

---

---

# Gruppo IV – Bari Preventivi 2021

---

---

**Coordinatore: Antonio Marrone**

# Iniziative Specifiche (IS) Gruppo IV Bari:

## Linee scientifiche della CSN4

- 1 Teorie di campo e di stringa
- 2 Fenomenologia delle particelle elementari
- 4 Metodi matematici
- 5 Astroparticelle e cosmologia
- 6 Fisica statistica e applicazioni di teoria dei campi
- 6 Fisica statistica e applicazioni di teoria dei campi

## IS

NPQCD  
QFT-HEP  
QUANTUM  
TAsP  
BioPhys  
FIELDTURB

Acronimo	: Titolo esteso	Respons.
NPQCD	: Nonperturbative QCD	Cosmai*
QFT-HEP	: Phenomenology of the Standard Model and Beyond	De Fazio*
QUANTUM	: Finite and infinite quantum systems	Facchi*
TAsP	: Theoretical Astroparticle Physics	Lisi**
BioPhys	: Biological applications of theoretical physics methods	Stramaglia
FIELDTURB	: Fields and particles in turbulence and complex fluids	Gonnella

\*Resp. Nazionale. N.B.: Gr IV - Bari ha 4 resp. naz. su 35 nella CSN4

\*\* in scadenza

# Anagrafica prevista per il 2020-2021:

Nome	Età	Posizione	Qualifica	Referenza	BIOFINV5	FULLTIME	RPQCD	4P_F_HP	QUANTUM	IRCF	PRIN-PRIN_2	UE-QUINTHEP	DD14	CSN I	CSN II	CSN III	CSN V	P-5	DDR	ServiceL	UE	PUN	PDR	FT06	PRIN	ALTR0	PP	TI	CGH	Tot.
1 Angelini Leonardo		[P] Associato	Prof. Associato		0																									0
2 Angelone Giuliano		Associato	Dottorando	CSN IV					100																					100
3 Carezza Livio Nicola		Associato	Dottorando			100																								100
4 Carezza Pirella		Associato	Dottorando							100																				100
5 Cea Paolo		Inc. Ric.	Prof. Associato				100																							100
6 Colangelo Pietro		Dipendente	Dir.Ric.					100																						100
7 Cosmai Leonardo		Dipendente	I Ric.				90										10													100
8 Cufara Petroni Nicola		[P] Associato	Prof. Associato		0																									0
9 D'Angelo Milena		Inc. Ric.	Ricercatore Universitario						30								40													70
10 De Fazio Fulvia		Dipendente	I Ric.					100																						100
11 Di Lena Francesco Maria		Associato	Docente						30								70													100
12 Facchi Paolo		Inc. Ric.	Prof. Associato						100																					100
13 Florio Giuseppe		Inc. Ric.	Ricercatore B Tempo Determinato Tipo B						100																					100
14 Garuccio Augusto		Associato	Prof. Ordinario						85																					85
15 Gasperini Maurizio		Inc. Ric.	Prof. Ordinario							100																				100
16 Gonnella Giuseppe		Inc. Ric.	Prof. Ordinario			100																								100
17 Gramigna Giovanni		Associato	Dottorando						100																					100
18 Konderak Arturo		Associato	Dottorando	CSN IV					100																					100
19 Lisi Eligio		Dipendente	Dir.Ric.	CSN IV						85	15																			100
20 Lenigro Davide		Associato	Dottorando						100																					100
21 Loparco Francesco		Associato	Dottorando					100																						100
22 Maggi Rocco		Associato	Dottorando	CSN IV					100																					100
23 Marrone Antonio		Inc. Ric.	Prof. Associato							90				10																100
24 Mirizzi Alessandro		Inc. Ric.	Ricercatore Universitario							100																				100
25 Nuzzi Davide		Associato	Dottorando		100																									100
26 Palazzo Antonio		Inc. Ric.	Ricercatore B Tempo Determinato Tipo B							100																				100
27 Pascazio Saverio		Inc. Ric.	Prof. Ordinario						100																					100
28 Petrelli Isabella		Associato	Dottorando			100																								100
29 Scagliarini Tomas		Associato	Dottorando		100																									100
30 Soala Giovanni		Associato	Dottorando						70								30													100
31 Scrimieri Egidio		Associato	Ricercatore Universitario					100																						100
32 Stramaglia Sebastiano		Inc. Ric.	Prof. Associato		80																									80
33 Suma Antonio		Associato	Ricercatore Universitario	CSN IV		100																								100
34 Tedesco Luigi		Inc. Ric.	Ricercatore Universitario							100																				100
				FTE Total	2.8	4	1.9	4	10.15	6.75	0.15			Totale: 29.75 FTE																



## Recenti o prossimi avvicendamenti

staff INFN

In: Giannuzzi

Out: -

staff Univ.

In: Palazzo

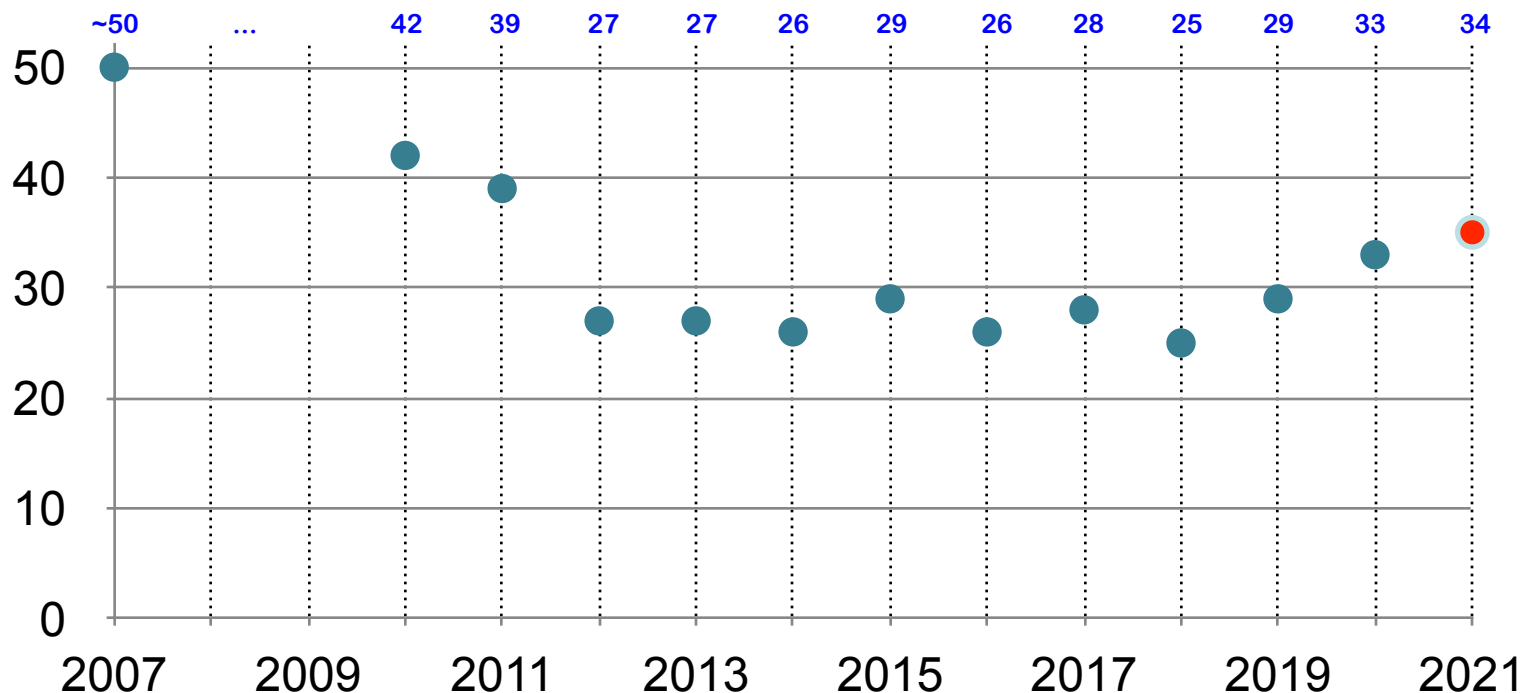
Out: - Cea, Garuccio

dottorandi + rtdA In: Angelone, Konderak, Maggi+Suma Out: Digregorio, Negro, Pomarico

Nome	Età	Posizione	Qualifica	Referenza	BIOPHY5	FULLTIME	RPQCD	4P_F_HFP	QUANTUM	IRAP	PRIN-PRIN_2	UE-QUANTUM	0014	CSN I	CSN II	CSN III	CSN V	P-5	CCR	ServiceL	UE	PUN	PDR	FT06	PRIN	ALTR0	PP	TI	CGH	Tot.
1 Angelini Leonardo		[P] Associato	Prof. Associato		0																									0
2 Angelone Giuliano		Associato	Dottorando	CSN IV					100																					100
3 Carenza Livio Nicola		Associato	Dottorando			100																								100
4 Carenza Pirella		Associato	Dottorando							100																				100
5 Cea Paolo		Inc. Ric.	Prof. Associato				100																							100
6 Colangelo Pietro		Dipendente	Dir. Ric.					100																						100
7 Cosmai Leonardo		Dipendente	I Ric.				90										10													100
8 Cufara Petroni Nicola		[P] Associato	Prof. Associato		0																									0
9 D'Angelo Milena		Inc. Ric.	Ricercatore Universitario						30								40													70
10 De Fazio Fulvia		Dipendente	I Ric.					100																						100
11 Di Lena Francesco Maria		Associato	Docente						30								70													100
12 Facchi Paolo		Inc. Ric.	Prof. Associato						100																					100
13 Florio Giuseppe		Inc. Ric.	Ricercatore B Tempo Determinato Tipo B						100																					100
14 Garuccio Augusto		Associato	Prof. Ordinario						85																					85
15 Gasperini Maurizio		Inc. Ric.	Prof. Ordinario							100																				100
16 Gonnella Giuseppe		Inc. Ric.	Prof. Ordinario			100																								100
17 Gramigna Giovanni		Associato	Dottorando						100																					100
18 Konderak Arturo		Associato	Dottorando	CSN IV					100																					100
19 Lisi Eligio		Dipendente	Dir. Ric.	CSN IV						85	15																			100
20 Lenigo Davide		Associato	Dottorando						100																					100
21 Loparco Francesco		Associato	Dottorando					100																						100
22 Maggi Rocco		Associato	Dottorando	CSN IV					100																					100
23 Marrone Antonio		Inc. Ric.	Prof. Associato							90			10																	100
24 Mirizzi Alessandro		Inc. Ric.	Ricercatore Universitario							100																				100
25 Nuzzi Davide		Associato	Dottorando		100																									100
26 Palazzo Antonio		Inc. Ric.	Ricercatore B Tempo Determinato Tipo B							100																				100
27 Pascazio Saverio		Inc. Ric.	Prof. Ordinario						100																					100
28 Petrelli Isabella		Associato	Dottorando			100																								100
29 Scagliarini Tomas		Associato	Dottorando		100																									100
30 Soala Giovanni		Associato	Dottorando						70								30													100
31 Scrimieri Egidio		Associato	Ricercatore Universitario					100																						100
32 Stramaglia Sebastiano		Inc. Ric.	Prof. Associato		80																									80
33 Suma Antonio		Associato	Ricercatore Universitario	CSN IV		100																								100
34 Tedesco Luigi		Inc. Ric.	Ricercatore Universitario							100																				100
				FTE Total	2.8	4	1.9	4	10.15	6.75	0.15			Totale: 29.75 FTE																

**Riassumendo: ~35 afferenti nel 2020-2021**

**Serie storica 2007-2021:**



**2007-2012:** brusca diminuzione di un fattore ~1/2

**2012-2018:** ... plateau ~27 [= ~20 staff + ~3 PhD + ~4 postdoc]

**2019-2021** fluttuazioni dovute a quiescenze + dottorandi

**N.B.: 1) finora il Gr.IV non ha richiesto nessun assegno (co)finanziato INFN**

**2) ultime assunzioni INFN: De Fazio (2001), Lisi (1996) ...**

# Attività scientifica 2020-21

<b>NPQCD</b>	: Nonperturbative QCD
<b>QFT-HEP</b>	: Phenomenology of the Standard Model and Beyond
<b>QUANTUM</b>	: Finite and infinite quantum systems
<b>TAsP</b>	: Theoretical Astroparticle Physics
<b>BioPhys</b>	: Biological applications of theoretical physics methods
<b>FIELDTURB</b>	: Fields and particles in turbulence and complex fluids

[+ foto, per attuale staff Università/INFN]

# NPQCD:

## Non Perturbative Quantum Chromo Dynamics

### Sezioni coinvolte:

- BARI (resp. nazionale e resp. locale: Leonardo Cosmai)
- COSENZA (resp. locale: Alessandro Papa)
- FERRARA (resp. locale: Raffaele Tripiccione)
- PISA (resp. locale: Enrico Meggiolaro)





# NPQCD

Lo studio di molti aspetti della QCD richiede l'utilizzo di metodi non perturbativi.

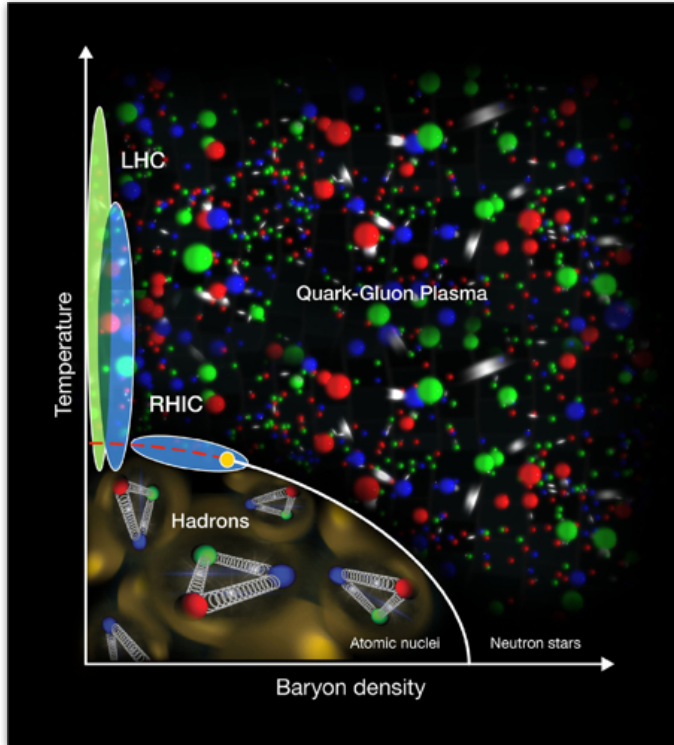
La QCD su reticolo è un metodo non perturbativo che permette lo studio della dinamica della teoria partendo da principi primi.

Principali argomenti di ricerca:

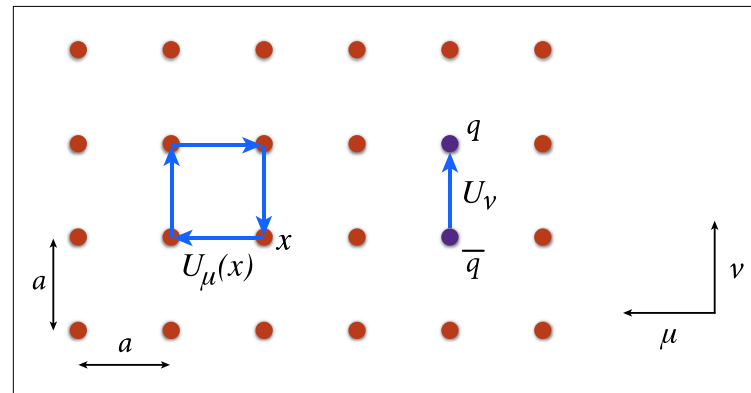
- dinamica del confinamento-deconfinamento
- diagramma di fase a temperatura e densità finita
- esplorazione di metodi di quantum computing per problemi non solubili con i metodi Monte Carlo classici

# Metodi non perturbativi per lo studio del diagramma di fase della QCD

$$\mathcal{L} = \sum_q \bar{\psi}_{q,a} (i\gamma^\mu \partial_\mu \delta_{ab} - g_s \gamma^\mu t_{ab}^C \mathcal{A}_\mu^C - m_q \delta_{ab}) \psi_{q,b} - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{A\mu\nu}$$



## Discretizzazione dello spazio-tempo



## Osservabili fisiche ottenute dal calcolo numerico di integrali funzionali

$$\langle \mathcal{O}(U, q, \bar{q}) \rangle = (1/Z) \int [dU] \prod_f [dq_f] [d\bar{q}_f] \mathcal{O}(U, q, \bar{q}) \times e^{-S_g[U] - \sum_f \bar{q}_f (D[U] + m_f) q_f}$$

$$Z = \int [dU] e^{-S_g[U]} \prod_f \det(D[U] + m_f)$$

## Metodi Monte Carlo per la valutazione di integrali funzionali richiedono uso estensivo di risorse di calcolo HPC:

### accordo quadro CINECA-INFN

2019 —>

MARCONI-A2 25 Mcorehours;

MARCONI-A3 35 Mcorehours

2020 —>

MARCONI-A3 35 Mcorehours;

MARCONI100 2 Mcorehours

### **MARCONI - A2 (knl)**

**Nodes:** 3.600

**Processors:** 1 x 68-cores Intel Xeon Phi7250 (KnightLandings) at 1.4 GHz

**Cores:** 68 cores/node, 244.800 cores in total

**RAM:** 16+96 GB/node

**Peak Performance:** ~11 PFlop/s

### **MARCONI - A3 (skl)**

**Nodes:** 1.512 + 792 + 912

**Processors:** 2 x 24-cores Intel Xeon 8160 (SkyLake) at 2.10 GHz

**Cores:** 48 cores/node, 72.576 + 38.016 cores in total

**RAM:** 196 GB/node

**Peak Performance:** ~8 PFlop/s

### **MARCONI100 (GPU cluster)**

**Nodes:** 980

**Processors:** 2x16 cores IBM POWER9 AC922 at 3.1 GHz

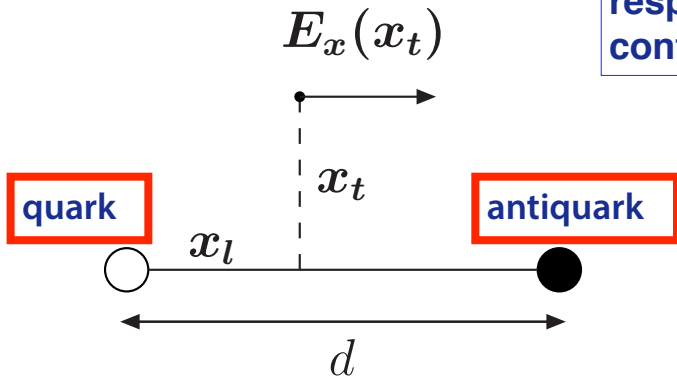
**Accelerators:** 4 x NVIDIA Volta V100 GPUs, Nvlink 2.0, 16GB

**Cores:** 32 cores/node

**RAM:** 256 GB/node

**Peak Performance:** ~32 PFlop/s

# Attività 2019-2020



campo non perturbativo responsabile del confinamento

$$\vec{E}^{\text{NP}}$$

campo totale

$$\vec{E}$$

$$-$$

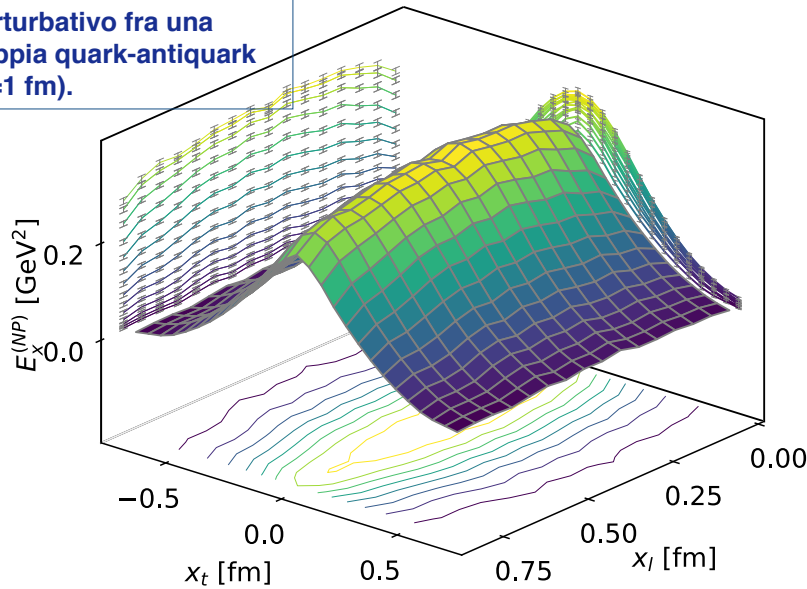
Parte perturbativa Coulombiana

$$\vec{E}^{\text{C}}$$

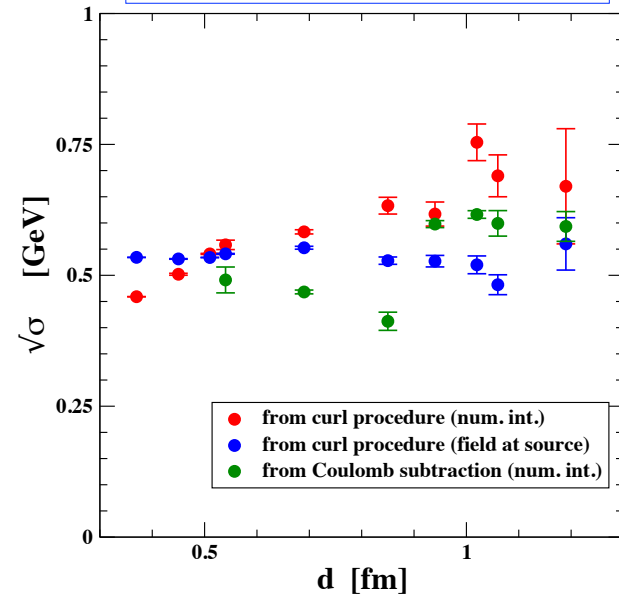
$$\equiv$$

Calcolo model-independent della **componente non perturbativa** del campo cromoelettrico responsabile del confinamento del colore in QCD

Profilo del campo cromoelettrico non perturbativo fra una coppia quark-antiquark ( $d=1$  fm).



Valutazione diretta della tensione di stringa partendo dal campo cromoelettrico non perturbativo longitudinale



## Attività 2019-2020 (continua)

- La determinazione del diagramma di fase della QCD è fondamentale per numerosi aspetti fenomenologici (Universo primordiale, astrofisica delle stelle compatte, fisica del quark-gluon plasma).
- La formulazione su reticolo consente il calcolo non perturbativo delle osservabili mediante metodi Monte Carlo nella formulazione lagrangiana nello spazio euclideo.
- **Tuttavia**, in presenza di densità barionica finita, i metodi Monte Carlo classici non sono applicabili direttamente per il cosiddetto PROBLEMA DEL SEGNO (il peso di Boltzmann non è definito positivo).
- La soluzione più generale del problema del segno è passare alla formulazione Hamiltoniana della QCD. Ma la **complessità computazionale** è affrontabile con l'utilizzo del **QUANTUM COMPUTING**.

Applicazione del **Quantum Computing** allo studio delle proprietà termodinamiche di un semplice modello di spin che tuttavia presenta il problema del segno.  
Studio propedeutico alla implementazione su sistemi più complessi e verso la QCD a densità finita.

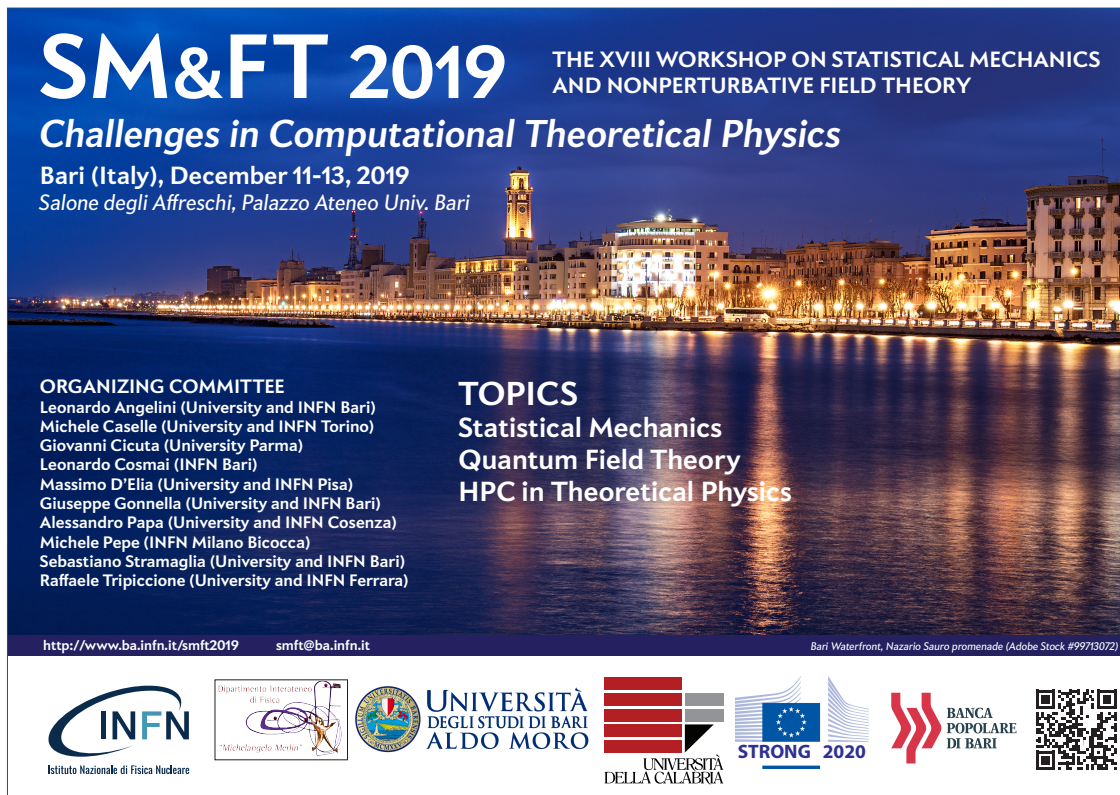
G. Clemente, M. Cardinali, C. Bonati, E. Calore, L. Cosmai, M. D'Elia, A. Gabbana, D. Rossini, F.S. Schifano, R. Tripiccione, D. Vadicchino, arXiv:2001.05328, Phys.Rev.D 101 (2020)

# Attività 2019 (continua)

Organizzazione del workshop

**“SM&FT 2019: The XVIII workshop on Statistical Mechanics and non Perturbative Field Theory”**

Bari, 11 - 13 December, 2019



**SM&FT 2019** THE XVIII WORKSHOP ON STATISTICAL MECHANICS AND NONPERTURBATIVE FIELD THEORY

*Challenges in Computational Theoretical Physics*

Bari (Italy), December 11-13, 2019  
Salone degli Affreschi, Palazzo Ateneo Univ. Bari

**ORGANIZING COMMITTEE**  
Leonardo Angelini (University and INFN Bari)  
Michele Caselle (University and INFN Torino)  
Giovanni Cicuti (University Parma)  
Leonardo Cosmai (INFN Bari)  
Massimo D'Elia (University and INFN Pisa)  
Giuseppe Gonnella (University and INFN Bari)  
Alessandro Papa (University and INFN Cosenza)  
Michele Pepe (INFN Milano Bicocca)  
Sebastiano Stramaglia (University and INFN Bari)  
Raffaele Tripicione (University and INFN Ferrara)

**TOPICS**  
Statistical Mechanics  
Quantum Field Theory  
HPC in Theoretical Physics

<http://www.ba.infn.it/smft2019> [smft@ba.infn.it](mailto:smft@ba.infn.it)

Bari Waterfront, Nazario Sauro promenade (Adobe Stock #99713072)

**INFN**  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare


Dipartimento Interateneo di Fisica  
"Michelangelo Merisi"

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI ALDO MORO**

**UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA**

**STRONG 2020**

**BANCA POPOLARE DI BARI**



100 partecipanti

55 talk presentati

# Argomenti di ricerca 2020-2021

- **Caratterizzazione della struttura del tubo di flusso prodotto da cariche di colore in QCD in presenza di fermioni dinamici con massa del pione vicina al valore fisico.**

**Evoluzione della struttura del tubo di flusso attraverso la transizione di deconfinamento.**

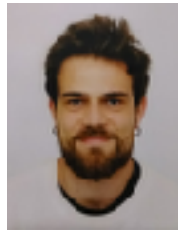
- **Approccio alle Teorie di Gauge su Reticolo utilizzando il Quantum Computing:**
  - **esperimentare l'approccio del Quantum Computing per lo studio del diagramma di fase della QCD a temperatura e densità finita.**

# QFT-HEP

## Standard Model and Beyond Standard Model Physics by QFT Methods

### Bari team:

- Pietro Colangelo
- **Fulvia De Fazio** (resp. locale & nazionale)
- Egidio Scrimieri
- Francesco Loparco PhD 34 ciclo



### attività 2019/2020 – progetto per il 2021

- **fisica del flavor nel Modello Standard ed estensioni**
- analisi di sistemi fortemente interagenti mediante la dualità gauge/gravità': applicazioni alla QCD (fenomeni fuori dall'equilibrio, proprietà degli stati adronici, effetti caotici)



## Ricerca di Fisica oltre il Modello Standard: settore del sapore

recenti misure nel settore del flavor sono in tensione con lo SM

in particolare, in processi di corrente carica  $b \rightarrow c \ell \nu_\ell$

rapporti di BR: 
$$\mathcal{R}(M_c) = \frac{\mathcal{B}(B \rightarrow M_c \tau \bar{\nu}_\tau)}{\mathcal{B}(B \rightarrow M_c \ell \bar{\nu}_\ell)} \quad (M_c = D, D^*, \ell = e, \mu) \quad (3.1 \sigma \text{ da SM})$$

violazione dell' 'universalita' del sapore leptonic (LFU) (simmetria accidentale dello SM)

correlazione con analoghi processi che coinvolgono altri hadroni

mesoni ( $B_s, B_c$ )

barioni ( $\Lambda_b, \Xi_b, \Omega_b$ )

larghezze inclusive calcolabili in QCD mediante una OPE in  $1/m_b$

- analisi di signature nei decadimenti inclusivi della  $\Lambda_b$

- i barioni hanno spin:

individuare osservabili sensibili alla polarizzazione della  $\Lambda_b$  e ad effetti BSM  
polarizzazione longitudinale attesa per  $\Lambda_b$  prodotta dalla adronizzazione di un beauty proveniente da decadimenti di top o  $Z^0$

$$\Lambda_b \rightarrow X_U \ell^- \nu \quad U=u,c \quad \ell = e, \mu, \tau$$

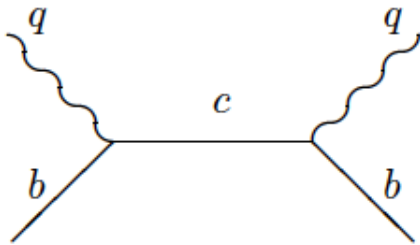
- miglioramento delle predizioni del SM:  
calcolo della larghezza completamente differenziale per un barione polarizzato nella Heavy Quark Expansion (HQE) all'ordine  $1/m_b^3$
- individuazione di osservabili sensibili a Fisica BSM:  
estensione model-independent dell'Hamiltoniano effettivo dello SM

$$H_{\text{eff}}^{b \rightarrow U \ell \nu} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{Ub} \left[ (1 + \epsilon_V^\ell) (\bar{U} \gamma_\mu (1 - \gamma_5) b) (\bar{\ell} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) \nu_\ell) \right. \\ \left. + \epsilon_S^\ell (\bar{U} b) (\bar{\ell} (1 - \gamma_5) \nu_\ell) + \epsilon_P^\ell (\bar{U} \gamma_5 b) (\bar{\ell} (1 - \gamma_5) \nu_\ell) \right. \\ \left. + \epsilon_T^\ell (\bar{U} \sigma_{\mu\nu} (1 - \gamma_5) b) (\bar{\ell} \sigma^{\mu\nu} (1 - \gamma_5) \nu_\ell) \right] + h.c. .$$


 dipendenti dal sapore leptonic

$$\Lambda_b \rightarrow X_U \ell^- \nu \quad U=u,c \quad \ell = e, \mu, \tau$$

- miglioramento delle predizioni del SM:  
calcolo della larghezza completamente differenziale per un barione polarizzato nella Heavy Quark Expansion (HQE) all'ordine  $1/m_b^3$
- individuazione di osservabili sensibili a Fisica BSM:  
estensione model-independent dell'Hamiltoniano effettivo dello SM



Tensore adronico:

$$W = \frac{1}{\pi} \text{Im} T$$

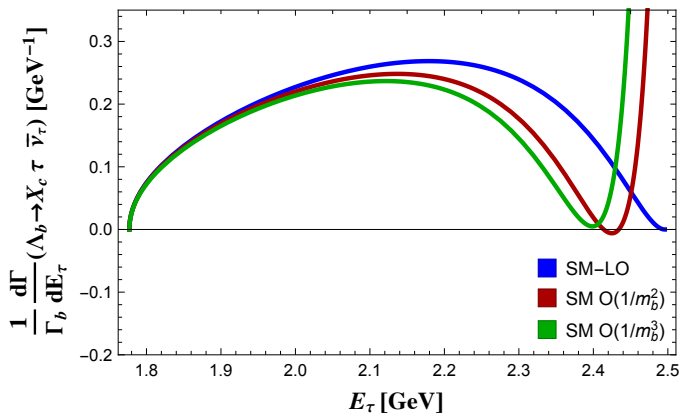
(teorema ottico)

Heavy Quark Expansion

->  $\Gamma(H_Q)$  serie di potenze di  $1/m_Q$

$$\Lambda_b \rightarrow X_c \tau^- \nu$$

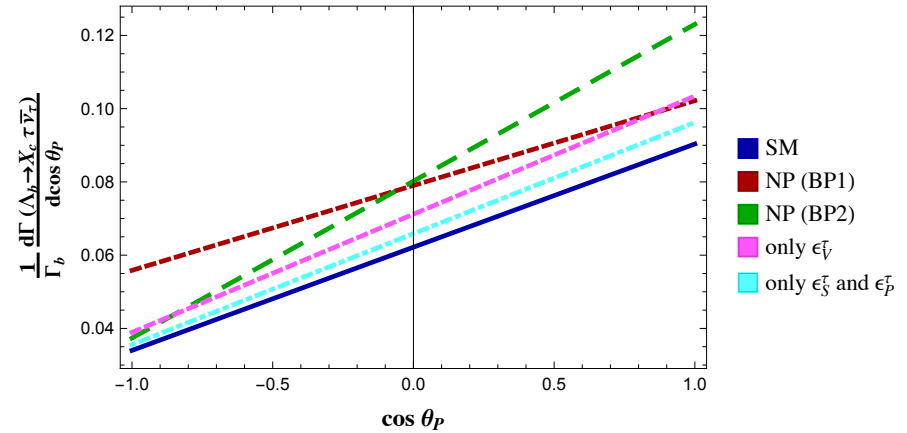
le correzioni  $1/m_b^3$   
modificano lo spettro in energia  
del leptone carico



# osservabili sensibili alla polarizzazione della $\Lambda_b$ e a fisica BSM

distribuzione di  $\Gamma/d \cos \theta_p$   
 (angolo tra la direzione di volo di  $\ell^-$   
 e quella dello spin della  $\Lambda_b$ ):

$$\frac{d\Gamma(\Lambda_b \rightarrow X_U \ell \bar{\nu}_\ell)}{d \cos \theta_p} = A_\ell^U + B_\ell^U \cos \theta_p$$



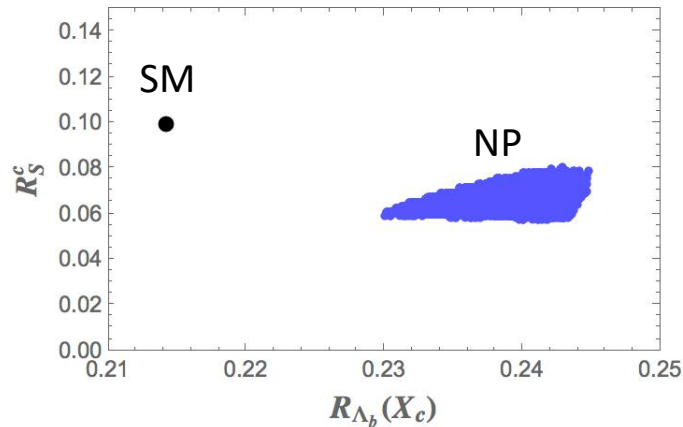
$$R_{\Lambda_b}(X_U) = \frac{A_\tau^U}{A_\mu^U}$$

$$R_S^U = \frac{B_\tau^U}{B_\mu^U}$$

analogo a  $R(D^{(*)})$

rapporto tra le slope per  $\ell=\tau$  e  $\ell=\mu$

correlazione



osservabile pulita  
 difficilmente accessibile a LHC  
 FCC con fascio di leptoni

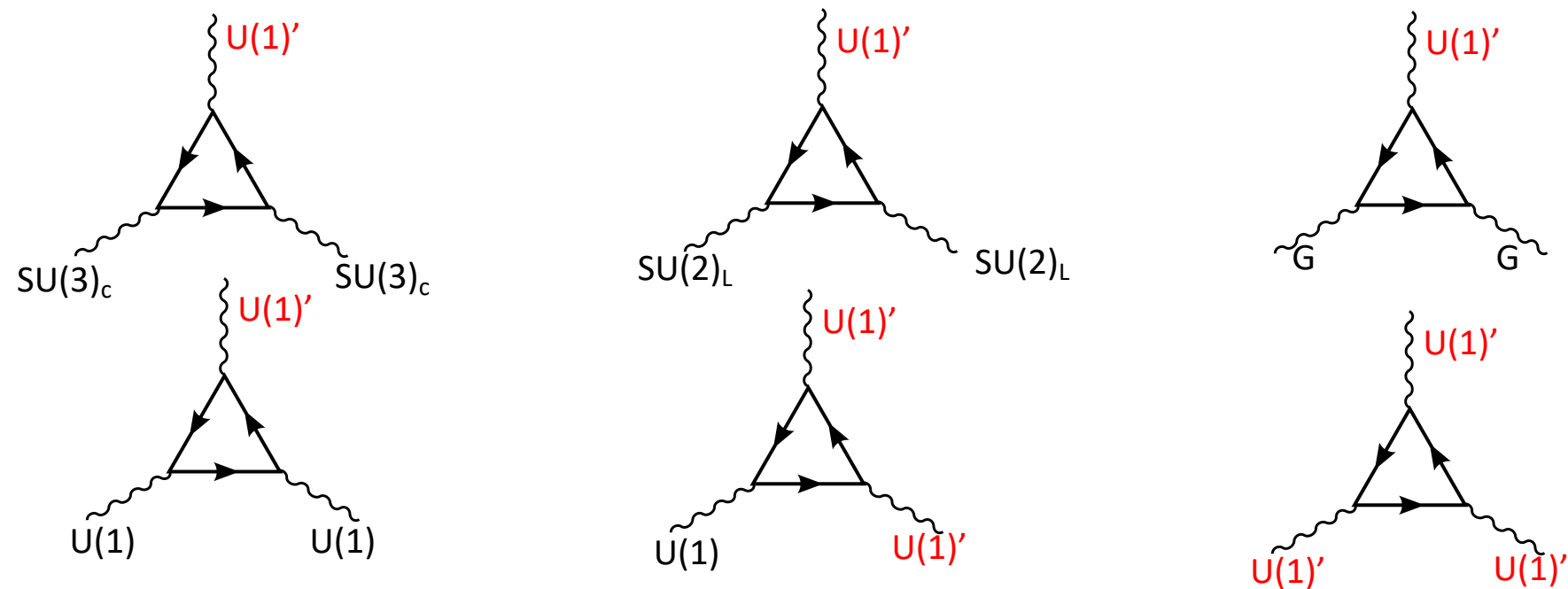
## Modelli con un nuovo bosone di gauge neutro $Z'$

Estensione minimale del gruppo di gauge dello SM:

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1) \times U(1)'$$

nuovo bosone di gauge  $Z'$  che può mediare a livello albero i processi FCNC

accoppiamenti dei fermioni allo  $Z'$  (z-charges) determinano la fenomenologia  
non possono essere arbitrari se si richiede la cancellazione delle anomalie di gauge



richiedere la cancellazione delle anomalie equivale a trovare un set di valori per gli accoppiamenti z dei fermioni allo  $Z'$

soluzione

fermioni raggruppati per generazione:

$$f_i = q_i, l_i$$

$$u_i, d_i, e_i, \nu_i$$

doppietti left handed

singoletti right handed  
(anche il neutrino)

$$z_{f_i} = y_f + \epsilon_i$$

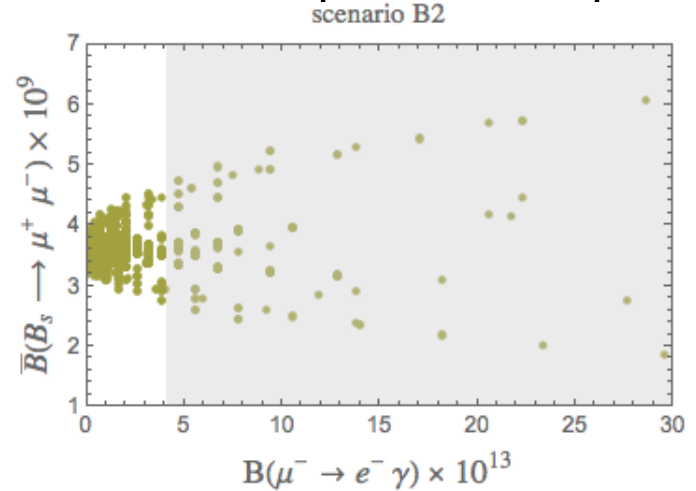
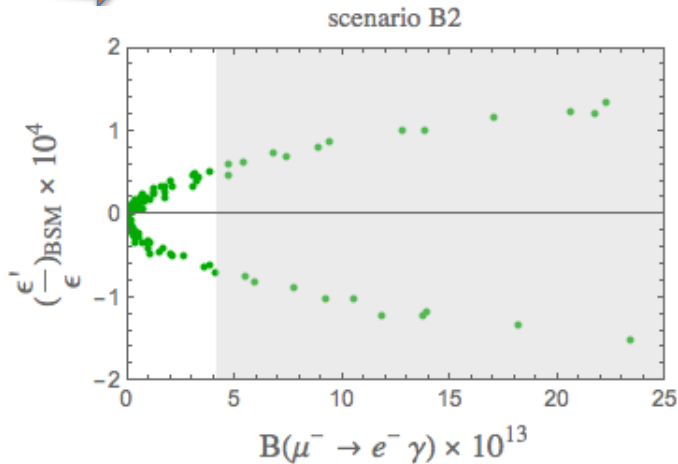
ipercarica dello SM

condizione di cancellazione delle anomalie

$$\epsilon = \sum_{i=1}^3 \epsilon_i = 0$$

$\epsilon$  dipendono dalla generazione  
sono universali per tutti i fermioni  
di una data generazione

correlazione fra osservabili di flavor nel settore dei quark e dei leptoni

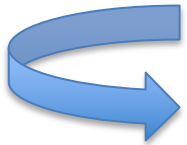


applicazione della dualità gauge/gravità allo studio di effetti caotici in sistemi fortemente interagenti

- CFT in 4d  
- accoppiamento forte



- teoria di gravità (stringa) in  $AdS_{d+1} \times S$   
- regime semiclassico



analisi del regime non perturbativo in QCD:

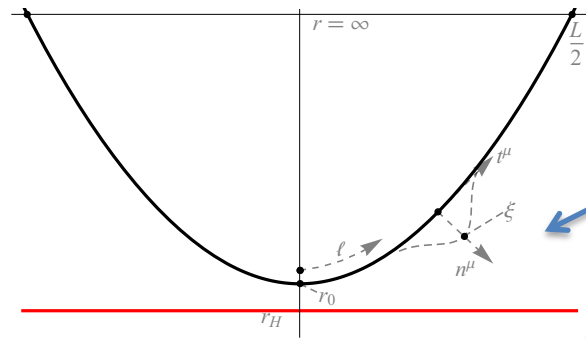
es. coppia quark-antiquark  $\longrightarrow$  duale ad una stringa nel *bulk*

teoria di gauge a  $T \neq 0$   $\longrightarrow$  metrica del bulk con black-hole (BH)

congettura di Maldacena-Shenker-Stanford (MSS):

- comportamento caotico in prossimità dell'orizzonte degli eventi
- limite superiore per gli esponenti di Lyapunov  $\chi$  e caratterizzano il comportamento caotico  
$$\lambda < 2 \pi T$$
- generalizzazione nel caso di un potenziale chimico:  $\lambda < 2 \pi T / (1 - \mu / \mu_c)$

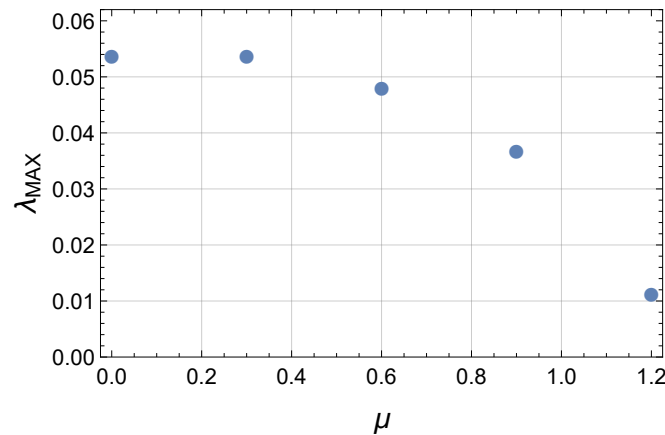
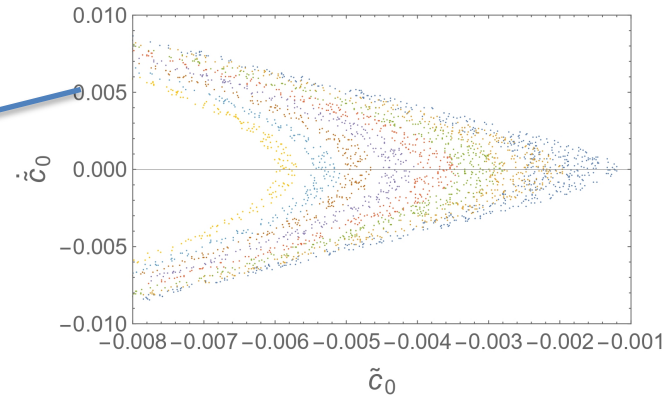
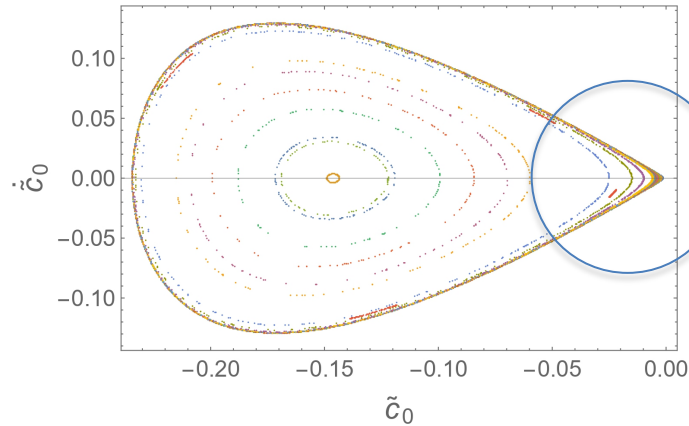
verifica nel caso di una stringa duale al sistema  $Q \bar{Q}$   
metrica del bulk: Reissner-Nordstrom AdS BH



perturbazione  
dipendente da t

dipendenza dalle  
condizioni iniziali

sezione di Poincare'



esponente di Lyapunov vs  $\mu$

il potenziale chimico rende meno caotico il sistema: **MSS bound OK**



- $\Lambda_b \rightarrow X_s \gamma$       $\Lambda_b \rightarrow X_s l^+ l^-$
- constraint di bassa energia a un modello BSM con scalare *composto*
- modello con  $U(1)'$  senza anomalie di gauge, applicato allo studio di processi in tensione con lo SM
- chaos in sistemi con con metrica di bulk dipendente dal tempo

# Iniziativa Specifica QUANTUM



**Milena D'Angelo**

**Paolo Facchi**

**Giuseppe Florio**

**Augusto Garuccio**

**Saverio Pascazio**



**Francesco Pepe**

**Giuliano Angelone**

**Arturo Konderak**

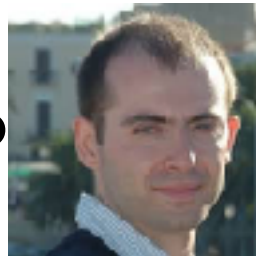
**Rocco Maggi**

**Francesco Di Lena**

*Giovanni Gramegna*

*Davide Lonigro*

*Giovanni Scala*



# Pubblicazioni QUANTUM

13 pubblicazioni nel 2019

6 pubblicazioni nel 2020

Some highlights:

- **Physical Review Letters**  
A. Crespi, et al., Phys. Rev. Lett. **122** (2019) 130401
- **New Journal of Physics**  
T. Matsubara, et al., New J. Phys. **21** (2019) 033014
- **Physical Review Research**  
D. Gatto, et al., Phys. Rev. Res. **1** (2019) 032024(R)

# Attività di ricerca QUANTUM

- Entanglement e correlazioni quantistiche
- Sistemi quantistici dissipativi
- Controllo quantistico

Recent topics:

Simulatori quantistici

QED in guide d'onda

Comportamento temporale dei sistemi quantistici

# Simulatore quantistico:

## Real-time dynamics of Schwinger $\mathbb{Z}_n$ model

[collaborazione con E. Ercolessi (BO) e M. Dalmonte (ICTP)]

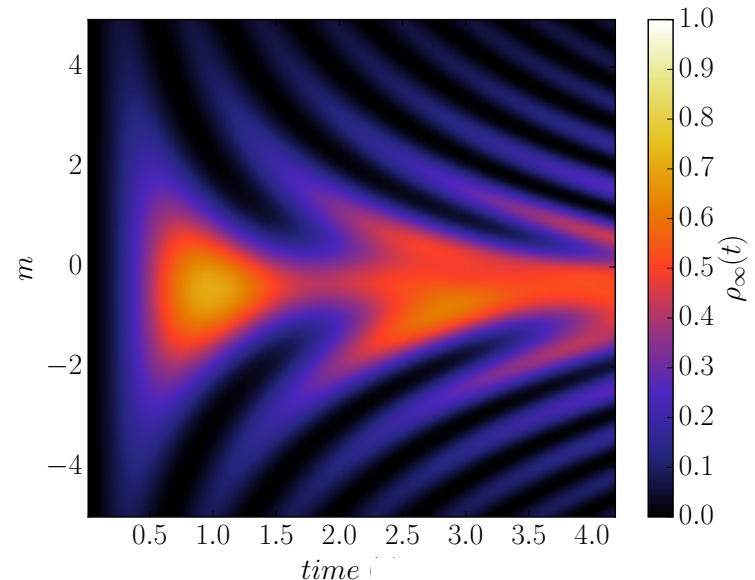
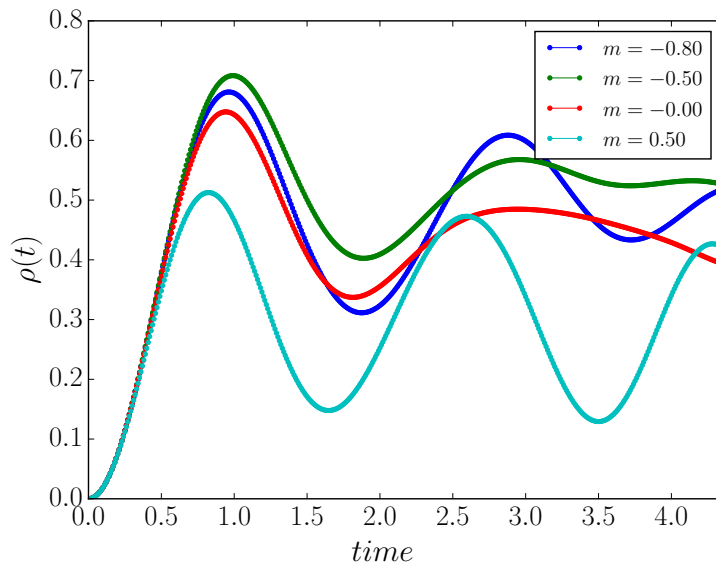
$$H = \sum_x \left[ -\tau (\psi_x^\dagger U_{x,x+1} \psi_{x+1} + \text{H. c.}) + m (-1)^x \psi_x^\dagger \psi_x + \frac{g^2}{2} E_{x,x+1}^2 \right]$$

Dirac sea instability by **spontaneous pair creation**

### Mean particle density ( $\mathbb{Z}_3$ model):

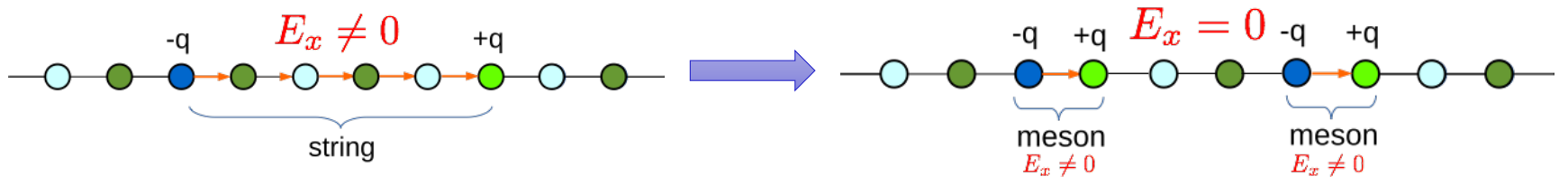
Time evolution for  $N = 40 \dots$

$\dots$  and asymptotic value



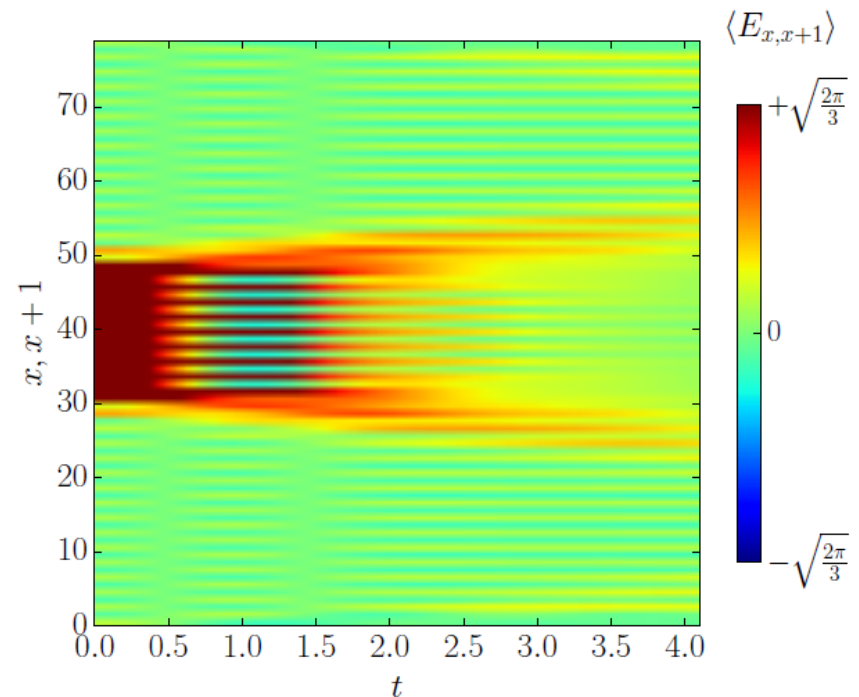
# $\mathbb{Z}_n$ model: real-time dynamics

## String breaking mechanism



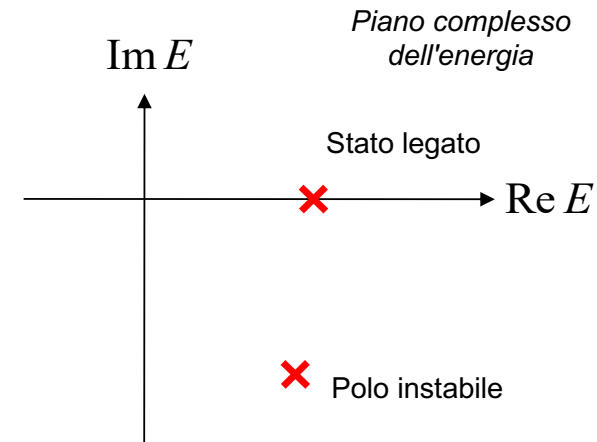
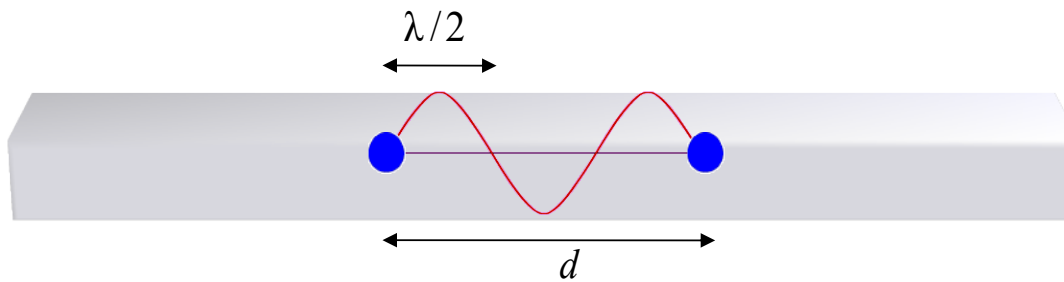
The string breaks into two  
propagating mesons

$$m = 0.1, g = 0.1$$

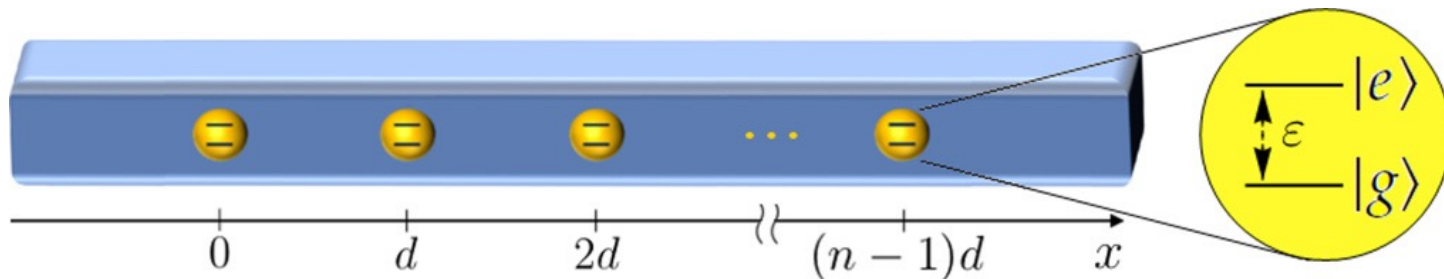


# QED in guide d'onda

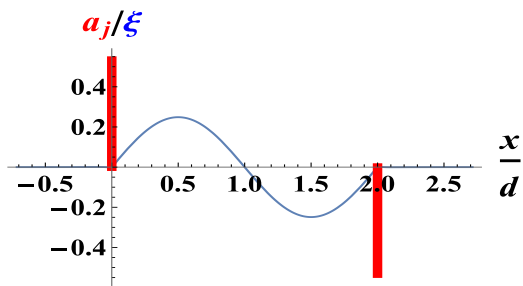
In una guida d'onda unidimensionale: esistenza di stati legati formati da **due atomi e un fotone confinato**, per valori discreti della distanza interatomica.



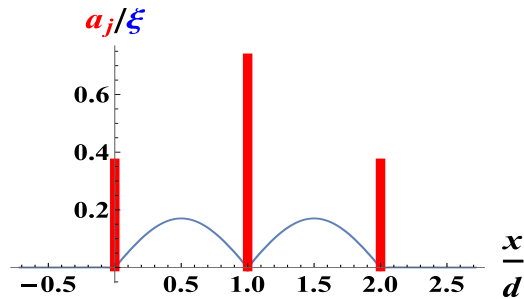
Array of quantum emitters



# Stati legati fotone-atomi

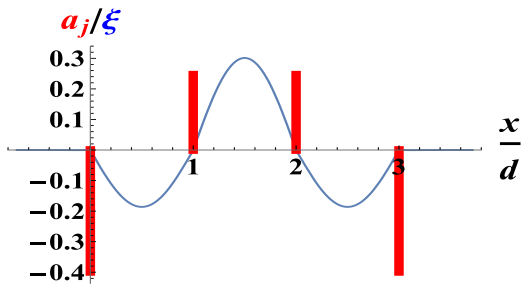


(a)

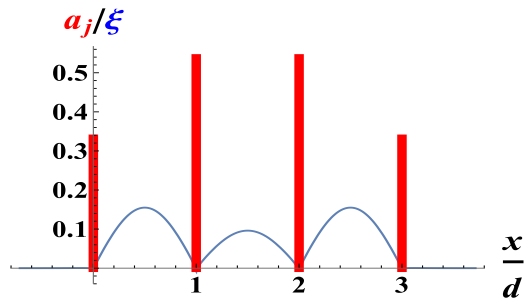


(b)

$n=3$  quantum emitters

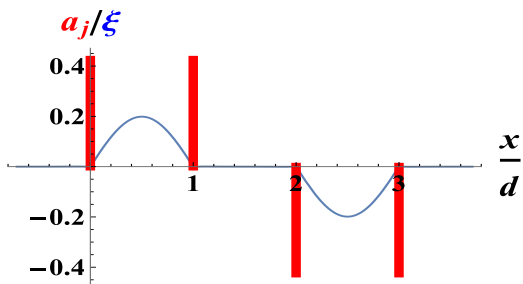


(c)

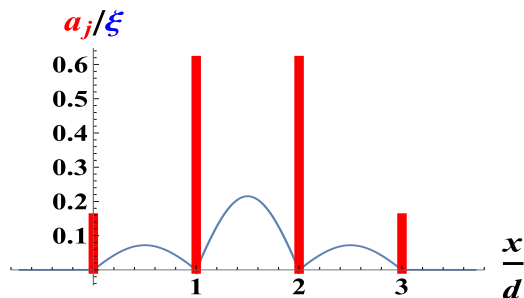


(d)

$n=4$  quantum emitters



(e)



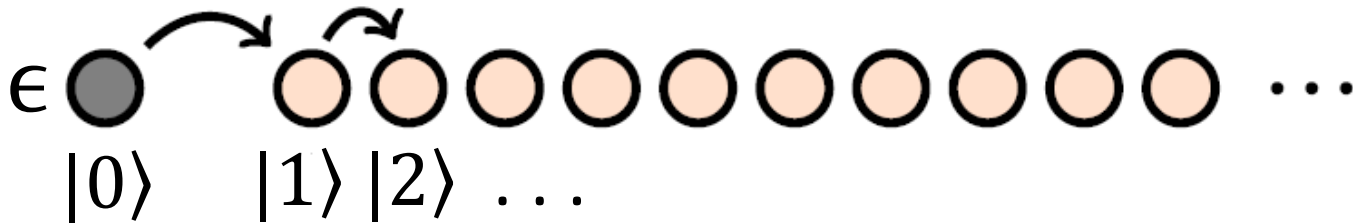
(f)



# Quantum time evolution

[collaborazione con R. Osellame (IFN-CNR MI) e H. Nakazato (Waseda University Tokyo)]

## One-dimensional hopping model

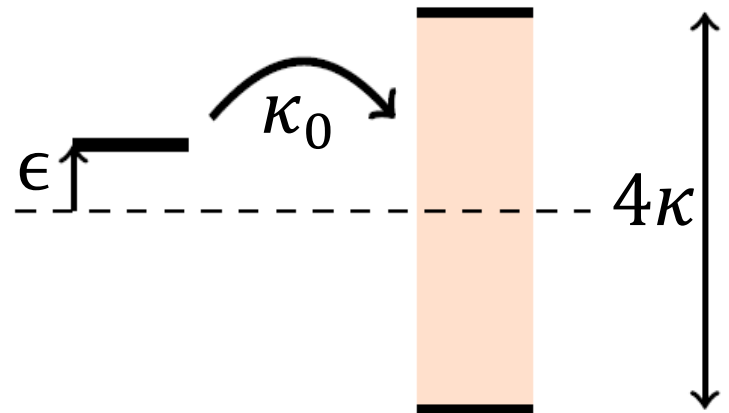


$$H = H_0 + H_1 + H_{\text{int}}$$

$$H_0 = \epsilon |0\rangle\langle 0|$$

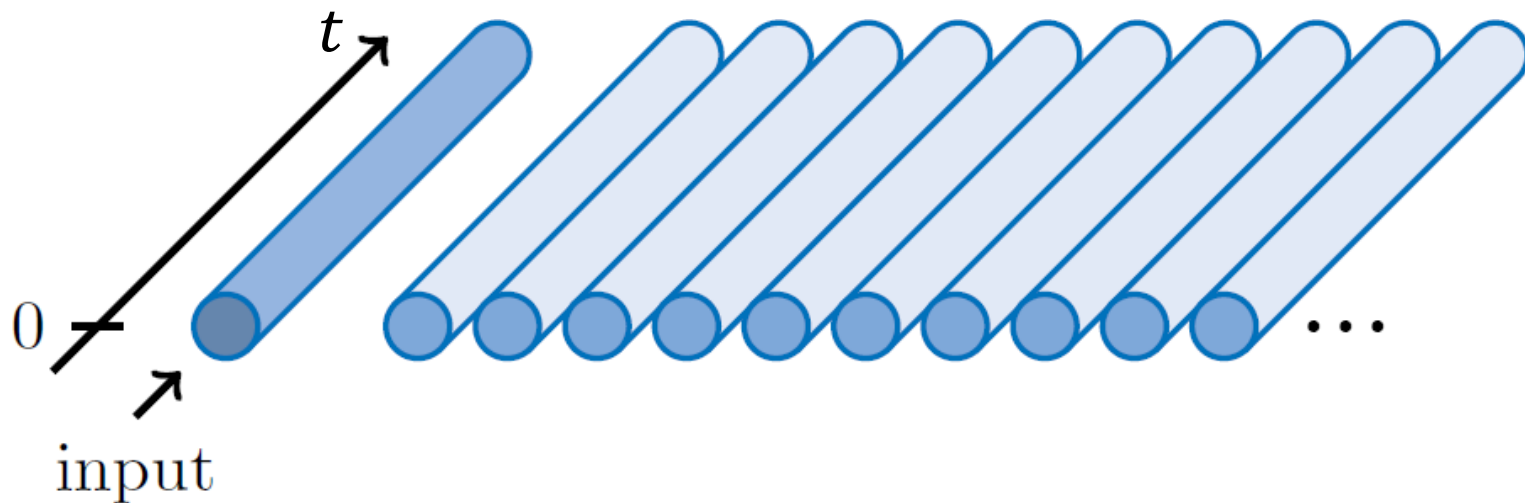
$$H_1 = \kappa \sum_{n=1}^{\infty} |n\rangle\langle n+1| + \text{H. c.}$$

$$H_{\text{int}} = \kappa_0 (|0\rangle\langle 1| + |1\rangle\langle 0|)$$



# Quantum time evolution Optical simulator

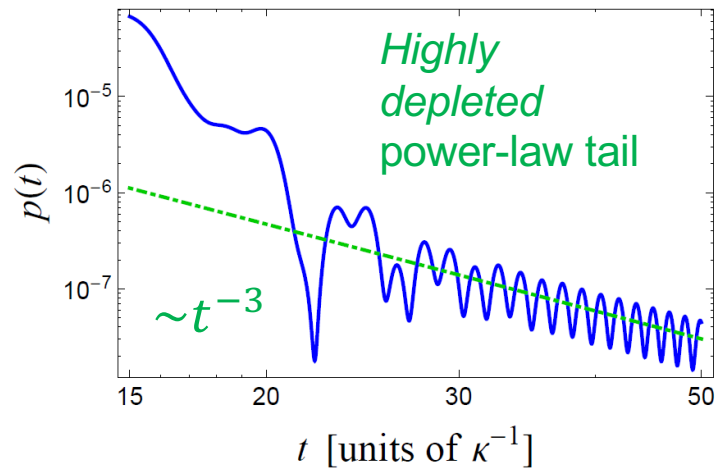
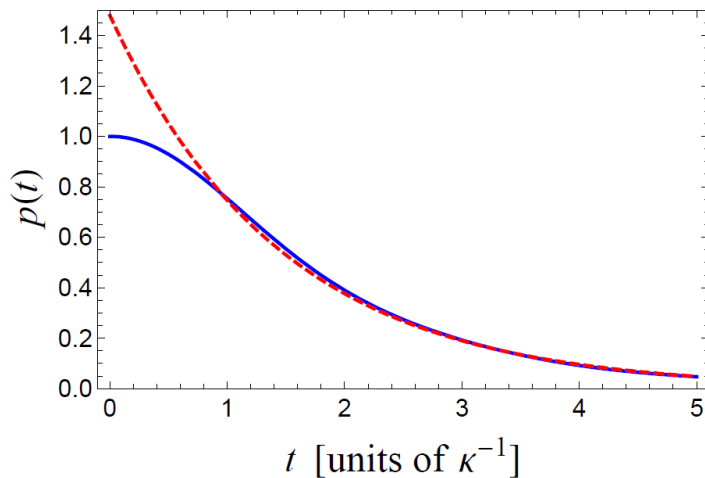
Array of femtosecond laser-written integrated waveguides



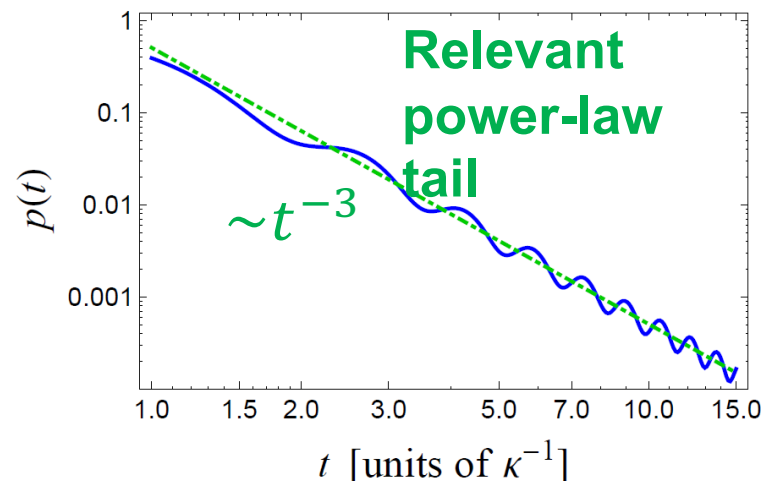
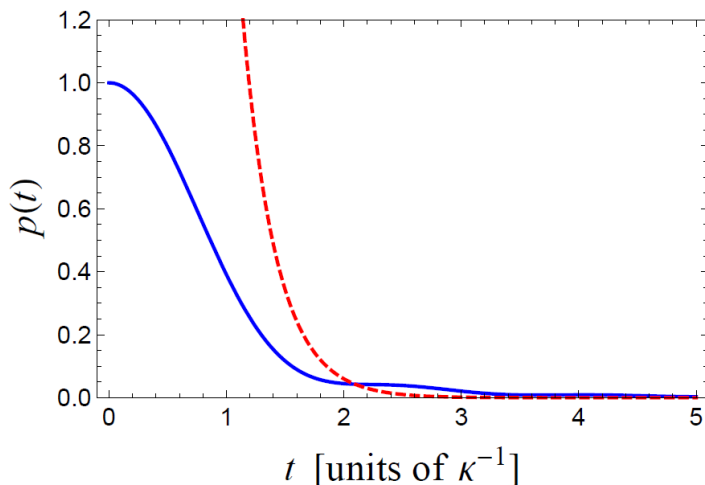
Coupled waveguides: **Longitudinal coordinate  $\equiv$  Time**

# Decadimenti quantistici

## Exponential decay + deviations



## Non-exponential decay



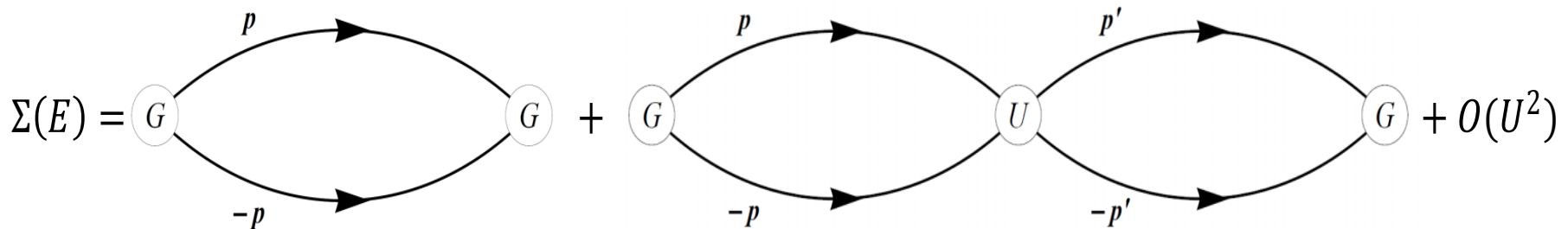
# Decadimento di molecole di Feshbach

**Risonanza di Feshbach:** energia stato di scattering di due atomi fermionici = energia stato molecolare legato

## Boson-fermion Hamiltonian

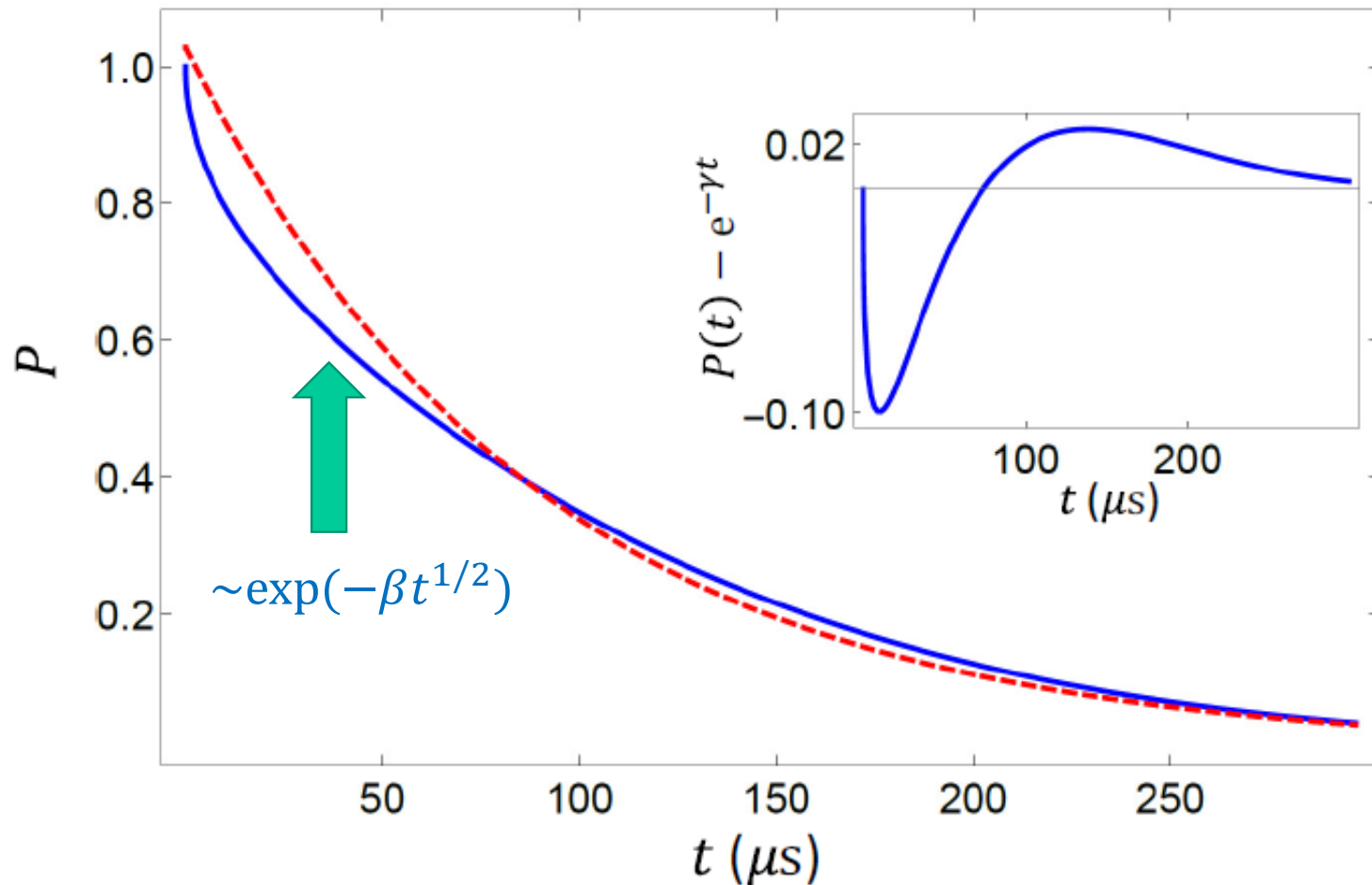
$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}_{\text{AM}} + \hat{H}_{\text{F}} \quad \hat{H}_{\text{AM}} = \sum_{\mathbf{K}, \mathbf{p}} [G(\mathbf{p}) \hat{b}_{\mathbf{K}}^\dagger \hat{c}_{-\mathbf{p}+\mathbf{K}/2, \downarrow} \hat{c}_{\mathbf{p}+\mathbf{K}/2, \uparrow} + \text{H.c.}]$$

$$\hat{H}_{\text{F}} = \sum_{\mathbf{p}, \mathbf{p}', \mathbf{q}} U(\mathbf{p} - \mathbf{p}') \hat{c}_{\mathbf{p}+\mathbf{q}/2, \uparrow}^\dagger \hat{c}_{-\mathbf{p}+\mathbf{q}/2, \downarrow}^\dagger \hat{c}_{-\mathbf{p}'+\mathbf{q}/2, \downarrow} \hat{c}_{\mathbf{p}'+\mathbf{q}/2, \uparrow}$$



Diagrammi di Feynman della **self-energy** dello stato bosonico molecolare

# Decadimento di molecole di Feshbach



**Stretched-exponential** decay law

# TASP: Theoretical astroparticle physics

Eligio Lisi\*

Maurizio Gasperini

Antonio Marrone

Alessandro Mirizzi

Antonio Palazzo

Luigi Tedesco

Pierluca Carenza (dott.)



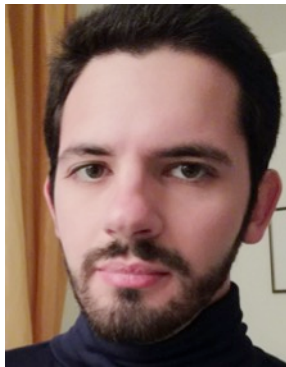
Maurizio Gasperini



Eligio Lisi



Antonio Marrone



Pierluca Carenza



Alessandro Mirizzi

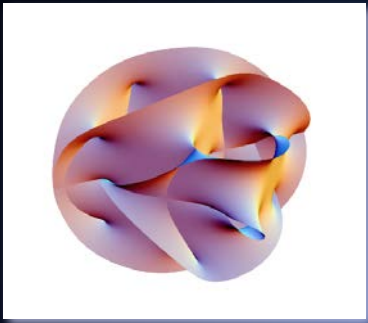


Luigi Tedesco



Antonio Palazzo

*\*Responsabile nazionale fino al 31/12/2020. TAsP is growing: ~100 members!  
Nuovo R.N. dal 1/1/2021: Fiorenza Donato (PA U. di Torino & INFN-TO)*

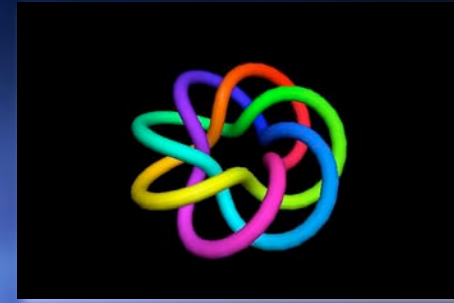


↑  
spazio compatto di Calabi-Yau

# Cosmologia di Stringa

M. Gasperini

Attività in corso (2020) e prevista (2021)



↑  
stringa arrotolata attorno a dimensioni compatte

In corso:

- “Generalized covariant prescriptions for averaging cosmological observables” (JCAP 02 (2020) 017) in collaborazione con **G. Fanizza** (Universidade de Lisboa), **G. Marozzi** (Universita' di Pisa), and **G. Veneziano** (CERN)
- “Primordial Black Holes from Pre-Big Bang inflation” (arXiv:2004.08111) in collaborazione con **P. Conzino** and **G. Marozzi** (Universita' di Pisa)

Prevista:

studio del possibile contributo alla attuale materia oscura fornito dalle cosiddette “**String Holes**” (buchi neri con massa di stringa) tramite il loro accrescimento dovuto al processo di “**merging**” reciproco e assorbimento di radiazione (In collaborazione con **G. Veneziano** (CERN)).

## Cosmologie nonstandard - L. Tedesco

### Confronto tra distanza di luminosità per segnali E.M. e gravitazionali per un modello di gravità modificata

Studio delle deviazioni dalle espressioni standard delle distanze di luminosità tra segnali elettromagnetici e onde gravitazionali, in un contesto di una teoria generalizzata della gravità con correzioni quadratiche di curvatura.

### Studio di un approccio generale per teorie non standard delle gravità

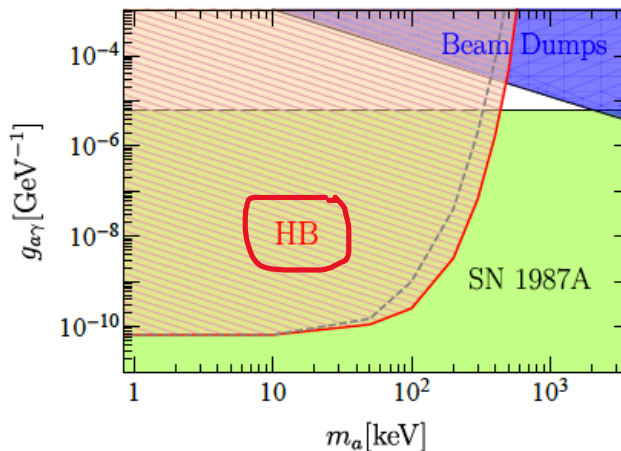
Nell'ambito dello studio su indicato, si studieranno future applicazioni che debbano inglobare l'analisi della CMB, BAO per generalizzare e comprendere meglio i confronti tra le due distanze di luminosità elettromagnetica e gravitazionale.



# Assioni in astrofisica e cosmologia (Mirizzi & Carenza)

- Gli **assioni** sono particelle ipotetiche previste in diverse estensioni del **Modello Standard**. Esse offrono un caso fisico convincente in relazione alla **Materia Oscura** e a diversi puzzle astrofisici.
- Gli **assioni** potrebbero essere prodotti nel nucleo delle **Helium burning (HB) stars** negli ammassi globulari costituendo un canale di **energy-loss** addizionale a quello standard. L'emissione di assioni ridurrebbe la vita delle HB stars e quindi il loro numero. Confrontando i cataloghi osservativi con i modelli stellari in presenza di assioni si possono ottenere dei limiti sull'accoppiamento fotone-assione  $g_{a\gamma}$ .
- In tale ambito abbiamo condotto un **calcolo accurato dell'emissivita' degli assioni massivi ( $m_a > \text{keV}$ )**, ottenendo un **nuovo bound** su  $g_{a\gamma}$ .

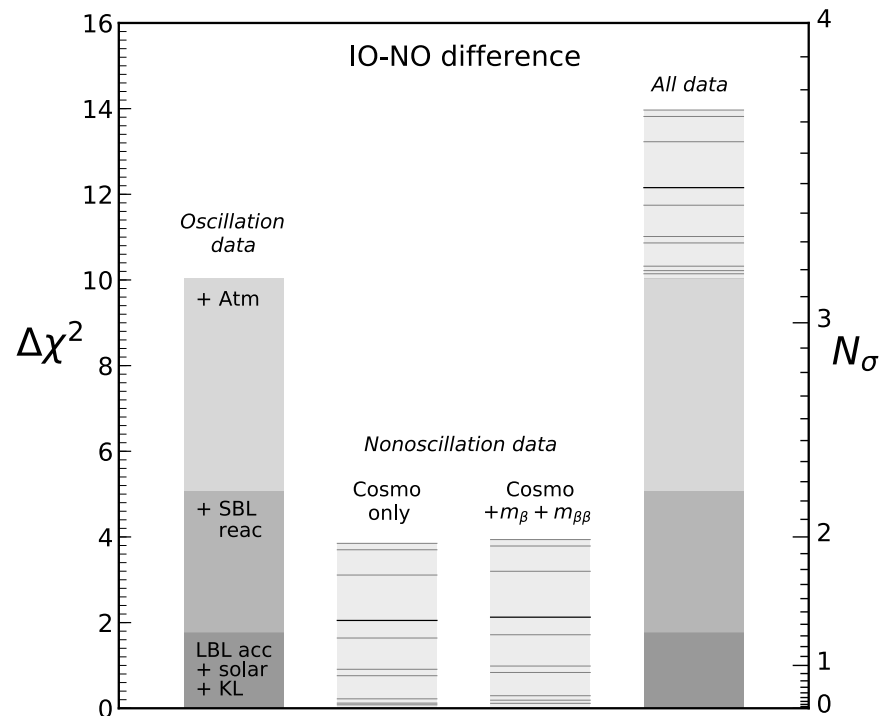
Carenza, Straniero,  
Doebrich, Giannotti,  
Lucente, Mirizzi  
arXiv: 2004.08399



- Obiettivi futuri riguardano la revisione del **bound per assioni massivi** dalla supernova SN 1987A

# Fisica dei neutrini: (Lisi, Marrone, Mirizzi, Palazzo)

"Hint" a favore di gerarchia normale e violazione CP al centro dell'interesse nella comunità scientifica

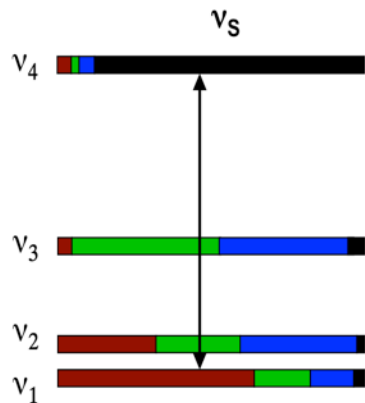


Phys. Rev. D 101 (2020) (con F. Capozzi, E. Di Valentino, A. Melchiorri)

- + Precision oscillometry and nuclear spectrometry in JUNO (con F. Capozzi)
- + Neutrino vs Nuclear Physics in forbidden beta decays (con J. Suhonen)
- + Study of self-interaction effects on SN  $\nu$  flavor conversion (Mirizzi & al.)

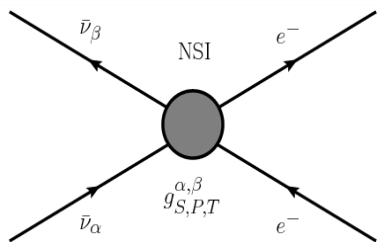
# Neutrini come sonda di fisica BSM (A. Palazzo)

Diversi esperimenti sensibili alle oscillazioni di neutrino presentano dei risultati anomali che non possono essere spiegati per mezzo del Modello Standard delle interazioni elettrodeboli e puntano verso l'esistenza di nuova fisica. Questa può manifestarsi in diversi modi: **nuovi stati "sterili", nuove interazioni (NSI), violazioni dell'unitarietà, ...**



## Numerose conseguenze per la fenomenologia:

- Emergono nuovi fenomeni di violazione di CP
- I risultati delle analisi 3-flavor subiscono variazioni
- La performance di esperimenti futuri si deteriora a causa di degenerazioni introdotte da nuovi parametri



**Palazzo**, Invited Review for Universe (2020)

Capozzi, Chatterjee, **Palazzo**, Phys. Rev. Lett. (2020)

Chatterjee, **Palazzo**, arXiv:2005:10338 (2020)

# Highlights 2020

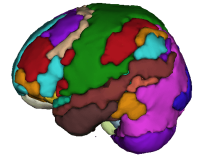
## PRIN "NAT-NET" Linea Sud (BA+AQ+NA):

1 AdR Senior (NA) + Kick-off meeting (Jan.) + Covid Journal Club (Mar-Jun)  
+ many papers written or in preparation (but very few trips!)

Covid-19 effect on various tasks/events: confirmed ✓ canceled ✗

E.Lisi:	Chairman of International Advisory Panel ESSnuSB	✓
	Member of SAC of Canfranc Underground Laboratories	✓
	Referee of PDG 2020 Review on Neutrino mass-mixing	✓
	Lecturer at NIKHEF PhD School, Dec. 2019	✓
	Plenary talk at CNNP, Cape Town, Feb. 2020	✓
	Organizer of GGI PhD School, Mar. 2020 (→ 2021)	✗
	Lecturer at APC Paris Colloquium, May 2020	✗
A. Marrone:	Plenary talk at Rencontres de Moriond, Mar. 2020	✗
A. Palazzo:	Plenary talk at Rencontres du Vietnam, Jul. 2020	✗
A. Mirizzi:	Plenary talk at Neutrino 2020 (~4K remote participants)	✓
Everybody:	Neutrino Oscillation Workshop NOW 2020 (→ 2022) (to remain in phase with Neutrino 2022, Seul)	✗

# Biophys: applicazione dei metodi della fisica teorica all'analisi dei dati da sistemi complessi



Sebino Stramaglia (PA)

Davide Nuzzi (dottorando)

Tomas Scagliarini (dottorando)

Endika Martínez Gutiérrez (post-doc con borsa pagata dal governo basco)

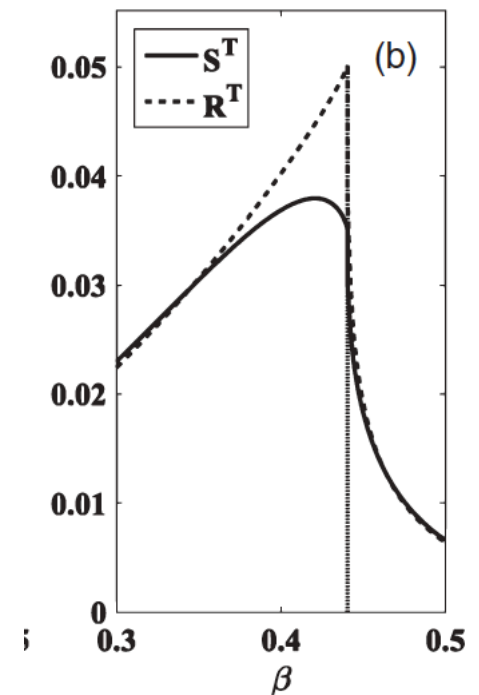


- Network Neuroscience e Network Physiology
- Causality algorithms based on statistical physics methods
- Higher-order interactions in biological Complex Systems

# Attività svolte 2019-2020

- 'Connectome sorting by consensus clustering increases separability in group neuroimaging studies'. *Network Neuroscience* 3 (2), 325-343, 2019
- 'Raman spectroscopy monitoring of MCF10A cells irradiated by protons at clinical doses'. *International journal of radiation biology* 95 (2), 207-214, 2019
- 'Synergy as a warning sign of transitions: The case of the two-dimensional Ising model'. *Physical Review E* 99 (4), 040101 (R), 2019
- 'Multiscale information decomposition dissects control mechanisms of heart rate variability at rest and during physiological stress'. *Entropy* 21 (5), 526, 2019
- 'Clinical correlates of mathematical modeling of cortical spreading depression: Single-cases study'. *Brain and behavior* 9 (10), e01387, 2019
- 'Brain connectivity and cognitive functioning in individuals six months after multiorgan failure'. *NeuroImage: Clinical* 25, 102137, 2020.
- 'Synergistic information in a dynamical model implemented on the human structural connectome reveals spatially distinct associations with age.' *Network Neuroscience*, 1-15, 2020.

Highlight: abbiamo dimostrato che nel modello di Ising 2D la ‘sinergia’ tra due spin ha il massimo nella fase paramagnetica e può quindi essere considerata un precursore della transizione



PHYSICAL REVIEW E **99**, 040101(R) (2019)

Rapid Communications

## Synergy as a warning sign of transitions: The case of the two-dimensional Ising model

D. Marinazzo,<sup>1</sup> L. Angelini,<sup>2,3</sup> M. Pellicoro,<sup>2</sup> and S. Stramaglia<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Data Analysis, Ghent University, 2 Henri Dunantlaan, 9000 Ghent, Belgium

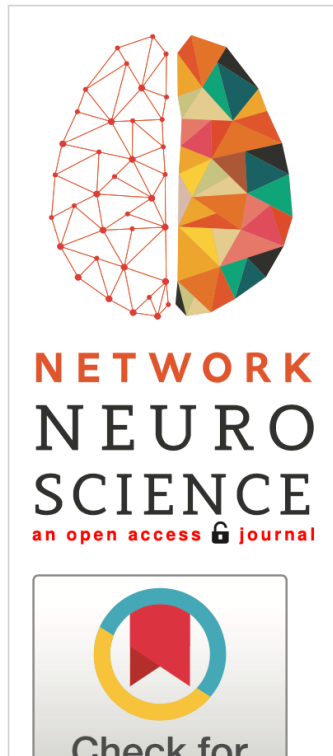
<sup>2</sup>Dipartimento Interateneo di Fisica, Università degli Studi Aldo Moro, Bari and INFN, Sezione di Bari, via Orabona 4, 70126 Bari, Italy

<sup>3</sup>Center of Innovative Technologies for Signal Detection and Processing (TIRES), Università degli Studi Aldo Moro, Bari, via Orabona 4, 70126 Bari, Italy



(Received 21 January 2019; revised manuscript received 21 March 2019; published 19 April 2019)

Oltre che sul reticolo 2D, abbiamo implementato Ising anche sulla geometria realistica del cervello di una coorte di soggetti sani con età variabile dagli 8 agli 80 anni



RESEARCH

## **Synergistic information in a dynamical model implemented on the human structural connectome reveals spatially distinct associations with age**

**Davide Nuzzi<sup>1</sup>, Mario Pellicoro<sup>1</sup>, Leonardo Angelini<sup>1</sup>, Daniele Marinazzo<sup>1,2</sup>, and Sebastiano Stramaglia<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Dipartimento Interateneo di Fisica, Università degli Studi Aldo Moro, Bari and INFN, Bari, Italy

<sup>2</sup>Department of Data Analysis, Ghent University, Ghent, Belgium

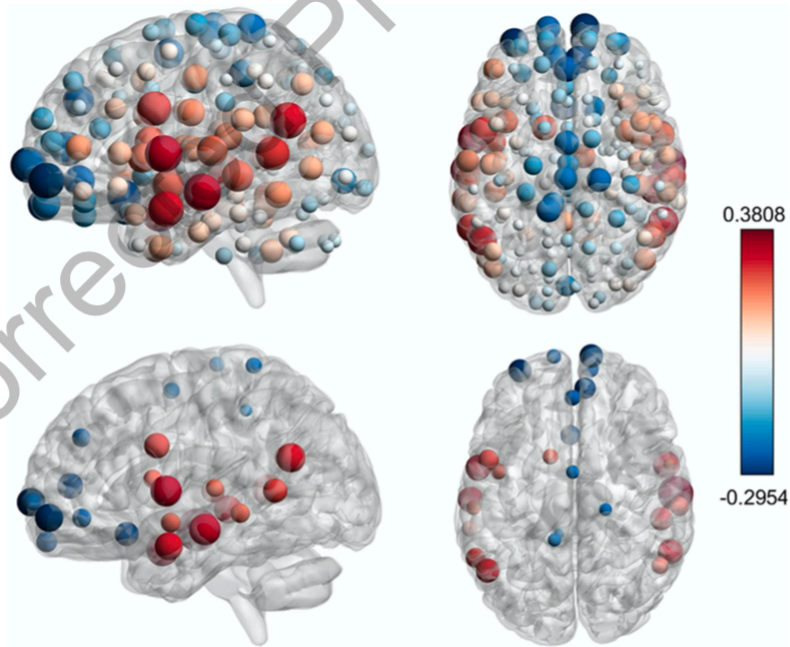
<sup>3</sup>Center of Innovative Technologies for Signal Detection and Processing (TIRES), Università degli Studi Aldo Moro, Bari, Italy

**Keywords:** Information theory, Aging, Ising model

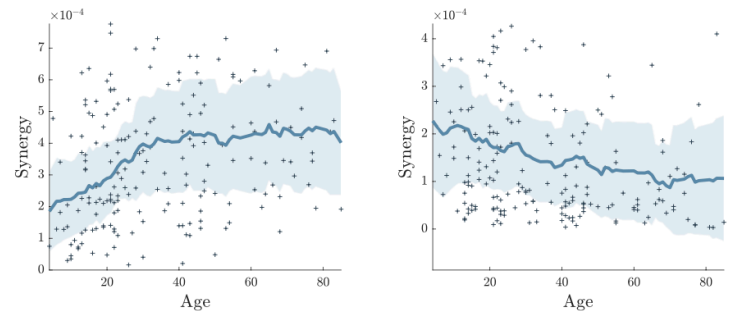
---

**ABSTRACT**





**Figure 7.** Correlations between synergy and age. (Top) Spearman correlation coefficient between the chronological age of the patient and the incoming synergy for each node, that is, the average of synergies for all triplets having that node as a target. Both positive (red) and negative (blue) correlations are found. The radius of the spheres is proportional to the absolute value of the correlation. (Bottom) Only the regions with significant correlation are shown, evaluated using Hochberg adjusted  $p$  values at a significance level  $\alpha = 0.05$ . Synergy is positively correlated with age in the following regions: left middle temporal posterior, right middle temporal anterior, left angular, right superior temporal posterior, left middle temporal temporooccipital, right middle temporal posterior, left middle temporal temporooccipital, left middle temporal anterior, left central opercular, right superior temporal posterior; and negatively correlated in left frontal pole, left subcallosal, right frontal pole, paracingulate sulcus, juxtapositional lobule.



**Figure 8.** Scatterplot of synergy and age for two representative brain regions. left: Right superior temporal posterior, positive correlation. right: Right frontal pole, negative correlation. Local average and standard deviation are evaluated using the first 20 neighbors of each point.

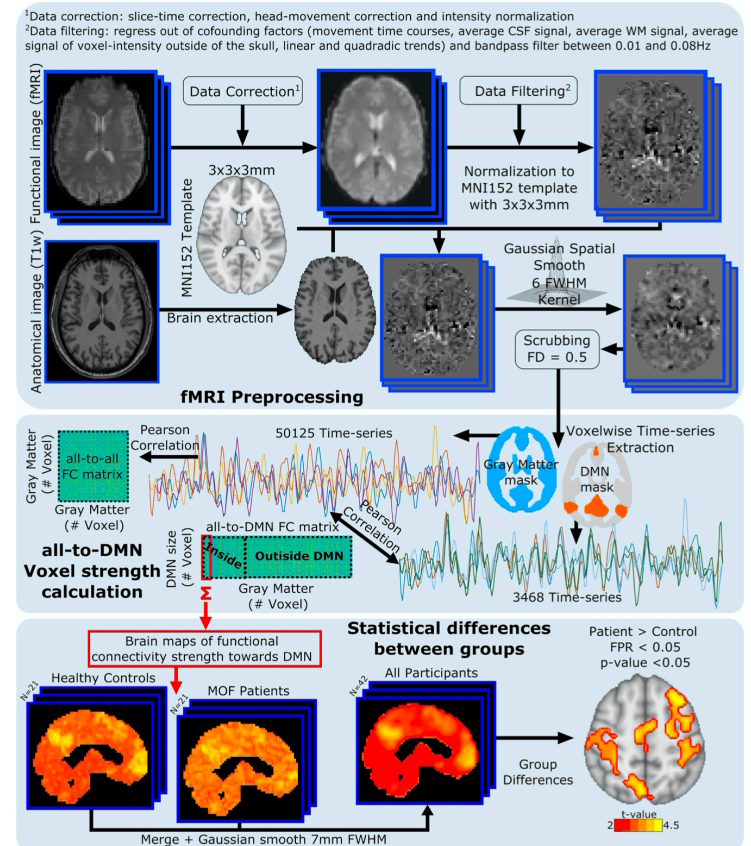
Risultato principale: ci sono regioni la cui sinergia decresce con l'età, e regioni la cui sinergia aumenta durante la brain maturation



## Brain connectivity and cognitive functioning in individuals six months after multiorgan failure



Questi metodi sono stati usati anche per studiare la connettività cerebrale in soggetti affetti da **sindrome da disfunzione multiorgano**, una [sindrome](#) sistemica, che generalmente si associa a [shock](#), a [sepsi](#), a [sindrome da risposta infiammatoria sistemica](#), caratterizzata dall'insorgenza acuta dell'alterazione della funzione degli organi di un paziente.



# Non-equilibrium statistical systems and fluids (Turbo-Field)



Giuseppe Gonnella,

Isabella Petrelli,

Livio Carenza,

Giuseppe Negro

Pasquale Di Gregorio (now leaving to EPL Lausanne)

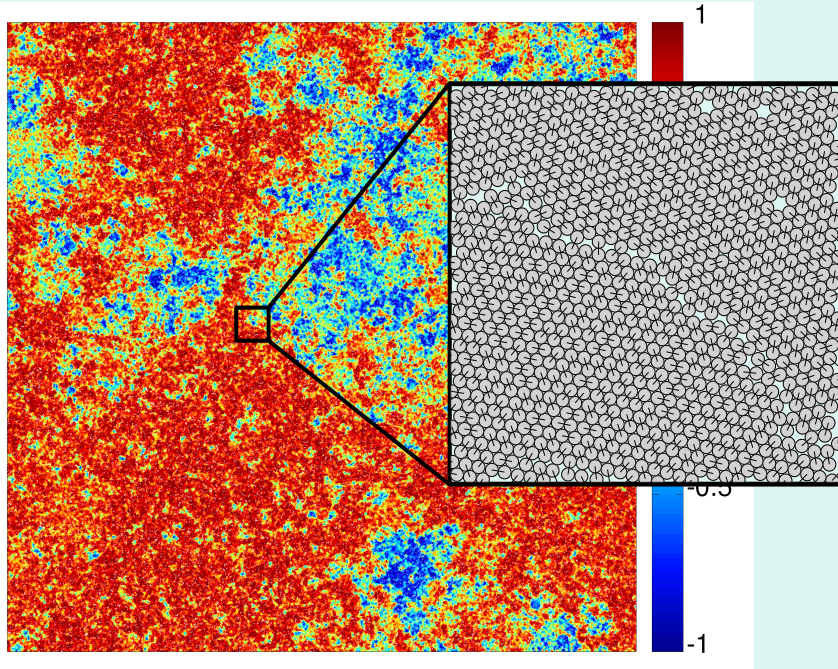
Antonio Suma

Antonio Lamura

# Meccanica statistica di sistemi non in equilibrio

- Aspetti generali.
  - Ex: - Proprietà delle fluttuazioni
    - Funzioni di grande deviazione e pdf singolari
    - Temperatura efficace
- Modelli per il comportamento collettivo di sistemi biologici.
  - Ex: - Particelle browniane autopropulse
    - DNA supercoiling (topologia e proprietà di trascrizione)
- Dinamica di fluidi complessi e delle transizioni di fase
  - Transizioni di percolazione e di melting nei colloidi
  - Lattice Boltzmann methods
  - Miscele di fluidi e sistemi liquido-vapore
  - Cristalli liquidi e altri fluidi complessi

# Transizione di percolazione e di melting nei colloidi (hard brownian disks and dimers)



In this picture you see coexistence of hard brownian particles between a more dense ordered (red) phase and a disordered less dense phase. Adding a self-propulsive force constant in magnitude directed along the axis of each dimer makes this system useful to describe bacteria and other living systems. For this system we studied percolation properties of extended defects.

## Phase diagram:

- Phys. Rev. Lett., Gonnella, Digregorio, Cugliandolo, Suma 2018

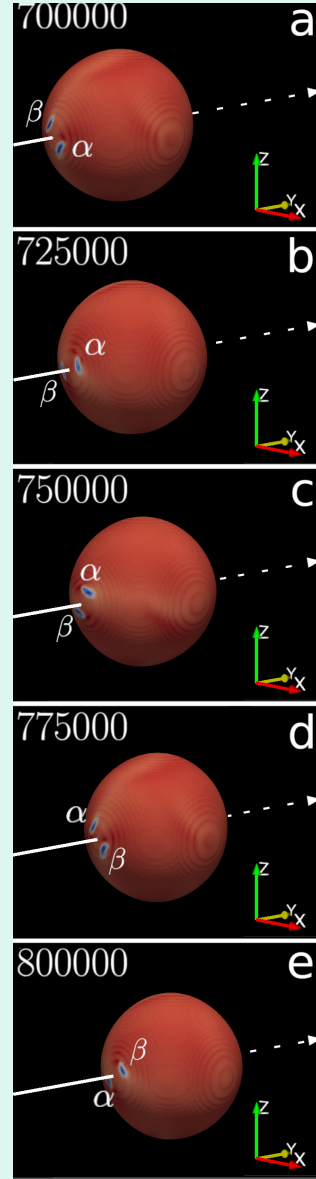
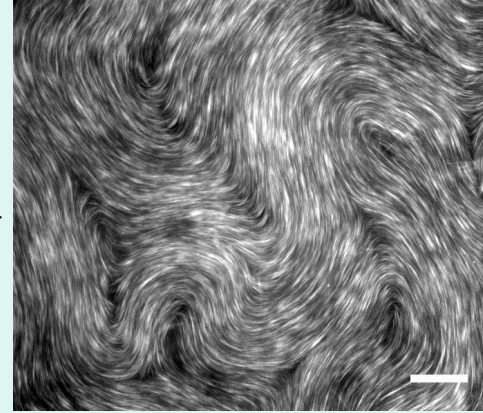
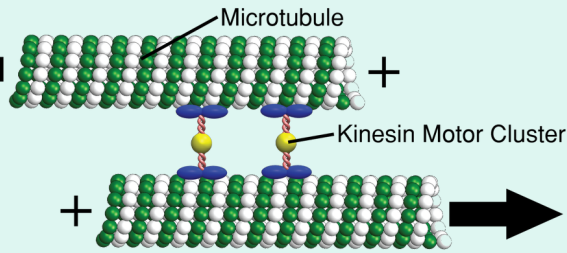
## Fluctuations with singular pdf:

- Phys. Rev. Lett., Cagnetta, Corberi, Suma, Gonnella 2017

# Self-Propulsion of an active chiral droplet

Cytoskeletal suspensions (such as microtubules) activated by means of kinesin motors and ATP are able to stress the surrounding fluid, converting chemical energy into motion.

**Chirality** is ubiquitous in biological systems: DNA, acto-myosin bundles, microtubules are all examples of systems that implement chirality to fulfill tasks fundamental for the life of a cell.

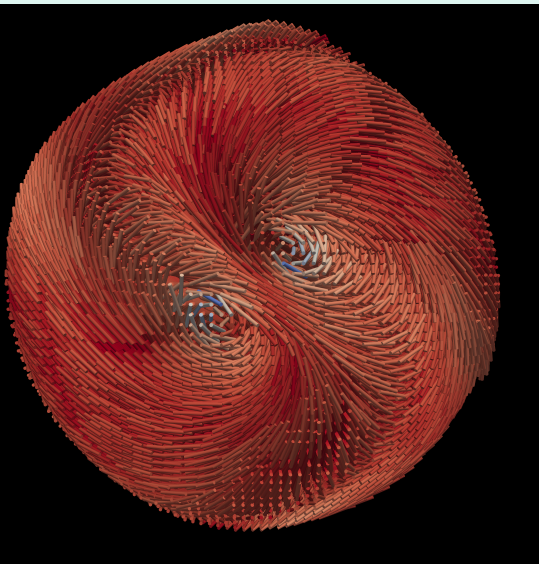


We performed **Lattice Boltzmann simulations** to simulate a cholesteric active liquid crystal droplet.

While an ordinary nematic droplet can only sustain a simple rotational motion, in a cholesteric one the rearrangement of the two defects on the surface generates a new **rotational mode** that leads to the **propulsion** of the droplet.

Such motility mode strongly resembles the mechanism at the base of the motion of bacteria equipped with flagella and spermatozoa.

Our simulations have been run on **ReCas** exploiting the **Parallel Computing** resources of the farm, for a total amount of 20 years of CPU time.



# Richieste finanziarie 2021

(in kEuro; importi preliminari, da confermare entro il 24/7/2020)

Sigla	Missioni	Consumo	Inviti	Semin.	Manut.	Invent.	Lic. SW	TOT
NPQCD	4.0							4.0
QFT-HEP	6.0							6.0
QUANTUM	12.0							12.0
TAsP	14.0							14.0
ByoPhys	5.0							5.0
FIELDTURB	8.0							8.0
<b>Tot IS</b>	<b>49.0</b>							<b>49.0</b>
<b>DOT4</b>	<b>17.0</b>	<b>15.0</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>0.0</b>	<b>16.0</b>	<b>6.0</b>	<b>70.0</b>
<b>TOT</b>	<b>66.0</b>	<b>15.0</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>0.0</b>	<b>16.0</b>	<b>6.0</b>	<b>119.0</b>

[Richieste realistiche (proporzionali a FTE)  
In linea con richieste anno precedente]

# Richieste finanziarie 2021

(in kEuro; importi preliminari, da confermare entro il 24/7/2020)

Sigla	Missioni	Consumo	Inviti	Semin.	Manut.	Invent.	Lic. SW	TOT
NPQCD	4.0							4.0
QFT-HEP	6.0							6.0
QUANTUM	12.0							12.0
TAsP	14.0							14.0
ByoPhys	5.0							5.0
FIELDTURB	8.0							8.0
<b>Tot IS</b>	<b>49.0</b>							<b>49.0</b>
<b>DOT4</b>	<b>17.0</b>	<b>15.0</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>0.0</b>	<b>16.0</b>	<b>6.0</b>	<b>70.0</b>
<b>TOT</b>	<b>66.0</b>	<b>15.0</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>0.0</b>	<b>16.0</b>	<b>6.0</b>	<b>119.0</b>

- + Collaborazione tecnico-amministrativa S.ra Enza D'Alba (che ringraziamo)
- + 4 mesi uomo (Servizio Calcolo): V. Spinoso, A. Casale (che ringraziamo assieme a G. Donvito) per gestione del calcolo per il Gruppo IV



# Richieste finanziarie 2021

(in kEuro; importi preliminari, da confermare entro il 24/7/2020)

Sigla	Missioni	Consumo	Inviti	Semin.	Manut.	Invent.	Lic. SW	TOT
NPQCD	4.0							4.0
QFT-HEP	6.0							6.0
QUANTUM	12.0							12.0
TAsP	14.0							14.0
ByoPhys	5.0							5.0
FIELDTURB	8.0							8.0
<b>Tot IS</b>	<b>49.0</b>							<b>49.0</b>
<b>DOT4</b>	<b>17.0</b>	<b>15.0</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>0.0</b>	<b>16.0</b>	<b>6.0</b>	<b>70.0</b>
<b>TOT</b>	<b>66.0</b>	<b>15.0</b>	<b>8.0</b>	<b>8.0</b>	<b>0.0</b>	<b>16.0</b>	<b>6.0</b>	<b>119.0</b>

**Grazie per l'attenzione.**