



UTILIZZO DI MATERIALI COMPOSITI OTTENUTI PER PULTRUSIONE, NEL RINFORZO STRUTTURALE

Ing. Domenico Brigante, Olympus S.r.l.

Olympus, forte della trentennale esperienza dei suoi tecnici e delle elevate conoscenze nel campo dell'edilizia e del restauro monumentale, si è interessata alle nuove tecniche di recupero e rinforzo strutturale mediante l'utilizzo dei materiali compositi, trasferendovi le proprie conoscenze e le esperienze dei propri tecnici. Questo settore, come tutti i settori innovativi, è stato affrontato con un approccio globale ed integrato che comprende la consulenza, la progettazione del materiale, le varie fasi di progettazione dell'intervento di rinforzo, l'applicazione, la direzione dei lavori e le relative verifiche ed analisi diagnostiche. Data la specificità di tali applicazioni, la nostra società ha provveduto ad una adeguata formazione degli operatori che lavorano sotto la costante supervisione di tecnici specializzati nel settore e costantemente aggiornati. Diverse sono già oggi le tecnologie di rinforzo con materiali compositi utilizzate nel settore dell'edilizia, anche se per ora sono

solo alcune delle svariate tecnologie già utilizzate in altri settori come aeronautico, aerospaziale e navale. I sistemi di FRP ad oggi utilizzati per il rinforzo esterno di strutture possono essere classificati come segue: sistemi preformati (pre-cured systems), sistemi impregnati in situ (wet lay-up systems), sistemi preimpregnati (prepreg systems). Nei diversi interventi progettati e realizzati si è sempre deciso di utilizzare tutte le diverse tecnologie di rinforzo, scegliendo in funzione delle caratteristiche di ogni singolo intervento. Ognuna delle tecnologie appena enunciate ha infatti vantaggi e svantaggi, dal punto di vista tecnologico e applicativo che possono renderle più o meno vantaggiose in specifici interventi. Olympus inoltre sta indirizzando la sua ricerca, in collaborazione con laboratori di ricerca e Università Italiane, verso lo studio di tecnologie e prodotti sempre più innovative come ad esempio la tecnologia del VACUUM SYSTEM. Tale tecnologia appositamente studiata e sperimentata, consente di ottenere

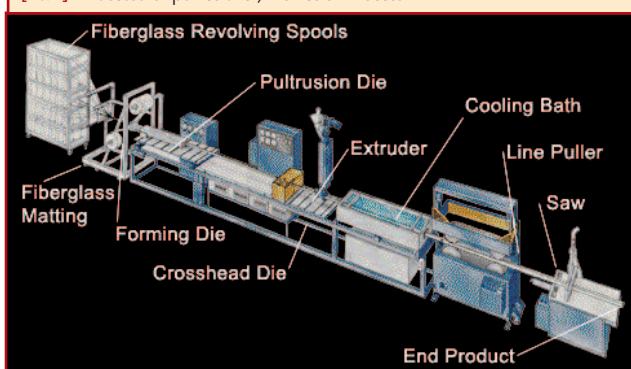
numerosi vantaggi sia per quanto riguarda la sicurezza sia per quanto riguarda la garanzia e la standardizzazione del risultato. Ad oggi tra le varie applicazioni presenti sul mercato quella che consente di ottenere i migliori risultati dal punto di vista della rapidità di intervento e della garanzia di efficienza del rinforzo è certamente quella dell'utilizzo dei materiali compositi preformati ottenuti mediante il processo di pultrusione [Fig. 1] in stabilimento. Numerosissimi sono gli interventi realizzabili con i materiali compositi pultrusi e da noi già spesso messi in opera: rinforzo di travi, travetti, solai in calcestruzzo armato, rinforzo di murature, ponti, travi in legno, travi in acciaio, iniezioni armate con barre pultruse in CFRP e GFRP per consolidamento di muratura ed affini e tanti altri. La pultrusione è un processo di estrusione sotto trazione positiva. Rovings continui, mats unifi ed altri tipi di rinforzo vengono tirati attraverso un bagno di resina o altro sistema di impregnazione, indi convogliati ad una stazione di formatura dove la sezione finale del manufatto viene abbozzata e la resina in eccesso drenata; infine il prodotto, attraverso una filiera riscaldata, avanza in modo continuo assicurando il processo di polimerizzazione. Un composito pultruso è formato, nella forma generale, da materiale di rinforzo (essenzialmente fibra di vetro sotto forma

USE OF COMPOSITE PULTRUDED MATERIALS IN STRUCTURAL REINFORCEMENT

Olympus, strong of the thirty-year experience of its engineers and the elevated knowledges in the field of the house-building and the monumental restoration, is interested in the new techniques of recovery and structural reinforcement through the use of the composite materials, transferring its own knowledges and the experiences of its own engineers. This sector, as all the innovative sectors, has been faced with a global and integrated approach that includes the technical advice, the planning of the materials, the various phases of planning of the reinforcement, the application, the work management and the relative verifications and diagnostic analysis. Because of the specificity of such applications, our society provided a suitable formation of the operators who work under the constant supervision of specialized engineers in the sector and constantly adjourned. Many are already today the reinforcement technologies with composite materials used in the sector of house-building, even if in this moment they are only some of the several technologies already used in other sectors as aeronautical, aerospace and naval.

The systems of FRP used for the external reinforcement of structures can be classified as follows: pre-cured systems, wet lay-up systems, prepreg systems. In all the planned and realized reinforcement we always decided to use all the different technologies of reinforcement, choosing in function of the characteristics of every project. All the technologies just enunciated has in fact advantages and disadvantages, from the technological and applicative point of view that can make them more advantageous in specific reinforcement. Moreover Olympus is addressing its research, in collaboration with research laboratories and Italian University, toward the study of technologies and products more and more innovative as for example the technology of the VACUUM SYSTEM. Such technology expressly studied and experimented, allows to get several advantages either about the safety or the guarantee and the standardization of the result. Today among the various applications presents on the market that allows to get the best results about the rapidity of realization and the guarantee of efficiency of the reinforcement is certainly the one that uses some preformed composite materials gotten through the pultrusion process [Fig. 1]. Numerous are the realizable interventions with the pultruded composite materials and we often use in our projects: reinforcement of beams, rafters, tile-lintel floors, reinforcement of masonries, bridges, wood beams, steel beams, armed injections with pultruded bars in CFRP and GFRP for consolidation of masonry and so many others. The pultrusion process, very similar to extrusion, is the only continuous process for the production of composite profiles. In pultrusion, reinforcing materials (glass, Kevlar or carbon fibers) in the form of continuous rovings, mats and other types of fabrics, are pulled through a resin matrix bath or other impregnation device, then carefully guided through a pre-shaping station followed by a heated, high precision, die in which the resin

[FIG. 1] - Processo di pultrusione / Pultrusion Process





matrix sets at high temperature to form the final product. Finally, the hardened profile is continuously pulled past a saw, activated to cut it into pre-determined lengths. A pultruded composite is generally made up of reinforcing materials (glass, Kevlar, carbon fibers) held together by a rigid resin matrix (polyester, vinylester, epoxy thermosetting resin). Often, surface veils are incorporated to improve weathering and corrosion resistance. For special applications, the reinforcement can be of different types and nature (fabrics, woven rovings; carbon or aramid). Although most profiles utilize a thermosetting polyester resin matrix for specific applications, other types of resin may be used, such as acrylics, vinylester or epoxy. To the purpose to increase the resistance of the manufactured articles towards the atmospheric and chemical agents, to confer a good superficial aspect, veils of surface are used often. It is not possible to indicate physical or mechanical data applicable to all pultruded profiles because the characteristics may vary greatly due to several factors: type, quantity and orientation of the reinforcement; type of resin, nature and content of fillers; geometry of the section. This allows the planner to plan the reinforcement in function of the loads and the stress directions without useless wastes of material. Today one of the applications of the pultruded, more demanded from the market is the reinforcement of tile-lintel floors through the use of pultruded plates in CFRP and for this reason we analyze one of the reinforcement realized with pultruded plates.

Summary of the job

The present job has for object the study that has conducted to the execution of a reinforcement on a tile-lintel floor through the use of pultruded plates in CFRP. After having verified the damage state of the rafters, we executed the necessary tests, destructive and not, that shown unacceptable deficiencies in terms of mechanical characteristics in relationship to the tensile state present. Therefore we provided to plan a project based on the employment of carbon plates (C-FRP), to give a suitable carrying flexible ability to the structural element. Completed the reinforcement we executed the necessary test on the floors, that shown the perfect restoration of the mechanical properties.

Introduction

The consolidation that we analyze has been realized into an industrial factory in Pontecagnano. The factory has been realized reinforcing a pre-existent structure, planned to be used as civil structure, this has naturally behaved, during the planning, the calculation of all the structures with the necessary integration of the accidental overloads own of an industrial factory and of all the specific overloads due to the activities presents in the factory, where is also present the motion of heavy mechanical carts. The floor presents diffused damage and a serious phenomenon of oxidation of the rods, as shown in the [Fig. 2], linked to several causes such as the proximity of the factory to the sea and the strong damp and to the absence of air motion in some of the environments object of the plan. For such reasons the floors has been temporally propped, extending the crib to all

[FIG. 2] - Condizioni iniziali del solaio / Floor starting conditions



di rovings continui e mats unifilo) inglobato in una resina che conferisce rigidità all'insieme.

Allo scopo di incrementare la resistenza dei manufatti nei confronti degli agenti atmosferici e chimici, per conferire un miglior aspetto superficiale, vengono spesso adoperati veli di superficie. Per particolari applicazioni il rinforzo può essere costituito anche da tessuti di vario tipo e può anche essere di natura diversa. Il 90% dei profili pultrusi sono realizzati con resine di tipo poliestere ma, in funzione delle esigenze, possono essere impiegate resine acriliche, vinilestere ed epossidiche. Le caratteristiche fisico/meccaniche dei profili pultrusi variano col variare di una serie di fattori quali: il tipo, la quantità e l'orientazione del rinforzo, il tipo di resina, la natura e le percentuali di additivi presenti, la geometria. Ciò consente al progettista del rinforzo di progettare la lamina in funzione dei carichi e delle direzioni di sollecitazione, senza inutili sprechi di materiale. Oggi giorno una delle applicazioni di pultrusi più richiesta dal mercato è il di rinforzo solai latero-cementizi mediante l'utilizzo di lamine in CFRP e per questo motivo andiamo ad analizzare uno dei casi di consolidamento di travetti con lamine pultruse in CFRP da

noi realizzato.

Sommario del lavoro

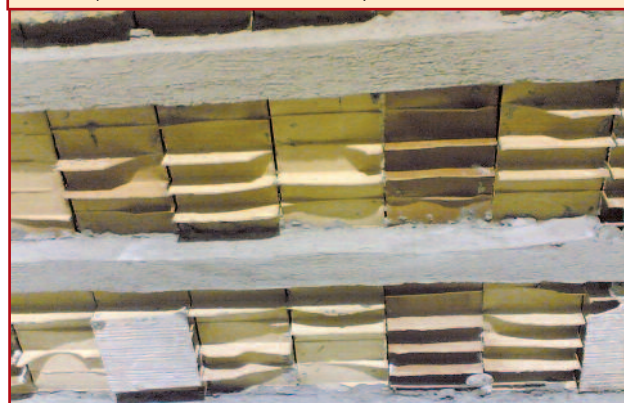
Il presente lavoro ha per oggetto lo studio che ha condotto all'esecuzione di un intervento di rinforzo su un solaio latero-cementizio mediante l'utilizzo di lamine pultruse in CFRP. Dopo aver constatato lo stato di danneggiamento presente nei travetti, sono state effettuate opportune prove, distruttive e non, che hanno messo in luce inaccettabili deficienze in termini di caratteristiche meccaniche in relazione allo stato tensionale ivi presente. Si è provveduto quindi a progettare un intervento basato sull'impiego di lamine in fibre di carbonio (C-FRP), allo scopo di restituire all'elemento strutturale un'adeguata capacità portante flessionale. Completato l'intervento di riparazione è stata eseguita una prova di carico sul solaio, che ha

dimostrato il perfetto ripristino delle sue caratteristiche prestazionali.

Introduzione

L'intervento di consolidamento che andiamo ad analizzare è stato realizzato in uno stabilimento industriale a Pontecagnano (SA). Lo stabilimento in questione è stato realizzato adeguando una struttura precedentemente progettata per essere utilizzata come civile abitazione, ciò ha comportato naturalmente in fase di progettazione il calcolo di tutte le strutture con la necessaria integrazione dei sovraccarichi accidentali propri di uno stabilimento industriale e di tutti gli specifici sovraccarichi legati alle attività presenti nello stabilimento, all'interno del quale è prevista la movimentazione a mezzo di carrelli meccanici di pesi molto elevati. Il solaio presentava inoltre lesioni diffuse e un grave fenomeno di ossidazione dell'armatura, come si può vedere nella [Fig. 2], legato a diverse cause tra cui la vicinanza dello stabilimento al mare e la forte umidità dovuta a fenomeni di risalita e all'assenza di ricircolo d'aria in alcuni degli ambienti oggetto dell'intervento. Per tali motivi in via provvisoria il solaio è stato inizialmente puntellato, estendendo la puntellatura a tutti i travetti interessati dai fenomeni fes-

[FIG. 3] - Ripristino dei travetti / Rafters recovery





[FIG. 4] - Trattamento armature / Rods Treatment



surativi [Fig. 3]. Sono stati poi eseguiti alcuni saggi e prelievi per approfondire, la qualità del calcestruzzo e mettere in luce le armature esistenti [Fig. 4]. Una volta ottenuto un quadro diagnostico completo, è stato possibile procedere al progetto del consolidamento. Tra le varie soluzioni prospettate, numerose sono state le motivazioni che hanno indirizzato verso la scelta dell'utilizzo delle lamine pultruse in CFRP per il consolidamento, tali lamine, offrono infatti apprezzabili vantaggi rispetto ai classici interventi di placcatura mediante lamiera metalliche, i principali requisiti della nuova metodologia, che è andata diffondendosi sempre più negli ultimi anni nel campo dell'Ingegneria Civile, consistono nella semplicità di messa in opera, nel peso ridotto e nell'elevata resistenza agli agenti corrosivi, elementi di rilevante importanza nel lavoro in oggetto. L'utilizzo delle lamine in CFRP in questo tipo di interventi rispetto ai tradizionali tessuti garantisce, sia per la ridotta dimensione dei travetti sia per la maggiore difficoltà nell'incollaggio su soffitti dei tessuti che presentano minore rigidità di questi ultimi nella fase di pre-polimerizzazione, un notevole

vantaggio all'applicazione che si trasforma in risparmio di tempo e quindi economico.

Progettazione del rinforzo

Il progetto dell'intervento di riparazione è stato effettuato seguendo le disposizioni del documento normativo di recente emanazione CNR-DT 200/2004, in base al quale è possibile determinare il momento resistente di progetto della trave, M_{rd} e confrontarlo con quello agente M_{sd} , verificando che sia soddisfatta la seguente disuguaglianza: $M_{sd} < M_{rd}^{[1]}$.

Dall'andamento del diagramma "momento resistente positivo (M_s) - curvatura (χ)" della sezione di mezzera si nota che il singolo travetto riesce a sopportare esclusivamente le sollecitazioni flessionali di esercizio, senza avere praticamente nessun margine di sicurezza nei riguardi dello stato limite ultimo. Per tale motivo è stata necessaria l'applicazione di un rinforzo in fibra di carbonio all'interno, affinché la sua resistenza potesse raggiungere le condizioni ultime. Avendo impiegati materiali di rinforzo dalle caratteristiche certificate, i coefficienti parziali γ_f e γ_{fd} valgono, rispettivamente, 1.10 e 1.20, men-

tre il fattore di conversione ambientale, η_a essendo riferito a fibre di carbonio incollate con resine epossidiche in condizioni di esposizione interna, viene assunto pari a 0.95. Noti tali coefficienti, la sezione della lamina di CFRP è stata calcolata partendo da un prefissato valore di tentativo e procedendo iterativamente fino a soddisfare la disuguaglianza^[1]. In fine per motivi economico-commerciali si è utilizzata la lamina, reperibile in commercio, che approssimava per eccesso il valore di sezione resistente richiesto.

Intervento di consolidamento

Andiamo adesso ad analizzare le varie fasi dell'intervento di consolidamento. Prima di procedere con l'intervento di consolidamento sono stati eliminati tutti i carichi presenti sul solaio al fine di ridurre la freccia iniziale, tale operazione consente, al momento del riposizionamento dei carichi successivamente alle operazioni di rinforzo, di ottenere un pre-tensionamento del sistema di rinforzo che consente quindi una maggiore collaborazione dello stesso in condizioni di esercizio. Dopo aver scaricato il solaio è stato possibile elimi-

the damaged rafters [Fig. 3]. Some tests have been performed to verify the quality of the concrete and to show the existing rods [Fig. 4].

Once gotten a complete diagnostic picture, has been possible to plan the consolidation. Between the different solutions, numerous are the motivations that addressed toward the choice to use the carbon-plates, such plates, offer in fact appreciable advantages in comparison to the classical reinforcement with metallic plates, the principals requisite of the new methodology, that has gone spreading more and more in the last years in the field of the Civil engineering, consist in the simplicity of the operations, in the reduced weight and in the elevated resistance to the corrosive agents, elements of remarkable importance in the consolidations.

The use of the carbon-plate in CFRP in this type of consolidation in comparison to the traditional fabrics guarantees, either for the dimension of the rafters or for the greater difficulty to stick the fabric on the floors of the factory due to the smaller rigidity of these last in the phase of pre-polymerization, a notable advantage for the applicator, that turns into saving of time and therefore economic.

Planning of the reinforcement

The planning of the reinforcement has been realized following the dispositions of the normative document of recent emanation CNR-DT 200/2004, with witch it is possible to determine the resistant moment of project of the beam, M_{rd} and to compare it with the agent M_{sd} , verifying that the following equation is satisfied: $M_{sd} < M_{rd}^{[1]}$. From the course of the diagram "positive resistant moment (M_s) - bending (χ)" of the middle section we note that the single rafter is able to support only the flexional sollicitations of exercise, without safety in the respects of the SLU. For such reasons it is necessary to reinforce the floor with carbon-fiber, so that its resistance could reach the last conditions. Thanks to the use of reinforcement materials with certified properties, the partial coefficients γ_f and γ_{fd} are, respectively, 1.10 and 1.20, while the environmental factor η_a for the carbon-fibres glued with epoxy-resins under conditions of inside exposure, is assumed equal to 0.95. Known such coefficients, the section of the carbon-plate has been calculated departing from a preset attempt value and proceeding up to satisfy the equation (1). In end for economic-commercial reasons we decided to use the plate, available in commerce, that approximate for excess the needed value of resistant section.

Consolidation

Now we go to analyze the various phases of the consolidation. Before proceeding with the reinforcement all the loads presents on the floor have been eliminated with the purpose to reduce the initial arrow, such operation allows, during the repositioning of the loads after the reinforcement operations, to get a pretension of the reinforcement system that allows therefore a greater collaboration of the same under exercise conditions. After unloaded the floor has been possible to eliminate the crib previously realized and to realize the reinforcement. With the purpose to guarantee the durability of the consolidation has been effected a first operation of eli-



mination of all the parts of the abutment stone damaged through operations of manual and mechanics beating that have allowed to see numerous sections of armor damaged that would have caused shortly punishments to the structure. After such operations we passed to a following phase of cleaning of the irons through mechanical operations, with such operation we eliminated the layers of superficial oxide and the possible creation of new oxidation fronts. To mostly reduce the risk of a following oxidation of the irons we manually painted the irons with a special paint. After these operations we provided to restore the geometry of the damaged rafters, such restoration has been realized through the use of a tixotropic grout that guarantee an excellent anchorage to the rods and good mechanical characteristics. After the necessary time to dry the grout we passed to the real phase of consolidation. As already said the consolidation has been realized with carbon-plate CFRP glued with epoxy resin, with the purpose to guarantee a perfect bond of the plates we had a first phase of cleaning of the plates, with special solvent, to eliminate any residue of dust or other elements that would have been able to invalidate the following bond with the resin. After such cleaning operation we had the real bonding of the plate. After mixed the two components of the epoxy-resin, using an appropriate mixer, we had the bonding phase, the resin have been therefore positioned on the whole surface of the plates that had preventively been positioned on specific supports, the so prepared plates have been therefore bonded on the inferior surface of the rafters. With the purpose to avoid the presence of zones of redoubt adhesion we used a special roll that giving a suitable pressure on the plate has allowed a total distribution of the resin on the whole interface. Finished the reparation of the beam through the application of the carbon-plate CFRP, the efficiency of the intervention has been checked through the execution of a test, that has shown the extraordinary results of the reinforcement. Numerous are the advantages gotten by the realization of this consolidation, and the most important are the lightness of the reinforcement that doesn't increase the weight of the floor, the rapidity of the reinforcement, the passivity to any type of oxidation and atmospheric agent and others, but in this specific case we can still underline a greater advantage that can make it still more advantageous in comparison to others traditional. As can be seen in [Fig. 5], in the middle of the floor there is a pipeline near the surface of the rafters, the presence of such pipeline would have prevented the realization of a traditional reinforcement realized with steel beams, the use of the carbon-plate CFRP has allowed to realize the consolidation without the necessity to eliminate or to move this pipe, this has guaranteed besides smaller damages for the whole establishment, a notable saving both from the economic point of view and of time. The example of consolidation just shown has underlined the simplicity and the rapidity of the realizable consolidations with the pultruded carbon-plate FRP, that guarantees a more reliable and fast result in comparison to other technologies. Our auspice is that these materials become more and more common in the reinforcement, making them less hostile to the public of the engineers and not.

nare la puntellatura precedentemente realizzata e si è passati all'intervento di consolidamento. Per prima cosa al fine di garantire la durabilità dell'intervento è stato effettuata una prima operazione di eliminazione di tutte le parti di copriferro ammalorate mediante operazioni di battitura manuale e meccanica che hanno consentito di evidenziare numerose sezioni di armatura ammalorate che avrebbero causato a breve ulteriori fenomeni di decoesione del copriferro. Effettuate tali operazioni si è passati ad una successiva fase di pulitura dei ferri mediante spazzolatura meccanica, tale operazione è servita ad eliminare gli strati di ossido superficiale e ad eliminare possibili fenomeni di innesco di nuovi fronti di ossidazione.

Per ridurre maggiormente il rischio di una successiva ossidazione dei ferri d'armatura si è passati ad una fase di verniciatura manuale dei ferri con una vernice antiruggine apposita. Dopo queste operazioni si è provveduto al ripristino della geometria dei travetti danneggiati, tale ripristino è stato realizzato mediante l'utilizzo di una malta tixotropica con fibre di polipropilene che garantisce un ottimo ancoraggio ai ferri d'armatura e ottime caratteristiche meccaniche. Dopo aver atteso il tempo necessario all'asciugatura della malta di ripristino si è passati all'effettiva fase di consolidamento. Come già detto in precedenza il consolidamento è stato realizzato con lamine in CFRP incollate con resina epossidica, al fine di garantire una perfetta posa in opera della lamina si è provveduto ad una prima fase di pulizia della stessa, con apposito solvente, per eliminare qualsiasi residuo di polvere o altri elementi che avrebbero potuto inficiare il suc-

cessivo legame con la resina. Effettuata tale operazione di pulizia si è passati all'incollaggio vero e proprio della lamina.

Dopo aver miscelato tra loro i due componenti della resina epossidica di incollaggio mediante l'uso di un miscelatore a basso numero di giri, si è passati alla fase di incollaggio della lamina, la resina è stata quindi posizionata sull'intera superficie della lamina che era stata preventivamente posizionata su appositi appoggi, la lamina così preparata è stata quindi incollata sulla superficie inferiore dei travetti. Al fine di evitare la presenza di zone di ridotta adesione si è utilizzato un rullo apposito che dando un'adeguata pressione

siasi tipo di agente ossidante e atmosferico ed altri, ma in questo caso specifico possiamo evidenziare un vantaggio ancora maggiore che può renderlo ancor più vantaggioso rispetto ad altri tradizionali. Come si può vedere dalla [Fig. 5], a metà del solaio è presente una tubazione ad una distanza di circa 8cm.

La presenza di tale tubazione avrebbe impedito la realizzazione di un ipotetico intervento di consolidamento con un rompitratto realizzato con travi in acciaio, l'utilizzo delle lamine in CFRP ha consentito invece di effettuare il consolidamento senza la necessità di eliminare o spostare il tubo in oggetto, ciò ha garantito oltre a

[FIG. 5] - Tubazione del solaio / Pipeline in the floor



sulla lamina ha consentito una totale distribuzione della resina su tutta l'interfaccia lamina calcestruzzo. Terminata la riparazione della trave tramite l'applicazione delle lamine in CFRP, l'efficienza dell'intervento è stata controllata tramite l'esecuzione di una prova di carico, che ha dimostrato gli straordinari risultati ottenibili con questo tipo di rinforzo.

Numerosi sono i vantaggi ottenuti dalla realizzazione di questo intervento di consolidamento tra cui i più importanti sono la trascurabilità del peso proprio del rinforzo che non va a sollecitare ulteriormente il solaio, la rapidità dell'intervento, la passività a qual-

minori danni per tutto lo stabilimento, un notevole risparmio sia dal punto di vista economico che di tempo.

L'esempio di consolidamento appena mostrato ha evidenziato la semplicità e la rapidità degli interventi di consolidamento realizzabili con i profili pultrusi in FRP, che garantiscono un risultato più affidabile e di più semplice posa in opera rispetto ad altre tecnologie di applicazione.

Il nostro auspicio è che questi materiali diventino sempre più comuni negli interventi di consolidamento, rendendoli così meno ostili al pubblico degli addetti e dei non addetti ai lavori.