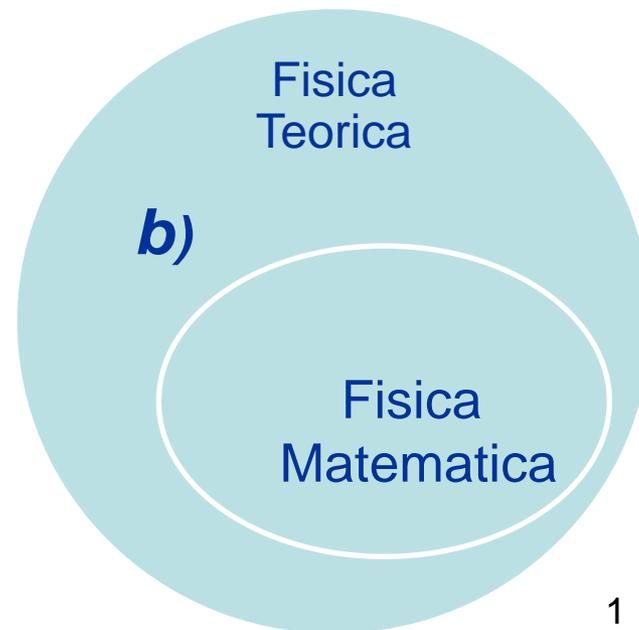
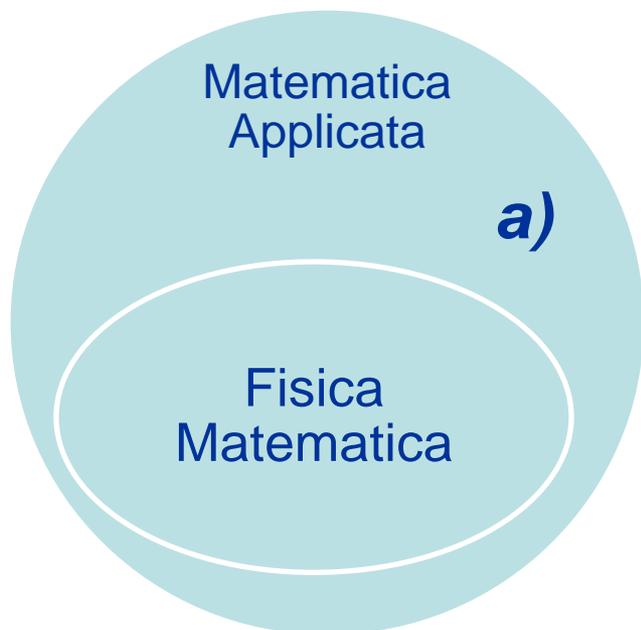


# Fisica Matematica

a cura di Annalisa Marzuoli

*Definizione degli ambiti 'tradizionali' della Fisica Matematica*

- a)** modelli e metodi matematici adatti a trattare fenomeni fisici
- b)** formulazione rigorosa dei fondamenti delle teorie fisiche



Archimede di Siracusa: matematico, fisico, ingegnere



*Gli ambiti tradizionali di ricerca riflettono lo sviluppo storico parallelo della fisica e della matematica dall'epoca moderna*

- **MECCANICA CLASSICA:** meccanica razionale, meccanica 'post-newtoniana' o analitica (Lagrange, Hamilton)  
→ *corsi: Fondamenti di Meccanica; Teoria dei Sistemi dinamici*  
termodinamica, meccanica statistica, meccanica celeste...
- **EQUAZIONI ALLE DERIVATE PARZIALI:** fluidodinamica, meccanica dei continui → *corsi: Equazioni della Fisica Matematica; Fenomeni di diffusione e trasporto*  
metodi variazionali, teoria dell' elasticità, elettricità, magnetismo, aerodinamica, acustica...

## - MECCANICA QUANTISTICA NON RELATIVISTICA

(TEORIA DEGLI OPERATORI IN SPAZI DI HILBERT finito-dimensionali)

→ *corso: Introduzione alla Fisica moderna*

→ *altri corsi: offerti nella LM di Fisica*

meccanica quantistica e suoi fondamenti, fino a computazione quantistica

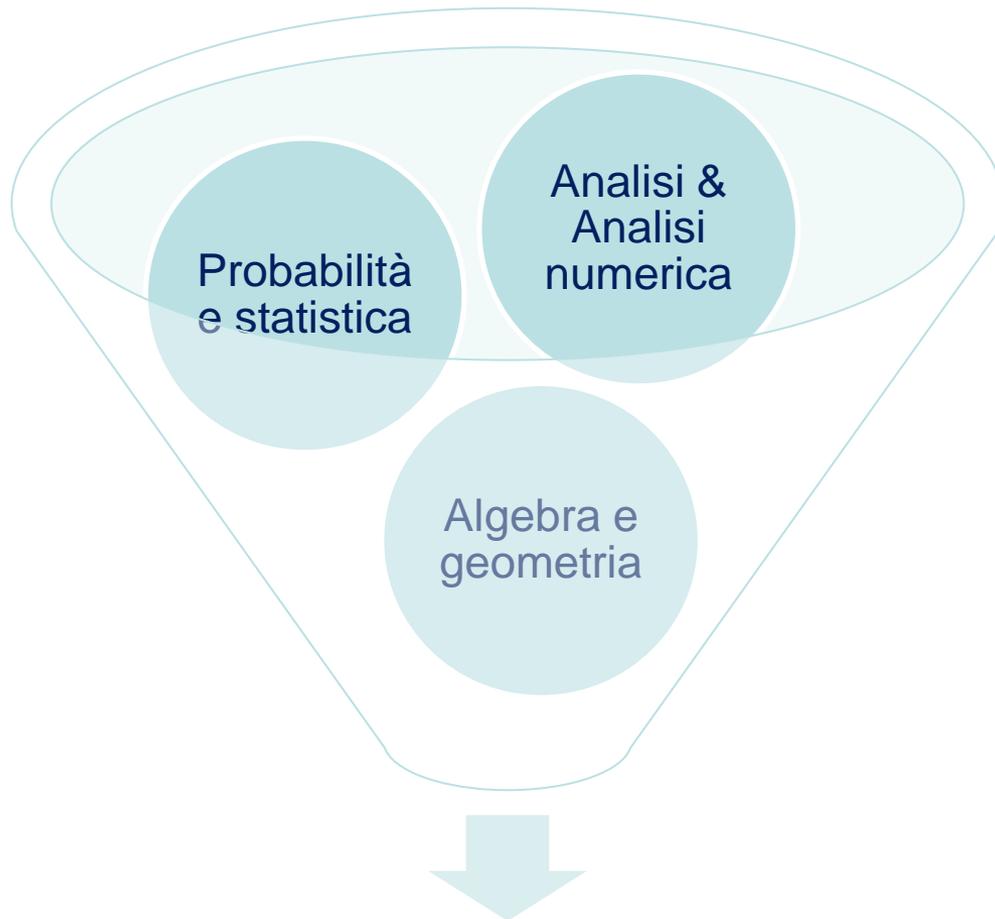
## - RELATIVITA' e TEORIE DI CAMPO RELATIVISTICHE:

→ *corsi: offerti nella LM di Fisica*

## -TEORIE DI CAMPO QUANTISTICHE RELATIVISTICHE

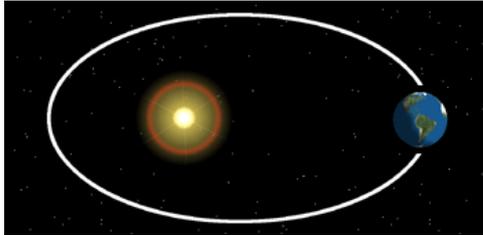
→ *corsi: offerti nella LM di Fisica*

Qui la Fisica Matematica è intesa nell' accezione **b)**: si integra con gli ambiti della Fisica Teorica che utilizzano metodi matematici 'avanzati', sia analitici sia algebrico-geometrici



I metodi utilizzati dai fisici matematici -spesso mescolati tra loro in combinazioni nuove- provengono da tutte le discipline matematiche

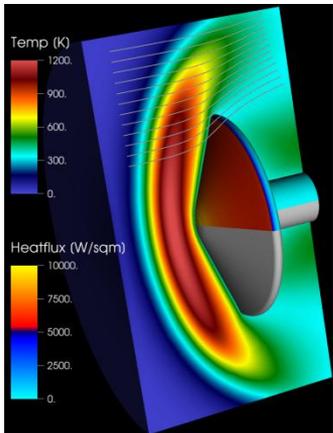
Grazie all' esperienza nell' elaborare schemi e modelli per studiare le caratteristiche strutturali e le similarità-analogie di insiemi di fenomeni (*ricerca di proprietà e comportamenti 'universali' di classi di sistemi*) gli ambiti di ricerca e i metodi della fisica matematica si sono evoluti negli ultimi decenni anche oltre quelli tradizionali elencati sopra



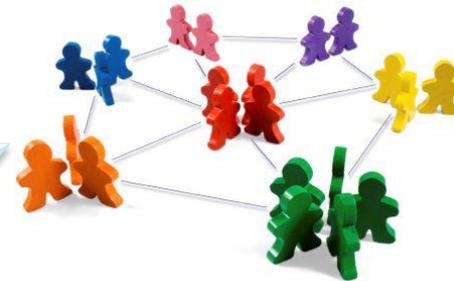
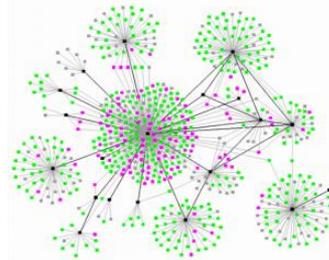
Problema dei due corpi (completamente integrabile)



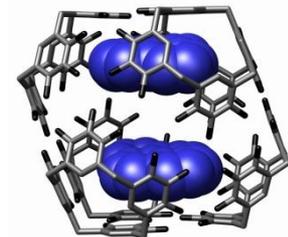
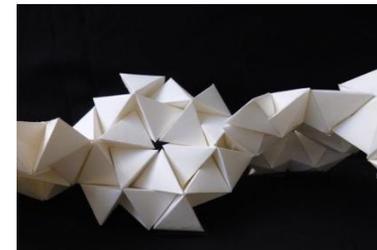
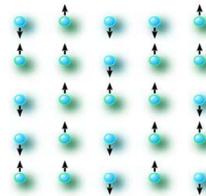
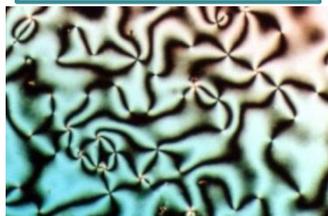
N corpi gravitanti (soluzioni approssimate; codici numerici)



Dinamica dei gas



Cristalli liquidi



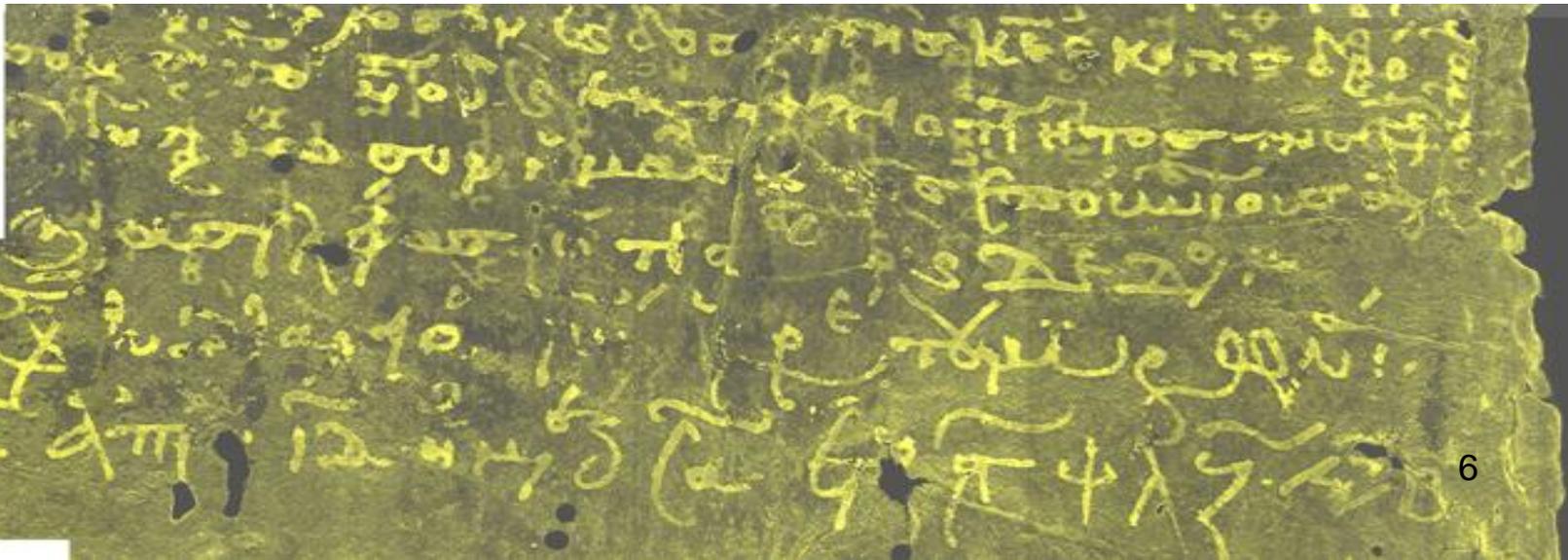
Assembly di molecole o di 'grani di spazio'

La *scienza dei sistemi complessi* (2000 →) investiga come interazioni locali tra unità elementari (agenti) possano dar luogo a comportamenti collettivi ('cooperativi', 'emergenti') in una molteplicità di sistemi naturali (fisici, chimico-fisici, chimico-biologici, bio-meccanici, ecc.), artificiali (reti di calcolo e di trasmissione, reti neurali, ecc.) e socio-economici (social network, flussi finanziari, ecc.)

Alcune parole chiave: analisi multi-scala (microscopico ↔ macroscopico, locale ↔ globale, discreto ↔ continuo); transizioni di fase e fenomeni critici; analisi asintotica; limiti (semi)classici per sistemi quantistici

*Palinsesto di Archimede*

(2011 Cambridge Univ. Press)



# *Argomenti e gruppi di ricerca*

- **Equazioni cinetiche e idrodinamica di sistemi collisionali complessi**  
(Giuseppe Toscani, Ada Pulvirenti, Francesco Salvarani)
- **Modelli matematici per la materia soffice e applicazioni**  
(Epifanio G. Virga, Fulvio Bisi, Riccardo Rosso, Andrea Pedrini)
- **Sistemi quantistici integrabili e applicazioni**  
(Annalisa Marzuoli)

# Equazioni cinetiche e idrodinamica di sistemi collisionali complessi

-Problemi teorici e numerici connessi alla teoria cinetica dei gas rarefatti, la teoria cinetica di sistemi dissipativi con applicazione ai gas granulari; problemi asintotici derivanti dal passaggio da modelli cinetici a modelli macroscopici nel riscaldamento iperbolico e diffusivo; problemi asintotici relativi alle collisioni radenti, e passaggio ad equazioni di tipo Fokker-Planck; comportamento asintotico di equazioni di diffusione non lineare mediante metodi di entropia.

-Applicazioni della teoria cinetica allo studio di sistemi multi-agente, con particolare riguardo ai sistemi socio-economici e biologici. In questo ambito si sono introdotti e studiati modelli per la distribuzione della ricchezza e per la formazione di opinione che si intendono sviluppare ulteriormente nel prossimo futuro.

# Modelli matematici per la materia soffice e applicazioni

Modelli matematici in grado di descrivere l' auto-ordinamento e altri comportamenti cooperativi che si verificano in sistemi costituiti da molecole e da particelle colloidali. La caratterizzazione di sistemi omogenei è sviluppata attraverso lo studio dei meccanismi di formazione delle fasi, delle transizioni di fase e di altri fenomeni critici, ed è estesa a sistemi parzialmente ordinati che supportano inomogeneità, tipicamente in forma di 'difetti'. Le scale di lunghezza di tali sistemi variano da quelle nanometriche fino alle scale macroscopiche, e pertanto la maggiore sfida consiste nel costruire, da principi primi, modelli 'multi-scala' realmente consistenti e affidabili.

I metodi matematici utilizzati provengono sia dalla meccanica statistica che dalla meccanica dei continui e lo spettro della fenomenologia dei sistemi analizzati spazia dalla materia condensata e dalla chimica fisica fino all' ingegneria (ad esempio cristalli liquidi, fluidi complessi, membrane lipidiche, sistemi di spin, ferrofluidi).

# Sistemi quantistici integrabili e applicazioni

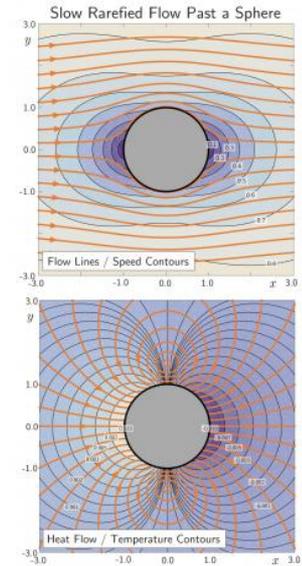
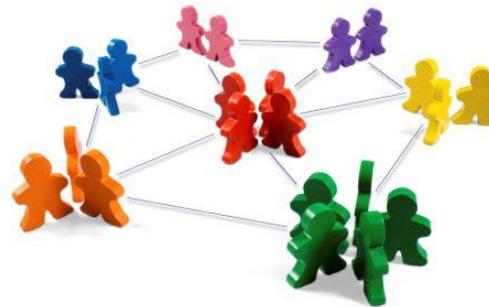
Utilizzando metodi geometrici e algebrici (dalla geometria differenziale e topologia geometrica alla teoria dei gruppi di Lie e dei 'quantum groups') si studiano diverse problematiche relative a sistemi quantistici hamiltoniani a molti corpi integrabili e a teorie di campo di natura geometrica -quali i modelli discretizzati di gravità e le teorie di campo quantistiche di tipo topologico (TQFT).

In particolare ci si occupa di modelli di tipo 'spin network' in termini di algebre quadratiche e relazioni di ricorrenza -sia in relazione allo schema di Askey delle funzioni ipergeometriche, sia al fine di identificare le funzioni hamiltoniane di natura geometrica che emergono in opportuni regimi semiclassici.

# *Argomenti specifici per tesi magistrali*

1. Metodi analitici e numerici nella teoria cinetica di gas rarefatti
2. Gas granulari
3. Meccanica statistica
4. Equazioni di diffusione
5. Modelli matematici per problemi di tipo socio-economico ed estensioni ad altri sistemi complessi

[giuseppe.toscani@unipv.it](mailto:giuseppe.toscani@unipv.it)



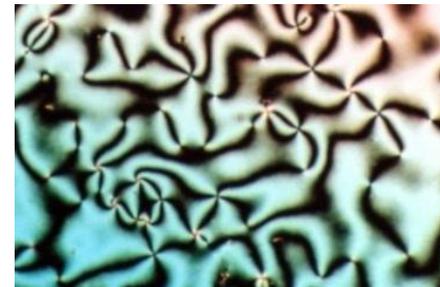
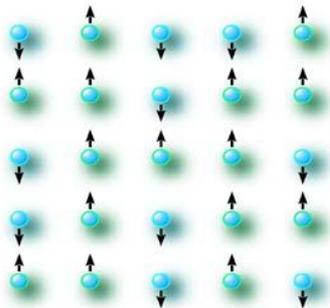
- Studio di sistemi multi-agente e applicazioni in ambito socio-economico

[francesco.salvarani@unipv.it](mailto:francesco.salvarani@unipv.it)

# Argomenti specifici per tesi magistrali

- 1. Nuove fasi 'twist-bend' in cristalli liquidi nematici.
- 2. Ordine ottupolare in materia condensata 'soffice'.
- 3. Instabilità chiralì in nematici toroidali.
- 4. Un secolo di 'cluster expansion' nella teoria dei gas imperfetti: da Ursell ai giorni nostri.
- 5. I teoremi di Mayer in teoria della condensazione nella versione di Born e Fuchs.
- 6. Limiti della teoria di Onsager per le transizioni d'ordine con interazioni puramente steriche.

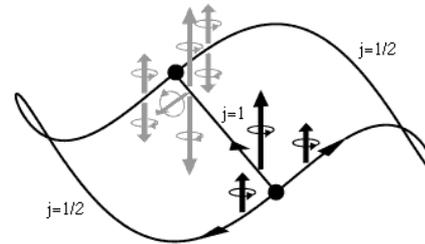
[epifanioguidogiovanni.virga@unipv.it](mailto:epifanioguidogiovanni.virga@unipv.it)



# Argomenti specifici per tesi magistrali

- Argomenti nell' ambito dei modelli di tipo spin network quali:
  - i) rappresentazioni unitarie del gruppo delle trecce nella controparte  $q$ -deformata del gruppo  $SU(2)$  e invarianti di nodi e di grafi;
  - ii) relazioni di ricorrenza per operatori momento angolare e limiti semiclassici e perturbativi

[annalisa.marzuoli@unipv.it](mailto:annalisa.marzuoli@unipv.it)



- Nell' ambito della 'soft matter': Classificazione delle classi di simmetria per tensori d'ordine orientazionale con rango superiore a 2

[fulvio.bisi@unipv.it](mailto:fulvio.bisi@unipv.it)

## *Come trovare gli articoli scientifici*

- <http://www.ams.org/mathscinet/>

Mathematical Reviews della American Mathematical Society:  
è una banca dati degli articoli pubblicati su riviste di area  
matematica, accessibile dalle postazioni unipv

- [www.arxiv.org](http://www.arxiv.org)

Sito gestito dalla Cornell University Library (in precedenza,  
dal 1992, dai Laboratori di Los Alamos): **accesso libero**

*Open access to 1,147,952 e-prints in Physics, Mathematics, Computer  
Science, Quantitative Biology, Quantitative Finance and Statistics*

Qui sono depositati, a cura degli autori, i preprint, cioè gli articoli  
completati, quasi sempre inviati già a riviste, e in attesa di accettazione  
oppure in corso di stampa. Ricerca: per autore o per parole chiave