

Analisi sperimentale del comportamento a fatica di un composito polimerico rinforzato con fibre di carbonio continue ottenuto per fabbricazione additiva

Thursday 3 September 2026 15:30 (15 minutes)

Obiettivo

In questo lavoro è stato analizzato il comportamento a fatica ad alto numero di cicli di un composito polimerico rinforzato con fibre di carbonio continue (CCFRP), ottenuto mediante fabbricazione additiva per co-estrusione. In particolare, lo studio si concentra sulla caratterizzazione congiunta della risposta meccanica e termica del materiale sottoposto a sollecitazioni cicliche, al fine di valutarne il potenziale impiego in applicazioni strutturali.

Metodi

Sono stati realizzati provini in PA12 rinforzato con fibre di carbonio continue mediante tecnologia FFF (Fused Filament Fabrication) con sistema Anisoprint. Dopo una fase preliminare di prove di trazione quasi-statica, necessarie per determinare le proprietà meccaniche di riferimento ($UTS \approx 570$ MPa), sono stati condotti test di fatica tensione-tensione ($R = 0,1$). I livelli di carico applicati sono stati fatti variare tra il 65% e l'80% della resistenza ultima. Durante le prove sono stati acquisiti segnali di forza, spostamento e temperatura superficiale. Il comportamento meccanico è stato analizzato tramite l'evoluzione dell'area di isteresi e del modulo di Young dinamico, mentre la risposta termica è stata valutata mediante monitoraggio della variazione di temperatura. È stato inoltre effettuato un test ex-situ con osservazioni al microscopio per studiare l'evoluzione dei difetti durante la fatica.

Risultati

Le prove di trazione hanno evidenziato prestazioni superiori per provini con tab rettangolari rispetto a quelli smussati, con rottura prevalentemente nel tratto utile e comportamento fragile. I risultati delle prove di fatica mostrano una dispersione tipica ma permettono di definire una curva di Wöhler descritta dalla legge di Basquin ($A \approx 635$ MPa, $b \approx -0,04$). Il materiale presenta una resistenza a fatica intermedia rispetto a laminati compositi tradizionali e ad altri CCFRP prodotti con tecnologie differenti. Dal punto di vista termico, l'incremento di temperatura durante le prove è risultato limitato ($<3^\circ\text{C}$), indicando un comportamento dominato da meccanismi meccanici piuttosto che termici. L'analisi dell'area di isteresi e del modulo dinamico ha evidenziato un comportamento in due fasi: una fase iniziale di stabilizzazione con riduzione della dissipazione e aumento della rigidità, seguita da una fase di danneggiamento con incremento della dissipazione e degradazione del modulo. Le osservazioni microscopiche hanno mostrato che i difetti di fabbricazione (porosità e discontinuità di matrice) si orientano inizialmente lungo la direzione di carico, per poi crescere e coalescere fino a determinare la rottura.

Conclusioni

Il CCFRP prodotto tramite co-estrusione presenta un comportamento a fatica caratterizzato da una risposta termica debole e da meccanismi di danneggiamento dominati dall'evoluzione dei difetti microstrutturali. La resistenza a fatica risulta promettente per applicazioni strutturali, pur rimanendo inferiore rispetto a compositi tradizionali ottimizzati. Il ruolo critico dei difetti di fabbricazione evidenzia la necessità di migliorare i processi produttivi e la qualità dell'interfaccia fibra-matrice. Futuri sviluppi dovrebbero includere studi in-situ e tecniche avanzate di monitoraggio del danno per una comprensione più approfondita dei meccanismi di rottura e per l'ottimizzazione delle prestazioni del materiale.

Primary authors: Mr PUJOL, Antoine (ENS Paris-Saclay); Mrs PANERAI, Alessandra (Politecnico di Milano); MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano); Prof. CARBONI, Michele (Politecnico di Milano); BERNASCONI,

Andrea (Politecnico di Milano)

Presenter: BERNASCONI, Andrea (Politecnico di Milano)

Session Classification: Compositi

Track Classification: Materiali Compositi