

MESSA IN SICUREZZA E RINFORZO STRUTTURALE CON MATERIALI COMPOSITI FIBRE NET A L'AQUILA

La messa in sicurezza e la ricostruzione post sisma sono processi estremamente complessi. Scrivere con rispetto, soprattutto per chi come noi ha lavorato in questo decennio a L'Aquila, cercando di fornire soluzioni nell'urgenza, è ancor più difficile. La nostra "friulanità" ci indica che siano alcuni interventi fatti negli anni a parlare per noi.

TAMBURO DELLA BASILICA DELLE ANIME SANTE A L'AQUILA Intervento di messa in sicurezza con cavi ad alta resistenza in Fibra di Aramide

Una delle prime applicazioni di cavi in fibre ad alto modulo è stata la "messa in sicurezza" del tamburo della Basilica delle Anime Sante a L'Aquila a seguito del sisma dell'Aprile 2009. Di fatto, il grave problema che si poneva, a seguito del danno subito dalla Basilica, era costituito dall'impossibilità di accedere in vicinanza della struttura e tantomeno all'interno della stessa.



Fase dei lavori di messa in sicurezza della struttura



Il tamburo messo in sicurezza. A lavori di restauro compiuti i cavi sono stati facilmente rimossi.



I cavi Betontex Tie disposti alla sommità del tamburo.

SCHEDA CANTIERE

PROGETTO Protezione Civile in collaborazione con la società RESIN PROGET di Rovigo
CONSULENZA TECNICA Prof. Credali e Ing. Ussia di ARDEA PROGETTI E SISTEMI srl, ora FIBRE NET S.p.A.,

MATERIALI FIBRE NET

Tirante in Fibra di Aramide
Peso di 38 m di tirante: 3,5 kg
Carico di rottura nominale = 18 ton
Carico di rottura misurato = 15 ton
Carico di pretensione = 5000 kg



Prima della messa in sicurezza la cupola si presentava senza calotta superiore e con i maschi del tamburo gravemente danneggiati con lesioni da taglio, ribaltamento e perdita di verticalità, fenomeni accentuanti nella zona sud ovest del tamburo. Le accelerazioni orizzontali e verticali dovute al sisma avevano portato al ribaltamento della lanterna che, cadendo, aveva colpito la cupola facendone crollare una parte, compromettendone così l'integrità strutturale ed innescando meccanismi nel piano e fuori dal piano anche nel tamburo.

Il progetto, elaborato dalla Protezione Civile, in collaborazione con la società RESIN PROGET di Rovigo e con la consulenza tecnica dei Prof. Credali e Ing. Ussia di ARDEA PROGETTI E SISTEMI srl, ora FIBRE NET S.p.A., prevedeva l'utilizzo di cerchiature con cavi ad alta resistenza, applicati da personale sospeso calato dall'alto.

I cavi, in numero di 30, disposti a modo di tirantature dovevano garantire una resistenza a trazione superiore a 12 tonnellate per ciascun cavo. Tuttavia, considerando una lunghezza dei cavi compresa tra 30 e 40 m, l'utilizzo di acciaio tradizionale avrebbe comportato pesi compresi tra 60-70 kg per cavo, mentre in acciaio armonico il peso poteva ridursi a 30-40 kg per cavo. Pesi assolutamente ingestibili da un operatore appeso nel vuoto, con notevoli problemi anche di ancoraggio del cavo alla struttura.

Da qui l'idea di utilizzare fibre ad alta resistenza, quali il carbonio o le fibre aramidiche. Scartato il carbonio, a causa di una più difficoltosa maneggevolezza in condizioni di "fibra secca", cioè quando non è impregnata con una resina, la scelta è caduta sull'impiego di fibre aramidiche per le ottime proprietà meccaniche, resistenza al taglio e all'usura.

Con questa soluzione il cavo, a parità di resistenza a trazione (superiore alle 12 t), avrebbe avuto un peso di 85 grammi per metro pari ad un valore, per un cavo di 38 m, di 3,5 kg che sarebbero diventati 6-8 kg con i terminali esterni in acciaio, pesi assolutamente gestibili nella messa in opera.

Tuttavia, i problemi più complessi da risolvere rimanevano i terminali dei cavi ed i sistemi di tesatura.

Il sistema meccanico di aggancio cavo-terminali, messo a punto allora dalla società Ardea srl - oggi Fibre Net SpA - è stato progettato e collaudato con prove di trazione ottenendo come risultato la rottura del cavo ad un valore di carico pari a 15 t (carico teorico 18 t) senza scorrimenti o distacchi a livello dei terminali.



Cavo in fibra aramidica



Il terminale con aggancio per il sistema di pre-tensione

CONDOMINIO VIA MAIELLA, L'AQUILA

Interventi di riparazione con miglioramento sismico e restauro conservativo di murature in pietra e laterizio



Edificio al termine dei lavori

In un complesso residenziale dei primi anni del Novecento nel centro storico di L'Aquila il rinforzo delle murature perimetrali è stato realizzato con la tecnica dell'INTONACO ARMATO CRM mentre il solaio del sottotetto ha visto l'applicazione di profili pultrusi in GFRP.

A seguito dei danni riportati in occasione del sisma del 2009, l'edificio necessitava di alcuni interventi di riparazione e delle opere finalizzate al miglioramento sismico della struttura.

OGGETTO_Riparazione e miglioramento sismico di un immobile soggetto a vincolo diretto e classificato "E" a seguito del sisma del 6 aprile 2009

LOCALITÀ_L'Aquila, centro storico

COMMITTENTE_Consorzio "Via Maiella-Piazza S. Bernardino"

PROGETTISTI_Ing. Volfango MILLIMAGGI, Ing. Antonello RICOTTI

IMPRESA APPALTATRICE_CIFOLELLI EDILIZIA srl

REALIZZAZIONE_2015

SISTEMI FIBRE NET

> per CONSOLIDAMENTO MURARIO

SISTEMA CRM RI-STRUTTURA: rete in GFRP maglia 66×66 mm, angolari in GFRP maglia 33×66 mm e connettori in GFRP

> per CONSOLIDAMENTO SOLAIO

SISTEMA PROFILI PULTRUSI: profilo in GFRP IPE 200X100X10



Realizzato secondo una tipologia 'a blocco' con piccola corte interna, caratteristica dell'edilizia residenziale dall'inizio del '900, l'immobile presenta due piani fuori terra e un piano seminterrato.

Le strutture portanti sono in muratura, realizzate in due diverse tipologie: la prima relativa al seminterrato, è costituita da pietre calcaree non squadrate e malta di calce, composta da un doppio paramento e da un nucleo interno; la seconda, per i due livelli in elevazione, è realizzata in mattoni pieni in laterizio e malta di calce, spesso inquadrati in portali costituiti da elementi verticali e orizzontali di calcestruzzo, di sezione generalmente molto modesta e con armatura ridotta o assente.

Il solaio di calpestio del piano rialzato è costituito da una soletta in c.a. di spessore pari a circa 15 cm, irrigidita da travi emergenti poste ad interasse di circa 140 cm. Il solaio di calpestio del primo piano è realizzato con una struttura latero-cementizia, mentre il solaio di calpestio del sottotetto è ancora realizzato con una soletta in c.a. di spessore pari a circa 8 cm, ma senza la presenza di elementi irrigidenti.

INTERVENTI

Le opere finalizzate al miglioramento sismico della struttura hanno consentito il raggiungimento di un livello di sicurezza nei confronti dell'azione sismica non inferiore al 60%.

In particolare, le opere eseguite sono consistite in:

- rinforzo delle murature perimetrali e della corte interna mediante intonaco armato con rete in GFRP del sistema CRM RI-STRUTTURA;
- rinforzo del solaio di sottotetto con profili pultrusi in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer);

SISTEMI FIBRE NET

La scelta del sistema di consolidamento murario doveva garantire l'efficienza strutturale e il recupero della funzione statica dell'edificio. A tale scopo l'intervento di consolidamento delle murature perimetrali del fabbricato, esterne e verso la corte interna, ha previsto l'impiego della tecnica dell'intonaco armato CRM sistema RI-STRUTTURA – realizzato con rete, angolari e connettori preformati in fibra di vetro resine termoindurenti.

Il sistema garantisce un consolidamento efficace che si presta bene a sostituire i tradizionali sistemi di rinforzo strutturale in quanto migliore in termini di prestazioni meccaniche e soprattutto compatibile con metodologie e materiali di riconosciuto valore storico come nel caso specifico.

L'introduzione dell'intonaco armato con reti e connessioni in GFRP, inoltre, tutela alcuni aspetti di conservazione del bene: compatibilità, reversibilità, maggiore durabilità rispetto a materiali tradizionali.

Data la presenza di un importante apparato decorativo (bugnature, rilievi di intonaco, marcapiani lapidei e fregi), il sistema di consolidamento è stato realizzato in maniera diffusa sulla faccia interna delle murature perimetrali ma solo per fasce per quanto attiene il paramento murario esterno. Tutti gli intonaci preservati sono comunque stati consolidati e ripristinati nella loro continuità.

Ricordiamo che a febbraio 2019 Ri-Struttura ha ottenuto l'ETA (European Technical Assessment - Valutazione Tecnica Europea) per l'utilizzo come rinforzo di strutture in muratura e calcestruzzo.



Fasi di realizzazione dei rinforzo delle murature con sistema CRM RI-STRUTTURA

Per quanto riguarda invece il **consolidamento del solaio** di sottotetto, il limite alla totale sostituzione di tale elemento strutturale è stato rappresentato dalla presenza di decorazioni ad affresco all'intradosso in corrispondenza di alcune porzioni di esso.

Per aumentare la rigidità flessionale della soletta, ma senza appesantirla eccessivamente, l'intervento di consolidamento è consistito nella posa di una nervatura all'estradosso costituita da **profili pultrusi in GFRP IPE 200x100x10** incollati in superficie, per la trasmissione dello sforzo di scorrimento, alloggiati in appositi scassi sulle murature perimetrali interne ed esterne.

La scelta dei profili pultrusi è stata dettata dalle caratteristiche proprie di questi prodotti, quali la leggerezza, la durabilità del materiale e la possibilità di lavorare il materiale FRP con comuni attrezzature di cantiere, senza peraltro precludere le caratteristiche di resistenza meccanica.



I profili pultrusi in GFRP posati per il rinforzo del solaio del sottotetto

PALAZZO PICA ALFIERI, L'AQUILA

Rinforzo di volte in folio mediante la tecnica della tabicada 'armata' con rete in GFRP

Palazzo Pica Alfieri, sito in un'area che ha costituito il centro politico della città sino al XVIII secolo, è uno degli edifici del centro storico di L'Aquila ad aver subito gravi danneggiamenti a seguito del sisma del 2009. Nell'ambito di tali lavori su alcune volte è stata applicata la tecnica "tabicada armata", un'attualizzazione di una tradizionale tecnica costruttiva catalana.



Cinematismo di rotazione della facciata



Fasi di realizzazione dell'intervento di rinforzo



OGGETTO_Riparazione e restauro di Palazzo Pica Alfieri

LOCALITA' _L'Aquila, centro storico, via Andrea Bafile- Piazza Santa Margherita

PROGETTISTI e DDLL _Ing. Giacomo Di Marco, Ing. Riccardo Vetturini

IMPRESA APPALTATRICE_ ATI Cobar Spa e Aldo del Beato Srl, sotto la direzione tecnica dell'ing. Marco del Beato

REALIZZAZIONE_2016-2017

SISTEMI FIBRE NET

> per CONSOLIDAMENTO MURARIO

SISTEMA CRM RI-STRUTTURA: rete in GFRP maglia 66×66 mm, angolari e connettori in GFRP

Le attività sperimentali svolte sugli archi in folio rinforzati con la tecnica della tabicada armata sono state supportate in parte da Progetti ReLUIS 2010-2013 e 2014-2017 (filone murature e filone materiali innovativi).

Un articolo illustrativo della tecnica applicata è pubblicato dal prof. Antonio Borri in *recmagazine143_2017*

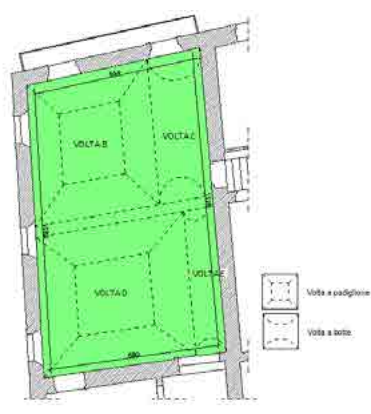
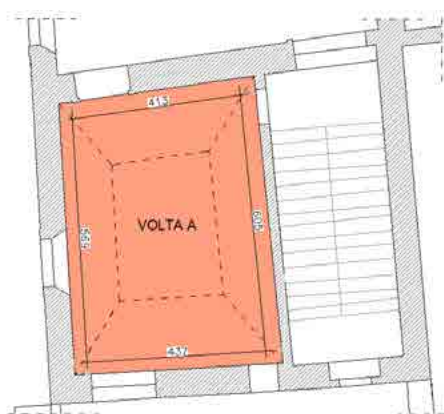
I notevoli danni riportati dall'edificio interessavano il ribaltamento della facciata principale e delle mura nel cortile, dissesti di volte, crollo di cassettonati all'ultimo piano e di numerose volte in folio non portanti poste a livello della copertura nonché diversi danneggiamento degli elementi decorativi, di stucchi e i affreschi.

I lavori di restauro e consolidamento hanno avuto la duplice finalità di riparazione dei danni provocati dal sisma (ricostruzione di porzioni crollate, lesioni, etc.) e di rinforzo degli elementi strutturali ritenuti carenti, indipendentemente dal grado di danneggiamento presentato (rinforzo di volte, rinforzo di murature portanti, miglioramento degli appoggi della copertura).

L'intervento di rinforzo eseguito trae spunto dalla tecnica tabicada, che consiste nel sovrapporre al primo corso di laterizi un secondo corso (ed eventualmente un terzo) con giunti sfalsati nelle due direzioni e frapponendo fra gli strati una rete preformata in fibra di vetro immersa in una matrice di malta idraulica.

Cinque sono state le volte in folio interessate dall'intervento di rinforzo, tre volte a padiglione e due a botte: una delle due volte a padiglione (volta A) si trova a copertura di un ambiente del secondo piano; le altre due (volta B e volta D) e le due volte a botte (volta C e volta E) si trovano all'interno di uno stesso ambiente al secondo livello dell'edificio e costituiscono la copertura di ambienti del primo piano.

Tutte e cinque le volte, pur essendo state realizzate con apparecchio di laterizi in folio (spessore di circa 3,5 cm) murati con malta di gesso, avevano funzione strutturale ed erano quindi riempite con materiale incoerente in modo da poter realizzare il pavimento del piano superiore. Alcune delle cinque volte insistevano su tramezzi in laterizio poggianti in falso sulla volta sottostante (configurazione strutturale particolarmente pericolosa, sia in termini sismici che statici), in tal caso si è proceduto all'applicazione della tecnica rinforzando preventivamente la sottostante tramezzatura con reti in fibra di vetro e intonaco a base di calce.

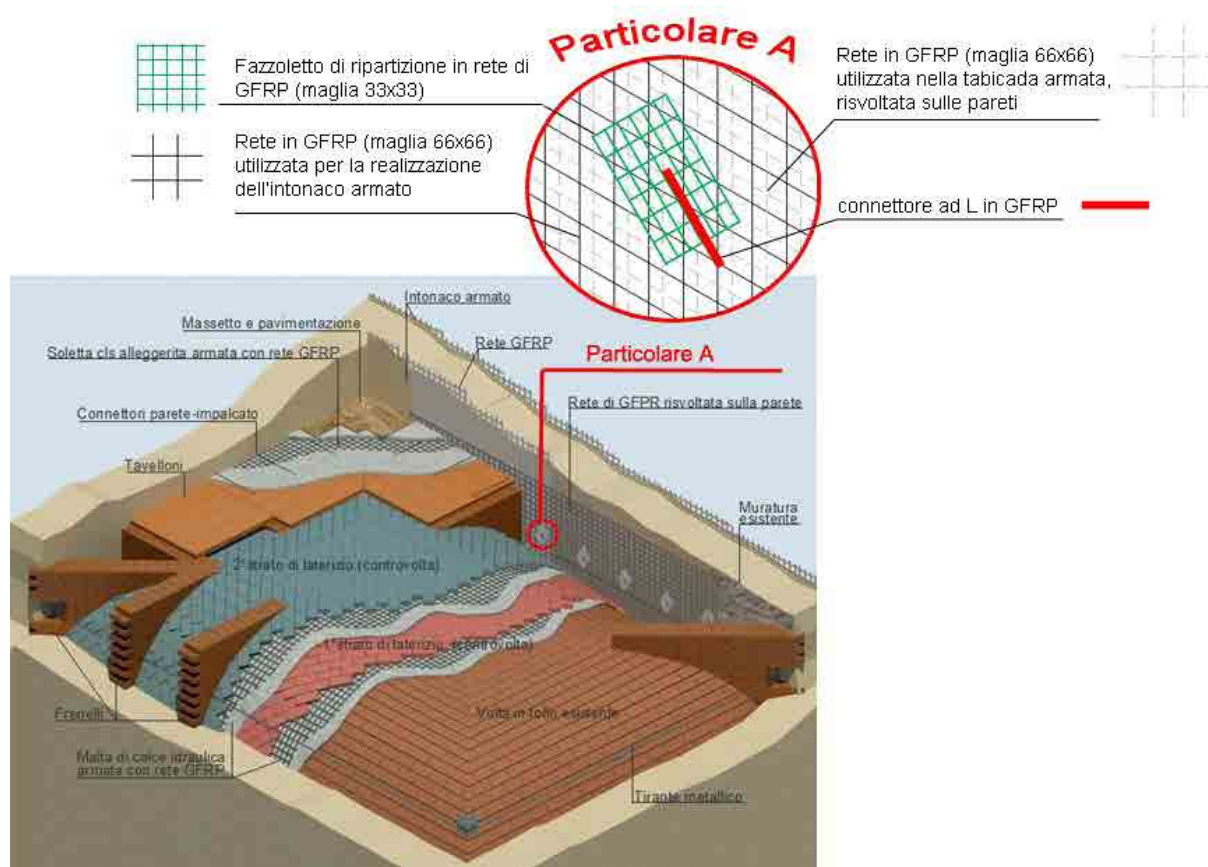


SINISTRA: Piante degli ambienti voltati in cui si trovano le volte oggetto dell'intervento.
DESTRA: Volte B-C-D-E: Rimozione della cappa in c.a. esistente realizzata negli anni '80.

La scelta di utilizzare la tecnica "tabicada armata" è nata dalla necessità di soddisfare diverse esigenze: conservare le volte esistenti, viste anche le pitture intradossali presenti, e contemporaneamente incrementare la capacità portante e la stabilità delle strutture voltate originarie, in modo da ridurre l'elevata vulnerabilità e collegarle efficacemente alle murature perimetrali.

La tabicada armata, essendo una tecnica di tipo estradossale, poco invasiva, compatibile con i materiali esistenti e capace di rispondere alle richieste in termini d'incremento di resistenza e stabilità è risultata essere la miglior scelta possibile per risolvere i danni causati dal sisma.

La positiva esperienza applicativa della tecnica catalana nel contesto di Palazzo Pica Alfieri ha evidenziato, oltre a quanto già sopra esposto in termini di intervento non invasivo sulle pitture intradossali, come la stessa abbia permesso di contenere i tempi e i costi di lavorazione in cantiere se paragonata ad altre tecniche; il lavoro è, infatti, avanzato con una velocità di circa 10 minuti/m² per ogni strato (malta/laterizi) e sono stati necessari circa 14,5 kg/m² (per cm di spessore) di malta e circa 42 kg/m² per strato di laterizi.



Intervento di consolidamento con la tecnica tabicada armata (disegno originale di R. Vetturini).



Posa del secondo strato di laterizio.



Disposizione dei tiranti e realizzazione dei frenelli.



Posa dei tavelloni per la realizzazione della pavimentazione.