

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

February 29, 2024

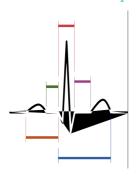






Prof. Davide AMBROSI

E-mail: davide.ambrosi@polito.it



- "Onde di Rayleigh". Le onde elastiche di superficie che si generano e si propagano durante un terremoto: determinazione della relazione di dispersione.
- "Onde del mare: il caso lineare". Le onde di piccola ampiezza che si propagano sulla superficie di un fluido perfetto di profondità data.
- "La brachistocrona". Determinazione della curva lungo la quale un grave impiega il tempo minimo per giungere ad un punto dato nel piano verticale.
- "Il pendolo di Kapitza". La stabilizzazione della configurazione instabile del pendolo con una forzante ad alta frequenza e piccola ampiezza.





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.

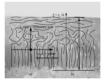




Prof. Alfio GRILLO

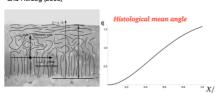
E-mail: alfio.grillo@polito.it

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

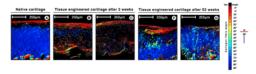




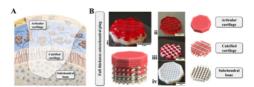
Clark et al. (2003). Modified from Federico et al. (2005); Federico and Herzog (2008)



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).

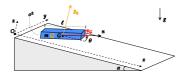




Figure: Grafica di A. Pastore



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 di aggregazione non-locale per dinamiche collettive

L'auto-organizzazione collettiva è presente in molti fenomeni naturali, dalla organizzazione delle cellule durante lo sviluppo embrionale a quella degli stormi di uccelli e di altri animali. I recenti modelli matematici per questi fenomeni utilizzano equazioni differenziali parziali non locali, che consentono di incorporare le interazioni tra i membri di una popolazione. Questo progetto esplorerà la modellazione e la matematica del comportamento collettivo e le sue applicazioni in diversi sistemi biologici.

■ L'epidemiologia delle rivolte

Le rivolte si sviluppano sporadicamente in varie città e paesi del mondo. Questo progetto utilizzerà modelli matematici originariamente sviluppati per descrivere le epidemie per spiegare il modo in cui le rivolte si evolvono nello spazio e nel tempo, utilizzando come esempio i dati dei disordini avvenuti in Francia nel 2005.





Prof. Kevin PAINTER

E-mail: kevin.painter@polito.it

■ Modelli per lo scioglimento della neve nei paesaggi alpini

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

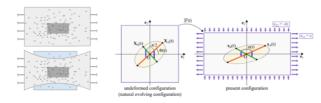




Prof. Luigi PREZIOSI

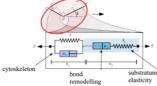
E-mail: luigi.preziosi@polito.it

Orientazione cellulare indotta da deformazioni periodiche





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



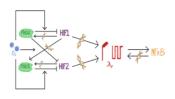




Prof. Luigi PREZIOSI

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)

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

$$\frac{\mathrm{d}P_2}{\mathrm{d}t} = \Gamma_2(H_1) - P_2,$$

$$\tau_P \frac{\mathrm{d}P_3}{\mathrm{d}t} = \Gamma_3(H_1, H_2) - P_3,$$

$$\tau_A \frac{\mathrm{d}A_r}{\mathrm{d}t} = \Gamma_A(H_1, H_2) + \beta N - A_r,$$

$$\tau_N \frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = \alpha + F_N(A_r) - N,$$

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



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)

$$\langle x^2(t) \rangle \sim 6Dt$$
 (fluctuation)
FDT: $D = \frac{RT}{6\pi \eta a} \cdot \frac{1}{N_A}$

 η = viscosity (dissipation: response to drag)





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.





E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

Osmosi transiente e diffusione nonlineare

$$\pi = RTC; \quad \frac{\partial \rho_{\text{ch}}}{\partial t} = -\frac{\partial j}{\partial x};$$
$$j = mD_{\text{ch}}^{(1)} \rho_{\text{ch}}^{m-1} \frac{\partial \rho_{\text{ch}}}{\partial x}$$

- Soluzione analitica
- 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.





E-mail: lamberto.rondoni@polito.it

Meccanica Statistica del disequilibrio — fondazioni e applicazioni

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

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

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

- 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, 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.

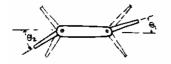


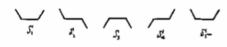


Dr. Marta ZOPPELLO

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.





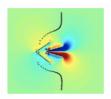




Dr. Marta ZOPPELLO

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 nuovo 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.



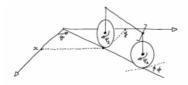




Dr. Marta ZOPPELLO

E-mail: marta.zoppello@polito.it

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

