

Structural Smart Fabrics: un nuovo concetto di strutture con rigidità dipendente dalla temperatura

Wednesday 2 September 2026 09:45 (15 minutes)

Le strutture impiegate nelle applicazioni spaziali devono spesso soddisfare requisiti di piegabilità e dispiegamento. Tali requisiti sono stati tradizionalmente affrontati adottando soluzioni costruttive come componenti modulari o gonfiabili. Un'alternativa a questi approcci è rappresentata dall'uso di strutture realizzate con materiali adattivi intelligenti. Affinché ciò sia possibile, il materiale adattivo considerato deve essere in grado di assumere due diverse configurazioni: una a bassa rigidità, per consentire la piegabilità, e una ad alta rigidità, per garantire il dispiegamento e la successiva funzionalità in esercizio.

In questo lavoro proponiamo un nuovo concetto di struttura adattiva denominato Structural Smart Fabric (SSF). Gli SSF sono strutture formate da una maglia di elementi interconnessi (celle) e dotate di fili in lega a memoria di forma (SMA). La capacità di memoria di forma rende gli SSF sensibili alla temperatura. Quando la SMA si trova a una temperatura inferiore alla sua temperatura di trasformazione, le celle risultano libere e il tessuto presenta una rigidità prossima allo zero: questo stato è definito "stato inattivo" dell'SSF. Al di sopra della temperatura di transizione della SMA, il dispositivo SMA comprime le celle tra loro, causando un improvviso aumento della rigidità. Questo è definito "stato attivo" dell'SSF.

Per validare questo concetto, è stato considerato un SSF realizzato con una maglia polimerica stampata in 3D e dotata di un filo SMA. La SMA utilizzata era una NiTiNol commerciale, con un intervallo di temperatura di trasformazione compreso tra 60 °C e 70 °C. Tali SSF sono stati inizialmente simulati mediante modelli agli elementi finiti. Le simulazioni hanno consentito una comprensione più approfondita del principio di funzionamento del concetto proposto e sono state utilizzate per progettare prototipi reali. Sono stati quindi realizzati quattro prototipi e testati in flessione a tre punti. In primo luogo, sono stati condotti test di riferimento a temperatura ambiente, che hanno evidenziato la prevista rigidità flessionale prossima allo zero dei prototipi. Successivamente, sono stati effettuati test ad alte temperature (80 °C, 90 °C e 100 °C), che hanno mostrato un aumento progressivo della rigidità flessionale all'aumentare della temperatura. I test hanno quindi dimostrato non solo il doppio stato degli SSF (attivo e inattivo), ma anche che lo stato attivo è caratterizzato da una rigidità dipendente dalla temperatura.

Come accennato, il concetto di SSF proposto è stato validato utilizzando uno specifico processo produttivo e materiale per la maglia, insieme a un filo SMA commerciale. Tuttavia, possono essere considerate diverse configurazioni di SSF. Per valutare tali possibilità, sono state eseguite simulazioni FE considerando una maglia metallica. I risultati hanno mostrato un aumento di rigidità più precoce e più marcato rispetto alla soluzione polimerica, grazie a un modulo di massa più elevato. Inoltre, è possibile utilizzare diverse SMA per i fili al fine di variare l'intervallo di temperatura di transizione e quindi le temperature degli stati attivo e inattivo. Infine, in questo lavoro le variazioni di temperatura degli SSF sono state ottenute mediante una camera riscaldata; si può anche considerare il riscaldamento elettrico per un maggiore controllo dell'attivazione degli SSF.

Il concetto di SSF proposto è stato quindi validato su scala di laboratorio. Sebbene non sia ancora stata individuata un'applicazione specifica, le loro capacità di doppia rigidità rendono gli SSF ottimi candidati per applicazioni spaziali: nello stato inattivo, un componente SSF può essere piegato per essere trasportato nei razzi; una volta nell'ambiente operativo (spazio o anche su un altro pianeta), il componente può essere attivato per dispiegarsi nella sua forma finale. In particolare, studi applicativi mirati stanno considerando strutture come scudi termici e ruote per rover, al fine di sfruttare le proprietà dipendenti dalla temperatura degli SSF.

Primary authors: MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano); Mr MARIOTTI, Luca (Politecnico di Milano); Dr ROSSONI, Marco (Politecnico di Milano); Dr PARENTI, Paolo; Dr PATRIARCA, Luca

Presenter: MARTULLI, Luca Michele (Politecnico di Milano)

Session Classification: Additive Manufacturing

Track Classification: Additive Manufacturing