

Questa operazione consente di distinguere gli elementi originali, che risalgono all'epoca della costruzione, da quelli che sono stati oggetto di successivi interventi di rinforzo, di adattamento, di rimaneggiamento o di sostituzione.

Ai fini della corretta progettazione dell'intervento di consolidamento o di recupero, è utile individuare la geometria e la dimensione dei vari elementi, la loro posizione, il loro interasse e le varie modalità di connessione (piastre, staffe, etc.)

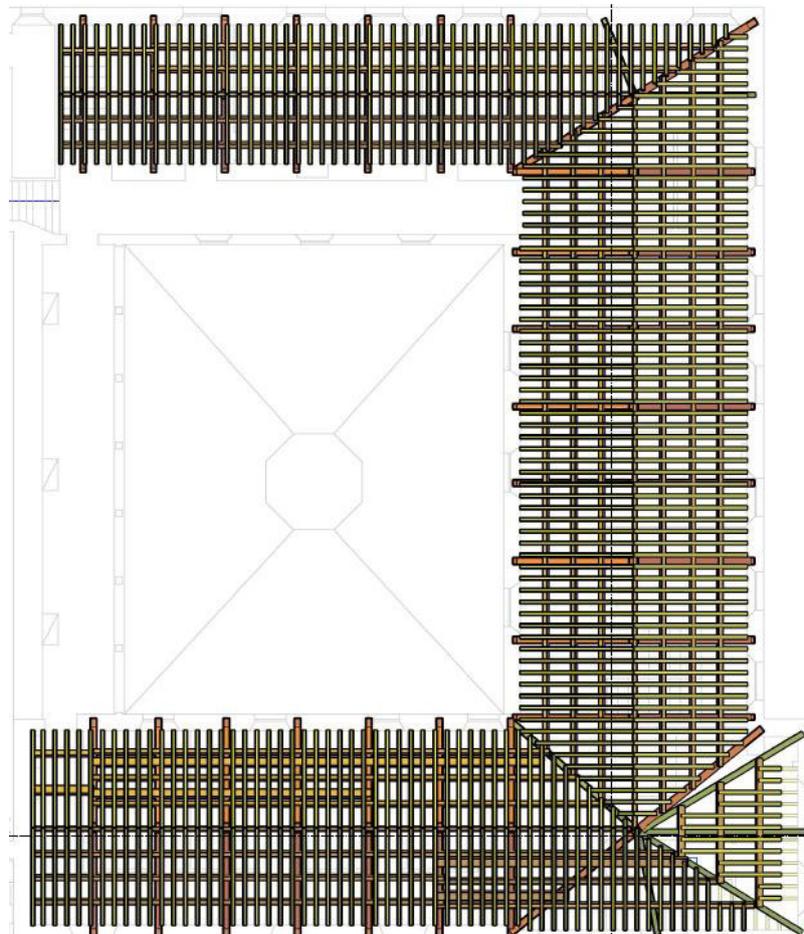


Fig. 2.24 - Pianta della struttura lignea di copertura del convento dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna. Progetto: Ing. Michele Naldi

2.2.3 Il rilievo materico

Il rilievo materico consiste in un'adeguata mappatura, facilmente riconoscibile a livello grafico anche mediante mappe di colore, che potrà darci un'immediata rappresentazione delle stratificazioni degli interventi, delle trasformazioni del materiale ligneo e anche della disomogeneità dei legnami utilizzati nonché del livello di degrado.

Tutto questo può essere anche utile per capire, ad esempio, come certi fenomeni di ammaloramento si siano concentrati in corrispondenza delle strutture originali storiche, oppure in prossimità delle strutture lignee che nel tempo sono state trasformate, rinforzate o addirittura sostituite.

Molto probabilmente risulteranno modificati o sostituiti gli elementi "di sacrificio" della struttura lignea, come ad esempio le mensole, oppure le staffature metalliche dei nodi.

Esistono poi delle convenzioni grafiche normalizzate, attraverso retinature o altre simbologie, previste anche dai vari regolamenti normativi locali o nazionali, per rappresentare il livello di degrado del legno. Nell'elaborato grafico si riporta una descrizione sintetica di cosa si intende per ogni tipo di alterazione riscontrata; quindi, si indicano le cause, che potranno essere molteplici: fisiche, patogene o endogene, di normale deperimento dei materiali; poi si può inserire una immagine fotografica dell'elemento e del suo stato di degrado; infine, si indica la relativa simbologia grafica.

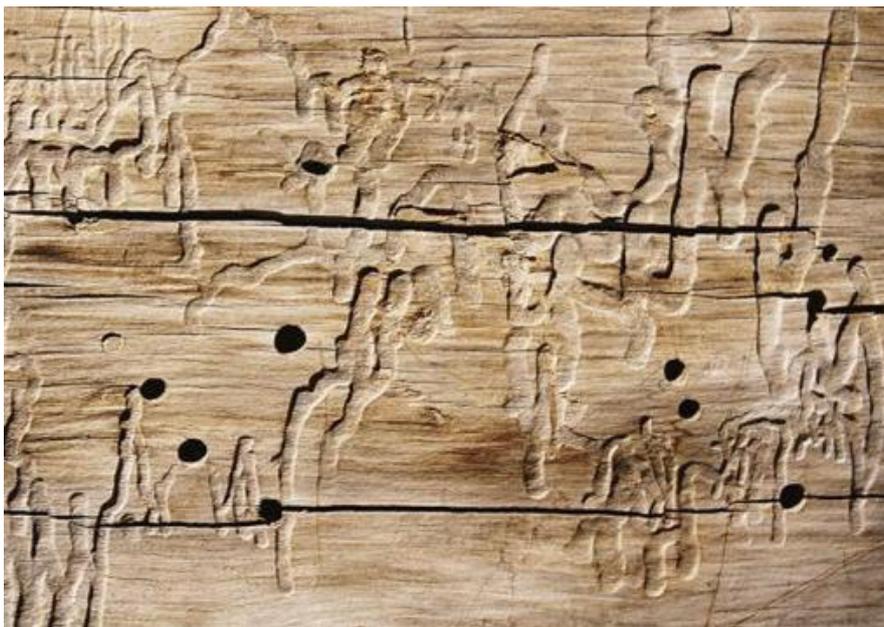


Fig. 2.25 - Esempio di degrado della struttura lignea. Tratto da <https://www.lavorincasa.it/patologie-degli-elementi-strutturali-in-legno/>

2.3 Le indagini diagnostiche

Terminata la fase di ricerca storica e di rilievo dell'edificio, oppure a volte anche contemporaneamente ad essa, si apre la fase conoscitiva ottenuta mediante una campagna mirata di *indagini* materiche, ossia un insieme di analisi più specifiche e dettagliate, che possono prevedere o meno l'utilizzo di adeguate strumentazioni e tecniche. Esse vengono svolte da laboratori specializzati su indicazioni del progettista. Spetta infatti al tecnico incaricato alla progettazione di decidere se investire maggiori risorse economiche nelle indagini preliminari per una migliore conoscenza dell'opera; questi costi possono poi essere recuperati successivamente, avendo la possibilità di effettuare interventi di consolidamento più mirati, quindi più sicuri e meno onerosi.

Il rapporto tra il costo dell'intervento e il livello di conoscenza acquisito può essere riassunto in questo semplice diagramma: il punto di intersezione delle curve rappresenta la condizione ottimale per il raggiungimento dell'obiettivo.

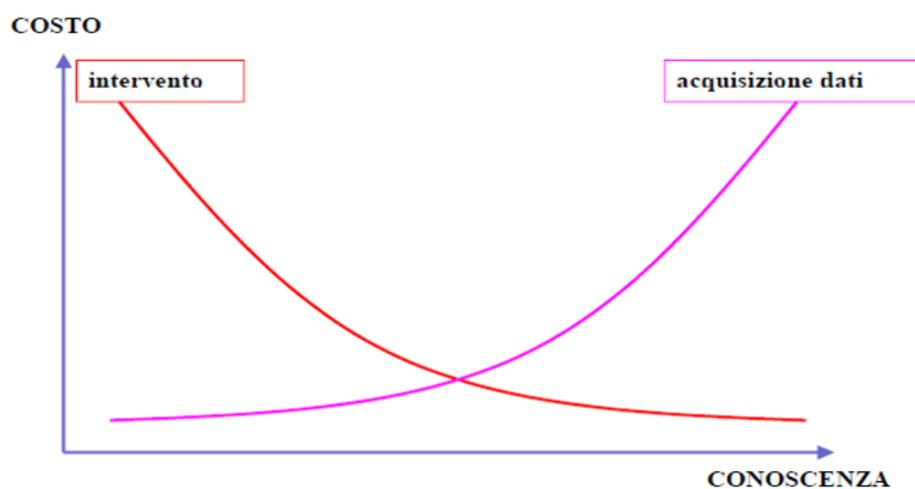


Fig. 2.26 - Diagramma del rapporto costo-livello di conoscenza.

Le principali tipologie di indagini svolte sulle strutture lignee sono:

- Indagini visive
- Indagini materiche
- Indagini dinamiche

A seconda del luogo in cui vengono effettuate, le prove si definiscono:

- Indagini in loco o in situ
- Indagini in laboratorio

2.3.1 Le indagini visive

L'indagine visiva è il metodo preliminare, fondamentale e propedeutico ad ogni altra attività di indagine diagnostica. Le informazioni rilevate in questa fase conoscitiva servono per la pianificazione dell'intera campagna di indagini e per verificare la reale corrispondenza tra il progetto e lo stato di fatto.

Il *sopralluogo* rappresenta un'indagine visiva vera e propria, per giungere alla:

- comprensione del sistema strutturale;
- valutazione del degrado degli elementi strutturali e non strutturali;
- identificazione delle zone in cui è presente una carenza nella conservazione dei materiali e delle strutture.

L'ispezione visiva consente, quindi, l'individuazione e la conseguente eliminazione delle cause del degrado e delle irregolarità riscontrate, anche attraverso un appropriato piano di *manutenzione*, definito sulla base di quanto emerso durante l'indagine.

I tecnici incaricati, avvalendosi di opportuna esperienza e di strumentazioni specifiche, eseguono l'indagine e compilano un report dettagliato, composto da schede tipologiche che serviranno poi a corredo di qualsiasi altra indagine o piano di manutenzione.

Se la struttura in legno si presenta sporca, ricoperta da intonaco o guano, attaccata da funghi e insetti, occorre procedere preliminarmente alla pulizia con spazzola metallica o sabbatura, prima di eseguire le indagini.

In genere, il legno attaccato da funghi presenta colore diverso ed aspetto più spugnoso, quindi assorbe umidità più facilmente rispetto al legno sano.

Invece il legno attaccato da insetti presenta dei piccoli fori in superficie, che corrispondono alle gallerie scavate principalmente dalle larve.

In sintesi, l'ispezione visiva delle strutture in legno consiste in:

- rilievo geometrico dimensionale
- rilievo strutturale e di dettaglio
- rilievo dello stato di degrado biotico
- presenza di difetti

I principali strumenti utilizzati sono:

- Scala, metro, torcia elettrica per consentire le operazioni di analisi visiva e di misurazione degli elementi.
- Macchina fotografica per restituire lo stato dei luoghi e degli elementi lignei al momento delle indagini.
- Cacciavite e cavatappi per penetrare in profondità nel legno, indicare l'entità del degrado e riscontrare eventuali danni dovuti alla presenza di gallerie interne.
- Riga millimetrata per valutare direzione e profondità delle fessurazioni.
- Scalpello affilato per levigare piccoli tratti superficiali e per effettuare piccoli prelievi da esaminare per identificare presenza di funghi e insetti.
- Martello per colpire il legno danneggiato e sentire il suono che restituisce per valutarne la presenza di cavità.
- Pennarelli o gessi colorati per segnare i punti ammalorati e il punto esatto di prelievo dei campioni.
- Mazza e scalpello per liberare la testata delle travi in prossimità degli appoggi.
- Schede difettologiche per segnalare ed evidenziare i difetti presenti nel legno.
- Endoscopio costituito da una sonda che permette di penetrare e visionare in profondità lo stato del legno per mezzo di una telecamera.

Solitamente viene effettuata un'indagine visiva al 100% degli elementi lignei che compongono la struttura, procedendo con le seguenti fasi:

- misura delle dimensioni della sezione dell'elemento;
- misura della profondità e dello spessore delle eventuali fessure longitudinali e trasversali presenti nell'elemento;
- individuazione dei difetti fisiologici presenti naturalmente negli elementi;
- rilievo dello stato di degrado biotico ad opera di muffe, funghi o insetti;
- esecuzione delle indagini igrometriche, resistografiche e sclerometriche;
- prelievo dei campioni per le successive analisi di laboratorio.

Ognuna delle criticità rilevate viene poi contrassegnata con una lettera di riferimento e riportata in una tabella di sintesi, come quella riportata di seguito.

DEGRADO BIOTICO		
<p>Attacco fungino</p> <p>[F]</p>		<p>L'ispezione è stata condotta concentrandosi esclusivamente sulle alterazioni cromatiche riscontrate su aree più o meno estese del singolo elemento. Quest'ultime sono un indice della presenza di funghi e muffe che a seconda della specie possono costituire un problema per l'elemento. Per il riconoscimento della specie fungina si rimanda alle analisi di laboratorio.</p>
<p>Attacco xilofago</p> <p>[X]</p>		<p>L'ispezione ha avuto come obiettivo la ricerca dei fori delle gallerie e delle tracce di rosime ad opera degli insetti che hanno attaccato l'elemento. Per il riconoscimento della specie xilofaga si rimanda alle analisi di laboratorio.</p>
DIFETTI FISIOLGICI		
<p>Nodi e gruppi di nodi</p> <p>[N]</p>		<p>Il difetto è stato osservato e dove presente è stato riportato nelle tabelle riepilogative per ogni elemento analizzato (travi, travetti e puntoni).</p>
<p>Fessure da ritiro</p> <p>[R]</p>		<p>Il difetto è stato osservato e dove presente è stato riportato nelle tabelle riepilogative per ogni elemento analizzato (travi, travetti e puntoni).</p>
<p>Cipollatura</p> <p>[C]</p>		<p>Il difetto è visibile distintamente alle testate degli elementi, pertanto viene riportato nelle tabelle riepilogative per le travi ed i travetti a cui si ha avuto accesso.</p>

Fig. 2.27 - Schede di sintesi delle criticità riscontrate. Tratto da: Indagini su elementi lignei, Chiesa Ss.ma Trinità, 4 EMME Service S.p.A.

I risultati conclusivi vengono, infine, esposti in una tabella riassuntiva di semplice ed immediata lettura.

Elemento	Caratteristiche morfologiche							Elementi per la classificazione a vista									Umidità relativa interna %	Note
	Caratteristiche di forma				Decorazioni segni			Difetti					Degradazioni biotiche					
	Luce cm	sezione	Sezione tonda perimetro cm	Restrizione di sezione	Spigolo vivo	Smusso	Intagli	Trattamenti	Nodi singoli cm	Nodi raggruppati	Cipollature	Fessurazioni Longitudinali	Inclinazione fibra	Degrado da funghi	Degrado da insetti cm	Degrado da percolazioni/mardum e		
E1	530	22X21		no	no	si	si profondi	no	4	no	superficiali	si non passanti	no	no	1,5	2 zone: ad 1/4 ed a 4/4 della trave	13 mezzeria 12/13 appoggi	appoggio Ovest non in buone condizioni, trave da segnalare
E2	570	20X22		no	no	si	no	no	2	no	no	si modeste non passanti	no	no	0,5	no	11.5 mezzeria 14/15 appoggi	
E3	520	18X18		no	no	si	no	no	2	no	no	si non passanti	no	no	1,5	si, a 2/4 da sud	14 mezzeria 15/16 appoggi	presenza infiltrazioni, trave da segnalare
O1	44		48	no	no	si	no	no	1,5	no	no	si modeste non passanti	no	no	0,5	no		

Fig. 2.28 - Estratto delle indagini visive svolte sulla copertura della chiesa di S. Mamante di Liano: laboratorio prove Tiziano Lucca. Progetto: Ing. Michele Naldi

2.3.2 Le indagini materiche svolte in situ

Le strutture esistenti sono da studiare e da intendere come un organismo vivente, che presenta degli stati di malessere o delle vere e proprie malattie.

Lo scopo principale è quello di effettuare uno *screening*, attraverso l'esecuzione di analisi mirate, al fine di capire quali sono le cause e le origini dello stato di malessere, per poter quindi intervenire ed assegnare la cura più opportuna.

La maggior parte delle indagini diagnostiche vanno eseguite nella fase di studio preliminare, che precede la stesura del progetto di intervento e recupero.

Nel caso in cui la struttura lignea in oggetto presenti caratteristiche di notevole pregio storico e artistico, si dovrà necessariamente optare per modalità di prova non distruttive e tecniche diagnostiche meno invasive possibili.

Le indagini sono necessarie e imprescindibili, per il raggiungimento di un buon livello di conoscenza di qualsiasi struttura esistente.

Prove resistografiche

Il metodo strumentale più diffuso per valutare il degrado biologico del legno consiste nell'utilizzo di un *trapano strumentato*, detto "Resistograph": esso è in grado di rilevare la "resistenza" che il materiale legno oppone alla penetrazione di una punta, lunga 40

cm, che avanza con velocità di avanzamento e di rotazione costanti; le dimensioni esigue della punta (3 mm di diametro) non provocano danni strutturali ed estetici all'elemento.



Fig. 2.29 - Trapano strumentato (Resistograph). Tratto da <https://www.arbor.tools/product/resistograph-6500-ea-standard-series-tree-timber-condition-inspection/>

La risposta che si ottiene (profilo resistografico) è un grafico in cui sulle ascisse viene riportata la profondità espressa in cm e sulle ordinate la “resistenza” del legno mediante un’unità di misura arbitraria. Tale resistenza è in funzione di molteplici parametri tra cui la densità, l’umidità, la direzione anatomica, lo stato di conservazione interno del materiale e i difetti presenti, quali nodi, fessure, cipollature, etc.

Il numero delle prove resistografiche che vengono eseguite su ciascun elemento varia in funzione degli esiti dell'ispezione visiva e della singola prova.

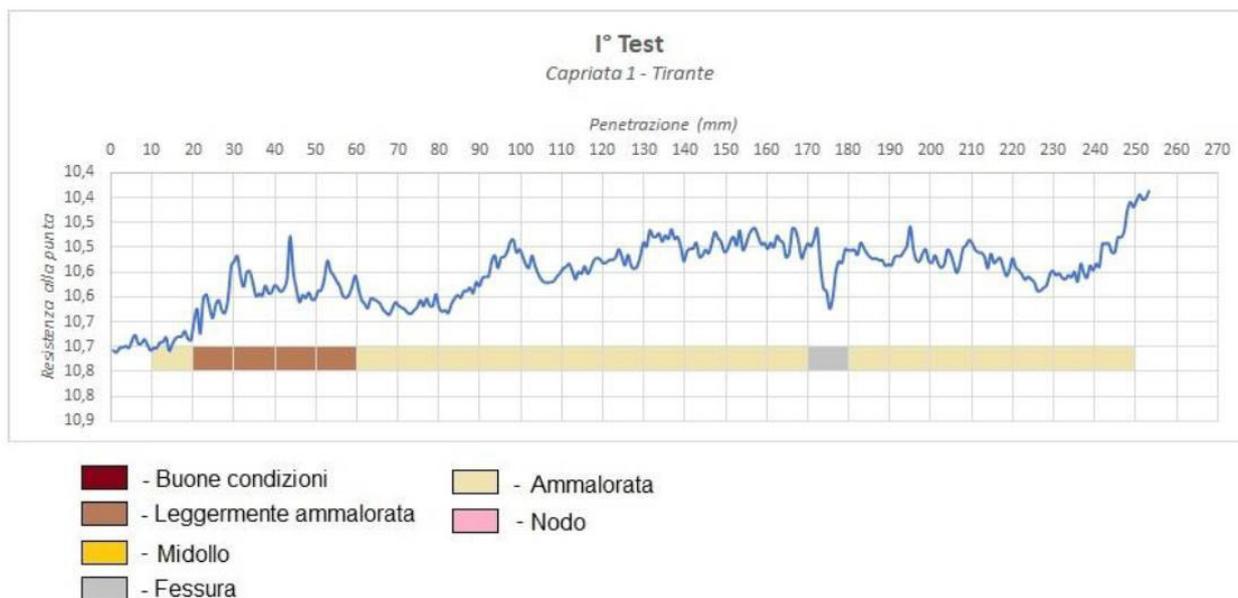


Fig. 2.30 - Estratto di indagine mediante Resistograph su una trave di copertura della chiesa di S. Mamante di Liano: laboratorio prove Tiziano Lucca. Progetto: Ing. Michele Naldi

Spesso le prove suddette vengono abbinate a prove dirette di tipo speditivo: si tratta di operazioni semplici ed immediate, consistenti nell'infissione di chiodi da carpentiere oppure nella penetrazione della punta di un cavatappi, al fine di stimare in modo rapido le resistenze di alcuni elementi lignei.

Prove igrometriche

Per la stima dell'umidità si effettuano delle prove igrometriche, eseguite mediante un *igrometro elettrico* in grado di misurare l'umidità secondo il metodo indiretto, basato sul principio della resistività: nel misuratore viene prodotta una corrente continua, che viene poi condotta attraverso l'elemento da misurare mediante due elettrodi. Con il crescente contenuto di acqua del manufatto, la resistenza del legno diminuisce e la conducibilità aumenta. Il livello di resistenza è accuratamente misurato dallo strumento e poi tradotto in misura percentuale del volume secco. La norma di riferimento utilizzata per l'esecuzione della prova è la UNI 11204:2007 “*Beni Culturali. Manufatti lignei. Determinazione dell'umidità.*”

La determinazione del grado di umidità del legno permette di stimare la presenza o meno di attacchi in corso oppure di segnalare attacchi già avvenuti in precedenza.



Fig. 2.31 - Igrometro digitale. Tratto da <https://www.agrieuro.com/igrometro-professionale-md-7820-tester-misuratore-per-umidita-temperatura-del-legno-p-8225.html>

Prove sclerometriche

La prova consente di valutare la durezza e la qualità del legno nelle zone testate. Un ago in acciaio temprato rettificato, dopo essere stato inserito nel foro all'estremità dell'asta di percussione, viene infisso nel tessuto ligneo con un prefissato numero di colpi (pari a 5). L'ago provvisto di una cuffia di protezione in plastica, è a sezione circolare con diametro di 2,5 mm e con lunghezza di 50 mm, dotato di una punta terminale tronco-conica ad angolo di inclinazione di 35°. Un comparatore esterno consente di misurare la lunghezza della parte dell'ago che, in seguito alle battute sclerometriche, non è penetrata nel tessuto ligneo. Questa tecnica, essendo applicabile soltanto sulle parti esterne degli elementi lignei, risulta in genere influenzata dalle condizioni locali del legno nelle zone superficiali.



Fig. 2.32 - Strumento Woodpecker. Tratto da https://www.archiproducts.com/it/prodotti/novatest/penetrometro-per-legno-woodtester_24283

2.3.3 Le indagini materiche svolte in laboratorio

Analisi morfo-anatomica del legno

L'esame per la determinazione della specie legnosa è condotto mediante un microscopio ottico su sezioni lucide ricavate lungo le tre principali direzioni anatomiche del legno: trasversale, longitudinale tangenziale e longitudinale radiale.

Lo scopo principale è quello di determinare la specie legnosa e la presenza di elementi biologici all'interno del legno.



Sezione Trasversale, luce riflessa, 40 ingrandimenti.

Fig. 2.33 - Sezione lucida di un elemento ligneo. Tratto da <https://zebrart.it/tecniche-diagnostiche-per-i-beni-culturali/>

2.3.4 Le indagini dinamiche

Le indagini dinamiche si basano sullo studio delle vibrazioni e sugli effetti che esse inducono sulle strutture e sull'uomo. Nel caso specifico delle strutture lignee di copertura, queste analisi vengono utilizzate molto raramente.

2.3.5 I risultati delle indagini

Terminata la campagna di indagini, è importante analizzare con attenzione e interpretare correttamente i risultati ottenuti, al fine di indirizzare al meglio il successivo intervento di recupero e di consolidamento.

Le informazioni finali ottenute dalla conoscenza della struttura lignea e degli elementi componenti, utili e necessarie per potere valutare o meno la reale necessità di un intervento, possono essere così riassunte:

- Dimensioni geometriche
- Specie legnosa
- Stato di degrado biologico
- Degrado meccanico e difetti
- Resistenza meccanica e all'usura
- Percentuale di umidità del legno
- Efficacia dei collegamenti

2.4 Le molteplici istanze del recupero

Nel caso specifico, molto frequente in Italia, in cui si intervenga su un edificio storico che presenta un valore testimoniale, occorre attenersi alle disposizioni contenute nel Decreto Legislativo 22 gennaio 2004 n. 42 “*Codice dei beni culturali e del paesaggio*” e nel DPCM 9 febbraio 2011 “*Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*”. Esse descrivono nel dettaglio quali sono gli interventi ammessi, le modalità e le norme da rispettare nella redazione del progetto di recupero.

Le istanze fondamentali da rispettare nel progetto di recupero sono molteplici.

- Conservazione dei caratteri tipologici

La conservazione della tipologia strutturale è un requisito fondamentale: occorre mantenere inalterato il tipo di copertura, la pendenza delle falde, le altezze interne, etc.

- Utilizzo di materiali compatibili

La scelta di materiali compatibili con quelli esistenti è altrettanto fondamentale: non solo dal punto di vista estetico (se la struttura lignea di copertura rimane a vista), ma anche per il comportamento meccanico e per la risposta strutturale.

- Estetica del lavoro finito

Come già accennato, se la struttura lignea è destinata a rimanere visibile, occorrerà prestare massima attenzione agli aspetti estetici e quindi anche alla realizzazione a regola d'arte delle opere di trattamento superficiale del legno.

- Reversibilità dell'intervento

Ogni intervento di recupero deve essere il più possibile reversibile, ovvero chiaramente riconoscibile ed eventualmente rimuovibile, in modo tale da poter facilmente riportare l'elemento strutturale nella condizione *ante-operam*. In questa ottica andranno evitati materiali come le resine, che non possono essere rimossi agevolmente. Ma sarebbero da evitare anche tutti quei metodi di connessione tra gli elementi, che rendono impossibile recuperare in seguito i singoli componenti.

- Mantenimento dello schema statico

Per quanto riguarda i caratteri strutturali della copertura lignea sulla quale si interviene, le norme richiedono il rispetto della storicità propria della struttura ed il mantenimento dello schema statico in essere. L'esigenza principale è quella di conservare il comportamento originario della struttura ai carichi applicati.

- Divieto di aumento dei carichi

Altro requisito statico fondamentale da rispettare è il divieto di aumentare i carichi permanenti portati e i pesi propri, affinché l'analisi dei carichi *post-operam* fornisca un valore finale delle azioni inferiore o al massimo paragonabile alla situazione *ante-operam*. In questo senso, oltre al fatto di non appesantire in alcun modo la struttura, a volte si rende necessario intervenire anche nei pacchetti non strutturali, quali per esempio, i manti di copertura leggeri, etc.

2.5 Il cantiere del recupero

In base alla norma UNI 10914/1 (2001), l'intervento di recupero edilizio è la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative, organizzative e costruttive che intervengono sul costruito, finalizzate a mantenere o aumentare le prestazioni residue del bene. Il recupero edilizio, quindi, si caratterizza come processo conoscitivo, ideativo ed esecutivo, che ha l'obiettivo di conservare o di procedere alla riqualificazione dei sub-sistemi edilizi, utilizzando tecniche produttive specifiche.

Nel cantiere del recupero la tecnologia della produzione tende a riprodurre le tecniche che sono state utilizzate per la realizzazione o per le successive trasformazioni dell'immobile, sia tramite l'impiego di materiali della tradizione costruttiva storica, sia tramite l'impiego di materiali innovativi, che sostanzialmente svolgono le funzioni in genere già previste dalla concezione strutturale/funzionale dell'immobile, ma erogando livelli prestazionali aderenti alle attuali disposizioni normative tecniche.

Il concetto di recupero edilizio si basa quindi sulla lettura analitica e scientifica dei sub-sistemi edilizi, in relazione alla tecnologia produttiva che li ha generati nelle successive fasi storiche di costruzione, ricostruzione e modifica. Infatti, un edificio di valore storico testimoniale quasi sempre è stato soggetto a trasformazioni successive che avevano lo scopo di mantenere un livello prestazionale adeguato alla funzione svolta, sia alla scala edilizia che urbana. Quindi, il progetto di recupero deve essere il frutto di scelte culturali e tecnologiche integrate, con l'obiettivo della rifunzionalizzazione dell'oggetto edilizio in una prospettiva di continuità culturale con le sue vicende storiche e costruttive.

Nell'ambito del recupero edilizio, la progettazione tecnologica deve essere attentamente valutata in relazione alle scelte tecniche già eseguite nel passato e, di conseguenza, il progetto del cantiere deve tenere conto della riproposizione e conservazione di queste scelte, nonché della morfologia organizzativa e spaziale che ne deriva.

La preesistenza dell'edificio, le sue caratteristiche costruttive, tipologiche ed architettoniche, vincolano il cantiere del recupero nella scelta del suo allestimento, delle sue fasi operative e delle tecnologie impiegate, difficilmente standardizzabili e meccanizzabili. Di conseguenza il processo deve essere organizzato "ad hoc" con logiche costruttive che strutturano la sequenza delle fasi in funzione della necessità di mantenere, conservare o trasformare i sub-sistemi tecnologici preesistenti.

2.6 Le principali tecniche di intervento

<u>CASO 1</u>	Ammaloramento generale della capriata o sottodimensionamento degli elementi costituenti la capriata
<i>Codice</i>	<i>Ipotesi di intervento</i>
1.a	Sostituzione della capriata esistente
1.b	Affiancamento di 1 nuova capriata lignea a quella esistente, se i travetti (o le terzere) in appoggio su di essa sono continui
1.c	Affiancamento di 2 nuove capriate lignee a quella esistente, se i travetti (o le terzere) in appoggio su di essa sono interrotti
1.d	Affiancamento di nuovi profili metallici alla capriata esistente

<u>CASO 2</u>	Ammaloramento degli appoggi della capriata
<i>Codice</i>	<i>Ipotesi di intervento</i>
2.a	Rinforzo mediante tavoloni lignei affiancati (fettoni)
2.b	Rinforzo mediante protesi in legno (incalmi)
2.c	Rinforzo mediante protesi in vetroresina
2.d*	Ricostruzione con getto in conglomerato cementizio e barre metalliche

<u>CASO 3</u>	Sottodimensionamento di singoli elementi strutturali: puntoni e catena
<i>Codice</i>	<i>Ipotesi di intervento</i>
3.a	Rinforzo del puntone mediante interposizione di tamponi lignei
3.b	Rinforzo del puntone mediante affiancamento di nuovi profili in legno o in acciaio
3.c	Rinforzo della catena mediante tiranti metallici
3.d	Rinforzo della catena mediante funi

<u>CASO 4</u>	Ammaloramento o sottodimensionamento di singoli nodi
<i>Codice</i>	<i>Ipotesi di intervento</i>
4.a	Rinforzo del nodo mediante nuova carpenteria in legno duro: tamponi, cunei, gattelli
4.b	Rinforzo del nodo mediante nuova carpenteria metallica: staffe, piastre, bulloni

* tecnica di intervento oggi superata o scarsamente utilizzata

2.6.1 CASO 1: Ammaloramento esteso a tutta la capriata

1.a) Sostituzione della capriata esistente

Si tratta del tipo di intervento più drastico e radicale: consiste nella rimozione totale della capriata lignea esistente e nella sua sostituzione con una nuova capriata lignea. Essa deve consentire il mantenimento delle altezze dei locali preesistenti e deve garantire la stessa pendenza delle falde di copertura.

Questo intervento risulta praticabile solamente quando è possibile la rimozione del manto di copertura e di tutti gli elementi superiori sorretti dalla capriata stessa.

Le parti della nuova capriata in appoggio sulle murature devono essere adeguatamente trattate, per scongiurare il pericolo dell'umidità e del successivo degrado.

1.b) Affiancamento di capriata lignea solo su un lato

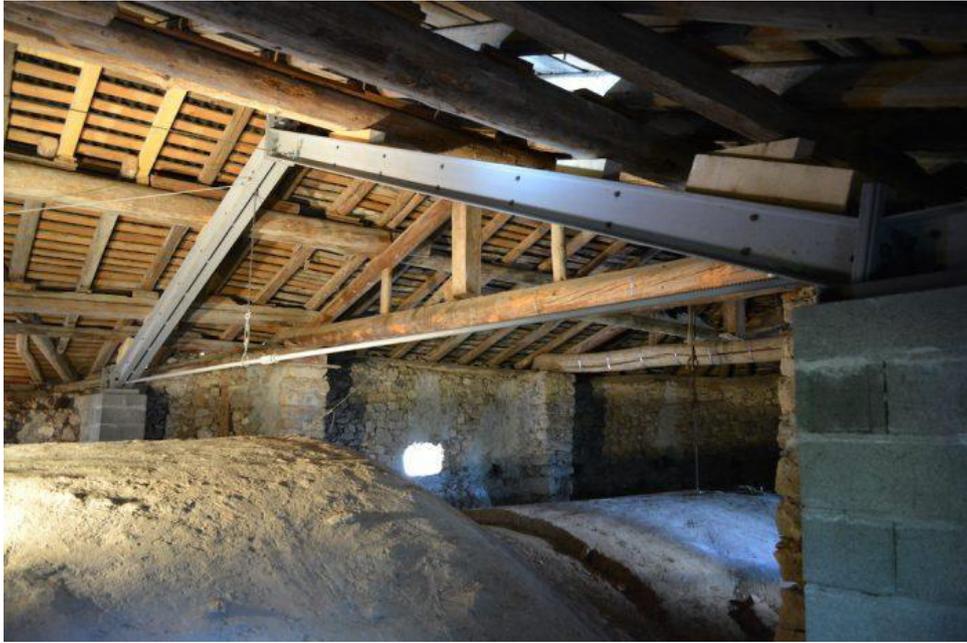
Sempre in caso di ammaloramento diffuso, ma qualora non sia possibile (per ragioni operative) o non si voglia (per ragioni estetiche) rimuovere la capriata lignea esistente, è possibile affiancare ad essa solo su di un lato una nuova capriata in legno, quando l'orditura secondaria (travetti o terzere) in appoggio su di essa risulti continua.

1.c) Affiancamento di capriata lignea su entrambi i lati

Qualora l'orditura secondaria (travetti o terzere) risultasse interrotta in corrispondenza degli appoggi sulla capriata ammalorata, sarà necessario intervenire affiancando ad essa su entrambi i lati una nuova capriata lignea, simile per geometria e dimensioni.

1.d) Affiancamento di profili metallici

Talvolta, soprattutto quando si interviene su strutture di copertura che non rimangono "a vista", si può procedere attraverso l'affiancamento di nuovi profili metallici o di una nuova capriata metallica, analoga a quella lignea esistente per morfologia e dimensioni. Solitamente quando si interviene su un edificio storico che presenta valore artistico e la struttura di copertura risulta visibile, si preferisce affiancare una nuova capriata in legno.



*Fig. 2.34 - Nuova capriata in acciaio affiancata a quella lignea.
Coperto chiesa della Ss.ma Trinità in Bologna. Progetto: Ing. Michele Naldi*

Invece, quando la struttura lignea del coperto non è visibile o non presenta caratteristiche degne di nota, si può affiancare una nuova capriata in acciaio.

In entrambi i casi, lo scopo è scaricare la capriata lignea esistente ammalorata e trasferire il carico alla nuova capriata.

2.6.2 CASO 2: Rinforzo degli appoggi della capriata (*tacchi*)

2.a) Affiancamento di tavoloni in legno

La tecnica consiste nell'affiancare su entrambi i lati del tacco ammalorato due tavole in legno (dette "*fettoni*") di spessore totale equivalente alla sezione della trave esistente, in modo da aumentarne la sezione resistente.

Detti fettoni vengono poi resi solidali alla trave sana, mediante vari sistemi: reggiature, barre in acciaio o vetroresina, chiodi, colle e cavicchi.



Fig. 2.35 - Rinforzo tramite fettoni in legno. Progetto: Ing. Michele Naldi

Fasi operative del consolidamento tramite “fettoni”

1. PUNTELLAMENTO della trave in prossimità dell'appoggio;
2. SCASSO della muratura ai lati della testa della trave per l'inserimento delle nuove tavole ai lati, per una profondità di almeno 10 cm;
3. PULIZIA accurata della parte degradata con raschietti e scalpelli e trattamento con prodotti biocidi;
4. ACCOSTAMENTO di due nuove tavole lignee della stessa essenza di quella esistente, della stessa altezza della trave, di lunghezza media 200 cm, di spessore opportunamente dimensionato, incollate alla trave con resina epossidica in pasta e avvitate con viti mordenti da legno di lunghezza adeguata allo spessore delle nuove tavole;
5. EVENTUALE ESECUZIONE PERFORAZIONI con inclinazione prestabilita, ortogonali alla sezione della trave;
6. INSERIMENTO e successivo fissaggio con resine epossidiche in dette cavità di barre d'acciaio o di vetroresina ad aderenza migliorata, in posizione centrata, previa pulizia dell'interno dei fori da ogni residuo della perforazione. Le barre servono a congiungere il legno sano con la parte reintegrata, fornendo maggiore resistenza alle tensioni flessionali, di trazione e di taglio, potenziando l'originaria risposta della struttura a questi sforzi.

2.b) Protesi in legno (*incalmi lignei*)

Spesso il degrado investe principalmente i singoli elementi lignei della capriata che sono inseriti all'interno della muratura oppure porzioni di elementi direttamente a contatto tra loro (tacco/puntone): in questo caso si interviene realizzando delle nuove protesi (dette "*incalmi*" ovvero innesti) realizzate in legno, che vengono poi collegate alla struttura lignea esistente tramite bulloni o cavicchi.

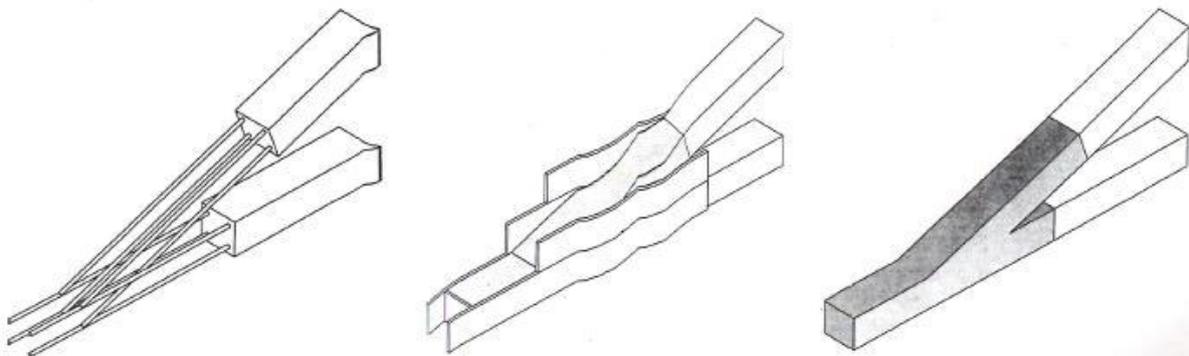


*Fig. 2.36 - Incalmi in legno.
Tratto dal testo n. 7 (vedi Bibliografia)*

2.c) Protesi a base di resine epossidiche (*incalmi gettati*)

Gli incalmi possono essere eseguiti anche con getti di conglomerato epossidico in casseri a perdere, aventi quarzo o segatura come inerti, resi solidali all'elemento ligneo sano, mediante l'inserimento di barre di vetroresina o di acciaio.

La scelta del tipo di incalmo, oltre che essere dettata dalla patologia da sanare, è anche fortemente condizionata dalle condizioni di operatività delle lavorazioni.



*Fig. 2.37 - Incalmi gettati in conglomerato epossidico.
Tratto dal testo n. 7 (vedi Bibliografia)*

Ma occorre segnalare che i nuovi getti in conglomerato epossidico irrigidiscono i nodi e gli elementi collegati fra loro, modificando i vincoli e la concezione strutturale originaria.

Fasi operative del consolidamento con “incalmi” lignei o a base di resine

1. PUNTELLAMENTO della trave in prossimità dell'appoggio;
2. SCASSO con asportazione della muratura in corrispondenza della testata;
3. PULIZIA accurata della parte degradata con raschietti e scalpelli, eseguendo un taglio di forma adatta per effettuare il collegamento con la nuova protesi e trattamento con biocidi;
4. FRESATURA o foratura della parte superiore e inferiore della trave ancora sana per una lunghezza circa 40 cm per l'inserimento di barre in acciaio o vetroresina;
5. EVENTUALE ESECUZIONE PERFORAZIONI con inclinazione prestabilita, ortogonali alla sezione della trave;
6. INSERIMENTO DI BARRE in acciaio o vetroresina ad aderenza migliorata in dette cavità, in posizione centrata, e successivo fissaggio con resine epossidiche, previa pulizia dell'interno dei fori da ogni residuo della perforazione. Le barre servono a congiungere il legno sano con la parte reintegrata, dando maggiore resistenza a tensioni flessionali, di trazione e taglio, potenziando l'originaria risposta della struttura a questi sforzi;
7. CASSERATURA della sezione da ricostruire con tavole politenate (rivestite in polietilene estruso) o inserimento di nuove protesi in legno sano;
8. RICOSTRUZIONE della parte eliminata mediante getto di betoncino sintetico composto da resine epossidiche, farine di quarzo e truciolo di legno. Nel caso di incalmi in legno: fissaggio della nuova protesi lignea alla struttura esistente tramite barre e resine epossidiche.

Il legno da impiegarsi per incalmi e fettoni deve essere preferibilmente della stessa *specie* di quello esistente oppure di una specie dura (quale latifoglia), ma soprattutto deve avere tenore di *umidità* residua in relazione con l'ambiente, altrimenti la perdita

d'acqua in opera del nuovo legno non stagionato causerà ritiri, torsioni, fessurazioni e quindi possibili distacchi fra gli elementi collegati.

Sia gli incalchi in legno che i fettoni, basandosi sull'affiancamento di legno con legno, sono più indicati ed utilizzati negli interventi di restauro conservativo e di recupero.

2.d) Ricostruzione con getto in conglomerato cementizio e barre in acciaio

Un'altra tecnica, utilizzata soprattutto in passato, consiste nel rimuovere e sostituire la parte ammalorata del tacco mediante un getto in conglomerato cementizio, armato con barre in acciaio che fuoriescono e vengono poi inserite in fori praticati nella capriata lignea esistente, in modo da renderla solidale al nuovo elemento gettato.

Questa tecnica oggi è stata quasi totalmente abbandonata, in quanto non rispetta i requisiti della sostenibilità dei materiali e della reversibilità dell'intervento, oltre al fatto che l'introduzione del nuovo elemento gettato in opera modifica sensibilmente la rigidità della capriata.

2.6.3 CASO 3: Rinforzo di singoli elementi (puntoni e catena)

3.a) Raddoppio della sezione mediante interposizione di tamponi lignei

Nel caso di ammaloramento di un singolo elemento strutturale (travi, terzere, travetti), il rinforzo e l'aumento della sezione resistente viene realizzato mediante interposizione, all'intradosso o all'estradosso della parte ammalorata, di nuovi elementi lignei di specie dura, resi solidali agli elementi esistenti tramite connettori a gambo cilindrico in acciaio o in legno.



*Fig. 2.38 - Rinforzo tramite tamponi lignei e gattello in fase di posa.
Coperto chiesa della Ss.ma Trinità in Bologna. Progetto: Ing. Michele Naldi*

3.b) Raddoppio della sezione mediante affiancamento di nuovi elementi

Analogamente, si può intervenire mediante il raddoppio della sezione di singole parti ammalorate che necessitano di rinforzo, mediante affiancamento di nuovi elementi lignei o di nuovi profili metallici continui, resi solidali tra loro, mediante idonei sistemi di collegamento a gambo cilindrico.

3.c) Inserimento di catene metalliche

Nel caso di ammaloramento della sola catena lignea della capriata esistente, che risulta soggetta a trazione, si può intervenire mediante l'inserimento di nuove catene metalliche costituite da tondi in acciaio (tiranti), eventualmente dotati di manicotto tenditore, collegati con piastre ed occhielli alla catena lignea esistente ed ancorati alle murature laterali mediante idonei capochiave metallici.



*Fig. 2.39 - Inserimento di nuovi tiranti metallici.
Tratto dal testo n. 3 (vedi Bibliografia)*

In alcuni casi, quando la catena lignea esistente risulta fortemente ammalorata o quando si renda necessario l'innalzamento della linea di imposta della catena, si può procedere mediante la realizzazione di una carpenteria metallica sostitutiva, ancorata alla muratura in prossimità degli appoggi e provvista di catena metallica (tirante).



*Fig. 2.40 - Inserimento di carpenteria metallica sostitutiva.
Tratto dal testo n. 3 (vedi Bibliografia)*

3.d) Inserimento di funi

Analogamente, si può intervenire mediante l'inserimento di funi (trefoli), collegate con piastre ed occhielli alla catena lignea esistente ed ancorate alle murature laterali.

Questa tecnica risulta molto utile e vantaggiosa nei casi in cui il sottotetto non risulti agevolmente accessibile; infatti, grazie alla loro leggerezza, è possibile sollevare le funi manualmente, senza l'ausilio di strumenti meccanici, e trasportarle anche attraverso passaggi stretti e pertugi angusti.

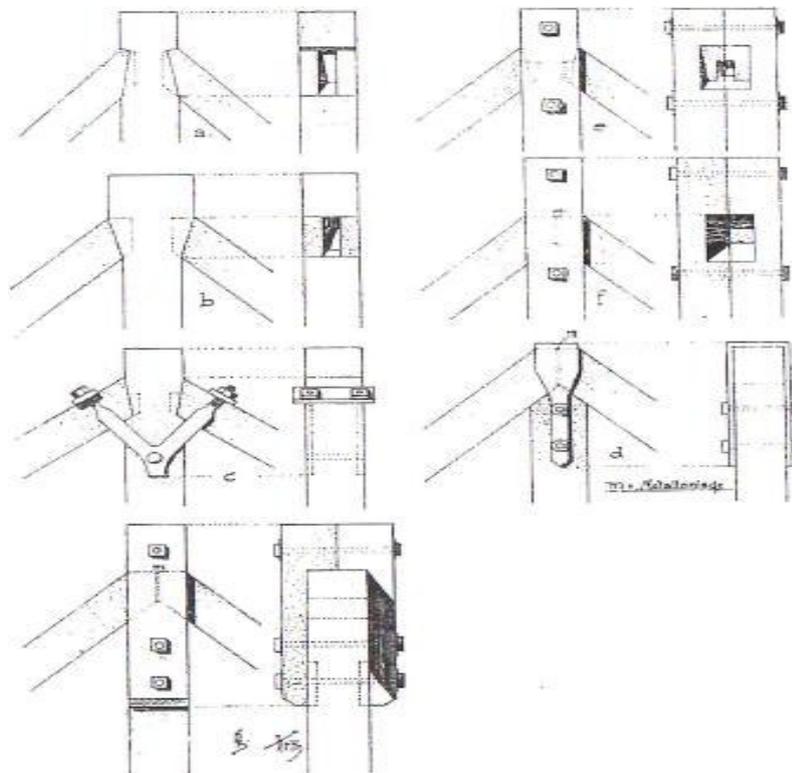
2.6.4 CASO 4: Rinforzo di singoli nodi

4.a) Rinforzo tramite carpenteria lignea

Quando si rende necessario il rinforzo localizzato di singoli nodi della capriata, si procede ad un rinforzo puntuale, tramite inserimento di nuovi tamponi e cunei (gattelli) in legno duro, resi solidali agli elementi esistenti mediante idonei collegamenti a gambo cilindrico.

4.b) Rinforzo tramite carpenteria metallica

Analogamente, si può procedere al rinforzo di singoli nodi della capriata mediante inserimento di piatti e piastre metalliche in acciaio, in aggiunta o in sostituzione di quelli a volte già presenti, sempre resi solidali con gli elementi lignei mediante collegamenti a gambo cilindrico.



2.41 - Rinforzo del nodo monaco-colmo-puntone.
Tratto dal testo n. 2 (vedi Bibliografia)

Lo scopo di tutti gli interventi puntuali è quello di migliorare l'efficienza del singolo collegamento senza modificare lo schema isostatico reticolare della capriata stessa. I due metodi di rinforzo suddetti, ovvero tramite carpenteria lignea e metallica, possono anche essere utilizzati insieme contemporaneamente.

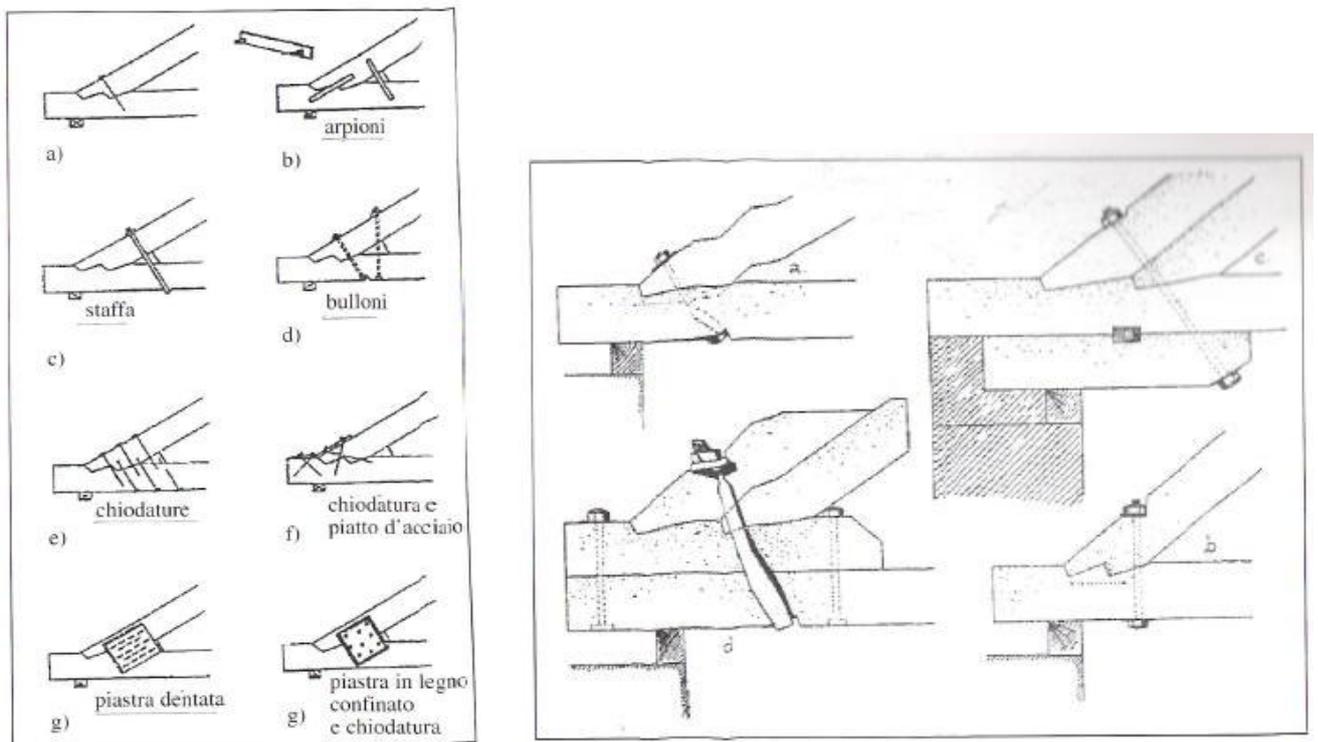


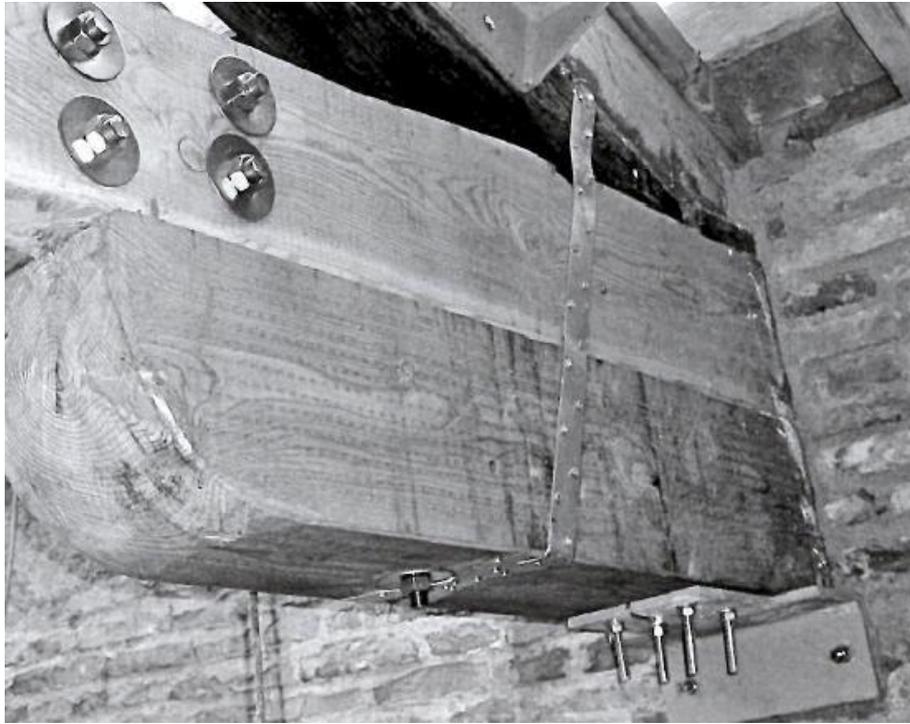
Fig. 2.42 - Rinforzo del nodo puntone-catena. Tratto dal testo n. 2 (vedi Bibliografia)

Fasi operative del consolidamento nodo puntone-monaco e nodo puntone-saetta

1. PUNTELLAMENTO e sollevamento della trave in prossimità dell'appoggio, mediante il riversamento dei carichi sulle parti sane o sulle murature adiacenti;
2. PULIZIA accurata della parte degradata effettuata con raschietti e scalpelli;
3. ESECUZIONE PERFORAZIONI con inclinazione prestabilita, in numero da 2 a 4, ortogonali alla sezione della trave, con diametro indicato dal progettista;
4. INSERIMENTO DI BARRE in vetroresina, diametro 12-14 mm, nelle suddette cavità in posizione centrata, previa pulizia dell'interno dei fori da ogni residuo di perforazione. Le barre servono ad unire il legno sano con la parte reintegrata, per

resistere alle tensioni di flessione, di trazione e di taglio, potenziando l'originaria risposta della struttura a questi sforzi;

5. FISSAGGIO degli elementi metallici al legno circostante, con iniezioni di idoneo formulato epossidico.



*Fig. 2.43 - Rinforzo del nodo puntone-catena-mensola.
Tratto dal testo n. 7 (vedi Bibliografia)*

2.7 Soluzioni progettuali in funzione del tipo di capriata e di degrado riscontrato

Al termine delle considerazioni svolte finora, ecco un prospetto riassuntivo per la scelta delle tecniche di intervento che è possibile utilizzare, in funzione del tipo di capriata lignea e del tipo di degrado a cui essa risulta soggetta.

	Capriata semplice	Capriata italiana	Capriata palladiana	Capriata Polonceau
Ammaloramento diffuso	1.a - 1.b - 1.c	1.a - 1.b - 1.c	1.b - 1.c	1.d
Ammaloramento del “tacco”	2.a - 2.b	2.a - 2.b	2.b	2.c
Ammaloramento dei puntoni	3.a - 3.b	3.a - 3.b	3.b	3.b
Ammaloramento della catena	3.c - 3.d	3.c - 3.d	3.c - 3.d	3.d
Ammaloramento di singoli nodi	4.a - 4.b	4.a - 4.b	4.a - 4.b	4.a - 4.b

3. IL CASO DEL CONVENTO DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA

3.1 Introduzione storica

3.1.1 Descrizione tipologica del complesso conventuale

La tipologia architettonica cappuccina

L'ordine religioso dei Frati Minori Cappuccini, fondato nel 1525 da Matteo da Bascio, si pone come esempio tangibile dei principi inalienabili di povertà, umiltà e semplicità che permeano il suo fondamento spirituale.

Questi valori trovano espressione concreta nelle regole costruttive delle fabbriche cappuccine, caratterizzate da essenzialità e sobrietà.

L'utilizzo di materiali modesti e facilmente reperibili, come legno, mattone e pietra, unitamente alle forme e decorazioni sobrie, sottolinea il concetto di "povertà" che si accompagna a quello di "umiltà". La dimensione contenuta delle chiese e dei conventi cappuccini, in sintonia con l'ideale di una vita povera e modesta, si presenta come un'ulteriore conferma tangibile di tali principi.

Nei conventi cappuccini, la pianta quadrangolare, spesso provvista di un chiostro chiuso e privo di porticato, evidenzia un'architettura che si fonde con la natura circostante, grazie all'impiego di materiali semplici e naturali, quali legno, mattone e pietra.

L'evoluzione storica dei materiali utilizzati nelle costruzioni cappuccine compie un passaggio graduale, da elementi deperibili come vimini, luto, canne e mattoni crudi, verso una preferenza per la muratura, più durevole e resistente nel tempo. Tale sviluppo riflette l'adattamento delle tecniche costruttive alle esigenze di durabilità, preservando al contempo l'armoniosa coerenza con i principi di semplicità ed umiltà insiti nell'ordine. Fin dalla fondazione dell'Ordine puntuali furono le indicazioni fornite per la costruzione del convento e della chiesa, che doveva essere piccola, ma devota. In pianta presentava una struttura rettangolare a navata unica al termine della quale si trovava sempre il coro. La facciata, liscia e rigorosa, era a capanna e gli unici elementi di stacco erano la porta e una finestra. In maniera rivoluzionaria si rinunciò all'adozione del portale d'ingresso e dell'abside, elementi tradizionali di forte portata scenografica e simbolica, a favore di un minimalismo architettonico caratterizzato da essenzialità, chiarezza dei volumi e delle superfici. Lo spazio era movimentato unicamente dalle finestre ed in particolare da quella di fondo che indirizzava la luce verso il presbiterio concentrandola sull'altare.

Nella tradizione cappuccina la navata della chiesa e il coro sono sempre concepiti a forma rettangolare, per essere attraversati longitudinalmente dai raggi solari secondo il modulo architettonico orizzontale dell'architettura cristiana, dove l'altare è in posizione simmetrica rispetto all'entrata e il percorso terreno compiuto dal fedele è guidato dalla luce verso l'altare, verso la presenza divina custodita nel tabernacolo.

Per dare alla riserva eucaristica un aspetto più dignitoso i cappuccini adottarono la soluzione del tabernacolo a forma architettonica improntandolo sul modulo verticale.

Questa scelta determinò la compresenza del modulo costruttivo verticale, usato nel tabernacolo, e di quello orizzontale, utilizzato per la chiesa, in accordo con la mentalità dei religiosi, che alla quiete della contemplazione affianca l'attivismo ascetico.

L'evoluzione storica del convento di Santarcangelo di Romagna

Il complesso conventuale dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna sorge su un colle poco fuori dal centro storico della cittadina romagnola. Si tratta dell'ultima dimora dei religiosi dell'Ordine, la cui storia nel territorio risale al 1576, anno in cui le autorità di Santarcangelo determinarono di invitare i Cappuccini, offrendo loro la chiesa di Santa Maria del Ponte sull'uso. Per il divieto del Ministro generale di aprire nuove case prima del completamento dei conventi già in costruzione, l'arrivo dei Cappuccini a Santarcangelo fu rimandato di qualche anno. Dopo la trasformazione in convento dell'edificio a loro destinato, sul finire del 1579 i frati raggiunsero la sede del Ponte sull'uso, dimora rivelatasi malsana nel giro di breve tempo per la vicinanza a terreni paludosi. Già nel 1629 si decise di trasferire il convento in collina, ma il progetto fu sospeso a causa dell'epidemia di peste bubbonica degli anni seguenti e per la guerra tra il ducato di Parma e lo Stato Pontificio. Solo nel 1645 fu acquistato sul colle a sud del nucleo urbano un appezzamento di terreno, già di proprietà dei Canonici Regolari di San Salvatore, detti Scopettini, sul quale si posò e benedì la croce del nuovo convento. Il 21 giugno 1654 si pose la prima pietra e sul finire del 1657 la comunità si trasferì nella nuova sede. La chiesa, intitolata alle Sacre Stimmate, fu consacrata il 15 maggio 1661 dal vescovo diocesano monsignor Flaminio Marcellini. A seguito delle soppressioni napoleoniche, nel gennaio 1806 i Cappuccini furono costretti ad abbandonare la chiesa e il convento; a nulla valsero le ripetute e insistenti petizioni a favore dei religiosi da

parte della popolazione e delle autorità municipali. Il convento fu venduto e la chiesa in seguito fu demolita.

Già nel 1823 si pensò al ritorno dei religiosi, ma solo dal 1852 si concretizzò l'idea di riacquistare l'immobile per restituirlo all'Ordine; il 23 dicembre 1852 infatti, il convento fu riscattato e nel gennaio seguente fu riconsegnato ai Cappuccini in uso perpetuo.

Dopo i necessari lavori di riparazione e la costruzione della nuova chiesa, dedicata all'Immacolata Concezione, il 4 ottobre 1856 i Frati Minori Cappuccini poterono finalmente rientrare nella loro sede storica.



*Fig. 3.1 - Complesso conventuale di Santarcangelo: facciata principale della chiesa
(foto Ing. Michele Naldi)*

Lo scoppio del secondo conflitto mondiale determinò un nuovo periodo di difficoltà per i religiosi. Infatti, nella seconda metà del 1944, con il passaggio del fronte e la conquista del colle da parte dell'esercito alleato, il convento subì rilevanti danni e la chiesa fu ridotta in dormitorio. Dalla relazione di padre Teodoro da Castagnaro del 2 febbraio 1946 risulta che “Il convento di Santarcangelo, nonché la chiesa, erano rimasti senza tetto, oltre alle varie celle abbattute e alla mura del convento, rovinata in più parti.” Mentre nel Libro Campione del convento si legge: “Un numero sterminato di granate si abbattono sul nostro convento da ridurlo ad un cumulo di rovine. La sola chiesa ebbe

una decina di granate. [...] L'unica cosa rimasta intatta sia dalle granate sia dalla cattiveria dei soldati [...] è stata la cappella della Vergine”.

I danni provocati dalla guerra furono riparati dal 1945 in poi, ma i lavori si protrassero anche nel decennio successivo, in quanto si realizzarono ulteriori opere di restauro, ampliamento e, in alcuni casi, di ristrutturazione o di nuova costruzione.

La chiesa fu ripulita e impreziosita con decorazioni murali, nuovi arredi e vetrate. Il convento fu ripristinato e rinnovato; furono apportate importanti modifiche alla divisione interna degli ambienti posti al primo piano dell'edificio, con lo spostamento del corridoio verso l'interno del chiostro e con una disposizione dei locali simile a quella del piano terra.

I lavori riguardanti l'edificio denominato *Forum franciscanum* e il piazzale antistante alla chiesa risalgono agli anni Cinquanta. Allo stesso decennio sono da ricondurre anche il progetto di ampliamento della sacrestia sul lato Est, con la realizzazione di due nuovi confessionali e di una piccola serra, nonché la trasformazione in abitazione della vecchia stalla-fienile. Dal Libro Campione del convento si evince che nel 1962 “è stata terminata la casa dei domestici costruita dal Genio Civile. Come pure è stata ricostruita la mura per 150 metri al lato sud-ovest. Opera del Genio Civile per danni di guerra”.



*Fig. 3.2 - Complesso conventuale di Santarcangelo: forum franciscanum
(foto Ing. Michele Naldi)*

Il convento di Santarcangelo è stato sede del Noviziato delle province di Bologna e di Parma dal 1997 al 2005 e della provincia unificata dell'Emilia-Romagna dal 2005 al 2014. Pertanto, negli anni Novanta sono stati realizzati nuovi interventi che hanno

interessato l'intera area conventuale, per adattare sia gli edifici che gli spazi esterni alle nuove esigenze di ospitalità dei novizi.

Lo stato attuale del complesso

Il complesso conventuale dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna costituisce un pregevole esempio di edificio religioso dalla valenza storica e dalle caratteristiche architettoniche peculiari. L'intero complesso, comprendente la chiesa, il convento ed altri edifici minori annessi, si sviluppa su una pianta approssimativamente rettangolare, con dimensioni massime di circa 37,5 m x 26,5 m.

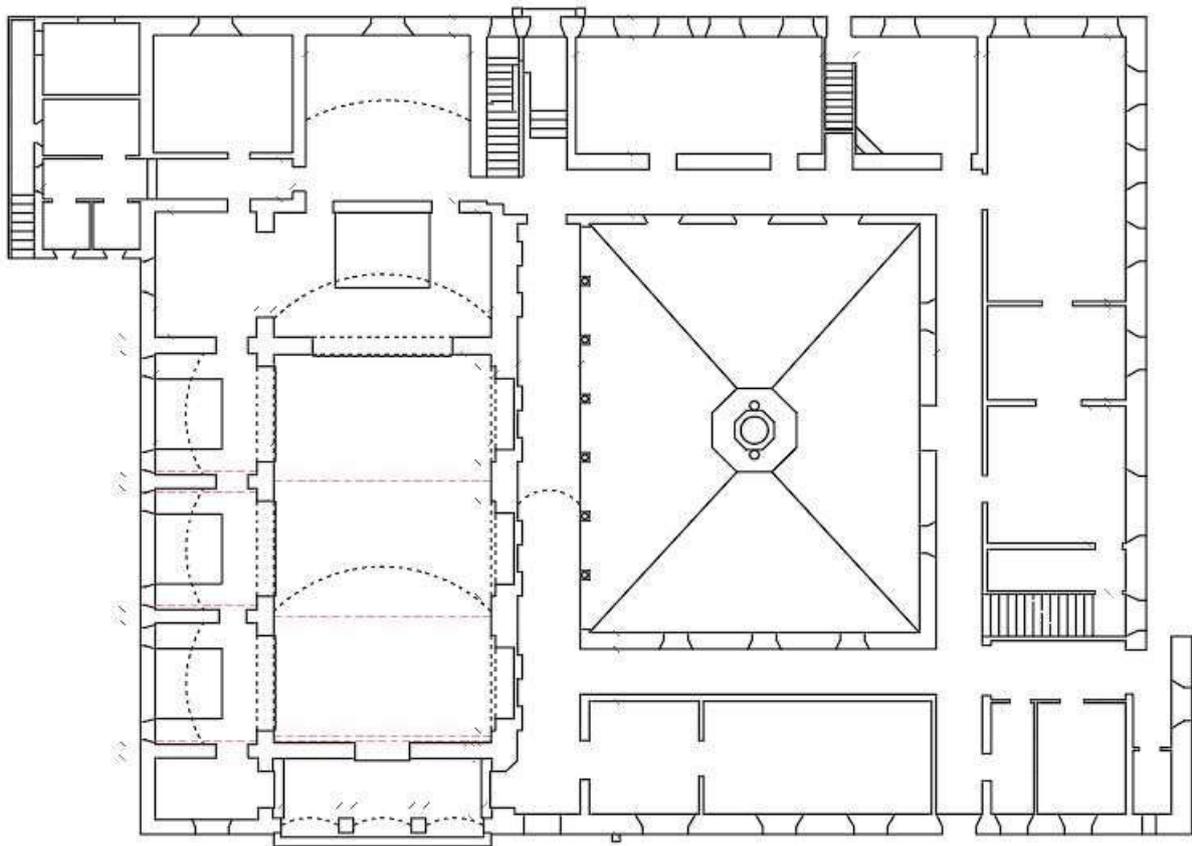


Fig. 3.3 - Complesso conventuale di Santarcangelo: pianta del piano terra.

Progetto: Ing. Michele Naldi

Attualmente raggiungibile dall'omonima via dei Cappuccini, il complesso conventuale insiste su un terrapieno, racchiuso da un muro di cinta realizzato, ad esclusione del tratto ricostruito, in pietrame irregolare con interposti listelli di muratura piena lasciati a vista. Contrafforti murari aumentano la rigidità della struttura contribuendo a contrastare le

azioni spingenti del terreno. Una ripida strada interna conduce al piazzale sul quale prospettano la chiesa, il convento e il *Forum franciscanum*.

La chiesa

La chiesa, posta in adiacenza al convento sul lato nord-est, è realizzata in mattoni faccia a vista, con copertura a due falde in coppi di laterizio. Le strutture portanti verticali sono costituite da murature ordinarie, in mattone pieno e pietrame; la copertura è lignea. La semplice facciata con tetto a capanna è caratterizzata dalla presenza di un portico di accesso con tre arcate a tutto sesto, sovrastato da una finestra centrale centinata.

Dal lato sinistro del portico si accede alla cosiddetta “grotta di San Francesco”, mentre sulla destra si trova la porta di accesso al convento.

Internamente la chiesa si presenta come un’aula rettangolare a unica navata, con volta a botte, illuminata da due aperture semicircolari poste in posizione centrale.

Dal Settecento in poi si registrarono molteplici cambiamenti e nelle chiese cappuccine fecero il loro ingresso nicchie con statue e cappelle laterali. Anche nella chiesa di Santarcangelo sulla parete sinistra si aprono tre ampie cappelle, ciascuna con ancona lignea, affiancata da due finestre laterali. Il presbiterio, come la chiesa, è impostato su pianta rettangolare, con volta a botte decorata, illuminata da due aperture semicircolari. L’organizzazione della parete di fondo rispecchia le consuetudini dell’architettura sacra cappuccina ed è caratterizzata da una grande ancona lignea, con tabernacolo ed altare, anch’essi in legno. Il collegamento al coro retrostante avviene attraverso due porte, con sovrastanti finestre apribili, poste ai lati dell’altare.

Il ricorso alla materia povera del legno e alla bravura degli artigiani, più che ai materiali preziosi e agli artisti rinomati, trova conferma anche nelle scelte degli arredi del complesso di Santarcangelo. Il legno, materiale congeniale allo spirito francescano, amante della natura e della povertà, finì per segnare in modo inequivocabile i conventi dei Cappuccini, che si rivestirono di arredi realizzati con questo umile materiale.

Il convento

Il convento, che si innalza fuori terra per due piani, si sviluppa attorno ad un chiostro rettangolare di dimensioni pari a circa 14 m x 11 m sprovvisto di portico, con un pozzo centrale per la raccolta delle acque meteoriche.

Esternamente l'edificio presenta un aspetto complessivo piuttosto omogeneo, con prospetti in mattoni faccia a vista e manto di copertura in coppi; porte e finestre sono provviste di scuri in legno e sono di forma rettangolare o centinata.



Fig. 3.4 - Convento di Santarcangelo: prospetto Nord-Est (foto Ing. Michele Naldi)

Anche gli ambienti interni presentano caratteri di semplicità e sobrietà, in linea con lo stile francescano: i pavimenti sono in graniglia di marmo o in cotto; i soffitti sono per lo più piani e rivestiti con controsoffitti in arelle; gli infissi e gli scuri sono in legno.

Al piano interrato sono presenti una piccola cappella feriale, ad uso interno dei frati, e le cantine, caratterizzate da volte a botte, con mattoni posti di coltello. Gli ambienti suddetti occupano solamente una porzione dell'area di sedime del fabbricato.

Al piano terra trovano spazio gli ambienti comuni, tra i quali il refettorio e una sala di ricevimento, caratterizzati dalla presenza di soffitti sorretti da travi lignee con interposte voltine in laterizio.

Al primo piano si trovano le singole celle dei frati, gli ambienti dedicati allo studio e la biblioteca, che è collocata sopra il coro, sul retro dell'abside. Solamente nel braccio nord del chiostro, la copertura del corridoio è realizzata da un soffitto inclinato a travetti lignei con laterizi interposti all'estradosso. Il manto di copertura è in coppi di laterizio.

Gli edifici minori

Oltre alla chiesa e al convento appartengono al complesso cappuccino altri edifici minori, che sono l'esito della trasformazione e dell'adeguamento di strutture preesistenti o costruiti ex novo in epoca più recente, con materiali e tecniche del periodo, al fine di assolvere alle diverse necessità conventuali e pastorali presentatesi nel corso del tempo. È il caso dell'edificio che ospita il grande auditorium, denominato *Forum franciscanum*, risalente agli anni '50 e recuperato nei primi anni Duemila. Costituito da un volume regolare ad unico piano, con copertura piana a terrazzo, presenta un prospetto principale in mattoni faccia a vista, con porticato continuo con arcate a tutto sesto, simile a quello della facciata della chiesa.

Collocato a sud-ovest e isolato dal corpo di fabbrica conventuale, è invece l'edificio frutto della trasformazione della vecchia stalla-fienile. Tale intervento, risalente al 1957, portò alla definizione di un edificio impostato su pianta rettangolare a due piani, con copertura a falde e caratterizzato da prospetti abbastanza simmetrici. Inizialmente pensato per aumentare la capienza del convento, in seguito fu adibito all'accoglienza degli studenti di teologia. Nel 1978 fu poi ulteriormente risistemato come sede del Segretariato per le vocazioni e casa del prenoviziato; nel triennio 1984- 1987 fu casa del postulando. Sul lato sud-ovest del complesso, sempre nei primi anni Duemila, si trasformò anche l'edificio dell'ex legnaia. Addossato al muro di cinta, oggi consiste in un piccolo volume a unico piano impostato su pianta rettangolare.

Attualmente questi edifici minori non presentano particolare interesse architettonico o elementi di pregio, ma costituiscono comunque elementi del sistema del complesso conventuale cappuccino, testimoniandone lo sviluppo storico.

Essi presentano perlopiù tipologie e caratteristiche costruttive cosiddette tradizionali: murature di mattoni, solai prevalentemente a struttura portante lignea, manti di copertura a falde con coppi in laterizio e struttura portante in legno.

In sintesi, il complesso conventuale di Santarcangelo presenta interesse storico-artistico, in quanto, nonostante le inevitabili trasformazioni e gli adattamenti verificatisi nel corso del tempo, continua a rappresentare un'autentica testimonianza dell'architettura e della cultura cappuccina, ponendosi come espressione visibile e materiale dell'intensa storia che da secoli lega l'Ordine al territorio e alla comunità civile.

3.1.2 Descrizione della struttura di copertura

La struttura lignea di copertura del convento è costituita da una grossa orditura principale a capriate e diagonali e da una grossa orditura secondaria a terzere. Completa la stratigrafia lignea una orditura di terzo ordine a travetti.

Le capriate sono del tipo italiano classico, con monaco e prive di saette. Le unioni legno-legno sono a dente semplice, solidarizzate con chiodi a T.

In corrispondenza della catena sono presenti staffe metalliche a muro chiodate e arpionate con probabile capo-chiave esterno, con funzione di tirante per le murature. Un'ulteriore staffa metallica è stata collocata tra monaco e catena ed occasionalmente tra monaco e puntoni.

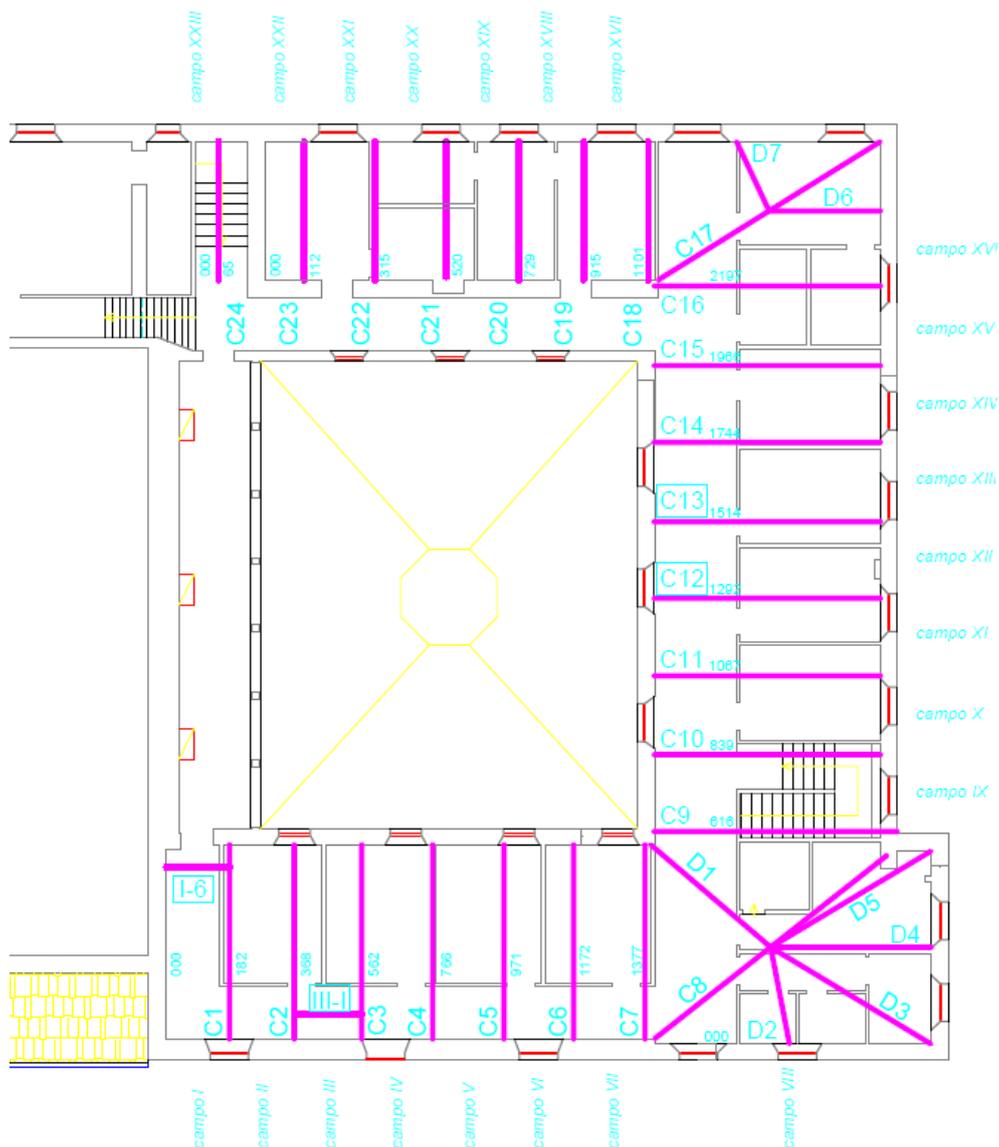


Fig. 3.5 - Planimetria orditura lignea di copertura: capriate e diagonali (Tecno Controlli)

I diagonali sono attestati in corrispondenza delle capriate e collegati con chiodi. Solo alcuni di essi sono sostenuti da un traverso ligneo inchiodato sulla capriata stessa.

Le terzere sono in appoggio sui puntoni delle capriate e disposte attestate o sfalsate.

La maggior parte delle terzere sono state sostituite con elementi di abete (ad uso “Trieste”) continui o interrotti sui puntoni, rinforzati con spessori lignei.

Le sezioni sono variabili, a causa della rastremazione: da 12x12 cm fino a 9x9 cm.

L'interasse è pari a 75 cm circa. Talora le terzere originarie sono state lasciate in opera.

Occasionalmente, sono presenti solo le terzere originarie.

Anche i travetti sono di introduzione successiva, realizzati in abete, con sezione squadrata di dimensioni 7,5x3,5 cm ed interasse pari a 33-34 cm.

Gli assortimenti originali sono stati realizzati con elementi in legno massiccio di pioppo a sezione squadrata, con smussi in genere localizzati su una faccia (mezzi tronchi).

Non tutti gli assortimenti, come ad esempio i monaci, sono costituiti da mezzi tronchi.

Le forme sono talora irregolari.

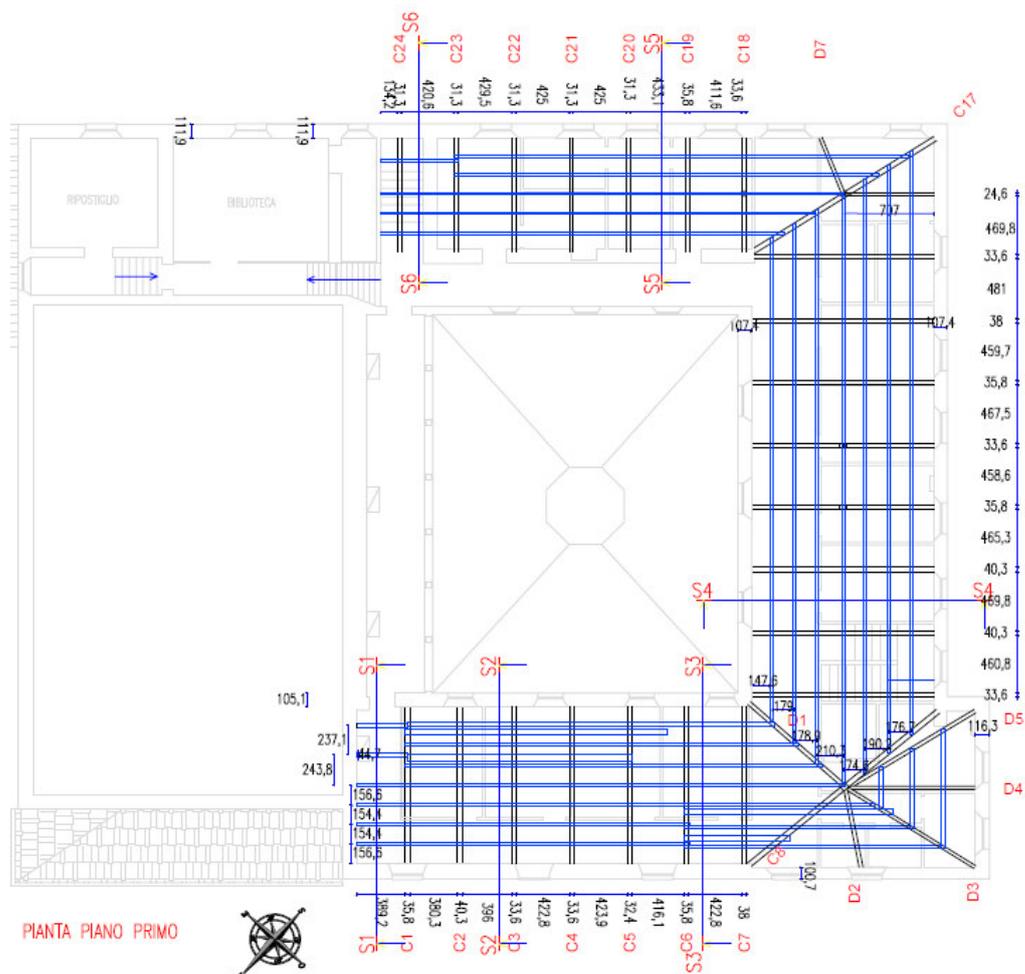


Fig. 3.6 - Planimetria orditura lignea di copertura: terzere (Tecno Controlli)

3.2 L'analisi dello stato di conservazione

3.2.1 I risultati delle indagini svolte

Le indagini diagnostiche sugli elementi strutturali di copertura del corpo di fabbrica del convento sono state condotte dal laboratorio tecnologico “*Tecnocontrolli*” srl di Calderara di Reno, attraverso indagini visive e strumentali.

Esse hanno fornito le seguenti informazioni essenziali.

- *Specie legnosa*

Gli assortimenti utilizzati, come riportato nel paragrafo precedente, sono in legno massiccio di pioppo, spesso ottenuti dalla lavorazione a metà del fusto: per tale motivo, presentano smussi più o meno ampi sulla faccia laterale che mantiene la forma del fusto.

- *Geometria*

Le forme sono talora irregolari a causa dell'accrescimento della pianta che, nel caso delle latifoglie, può procedere in modo non lineare.

- *Resistenza meccanica e difetti*

In relazione alla qualità meccanica, nel complesso si può considerare una categoria II, ad eccezione di alcuni elementi, declassati in categoria III per la presenza di difetti quali nodi, deviazione di fibratura e cipollature.

Oltre a ciò, si segnalano tre elementi non idonei per impieghi strutturali: puntone Dx della capriata C10 ed entrambi i puntoni della capriata C15, in cui il sinistro presenta anche una lesione intradossale. Nel puntone Dx della capriata C10, il nodo che declassa l'elemento è localizzato in prossimità dell'estremità superiore, zona soggetta ad una minore sollecitazione a flessione.

- *Degrado biologico*

Per quanto concerne il degrado biologico, i vari assortimenti presentano un degrado da insetti xilofagi, appartenenti alla famiglia degli Anobidi e dei Cerambicidi, pregresso e localizzato superficialmente, in particolar modo sulla faccia smussata dell'elemento. Il degrado suddetto raggiunge una profondità indicativa di 1-2 cm.

Sono presenti, tuttavia, situazioni in cui il degrado da insetti è associato ad un degrado da carie, assumendo così entità maggiori, come ad esempio in corrispondenza degli appoggi sulle murature (*tacco*). In alcune circostanze, ai fini di un accertamento della sua entità, sono state eseguite prove resistografiche.

Gli elementi di introduzione successiva, realizzati in legno massiccio di abete rosso, risultano nel complesso in buono stato di conservazione e privi di difetti rilevanti.

- *Percentuale di umidità del legno*

L'umidità media stimata è circa 11%, valore ritenuto congruo per strutture collocate in classe d'uso 2, secondo la UNI EN 335-2.

3.2.2 Le principali criticità riscontrate

Sono state inoltre eseguite indagini di dettaglio su due capriate lignee (C12-C13), per le quali l'indagine semplificata aveva evidenziato problematiche piuttosto rilevanti, con manifestazioni di degrado biologico/meccanico o altre caratteristiche tali da peggiorare le prestazioni meccaniche dell'elemento in opera.

In merito alla capriata **C12**, l'indagine visiva ha evidenziato:

- un degrado biologico da insetti in corrispondenza dell'innesto del puntone destro Dx e della catena nella muratura (tacco);
- una forma irregolare in corrispondenza del puntone sinistro Sx e della catena;
- due staffe metalliche a muro chiodate e arpionate alla catena lignea;
- una staffa metallica ad "U" fra monaco e catena;
- un lieve "fuori piombo" della capriata.

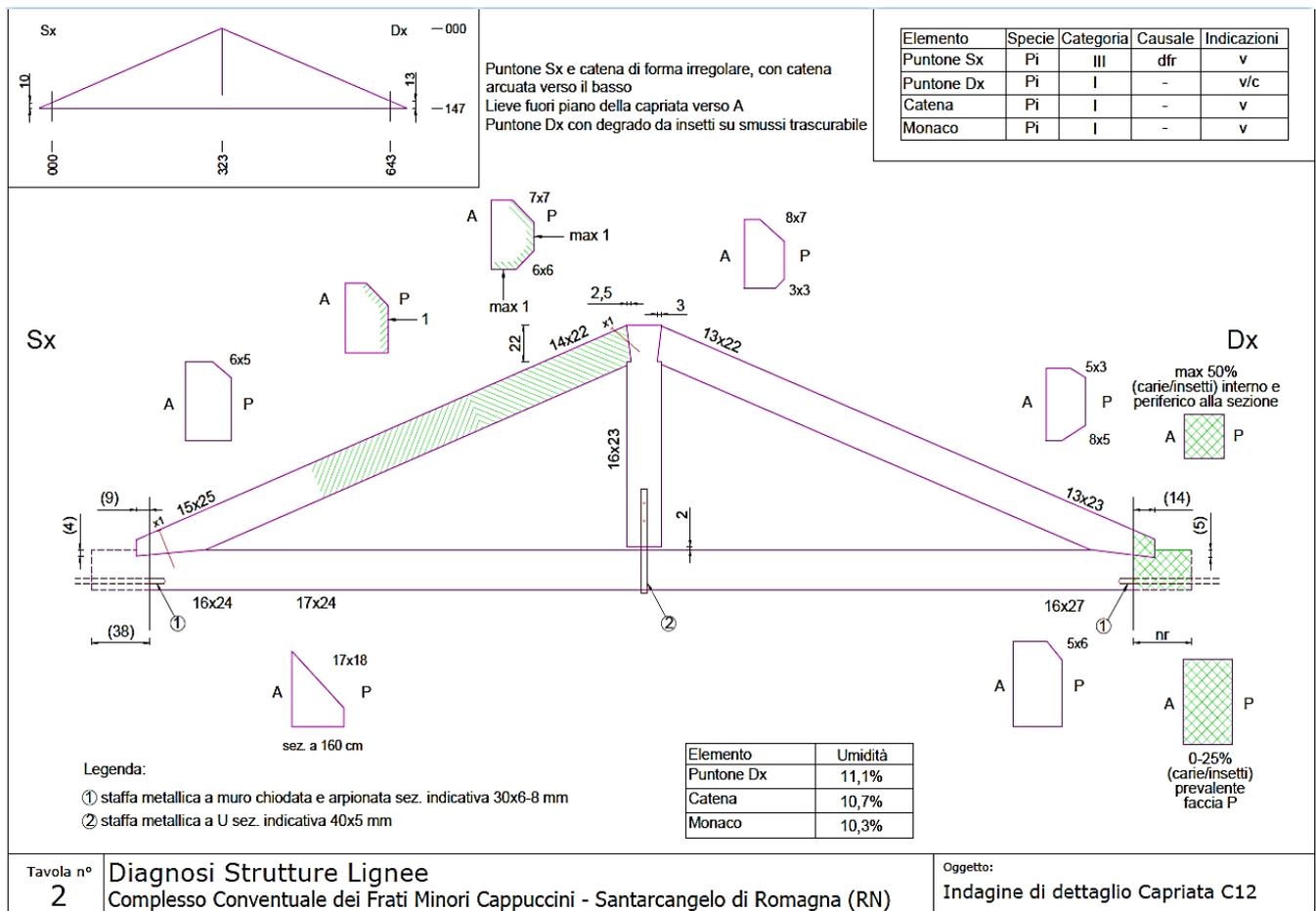


Fig. 3.7 - Dettaglio capriata C12 (redatto da Tecno Controlli)

In merito alla capriata **C13**, essa è stata ritenuta unità strutturale priva di difetti e di degrado biologico/meccanico di entità rilevante ai fini strutturali. Si sono rilevate e segnalate le seguenti informazioni:

- entrambi i puntone di forma irregolare;
- leggero degrado da insetti in corrispondenza degli smussi della catena e del puntone sinistro Sx;
- due staffe metalliche a muro chiodate e arpionate alla catena lignea;
- una staffa metallica ad “U” fra monaco e catena.

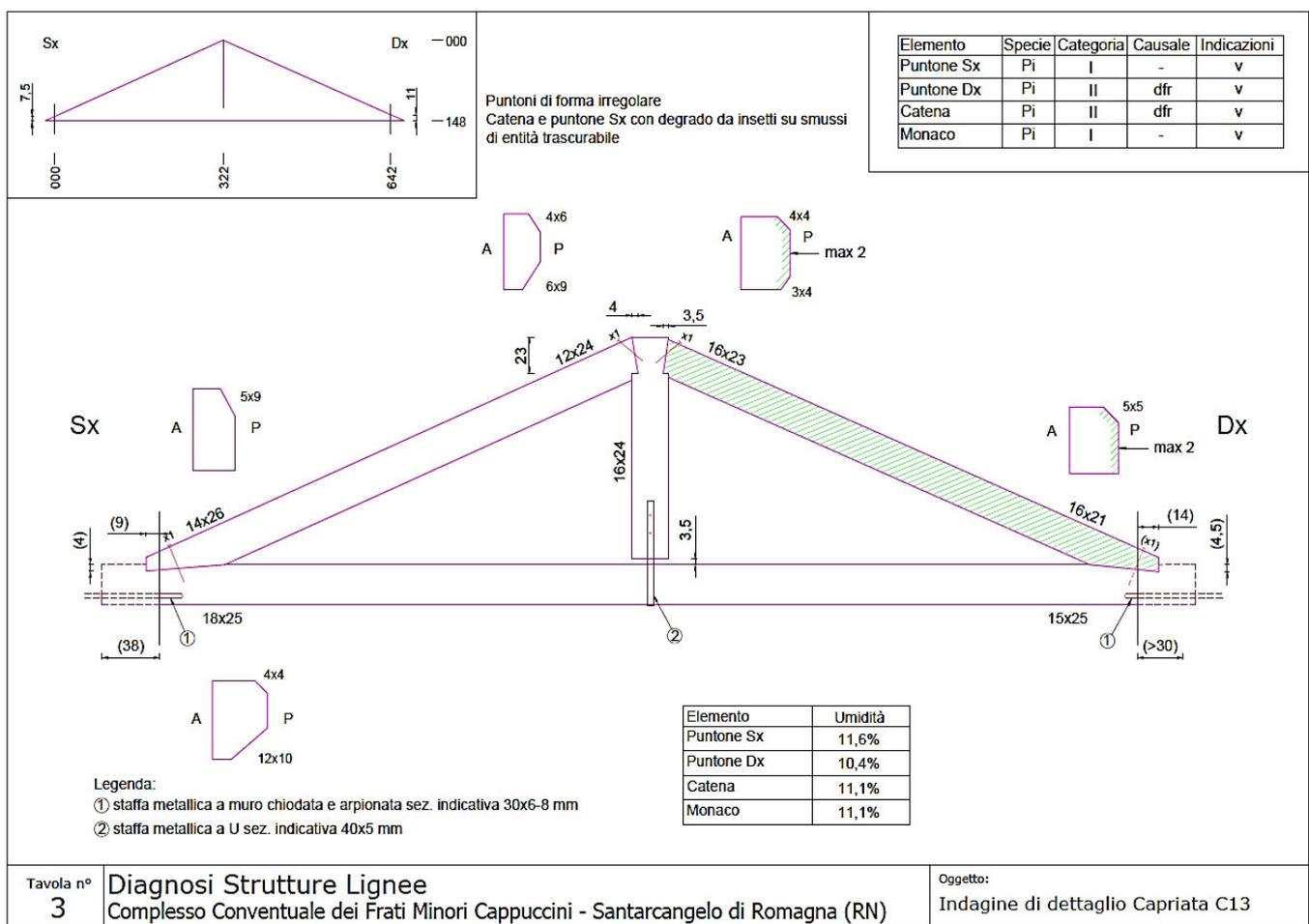


Fig. 3.8 - Dettaglio capriata C13 (redatto da Tecno Controlli)

3.3 Le esigenze specifiche del nostro caso-studio

3.3.1 Le istanze relative alla tutela del bene

Nel caso specifico, molto frequente in Italia, in cui si intervenga su un edificio storico che presenta un valore artistico e testimoniale, occorre attenersi alle disposizioni contenute nel Decreto Legislativo n. 42 del 22 gennaio 2004: “*Codice dei beni culturali e del paesaggio*”: esso descrive nel dettaglio quali sono gli interventi ammessi e le norme da rispettare nel redigere il progetto di recupero.

Anzitutto, la normativa definisce cosa si intende per bene culturale.

Il *patrimonio culturale* è costituito dai beni culturali (immobili e mobili) e dai beni paesaggistici (afferenti al territorio) che presentano un interesse artistico, storico, archeologico ed etnoantropologico. (*Art. 2*)

Sono inoltre considerati *beni culturali* anche le cose immobili e mobili, a chiunque appartenenti, che rivestono un interesse particolarmente importante a causa del loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte e della cultura in genere, ovvero quali testimonianze dell'identità e della storia delle istituzioni pubbliche, collettive o religiose. (*Art. 10*)

Inoltre, descrive le attività che possono interessare i beni culturali.

La *tutela* consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale, per garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione. (*Art. 3*)

La *valorizzazione* consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale, per assicurarne le migliori condizioni di utilizzo e di fruizione pubblica. (*Art. 6*)

Per quanto riguarda gli interventi, i beni culturali non possono essere distrutti, danneggiati o adibiti ad usi non compatibili con il loro carattere storico o artistico oppure tali da recare pregiudizio alla loro conservazione. (*Art. 20*)

L'esecuzione di opere e lavori di qualunque genere sui beni culturali è subordinata ad autorizzazione del progetto da parte del soprintendente. (*Art. 21*)

Egli può esprimere parere favorevole, introdurre prescrizioni, richiedere integrazioni o decretare il diniego degli interventi previsti in progetto. Egli può, inoltre, ordinare la sospensione di interventi già avviati senza autorizzazione o in difformità da essa.

Infine, la norma descrive le modalità con cui si esplica la conservazione del bene.

La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.

Per *prevenzione* si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.

Per *manutenzione* si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti.

Per *restauro* si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali. (*Art. 29*)

Tutti gli enti pubblici territoriali, nonché i proprietari privati, possessori o detentori di beni culturali, sono tenuti a garantirne la conservazione. (*Art. 30*)

In sintesi, dunque, la conservazione del bene è un'esigenza imprescindibile che riguarda sia i proprietari che i fruitori, al fine di preservarne le caratteristiche storiche e artistiche, valorizzandone al meglio le potenzialità culturali e testimoniali.

3.3.2 Le istanze relative al rischio sismico

Per quanto riguarda gli aspetti relativi al rischio sismico, da valutare negli interventi di recupero, occorre riferirsi al D.P.C.M. 9 febbraio 2011: “*Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle NTC 2018*”.

La Direttiva è stata redatta con l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale. La finalità è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione, garantite dall'intervento di miglioramento sismico.

Per la conservazione in condizioni di sicurezza del patrimonio culturale nei riguardi dell'azione sismica, è necessario disporre di strumenti di analisi in grado di permettere le analisi di vulnerabilità e la valutazione del rischio del patrimonio culturale, nonché la progettazione degli interventi di miglioramento sismico. (§ 1.1)

La prima operazione consiste nel *monitoraggio* dello stato di conservazione dei beni architettonici tutelati, attraverso la costruzione di una banca dati a scala territoriale, sulla base della quale pianificare gli interventi successivi.

Per i beni culturali tutelati sono previsti solamente interventi locali di *riparazione* ed interventi di *miglioramento sismico* (che consentono all'edificio di conseguire un grado di sicurezza maggiore di quello attuale, con un livello di protezione sismica non necessariamente uguale a quello previsto per l'adeguamento delle costruzioni). In entrambi i casi, è richiesta una valutazione della *sicurezza* complessiva della struttura, al fine di certificare che non vengano diminuite le condizioni di sicurezza preesistenti.

L'esigenza principale è quella di conservare il comportamento originario della struttura e la sua risposta alle azioni sismiche. Invece nel caso in cui l'intervento modificasse sostanzialmente il comportamento accertato, questo può essere ritenuto accettabile solo in presenza di situazioni particolari: ad esempio, nel caso del restauro conservativo o della reintegrazione di consistenti parti lacunose o instabili, il cui mantenimento in sito sia unicamente reso possibile dall'inserimento di presidi che determinano modifiche

significative del comportamento strutturale complessivo della fabbrica; oppure ancora nel caso della ricostruzione di porzioni edilizie scomparse, che pongono particolari problemi di raccordo strutturale fra preesistenza e nuovo inserimento.

In questa Direttiva viene proposto un percorso di conoscenza, analisi sismica e progetto degli interventi, che considera:

- le esigenze di conservazione del bene;
- la volontà di preservare il manufatto dai danni sismici;
- i requisiti di sicurezza in relazione alla fruizione del bene ed alla funzione svolta.

Il problema di conciliare sicurezza e conservazione assume importanti implicazioni anche in termini di responsabilità dei diversi soggetti coinvolti nella progettazione ed esecuzione dell'opera. Spesso è opportuno accettare consapevolmente un livello di rischio sismico più elevato rispetto a quello delle strutture ordinarie, piuttosto che intervenire in modo contrario ai criteri di conservazione del patrimonio culturale. (§ 2.2)

Il percorso della conoscenza previa del manufatto si articola nelle fasi seguenti:

- Identificazione dell'organismo edilizio e sua collocazione sul territorio.
- Descrizione del complesso architettonico e dei corpi di fabbrica che lo costituiscono.
- Caratterizzazione ed evoluzione funzionale dell'edificio e dei suoi spazi.
- Rilievo geometrico strutturale dell'organismo edilizio e degli elementi costruttivi.
- Analisi storica degli eventi che hanno interessato il fabbricato e degli interventi subiti nel tempo.
- Rilievo materico costruttivo e stato di conservazione dei materiali e degli elementi.
- Caratterizzazione meccanica dei materiali (deformabilità e resistenza) con tecniche diagnostiche non distruttive di tipo indiretto oppure per analogia con strutture simili.
- Caratterizzazione geotecnica del terreno e conoscenza del sistema di fondazione.
- Monitoraggio e controllo periodico della costruzione. (§ 4.1)

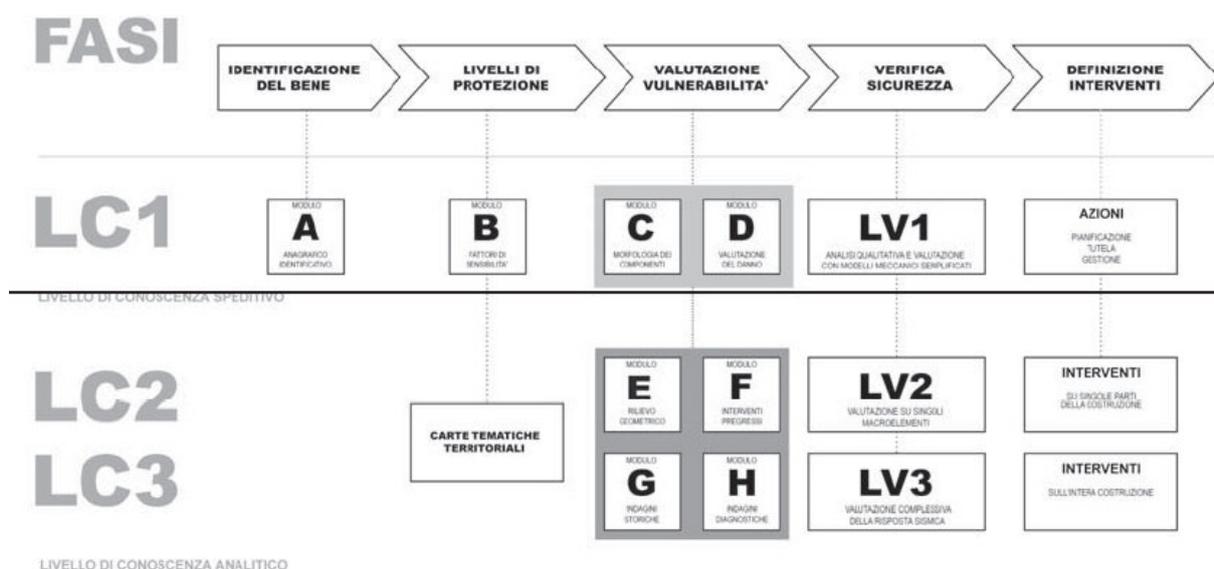


Fig. 3.9 - Livello di conoscenza del bene (vedi DPCM 09/02/2011, Allegato A, Parte I)

La norma indica le strategie per la *scelta ottimale dell'intervento* di miglioramento. Gli interventi sulle strutture, volti a ridurre la vulnerabilità sismica, sono da valutarsi nel quadro generale della conservazione della costruzione. La scelta della strategia e della tecnica d'intervento, nonché l'urgenza di attuarlo, dipendono dai risultati della precedente fase di valutazione. L'obiettivo principale resta sempre la conservazione non solo della materia ma anche del funzionamento strutturale accertato, qualora questo non presenti carenze tali da poter comportare la perdita del bene. In questo senso dovranno essere valutati anche gli aspetti legati agli interventi per l'esecuzione di opere impiantistiche, per ciò che attiene l'impostazione progettuale, privilegiando l'adozione di soluzioni che limitino o escludano l'inserimento di impianti negli elementi strutturali. Gli interventi devono essere in genere rivolti a singole parti del manufatto, contenendone il più possibile l'estensione ed il numero, evitando di alterare in modo significativo l'originale distribuzione delle rigidità negli elementi. L'esecuzione degli interventi su porzioni limitate dell'edificio va comunque valutata e giustificata nel quadro di una indispensabile visione d'insieme.

In via generale devono essere evitate tutte le opere di demolizione-sostituzione e di demolizione-ricostruzione, operando con interventi che si integrino con la struttura esistente senza trasformarla radicalmente. In situazioni di emergenza si può derogare da questa condizione, adottando tuttavia soluzioni provvisorie tali da produrre minime alterazioni permanenti.

In particolare, l'intervento dovrà essere proporzionato agli obiettivi di sicurezza e durabilità, contenendo gli interventi in modo tale da produrre il minimo impatto sul manufatto storico; è opportuno ricordare che la semplice manutenzione può spesso evitare interventi fortemente trasformativi.

La scelta delle tecniche d'intervento sarà valutata caso per caso, dando la preferenza a quelle meno invasive e maggiormente compatibili con i criteri della conservazione, tenendo conto dei requisiti di sicurezza e durabilità. Dovranno essere privilegiati gli interventi in grado di trasformare in modo non permanente l'edificio ed i nuovi materiali, risultanti dall'innovazione tecnologica, dovranno essere valutati alla luce dei criteri di compatibilità e durabilità nel tempo, in relazione alla materia storica.

Gli interventi dovranno, per quanto possibile, rispettare la concezione e le tecniche originarie della struttura, nonché le trasformazioni significative avvenute nel corso della storia del manufatto. Da questo punto di vista gli elementi strutturali danneggiati, quando possibile, devono essere riparati piuttosto che sostituiti e le deformazioni ed alterazioni, costituendo una testimonianza del passato, dovrebbero essere mantenute, eventualmente adottando misure atte a limitarne gli effetti negativi sulla sicurezza.

Particolare attenzione deve essere posta anche alla fase esecutiva degli interventi per assicurare la reale efficacia degli stessi ed evitare dissesti che comportino il peggioramento delle caratteristiche della muratura o del funzionamento degli elementi costruttivi. Per quanto possibile, è opportuno che gli interventi proposti siano controllabili in corso d'opera. Il progetto di ogni intervento deve comprendere anche un'accurata descrizione delle fasi esecutive; nel corso dei lavori deve essere prodotta una documentazione delle opere effettivamente eseguite. (§ 6.1)

Per quanto riguarda gli *interventi in copertura*, la norma riporta quanto segue:

In linea generale è opportuno il mantenimento dei tetti in 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.

In generale, vanno il più possibile sviluppati i collegamenti e le connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto, ricercando le configurazioni e le tecniche compatibili con le diverse culture costruttive locali. Oltre al

collegamento con capochiave metallico, che impedisce la traslazione, si possono realizzare cordoli-tiranti in legno o in metallo opportunamente connessi sia alle murature sia alle orditure in legno del tetto (cuffie metalliche), a formare al tempo stesso un elemento di connessione sul bordo superiore delle murature ed un elemento di ripartizione dei carichi concentrati delle orditure del tetto. Vanno in generale evitati i cordoli in cemento armato di elevato spessore, per la diversa rigidità che essi introducono nel sistema e per l'impatto che producono. Essi possono essere utilizzati solo quando non alterino la situazione statica della muratura e ne sia dimostrata chiaramente l'efficacia.

Ove i tetti presentino orditure spingenti, come nel caso di puntoni inclinati privi di semicatene in piano, la spinta deve essere compensata.

Nel caso delle capriate, deve essere presente un buon collegamento nei nodi, necessario ad evitare scorrimenti e distacchi in presenza di azioni orizzontali. Questo può essere migliorato con piastre e barre metalliche o con altri materiali (ad esempio fibrorinforzati).

Possono essere introdotte forme di parziale irrigidimento delle falde, ad esempio per mezzo di tavolati sovrapposti e incrociati a quelli esistenti, con opportuni collegamenti ai bordi della muratura, o tramite controventi posti all'intradosso, realizzati con semplici catene metalliche. (§ 6.3.5)

3.3.3 Le istanze della committenza

In genere, la richiesta più frequente da parte della committenza, sia pubblica che privata, è il rispetto dei *costi* previsti in sede progettuale: occorre poi fare in modo che i costi sostenuti non aumentino nella fase esecutiva. Di norma, si prevede un margine di aumento di circa il 10% dovuto a cause impreviste e varianti in corso d'opera.

Altrettanto importante risulta la stima accurata dei *tempi* previsti per la conclusione delle lavorazioni: l'aumento della tempistica comporta un relativo e conseguente aumento dei costi (manodopera, noli delle attrezzature, occupazione di suolo pubblico, etc.).

Inoltre, come già detto in precedenza, l'allungamento dei tempi implica il conseguente aumento di probabilità di infortuni sul lavoro.

A volte, possono presentarsi ulteriori *vincoli* dettati dalla possibilità di poter usufruire di finanziamenti pubblici o privati, solamente nel rispetto di alcune clausole contrattuali specifiche o di determinate scadenze temporali.

Inoltre, quando si interviene su un edificio destinato alla collettività (scuole, biblioteche) le operazioni di intervento sul corpo di fabbrica possono spesso comportare disagi agli utenti ed ai fruitori, nonché l'interruzione dei servizi pubblici erogati.

Nel caso degli edifici religiosi, a tutto questo si sommano le esigenze proprie della vita comunitaria e la conseguente necessità di sospendere le funzioni liturgiche per un certo periodo di tempo. Inoltre, la comunità che abita quel luogo deve essere trasferita altrove fino al termine delle lavorazioni previste all'interno degli spazi comunitari.

Tutte queste esigenze richiedono un grande sforzo di concertazione e di sinergia fra i vari soggetti in gioco (committenza, progettisti, imprese), oltre ad una gestione attenta e coordinata delle tempistiche, in modo da evitare interferenze fra le lavorazioni e da arrecare il minor disagio possibile ai proprietari e/o ai fruitori del bene.

3.4 Gli aspetti operativi della cantierizzazione

Il cantiere del recupero edilizio è spesso caratterizzato da una maggiore complessità a causa della necessità di progettare il processo produttivo tenendo conto dei vincoli dati dalle preesistenze spaziali e tecnologiche. Questo si traduce anche in una maggiore difficoltà nella progettazione della sicurezza a causa dei rischi ulteriori che derivano al cantiere dalle preesistenze e dalla difficoltà di standardizzare le operazioni.

3.4.1 La sicurezza nel cantiere del recupero

In questo contesto, la progettazione della sicurezza in cantiere può assumere aspetti estremamente critici e difficilmente ottimizzabili in relazione ai parametri standard che possono essere applicati per le consuete soluzioni tecniche.

La progettazione della sicurezza del cantiere si basa sull'analisi dei pericoli e sulla valutazione del rischio per le fasi costruttive. Si tratta di una attività la cui complessità aumenta anche con la complessità dell'opera, in termini di fasi di lavoro e loro coordinamento.

Gli strumenti per il progetto della sicurezza del cantiere hanno quindi come requisito fondamentale quello di facilitare la comprensione da parte del progettista dei rischi presenti nelle fasi di lavoro.

In particolare, i campi sui quali è necessaria un'accurata progettazione della sicurezza dei lavoratori in cantiere sono:

- il progetto del cantiere con particolare approfondimento delle opere provvisorie necessarie;
- la pianificazione delle attività ed il loro coordinamento, con la corretta sequenza e compresenza di attività, in modo da evitare interferenze;
- la comunicazione con il personale operativo, al fine di garantire la corretta informazione sui rischi presenti in cantiere e le conseguenti misure preventive da applicare, per favorire l'adozione di comportamenti sicuri.

3.4.2 Il progetto del recupero

Il progetto di recupero del nostro caso-studio, relativo al complesso conventuale di Santarcangelo di Romagna, ha analizzato e previsto il consolidamento della struttura lignea di copertura del corpo di fabbrica del convento.

Gli interventi principali previsti in progetto sono consistiti in:

- consolidamento degli appoggi (*tacchi*) ammalorati delle capriate sulle murature, mediante tavoloni in legno (*fettoni*) a doppia sezione di taglio;
- consolidamento di alcune capriate ammalorate, mediante il rinforzo con profili metallici;
- rinforzo di alcune travi lignee della copertura (*terzere*) mediante aumento della sezione resistente con inserimento di elementi in legno duro;
- rimozione del pesante controsoffitto in camera a canne presente al piano primo, in modo da consentire le lavorazioni di rinforzo all'intradosso della copertura; terminato il consolidamento, è stato posato un nuovo controsoffitto autoportante non ancorato alla copertura e dimensionato dalla ditta produttrice.

Altri interventi minori hanno riguardato:

- rinforzo localizzato delle murature al piano primo con tecnologia FRCM (*Fiber Reinforced Cementitious Matrix*), mediante intonaco a basso spessore rinforzato con tessuto bidirezionale in fibra di basalto;
- ripristino della guaina in copertura e successiva installazione di un impianto fotovoltaico sul tetto piano del corpo di fabbrica del *Forum franciscanum*.

Preso atto del buono stato di conservazione del manto di copertura e dell'assenza di infiltrazioni piovane al suo interno, si è deciso di effettuare gli interventi di rinforzo all'intradosso del coperto, ovvero dall'interno.

Viceversa, la scelta di intervenire all'estradosso avrebbe comportato la necessità di installare un'estesa ed articolata opera provvisoria di protezione della copertura dalle intemperie, essendosi svolte le lavorazioni nel pieno periodo invernale. Inoltre, sarebbe stato necessario rimuovere con estrema cautela il manto di copertura in coppi (insieme all'assito ligneo sottostante), eliminare e sostituire gli elementi degradati, conservare e

rimettere in opera quelli ben conservati, con il rischio di alterare in modo significativo l'aspetto esteriore dei prospetti dell'edificio conventuale.

In conclusione, la scelta progettuale ed operativa di intervenire solamente all'intradosso della copertura ha comportato un risparmio significativo in termini di spesa e di tempi di realizzazione, oltre ad avere garantito la tutela del bene e la conservazione del manto di copertura esistente.

3.4.3 Le fasi operative della cantierizzazione

Nel caso specifico del convento di Santarcangelo di Romagna, le varie operazioni di cantierizzazione si sono articolate nelle fasi seguenti.

- *Individuazione dell'area*

Il progetto di recupero ha riguardato principalmente la struttura lignea di copertura del corpo di fabbrica del convento, quindi ha interessato solamente il primo piano e il sottotetto dell'edificio conventuale. Pertanto, l'area di intervento è stata circoscritta all'interno del muro di cinta del convento stesso.



Fig. 3.10 - Perimetro esterno del complesso conventuale (tratto da Google Earth)

- *Accessibilità del cantiere e viabilità*

Le aree oggetto di intervento non sono adiacenti alla sede stradale; l'interferenza con la viabilità si presenta solo durante le fasi di ingresso e di uscita dalla proprietà privata.

L'unica via di accesso al cantiere è costituita dalla ripida salita in acciottolato che conduce al piazzale antistante la chiesa e al portone di ingresso carrabile del convento. L'intero complesso conventuale risulta circondato dal muro di cinta, che racchiude gli orti e i terreni adiacenti; esso ha impedito di aprire altri varchi di accesso al cantiere. Non sarà realizzata una viabilità interna al cantiere: i mezzi di lavoro giungeranno procedendo a passo d'uomo e saranno posizionati per la sosta in zone non interferenti con le lavorazioni.



Fig. 3.11 - Strada di accesso al complesso conventuale e al cantiere (tratto da Google Earth)

- Delimitazione aree di cantiere

La sicurezza del cantiere si basa sul principio di separare fisicamente e in modo efficace la zona di attività lavorativa dall'esterno.

A questo riguardo, sono state previste aree specifiche di cantiere:

- 1) area di lavorazione debitamente delimitata;
- 2) area di accesso dei mezzi per carico e scarico materiali;
- 3) area dei servizi di cantiere in posizione limitrofa alle aree di intervento.

Tutte le aree suddette sono state delimitate con rete metallica $h=2,00$ m innestata su basi in calcestruzzo, come esplicitato anche nel layout di cantiere.

- *Baraccamenti*

La committenza ha messo a disposizione dei lavoratori un servizio igienico e una stanza da utilizzare come ufficio di cantiere: pertanto, in questo caso non è stato necessario utilizzare box prefabbricati o altri baraccamenti.

- *Zone di carico e scarico*

Le zone di carico e scarico sono state posizionate in prossimità delle zone di stoccaggio dei materiali, per ridurre i tempi di movimentazione dei carichi tramite i mezzi di sollevamento e il passaggio degli stessi su postazioni di lavoro fisse.

- *Deposito attrezzature e stoccaggio materiali*

Le zone di deposito delle attrezzature di lavoro sono state posizionate in prossimità degli accessi dei lavoratori e in maniera tale da non interferire con le lavorazioni presenti.

Le zone di stoccaggio dei materiali sono state identificate e organizzate tenendo conto della viabilità generale e della loro accessibilità.

Lo stoccaggio dei materiali, delle attrezzature e dei semilavorati è stato effettuato al di fuori delle vie di transito, in modo razionale e tale da non creare ostacoli.

- *Gru e macchinari*

Essendo previste esclusivamente lavorazioni interne all'edificio conventuale e non essendo necessario sollevare elementi lignei o profili metallici di grandi dimensioni e di peso considerevole, non è stata installata alcuna gru in cantiere.

Per il sollevamento dei materiali e degli attrezzi al piano di lavoro è stato utilizzato un argano a bandiera. Per il resto, la movimentazione dei materiali e degli elementi è avvenuta mediante sollevamento e trasporto manuale.

- *Ponteggi ed opere provvisionali*

Trattandosi di opere interne al convento e non essendo previsti interventi all'estradosso della copertura, non sono stati montati ponteggi esterni.

Per le lavorazioni ad altezze superiori ai 2 metri, sono stati utilizzati ponteggi mobili su ruote (*trabattelli*); per le altre lavorazioni si sono montati ponti su cavalletti, impostati sul pavimento del piano primo dell'edificio conventuale.

- *Allacciamenti alle reti impiantistiche*

Per l'approvvigionamento di acqua necessaria per le lavorazioni, si è fatta richiesta di allaccio idrico di cantiere agli enti competenti.

Invece, per le acque reflue si è utilizzata la rete fognaria interna del convento.

Per quanto riguarda l'utilizzo della corrente elettrica, è stato necessario installare un quadro elettrico di cantiere e richiedere un aumento della potenza elettrica erogata, oltre a prevedere l'impianto di messa a terra e di protezione dalle scariche atmosferiche.

L'approvvigionamento del gas non è stato necessario.

- *Occupazione di suolo pubblico*

Dato che tutti i macchinari e le attrezzature sono stati posizionati all'interno del muro di cinta del convento, non si sono realizzati ponteggi esterni e non si sono adibite aree di stoccaggio materiali all'esterno del perimetro del complesso conventuale, non si è reso necessario richiedere l'occupazione temporanea di suolo pubblico agli enti di polizia locale.

- *Titoli abilitativi*

Il progetto di recupero è stato autorizzato con titolo edilizio depositato presso il Comune di Santarcangelo di Romagna, relativamente ai contenuti architettonici ed urbanistici. Analogamente, è stato effettuato il deposito del progetto esecutivo strutturale presso gli enti territorialmente competenti in materia sismica.

- *Autorizzazione della Soprintendenza*

In fase progettuale era già stato ottenuto il preventivo parere di "*Nulla Osta*" da parte della Soprintendenza territorialmente competente: esso era stato rilasciato senza riserve o prescrizioni riguardanti gli aspetti operativi ed organizzativi del cantiere.

- *Layout di cantiere*

Infine, si riporta lo schema planimetrico complessivo relativo al layout di cantiere.



Fig. 3.13 - Layout di cantiere (Ing. Giorgia Simonetti - Studio IMS)

4. IL PROGETTO DEL RECUPERO

4.1 La scelta delle tecniche di intervento

Per le considerazioni che seguono, d'ora in avanti si farà riferimento ad una capriata lignea tipo (ovvero la capriata "C12" del progetto esecutivo), rilevata geometricamente e matericamente in fase di indagine, interessata da un avanzato stadio di ammaloramento del nodo puntone-catena in corrispondenza dell'appoggio sulla muratura (*tacco*).

Per il recupero ed il rinforzo della capriata suddetta, vengono prese in considerazione e confrontate tra loro diverse tecniche di intervento, alternative e già descritte in dettaglio nel capitolo 2:

- A. Rimozione e sostituzione dell'intera capriata
- B. Rinforzo tramite affiancamento di tavole in legno (*fettoni*) su ambo i lati
- C. Rinforzo tramite inserimento di nuove protesi in legno (*incalmi*)
- D. Rinforzo tramite affiancamento di profili metallici resi solidali all'elemento ligneo

La sostituzione totale della capriata lignea (caso A) non viene preso in esame in questa tesi, in quanto la capriata in oggetto non versa in condizioni così gravi da giustificare la necessità della sua totale sostituzione; inoltre, tale lavorazione non è paragonabile alle altre 3 ipotesi alternative, per estensione temporale delle lavorazioni e per impegno economico necessario.

Lo studio viene, quindi, condotto in parallelo solamente per i casi B, C, D suddetti e analoghi tra loro.

Innanzitutto, per ciascuno di essi si compila la relativa scheda di procedura operativa, desunta per analogia dall'esperienza di cantieri già conclusi per lavorazioni analoghe.

4.1.1 Le schede di procedimento

Si tratta di schede nelle quali sono contenute e descritte analiticamente tutte le caratteristiche operative, relative al procedimento in oggetto.

Esse consentono di:

- individuare la sequenza operativa degli avvenimenti che concorrono allo svolgimento del procedimento;
- analizzare gli eventi fabbricativi ed il procedimento nel suo complesso, in rapporto ai tempi e alle procedure di esecuzione;
- fissare la produzione unitaria ed il corrispondente tempo unitario di produzione;
- indicare, con riferimento al metodo prescelto, i materiali e le attrezzature occorrenti;
- stabilire la composizione della squadra da adibire alla esecuzione e i carichi di lavoro da assegnare ai singoli operatori.

Nella scheda, oltre alla sigla e alla denominazione del procedimento, vengono riportati cronologicamente tutti gli eventi che lo compongono e successivamente descritte, attraverso un prospetto dettagliato, le circostanze esecutive riferibili a ciascuno di essi. La compilazione della scheda può avvenire tramite rilevamenti diretti, cronometrando i tempi di esecuzione in cantiere per ogni giornata di lavoro, oppure per via deduttiva, come nel nostro caso, proponendo una modalità operativa e fissando i tempi a priori.

Nel caso di lavorazioni usuali, la scheda può essere compilata sulla scorta di precedenti ed analoghe esperienze aziendali o settoriali, procedendo in questo modo:

- Si riportano e si descrivono le *modalità* operative che contraddistinguono il procedimento, così come si presume debba realmente svolgersi.
- Da questa analisi logica si ricava la successione *cronologica* degli eventi e la delimitazione temporale di ciascun evento, inteso come successione di atti che determinano un incremento del processo produttivo analizzato.
- Si stabilisce l'entità della *produzione unitaria*, giornaliera, tenuto conto della efficienza del metodo proposto e delle oggettive condizioni ambientali di lavoro.
- Si individuano il numero e le qualifiche degli *addetti*, nonché il ruolo assunto da ciascuno di essi nello svolgimento delle lavorazioni.
- Si propongono le *attrezzature* da impiegare e si specificano i *materiali* necessari con le relative quantità, indicando quelle occorrenti per la produzione unitaria, essendo la scheda riferita ad una giornata di otto ore lavorative.
- Si ricava il *tempo unitario*, cioè necessario per la realizzazione di una unità di prodotto; quindi si ripartisce il tempo assegnandolo ai singoli eventi e lo si

rappresenta con tratti orizzontali, indicando il numero distintivo di ciascun addetto, in modo da ottenere una rappresentazione grafica che mostri anche la ripartizione dei compiti nell'ambito della squadra di lavoro.

- Si inseriscono nella scheda eventuali ulteriori *osservazioni* a maggiore chiarimento delle modalità attraverso cui si svolge il procedimento.

In questo modo è possibile giungere alla completa e definitiva indicazione di ogni caratteristica del procedimento esecutivo, realizzato con il metodo che si è scelto.

Nel nostro caso, si sono presi in considerazione i 3 metodi operativi sopra descritti e si sono redatte le relative schede di procedimento; questo ha permesso di confrontare tra loro i vari metodi, in funzione della loro efficienza tecnologica o economica: lo scopo è quello di individuare il metodo che presenta un indice di produttività più elevato.

Se un metodo, a parità di tempo, prevede un costo unitario maggiore di un altro, è evidentemente da preferire la lavorazione più economica; analogamente, se a fronte di una maggiore economicità si richiede un tempo maggiore per la produzione, occorrerà decidere, in base a considerazioni di convenienza d'impresa, quale soluzione adottare all'atto esecutivo.

Una volta individuato il metodo più efficiente attraverso la sistematica azione del raffronto con gli altri, è necessario infine, anche per i suggerimenti che possono derivare da tale confronto, procedere ad un ulteriore e definitivo perfezionamento del metodo prescelto.

Pertanto, la compilazione delle schede di procedimento fabbricativo costituisce non solo il mezzo per esprimere le ipotesi formulate, ma soprattutto lo strumento fondamentale di ricerca delle migliori condizioni per intraprendere i lavori.

A questo scopo, si allegano le schede di procedimento redatte in merito alle 3 tecniche alternative di intervento ipotizzate in precedenza.

SIGLA	PROCEDIMENTO	PRODUZ. UNITARIA	COMPOSIZIONE SQUADRA								
B	Rinforzo tramite tavole in legno (fettoni)	TEMPO UNITARIO	Operaio qualificato: Q Operaio semplice (manovale): M								
SIGLE EVENTI	DESCRIZIONE EVENTI	TEMPO ASSEGNATO	ORE LAVORATIVE								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
B.1	Puntellamento della trave ammalorata in prossimità degli appoggi sulla muratura	1 h	Q M								
B.2	Scasso della muratura ai lati della testa della trave per inserimento nuove tavole	1 h		Q M							
B.3	Pulizia accurata della parte degradata e trattamento con prodotti biocidi	1 h			Q M						
B.4	Accostamento di nuove tavole lignee e relativo fissaggio alla trave esistente	6 h	Q M			Q M	Q M	Q M	Q M	Q M	Q M
B.5	Eventuale esecuzione di perforazioni inclinate ortogonali alla trave	3 h		Q M	Q M	Q M					
B.6	Inserimento nei perfori di barre in acciaio/vetroresina e fissaggio con resine epossid.	2 h					Q M	Q M			
B.7	Pulizia finale e sgombero materiali in zona di stoccaggio	2 h								Q M	Q M
	MATERIALI		OSSERVAZIONI								
	Legno-Acciaio-Malta-Resina										
	ATTREZZATURE DA LAVORO										
	Puntelli-Trapano-Ponteggio Trabattello-Raschietto-Scalpello-Spazzola Flessibile-Chiavi-Avvitatore-Mazzetta Livella-Levigatore										
SCHEDA	RILEVAMENTO	DATA									
2	Indiretto	05.06.2025									

Legenda

Q/M prima giornata lavorativa (8 ore)

Q/M seconda giornata lavorativa (8 ore)

Tempo totale impiegato per eseguire la lavorazione B: **32 h**

SIGLA	PROCEDIMENTO	PRODUZ. UNITARIA	COMPOSIZIONE SQUADRA									
C	Rinforzo tramite protesi in legno (incalmi)	TEMPO UNITARIO	Operaio qualificato: Q Operaio semplice (manovale): M									
SIGLE EVENTI	DESCRIZIONE EVENTI	TEMPO ASSEGNATO	ORE LAVORATIVE									
			1	2	3	4	5	6	7	8		
C.1	Puntellamento della trave ammalorata in prossimità degli appoggi sulla muratura	2 h	Q M	Q M								
C.2	Scasso della muratura ai lati della testa della trave per inserimento nuove protesi	2 h			Q M	Q M						
C.3	Taglio e rimozione della parte ammalorata come previsto dal progetto	2 h					Q M	Q M				
C.4	Pulizia accurata della zona di taglio e trattamento con prodotti biocidi	1 h								Q M		
C.5	Fresatura o foratura della parte sana della trave per inserimento barre	2 h	Q M									Q M
C.6	Eventuale esecuzione di perforazioni inclinate ortogonali alla trave	2 h		Q M	Q M							
C.7	Inserimento nelle perforazioni di barre in acciaio/vetroresina	2 h				Q M	Q M					
C.8	Inserimento e posa in opera delle nuove protesi in legno sano	3 h						Q M	Q M	Q M		
C.9	Fissaggio delle nuove protesi mediante barre e resine epossidiche	2 h	Q M	Q M								
C.10	Pulizia finale e sgombero materiali in zona di stoccaggio	2 h			Q M	Q M						
	MATERIALI		OSSERVAZIONI									
	Legno-Acciaio-Malta-Resina											
	ATTREZZATURE DA LAVORO											
	Puntelli-Trapano-Ponteggio Trabattello-Raschietto-Scalpello-Spazzola Flessibile-Chiavi-Avvitatore-Mazzetta Livella-Levigatore- Sega											
SCHEDA	RILEVAMENTO	DATA										
3	Indiretto	05.06.2025										

Legenda

Q/M prima giornata lavorativa (8 ore)

Q/M seconda giornata lavorativa (8 ore)

Q/M terza giornata lavorativa (4 ore)

Tempo totale impiegato per eseguire la lavorazione C: **40 h**

SIGLA	PROCEDIMENTO	PRODUZ. UNITARIA	COMPOSIZIONE SQUADRA								
D	Rinforzo con inserimento di nuovi profili metallici	TEMPO UNITARIO	Operaio qualificato: Q Operaio semplice (manovale): M Saldatore specializzato: S								
SIGLE EVENTI	DESCRIZIONE EVENTI	TEMPO ASSEGNATO	ORE LAVORATIVE								
			1	2	3	4	5	6	7	8	
D.1	Puntellamento diffuso della trave ammalorata	1 h	Q M								
D.2	Pulizia accurata della parte degradata e trattamento con prodotti biocidi	2 h		Q M	Q M						
D.3	Sollevamento e posa in opera di nuovi profili in acciaio	3 h				Q M Q M	Q M Q M	Q M Q M			
D.4	Posa in opera e saldatura di piastre, piatti, fazzoletti ed altri elementi metallici di rinforzo o collegamento	4 h	M S	M S						M S	M S
D.5	Esecuzione di perforazioni ortogonali alla trave e ai profili metallici	5 h			Q M	Q M	Q M	Q M	Q M	Q M	
D.6	Ancoraggio dei nuovi profili alla trave lignea tramite bullonature e serraggi	6 h	Q M	Q M	Q M	Q M	Q M				Q M
D.7	Pulizia finale e sgombero materiali in zona di stoccaggio	2 h						Q M	Q M		
	MATERIALI		OSSERVAZIONI								
	Legno-Acciaio-Malta-Resina-Antiruggine										
	ATTREZZATURE DA LAVORO										
	Puntelli-Trapano-Ponteggio-Argano Trabattello-Raschietto-Scalpello-Spazzola Flessibile-Chiavi-Avvitatore-Livella- Levigatore- Saldatrice										
SCHEDA	RILEVAMENTO	DATA									
4	Indiretto	05.06.2025									

Legenda

Q/M prima giornata lavorativa (8 ore)

Q/M seconda giornata lavorativa (8 ore)

Q/M terza giornata lavorativa (7 ore)

Tempo totale impiegato per eseguire la lavorazione D: **52 h**

4.2 Gli indicatori chiave di prestazione (KPI)

Definizione degli indicatori KPI

Si definiscono indicatori chiave di prestazione o KPI (*Key Performance Indicator*) i parametri utili a valutare e quantificare il livello prestazionale erogato da un soggetto (azienda, società, impresa, etc.) nello svolgimento delle proprie mansioni riguardo il raggiungimento dei propri obiettivi.

Nel caso specifico del cantiere edile, i KPI misurano in maniera quanto più possibile chiara ed oggettiva alcune caratteristiche peculiari del processo produttivo edilizio che si intende pianificare e/o monitorare nel tempo.

Scelta degli indicatori KPI

Innanzitutto, occorre definire fin da subito quali sono gli *obiettivi* principali del nostro progetto: riduzione dei tempi di consegna, rispetto del budget di spesa, qualità del prodotto, etc. Di conseguenza, i KPI adottati dovranno evidenziare bene queste priorità. Quindi, si procede con l'identificare gli aspetti *critici* del progetto: gestione delle risorse, sicurezza delle lavorazioni, comunicazione, etc. Anche in questo caso, i KPI dovranno mettere in luce gli aspetti suddetti.

Tutti gli elementi che vengono presi in considerazione in fase di scelta dei KPI devono essere facilmente misurabili, basandosi su dati rilevabili, concreti e condivisi, non generici o soggettivi.

Infine, è bene monitorare gli indicatori scelti, in tempo reale o a intervalli regolari, in modo tale da correggere tempestivamente eventuali deviazioni.

Caratteristiche dei singoli indicatori KPI

Sulla base dei criteri di scelta appena richiamati, le principali caratteristiche dei singoli indicatori KPI sono di seguito elencate e descritte.

- Rilevanza: devono essere direttamente correlati agli obiettivi del progetto.
- Misurabilità: devono essere basati su dati oggettivi e quantificabili.
- Tempestività: devono fornire informazioni utili in tempo reale o ad intervalli regolari. Inoltre, essi devono essere aggiornati di frequente per garantire decisioni basate su dati attuali.

- Chiarezza: devono essere facilmente comprensibili da tutti gli operatori in gioco. Indicatori semplici e diretti facilitano la comunicazione e l'interpretazione dei risultati.
- Flessibilità: devono poter essere adattati alle modifiche progettuali, alle varianti in corso d'opera e alle nuove priorità che emergono nel corso dei lavori.
- Comparabilità: devono poter essere confrontati nel tempo fra di loro oppure fra progetti diversi per identificare tendenze e performance.
- Realizzabilità: devono essere realistici, raggiungibili, concretamente realizzabili con le risorse a disposizione.

Relativamente al nostro caso-studio sono stati adottati i seguenti indicatori KPI:

- 1. Rispetto dei costi: KPI (c)
- 2. Rispetto dei tempi: KPI (t)
- 3. Sicurezza sul lavoro: KPI (s)
- 4. Operatività del cantiere: KPI (o)
- 5. Eco-sostenibilità: KPI (e)
- 6. Tutela del bene: KPI (b)

4.2.1 Rispetto dei costi: KPI (c)

Questo indicatore misura quale dispendio di risorse economiche comporta l'esecuzione di una determinata lavorazione, rispetto al budget di spesa preventivato.

La sua corretta valutazione garantisce la sostenibilità economica del progetto; mentre il suo margine di scostamento può indicare problemi nella gestione delle risorse o nella definizione del budget iniziale.

Per ciascuna delle lavorazioni è stato redatto un computo metrico estimativo dettagliato, riportato nell'Allegato finale, che ha permesso di quantificare con precisione le spese previste, relative ai materiali e alla manodopera.

I costi unitari sono stati desunti dal Prezziario della Regione Emilia Romagna 2025, approvato con Deliberazione di Giunta Regionale n. 2342 del 23/12/2024; i nuovi prezzi riportati comprendono le spese generali (pari al 10%) e l'utile d'impresa (pari al 16%). Tutti i prezzi unitari non comprendono l'IVA.

I costi relativi alla sicurezza sono stati computati ed inseriti a parte nel paragrafo 4.2.3. Di seguito sono riportati i costi totali (esclusi gli oneri relativi alla sicurezza) stimati per ciascuna lavorazione:

- Caso B: tavole in legno 2.425,22 €
- Caso C: protesi in legno 2.057,80 €
- Caso D: profili metallici 2.189,93 €

In questo caso, al parametro KPI (c) sono stati assegnati i valori seguenti:

Economicità	Costi previsti	Valore KPI (c)
Bassa	Costi elevati	1
Media	Costi medi	2
Alta	Costi ridotti	3

Infine, si è giunti alla valutazione sintetica comparativa delle lavorazioni:

Tipo di lavorazione	KPI (c)
B: Tavole in legno	1
C: Protesi in legno	3
D: Profili metallici	2

4.2.2 Rispetto dei tempi: KPI (t)

Questo indicatore misura l'intervallo di tempo richiesto per completare una specifica attività lavorativa nei tempi stabiliti. Se il prodotto finale viene consegnato entro le date previste, il progetto è in linea con la pianificazione.

La corretta valutazione dell'indicatore permette una programmazione accurata delle varie attività mentre il suo monitoraggio nel tempo è utile per garantire il rispetto delle scadenze e mantenere alta l'efficienza della produzione.

Dalle schede di procedimento sopra riportate si sono dedotti i tempi totali previsti per il completamento delle lavorazioni suddette:

- Caso B: tavole in legno 32 h
- Caso C: protesi in legno 40 h
- Caso D: profili metallici 52 h

In questo caso, al parametro KPI (t) sono stati assegnati i valori seguenti:

Efficienza produttiva	Tempistica di lavoro	Valore KPI (t)
Bassa	Tempi lunghi	1
Media	Tempi medi	2
Alta	Tempi brevi	3

Infine, si è giunti alla valutazione sintetica comparativa delle lavorazioni:

Tipo di lavorazione	KPI (t)
B: Tavole in legno	3
C: Protesi in legno	2
D: Profili metallici	1

4.2.3 Sicurezza sul lavoro: KPI (s)

Questo indicatore misura i pericoli e il livello di rischio a cui sono sottoposti gli operatori durante lo svolgimento di una specifica attività lavorativa.

La sua corretta valutazione permette di garantire al meglio la sicurezza dei lavoratori; mentre il suo scostamento segnala lo svolgimento non corretto di alcune lavorazioni, un mancato utilizzo dei dispositivi di protezione o un'errata valutazione della sicurezza in fase progettuale.

Dato che tutte le lavorazioni prevedono lo stesso livello di rischio operativo (lavoro in quota con uso di trabattello), la stessa tipologia di macchinari (sega e trapano) e di prodotti utilizzati, per la valutazione della sicurezza si fa riferimento agli oneri calcolati nei computi metrici allegati nelle pagine finali di questa tesi.

Di seguito, quindi, si sono riportati gli oneri relativi alla sicurezza, stimati per ciascuna lavorazione alternativa:

- Caso B: tavole in legno 156,59 €
- Caso C: protesi in legno 364,88 €
- Caso D: profili metallici 156,59 €

In questo caso, al parametro KPI (s) sono stati assegnati i valori seguenti:

Sicurezza	Costi per la sicurezza	Valore KPI (s)
Bassa	Costi elevati	1
Media	Costi medi	2
Alta	Costi ridotti	3

Infine, si è giunti alla valutazione sintetica comparativa delle lavorazioni:

Tipo di lavorazione	KPI (s)
B: Tavole in legno	3
C: Protesi in legno	1
D: Profili metallici	3

4.2.4 Operatività del cantiere: KPI (o)

Questo indicatore misura la facilità operativa nello svolgimento delle varie lavorazioni previste in cantiere, tenendo conto degli ostacoli e dei vincoli presenti in loco.

La sua corretta valutazione permette di scegliere la modalità di procedimento più adatta a quel contesto specifico; mentre il suo scostamento segnala l'insorgere di imprevisti durante l'esecuzione del lavoro o un'errata stima delle lavorazioni in fase progettuale.

Per valutare l'indice di operatività del cantiere, si è deciso di prendere come riferimento il costo relativo alla manodopera, in quanto parametro ritenuto significativo per stimare l'ottimizzazione della singola lavorazione.

Dalle voci del Prezziario Regionale Emilia-Romagna 2025 si è ricavato il costo orario della manodopera impiegata nelle lavorazioni.

Costo operaio qualificato edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%):

$$28,36 \text{ €/h} \times 1,16 \times 1,10 = 36,19 \text{ €/h}$$

Costo operaio comune edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%):

$$25,45 \text{ €/h} \times 1,16 \times 1,10 = 32,47 \text{ €/h}$$

Da cui si è ricavato il costo orario operaio medio:

$$(36,19 + 32,47) / 2 = 34,33 \text{ €/h}$$

Dividendo le spese di incidenza della manodopera per il costo orario medio, si sono ricavate le ore di lavoro/uomo impiegate per terminare la lavorazione:

- Caso B: tavole in legno $1.070,84 / 34,33 = 31,19 \text{ h}$
- Caso C: protesi in legno $1.463,04 / 34,33 = 42,62 \text{ h}$
- Caso D: profili metallici $1.024,63 / 34,33 = 29,85 \text{ h}$

In questo caso, al parametro KPI (o) sono stati assegnati i valori seguenti:

Livello di operatività	Incidenza manodopera	Valore KPI (o)
Basso	Elevata	1
Medio	Media	2
Alto	Ridotta	3

Infine, si è giunti alla valutazione sintetica comparativa delle lavorazioni:

Tipo di lavorazione	KPI (o)
B: Tavole in legno	2
C: Protesi in legno	1
D: Profili metallici	3

4.2.5 Eco-sostenibilità: KPI (e)

Questo indicatore misura la sostenibilità dei materiali scelti per le lavorazioni previste. La sua corretta valutazione garantisce il rispetto dell'ambiente e dell'eco-sistema in cui il cantiere risulta inserito; mentre il suo scostamento segnala problemi nelle lavorazioni, nello smaltimento dei rifiuti, nel trasporto a discarica dei materiali di risulta o nella produzione di gas nocivi ed altri fattori inquinanti.

In questo caso, come primo parametro di confronto maggiormente significativo è stato assunto l'impatto ambientale causato dalla produzione e lavorazione dei materiali costituenti le protesi metalliche di rinforzo: come già descritto nel capitolo 1, a parità di peso prodotto, la lavorazione dell'acciaio comporta un consumo di petrolio che supera di circa 8.000 volte quello del legname.

La valutazione del ciclo di vita utile LCA (*Life Cycle Assessment*) è un metodo di analisi sistematica che quantifica e valuta gli impatti ambientali di un prodotto durante tutto il suo ciclo di vita, attraverso la quantificazione dei flussi di materia ed energia in ingresso e delle emissioni inquinanti in uscita, nelle fasi di estrazione delle materie prime, trasporto allo stabilimento, produzione, trasporto al cantiere, messa in opera, uso, demolizione e fine vita.

Il metodo viene applicato con lo scopo da un lato di comparare soluzioni alternative per scegliere la migliore dal punto di vista del comportamento ambientale, dall'altro di minimizzare gli impatti ambientali all'interno della specifica filiera produttiva tramite l'individuazione delle fasi più problematiche su cui intervenire.

La peculiarità del settore edilizio di produrre manufatti con cicli di vita molto lunghi determina la priorità delle capacità prestazionali dei materiali o dei componenti nella valutazione della compatibilità ambientale, rispetto agli impatti in fase di produzione e dismissione. Gli impatti generati da un edificio in fase di utilizzo sono molto maggiori di quelli generati in fase di produzione e costruzione (circa in rapporto di 10:1), per cui gli aspetti legati alle prestazioni e alla durabilità risultano prioritari.

La valutazione LCA è un'operazione complessa: al momento, uno degli ostacoli maggiori è la scarsità di informazioni ambientali locali e specifiche (non possediamo una banca dati italiana). Pertanto, in questa sede ci limiteremo a dare una valutazione prettamente qualitativa dell'impatto ambientale causato dalle lavorazioni in oggetto.

Innanzitutto, consideriamo la CFP (*carbon footprint*), ovvero l'impronta di carbonio: è il parametro che permette di determinare gli impatti ambientali causati dalle attività di origine antropica sul riscaldamento globale del pianeta. Si tratta, in estrema sintesi, di un'indicazione della quantità di anidride carbonica (CO₂) emessa nell'atmosfera in seguito ad una lavorazione o ad una qualsiasi attività umana.

Il calcolo dell'impronta di carbonio di un prodotto deve tenere conto di tutte le fasi della filiera, a partire dall'estrazione delle materie prime, fino allo smaltimento dei rifiuti generati dal sistema stesso, secondo l'approccio LCA (ciclo di vita utile).

Secondo un documento della *World Steel Association*, vengono emesse in media 1,83 t di CO₂ per ogni tonnellata di acciaio prodotta.

Invece il legno possiede una CFP bassissima, grazie alla sua capacità di trattenere il carbonio al proprio interno, senza rilasciarlo in atmosfera. Inoltre, se viene utilizzato correttamente, il legno è in grado di immagazzinare più carbonio di quanto ne viene emesso per le operazioni di raccolta, trasformazione, trasporto e posa in opera.

Numerosi studi LCA sulla valutazione del ciclo di vita dimostrano come le prestazioni del legno siano migliori rispetto a quelle degli altri materiali da costruzione, sia in termini di energia incorporata che di inquinamento di aria e acqua.

Nel grafico seguente sono riportati e confrontati fra loro i valori CFP dei principali materiali da costruzione.

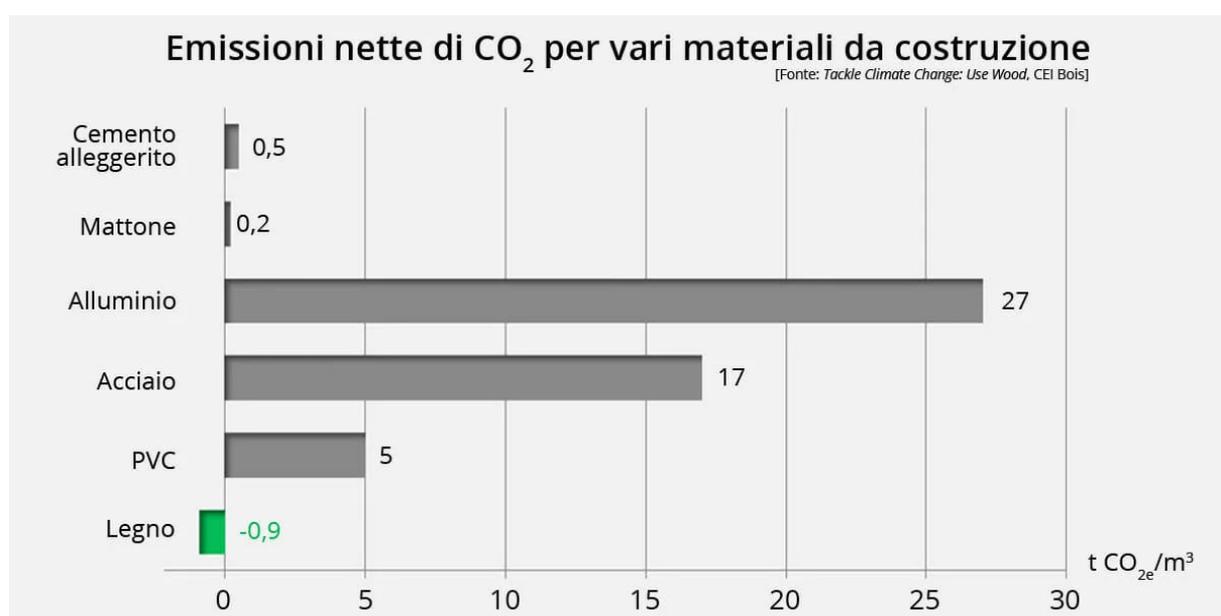


Fig. 4.1 - Istogramma dei valori CFP. Tratto da: CEI bois.

Un'altra fonte preziosa dalla quale attingere dati sull'impronta di carbonio è il cosiddetto "database I.C.E." (*Inventory of Carbon and Energy*), che fornisce i valori espressi come kg di CO₂ emessi nell'ambiente per produrre 1 kg di materiale.

Nel nostro caso specifico, avendo utilizzato legno massello di larice di classe C30, si è assunta una massa volumica media pari a 460 kg/m³ al fine di stimare l'impronta di carbonio sia in base al peso che in base al volume.

Tabella 18-1-Classi di resistenza secondo EN 338, per legno di conifere e di pioppo

Valori di resistenza modulo elastico e massa volumica		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistenze [MPa]													
flessione	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
taglio	$f_{v,k}$	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Modulo elastico [GPa]													
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
modulo di taglio medio	G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Massa volumica [kg/m³]													
massa volumica caratteristica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
massa volumica media	ρ_m	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Nel prospetto seguente i valori suddetti sono stati comparati con quelli analoghi riportati nel testo "*Atlante dei Materiali*" edito dalla UTET nell'anno 2006 (vedi Bibliografia).

<i>Materiali</i>	<i>I.C.E.</i>	<i>Atlante Materiali</i>	
	[kgCO ₂ /kg _{mat}]	[kgCO ₂ eq]	[kgCO ₂ /m ³]
Acciaio	1,64	1,7	
Legno	0,49 *	-0,58 **	-792
Resine epossidiche	5,7	6,47	
Malta di calce	5,7	3,35	448

* valore per legname tracciabile che preveda la ripiantumazione degli alberi abbattuti

** valore negativo dovuto alla CO₂ sottratta all'ambiente dalla fotosintesi

<u>Caso B:</u>		<i>I.C.E.</i>	<i>Atlante Materiali</i>	
Legno	0,15 m ³ =94,5 kg	46,3	-54,8	-118,8
Acciaio (piatti)	30,14 kg	49,4	51,2	
Bulloni	89,80 dm=15,46 kg	25,3	26,3	
		121	22,7	-118,8

<u>Caso C:</u>				
Legno	0,05 m ³ =31,5 kg	15,4	-18,3	-39,6
Acciaio (barre)	10,09 kg	16,5	17,1	
Resine epossidiche	9,60 kg	54,7	62,1	
Malta di calce	0,30 m ² =9 kg	51,3	30,2	2,7
		137,9	91,1	-36,9

<u>Caso D:</u>				
Acciaio (profili)	252,32 kg	413,8	428,9	
Acciaio (piatti)	29,71 kg	48,7	50,5	
Bulloni	20 dm=3,16 kg	5,2	5,4	
		467,7	484,8	

Sulla base di queste considerazioni, abbiamo espresso un giudizio sintetico di stima in merito alla sostenibilità delle tecniche e dei materiali adottati per ciascuna lavorazione:

- Caso B: tavole in legno ottimo
- Caso C: protesi in legno medio
- Caso D: profili metallici scarso

In questo caso, al parametro KPI (e) sono stati assegnati i valori seguenti:

Livello di sostenibilità	Impatto ambientale	Valore KPI (e)
Scarso	Elevato	1
Medio	Discreto	2
Ottimo	Minimo	3

Infine, si è giunti alla valutazione sintetica comparativa delle lavorazioni:

Tipo di lavorazione	KPI (e)
B: Tavole in legno	3
C: Protesi in legno	2
D: Profili metallici	1

4.2.6 Tutela del bene: KPI (b)

Questo indicatore misura il livello di tutela del valore storico-artistico del bene, oggetto dell'intervento di recupero.

La sua corretta valutazione assicura la conservazione del carattere testimoniale del bene, la sua valorizzazione e la sua pubblica fruizione; mentre il suo scostamento segnala la presenza di interventi che utilizzano tecniche invasive o materiali incongruenti.

Nel nostro caso-studio, ai sensi degli articoli 10-12 del D.Lgs. 42/2004, il complesso conventuale di Santarcangelo di Romagna presenta decreto di vincolo n. 161 del 03/12/2021 e risulta sottoposto a tutela. Pertanto, tutte le lavorazioni alternative che abbiamo considerato sono state scelte in modo da risultare compatibili ed ammesse dal DPCM 9 febbraio 2011, ai fini della conservazione del bene in oggetto. Inoltre, come già detto in precedenza, le lavorazioni si svolgono all'intradosso, conservando intatto il manto di copertura originario. Infine, al termine del rinforzo viene ricostruito il controsoffitto, che occulta alla vista gli interventi realizzati, ripristinando lo status quo. Quindi, si può concludere che le 3 lavorazioni assicurano un medesimo livello di tutela:

- Caso B: tavole in legno alto
- Caso C: protesi in legno alto
- Caso D: profili metallici alto

In questo caso, al parametro KPI (b) sono stati assegnati i valori seguenti:

Livello di tutela	Tecniche / materiali	Valore KPI (b)
Basso	Invasive / incongrui	1
Medio	Non invasive / congrui	2
Alto	Conservative / compatibili	3

Infine, si è giunti alla valutazione sintetica comparativa delle lavorazioni:

Tipo di lavorazione	KPI (b)
B: Tavole in legno	3
C: Protesi in legno	3
D: Profili metallici	3

4.3 Somma finale dei valori KPI

Sommando i singoli valori KPI calcolati nel paragrafo precedente, si ottiene il punteggio totale relativo a ciascuna lavorazione:

Caso	KPI (c)	KPI (t)	KPI (s)	KPI (o)	KPI (e)	KPI (b)	Totale
B: fettoni	1	3	3	2	3	3	15
C: incalmi	3	2	1	1	2	3	12
D: profili	2	1	3	3	1	3	13

Dal confronto dei risultati finali si evince che la tecnica di intervento utilizzata dal progettista per gli interventi di consolidamento delle capriate del nostro caso-studio è quella che è risultata più vantaggiosa dalle analisi effettuate, ossia la **soluzione B** corrispondente ai fettoni lignei.

Questo risultato conferma il fatto che nella fase progettuale si è optato per una scelta tecnologica effettivamente più idonea e più conveniente, sia per l'impresa che per la committenza.

4.4 Somma ponderata dei valori KPI

Per misurare la resilienza e testare la solidità del modello assunto, si effettuano alcune simulazioni che accentuano uno o più aspetti rispetto agli altri e si calcola il valore totale dei KPI non come semplice somma, ma come somma ponderata dei valori assunti di volta in volta dai singoli parametri.

1. Scenario “normalizzato”. Immaginando di assegnare la stessa importanza (peso) ad ogni fattore ($100:6 = 16,67\%$), si ottengono questi valori finali dei KPI per ogni lavorazione alternativa:

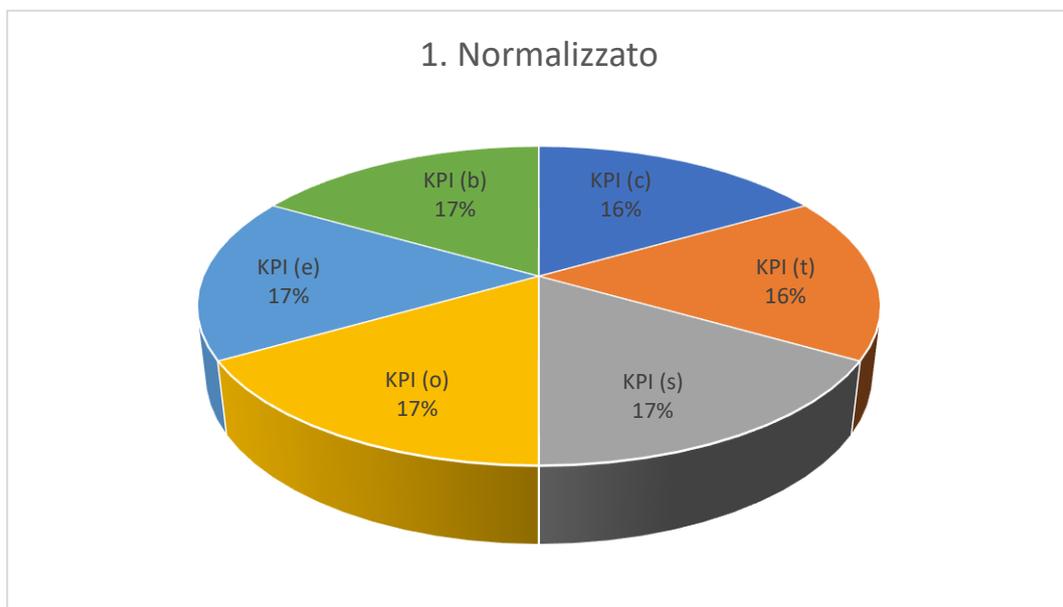


Fig.4.2 - Areogramma scenario 1: “normalizzato” (realizzato tramite Microsoft Excel)

	KPI (c)	KPI (t)	KPI (s)	KPI (o)	KPI (e)	KPI (b)	Totale
	16,67%	16,67%	16,67%	16,67%	16,67%	16,67%	100%
B: fettoni	1 0,17	3 0,51	3 0,51	2 0,34	3 0,51	3 0,51	15 2,55
C: incalmi	3 0,51	2 0,34	1 0,17	1 0,17	2 0,34	3 0,51	12 2,04
D: profili	2 0,34	1 0,17	3 0,51	3 0,51	1 0,17	3 0,51	13 2,21

2. Scenario più “sicuro”. Nel caso si voglia enfatizzare l’aspetto della **sicurezza**, assegnando ad essa il 40% del peso, dividendo il restante 60% equamente sugli altri fattori (60:5 = 12%), si ottiene:

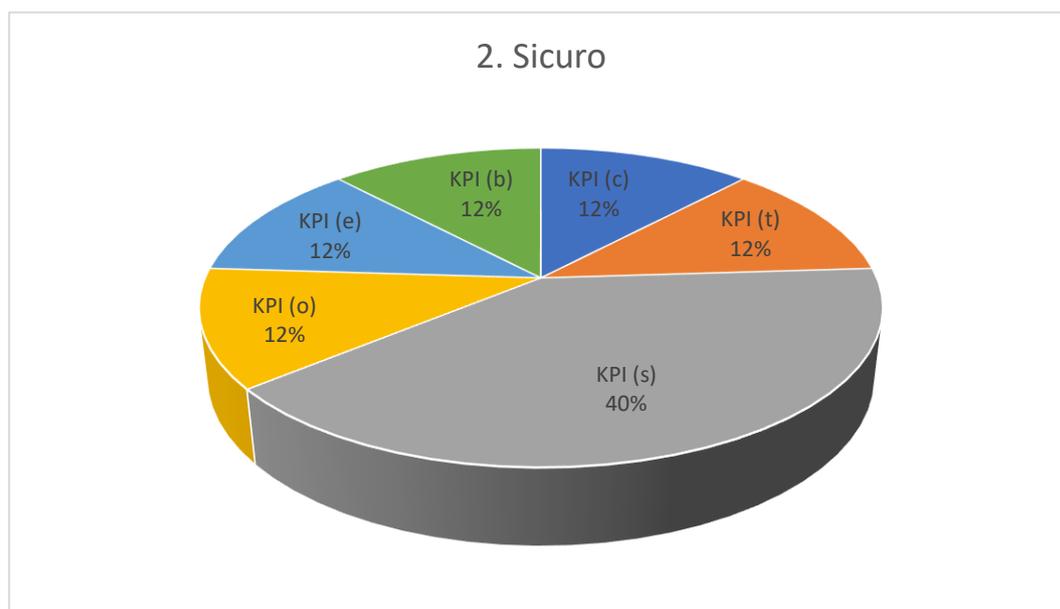


Fig.4.3 - Areogramma scenario 2: “sicuro” (realizzato tramite Microsoft Excel)

Sicurezza >>	KPI (c)	KPI (t)	KPI (s)	KPI (o)	KPI (e)	KPI (b)	Totale
	12%	12%	40%	12%	12%	12%	100%
B: fettoni	1 0,12	3 0,36	3 1,20	2 0,24	3 0,36	3 0,36	15 2,64
C: incalmi	3 0,36	2 0,24	1 0,40	1 0,12	2 0,24	3 0,36	12 1,72
D: profili	2 0,24	1 0,12	3 1,20	3 0,36	1 0,12	3 0,36	13 2,40

3. Scenario più “rapido”. Nel caso si voglia enfatizzare l’aspetto della **operatività e dei tempi** ridotti, assegnando a ciascuno di essi il 30% del peso, dividendo il restante 40% equamente sugli altri fattori (40:4 = 10%), si ottiene:

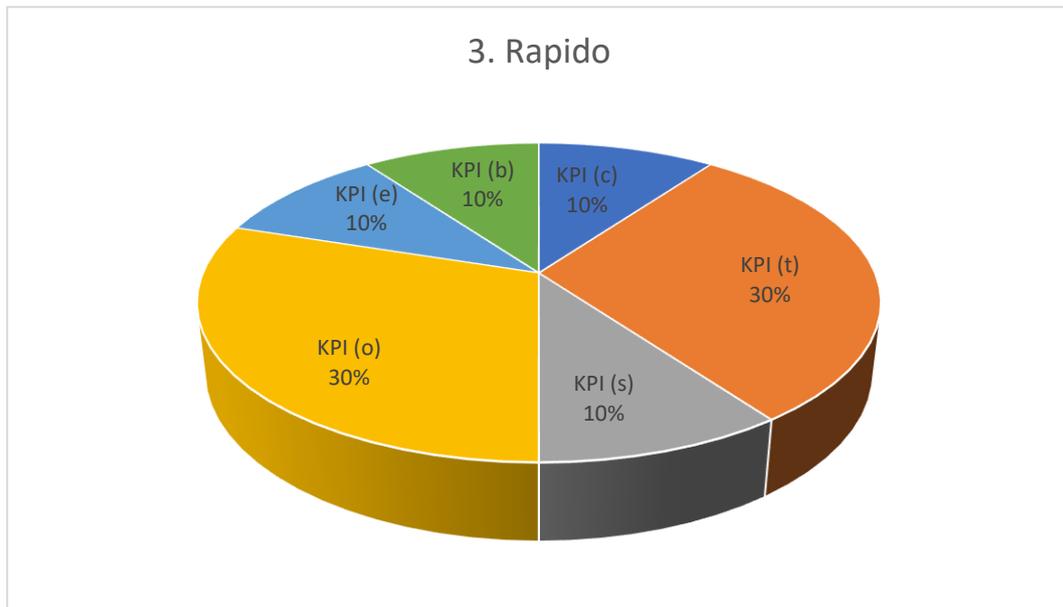


Fig.4.4 - Areogramma scenario 3: “rapido” (realizzato tramite Microsoft Excel)

Tempi << Operatività >>	KPI (c)	KPI (t)	KPI (s)	KPI (o)	KPI (e)	KPI (b)	Totale
	10%	30%	10%	30%	10%	10%	100%
B: fettoni	1 0,10	3 0,90	3 0,30	2 0,60	3 0,30	3 0,30	15 2,50
C: incalmi	3 0,30	2 0,60	1 0,10	1 0,30	2 0,20	3 0,30	12 1,80
D: profili	2 0,20	1 0,30	3 0,30	3 0,90	1 0,10	3 0,30	13 2,10

4. Scenario più “conservativo”. Nel caso si voglia enfatizzare l’aspetto della **sostenibilità** e della **tutela** del bene, assegnando a ciascuno di essi il 30% del peso, dividendo il restante 40% equamente sugli altri fattori (40:4 = 10%), si ottiene:

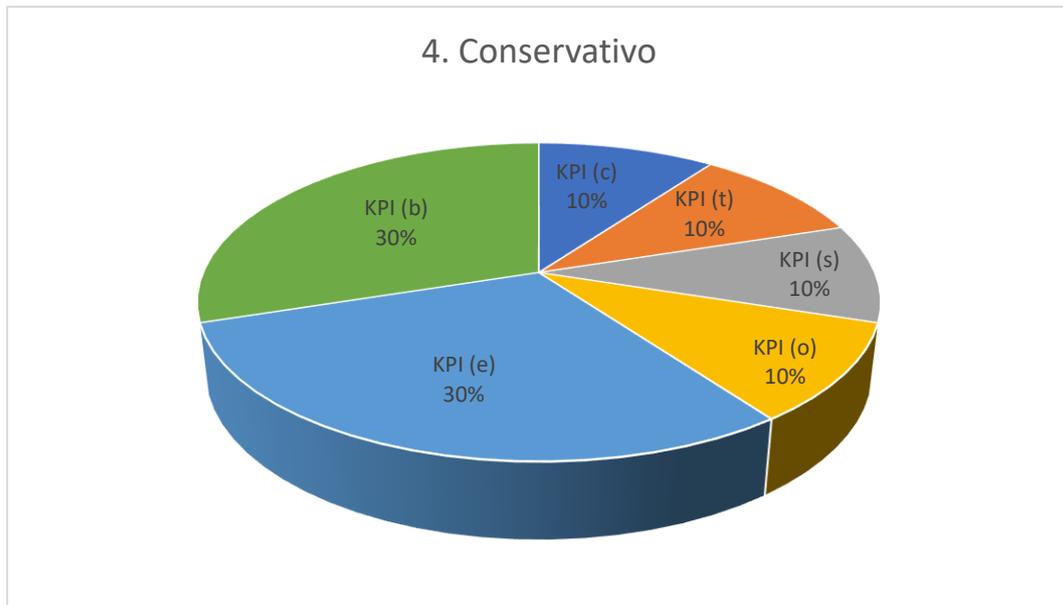


Fig.4.5 - Areogramma scenario 4: “conservativo” (realizzato tramite Microsoft Excel)

Sostenibilità>>	KPI (c)	KPI (t)	KPI (s)	KPI (o)	KPI (e)	KPI (b)	Totale
Tutela >>	10%	10%	10%	10%	30%	30%	100%
B: fettoni	1	3	3	2	3	3	15
	0,10	0,30	0,30	0,20	0,90	0,90	2,70
C: incalmi	3	2	1	1	2	3	12
	0,30	0,20	0,10	0,10	0,60	0,90	2,20
D: profili	2	1	3	3	1	3	13
	0,20	0,10	0,30	0,30	0,30	0,90	2,10

5. Scenario più “*economico*”. Nel caso si voglia enfatizzare la riduzione dei **costi**, assegnando ad essi il 25% del peso, dividendo il restante 75% equamente sugli altri fattori ($75:5 = 15\%$), si ottiene:

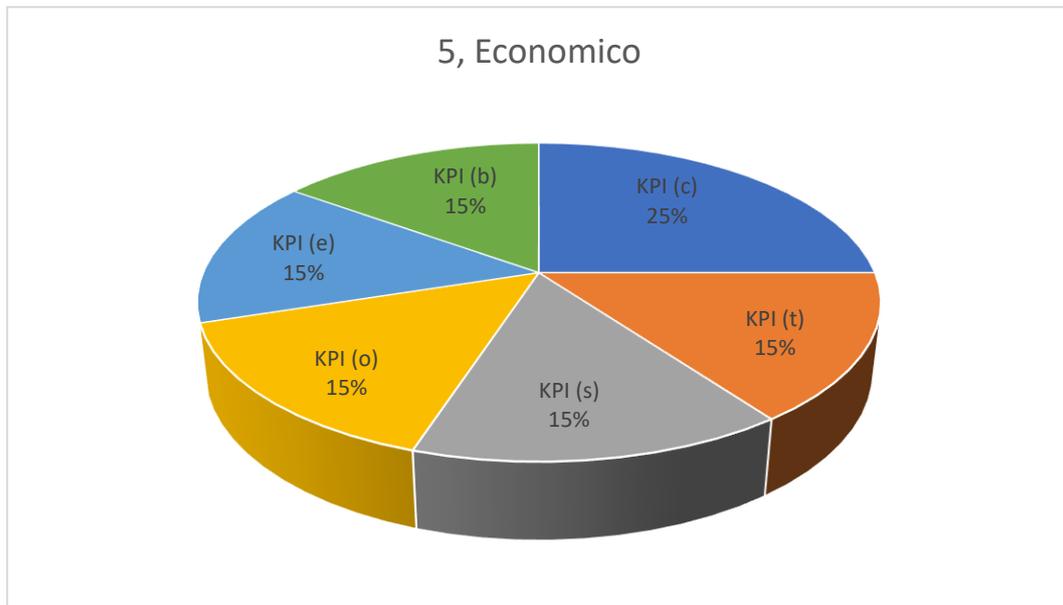


Fig.4.6 - Areogramma scenario 5: “*economico*” (realizzato tramite Microsoft Excel)

Costi <<	KPI (c) 25%	KPI (t) 15%	KPI (s) 15%	KPI (o) 15%	KPI (e) 15%	KPI (b) 15%	Totale 100%
B: fettoni	1 0,25	3 0,45	3 0,45	2 0,30	3 0,45	3 0,45	15 2,45
C: incalmi	3 0,75	2 0,30	1 0,15	1 0,15	2 0,30	3 0,45	13 2,10
D: profili	2 0,50	1 0,15	3 0,45	3 0,45	1 0,15	3 0,45	13 2,15

Dai risultati emersi nelle varie simulazioni effettuate, si ottengono i seguenti range di oscillazione dei valori totali assunti dai KPI, calcolati come media ponderata.

- Caso B: fettoni **2,45 ÷ 2,70** $\Delta = 0,25$ $KPI_{\text{medio}} = 2,57$
- Caso C: incalmi 1,72 ÷ 2,20 $\Delta = 0,48$ $KPI_{\text{medio}} = 1,97$
- Caso D: profili 2,10 ÷ 2,40 $\Delta = 0,30$ $KPI_{\text{medio}} = 2,19$

Si può quindi costruire un grafico che rappresenti l'intervallo di oscillazione dei valori totali assunti dai KPI nei 5 diversi scenari ipotizzati.

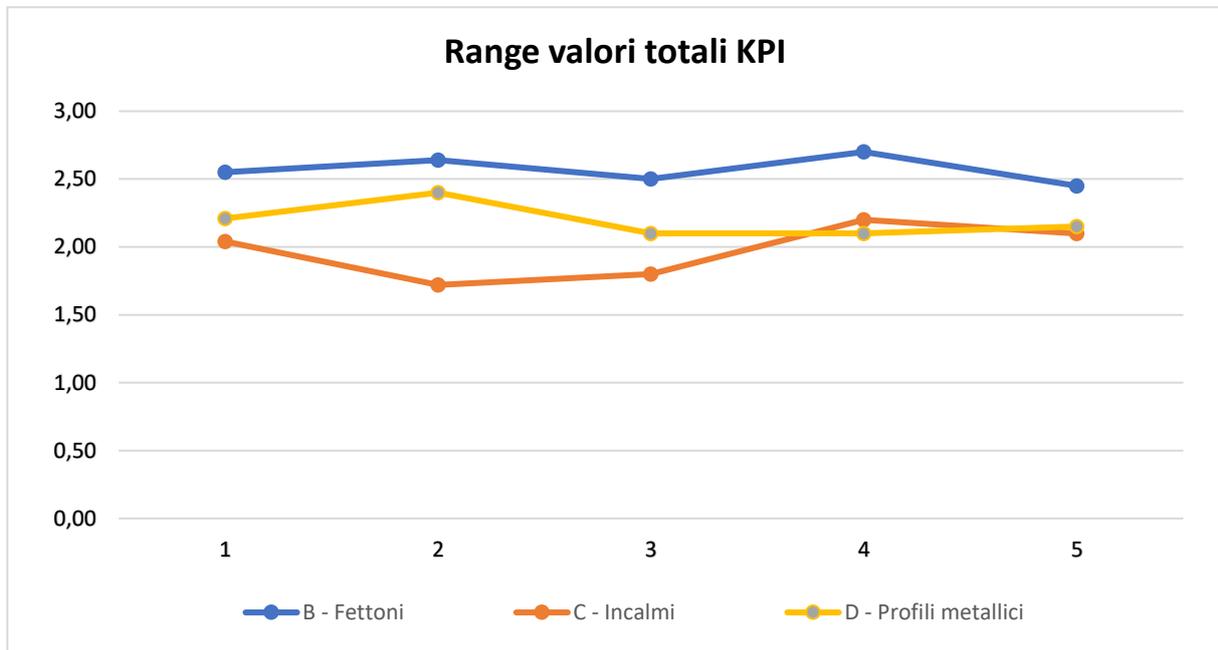


Fig.4.7 - Diagramma di oscillazione valori totali KPI (realizzato tramite Microsoft Excel)

4.5 Considerazioni conclusive

Dall'analisi effettuata nel paragrafo precedente, emerge chiaramente che, anche nell'ipotesi di assegnare un peso maggiore ad alcuni fattori rispetto ad altri, in ogni caso la tecnica di recupero e rinforzo più vantaggiosa rimane comunque la soluzione B: utilizzo di fettoni lignei.

Essa si configura come la soluzione tecnologica più **performante** (ottiene sempre il valore totale più alto dei KPI) e più **affidabile** (presenta sempre l'intervallo più ridotto di oscillazione dei valori).

Ancora una volta, abbiamo avuto la conferma che in sede progettuale si è optato per la scelta migliore, che rispetta contemporaneamente e valorizza equamente tutti i fattori considerati in fase di scelta.

5. L'UTILIZZO DI STRUMENTI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE

5.1 La scelta delle tecniche di intervento

Dato che in questi ultimi tempi il tema dell'intelligenza artificiale sta assumendo sempre maggiore rilievo, in questo ultimo breve capitolo ci proponiamo di capire quale grado di affidabilità possano avere questi nuovi strumenti di conoscenza e in che modo possano aiutarci ad indirizzare le nostre scelte progettuali.

A questo scopo, abbiamo utilizzato 3 diversi software di tipo "chat bot" (robot di conversazione), attraverso una interrogazione qualitativa, ponendo loro una domanda su quale delle 3 soluzioni tecnologiche viste in precedenza potesse risultare la più vantaggiosa, per il recupero del tallone ammalorato della capriata lignea in oggetto.

In particolare, la domanda è stata posta considerando gli stessi parametri visti nel capitolo precedente:

- Contenimento dei costi
- Riduzione dei tempi
- Sicurezza sul lavoro
- Operatività del cantiere
- Eco-sostenibilità dell'intervento
- Tutela del bene

Nei paragrafi seguenti vengono quindi riportate le risposte fornite dai 3 programmi di intelligenza artificiale, in merito al quesito proposto:

"Ciao, ti chiedo gentilmente di aiutarmi. Devo risanare e rinforzare l'appoggio ammalorato di una capriata lignea sulla muratura, considerando questi fattori: costi bassi, tempi ridotti, sicurezza dei lavoratori, operatività del cantiere, ecosostenibilità dell'intervento, tutela del bene. Posso intervenire in tre modi diversi: affiancamento di tavole in legno (fettoni) oppure inserimento di nuove protesi in legno (incalmi) oppure affiancamento di nuovi profili metallici. Quale dei 3 interventi risulta più vantaggioso?"

5.2 Utilizzo di “Chat GPT”

Il software “Chat GPT” è l’acronimo di *Chat Generative Pre-trained Transformer* (trasformatore generativo pre-addestrato): si tratta di un chat bot basato su intelligenza artificiale e apprendimento automatico, sviluppato da *OpenAI* a partire dal novembre 2022 e specializzato nella conversazione con un utente umano, che ha mostrato notevoli capacità nel generare un testo simile a quello usato dalle persone.

Esso ha fornito la seguente risposta:

Considerando i fattori che hai elencato (costi bassi, tempi ridotti, sicurezza, operatività, ecosostenibilità e tutela del bene), analizziamo brevemente i tre interventi possibili.

Affiancamento di tavole in legno (*fettoni*)

Vantaggi:

- Materiale naturale e compatibile con la capriata originale, quindi ecosostenibile
- Costi generalmente contenuti
- Operazione relativamente semplice e rapida

Svantaggi:

- Potrebbe richiedere più interventi di fissaggio e adattamento
- Meno resistente rispetto a soluzioni metalliche, soprattutto in presenza di carichi elevati o umidità

Inserimento di nuove protesi in legno (*incalmi*)

Vantaggi:

- Rinforzo molto efficace, soprattutto se ben progettato
- Buona compatibilità con il legno esistente

Svantaggi:

- Potrebbe richiedere più tempo e competenze specializzate
- Costi leggermente superiori rispetto alle semplici tavole lignee di affiancamento

Affiancamento di nuovi profili metallici

Vantaggi:

- Elevata resistenza e durabilità

- Tempi di intervento più rapidi
- Maggiore sicurezza strutturale

Svantaggi:

- Costi più elevati rispetto alle soluzioni in legno
- Meno ecosostenibile, anche se si possono preferire acciai riciclati o trattamenti ecocompatibili
- Potrebbe influire sull'estetica e sulla tutela del bene, se non ben integrato

Qual è la soluzione più vantaggiosa?

Se il tuo obiettivo principale è ridurre costi e tempi, mantenendo un buon livello di sicurezza e rispettando l'ambiente, l'intervento con affiancamento di tavole in legno (fettoni) potrebbe essere la scelta migliore.

Questo metodo è semplice, economico, rapido e più ecosostenibile, e permette di tutelare bene il bene senza interventi invasivi.

Se invece la priorità è la massima sicurezza e durabilità, e sei disposto a investire un po' di più, l'inserimento di nuove protesi in legno (incalmi) rappresenta un buon compromesso.

Può offrire un rinforzo più efficace senza compromettere troppo i costi e i tempi.

Se invece il problema richiede un intervento rapido e molto resistente, e il budget lo permette, i profili metallici sono la soluzione più sicura e duratura, anche se meno ecosostenibile.

In conclusione:

Per un equilibrio tra costi, tempi, sicurezza ed ecosostenibilità, **l'affiancamento di tavole in legno** (fettoni) sembra essere la **soluzione più vantaggiosa**. Tuttavia, se la sicurezza strutturale è prioritaria e puoi investire di più, i profili metallici sono molto efficaci.

5.3 Utilizzo di “Gemini”

Il software “Gemini” è un chat bot basato sull'intelligenza artificiale generativa e sull'apprendimento automatico, sviluppato da *Google* a partire da marzo 2023 e creato sul modello linguistico Google Gemini.

Esso ha fornito la seguente risposta:

Analizziamo insieme le tre opzioni in base ai fattori che hai indicato

1. Affiancamento di tavole in legno (fettoni)

- **Costi:** Generalmente bassi. Il legno è un materiale relativamente economico e la lavorazione non richiede attrezzature particolarmente complesse.
- **Tempi:** Relativamente ridotti. L'installazione può essere veloce se i materiali sono già pronti e non ci sono complicazioni strutturali.
- **Sicurezza dei lavoratori:** Buona. La manipolazione del legno è meno rischiosa rispetto a quella di elementi metallici pesanti o saldature.
- **Operatività del cantiere:** Buona. L'intervento è meno invasivo e meno rumoroso, permettendo una maggiore continuità delle attività circostanti.
- **Ecosostenibilità dell'intervento:** Ottima. Il legno è un materiale rinnovabile e con un basso impatto ambientale, soprattutto se proveniente da foreste gestite in modo sostenibile.
- **Tutela del bene:** Ottima. L'intervento è compatibile con la natura del manufatto originale, preservando l'aspetto estetico e le caratteristiche materiche.

2. Inserimento di nuove protesi in legno (incalmi)

- **Costi:** Moderati. Richiede una lavorazione più precisa e specializzata del legno per l'innesto, il che può aumentare i costi della manodopera.
- **Tempi:** Moderati/Elevati. La precisione richiesta per l'incastro e l'eventuale necessità di smontare parzialmente la capriata per l'innesto possono allungare i tempi.
- **Sicurezza dei lavoratori:** Buona. Simile all'affiancamento, ma con potenziali maggiori esigenze di puntellatura e lavorazioni in quota.

- **Operatività del cantiere:** Moderata. L'intervento potrebbe richiedere una maggiore interruzione delle attività a causa della complessità dell'innesto.
- **Ecosostenibilità dell'intervento:** Ottima. Anche qui, il legno è un materiale ecocompatibile.
- **Tutela del bene:** Eccellente. Rappresenta la soluzione più filologica e conservativa, ripristinando la funzionalità della capriata con un materiale identico all'originale.

3. Affiancamento di nuovi profili metallici

- **Costi:** Moderati/Elevati. I profili metallici possono essere costosi e la lavorazione (taglio, foratura, saldatura se necessaria) richiede attrezzature specifiche e manodopera qualificata.
- **Tempi:** Moderati. L'installazione può essere relativamente veloce una volta che i profili sono stati preparati, ma le lavorazioni preliminari possono richiedere tempo.
- **Sicurezza dei lavoratori:** Moderata. La movimentazione di elementi metallici pesanti, le saldature (se previste) e le forature possono comportare maggiori rischi e richiedere attrezzature di protezione specifiche.
- **Operatività del cantiere:** Moderata. L'utilizzo di attrezzi rumorosi e la presenza di saldature possono generare disagi e richiedere interruzioni delle attività circostanti.
- **Ecosostenibilità dell'intervento:** Moderata. La produzione dell'acciaio è energivora e il suo smaltimento può avere un impatto maggiore rispetto al legno.
- **Tutela del bene:** Discreta/Moderata. Pur essendo un intervento efficace dal punto di vista strutturale, l'introduzione di un materiale dissimile può alterare l'estetica e la percezione storica del bene. Richiede attenzione per minimizzare l'impatto visivo.

Quale dei 3 interventi risulta più vantaggioso?

Considerando i fattori che hai elencato, l'intervento che risulta **più vantaggioso** è **l'affiancamento di tavole in legno (fettoni)**.

Ecco perché:

- **Costi bassi e tempi ridotti:** È la soluzione più economica e rapida da attuare, il che è fondamentale per la tua richiesta.
- **Sicurezza dei lavoratori e operatività del cantiere:** Minor rischio e minore disturbo alle attività, il che è un grande vantaggio in un cantiere attivo.
- **Ecosostenibilità:** Massima compatibilità ambientale, in linea con le moderne esigenze.
- **Tutela del bene:** Preserva l'autenticità e l'estetica della struttura lignea originale, senza introdurre materiali estranei in modo invasivo.

Mentre gli **incalzi** sono la soluzione più filologica per la tutela del bene, la loro complessità e i tempi di realizzazione potrebbero non essere compatibili con le tue esigenze di "costi bassi" e "tempi ridotti".

I **profili metallici**, seppur efficaci strutturalmente, comportano costi più elevati, tempi potenzialmente maggiori per la preparazione e un impatto visivo e di sostenibilità meno favorevole.

Consiglio aggiuntivo:

Indipendentemente dalla scelta, è fondamentale che l'intervento sia progettato e supervisionato da un tecnico specializzato (ingegnere strutturista o architetto con esperienza in strutture lignee) per garantire la corretta esecuzione e la sicurezza strutturale. Inoltre, per la tutela del bene, è sempre buona prassi documentare accuratamente lo stato di fatto e tutti gli interventi eseguiti.

5.4 Utilizzo di “Microsoft Copilot”

Il software “Microsoft Copilot” è un chat bot sviluppato da *Microsoft* a partire da febbraio 2023 e basato su un modello linguistico di grandi dimensioni ovvero è in grado di ottenere la comprensione e la generazione di un linguaggio di ambito generale.

Esso ha fornito la seguente risposta:

Hai posto una questione davvero interessante e molto ben articolata: il risanamento di un appoggio ligneo ammalorato comporta una valutazione attenta e bilanciata tra aspetti economici, tecnici e conservativi. Vediamo insieme i tre approcci proposti, confrontandoli rispetto ai criteri che hai indicato:

1. Affiancamento di tavole in legno (fettoni)

Vantaggi:

- **Basso costo:** uso di materiale semplice e facilmente reperibile
- **Tempi rapidi:** lavorazione snella, poco invasiva
- **Sicurezza:** basso impatto sull’equilibrio strutturale esistente
- **Ecosostenibilità:** uso di materiale naturale, compatibile con il legno esistente
- **Tutela del bene:** intervento reversibile e rispettoso del materiale originario

Svantaggi:

- **Resistenza strutturale limitata** se l’ammaloramento è grave o diffuso

2. Incalmo (protesi in legno nuovo)

Vantaggi:

- **Efficacia strutturale elevata:** ripristino completo dell’elemento degradato
- **Ecosostenibilità:** si resta nel materiale originario, compatibile e naturale
- **Precisione:** intervento localizzato, ben integrabile

Svantaggi:

- **Costo superiore:** lavorazione più artigianale e specializzata
- **Tempi più lunghi:** richiede precisione e messa in opera accurata
- **Maggior rischio per gli operatori** in fase di rimozione/inserimento

3. Affiancamento con profili metallici

Vantaggi:

- **Ottimo rinforzo strutturale:** incrementa notevolmente la capacità portante
- **Tempi contenuti** se prefabbricati e ben progettati
- **Facilità di montaggio** con le dovute attrezzature

Svantaggi:

- **Compatibilità limitata:** materiali disomogenei (legno-metallo)
- **Minore ecosostenibilità**
- **Impatto sulla tutela del bene storico:** elemento poco “mimetico”
- **Rischio di fenomeni di corrosione/condensa** se non ben isolato

Qual è il più vantaggioso?

Sulla base dei criteri che mi hai dato, il metodo **più equilibrato** sembra essere:

affiancamento di tavole in legno (fettoni).

Perché:

- è **economico, rapido, sicuro e rispettoso** della natura e della storicità del bene
- consente **una reversibilità** dell'intervento, importante nella conservazione

Tuttavia, se l'ammaloramento è molto profondo o compromette la stabilità, il semplice affiancamento potrebbe non bastare, e in quel caso sarebbe opportuno considerare l'**incalmo**, pur con i suoi costi maggiori, per un consolidamento più profondo e duraturo.

5.5 Sintesi finale

In sintesi, sottoponendo ai 3 software lo stesso quesito, abbiamo ricevuto risposte piuttosto simili, ovvero che la soluzione più vantaggiosa, tenendo conto di tutti i fattori in gioco, risulta la tecnica di rinforzo B che utilizza i fettoni lignei, che coincide con quella dedotta in modo analitico al capitolo precedente.

CONCLUSIONE

Nella prima parte di questo lavoro si sono descritte le caratteristiche peculiari del legno come materiale da costruzione, mettendone in luce vantaggi e svantaggi, con particolare attenzione alle strutture di copertura e alle capriate lignee storiche. Si sono poi analizzate le modalità di indagine conoscitiva e diagnostica a cui vengono sottoposti gli elementi lignei per descriverne dettagliatamente le caratteristiche fisiche, meccaniche e lo stato di conservazione. Quindi, si sono passate in rassegna le principali tecniche di intervento per il recupero delle capriate lignee storiche, in funzione del tipo di degrado riscontrato e del livello di estensione dell'ammaloramento.

Nella seconda parte si è entrati nello specifico del nostro caso-studio: l'intervento di recupero e rinforzo del coperto ligneo del convento dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna.

Dopo avere descritto l'evoluzione storica del complesso conventuale ed i caratteri tipologici dell'architettura cappuccina, si è analizzata nel dettaglio la copertura lignea sulla quale è stato effettuato l'intervento di recupero, indicandone la morfologia e lo stato di conservazione, sulla base dei risultati delle indagini diagnostiche effettuate. Quindi, si è passati a descrivere le operazioni di impianto del cantiere, mostrandone le specificità e le scelte effettuate in fase operativa.

Si è poi scelta una capriata-tipo, che risultava ammalorata nell'appoggio sulla muratura e si sono confrontate fra loro 3 soluzioni alternative per il suo rinforzo, attraverso l'uso di coefficienti indicatori di prestazione (KPI), che tenevano conto di alcune esigenze fondamentali: costi contenuti, tempi ridotti, sicurezza sul lavoro, facilità di esecuzione operativa, eco-sostenibilità dell'intervento, tutela del bene.

Dopo avere calcolato la semplice somma, in cui tutti i fattori considerati assumono la stessa importanza, si è ripetuto il procedimento attraverso una somma ponderata, cioè assegnando un peso specifico ai singoli fattori in gioco ed immaginando scenari diversi; quindi si è ricalcolato il valore finale assunto dai KPI, al fine di misurare la sensibilità del modello di calcolo e la resilienza della soluzione ottenuta. Tutte le simulazioni hanno fornito lo stesso risultato: la soluzione ottimale, più performante e più affidabile, è risultata quella realmente scelta dal progettista delle strutture in fase preliminare.

Infine, si è effettuato nuovamente il confronto fra le 3 soluzioni alternative, utilizzando 3 diversi software di intelligenza artificiale: ciascuno di essi, seppure con sfumature e risposte leggermente diverse, ha individuato come scelta migliore la tecnica di rinforzo attraverso fessure lignee, ovvero quella realmente utilizzata nel cantiere di Santarcangelo. In conclusione, lo studio effettuato ha rivelato l'utilità di valutare a priori l'importanza (il peso) da assegnare ai diversi fattori in gioco e la possibilità di utilizzare gli indicatori KPI come risultato affidabile, in grado di fornire già in sede progettuale una indicazione chiara e precisa sulla scelta tecnologica migliore da realizzare all'atto esecutivo.

BIBLIOGRAFIA

Testi di riferimento

1. Aceta A. *Consolidamento e restauro delle strutture in legno*, Palermo, Dario Flaccovio, 2013
2. Barbisan U., Laner F. *Capriate e tetti in legno. Progetto e recupero*, Milano, FrancoAngeli, 2000
3. Bevilacqua E. *Restauro delle strutture in legno. Tecniche di consolidamento strutturale*, Saonara (PD), il prato casa editrice, 2018
4. Bragadin M.A. *Appunti di lezione: Il legno da costruzione (vol.4)*, Bologna, dispense del corso di Architettura Tecnica, Prof. Claudio Comani, A.A. 1995-1996
5. Caironi M., Bonera L. *Il legno lamellare: il calcolo 1 e il calcolo 2* Milano, Habitat legno, 2002
6. Ceccotti A., Follesa M., Lauriola M.P. *Le strutture di legno in zona sismica. Criteri e regole per la progettazione ed il restauro*, Torino, C.L.U.T. Editrice, 2005
7. Ceccotti A., Ruffino M., Bonamini G., Uzielli L. *Restauro conservativo di capriate lignee. La Pieve di S. Marino*, Torino, C.L.U.T. Editrice, 1998
8. Croci G. *Conservazione e restauro strutturale dei beni architettonici*, Torino, UTET, 2001
9. Dassori E., Morbiducci R. *Costruire l'architettura. Tecniche e tecnologie per il progetto*, Milano, Tecniche Nuove, 2010
10. Di Tondo S., Macchia C., Ottolenghi M., Patti F. *Progettare il recupero delle strutture in legno*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2005
11. Giordano G. *La moderna tecnica delle costruzioni in legno*, Milano, Hoepli, 1964
12. Hegger, Auch-Schwelck, Fuchs, Rosenkranz *Atlante dei Materiali*, Torino, UTET, 2006
13. Istituto per i Beni Culturali della Regione Emilia-Romagna *Architettura e mestieri del restauro*, Casalecchio di Reno (BO), Grafis Edizioni, 1986
14. Laner F. *Diagnostica delle strutture lignee (v.1)*, Mestre (VE), Flap Edizioni, 2005
15. Laner F. *Tecnologia del recupero delle strutture lignee (v.2)*, Mestre (VE), Flap Edizioni, 2005
16. Naldi M. *Le regole dell'architettura Cappuccina: tratto da "Un cammino lungo quattro secoli. I Frati Cappuccini e Castel San Pietro: una questione d'affetto*, Castel S. Pietro Terme (BO), S.O.S. Graphics, 2017
17. Natterer J., Herzog T., Volz M. *Atlante del Legno*, Torino, UTET, 1998
18. Neri P. (a cura di) *Verso la valutazione ambientale degli edifici. Life Cycle Assessment a supporto della progettazione eco-sostenibile*, Firenze, Alinea Editrice, 2007
19. P. Donato da S. Giovanni in Persiceto *"I conventi dei Frati Minori Cappuccini della Provincia di Bologna"* (vol. III), Faenza, Fratelli Lega editore, 1960

20. Piazza M., Tomasi R., Modena R. *Strutture in legno*, Milano, Hoepli, 2005
21. Picone M. *Tecnologia della produzione edilizia*, Torino, UTET, 1984
22. Rivi P., Ricci M., Rimondini G. *“I cappuccini: storia di una presenza a Santarcangelo e Verucchio”*, Rimini, Pier Giorgio Piazzini editore, 2003
23. Schulitz H.C., Sobek W., Habermann K.J. *Atlante dell’Acciaio*, Torino, UTET, 2000
24. Tampone G., Mannucci M., Macchioni N. *Strutture di legno. Cultura, conservazione, restauro*, Milano, de lettera editore, 2002

Normative di riferimento

Decreto Legislativo n. 42 del 22 gennaio 2004: *“Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002 n. 137”*

D.P.C.M. 9 febbraio 2011: *“Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008”*

D.M. 17 gennaio 2018: *Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)*

Norma UNI EN 1995 – Eurocodice 5: *Progettazione delle strutture di legno*

Norma UNI 11119:2004 *Beni culturali. Manufatti lignei. Strutture portanti degli edifici. Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera*

Norma UNI 11130:2004 *Beni culturali. Manufatti lignei. Terminologia del degrado del legno*

Norma UNI 11204:2007 *Beni Culturali. Manufatti lignei. Determinazione dell’umidità*

Siti web consultati

- www.promolegno.com (il degrado nel legno)
- www.ingenio-web.it (tipologie e dettagli costruttivi)
- www.infobuild.it (le pagode: Arch. Emanuele Meloni, 05/05/2023)
- www.osservatorioartico.it (le *stavkirke*: Marco Leone, 03/09/2020)
- www.biblus.acca.it (i KPI nelle costruzioni edili)
- www.michelenaldi.it (foto dei lavori eseguiti a Santarcangelo)
- www.forestalegno.unifi.it/vp-184-documentazione.html (rif. Guglielmo Giordano)

Riferimento progettuale

Progetto esecutivo strutturale per il consolidamento della copertura del convento dei Frati Minori Cappuccini di Santarcangelo di Romagna (RN)

Progettista e D.L. delle Strutture: *Ing. Michele Naldi*, anno 2024-2025

ALLEGATO

Computi metrici estimativi

- Soluzione B: fettoni lignei
- Soluzione C: incalmi lignei
- Soluzione D: profili metallici

PROGETTO DI RINFORZO DEL TACCO DI UNA CAPIATA AMMALORATA - Procedimento B - RINFORZO CON TAVOLE IN LEGNO (fettoni)													
COMPUTO METRICO ESTIMATIVO													
progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
		<i>NOTE GENERALI</i>											
		calcolo le quantità relative a un solo tacco											
1		COSTI DELLA SICUREZZA											
1.1		puntellature											
	F01.046.015	Puntello metallico regolabile articolato alle estremità, con altezza fino a 3,6 m dal piano di appoggio, e sovrastante prima orditura costituita da morali di abete, per il sostegno provvisorio di pannelli prefabbricati o strutture metalliche:											
	b	per ogni montaggio e smontaggio dell'attrezzatura											
		ipotizzo un puntello ogni 100 cm.											
		puntello tutta la trave											
			5				cad	5,00					
		Totale											
							cad	5,00	6,01	30,05	78	23,44	
	a	costo di utilizzo dell'attrezzatura per un mese											
		durata dei lavori 1 settimana											
		vedi quantità precedente											
			5			0,25	cad	1,25					
		Totale											
							cad	1,25	1,32	1,65		-	
1.2		trabattello											
	F01.064.005	Trabattello mobile prefabbricato in tubolare di lega, completo di piani di lavoro, botole e scale di accesso ai piani, protezioni e quanto altro previsto dalle norme vigenti, compresi gli oneri di montaggio, smontaggio e ritiro a fine lavori, valutato per ogni mese di utilizzo:											
	a	per altezze fino a 3,6 m											
			1				cad	1,00					
		Totale											
							cad	1,00	70,77	70,77	51	36,09	
1.3		presidi sanitari											
	F01.097.005	Cassetta in ABS completa di presidi chirurgici e farmaceutici secondo le disposizioni del DM 15/07/2003 integrate con il DLgs 81/08; da valutarsi come costo di utilizzo mensile del dispositivo comprese le eventuali reintegrazioni dei presidi:											
	b	dimensioni 44,5 x 32 x 15 cm											
			1				cad	1,00					
		Totale											
							cad	1,00	3,90	3,90		-	
1.4		estintore											
	N04.025.005	Estintore portatile omologato, montato a parete nella baracca di cantiere con apposita staffa (o sulle macchine operatrici) e corredato di cartello di segnalazione. Compresa la manutenzione periodica prevista per legge. Costo per tutta la durata dei lavori:											
	a	da 6 kg											
			1				cad	1,00					
		Totale											
							cad	1,00	15,89	15,89	10	1,59	
1.5		riunioni di protezione e informazione dai rischi											
	M01.001.015	Qualificato edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%)											
			0,5				ore	0,50					
		Totale											
							ore	0,50	36,19	18,09	100	18,09	
	M01.001.020	Comune edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%)											
			0,5				ore	0,50					
		Totale											
							ore	0,50	32,47	16,24	100	16,24	
1		totale - COSTI DELLA SICUREZZA											
										156,59		95,45	

progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
2		LAVORAZIONI											
2.1		protezione del pavimento											
2.1.1	F01.055.005	Noleggio di piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate in acciaio zincato, spessore 10/10 mm, od in legno di abete, spessore 50 mm, tavola fermapiède e scale di collegamento, valutato a mq di superficie del piano di lavoro (proiezione orizzontale):											
	a	per i primi 30 giorni, compreso ogni onere e magistero di approvvigionamento, montaggio, manutenzione, smontaggio e ritiro dal cantiere a fine lavori											
		zona di intervento		3,00	2,00			mq	6,00				
		Totale						mq	6,00	5,05	30,30	5,05	1,53
2.1.2	A15.046.010	Polietilene in fogli, avente funzione di strato separatore tra il pavimento e il tavolato fornito e posto in opera, spessore 0,2 mm											
		vedi quantità art. 2.1.1	mq	6,00				mq	6,00				
		Totale						mq	6,00	1,28	7,68	45	3,46
2.1.3	B01.061.005	Trasporto delle tavole di legno con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno											
		vedi quantità art. 2.1.1											
		viaggio di andata per il montaggio	mq	6,00	0,04			mc	0,24				
		viaggio di ritorno per lo smontaggio	mq	6,00	0,04			mc	0,24				
		Totale						mc	0,48	59,09	28,36	45	12,76
2.1.4	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.1.1											
		sollevamento per il montaggio delle tavole	mq	6,00	0,04			mc	0,24				
		calo in basso per lo smontaggio	mq	6,00	0,04			mc	0,24				
		Totale						mc	0,48	36,35	17,45	75	13,09
2.2		pulizia del legname											
	B01.031.035	Pulitura di superfici con sistema a bassa pressione (0,5 ÷ 1,5 bar) a vortice rotativo elicoidale (sistema Jos) con granulato neutro finissimo (granulometria 5 ÷ 300 µ, durezza 2,5 ÷ 3 mohs) e consumo medio di acqua 10 ÷ 60 l/h; esclusi eventuali ponteggi:											
	b	in situazioni di media difficoltà											
		puntone		1,40	0,78			mq	1,09				
		catena		1,70	0,80			mq	1,36				
		Totale						mq	2,45	105,14	257,80	43	110,86
2.3		trattamento antitarlo su strutture in legno esistenti											
	A07.004.005	Antiparassitario liquido applicato per la prevenzione e la conservazione delle strutture lignee mediante accurata pulizia delle superfici da trattare con scortecciatore o cartavetro, stesura a tre passate intervallate per favorire il massimo assorbimento del prodotto ed ogni altro onere e magistero per realizzare l'intervento a perfetta regola d'arte:											
	a	con vernice antitarlo fungicida											
		vedi quantità art. 2.2	mq	2,45				mq	2,45				
		Totale						mq	2,45	20,55	50,39	40	20,16
2.4		scasso nella muratura per inserimento teste fettoni											
	B01.007.025	Taglio a forza di muratura, anche voltata, di spessore superiore ad una testa, eseguito a mano, per ripresa in breccia, a piccoli tratti, apertura di vani ed eliminazione di riseghe:											
	c	muratura in pietrame per inserire i fettoni di legno e le successive bullonature ipotizzo di eseguire uno scasso di lunghezza cm. 150											
				1,50	0,35	0,30		mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	318,57	50,17	78	39,14
2.5		movimentazione macerie in cantiere											
	B01.061.035	Scofanatura a spalla d'uomo o insacchettatura di materiali di qualsiasi natura e consistenza, provenienti da demolizioni, su percorsi non carriolabili, fino al luogo di deposito, in attesa del trasporto allo scarico, compreso oneri di superamento dislivelli											
	c	muratura in pietrame											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	78,61	12,38	78	9,66
2.6		calo in basso delle macerie											
	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	36,35	5,73	75	4,29

progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo	Importo	% M.O.	Importo
				lungh.	largh.	altezza				unitario			manodopera
2.7		trasporto a discarica delle macerie											
	B01.061.005	Trasporto a discarica controllata secondo il DLgs 13 gennaio 2003, n. 36 dei materiali di risulta provenienti da demolizioni, previa caratterizzazione di base ai sensi del DM 24 giugno 2015 da computarsi a parte, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	59,09	9,31	54	5,03
2.8		oneri di discarica											
	A.46.1.2	Conferimento di materiale di risulta a pubblica discarica autorizzata. Macerie in genere quali mattoni, pietriccio, cemento, asfalto, calcestruzzo, ecc. Codici EER (CER) 170904											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	17,00	2,68		-
2.9		nuove strutture lignee											
	A22.004.005	Elementi portanti orizzontali a sezione rettangolare di legno massello o lamellare, con superfici in vista piallate, di sezione adeguata, opportunamente classificato in base alla norma UNI EN 338 come previsto dalla attuale normativa in materia di progettazione sismica, resistenza caratteristica a flessione 24 MPa, inclusi gli oneri per il trasporto e la movimentazione nell'ambito del cantiere, il montaggio a cura di personale specializzato ed ogni altra prestazione compreso il controllo e accettazione di elaborati costruttivi forniti dal produttore o dal progettista. Sono compresi nel prezzo i piani di lavoro interni, la pulizia finale, il trasporto a discarica del materiale di risulta differenziato e quant'altro per dare il lavoro finito a regola d'arte secondo i protocolli di montaggio stabilibili nel C.S.A o dalla D.L.:											
	k	larice massello											
		<i>fettoni</i>	2	1,07	0,14	0,26		mc	0,08				
			2	0,58	0,14	0,16		mc	0,03				
		<i>gattelli tallone</i>											
		tallone destro	0,5	1,20	0,20	0,40		mc	0,05				
		Totale						mc	0,15	3.340,92	507,42	26	131,93
2.10		maggiorazione per classe C30											
	A22.004.020	Sovrapprezzo per aumento della resistenza caratteristica di elementi costruttivi diritti per travi in legno di cui alla voce A22.004.005, identificata secondo i parametri della norma UNI EN 338:											
		legno massello di conifera:											
	a	resistenza caratteristica a flessione 30 MPa - classe C30											
		vedi quantità art. 2.9	mc	0,15				mc	0,15				
		Totale						mc	0,15	607,60	92,28		-
2.11		trattamento antitarlo											
	A22.004.015	Sovrapprezzo per elementi costruttivi diritti per travi in legno di abete, douglas o pino di cui alla voce A22.004.005 per trattamento preventivo per conferire resistenza agli agenti biologici (insetti, funghi) e all'umidità superiore a quella di un legno naturalmente durevole, trattamento utilizzato nel caso di applicazione in classe di rischio 3 e 4:											
	a	applicazione a pennello, spazzola o rotolo											
		<i>fettoni</i>	4	1,07		0,26		mq	1,11				
			4	0,58		0,16		mq	0,37				
		sponde	2	3,29	0,14	0,16		mq	0,15				
		<i>gattelli tallone</i>											
		tallone destro	0,5	1,20	0,20	0,40		mq	0,05				
		Totale						mq	1,68	21,47	36,06	17	6,13
2.12		carpenteria per rinforzo nodo catena-puntone											
	A23.001.020	Carpenteria per strutture metalliche secondarie (arcarecci, membrature secondarie in genere, scossaline, contenimenti getto, etc.) in profilati a freddo, pressopiegati o profilati a caldo, compresi piastre di attacco, taglio a misura, forature, flange, bullonatura o saldatura e quanto altro occorre per dare l'opera finita, esclusi trattamenti protettivi e verniciature:											
	e	in acciaio S355 JR - classe di esecuzione EXC1 o EXC2											
		piatti verticali	2	0,70	0,08	0,008	7850	kg	7,03				
			2	0,80	0,08	0,008	7850	kg	8,04				
		piatti orizzontali di collegamento	4	0,35	0,05	0,020	7850	kg	15,07				
		Totale						kg	30,14	3,86	116,36	45	52,36
2.13		 tiro in alto della carpenteria											
	N04.001.010	Autocarro con gru munita di cestello girevole, compresi operatore, carburante e lubrificante, per ogni ora di effettivo esercizio: con braccio fino a 20 m											
		vedi quantità art. 2.12	0,5					ora	0,50				
		Totale						ora	0,50	99,00	49,50	34	16,83
2.14		saldatura carpenteria metallica											
	A23.001.050	Saldatura in opera di strutture metalliche in conformità alle norme vigenti, fatta eccezione per la saldatura dei connettori:											
	a	saldatura a cordoni d'angolo											
		piatti	16	14,00	1,00	1,00		cmc	224,00				
		Totale						cmc	224,00	0,24	53,76	39	20,97
2.15		preparazione alla verniciatura											
	A23.004.005	Raschiatura e spazzolatura con spazzole metalliche per l'eliminazione grossolana della ruggine e delle scaglie di laminazione											
		vedi quantità art. 2.12	kg	30,14				kg	30,14				
		Totale						kg	30,14	0,10	3,01	78	2,35
2.16		antiruggine											
	A23.004.020	Trattamento antiruggine mediante applicazione di una mano di fosfato di zinco in veicolo oleofenolico											
		vedi quantità art. 2.12	kg	30,14				kg	30,14				
		Totale						kg	30,14	0,16	4,82	37	1,78

progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo	Importo	% M.O.	Importo
				lungh.	largh.	altezza				unitario			manodopera
2.17		pannello in neoprene											
	NP.01	Pannello in neoprene con durezza shore A40 spessore mm. 10											
			4	0,20	0,05			mq	0,04				
		Totale						mq	0,04	382,10	15,28	60	9,17
2.18		bulloni di tenuta											
	B02.004.050	Fornitura e posa in opera di tassello e/o barra filettata con ancoraggio chimico o malta cementizia espansiva per fissaggi o simili, compresa la formazione del foro e sua pulizia. Il prezzo è riferito ad ogni decimetro di lunghezza del tassello o della barra fornita e posata:											
	b	diametro da 12 mm a 16 mm											
		M16	11	5,40				dm	59,40				
		M14	8	1,40				dm	11,20				
		Totale						dm	70,60	8,54	602,92	54	325,58
	c	diametro da 18 mm fino a 22 mm											
		catena	4	4,80				dm	19,20				
		Totale						dm	19,20	11,83	227,14	52	118,11
2.19		viti di collegamento puntoni e tamponi											
	A22.055.035	Vite per legno a testa svasata con punta autoforante, fresa a fine filetto, zincata bianca, con rivestimento in cromo esavalente, filetto a passo veloce, utilizzabile senza preforatura: Ø 6, lunghezza:											
	t	360 mm											
		fissaggio gattello	2	10				cad	20,00				
		Totale						cad	20,00	1,00	20,00		-
2.20		montaggio viti											
	NP.02	Montaggio delle viti mediante trapano avvitatore											
		lunghezza mm. 360		20,00				cad	20,00				
		Totale						cad	20,00	1,09	21,71	78	16,94
2.21		riprese murarie per chiusura fori teste capriate											
	B02.001.020	Formazione di muratura, in elementi nuovi o di recupero già pronti per l'uso, per riprese murarie, aumento dello spessore o per la chiusura in breccia di finestre, porte, canne fumarie e fori vari, compresi gli oneri per la formazione di spallette e sguinci, nel caso di riduzioni dimensionali e/o modifiche delle aperture esistenti; comprese le forniture ed i magisteri per la formazione delle ammorsature laterali e trasversali, almeno ogni 60 cm in altezza per due corsi di mattoni, la chiusura a forza con malta antriritiro contro la superficie superiore del contorno, il tutto eseguito a regola d'arte per dare le superfici esterne pulite ben rifinite e piane ed atte a ricevere l'intonaco o la successiva rhabocatura e stuccatura e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte, compreso il maggior onere per riprese di architravi, lesene, ghiera di archi, volte ecc.:											
	b	muratura di pietrame: di natura calcarea squadrato e sbizzato											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	725,65	114,29	26	29,72
2.22		maggiorazione per lavorazioni in edificio vincolato											
		Maggiorazione del 10% come indicato nel paragrafo - INTERVENTI DI RECUPERO DEGLI IMMOBILI ESISTENTI - del prezzario regionale Emilia Romagna: lavori caratterizzati da condizioni locali particolarmente sfavorevoli o lavori assoggettati a particolari vincoli per l'esecutore, in relazione alle esigenze della committenza e/o a condizioni particolari di accessibilità (e circostanze similari)											
		Dette variazioni di prezzi non sono applicabili ai prezzi di cui alla parte B - Opere di recupero, parte C - Opere di urbanizzazione e opere di difesa del suolo, parte D10 - ICT Tecnologie dell'informazione e della telecomunicazione, parte F - Sicurezza, parte G - Opere in ambito sanitario e similari e parte H - Opere forestali di iniziativa pubblica.											
	2.3	trattamento antitarlo su strutture in legno esistenti						€.	50,39			40	2,02
	2.9	nuove strutture lignee						€.	507,42			26	13,19
	2.10	maggiorazione per classe C30						€.	92,28			0	-
	2.11	trattamento antitarlo						€.	36,06			17	0,61
	2.12	carpenteria per rinforzo nodo catena-puntone						€.	116,36			45	5,24
	2.14	saldatura carpenteria metallica						€.	53,76			39	2,10
	2.15	preparazione alla verniciatura						€.	3,01			78	0,24
	2.16	antiruggine						€.	4,82			37	0,18
	2.19	viti di collegamento puntoni e tamponi						€.	20,00			0	-
		Totale						€.	884,10	0,10	88,41		-
2		totale - LAVORAZIONI									2.425,22		975,39
		RIEPILOGO											
1		totale - COSTI DELLA SICUREZZA							€.		156,59	€.	95,45
2		totale - LAVORAZIONI							€.		2.425,22	€.	975,39
3		TOTALE COMPLESSIVO							€.		2.581,81	€.	1.070,84

CONVENTO DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA - rinforzo del tacco							
ANALISI PREZZI ELEMENTARI							
ARTICOLO DI ELENCO	NP.01			DATA	16/06/2025		
DESCRIZIONE DELLA VOCE							
Pannello in neoprene con durezza shore A40 spessore 10 mm							
	descrizione	U.M.	costo unit.	q.tà	costo	totale parziale	inc. %
A) materiali	pannello neoprene 10 mm	mq	€ 260,00	1,10	€ 286,00		
TOTALE MATERIALI						€ 286,00	95,51%
B) Mano d'opera	operaio qualificato M01.001.015	ora	€ 28,36	0,25	€ 7,09		
	operaio comune M01.001.020	ora	€ 25,45	0,25	€ 6,36		
TOTALE MANO D'OPERA						€ 13,45	4,49%
C) Noli e trasporti							
TOTALE NOLI E TRASPORTI						€ 0,00	0,00%
TOTALE GENERALE (A+B+C)						€ 299,45	100,00%
D - SPESE GENERALI (16%)						€ 47,91	
TOTALE PARZIALE (A+B+C+D)						€ 347,36	
E - UTILE DI IMPRESA (10%)						€ 34,74	
TOTALE COMPLESSIVO (A+B+C+D+E)						€ 382,10	
PREZZO APPLICATO						€ 382,10	mq

CONVENTO DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA - rinforzo del tacco							
ANALISI PREZZI ELEMENTARI							
ARTICOLO DI ELENCO	NP.02			DATA	16/06/2025		
DESCRIZIONE DELLA VOCE							
Montaggio delle viti mediante trapano avvitatore							
	descrizione	U.M.	costo unit.	q.tà	costo	totale parziale	inc. %
A) materiali					€ 0,00		
TOTALE MATERIALI						€ 0,00	0,00%
B) Mano d'opera	operaio qualificato M01.001.015	ora	€ 28,36	0,03	€ 0,85		
	TOTALE MANO D'OPERA						€ 0,85
C) Noli e trasporti							
TOTALE NOLI E TRASPORTI						€ 0,00	0,00%
TOTALE GENERALE (A+B+C)						€ 0,85	100,00%
D - SPESE GENERALI (16%)						€ 0,14	
TOTALE PARZIALE (A+B+C+D)						€ 0,99	
E - UTILE DI IMPRESA (10%)						€ 0,10	
TOTALE COMPLESSIVO (A+B+C+D+E)						€ 1,09	
PREZZO APPLICATO						€ 1,09	cad

PROGETTO DI RINFORZO DEL TACCO DI UNA CAPIRIATA AMMALORATA - Procedimento C - RINFORZO CON PROTESI IN LEGNO (incalmi)													
COMPUTO METRICO ESTIMATIVO													
progr	Rif. el. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
		<i>NOTE GENERALI</i>											
		calcolo le quantità relative a un solo tacco											
1		COSTI DELLA SICUREZZA											
1.1		puntellature											
	F01.046.015	Puntello metallico regolabile articolato alle estremità, con altezza fino a 3,6 m dal piano di appoggio, e sovrastante prima orditura costituita da morali di abete, per il sostegno provvisorio di pannelli prefabbricati o strutture metalliche:											
	b	per ogni montaggio e smontaggio dell'attrezzatura											
		ipotizzo un puntello ogni 100 cm.											
		puntello tutta la trave		5				cad	5,00				
		puntello il solaio ai lati della trave		2				cad	2,00				
		Totale						cad	7,00	6,01	42,07	78	32,81
	a	costo di utilizzo dell'attrezzatura per un mese											
		durata dei lavori 1 settimana											
		vedi quantità precedente		7				0,25	cad	1,75			
		Totale						cad	1,75	1,32	2,31		-
1.2		<i>ponteggio per uso lavorazione e puntellatura</i>											
1.2.1		ponteggio a telaio											
	F01.052.005	Ponteggi con sistema a telaio realizzati in tubolari metallici, con altezze anche oltre i 20 m, prodotti da azienda in possesso di autorizzazione ministeriale ed eseguiti con l'impiego di tubi di Ø 48 mm e spessore pari a 2,9 mm, in acciaio zincato o verniciato, compresi progetto e relazione tecnica (quando necessari), doppio parapetto, protezioni usuali eseguite secondo le norme di sicurezza vigenti in materia, mantovane, scale di collegamento tra i piani di lavoro, ancoraggi ed ogni altro onere e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte con esclusione dei piani di lavoro, delle partenze realizzate con pezzi speciali, dei castelletti di accesso al ponteggio o ai montacarichi e dei raddoppi necessari al superamento di balconi, aggetti, cornicioni e sviluppi angolari di facciata, da contabilizzarsi a parte. Valutati a mq di proiezione verticale di facciata:											
	a	montaggio comprensivo di trasporto, approvvigionamento, scarico avvicinamento e tiro in alto dei materiali, per i primi 30 giorni											
				3,60		3,00		mq	10,80				
		Totale						mq	10,80	10,47	113,08	60	67,85
	c	smontaggio a fine lavoro compreso calo in basso, accantonamento provvisorio, carico e trasporto di allontanamento dal cantiere											
		vedi quantità precedente		mq	10,80			mq	10,80				
		Totale						mq	10,80	4,04	43,63	77	33,60
1.2.2		piani di lavoro											
	F01.055.010	Noleggio di piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate in acciaio zincato, spessore 10/10 mm, od in legno di abete, spessore 50 mm, tavola fermapiede e scale di collegamento, valutato a mq di facciata (proiezione verticale):											
	a	per i primi 30 giorni, compreso ogni onere e magistero di approvvigionamento, montaggio, manutenzione, smontaggio											
		vedi quantità precedente		mq	10,80			mq	10,80				
		Totale						mq	10,80	2,52	27,22	54	14,70
1.2.3	B01.061.005	Trasporto delle tavole di legno con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno											
		vedi quantità art. 1.2.1											
		viaggio di andata per il montaggio		mq	10,80	0,04		mc	0,43				
		viaggio di ritorno per lo smontaggio		mq	10,80	0,04		mc	0,43				
		Totale						mc	0,86	59,09	51,05	45	22,97
1.2.4	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 1.2.1											
		sollevamento per il montaggio delle tavole		mq	10,80	0,04		mc	0,43				
		calo in basso per lo smontaggio		mq	10,80	0,04		mc	0,43				
		Totale						mc	0,86	36,35	31,41	75	23,55
1.3		presidi sanitari											
	F01.097.005	Cassetta in ABS completa di presidi chirurgici e farmaceutici secondo le disposizioni del DM 15/07/2003 integrate con il DLgs 81/08; da valutarsi come costo di utilizzo mensile del dispositivo comprese le eventuali reintegrazioni dei presidi:											
	b	dimensioni 44,5 x 32 x 15 cm		1				cad	1,00				
		Totale						cad	1,00	3,90	3,90		-

progr	Rif. el. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
1.4		estintore											
	N04.025.005	Estintore portatile omologato, montato a parete nella baracca di cantiere con apposita staffa (o sulle macchine operatrici) e corredato di cartello di segnalazione. Compresa la manutenzione periodica prevista per legge. Costo per tutta la durata dei lavori:											
	a	da 6 kg	1					cad	1,00				
		Totale						cad	1,00	15,89	15,89	10	1,59
1.5		riunioni di protezione e informazione dai rischi											
	M01.001.015	Qualificato edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%)	0,5					ore	0,50				
		Totale						ore	0,50	36,19	18,09	100	18,09
	M01.001.020	Comune edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%)	0,5					ore	0,50				
		Totale						ore	0,50	32,47	16,24	100	16,24
1		totale - COSTI DELLA SICUREZZA									364,88		231,40

progr	Rif. el. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo		% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza				unitario	Importo		
2		LAVORAZIONI											
2.1		protezione del pavimento											
2.1.1	F01.055.005	Noleggio di piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate in acciaio zincato, spessore 10/10 mm, od in legno di abete, spessore 50 mm, tavola fermapiEDE e scale di collegamento, valutato a mq di superficie del piano di lavoro (proiezione orizzontale):											
	a	per i primi 30 giorni, compreso ogni onere e magistero di approvvigionamento, montaggio, manutenzione, smontaggio											
		zona di intervento		4,00	2,00			mq	8,00				
		Totale						mq	8,00	5,05	40,40	5,05	2,04
2.1.2	A15.046.010	Polietilene in fogli, avente funzione di strato separatore tra il pavimento e il tavolato fornito e posto in opera, spessore 0,2 mm											
		vedi quantità art. 2.1.1	mq	8,00				mq	8,00				
		Totale						mq	8,00	1,28	10,24	45	4,61
2.1.3	B01.061.005	Trasporto delle tavole di legno con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno											
		vedi quantità art. 2.1.1											
		viaggio di andata per il montaggio	mq	8,00		0,04		mc	0,32				
		viaggio di ritorno per lo smontaggio	mq	8,00		0,04		mc	0,32				
		Totale						mc	0,64	59,09	37,82	45	17,02
2.1.4	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.1.1											
		sollevamento per il montaggio delle tavole	mq	8,00		0,04		mc	0,32				
		calo in basso per lo smontaggio	mq	8,00		0,04		mc	0,32				
		Totale						mc	0,64	36,35	23,26	75	17,45
2.2		scasso nella muratura											
B01.007.025		Taglio a forza di muratura, anche voltata, di spessore superiore ad una testa, eseguito a mano, per ripresa in breccia, a piccoli tratti, apertura di vani ed eliminazione di riseghe:											
	c	muratura in pietrame											
		ipotizzo di eseguire uno scasso di lunghezza cm. 150		1,50	0,35	0,30		mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	318,57	50,17	78	39,14
2.3		movimentazione macerie in cantiere											
B01.061.035		Scofanatura a spalla d'uomo o insacchettatura di materiali di qualsiasi natura e consistenza, provenienti da demolizioni, su percorsi non carriolabili, fino al luogo di deposito, in attesa del trasporto allo scarico, compreso oneri di superamento dislivelli											
	c	muratura in pietrame											
		vedi quantità art. 2.2	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	78,61	12,38	78	9,66
2.4		calo in basso delle macerie											
B01.061.030		Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.2	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	36,35	5,73	75	4,29
2.5		trasporto a discarica delle macerie											
B01.061.005		Trasporto a discarica controllata secondo il DLgs 13 gennaio 2003, n. 36 dei materiali di risulta provenienti da demolizioni, previa caratterizzazione di base ai sensi del DM 24 giugno 2015 da computarsi a parte, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica											
		vedi quantità art. 2.2	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	59,09	9,31	54	5,03
2.6		oneri di discarica											
A.46.1.2		Conferimento di materiale di risulta a pubblica discarica autorizzata. Macerie in genere quali mattoni, pietriccio, cemento, asfalto, calcestruzzo, ecc. Codici EER (CER) 170904											
		vedi quantità art. 2.2	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	17,00	2,68		-
2.7		taglio strutture in legno											
B02.004.060		Formazione o adeguamento di giunto strutturale mediante taglio di superfici di qualsiasi materiale con seghe elettriche, elettroidrauliche o con motore a scoppio o pulegge e cavi elicoidali diamantati per la creazione di giunti strutturali, compresi la pulizia, le eventuali opere di protezione e puntellamento, la ripresa degli intonaci, la protezione, la sigillatura e/o impermeabilizzazione del giunto ed ogni altro onere, fornitura e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte:											
		catena sezione cm. 20x20 ; puntone sezione cm. 18x26											
		Ipotizzo di sostituire un pezzo di sezione trapezoidale di lunghezza cm. 34 + tratto interno alla muratura											
	d	profondità di taglio da 150 a 200 mm											
		catena : taglio in diagonale		0,25				ml	0,25				
		puntone : taglio in diagonale		0,31				ml	0,31				
		Totale						ml	0,56	142,20	79,63	67	53,35
2.8		demolizione struttura in legno											
B01.025.020		Smontaggio della grossa armatura in legno di tetto, compresi ferramenta, smuratura delle strutture stesse, cernita del materiale riutilizzabile e l'avvicinamento al luogo di deposito provvisorio; escluso il solo calo in basso:											
	b	per strutture composte quali capriate											
		catena sezione cm. 20x20 ; puntone sezione cm. 18x26											
		catena		0,54	0,20	0,20		mc	0,02				
		puntone		0,54	0,18	0,26		mc	0,03				
		Totale						mc	0,05	320,21	15,01	78	11,71
2.9		movimentazione macerie in cantiere											

progr	Rif. el. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo		% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza				unitario	Importo		
	B01.061.035	Scofanatura a spalla d'uomo o insacchettatura di materiali di qualsiasi natura e consistenza, provenienti da demolizioni, su percorsi non carriolabili, fino al luogo di deposito, in attesa del trasporto allo scarico, compreso oneri di superamento dislivelli											
	c	muratura in pietrame											
		vedi quantità art. 2.8	mc	0,05			mc	0,05					
		Totale					mc	0,05	78,61	3,68	78	2,87	
2.10		calo in basso delle macerie											
	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.8	mc	0,05			mc	0,05					
		Totale					mc	0,05	36,35	1,70	75	1,28	
2.11		trasporto a discarica delle macerie											
	B01.061.005	Trasporto a discarica controllata secondo il DLgs 13 gennaio 2003, n. 36 dei materiali di risulta provenienti da demolizioni, previa caratterizzazione di base ai sensi del DM 24 giugno 2015 da computarsi a parte, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica											
		vedi quantità art. 2.8	mc	0,05			mc	0,05					
		Totale					mc	0,05	59,09	2,77	54	1,50	
2.12		oneri di discarica											
	A.46.1.3	Conferimento di materiale di risulta a pubblica discarica autorizzata. Altri rifiuti quali legno, vetro, alluminio, ferro, plastica, ecc. Codici EER (CER) 170203-150102-150106-170202-191205											
		vedi quantità art. 2.8	mc	0,05			800	kg	37,50				
		Totale					kg	37,50	0,32	12,00		-	
2.13		nuove strutture lignee											
	A22.004.005	Elementi portanti orizzontali a sezione rettangolare di legno massello o lamellare, con superfici in vista piallate, di sezione adeguata, opportunamente classificato in base alla norma UNI EN 338 come previsto dalla attuale normativa in materia di progettazione sismica, resistenza caratteristica a flessione 24 MPa, inclusi gli oneri per il trasporto e la movimentazione nell'ambito del cantiere, il montaggio a cura di personale specializzato ed ogni altra prestazione compreso il controllo e accettazione di elaborati costruttivi forniti dal produttore o dal progettista. Sono compresi nel prezzo i piani di lavoro interni, la pulizia finale, il trasporto a discarica del materiale di risulta differenziato e quant'altro per dare il lavoro finito a regola d'arte secondo i protocolli di montaggio stabiliti nel C.S.A o dalla D.L.:											
	k	larice massello											
		vedi quantità art. 2.8	mc	0,05			mc	0,05					
		Totale					mc	0,05	3.340,92	156,60	26	40,71	
2.14		maggiorazione per classe C30											
	A22.004.020	Sovrapprezzo per aumento della resistenza caratteristica di elementi costruttivi diritti per travi in legno di cui alla voce A22.004.005, identificata secondo i parametri della norma UNI EN 338:											
	a	legno massello di conifera: resistenza caratteristica a flessione 30 MPa - classe C30											
		vedi quantità art. 2.13	mc	0,05			mc	0,05					
		Totale					mc	0,05	607,60	28,48		-	
2.15		trattamento antitarlo											
	A22.004.015	Sovrapprezzo per elementi costruttivi diritti per travi in legno di abete, douglas o pino di cui alla voce A22.004.005 per trattamento preventivo per conferire resistenza agli agenti biologici (insetti, funghi) e all'umidità superiore a quella di un legno naturalmente durevole, trattamento utilizzato nel caso di applicazione in classe di rischio 3 e 4:											
	a	applicazione a pennello, spazzola o rotolo catena sezione cm. 20x20 ; puntone sezione cm. 18x26											
		catena (nuovo prezzo)											
		tratto longitudinale		0,54	0,80			mq	0,43				
		testate	2	0,20	0,20			mq	0,08				
		testa trave esistente		0,25	0,20			mq	0,05				
		puntone (nuovo pezzo)											
		tratto longitudinale		0,54	0,88			mq	0,48				
		testate	2	0,18	0,26			mq	0,09				
		testa trave esistente		0,30	0,18			mq	0,05				
		Totale					mq	1,18	21,47	25,44	17	4,32	
2.16		rinforzo e collegamento con barre in acciaio											
2.16.1		taglio del legno per alloggiamento barre											
	B02.004.060	Formazione o adeguamento di giunto strutturale mediante taglio di superfici di qualsiasi materiale con seghe elettriche, elettroidrauliche o con motore a scoppio o pulegge e cavi elicoidali diamantati per la creazione di giunti strutturali, compresi la pulizia, le eventuali opere di protezione e puntellamento, la ripresa degli intonaci, la protezione, la sigillatura e/o impermeabilizzazione del giunto ed ogni altro onere, fornitura e magistero per dare il lavoro finito a regola d'arte.											

progr	Rif. el. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo		% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza				unitario	Importo		
	a	profondità di taglio fino a 100 mm											
		ipotizzo di eseguire due tagli paralleli per ottenere uno scasso di sezione mm. 25x50											
		catena : nr. 2 scassi per lato	8	0,80				ml	6,40				
		puntone : nr. 2 scassi per lato	8	0,80				ml	6,40				
		Totale						ml	12,80	65,36	836,61	70	585,63
2.16.2		demolizione struttura in legno											
	NP.01	Formazione dello scasso nel legname eseguito a mano compreso la demolizione del legno e la pulizia con aria compressa per l'eliminazione di parti friabili e polveri											
		scasso di sezione mm. 25x50											
		catena : nr. 2 scassi per lato	4	0,80				ml	3,20				
		puntone : nr. 2 scassi per lato	4	0,80				ml	3,20				
		Totale						ml	6,40	68,66	439,43	78	342,76
2.16.3		barra in acciaio											
	A03.013.005	Acciaio in barre per armature di conglomerato cementizio prelaborato e pretagliato a misura, sagomato e posto in opera a regola d'arte, compreso ogni sfido, legature ecc.; nonché tutti gli oneri relativi ai controlli di legge; del tipo B450C prodotto da azienda in possesso di attestato di qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.											
		spezzoni diametro mm. 16											
		catena : nr. 2 scassi per lato	4	0,80			1,576	kg	5,04				
		puntone : nr. 2 scassi per lato	4	0,80			1,576	kg	5,04				
		Totale						kg	10,09	2,27	22,90	43	9,85
2.16.4		sigillatura con resine epossidiche											
	B02.004.055	Iniezione o saturazione a gravità di perfori del diametro di 35-55 mm con miscela fluida cementizia o di calce antiritiro per la sigillatura di cucitura armata, compresi l'onere per il lavaggio del foro, il tamponamento delle fessure della muratura, la ripulitura delle pareti ad intervento eseguito ed ogni altro onere per dare il lavoro eseguito a regola d'arte. Il prezzo è riferito ad una lavorazione eseguita su una superficie minima di 15 metri quadrati.											
	a	eseguita a pressione											
		peso specifico resina epossidica 1,2 kg/dmc											
		catena : nr. 2 scassi per lato	4	8	0,250	0,50	1,2	kg	4,80				
		puntone : nr. 2 scassi per lato	4	8	0,250	0,50	1,2	kg	4,80				
		Totale						kg	9,60	6,61	63,46	44	27,92
	c	sovrapprezzo per resina acrilica da additivare alla boiaccia di cemento, per cuciture armate, compresa la preparazione di detta resina secondo la formula di dosaggio stabilito dalla casa produttrice											
		vedi quantità precedente		kg	9,60				kg	9,60			
		Totale						kg	9,60	3,85	36,96	37	13,68
2.17		preparazione del piano di posa del tallone											
	A11.001.005	Massetto di sottofondo sottile in preparazione del piano di posa della impermeabilizzazione, dello spessore di almeno 2 cm, tirato con regolo per la livellazione della superficie:											
	a	con malta di cemento additivata con resina acrilica, su superfici orizzontali											
				1,50	0,20				mq	0,30			
		Totale						mq	0,30	17,61	5,28	45	2,38
2.18		riprese murarie per chiusura fori teste capriate											
	B02.001.020	Formazione di muratura, in elementi nuovi o di recupero già pronti per l'uso, per riprese murarie, aumento dello spessore o per la chiusura in breccia di finestre, porte, canne fumarie e fori vari, compresi gli oneri per la formazione di spallette e sguinci, nel caso di riduzioni dimensionali e/o modifiche delle aperture esistenti; comprese le forniture ed i magisteri per la formazione delle ammassature laterali e trasversali, almeno ogni 60 cm in altezza per due corsi di mattoni, la chiusura a forza con malta antiritiro contro la superficie superiore del contorno, il tutto eseguito a regola d'arte per dare le superfici esterne pulite ben rifinite e piane ed atte a ricevere l'intonaco o la successiva rabboccatura e stuccatura e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte, compreso il maggior onere per riprese di architravi, lesene, ghiera di archi, volte ecc.:											
	b	muratura di pietrame: di natura calcarea squadrato e sbizzato											
		vedi quantità art. 2.2		mc	0,16				mc	0,16			
		Totale						mc	0,16	725,65	114,29	26	29,72
2.19		maggiorazione per lavorazioni in edificio vincolato											
		Maggiorazione del 10% come indicato nel paragrafo - INTERVENTI DI RECUPERO DEGLI IMMOBILI ESISTENTI - del prezzario regionale Emilia Romagna: lavori caratterizzati da condizioni locali particolarmente sfavorevoli o lavori assoggettati a particolari vincoli per l'esecutore, in relazione alle esigenze della committenza e/o a condizioni particolari di accessibilità (e circostanze similari)											
		Dette variazioni di prezzi <u>non sono applicabili</u> ai prezzi di cui alla parte B - Opere di recupero, parte C - Opere di urbanizzazione e opere di difesa del suolo, parte D10 - ICT Tecnologie dell'informazione e della telecomunicazione, parte F - Sicurezza, parte G - Opere in ambito sanitario e similari e parte H - Opere forestali di iniziativa pubblica.											
	2.13	nuove strutture lignee						€.	156,60			26	4,07
	2.14	maggiorazione per classe C30						€.	28,48			0	-
	2.15	trattamento antitarlo						€.	25,44			17	0,43
	2.17	preparazione del piano di posa del tallone						€.	5,28			45	0,24
		Totale						€.	215,80	0,10	21,58		-
2		totale - LAVORAZIONI									2.057,80		1.231,63
		RIEPILOGO GENERALE											
1		totale - COSTI DELLA SICUREZZA							€.		364,88	€.	231,40
2		totale - LAVORAZIONI							€.		2.057,80	€.	1.231,63
3		TOTALE COMPLESSIVO							€.		2.422,69	€.	1.463,04

CONVENTO DI SANTARCANGELO DI ROMAGNA - rinforzo del tacco

ANALISI PREZZI ELEMENTARI

ARTICOLO DI ELENCO		NP.01		DATA		16/06/2025	
DESCRIZIONE DELLA VOCE							
Formazione dello scasso nel legname eseguito a mano compreso la demolizione del legno e la pulizia con aria compressa per l'eliminazione di parti friabili e polveri							
	descrizione	U.M.	costo unit.	q.tà	costo	totale parziale	inc. %
A) materiali							
	TOTALE MATERIALI					€ 0,00	0,00%
B) Mano d'opera	operaio qualificato M01.001.015	ora	€ 28,36	1,00	€ 28,36		
	operaio comune M01.001.020	ora	€ 25,45	1,00	€ 25,45		
	TOTALE MANO D'OPERA					€ 53,81	100,00%
C) Noli e trasporti							
	TOTALE NOLI E TRASPORTI					€ 0,00	0,00%
TOTALE GENERALE (A+B+C)						€ 53,81	100,00%
D - SPESE GENERALI (16%)						€ 8,61	
TOTALE PARZIALE (A+B+C+D)						€ 62,42	
E - UTILE DI IMPRESA (10%)						€ 6,24	
TOTALE COMPLESSIVO (A+B+C+D+E)						€ 68,66	
PREZZO APPLICATO						€ 68,66	ml

PROGETTO DI RINFORZO DEL TACCO DI UNA CAPRIATA AMMALORATA - Procedimento D - RINFORZO CON PROFILI METALLICI													
COMPUTO METRICO ESTIMATIVO													
progr	Rif. el. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
<i>NOTE GENERALI</i>													
calcolo le quantità relative a un solo tacco													
COSTI DELLA SICUREZZA													
1		puntellature											
F01.046.015		Puntello metallico regolabile articolato alle estremità, con altezza fino a 3,6 m dal piano di appoggio, e sovrastante prima orditura costituita da morali di abete, per il sostegno provvisorio di pannelli prefabbricati o strutture metalliche:											
b		per ogni montaggio e smontaggio dell'attrezzatura ipotizzo un puntello ogni 100 cm. puntello tutta la trave			5			cad	5,00				
		Totale						cad	5,00	6,01	30,05	78	23,44
a		costo di utilizzo dell'attrezzatura per un mese durata dei lavori 1 settimana vedi quantità precedente			5		0,25	cad	1,25				
		Totale						cad	1,25	1,32	1,65		-
1.2		trabattello											
F01.064.005		Trabattello mobile prefabbricato in tubolare di lega, completo di piani di lavoro, botole e scale di accesso ai piani, protezioni e quanto altro previsto dalle norme vigenti, compresi gli oneri di montaggio, smontaggio e ritiro a fine lavori, valutato per ogni mese di utilizzo:											
a		per altezze fino a 3,6 m	1					cad	1,00				
		Totale						cad	1,00	70,77	70,77	51	36,09
1.3		presidi sanitari											
F01.097.005		Cassetta in ABS completa di presidi chirurgici e farmaceutici secondo le disposizioni del DM 15/07/2003 integrate con il DLgs 81/08; da valutarsi come costo di utilizzo mensile del dispositivo comprese le eventuali reintegrazioni dei presidi:											
b		dimensioni 44,5 x 32 x 15 cm	1					cad	1,00				
		Totale						cad	1,00	3,90	3,90		-
1.4		estintore											
N04.025.005		Estintore portatile omologato, montato a parete nella baracca di cantiere con apposita staffa (o sulle macchine operatrici) e corredato di cartello di segnalazione. Compresa la manutenzione periodica prevista per legge. Costo per tutta la durata dei lavori:											
a		da 6 kg	1					cad	1,00				
		Totale						cad	1,00	15,89	15,89	10	1,59
1.5		riunioni di protezione e informazione dai rischi											
M01.001.010		Qualificato edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%)		0,5				ore	0,50				
		Totale						ore	0,50	36,19	18,09		-
M01.001.020		Comune edile (compreso spese generali 16% e utile di impresa 10%)		0,5				ore	0,50				
		Totale						ore	0,50	32,47	16,24		-
1		totale - COSTI DELLA SICUREZZA									156,59		61,12

progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo	Importo	% M.O.	Importo
				lungh.	largh.	altezza				unitario			manodopera
2		LAVORAZIONI											
2.1		<i>protezione del pavimento</i>											
2.1.1	F01.055.005	Noleggio di piano di lavoro per ponteggi costituito da tavole metalliche prefabbricate in acciaio zincato, spessore 10/10 mm, od in legno di abete, spessore 50 mm, tavola fermapiede e scale di collegamento, valutato a mq di superficie del piano di lavoro (proiezione orizzontale):											
	a	per i primi 30 giorni, compreso ogni onere e magistero di approvvigionamento, montaggio, manutenzione, smontaggio e ritiro dal cantiere a fine lavori											
		zona di intervento		3,00	2,00			mq	6,00				
		Totale						mq	6,00	5,05	30,30	5,05	1,53
2.1.2	A15.046.010	Polietilene in fogli, avente funzione di strato separatore tra il pavimento e il tavolato fornito e posto in opera, spessore 0,2 mm											
		vedi quantità art. 2.1.1	mq	6,00				mq	6,00				
		Totale						mq	6,00	1,28	7,68	45	3,46
2.1.3	B01.061.005	Trasporto delle tavole di legno con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno											
		vedi quantità art. 2.1.1											
		viaggio di andata per il montaggio	mq	6,00		0,04		mc	0,24				
		viaggio di ritorno per lo smontaggio	mq	6,00		0,04		mc	0,24				
		Totale						mc	0,48	59,09	28,36	45	12,76
2.1.4	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.1.1											
		sollevamento per il montaggio delle tavole	mq	6,00		0,04		mc	0,24				
		calo in basso per lo smontaggio	mq	6,00		0,04		mc	0,24				
		Totale						mc	0,48	36,35	17,45	75	13,09
2.2		pulizia del legname											
	B01.031.035	Pulitura di superfici con sistema a bassa pressione (0,5 ÷ 1,5 bar) a vortice rotativo elicoidale (sistema Jos) con granulato neutro finissimo (granulometria 5 ÷ 300 µ, durezza 2,5 ÷ 3 mohs) e consumo medio di acqua 10 ÷ 60 l/h; esclusi eventuali ponteggi:											
	b	in situazioni di media difficoltà											
		puntone		1,40	0,78			mq	1,09				
		catena		1,70	0,80			mq	1,36				
		Totale						mq	2,45	105,14	257,80	43	110,86
2.3		trattamento antitarlo su strutture in legno esistenti											
	A07.004.005	Antiparassitario liquido applicato per la prevenzione e la conservazione delle strutture lignee mediante accurata pulizia delle superfici da trattare con scortecciatore o cartavetro, stesura a tre passate intervallate per favorire il massimo assorbimento del prodotto ed ogni altro onere e magistero per realizzare l'intervento a perfetta regola d'arte:											
	a	con vernice antitarlo fungicida											
		vedi quantità art. 2.2	mq	2,45				mq	2,45				
		Totale						mq	2,45	20,55	50,39	40	20,16
2.4		scasso nella muratura per inserimento teste profili metallici											
	B01.007.025	Taglio a forza di muratura, anche voltata, di spessore superiore ad una testa, eseguito a mano, per ripresa in breccia, a piccoli tratti, apertura di vani ed eliminazione di riseghe:											
	c	muratura in pietrame											
		per inserire il profilo e le successive bullonature ipotizzo di eseguire uno scasso di lunghezza 150 cm	1	1,50	0,35	0,30		mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	317,68	50,03	76	38,03
2.4		movimentazione macerie in cantiere											
	B01.061.035	Scofanatura a spalla d'uomo o insacchettatura di materiali di qualsiasi natura e consistenza, provenienti da demolizioni, su percorsi non carriolabili, fino al luogo di deposito, in attesa del trasporto allo scarico, compreso oneri di superamento dislivelli											
	c	muratura in pietrame											
		vedi quantità art. 2.3	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	78,39	12,35	76	9,38
2.5		calo in basso delle macerie											
	B01.061.030	Tiro in alto o calo in basso di materiali a mezzo di elevatore meccanico compreso l'onere di carico e scarico dei materiali:											
	b	valutazione a volume											
		vedi quantità art. 2.3	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	36,24	5,71	77	4,40

progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
2.6		trasporto a discarica delle macerie											
	B01.061.005	Trasporto a discarica controllata secondo il DLgs 13 gennaio 2003, n. 36 dei materiali di risulta provenienti da demolizioni, previa caratterizzazione di base ai sensi del DM 24 giugno 2015 da computarsi a parte, con autocarro di portata fino a 50 q, compresi carico, viaggio di andata e ritorno e scarico con esclusione degli oneri di discarica											
		vedi quantità art. 2.3	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	59,09	9,31	77	7,17
2.7		oneri di discarica											
	A.46.1.2	Conferimento di materiale di risulta a pubblica discarica autorizzata. Macerie in genere quali mattoni, pietrisco, cemento, asfalto, calcstruzzo, ecc. Codici EER (CER) 170904											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16				mc	0,16				
		Totale						mc	0,16	17,00	2,68		-
2.8		profili metallici UPN 240											
	A23.001.005	Carpenteria in acciaio in profilati laminati a caldo della serie IPE, HEA, HEB, HEM, UPN, angolari, piatti compresi eventuali connettori, piastre di attacco e di irrigidimento, taglio a misura, forature, flange, bullonatura o saldatura e quanto altro occorre per dare l'opera finita, esclusi trattamenti protettivi e verniciature:											
	e	per strutture semplici: in acciaio S355 JR - classe di esecuzione EXC1 o EXC2											
		puntone	2	1,40				kg	92,96				
		catena	2	1,70				kg	112,88				
		profilo sgambonato	2	0,70				kg	46,48				
		Totale						kg	252,32	3,49	880,60	45	396,27
2.9		carpenteria secondaria											
	A23.001.020	Carpenteria per strutture metalliche secondarie (arcarecci, membrature secondarie in genere, scossaline, contenimenti getto, etc.) in profilati a freddo, pressopiegati o profilati a caldo, compresi piastre di attacco, taglio a misura, forature, flange, bullonatura o saldatura e quanto altro occorre per dare l'opera finita, esclusi trattamenti protettivi e verniciature:											
	e	in acciaio S355 JR - classe di esecuzione EXC1 o EXC2											
		piatti di collegamento UPN della catena											
		catena - collegamenti	3	0,34	0,30	0,006	7850,00	kg	14,41				
		catena - irrigidimenti	6	0,08	0,24	0,005	7850,00	kg	4,52				
		angolari L.100x100x8 di collegamento alle terzere											
		puntoni	2	0,35			15,40	kg	10,78				
		Totale						kg	29,71	3,86	114,70	45	51,61
2.10		tiro in alto della carpenteria											
	N04.001.010	Autocarro con gru munita di cestello girevole, compresi operatore, carburante e lubrificante, per ogni ora di effettivo esercizio: con braccio fino a 20 m											
		vedi quantità art. 2.9	1					ora	1,00				
		Totale						ora	1,00	99,00	99,00	34	33,66
2.11		saldatura carpenteria metallica											
	A23.001.050	Saldatura in opera di strutture metalliche in conformità alle norme vigenti, fatta eccezione per la saldatura dei connettori:											
	a	saldatura a cordoni d'angolo											
		<i>profili UPN 240</i>											
		collegamento puntone-catena	2	55	1	1		cmc	110,00				
		profilo sgambonato	4	75	1	1		cmc	300,00				
		<i>carpenteria secondaria</i>											
		piatti di collegamento UPN della catena	6	30	1	1		cmc	180,00				
		catena - irrigidimenti	6	40	1	1		cmc	240,00				
		angolari L.100x100x8 di collegamento alle terzere	2	12	1	1		cmc	24,00				
		Totale						cmc	854,00	0,24	204,96	39	79,93
2.12		preparazione alla verniciatura											
	A23.004.005	Raschiatura e spazzolatura con spazzole metalliche per l'eliminazione grossolana della ruggine e delle scaglie di laminazione											
		vedi quantità art. 2.9	kg	29,71				kg	29,71				
		Totale						kg	29,71	0,10	2,97	78	2,32
2.13		antiruggine											
	A23.004.020	Trattamento antiruggine mediante applicazione di una mano di fosfato di zinco in veicolo oleofenolico											
		vedi quantità art. 2.12	kg	29,71				kg	29,71				
		Totale						kg	29,71	0,16	4,75	37	1,76
2.14		bulloni di tenuta											
	B02.004.050	Fornitura e posa in opera di tassello e/o barra filettata con ancoraggio chimico o malta cementizia espansiva per fissaggi o simili, compresa la formazione del foro e sua pulizia. Il prezzo è riferito ad ogni decimetro di lunghezza del tassello o della barra fornita e posata:											
	b	di diametro da 12 mm a 16 mm											
		interasse cm. 30											
		puntoni	4	2,0				dcm	8,00				
		catena	6	2,0				dcm	12,00				
		Totale						dm	20,00	8,54	170,80	54	92,23
2.15		riprese murarie per chiusura fori teste capriate											
	B02.001.020	Formazione di muratura, in elementi nuovi o di recupero già pronti per l'uso, per riprese murarie, aumento dello spessore o per la chiusura in breccia di finestre, porte, canne fumarie e fori vari, compresi gli oneri per la formazione di spallette e sguinci, nel caso di riduzioni dimensionali e/o modifiche delle aperture esistenti; comprese le forniture ed i magisteri per la formazione delle ammassature laterali e trasversali, almeno ogni 60 cm in altezza per due corsi di mattoni, la chiusura a forza con malta antiritiro contro la superficie superiore del contorno, il tutto eseguito a regola d'arte per dare le superfici esterne pulite ben rifinite e piane ed atte a ricevere l'intonaco o la successiva rabboccatura e stuccatura e quanto altro occorre per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte, compreso il maggior onere per riprese di architravi, lesene, ghiera di archi, volte ecc.:											

progr	Rif. cl. Prezzi Emilia Romagna 2025	Descrizione lavorazioni	n.	Dimensioni			peso	unità mis.	Quantità	Prezzo unitario	Importo	% M.O.	Importo manodopera
				lungh.	largh.	altezza							
		muratura di pietrame:											
	b	di natura calcarea squadrato e sbozzato											
		vedi quantità art. 2.4	mc	0,16			mc	0,16					
		Totale					mc	0,16	725,65	114,29	26	29,72	
2.16		maggiorazione per lavorazioni in edificio vincolato											
		Maggiorazione del 10% come indicato nel paragrafo - INTERVENTI DI RECUPERO DEGLI IMMOBILI ESISTENTI - del prezzario regionale Emilia Romagna: lavori caratterizzati da condizioni locali particolarmente sfavorevoli o lavori assoggettati a particolari vincoli per l'esecutore, in relazione alle esigenze della committenza e/o a condizioni particolari di accessibilità (e circostanze similari)											
		Dette variazioni di prezzi non sono applicabili ai prezzi di cui alla parte B - Opere di recupero, parte C - Opere di urbanizzazione e opere di difesa del suolo, parte D10 - ICT Tecnologie dell'informazione e della telecomunicazione, parte F - Sicurezza, parte G - Opere in ambito sanitario e similari e parte H - Opere forestali di iniziativa pubblica.											
	2.3	trattamento antitarlo su strutture in legno esistenti					€.	50,03			40	2,00	
	2.8	profili metallici UPN 240					€.	880,60			45	39,63	
	2.9	carpenteria secondaria					€.	114,70			45	5,16	
	2.11	saldatura carpenteria metallica					€.	204,96			39	7,99	
	2.12	preparazione alla verniciatura					€.	2,97			78	0,23	
	2.13	antiruggine					€.	4,75			37	0,18	
		Totale					€.	1.258,01	0,10	125,80		-	
2		<i>totale - LAVORAZIONI</i>								2.189,93		963,51	
		RIEPILOGO GENERALE											
1		totale - COSTI DELLA SICUREZZA							€.	156,59	€.	61,12	
2		totale - LAVORAZIONI							€.	2.189,93	€.	963,51	
3		TOTALE COMPLESSIVO							€.	2.346,52	€.	1.024,63	