

FIBRE 3-D E PRESTAZIONI AD IMPATTO IN COMPOSITI TESSUTI FIBRA DI VETRO/POLIPROPILENE (TWINTEX)

Carlo Santulli
University of Reading (UK)

SOMMARIO

In questo lavoro si discutono le proprietà di un composito fibra di vetro – polipropilene (Twintex 3-D), ottenuto da un laminato Twintex 0°/90° bilanciato con l'introduzione del 2% di fibre in direzione 3-D, allo scopo di aumentare la resistenza all'impatto. Le proprietà ottenute vengono confrontate con quelle di due laminati *twill weave* bidimensionali: Twintex 1:1 bilanciato e Twintex 4:1, direzionale. La sperimentazione comprende prove meccaniche (trazione, flessione, resistenza al taglio interlaminare), impatto (Charpy e a caduta di peso) e microscopia (misurazione della porosità del materiale). La resistenza all'impatto del Twintex 3-D superiore a quella del laminato 2-D bilanciato; tuttavia, risulta discussione riguarda i problemi inerenti allo stampaggio a compressione del materiale e la loro influenza sulle prestazioni meccaniche e ad impatto, che risultano tuttavia.

1. INTRODUZIONE

I laminati compositi rinforzati con fibre miste (*commingled*) di vetro e polipropilene (®Twintex) suscitano crescente interesse per applicazioni automobilistiche, per le buone proprietà di resistenza all'impatto, unite ad un costo inferiore rispetto ai compositi in fibra di carbonio [1-2]. Le fibre polimeriche in aggiunta alle fibre di vetro come rinforzo della matrice migliorano l'adesione fibra-matrice e la resistenza del materiale alla delaminazione [3]. Tuttavia, le potenzialità di resistenza all'impatto del Twintex sono completamente sfruttate solo se la procedura di stampaggio a compressione è ottimizzata, specie in termini di sufficiente impregnazione delle fibre (basso contenuto di vuoto) [4].

2. MATERIALI E METODI

Tre compositi vetro/polipropilene (60% in peso di fibre di vetro) sono stati considerati: Twintex 1:1, *twill weave* bilanciato (1870 g/m²), Twintex 4:1, *twill weave* direzionale (935 g/m²), entrambi con 2 unità di tessuto/cm, prodotti da Vetrotex, ed un laminato Twintex con trama più larga (1.3 unità/cm) e 2% di fibre 3-D, prodotto da Parkhill Textiles (1300 g/m²). Lo stampaggio a compressione includeva preconsolidamento a 1.5 bar e 60°C per un'ora, preriscaldamento ad una temperatura massima sul materiale di 200°C con stampaggio a 30 bar in stampo scaldato a 100°C per 60 secondi. Lo spessore dei laminati prodotti era di 3.5±0.2 mm. Le prove meccaniche sono state effettuate con una macchina universale Instron 1195 con una cella di carico di 50 kN, secondo le norme BS EN ISO 527-4 (trazione), ASTM D-790 (flessione tre punti) e ASTM D-2344 (adesione interlaminare).

Sono state inoltre effettuate prove d'impatto Charpy, secondo le norme BS EN ISO 179, ed a caduta di peso, con energie da 15 Joule fino a penetrazione, usando una torre d'impatto Rosand IFW5 con impattatore emisferico (\varnothing 12.7 mm, massa di 25.65 kg). Le prove a penetrazione sono state effettuate secondo la norma BS 2762 (Part 3) (dart penetration tests).

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

L'introduzione delle fibre 3-D nel Twintex ha comportato difficoltà di preriscaldamento del composito. La temperatura di preriscaldamento doveva essere sufficiente al consolidamento del materiale, senza portare a degradazione la matrice polimerica. Tale compromesso ha portato all'applicazione di una temperatura di 200 °C sul materiale per sei minuti. Le proprietà meccaniche del materiale ottenuto, benché leggermente superiori al Twintex 2-D a flessione, anche per l'effetto della trama più larga del tessuto utilizzato, mostrano invece proprietà nettamente inferiori a trazione (vedi Tabella). Questo è un effetto del consolidamento non perfetto del materiale, che mostra una percentuale di vuoto (5.8 ± 1.4 %) molto superiore al Twintex 2-D, prevalentemente concentrata nelle regioni interlaminari (Fig.1).

Nelle prove d'impatto Charpy è stato rilevato un leggero incremento nei valori del composito 3-D rispetto al 2-D (Fig.2). Il Twintex 3-D mostra anche un'energia di penetrazione più alta (circa del 5%) rispetto al Twintex 2-D bilanciato, ma molto inferiore a quella del composito 2-D direzionale ed inoltre con una maggiore dispersione dei valori (Fig.3). Questo fa ritenere che nel Twintex 3-D le proprietà locali del laminato, la cui influenza sull'energia di penetrazione è ben nota [5], siano particolarmente importanti. Per uno studio più approfondito delle proprietà ad impatto del materiale, è stato esaminato anche il ciclo d'isteresi prodotto dalle prove d'impatto a caduta di peso. Tale ciclo d'isteresi è stato già studiato in letteratura, in particolare la pendenza del tratto elastico (rigidezza lineare), la prima caduta di carico, corrispondente all'innescò del danneggiamento [6], e l'energia dissipata nel materiale successivamente a tale caduta di carico (area di danneggiamento) [7]. Nel Twintex 3-D, il ciclo d'isteresi in Fig. 4 mostra la presenza di danneggiamento alle energie d'impatto maggiori, 35 e 40 Joule. Tuttavia, l'effetto positivo dell'introduzione delle fibre 3-D è rilevabile dai valori del carico massimo e dalla rigidezza lineare a 20 Joule, superiore di più del 20% per il Twintex 3-D rispetto al Twintex 2-D bilanciato.

Tuttavia, tale incremento della resistenza all'impatto risulta ottenuto a scapito della resistenza a trazione del materiale, ridotta di oltre il 30% rispetto al Twintex 1:1, il che non è giustificabile con l'introduzione del 2% di fibre 3-D. Deve piuttosto essere attribuito all'alto contenuto di porosità all'interno del Twintex 3-D, dovuto al non perfetto stampaggio del materiale, e collegata con la consimile riduzione di resistenza interlaminare, spesso collegata alla porosità [8]. In effetti, alle energie più alte i vuoti all'interno dei fasci di fibre, dovuti all'insufficiente impregnazione, ed i vuoti interlaminari, dovuti al non uniforme preriscaldamento del materiale, appaiono all'origine del danneggiamento per impatto (Fig.6). Inoltre, anche la posizione dei vuoti è determinante: i vuoti all'intersezione delle maglie sono particolarmente negativi per le proprietà interlaminari [9]. Quindi, la trama più grossa del tessuto del Twintex 3-D, se da un lato migliora le proprietà d'impatto, d'altro canto rende il comportamento del materiale più sensibile al contenuto di vuoto localizzato od al diametro del singolo fascio di fibre [10]. Questo risulta in una dispersione dei valori di energia di penetrazione e possibilità d'innescò precoce del danneggiamento.

4. CONCLUSIONI

L'introduzione di una ridotta quantità di fibre 3-D e la trama più larga hanno permesso di migliorare le già buone proprietà ad impatto del Twintex. Tuttavia, lo stampaggio a compressione del materiale non pare in grado di ottenere un'adeguata impregnazione dei fasci di fibre e ridurre il grado di vuoto interlaminare. Il miglioramento delle proprietà di assorbimento di energia di impatto risulta infatti accompagnato da una consistente riduzione della resistenza a trazione e della resistenza al taglio interlaminare rispetto al tradizionale Twintex 2-D.

I miglioramenti del processo di fabbricazione dovrebbero riguardare l'ottimizzazione del preconsolidamento del materiale e possibilmente lo stampaggio del composito a vuoto, che dovrebbe ridurre le porosità presenti e permettere un recupero delle proprietà meccaniche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] SVENSSON N., SHISHOO R., GILCHRIST M., J. Thermoplastic Composite Mat. 11, 1998, pp. 22-56.
 [2] MATTSUO T., IKEGAWA N., Advanced Composites Letters 1, 1992, pp. 116-118.
 [3] RIOS S.J., ARROWOOD R., 44th Int. SAMPE Symposium, May 1999.
 [4] BROOKS R., *Comprehensive Composite Materials*, 6.16, Elsevier 2001, ISBN: 0-080-43725-7.
 [5] BLEDZKI A.K., GASSAN J., KESSLER A., Journal of testing and evaluation 27, 1999, pp. 36-41
 [6] NEJHAD M.N.G., PARVIZI-MAJIDI A., Composites 21, 1990, pp. 155-168.
 [7] SRINIVASAN K., JACKSON W.C., HINKLEY J.A., 36th Int. SAMPE Symposium, pp. 850-862.
 [8] BOWLES K.J., FRIMPONG S., Journal of Composite Materials 26, 1992, pp. 1487-1509.
 [9] COSTA M.L., DE ALMEIDA S.F.M., REZENDE M.C., Comp. Sci. and Tech. 61, 2001, pp. 2101-2108
 [10] BERNET N., MICHAUD V., BOURBAN P.E., MANSON J.A., J. Composite Materials 33, 1999, pp. 751-772

Proprietà meccaniche	Twintex 1:1	Twintex 4:1 (long.)	Twintex 4:1 (trasv.)	Twintex 3-D
Resistenza a trazione (MPa)	240 ± 6	395 ± 24	144 ± 6	148 ± 7
Modulo di trazione (GPa)	11.7 ± 1.1	21.3 ± 0.7	8.2 ± 0.4	7.5 ± 0.3
Resistenza a flessione (MPa)	230 ± 13	390 ± 23	129 ± 9	238 ± 25
Modulo di flessione (GPa)	11.2 ± 1.5	16.8 ± 0.7	7 ± 0.5	12.6 ± 0.3
Resistenza interlaminare (MPa)	20 ± 2.5	21.7 ± 3.3	16.3 ± 2.3	16 ± 2.4

Tabella 1 Proprietà meccaniche dei diversi materiali Twintex

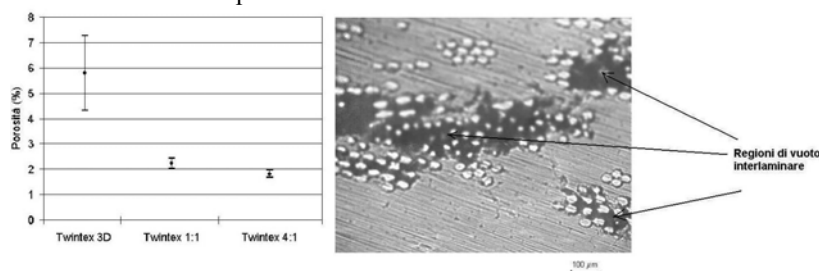


Figura 1 (a sinistra) Porosità (%) nei diversi materiali (a destra) Vuoto interlaminare nel Twintex 3-D

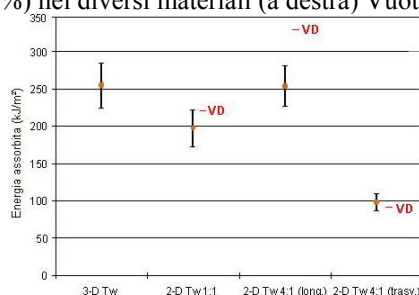


Figura 2 Risultati delle prove di impatto Charpy (valore medio e deviazione standard su 50 provini). VD= valore dichiarato dal produttore

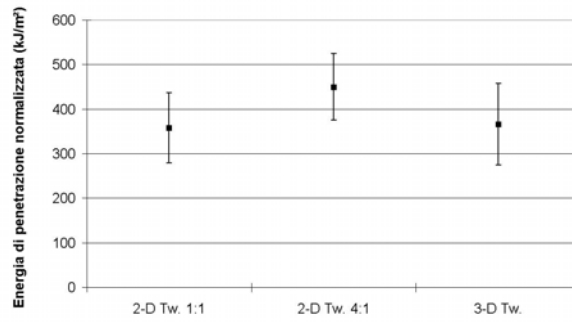


Figura 3 Energia di penetrazione normalizzata per i diversi materiali (valore medio e deviazione standard su 20 provini)

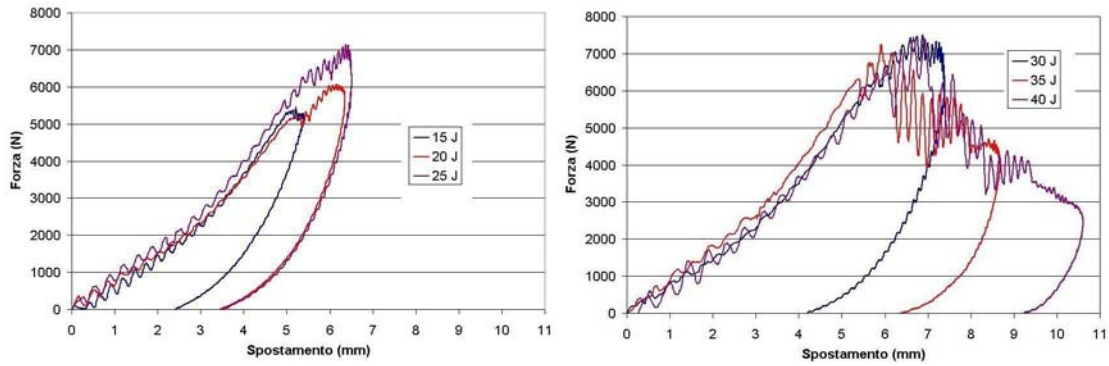


Figura 4 Cicli d'isteresi relativi al Twintex 3-D da 15 a 40 Joule

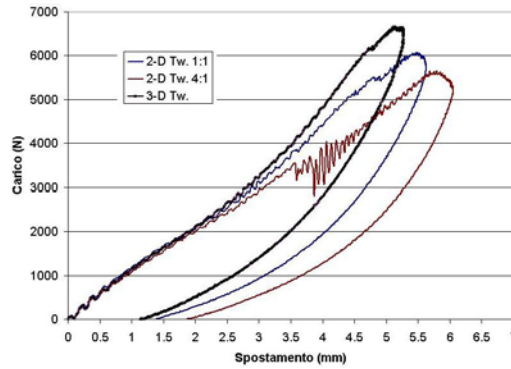


Figura 5 Ciclo d'isteresi per i diversi materiali impattati a 20 Joule

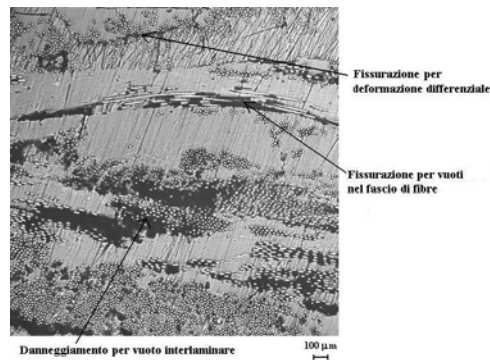


Figura 6 Regioni danneggiate nel Twintex 3-D impattato a 40 Joule