

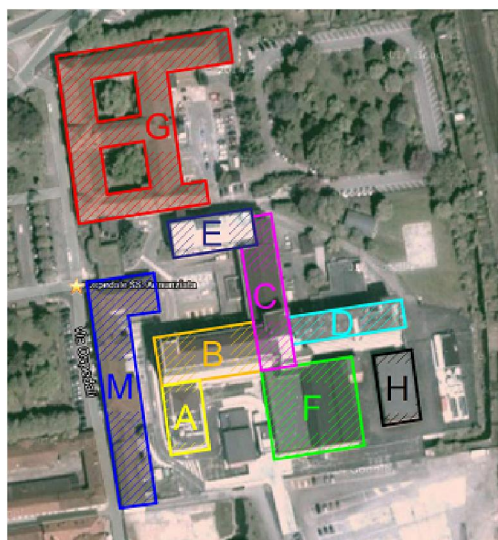
Rinforzo di strutture in muratura con FRP a fibre aramidiche

Il caso studio: il corpo M dell'Ospedale "SS. Annunziata" di Savigliano

Il caso studio analizzato nell'elaborato di tesi magistrale in ingegneria civile al Politecnico di Torino dall'ing. Marta Busso è stato il corpo M dell'Ospedale "SS. Annunziata" di Savigliano. Scopo di tale lavoro, il cui relatore è stato il Prof. Rosario Ceravolo, è stato trattare la tematica del rinforzo di strutture in muratura con materiali compositi fibrorinforzati (FRP) a fibre aramidiche e analizzarne lo stato dell'arte che compete alle loro applicazioni.



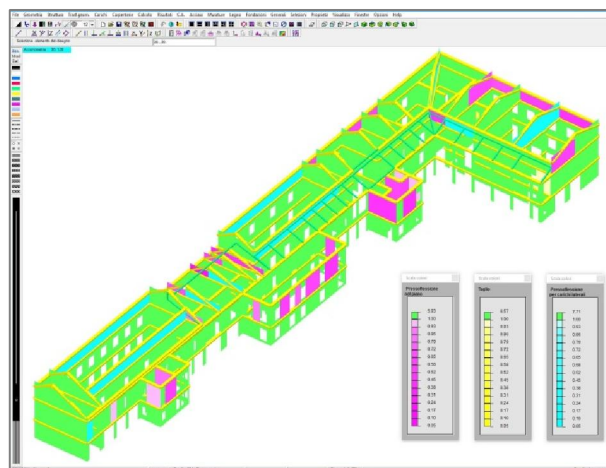
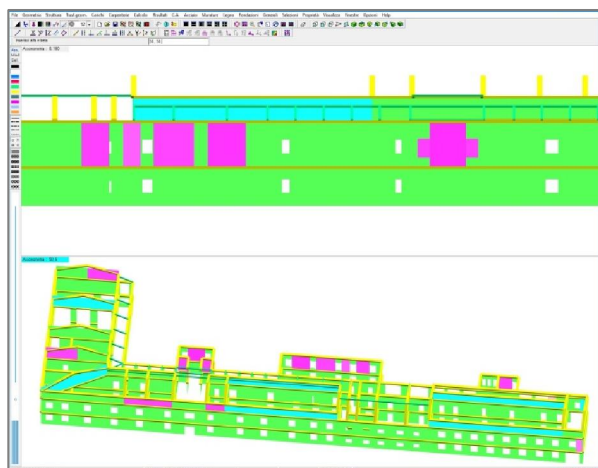
La struttura ospedaliera in esame è polo importante per la Provincia di Cuneo; le dimensioni e la centralità dei servizi offerti raggiungono un imponente numero di utenze giornaliere. Il corpo studiato fa parte di quelli



costruiti tra il 1710 e il 1790, ha una pianta a "L" particolarmente allungata i cui lati principali misurano rispettivamente 105 m e 21 m, per un'area di piano di circa 2000 m². Il corpo M si presenta con due livelli fuori terra e un piano di sottotetto agibile solo in maniera parziale a causa del deterioramento della copertura. È costituito per tutto il suo sviluppo da mattoni in cotto a vista e copertura in legno e coppi, in linea con le tecniche costruttive dell'epoca della sua realizzazione. In pianta sono presenti una piccola espansione sul lato nord di un braccio perpendicolare al corpo stesso e altri tre vani assoggettati allo sviluppo longitudinale sul lato Est, che fungono da vani scale e locali ad uso ufficio.

I primi sopralluoghi hanno riscontrato un buon ammassamento tra pareti e solai e tra parete e parete, e hanno evidenziato, inoltre, la presenza di solai irrigiditi con reti elettrosaldate, di cordoli in calcestruzzo armato, di fondazioni di tipo continuo e di catene atte a contrastare la spinta delle volte.

Sono risultati presenti, quindi, i presupposti perché la struttura abbia un comportamento a scatola muraria. È stata quindi utilizzata una schematizzazione a telaio equivalente; la modellazione, le successive analisi e lo studio degli interventi di rinforzo sono stati effettuati tramite il software DOLMEN, prodotto e distribuito da CDM DOLMEN di Torino.

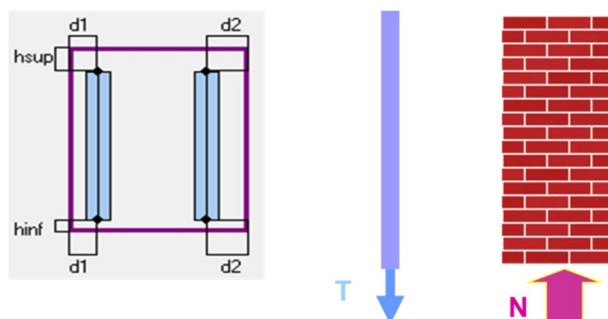


È stata eseguita un'analisi modale con spettro di risposta secondo quanto richiesto dalle NTC 2008 per gli SLV sismici. Sui pannelli murari e sulle fasce di piano sono state eseguite, per tutte le combinazioni di carico richieste dalla norma, le verifiche a pressoflessione e a taglio nel piano: nei pannelli murari è stata controllata l'eccentricità dei carichi verticali ed eseguita la verifica a pressoflessione per carichi laterali. Sui pannelli murari inoltre, considerati come elementi secondari nei confronti delle forze agenti perpendicolarmente al loro piano, è stata effettuata un'ulteriore verifica sismica fuori piano. L'analisi ha evidenziato delle criticità, come possiamo vedere nelle immagini precedenti in cui sono stati riassunti graficamente i risultati delle verifiche: vediamo colorati in verde gli elementi verificati per tutte le sollecitazioni considerate, in magenta gli elementi non verificati a pressoflessione nel piano, in giallo gli elementi non verificati a taglio e in azzurro gli elementi con problematiche di pressoflessione fuori dal piano. Come era logico aspettarsi i pannelli murari che presentano problematiche sono quelli ai piani superiori: la struttura, infatti, è stata storicamente ben progettata nei confronti dei carichi verticali ma, sottoposta alle odierne verifiche sismiche, presenta problemi là dove è minore lo sforzo verticale stabilizzante.

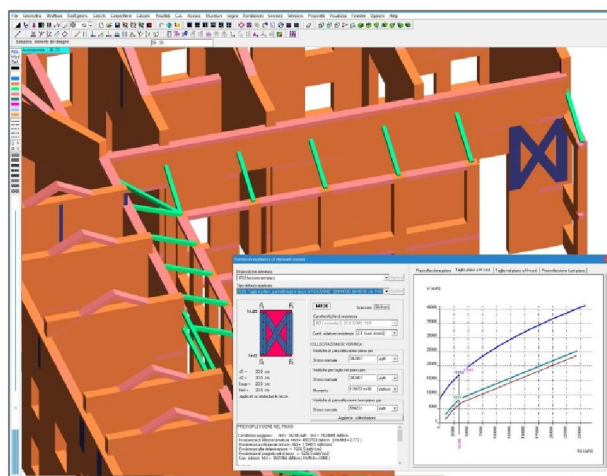
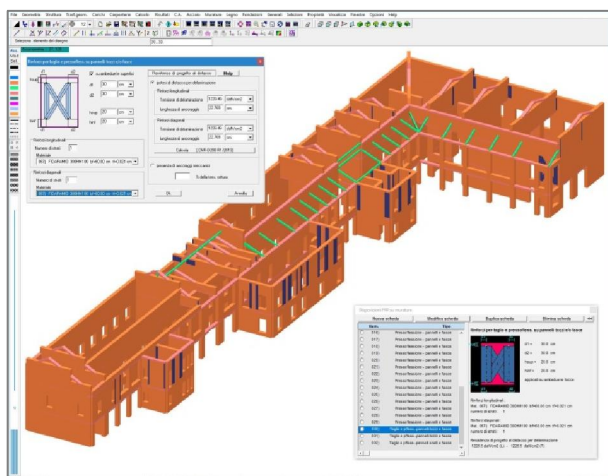
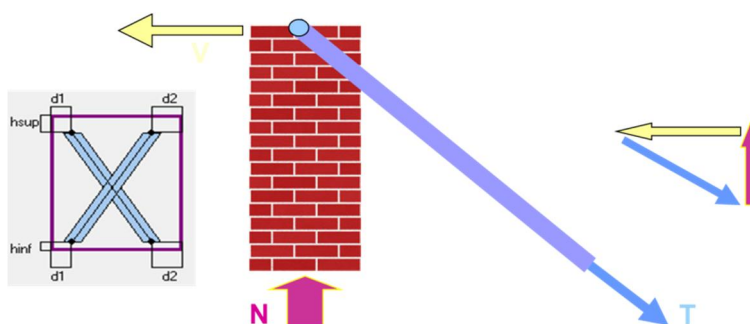
Per i pannelli non verificati si è ritenuto quindi opportuno valutare il posizionamento di rinforzi.

Nello studio condotto sono stati utilizzati materiali compositi basati su fibre aramidiche (famiglia a cui appartiene il Kevlar). Caratteristica peculiare delle fibre aramidiche è quella di presentare un modulo elastico di valore intermedio (130-150 GPa) tra quelli che si registrano per le fibre di vetro (70-80 GPa) e quelli per le fibre di carbonio (220-800 GPa): per questa loro proprietà sono state sovente scelte per il rinforzo di strutture in muratura. Fibre con valori elevati di modulo elastico si addicono maggiormente alle strutture in cemento armato poiché irrigidiscono gli elementi cui si applicano e modificano la risposta strutturale.

La geometria della disposizione del rinforzo sul pannello è fortemente dipendente dal tipo di verifica non soddisfatta. Nel caso di pressoflessione nel piano, il pannello va in crisi per trazione; in questo caso i rinforzi sono da posizionarsi con giacitura verticale, disposti simmetricamente sui due paramenti del pannello, come da immagine seguente.



Nel caso di crisi per taglio, al classico meccanismo di resistenza a taglio per attrito della muratura si affianca un ulteriore meccanismo resistente dovuto alla formazione di un traliccio in grado di trasmettere taglio per equilibrio interno. La disposizione in questo caso è rappresentata da due strisce di rinforzo disposte diagonalmente sul pannello, sempre simmetricamente sui due paramenti del pannello.



Particolarmente delicata nella progettazione dell'intervento è la valutazione della tensione di progetto del materiale FRP: rispetto alle potenzialità del materiale questa è estremamente ridotta dal fenomeno della delaminazione, cioè dalla possibilità che la fibra si distacchi dal suo supporto murario. In DOLMEN sono forniti gli strumenti per valutarla secondo quanto suggerito dalle CNR-DT 200 R1/2013. In seguito all'applicazione guidata del rinforzo la struttura risulta essere verificata anche nei confronti del sisma per cui non era stata originariamente progettata.



Una volta stabilita, in maniera mirata, la posizione dei rinforzi su tutta la costruzione, l'ing. Marta Busso si è concentrata sull'affrontare le problematiche tipiche dei materiali FRP. In particolare questi presentano un impiego sconsigliato in edifici in cui è particolarmente importante la resistenza al fuoco, come può essere una struttura ospedaliera: quando le resine raggiungono la

temperatura di transizione vetrosa T_g , passano da una conformazione dura e fragile a una viscosa e gommosa e si assiste a un decadimento delle proprietà meccaniche (rigidezza e resistenza a trazione) e dell'aderenza.

Per porre rimedio alla problematica evidenziata si delineano in genere due differenti opzioni: l'utilizzo di matrici cementizie o l'applicazione di rivestimenti.

La prima soluzione consiste nel sostituire la matrice di resina epossidica con una di origine inorganica, trasformando il composito in un materiale denominato FRCM (Fabric Reinforced Cementitious Matrix). La matrice cementizia gode di buona resistenza al fuoco, paragonabile a quella della struttura su cui viene applicata, e, a differenza dei materiali FRP, non richiede manodopera specializzata poiché i materiali impiegati non presentano tossicità e c'è più tolleranza nei difetti di applicazione. Come gli FRP tradizionali gli FRCM possono essere applicati anche in casi di geometrie complesse e senza incrementi di carico.

La seconda soluzione è l'applicazione di rivestimenti: si utilizzano intonaci intumescenti da applicarsi sulla resina epossidica con successivo spolvero "fresco su fresco" di polvere di quarzo, si tratta però di un secondo intervento in aggiunta a quello di rinforzo.

Per maggiori informazioni sul lavoro di tesi dell'ing. Marta Busso vi invitiamo a visitare la pagina:

http://www.cdmdolmen.it/lavori/lav_busso.htm

Sull'argomento degli edifici esistenti l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno, in collaborazione con CDM DOLMEN, ha organizzato un seminario dal titolo **"Edifici esistenti in c.a. e muratura: classificazione,**

conservazione e sicurezza” che si terrà a Salerno il 18 maggio con il rilascio di 5 crediti formativi per gli ingegneri. Per iscrizioni e maggiori informazioni potete scaricare il seguente documento:

<http://www.cdmdolmen.it/incontri/anno2017/programma-ca-mur-salerno.pdf>