



DIPARTIMENTO DI FISICA
DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

**Progetto di sviluppo della linea strategica
nella Fisica dei Sistemi Complessi**

Executive Summary

Questo documento delinea il piano di sviluppo della linea strategica che il Dipartimento di Fisica (DF) dell'Università di Trieste ha recentemente adottato relativamente alla Fisica dei Sistemi Complessi, a valle della chiamata diretta del prof. Alberto Imparato, esperto di fisica statistica proveniente dall'Università di Aarhus (Danimarca), con l'incarico di seguire in prima persona lo sviluppo di questa linea strategica.

Si propone ora di affiancare al prof. Imparato due figure con competenze di Fisica dei Sistemi Complessi negli specifici contesti applicativi di climatologia ed econofisica, onde costituire presso il DF un polo di formazione e ricerca dedicato in particolare a studiare gli eventi climatici estremi e le turbolenze dei mercati finanziari, con un profilo unico nel panorama nazionale e pochi esempi analoghi in campo internazionale.

Per tale reclutamento si intende seguire nuovamente la strada della chiamata diretta di ricercatori/docenti di livello internazionale, sollecitando manifestazioni di interesse ed esplorando estensivamente la possibilità di sinergie con i diversi enti del Sistema Trieste potenzialmente interessati a questo sviluppo. L'obiettivo è quello di formare figure funzionali a contesti lavorativi che richiedano la valutazione dei livelli di confidenza delle previsioni, dei modelli e delle simulazioni numeriche. In tal modo si intende rispondere alla pressante necessità di studiare con tecniche innovative fenomeni caratterizzati da un alto grado di imprevedibilità e complessità, in campi di assoluta rilevanza, anche sociale, quali ad esempio quelli relativi alle crisi climatico-ambientali ed economico-finanziarie.



Analisi di contesto

I fenomeni complessi sono quelli in cui un gran numero di costituenti interagiscono e si correlano tipicamente su diverse scale temporali sviluppando comportamenti a basso tasso di predicibilità: si pensi per esempio alle relazioni reciproche tra crisi climatico-ambientali o economico-finanziarie e comportamenti sociali. La crescita delle interconnessioni tra agenti umani e non, a diversi livelli, rende sempre più rilevante la necessità di descrivere efficacemente i sistemi complessi per governarli e rendere le loro dinamiche sostenibili.

Pur nella loro grande diversità, tali dinamiche presentano modalità comuni che possono venire studiate, comprese e controllate dalle moderne metodologie della fisica statistica e computazionale, in un quadro teorico la cui unità concettuale è stata sottolineata dal conferimento a Giorgio Parisi del premio Nobel per la Fisica 2021.

In particolare, i ricercatori che lavorano nell'ambito dell'econofisica utilizzano da una parte l'intelligenza artificiale e la teoria dell'informazione per analizzare la gran mole di dati disponibili sull'andamento dei sistemi finanziari, dall'altra la teoria delle reti, la meccanica statistica di non equilibrio e metodi numerici avanzati per descrivere e spiegare le fluttuazioni dei mercati finanziari, infine la dinamica delle popolazioni e dei sistemi sociali per studiare l'influenza dei comportamenti umani collettivi in ambito finanziario.

Nell'ambito della *Fisica del Clima* i ricercatori combinano conoscenze sui sistemi dinamici e la dinamica dei fluidi, sulla fisica dell'atmosfera e la fluidodinamica geofisica per descrivere i sistemi climatici e i loro cambiamenti, e di nuovo utilizzano la meccanica statistica di non equilibrio e degli eventi rari per studiare e descrivere fenomeni emergenti come ad esempio gli eventi atmosferici estremi. Anche in ambito climatologico, l'intelligenza artificiale gioca un ruolo sempre più importante per l'analisi dell'elevata quantità di dati disponibili.

Il Dipartimento di Fisica di UniTS (DF) ha recentemente deciso di impegnarsi in questo ambito, includendo esplicitamente la Fisica dei Sistemi Complessi tra i quattro specifici campi di intervento previsti dal proprio progetto di Dipartimento di Eccellenza, presentato al MUR nel 2022 e finanziato a partire dal 2023. In tale progetto questa attività risulta fortemente interconnessa con iniziative parallele nel campo dell'HPC e dei *Big Data*, per i quali esistono già rilevanti competenze all'interno del Dipartimento stesso.

Grazie alle risorse messe a disposizione dall'Ateneo per la realizzazione di tale progetto, il DF ha recentemente reclutato attraverso una procedura di chiamata diretta il



prof. Alberto Imparato, docente/ricercatore di profilo internazionale esperto di fisica statistica e termodinamica dei sistemi stocastici e a molti corpi, operante da 15 anni come *lektor* (Prof. Associato) presso l'Università di Aarhus (Danimarca). Il prof. Imparato prenderà servizio presso il DF non appena completato l'iter previsto dalle norme vigenti per la procedura di chiamata diretta, e seguirà in prima persona l'implementazione e lo sviluppo di questa linea strategica.

Obiettivi strategici

L'obiettivo dello sviluppo della linea strategica in Sistemi Complessi all'interno del DF è quello di creare un contesto didattico e di ricerca adatto alla comprensione e gestione di tali fenomeni. Il DF intende rispondere a questa attualissima sfida, formando figure adatte a contesti lavorativi e di istruzione superiore con competenze e conoscenze di metodologie e tecnologie all'avanguardia, quali quelle inerenti alla valutazione dei livelli di confidenza delle previsioni, dei modelli e delle simulazioni numeriche.

In particolare, il DF mira a creare al suo interno un gruppo di docenti e ricercatori che abbiano un comune approccio allo studio delle due tematiche sopra descritte (*Econofisica* e *Fisica del Clima*), quale quello fornito dalla teoria delle grandi deviazioni e della statistica degli eventi rari.

Tale approccio unificato ha la caratteristica di poter essere applicato allo studio di sistemi climatici e finanziari, che sono entrambi caratterizzati da importanti e improvvise fluttuazioni, spesso su scale di tempo molto ristrette, e che richiedono quindi un approccio teorico che vada oltre la normale analisi statistica e numerica. La creazione di un tale gruppo di ricerca sui fenomeni rari farebbe del DF di UniTS un polo di competenze con un profilo unico nel panorama nazionale e pochi esempi analoghi in campo internazionale, in particolare in relazione ai recenti eventi climatici estremi e alle ricorrenti turbolenze nei mercati finanziari. Il gruppo di ricerca beneficerà inoltre dell'interazione con gli stakeholders presenti sul territorio con interessi nei due ambiti, le cui istanze contribuiranno a ispirare e definirne i temi di ricerca.

La collocazione del DF - solidamente radicato all'interno della rete di istituzioni scientifiche e tecnologiche di avanguardia sviluppatasi con il fondamentale contributo dei fisici del DF e denominata "Sistema Trieste", con caratteristiche uniche nel panorama italiano ed europeo – costituisce un *asset* importante per lo sviluppo di questa linea strategica, in sinergia con le attività complementari già in corso presso diverse delle istituzioni di ricerca presenti sul territorio.





Analisi di posizionamento

La linea strategica vede nell'interdisciplinarietà intrinseca alle sue componenti fisiche, matematiche e computazionali, già rappresentate nel DF, l'elemento chiave per affrontare con successo la modellizzazione dei sistemi fisici complessi, con la possibilità evidente di importanti ricadute pratiche in relazione alla sempre più necessaria analisi della sostenibilità delle scelte e delle decisioni a livello politico, sociale ed economico.

La possibilità di sviluppare una risposta efficace a tale necessità è legata alla formazione di figure professionali con competenze scientifiche adeguate. Alcune di queste sono già presenti nel DF insieme alle collaborazioni sia in atto che potenziali, con *stakeholders* territoriali, nazionali ed internazionali a livello di didattica, consulenza e ricerca. I rapporti con i portatori di interesse coprono uno spettro molto ampio per tipologia e settore, spaziando da enti istituzionali ad istituti di ricerca, da piccole aziende private a multinazionali su temi anche molto diversi, dalla valutazione del rischio, ad esempio in campo finanziario e assicurativo, alla previsione di possibili scenari nel contesto climatico e meteorologico. Il DF si avvarrà inoltre in questo processo delle collaborazioni internazionali già esistenti con ricercatori di riconosciuto livello scientifico nei due campi.

L'offerta didattica attuale del DF consiste attualmente in un unico corso di laurea magistrale in Fisica articolato in vari curricula, che prevede già, nell'ambito del curriculum "Fisica dell'Ambiente e Interdisciplinare", insegnamenti quali ad esempio Metodi Quantitativi per la Finanza, Dinamica del Clima, Fisica dell'Atmosfera, Fluidodinamica Geofisica, sostenuti anche grazie a varie convenzioni esistenti tra cui quelle con ICTP, OGS, Assicurazioni Generali, List Spa. Da sottolineare che, nonostante l'offerta didattica al momento limitata, numerose sono già state all'interno del DF le tesi di laurea sia nel campo della fisica del clima che in quello della finanza quantitativa. Si annoverano anche alcuni dottorati nei due campi; in particolare uno ora in atto sui cambiamenti climatici nella regione dell'Alta Carnia è frutto di un finanziamento esterno (Agenzia per la Coesione Territoriale) ed è stato ottenuto grazie ad un progetto del DF di concerto con la Comunità di Montagna e dei Comuni di quella zona. È opportuno anche evidenziare come molti dei laureati magistrali in Fisica del DF abbiano intrapreso carriere professionali di successo nei due campi, a dimostrazione che già con le risorse attuali il DF è stato in grado di offrire una solida formazione di base, ben apprezzata dai portatori di interesse.

Come già riportato, la presa di servizio del prof. Imparato contribuirà a determinare l'ambiente teorico, didattico e di ricerca di riferimento in cui poi innestare e sviluppare indirizzi specifici dedicati alla formazione e al trasferimento tecnologico di conoscenze



dall'Accademia ai portatori d'interesse. Già dal prossimo anno accademico l'offerta didattica si arricchirà di almeno due nuovi insegnamenti nel campo della meccanica statistica, uno sulle dinamiche stocastiche e uno sulla teoria delle grandi deviazioni ed eventi rari. Questo permetterà di rendere più completa e solida la formazione di base trasversale in questo campo, fatto che sarà evidenziato anche da un cambio di denominazione del curriculum, che conterrà esplicitamente il riferimento alla "Fisica dei sistemi complessi" nel suo nome. L'arricchimento dell'offerta didattica sarà accompagnato anche da una razionalizzazione e riorganizzazione del piano di studi esistente in modo da facilitare la graduale acquisizione di competenze tecniche di modellizzazione e simulazioni numeriche.

Azioni da intraprendere

A partire dalla configurazione attuale sopra rappresentata, per sviluppare la linea strategica nella Fisica dei Sistemi Complessi fino a raggiungere gli scopi specifici di didattica e di ricerca delineati per applicazioni nel campo della finanza quantitativa e della fisica del clima, si ritiene necessario affiancare alla figura già individuata del docente/ricercatore teorico di riferimento due nuovi docenti/ricercatori con specifiche competenze applicative nei due settori. A tal fine verrà avviata sul sito del DF una apposita procedura per sollecitare la presentazione di manifestazioni di interesse da parte di docenti/ricercatori impegnati in atenei, istituti di ricerca o organizzazioni scientifiche all'estero, per i quali sussistano le condizioni previste per il reclutamento con chiamata diretta, orientativamente a livello di Prof. Associato. Di seguito la descrizione delle competenze che verranno richieste per le due figure:

1) Esperto di Fisica dei Sistemi Complessi con competenze specifiche nelle applicazioni al campo della finanza quantitativa

Il candidato per la posizione andrà ricercato fra esperti con competenze in alcuni o tutti i seguenti ambiti:

Italiano

Econofisica, meccanica statistica del non equilibrio, dinamica delle reti, dinamica ed evoluzione di reti sociali, comportamento adattativo in sistemi sociali e finanziari, economia quantitativa e finanza, inferenza statistica e apprendimento.

Inglese

Econophysics, out-of-equilibrium statistical mechanics, network dynamics, dynamics and evolution of social networks, adaptative behaviour in social and financial systems, quantitative economics and finance, statistical inference and learning.



2) Esperto di Fisica dei Sistemi Complessi con competenze specifiche nelle applicazioni al campo della fisica del clima

Il candidato per la posizione andrà ricercato fra esperti con competenze in alcuni o tutti i seguenti ambiti:

Italiano

Sistemi dinamici, dinamica del clima, cambiamenti climatici regionali e globali, eventi estremi, dinamica dei fluidi, meccanica statistica del non equilibrio, machine learning.

Inglese

Dynamical systems, climate dynamics, global and regional climate variability and change, extreme events, fluid dynamics, out-of-equilibrium statistical mechanics, machine learning.

Il reclutamento delle due nuove figure sarà accompagnato da un rafforzamento dell'offerta didattica nei settori corrispondenti. Come sopra accennato, già nel 2024/25 il curriculum che porterà alla formazione di laureati magistrali esperti nella fisica dei sistemi complessi si arricchirà di almeno due nuovi insegnamenti nel campo della meccanica statistica e la sequenza degli insegnamenti proposti verrà riorganizzata per rafforzare l'offerta. L'acquisizione delle due nuove figure di docenti/ricercatori sopra delineate permetterà di ampliare ulteriormente l'offerta per la formazione disciplinare specifica. Questo si evidenzierà anche nella stessa denominazione del curriculum, che diventerà "Fisica dei sistemi complessi: atmosfera, clima, finanza" o simile. Se, come si prevede, l'offerta avrà successo, riscontrando interesse e attenzione da parte dei potenziali destinatari, si potrà considerare l'ipotesi di trasformare il curriculum in un corso di laurea magistrale specifico nella Fisica dei sistemi complessi, distinto dall'attuale corso di laurea magistrale in Fisica.

Comitato Scientifico

Il DF intende avvalersi della consulenza di un comitato di esperti internazionali del campo della Fisica dei Sistemi Complessi per ricevere suggerimenti e indicazioni sull'implementazione del piano strategico proposto. I seguenti esperti hanno già confermato la loro disponibilità ad assumere questo ruolo. Questo Comitato Scientifico svolgerà un ruolo importante nel dar forma e definire le iniziative del DF nell'area dei sistemi complessi in generale, con particolare attenzione all'econofisica e alla climatologia, fornendo consulenza e garantendo l'allineamento con gli standard internazionali e le migliori pratiche nel settore.



- Freddy Bouchet
Laboratoire de Météorologie Dynamique, Ecole Normale Supérieure and CNRS
<http://perso.ens-lyon.fr/freddy.bouchet/>
- Silvio Franz
Laboratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques, Université Paris-Saclay and CNRS
<https://www.lptms.universite-paris-saclay.fr/membres/franz/>
- Filippo Giorgi
the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)
<https://www.ictp.it/member/filippo-giorgi#biography>
- Roberto Livi
University of Firenze, Istituto dei Sistemi Complessi ISC-CNR
<https://www.unifi.it/p-doc2-2013-200010-L-3f2a3b2d392e2b-0.html>
- Rosario Nunzio Mantegna
University of Palermo
<https://www.unipa.it/persona/docenti/m/rosario.mantegna/?pagina=curriculum>
- Matteo Marsili
the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)
<https://www.ictp.it/member/matteo-marsili#biography>
- Iacopo Mastromatteo
Capital Fund Management, CFM-Paris
<https://www.econophysix.com/team/iacopo-mastromatteo>
- Antonello Provenzale
Istituto di geoscienze e georisorse – CNR
<https://www.igg.cnr.it/organizzazione/personale-igg/antonello-provenzale>
- Angelo Vulpiani
University of Rome La Sapienza
<https://corsidilaurea.uniroma1.it/user/11681>
- Riccardo Zecchina
Bocconi University – Milano
<https://cs.unibocconi.eu/people/riccardo-zecchina>