



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

March 3, 2022



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 Dr. Salvatore DI STEFANO (Bari)

E-mail: alfio.grillo@polito.it

■ **Compositi fibro-rinforzati e ingegneria dei tessuti**

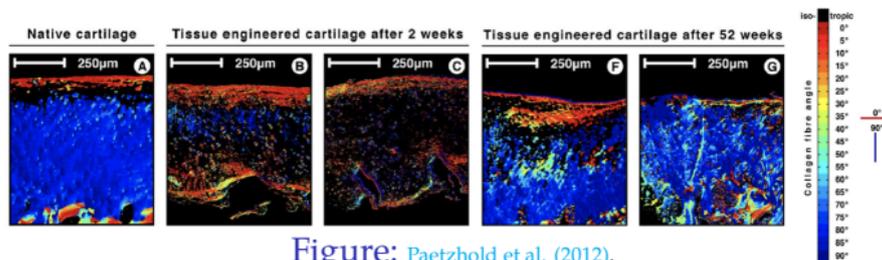


Figure: Paetzhold et al. (2012).

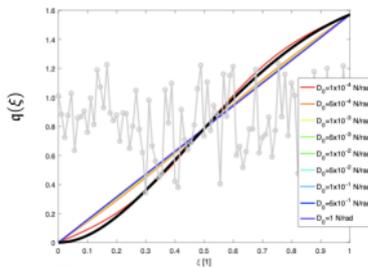


Figure: Grillo et al. (2018)

Rottura spontanea di simmetrie

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

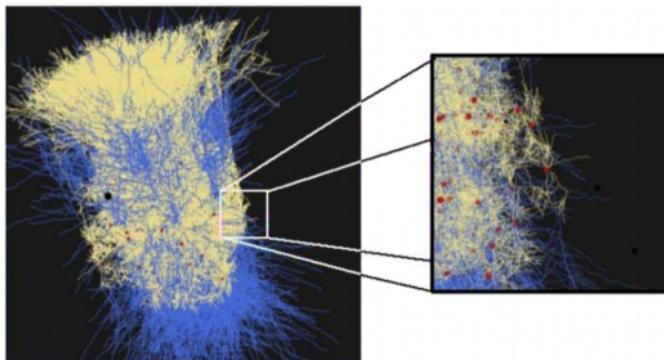
(Grillo et al., 2018)

Prof. Alfio GRILLO e Dr. Ariel RAMÍREZ TORRES (Glasgow, UK)

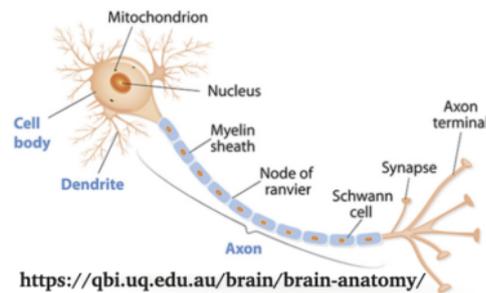
E-mail: alfio.grillo@polito.it

■ 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.



Eberhard et al. 2006 (picture taken from the G-CSC Report 2011, Goethe University of Frankfurt, Germany)



<https://qbi.uq.edu.au/brain/brain-anatomy/axons-cable-transmission-neurons>

Bibliografia: Tarasov (2005,2008); Meerschaert et al. (2006); Drapaca (2020,2021).

Prof. Tommaso LORENZI

E-mail: 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

- **Modelli per lo scioglimento della neve nei paesaggi alpini**

La neve riflette la luce e, quindi, il manto nevoso è un fattore importante nei modelli di riscaldamento globale. Questo progetto esaminerà modelli spazio-temporali dello scioglimento della neve, calibrati rispetto al satellite imaging del Parco Nazionale del Gran Paradiso.

- **Allineamento (“*orientering*”) con la corrente**

*Gli animali che vivono in ambienti acquatici possono dover fronteggiare correnti complesse e intense. Per affrontare questo problema, molti organismi allineano i propri corpi lungo la corrente che rilevano, dando così luogo ad un fenomeno noto come “*reotassi*”. In questo progetto, esploreremo come la reotassi si combina con altri modi di orientamento con la corrente, al fine di consentire ad un animale di raggiungere una data destinazione.*

Prof. Kevin PAINTER

E-mail: kevin.painter@polito.it

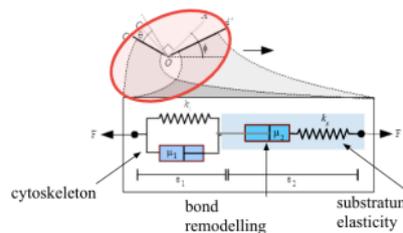
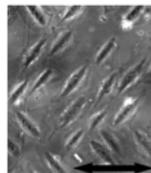
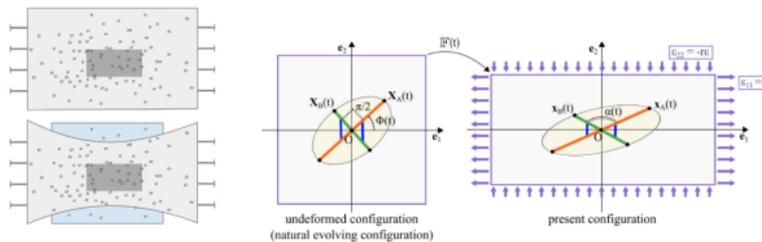
- **Modelli PDE per il controllo dei parassiti**

*Il **Trichogramma** è una piccola vespa parassita che depone le uova nelle uova di un ospite. Il **Trichogramma** è sempre più utilizzato come controllo contro alcuni parassiti delle colture e, di conseguenza, vi è un crescente interesse verso la modalità con cui tale insetto cerca, nel proprio ambiente, ospiti presso cui deporre le proprie uova. In questo progetto, esploreremo modelli alle PDE per tale processo, che calibreremo rispetto a dati sperimentali.*

Prof. Luigi PREZIOSI

E-mail: luigi.preziosi@polito.it

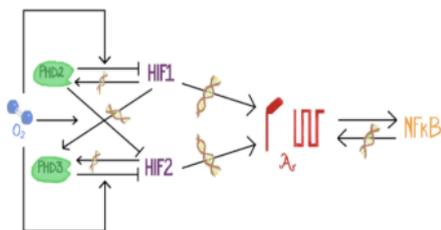
■ Orientazione cellulare indotta da deformazioni periodiche



Prof. Luigi PREZIOSI

E-mail: luigi.preziosi@polito.it

■ Modellizzazione dell'inflammatione indotta da ipossia in tumori



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

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

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

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

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

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

Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

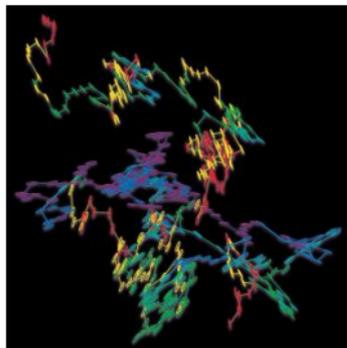
Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

■ **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)



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

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

η = viscosity (dissipation:
response to drag).

Prof. Lamberto RONDONI

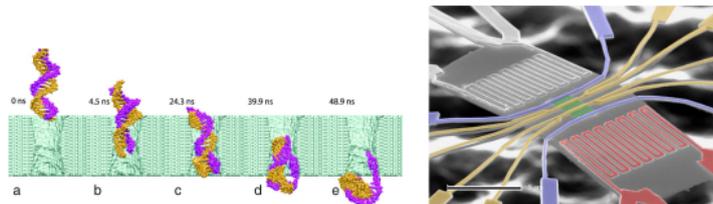
E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

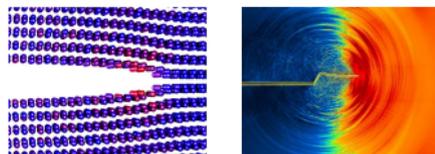
■ Trasporto in mezzi fortemente confinati

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

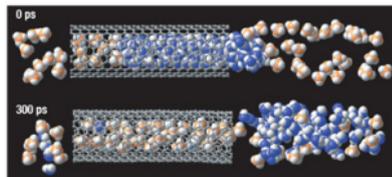


Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

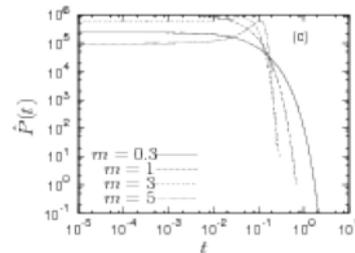
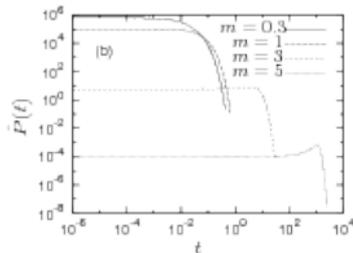
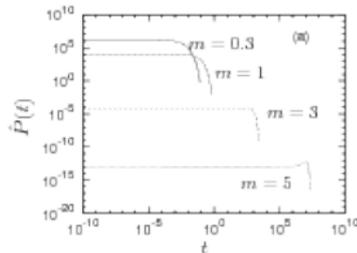
Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

■ Osmosi transiente e diffusione nonlineare



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

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



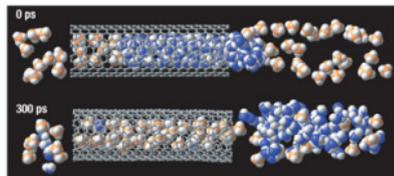
(soluzione analitica)

Prof. Lamberto RONDONI

E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

■ **Osmosi transiente e diffusione nonlineare**



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

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

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.

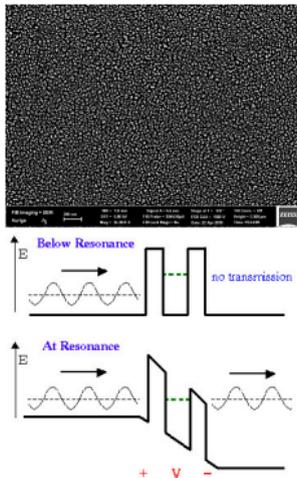


Prof. Lamberto RONDONI

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.

Ingegnneristico: 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*.

Prof. Andrea TOSIN e Prof. Tommaso LORENZI

E-mail: tommaso.lorenzi@polito.it, 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

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*.
 - ▶ ...



Thank you for your attention



Politecnico
di Torino