

Modellazione multiscala dell'osso trabecolare: dalla trabecola alla lacuna

Wednesday 2 September 2026 15:15 (15 minutes)

L'osso rappresenta un esempio significativo di materiale composito naturale, capace di coniugare ridotta densità ed elevata efficienza meccanica. La risposta meccanica dell'osso è fortemente governata dalla sua organizzazione gerarchica e dalla distribuzione multiscala delle sue eterogeneità microstrutturali. Tra le eterogeneità più influenti, le lacune osteocitarie introducono discontinuità microstrutturali nel tessuto osseo, generando perturbazioni locali dei campi di sforzo e deformazione non direttamente misurabili sperimentalmente. In questo lavoro si propone un framework multiscala per la caratterizzazione meccanica dell'osso trabecolare a scala lacunare, basato sull'integrazione di tomografia μ CT da sincrotrone con prove di compressione in situ, segmentazione automatica mediante reti neurali convolutive, identificazione inversa delle proprietà elastiche del tessuto e modellazione agli elementi finiti dei provini mediante geometrie reali e sottomodelli locali. Il framework è validato su campioni di osso trabecolare umano, consentendo l'analisi morfometrica su larga scala di oltre 2×10^5 lacune e la riproduzione accurata della risposta globale forza-spostamento. Le analisi numeriche condotte sui sottomodelli locali mostrano concentrazioni di sforzo in corrispondenza delle lacune, con fattori di concentrazione compresi tra 1.45 e 1.99, governati principalmente dall'allungamento della lacuna; inoltre, l'effetto dell'orientazione emerge in modo marcato oltre una soglia angolare, evidenziando due distinti regimi di risposta meccanica. Le interazioni meccaniche tra lacune risultano fortemente localizzate e decadono rapidamente con la distanza, diventando trascurabili quando la separazione supera circa 6–7 raggi efficaci, intesi come scala caratteristica della dimensione lacunare nella direzione di interazione; ciò permette di definire un criterio di isolamento meccanico indipendente dalla scala assoluta. Il framework sviluppato consente pertanto di condurre studi statistici morfometrici e di collegare in modo consistente la risposta meccanica alla scala del campione con i campi di sforzo locali alla scala delle lacune, fornendo una base quantitativa per l'analisi dell'influenza della microstruttura sulla risposta meccanica dell'osso trabecolare.

Primary author: CLEMENTINI, Ludovica (Department of Mechanical Engineering (DMEC), Politecnico di Milano, Milan)

Co-authors: Dr BUCCINO, Federica (Department of Mechanical Engineering (DMEC), Politecnico di Milano, Milan. IRCCS Galeazzi-Sant'Ambrogio, Milan); Prof. VERGANI, Laura Maria (Department of Mechanical Engineering (DMEC), Politecnico di Milano, Milan. IRCCS Galeazzi-Sant'Ambrogio, Milan)

Presenter: CLEMENTINI, Ludovica (Department of Mechanical Engineering (DMEC), Politecnico di Milano, Milan)

Session Classification: Biomeccanica

Track Classification: Biomeccanica