



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SALERNO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

**Dottorato di Ricerca in Rischio e sostenibilità nei sistemi
dell'Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale**

XXX Ciclo

**SULLA MODELLAZIONE MECCANICA DI GIUNZIONI
ADESIVE TRA ELEMENTI TUBOLARI IN MATERIALE
COMPOSITO FIBRORINFORZATO**

Phd: Agostina Orefice

Tutor:
Prof. Ing. Geminiano Mancusi

Coordinatore:
Prof. Ing. Fernando Fraternali

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE

**Dottorato di Ricerca in Rischio e Sostenibilità nei sistemi dell'Ingegneria civile, edile e
ambientale XXXCiclo (2014-2017)**

**SULLA MODELLAZIONE MECCANICA DI GIUNZIONI ADESIVE TRA ELEMENTI
TUBOLARI IN MATERIALE COMPOSITO FIBRORINFORZATO**

Autore: Agostina Orefice

Abstract

L'introduzione di materiali innovativi nell'ambito della realizzazione di opere strutturali, in sostituzione o in affiancamento ai tradizionali materiali da costruzione, come acciaio, muratura o calcestruzzo, sta assumendo un rilievo sempre più importante per i numerosissimi vantaggi offerti. Con l'acronimo FRP (*Fibre Reinforced Polymers*) si indica, per l'appunto, una famiglia di materiali compositi ottenuti accoppiando una matrice polimerica ed un rinforzo che può avere varia natura, spaziando dal caso delle fibre lunghe di vetro, alle fibre di PBO (*Poliparafenilenbenzobisoxazolo*), all'uso dei microfilati di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza UHTSS (*Ultra High Tensile Strength Steel*). Le fibre rappresentano la parte del rinforzo avente il compito di esercitare la funzione resistente vera e propria, esse infatti esibiscono valori elevati di resistenza e rigidità. La matrice, invece, ha caratteristiche meccaniche generalmente inferiori e svolge la duplice funzione di proteggere le fibre e di conferire continuità al mezzo garantendo la trasmissione degli sforzi tra le varie fibre.

I materiali compositi sono in genere utilizzati negli interventi di rinforzo strutturale sotto forma di tessuti di fibre impregnati in situ con delle resine strutturali. Con meno frequenza vengono utilizzate, invece, lamine, che arrivano in cantiere già pronte all'uso. L'evoluzione e lo studio di questi materiali ha favorito, inoltre, spunti per un loro utilizzo non solo come rinforzi strutturali, ma anche come elementi strutturali a se stanti sotto forma di elementi generalmente pultrusi. In virtù del minor costo i compositi pultrusi più utilizzati nell'edilizia sono i GFRP (*Glass Fibre Reinforced Polymers*), caratterizzati dalla presenza di fibre di vetro, sebbene queste

ultime esibiscono caratteristiche meccaniche inferiori alle fibre di carbonio. In questo contesto rientrano i profili compositi tubolari a pareti spesse con sezione trasversale anulare, ottimali soprattutto per applicazioni nelle quali si instaurano regimi di sollecitazione prevalentemente assiale (coperture a traliccio di grandi dimensioni, ponti reticolari di grande luce). La possibilità di collegare tubi compositi per mezzo di specifici dispositivi coassiali costituisce, infine, una soluzione affidabile, facile da realizzare in situ assemblando gli elementi per il tramite di un adesivo strutturale. Quest'ultimo aspetto costituisce l'ambito di indagine della presente tesi.

Diversi sono i fattori che influenzano il comportamento dell'interfaccia adesiva tra il profilo pultruso ed il dispositivo nodale, come ad esempio le proprietà costitutive del pultruso e del dispositivo, la tipologia e lo spessore di adesivo strutturale, la lunghezza della zona di incollaggio ed infine il percorso di carico sollecitante.

Il presente lavoro di ricerca ha avuto come obiettivo lo studio e l'analisi di giunti adesivi realizzati tra elementi tubolari in materiale composito fibrorinforzato collegati coassialmente per il tramite di dispositivi nodali.

È stata dapprima offerta una breve rassegna delle più significative opere civili realizzate interamente o prevalentemente in materiale composito, in uno con una panoramica delle normative sia nazionali che internazionali che ne regolano la progettazione e l'esecuzione. Sono state, quindi, presentate le possibilità di modellare il comportamento dei giunti adesivi con approcci riferibili alla meccanica della frattura coesiva, per via di apposite formulazioni in modo I, modo II e modo misto, che includono anche il comportamento "rate-dependent".

È stato proposto, al riguardo, un modello meccanico basato su appropriate ipotesi cinematiche per lo studio di profili compositi a sezione anulare, che permette di esaminare anche i casi in cui lo spessore del profilo tubolare risulti essere "non sottile", con conseguente maggiore importanza degli effetti della deformabilità tagliente. Per quanto riguarda l'interfaccia adesiva è stato considerato un modello coesivo con legge esponenziale che include la possibilità di accoppiare gli spostamenti normali e tangenziali

Numerose analisi numeriche sono state effettuate al fine di evidenziare la rilevanza che assume lo spessore del profilo sull'entità degli scorrimenti da taglio che nascono all'interno dello stesso, nelle zone di collegamento nodale.

Come estensione del caso statico sono state investigate le vibrazioni libere estensionali di un profilo tubolare in materiale composito collegato ad un substrato coesivo. Si è fatto riferimento ad una legge coesiva di tipo bilineare (elastico-softening) e sono state ricavate le curve di dispersione. Sono state eseguite preliminari analisi numeriche che hanno evidenziato come il modulo tangenziale ed il parametro di rigidità del collegamento, influenzano la risposta dinamica.

In ultimo, attraverso prove sperimentali su giunti adesivi, è stato investigata la rigidità residua del collegamento al termine di una procedura di carico di tipo ciclico, utile per

caratterizzare i parametri meccanici residui in condizioni ultime (rigidezza residua in condizioni ultime).