



ID contributo: 34

Tipo: **Presentazione orale**

L'algoritmo Sequential-Static Fatigue: implementazione con elementi coesivi o VCCT per la modellazione di delaminazione in materiali compositi

mercoledì 3 settembre 2025 10:00 (15 minuti)

La delaminazione è uno dei principali meccanismi di cedimento nei materiali compositi, soprattutto sotto carichi ciclici. Predire e simulare accuratamente questo fenomeno è fondamentale per migliorare la sicurezza e l'affidabilità delle strutture leggere in composito. In questo lavoro, presentiamo un approccio recentemente sviluppato per questo scopo, l'algoritmo Sequential Static Fatigue, e ne confrontiamo due diverse implementazioni: la prima, denominata C-SSF, utilizza gli elementi coesivi, mentre la seconda, denominata V-SSF, sfrutta la Virtual Crack Closure Technique (VCCT).

Entrambi gli approcci sono stati validati su dati sperimentali disponibili in letteratura. In particolare, una prima validazione sperimentale è stata effettuata su provini standard di tipo Double Cantilever Beam (DCB, per il modo I), End Notched Flexure (ENF, per il modo II) e Mixed Mode Bending (MMB, modo misto I-II). Entrambi gli approcci hanno mostrato un'eccellente accuratezza, validando l'algoritmo SSF nei diversi modi di propagazione. Confrontato con un algoritmo commercialmente disponibile (il Direct Cyclic di Abaqus), la V-SSF ha mostrato un risparmio di tempo di simulazione fra i due e i tre ordini di grandezza. Per il C-SSF, non è ancora disponibile un benchmark commerciale, ma l'algoritmo ha comunque mostrato tempi di simulazione piuttosto limitati.

Una validazione aggiuntiva è stata effettuata su un provino non-standard, cioè un DCB di dimensioni maggiori (175 mm x 60 mm) rinforzato da due piastre che ne causano una delaminazione ampia e molto curva. In questo caso, l'algoritmo V-SSF ha mostrato buoni risultati per carichi bassi, ma una inaccuratezza significativa per carichi maggiori. La causa di ciò è una lettura errata del tasso di rilascio dell'energia elastica all'apice del fronte di delaminazione: la VCCT è infatti soggetta a tali inaccurattezze in caso di fronti larghi e molto curvi. Il C-SSF ha invece confermato l'ottima accuratezza se confrontato con i dati sperimentali.

In generale, sono evidenziati gli enormi vantaggi nell'utilizzo dell'algoritmo SSF, sia in termini di accuratezza che di costo computazionale. Poiché la sua implementazione non richiede la scrittura di subroutine dedicate (per esempio UMAT o UEL di Abaqus), come è prassi nel caso di elementi coesivi, l'algoritmo risulta anche di facile adozione.

Autori principali: MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano); SAFAEI, Sajjad (Politecnico di Milano); SALVI, Leonardo (Politecnico di Milano); CARBONI, Michele (Politecnico di Milano); BERNASCONI, Andrea (Politecnico di Milano)

Relatore: MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano)

Classifica Sessioni: Compositi

Classificazione della track: Materiali Compositi