



SALVAGUARDIA DEI SOFFITTI INCANNICCIATI: DIAGNOSI, SPERIMENTAZIONE E CONSOLIDAMENTO

L. Jurina
Politecnico di Milano, Milano

E.O. Radaelli
Jurina e Radaelli Studio Associato, Monza

SOMMARIO

I soffitti incannicciati rappresentano una diffusa tecnologia costruttiva negli edifici storici, siano essi solai piani o superfici voltate. Si tratta di strutture leggere, capaci di coprire ampie luci e frequentemente realizzate ai piani alti, spesso a costituire l'elemento di separazione con il sottotetto. Ciò rende tali strutture maggiormente vulnerabili, specie in presenza di infiltrazioni meteoriche dalle coperture, che possono ammalorare sia il controsoffitto sia la struttura portante. Sono infatti frequenti i dissesti strutturali degli incannicciati che, se di lieve entità, si manifestano come lesioni del solo intonaco, mentre situazioni più gravose possono generare crolli parziali o totali. La presenza di superfici decorate all'intradosso e di articolate geometrie di appensione all'estradosso richiede l'individuazione di soluzioni di rinforzo strutturale calibrate su ogni singolo elemento, nel rispetto della materia storica. L'articolo seleziona una tra le numerose esperienze sui soffitti incannicciati recentemente condotta dagli autori, illustrando gli esiti di una innovativa modalità diagnostica e soluzioni alternative per il consolidamento strutturale.

1. LA TECNOLOGIA COSTRUTTIVA DEI SOFFITTI INCANNICCIATI

La tecnica costruttiva dell'incannicciato (chiamato anche "camorcanna") non può essere definita entro rigidi schemi codificati. Se da un lato esistono determinati elementi che si possono considerare necessari e che quindi sono presenti in qualsiasi testimonianza che ricorra a tale sistema, dall'altro si riscontrano numerosi gradi di libertà nelle modalità realizzative, che rendono ciascun soffitto unico ed irripetibile.

Il sistema costruttivo ad incannicciato si compone di diversi elementi minimi, ciascuno rispondente ad una specifica funzione: centine e mezzoni rappresentano le parti strutturali principali, il cui ruolo è quello di creare un'ossatura rigida a cui fissare le arelle; canne e giunchi, siano essi singoli o legati in stuoie, rappresentano l'elemento di tamponamento dello scheletro in legno, il cui ruolo è di supporto alla malta di rivestimento; l'intonaco è il

materiale con cui rivestire lo stuoiato e ottenere così una superficie omogenea; chiodi, legature in ferro, staffe in legno (chiamate “candele”) sono componenti impiegati per connettere le diverse parti costituenti il controsoffitto. Alle matrici comuni si associano molteplici variabili, determinate da fattori spaziali e temporali, dalle caratteristiche costruttive locali, dalla reperibilità dei materiali e, non ultimo, dalle abilità delle maestranze. Si citano, a titolo di esempio, l’impiego di canne palustri o di arelle piatte, la realizzazione di stuoiati monodirezionali o intrecciati, la stesura di uno strato di malta anche in estradosso o del solo intonaco in intradosso o, ancora, l’utilizzo di elementi rigidi di appensione (le sopracitate “candele” o di fili di ferro). L’eterogeneità degli incannicciati dimostra la ricchezza costruttiva del patrimonio storico, ma ne mette anche in luce le debolezze, per le quali è necessario adottare specifiche soluzioni conservative, come dimostra il caso studio di seguito presentato e relativo al solaio piano di Villa Greppi a Monticello Brianza (LC). Tali interventi rientrano nel progetto di ricerca co-finanziato da Fondazione Cariplo.

2. CONSOLIDAMENTO DEL SOFFITTO CASSETTONATO DI VILLA GREPPI

2.1. Analisi della tecnica costruttiva e del degrado

Il soffitto cassettonato incannucciato oggetto di intervento è collocato al piano nobile di Villa Greppi a Monticello Brianza (LC), nell’ala sud-ovest del corpo di fabbrica. Le dimensioni in pianta a piano rialzato risultano 10,85 x 5,93 m ed è costituito da un’orditura principale bidirezionale in travi lignee, sulla quale si appoggiano sia l’orditura secondaria sia le centine che sostengono il canniciato. Una coppia di travi è orientata parallelamente alla direzione lunga della stanza, mentre 4 travi sono disposte lungo il lato corto, così da formare 15 campi, di dimensione compresa tra 150x170 cm e 150x207 cm.

Un sistema di centine di piccole dimensioni, curve e collegate alle strutture lignee conferisce al canniciato di ciascun riquadro una geometria “a padiglione”, la cui porzione piana è l’unica visibile dall’intradosso. Le parti curve risultano infatti coperte dalla cassonatura lignea decorata delle travi principali.

A sostenere i giunchi, del diametro di 8 mm circa, piuttosto frequenti nell’architettura Ottocentesca lombarda, sono stati posizionati tambocchi (3,5 x 4 cm), ai quali il soffitto è appeso mediante legatura in filo di ferro sottile e chiodi. Non sono state riscontrate in fase di rilievo legature in direzione ortogonale ai tambocchi che rompitrattano il campo compreso tra le due travature secondarie, distanti 50 cm. Ne consegue che una superficie di 50 x 100 cm circa di incanniciato si comportava, prima dell’intervento di consolidamento, come una sorta di membrana, vincolata solo lungo il perimetro e dunque maggiormente vulnerabile. A comprova di tale comportamento membranale sono state condotte prove dinamiche, di cui si tratterà nel successivo paragrafo 2.2. Ad una vulnerabilità del sistema costruttivo legata alla geometria della struttura lignea si aggiunge una marcata irregolarità nell’orditura dei giunchi ed il loro infittimento che, in fase di intonacatura dal basso, non ha consentito il passaggio della malta anche all’estradosso, disponendo così di una limitata superficie di aderenza intonaco-stuoiato.

In termini di degrado, era evidente il crollo della porzione di intonaco decorato di uno dei riquadri, i cui frammenti erano stati in parte recuperati e conservati. Osservando i restanti riquadri all’intradosso, si era notato che i 3+3 elementi in corrispondenza delle pareti peri-

metrali corte soffrivano un maggior stato di degrado. Il quadro fessurativo aveva restituito la presenza di fessure diagonali marcate, che attraversavano interamente i 6 riquadri, da spigolo a spigolo, coinvolgendo anche la modanatura. Le diagonali fessurate risultavano simmetriche, con il vertice rivolto verso il centro della stanza.

Meno marcate, ma in ogni caso presenti, erano le fessure dei riquadri centrali, anch'esse con andamento inclinato.

Le preoccupanti lesioni avevano condotto la proprietà della villa alla messa in opera di puntellazioni temporanee di messa in sicurezza ed all'interdizione della sala.

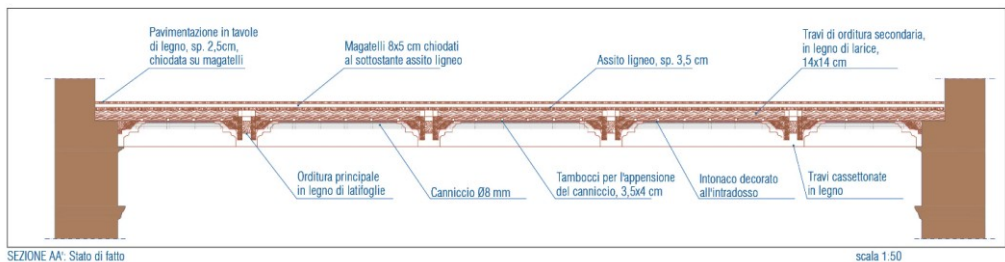


Figura 1. Vista dell'intradosso del solaio prima dell'intervento. Si notino le lesioni diagonali negli angoli ed il crollo di un riquadro.. Sezione trasversale del soffitto incannicciato di Villa Greppi

2.2. La diagnostica pre e post intervento

Le indagini sul solaio di villa Greppi sono state condotte a cura del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche, con il coordinamento scientifico dei proff. Paolo Castellini e Milena Martarelli.

Il gruppo di ricerca, insieme agli scriventi autori, ha applicato alcune tecniche di misura non invasive per la diagnostica e la valutazione dello stato di salute del soffitto, al fine di identificare e localizzare eventuali distacchi tra stuoiato di canne e intonaco e tra canne e strutture lignee.

Anzitutto è stata attuata una analisi mediante Vibrometria Laser Doppler, che identifica aree

definibili “ad elevata mobilità” a seguito di una eccitazione della struttura. Nel caso in esame, il vibrometro laser è stato movimentato a terra, sul pavimento del locale, effettuando una serie di registrazioni senza contatto con la superficie, lungo una maglia di punti che comprendeva sia le parti di intonaco decorato (i riquadri incaniciati), sia le strutture lignee portanti. Sono state scelte due maglie di punti, 6x7 per i riquadri più piccoli e 7x8 per i riquadri più grandi. La sollecitazione è stata applicata dall’estradosso (preventivamente liberato dalla pavimentazione, dall’assito ligneo e ripulito) mediante vibrodina.

Le prove sono state ripetute nella situazione allo stato di fatto, che ha confermato una situazione di comportamento membranale, soggetto ad elevata flessione nella porzione centrale di ciascun riquadro, ed al termine dell’intervento di consolidamento del cannicciato, registrando un sensibile incremento di frequenza modale, come riportato in tabella 1. Il dato riportato si riferisce ad uno dei pannelli esaminati, mediamente rappresentativo in termini di incremento di frequenza pre-post intervento anche dei restanti. Va sottolineata tuttavia una elevata variabilità ottenuta sperimentalmente tra i pannelli in termini di primo modo di vibrare, influenzata dallo stato di conservazione dell’intonaco e dal grado di vincolo che esso ha con il supporto.

In Figura 2 sono riportati a sinistra gli indicatori C1 di energia FRF (*Frequency Response Function*), ottenuti per i pannelli analizzati, integrando la funzione FRF in un range di frequenze comprese tra 0 Hz e 20 Hz. A destra è riportato il grafico Frequenza – Punto di misura per un pannello tipo. Come è possibile notare dall’istogramma si ottiene sempre un incremento tra la situazione consolidata (in rosso) e quella non consolidata (in blu).

Le medesime considerazioni valgono anche per la curva FRF di un pannello tipo.

Adottando un secondo approccio di calcolo, basato sulla valutazione del picco massimo di frequenza C2 della curva FRF di ciascun pannello è stato ricavato l’istogramma riportato in figura YY (a sinistra). Il calcolo di tale indicatore ha confermato il miglioramento ottenuto nella situazione consolidata.

Da ultimo, combinando i due approcci sopra citati, ossia il calcolo dell’indicatore di energia in bassa frequenza ed il calcolo dell’indicatore massimo di frequenza, è stato possibile comporre un diagramma che identifica la soglia (linea diagonale tratteggiata di Figura 3 a destra) oltre la quale il pannello incaniciato si può ritenere adeguato in termini strutturali. In altri termini, tale soglia identifica il miglioramento ottenuto a seguito del consolidamento strutturale, come dimostrano i cerchi in rosso, collocati al di sopra di tale soglia.

Tabella 1. Risultati sperimentali in frequenza modale pre e post intervento

Modo n°	Tipologia di comportamento	Frequenza pre-intervento (Hz)	Frequenza post-intervento (Hz)	Differenza (%)
1	Flessionale	10.72	11.53	+ 7.5
2	Flessionale	12.96	15.00	+15.7
3	Torsionale	28.80	32.01	+ 11.1

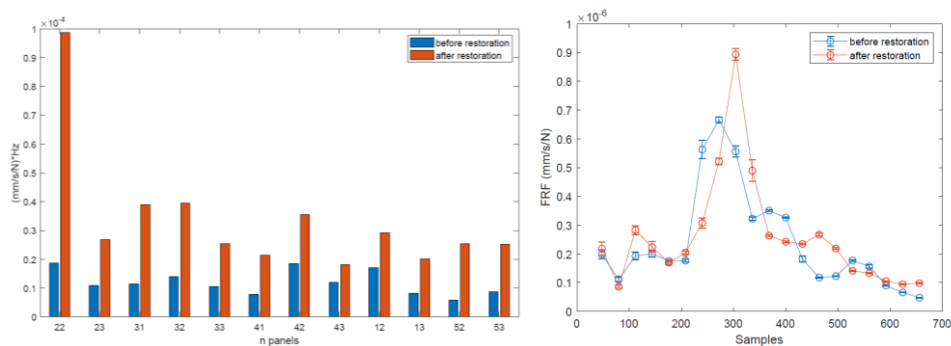


Figura 2. Indicatori di energia a bassa frequenza C1 (a sinistra). FRF per un pannello tipo (a destra)

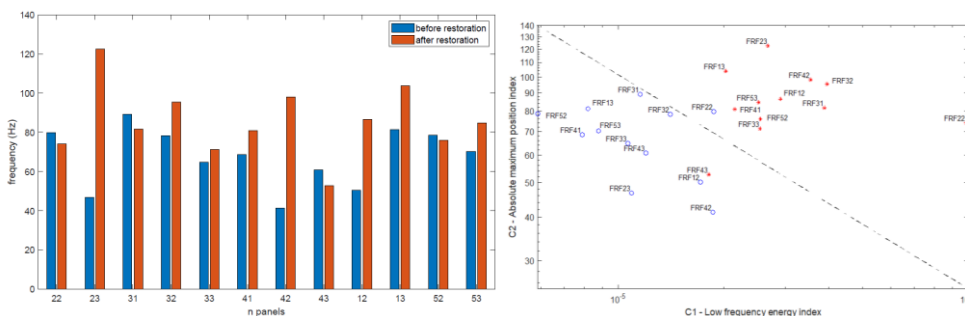


Figura 3. Picco massimo di frequenza C2 (a sinistra). Diagramma C1-C2 (a destra)

Parallelamente alla vibrometria è stata eseguita una termografia a infrarossi passiva e attiva, in grado di rilevare discontinuità termiche dovute a difetti superficiali e profondi.

Inoltre, in via sperimentale, è stata applicata una Digital Image Correlation, basata su pattern cracking. Si tratta di un sistema di monitoraggio di tipo ottico che ha previsto l'acquisizione di una sequenza di immagini, dal cui confronto è stato possibile ricavare spostamenti e deformazioni della struttura quando sollecitata da una forzante esterna.

Da ultimo è stata condotta un'analisi stratigrafica con microscopio ottico, sia in luce naturale sia in UV. Tale indagine, i cui risultati sono riportati in Figura 4, ha confermato la presenza di due strati di intonaco separati e dunque la necessità di intervenire a ripristinare la continuità materica.

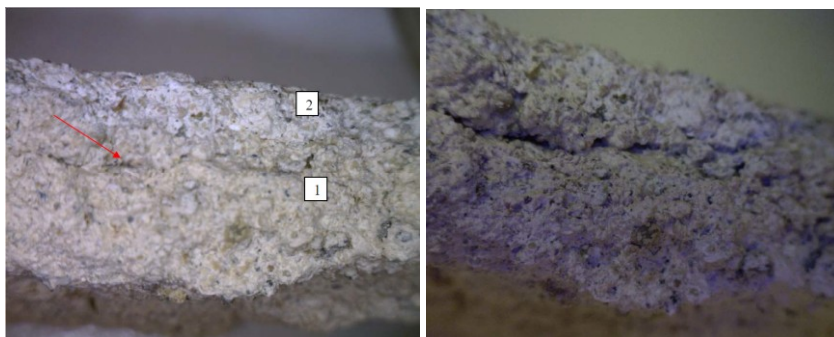


Figura 4. Immagine al microscopio in luce naturale (a sinistra) e UV (a destra)

L'intervento di ri-adesione degli intonaci si è affiancato all'intervento di consolidamento globale, descritto nel successivo paragrafo 2.3, portando al miglioramento strutturale misurato sperimentalmente tramite la Vibrometria Laser Doppler.

2.3. L'intervento di consolidamento strutturale

Il progetto di consolidamento strutturale ha previsto di intervenire all'estradosso del solaio, con l'obiettivo di restituire un adeguato grado di sicurezza al distacco dei riquadri incannicciati e, al contempo, di collegare le pareti della stanza mediante un diaframma semi-rigido di piano. Anzitutto si è proceduto alla rimozione della pavimentazione lignea esistente, ripulendo ed accatastando le tavole in un luogo idoneo, garantendo così la possibilità del futuro riutilizzo. Si è proceduto poi allo smontaggio dei magatelli e dell'assito esistente, così da raggiungere le strutture lignee principali e gli estradossi dei riquadri in cannucciato.

Dopo aver ripulito l'estradosso da depositi incoerenti, avendo cura di operare manualmente con spazzole morbide, sono state trattate le superfici in legno con prodotto antitarlo applicato a spruzzo e a pennello.

Vista la completa assenza di malta estradosale, aggrappata ai giunchi, è stato necessario anzitutto garantire una adeguata superficie di aderenza tra intonaco e supporto; al tempo stesso, è risultato necessario rompitattare i campi stuoiati che, come precedentemente descritto nel paragrafo 2.1, risultavano privi di una struttura di supporto intermedia su aree di dimensioni 50x100 cm circa.

A tal proposito si è scelto di impiegare una rete bilanciata in fibra di basalto con speciale trattamento alcali resistente con resina all'acqua priva di solventi, del peso netto di fibra di circa 130 g/m², dimensioni della maglia 22 x 22 mm, spessore equivalente della rete = 0,032 mm, impregnata con malta ad altissima igroscopicità e traspirabilità, a base di pura calce naturale NHL 3.5.

L'intervento è stato svolto nelle seguenti fasi:

1. Preparazione dei supporti.
2. Esecuzione di un primo strato di spessore medio di $\approx 3 - 5$ mm, di malta.
3. Con malta ancora fresca, si è proceduto alla posa della rete in fibra di basalto, in fasce da 15 cm di larghezza, avendo cura di garantire una completa impregnazione della rete ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione

della stessa alla matrice o al supporto.

4. Inseriti nella rete e annegati nello strato di malta sono stati posti in opera gli anelli di appensione in acciaio.

5. Agendo fresco su fresco è stato posato il secondo strato di malta, in spessore di $\approx 2 - 5$ mm fino ad inglobare totalmente la rete di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti. Lo strato di rete e malta è stato steso al di sopra dei tambocchi esistenti, in direzione ad essi ortogonale. Sono state Poste 2 o 3 fasce parallele per ciascun riquadro.

6. Dopo aver ripristinato la continuità tra i giunchi dello stuoiato è stato appeso l'elemento piano tramite trefolo in acciaio inox, $\Phi 3$ mm, passante all'interno degli anelli precedentemente posati e collegato alle travi lignee tramite barre inghisate con resina da legno, del diametro $\Phi 10$ mm. I cavetti sono stati fatti passare a cavallo delle travi lignee secondarie e, dotati di tenditori alle estremità, sono stati leggermente post tesi al termine dell'intervento, avendo cura di effettuare ripetute operazioni di tesatura dopo aver completato i diversi campi.

7. Dopo aver eseguito l'intervento di restauro dell'intonaco operando dall'intradosso tramite nanosilicati, sono state ripetute le indagini diagnostiche nella situazione consolidata e confrontate le frequenze ed i periodi propri di vibrare della struttura.

8. L'ultima operazione di consolidamento ha previsto la posa di un doppio assito ligneo incrociato, dello spessore di $3,5 + 3,5$ cm, chiodato e collegato diffusamente ai sottostanti elementi lignei mediante viti da legno, $\Phi 6$ mm. Il piano semi-rigido così creato è stato collegato alle pareti perimetrali di piano primo mediante barre $\Phi 14$ inghisate nel muro con malta da inghisaggio, ogni 120 cm, alle quali è stata saldata una piastra dello spessore di 8mm, sagomata a "V" e chiodata al sottostante doppio assito. I punti di ancoraggio garantiscono il mutuo collegamento tra le pareti della stanza, ossia tra le pareti perimetrali e quelle di spina, scongiurando futuri spostamenti dei maschi murari che possano danneggiare il soffitto restaurato.

In Figura 5 si riportano le immagini prima dell'intervento e durante il cantiere. La Figura 6 rappresenta il solaio decorato all'intradosso al termine del restauro.



Figura 5. Da sinistra: strato di fatto all'estradosso di un riquadro; malta e rete di consolidamento; sistema di appensione in trefoli di acciaio



Figura 6. Vista dell'intradosso al termine del restauro.

3. CONCLUSIONI

La campagna diagnostica sperimentale condotta sul soffitto incannucciato di Villa Greppi ha consentito, adottando molteplici tecnologie, sia di individuare le criticità in essere, sia di valutare il miglioramento ottenuto a seguito dell'intervento di consolidamento strutturale.

La Vibrometria Laser Doppler, tecnica d'indagine non invasiva poiché non prevede alcun contatto tra lo strumento e la superficie decorata, ha restituito le frequenze proprie pre e post intervento, evidenziando un incremento di frequenza a seguito del rinforzo. Le correlazioni FRF (Frequency Response Function) hanno consentito di identificare una soglia di miglioramento strutturale del cannucchiato. La complessità nella risposta strutturale del soffitto analizzato ha richiesto l'individuazione di una soluzione di consolidamento mirata ed altamente specifica, nel rispetto dell'autenticità del bene storico, operando dall'estradosso mediante malta, rete in fibra di basalto e cavi di piccolo diametro di appensione.

BIBLIOGRAFIA

Martarelli M. et al.: *Non destructive consolidation assessment of historical camorcanna ceilings by Scanning Laser Doppler Vibrometry*. Journal of Cultural Heritage, 2021.

Consorzio Brianteo Villa Greppi: *Villa Greppi: un luogo e la sua gente. Azioni per un progetto di valorizzazione*, Cattaneo Editore, Oggiono, 2005.

Jurina L.: *Alcune proposte innovative per il consolidamento strutturale di edifici storici in muratura*, Atti del seminario internazionale CIAS, Creta, 18-25 maggio 2013