

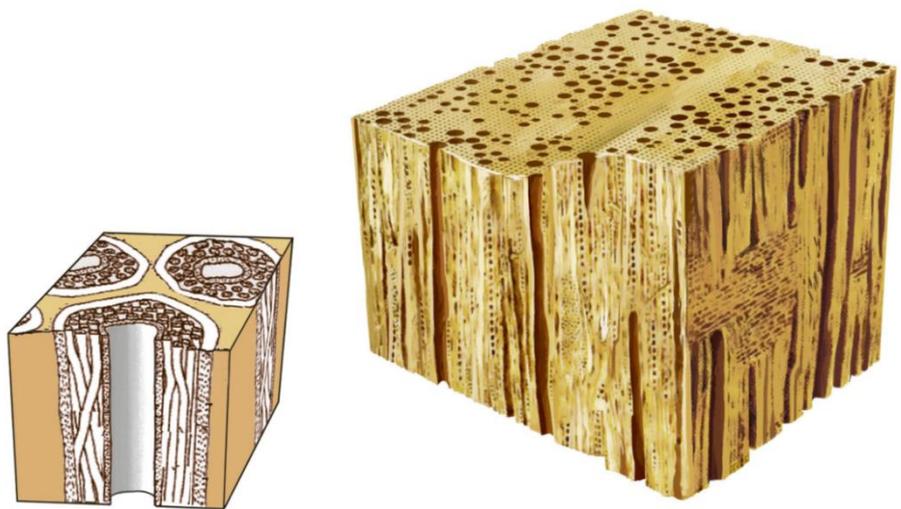
RINFORZO DI STRUTTURE IN LEGNO CON SISTEMI DI CONSOLIDAMENTO FRP

I MATERIALI COMPOSITI NATURALI E SINTETICI

Un materiale composito è un materiale costituito da più di una singola fase, solitamente una fase continua che ingloba una fase discontinua e ciascuna di esse è dotata di proprietà chimico-fisiche differenti a livello macroscopico e strutturale.

I più primitivi materiali compositi artificiali furono i mattoni, costituiti da paglia e fango combinati insieme; il libro Biblico dell'Esodo parla degli Israeliti oppressi dal Faraone che erano costretti a preparare mattoni senza paglia. L'antico processo della lavorazione del mattone può ancora essere visto sui dipinti tombali egiziani nel Metropolitan Museum of Art.

Lo sviluppo dei materiali compositi “artificiali” prende spunto dalla natura e dai numerosi esempi di materiali compositi naturali, tra cui il legno che è costituito da fibre di cellulosa trattenute da una matrice di lignina. Il legno a sua volta può costituire da base per altri materiali compositi, quale ad esempio il compensato, il legno truciolare, il multistrato e molti altri.



Il legno – un composito naturale (www.cooperazione.ch)

L'accoppiamento di materiali compositi “artificiali” con questo importante materiale composito naturale, consente di sfruttare le caratteristiche fisico-meccaniche di entrambi che combinate insieme possono garantire risultati eccellenti.

Almeno in linea teorica, quasi tutti i problemi strutturali relativi a una struttura di legno potrebbero trovare soluzione mediante un'opportuna applicazione di materiali compositi fibrorinforzati. In pratica, l'approccio che si rileva come il più seguito e/o il meno problematico è quello degli interventi di tipo “migliorativo”, applicabile a situazioni altrimenti irrisolvibili se non a prezzo di difficili compromessi

progettuali. Inoltre, esso compensa in molti casi i maggiori oneri ancora legati alla produzione dei compositi fibrorinforzati.

In tale ambito si parla frequentemente di rinforzo di strutture lignee con FRP, comprendendo nel suddetto termine sia la restituzione delle capacità prestazionali ad un elemento deteriorato – riabilitazione - sia il miglioramento delle prestazioni di un elemento strutturale integro.

Gli impieghi strutturali di materiali compositi fibrorinforzati, verificati ormai in numerose applicazioni anche relative a strutture lignee tradizionali, hanno costantemente investito elementi e membrature caratterizzate da una lavorazione superficiale accurata e da sezioni grossomodo squadrate. L'osservazione non è di poco momento, in quanto l'efficacia di tali provvedimenti, prescindendo dalla caratterizzazione del materiale composito e dallo specifico ruolo statico assolto, è fortemente correlata alle proprietà della superficie del substrato ligneo, sia per le ovvie conseguenze sul piano della solidarizzazione legno-FRP, sia per la verifica dell'aderenza e, quindi, della durabilità dell'intervento.

Le tecniche di rinforzo proposte da **OLYMPUS** che utilizzano i materiali compositi consentono di non smontare la sovrastante struttura, nello spirito della conservazione del patrimonio edilizio storico, con conseguente riduzione degli oneri economici e dei tempi di realizzazione dell'intervento.

Partendo dall'esame scientifico puntuale di alcune concrete applicazioni di recente realizzazione, attraverso il rilievo dettagliato dello stato conservativo, supportato dall'impiego di tecniche strumentali non distruttive (termografia), dalla caratterizzazione di degradi e alterazioni (microscopio elettronico) - in particolare, per la presenza di eventuali distacchi e fenomeni di delaminazione – in virtù delle competenti verifiche statiche e dinamiche, unitamente alle prove strumentali (estensimetri) per la determinazione dei relativi quadri deformativi, sono state valutate alcune tra le principali tecnologie d'intervento in questo settore, segnatamente, in relazione alle criticità di maggior ricaduta. In particolare per quanto concerne il rinforzo di membrature inflesse, al fine di definire criteri, prestazioni, vantaggi e limiti applicativi relativi all'uso di corde, lamine e barre monoassiali in FRP, confrontandone tipologie e



composizioni in relazione ad alcuni specifici indicatori (durabilità, efficacia, compatibilità, rapporto con le condizioni ambientali, etc.). Sulla base delle valutazioni analitiche e strumentali pertinenti i contesti esaminati, insieme ad alcune problematiche, emergono così gli accorgimenti e le raccomandazioni di maggiore impatto.



Numeri sono gli interventi realizzati negli ultimi anni con i materiali compositi dell'azienda **OLYMPUS**[®]. Tra le applicazioni di CFRP della linea **OLYMPUS-FRP**[®] 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.

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 presistenze 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. Evidentemente, in tale occasione l'originario volume fu accresciuto, addossando i nuovi corpi alla struttura, oggi centrale, sede dell'intervento indagato. 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». Attualmente, i porticati poi realizzati si protendono simmetricamente, inglobando il prospetto nord-ovest dell'ex-granaio Clementino.

La struttura indagata si compone di 14 capriate lignee a nodo aperto, formate da puntoni (sezione di circa 320x300 mm), catene (400x300 mm), monaci (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 mezzera 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.

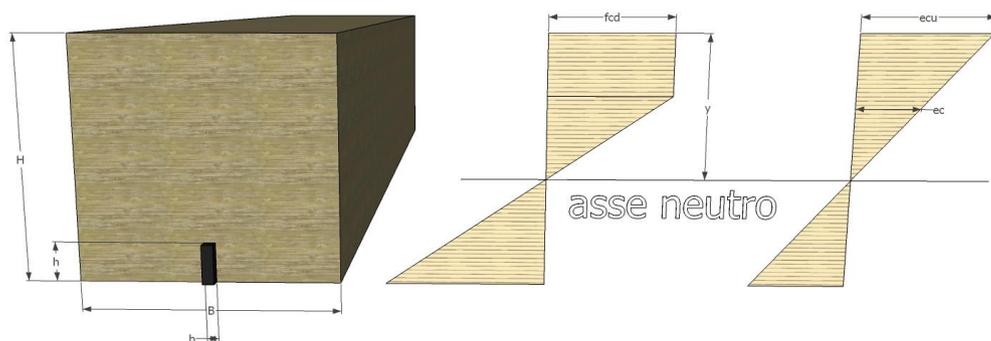


Diagramma tensione deformazione di una sezione rinforzata con FRP (CNR DT 201-05)

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 **OLY ROPE CARBO** 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 OLY ROD CARBO**, inclinate di circa 45° sull'orizzontale, ancorate con pasta di resina epossidica.

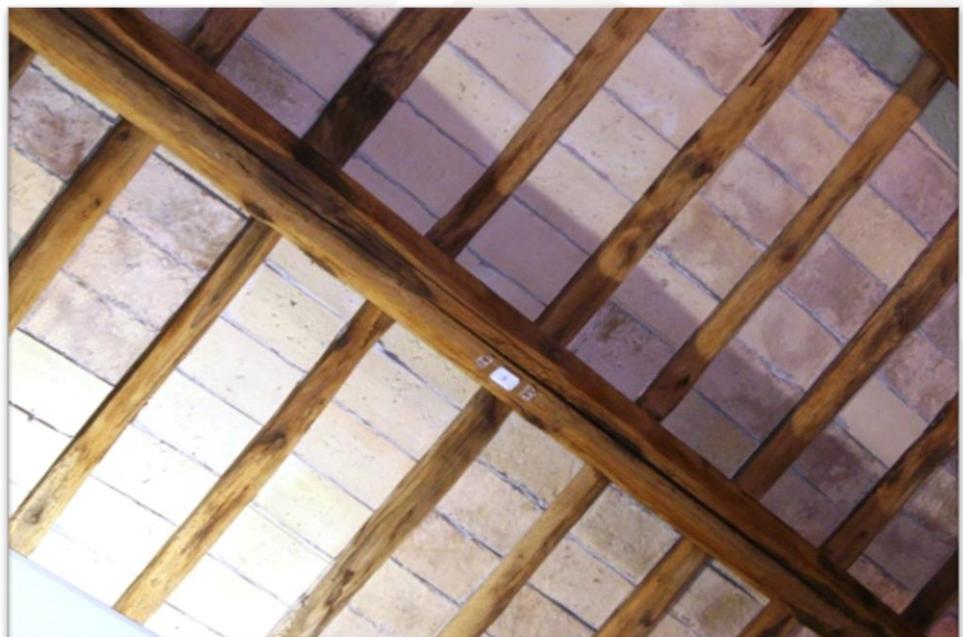
Per il consolidamento a compressione dei saettoni, si è proceduto al cerchiaggio con corde in CFRP, posizionate all'interno di apposite tracce, successivamente stuccate e riverniciate. Si è garantito così un aumento significativo della resistenza a compressione, contenendo le spinte radiali fatte assorbire 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.



*Rinforzo intradossale di travi in legno con sistemi **OLYMPUS FRP**[®]*

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. L'approfondimento della

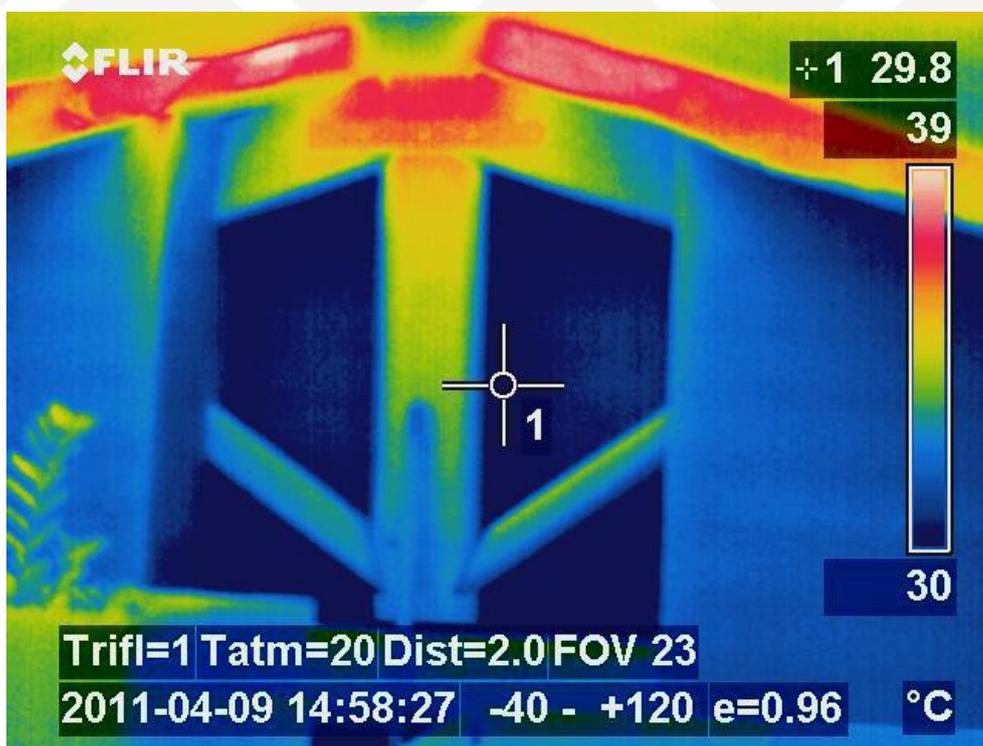


conoscenza dei fenomeni di trasferimento del calore, delle proprietà termofisiche dei materiali ed il grande sviluppo dell'apparecchiatura impiegata nel metodo termografico, hanno promosso lo sviluppo di questa tecnica, ottenendo invece anche dati quantitativi, come la misura dell'estensione e della profondità di eventuali difetti e discontinuità.

Il rilievo della copertura dell'ex-Granaio Clementino è stato acquisito con videotermocamera FLIR SC 6300. 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.

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. Pur tenendo presenti le approssimazioni scaturite dalla sostanziale invarianza delle condizioni ambientali,

relativamente ai saettoni consolidati con cerchiature di corde in CFRP OLY ROPE CARBO 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.

Come evidenziato dagli studi sopracitati l'intervento di rinforzo con FRP di strutture in legno può considerarsi una valida e durevole alternativa alle tradizionali tecniche di consolidamento. In aggiunta ai tradizionali vantaggi dei sistemi **OLYMPUS-FRP®** come l'assenza di pesi aggiuntivi, l'assenza di fenomeni di corrosione e di variazioni geometriche della struttura, nel caso specifico delle strutture in legno questa tipologia di rinforzi garantisce la possibilità di conservare integralmente l'estetica degli elementi consolidati, rendendo queste innovative tecniche strutturali fortemente vantaggiose rispetto agli interventi tradizionali.

Maggiori informazioni sull'intervento e sui materiali utilizzati sono presenti sul sito web www.olympus-italia.com