

A1 Titolo dell'attività di ricerca

FISICA STATISTICA

A2 Responsabile

(aggiungere eventuale referente del Dipartimento se il Responsabile non è un afferente ad esso)

Responsabile Fulvio Peruggi

A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)

Prof. Ordinari: -

Prof. Associati: Fulvio Peruggi, Mario Nicodemi, Alberto Imparato

Ricercatori universitari: Antonio de Candia, Antonella Liccardo

RTDA: -

RTDB: -

A4 Collaborazioni con altri enti

A. de Candia: RIKEN, JP; Univ. Salerno; Centro Mente-Cervello Trento.

A. Liccardo: Stazione Zoologica Anton Dohrn.

M. Nicodemi: MDC-Berlin, DE; Cambridge Univ., UK; MRC-Edinburgh, UK; Univ. Paris 5, FR; MIT-Boston, USA; McGill Univ., CA; Univ. Napoli; Univ. Torino; IGB-CNR Napoli; RIKEN, JP; Imperial College, London; NKI, The Netherlands.

F. Peruggi: Seconda Univ. di Napoli

A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati

Annalisa Fierro (CNR- SPIN)

A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)

Tutor A. Fierro: Borsisti Post-doc: Raffaele Pastore (CNR-SPIN)

A7 Dottorandi di Ricerca

Tutor M. Nicodemi: Mariano Barbieri, Carlo Annunziatella, Simona Bianco, Andrea Chiariello, Andrea Piccolo

B1 Breve descrizione della linea di ricerca

(max 1000 caratteri)

Questa linea di ricerca rappresenta le attività del Dipartimento nel campo della **Meccanica Statistica** dei Sistemi Complessi e delle sue applicazioni, in particolare, alla Biologia Molecolare e ai Materiali. Le nostre attività sono organizzate nelle seguenti **sotto-aree**:

- **Brain and Materials Dynamics** (*resp. A. de Candia*) Meccanismi alla base dei fenomeni collettivi e critici nel cervello. Mobilità dei portatori di carica in semiconduttori. Arresto strutturale in vetri, colloidali e gel. Transizioni di fase quantistiche. Ricombinazione degli elettroni di ionizzazione in argon-liquido.

- **Stochastic Thermodynamics** (*resp. A. Imparato*) Termodinamica stocastica in sistemi di interesse biologico. Teoremi di fluttuazione in sistemi fuori equilibrio. Trasporto di calore in sistemi quantistici.

- **Epidemiology and Biodiversity** (*resp. A. Liccardo*) Modellizzazione della diffusione di malattie infettive attraverso tecniche di meccanica statistica. Modelli per analizzare l'effetto della circolazione oceanica sulla dispersione delle specie negli ecosistemi marini, allo scopo di interpretare la biodiversità.

- **Polymer Physics of Chromosomes** (*resp. M. Nicodemi*) Noi studiamo l'organizzazione 3D del genoma e come essa controlla la regolazione dei geni, combinando modelli di fisica statistica, simulazioni al computer e analisi di dati genomici. Investighiamo anche le dinamiche complesse del differenziamento e della riprogrammazione cellulare, in salute e malattia.

B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2014-2016

(max 2000 caratteri)

- **Brain and Materials Dynamics** (*resp. A. de Candia*) Abbiamo studiato una rete di glow-lamps accoppiate in modo capacitivo, trovando sia isteresi che distribuzioni scale-free. Abbiamo trovato un simile comportamento in reti neurali, vicino a una linea pseudo-spinodale. Abbiamo studiato la transizione quantistica di un sistema a 2 livelli accoppiato a un bagno termico (spin-boson), verificando che la transizione è di tipo Kosterlitz e Thouless. Abbiamo studiato le proprietà di scala vicino alla transizione dinamica di un modello per la transizione vetrosa. Abbiamo studiato la dipendenza della ricombinazione degli elettroni in argon liquido dalla direzione della traccia di ionizzazione rispetto al campo elettrico.

- **Stochastic Thermodynamics** (*resp. A. Imparato*) Studio dell'efficienza in modelli di motori molecolari. Teoremi di fluttuazione in sistemi connessi a molteplici bagni termici e riserve di particelle. Conduzione in sistemi quantistici connessi a molteplici bagni termici.

- **Epidemiology and Biodiversity** (*resp. A. Liccardo*) Modelli di diffusione di epidemie su lattice D-dims che rappresentano il network di contatti degli individui, per testare la social contact hypothesis come strumento fondamentale di predittività della diffusione delle epidemie. Modelli numerici per analizzare il ruolo della diffusività verticale sulla dinamica che regola la concentrazione di clorofilla nelle regioni stratificate degli oceani (Deep Chlorophyll Maximum).

- **Polymer Physics of Chromosomes** (*resp. M. Nicodemi*) Abbiamo introdotto il primo *modello di fisica dei polimeri* che spiega i dati sperimentali sulla struttura 3D del genoma prodotti da nuove tecnologie come la Hi-C. In un progetto internazionale che combina fisica, bioinformatica e nuove tecnologie sperimentali, abbiamo contribuito a rivelare l'organizzazione spaziale del genoma umano, scoprendo che i cromosomi sono gerarchicamente ripiegati in una *struttura frattale di domini-dentro-domini* che si riorganizza con i cambiamenti di espressione genica. Abbiamo studiato i *processi di differenziamento e reprogramming* cellulare, identificando per la prima volta in

modo quantitativo i diversi stati attraversati dalle singole cellule.

B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2017-2019

(max 2000 caratteri)

- **Brain and Materials Dynamics** (resp. A. de Candia) Studio dei fenomeni critici in sistemi neurali. Studio del quantum annealing in sistemi di q-bits accoppiati. Leggi di scala in modelli per la transizione vetrosa. Ricombinazione degli elettroni in argon liquido.

- **Stochastic Thermodynamics** (resp. A. Imparato) Proprietà termodinamiche in sistemi microscopici interagenti soggetti a transizione di fase dinamica. Motori termici microscopici classici e quantistici.

- **Epidemiology and Biodiversity** (resp. A. Liccardo) Nel prossimo triennio, accanto allo sviluppo di modelli epidemiologici, prevediamo di estendere ed adattare alcuni modelli precedentemente sviluppati per la diffusione delle epidemie, alla descrizione della dispersione delle specie all'interno degli oceani, con l'obiettivo di spiegare taluni patterns di biodiversità. Grazie alla collaborazione attiva con la Stazione Zoologica, costruiremo modelli per descrivere la dispersione nelle acque marine, dovuta alla circolazione oceanica, da validare con i dati resi disponibili dal progetto Tara Oceans, con cui è iniziata una collaborazione.

- **Polymer Physics of Chromosomes** (resp. M. Nicodemi) In un progetto con USA e DE, stiamo sviluppando modelli di polimeri per comprendere l'impatto di mutazioni genetiche non codificanti sulla regolazione del genoma. Risultati preliminari mostrano che siamo in grado di prevedere gli effetti di mutazioni legati a *malattie congenite e neuronali* (p.es., malformazioni, autismo, etc.) e che possiamo sviluppare *nuovi strumenti diagnostici* di tali malattie. Stiamo anche sviluppando nuove tecnologie sperimentali per mappare su scala genomica la struttura 3D dei cromosomi (vedi *brevetto* nel seguito).

C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2014-2016

(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le più significative (max 10))

N. complessivo: 37 (2104: 14, 2015: 10, 2016: 13)

Pubblicazioni più significative:

- L. Minati, **A. de Candia**, S. Scarpetta, "Critical phenomena at a first-order phase transition in a lattice of glow lamps: Experimental findings and analogy to neural activity.", *Chaos* 26, 73103 (2016).

- **A. de Candia**, A. Fierro, A. Coniglio, "Scaling and universality in glass transition", *Sci. Rep.* 6, 26481 (2016).

- A.S. Mishchenko, N. Nagaosa, G. De Filippis, **A. de Candia**, and V. Cataudella, "Mobility of Holstein Polaron at Finite Temperature: An Unbiased Approach", *Phys. Rev. Lett.* 114 146401 (2015).

- G. De Filippis, V. Cataudella, A.S. Mishchenko, N. Nagaosa, A. Fierro, and **A. de Candia**, "Crossover from Super to Sub-diffusive Motion and Memory Effects in Crystalline Organic

Semiconductors", **Phys. Rev. Lett.** 114, 086601 (2015).

- M. Barbieri, S.Q. Xie, E. Torlai Triglia, A.M. Chiariello, S. Bianco, I. de Santiago, M.R. Branco, D. Rueda, **M. Nicodemi***, A. Pombo*, Active and poised promoter states drive folding of the extended HoxB locus in mouse embryonic stem cells. **Nature Struct. Mol. Bio.**, in press doi:10.1038/nsmb.3402 (2017).

- R.A. Beagrie, A. Scialdone, M. Schueler, D.C.A. Kraemer, M. Chotalia, S.Q. Xie, M. Barbieri, I. de Santiago, L.-M. Lavitas, M.R. Branco, J. Fraser, J. Dostie, L. Game, N. Dillon, P.A.W. Edwards, **M. Nicodemi***, A. Pombo*, Complex multi-enhancer contacts captured by Genome Architecture Mapping (GAM), a novel ligation-free approach. **Nature** 543, 519 (2017).

- A.M. Chiariello, S. Bianco, C. Annunziatella, A. Esposito, **M. Nicodemi**, "Polymer physics of chromosome large-scale 3D organisation", **Scientific Reports** 6, 29775 (2016).

- **A. Liccardo**, A. Fierro (2015), *Multiple Lattice Model for Influenza Spreading*", **PLoS ONE** 10(10): e0141065.

- A. Bérut , **A. Imparato**, A. Petrosyan , S. Ciliberto, Stationary and transient Fluctuation Theorems for effective heat flux between hydrodynamically coupled particles in optical traps, **Phys. Rev. Lett.**, 116: [068301](#) (2016)

- A. Argun, A.-R. Moradi, E. Pinçe, G. Baris Bagci, **A. Imparato**, G. Volpe, Non-Boltzmann stationary distributions and nonequilibrium relations in active baths, **Phys. Rev. E**, 94 [062150](#) (2016)

C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali

(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)

Principali seminari su invito

A. de Candia:

2017, Collaboration Meeting Darkside, L'Aquila, **2015**, Workshop *Complex Collective Dynamics: Brains and beyond*, Capri; **2014**, *Biophys 14*, Bologna;

A. Imparato:

2016 "Stochastic thermodynamics in many-particle systems". Program "Nonequilibrium Processes at the Nanoscale", KITPC/ITP-CAS Beijing, 25 July - 2 September. **2015** 3rd Conf. on *Quantum Thermodyn.*, Porquerolles, France. **2015** *FisMat*, Università di Palermo, Italy. **2015** *Stochastic Thermodyn. in Biology*", Nordita, Sweden. **2015** *Workshop on Stoch. Proc.*, IMS NUS, Singapore **2014** *Venice meeting on Fluctuations in small complex systems II*, Venice, IT. **2014** Workshop *The Many Faces of Computation*, UCSD, USA. **2014** Workshop *Advances in Nonequil. Stat. Mech.*, GGI, Florence, IT.

A. Liccardo:

2015 *Giornata della Trasparenza 2015 dell'Università degli Studi di Napoli Federico II*

M. Nicodemi:

2015, IoP Conference on *Quantitative Methods in Gene Reg. III*, Cambridge, UK. **2015** Int. Workshop&School on Models of Life, NBI Copenhagen, Denmark. **2015**, *Weatherall Institute of Molecular Medicine-MRC*, General Seminar, Oxford, UK. **2015**, CECAM Workshop *Integrating genomics with physical models of DNA and chromosomes*, Lyon, FR. **2015** *Hierarchical Folding of chromatin*, NIH Bethesda, USA. **2015**, EPIGEN Conf. *Long-range interactions in dynamic control of gene expression*, IGB-CNR, IT. **2015**, *Polymer models of chromatin folding*, Soc.Naz. SS.LL.AA., IT. **2014**, Dip.to di Fisica, Sapienza University, Rome, Seminario Generale. **2014**, Int. Conf. *Chromosome Dynamics: Computational Models and Experimental Data*, Royal Society (UK). **2014**, Single cell states in stem cell

reprogramming, Lecture, *Max Delbruck Centrum*, Berlin (DE). **2014**, Int. Conference *Long-Range Genome Organization and Transcription Dynamics*, Janelia Res. Campus (USA). **2014**, Int. School *Chromatin organization: from structure to biological function*, EPFL, Crans-Montana, (Swiss).

C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali

Nel 2015 **M. Nicodemi** ha sottomesso con il Max Delbruck Centre di Berlino un *Brevetto Europeo* (n.EP14197405.5) su una nuova tecnologia per la caratterizzazione su scala genomica dell'organizzazione spaziale dei cromosomi nel nucleo cellulare (il cui cattivo funzionamento è legato p.es. al cancro) che si basa sulla ricostruzione al con tecniche di meccanica statistica delle frequenze di interazione delle coppie di regioni sequenziate da DNA estratto da sezioni del nucleo spesse poche decine di nanometri.

D1 Progetti di ricerca attivi

(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)

A. de Candia

- IS-INFN *Biophys*, 2014-2016
- 2015-2017 CNR SPIN-NTU Singapore Joint Laboratory "Amorphous materials for energy harvesting applications"

A. Fierro

- 2015-2017 CNR SPIN-NTU Singapore Joint Laboratory "Amorphous materials for energy harvesting applications"

A. Liccardo

- GENOVATE - Transforming organisational culture for gender equality in research and innovation – Fp7 funded project - Science & Society - 427K€
- IS-INFN *Biophys*, 2013-2015

M. Nicodemi

- *4D Nucleome*, 2015-2020, NIH-USA;
- IS-INFN *Biophys*, 2013-2015 (M. Nicodemi è il responsabile nazionale della IS);
- *Chromorg*, 2015-16, CINECA.