

Progettazione di metamateriali fillotassici per prestazioni integrate fluidodinamiche e meccaniche nell'ingegnerizzazione del tessuto osseo

Wednesday 2 September 2026 15:30 (15 minutes)

Negli ultimi anni, i metamateriali stanno emergendo come una delle soluzioni più promettenti nell'ambito dell'ingegneria dei tessuti, grazie alla loro capacità di esibire proprietà meccaniche e funzionali non riscontrabili nei materiali convenzionali. Attraverso un'accurata progettazione della loro architettura interna, è possibile modulare caratteristiche fondamentali quali rigidezza, resistenza, permeabilità e distribuzione degli sforzi, rendendoli particolarmente adatti ad applicazioni biomedicali. Tuttavia, uno dei principali limiti delle strutture attualmente impiegate risiede nella difficoltà di ottenere un compromesso ottimale tra prestazioni fluidodinamiche e meccaniche: architetture altamente permeabili tendono infatti a risultare meccanicamente deboli, mentre configurazioni più rigide spesso penalizzano il trasporto di nutrienti e la distribuzione degli stimoli meccanici necessari ai processi di osteogenesi.

Questo trade-off rappresenta un ostacolo cruciale nell'ingegneria dei tessuti come l'osso, dove, nonostante le naturali capacità rigenerative del tessuto osseo, condizioni patologiche come l'osteoporosi possono comprometterne la funzionalità. Le soluzioni tradizionali, come gli innesti ossei, presentano diverse limitazioni, rendendo necessario lo sviluppo di scaffold avanzati in grado di supportare efficacemente la rigenerazione in presenza di difetti critici.

In questo contesto, il presente studio propone un nuovo metamateriale bio-ispirato progettato per superare tale limite, sfruttando il principio della fillotassi. Il design, sviluppato in ambiente CAD (Catia), si ispira alla distribuzione naturale di foglie e rami nelle piante, regolata da leggi matematiche quali l'angolo aureo e le sequenze di Fibonacci. Questa organizzazione consente una distribuzione spaziale dei canali altamente efficiente e modulabile, permettendo di migliorare simultaneamente la gestione del flusso e la risposta strutturale, mitigando il trade-off tipico delle architetture convenzionali.

La struttura fillotassica è stata confrontata con una configurazione regolare a griglia, rappresentativa delle soluzioni attualmente in commercio, mantenendo costanti la densità relativa (62%) e la dimensione dei canali. Le proprietà biologiche sono state analizzate mediante simulazioni CFD in COMSOL, valutando permeabilità e sforzi di taglio, parametri chiave per il trasporto di nutrienti e la stimolazione dell'osteogenesi. Le proprietà meccaniche sono state investigate numericamente in ABAQUS e validate sperimentalmente tramite prove di compressione quasi-statica su campioni stampati in PLA.

I risultati evidenziano come la configurazione fillotassica permetta di aumentare fino al 20% l'area favorevole all'osteogenesi rispetto alla struttura regolare, mantenendo al contempo una risposta meccanica superiore in termini di rigidità e capacità di assorbimento di energia, aumentando dell'84% il modulo elastico e del 43% l'energia assorbita durante la deformazione. Inoltre, essa introduce meccanismi di deformazione più efficienti, dominati dalla flessione anziché da una rottura fragile e progressiva.

In conclusione, questo studio dimostra che l'adozione di architetture fillotassiche nei metamateriali rappresenta una strategia efficace per colmare il divario tra prestazioni fluidodinamiche e strutturali, offrendo scaffold ottimizzati per il bone tissue engineering e aprendo nuove prospettive nella progettazione di materiali bio-ispirati ad alte prestazioni.

Primary author: VIVAN, Matteo (Politecnico di Milano)

Co-authors: BUCCINO, Federica (Politecnico di Milano); VERGANI, Laura Maria (Politecnico Di Milano)

Presenter: VIVAN, Matteo (Politecnico di Milano)

Session Classification: Biomeccanica

Track Classification: Biomeccanica