

## **Example of a course proposal**

Random matrix theory and applications

### **Lecturers**

Fabio Deelan Cunden and Giovanni Gramegna

### **Course Website (optional)**

### **Course description (min 150, max 300 words)**

This course is an introduction to the theory of random matrices, one of the most active research topics in contemporary mathematical physics and probability. In addition to its intrinsic mathematical appeal, interest in random matrices has been spurred by the scientific hypothesis that large random matrices yield models for complex systems comprised of many highly correlated components. Such systems are ubiquitous in mathematics and nature (energy levels of heavy nuclei or chaotic quantum billiards, zeros of L-functions, random growth models, etc.) but are not within the purview of classical scalar probability theory, whose limit theorems usually apply to systems of weakly correlated components. Topics covered will include: brief history of random matrix theory; basic objects and questions; the main limit theorems; connections to other areas of mathematics and science; classical matrix models (Gaussian and unitary); semicircular law; determinantal point processes, orthogonal polynomials and scaling limits; gap probabilities; statistics of the largest eigenvalue and Tracy-Widom distributions; log-gas and the equilibrium measure; non-hermitian random matrices.

### **Course period**

March-April 2025

### **SSD**

**MAT/07**

### **Course References (optional)**

1. M. L. Mehta, Random Matrices, 1967.

2. G. W. Anderson, A. Guionnet, O. Zeitouni, An introduction to Random Matrices, 2005.
3. P. J. Forrester, Log-gases and Random Matrices, 2010.
4. T. Tao, Topics in Random Matrix Theory, 2012.
5. G. Livan, M. Novaes, P. Vivo, Introduction to Random Matrices-Theory and Practice, 2018.

### **Credits and Hours**

3 credits of lectures, for a total of 24 hours.

### **Exam Modality**

Two alternatives are available to the student to pass this exam:

1) Paper presentation. Students present the content of 1-2 papers suggested by the lecturers.

2) A small project to present and implement ideas on a topic suggested by the lecturers.

### **Lecturer(s) CV**

Attach or link a max 3 pages CV for each teacher proposing the course.

### **Teacher(s) Main Publications**

List 10 main publications in the last 15 years for each teacher.

# Fabio Deelan Cunden

Dipartimento di Matematica  
Università degli Studi di Bari  
via E. Orabona 4, 70125  
Bari (Italia)

Telefono: +39 080 544 2275  
Email: fabio.cunden@uniba.it  
Homepage: <http://fdcunden.wordpress.com>

Le dichiarazioni rese nel presente curriculum sono da ritenersi rilasciate ai sensi degli artt. 46 e 47 del D.P.R. 445/2000.

## Posizioni accademiche di ricerca scientifica

- ▷ **Università degli Studi di Bari, 2020-presente**  
Ricercatore a tempo determinato.
- ▷ **SISSA - Trieste, 2020**  
Research fellow.
- ▷ **University College Dublin, 2017-2020**  
Assistant professor.
- ▷ **University of Bristol, 2014-2017**  
Research associate.

## Abilitazione Scientifica Nazionale

Abilitazione Scientifica Nazionale alle funzioni di professore di seconda fascia nel settore 01/A4 - Fisica Matematica (validità dal 31/05/2021 al 31/05/2030).

## Attività di formazione

- ▷ **Dottorato in Matematica**, Università di Bari, 2015.
- ▷ **Laurea Magistrale in Fisica**, Università di Bari, 2011.
- ▷ **Laurea triennale in Fisica**, Università di Bari, 2009.

## Attività di ricerca

Principali temi di ricerca: teoria delle matrici aleatorie, modelli di fisica statistica, aspetti matematici e teorici della meccanica quantistica.

Autore di 31 articoli scientifici su riviste internazionali e 2 preprint sottomessi a rivista.

## Attività didattica a livello universitario

Formale attribuzione di incarichi di insegnamento di corsi a livello universitario e di dottorato in qualificati atenei e istituti di ricerca esteri (University College Dublin, SISSA, Università di Bari).

Bari, 14 maggio 2024

Fabio Deelan Cunden

# Giovanni Gramegna

## Curriculum Vitæ

### Interessi di Ricerca

La mia attività di ricerca ricopre diversi campi nell'ambito delle tecnologie quantistiche. In particolare, mi occupo di controllo quantistico, teorie delle risorse quantistiche, metrologia quantistica e machine learning quantistico. Nell'ambito del controllo, ho studiato come si possano interfacciare diverse tecniche tramite l'utilizzo di formule prodotte, ottenendo delle generalizzazioni di risultati largamente utilizzati nell'ambito della computazione quantistica. Nell'ambito delle teorie delle risorse quantistiche, mi sono occupato della caratterizzazione delle proprietà tipiche dell'entanglement e della coerenza quantistica in sistemi ad alta dimensionalità tramite l'utilizzo di risultati derivanti dalla teoria delle matrici random. Nell'ambito della metrologia, mi sono occupato dello sviluppo di protocolli di misura che, sfruttando l'entanglement e la coerenza quantistica, permettono di ottenere un vantaggio nella precisione raggiungibile rispetto a metodi classici. Nel contesto del quantum machine learning, mi sono occupato della caratterizzazione della capacità di memorizzazione di un perceptrone quantistico. Al di fuori degli ambiti specifici in cui ho lavorato, mi interessa generalmente la caratterizzazione delle proprietà quantistiche nei contesti più disparati, sia da un punto di vista fondamentale che in termini di vantaggi applicativi.

### Esperienze lavorative

- 03/2023–02/2026 **Ricercatore (RTDa)**, *Università degli Studi di Bari*, Bari, Italia
- 03/2022–02/2023 **Ricercatore Postdoc**, *Universität Tübingen*, Tübingen, Germany  
Supervisore: Prof. Daniel Braun  
Attività: Caratterizzazione dei meccanismi dissipativi e di decoerenza sui computer quantistici dell'IBM.  
Responsabilità: Supervisione di uno studente in tesi magistrale
- 02/2021–02/2022 **Assegnista di ricerca**, *Università degli Studi di Trieste*, Trieste, Italia  
Supervisore: Prof. Fabio Benatti  
Attività: Investigazione delle capacità di un perceptrone quantistico con applicazioni nell'ambito del quantum machine learning

### Esperienze di Insegnamento

- 03-06/2024 **Insegnamento "Fisica Applicata"**  
Titolare del corso (8 CFU) rivolto agli studenti del corso di laurea triennale in "Biotecnologie industriali per lo sviluppo sostenibile" dell'Università di Bari
- 2016–2017 **Tutor universitario**, *Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*, Bari  
Il lavoro è consistito nel fornire supporto agli studenti del corso di laurea triennale nello sviluppare abilità di risoluzione dei problemi (Meccanica, Termodinamica, Ottica, Elettromagnetismo e Meccanica Quantistica).

### Altre attività scientifiche

- 2021–Oggi **Attività di referaggio**, per le riviste scientifiche internazionali "*European Physical Journal Plus*" e "*Quantum Science and Technology*"

## Istruzione e Formazione

- 11/2017–  
05/2021 **Dottorato di Ricerca**, *Università degli Studi di Bari*, Bari, Italia  
Supervisore: Prof. Paolo Facchi  
Attività: Investigazione sull'utilità degli stati random nelle tecnologie quantistiche, sia in ambito fondamentale, adottando l'approccio matematico della teoria delle risorse, sia da un punto di vista più applicativo, in particolare nell'ambito della metrologia quantistica.
- 2015–2017 **Laurea Magistrale in Fisica**, *Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"*, Bari, Italia  
Voto di laurea: 110/110 e lode  
Media dei voti: 30/30  
Titolo (in lingua inglese): "Continuous and Pulsed Quantum Control"  
Relatori: Prof. Paolo Facchi, Prof. Saverio Pascazio.
- 2012–2015 **Laurea Triennale in Fisica**, *Università degli studi di Bari "Aldo Moro"*, Bari, Italia  
Voto di laurea: 110/110 e lode  
Media dei voti: 30/30  
Titolo: "Il gauge in elettromagnetismo"  
Relatore: Prof. Saverio Pascazio.
- 2007–2012 **Maturità Scientifica**, *Liceo Scientifico "Giuseppe Tarantino"*, Gravina in Puglia (BA), Italia  
Voto: 100/100

## Workshop e Conferenze

- IQIS 2023 - Italian Quantum Information Science Conference. 18-22 Settembre 2023, Trieste, Italia, con presentazione di un talk dal titolo "Storage Capacity of a Quantum Perceptron"
- SAMOP23 - DPG Spring Meeting of the Atomic, Molecular, Quantum Optics and Photonics Section. 05-10 Marzo 2023, Hannover, Germania, con presentazione di un talk dal titolo "Principles of Quantum Functional Testing"
- Statistical Mechanics & Field Theory 2022, 19-21 Dicembre 2022, Bari, Italia, con presentazione di un talk dal titolo "Pattern capacity of a single quantum perceptron"
- GDR IQFA 13<sup>th</sup> Colloquium, 16-18 Novembre 2022, Centre for Nanoscience and Nanotechnology, Pailaseau, Francia, con presentazione di un poster dal titolo "Principles of Quantum Functional Testing"
- KQCBW – Developer Conference, 20-21 Ottobre 2022, IBM research campus, Ehningen, Germania, con presentazione orale dal titolo "Principles of Quantum Functional Testing"
- 52<sup>nd</sup> Symposium on Mathematical Physics, 14-17 Giugno 2021, Torun (Evento Online)
- YIQIS 2020 - Young Italian Quantum Information Science Conference, 28 Settembre- 2 Ottobre 2020, (Evento Online) con presentazione orale "Generic aspects of the resource theory of coherence";
- 5<sup>th</sup> International Conference for Young Quantum Information Scientists, 25-27 Settembre 2019, Danzica (Polonia);
- 12<sup>th</sup> Italian Quantum Information Science Conference, 9-12 Settembre 2019, Milano (Italia), con presentazione del poster "Optimal Quantum Metrology with Squeezed states";
- 51<sup>st</sup> Symposium on Mathematical Physics, 16-18 Giugno 2019, Toruń (Polonia), con presentazione del poster "Generalized product formulas and quantum control";
- Current Problems in Theoretical Physics (XXV edition), 15-16 Aprile 2019, *Vietri sul Mare* (Italia);
- 11<sup>th</sup> Italian Quantum Information Science conference, 17-20 Settembre 2018, Catania, Italia, con presentazione del poster "Continuous and Pulsed Quantum Control";
- Information Geometry, Quantum Mechanics and Applications, 25-29 Giugno 2018, San Rufo (SA), Italia , con presentazione del talk "Continuous and Pulsed Quantum Control";
- National Seminar of Nuclear and Subnuclear Physics "Francesco Romano", 5-12 Giugno 2018, Otranto (LE), Italia;
- Current Problems in Theoretical Physics, 24-25 Giugno 2018, Vietri sul Mare (SA), Italia;
- Mathematical Challenges in Quantum Mechanics, 19-24 Febbraio 2018, Roma, Italia;
- Statistical Mechanics & Field Theory 2017, 13-15 Dicembre 2017, Bari, Italia;

## Publicazioni

- Paper
- F. Benatti, G. Gramegna, S. Mancini, G. Nwemadji  
*On the capacity of a quantum perceptron for storing biased patterns*  
Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical **57** (2), 025301  
<https://doi.org/10.1088/1751-8121/ad125b>
  - N. Milazzo, O. Giraud, G. Gramegna, D. Braun  
*Principles of Quantum Functional Testing*  
Physical Review A **108** (2), 022602  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.108.022602>
  - D. Burgarth, P. Facchi, G. Gramegna, K. Yuasa  
*One bound to rule them all: from Adiabatic to Zeno*  
Quantum **6**, 737 (2022)  
<https://doi.org/10.22331/q-2022-06-14-737>
  - F. Benatti, G. Gramegna, S. Mancini  
*Pattern capacity of a single quantum perceptron*  
Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical **55** 155301 (2022)  
<https://doi.org/10.1088/1751-8121/ac58d1>
  - P. Facchi, G. Gramegna, A. Konderak  
*Entropy of quantum states*  
Entropy **23**, 645 (2021)  
<https://doi.org/10.3390/e23060645>
  - G. Gramegna, D. Triggiani, P. Facchi, F. Narducci, V. Tamma  
*Heisenberg scaling precision in multi-mode distributed quantum metrology*  
New Journal of Physics **23**, 053002 (2021)  
<https://doi.org/10.1088/1367-2630/abf67f>
  - G. Gramegna, D. Triggiani, P. Facchi, F. Narducci, V. Tamma  
*Typicality of Heisenberg scaling precision in multi-mode quantum metrology*  
Physical Review Research **3**, 013152 (2021)  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.3.013152>
  - F.D. Cunden, P. Facchi, G. Florio, G. Gramegna  
*Generic aspects of the resource theory of quantum coherence*  
Physical Review A **103**, 022401 (2021)  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevA.103.022401>
  - F.D. Cunden, P. Facchi, G. Florio, G. Gramegna  
*Volume of the set of LOCC-convertible quantum states*  
Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical **53**, 175303 (2020)  
<https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab7b21>
  - D. Burgarth, P. Facchi, G. Gramegna, S. Pascazio  
*Generalized product formulas and quantum control*  
Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical **52**, 435301 (2019)  
<https://doi.org/10.1088/1751-8121/ab4403>
  - G. Gramegna, D. Burgarth, P. Facchi, S. Pascazio  
*Continuous and pulsed quantum control*  
Proceedings **12**, 15 (2019)  
<https://doi.org/10.3390/proceedings2019012015>

## Competenze tecniche

- Programmazione in MATLAB (2 anni di esperienza lavorativa durante il dottorato, esame del corso di laurea magistrale)
- Programmazione in Python (1 anno di esperienza lavorativa e esame del corso di dottorato)
- Programmazione in C, C++ (esami del corso di laurea triennale e dottorato)
- Buona conoscenza di Wolfram Mathematica (esame del corso di laurea triennale, esperienza lavorativa)
- Ottima conoscenza di  $\LaTeX$
- ECDL (European Computer Driving Licence)
- Lingue conosciute: Italiano (madrelingua) e Inglese (fluente)

Bari,  
15/05/2024