

# PERCORSI DI FISICA TEORICA per la laurea magistrale

Teoria dei campi e delle interazioni fondamentali

Supersimmetria, stringhe e gravita` quantistica

Astrofisica nucleare relativistica

Fisica statistica e teoria statistica dei campi

dipartimento di fisica, via Celoria, Milano

12 giugno 2019

Di cosa è fatta la materia? Quali sono le forze fondamentali e le leggi che le governano? Qual'è l'origine dell'universo, e come esso evolve? Come si spiegano i fenomeni macroscopici a partire dai costituenti microscopici?

La FT è un'architettura di teorie, che inquadrano in leggi e modelli coerenti i fenomeni conosciuti.

Lo sviluppo delle conseguenze concettuali delle teorie è un'attività importante della FT, che può portare lontano e indirizza la ricerca sperimentale.

Così la FT avanza, allarga i confini, si ramifica ma aspira a grandi sintesi (eqz. Maxwell, termodinamica, meccanica quantistica, modello standard, modello cosmologico, ...)

Ogni volta è una conquistata bellezza formale e concettuale.



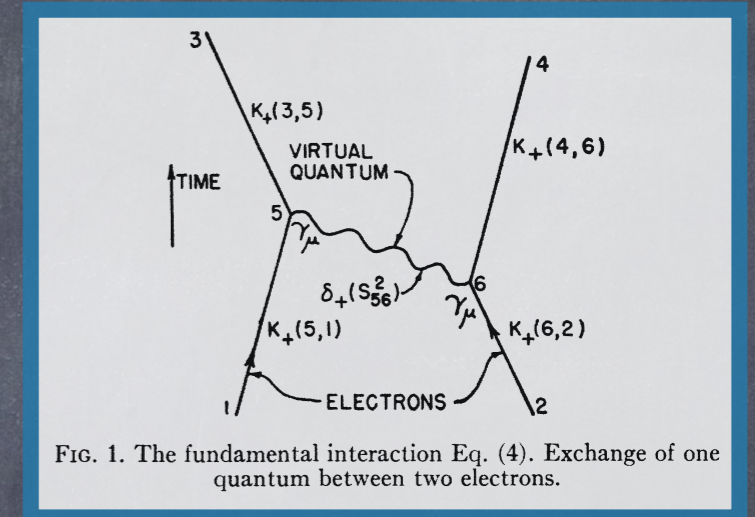
# La teoria quantistica dei campi

1927 quantizzazione campo e.m. (Dirac)

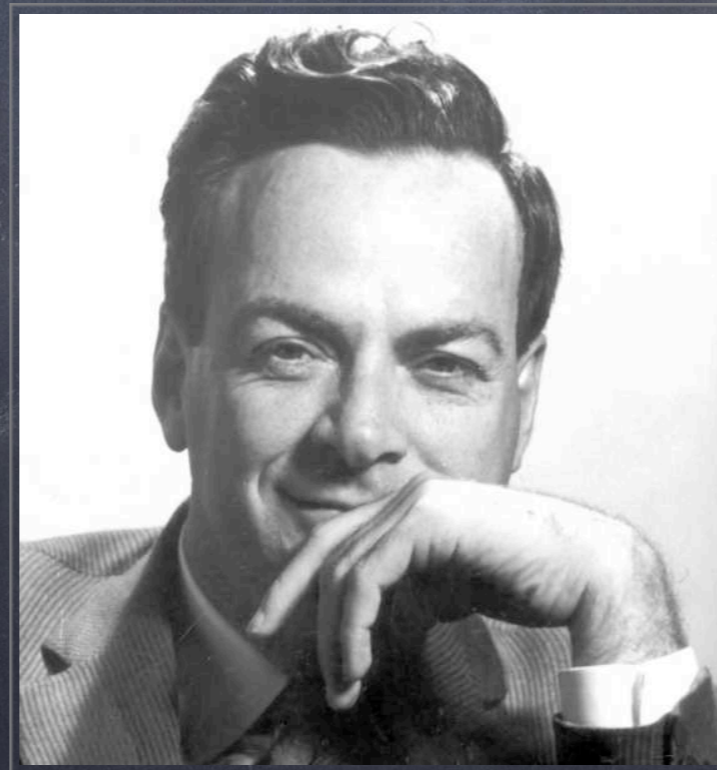
$X, P, S \rightarrow$  operatori di creaz e distruz

1946-49: QED (Nobel 1965)

Path-integral: interaz. fondam,  
many-body, mecc. stat.



Sin Itiro Tomonaga



Richard Feynman



Julien Schwinger



# QFT e interazioni fondamentali

**keywords:** Fisica di LHC, modello standard e oltre (fisica di precisione, metodi perturbativi e risommazioni a tutti gli ordini, metodi montecarlo e reti neurali, machine learning), teoria perturbativa QCD, teoria elettro-debole.

**people:** prof. Stefano Forte, prof. Alessandro Vicini, prof. Giancarlo Ferrera, dr. Stefano Carrazza (+postDoc e dottorandi).

# Teoria quantistica dei campi e interazioni fondamentali

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/Appl	Fisica Teorica I	Teorico/fond
Metodi Matem. 2 Geometria e Gruppi	Teorico/fond	Metodi computazionali della fisica	Affine e Integrativo
3 corsi a scelta		2 corsi a scelta	
		Teoria interazioni fondamentali I	
Abilita` informatiche e telematiche	3 CFU	Inglese B2	3 CFU
totale CFU	33	totale CFU	33

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Fisica Teorica 2	Teorico/fond	Stage e tirocini obbl.	6 CFU
Teoria delle Interazioni Fondamentali 2	Teorico/fond	Tesi di Laurea	36 cfu
totale CFU	12	totale CFU	42

Altro corso consigliato: Introduzione alla Relativita` Generale (affine e integrativo)

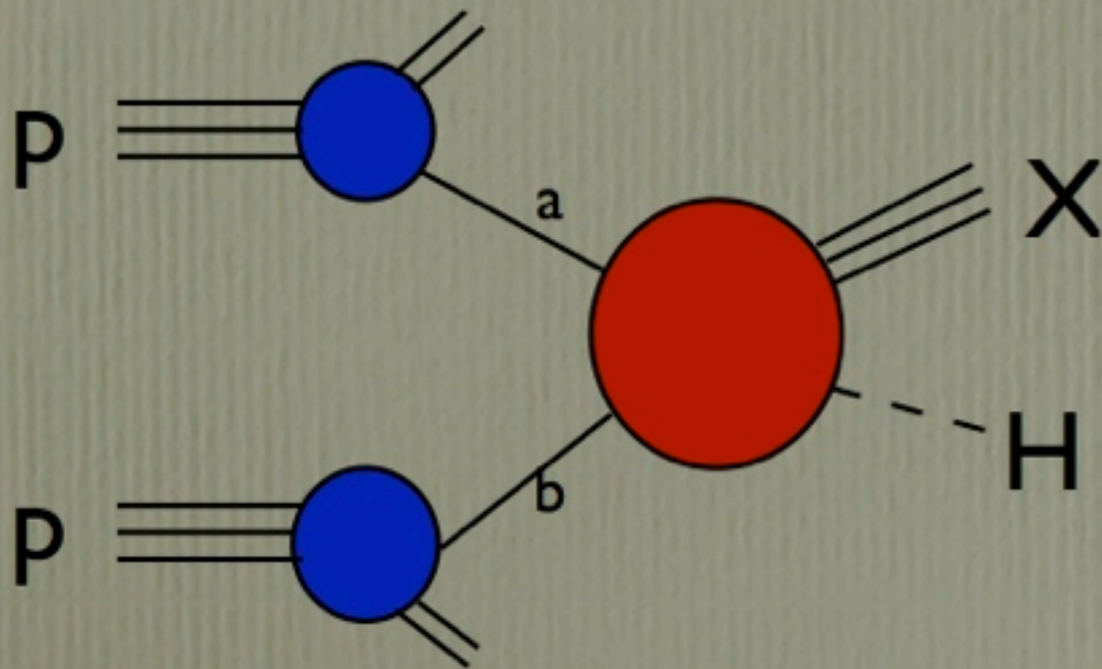


# Q.F.T. e Interazioni fondamentali

TIF-Lab: Stefano Forte, Alessandro Vicini, Giancarlo Ferrera, S. Carrazza

- Fisica Teorica delle particelle elementari (teoria dei campi quantistica relativistica)
- Fenomenologia e test di precisione del Modello Standard delle interazioni Elettrodebole e Forte
- Studio di processi di scattering di particelle, principalmente ai colliders di altissima energia (LHC, Tevatron, ILC, FCC)

$$\sigma(P_1, P_2; m_H) = \sum_{a,b} \int_0^1 dx_1 dx_2 f_{h_1,a}(x_1, M_F) f_{h_2,b}(x_2, M_F) \hat{\sigma}_{ab}(x_1 P_1, x_2 P_2, \alpha_s(\mu), M_F)$$



- Descrizione accurata del **protone** con Parton Distribution Functions (PDFs)
- Calcolo delle **sezioni d'urto partoniche** per la produzione di un certo stato finale
- Produzione del bosone di Higgs di bosoni di gauge W e Z



# Q.F.T. e Interazioni fondamentali

- Determinazione delle **PDF del protone**, analizzando i dati con reti neurali (NNPDF, Forte)
- Sezioni d'urto di produzione del **bosone di Higgs** e dei **bosoni W e Z** includendo correzioni quantistiche (QCD e EW) di ordine superiore per diversi meccanismi di produzione (gluon fusion, produzione associata; DY) e diversi stati finali. (Forte, Vicini, Ferrera)
- Risommazione analitica a tutti gli ordini di correzioni radiative caratterizzate da grandi fattori logaritmici che si sviluppano in certe regioni dello spazio delle fasi (Forte, Ferrera)
- Sviluppo di codici di simulazione Monte Carlo che includono il calcolo esatto di correzioni radiative e la risommazione tramite Parton Shower (Vicini)
- Misura di alta precisione ai colliders adronici dei parametri elettrodeboli: sviluppo di nuove strategie, studio dell'impatto delle PDF; studio di possibili deviazioni dovute a fisica BSM (Vicini)



# Q.F.T. e Interazioni fondamentali

- Competenze di Teoria Quantistica dei Campi:  
problemi di rinormalizzazione, di trattazione delle divergenze infrarosse;  
generazione efficiente delle ampiezze di scattering
- Competenze matematiche:  
calcolo di integrali di loop e loro rappresentazione in termini di funzioni analitiche;  
calcolo di trasformate (Fourier, Mellin)
- Competenze numeriche:  
utilizzo/sviluppo di codici di simulazione Monte Carlo  
di reti neurali
- Competenze statistiche:  
tecniche di fit, rappresentazione statistica di insiemi di dati



# Supersimmetria, stringhe e gravita` quantistica

**keywords:** supergravita`, teorie di gauge supersimmetriche, buchi neri, olografia, cosmologia.

**people:** prof. Silke Klemm, Alberto Santambrogio, dr. Antonio Amariti, F. Faedo, G. Salvatori, M.Azzola

<http://www.mi.infn.it/~strings/index.php>



# Supersimm, stringhe e gravita` quantistica

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/applic	Fisica Teorica I	Teorico/fondam
Introduzione alla Relativita` Generale	Affine/integr	Gravita` e Superstringhe I	Teorico/fondam
Metodi Matematici della Fisica: Geometria e Gruppi I	Teorico/fondam	Gravita` e Superstringhe 2	Affine/integr
2 corsi a scelta		2 corsi a scelta	
Abilita` informatiche e telematiche	3 CFU	INGLESE B2	3 CFU`
totale CFU	33	totale CFU	33

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Fisica Teorica 2	Teorico/fondam	Stage e tirocini obbligatori	6 CFU
Corso a scelta		Tesi di laurea	36 CFU
totale CFU	12	totale CFU	42

**Altri corsi consigliati.** Affini e Integrativi: Geometria 2; Metodi Computazionali della Fisica.  
Ambito "Microfisico e della Struttura della Materia": Fisica Statistica Avanzata; Fisica delle Particelle.  
Ambito "Astrofisico, Geofisico e Spaziale": Cosmologia; Elementi di Fisica dei Continui.



# Astrofisica nucleare relativistica

**keywords:** stella di neutroni, pulsar, superfluidita`,  
vortici magnetici, fluidodinamica relativistica

**people:** prof. Pierre Pizzochero, dr. E. Giliberti,  
A. Montoli; **collab:** dr. B. Haskell, M. Antonelli,  
L. Gavassino (Warsaw)

[Alessandro.Montoli@unimi.it](mailto:Alessandro.Montoli@unimi.it)



# Astrofisica Nucleare Relativistica

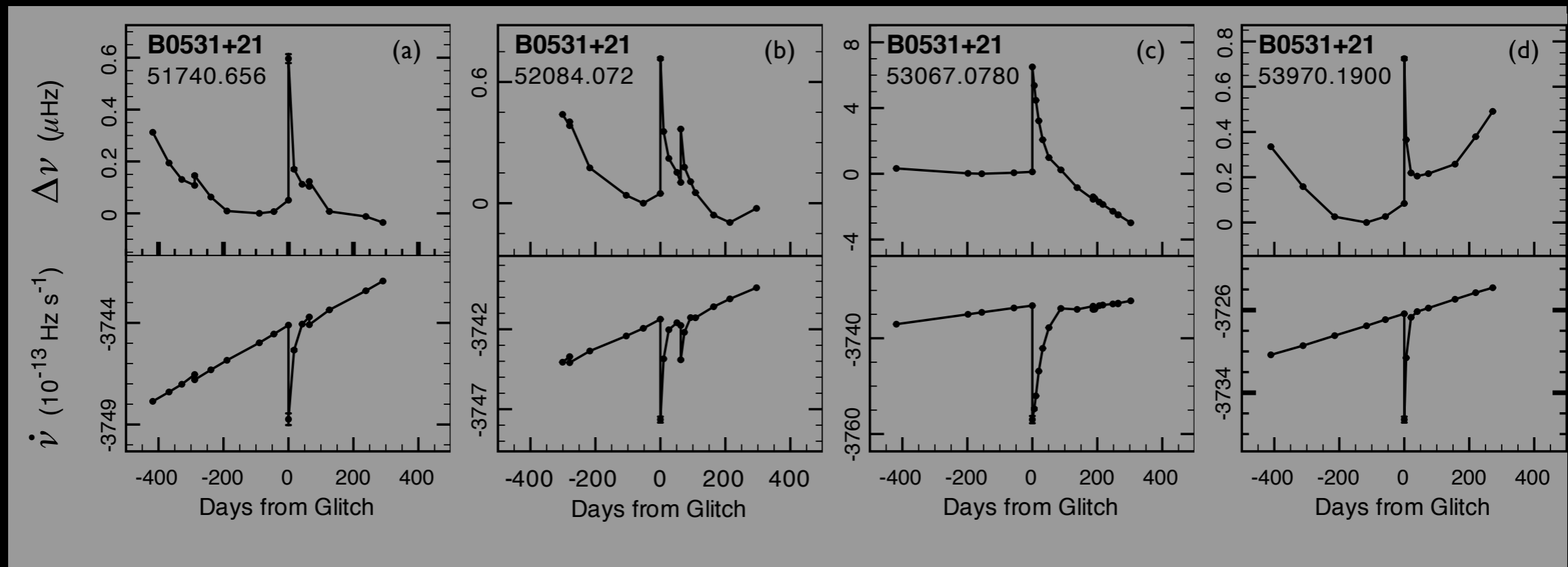
Astrofisica degli oggetti compatti: non basta più la fisica classica per descriverli, ma è necessaria la meccanica quantistica

- ▶ Fisica nucleare a densità superiori a quella di saturazione
- ▶ Campi magnetici estremi
- ▶ Intensi campi gravitazionali



I laboratori per questo tipo di fisica sono le stelle di neutroni: i dati non si ottengono da acceleratori di particelle, ma da telescopi (astronomia multimessaggera!)

# Astrofisica Nucleare Relativistica



## Pulsar glitches:

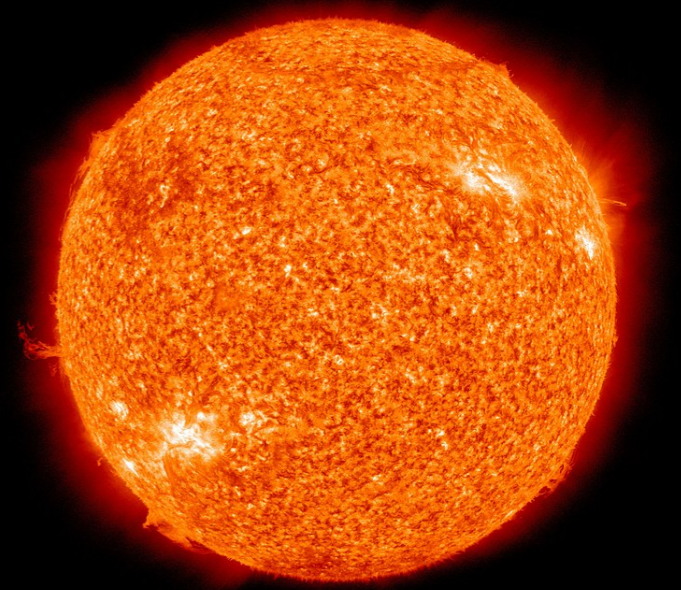
- ▶ Due componenti nella stella, di cui una superfluida
- ▶ La componente superfluida non decelera come quella normale
- ▶ Scambio di momento angolare tra le componenti  $\Rightarrow$  glitch!
- ▶ Modellizzando il fenomeno si possono ottenere dettagli sulla struttura delle stelle di neutroni



# Astrofisica Nucleare Relativistica

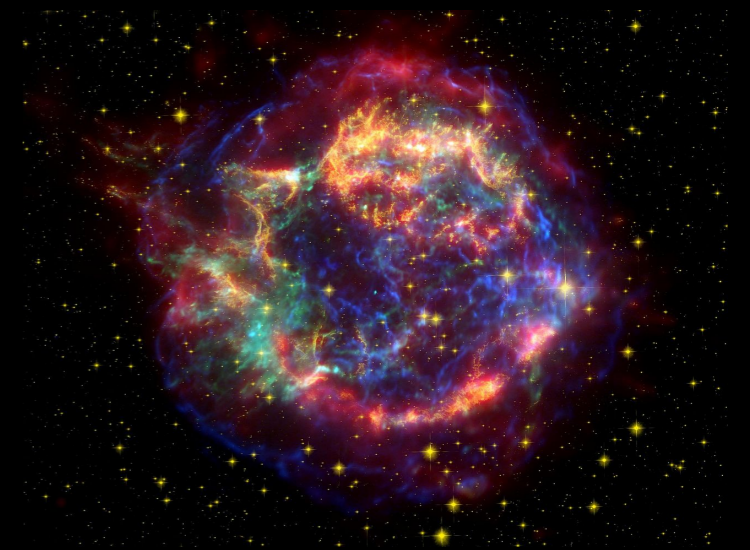
## Modulo 1 (Astrofisica delle stelle estese):

- ▶ Struttura ed evoluzione stellare
- ▶ Trasporto di energia
- ▶ Stabilità della stella



## Modulo 2 (Astrofisica delle stelle compatte):

- ▶ Nane bianche
- ▶ Supernovae
- ▶ Stelle di neutroni



# Astrofisica nucleare relativistica

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/applic	5 corsi a scelta	
Teoria delle Interazioni Fondamentali I	Teorico/fondam		
Teoria dei sistemi a molti corpi I	Teorico/Fondam		
Teoria dei sistemi a molti corpi 2	Teorico/Fondam		
corso a scelta		INGLESE B2	3 CFU
Abilita informat e telemat	3 cfu		
<b>totale CFU</b>	<b>33</b>	<b>totale CFU</b>	<b>33</b>

I semestre	tipo	II semestre	
Astrofisica Nucl. Relativ. I	Astrof/geof/spaz	Tesi di Laurea	<b>36 CFU</b>
Astrofisica Nucl. Relativ. 2	Astrof/geof/spaz	Stage e tirocini obbligatori	6 CFU
<b>totale CFU</b>	<b>12</b>	<b>totale CFU</b>	<b>42</b>

Altri corsi consigliati:

Affini e Integrativi: Introduzione alla Relatività Generale; Metodi Computaz. della Fisica.  
Ambito "microfisico e struttura della materia": Fisica statistica avanzata, Fisica nucleare.



# Fisica statistica e teoria statistica dei campi

**Keywords:** meccanica statistica, fisica teorica interdiscipl, biologia quantitativa, data science. **people:** prof M.

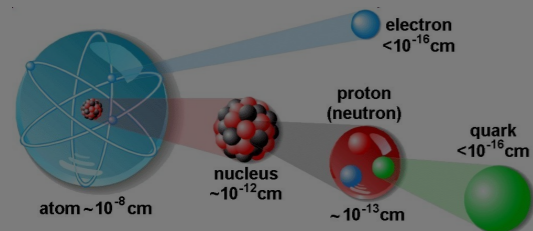
Cosentino Lagomarsino, dr. M. Gherardi, O.M.Romano e L. Calabrese (IFOM), V. Erba, P. Rotondo (Nottingh.)

**Keywords:** optimal matching problem, vetri di spin, matrici random, teoria di Bogoliubov e stati legati in QCD.

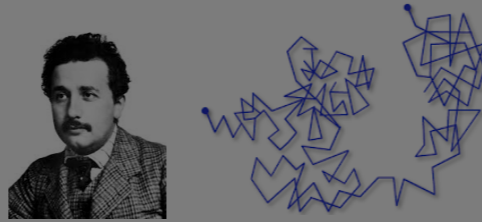
**people:** prof S. Caracciolo, L. G. Molinari, dr P. Rotondo, A. Di Gioacchino, V. Erba, M. Pastore, R. Fabbricatore, M. Cardella

**Keywords:** liquidi di Luttinger, grafene e liquidi di Dirac, isolanti topologici, many-body localization. **people:** prof. V. Mastropietro (matematica)

# MODELS guide experiments and inspire THEORIES



## STATISTICAL PHYSICS

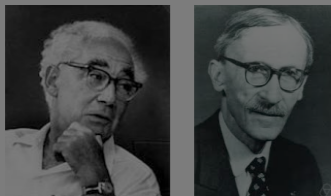


### Brownian Motion

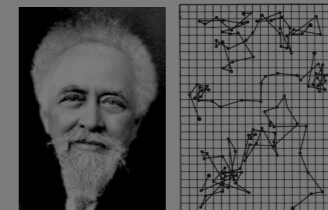
(Einstein 1905,  
... but also Bachelier 1900, Pearson 1905,  
Rayleigh 1880)

### Modern Probability Theory

Central Limit Theorem:  
(Feller/Levy 1935  
but Lindeberg 1925, Lyapunov 1901 ...  
De Moivre 1735)



### Atoms, Molecules (Perrin 1909 → Rutherford, Bohr etc. )

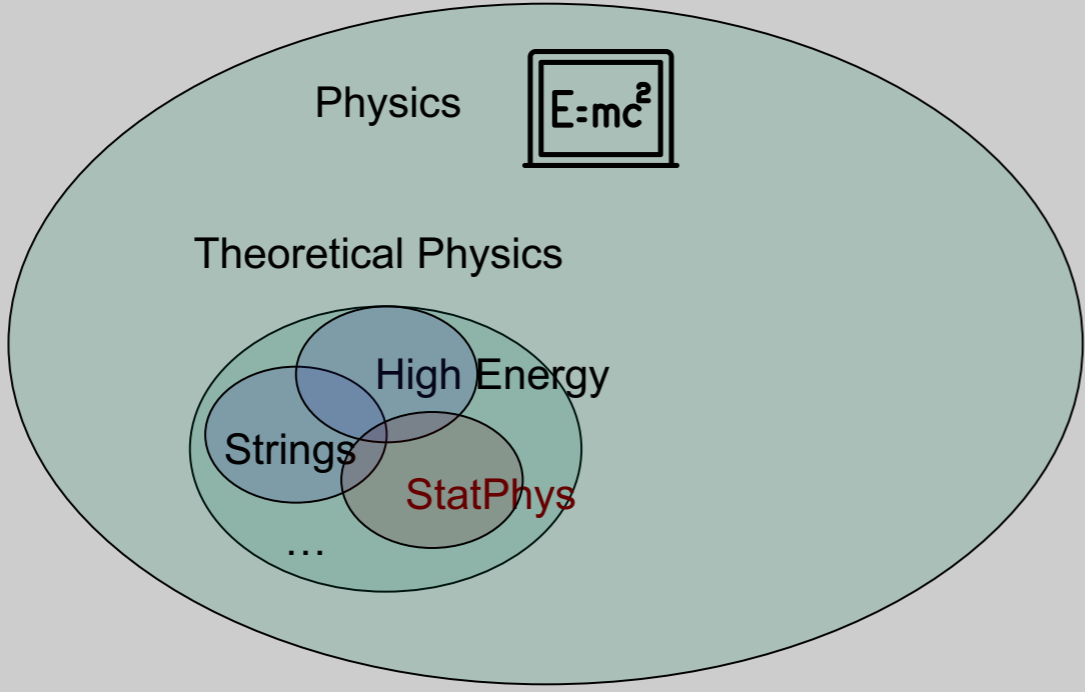


### Path Integrals

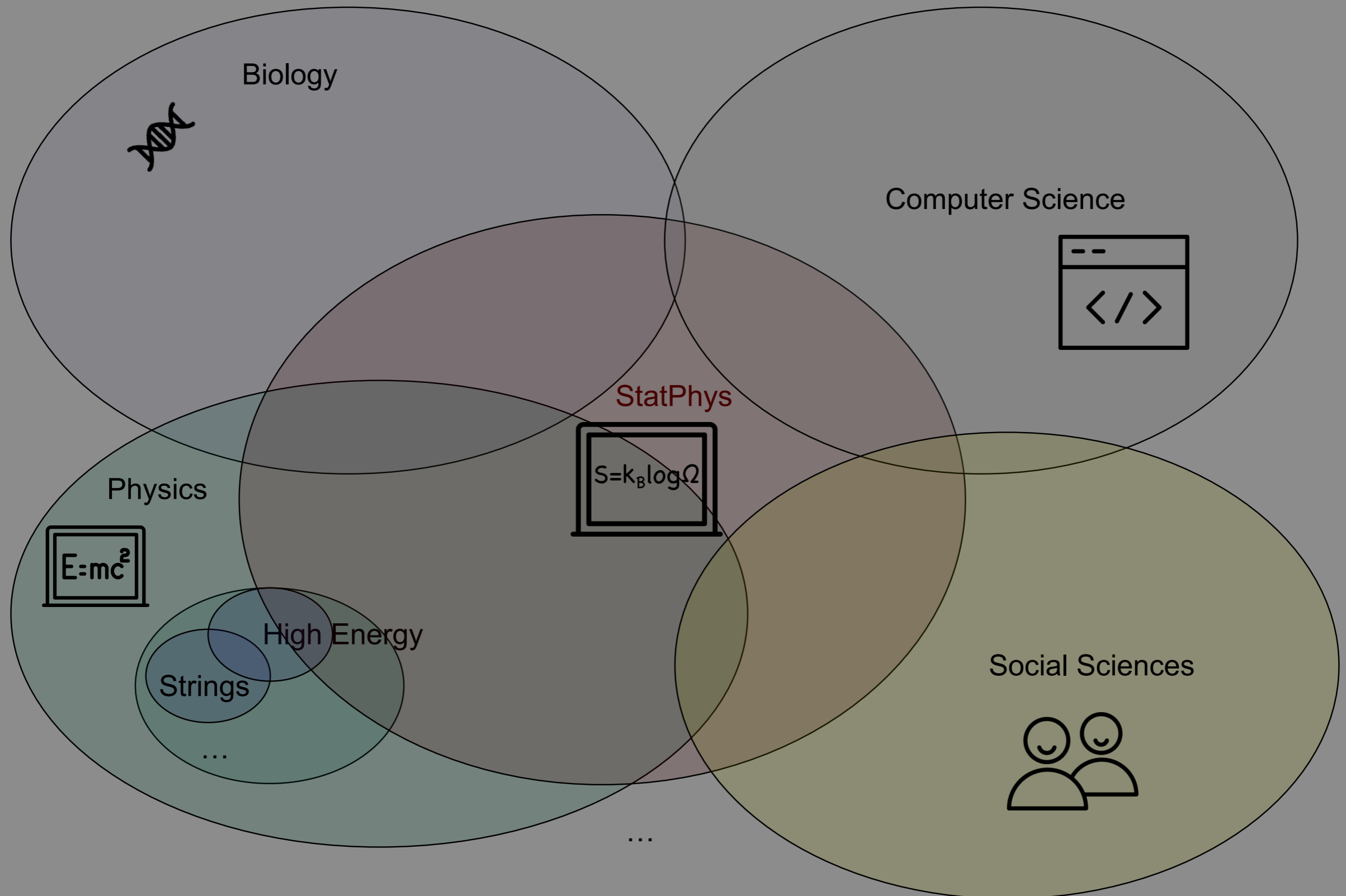
(Wiener 1921, Dirac 1933  
→ Feynman 1948)







# statistical physics is INTERDISCIPLINARY





AREAS:

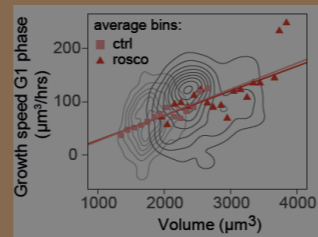
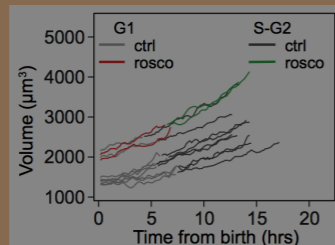
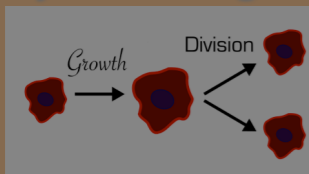
Biological Physics and Quantitative Biology  
Modeling with Statistical/Soft-Matter Physics tools

Based on **statistical physics** expertise  
Tight cross-disciplinary **collaborations**

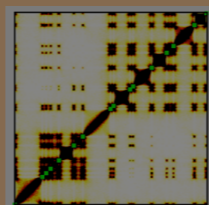
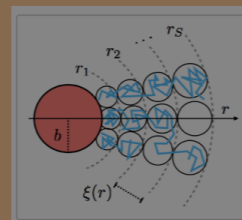
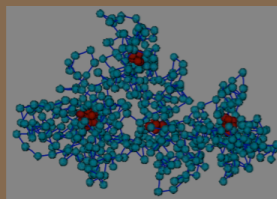
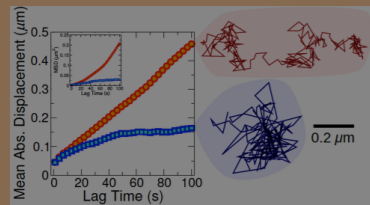
SPCG Research Lines

(1) Single-cell physiology

- cell cycle/cell growth



- chromosome dynamical organization

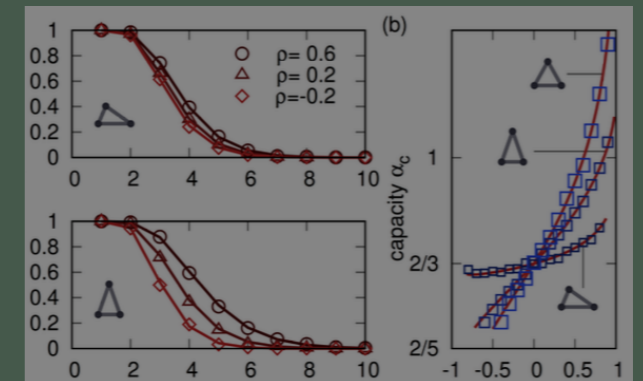
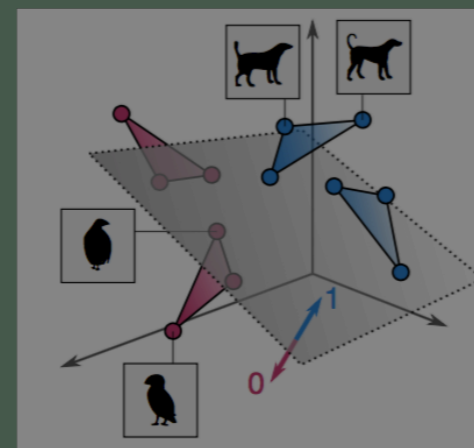


AREAS:

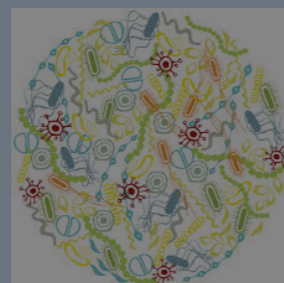
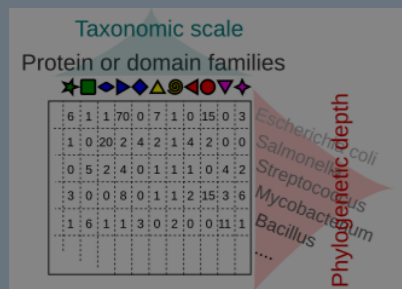
Statistical Physics of Machine Learning  
Multidisciplinary Data Science / Complex Systems

TIP Research Lines

(1) Data structure ↔ machine learning algorithms

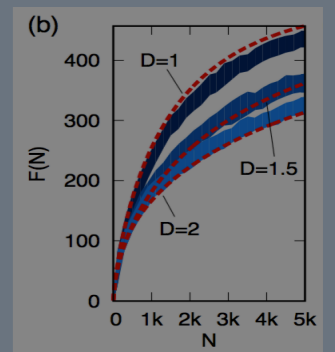
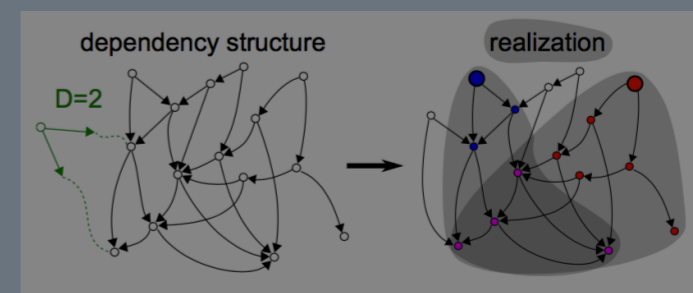


(2) Eco-evolutionary genomics of  
species and communities



Common framework:  
"component systems"

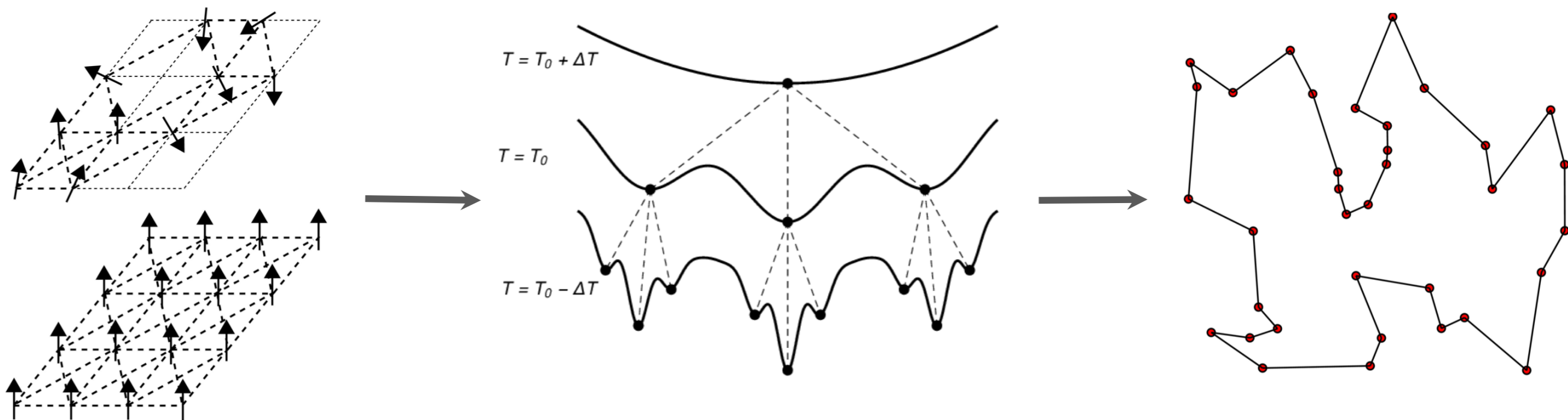
(2) Quantitative laws of technology and innovation





# Sistemi disordinati - cosa facciamo?

- **Sistemi disordinati** (spin glasses) e **problemi di ottimizzazione combinatoria** (matching problem, traveling salesman problem, ...);
- Teoria della **complessità computazionale & algoritmi**;
- **Matrici Random** (e applicazioni);
- Ma anche: **quantum computing** (algoritmi), **large deviation theory**, **tecniche many-body per QFT**....



# Fisica statistica e teoria statistica dei campi

I semestre	tipo	II semestre	tipo
Elettrodinamica Classica	Sperim/applic	Fisica Teorica I (C)	Teorico/fondam
4 corsi a scelta		Meccanica statistica 2	Teorico/fondam
Inglese B2	3 cfu	Fisica Statistica avanzata (Galli)	microfisico/ str della mat
Abilita` informatiche e telematiche	3 cfu	2 corsi a scelta	
<b>Totale CFU</b>	<b>36</b>	<b>Totale CFU</b>	<b>30</b>
I semestre	tipo	II semestre	tipo
Fisica Teorica 2 (C)	Teorico/fond	Tesi di Laurea	<b>36 CFU</b>
Corso a scelta		Stage e tirocini obbligatori	6 CFU
<b>totale CFU</b>	<b>12</b>	<b>totale CFU</b>	<b>42</b>

## Metodi Computaz della Fisica (II sem) / Lab Simulazione numerica (II sem)

Nella laurea triennale: Introduzione alla Fisica Statistica (oppure Meccanica Statistica 1, nella LM)

Affini e Integrativi: Biofisica, Teoria Statistica dei Campi 2, Biofisica computazionale

Ambito "Teorico e dei Fondamenti della Fisica": Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 1, Teoria dei Sistemi a Molti Corpi 2, Teoria Statistica dei Campi 1,

Ambito "Microfisico e di struttura della materia": Fisica delle Proteine 1.

# La scelta dei corsi

## 7 corsi dagli ambiti disciplinari:

- speriment/applic: Elettrodinamica
- teorico/fondamenti della fisica
- microfisica/struttura della materia
- astrof/geof/spaziale
- 3 liberi

## 3 corsi affini/integrativi

**2 a scelta libera = 72 cfu**

**+3ing+3ab.inf+6tiroc+36tesi = 120 cfu**

## Indicazione generale per il fisico teorico:

**Fisica teorica 1 e 2 oppure multi-corpi 1 e 2**

**(Introduzione alla Relativita` Generale)**

**Metodi Matematici della Fisica 2 (Geom e Gruppi 1)**

**Metodi Computazionali della Fisica**