

VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI STRUTTURE IN MATERIALE COMPOSITO MEDIANTE EMISSIONE ACUSTICA

A.C. Lucia, G.P. Solomos, C. Santulli, R. Marini, A. Caretta.

COMMISSIONE EUROPEA - CENTRO COMUNE DI RICERCA
ISTITUTO DI INGEGNERIA DEI SISTEMI E INFORMATICA 21020 ISPRA (VA)

SOMMARIO

La presente memoria fa riferimento alle attività svolte dal Settore Diagnostica ed Affidabilità dell'Istituto di Ingegneria dei Sistemi e Informatica (ISEI) del CCR di Ispra nell'ambito della tematica della valutazione dell'affidabilità di strutture in composito mediante l'uso delle tecniche di monitoraggio dell'energia acustica: emissione acustica e tecnica acoustultrasonica. L'elaborazione dei risultati acoustultrasonici in particolare prevede l'utilizzazione anche di sistemi di intelligenza artificiale (codice ICEPAK).

Più in particolare le attività presentate riguardano collaborazioni con gruppi industriali (SIAI Marchetti, FIAT, Alenia) e studi effettuati nell'ambito di reti europee ed italiane di laboratori.

Sono state effettuate sperimentazioni sia su provini di materiale composito (sia a matrice polimerica che metallica) che su strutture (tronco di fusoliera) con particolare riguardo per l'interesse aeronautico dei materiali studiati con le tecniche acustiche di monitoraggio. Inoltre un autonomo filone di ricerca è stato quello della valutazione di qualità su giunti incollati metallo/metallo attraverso il monitoraggio dell'emissione acustica durante il ciclo di polimerizzazione e il riconoscimento di giunti buoni e difettati in vari modi mediante addestramento di un classificatore.

ATTIVITA' SVOLTE

1. Monitoraggio a fatica su tronco di fusoliera SIAI Marchetti

Il componente da esaminare è stato un tronco cilindrico di fusoliera in materiale composito, fibra di carbonio e resina epossidica (dimensioni indicate in fig. 1).

La parete è costruita con pannelli sottili e rinforzata con 48 correnti paralleli all'asse del cilindro ed equidistanti l'uno dall'altro e con 4 ordinate circonferenziali a distanza di 0,5 m l'una dall'altra. I diversi giunti sono realizzati tramite adesivo e rivetti meccanici. Le due testate sono predisposte e rinforzate per l'alloggiamento dei due tappi di chiusura. La zona sotto esame è la fascia centrale del cilindro di 1,5 m di altezza, la quale contiene anche un finestrino di 0,32 x 0,28 m.

Il programma di prova prevede le seguenti sollecitazioni per la fusoliera :

1. Pressurizzazione lenta da 0 a 8,65 psi (6 MPa)
2. Ciclaggio a fatica per un massimo di 90000 cicli come quello riprodotto in fig. 2.
3. Pressurizzazione finale da 0 a 13 psi (9 MPa)

La pressurizzazione è stata condotta con andamento a gradini, ciascuno di 1,5 psi, con periodi a pressione costante ognuno di 2 minuti, mentre la depressurizzazione è stata eseguita rapidamente, senza controlli particolari.

Misure di emissione acustica sono state eseguite durante le fasi 2 e 3.

L'apparecchiatura utilizzata, in questa come nelle altre applicazioni mostrate, è il LOCAN - AT della PAC nella configurazione a 2 canali. Due trasduttori risonanti PAC R15, con frequenza di picco di 150 kHz, sono stati posizionati in vicinanza dei correnti no.3 (circa 20 cm dal finestrino) e no. 34 e fissati con grasso silconico.

Risultati

I risultati possono riassumersi nei seguenti tre punti:

- Nel corso del ciclaggio da 75000 a 90000 cicli non si è verificata alcuna importante alterazione strutturale, ma solo un innesco di danneggiamento.
- La pressurizzazione finale ha viceversa danneggiato il pezzo: infatti nei periodi di mantenimento a pressione costante dalle 6 psia in poi l' emissione acustica non cessa, ma si verificano anzi eventi di notevole ampiezza (oltre i 70 dB) (fig. 2).
- Nella parte finale della pressurizzazione (oltre le 10 psi) la curva Conteggi cumulativi - Pressione perde la propria linearità e questo indica l' instaurarsi di uno stato di danneggiamento più grave nella struttura, che prelude probabilmente al cedimento strutturale della stessa (fig. 3).

2. Studio in emissione acustica della resistenza a trazione di compositi

Un notevole problema, nell' approccio meccanico classico ai compositi fibrorinforzati, è la difficoltà di ottenere dalle curve $s - \epsilon$ e una valutazione del limite elastico del materiale e quindi indicazioni concrete sulla validità strutturale di un tale materiale sottoposto ad un certo carico, per es. a trazione.

Questo lavoro fa parte delle sperimentazioni effettuate nell' ambito di un network europeo su "Diagnostics and reliability of composite materials and structures for advanced transportation applications".

Tra i nostri compiti specifici era investigare la possibilità di valutare efficacemente la resistenza a trazione di compositi rinforzati in fibra di carbonio attraverso lo studio di uno pseudo - snervamento, che potrebbe rivelarsi come un limite di affidabilità strutturale del materiale , osservabile come "ginocchio" della curva (cambiamento di pendenza) sulle curve Conteggi Cumulativi - Carico.

Sono stati esaminate a questo scopo tre serie di provini:

- 1) Provini per trazione in lega leggera 2024 T3.
- 2) Laminati unidirezionali a 0° ed a 90° in matrice epossidica 5245C e fibre di carbonio T800 prepreg.
- 3) Laminati unidirezionali a 0° in matrice epossidica 6376C e fibre di carbonio T400 prepreg.

Le prove a trazione sono state effettuate con una macchina universale per prove meccaniche ZWICK mod. 1488, mentre, per quanto riguarda l' emissione acustica, oltre ad un sensore risonante a 150 kHz, è stato utilizzato anche un sensore a larga banda (100 - 1000 kHz).

Acquisizioni di forme d' onda tipiche sono state inoltre effettuate con l' oscilloscopio digitale DATA 6000A della Analogic.

Risultati

Come si può osservare a titolo di esempio nella fig. 4, per i materiali esaminati le curve Conteggi Cumulativi - Carico permettono di ottenere per interpolazione grafica i valori dello snervamento, assimilando così il comportamento dei compositi a quello della lega leggera esaminata.

Per tale determinazione grafica è stata seguita una dei metodi suggeriti in letteratura e cioè tracciare una retta per unire i due punti corrispondenti nel grafico al 20 % ed all' 80 % dei conteggi cumulativi.

Ulteriori risultati sono in corso di pubblicazione.

Stanno iniziando inoltre, nell' ambito di un secondo network europeo, le prove sugli MMC (Metal Matrix Composites) con emissione acustica ed emissione termica, allo scopo di estendere a quest' altro tipo di materiali compositi lo studio sullo snervamento già effettuato sui compositi a matrice polimerica descritti in precedenza.

3.Valutazione di affidabilità di giunti incollati

a.Monitoraggio in emissione acustica dell' incollaggio di giunti metallo/metallo

I giunti adesivi sono sempre più utilizzati nel campo dell' ingegneria delle costruzioni ed in particolare nell' industria aeronautica. Essi offrono concreti vantaggi rispetto alle altre forme di giunzione meccanica (p.es. bullonatura, rivettatura) riducendo la concentrazione delle tensioni attraverso il giunto, aumentando la resistenza della giunzione al taglio, offrendo la possibilità di congiungere materiali diversi ecc.

Vi sono tuttavia dei fattori, a cominciare dal trattamento superficiale (primer ed ossido anodizzante) e dalle condizioni ambientali durante la creazione ed il servizio della giunzione, che ne influenzano notevolmente la qualità.

Per questo risulta necessario disporre di tecniche PnD particolarmente efficaci nella valutazione dell' affidabilità e della qualità del giunto, anche attraverso un monitoraggio di processo dell' incollaggio.

L' interesse é stato concentrato sull' interfaccia tra provino ed adesivo. Per questo sono stati preparati tre tipi di provini:

- 1) Con intera superficie incollata
- 2) Con solo la metà centrale della superficie incollata
- 3) Con adesivo isolato con teflon, così da avere polimerizzazione, ma non adesione.

Prima di effettuare le prove sui giunti metallo - metallo (lega leggera 2024 T3) forniti da ALENIA, una vasta esperienza é stata raggiunta attraverso il suddetto monitoraggio effettuato su provini SIAI - Marchetti e poi nella messa a punto del sistema attraverso la simulazione, mediante Variac, del seguente ciclo reale di polimerizzazione in pressa a piani caldi:

pressione applicata : 2,45 kg/cm²

temperatura di polimerizzazione: 107-127 °C.

velocità di riscaldamento: 0,6 -5,6 °C/minuto (mediamente 3,5 °C/minuto).

tempo di polimerizzazione : almeno 90 minuti primi.

Infine si raffredda il giunto e si scarica la pressione non appena si sono raggiunti i 66 °C.

I provini forniti da ALENIA hanno le dimensioni di mm 76.2 x 25.4 x 1.6 e sono nella condizione finale di trattamento (ossidazione fosforica, applicazione primer) prima del processo di incollaggio.

Le dimensioni della giunzione sono di mezzo pollice quadrato (25.4 x 12.7 mm).

L' emissione acustica veniva acquisita con un sensore risonante a 150 kHz, posto non lontano da un' estremità del provino (cioè col centro del sensore a circa 5 cm dall' area del giunto).

Risultati

In tutte le prove effettuate, considerate ciascuna nel suo insieme, e' risultato possibile dai diagrammi di emissione acustica, filtrati del rumore meccanico ed ambientale, ottenere una chiara distinzione del comportamento del materiale nelle tre fasi (fig.5).

Il tipico segnale di polimerizzazione é risultato, da un' analisi più dettagliata i cui risultati sono in corso di pubblicazione, un segnale di bassa energia, ma di lunga durata e con un precursore di solito abbastanza lungo.

Si nota in fig. 6 come non siano difatti infrequenti i segnali di lunga durata nelle prove eseguite. Ci

si é poi in particolare concentrati sulla fase di raffreddamento della prova, nella quale con andamento tipico, il segnale di emissione acustica tende a spegnersi prima del raggiungimento dei 66° C.

Questa sperimentazione é comunque ben lungi dall' essere esaurita.

b. Prove acusto - ultrasoniche su giunti incollati

Il materiale, fornito dalla FIAT, consiste in n. 60 provini di acciaio di dimensioni 171x47x0,8 mm, fatti aderire , dopo trattamento superficiale, per sovrapposizione semplice attraverso un collante epossidico con area di giunzione di 47x12.7 mm.

Si ottengono così n. 30 giunti divisi in tre serie da 10:

I serie: Giunti ideali (correttamente incollati).

II serie Giunti difettati per rilascio dello stampo su una lunghezza centrale di 15 mm.

III serie Giunti difettati per asportazione della colla per una lunghezza centrale di 8 mm.

Sono state collocate due sonde, una ultrasonora in trasmissione ed una di emissione acustica in ricezione dalle due parti opposte del giunto, rispettivamente a 4 ed a 10 cm da esso. La sonda ultrasonora non viene posta direttamente sopra la giunzione per non acquisire segnali fortemente influenzati dalla differenza di spessore.

Metà dei provini (5 per serie) sono stati utilizzati per il training del sistema ICEPAK, mentre l' altra metà viene riconosciuta automaticamente dal classificatore allenato.

Si accludono tipici segnali relativi alle tre serie di provini (fig. 7,8 e 9), ottenuti sempre dall' oscilloscopio digitale DATA6000A .

4. Conclusioni

In un ambito di problemi abbastanza ampio, anche se con una maggiore enfasi sullo studio di materiali aeronautici, l' Emissione Acustica si é dimostrata un metodo particolarmente utile per valutazioni di affidabilità strutturale, soprattutto laddove la mole dei dati raccolta permette analisi di tipo statistico su campioni abbastanza ampi.

Inoltre é una tecnica i cui risultati possono correlarsi senza problemi ad altre tecniche PnD, fornendo in molti casi un esauriente quadro d' insieme sullo stato del materiale o della struttura.

Questa analisi statistica deve essere comunque preceduta da un profondo studio di ogni segnale acquisito in tutte le sue variabili, unico studio che permetta di valutare la rispondenza di un dato segnale ad un determinato fenomeno fisico.

Da questo discende la necessità, per un laboratorio che si interessi di emissione acustica, di affiancare, a sistemi di monitoraggio di tipo industriale (schede di acquisizione) , anche strumenti più tradizionali di verifica (p.es. un oscilloscopio) che permettono oltretutto di non perdere di vista il problema essenziale della calibrazione del sistema.

5. Bibliografia

1. Norma ASTM E1067

2. J.M. Berthelot, J. Rhazi.

Acoustic Emission in Carbon Fibre Composites

Composites Science and Technology no. 37 1990 pp. 411-428.

3. J.M. Berthelot, J. Rhazi.

Different Types of Amplitude Distributions in Composite Materials.

Proceedings of Second International Symposium on Acoustic Emission from Reinforced Plastics.

Montreal, Canada July 1986 pp.96 - 103.

4. J.R. Mitchell, M.J.Fasnacht, J.E. Dombach, B.K.Winkler.
The development of a standard testing procedure to yield an acoustic emission versus strain curve.
Atti dell'AECEM4 Fourth International Symposium on Acoustic Emission from Composite Materials, Seattle, Wa. - USA, 27 - 31 luglio 1992, pp.209-228.
5. R.D. Adams, P. Cawley.
A review of defect types and nondestructive testing techniques for composites and bonded joints.
NDT International Vol. 21 No. 4 Agosto 1988.
6. G.P. Solomos, A.C.Lucia, C.Santulli, A.Caretta.
Adhesive joint quality assessment via Acoustic Emission monitoring.
6eme Conference Europeenne sur les Controles non Destructifs, Nice (France) 24 - 28 ottobre 1994.
7. Norma ASTM E 1495 - 92.
Standard guide for Acousto - Ultrasonic Assessment of Mechanical Properties of Composites, Laminates and Bonded Joints.
8. Y. Youssef, A. Fahr, C. Roy.
Nde of adhesively bonded joints using acousto - ultrasonics and pattern recognition.
Nondestructive Characterization of Materials IV, Plenum Press, New York and London 1991.