

INSOLITO CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE CON CFRP DI ANTICHE TRAVI LIGNEE A PALAZZO VISCONTI DI BERNATE

Ing. Alberto GRANDI – Amministratore Dacs Engineering srl - Milano

Di origine quattrocentesca, il Palazzo Visconti risale al periodo in cui la villa era ancora intesa come residenza abitativa e pertanto presenta la classica pianta a corte chiusa propria delle costruzioni castellane. Solo l'elegante loggiato ottocentesco aperto verso il Naviglio prelude alla concezione del palazzo di villeggiatura della nobile famiglia milanese. Come molte strutture antiche anche PALAZZO VISCONTI in questi anni sta subendo delicati interventi di manutenzione al fine di implementarne l'utilizzo turistico. In questo articolo verrà descritto come è stato risolto il problema del recupero di n°6 travi in larice leggermente deformate presenti nella loggia principale.



Fig. 1 Immagine attuale di come si presenta oggi Palazzo Visconti – Bernate (Mi)

APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

Il solaio del loggiato situato sul fronte Est del Palazzo Visconteo presso la Canonica Lateranense è caratterizzato da 6 travi lignee che sostengono un solaio ligneo costituito da una doppia orditura di travetti, con assito superiore, sottofondo e pavimento in cotto.

Le travi sono costituite da elementi in legno massiccio, di larice, hanno sezione rettangolare di dimensione 27x55 cm e luce pari a 8,82 m posizionate con interasse di circa 2,58 m. come qui sotto specificato:

Tipo di legname: LARICE/NORD S2

Sezione: 270x550 mm

Luce di calcolo: 8820 mm

Influenza di calcolo: 2580 mm



Per la verifica si è presa una sezione tipo avente dimensioni 270x550 mm, mentre per lo schema statico si è considerata una trave semplicemente appoggiata con carico uniforme distribuito. Vista l'analisi eseguita in precedenza sul materiale, è stato preso un Livello di conoscenza della struttura pari a LC2 con F.C. = 1,20.

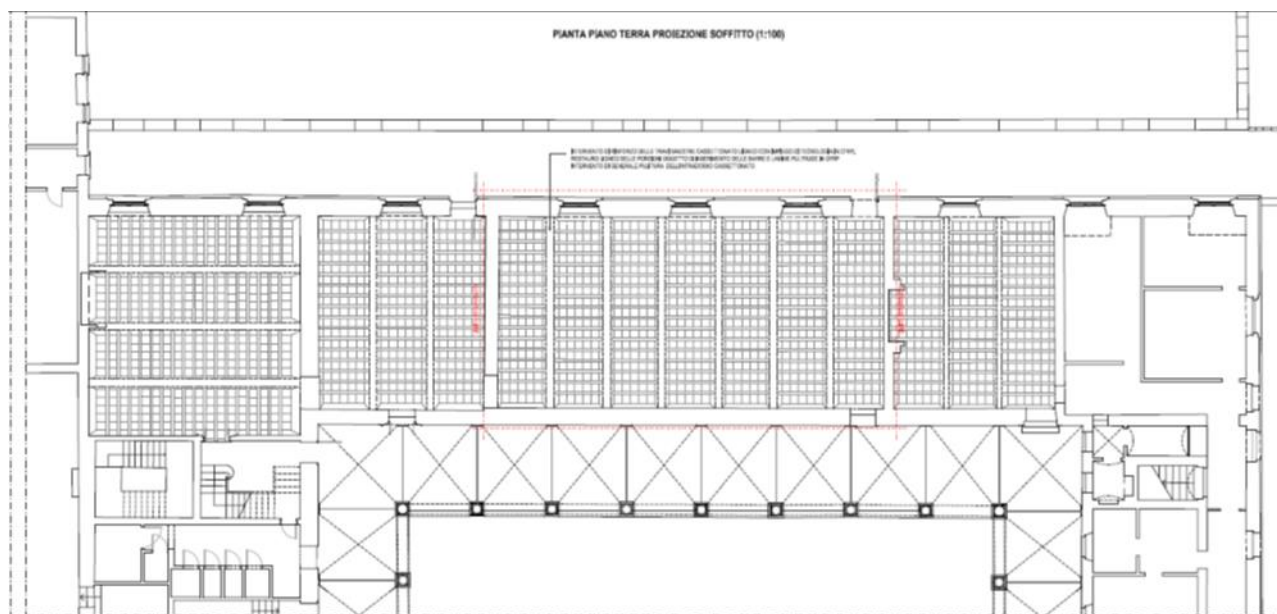


Fig. 2 la pianta della sala del loggiato del palazzo Visconti da dove si può evincere la posizione delle 6 travi lignee

Si riportano gli esiti delle analisi effettuate.

Combinazione di carico	carico F_d [kN/m]	M_d [kNm]	V_d [kN]	σ_d [MPa]	$f_{m,d}$ [MPa]	τ_d [MPa]	$f_{v,d}$ [MPa]
I perm+acc.	25.21	245.16	111.18	18.01	12.80	1.12	1.33
II perm.	9.73	94.63	42.92	6.95	9.60	0.43	1.00

Fig. 3 – tabella con indicate le tensioni sulla trave più sollecitata

I risultati non sono stati soddisfacenti in termini di verifica degli elementi esistenti.

Le travi, sono state verificate considerando un affollamento significativo, tipico di luoghi aperti al pubblico con un elevato numero di persone presenti contemporaneamente quindi un sovraccarico variabile prescritto da normativa pari a 400 kg/mq. Lo sfruttamento a flessione raggiungendo un valore pari a 141 %. un idoneo rinforzo, per soddisfare la destinazione d'uso del luogo.



Vista la necessità di mantenere l'iniziale aspetto estetico e geometrico si è scelto, come possibile soluzione di rinforzo, l'applicazione di elementi pultrusi in fibra di carbonio performanti, noti per coniugare doti di leggerezza a resistenza a flessione. Nello specifico la scelta progettuale si è orientata su lamine preformate in carbonio per il rinforzo a flessione e su barre sempre in CFRP per il taglio.

Per quanto riguarda l'approccio alla progettazione con materiali compositi su strutture in legno, si è utilizzato il ben noto documento tecnico CNR-DT 201/2005 ovvero "*Studi preliminari finalizzati alla redazione di Istruzioni per interventi di consolidamento statico di strutture lignee mediante l'utilizzo di compositi fibro rinforzati*" che offre tutte le soluzioni con le relative combinazioni di calcolo.

In considerazione della necessità di conservare elementi di elevato valore storico-artistico è stata scelta una soluzione di rinforzo che non alteri l'aspetto estetico delle travi; si è intervenuti a flessione attraverso il posizionamento di due leggerissime lamine in fibra di carbonio all'interno della trave incidendo preventivamente sul lato la stessa. Per quanto riguarda il rinforzo al taglio, sfruttando sempre la leggerezza delle barre in fibra di carbonio, si è pensato di inserire elementi da 10 mm all'interno della trave posizionandole con un'inclinazione di 45°.

Le travi che, si presentavano leggermente deformate, sono state oggetto di inserimento degli elementi in CFRP solo dopo averle scaricate i solai dai carichi agenti; tale passaggio è certamente un aspetto importante in quanto i compositi sono rinforzi di tipo passivo che si attivano a struttura nuovamente caricata.

Momento flettente massimo agente in campata M_{Ed} 245,16 [kNm]

Momento resistente della sezione lignea non rinforzata M_{Rd} 203,234 [kNm]

Posizionando due [lamine pultruse in fibra di carbonio ad alta tenacità BETONTEX FB-G14L-HT](#) con geometrie 60x1,4 mm ad una distanza pari a 360 [mm] dal lembo compresso, si è integrata la sezione del legno con un'area in carbonio pari a $A_{CFRP} = 168$ [mm²]

Grazie a tale contributo resistente, si è ottenuto per il solo rinforzo FRP un valore del momento pari a 74,57 kNm, quindi il momento resistente finale della sezione lignea rinforzata risulta pari a M_{Rd} 277,80 [kNm], pertanto la trave risulta così verificata.

L'INTERVENTO APPLICATIVO

Come anticipato, la fase di posa delle lamine e delle barre in fibra di carbonio è avvenuta sulle travi il più possibile "scaricate" dal peso sovrastante; in particolare sul solaio sono state tolte tutte le pavimentazioni in marmo e tutto il massetto da 50 mm presente e non collaborante.

Dopo aver lasciato per circa una settimana il solaio senza il suo secolare carico, si è notato - al momento dell'intervento di rinforzo - un leggero recupero della deformazione verticale quantificabile in qualche millimetro in mezzera. In questo modo l'efficacia ma soprattutto la prestazione dei compositi è stata migliorata notevolmente. L'intervento di consolidamento strutturale di n°6 travi in legno di larice è stato eseguito mediante una profonda incisione laterale lunga circa 8000 mm al fine di inserire da entrambi i lati della trave [la lamina in fibra di carbonio BETONTEX FB-G14L-HT](#) ad alta resistenza e con geometrie pari a 60x1,4 mm.

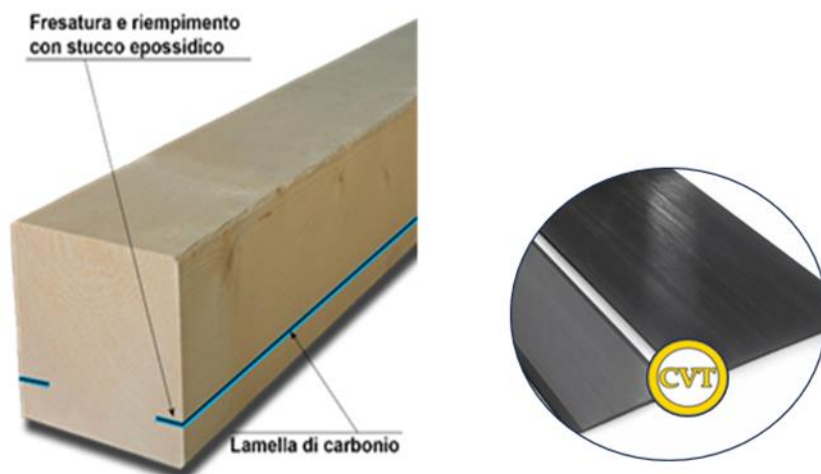


Fig. 4 – disegno di un rinforzo tipologico così come indicato nel DT200/2004 e immagine delle lamine in CFRP ad alta tenacità classe 150/2300C – FB-G14L-HT del sistema BETONTEX di Fibre Net

Fasi di preparazione dell'intervento: in primis sono state posizionate delle guide in alluminio in modo tale da permettere un'incisione perfetta lungo tutto lo sviluppo della trave, successivamente, con un flessibile si è iniziato ad aprire lo spazio necessario per l'inserimento della lamina.

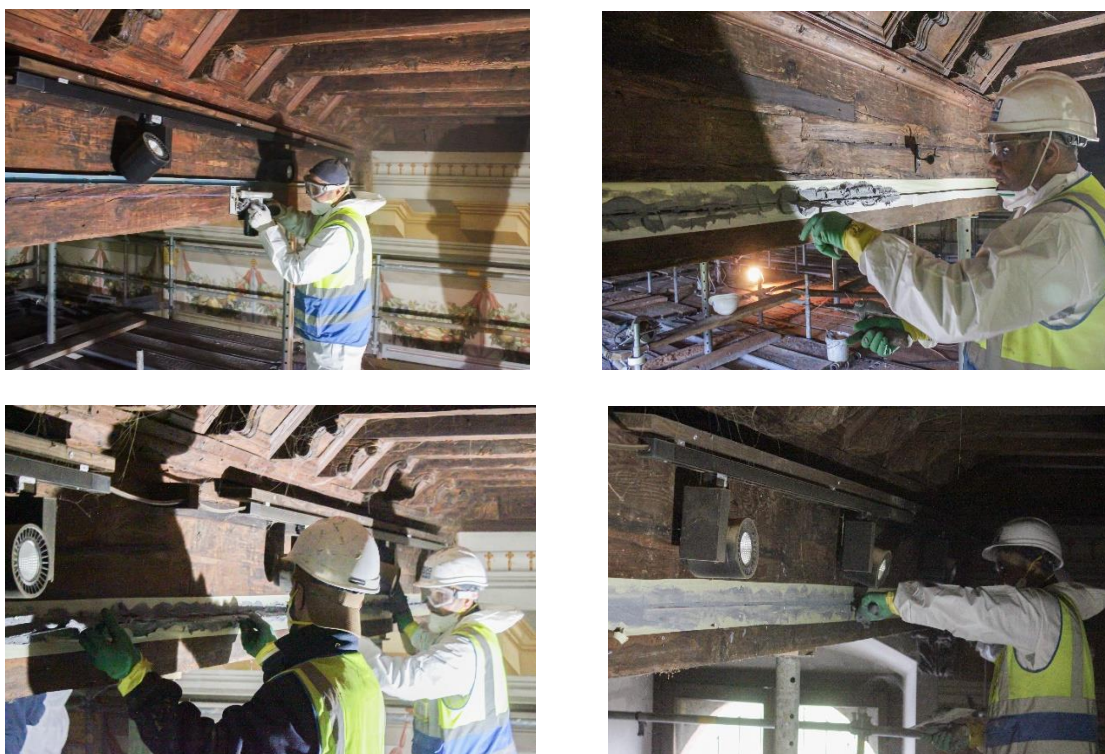


Fig. 5 – fasi di preparazione e posa in opera delle lamine



Poiché la lamina preformata ha una larghezza pari a 60 mm si è utilizzata una fresa con un disco che incidesse per circa 70 mm all'interno della trave. Operando in questo modo si è ottenuta una fresatura profonda secondo le geometrie della lamina. Con un compressore si è pulita l'intera tasca così creata da polvere e materiali di risulta. Una volta riempito parzialmente il volume della tasca con la [resina a consistenza di stucco - BETONTEX RC 30/3](#) si è inserita la lamina fino in profondità in modo tale da non lasciare superfici di contatto senza resina. Una volta effettuati il rinforzo a flessione si è effettuato un rinforzo al taglio mediante l'inserimento di [barre in fibra di carbonio pultruse FB-G-10BL-HT](#) della Società [FIBRE NET](#) aventi diametro pari a 10mm. Anche in questo caso dopo aver effettuato il foro con geometria leggermente superiore ed inserita la resina [BETONTEX RC30/3](#) la barra è stata inghisata con facilità a 45°.



Fig. 6 – trave rinforzata



ANALISI ECONOMICA

Come vedremo nel dettaglio tempi e costi di questo intervento con materiali compositi si rivelano decisamente più contenuti se paragonati a quelli che prevedono l'utilizzo dell'acciaio. L'intervento è stato eseguito su un ponteggio fisso posizionato dall'impresa generale, tale soluzione ha dato la possibilità di lavorare in sicurezza e con ampio margine di manovra da parte di 3 operai specializzati coordinati da un preposto. Per motivi organizzativi si è iniziato con le fresature di tutte le n°6 travi posizionando una guida in alluminio e successivamente utilizzando flessibili sempre più profondi. Mentre 2 persone incidevano la trave una terza, coordinata dal preposto, ha tagliato le lamine a misura liberando entrambi i lati della lamina dalla pellicola di protezione. Terminato il taglio delle lamine, che è avvenuto in una sola giornata, in quella successiva si è proceduto con l'esecuzione di fori di diametro 12 mm nel legno per l'inserimento delle barre in CFRP come rinforzo al taglio. Pertanto in 3 giorni i 4 operai hanno inciso le travi, tagliato e preparato le lamine nonché eseguito i fori nel legno, in altre parole hanno preparato il cantiere per la celere applicazione del rinforzo che è avvenuto nei due giornate successive. Alla fine si può concludere che 3+1 operai hanno eseguito il lavoro in 7 giorni lavorativi comprensivi di allestimento e pulizia cantiere.

CONCLUSIONI

Alla luce di quanto menzionato sintetizziamo i principali *highlight* di questo intervento:

- Questa tipologia di intervento non altera l'aspetto estetico della trave e può essere esteso anche per solai lignei.
- Il materiale in fibra di carbonio si sposa benissimo con il legno in quanto sono entrambi materiali fibrosi che "lavorano" secondo lo stesso principio.
- La progettazione è completa ed espressa nelle raccomandazioni tecniche del CNR-DT 201/2005 edito dal CNR.
- La fase di posa deve essere eseguita da personale altamente specializzato.
- L'applicazione richiede tempistiche ridotte rispetto ad interventi con l'acciaio.
- I costi complessivi (materiale+ posa) sono competitivi con altre tipologie di rinforzo.

Ringraziamenti:

Ing. Ferdinando di Brambilla di Studio Brambilla & Associati - PROGETTISTA e DIREZIONE LAVORI
Per. Ind. Edile Gabriele Donati - COORDINATORE PER LA SICUREZZA in ESECUZIONE
Fibre Net SpA