

Modellazione dell'innesco e della propagazione delle delaminazioni nelle strutture in materiale composito mediante un approccio combinato CZM-VCCT

Wednesday 2 September 2026 11:30 (15 minutes)

La delaminazione rappresenta un meccanismo critico di cedimento nei materiali compositi laminati. Originata da concentrazioni di sforzi interlaminari, è responsabile della propagazione di danni estesi all'interno di strutture leggere. La crescita della delaminazione può ridurre significativamente la resistenza residua e la rigidità dei componenti, risultando particolarmente pericolosa nelle applicazioni critiche per la sicurezza. Pertanto, una simulazione accurata di tale fenomeno richiede la modellazione sia dell'innesco del danno sia della sua evoluzione sotto carichi quasi statici e ciclici.

In questo lavoro viene presentato un framework di modellazione ibrido che combina il Cohesive Zone Modelling (CZM) per l'innesco della delaminazione con la Virtual Crack Closure Technique (VCCT) per la sua propagazione. Il CZM consente una rappresentazione accurata dell'inizio della delaminazione tramite una legge di trazione-separazione, offrendo uno strumento versatile per modellare la nucleazione del danno interlaminare senza la necessità di definire preventivamente una cricca. Al raggiungimento della completa degradazione dei primi elementi, viene definita una delaminazione discreta.

Il fronte di delaminazione viene quindi automaticamente rimappato su un nuovo modello e l'analisi viene trasferita a una formulazione basata sulla VCCT. Quest'ultima è impiegata per valutare lo Strain Energy Release Rate (SERR) in condizioni di modo misto al fronte di cricca, al fine di determinarne la propagazione.

La metodologia ibrida proposta è implementata in un workflow automatizzato in Python, che gestisce tutte le fasi: dal pre-processing agli elementi finiti, all'estrazione del fronte di delaminazione, fino all'aggiornamento del danno e al post-processing.

Il framework è validato mediante benchmark sperimentali consolidati, al fine di valutarne la capacità di prevedere la posizione di innesco della cricca e il comportamento di propagazione sotto diverse condizioni di carico.

Questo approccio combinato consente di sfruttare la semplicità della VCCT —che richiede esclusivamente i valori di tenacità a frattura per modellare la propagazione —compensandone al contempo i limiti nella previsione dell'innesco tramite l'impiego del CZM. Il risultato è uno strumento versatile e accurato per l'analisi della delaminazione nei laminati compositi.

Primary authors: SALVI, Leonardo Guido (Politecnico di Milano); DA CRUZ SOBRAL PICOTO DE ASSUNÇÃO, Guilherme; SAFAEI, Sajjad (Politecnico di Milano); BERNASCONI, Andrea (Politecnico di Milano); MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano)

Presenter: SALVI, Leonardo Guido (Politecnico di Milano)

Session Classification: Compositi

Track Classification: Materiali Compositi