



Presentazione di alcune tematiche proposte dall'area «Fisica Matematica»
per le prove finali in *Matematica per l'Ingegneria*

February 20, 2025



Politecnico
di Torino



Prof. Marcello DELITALA

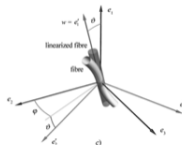
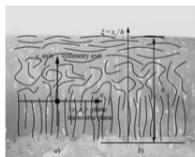
E-mail: marcello.delitala@polito.it

- **Tematica:** Sviluppo e analisi di modelli matematici in biomedicina. Sono sviluppate applicazioni legate alla biologia e alla medicina, quali la dinamica di sistemi multicellulari tumorali, il ruolo di specifici agenti terapeutici e l'emergenza della resistenza ai farmaci, aspetti di motilità cellulare e processi di crescita tissutale e neoplastica, il ruolo del micro-ambiente tumorale nel determinare l'eterogeneità fenotipica, fenomeni di selezione Darwiniana nella tumorigenesi. L'argomento specifico viene concordato con il tesista.
- **Formalismo:** Il formalismo matematico tipicamente usato è quello della dinamica delle popolazioni e delle popolazioni con struttura interna e in particolare equazioni differenziali, integro-differenziali e PDE.
- **Eventuali sviluppi:** Oltre alla parte modellistica, in funzione delle inclinazioni del/la tesista, può essere effettuata una analisi qualitativa e/o computazionale per evidenziare l'aderenza alla realtà del modello proposto, sottolineando eventuali comportamenti emergenti.

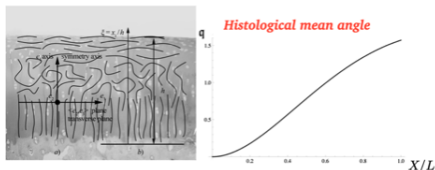
Prof. Alfio GRILLO

E-mail: alfio.grillo@polito.it

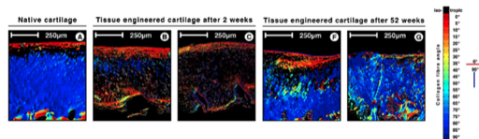
■ Compositi fibro-rinforzati, ingegneria dei tessuti e rottura di simmetrie



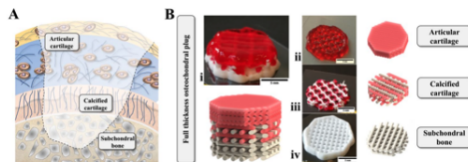
Clark et al. (2003). Modified from Federico et al. (2005); Federico and Herzog (2008)



Federico et al. (2005); Grillo et al. (2018); Federico et al. (2008;2010); Carfagna et al. (2017); Crevacore et al. (2019)



Paetzold et al. (2012); Grillo et al. (2018); Crevacore et al. (2019)



Kilian et al. 2022

Prof. Alfio GRILLO

E-mail: alfio.grillo@polito.it

■ Meccanica dei sistemi discreti soggetti a *vincoli anolonomi*

Verranno fornite le nozioni fondamentali per l'analisi dei *vincoli anolonomi* da un punto di vista *meccanico* (Pars, 1965; Gantmacher, 1970; Lanczos, 1970; Neimark&Fufaev, 1972) e *geometrico-differenziale* (Bloch et al., 1996), ponendo le basi per la loro *trattazione variazionale* (Kozlov, 1982; Llibre et al., 2014; Pastore et al., 2024).

Le nozioni così apprese saranno impiegate per formalizzare *problemi biomeccanici* legati alla *crescita* e al *rimodellamento* dei tessuti biologici e delle masse tumorali (Grillo&Di Stefano, 2023,2024).

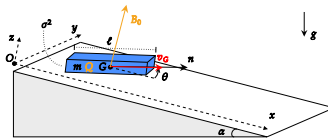


Figure: Grafica di A. Pastore

Dott.ssa Nadia LOY

Email: nadia.loy@polito.it

- **Tematica:** Sviluppo e analisi di modelli matematici per descrivere la migrazione cellulare in risposta a stimoli ambientali multipli, quali chemiotassi, interazioni con fibre e proprietà meccaniche dell'ambiente extracellulare. Il modello matematico costituisce la base per effettuare esperimenti *in-silico*, che permettono di studiare in modo controllato il ruolo dei singoli meccanismi e delle loro interazioni, che sono alla base di fenomeni quali angiogenesi, embriogenesi e crescita tumorale.
- **Formalismo:** Si considerano modelli microscopici basati su processi stocastici discreti o continui nel tempo, dai quali è possibile derivare modelli mesoscopici (cinetici o di campo medio) e macroscopici (PDE) per la descrizione a livello tissutale. A seconda dell'interesse del/la tesista, il lavoro potrà concentrarsi su aspetti modellistici, simulazioni numeriche e/o derivazione analitica e analisi di modelli di tipo PDE. Tesi in co-supervisione con la Dott.ssa Martina Conte (DISMA). Possibilità di redazione in lingua inglese.

Dott.ssa Nadia LOY

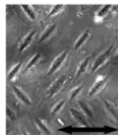
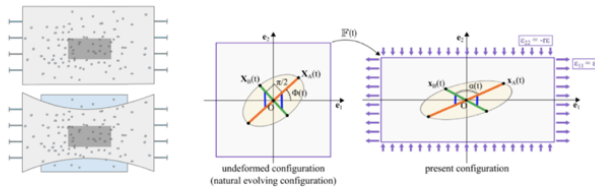
Email: nadia.loy@polito.it

- **Tematica:** La tesina propone lo studio di un modello per la diffusione del Glioblastoma (GBM), un tumore cerebrale. IL GBM viene diagnosticato tramite risonanza magnetica, la quale fornisce il tensore di diffusione (DTI) delle particelle all'interno della struttura cerebrale. Una criticità è data dal fatto che solo la massa tumorale principale è visibile tramite risonanza, mentre non lo sono le cellule cancerose singole che si diffondono adoperando la struttura del cervello. Da qui l'importanza di un modello matematico predittivo *patient based*.
- **Formalismo:** si propone lo studio della diffusione del Glioblastoma tramite PDE. Tale PDE può essere *patient based* grazie al DTI. A seconda dell'interesse del/la tesista, sarà possibile svolgere uno studio di tipo modellistico e di simulazione, studiare possibili derivazioni da processi microscopici stocastici per le cellule oppure investigare alcune proprietà analitiche del modello. Tesi in co-supervisione con la Dott.ssa Martina Conte (DISMA). Possibilità di redazione in lingua inglese.

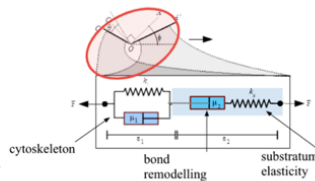
Prof. Luigi PREZIOSI

E-mail: luigi.preziosi@polito.it

■ Orientazione cellulare indotta da deformazioni periodiche

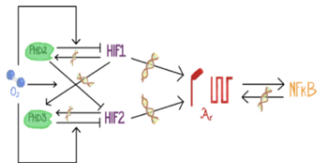


A. Livne, E. Bouchbinder, B. Geiger. Cell reorientation under cyclic stretching, Nat. Comm. 5, 3938 (2014).



E-mail: luigi.preziosi@polito.it

■ Modellizzazione dell'infiammazione indotta da ipossia in tumori



P. Ferrante, L. Preziosi, M. Scianna, Modelling hypoxia-related inflammation scenarios. *Math. Biosci.* 355, 108952 (2023)

$$\tau \frac{dH_1}{dt} = 1 - \zeta H_1 - \eta g_{12}(O_2) F_{12}(H_1) P_2,$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \Gamma_2(H_1) - P_2,$$

$$\tau_P \frac{dP_3}{dt} = \Gamma_3(H_1, H_2) - P_3,$$

$$\tau_A \frac{dA_r}{dt} = \Gamma_A(H_1, H_2) + \beta N - A_r,$$

$$\tau_N \frac{dN}{dt} = \alpha + F_N(A_r) - N,$$

$$\tau_2 \frac{dH_2}{dt} = 1 - \zeta_2 H_2 - \eta_2 g_{22}(O_2) F_{22}(H_2) P_2 - \eta_3 g_{33}(O_2) F_{23}(H_2) P_3.$$

Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

■ Fluttuazioni e risposta di sistemi dinamici a perturbazioni

Einstein obtained first FDT (*Fluctuation-Dissipation Theorem*), giving a theory of Brownian motion, to prove that matter is made of atoms.

Fluctuations: variation of physical quantity around its mean (equilibrium)

Dissipation: how system responds to external actions (non-equilibrium)

$$\langle x^2(t) \rangle \sim 6Dt \text{ (fluctuation)}$$

$$\text{FDT: } D = \frac{RT}{6\pi\eta a} \cdot \frac{1}{N_A}$$

η = viscosity (dissipation: response to drag)

Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

■ Trasporto in mezzi fortemente confinati

Rarefied conditions, $\ell \sim L$. Highly confined (almost 1-D). High gradients (reduced chaos).

Correlations destroy LTE (*Local Thermal Equilibrium*), produce anomalous transport e.g. of matter (membranes) and heat (nanowires).

Atomistic approach succeeds in many circumstances.

Commonly used to understand results of experiments or in place of (expensive or practically impossible) experiments: fracture fronts *inside* solids, nuclear fuel pellets thermal dilation etc.

Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

■ **Osmosi transiente e diffusione nonlineare**

$$\pi = RTC ; \quad \frac{\partial \rho_{\text{ch}}}{\partial t} = - \frac{\partial j}{\partial x} ;$$

$$j = m D_{\text{ch}}^{(1)} \rho_{\text{ch}}^{m-1} \frac{\partial \rho_{\text{ch}}}{\partial x}$$

- Soluzione analitica
- Possibili applicazioni alla **distrofia muscolare**
- Programma: numerico, analitico, matematico.
Matematico: esistenza e stabilità di diverse diffusioni non lineari;
momenti frazionari su reticoli di mappe del toro 2D.
Definizioni di complessità.

Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

- **Trasporto quantistico:** Sensori nano-strutturati e risonanza di *tunnel*.

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} = -(V - E)\psi$$

Programma: ingegneristico, numerico, analitico, matematico.

- **Matematico:** difficile. Forse teorema matrici random o TF.
- **Ingegnерistico:** brevetto sensore pressione.

Prof. Marco SCIANNA

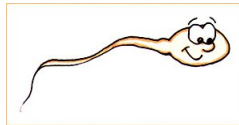
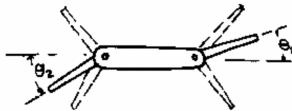
E-mail: marco.scianna@polito.it

- **Modelli agli automi cellulari per problemi biologici/biomedici**, con particolare interesse all'ambito della crescita tumorale.
- **Modelli particellari** per riprodurre le dinamiche di sistemi cellulari e di gruppi di animali e pedoni.
- **Algoritmi di dinamiche di sciame di particelle** per l'ottimizzazione del *Machine Learning*.

Dr. Marta ZOPPELLO

E-mail: marta.zoppello@polito.it

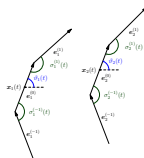
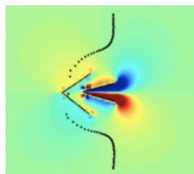
- **Modelli matematici per micro-nuotatori minimali:** Il lavoro di tesi verte sulla modellizzazione di *micro-nuotatori ideali* che possano muoversi cambiando forma in modo eventualmente periodico. La *sfida* è trovare il *più piccolo numero di gradi di libertà* che permetta il moto. Si analizzeranno modelli di micro-nuotatori minimali della letteratura e si proporranno opportune modifiche per generalizzare tali modelli. La tesi è in co-supervisione con il Prof. Marco Morandotti (DISMA) e può essere redatta in lingua inglese.



Dr. Marta ZOPPELLO

E-mail: marta.zoppello@polito.it

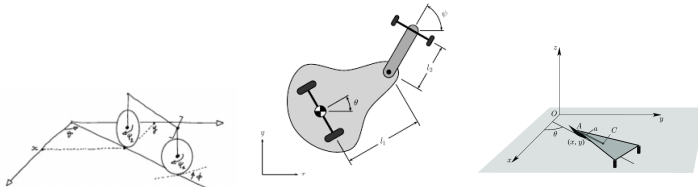
- **Interazione idrodinamica tra micro-nuotatori flagellati:** La tesi verte sulla modellazione e l'analisi del nuoto di due o più micro-nuotatori flagellati che interagiscono tra di loro. Dopo lo studio del modello ci si occuperà della pianificazione delle bracciate di nuoto per pilotare il sistema. Allo studio teorico è possibile affiancare simulazioni al computer. La tesi è in co-supervisione con il Prof. Marco Morandotti (DISMA) e può essere redatta in lingua inglese.



Dr. Marta ZOPPELLO

E-mail: marta.zoppello@polito.it

- **Controllabilità di sistemi meccanici: teoria e applicazioni:** Il lavoro di tesi verte sullo studio della controllabilità per sistemi meccanici, ossia la possibilità di spostare un sistema da una configurazione ad un'altra usando funzioni di controllo dipendenti dal tempo. Tali funzioni di controllo possono essere o forze esterne o alcuni gradi di libertà del sistema. Ci si focalizzerà su sistemi meccanici affini nel controllo, con e senza *drift* e si applicheranno ad essi tecniche di base di **teoria geometrica del controllo** per studiarne la controllabilità.





Thank you for your attention



Politecnico
di Torino