

Studio di giunzioni ibride avanzate metallo-composito con funzionalità self-sensing

Wednesday 2 September 2026 10:45 (15 minutes)

Le giunzioni ibride metallo-composito stanno trovando crescente impiego in strutture leggere grazie al buon compromesso tra rigidità, resistenza e riduzione di massa; tuttavia, la loro affidabilità è spesso limitata dalla difficoltà di individuare precocemente danni all'interfaccia, quali distacchi locali o delaminazioni, che possono evolvere senza evidenze macroscopiche. In questo contributo proponiamo un approccio di Structural Health Monitoring integrato nella giunzione, basato su una misura capacitiva continua e non invasiva. La giunzione è concepita come un sistema tipo condensatore, in cui una parte metallica funge da elettrodo di riferimento mentre contro-elettrodi sottili applicati sulla superficie del composito costituiscono gli altri elementi per costruire il sistema di misura; lo strato polimerico rinforzato con fibre di vetro agisce da dielettrico, rendendo la capacità sensibile alle variazioni di continuità e di spessore del materiale interposto. Un aspetto distintivo del lavoro è l'impiego di interfacce 3D costituite da micro strutture reticolari a forma piramidale ottenute per manifattura additiva: oltre a contribuire al trasferimento di carico, tali geometrie modificano la distribuzione del campo elettrico e possono aumentare la sensibilità del segnale rispetto a soluzioni con interfacce piane. L'architettura di sensing è stata valutata sia in configurazione con elettrodo singolo, sia in configurazione multi elettrodo, per esplorare la possibilità di ottenere un'informazione anche spaziale sull'evoluzione del danno. La risposta del sistema è stata indagata combinando prove meccaniche a danneggiamento controllato con simulazioni elettrostatiche. Nelle analisi numeriche è stata simulata la propagazione virtuale della cricca all'interfaccia metallo-composito al fine di verificare il suo effetto sul campo elettrostatico e quindi sulla misura della capacità. Nel complesso, le evidenze sperimentali e numeriche indicano che la capacità varia in modo coerente con l'avanzamento della separazione tra metallo e composito e che la presenza dell'interfaccia 3D rende il segnale più informativo, in particolare nelle fasi iniziali di degradazione. Inoltre, l'adozione di più elettrodi consente di seguire qualitativamente la progressione del fronte di danno lungo la giunzione, distinguendo le zone non ancora danneggiate da quelle già degradate. I risultati supportano la fattibilità per lo sviluppo della tecnologia self-sensing capacitiva come strumento per diagnosi precoce e tracciamento del danno in tempo reale in giunzioni ibride, riducendo la dipendenza da ispezioni periodiche e favorendo il loro impiego di giunzioni ibride nelle applicazioni industriali.

Primary author: GOTTI, Carlo (Advanced Mechanics and Materials–Interdepartmental Center for Industrial Research (CIRI-MAM), Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Bologna, Italy)

Co-authors: MORONI, Fabrizio (Università degli Studi di Parma); CASTRO, Mario (Dipartimento d'Ingegneria Industriale - Università di Bologna); RAIMONDI, Luca (Dipartimento d'Ingegneria Industriale - Università di Bologna); BRUGO, Tommaso Maria (University of Bologna - DIN); ZUCCHELLI, Andrea (Università di Bologna)

Presenter: GOTTI, Carlo (Advanced Mechanics and Materials–Interdepartmental Center for Industrial Research (CIRI-MAM), Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Bologna, Italy)

Session Classification: Compositi

Track Classification: Materiali Compositi