



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

4.1 METODOLOGIE DI INTERVENTO FINALIZZATE AL RESTAURO

Oggi si può affermare che se, nei suoi principi, il restauro è pervenuto ad una ormai consolidata maturità, un importante settore ad esso relativo, quello del consolidamento strutturale negli antichi edifici, risulta ancora in fase di progressiva definizione. Le proposte migliorative di progetto e di organizzazione del cantiere che qui si presentano intendono

5 rispondere adeguatamente a tale ordine di problemi, accogliendo e sviluppando, nello specifico, un approccio ai temi strutturali (pur se limitato alle provvidenze legate ad interventi dettati da esigenze ineludibili di messa in sicurezza e da convergenti ragioni di miglioramento funzionale e di manutenzione straordinaria) sensibile alle ragioni 'storiche' del monumento; guidato dunque, prim'ancora che dai contenuti propri delle discipline della scienza e della tecnica delle

10 costruzioni, da un'attenta lettura degli aspetti costruttivi dei singoli manufatti. Ciò per capirne a fondo il comportamento nel tempo, per assecondarlo nei suoi fenomeni di fisiologico invecchiamento, per contrastarlo in quelli di patologico

15 degrado; per potere agire consapevolmente nelle modifiche, sempre contenute entro il minimo necessario, da apportare. Nel corso degli ultimi tre decenni s'è sviluppato un approccio, anche sperimentale, ricco d'inventiva, d'intelligente reattività agli stimoli provenienti dal dialogo interdisciplinare. Il tutto si basa su capacità diagnostiche accuratissime e sulla definizione d'una cura 'commisurata' e ricercata tramite procedimenti logico-intuitivi, alle volte appoggiati a

20 strumentazioni matematiche, tuttavia mai esclusivamente dipendenti da esse. Si dimostrano alcuni concetti-base tratti dal campo del consolidamento strutturale prossimo agli sviluppi teorici del restauro; fra questi la distinzione dell'*adeguamento* strutturale (nel nostro caso, in funzione d'una completa rispondenza alle attuali norme di legge e prescrizioni, anche europee) dal *miglioramento* (in funzione d'una migliore, ragionevole qualità prestazionale), dove il secondo termine rappresenta una modalità meno schematica, più appropriata e più flessibile per avvicinare il bene

25 architettonico o archeologico alle esigenze d'una soddisfacente fruizione, per quanto possibile vicina ai moderni *standard* di sicurezza, accessibilità, *comfort* ambientale. Ciò per mezzo d'un lavoro non di meccanica e spesso devastante rispondenza ai dettati di legge ma d'aggiustamento e discussione sulla concreta realtà materiale e figurale del bene stesso. Nel lungo cammino progettuale, l'elaborazione 'esecutiva' si è correttamente posta quale precisazione e puntualizzazione delle linee già tracciate in sede 'definitiva', rafforzandone i più prudenti ed efficaci orientamenti, ma

30 con la consapevolezza che, nel restauro, un congruo apporto di novità e d'ulteriori stimolanti problemi, da risolvere, analogamente, in termini di qualità e di meditati approfondimenti, emergerà in fase di cantiere; ciò quando si tratterà di verificare e precisare, nel concreto, con saggi e prove, la traduzione pratica delle idee di progetto. Tutto ciò richiederà una sicura competenza esecutiva, peculiarmente di restauro, ed un'ordinata ma flessibile conduzione del cantiere. Proprio in questi aspetti risiede la 'specificità' dell'atto di restauro che non è assimilabile alla progettazione né alla

35 costruzione della nuova architettura; esso richiede tempi diversi e, in certa misura, modulabili in ragione di quanto sopra precisato. Fra i lavori da eseguirsi, distinti da soluzioni tecniche specifiche, appropriate e da un atteggiamento di assoluto rispetto per il monumento e i suoi dettagli costruttivi anche puramente materiali, il non facile recupero strutturale e funzionale delle grandi capriate e delle travature del tetto del complesso, non tutte con certezza moderne, riscontrabili in un insieme comunque manomesso e, in certe parti, completamente rifatto, soprattutto a danno

40 dell'orditura secondaria e del pianellato. Tali coperture, inoltre, non dovranno essere state appesantite da una spessa soletta cementizia armata che non consentirebbe, in futuro, i necessari lavori di manutenzione e che graverebbe, oltretutto, inutilmente sugli antichi elementi lignei. Si provvederà, quindi, ad un'accurata riparazione localizzata e quasi 'ortopedica' dei legni e alla rimessa in funzione dell'intero sistema come in origine, con la sola aggiunta d'una guaina impermeabilizzante e protettiva, saldata a caldo sopra la rasatura realizzata con malta a base di calce idraulica, e d'uno strato d'isolamento termico da giustapporre al controsoffitto in arellato che separa gli ambienti riscaldati dal sottotetto.



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

4.2 INDAGINI DIAGNOSTICHE SULLE STRUTTURE LIGNEE DELLA COPERTURA

Dopo lo smontaggio del manto di copertura, coppi, piastrelle e travicelli si propone un' indagine diagnostica non distruttiva ad integrazione di quella eseguita nel progetto esecutivo. L'obiettivo è quello di spingersi ad un livello di indagine che passi dall' analisi visiva e geometrica ad una che, con l'utilizzo di un' apposita strumentazione (vedi schede 1 e 2), sia in grado di indicare lo stato di conservazione e soprattutto le capacità meccaniche residue degli elementi lignei. Arrivati a questo livello di conoscenza saremo in grado di valutare come recuperare gli elementi antichi individuando gli interventi da eseguire, al fine di operare una buona pratica di restauro e di ottemperare alle prestazioni strutturali previste dalla normativa vigente.

SCHEDA 1

CLASSIFICAZIONE DEL LEGNAME IN OPERA

Il legname è ripartito in "categorie" o "classi" in funzione delle quali si assegnano appropriate caratteristiche fisiche e meccaniche quali le tensioni ammissibili e i moduli elastici.

A) CLASSIFICAZIONE A VISTA

Dal metodo "secondo Giordano" scaturiscono tre categorie di legname. Si definiscono, in ordine:

1. legname per uso strutturale con alta capacità portante;
2. legname per uso strutturale con capacità portante normale;
3. legname per uso strutturale con bassa capacità portante.

NOTA: tale metodo è al momento l'unico che permetta di attribuire in modo attendibile i valori delle caratteristiche fisiche e meccaniche al legname in opera.

Tensioni ammissibili e modulo elastico in direzione parallela alla fibratura delle specie legnose usate tradizionalmente in Italia per travature (legno avente umidità intorno al 12 %)

SPECIE LEGNOSA	CATEGORIA	TENSIONI AMMISSIBILI				MODULO ELASTICO
		comp.	flex.	trac.	taglio	
Abete bianco	1a	11	11,5	11	0,9	13000
	2a	9	10	9	0,8	12000
	3a	7,5	7,5	6	0,7	11000
Abete rosso	1a	10	11	11	1,0	12500
	2a	8	9	9	0,9	11500
	3a	6	7	6	0,8	10500
Larice	1a	12	13	12	1,1	15500
	2a	10	11	9,5	1,0	14500
	3a	7,5	8,5	7	0,9	13500
Pino silvestre e altri pini	1a	11	12	11	1,0	13000
	2a	9	10	9	0,9	12000
	3a	7	8	6	0,8	11000
Castagno, Olmo, Frassino	1a	11	12	11	0,8	10000
	2a	9	10	9	0,7	9000
	3a	7	8	6	0,6	8000
Pioppo	1a	10	10,5	9	0,6	9000
	2a	8	8,5	7	0,5	8000
	3a	6	6,5	4,5	0,4	7000
Quercia	1a	12	13	12	1,2	15500
	2a	10	11	10	1,0	12500
	3a	7,5	8,5	7	0,9	11500
Robinia	1a	12	13,5	13	1,2	14000
	2a	10	11,5	11	1,0	13000
	3a	7,5	9	7	0,9	12000

Il sistema di classificazione "secondo Giordano" si esplicita quindi nella valutazione di tutti quei difetti, quali i nodi, le fessurazioni, le deviazioni della fibratura, le lesioni e varie alterazioni, che riducono la resistenza della sezione.



Misurazione del diametro di un nodo su trave di conifera (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).

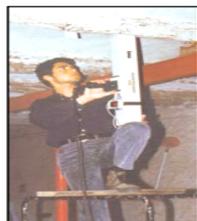
B) CLASSIFICAZIONE STRUMENTALE (non distruttiva)

Tecniche o modalità applicative locali



Durezza superficiale
Le proprietà del materiale si ricavano sulla base della misurazione della profondità di penetrazione di un punzone cilindrico.

Strumenti per valutare la durezza dinamica: il Pylodin (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).



Resistenza alla trapanatura
Oggi sono disponibili strumentazioni molto sofisticate, i trapani strumentati, ma poco utilizzabili nella pratica operativa.

Un'indagine con il RESISTOGRAPH (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).



Misurazioni su carotine
E' possibile ottenere informazioni dall'analisi "in situ" o in laboratorio di piccoli campioni cilindrici, detti "carotine".

Estrazione di "carotine": la trivella incrementale (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).

Tecniche o modalità applicative globali

Velocità di propagazione delle onde meccaniche
Le tecniche si basano sulla misurazione della velocità di propagazione di onde meccaniche lungo la direzione parallela alla fibratura, che ovviamente coincide con lo sviluppo longitudinale dell'elemento strutturale.



Strumenti ad ultrasuoni (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).



Strumenti sonici: trasduttore (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).

Metodi vibratori
Si tratta di misurare le frequenze fondamentali di vibrazione delle strutture lignee dalle quali è poi possibile risalire alle caratteristiche meccaniche dell'elemento.

Prove statiche
Si tratta di prove di carico che vengono generalmente eseguite in laboratorio e consistono nel ricavare direttamente il modulo elastico a flessione.



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

SCHEDA 2

TECNICHE PER LA VALUTAZIONE DEL DEGRADO BIOLOGICO

5

Al fine di avere una completa informazione circa lo stato di conservazione delle membrature in opera e quindi di poter effettuare una corretta diagnosi, è indispensabile censire anche le eventuali manifestazioni di degrado.

Tre sono le tecniche di indagine a disposizione per questo fine:

① ESAME VISIVO

L'esame visivo è la prima tecnica di rilievo del degrado, tuttavia può fornire solo informazioni di tipo qualitativo; non è infatti sufficiente per quantificare nemmeno il danno nelle parti in vista.

10

Diversi sono i fattori che possono rendere difficile l'ispezione di una struttura: la scarsa illuminazione, la difficoltà di accesso, soprattutto nei sottotetti, la presenza di detriti o di strati di pitture, ecc .

② TECNICHE DI INDAGINE NON STRUMENTALI

Sono tecniche di tipo meccanico che fanno uso di semplici attrezzi. La corretta interpretazione dei risultati è affidata all'esperienza dell'operatore.

Tra queste tecniche citiamo:

15

- percussione con martello;
- uso del cacciavite (o del punteruolo);
- trivella (o succhiello);
- prova di estrazione del chiodo o della vite;
- trivella incrementale;
- endoscopio.



Attrezzature d'uso comune nell'ispezione delle strutture lignee (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).

③ TECNICHE DI INDAGINE STRUMENTALI

20

Sono tecniche quasi per nulla distruttive, che si servono di strumentazioni anche molto sofisticate al fine di effettuare misurazioni dirette e ripetibili.

Penetrometri di vario tipo (ad es. Pilodyn)

Sono strumenti inadatti al rilievo completo dello stato di degrado in quanto si basano sulla misurazione della durezza superficiale del legno.

Strumenti sonici ed ultrasonici

25

I risultati di un'indagine attraverso strumenti sonici e ultrasonici (Sylvatest, martello Metriguard, martello SQS,...) riguardano tutta la sezione dell'elemento ligneo ma sono ancora parziali in quanto riguardano solamente la presenza/assenza di degrado e sono limitati alle sole zone direttamente accessibili.



Strumento di prova ultrasonica (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).



Tecniche soniche (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).

30

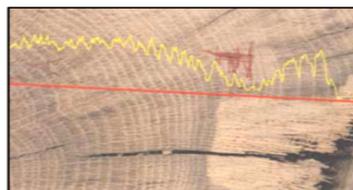
Trapani strumentati

Attualmente quella che si serve dei trapani strumentati (Resistograph, DDD200, Densimat) è la tecnica più efficiente per rilevare lo stato di degrado ai fini diagnostici, anche nelle parti non accessibili. L'interpretazione dei dati poi dovrà essere effettuata in modo tanto più cauto quanto più è sensibile lo strumento utilizzato.

35



Esecuzione di prova resistografica (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).



Profilo resistografico su una sezione trasversale (da op.cit. Gennaro Tampone, 2002).

40



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

4.3 VERIFICHE STATICHE PER IL RECUPERO DEGLI ELEMENTI ESISTENTI

Dal documento 1.04 del progetto esecutivo, inerente le indagini diagnostiche sulle strutture lignee della copertura, risultano determinate le caratteristiche geometriche delle strutture e pertanto applicando le sollecitazioni di progetto risulta possibile una verifica statica preliminare su ogni elemento di copertura.

5 **Analisi dei carichi** (vedi nel dettaglio costruttivo la composizione del "pacchetto" di copertura):

Coppi 70 Kg/mq, Pianelle 65 Kg/mq, Guaina 5 Kg/mq, Rasatura 20 Kg/mq, Arcarecci 30 Kg/mq
totale permanenti 190 Kg/mq e Sovraccarico neve 130 Kg/mq

N.B. Viene eliminato il peso della soletta di calcestruzzo di 5 cm prevista dal progetto esecutivo.

10 Il calcolo delle sollecitazioni e la verifica statica e dinamica delle strutture verrà eseguita attraverso l'ausilio di software informatico tipo Mastersap 2008.

TIPOLOGIA CAPRIATA

15 Le capriate esistenti non sono in grado di sopportare i carichi di progetto. Si propone pertanto (come riportato nel paragrafo 4) una diminuzione delle sollecitazioni, a mezzo della riduzione degli interassi e il recupero degli elementi esistenti attraverso tecniche di consolidamento, che prevedono il restauro degli elementi lignei, la creazione di una
20 nuova staffatura, l'inserimento di saette rompitratta e nei casi più compromessi un incremento delle capacità portanti con l'utilizzo di un sistema di cavi tesati in grado di pre-comprimere la capriata. In questo modo lo schema statico della capriata rimane invariato, l'intervento strutturale è reversibile, leggibile e non invasivo. Le tensioni a pieno carico, negli elementi più sollecitati oscillano dai 20 ai 50 Kg/cm², ben al disotto di quelle ammissibili che per un legno resinoso (tipo abete) di III° categoria sono di 70 Kg/cm². Le deformazioni e le frecce a pieno carico sono tollerabili, poiché
25 oscillano tra i 4 e i 6 mm per luci di 7/8 metri risultano dunque decisamente minori dei limiti di 1/500 stabiliti da normativa.

Nel settore A1 è prevista la riduzione degli interassi con l'introduzione di due nuove capriate, il consolidamento e il recupero di tutte le capriate esistenti, la ricostruzione degli elementi ammalorati.

25 **Nel settore A2** la capriata verrà consolidata con le tecniche riportate nel paragrafo 4 ovvero tramite l'utilizzo di cavi di pre-compressione, l'introduzione di saette e staffatura dei nodi.

Nel settore B1 è prevista la riduzione degli interassi con l'introduzione di due nuove capriate, il consolidamento e il recupero di tutte le capriate esistenti, la ricostruzione degli elementi ammalorati.

TIPOLOGIA FALSO PUNTONE

30 Dai calcoli preliminari i falsi puntone esistenti che hanno una luce libera media di 4.5 metri e sezioni medio piccole, non sono in grado di sopportare la massima sollecitazione di calcolo. Pertanto, proponendo l'aggiunta di nuovi elementi di pari sezione con la conseguente riduzione degli interassi e consolidando gli elementi esistenti che, in sede di diagnosi non abbiano manifestato caratteristiche meccaniche adeguate, si rende possibile il recupero della maggior parte degli elementi originari. Le tensioni a pieno carico, nelle strutture più sollecitate, oscillano dai 38 ai 61 Kg/cm², ben al disotto di quelle ammissibili che per un legno resinoso (tipo abete) di III° categoria sono di 70 Kg/cm². Le
35 deformazioni e le frecce a pieno carico sono decisamente minori dei limiti di 1/500 stabiliti da normativa. I nuovi interassi vanno da un minimo di 1,3 mt ad un massimo si 1,4 metri. **Nel settore A3** vengono introdotti nuovi elementi con sezione 18x23 da affiancare, come consolidamento, alle strutture esistenti e nuovi elementi con sezione 23x23 per ottenere la riduzione degli interassi, **nel settore B5, C1 e C2** vengono introdotti nuovi elementi con sezione 16x24 da affiancare, come consolidamento, alle strutture esistenti e nuovi elementi con sezione 24x24 per ottenere la riduzione
40 degli interassi.



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

TIPOLOGIA TRAVE

La tipologia a trave risulta soggetta a eccessiva deformazione e sotto la massima sollecitazione le sezioni esistenti date le luci eccessive che oscillano dai 5 ai 6 metri, non risultano verificate. Si propone pertanto una sezione da 26x26 con interasse da 1 a 1,3 metri con il recupero degli elementi che abbiano sezioni con particolari capacità meccaniche e che dopo verifica diagnostica risultino poco degradati. L'intervento viene applicato in tutti i settori interessati dalla tipologia a trave.

TIPOLOGIA TRAVI D'ANGOLO

Le travi d'angolo hanno luci che raggiungono gli 8 metri che abbinate alle sollecitazioni imposte dalla normativa rendono lo stato tensionale e deformativo non tollerabile. Eventuali opere di consolidamento, data l'entità delle sollecitazioni, risulterebbero eccessive e pertanto incongrue con le tecniche di restauro, viene pertanto proposto il raddoppio delle travi attraverso l'inserimento di un nuovo elemento di pari sezione.

ARCARECCI

Gli arcarecci, considerando le caratteristiche geometriche indicate dai rilievi di progetto e considerando il fatto che sia gli interassi delle capriate che quelli dei falsi puntoni vengono diminuiti, con conseguente diminuzione delle luci libere d'inflessione, verranno completamente recuperati ad esclusione di quegli elementi in cattivo stato di conservazione e geometricamente incongrui per ottenere un manto di copertura piano (con quota planimetrica costante).

Le tensioni di verifica risultano sotto i 30 Kg/cm² e le deformazioni sono insignificanti.

TRAVICELLI

I travicelli, considerando che gli arcarecci sono sufficientemente vicini, saranno completamente recuperati ad esclusione di quelli compromessi da degrado o da rotture.

4.4 TECNICHE DI INTERVENTO E DETTAGLI COSTRUTTIVI

Come già anticipato in premessa, l'atteggiamento che viene perseguito è quello prettamente conservativo ovvero, gli interventi che si

propongono per il ripristino della copertura sono quelli che prevedono il recupero dei legni originari attraverso svariate tecniche di restauro e di consolidamento e l'utilizzo di soluzioni statiche particolarmente innovative in grado di alleggerire i carichi sollecitanti e di incrementare le capacità meccaniche fino al soddisfacimento delle esigenze funzionali. Nel complesso il risultato atteso è quello di una copertura che sia in grado, prima di tutto, di assolvere alle esigenze di tipo prestazionale e normativo ma che, al contempo, sia una copertura il cui restauro degli elementi sia leggibile, reversibile

TABELLA RIEPILOGATIVA DI ELEMENTI RECUPERATI E NUOVI ELEMENTI

SETTORE		CAPRIATE		FALSI PUNTONI		TRAVI		ARCARECCI		TRAVICELLI		TOTALE		SETTORE
		unità	V (mc)	unità	V (mc)	unità	V (mc)	unità	V (mc)	unità	V (mc)	V (mc)	%	
A1	Recuperato	6	8,58		0		0	10	6,12	75	2,064	16,76	85,42	A1
	Nuovo	2	2,86		0		0	0	0,00	0	0	2,86	14,58	
A2	Recuperato	1	1,43		0		0	0	0,00	19	0,5229	1,95	57,50	A2
	Nuovo	0	0		0		0	9	1,44	0	0	1,44	42,50	
A3	Recuperato		0	12	2,24		0	6	3,06	101	1,4544	6,75	57,47	A3
	Nuovo		0	21	5,00		0	0	0,00	0	0	5,00	42,53	
B1	Recuperato	2	2,86		0		0	5	3,46	55	1,0736	7,39	63,53	B1
	Nuovo	2	2,86		0		0	2	1,38	0	0	4,24	36,47	
B2	Recuperato		0		0	0	0,00	0	0	7	0,1512	0,15	13,69	B2
	Nuovo		0		0	6	0,95	0	0	0	0	0,95	86,31	
B3	Recuperato		0		0	0	0,00	6	1,00	22	0,2429	1,25	25,23	B3
	Nuovo		0		0	4	3,70	0	0,00	0	0	3,70	74,77	
B4	Recuperato		0		0	0	0,00	0	0	14	0,4122	0,41	10,05	B4
	Nuovo		0		0	13	3,69	0	0	0	0	3,69	89,95	
B5	Recuperato		0	11	1,80		0	4	2,32	93	1,2678	5,39	64,66	B5
	Nuovo		0	18	2,94		0	0	0,00	0	0	2,94	35,34	
B6	Recuperato		0		0	0	0,00	0	0	21	0,4704	0,47	7,49	B6
	Nuovo		0		0	10	5,81	0	0	0	0	5,81	92,51	
B7	Recuperato		0		0	0	0,00	0	0	21	0,4704	0,47	9,54	B7
	Nuovo		0		0	10	4,46	0	0	0	0	4,46	90,46	
B8	Recuperato		0		0	0	0,00	6	1,00	22	0,2429	1,25	43,41	B8
	Nuovo		0		0	2	1,63	0	0,00	0	0	1,63	56,59	
C1	Recuperato		0	11	1,99		0	37	3,16	100	1,504	6,65	51,65	C1
	Nuovo		0	23	6,23		0	0	0,00	0	0	6,23	48,35	
C2	Recuperato		0	11	1,90		0	28	2,46	84	1,2096	5,57	48,29	C2
	Nuovo		0	23	5,96		0	0	0,00	0	0	5,96	51,71	
		SOMMA TOTALE										103,38		
												54,46		
													52,68	



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

e compatibile con i materiali e gli schemi statici preesistenti.

SMONTAGGIO DELLA COPERTURA

5 In primo luogo è previsto lo smontaggio del manto di copertura, i coppi e successivamente le pannelle stoccate a terra, verranno predisposte attraverso operazioni di pulitura e ripristino per il reinserimento. Di conseguenza verranno smontati travicelli e arcarecci che nei casi maggiormente degradati o deformati, verranno sottoposti a verifica per valutarne l'affidabilità e l'eventuale recupero. Sono da realizzare, prima del montaggio, i trattamenti antitarlo.

RECUPERO DEGLI ELEMENTI LIGNEI ORIGINALI (Vedi Scheda 3)

10 Il recupero della piccola e media orditura è quasi totale, sia i travicelli che gli arcarecci, a seguito di verifiche statiche, risultano conformi e pertanto riutilizzabili per la nuova copertura, naturalmente verranno esclusi dal reimpiego gli elementi ammalorati o geometricamente incompatibili. Per quanto concerne le capriate, successivamente alle diagnosi previste nel paragrafo 2, con particolare riferimento al controllo del buono stato delle testate di appoggio, verranno smontate e sottoposte ad operazioni di recupero. Gli elementi particolarmente degradati verranno smontati e restaurati, è prevista una nuova staffatura metallica dei nodi, il montaggio degli elementi in modo da eliminare gli attuali "spancamenti" rispetto al piano verticale e il trattamento delle parti, contro attacchi di tipo biologico.

15 Sono previste, per contenere lo stato flessionale, l'inserimento di saette rompitratta da inserire nella parte sommitale della capriata (vedi Tavola) realizzate con la stessa essenza legnosa e rifinite in modo da permetterne la leggibilità rispetto agli elementi originali. L'intervento di consolidamento più significativo, nei casi di maggior deficit strutturale, è rappresentato dall'introduzione di un sistema di cavi in acciaio in grado di introdurre negli elementi che compongono la capriata, attraverso una pre-compressione, sforzi assiali resistenti, in grado di opporsi alle sollecitazioni provocate dai carichi esterni e di aumentare le capacità portanti senza compromettere l'integrità e lo schema statico della struttura.

20 In base ai singoli casi è possibile che si rendano necessari interventi di ricostruzione degli elementi ammalorati o staticamente compromessi. I falsi puntoni invece, non necessitano di particolari accorgimenti di consolidamento se non quelli che prevedono l'alleggerimento del carico sollecitante con il raffittimento degli interassi e l'incremento delle capacità meccaniche con l'inserimento, a lato dei legni antichi, di nuovi elementi con caratteristiche geometriche e materiche compatibili. Lo stesso criterio viene impiegato per le travi e le strutture d'angolo.

INSERIMENTO DEI NUOVI ELEMENTI

30 Dati i carichi sollecitanti e la necessità di non alterare gli schemi statici e le caratteristiche geometriche degli elementi, si è optato, come già premesso, per una riduzione delle sollecitazioni inserendo, a supporto dell'orditura esistente e consolidata, nuovi elementi che consentono la riduzione degli interassi. Le nuove capriate saranno realizzate con la stessa essenza legnosa e utilizzando le stesse sezioni di quelle esistenti che però risultano leggermente sottodimensionate rispetto alle esigenze. Le prestazioni richieste vengono raggiunte con l'inserimento (vedi dettaglio tavola) di una catena in acciaio nella parte sommitale e di un rompitratta collegato alla catena e messo in tensione da un tirante in acciaio che permettono di ottenere una struttura reticolare efficace, formata da materiali e schemi statici compatibili con quelli delle capriate esistenti e recuperate. Per i falsi puntoni e le travi di copertura si adotta un criterio analogo, ovvero l'inserimento di nuovi elementi, compatibili con le strutture analoghe consolidate. Tutte e tre le tipologie di strutture introdotte e quelle esistenti verranno assicurate alla muratura mediante cuffie in acciaio, ancorate a mezzo di perni in acciaio zincato filettato alla muratura ed ai rispettivi cordoli a traliccio.

40



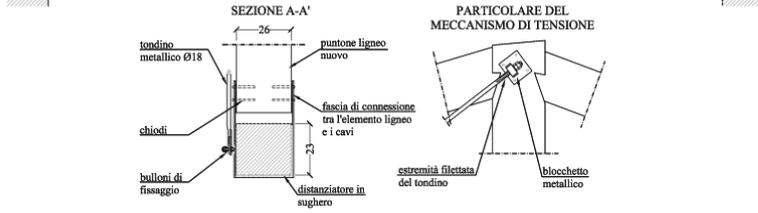
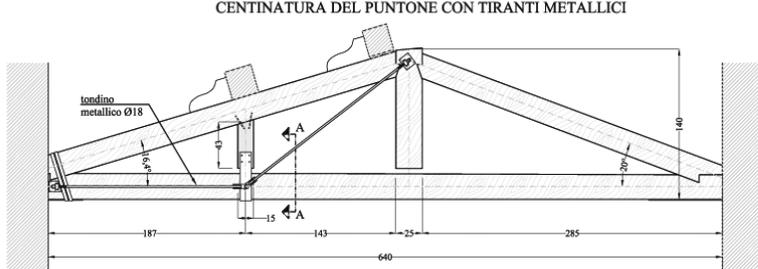
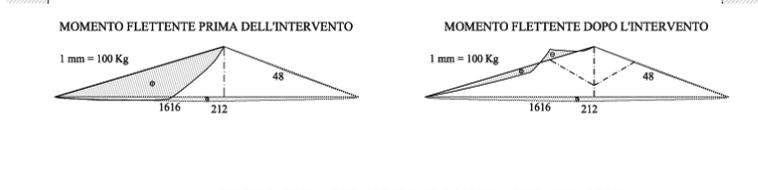
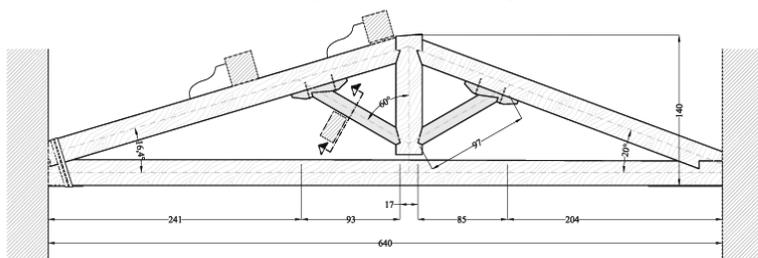
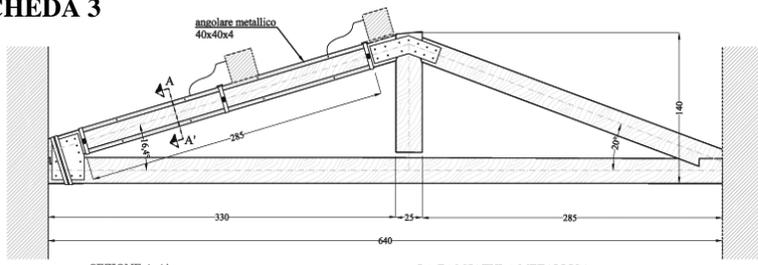
B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

IMPALCATO E COPERTURA

Dopo il montaggio dei travicelli verrà ripristinato l'antico manto costituito dalle piastrelle precedentemente smontate e restaurate. Sopra le piastrelle verrà predisposta una rasatura dello spessore di un centimetro realizzata con malta a base di calce idraulica in modo da ottenere una compattezza diffusa e un solido collegamento tra le piastrelle. Sopra la rasatura si predispongono una guaina impermeabilizzante che a sua volta verrà protetta dall'antico manto di coppi recuperato.

SCHEDA 3

AFFIANCAMENTO DEL PUNTONE CON ANGOLARI METALLICI



CONSOLIDAMENTI POSSIBILI Confronto tra diverse soluzioni per il consolidamento dei puntone di una capriata. L'elaborato espone tre ipotesi di consolidamento dei puntone della capriata mettendo a confronto i vantaggi e gli svantaggi dei singoli interventi. L'intervento consiste in un miglioramento della sezione trasversale del puntone che risulta essere fortemente inflessa. Nella prima ipotesi si procede affiancando all'elemento ligneo quattro angolari metallici che vengono chiodati e serrati tramite fasciatura metalliche; questo intervento compromette dal punto di vista estetico il sistema della capriata e lo schema statico in quanto si sostituisce completamente all'elemento ligneo. La seconda ipotesi consiste nell'aggiungere due saette alla struttura originale della capriata in modo da creare un appoggio intermedio e ridurre le sollecitazioni flessionali. La terza ipotesi consiste nell'inserire un "ometto" ligneo in corrispondenza dell'arcareccio di copertura si da ridurre le sollecitazioni flessionali nel puntone: il nuovo elemento non grava sulla catena in quanto sospinto verso l'alto da una coppia di tiranti metallici ancorati ad opportune piastre di nodo. In seguito ad un confronto critico delle diverse soluzioni si ritiene che l'inserimento dei tiranti metallici costituisca l'intervento migliore in quanto completamente reversibile e compatibile con la struttura esistente.



Figura 1 Nodo puntone-saetta



Figura 2 Ancoraggio cavi



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

Rispetto al progetto esecutivo si è optato di eliminare la soletta in calcestruzzo perché ritenuto materiale incongruo con quelli storici dell'edificio e perché rappresenta un incremento di carico troppo oneroso in particolare se si considerano le sollecitazioni orizzontali dovute al sisma. In secondo luogo viene spostato lo strato di materiale termoisolante dalla copertura al controsoffitto con un guadagno utile in termini di dispersioni pari al 12% , infatti vengono dispersi circa 22000 Watt in meno rispetto alla soluzione di progetto (vedi relazione sul risparmio energetico).

CORDOLO DI PIANO E CATENE

Sopra il cornicione, nello spessore dei muri perimetrali, alla quota delle pianelle, verranno predisposti i cordoli a traliccio realizzati con dei piatti in

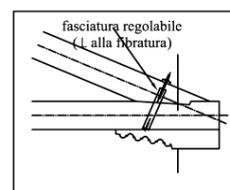
acciaio ai quali saranno collegati i controventi di falda che contribuiranno a rendere il piano di copertura rigido ed in grado di resistere a sollecitazioni di tipo sismico. I controventi di falda realizzati con piatti da 4/5 mm di spessore verranno annegati nello spessore della caldana e saranno ancorati al cordolo di colmo attraverso opportune saldature. In corrispondenza di ogni montante del controvento, alla quota del cordolo di gronda, è previsto l'inserimento di catene in acciaio che collegano i due muri perimetrali e che, creando una struttura triangolare chiusa con quella di falda, individuano uno schema statico rigido conferendo grande resistenza al "sistema tetto" nei confronti di azioni orizzontali. In questo modo risultano legate le due murature perimetrali con il muro di spina che verrà rinforzato, per far fronte alle sollecitazioni concentrate indotte dalle catene, con un cordolo in fibra di carbonio posto alla quota dei capichiaive.

Particolare attenzione sarà rivolta al recupero delle catene e dei capichiaive esistenti, senza proporre soluzioni che possano compromettere l'integrità dei cornicioni in laterizio o in camorcanna.

TECNICHE NON SOSTITUTIVE

① FASCIATURA PASSIVA PUNTONE-CATENA

Tale fasciatura, detta appunto "passiva", da sola non consente il corretto funzionamento del nodo. A seguito di uno scorrimento del puntone che tenda a serrare la fascia stessa, può solo facilitare il trasferimento, per attrito, del suo sforzo di compressione alla catena.



Chiesa di San Francesco in Cagli: schema di realizzazione della fasciatura "passiva" puntone-catena (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore).

② FASCIATURA ATTIVA PUNTONE-CATENA

Si intende realizzare un collegamento "attivo", che sia cioè in grado di trasferire lo sforzo di compressione dal puntone alla catena senza apprezzabili scorrimenti. Tale fasciatura si può realizzare in modo facile ed efficiente con la semplice messa in opera di angolari metallici e barre filettate.



Chiesa del Carmine in Pistoia: realizzazione di una fasciatura "attiva" puntone-catena (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)



Chiesa del Carmine in Pistoia: l'ancoraggio al puntone dell'angolare metallico (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)

③ AFFIANCAMENTO DELLA CATENA CON TIRANTI METALLICI

Tale tecnica consiste nell'esonerare la catena dalla sua funzione statica, affidando il compito di resistere agli sforzi di trazione ad una coppia di tiranti metallici. Tale presidio consiste nel posizionare, ai lati della catena, una coppia di tiranti metallici i cui estremi saranno fissati alle estremità dei puntoni mentre in mezzzeria saranno ancorati alla catena lignea.



Chiesa Cattedrale di Cesena (FO): particolare dell'apparecchio di sostegno della catena in luce (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)



Chiesa Cattedrale di Cesena (FO): particolare dell'ancoraggio in testata (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)

SCHEDA 4



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

CONTROSOFFITTI

Il tetto è separato dal piano abitabile da quattro differenti tipologie di controsoffitto, una in latero-cemento, una in camorcanna tipologia piana, una terza in camorcanna tipologia a volta ed un'ultima in laterizio tipologia a volta in foglio. L'intervento prevede il recupero totale dei controsoffitti esistenti ovvero la ricostruzione delle porzioni crollate (vedi immagine) utilizzando la medesima tecnica e il consolidamento di tutte le restanti parti in camorcanna. Nello specifico il controsoffitto in latero-cemento verrà conservato senza la necessità di particolari consolidamenti, quello in laterizio con tipologia a volta invece, essendo in foglio, verrà consolidato a mezzo di una rasatura composta da cocciopesto, calce idraulica, grassello e resina acrilica con l'inserimento di rete in fibra di vetro ancorata al laterizio mediante chiodature in rame.

① **RICOSTRUZIONE DELLA TESTATA CON PROTESI DI LEGNO MASSICCIO**

I controsoffitti in camorcanna, sia la tipologia piana che quella a volta, verranno restaurati attraverso varie lavorazioni, in funzione dello stato di conservazione: pulizia della superficie, sostituzione ed integrazione dei telai in legno ammalorati (centine e tambocci), trattamento antitarlo, applicazione di malta di gesso nelle parti di spessore esile o con camorcanna scoperta, applicazione di stuoia di juta dove si riscontrano parti scollegate dalle strutture lignee portanti. Un ulteriore aspetto già citato nel paragrafo precedente è quello dell'inserimento sulla superficie di estradosso dei controsoffitti, di materassi imbustati tipo Isolceiling di spessore 10 cm, che permetteranno di abbattere in quantità non trascurabile le dispersioni termiche dello edificio (risparmio stimato 12%).

La soluzione che utilizza il legno per la riparazione delle capriate è ancora considerata la migliore. Diversi possono essere i metodi di realizzazione del collegamento con la struttura esistente.

CONNESSIONE CON BARRE INCOLLATE

L'ancoraggio della protesi al resto della struttura è affidato a barre di acciaio alloggiato in appositi canali scavati lateralmente e riempiti con malte epossidiche.



Chiesa di San Francesco in Cagli: inserimento delle barre di acciaio (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)



Chiesa di San Francesco in Cagli: vista dell'intervento finito (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)

CONNESSIONE CON SPINOTTI

La nuova protesi di legno è resa solidale al resto della struttura con spinotti metallici e barre filettate.



Chiesa di S. Caterina della Misericordia (SI): foratura delle protesi lignea (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)



Chiesa di S. Caterina della Misericordia (SI): vista dell'intervento finito (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)

CONNESSIONE SQUADRETTE METALLICHE

Tra protesi e catena si esegue un giunto a "mezzolegno" con squadrette metalliche e due barre filettate.



Chiesa del Carmine in Pistoia: vista della catena già conformata (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)



Chiesa del Carmine in Pistoia: vista dell'intervento finito (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)

TECNICHE DI INTERVENTO

In base ai risultati delle indagini diagnostiche ed ai dati delle prestazioni meccaniche derivanti dai calcoli strutturali, si adotteranno differenti tipologie di intervento che spaziano dalla ricostruzione, al consolidamento dell'elemento fino alla sostituzione parziale. Sono riportate alcune delle tecniche di consolidamento e di recupero che proponiamo, in relazione alle differenti necessità d'intervento.



Chiesa Cattedrale di Cesena (FO): particolare del giunto (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)



Chiesa Cattedrale di Cesena (FO): tastata con barra metallica contro lo sfilamento (Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, 2003, *Atlante del legno strutturale*, a cura di Ario Ceccotti, Roma, Mancosu Editore)

SCHEDA 5

(Vedi SCHEDA 4 e 5)



B.4) Sistema realizzativo della copertura lignea

4.5 MANUTENZIONE E MISURE DI CONSERVAZIONE

Come per tutte le opere d'arte e per gli edifici storici, anche per la conservazione delle strutture lignee, riveste un ruolo fondamentale una costante e attenta **manutenzione ordinaria** delle strutture stesse. Le istanze a carattere ideologico e pratico, in assonanza con i criteri di economia, dovrebbero indurre gli operatori a far prevalere una costante manutenzione su ogni altra forma di intervento, per assicurare il corretto funzionamento dell'intera struttura. Sono infatti da preferire sistematicamente le piccole riparazioni e i miglioramenti delle strutture, a discapito di alterazioni, demolizioni, brutali sostituzioni o adeguamenti strutturali, rifiutati dall'odierna cultura della conservazione. Sono note fin dall'antichità le molteplici e gravose funzioni a cui il sistema di copertura deve assolvere: innanzitutto proteggere l'edificio dalle intemperie e consentire un rapido deflusso delle precipitazioni, isolare gli ambienti interni dalle forti variazioni di temperatura stagionali ma anche collegare tra di loro le strutture di elevazione del corpo di fabbrica. Nonostante quindi, al buon funzionamento del sistema di copertura sia in gran larga misura affidata la durabilità dell'edificio, questo però ci appare come una delle strutture più fragili che lo costituiscono. La tradizionale struttura di copertura è infatti ottenuta dalla semplice sovrapposizione di parti elementari, un'orditura composta di elementi lignei che realizza il supporto per un manto di copertura costituito in genere da elementi in terracotta, i coppi, opportunamente posati e sovrapposti, senza l'utilizzo, ad esempio, di materiali impermeabilizzanti né delle moderne tecniche di coibentazione. Quello che sembra l'elemento di debolezza di tali strutture in realtà si rivela essere proprio il loro punto di forza: il fatto di essere costituito da semplici pezzi facilmente sostituibili rende infatti il tetto facilmente manutenibile e quindi più a lungo durabile. Sta poi alla sensibilità dei tecnici facilitare il mantenimento di queste strutture attraverso frequenti e poco gravosi interventi di manutenzione senza dover intervenire con urgenza con metodi aggressivi quando ormai la stabilità delle strutture è gravemente danneggiata e irrimediabilmente compromessa. Basta pensare alla concezione stessa degli edifici storici che, a differenza delle moderne costruzioni in cemento armato concepite per una durata media di 40-50 anni, sono stati costruiti per durare "per sempre". In sintonia con quest'intento venivano poi realizzate tutte le strutture del corpo di fabbrica; anche la capriata infatti si configura come una struttura facilmente manutenibile, in quanto realizzata con elementi facilmente smontabili. Occorre ricordare che dove il legno è un materiale costruttivo tradizionale, la manutenzione è una pratica corrente in quanto è l'atteggiamento che consente di prolungare la vita degli strumenti di lavoro, delle macchine o delle strutture, ovviamente lignee. Una linea di pensiero sostiene che anche le capriate sarebbero state progettate ed eseguite con la consapevolezza che alcune parti, nonostante la pratica della manutenzione, avrebbero subito inevitabili fenomeni di degrado. Quindi, con la stessa logica usata per gli utensili o per le macchine da lavoro, anche per le capriate si sarebbe pensato a parti di sacrificio, facilmente sostituibili una volta degradate. Se si accetta che il progetto delle capriate lignee abbia previsto questa eventualità, allora la sostituzione di alcune parti non è più un atto di manomissione o di distruzione ma semplicemente una fase del processo di manutenzione, con l'intento di conservare il bene architettonico. La legittimità della sostituibilità degli elementi ammalorati trova conferma in molti esempi: si pensi alla tecnica dell'*incalmo*, cioè alla rimozione della parte degradata e successiva sostituzione con un preciso tassello di legno nuovo, alla possibilità di sostituire i coppi di un tetto o ancora alle tavolette lignee posizionate tra trave e muro, strato di sacrificio dove l'umidità ascendente provoca i danni maggiori. La consapevolezza della vulnerabilità di alcune parti, già presente in fase di progetto, riconosce cioè che la vita del manufatto è garantita da un corretto programma di manutenzione, il quale prevede anche la sostituzione degli elementi di sacrificio. Altre tecniche di conservazione dell'integrità della struttura della capriata, solo oggi possibili grazie ai notevoli progressi della ricerca e dell'industria chimica, riguardano i trattamenti contro gli attacchi di insetti, funghi e batteri.