

## MIGLIORAMENTO SISMICO CON SISTEMI FRP DELLA IGLESIA DE NICOYA IN COSTA RICA

Il 24 luglio 2019 **Carlos Andrés Alvarado Quesada, Presidente della Repubblica di Costa Rica** ha inaugurato la riapertura della **Iglesya de Nicoya nella provincia di Guanacaste in Costa Rica.**

La Chiesa è stata oggetto di un importante progetto di restauro e miglioramento sismico a seguito dei danni subiti in occasione del **terremoto di 7.6 gradi della scala Richter che ha colpito il Costa Rica il 5 settembre 2012.**

La storia di questo tempio è stata segnata da numerose tragedie telluriche, già nel 1830 fu sottoposto a un primo intervento a seguito del terremoto del 3 aprile 1826, sebbene la sua riparazione non durò a lungo, 3 anni dopo, nel 1833, subì gli effetti di un altro forte terremoto a seguito del quale rimase in declino per più di 17 anni.

La Parrocchia di San Blas a Nicoya fu dichiarata "reliquia nazionale" nel 1923, aggiungendo ad un piccolo elenco di edifici di culto, tra cui anche la Chiesa di Ujarrás, il Tempio di Orosi a



Cartago e l'Eremo di Quebrada Honda. Tuttavia, la serie di tragici eventi è continuata il 5 settembre 2012, con il terremoto di magnitudo 7,6 sulla scala Richter che ha fortemente danneggiato la struttura della Chiesa.

Al progetto del miglioramento sismico della struttura ha partecipato l'ing. **Domenico Brigante,**

direttore tecnico dell'OLYMPUS e l'ing. **Domenico Morrone**, nell'ambito del progetto di recupero sviluppato dall'architetto **Adrián Vindas Chaves**, capo dell'Architettura del Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Ministerio de Cultura y Juventud del Costa Rica.

## Stato di fatto della struttura pre-intervento

A seguito del **terremoto che ha colpito la struttura il 5 settembre 2012**, è presente un diffuso quadro fessurativo che interessa la maggior parte delle murature verticali e gli archi in muratura.

A seguito degli eventi sismici non erano presenti particolari fenomeni di crollo nonostante i forti danni subiti dalla struttura.

I danni alla struttura sono riassumibili come segue:

- Danneggiamento della facciata principale con rischio di ribaltamento fuori dal piano della parte sommitale della facciata;
- Danneggiamento degli archi in muratura a seguito della risposta trasversale dell'aula;
- Meccanismi di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale);
- Danneggiamento delle pareti laterali del transetto;



## Analisi e modellazione della struttura

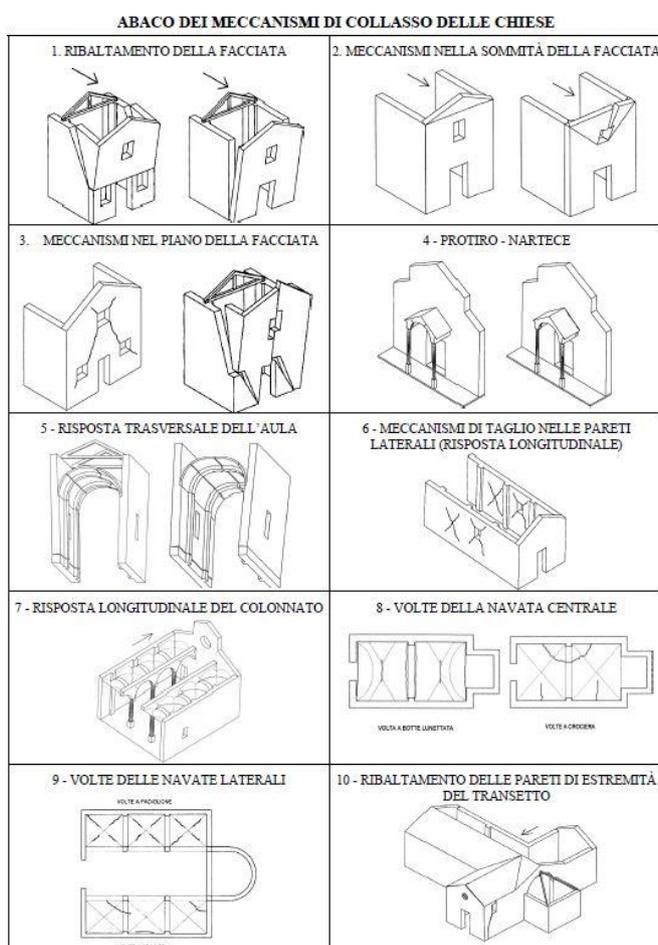
Da un'approfondita analisi della struttura, è stato possibile ipotizzare una strategia di rinforzo strutturale che ha previsto l'uso di sistemi di consolidamento FRP con tessuto in fibra di aramide **OLY TEX ARAMIDE**, caratterizzato da una elevata compatibilità con la struttura muraria esistente.

La progettazione delle opere di risanamento del complesso monumentale è stata realizzata ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni **NTC 2008** e delle **“Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale”** del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e per il Turismo.

Le **Linee Guida del MiBACT** hanno l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale. La finalità è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico.

Come indicato nelle Linee Guida del MiBACT, è stata effettuata una valutazione preliminare sulla base di un modello a macro elementi per la valutazione della vulnerabilità sismica.

La metodologia considera 28 meccanismi di danno, elencati nel seguito, associati ai diversi macroelementi che possono essere presenti in una Chiesa. Attraverso un opportuno modello, descritto nelle Linee Guida, è possibile valutare un indice di vulnerabilità e quindi l'indice di sicurezza sismica della chiesa. Il modello del **MiBACT** è stato adattato alla struttura della Chiesa, tipica dell'edilizia ecclesiastica cattolica coloniale.



Gli interventi di consolidamento proposti hanno lo scopo di evitare i seguenti meccanismi di danno sui macro elementi schematizzati:

- Ribaltamento fuori dal piano della facciata principale;
- Meccanismi di ribaltamento nella sommità della facciata;
- Danneggiamento degli archi in muratura a seguito della risposta trasversale dell'aula;
- Meccanismi di taglio nelle pareti laterali (risposta longitudinale);
- Ribaltamento delle pareti laterali del transetto;

L'analisi dell'edificio è stata elaborata nel rispetto del "PLAN NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO 2010-2015 MARCO ESTRATÉGICO PARA LA APLICACIÓN DE LA POLÍTICA DE GESTIÓN DEL RIESGO"

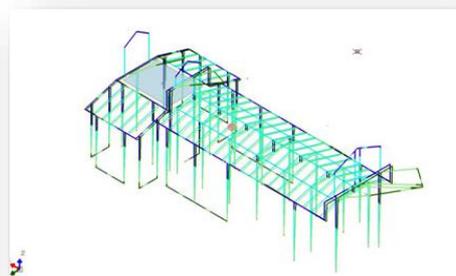
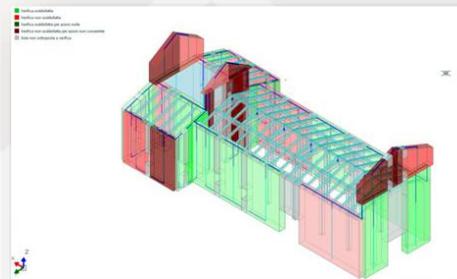
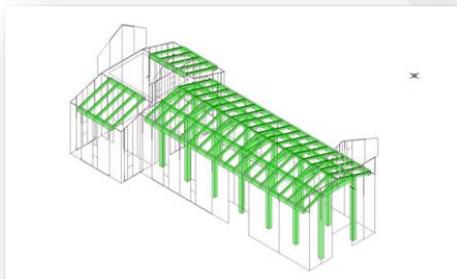


## Modellazione e verifica strutturale

A seguito dell'analisi per macroelementi realizzata secondo le indicazioni della Linee Guida del MiBACT, è stata effettuata la modellazione della struttura e la verifica ai sensi delle NTC '08.



La modellazione della struttura ha evidenziato la compatibilità dei risultati con la modellazione a macroelementi soprariportata. A valle dell'analisi effettuata è stato quindi possibile dimensionare gli interventi di consolidamento che sono stati progettati con fibra di aramide AFRP **OLY TEX ARAMIDE** utilizzando il software di calcolo per sistemi di consolidamento FRP "**OLY MASONRY APP**".



## GLI INTERVENTI DI RINFORZO STRUTTURALE

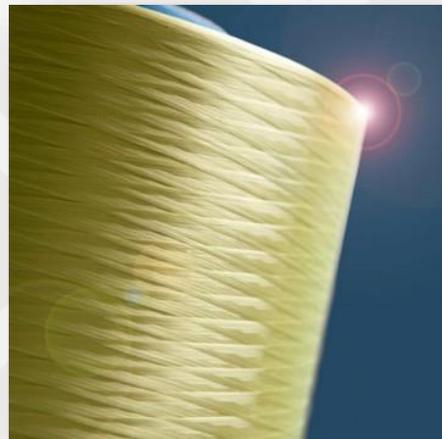
### Scelta dei materiali di rinforzo – La fibre di aramide AFRP

Il materiale scelto per il rinforzo della struttura **OLY TEX ARAMIDE** è costituito da composti polimerici con tessuti uniassiali in fibra di aramide A-FRP.

La scelta della fibra di aramide è legata all'elevata compatibilità di questa tipologia di fibra con le strutture in muratura e ai vantaggi sotto riportati.

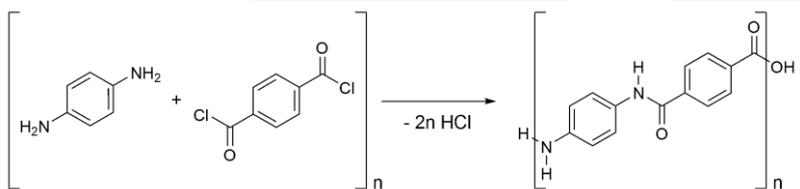
I principali vantaggi delle fibre aramidiche sono:

- alta tenacità;
- resistenza all'impatto;
- capacità di assorbimento delle vibrazioni;
- buona inerzia chimica ed elettromagnetica;
- basso peso specifico;
- resistenza alle alte temperature;
- resistenza alla fiamma;
- resistenza a taglio;
- elevata resistenza e modulo elastico;



Le fibre aramidiche sono fibre sintetiche sulla base di poliammide aromatici. Nei materiali composti la fibra commercialmente più importante è la fibra ad alto modulo, la quale è stato introdotto nei primi anni '70 dalla Du Pont con il nome commerciale Kevlar. Il kevlar possiede una grande resistenza al calore e alla fiamma. Per le sue caratteristiche di resistenza viene utilizzato come fibra di rinforzo per la costruzione di giubbotti antiproiettile, di attrezzature per gli sport estremi e per componenti usati in aeroplani, imbarcazioni e vetture da competizione.

Il Kevlar è stato inventato da Stephanie Kwolek ed è stato brevettato dalla DuPont nel 1973. Nel corso degli anni, questo tipo di fibra sintetica ha ricevuto miglioramenti notevoli in termini di resistenza meccanica. Il kevlar si ottiene per condensazione in soluzione a partire dai monomeri fenilendiammina (para-fenilendiammina) e cloruro di tereftaloile. Come sottoprodotto di reazione si ottiene acido cloridrico.



La produzione è simile ad altre fibre sintetiche: polimerizzazione, estrusione, stiramento. Il polimero viene sciolto in un liquido ed estruso ad una temperatura di circa 200 °C mentre evapora il solvente.

Uno degli utilizzi più noti del kevlar è nei giubbotti antiproiettile: la sua elevata resistenza è utilizzata per assorbire, tramite deformazione plastica, l'energia cinetica dei proiettili. Di questo materiale sono costruiti anche alcuni elmetti militari, ad esempio il Lightweight Helmet dei Marines.

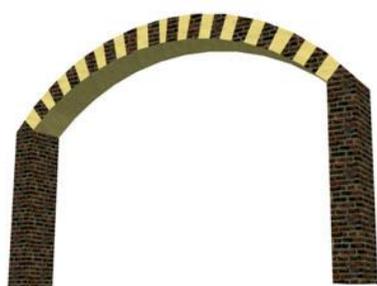
## Gli interventi di rinforzo strutturale con A-FRP

Gli interventi di rinforzo strutturale con fibre di aramide A-FRP **OLY TEX ARAMIDE** sono stati progettati con lo scopo di consolidare le strutture esistenti ed evitare i meccanismi di danno evidenziati dalla modellazione della struttura.



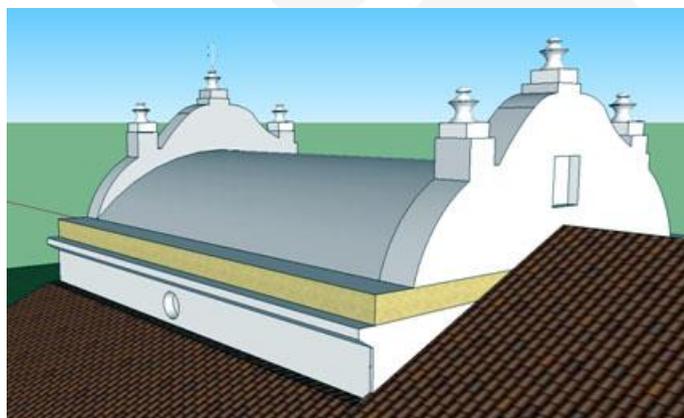
Per evitare il ribaltamento fuori dal piano della parte sommitale della facciata sono state applicate fasce verticali in fibra di aramide sia sul prospetto anteriore che posteriore della facciata, collegate alle estremità alla muratura con trefoli in fibra di aramide.

Al fine di evitare il ribaltamento fuori dal piano delle murature è stato realizzato il rinforzo dei cantonali con l'applicazione di fasce verticali e orizzontali in AFRP.



Gli archi in muratura sono stati rinforzati mediante una fasciatura intradossale in A-FRP e delle fasce a C per evitare fenomeni di delaminazione dovuti alle spinte a vuoto.

La struttura sommitale di copertura è stata oggetto di cerchiaggio atto ad evitare l'apertura "a carciofo" in caso di sisma.



## I SOFTWARE PER EFFETTUARE IL DIMENSIONAMENTO E LA VERIFICA DI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO CON MATERIALI COMPOSITI OLYMPUS FRP

A seguito della modellazione effettuata, per il dimensionamento degli interventi di rinforzo con AFRP è stato utilizzato il software **OLY MASONRY APP**.

Il software **OLY MASONRY APP** consente il calcolo di interventi di consolidamento strutturale per meccanismi nel piano e meccanismi fuori dal piano ed in particolare:

- Rinforzo a pressoflessione di pannelli murari con FRP;
- Rinforzo a taglio di pannelli murari con FRP;
- Rinforzo per ribaltamento semplice di pannelli in muratura con FRP;
- Rinforzo a flessione verticale di pannelli in muratura con FRP;

### Affidabilità e sviluppo dei software

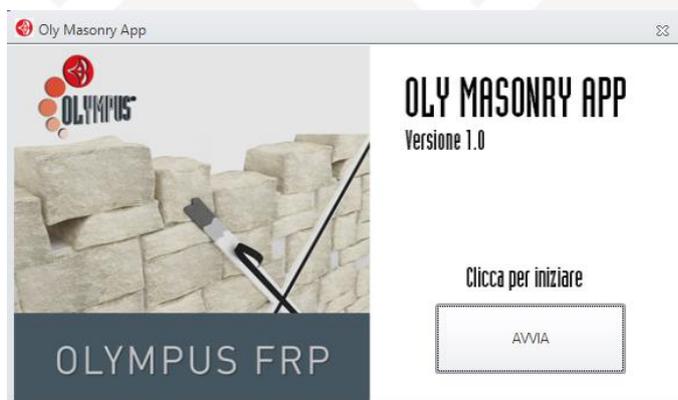
I software sono stati sviluppati sulla base dell'esperienza di **OLYMPUS** di oltre **15 anni** nel settore del consolidamento strutturale.

Nel 2005 **OLYMPUS** ha sviluppato i primi fogli di calcolo per la progettazione di interventi di consolidamento strutturale con materiali compositi **FRP**.

In 15 anni i fogli di calcolo sono stati utilizzati da centinaia di professionisti in Italia e in numerosi paesi Europei che hanno consentito all'azienda di verificare e perfezionare il funzionamento dei fogli di calcolo che hanno rappresentato la base per lo sviluppo dei nuovi software.

Nel 2013 **OLYMPUS** è stata la prima azienda al mondo a sviluppare tre **app per iPhone "OLYMPUS iFRP"** che consentivano ai progettisti di elaborare il dimensionamento dell'intervento di consolidamento direttamente in cantiere con il proprio iPhone.

Nel 2019 **OLYMPUS** ha sviluppato i suoi nuovi software di calcolo nel totale rispetto delle attuali norme tecniche per le costruzioni, delle Linee Guida del **CSLLPP** e dei Documenti Tecnici del **CNR**.



Tutti i software OLYMPUS sono completamente gratuiti e scaricabili dal sito web [www.olympus-frp.com](http://www.olympus-frp.com). L'ufficio tecnico di OLYMPUS fornisce inoltre assistenza tecnica a tutti i professionisti che ne fanno richiesta, contattando l'azienda a mezzo mail all'indirizzo [info@olympus-frp.com](mailto:info@olympus-frp.com) o telefonicamente al numero verde **800910272**.

I software sono stati sviluppati da un team esperto di ingegneri strutturisti e programmatori informatici con comprovata esperienza nel settore del consolidamento strutturale e sono stati testati su centinaia di interventi di consolidamento, anche confrontando i risultati con quelli dei principali software di consolidamento strutturale presenti sul mercato.

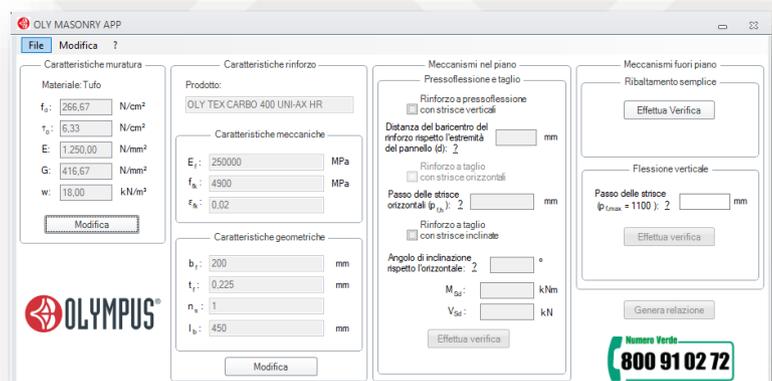
I software sono completamente gratuiti e possono essere scaricati dal sito [www.olympus-frp.com](http://www.olympus-frp.com).

## Vantaggio dei nuovi software di calcolo

L'utilizzo di un software di calcolo sviluppato da un'azienda che da oltre 15 anni certifica e ingegnerizza materiali compositi per il consolidamento strutturale e sviluppa applicazioni e software di calcolo basati sulla propria consolidata esperienza in questo settore, rappresenta per il professionista una garanzia di sicurezza e professionalità.

Il grande vantaggio del software di calcolo **OLY SAFE APP** sviluppato da **OLYMPUS** è la possibilità di generare automaticamente una relazione di calcolo a valle della verifica strutturale, che viene redatta automaticamente dal software.

Il tecnico potrà quindi utilizzare le relazioni di calcolo, redatte dal software, per integrare i propri elaborati progettuali.





**Compila il modulo e SCARICA GRATUITAMENTE  
il software OLY APP**