

# IL CONSOLIDAMENTO DI STRUTTURE LIGNEE TRADIZIONALI IN ELEMENTI GREZZI CON MATERIALI COMPOSITI FIBRORINFORZATI

MARINA D'APRILE, MARGARET BICCO, DOMENICO BRIGANTE,  
LUCA FERRI, PASQUALE ARGENZIANO<sup>1</sup>

Seconda Università degli Studi di Napoli – Facoltà di Architettura

Università Federico II di Napoli – Facoltà di Ingegneria

The peculiar geometry and the irregularities of the surfaces of ancient timber structures investigated in this paper make rehabilitation measures set on the use of fiber-reinforced polymers, not always, mechanically adaptable on these specific configurations. To avoid an approximate technological transfer, based on tests acquired in different contexts, on the basis of the indications established by the CNR-DT 201/2005, this paper explores the implementation and procedural issues, together with potential problems of the strengthening and of the improvement of the mechanical properties of such timber structures, especially, by the use of the CFRP. Looking on recent practical applications, through a careful macroscopic reading of the conservative state of treated timber sections, extended to the identification by thermographic analysis of gaps and micro-cracks, as well as of differential displacements verified with extensometers, we evaluate the durability, the efficiency and the compatibility of some of the most common intervention technologies with CFRP in this field over time. Based on analytical and instrumental data collected in the examined contexts, with the most important problematic then emerge the cares and the precautions of greater impact.

Keywords: CFRP, string and fabric of FRP, thermography, ancient timber members, ISCARSAH documents, CNR-DT 201/2005

## *Premesse di metodo e di contenuto*

Di recente, specialmente nell'ultimo decennio, la tutela degli organismi strutturali lignei tradizionali ha conosciuto un notevole sviluppo<sup>2</sup>. La messe di studi prodotti, sin dai primi anni Novanta, ha contribuito infatti concretamente a esplicitare i criteri di protezione che, pur con qualche limite e contraddizione, l'ICOMOS stabilì nei *Principles for the Preservation of Historic Timber Buildings* (1999) e nelle successive elaborazioni dell'ISCARSAH, con ricadute importanti su tutti i pertinenti documenti d'indirizzo<sup>3</sup>. Nonostante gli indubbi progressi in campo

teorico, accanto ad un crescente numero di restauri esemplari, vigono tuttora realizzazioni poco o nulla rispettose dei criteri indicati, secondo soluzioni che, oltre all'inutile sacrificio materiale di testimonianze autentiche di accorgimenti e declinazioni precipi della cultura costruttiva storica locale, intenzionalmente modificano il comportamento strutturale del sistema e/o dell'elemento trattato<sup>4</sup>. Si agisce, cioè, in conseguenza di valutazioni preliminari e di relativi progetti diagnostici approssimati o addirittura inesistenti fidando, particolarmente, sul ricorso a materiali e tecnologie innovativi, spesso non sufficientemente sperimentati e, soprattutto, non attentamente valutati nelle loro interazioni con lo specifico caso.

L'uso di materiali compositi fibrorinforzati, applicato ormai reiteratamente anche nel settore del legno antico, ha investito prevalentemente membrature con lavorazioni superficiali accurate e sezioni all'incirca squadrate<sup>5</sup>. Prescindendo dalla caratterizzazione del composito e dal ruolo assolto, l'efficacia di tali provvedimenti è direttamente correlata, com'è noto, alle proprietà del substrato, sia per le conseguenze sulla solidarizzazione con l'FRP, sia per l'aderenza e, dunque, per la durabilità e l'efficacia nel tempo dell'intervento. Cercare di stabilire, attraverso analisi dirette, monitoraggi e verifiche sperimentali di concrete realizzazioni, le modalità di utilizzo più comuni in coincidenza di componenti lignee connotate da marcate irregolarità di forma e di geometria, si evidenzia dunque come un contributo di merito nell'evitare approcci standardizzati e tipizzati, poco o nulla attinenti alle specificità materiali e costitutive del singolo manufatto e dei propri elementi.

In molti areali della nostra penisola, come in ambito partenopeo e, più in generale, campano, non soltanto nel patrimonio storico diffuso bensì pure in molte architetture monumentali, almeno tra prima età moderna e inizio del Novecento, orizzontamenti e coperture in legno si segnalano comunemente per la semplicità e la sostanziale invarianza delle metodologie esecutive e di lavorazione adottate, distinguendosi secondo classi cronologiche, più in ragione di alcune caratteristiche dimensionali e per l'eventuale ricorso ad accorgimenti peculiari, che per obiettive e sostanziali modifiche sul piano tipologico e strutturale<sup>6</sup>. In tali repertori – molto diffusi nel Meridione e, in generale, negli insiemi rurali – anche prescindendo dalla specie legnosa, il più delle volte comunque coincidente con il castagno, le travi dei solai e le membrature di capriate e incavallature sono difatti scorzeciate (*scorzate*) e con tenute *attestate*, cioè sommariamente asciate. Soltanto i monaci delle capriate, in media, risultano ascianti, anch'essi spesso grossolanamente, mentre le orditure secondarie (*chiancarelle* o *panconcelli* nei solai e *ginelle* nei tetti) sono caratterizzate da superfici e geometrie di sostanziale irregolarità.

I caratteri elencati configurano invarianti significative dei patrimoni vigenti, di conseguenza, rivestono valore strategico le riflessioni puntuali sulle tecniche di riabilitazione e miglioramento più adeguate alle specificità materico-strutturali, particolarmente, per quanto concerne l'uso di materiali e procedure innovativi,

scaturiti da verifiche maturate in altri contesti, quindi, facili esempi di un trasferimento tecnologico, sostanzialmente, incontrollato. Per contribuire ad evitare prassi d'intervento ancora promosse senza l'individuazione preliminare di adeguati strumenti di valutazione e senza controlli preventivi e contestuali delle pratiche adottate, si vogliono qui approfondire gli aspetti attuativi e procedurali del consolidamento di siffatte membrature con materiali compositi fibrorinforzati, in particolare, con CFRP.

### *Il trattamento delle membrature inflesse dei solai*

Considerando gli impieghi di più acclarata efficacia, così come definiti nel documento CNR-DT 201/2005<sup>7</sup>, come primo contributo, il lavoro ha quindi analizzato l'uso di FRP nella riabilitazione di travi inflesse. Il rinforzo in zona tesa con questi materiali, con proprietà di elevata resistenza e rigidità a trazione, consente, com'è noto, di esaltare la capacità portante delle membrature inflesse, incrementandone la duttilità a condizione, però, di assicurare la completa trasmissione degli sforzi dal legno al presidio. Partendo dalla considerazione che, nell'assorbimento di sforzi di compressione o di trazione di analogo orientamento, sebbene non influiscano sul contrasto di eventuali azioni ortogonali a tale direzione, è consigliabile adottare materiali compositi con fibre monodirezionali, incrociando le connotazioni specifiche del comportamento flessionale ai requisiti necessari ad un'applicazione efficace dell'elemento in FRP, l'analisi ha individuato alcuni interventi realizzati con lamine e barre in CFRP, disposte in zona tesa e, soprattutto, in zona compressa, procedura quest'ultima più interessante, generalmente, ai fini del restauro, non potendosi spesso agire dal versante intradossale del sistema ligneo, specialmente nel caso di orizzontamenti.

Grazie agli intagli, l'inserimento del presidio si esegue internamente alla sezione lignea, solidarizzandola mediante incollaggio. In questo modo, infatti, raddoppiando la superficie di incollaggio, si intende pure verificare un eventuale maggior contrasto ai fenomeni di delaminazione. In particolare, grazie alle scanalature realizzate appositamente con una fresa verticale, dopo un'accurata pulizia delle tasche, la tecnica prevede il trattamento con un primer specifico, seguito dall'applicazione di uno stucco epossidico bicomponente, necessario per la regolarizzazione delle superfici. A questo punto, si procede alla posa in opera delle corde in fibra di carbonio, fissate con adesivo bicomponente epossidico, applicato secondo le indicazioni fornite dal produttore, stuccando infine le tracce realizzate. Tra i casi indagati a questo titolo, può citarsi l'intervento eseguito in un piccolo edificio del II dopoguerra nel centro storico di Salerno, sull'impalcato ligneo composto da un'orditura semplice di travi di castagno *scorzate* (dm 200 mm), apparecchiata con superiore tavolato (sp: 15 mm) e rinforzata con una cosiddetta *ginella rompitratta* (dm 120 mm), assicurata alle travi con regge di metallo (le *strasciolette*).



Fig. 1-2. Particolari del collegamento fra ginella rompitratta e travi principali, ripristinato con tessuti bidirezionali in CFRP in sostituzione delle antiche *strasciolette* metalliche



Superiormente era un massetto a base cementizia spesso all'incirca 6-8 cm. Nelle condizioni iniziali il solaio presentava una deformabilità eccessiva legata al basso modulo elastico delle travi e alla generalizzata insufficiente resistenza flessionale, nonché alla scarsa funzionalità delle *strasciolette*, distaccate in più punti.

Al fine di incrementare la resistenza alla flessione e ridurre la deformabilità dell'orizzontamento, nel 2008, si è intervenuti adottando materiali compositi fibrorinforzati. In particolare, le travi sono state rinforzate con barre pultruse in CFRP - una coppia per ogni elemento - posizionate 70 mm sotto il baricentro geometrico della singola sezione, in sedi appositamente costituite mediante fresatura, dopo aver scaricato il solaio. Il posizionamento dei rinforzi è risultato dall'impossibilità di procedere allo smontaggio della sottostante controsoffittatura, per cui si è operato un compromesso tra esigenze progettuali e operative. Com'è d'uopo, gli alloggiamenti delle barre nelle sezioni lignee, prima e dopo il loro inserimento, sono stati trattati con resina epossidica, per ripristinare la continuità del sistema. Per incrementare ulteriormente la rigidezza dell'impalcato si sono, poi, ripristinati i collegamenti dell'elemento rompitratto con le orditure, rimuovendo le *strasciolette* non più in grado di assicurare una connessione rigida e sostituendole con tessuti bidirezionali in CFRP da 300 g/mq, impregnati con resina epossidica. L'intervento ha consentito, inoltre, un aumento significativo del momento resistente ultimo, quasi raddoppiato, mediante la realizzazione di un tavolato in legno castagno (30 mm) posto superiormente all'orditura e di una soletta collaborante superiore in c. a. di 10 cm di spessore.

#### *Il consolidamento delle membrature di copertura*

Tra le applicazioni di CFRP di maggiore interesse tra quelle analizzate si annovera il consolidamento, ultimato alla fine del 2007, effettuato sulla copertura a falde del corpo di fabbrica centrale dell'Hotel Exedra (Boscolo Hotel) a Roma. Il tetto, originariamente a quattro falde, costituisce l'originario coronamento del cosiddetto *granaio Clementino*, edificio compiuto nel 1705 per volontà di papa Clemente XI, a completamento di un sistema di fabbriche pubbliche a tal uopo destinate che, sin dal 1575, nell'ambito della riorganizzazione dell'Annona romana, con l'erezione del deposito voluto da papa Gregorio XIII avevano gradualmente assegnato a tale funzione l'area delle antiche terme di Diocleziano<sup>8</sup>.

Il progetto della fabbrica settecentesca, testimoniato dall'epigrafe affissa sul portale della fronte orientale, fu commissionato all'architetto Carlo Fontana che, ispirato dal rispetto dell'antico che, proprio in quegli anni, veniva promosso anche dall'editto del cardinale Spinola, cercò di mediare tra le esigenze meramente funzionali dettate dalla destinazione d'uso e le istanze culturali e formali legate alle preesistenze archeologiche che quella zona, diffusamente, includeva.

Nel XIX secolo l'organismo Clementino subì diversi ampliamenti e riadattamenti; i primi seguirono forse alla scelta, compiuta nel 1834, di ospitare in quella sede le carceri ed i relativi servizi<sup>9</sup>. Evidentemente, in tale occasione l'originario volume

fu accresciuto, addossando i nuovi corpi alla struttura, oggi centrale, sede dell'intervento indagato<sup>10</sup>. Successivamente, il complesso fu pure coinvolto nella ridefinizione tardottocentesca della cosiddetta piazza Esedra, poi piazza della Repubblica, disegnata da Gaetano Koch e «reclamata dal voto unanime della città»<sup>11</sup>. Attualmente, i porticati poi realizzati si protendono simmetricamente, inglobando il prospetto nord-ovest dell'ex-granaio Clementino<sup>12</sup>.

La struttura indagata si compone di 14 capriate lignee a nodo aperto, formate da puntoni (sezione di circa 320x300 mm), catena (400x300 mm), monaco (500x340 mm) e saettoni (dm medio 220 mm), poste ad interassi variabili di circa 5.90 m. Le falde di testata, di cui quella nord rimossa con inevitabili trasformazioni e sacrifici dell'apparecchiatura di sostegno, sono sorrette da ulteriori quattro travi inclinate. La piccola orditura è formata da morali e correntini lignei apparecchiati con un pianellato in cotto. L'orditura principale è attestata – vale a dire, asciata e con spigoli smussati – con una lavorazione poco accurata, soprattutto in corrispondenza dei puntoni; diversamente, correnti e correntini risultano generalmente *scorzati*. Pur con alcune differenziazioni, anche le ferramenta di rinforzo delle connessioni si segnalano per la generalizzata uniformità di tipologie e lavorazioni. Tra monaco e catena è una staffa ad U con chiavarda; tra monaco e puntoni è un gattello ligneo chiodato, in qualche caso, come nella I capriata da Nord, sostituito da una più recente staffa piatta in ferro, chiodata ad intervalli regolari. Le saette, tra le membrature sulle quali si è più intervenuto, si evidenziano come partizioni storicamente soggette a ripetuti dissesti ed, evidentemente, come pure per la piccola orditura, anche a qualche sostituzione. Le sezioni a contatto col monaco apparivano, infatti, ampiamente segnate da diffuse sconessioni, mentre ripetute lesioni ad andamento longitudinale caratterizzano la quasi totalità delle aste.

Fessurazioni longitudinali, scaturite da un eccesso di sollecitazioni flessionali, ricorrevano pure su alcuni correnti dell'orditura secondaria, particolarmente nella sezione compresa tra le capriate X e XI, soprattutto sulla falda di levante. Macroscopici e ripetuti cedimenti differenziali dei monaci, in qualche caso portati a filo della corda, ancora oggi ben visibili e largamente presenti, testimoniavano, inoltre, la vigenza di dissesti ormai stabilizzati di ben più antica origine, altresì contrastati da elementi di rinforzo di diversa datazione. In particolare, considerando i provvedimenti di più recente introduzione, si segnalano i presidi in acciaio disposti in mezzeria ad alcuni correnti, in qualche caso, ancora oggi caratterizzati da un insufficiente tesatura ed, in corrispondenza della fronte settentrionale dell'XI capriata, la vigenza di un sistema collaborante realizzato, in aderenza, con tiranti connessi ad una coppia di profilati a C bullonati, con funzione di puntoni.

Nel 2007 si è proceduto al consolidamento oggetto di queste note. Il rinforzo dei correnti è stato eseguito realizzandovi incassi longitudinali, ottenuti con opportuna fresa verticale, trattamento con primer specifico, applicazione di stucco epossidico bicomponente per la regolarizzazione delle superfici, inserimento di corde in fibra di carbonio fissate con adesivo bicomponente epossidico e successiva stuccatura e

riverniciatura delle superfici. Due catene sono state rinforzate, dall'intradosso, con chiodature puntuali, realizzate inserendo in appositi fori eseguiti con trapano manuale barre in CFRP, inclinate di circa 45° sull'orizzontale, ancorate con pasta di resina epossidica.

Per il consolidamento a compressione dei saettoni, si è proceduto al cerchiaggio con corde in CFRP, posizionate all'interno di apposite tracce, successivamente stuccate e riverniciate. Si è garantito così un aumento significativo della resistenza a compressione, contenendo le spinte radiali fatte assorbire alle corde in CFRP, in questo modo, sollecitate a trazione. L'intervento ha interessato i saettoni per un totale di 26 elementi, ciascuno di lunghezza 2,3 m. Identicamente su ognuno di essi, in corrispondenza della sezione intradossale di attacco al monaco, è stata inserita in appositi fori una coppia di barre in CFRP. A completamento del lavoro, si sono predisposti poi alcuni estensimetri, in corrispondenza dei correnti e dei saettoni di più problematica riabilitazione, così da monitorare con continuità eventuali ulteriori assestamenti della struttura che, ad oggi, a circa tre anni dall'esecuzione, non rivela comunque spostamenti di merito.



Fig. 3. Roma, ex-Granaio Clementino, copertura, particolare capriata n. 11, lato nord. In primo piano il sistema collaborante in acciaio con tiranti e profilati, apprestato precedentemente all'intervento con CFRP.

### *L'ausilio della verifica termografica*

La mappatura della temperatura superficiale è uno strumento efficace nella valutazione di materiali e superfici, sebbene il significato che si è soliti dare ai risultati ottenuti con l'uso della termografia all'infrarosso sia, generalmente, di tipo qualitativo. Anche il documento CNR-DT 201-2005 ne prevede l'impiego, infatti, solo per caratterizzare l'omogeneità dell'aderenza CFRP-substrato mediante una mappatura bidimensionale della superficie<sup>13</sup>. L'approfondimento della conoscenza dei fenomeni di trasferimento del calore, delle proprietà termofisiche dei materiali ed il grande sviluppo dell'apparecchiatura impiegata nel metodo termografico, hanno promosso lo sviluppo di questa tecnica, ottenendo invece anche dati quantitativi, come la misura dell'estensione e della profondità di eventuali difetti e discontinuità<sup>14</sup>.

Il rilievo della copertura dell'ex-Granaio Clementino é stato acquisito con videotermocamera FLIR SC 6300 - di proprietà del Benecon SCaRL - con rilevatore ad alta risoluzione (640x480 pixel) e sensibilità termica < 30 mk, così da registrare anche le più piccole differenze di temperatura<sup>15</sup>. Le scansioni sono state eseguite in due fasi temporalmente distinte, a distanza di molte ore l'una dall'altra. Data la particolare destinazione d'uso del sottotetto - parte integrante della struttura ricettiva, quindi, caratterizzato da condizioni termoigrometriche appositamente preordinate ed all'incirca costanti - le variazioni della temperatura ambientale sono risultate però assai limitate (Tavv. 1-2).

Per ovviare a questa circostanza, le membrature oggetto della termografia sono state preliminarmente riscaldate mediante una sorgente di calore esterna (tecnica attiva), valutandone la risposta termica, particolarmente, sul piano della verifica della qualità e della caratterizzazione superficiale<sup>16</sup>. Pur tenendo presenti le approssimazioni scaturite dalla sostanziale invarianza delle condizioni ambientali, relativamente ai saettoni consolidati con cerchiature di tessuto CFRP e superiori stuccature, rispetto al legno non trattato, in corrispondenza dei rinforzi si sono rilevati gradienti termici molto contenuti ( $\pm 2^\circ$ ), sintomi di una sostanziale omogeneità e continuità nel comportamento e nelle prestazioni, proprietà altresì confermate dalle condizioni macroscopiche superficiali delle porzioni interessate dalle prove e dalla mancata vigenza di spostamenti relativi, segnalati dagli estensimetri posizionati, dopo il consolidamento del 2007, per il monitoraggio costante degli elementi più compromessi. Pur considerando l'inevitabile condizionamento determinato dai parametri ambientali specifici, anche in ragione dello stato di conservazione che, macroscopicamente, manifestano le stuccature che rivestono le cerchiature di CFRP sulle saette, si desume la sostanziale tenuta dell'intervento realizzato, non riscontrandosi l'insorgenza di coazioni superficiali significative indotte nel tempo dal trattamento subito, tali da determinare microfessurazioni, corrugamenti e locali compromissioni della continuità

superficiale, come pure è emerso invece dalla valutazione sperimentale effettuata in altri contesti e su manufatti lignei di diversa composizione<sup>17</sup>.



Fig. 4. Roma, ex-Granaio Clementino, tetto, capriata n. 12, particolare del saettone e del cerchiaggio in CFRP.

---

<sup>1</sup> Pur nell'assoluta collaborazione di tutti i partecipanti alla ricerca, si segnala che M. Bico ha redatto il paragrafo *Premesse di metodo e di contenuto*, D. Brigante *Il trattamento delle membrature dei solai*, M. D'Aprile *Il consolidamento delle membrature di copertura*, L. Ferri e P. Argenziano *L'ausilio della verifica termografica*.

<sup>2</sup> TAMPONE G., MANNUCCI M., MACCHIONI N., *Strutture di legno. Cultura, conservazione, restauro*, Milano, 2002; TAMPONE G., *Istanze ideologiche e innovazione tecnologica nella conservazione delle strutture di legno*, in "Restauro", Napoli, 159/2002.

<sup>3</sup> ICOMOS International Wood Committee, *Principles for the Preservation of Historic Timber Structures* ICOMOS General Assembly, Mexico City, 1999; ISCARSAH Committee (ICOMOS), *Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*, I, Victoria Falls, 2003; ISCARSAH Committee (ICOMOS), *Recommendations*, 2004.

<sup>4</sup> WEAVER E.M., 2003, *Successes and Failures in the Conservation of Wooden Structures*, in "Journal of Architectural Conservation", n. 3, v. 9, November 2003, pp. 37-50; BORRI A., *Lignea. Studi sulla conservazione e il restauro del patrimonio artistico e architettonico ligneo*, Perugia, 2006.

<sup>5</sup> BORRI A., CORRADI M., GRAZINI A., *Sull'utilizzo dei materiali FRP per il rinforzo delle strutture lignee*, in BORRI A., op. cit., pp.349-398.

---

<sup>6</sup> Per le strutture campane, cfr. D'APRILE M., *Solai e coperture in legno a Napoli e in Terra di Lavoro* in FIENGO G., GUERRIERO L., (a cura di), *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Napoli, Terra di Lavoro (XVI-XIX)*, Napoli 2008, t. I, pp. 295-368; ID, *Solai e tetti lignei in Campania tra XVI e XIX secolo*, in VARAGNOLI C. (a cura di), *Muri parlanti. Prospettive per l'analisi e la conservazione dell'edilizia storica*, (Atti del Convegno di Studi, Pescara 2008), Programma di ricerca COFIN 2005 "Conoscenza delle tecniche costruttive storiche: protocolli e strumenti innovativi per la diffusione e l'applicabilità al processo di conservazione", Firenze 2009, pp. 121-130.

<sup>7</sup> CNR-DT 201/2005, *Studi preliminari finalizzati alla redazione di istruzioni per interventi di consolidamento statico di strutture lignee mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*, Roma, 21 luglio 2005.

<sup>8</sup> CAPALBI M., *Dal medioevo al XX secolo*, in CARDANO N. (a cura di), *Esquilino e Castro Pretorio, patrimonio storico-artistico e architettonico del comune di Roma*, ivi 2005, pp. 230-231.

<sup>9</sup> CARDANO N. (a cura di), *Guide rionali di Roma. Rione XVIII. Castro Pretorio*, parte terza, Roma 2000, pp. 54-55.

<sup>10</sup> La sistemazione é rilevabile da un disegno di Edmond Paulin degli anni Ottanta dell'Ottocento, dal quale si evince la distribuzione degli ambienti originali del granaio, costituiti da celle rettangolari affiancate trasversalmente.

<sup>11</sup> ACS, Ministero dei LL.PP., Segretariato Generale, Opere Governative ed Edilizie per Roma, B. 154, f. 419, verbale della seduta della Commissione dell'Uff. V, 16 gennaio 1886

<sup>12</sup> La pregressa sistemazione è testimoniata però da un'interessante fotografia, antecedente la sistemazione del Koch, dove è ben visibile la copertura a falde a chiusura del volume settecentesco.

<sup>13</sup> CNR-DT 200/2004, *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati*, Roma, 13 Luglio 2004.

<sup>14</sup> GRINZATO E., MARINETTI S., BISON P.G., *Controllo termografico di strutture edili fibrorinforzate*, CNR ITC Padova, Conferenza Nazionale AIPnD, Milano, 2005.

<sup>15</sup> Come riferimento metodologico per lo svolgimento della prova si è fatto riferimento alla norma UNI 9252; per la definizione di anomalie e patologie della componente lignea si è ricorsi alla norma UNI 9124.

<sup>16</sup> AHMED T., JIN H.J., WANG X., FAVRO L.D., KUO P.K., THOMAS R.L., *Review of progress in quantitative nondestructive evaluation*, v. 10 B, New York, 1991.

<sup>17</sup> Alcune verifiche sperimentali condotte sulle superfici intradossali in stucco o affrescate di finte volte a incannucciata su centine lignee, trattate all'estradosso con sistemi fascianti di GFRP ha rivelato l'instaurarsi di stati tensionali imprevisi, tali da provocare quadri fessurativi per sollecitazioni prima inesistenti, comportando altresì modifiche del comportamento termoigrometrico del sistema, con la conseguente possibilità di marcescenza per le canne o di sfinamento dell'intonaco e, di conseguenza, di distacco e degrado degli intradossi di pregio. QUAGLIARINI E., D'ORAZIO M. *Light Vaults With Frescoes or Stuccoes Strengthened by Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) — the Role of the Reinforcement on Intradoss Strains: First Experimental Data*, "International Journal of Architectural Heritage", v. 4: issue 4, 2010, pp. 320-336,