

Premessa

Negli ultimi trent'anni i materiali compositi fibrorinforzati (*Fiber Reinforced Polymers: FRP*) sono stati impiegati con grande successo nei campi dell'Ingegneria aeronautica, meccanica e navale. Recentemente, le loro notevoli proprietà meccaniche, gli elevati rapporti rigidità/peso e resistenza/peso, da essi presentati, nonché la considerevole resistenza alla corrosione ne hanno valorizzato l'impiego anche nel settore dell'Ingegneria Civile, in sostituzione e/o integrazione dei materiali tradizionali. Da alcuni anni, infatti, si assiste ad un crescente uso di tali materiali soprattutto per il ripristino e l'adeguamento strutturale di membrature di conglomerato cementizio armato o di muratura.

Più limitato è, invece, il numero di nuove costruzioni civili realizzate interamente con materiale composito, sia in campo nazionale che internazionale.

I principali fattori che ne hanno contenuto l'utilizzo sono rappresentati dagli elevati costi del materiale, dal problema dei giunti e delle unioni, dall'assenza di una consolidata modellazione meccanica del loro comportamento strutturale e conseguentemente di normative di riferimento.

Le esperienze finora maturate in campo internazionale hanno riguardato soprattutto la realizzazione di strutture assemblabili, quali ponti e passerelle pedonali, di strutture off-shore e la costruzione di edifici a carattere sperimentale.

In particolare, le applicazioni nel settore civile sono consistite soprattutto nell'assemblaggio di profili pultrusi, il cui uso può comportare una riduzione delle masse strutturali fino al 70% rispetto ai materiali tradizionali ed assicurare

tempi ridottissimi di montaggio senza richiedere un impiego eccessivo di manodopera e/o di equipaggiamenti pesanti.

Le primissime applicazioni degli FRP in campo civile si sono registrate in Cina agli inizi degli anni '80. Oggi in questo Paese si possono contare numerosi ponti realizzati con materiali compositi fibrorinforzati, fra i quali i più importanti sono il Miyun Bridge, nei pressi di Beijing, e lo Xiangyong Bridge, recentemente costruito a Chengdu. Lo stesso è avvenuto negli Stati Uniti dove la maggior parte delle applicazioni è consistita nell'assemblaggio di pannelli di GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) o CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), in genere di tipo cellulare, sovrapposti ed incollati per realizzare sezioni scatolari. Non mancano altri esempi, soprattutto ponti, costituiti da profili pultrusi bullonati o incollati tra loro. I ponti più significativi finora realizzati sono il Tom's Creek Bridge (1996), il Clear Creek Bridge (1996), il Laurel lick Bridge (1997), il Wickwire Run Bridge (1997), il Bentley Creek Bridge (2000) e l'Over Deer Creek (2001).

In Europa le prime strutture di materiale composito sono state realizzate mediante un innovativo sistema costruttivo messo a punto all'inizio degli anni '90 nel Regno Unito e denominato ACCS. Tra di esse le più importanti sono alcuni ponti in Scozia, nel Galles del Nord ed in Inghilterra e precisamente l'Aberfeldy Bridge (1992), il Bonds Mill Lift Bridge (1992), il Bromley South Bridge (1992) e il Parson's Bridge (1995). In particolare, l'Aberfeldy Bridge rappresenta il primo ponte sospeso realizzato completamente con materiale composito: l'impalcato e le colonne sono state messe in opera con il suddetto sistema costruttivo, mentre i tiranti sono di fibra aramidica (*Kevlar*).

Altre significative applicazioni dei materiali compositi nel campo dell'Ingegneria civile hanno riguardato alcuni edifici sperimentali aventi particolari destinazioni. Due esempi importanti sono l'edificio della Compaq Computer Corporation, a Houston in Texas, e l'edificio della Apple Computer, in California. In entrambi i casi la scelta dei materiali compositi è stata motivata dall'esigenza di evitare possibili interferenze tra i campi elettromagnetici interni ed esterni.

Particolarmente interessante è anche l'Eyeatcher Building, realizzato nel 1999 a Basilea con pultrusi di GFRP incollati e bullonati.

Un altro settore in cui stanno trovando largo impiego le strutture di materiale composito è quello delle piattaforme *off-shore*. Per esse la particolare aggressività dell'ambiente circostante rende molto vantaggioso l'uso degli FRP,

la cui elevata resistenza alla corrosione consente di ridurre drasticamente i costi di manutenzione. Esempi significativi ne sono la Mars Tension Leg realizzata dalla Shell Petroli nel Golfo del Messico e la piattaforma costruita a Freeport in Texas per la Dow Chemical.

Più limitato è invece il numero di strutture realizzate in Italia con elementi di FRP, sia a carattere provvisorio che definitivo.

Tra le poche esperienze si possono menzionare un ponte pedonale gonfiabile composto da tubi pieghevoli di GFRP, montato a Roma in occasione del Giubileo 2000, e la struttura di copertura del cortile del nuovo Palazzo di Giustizia di Pescara, interamente costituita da profilati pultrusi incollati e/o bullonati.

Un importante e significativo passo in avanti, compiuto nel nostro Paese per la diffusione, in campo civile, di strutture realizzate con materiali compositi fibrorinforzati è rappresentato dalla pubblicazione da parte del CNR di specifiche Linee Guida per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture realizzate con profili pultrusi di materiale composito fibrorinforzato (CNR-DT 205/2007).

Scopo della presente tesi è fornire un contributo alla comprensione del comportamento meccanico di giunti incollati o bullonati in strutture realizzate con materiali compositi fibrorinforzati.

Per chiarezza espositiva la tesi è articolata in due parti. La prima, a carattere teorico-numeric, è dedicata alle giunzioni incollate; la seconda, a carattere prevalentemente sperimentale, è dedicata alle giunzioni bullonate. Sinteticamente, gli argomenti trattati sono i seguenti.

Parte I (Capitoli I-III)

- Equilibrio di giunti a semplice e doppia sovrapposizione sollecitati a taglio e flessione o a sforzo normale (Cap. I);
- Caratterizzazione meccanica della legge di interfaccia e criterio di frattura (Cap. I);
- Adimensionalizzazione del problema di equilibrio ed individuazione dei parametri adimensionali che lo governano (Cap. II);
- Abachi di uso ingegneristico per la valutazione della portanza di un giunto incollato variamente sollecitato (Cap. II);

- Degradamento della capacità portante di giunti a semplice sovrapposizione simmetrici e a doppia sovrapposizione bilanciati in presenza di un difetto di incollaggio (Cap. II);
- Esempi applicativi e confronti (Cap. III).

Parte II (Capitolo IV)

- Modalità di crisi di giunti bullonati;
- Impianto sperimentale utilizzato nel lavoro di tesi;
- Predizioni numeriche sul comportamento di giunti bullonati;
- Risultati sperimentali;
- Confronti e conclusioni;

La tesi è completata da alcune Appendici (A1-A7) che o richiamano, per completezza espositiva, risultati classici già noti in letteratura, o approfondiscono più dettagliatamente argomenti, sia teorici che sperimentali, trattati nella tesi. Esse sono:

Appendice A1 - Teoria di Tsai, Oplinger e Morton;

Appendice A2 - Teoria di Bigwood e Crocombe;

Appendice A3 - Giunto a doppia sovrapposizione bilanciato sollecitato a sforzo normale: legame di interfaccia elastico lineare;

Appendice A4 - Giunto a doppia sovrapposizione bilanciato sollecitato a sforzo normale: legame di interfaccia rigido-softening;

Appendice A5 - Giunto incollato a semplice sovrapposizione: sollecitazione di taglio e flessione; sollecitazione da taglio;

Appendice A6 – Determinazione sperimentale delle leggi coesive di interfaccia;

Appendice A7 – Procedura di prova secondo la norma EN ISO 14126:1999.