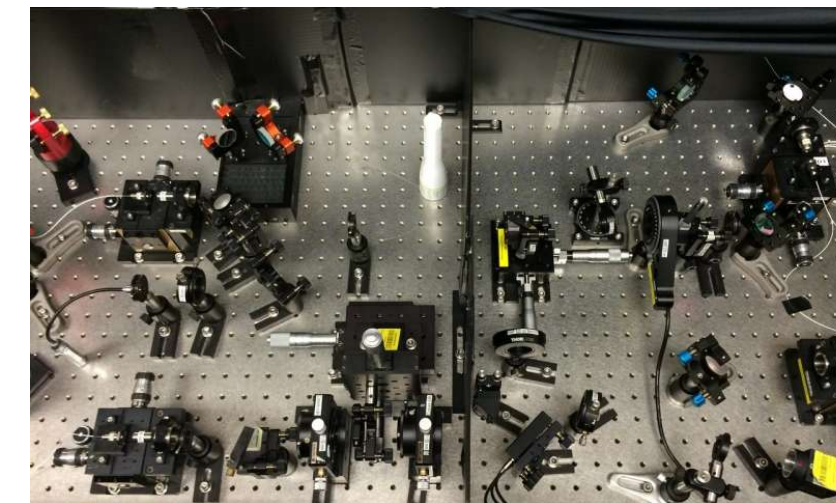


FISICA DELLE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

Pavia prima in Italia

QUit
quantum information
theory group

+



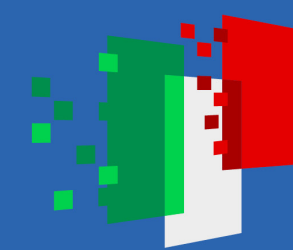
Gruppo di fotonica
quantistica



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



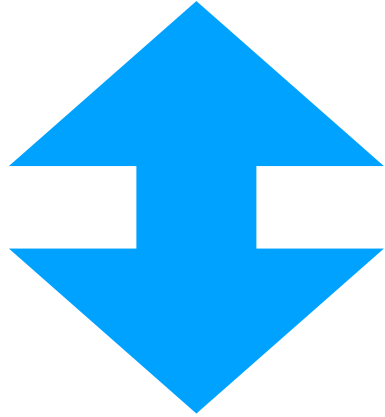
NQSTI
National Quantum Science
and Technology Institute

QUANTUM INFORMATION: ORIGINS

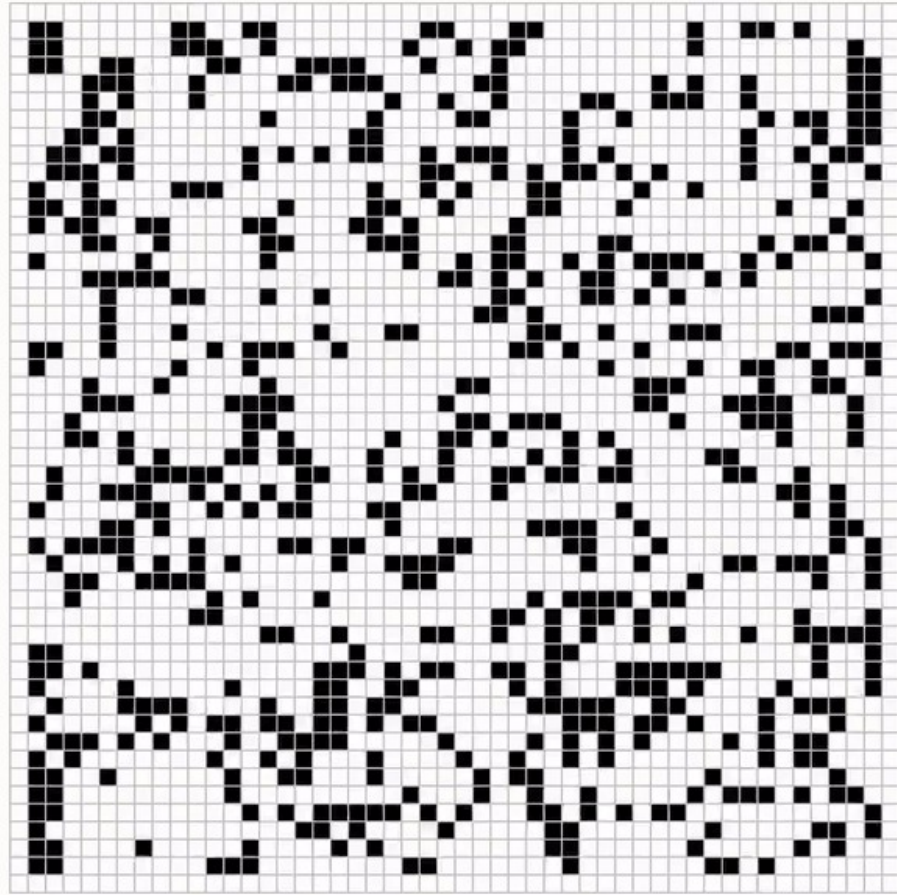


Quantum computer

N qubits: $d=2^N$



quantum parallelism



Journal of Statistical Physics, Vol. 22, No. 5, 1980

The Computer as a Physical System: A Microscopic Quantum Mechanical Hamiltonian Model of Computers as Represented by Turing Machines

Paul Benioff^{1,2}

Received June 11, 1979; revised August 9, 1979

International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982

Simulating Physics with Computers

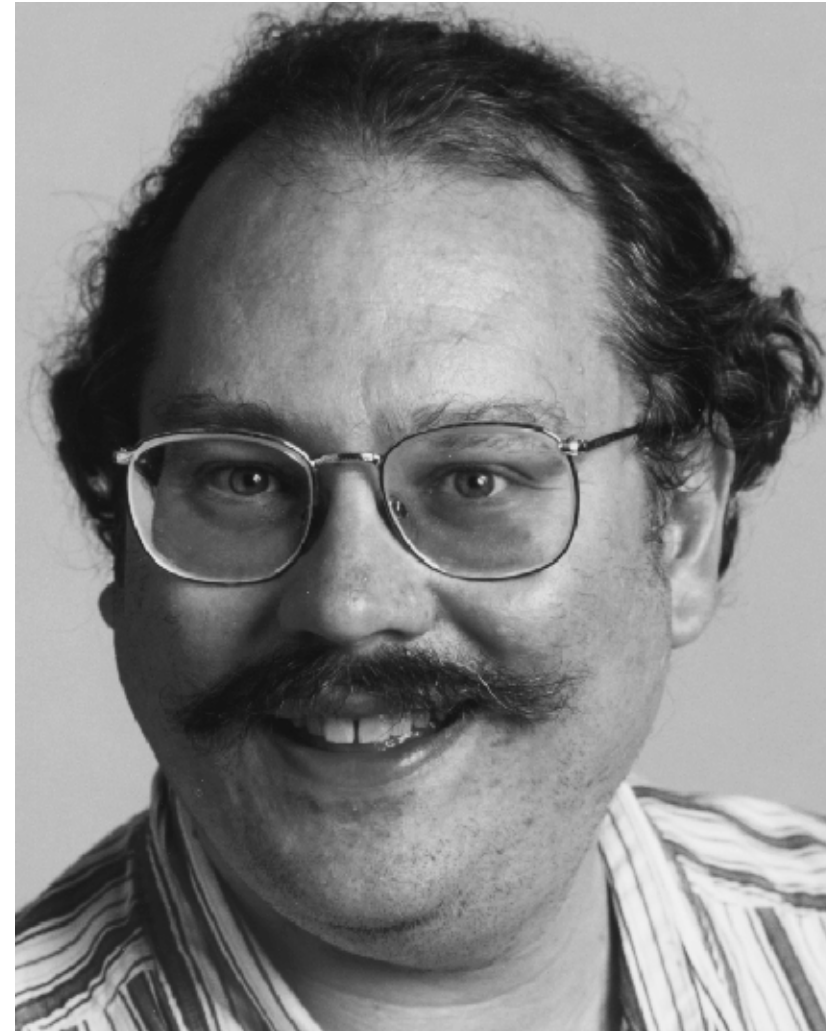
Richard P. Feynman

Department of Physics, California Institute of Technology, Pasadena, California 91107

Received May 7, 1981

“I want to talk about the possibility that there is to be an exact simulation, that the computer will do exactly the same as nature. If this is to be proved and the type of computer is as I've already explained, then it's going to be necessary that everything that happens in a finite volume of space and time would have to be exactly analyzable with a finite number of logical operations. The present theory of physics is not that way, apparently. It allows space to go down into infinitesimal distances, wavelengths to get infinitely great, terms to be summed in infinite order, and so forth; and therefore, if this proposition is right, physical law is wrong.”

QUANTUM INFORMATION: ORIGINS



Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring

Peter W. Shor
AT&T Bell Labs
Room 2D-149
600 Mountain Ave.
Murray Hill, NJ 07974, USA

0272-5428/94 \$04.00 © 1994 IEEE

**A quantum computer can
break RSA encryption**



...and crack bitcoin



QUANTUM INFORMATION: ORIGINS

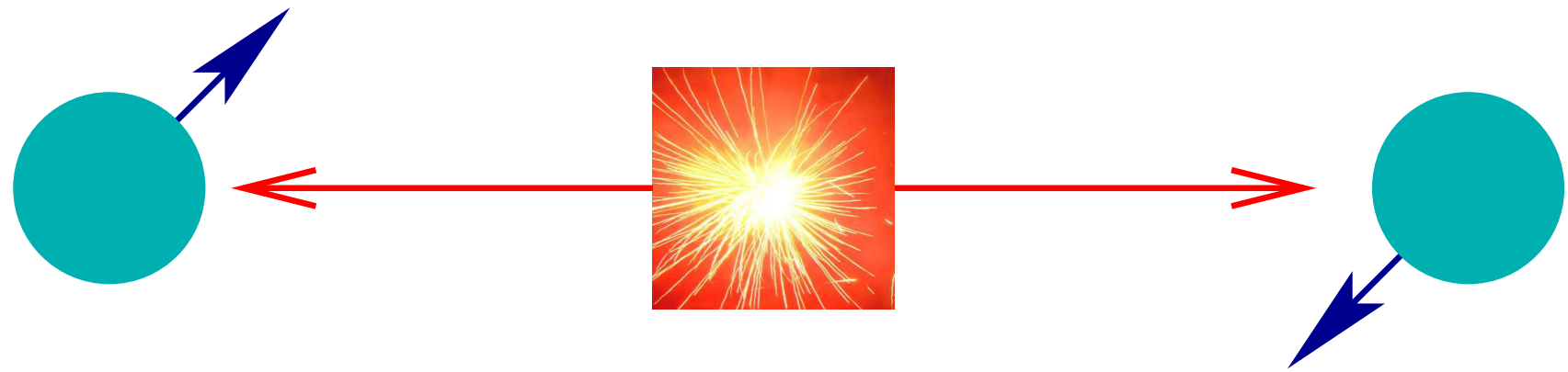


quantum cryptography

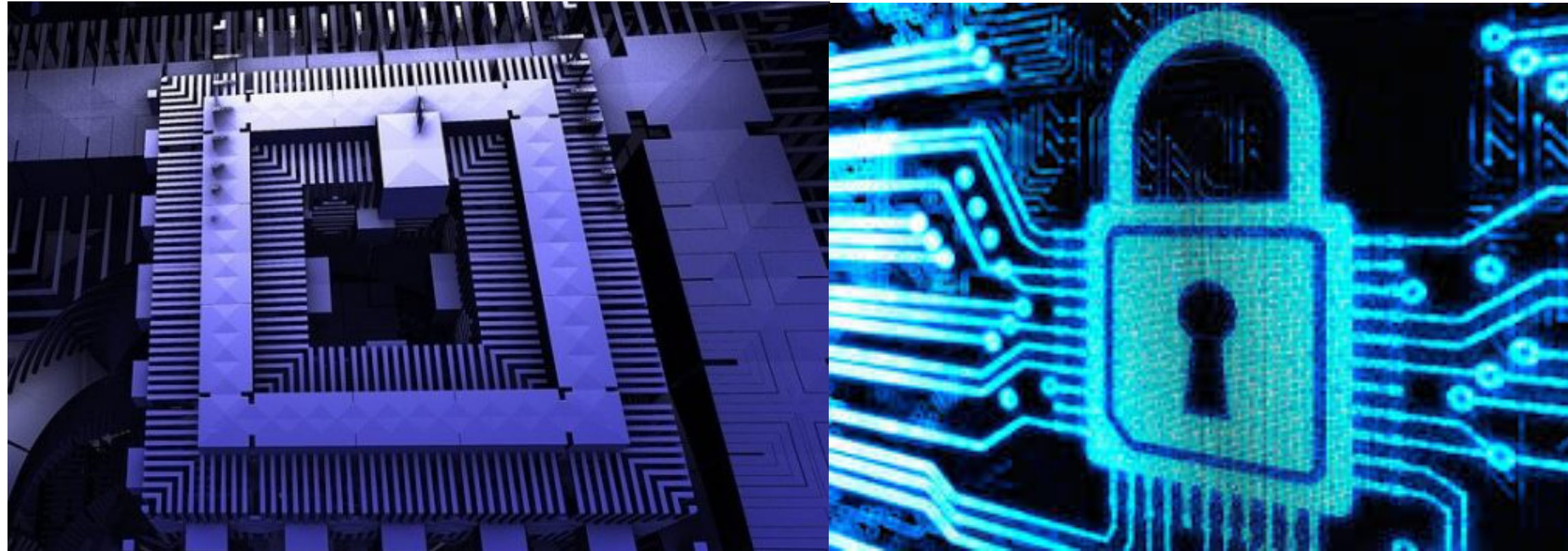


security by physical laws

no info without disturbance



QUANTUM TECHNOLOGIES



supercomputing

cryptography

randomness generation

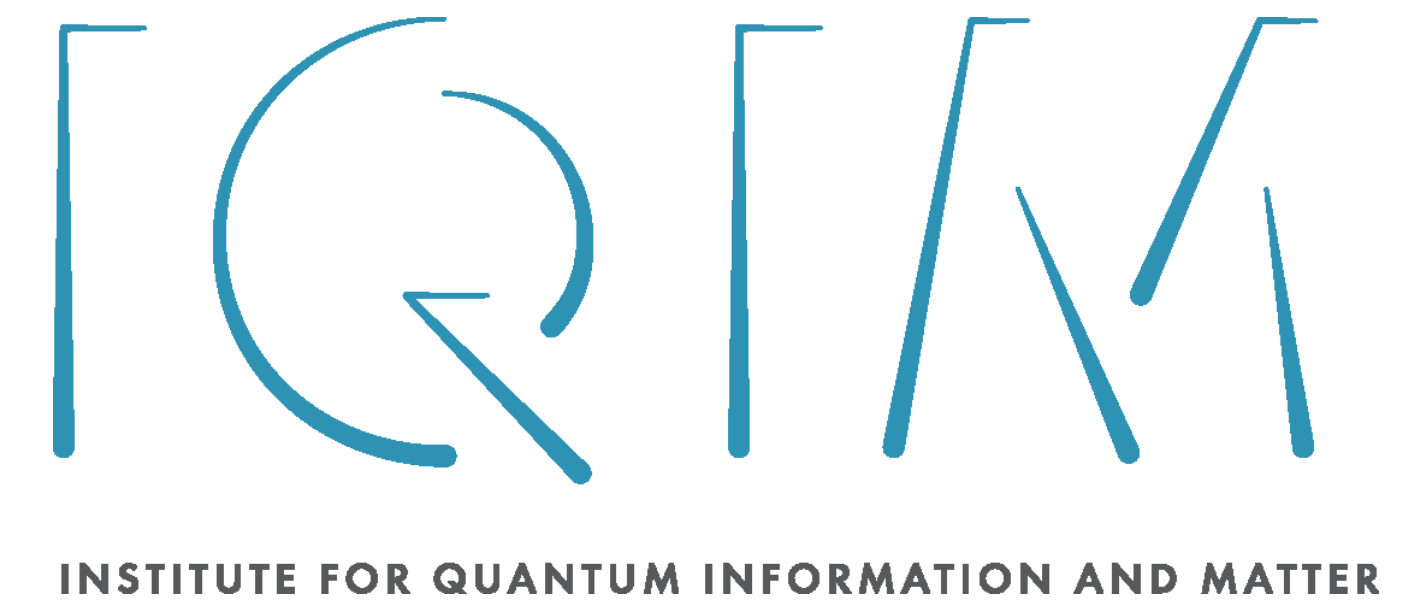
sensing, imaging, measurements

simulations for research and development

efficiency & bandwidth of communications



QUANTUM INFORMATION AND FOUNDATIONS



UNIVERSITY OF
WATERLOO





The future is Quantum.

The Second Quantum Revolution is unfolding now, exploiting the enormous advancements in our ability to detect and manipulate single quantum objects. The Quantum Flagship is driving this revolution in Europe.

[LEARN MORE](#)

Early 2000



Quantum Foundations in the Light of Quantum Information

Christopher A. Fuchs

*Computing Science Research Center
Bell Labs, Lucent Technologies
Room 2C-420, 600–700 Mountain Ave.
Murray Hill, New Jersey 07974, USA*

COMMENTARY

Is information the key?

GILLES BRASSARD

is in the Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal, Québec H3C 3J7, Canada.

e-mail: brassard@iro.umontreal.ca

Quantum information science has brought us novel means of calculation and communication. But could its theorems hold the key to understanding the quantum world at its most profound level? Do the truly fundamental laws of nature concern — not waves and particles — but information?



Nuove tecnologie

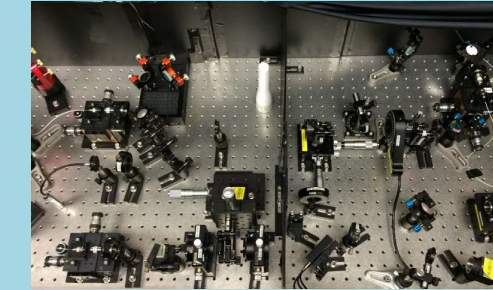
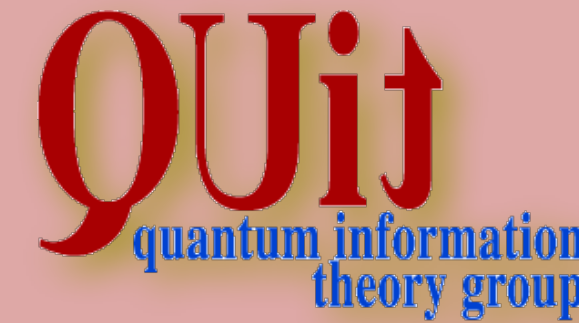


Ricerca accademica su quantum information and foundations

FISICA DELLE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

12 INSEGNAMENTI

8 insegnamenti dal seguente elenco,
di cui **1** in FIS/01, **3** di FIS/02 e **4** di FIS/03



Insegnamento	Settore	Semestre
Laboratorio di Fisica Quantistica	FIS/01	II
Fondamenti della Meccanica Quantistica	FIS/02	I
Fisica Quantistica della Computazione	FIS/03	II
Fotonica	FIS/03	I
Teoria Fisica dell'Informazione	FIS/02	I
Nanostrutture Quantistiche	FIS/03	II
Ottica Quantistica	FIS/03	I
Termodinamica Quantistica	FIS/02	I
Meccanica Statistica (triennale)	FIS/02	II
Gruppi e Simmetrie Fisiche	FIS/02	II
Magnetismo e Superconduttività	FIS/03	I
Fisica dello Stato Solido I	FIS/03	I

2 insegnamenti a scelta libera.

1 un insegnamento nei settori FIS/05, INF/01, MAT/05,06,07,08, ING-INF/01,02,03,04,05,07.

FISICA DELLE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

1 insegnamento scelto dal seguente elenco

Insegnamento	Settore	Semestre
Artificial Intelligence	ING-INF/05	I
Processi Stocastici	MAT/06	II
Teoria dei Sistemi Dinamici	MAT/07	I
Elementi di Statistica Matematica	MAT/06	I
Robotics	ING-INF/05	I
Digital Communications	ING-INF/03	II
Information Security	ING-INF/05	I
Bioinformatica	ING-INF/06	I



Giacomo Mauro D'Ariano



Chiara Macchiavello



Massimiliano Sacchi



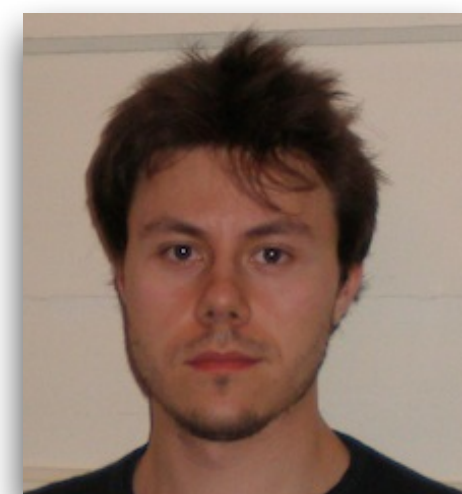
Lorenzo Maccone



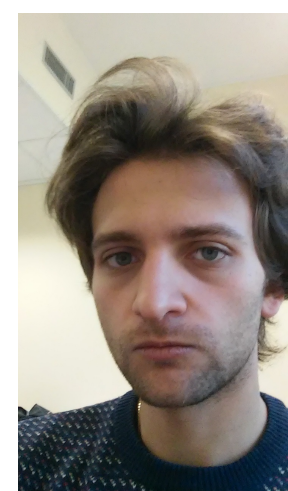
Paolo Perinotti



Alessandro Bisio



Alessandro Tosini



Giovanni Chesi

Corsi

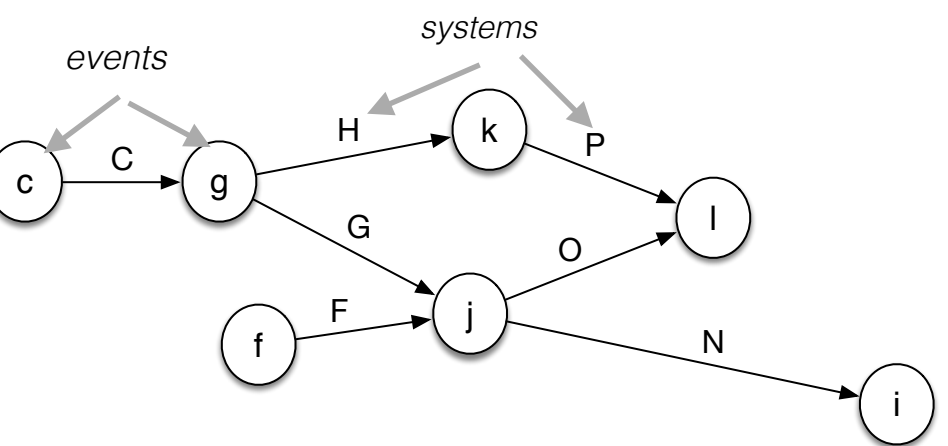
Fondamenti della Meccanica Quantistica
Fisica Quantistica della Computazione
Teoria Fisica dell'Informazione
Ottica Quantistica
Termodinamica Quantistica
Gruppi e simmetrie fisiche

Linee di ricerca

Foundations of Quantum Theory
Foundations of Quantum Field Theory
Quantum Information and Computation
Quantum Metrology

FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA

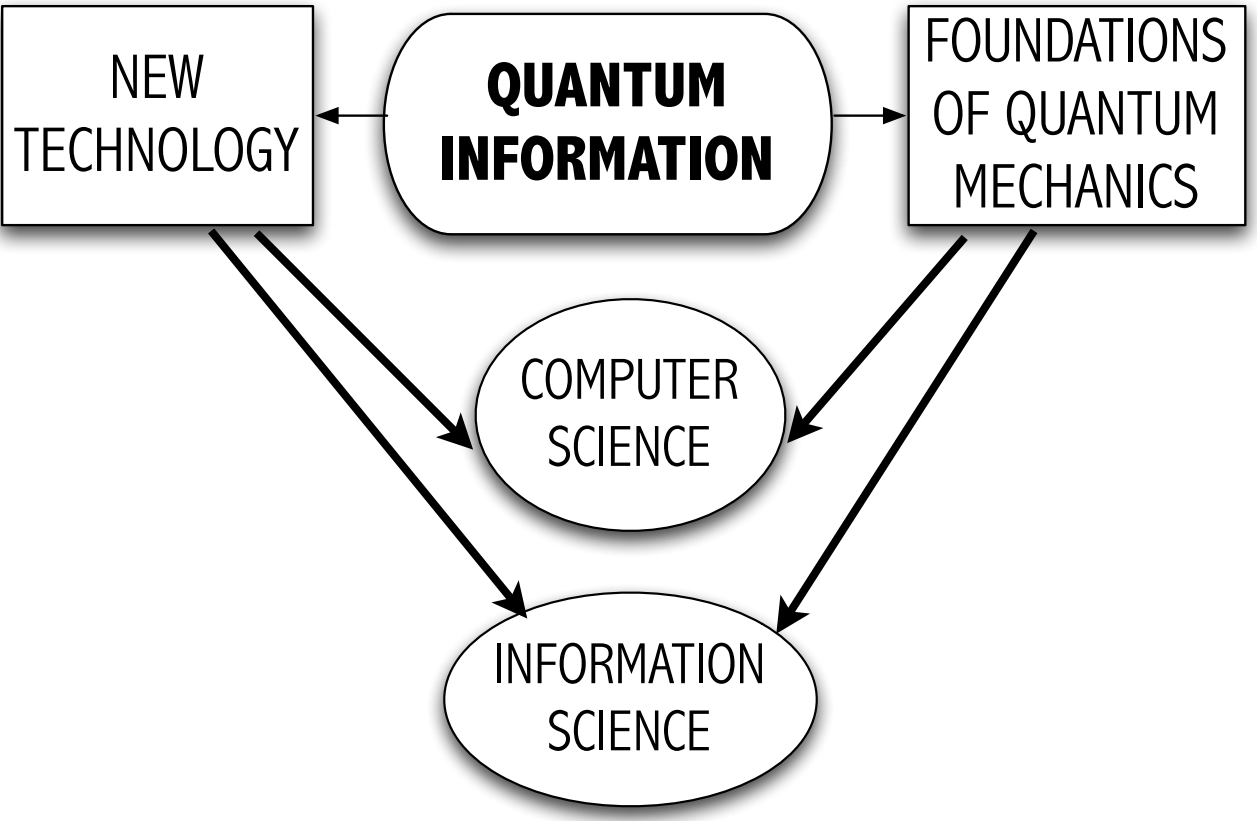
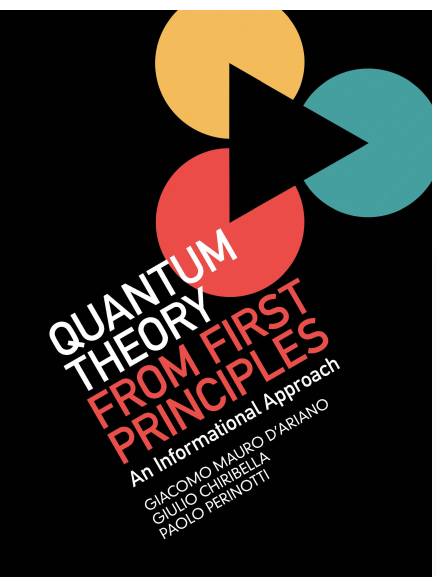
Struttura matematica della teoria (OPT)



causalità
discriminabilità locale
purificazione



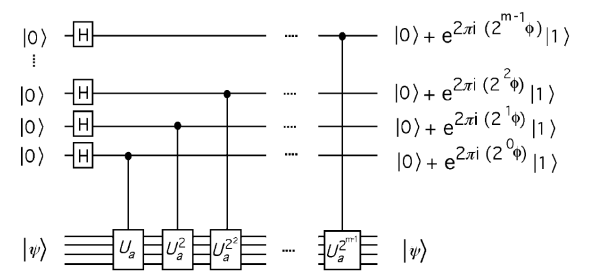
Stati,effetti,entanglement, quantum operations, Choi-Jamiolkowski, purificazione di quantum operations e strumenti, no-cloning, no-programming, no-signaling, no information without disturbance, stati steering e fedeli, tomografia di processi e stati, teletrasporto, quantum error correction



FISICA QUANTISTICA DELLA COMPUTAZIONE

Principi di computazione e crittografia quantistici

Principi di funzionamento dei computer quantistici
Porte logiche quantistiche
Insiemi di gates universali
Parallelismo quantistico
Tecniche quantistiche di correzione degli errori
Algoritmi quantistici
Crittografia quantistica
Introduzione alla teoria dell'entanglement
Entanglement negli algoritmi quantistici



TEORIA FISICA DELL'INFORMAZIONE

Teoria dell'informazione classica e quantistica

Definizione e quantificazione dell'informazione
Bit/qubit e entropie di Shannon/von Neumann
Compressione
Codifica per canali rumorosi
Informazione classica su canali quantistici
Informazione quantistica e entanglement
Catene di Markov e data processing
Rumore e flussi di entropia



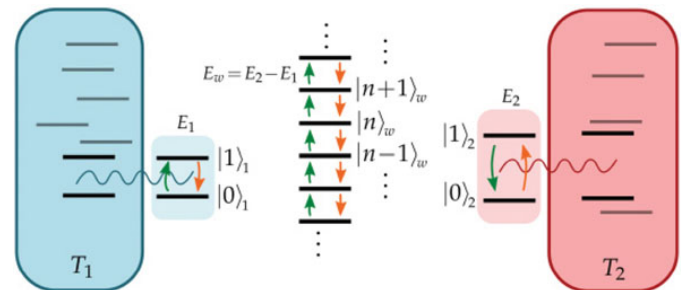
TERMODINAMICA QUANTISTICA

Meccanica statistica quantistica di non-equilibrio

Il lavoro e il calore non sono delle "osservabili"
Definizioni consistenti richiedono un approccio operativo (correlazioni, coerenza, controllo)
Ruolo dell'informazione: Demone di Maxwell, macchina ciclica di Szilard



sistemi aperti
teoria della risposta,
informazione quantistica
apparenti violazioni del 2° principio
teoremi di fluttuazione



Macchine termiche quantistiche e nanotecnologie

Cultura generale per la Fisica Contemporanea

OTTICA QUANTISTICA

Tecniche avanzate di meccanica quantistica



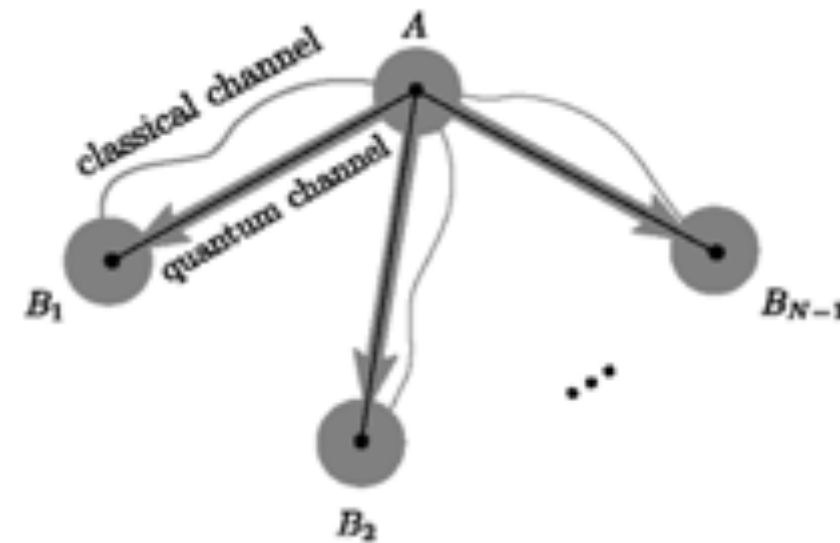
Teoria dell'ottica quantistica, dei sistemi quantistici aperti, della stima
Applicazioni



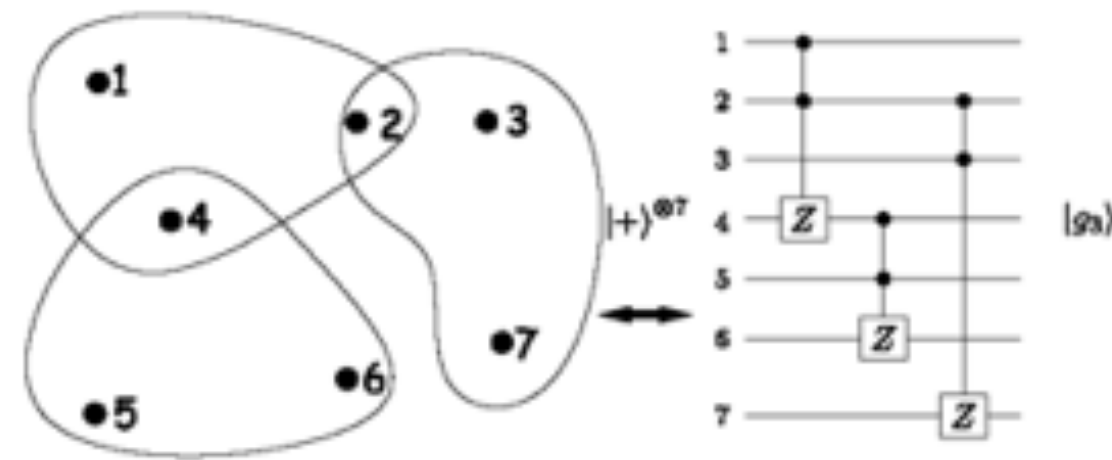
Acquisizione di "intuizione fisica" della teoria quantistica attraverso l'ottica.
Preparazione alla ricerca (working knowledge):
Tecniche di calcolo e di simulazione,
Analisi e descrizione matematica di devices sperimentali
Teoria dei sistemi quantistici aperti

QUANTUM INFORMATION

Crittografia quantistica a molti utenti



Metodi di rivelazione di entanglement

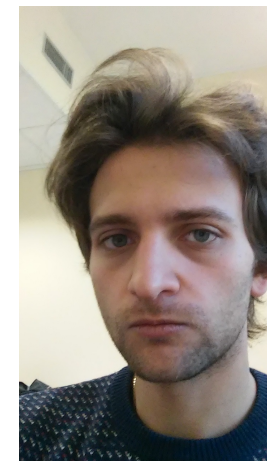
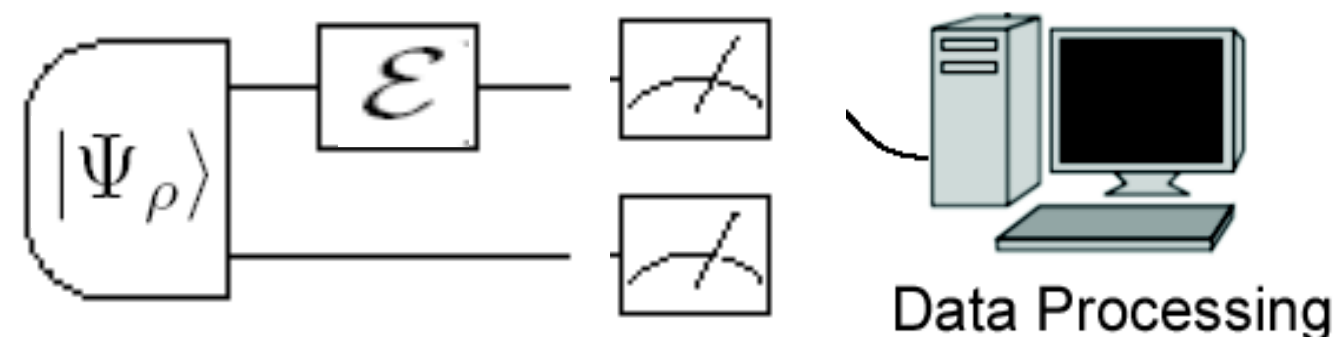


Stati ipergrafi negli algoritmi quantistici e nelle reti neurali

Metodi di certificazione di capacità per canali di comunicazione quantistici rumorosi



Termodinamica quantistica di modi bosonici



Quantum Information theory

Capacità di canale, quantum computation, entanglement

Quantum Metrology

Usare effetti quantistici per migliorare la precisione delle misure



Fondamenti

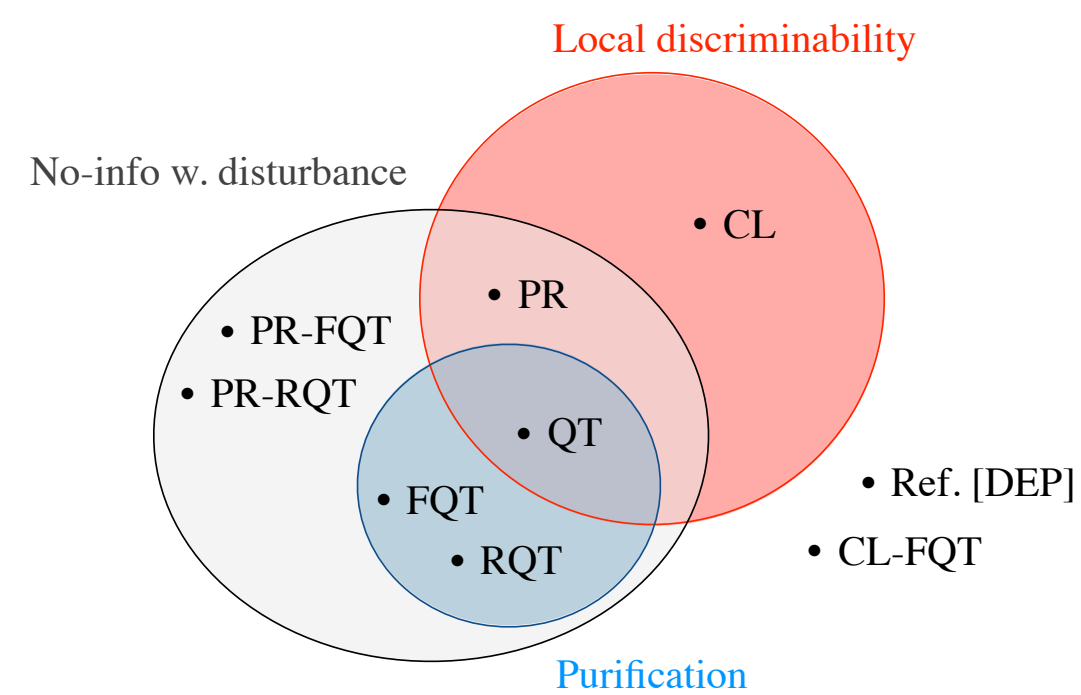
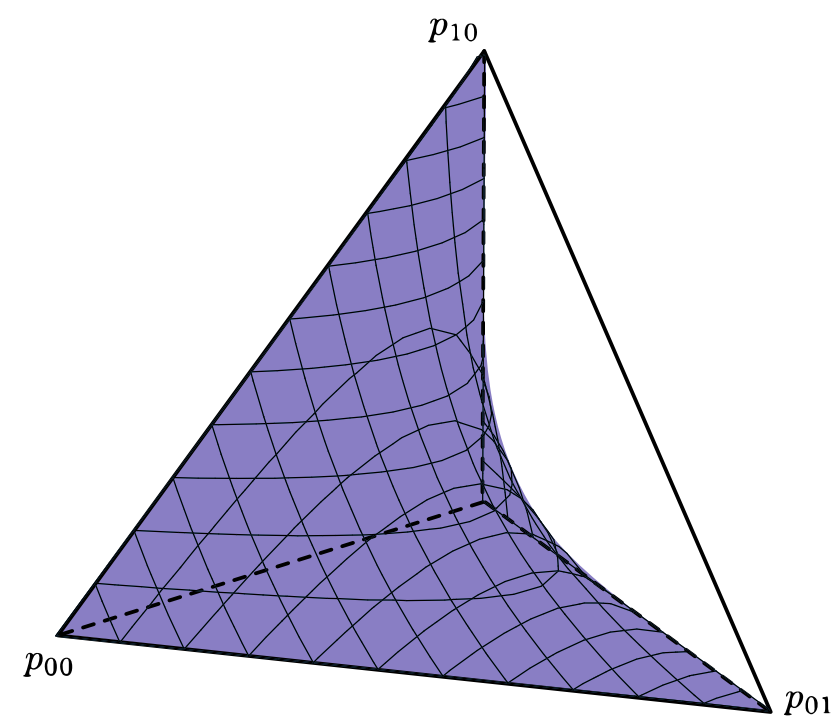
Il tempo in meccanica quantistica



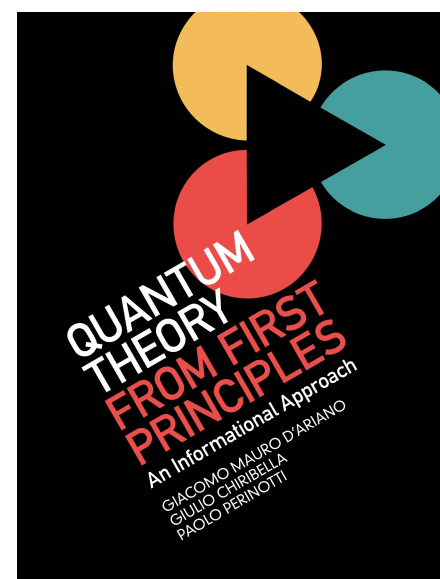
QUANTUM FOUNDATIONS

OPT

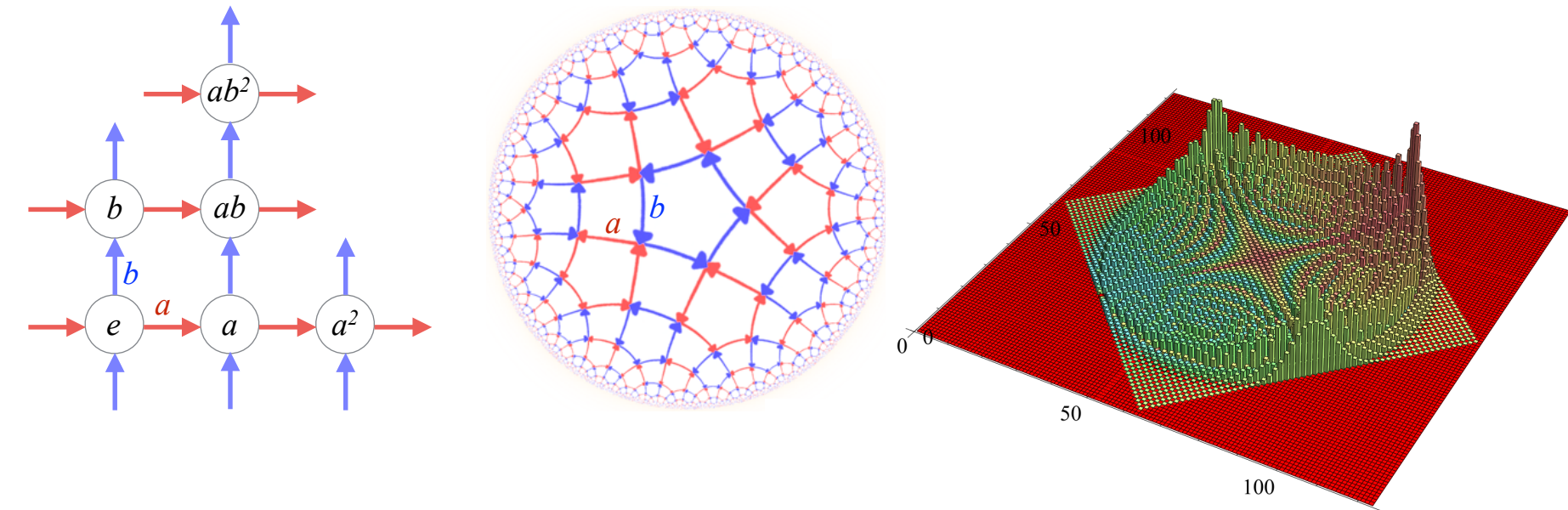
	Caus.	Perf. disc.	Loc. discr.	n-loc. discr.	At. par. comp.	At. seq. comp.	Compr.	\exists Purification	$\exists!$ Purification	NIWD
QT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
FQT	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
RQT	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NSQT	?	?	✗	✗	?	?	?	?	?	?
PR	✓	?	✓	✓	✓	?	✗	✗	✗	✓
DPR	✓	?	✓	✓	✓	?	✗	✗	✗	✓
HPR	✓	?	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FOCT	✗	?	✓	✓	✓	?	?	✗	✗	?
FOQT	✗	?	?	✓	?	?	?	?	?	?
NLCT	✓	✓	✗	✓	✗	?	✓	✗	✗	✗
NLQT	?	?	?	✓	?	?	?	?	?	?



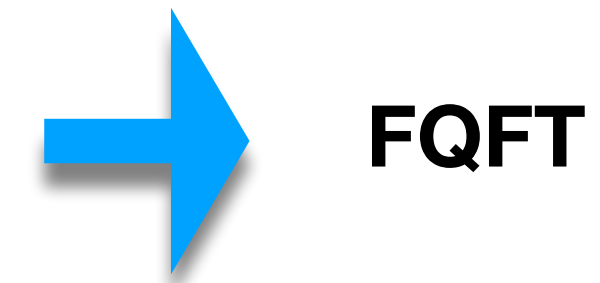
Teorie alternative (fermionica, reale, classica bi-locale, ... per testare indipendenza logica dei principi, mondi possibili, e regole generali di teoria dell'informazione (no-information without disturbance...) e proprietà dell'informazione e del suo processing.



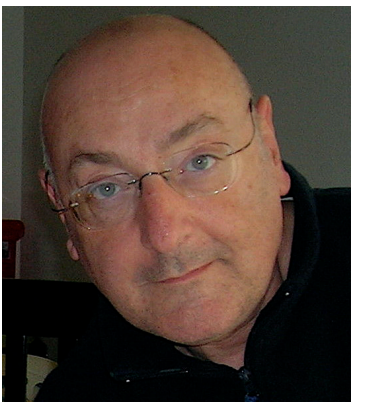
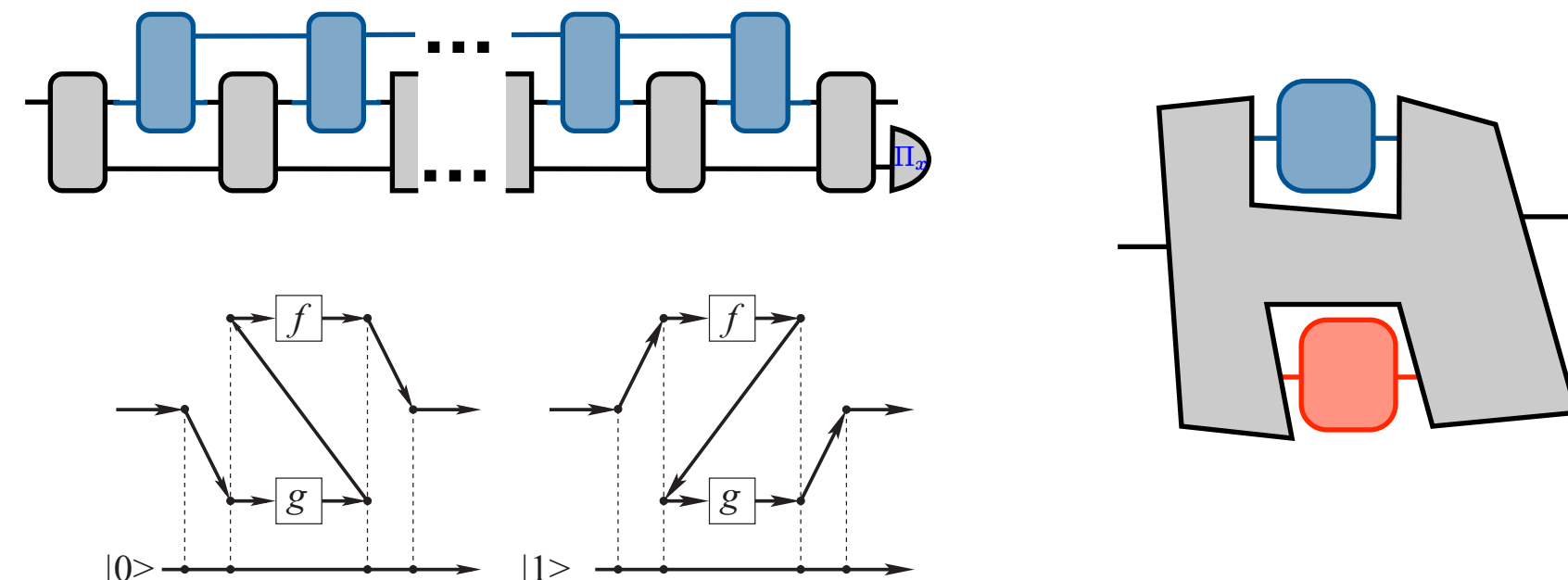
Automi cellulari e teoria di campo



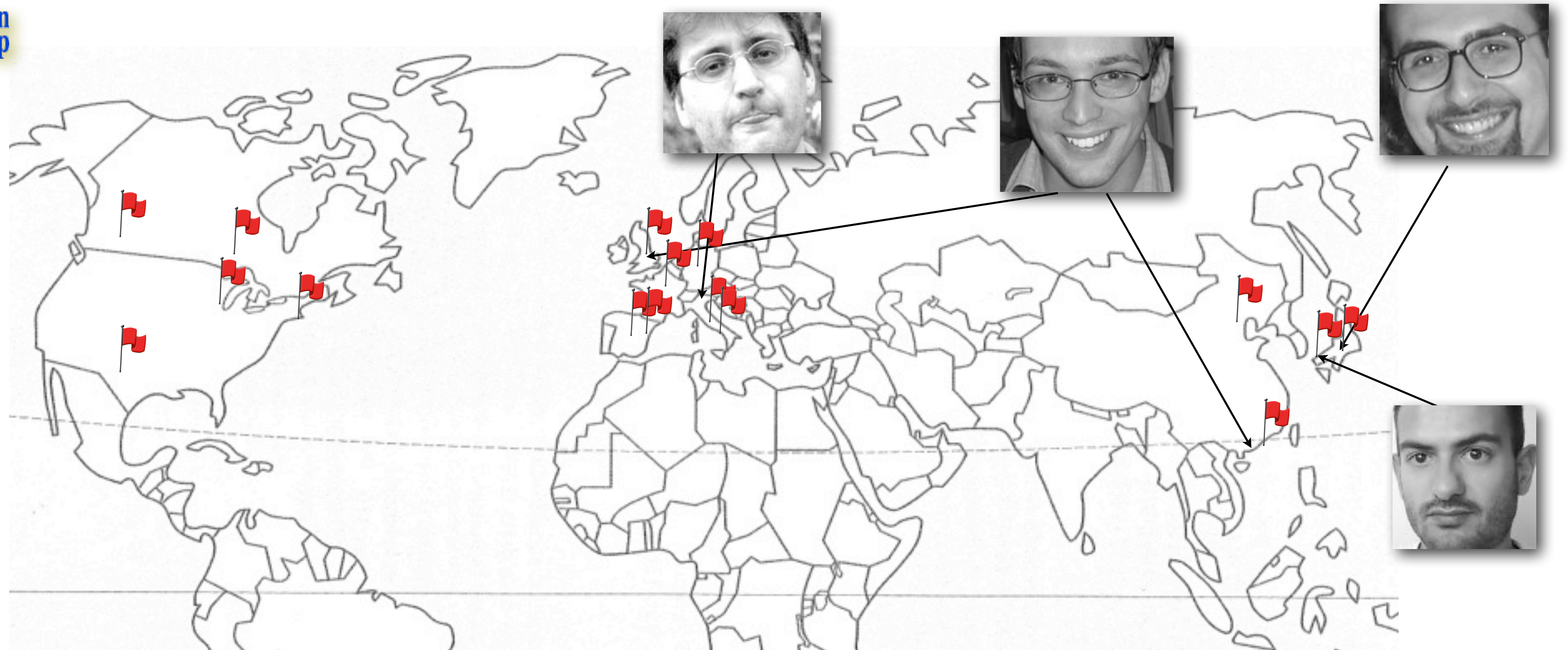
Legge fisica come algoritmo
Località, omogeneità, isotropia
Analisi strutturale degli automi cellulari
Rinormalizzazione



Teorie di ordine superiore



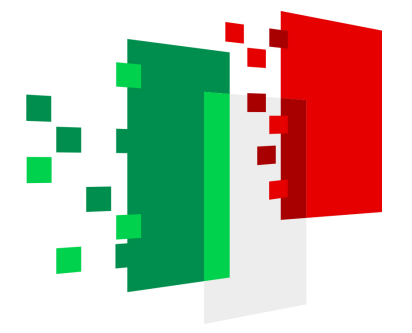
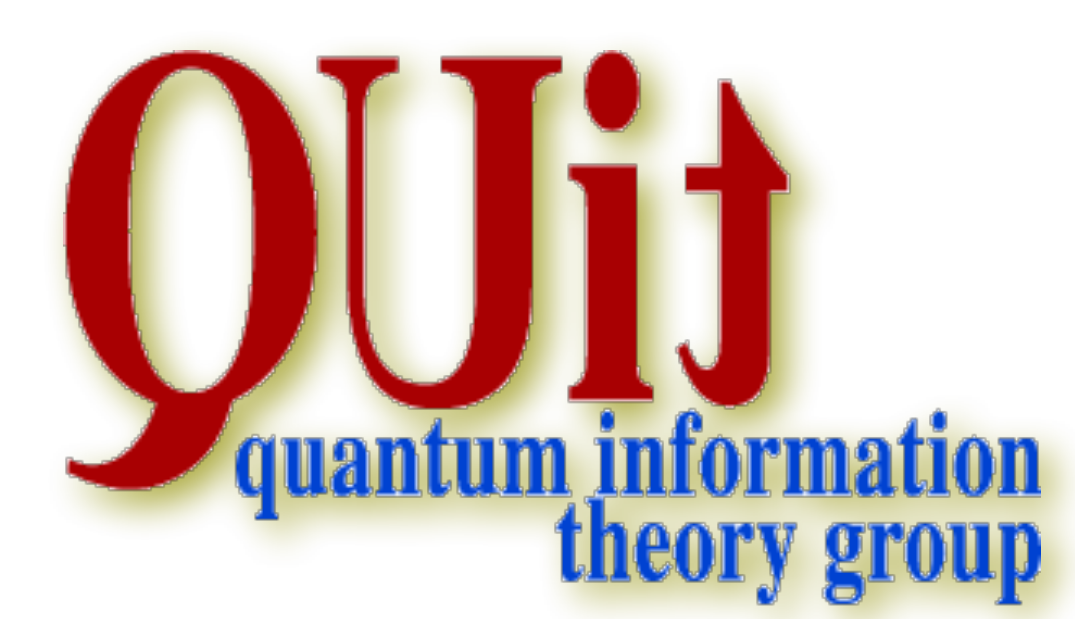
COLLABORATIONS



- Northwestern Chicago (GMD)
- Vienna (AB,GMD,PP)
- MIT Boston (LM)
- Hong Kong (GMD,PP)
- Nagoya (GMD,PP)
- Singapore (CM,Paolo Perinotti)

- Oxford, Cambridge (GMD,PP,CM)
- Roma La Sapienza (GMD,CM,LM,PP)
- U. Illinois Chicago (GMD)
- Dusseldorf, Edimburgo (CM)
- Normale Pisa (LM)
- Los Alamos (LM)

- ETH Zurigo (PP,GMD)
- Bratislava (AB,PP,GMD)
- Barcelona, ICFO (PP)
- Paris Saclay (AB,PP)
- Kyoto (AB,PP)
- Hannover (GMD,PP)



**Ministero
dell'Università
e della Ricerca**



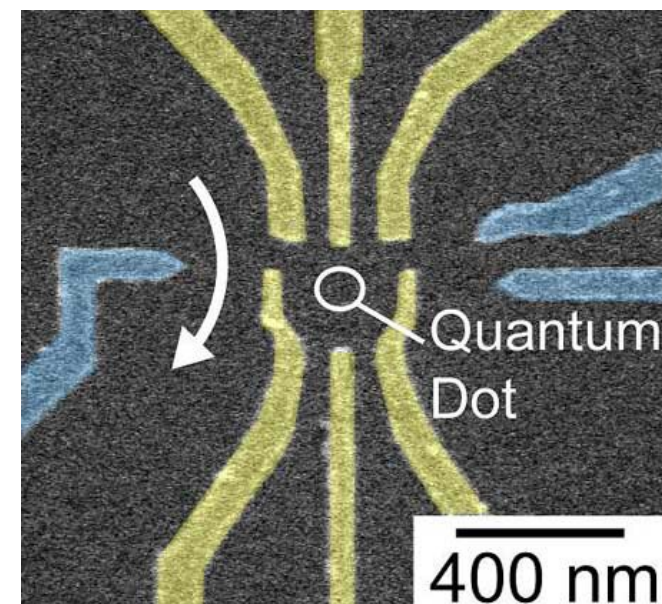
**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



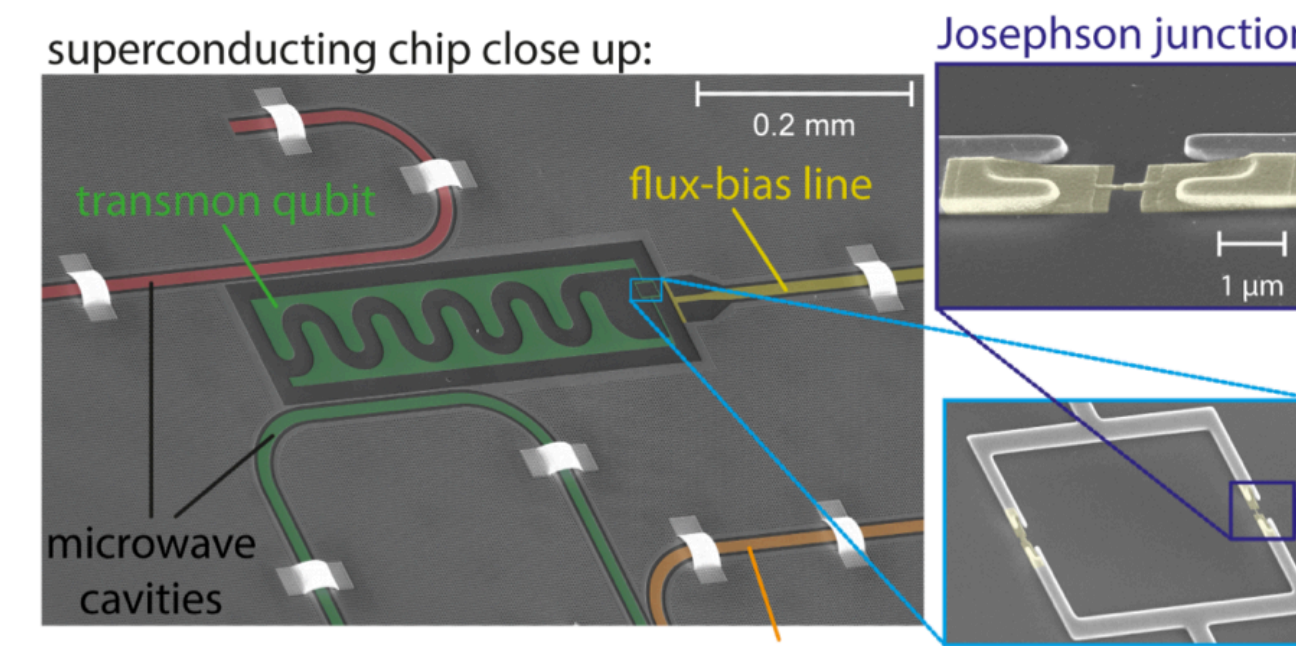
NANOSTRUTTURE QUANTISTICHE

Dario Gerace

- Confinamento quantico di elettroni e lacune in nanostrutture di semiconduttori, sistemi 2D, 1D, 0D
- Proprietà ottiche e di trasporto in sistemi a bassa dimensionalità
- Sistemi nanostrutturati di superconduttore e circuiti quantistici alle microonde
- Applicazioni alle moderne tecnologie quantistiche: Sorgenti a singolo fotone, laser a singolo atomo, qubits di semiconduttore e superconduttore



Es. Qubit a semiconduttore

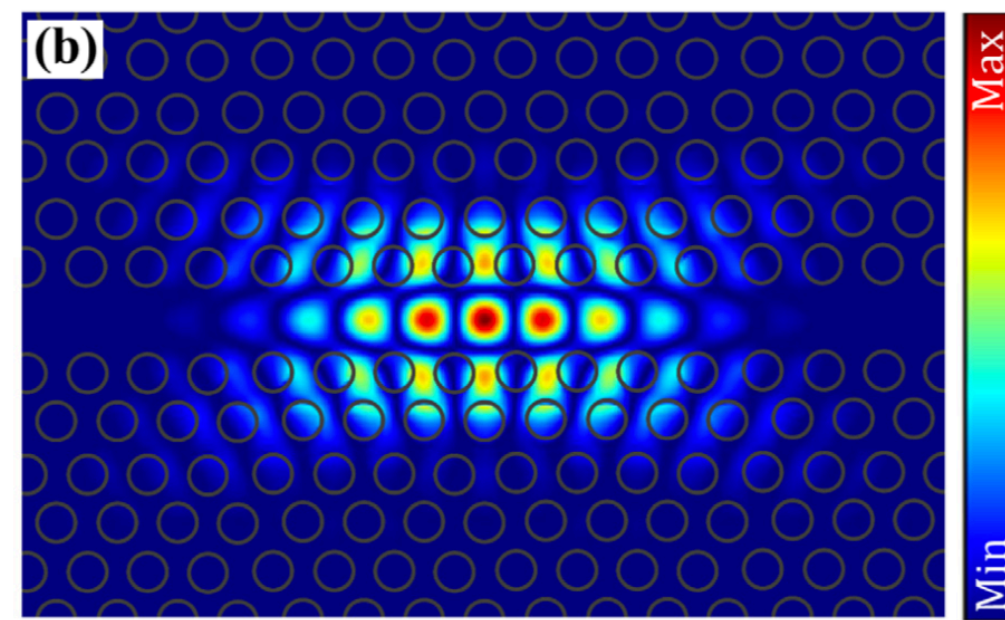


Es. Qubit a superconduttore

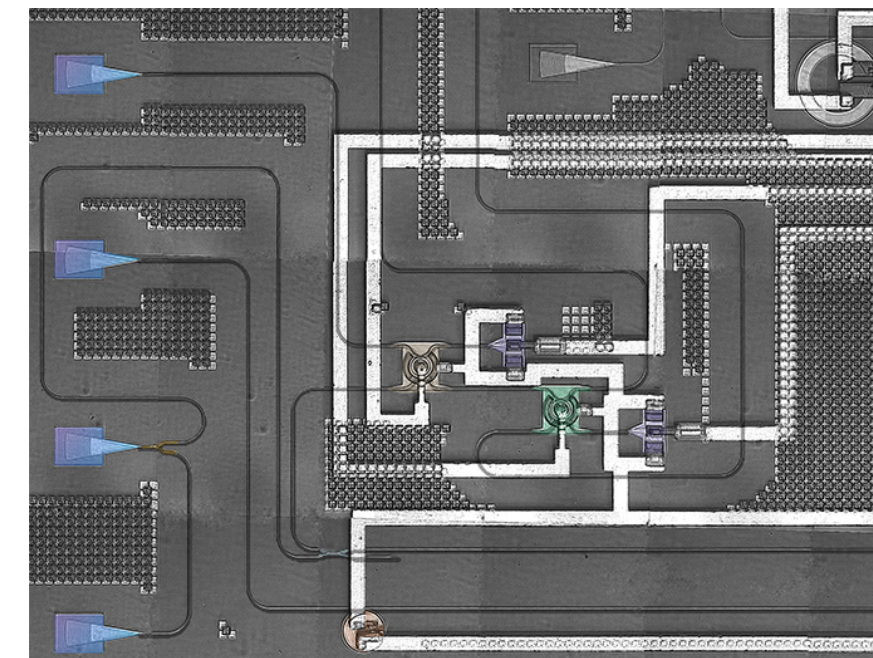
FOTONICA

Marco Liscidini

- Propagazione e confinamento di luce “classica” e “non-classica” in micro e nano strutture
- Interazione radiazione-materia in sistemi micro e nanostrutturati (emissione spontanea, LASER, etc..)
- Ottica nonlineare classica e quantistica
- Applicazioni alle moderne tecnologie quantistiche: qbit e qdit a basati su fotoni, sorgenti a singolo fotone, generazione di fotoni entangled, etc...



Es. Microcavità fotonica

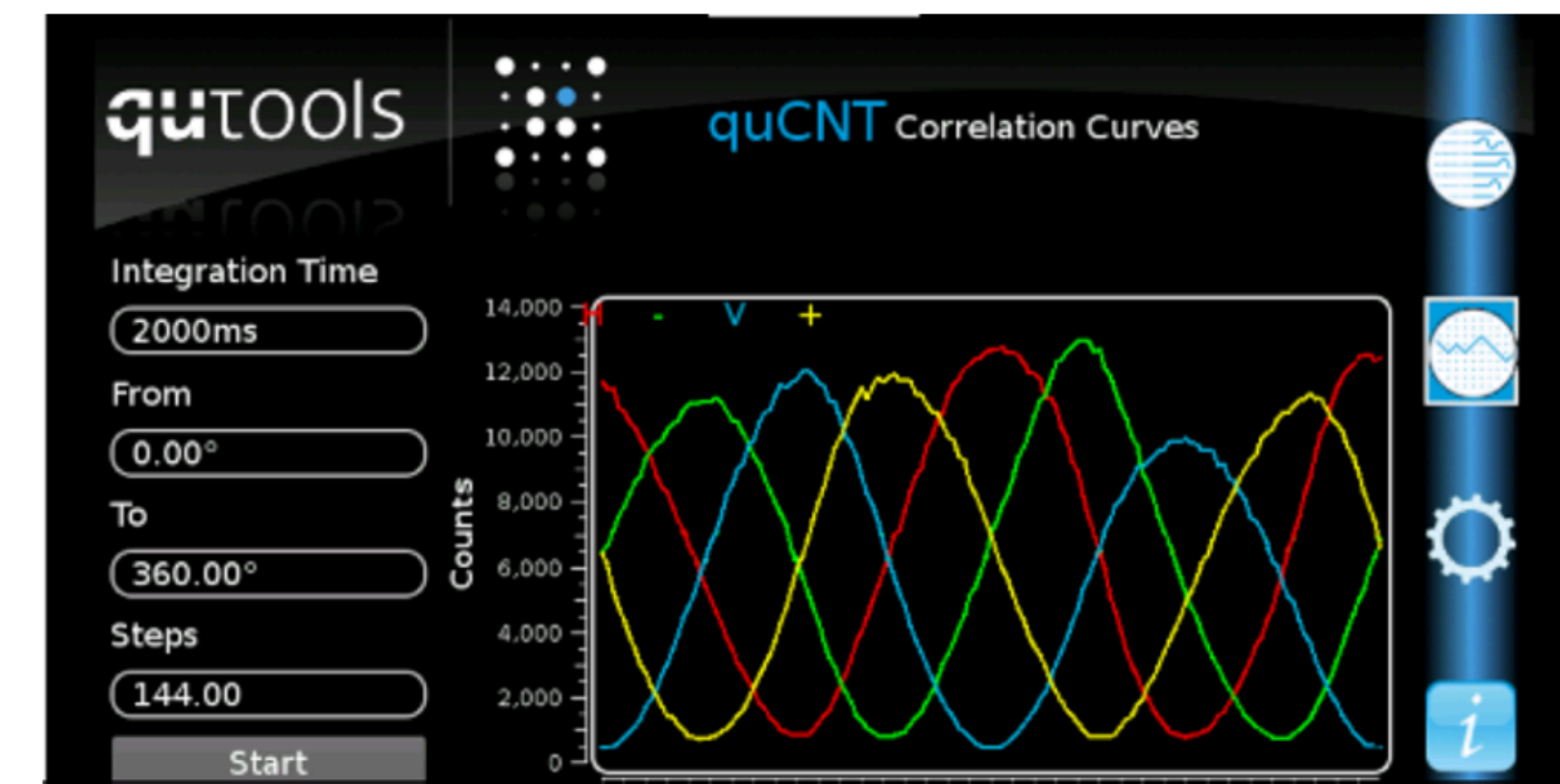
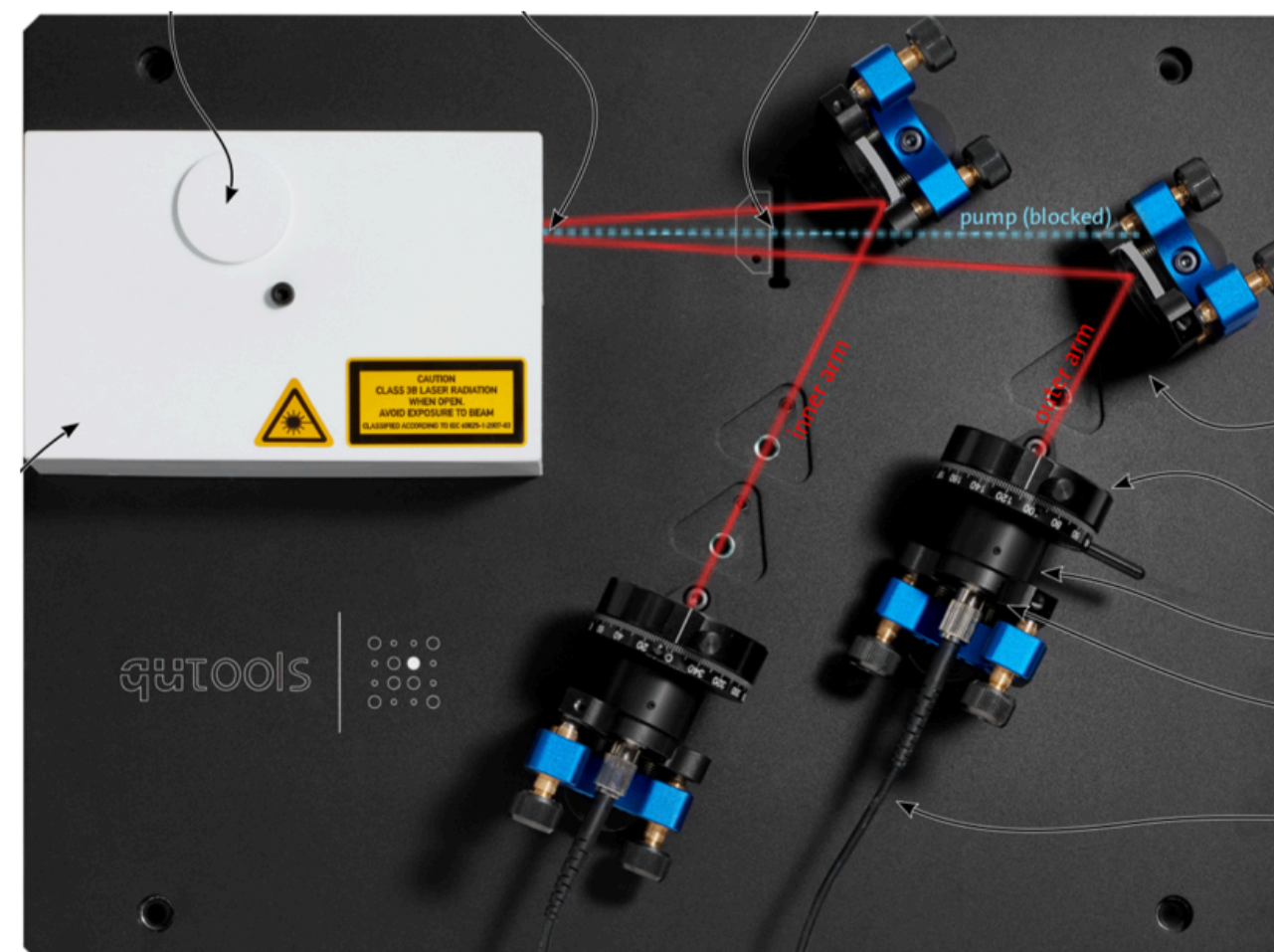
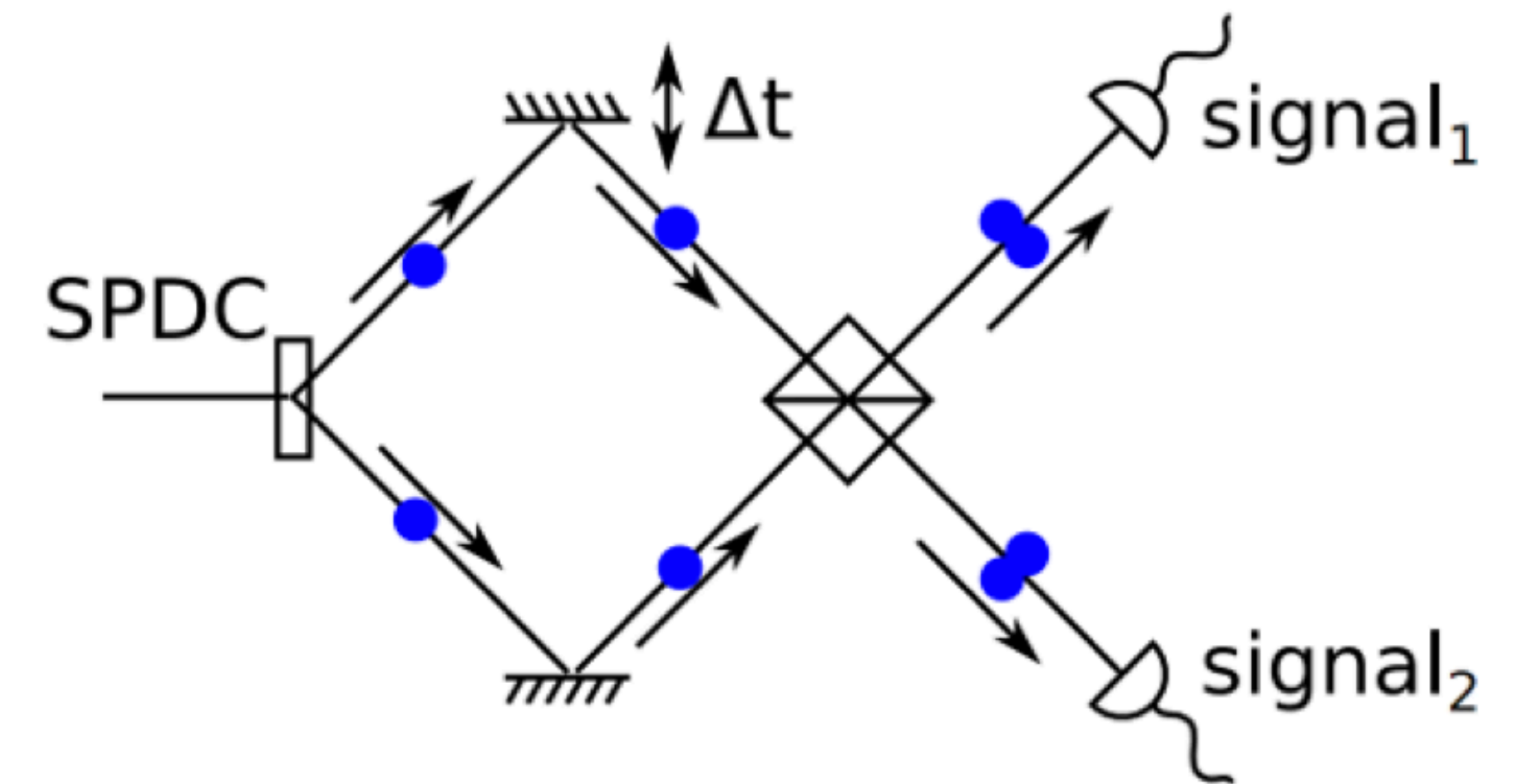


Es. Fotonica quantistica integrata

LABORATORIO DI FISICA QUANTISTICA

Matteo Galli

- Particle Nature of Photons (Coincidences)
- Wave Nature of Photons (Single-Photon Interference)
- Polarization Entanglement
- Heralding of single photons
- Hong-Hou-Mandel Interference
- Franson Interference



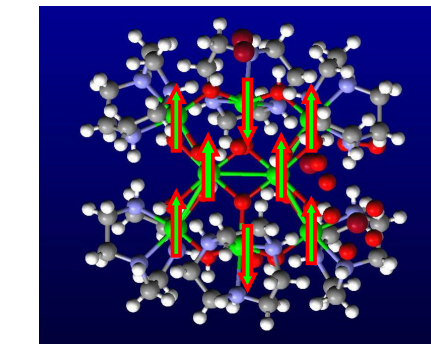
RICERCHE CONNESSE

Teoria

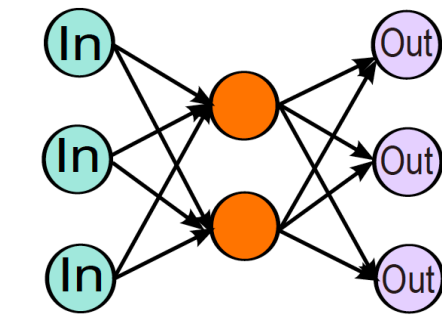


Dario Gerace

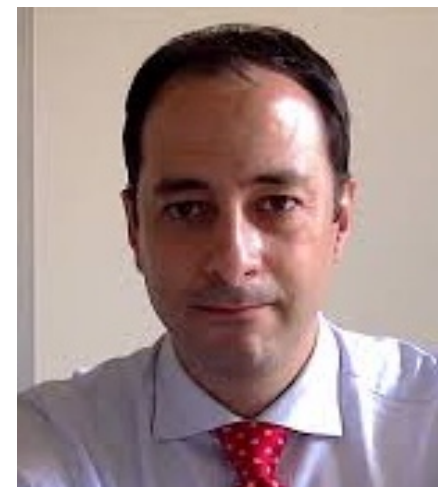
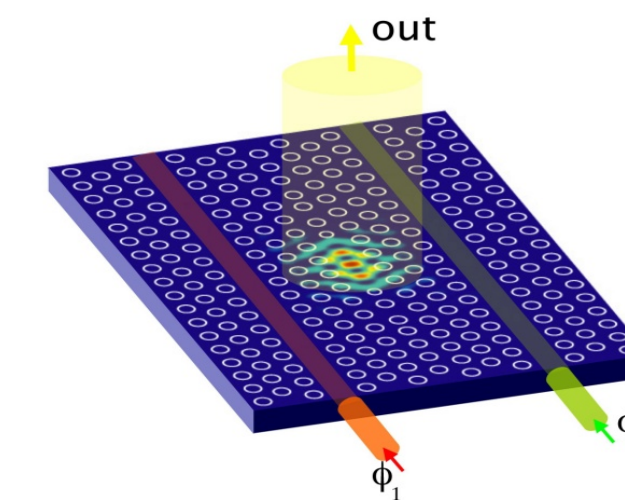
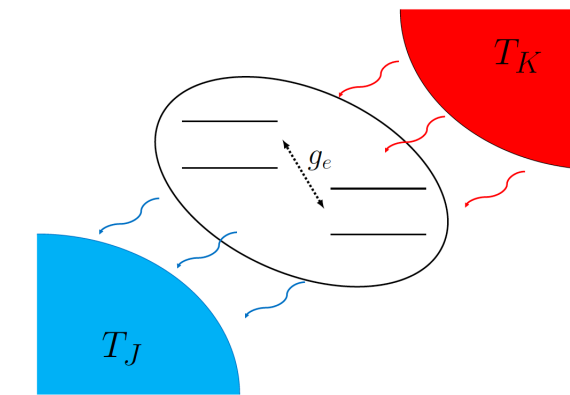
- Simulazioni quantistiche di sistemi complessi: algoritmi quantistici e cloud quantum computing
- Termodinamica quantistica: entanglement ed entropia in nanostrutture quantistiche



Molecole magnetiche

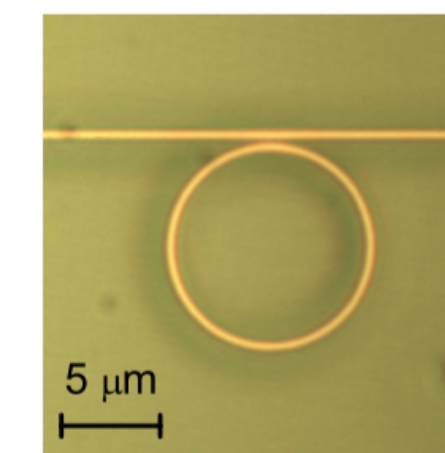


Reti neurali artificiali



Marco Liscidini

- Fotonica quantistica in nanostrutture fotoniche: modellizzazione dispositivi e teoria dell'interazione radiazione-materia
- Generazione di luce non classica via fluorescenza parametrica





Matteo Galli

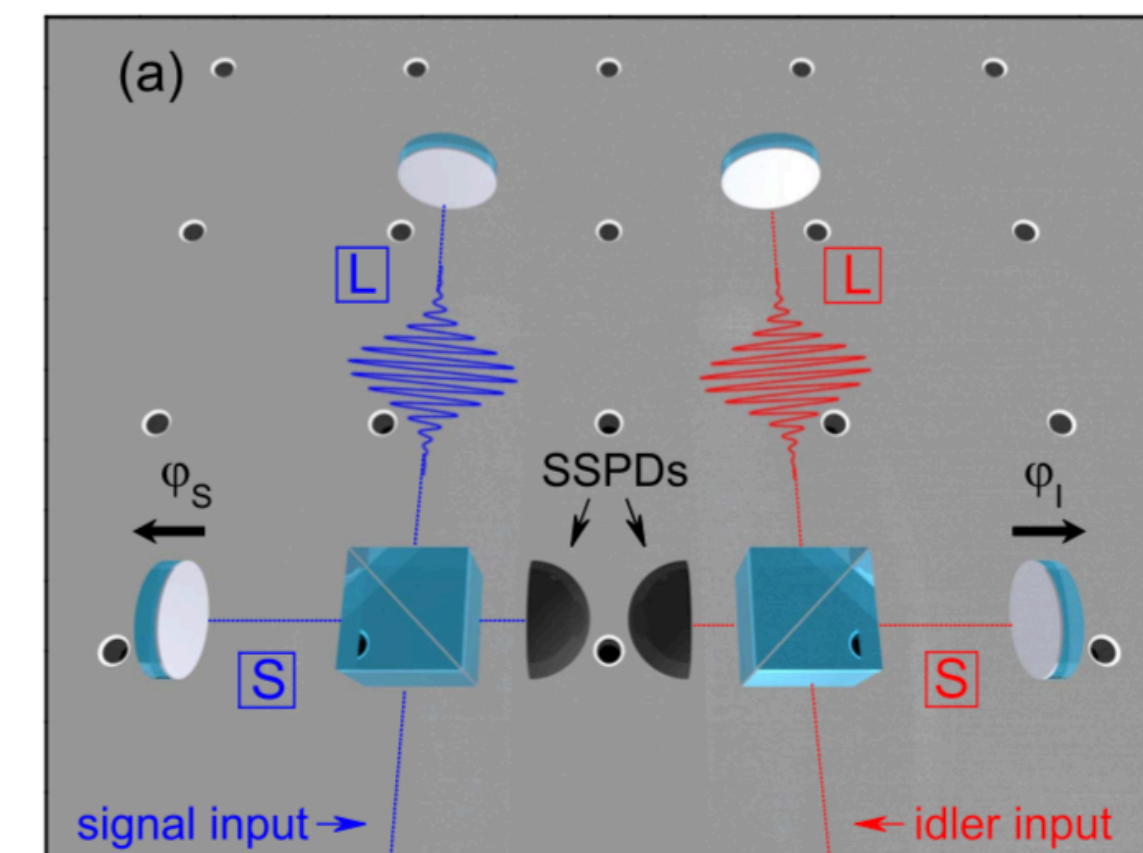
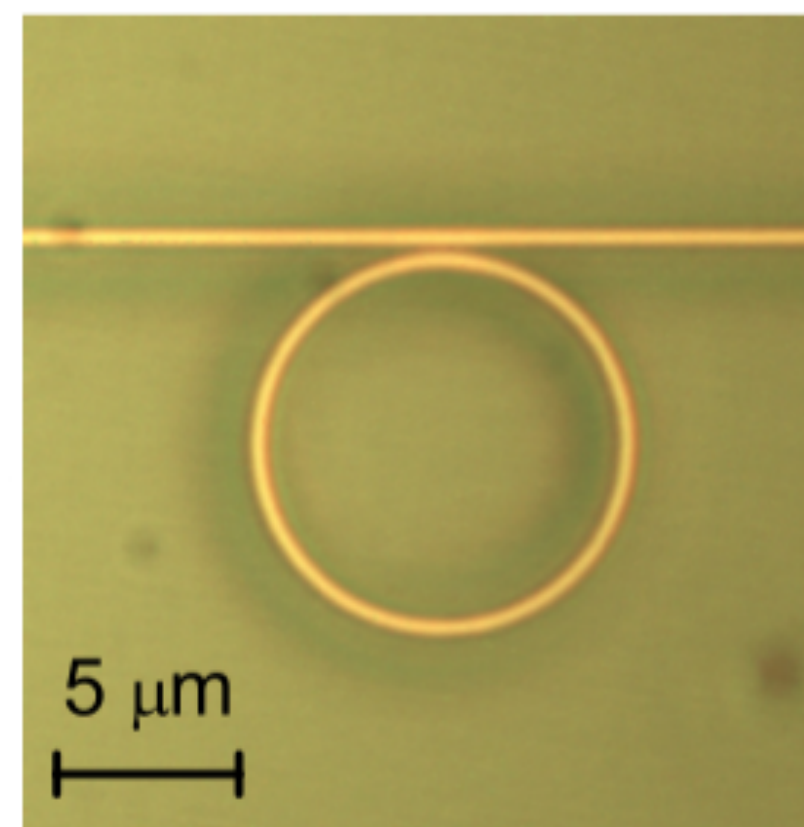
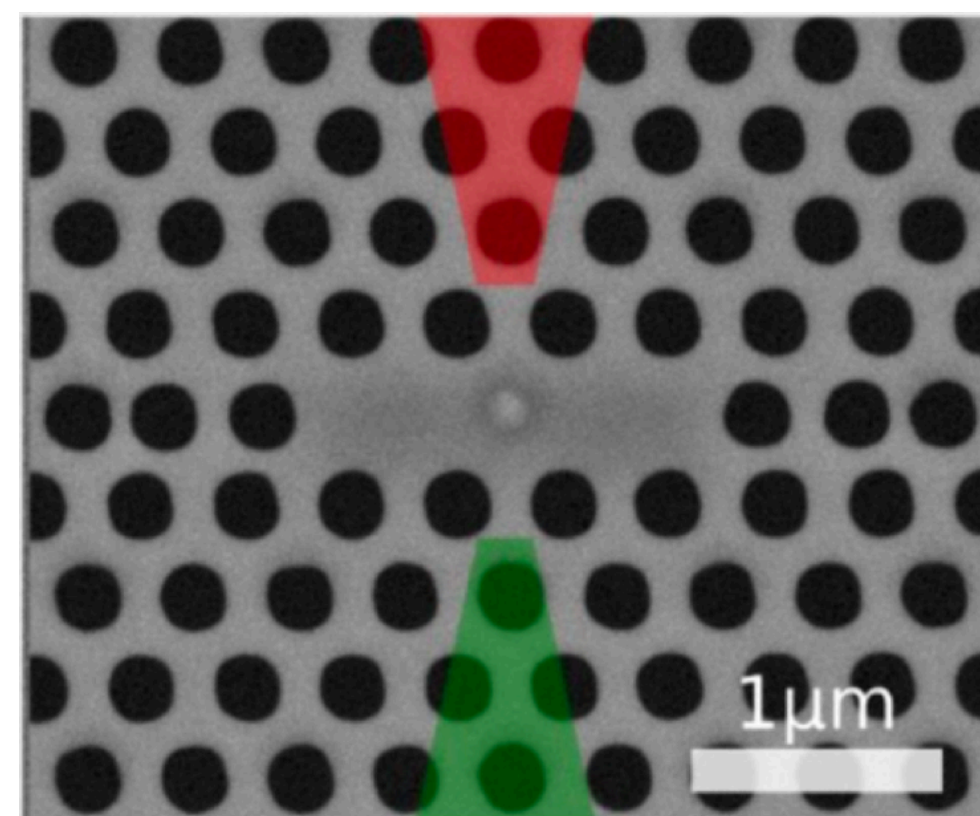
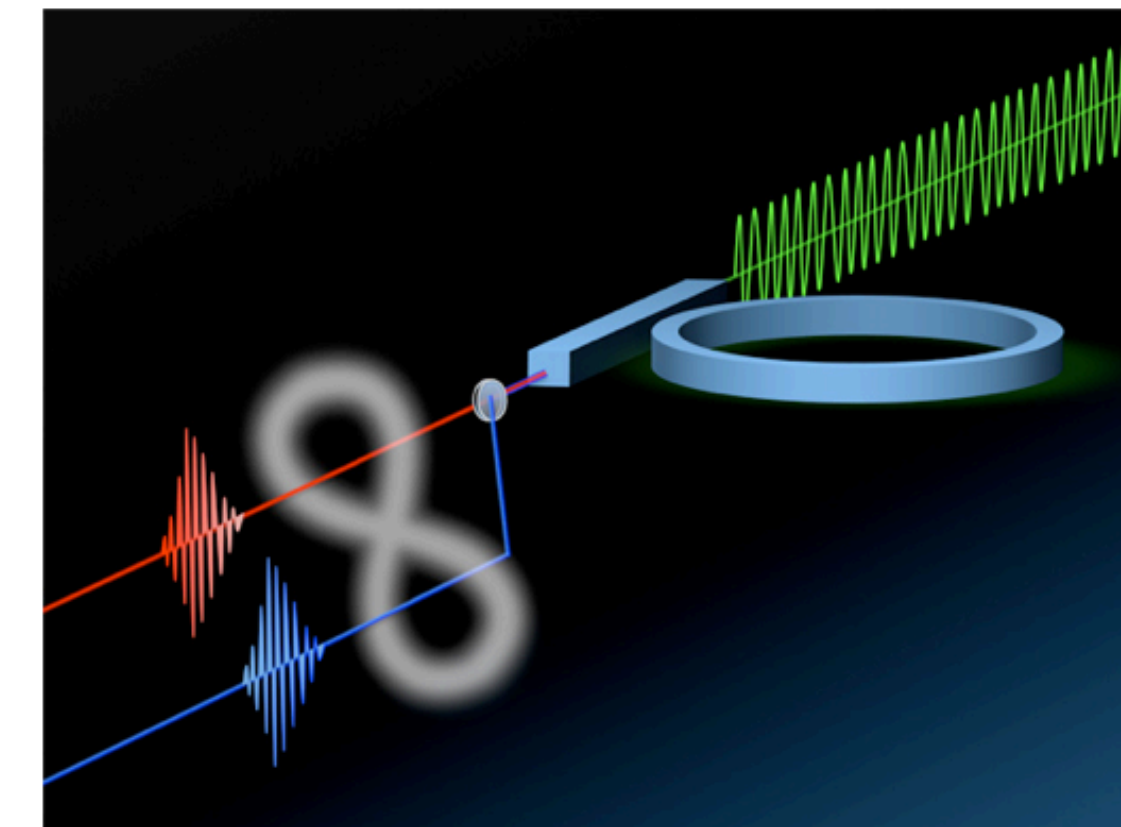
RICERCHE CONNESSE

Esperimenti

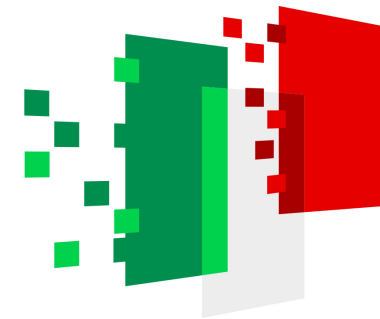


Daniele Bajoni

- Generazione di stati non classici della radiazione: sorgenti di coppie di fotoni entangled e singoli fotoni “heralded” integrate in silicio.
- Quantum information
- Quantum key distribution
- Sviluppo di nuove sorgenti a singolo fotone a 1.5 μm basate su materiali compatibili con le tecnologie della microelettronica (quantum dots di Ge in Si)



FINANZIAMENTI E COLLABORAZIONI



**Ministero
dell'Università
e della Ricerca**



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



QUANTERA



XANADU



**Italia, Europa, UK,
Stati Uniti, Canada, etc ..**