

POLIURETANI ESPANSI RIGIDI CON PROPRIETÀ MODULABILI MEDIANTE CAMPO MAGNETICO IN FASE DI PRODUZIONE

M. D'Auria^{1,2}, D. Davino^{1,2}, L. Sorrentino²

¹Università degli Studi del Sannio, Dipartimento di Ingegneria
Piazza Roma 21, 82100 Benevento

²Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali - Consiglio Nazionale delle Ricerche
P.le E. Fermi 1, 80055 Portici (NA)

L'attività di ricerca riguarda lo sviluppo di poliuretani espansi rigidi a bassa densità con caratteristiche meccaniche modulate e controllate durante la fase di produzione mediante l'applicazione di un campo magnetico.

Tali materiali sono analoghi ai cosiddetti materiali magneto-reologici o magneto-elastici che rappresentano una specifica classe di materiali intelligenti che rispondono ad un campo magnetico esterno manifestando un rapido e reversibile cambiamento delle loro proprietà visco-elastiche. A differenza dei fluidi magneto-reologici, i solidi magneto-elastici (come elastomeri e gel) possono essere facilmente modellati e caratterizzati da una fissata distribuzione spaziale delle particelle definita durante la formatura, ottimizzando la risposta meccanica e magneto-meccanica una direzione preferenziale.

Il presente progetto si concentra sui materiali costituiti da una matrice di poliuretano nei cui precursori sono state disperse particelle sensibili ai campi magnetici. Durante la fase di produzione, mediante l'applicazione di un campo magnetico, è possibile controllare la distribuzione spaziale delle particelle, ottenendo delle strutture a catena. Modificando opportunamente la distribuzione spaziale delle particelle è possibile manipolare la risposta meccanica del materiale.

Le tipologie di campioni prodotte precedentemente all'attività di caratterizzazione sono:

1. espansi tal quali, quindi senza micro-particelle;
2. campioni con particelle disperse in modo casuale, ottenuti facendo espandere i reagenti caricati senza l'applicazione del campo magnetico;
3. campioni con particelle allineate, ottenuti applicando un campo magnetico durante la fase di espansione.

Per una migliore comprensione i campioni sono stati codificati specificando il processo utilizzato (RPF o APF, rispettivamente, per i campioni con particelle disperse in modo casuale e quelli con particelle allineate) e la percentuale in peso delle particelle. In Figura 1 viene riportata una rappresentazione dei sistemi RPF e APF.

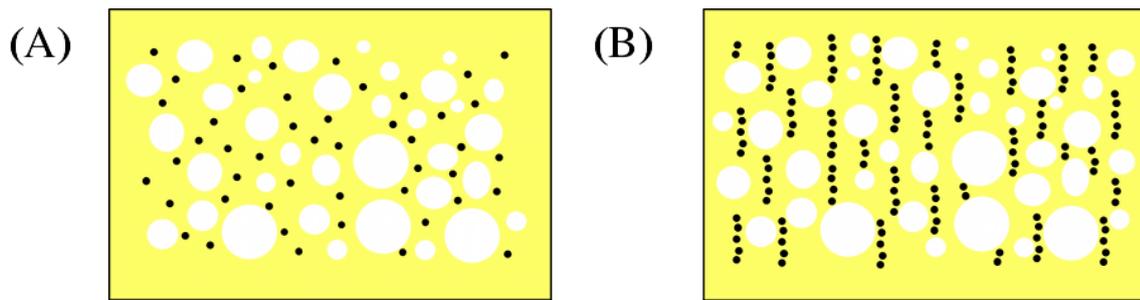


Figura 1: Rappresentazione schematica di espansi (A) con particelle disperse in modo casuale e (B) con particelle allineate.

In [1] sono stati utilizzati campi magnetici per gestire la distribuzione spaziale di micro-particelle disperse in schiume poliuretaniche. Applicando il campo magnetico durante il processo di formatura, le particelle sono state arrangiate in strutture a catena, allineandosi lungo le linee del campo magnetico. Tali strutture sono state consolidate dopo la cura del polimero, come evidente dall'analisi al microscopio elettronico (Figura 2). Le schiume preparate con particelle allineate hanno mostrato migliorate prestazioni meccaniche in termini di modulo di Young a compressione (lungo la direzione di allineamento) rispetto sia alle schiume tal quali (senza particelle) sia alle schiume con distribuzione casuale delle particelle (senza applicazione del campo).

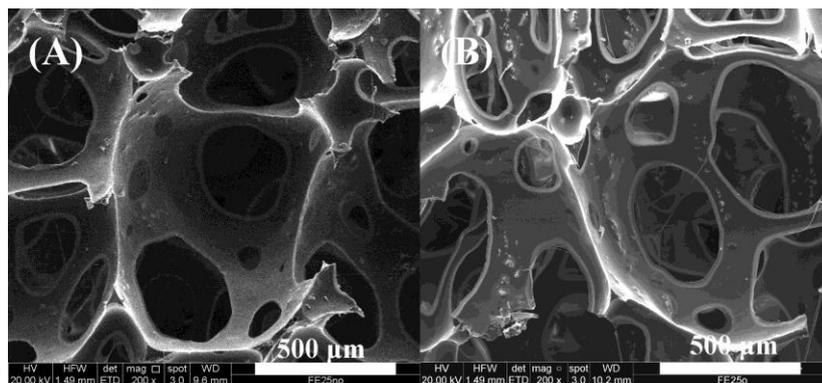


Figura 2: Micrografie acquisite al microscopio elettronico: (A) Schiuma con 25% in peso di particelle non orientate; (B) Schiuma con 25% in peso di particelle orientate.

Il comportamento a compressione dei campioni è stato valutato utilizzando una macchina universale trazione-compressione (modello 4304 della SANS – China, ora MTS – USA) equipaggiata con una cella di carico da 5 kN. Le prove sono state condotte su provini di forma parallelepipedica con dimensioni pari a 50 mm x 50 mm x 20 mm (lunghezza x larghezza x spessore). La direzione di spostamento della traversa è stata fatta coincidere con la direzione di espansione e, nel caso dei sistemi di tipo AP, anche con la direzione di allineamento delle particelle (Figura 3). Per ciascuna configurazione sono stati testati tre campioni e sono stati

valutati i valori medi e le deviazioni standard del modulo di Young a compressione, dello sforzo e della deformazione allo snervamento.

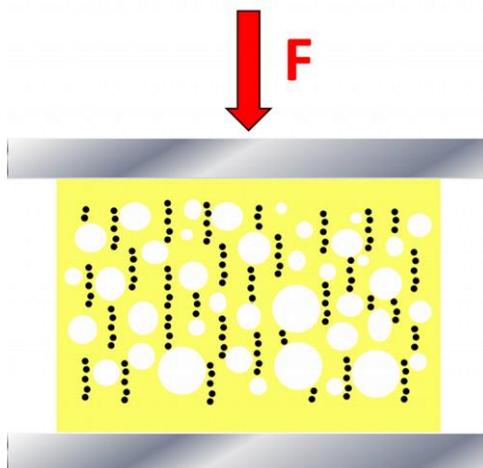


Figura 3: Rappresentazione schematica di una prova di compressione quasi-statica per un campione di tipo AP.

Data la presenza di strutture a catena costituite da particelle più rigide del poliuretano, ci si attende che tali strutture possano dare un forte contributo strutturale. Pertanto, gli espansi rinforzati sono stati sottoposti a caratterizzazione volte ad identificare relazioni tra prestazioni e parametri caratteristici. Tutti i sistemi prodotti sono stati caratterizzati a compressione nella direzione in cui è avvenuta la fase di espansione, che coincide, per i campioni di tipo AP, con la direzione di allineamento delle particelle.

In Figura 4 sono riportati i diagrammi sforzo-deformazione per i campioni RPF ed APF per una velocità di deformazione $\dot{\epsilon}$ pari a $1 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, rispettivamente per i campioni con 50% e 100% di particelle in peso rispetto alla massa del poliuretano tal quale.

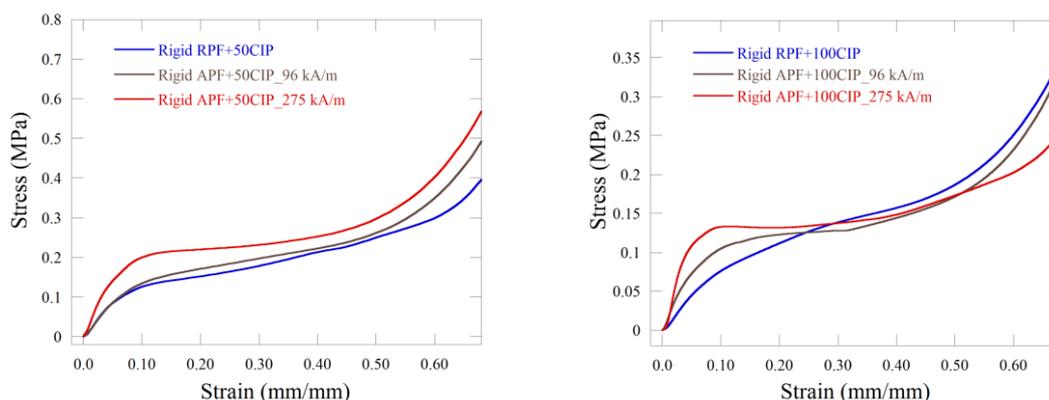


Figura 4: Curve sforzo-deformazione delle prove a compressione per i sistemi RPF e APF con 50% in peso di particelle (a sinistra) e 100% in peso di particelle (a destra).

Gli espansi rinforzati con micro-particelle hanno mostrato una migliorata risposta a compressione nei confronti dei campioni tal quale. Le prestazioni meccaniche sono aumentate

con il contenuto di particelle per la serie di espansi con entrambe le tipologie di micro-particelle. Questo comportamento è anche indice di una buona adesione con le particelle e, in base alla meccanica dei materiali compositi, l'effetto rinforzante è dipendente dalla percentuale volumetrica di particelle. Inoltre, a parità di contenuto in peso, la presenza delle catene di particelle ha impartito un significativo incremento del modulo elastico nella direzione in cui è avvenuta la fase di espansione. Infatti, nei sistemi APF la maggior quantità di particelle consente la formazione di lunghi aggregati di particelle, che agiscono come se fossero delle vere e proprie fibre corte [2].

Questi risultati dimostrano che è possibile incrementare di molto la risposta meccanica degli espansi con particelle allineate per formare delle strutture a catena senza interferire con la morfologia cellulare, diversamente dagli espansi rinforzati con differenti tecniche di post-produzione [3].

BIBLIOGRAFIA

- [1] D'Auria M, Davino D, Pantani R, Sorrentino L, "Polymeric Foam-Ferromagnet Composites as Smart Lightweight Materials", *Smart Materials and Structures*, 25, 055014 (2016)
- [2] Sorrentino L, Aurilia M, Forte G, Iannace S. "Anisotropic mechanical behavior of magnetically oriented iron particle reinforced foams", *J Appl Polym Sci*, 119, 1239-47 (2011)
- [3] Papathanasiou T, Ingber M, Guell D, "Stiffness enhancement in aligned, short-fibre composites: a computational and experimental investigation", *Compos Sci Technol*, 3538 (1995)
- [4] Varga Z, Filipcsei G, Zrínyi M, "Magnetic field sensitive functional elastomers with tuneable elastic modulus", *Polymer*, 47, 227-33 (2006)
- [5] Ivaneyko D, Toshchevikov VP, Saphiannikova M, Heinrich G, "Magneto-sensitive Elastomers in a Homogeneous Magnetic Field: A Regular Rectangular Lattice Model", *Macromol Theory Simulations*, 20, 411-24 (2011)
- [6] Ivaneyko D, Toshchevikov V, Saphiannikova M, Heinrich G, "Effects of particle distribution on mechanical properties of magneto-sensitive elastomers in a homogeneous magnetic field", *Condens Matter Phys*, 15, 33601 (2012)
- [7] Ivaneyko D, Toshchevikov V, Borin D, Saphiannikova M, Heinrich G, "*Mechanical Properties of Magneto-Sensitive Elastomers in a Homogeneous Magnetic Field: Theory and Experiment*", *Macromol Symp* 338, 96-107 (2014)
- [8] Gibson LJ, Ashby MF, "Cellular solids: structure and properties", Cambridge University Press (1997)