



Dipartimento di  
Scienze Matematiche  
G. L. Lagrange

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

February 24, 2023



Politecnico  
di Torino



## Prof. Marcello DELITALA

E-mail: [marcello.delitala@polito.it](mailto: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 e ingegneria dei tessuti

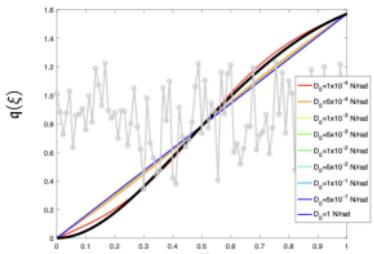


Figure: Grillo et al. (2018)

Rottura spontanea di simmetrie

$$\Gamma \dot{q} = \text{Div} \left[ \Phi_{1s} \frac{\partial \hat{W}_{\text{rem}}}{\partial \text{Grad} q} \right] - \Phi_{1s} \frac{\partial \hat{W}_{\text{rem}}}{\partial q}$$

(Grillo et al., 2018)

■ Il modello di Poisson-Nernst-Planck e le Equazioni di Maxwell frazionarie

La geometria frattale dei fasci di fibre nervose può risultare in un comportamento elettro-chimico *non locale* delle cellule nervose (Tarasov (2005,2008); Meerschaert et al., 2006; Drapaca, 2020,2021).

**Prof. Tommaso LORENZI**  
**E-mail:** [tommaso.lorenzi@polito.it](mailto:tommaso.lorenzi@polito.it)

Breve sommario dei progetti:

- Modelli matematici per la risposta tumorale a farmaci chemioterapici.
- Modelli matematici di selezione naturale e processi evolutivi.
- Modelli matematici per lo sviluppo della leucemia.

Tutti i progetti riguarderanno la definizione, l'analisi e la simulazione numerica di modelli matematici formulati in termini di equazioni differenziali alle derivate parziali o equazioni integro-differenziali.

Le Studentesse e gli Studenti interessati possono contattare il docente di riferimento per avere ulteriori dettagli.

## Prof. Kevin PAINTER

E-mail: [kevin.painter@polito.it](mailto:kevin.painter@polito.it)

### ■ The mathematics of crime

*Analysis of crime data has revealed that cities can witness the emergence of temporary or permanent crime “hotspots”, areas where high criminal activity occurs over an extended period of time. This project will look at mathematical models that explain how such “hotspots” can arise, and how they can be eliminated.*

### ■ The epidemics of riots

*Riots develop sporadically in various cities and countries throughout the world. This project will use mathematical models originally developed to describe epidemics to explain the way in which riots evolve in space and time, using data from the rioting that occurred across France in 2005 as a case example*

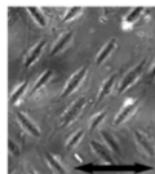
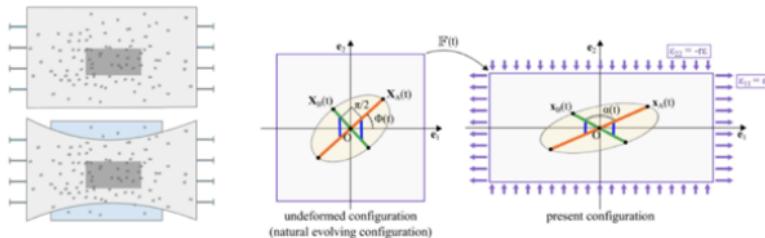
### ■ Models for snowmelt in alpine landscapes

*Snow reflects sunlight and, therefore, snowpack is an important factor in models for global warming. This project will examine spatiotemporal models for snowmelt, calibrated against satellite imaging of Gran Paradiso National Park.*

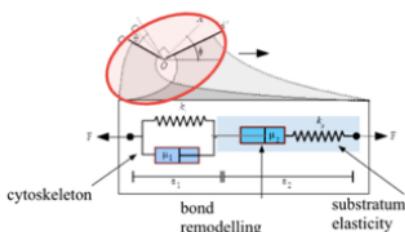
**Prof. Luigi PREZIOSI**

E-mail: luigi.preziosi@polito.it

■ Orientazione cellulare indotta da deformazioni periodiche



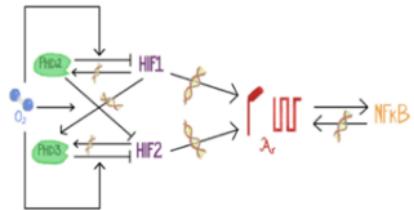
A. Livne, E. Bouchbinder, B. Geiger. Cell reorientation under cyclic stretching, Nat. Comm. 5, 3938 (2014).



Prof. Luigi PREZIOSI

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, 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**)

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

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

$\eta$  = 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, 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
- Programma: numerico, analitico, matematico.  
Matematico: esistenza e stabilità di diverse diffusioni non lineari;  
momenti frazionari su reticolati 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.
- **Ingegneristico:** brevetto sensore pressione.



## Prof. Marco SCIANNA

E-mail: [marco.scianna@polito.it](mailto: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 sciami di particelle** per l'ottimizzazione del *Machine Learning*.

**Prof. Andrea TOSIN e Prof. Tommaso LORENZI**

E-mail: [tommaso.lorenzi@polito.it](mailto:tommaso.lorenzi@polito.it), [andrea.tosin@polito.it](mailto:andrea.tosin@polito.it)

### Approfondimento di Equazioni della Fisica Matematica

- Prova finale legata all'insegnamento *Equazioni della Fisica Matematica*:
  - ▶ Approfondimento di argomenti del corso.
  - ▶ Sviluppo di argomenti motivati dai metodi e dai modelli della Fisica Matematica studiati nel corso.
  
- La prova finale potrà coniugare aspetti
  - ▶ modellistici
  - ▶ analitici
  - ▶ computazionali

da concordare con le Studentesse e gli Studenti interessate/i.

# Prof. Andrea TOSIN

E-mail: [andrea.tosin@polito.it](mailto:andrea.tosin@polito.it)

## Modelli cinetici di sistemi multi-agente

- Modellizzazione di sistemi multi-agente con i metodi della teoria cinetica:
  - ▶ Argomento di confine con la ricerca attuale in Fisica Matematica.
  - ▶ Non studiato durante la laurea triennale.
  - ▶ Affrontabile con gli strumenti matematici acquisiti durante la laurea triennale.
- Approccio concettuale multiscala:
  - ▶ Si descrive la dinamica di un sistema in termini di interazioni microscopiche tra gli agenti.
  - ▶ Si studiano i comportamenti emergenti a livello di distribuzione statistica degli agenti.
  - ▶ Si ricavano PDE che governano l'evoluzione macroscopica della collettività di agenti.
- Possibili applicazioni:
  - ▶ Traffico veicolare.
  - ▶ Dinamiche socio-economiche (formazione di opinioni, distribuzione della ricchezza, trasmissione di malattie, ...).
  - ▶ Metodi particellari di ottimizzazione per il *Machine Learning*.
  - ▶ ...

## Dr. Marta ZOPPELLO

E-mail: [marta.zoppello@polito.it](mailto: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.
- **Interazione idrodinamica tra micro-nuotatori flagellati:** La tesi verte sulla modellizzazione e l'analisi del nuoto di due o più micro-nuotatori flagellati che interagiscono tra 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 calcolatore. 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](mailto:marta.zoppello@polito.it)

- **Controllabilità di sistemi meccanici: teoria e applicazioni:** Il lavoro di tesi verte sullo studio della controllabilità 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 le tecniche di base di teoria geometrica del controllo per studiarne la controllabilità.



Thank you for your attention

