

SIGNIFICATO STRUTTURALE DELLE DISTRIBUZIONI DEGLI EVENTI DI EMISSIONE ACUSTICA DURANTE PROVE DI TRAZIONE DI MATERIALI COMPOSITI

Carlo Santulli

CEC- Centro Comune di Ricerca- ISEI - ISPRA (VA)

SOMMARIO

In questo lavoro si presenta un'applicazione dell' emissione acustica in supporto a prove di trazione, allo scopo di indurre suggerimenti atti ad integrare l' acquisizione della curva sforzo-deformazione per giungere a considerazioni più sottili sulla loro zona di transizione elasto-plastica che possano in definitiva migliorare l' utilizzo industriale del materiale. Dalla classificazione degli eventi di emissione acustica rispetto ai valori di alcuni parametri del segnale (conteggi, durata), oltre che dalle classiche curve quasi-gaussiane di distribuzione degli eventi rispetto all' ampiezza e dalle loro variazioni, monitorate in tempo reale nel corso della prova, si può arrivare alla determinazione di un limite di affidabilità del materiale rispetto alla sollecitazione in oggetto.

Tale limite, unito alle indicazioni che le variabili dell' emissione acustica forniscono rispetto alle complesse modalità di danneggiamento del composito, per la presenza sostanziale di tre fasi in interazione tra loro (matrice, fibre, interfaccia), permette in ultima analisi di rilevare se il valore di un determinato coefficiente di sicurezza applicato al materiale usato nel progetto possa venir ridotto senza detrimento per l' affidabilità della struttura.

INTRODUZIONE

La verifica delle proprietà meccaniche dei materiali compositi allo scopo di individuare le massime sollecitazioni che garantiscano ancora la piena affidabilità strutturale è un problema particolarmente sentito a livello industriale. Permane infatti incertezza sulle modalità più realistiche per la determinazione del valore del limite quasi-elastico del materiale e si ha inoltre una grande variabilità dei loro carichi di rottura, anche ferma restando la formulazione del composito e la sua tecnologia di fabbricazione e di introduzione del rinforzo.

Precedenti esperienze di utilizzo dell' emissione acustica in supporto a prove di trazione di compositi fibrorinforzati a matrice metallica o polimerica [1,2], hanno dimostrato la difficoltà di dedurre considerazioni definitive sull' affidabilità strutturale del materiale ad un certo carico dalla semplice osservazione delle curve σ - ϵ . L' emissione acustica per sua natura dà indicazioni sulla situazione microstrutturale del composito al carico istantaneamente raggiunto ed è perciò essenziale per la definizione di un limite di utilizzo industriale del materiale.

Una prima valutazione efficace della resistenza a trazione di compositi rinforzati in fibra di carbonio si può conseguire p.es. attraverso lo studio di uno pseudo - snervamento, osservabile come "ginocchio" della curva (cambiamento di pendenza) sulle curve Conteggi Cumulativi - Carico [3,4].

Un secondo terreno di analisi è costituito senz'altro dall'analisi degli eventi di emissione acustica distinguendoli in base ai loro valori dei parametri caratteristici. Questo permette innanzitutto una valutazione complessiva del "peso specifico" di un certo evento in un processo di danneggiamento. La prima osservazione a questo proposito è che solitamente eventi costituiti da pochissime oscillazioni o di bassissima energia possono essere scartati in questo contesto senza che l'attendibilità dei risultati ne risenta, ma col vantaggio di maneggiare una mole di dati assai meno consistente. Per inciso, se la percentuale di eventi scartati con un determinato tipo di filtraggio durante una prova varia considerevolmente tra diversi provini della stessa serie, questo può rappresentare un "indizio" della presenza di più o meno consistenti difettosità di partenza nel materiale.

Si passa poi allo studio della fenomenologia di difetti presente nel materiale: per questo è utile soffermarsi sulla scansione eventi-ampiezza, sulle durate relative degli eventi e su quanto altro (p.es. tempo di salita del segnale e sua maggiore o minore impulsività) nel corso della prova mostri variazioni significative col carico applicato. Lo scopo finale è arrivare ad una sicura discriminazione dell' incidenza relativa nel materiale dei diversi tipi di danneggiamento.

Una tale indagine [5,6] riceve un' utile conferma, oltre che dai valori di resistenza meccanica ed elasticità ed anche, ove possibile, da eventuali analisi frattografiche [7].

METODI E MATERIALI

Sono stati esaminati, allo scopo di confrontarne i risultati, due serie di provini di materiali diversi, il più possibile rappresentativi dei vari tipi di compositi fibrorinforzati:

1. laminati unidirezionali con otto strati a 0° in matrice bismaleimmidica (BMI) e fibre di carbonio prepreg (circa in percentuale del 50 % in volume)
2. compositi di lega 2014T6 rinforzati con un 15% di fibre di allumina introdotte per infiltrazione.

L'apparecchiatura utilizzata è il LOCAN - AT della PAC nella configurazione a quattro canali, due dei quali venivano posti in acquisizione e due di guardia. I canali erano collegati a trasduttori risonanti PAC R15, con frequenza di picco di 150 kHz posti, i due in acquisizione sul provino e gli altri due sulle ganasce della macchina di trazione e fissati con grasso siliconico e nastro adesivo. La velocità di applicazione del carico in controllo di spostamento era di 1 mm/min sui compositi Carbon/BMI e di 0.2 mm/min sugli Al/Al₂O₃.

RISULTATI

In fig.1 e 2 sono riportate le curve carico-tempo relative rispettivamente ai compositi a matrice metallica e polimerica considerati. È qui osservabile, più chiaramente in fig.1, meno in fig.2, una diminuzione di pendenza di queste curve che è indice sicuramente del passaggio ad una fase ulteriore del danneggiamento.

Considerazioni sicuramente più dettagliate sono mostrate nelle fig.3 e 4 (curve conteggi cumulativi-carico) che mostrano, come ai fini dell'affidabilità strutturale la trazione di un materiale composito possa dividersi in tre fasi, la prima delle quali rappresenta l'intervallo di carico al quale può essere utilizzato industrialmente il materiale.

Per la disamina del significato delle altre due fasi occorre andare più a fondo nell'osservazione dei singoli eventi di emissione acustica. Occorre tuttavia preliminarmente notare (fig.4) come il passaggio da una fase all'altra del danneggiamento nel composito Carbon/BMI sia preceduto da un violento scoppio di emissione acustica (i due "scalini" della curva in questione), da ascrivere con ogni probabilità al grande volume di fibre presente, che amplifica particolarmente la variazione del livello del danno nel materiale.

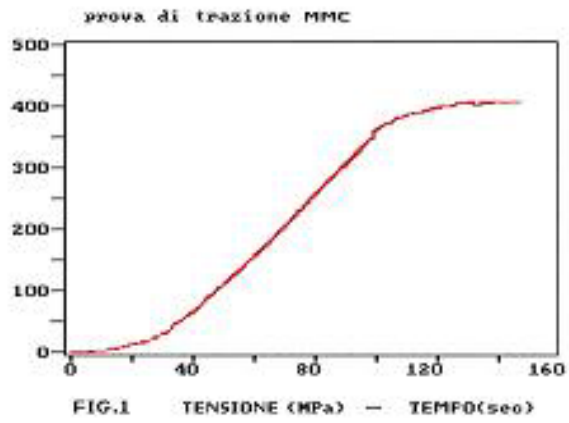


Fig. 1

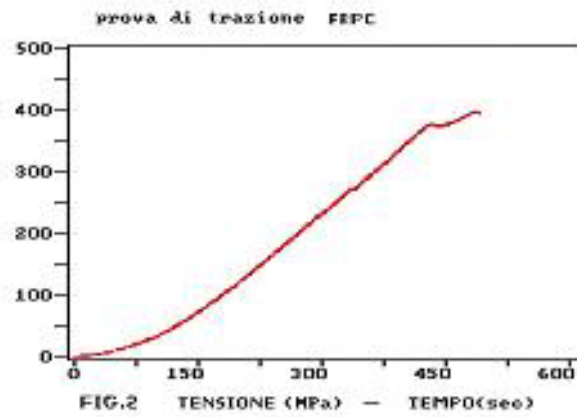


Fig. 2

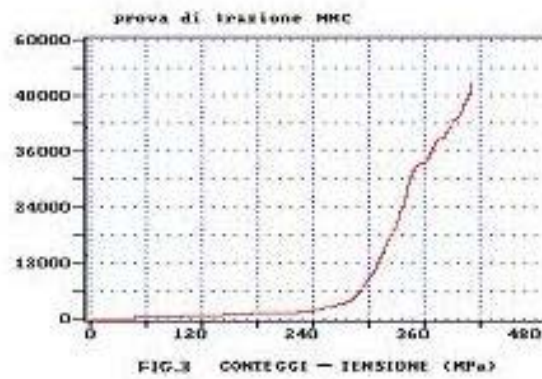


Fig. 3

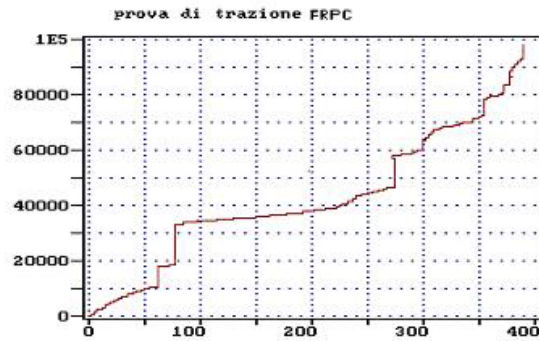


FIG.4 CONTEGGI - TENSIONE (MPa)

Fig. 4

Le curve successive rappresentano le ampiezze degli eventi di emissione acustica riscontrati durante la prova (fig.5-7-9-11) e raffrontati con le loro rispettive durate (fig.6-8-10-12). Tali distribuzioni sono state riscontrate in due momenti diversi della prova:

- i grafici contrassegnati con "parziale" (fig.5-6-9-10) le riproducono prima della transizione dalla prima alla seconda fase delle fig.3 e 4, cioè ancora in fase di utilizzo ad un carico sopportabile senza danneggiamento sostanziale del materiale, quel comportamento che in un metallo si definirebbe con una sola parola elastico.
- I grafici invece segnalati con la parola "finale" rappresentano le distribuzioni al termine della prova, cioè al momento della rottura.

Infine le fig. da 5 ad 8 si riferiscono al composito Carbon/BMI, mentre le fig. da 9 a 12 al composito Al/Al₂O₃.

Passiamo all' esame di ciò che può esser dedotto dai diagrammi di emissione acustica sul comportamento del composito a matrice polimerica. In fig.5 si può notare come all' inizio della prova, pur nella sporadicità dell'attività acustica, si trovino alcuni eventi di ampiezza anche superiore ai 60 dB, dovuti a rotture di fibre pretensionate. Si osservi peraltro che in un materiale di struttura complessa come il presente laminato, è del tutto improbabile un'assenza di emissione acustica anche a bassi carichi, poiché il criccarsi della matrice (eventi al limite della soglia: 45-50 dB) inizia molto presto e procede con una certa regolarità almeno in questa fase. Influisce certo su questo anche la velocità di trazione piuttosto alta.

D'altronde, proprio perché era nota la particolare "rumorosità" di questo tipo di compositi, la soglia era stata impostata sul valore, notevolmente alto, di 45 dB. In questa fase (fig.6) si può vedere anche come non siano infrequenti fenomeni di plasticizzazione locali e delaminazioni, osservabili dal numero di eventi con durata superiore ai 2000 μ s.

Andando oltre il limite di affidabilità del materiale, risulta evidente (fig.7) come le ampiezze si spostino sensibilmente verso l' alto, principiando il danneggiamento dell' interfaccia, ed infine la copresenza di tutti i fenomeni di alterazione strutturale porta al rilevamento di eventi su tutto l' intervallo delle ampiezze, ed è quando si inseriscono prepotentemente le rotture di fasci di fibre ai massimi livelli dell' ampiezza (100 dB).

La fig.8 chiarisce il concetto, mostrando in definitiva una suddivisione del diagramma in due scie nella zona delle alte ampiezze: quella ad andamento prevalentemente orizzontale (eventi più brevi rispetto alle ampiezze) associabile ai fenomeni direttamente legati alle fibre, mentre l'altra, più verticale, evidenzia il danneggiamento dell' interfaccia (delaminazioni, pullout).

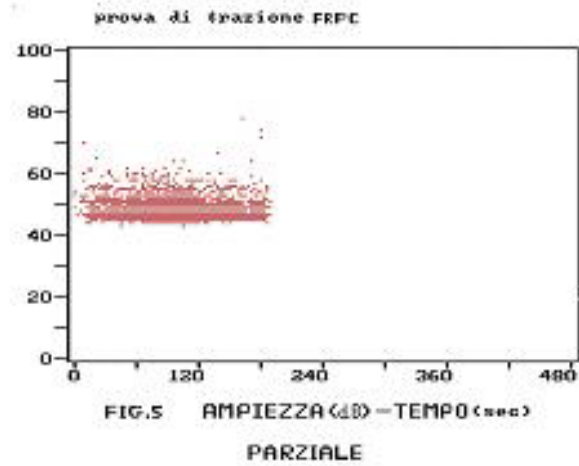


Fig. 5

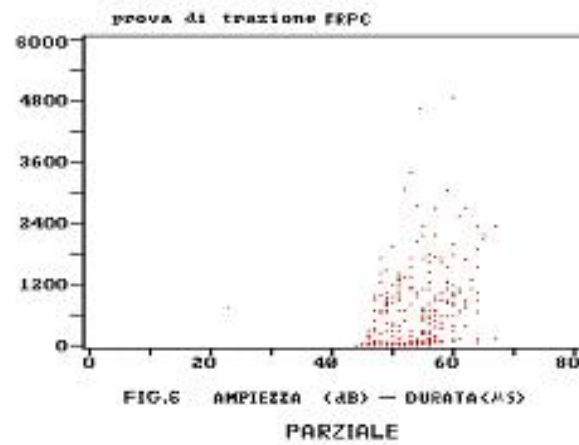


Fig. 6

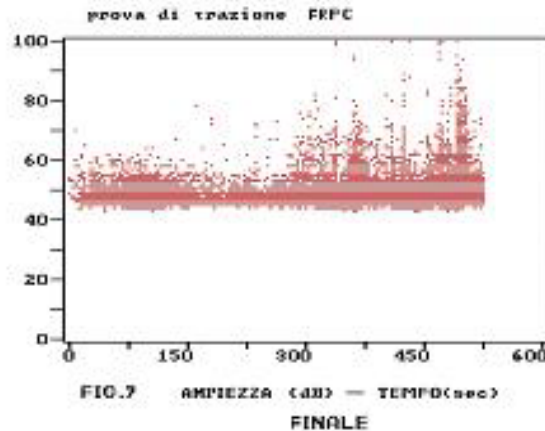


Fig. 7

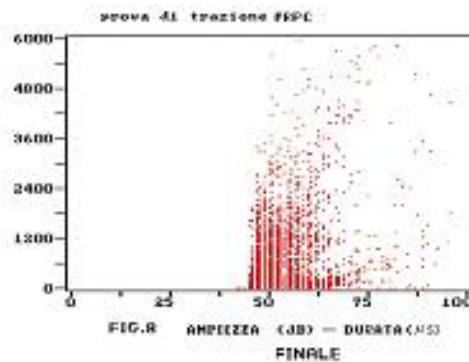


Fig. 8

Passando poi all'esame dei risultati per il composito a matrice metallica, occorre rilevare (fig.9) come solo l' uso di una soglia fluttuante (cioè dipendente dal livello della rumorosità) ha permesso di eliminare la notevole quantità di rumore di fondo prodotto dallo scorrimento della matrice.

Qui tuttavia il danneggiamento della matrice è molto più tardivo e meno evidente, vi sono all' inizio fibre pretensionate, ma la disposizione casuale delle fibre permette eventi di rottura anche nel seguito della prima fase. Si noti poi (fig.10) come in questa fase pseudoelastica scompaiano caratteristicamente gli eventi di lunga durata dovuti nel composito Carbon/BMI alla delaminazione.

Il seguito della prova sembra guidato invece (fig.11) da un danneggiamento più graduale ed univoco, che segue le direttrici tracciate dall'introduzione stessa delle fibre nella matrice con un continuo pullout e rottura delle stesse. nella seconda fase è in particolare dominante la sinergia di tutti i fenomeni, mentre nell' ultima fase sembra prevalente un pullout con la matrice resa più "sorda" dalla diffusa plasticizzazione, osservabile dagli eventi a più lunga durata di fig.12: le ampiezze medie effettivamente diminuiscono nel passaggio tra le due fasi.

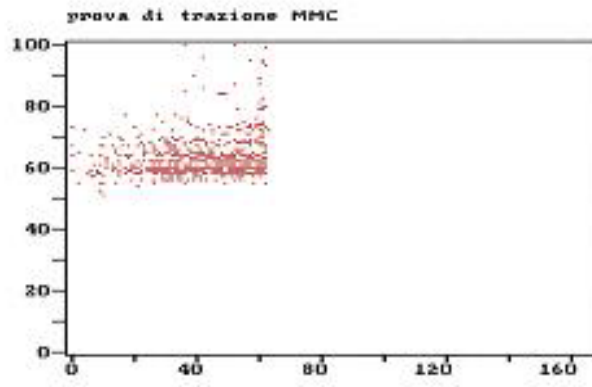


FIG.9 AMPIEZZA (dB) — TEMPO (sec)
PARZIALE

Fig. 9

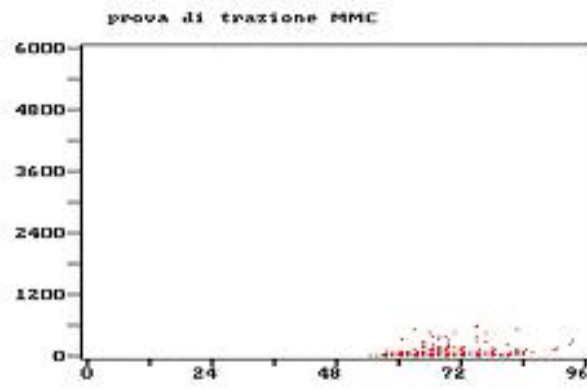


FIG.10 AMPIEZZA (dB) — DURATA (hrs)
PARZIALE

Fig. 10

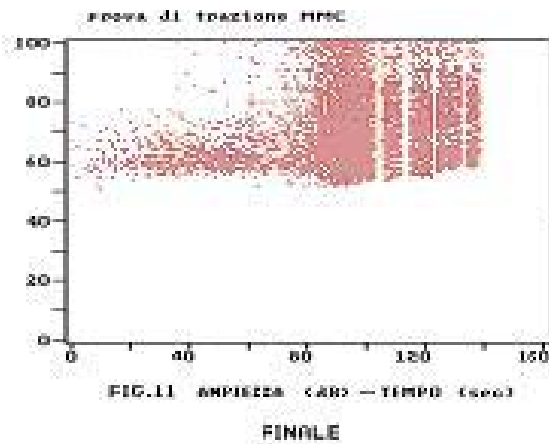


Fig. 11

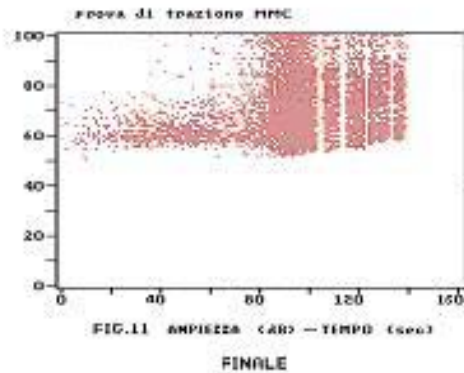


Fig. 12

CONCLUSIONI

Il metodo consente un'efficace validazione sperimentale del comportamento meccanico e microstrutturale dei materiali presi in esame. Permette inoltre di scendere più in profondità nella valutazione della difettologia presente, portando a considerazioni sull'entità e la morfologia del danneggiamento raggiunto.

Lo scopo successivo da raggiungere sembra quello di proseguire sulla strada della discriminazione del tipo di segnale di emissione acustica caratteristico di ogni tipo di rottura, così da poter giungere dall'osservazione dei problemi strutturali ricorrenti alla modifica progettuale sul processo stesso di formulazione del composito.

BIBLIOGRAFIA

[1] A.C. Lucia, G.P. Solomos, C. Santulli, R. Marini, A. Caretta.
Valutazione della resistenza di strutture in materiale composito mediante emissione acustica.

Giornata su "Attuali applicazioni e prospettive dell ' Emissione Acustica" CISE, Segrate, 10 novembre 1994.

[2] C.Caneva, S. Olivieri, C.Santulli, G. Bonifazi.

Damage evaluation on advanced stitched composites under impact loads by means Image Analysis and Acoustic Emission.

Composite Structures vol.25, 1993 pp.121-128.

[3] B.C. Dykes.

Post-test selective screening of acoustic emission data: how helpful is it?

The Second International Conference on Acoustic Emission, pp.35 - 37.

[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.

Proceedings of AECM 4 Fourth International Symposium on Acoustic Emission from Composite Materials, Seattle, Wa. - USA, 27 - 31 July 1992, pp.209-228.

[5] C.Caneva, C.Santulli, F. Stivali.

Processing defects evaluation on metal matrix by means of acoustic emission.

ICCE, New Orleans, luglio 1994.

[6] Y. Surrel, A. Vautrin.

Acoustic Emission amplitude analysis by logarithmic rate cartography.

Proceedings of AECM 3 Thirth International Symposium on Acoustic Emission from Composite Materials, Parigi 17 - 21 july 1989, pp.365-374.

[7] E. Gariboldi, C. Santulli, F. Stivali, M. Vedani.

Valutazione del danneggiamento in materiali compositi a matrice metallica tramite monitoraggio di emissione acustica.

XI Convegno IGF, Brescia, 4-6 luglio 1995.