

PROGRAMMA PRIN PNRR 2022 - BANDO PRIN PNRR 2022 Decreto Direttoriale n. 1409 n. 1409 del 14-9-2022

TITOLO DEL PROGETTO: Innovative Mathematical Modelling For Cell Mechanics: Global Approach From Micro-Scale Models To Experimental Validation Integrated By Reinforcement Learning - P2022MXCJ2

CODICE CUP: E53D23018000001

Budget DIST: 68.836,00

Responsabile Unità Locale: Prof. Arsenio Cutolo

Altre Unità di Ricerca coinvolte nel progetto: Politecnico di Bari; Università "Giustino Fortunato"

Descrizione del progetto

Il progetto "Innovative mathematical modelling for cell mechanics: global approach from micro-scale models to experimental validation integrated by reinforcement learning" è finalizzato allo sviluppo di un approccio innovativo per lo studio dei fenomeni non lineari nella meccanica cellulare, quali adesione, crescita e rimodellamento. Tali fenomeni rivestono un ruolo centrale nei processi biologici fondamentali, tra cui morfogenesi e patogenesi. Il progetto si basa su un approccio fortemente interdisciplinare che integra modellistica matematica, metodi numerici, validazione sperimentale e tecniche avanzate di machine learning. L'attività scientifica è organizzata lungo diverse linee di ricerca tra loro integrate: lo sviluppo di modelli discreti a scala microscopica per descrivere fenomeni emergenti, la modellazione numerica tramite metodi agli elementi finiti per l'analisi a scala macroscopica, la validazione sperimentale su colture cellulari e l'impiego di tecniche di reinforcement learning per migliorare la capacità predittiva dei modelli. L'obiettivo principale del progetto è sviluppare un quadro teorico e computazionale integrato per la descrizione multiscala della meccanica cellulare. In particolare, si mira a comprendere come le proprietà microscopiche, quali interazioni locali, multistabilità ed effetti termici e chimici, influenzino il comportamento macroscopico dei sistemi biologici. Il progetto si propone inoltre di integrare modelli matematici con dati sperimentali e tecniche di machine learning, al fine di ottenere strumenti predittivi avanzati per fenomeni complessi come adesione cellulare, migrazione e interazioni cellula-matrice.

Un'ulteriore finalità è la costruzione di modelli in grado di supportare applicazioni in ambito biomedico, come la progettazione di biomateriali e l'analisi di sistemi cellulari, attraverso l'integrazione sinergica tra teoria, sperimentazione e metodi di machine learning.

Risultati attesi

I risultati attesi includevano lo sviluppo di modelli matematici multiscala per la meccanica cellulare, la validazione sperimentale dei modelli tramite tecniche avanzate di microscopia

e misure meccaniche, e l'implementazione di metodi di machine learning e reinforcement learning per migliorare la capacità predittiva dei modelli. Si prevedeva inoltre la realizzazione di strumenti numerici per l'analisi dei sistemi biologici e la produzione di risultati scientifici di alto livello, documentati attraverso pubblicazioni e attività di disseminazione.

Risultati raggiunti

Le attività svolte hanno portato al pieno raggiungimento degli obiettivi progettuali, con un avanzamento progressivo e coerente lungo tutte le fasi del progetto. In particolare, sono stati sviluppati modelli matematici multiscala capaci di descrivere fenomeni di adesione, decohesione e crescita cellulare, integrando effetti termici, chimici e meccanici. Tali modelli sono stati validati attraverso dati sperimentali ottenuti mediante tecniche avanzate quali microscopia a forza atomica, imaging e test meccanici su cellule e materiali soffici.

Dal punto di vista teorico, sono stati ottenuti risultati significativi nella modellazione termo-meccanica e nella descrizione di transizioni di fase in sistemi biologici complessi. Sono stati inoltre sviluppati modelli discreti e continui per la descrizione delle interazioni tra cellula e matrice extra-cellulare.

Un contributo rilevante è stato fornito dall'integrazione di tecniche di machine learning e reinforcement learning. In particolare, sono stati realizzati sistemi basati su reinforcement learning per la simulazione di strutture tensegrity e per lo studio di fenomeni legati alla meccanica cellulare.

Le attività sperimentali hanno prodotto dataset ad alta risoluzione, utilizzati per la validazione dei modelli e per l'addestramento degli algoritmi di apprendimento automatico. Inoltre, sono state sviluppate pipeline computazionali per la ricostruzione tridimensionale di strutture cellulari e per l'analisi automatizzata delle immagini biologiche.

Complessivamente, il progetto ha portato allo sviluppo di un framework integrato che combina modellistica matematica, sperimentazione e machine learning, fornendo una base solida per lo studio dei sistemi biologici complessi e aprendo nuove prospettive applicative nei campi della meccanica cellulare e dei materiali bio-ispirati. I risultati ottenuti sono stati ampiamente disseminati attraverso pubblicazioni scientifiche, conferenze e attività seminariali.

Tali risultati sono stati diffusi anche mediante un sito web disponibile alla pagina <https://gamer.altervista.org>