



ID contributo: 28

Tipo: **Presentazione orale**

COMPOSITI RICICLATI A PARTIRE DA SCARTI DI PREIMPREGNATO: ANALISI SPERIMENTALE E MODELLAZIONE NUMERICA

mercoledì 3 settembre 2025 09:30 (15 minuti)

Obiettivi: In questo lavoro, gli autori presentano i risultati preliminari di un progetto PRIN PNRR (“SELF-RE-PREG”, Prot. P2022SLZY4, CUP D53D23018700001) dedicato allo sviluppo di un nuovo materiale composito riciclato a partire da scarti di preimpregnato. L’uso crescente dei materiali compositi genera una significativa quantità di rifiuti, in particolare dai residui di prepreg, che possono costituire fino al 35% del materiale acquistato. Di conseguenza, sono necessarie strategie innovative per la gestione dei rifiuti e il supporto a un’economia circolare.

La soluzione proposta in questa ricerca consiste nel riciclare i residui di preimpregnato tagliandoli in piccoli frammenti quadrati, detti patches, di dimensioni prestabilite. Queste patches vengono poi riassemblate secondo architetture regolari per formare nuovi fogli compositi riciclati, da utilizzare applicando le procedure classiche di laminazione.

L’obiettivo principale della ricerca è valutare le proprietà meccaniche di questi compositi riciclati e confrontarle con quelle del materiale continuo a fibra lunga di riferimento tramite test di flessione a quattro punti. Una volta caratterizzato il nuovo materiale, lo studio evolve dai semplici provini a manufatti più complessi, come componenti a forma di L, con l’obiettivo di valutare l’applicabilità della lamina equivalente anche a componenti più complessi. Infine, sono stati creati modelli numerici, validati con i dati sperimentali, per entrambi i provini, permettendo così studi parametrici e progettazione di componenti ancor più complessi.

Metodologia: Il materiale utilizzato è HEMT-3 CC601E, un tessuto twill in carbonio 2x2 impregnato con resina epossidica, con uno spessore di lamina polimerizzata di 0.39 mm. Le patches, ricavate direttamente dal rotolo di prepreg tramite un plotter da taglio automatico, misurano 50x50 mm², dimensione che rappresenta un compromesso tra la lunghezza della fibra di carbonio e la percentuale di materiale di scarto effettivamente recuperabile. Il nuovo foglio riciclato, denominato “lamina equivalente”, è composto da due strati: il primo strato vede le patches disposte affiancate senza sovrapposizioni, coprendo la superficie senza interruzioni; il secondo strato, realizzato con la stessa procedura, è posizionato sopra il primo, con uno spostamento orizzontale e verticale pari a metà patch, consolidando così la lamina equivalente. Una volta pronta, la lamina può essere utilizzata nelle procedure classiche di laminazione, come un qualsiasi foglio di prepreg continuo.

Per determinare le proprietà meccaniche del nuovo materiale, sono stati realizzati provini rettangolari, testati in flessione a quattro punti (4PB). Successivamente, sono stati creati provini angolari a forma di L, testati poi in trazione, con l’obiettivo di valutare il potenziale impiego della lamina equivalente anche in componenti più complessi (in questo caso con parti curve).

Dal punto di vista numerico, il modello 4PB del provino è stato creato seguendo un approccio deterministico, modellando individualmente ogni patch. Dopo aver ricreato la lamina equivalente, diverse lamine sono state impilate fino a raggiungere lo spessore desiderato. Le interazioni tra le patches sono state modellate utilizzando superfici coesive tra ogni strato e connettori a molla monodimensionali in ogni giunto tra patches affiancate nello stesso strato. Tuttavia, per applicazioni reali, la modellazione basata su patches è impraticabile a causa del tempo necessario per costruire il modello e della sua complessità. Pertanto, per i campioni a forma di L è stato adottato un approccio diverso, modellando la lamina equivalente direttamente con un materiale equivalente che presenta le stesse proprietà meccaniche (rigidezza e resistenza ottenuti dai test 4PB), con interazioni coesive tra ogni strato.

Risultati e conclusioni: I risultati hanno rivelato che, quando le patches sono assemblate in una geometria regolare come quella appena descritta, il nuovo materiale mantiene circa il 50% della resistenza, il 90% della rigidezza e l’80% della resistenza interlaminare del materiale continuo di riferimento. Inoltre, l’impiego della lamina equivalente per la realizzazione di manufatti più complessi, come gli angolari a forma di L, non mostra particolari criticità.

La correlazione tra valori sperimentali e numerici è stata raggiunta in entrambi i casi, sia in termini di re-

sistenza che di rigidità, confermando il potenziale del materiale riciclato (adatto anche per applicazioni strutturali) e della sua modellazione numerica (che permette studi parametrici e progettazioni numeriche di componenti complessi).

Per quanto riguarda le modalità di frattura, nei test 4PB le zone più deboli, dove hanno inizio danneggiamento e fratture, sono le discontinuità tra due patches affiancate. La cricca, una volta innescata, procede nello spessore rompendo strati di fibre e giunzioni. Al contrario, i campioni a forma di L sono caratterizzati da un numero significativo di delaminazioni nella regione angolare.

In conclusione, questo studio dimostra il potenziale del materiale composito riciclato (ottenuto a partire da scarti di preimpregnato tagliati in forme e dimensioni fissate e assemblati secondo architetture regolari) e della sua modellazione numerica, fornendo una solida base per future applicazioni strutturali e contribuendo a una gestione sostenibile dei rifiuti.

Autori principali: Dr. MILITE, Alessandro (Politecnico di Milano); ZUCCHELLI, Andrea (Dipartimento d'Ingegneria Industriale - Università di Bologna); MONGIOÌ, Francesco (Dipartimento d'Ingegneria Industriale - Università di Bologna); Prof. BETTINI, Paolo (Politecnico di Milano); PALAZZETTI, Roberto; BRUGO, Tommaso Maria (University of Bologna - DIN); CALERVO, Lorenzo (Politecnico di Milano)

Relatore: CALERVO, Lorenzo (Politecnico di Milano)

Classifica Sessioni: Compositi

Classificazione della track: Materiali Compositi