

---

## Formulazione di un modello di delaminazione in modo misto in presenza di fiber-bridging e transizione da piccole a grandi aperture

Federica Confalonieri<sup>1</sup>, Umberto Perego<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DICAr, University of Pavia, Pavia, Italy  
E-mail: federica.confalonieri@unipv.it

<sup>2</sup>DICA, Politecnico di Milano, Milano, Italy  
E-mail: umberto.perego@polimi.it

**Keywords:** Delaminazione, fiber-bridging, modello coesivo

Sebbene l'approccio coesivo fornisca uno strumento efficace per la simulazione agli elementi finiti di fenomeni di delaminazione, i modelli coesivi classici, formulati nell'ipotesi di piccole aperture, cadono in difetto in presenza di grandi aperture o di fiber-bridging. Nel primo caso, infatti, può verificarsi una violazione dell'equilibrio alla rotazione [1], mentre nel secondo lo sviluppo estensivo di fenomeni di fiber-bridging può causare un sensibile incremento dell'energia di frattura, tipicamente espresso in termini di curva R [2]. Inoltre, la delaminazione si sviluppa, in generale, in modo misto e la risposta meccanica è governata dalla presenza concomitante di sforzi normali e tangenziali e dall'interazione tra essi. In questo lavoro, il modello coesivo per la simulazione di fenomeni di delaminazione in modo misto sotto l'ipotesi di piccole aperture, descritto in [3], viene esteso per tener conto di fenomeni di fiber-bridging e del raggiungimento di grandi aperture. In regime di piccole aperture, si ricorre ad elementi di interfaccia classici: come proposto in letteratura [2], in puro modo I si adotta una legge sforzo coesivo-spostamento relativo di tipo trilineare, mentre in puro Modo II viene utilizzata una legge di tipo bilineare, coerentemente con il fatto che il fiber-bridging è governato da condizioni di carico di prevalente modo I. In presenza di grandi aperture, si propone invece l'utilizzo di un elemento di interfaccia a fibrilla, concettualmente simile all'elemento coesivo direzionale descritto in [4], che garantisce l'equilibrio alla rotazione per effetto della co-linearità di sforzi coesivi e spostamenti relativi. Viene inoltre introdotta una procedura di transizione da piccole a grandi aperture basata su un criterio di attivazione a danno crescente con il rapporto di modo misto, tale da evitare discontinuità nell'energia dissipata.

### References

- [1] Vossen, B.G., Schreurs, P.J.G., van der Sluis, O. and Geers, M.G.D., "On the lack of rotational equilibrium in cohesive zone elements", *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, **254**, pp. 146-153, (2013).
- [2] Dávila, C.G. Rose, C.A. and Camanho P.P., "A procedure for superposing linear cohesive laws to represent multiple damage mechanisms in the fracture of composites", *Int. J. Fracture*, **158**, pp. 211-223 (2009).
- [3] Confalonieri, F., and Perego, U., "Simulation of fracture and delamination in layered shells due to blade cutting", *J. Serb. Soc. Comput. Mech.*, **11**, pp. 139–151 (2017).
- [4] Confalonieri, F., Ghisi, A., and Perego, U., "Blade cutting of thin walled structures by explicit dynamics finite elements", *Meccanica*, **53**, pp. 1271-1289 (2017)