

**IGF 12 XII Convegno Nazionale  
Gruppo Italiano Frattura  
Parma 12-13 giugno 1996**

**EFFETTO DELLE SOLLECITAZIONI DINAMICHE  
SUL PEGGIORAMENTO DELLE PROPRIETA' MECCANICHE  
DI COMPOSITI IN FIBRA DI CARBONIO**

F. Billi, C. Santulli

Centro Comune di Ricerca - ISIS - Ispra

**PAROLE CHIAVE:** Emissione acustica, prove statiche e dinamiche, fibre di carbonio

**SOMMARIO**

Il presente lavoro riguarda la valutazione dell'effetto di una sollecitazione dinamica sul comportamento a trazione, con carico perpendicolare alle fibre, di laminati compositi in fibra di carbonio e resina epossidica ad 8 strati.

I materiali predetti sono stati testati a rottura, alcuni dopo essere stati sottoposti a sollecitazioni di fatica oligociclica di bassa frequenza ed altri senza preventiva sollecitazione dinamica.

Tali esperimenti sono stati effettuati allo scopo di valutare l'effetto della chiusura di cricca durante il tratto di scarico delle prove dinamiche, conseguente all'eventuale presenza di delaminazioni.

L'onda ultrasonora di tensionamento dovuta ai fenomeni irreversibili, rilevata nelle tre diverse situazioni (fatica su provini intatti, trazione a rottura di provini intatti e di provini preventivamente affaticati), è stata monitorata in tempo reale con il sistema PAC MISTRAS. La tecnica dell'emissione acustica permette infatti di valutare cambiamenti di comportamento del materiale ed inoltre di approntare dei confronti tra i provini diversamente sollecitati. Nel nostro lavoro in particolare l'idea è di valutare fino a che punto una tale valutazione sia credibile e realistica anche nel caso di trazione con carico perpendicolare alle fibre.

## INTRODUZIONE

La valutazione delle proprietà meccaniche in direzione perpendicolare alle fibre di un composito attraverso una prova di trazione statica, specialmente se condotta con un'applicazione del carico molto rapida, può portare ad una notevole dispersione dei risultati. Questo in particolare a causa delle diverse modalità di danneggiamento verificantisi nel corso della prova (cricche sulla matrice, delaminazioni, rotture del rinforzo) che si compongono in modo spesso imprevedibile, influenzando pesantemente la resa statica del materiale.

L'applicazione poi di una metodologia di controllo dell'evoluzione del danneggiamento in tempo reale come l'emissione acustica, può non migliorare le cose. Anche qui i dati sono molto dispersi e spesso non si ottiene nemmeno un'adeguata suddivisione del danneggiamento progressivo in fasi successive.

La presenza caratteristica infatti di segnali di alta intensità in prossimità della rottura ed all'inizio dell'applicazione del carico, collegabili rispettivamente con i cedimenti di fasci di fibre e con la presenza di fibre pretensionate, è stata spesso descritta in compositi unidirezionali sottoposti a trazione nella direzione delle fibre, così come nell'ambito di compositi angle-ply o cross-ply con presenza di strati a  $0^\circ$  (1,2,3).

Altri hanno messo anche in evidenza (4,5) la possibilità che sia il livello di sollecitazioni locali più che il singolo fenomeno di cedimento del rinforzo ad influenzare la presenza di elevate ampiezze nell'attività acustica riscontrata, ma anche in questo caso i risultati più concreti si sono ottenuti sempre quando a comandare la frattura del materiale sono delle fibre disposte in direzione del carico.

Quando invece si tratta di una sollecitazione puramente di taglio sulle fibre, l'emissione acustica da una semplice trazione non risulta sempre interessante. Da qui la necessità di valutare la differenza tra l'emissione acustica tipica di una trazione su provini non sottoposti a preventivo ciclaggio in fatica e quella su provini già affaticati, allo scopo di cercare di descrivere i fenomeni intervenuti per opera della sollecitazione dinamica. Per rendere poi più evidente il confronto, anche le prove di fatica a rottura (6,7,8) sugli stessi materiali sono state seguite, in modo da osservare quanto i segnali di emissione acustica siano influenzati dalla modalità di caricamento statica o dinamica del laminato composito.

## MATERIALI E METODI

Sia le prove di fatica che le trazioni sono state effettuate su di una macchina universale ZWICK.

I provini, laminati ad 8 strati in resina epossidica, rinforzati con fibre di carbonio unidirezionali orientate a  $90^\circ$  presentavano una sezione di circa  $28 \times 1.1$  mm.

Le prove statiche erano in controllo di spostamento della traversa superiore con velocità di trazione di 1,3 mm/min. Le prove dinamiche si svolgevano invece con rapporto  $R=0.1$  con un carico massimo pari a 10 MPa (carico a rottura medio a trazione: 60 MPa), con frequenza di sollecitazione dinamica 1.8 Hz.

Tre serie di cinque provini sono state previste:

1. Sottoposti a prova di trazione a rottura
2. Sottoposti ad un ciclaggio a fatica per un totale di 500 cicli e poi a prova di trazione a rottura
3. Sottoposti ad un ciclaggio a fatica fino alla rottura.

Il sistema per l'acquisizione dell'emissione acustica utilizzato era il PAC MISTRAS con due sonde piezoelettriche miniaturizzate del diametro di 5 mm. L'amplificazione presentava un guadagno di (40+20) dB ed una soglia di 40 dB, molto al di sopra quindi del rumore elettronico della macchina per prove meccaniche. Prove di rumore all'uopo effettuate al momento della scelta della soglia hanno permesso infatti di ritenere non necessario l'uso di guardie per il rumore di fondo.

I tempi di definizione del segnale erano di 100  $\mu$ s per il picco di emissione acustica, di 300  $\mu$ s per il singolo evento ed ancora di 300  $\mu$ s il tempo di riarmo; il tempo di campionamento era invece di 10 ms.

## RISULTATI

Nel procedere all'analisi dei risultati di emissione acustica, si è ritenuto per i nostri scopi di validazione del metodo di ritornare sui diagrammi più classici che danno un'idea immediata della rispondenza o meno della tecnica di monitoraggio ai fenomeni di danneggiamento. Essi sono:

1. Conteggi cumulativi rispetto al tempo (~ Carico nelle prove di trazione)
2. Distribuzione degli eventi secondo le loro ampiezze
3. Distribuzione delle ampiezze riscontrate rispetto al tempo di prova.

Relativamente alle prove di trazione su provini non affaticati, si vede (fig.1) qual è il problema tipico del monitoraggio dell'emissione su provini unidirezionali 90° come i presenti. In essi sono fenomeni fortemente critici la formazione e lo sviluppo di cricche sulla matrice, che iniziano ad un carico notevolmente ridotto durante la trazione. Tuttavia questi fenomeni sono scarsamente avvertibili dall'attività acustica, il 90 % della quale è riferibile invece al distacco degli strati che porta immediatamente alla rottura. Di conseguenza è estremamente difficile di solito per questi materiali distinguere da questa curva le tipiche tre fasi del danneggiamento progressive, di cui in (9,10).

Va notato però (fig.2) come gli eventi presentino ampiezze distribuite su tutto l'intervallo tra i 40 ed i 97 dB, con presenza tuttavia di alte ampiezze solo in conseguenza dei fenomeni collegati al collasso (fig.3). Qualche modesto tentativo di predizione della rottura si può ipotizzare in conseguenza dell'instaurarsi di un'emissione acustica continua e su ampiezze più modeste ben prima del cedimento finale.

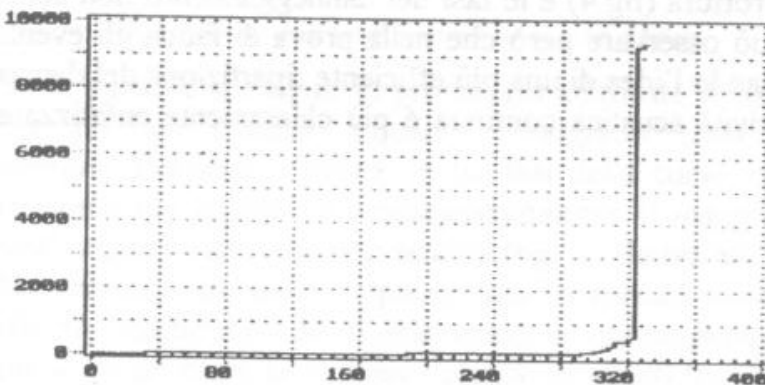


fig.1 Conteggi cumulativi nel tempo della prova di trazione

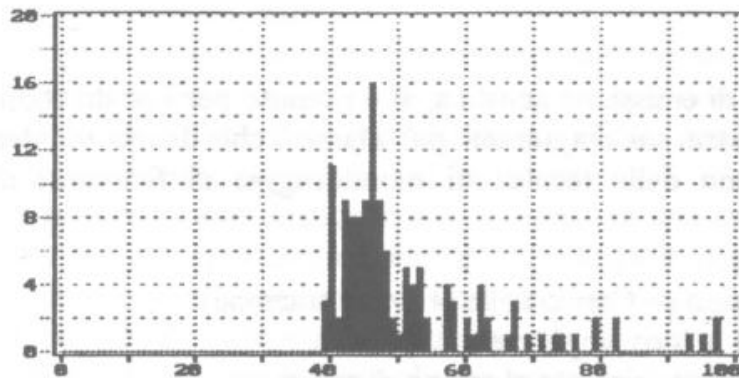


fig.2 Distribuzione degli eventi rispetto all'ampiezza nella prova di trazione

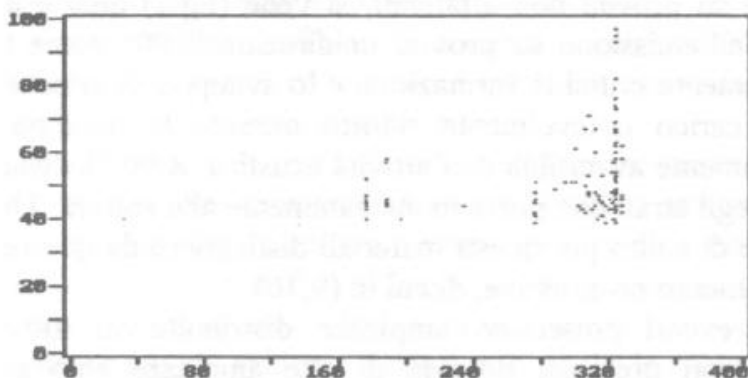


fig.3 Distribuzione delle ampiezze nel tempo prova di trazione

Passando poi ad esaminare quanto risulta dallo stesso materiale testato a fatica fino a rottura, osserviamo che ancora una volta la massima parte dell'emissione acustica si riferisce agli istanti precedenti alla rottura (fig.4) e le fasi del danneggiamento non sono qui chiaramente visualizzabili; si può osservare però che nella prova di fatica gli eventi sono più classicamente distribuiti, dando l'idea di una più efficiente ripartizione del danno (fig.5) ed inoltre la presenza di attività acustica continua é più chiaramente enfatizzata (fig.6).

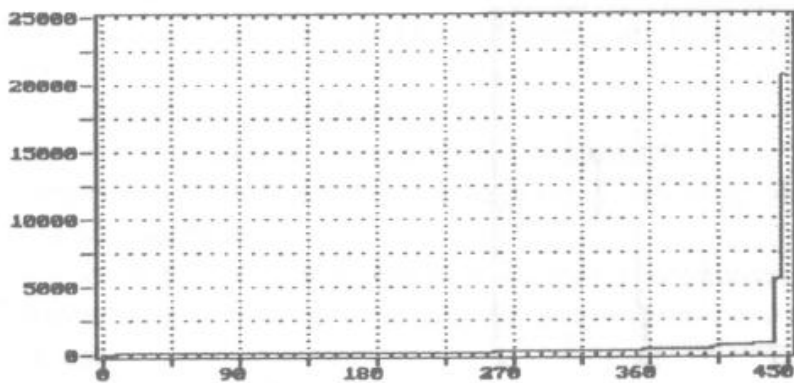


fig.4 Conteggi cumulativi nel tempo della prova di fatica

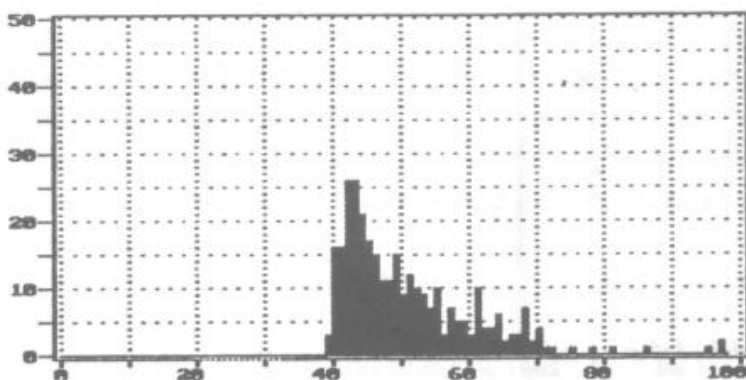


fig.5 Distribuzione eventi-ampiezza nelle prove di fatica

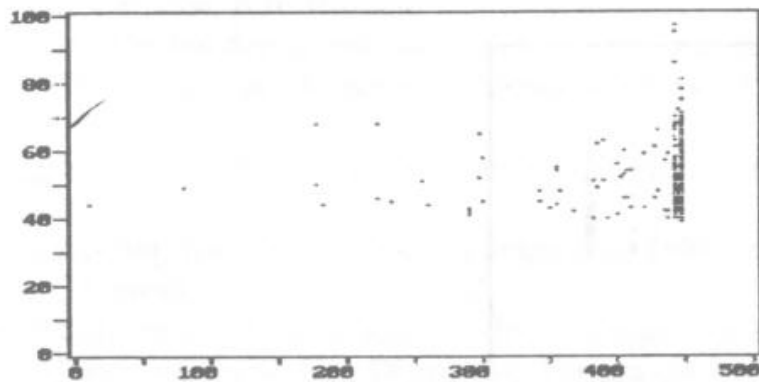


fig.6 Ampiezze degli eventi rispetto al tempo prova di fatica

Se la trazione si esegue su provini già affaticati, il comportamento in emissione acustica del provino cambia alquanto. Malgrado tutta la prova si svolga in tempi comprensibilmente ristretti, le tre fasi della curva conteggi cumulativi-carico (tempo) risultano qui leggibili e, conseguentemente al maggior danno di partenza, la più parte dell'emissione acustica non sembra (fig. 7) relativa alla rottura.

La distribuzione delle ampiezze ricalca quanto visto nelle precedenti prove di fatica (fig. 8), benché il grado di delaminazione già raggiunto con l'affaticamento del materiale provochi un maggior numero relativo di eventi tra i 70 ed i 90 dB. In fig. 9 può notarsi infine come gli eventi nell'intervallo di ampiezze indicato non siano stavolta solo osservati in occasione della rottura, ma anche ad un carico un po' inferiore, cosa che, pur non autorizzando un impiego predittivo dell'emissione acustica, può essere considerata buon punto di partenza per ulteriori indagini.

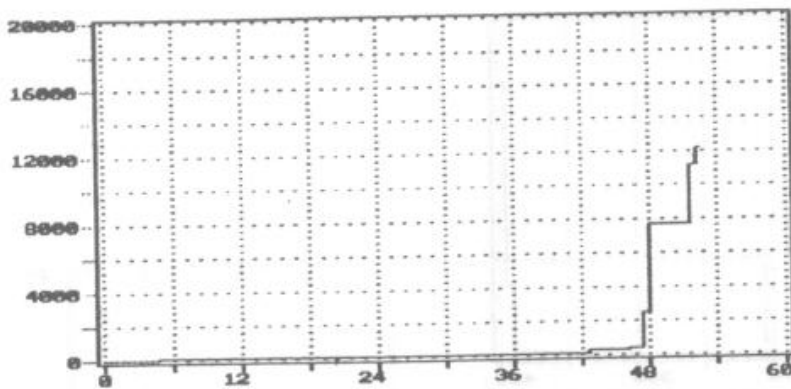


fig.7 Conteggi cumulativi - tempo trazione dopo fatica

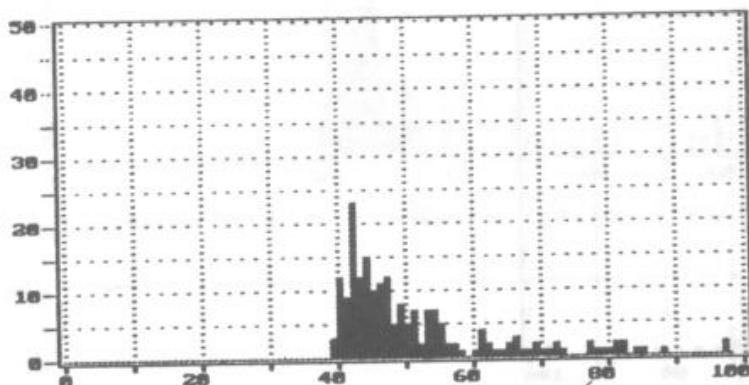


fig.8 Distribuzione degli eventi rispetto all'ampiezza nella prova di trazione dopo fatica

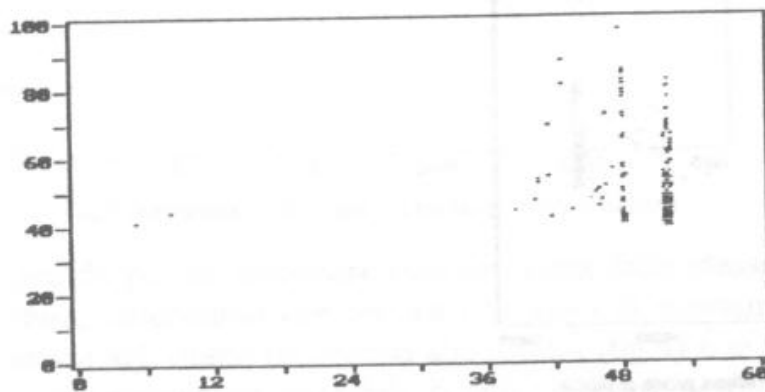


fig.9 Distribuzione delle ampiezze nel tempo della prova di trazione dopo fatica

## CONCLUSIONI

Le prove di trazione su compositi a matrice polimerica con fibre a  $90^\circ$  risultano di difficile lettura se monitorate con l'emissione acustica. Questo perchè i reali fenomeni di degenerazione del materiale, ad esclusione del collasso finale, non sembrano chiaramente avvertibili con questo metodo impiegato da solo in supporto alla prova meccanica.

Se la trazione avviene tuttavia su un provino già affaticato, considerazioni di più vasta portata sembrano essere possibili con l'eventuale introduzione di altre tecniche (es. replica del bordo del provino affaticato prima della trazione) atte a spiegare il risultato meccanico della prova, in congiunzione con l'emissione acustica.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) F.X. de Charentenay, J. F. Chretien, M. Bethmont, M. Benzeggagh.  
Delaminage des materiaux composites stratifiés. étude par Emission Acustique.  
Pubbl. del Departement de Génie Mecanique, Université de Technologie de Compiègne,  
1986.
- (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.  
Relation between Amplitudes and Rupture Mechanisms in Composite Materials.  
Proceedings of Second International Symposium on Acoustic Emission from Reinforced  
Plastics.  
Montreal, Canada July 1986 pp.96 - 103.
- (4) Y. Surrel, A. Vautrin.  
Acoustic Emission amplitude analysis by logarithmic rate cartography.  
Proceedings off'AECM 3 Thirth International Symposium on Acoustic Emission from  
Composite Materials, Parigi 17 - 21 july 1989, pp.365-374.
- (5) R. Van Daele, M. Wevers, I. Verpoest, P. De Meester.  
Damage development monitoring using acoustic emission: an alternative way of  
presenting data.  
17th EWGAE meeting, Scheveningen, Olanda, 22 september 1988.
- (6) K.J. Lee.  
Cyclic AE Count Rate and crack growth rate under low cycle fatigue fracture loading.  
Engineering Fracture Mechanics, vol.34 pp.1069 - 1073.
- (7) D. Laroche, A.R. Bunsell.  
Stress time and dependent damage in carbon fibre reinforced plastics.  
Advances in composite materials, Pergamon Press (1980 - 85).
- (8) J. Block.  
Chacterization of Damage Progression in Fibre - reinforced Composites by Acoustic  
Emission.  
Engineering applications of new composites, 1986, pp. 341 - 346.
- (9) C.Caneva, C.Santulli, F. Stivali.  
Valutazione in emissione acustica del danneggiamento di compositi a matrice metallica.  
7o Congresso Prove Non Distruttive, Ferrara ottobre 1993.
- (10) C.Santulli.  
Significato strutturale della distribuzione degli eventi di emissione acustica nelle prove di  
trazione di materiali compositi.  
8o Congresso Prove Non Distruttive, Torino ottobre 1995.