

MISURE DI LOCALIZZAZIONE BIDIMENSIONALE IN EMISSIONE ACUSTICA SU COMPOSITO IN POLIPROPILENE DI RICICLO E FIBRA DI CANAPA

Claudio Caneva*, Igor M. De Rosa*, Carlo Santulli**, Fabrizio Sarasini*

* Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali e Ambiente
Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Roma
Tel.: 06-44585578 E-mail: igor.derosa@uniroma1.it, fabrizio.sarasini@uniroma1.it

** Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18, 00184 Roma
Tel.: 06-44585539 E-mail: carlo.santulli@uniroma1.it

SOMMARIO

La presente memoria riguarda l'effettuazione di prove di indentazione statica su quattro regioni di un laminato composito in stuoia di canapa e polipropilene di riciclo (contenuto di fibra 50% in peso). Le prove sono state effettuate con una velocità di applicazione del carico (0.2 mm/min) e fino ad una profondità nominale (1 mm), tale da non danneggiare sostanzialmente il pannello, ma da rilevare il possibile danno preesistente. La procedura di localizzazione ha consentito di rilevare il danneggiamento differenziale presente nella struttura e l'effetto dell'applicazione del carico sul materiale. Una caratterizzazione preliminare di tale danneggiamento è stata effettuata con l'analisi delle distribuzioni di ampiezza. Inoltre, attraverso la misurazione della variazione della velocità di trasmissione del suono nel pannello, l'emissione acustica ha consentito la rilevazione del modulo elastico del materiale, confrontabile con quanto ottenuto dalle curve di indentazione statica.

PAROLE CHIAVE:

materiali compositi, fibre naturali, emissione acustica, localizzazione piana, indentazione, danneggiamento

KEYWORDS:

composite materials, natural fibres, acoustic emission, planar localisation, indentation, damage

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si fa sempre più spesso uso di fibre naturali come rinforzo per pannellature e componenti semi-strutturali, allo scopo di migliorare la biodegradabilità e le prospettive di smaltimento a fine vita per il materiale. La difficile valutazione del danneggiamento su questi materiali rende utile l'impiego di metodi non distruttivi, come l'emissione acustica, capaci di rilevare la degradazione delle proprietà in tempo reale.

L'indentazione statica è stata spesso utilizzata in studi recenti, come simulazione, su scale di tempo più ampie, di prove problematiche e di non semplice interpretazione, in termini di caratterizzazione danneggiamento ed energia realmente assorbita, come quelle di impatto a caduta di peso, pur significative nel caso dei compositi [1-3]. Nel caso particolare dei compositi in fibra naturale, prove cicliche post-impatto (indentazione statica e flessione) monitorate con emissione acustica sono state effettuate su laminati rinforzati con fibre di juta, seguendo diagrammi a gradini, con acquisizione anche durante le fermate a carico costante [4-5]. La localizzazione piana degli eventi di emissione acustica, utilizzata tra l'altro in [5-6], ha permesso di offrire informazioni predittive sullo sviluppo dei fenomeni che portano il laminato a rottura, oltre che di offrire valutazioni comparative sul diverso modo di danneggiamento di differenti configurazioni di laminati ibridi in fibra di vetro e fibra di juta [6].

Il limite degli studi precedenti, rispetto all'utilizzo dell'emissione acustica, è che il danneggiamento crescente prodotto e conseguentemente monitorato per mezzo dell'emissione acustica, non può essere considerato come appena visibile, bensì sostanziale, e tendente ad una notevole riduzione delle proprietà statiche del materiale. Allo scopo invece di analizzare il limite di risoluzione della tecnica di emissione acustica rispetto al problema dell'indentazione, si è teso in questo studio a produrre un danneggiamento ai limiti della rilevabilità. Tale danneggiamento è stato monitorato in tempo reale tramite localizzazione piana degli eventi di emissione acustica su un materiale che di per sé presenta delle notevoli difficoltà dovute alla notevole attenuazione del segnale indotta dalla presenza delle fibre naturali, in confronto p.es., con le fibre di vetro [7].

MATERIALI E METODI

La presente memoria riguarda l'effettuazione di prove di indentazione statica con punzone semisferico (diametro di 12.7 mm) secondo quanto prescritto dalla norma ASTM D6264-98 su un laminato composito, semplicemente supportato, di lato 200 mm in stuoia di canapa e polipropilene di riciclo, dello spessore di 1.5 mm, con un contenuto di fibra del 50% in peso. Le prove sono state monitorate attraverso la suddivisione del pannello in quattro regioni, che sono state indentate separatamente, con una velocità di applicazione del carico (0.2 mm/min) e fino ad una profondità nominale (1 mm), tale da non danneggiare sostanzialmente il pannello, ma da rilevare il possibile danno preesistente.

La localizzazione piana è stata effettuata con un sistema di emissione acustica Vallen AMSY5, disponendo in ogni regione di monitoraggio quattro sensori risonanti a 150 kHz, a formare una maglia quadrata di 80 mm di lato. Per l'acquisizione dei segnali è stata applicata una soglia a 40 dB. La disposizione sperimentale dei sensori di emissione acustica per prove di velocità globale sul pannello è mostrata in Figura 1. Per le prove di indentazione il pannello è stato diviso in quattro regioni, indicate in Figura 2, ognuna delle quali è stata indentata separatamente: le effettive dimensioni dei sensori sono anche indicate in figura. Questo indica che nelle prove effettuate, l'area del pannello compresa all'interno delle maglie di sensori rappresenta il 64% dell'area totale, anche se non è stato applicato un filtraggio, in modo tale che anche gli eventi localizzati al di fuori della maglia per ognuna delle quattro regioni sono rilevati dal sistema.

RISULTATI

La sostituzione, anche parziale, delle fibre di vetro con fibre vegetali nei compositi è un processo relativamente nuovo e critico da un punto di vista ingegneristico, anche se consigliabile da un punto di vista della riduzione dell'impatto ambientale e orientato sulla strada della fabbricazione di materiali a “saldo nullo” di anidride carbonica. La considerevole variabilità locale delle proprietà di questi materiali, dovute alla spesso disomogenea distribuzione del rinforzo ed alla differenza di diametro e forma della sezione stessa delle fibre, nonché alla non costante efficienza di estrazione e di trattamento, anche all'interno della stessa fornitura, suggerisce prove atte a valutare l'intervallo di variabilità del materiale, un esempio delle quali può essere l'indentazione. Le curve di indentazione per le quattro regioni del pannello sono riportate in Figura 3: si può osservare dalla linearità della relazione carico-deformazione come l'indentazione fino a 1 mm, corrispondente ai due terzi dello spessore nominale, sia un processo quasi-elastico. Questo permette anche la misurazione della pendenza della retta data dal rapporto tra il carico applicato e la profondità di indentazione reversibile ottenuta, che si può definire come elasticità lineare (linear stiffness [2]): i risultati ottenuti, che evidenziano una notevole variazione tra le quattro regioni del laminato, sono riportati in Tabella 1. Teoricamente, sono possibili confronti tra diversi laminati (in particolare, rinforzati con fibre vegetali) sulla base del valore dell'elasticità lineare, purché il metodo di supporto adottato, il volume di rinforzo e lo spessore del laminato sia almeno approssimativamente lo stesso.

La velocità del suono misurata attraverso il rapporto tra le distanze intersensore e le massime differenze nei tempi di arrivo del segnale tra i sensori è, com'era da attendersi, molto inferiore anche rispetto a quella media nei compositi tradizionali, valutabile in circa 3000-3200 m/s per un laminato con simile tenore di fibre di vetro [8]. In particolare, la velocità misurata risulta essere pari a 1608 ± 181 m/s. Da tale dato, assumendo la densità del polipropilene amorfo pari a 0,85 [9] e quella delle fibre di canapa pari a 1,5 [10] e mediando i due dati per un tenore di fibra del 50%, si ottiene una densità del laminato pari a circa 1,17.

Dai dati precedenti, considerando che il modulo elastico E può essere ottenuto dalla velocità del suono v e dalla densità ρ con la formula $E = \rho \cdot v^2$, E risulta uguale a $3,02 \pm 0,72$ GPa. Questi valori sono confrontabili per esempio con quanto ottenuto, con tecnica di produzione molto più vicina alla pratica industriale, su analoghi compositi in canapa/polipropilene con contenuto di fibre del 40% in peso [11].

Prima di effettuare le prove di indentazione con localizzazione planare degli eventi di emissione acustica, delle calibrazioni sono state effettuate sul pannello secondo il metodo di Hsu-Nielsen, onde rilevare la possibile accuratezza del rilevamento. I risultati di tali prove, riportati in Figura 4, dimostrano che circa l'80% dei segnali vengono localizzati ad una distanza minore di 5 mm dal punto di rottura della mina.

In Figura 5 sono riportati gli eventi localizzati sulle quattro regioni del pannello durante le rispettive prove di indentazione: le S riportate in figura indicano le posizioni dei sensori, mentre i cerchi indicano il punto d'indentazione.

Un'analisi preliminare della disposizione planare degli eventi EA localizzati consente di individuare due possibili comportamenti, uno (regioni 1 e 3) in cui la maggior parte degli eventi sono riferibili all'indentazione e l'altro (regioni 2 e 4) dove l'emissione acustica è più sparsa e l'effetto del carico localizzato è meno evidente. Probabilmente a questa differenza di comportamento contribuisce anche la curvatura non trascurabile e variabile del pannello, dovuta al metodo produttivo di stampaggio per compressione adottato su spessori relativamente piccoli.

In Figura 6 è stata tentata anche un'analisi delle ampiezze EA, che prova che si rileva un non trascurabile numero di eventi di alta ampiezza in tutte le regioni osservate, senza particolare riferimento alla vicinanza o meno dal punto di indentazione. Questo suggerisce che potrebbe esserci una presenza di fibre pretensionate nel fenomeno di produzione del pannello, il che naturalmente andrebbe confermato da ulteriori analisi frattografiche.

In conclusione, la procedura di localizzazione ha consentito di rilevare la non trascurabile presenza di fibre danneggiate nella struttura e l'effetto dell'applicazione del carico sul materiale. Inoltre, attraverso la misurazione della variazione della velocità di trasmissione del suono nel pannello, l'emissione acustica ha consentito la rilevazione del modulo elastico medio del materiale.

CONCLUSIONI

L'applicazione del metodo della localizzazione con emissione acustica durante prove di indentazione non distruttive su un laminato in fibra vegetale (canapa) e resina polipropilenica di riciclo ha consentito di verificare la criticità delle variazioni di proprietà meccaniche locali in questi materiali. Tale lavoro preliminare suggerisce inoltre la possibilità dell'applicazione del metodo, data la semplicità e la sufficiente affidabilità, alla verifica industriale delle proprietà di questi materiali innovativi, in particolare fungendo da simulazione dell'applicazione di un impatto a bassissima energia, non realizzabile al momento con torri d'impatto a caduta di peso.

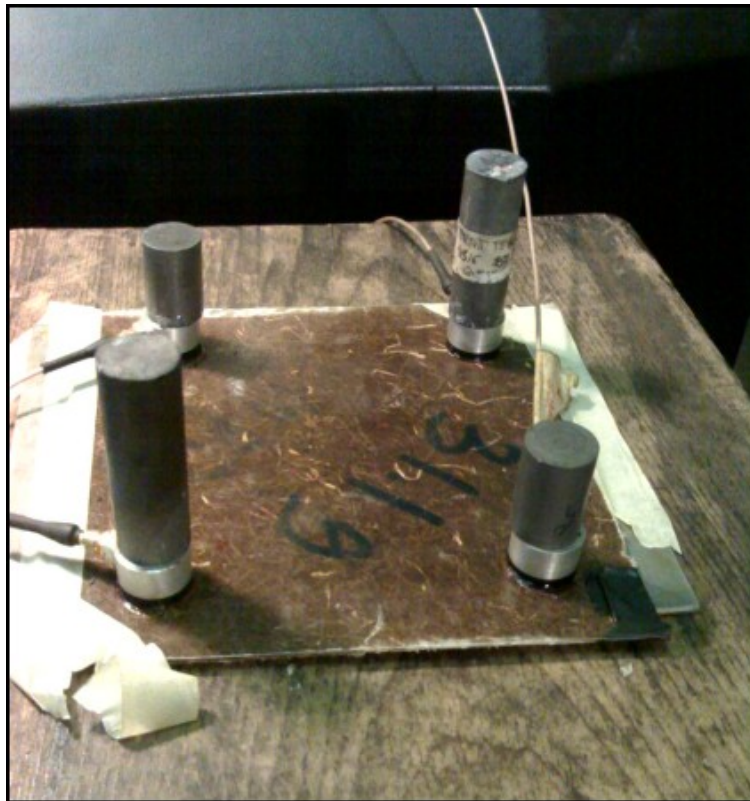


Figura 1 Laminato coi quattro sensori di emissione acustica per prove di velocità globale

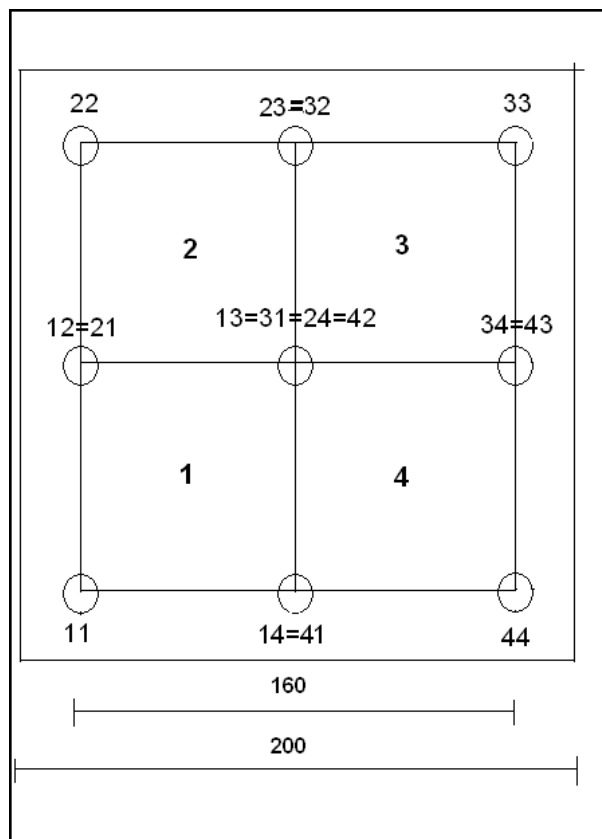


Figura 2 Le quattro regioni del laminato per le prove di indentazione monitorate con EA

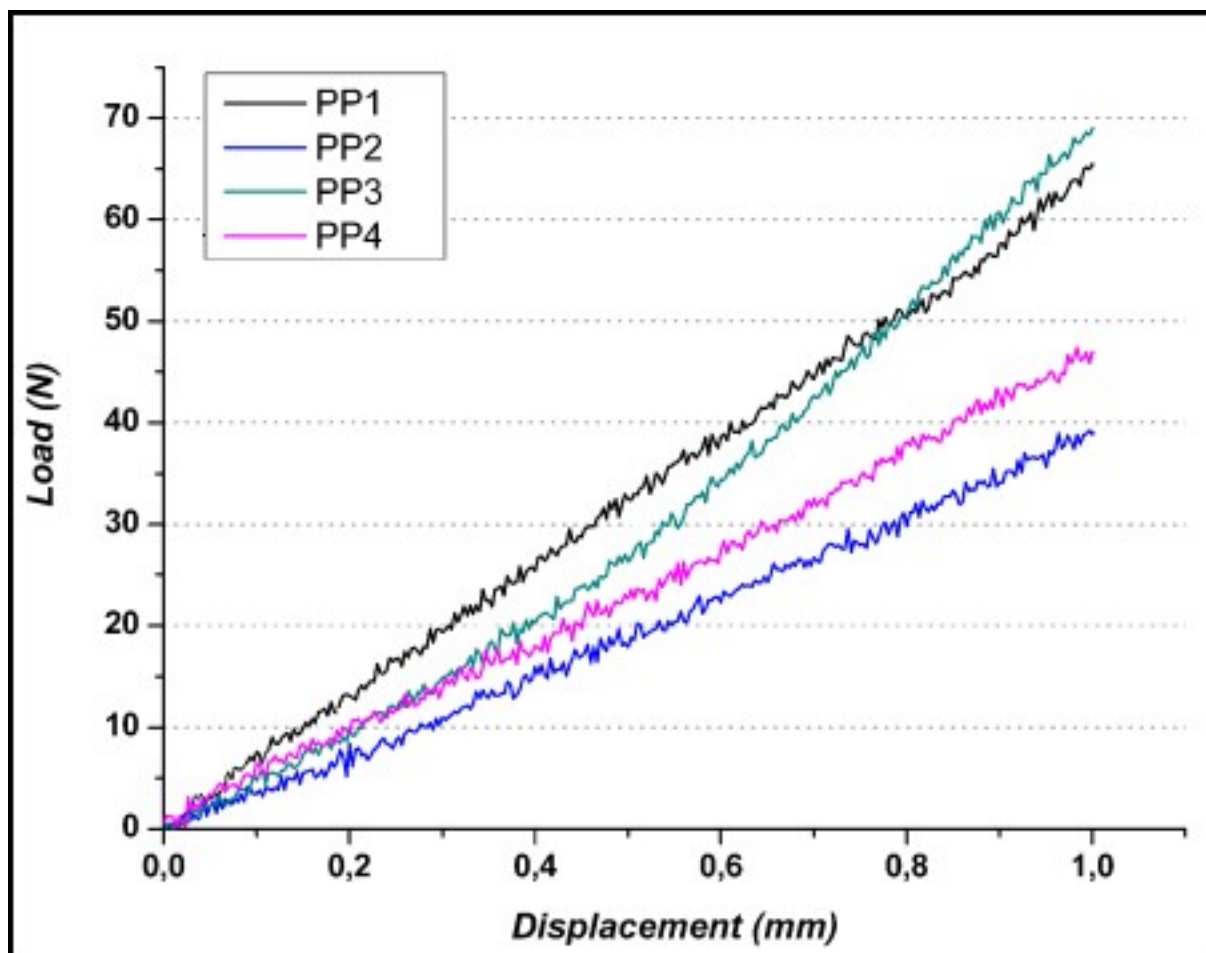


Figura 3 Curve di indentazione per le quattro regioni del pannello

Regioni	Elasticità lineare (N/mm)
1	65,6
2	38,8
3	68,5
4	45,7

Tabella 1 Elasticità lineare per le quattro regioni del pannello

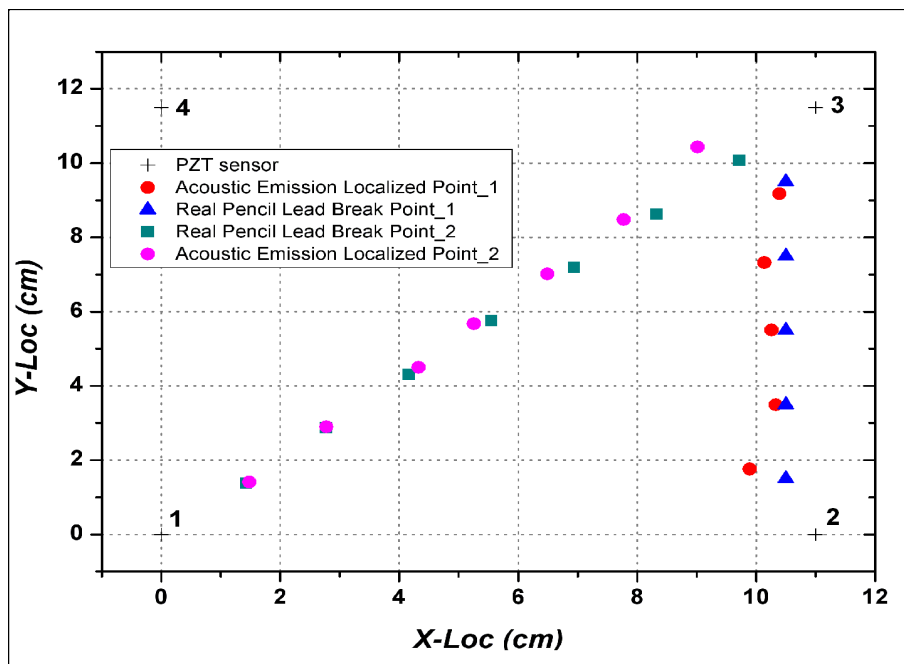


Figura 4 Attendibilità delle misure di localizzazione sul pannello

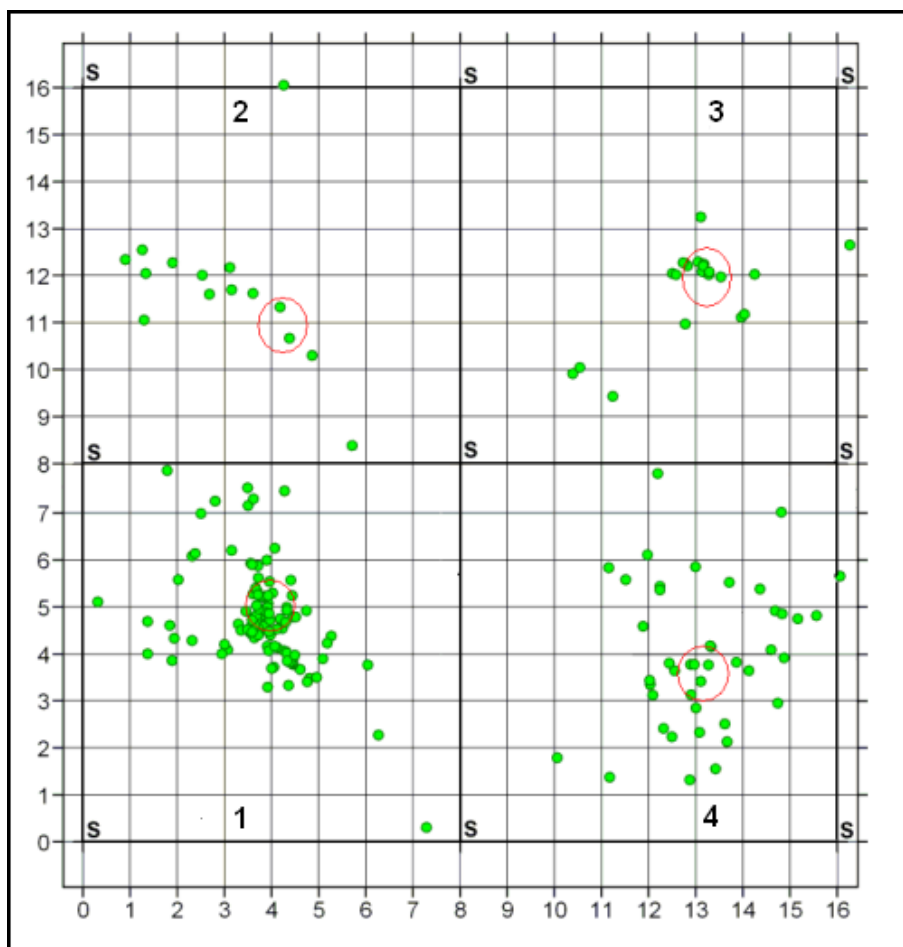


Figura 5 Localizzazione degli eventi sulle quattro regioni del laminato

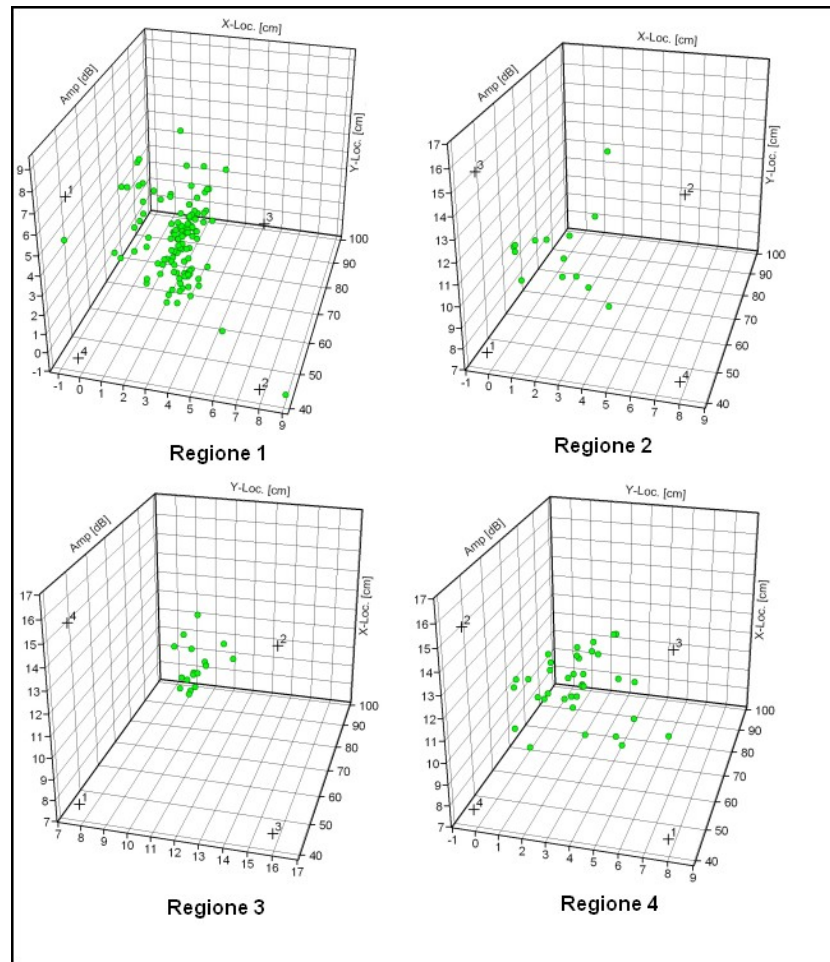


Figura 6 Analisi delle ampiezze EA con diagrammi tridimensionali

BIBLIOGRAFIA

1. Caprino G, Lopresto V, On the penetration energy for fibre-reinforced plastics under low-velocity impact conditions, *Composites Science and Technology* **61** (1), 2001, 65-73.
2. De Rosa IM, Santulli C, Sarasini F, Characterization of indentation damage on carbon/epoxy laminates by means of acoustic emission and IR thermography, *E-Journal of Non Destructive Testing* **14** (5), May 2009.
3. Lee SH, Aono Y, Noguchi H, Cheong SK, Damage mechanism of hybrid composites with nonwoven carbon tissue subjected to quasi-static indentation loads, *Journal of Composite Materials* **37** (4), 2003, 333-349.
4. Santulli C, Post-impact damage characterisation in natural fibre reinforced composites using acoustic emission, *NDT&E International* **34** (8), 2001, 531-536.
5. Santulli C, Post-impact flexural tests on jute/polyester laminates monitored by acoustic emission, *Journal of Materials Science* **41** (4), 2006, 1255-1260.
6. De Rosa IM, Santulli C, Sarasini F, Valente M, Post-impact damage characterization of hybrid configurations of jute/glass polyester laminates using acoustic emission and IR thermography, *Composites Science and Technology* **66** (7-8), 2009, 1142-1150.

7. De Rosa IM, Santulli C, Sarasini F, Acoustic emission for monitoring the mechanical behaviour of natural fibre composites: a literature review, *Composites Part A*, pubblicato online, July 2009.
8. Döring J, Bartusch J, McHugh J, Stark J, Contribution to ultrasound cure control for composite manufacturing, 15a Conferenza Mondiale Prove Non Distruttive, Roma, ottobre 2000.
9. Aylward G, Findlay T, *SI Chemical Data Book* (5th ed.), Wiley, 2002.
10. Graupner N, Improvement of the Mechanical Properties of Biodegradable Hemp Fiber Reinforced Poly(lactic acid) (PLA) Composites by the Admixture of Man-made Cellulose fibers, *Journal of Composite Materials* **43** (6), 2009, 689-702.
11. Mutje P, Lopez A, Vallejos ME, Lopez JP, Vilaseca F, Full exploitation of Cannabis sativa as reinforcement/filler of thermoplastic composite materials, *Composites: Part A* **38** (2), 2007, 369–377.