

INDAGINE SUI MECCANISMI DI ROTTURA IN COMPOSITI A FIBRA DISCONTINUA OTTENUTI DA SCARTI DI PREIMPREGNATO

Wednesday 2 September 2026 10:15 (15 minutes)

Obiettivi: In questo lavoro gli autori presentano i risultati di uno studio dedicato alla valutazione delle proprietà meccaniche e all'analisi dei meccanismi di rottura in compositi a fibra discontinua. L'ampio impiego dei materiali compositi genera notevoli scarti di preimpregnato, fino al 35% del materiale acquistato, solitamente accumulato in discariche o smaltito in inceneritori. Questo studio propone di riciclare gli scarti tagliandoli in patches regolari e ri assemblandoli in nuovi fogli e rotoli. I materiali così ottenuti conservano circa il 90% della rigidità e il 50% della resistenza, risultando idonei per applicazioni strutturali meno gravose. L'obiettivo di questo studio è duplice: da un lato valutare l'effetto di diverse forme di patches, a parità di area, come rappresentazione di differenti geometrie di interfaccia nelle zone di accostamento, valutandone l'influenza sulle proprietà meccaniche; dall'altro analizzare in dettaglio l'innescò e l'evoluzione della frattura al variare di tali geometrie, così da comprendere i meccanismi di danneggiamento che governano il comportamento del materiale discontinuo.

Materiali e metodi: Il materiale utilizzato è un HEMT-3 CC601E 380 g/m², un tessuto in fibra di carbonio twill 2x2 impregnato con resina epossidica, con una densità di 1.58 g/cm³ e uno spessore di lamina polimerizzata di 0.35 mm. Le patches presentano quattro differenti geometrie, tutte con area costante di 25 cm²: una forma quadrata, due forme a parallelogramma con angoli acuti interni di 22.5° e 45°, e una forma ad arco con raggio di 17.5 mm. Per ciascuna tipologia è stato realizzato un foglio riciclato, o "lamina equivalente", composto da due strati: nel primo le patches sono affiancate senza vuoti né sovrapposizioni, mentre il secondo, identico e posto sopra al primo ma sfalsato di mezza patch in entrambe le direzioni, ne garantisce la coesione impedendone il distacco.

Per determinare le proprietà meccaniche e valutare il comportamento a rottura delle diverse geometrie di interfaccia sono stati realizzati quattro pannelli da cui sono stati ricavati provini a forma di osso di cane, successivamente testati in trazione. Sulla superficie frontale dei provini è stato realizzato, con bombolette spray, uno speckle pattern a puntini neri su fondo bianco per applicare tecniche di Digital Image Correlation (DIC) attraverso il sistema Aramis e monitorare in-situ l'andamento della deformazione sul provino, con particolare attenzione alla regione attorno alla discontinuità in corrispondenza dell'interfaccia. In modo analogo, sullo spessore del provino (circa 2 mm) è stato realizzato uno speckle pattern ancora più fine, applicato con un aerografo, per monitorare, con lo stesso principio, non solo le deformazioni ma anche l'inizio e l'evoluzione della frattura nello spessore. Infine, micrografie ex-situ ad alta risoluzione hanno permesso di analizzare nel dettaglio le modalità di rottura al termine dei test.

Risultati: I risultati hanno mostrato che le diverse geometrie di giunzione determinano un lieve incremento della rigidità dalle discontinuità orizzontali fino a quelle inclinate a 45°, mentre la resistenza è rimasta sostanzialmente invariata. Per ciascuna geometria, la perdita di rigidità ha avuto inizio in momenti diversi, evidenziando la sensibilità del materiale alla forma dell'interfaccia. Inoltre, il successivo rateo di decadimento della rigidità risulta anch'esso variabile, con velocità di degradazione differenti a seconda della configurazione. Per quanto riguarda le modalità di rottura, indipendentemente dalla geometria della giunzione, il monitoraggio in-situ tramite microscopio digitale nello spessore mostra che le fratture si innescano nelle zone ricche di resina in corrispondenza delle interfacce tra patches, le regioni più deboli, per poi propagarsi attraverso delaminazioni e rottura di fibre. Inoltre, i risultati della DIC evidenziano livelli di deformazione più elevati sistematicamente attorno alle giunzioni tra patches, che sono le prime a cedere, con fratture che si originano dai bordi del provino e avanzano verso il centro lungo la larghezza. Le osservazioni ex-situ allo stereomicroscopio, condotte a diversi livelli di ingrandimento, hanno fornito una visualizzazione dettagliata delle superfici di frattura, delle cricche nella matrice e delle fibre rotte.

Conclusioni: Le variazioni nella lunghezza e nell'inclinazione dell'interfaccia di giunzione determinano morfologie di frattura simili, ma con un ritardo nell'onset della cricca e nella nascita di delaminazioni, oltre a variabilità nelle prestazioni meccaniche e nel decadimento della rigidità. Nel complesso, lo studio evidenzia il potenziale del materiale composito riciclato sia dal punto di vista meccanico che nella caratterizzazione del

cedimento, offrendo basi solide per future applicazioni strutturali e per una gestione più sostenibile dei rifiuti.

Primary authors: CALERVO, Lorenzo (Politecnico di Milano); PALAZZETTI, Roberto

Co-authors: MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano); Dr JEDLA, Maheshwara Reddy (Politecnico di Milano); Prof. BETTINI, Paolo (Politecnico di Milano); BRUGO, Tommaso Maria (University of Bologna - DIN)

Presenter: CALERVO, Lorenzo (Politecnico di Milano)

Session Classification: Compositi

Track Classification: Materiali Compositi