

FISICA DELLE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

Esclusività di Pavia

del progetto “*Dipartimento di eccellenza*”

Finanziamento:

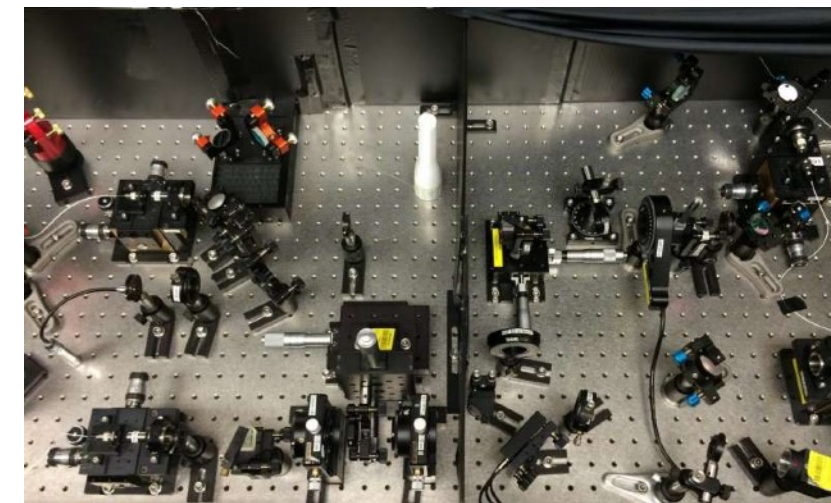
Personale: RTDA, RTDB, Assegnista, 1 borsa dott.

Infrastrutture: 1500000E laboratorio ottica quantistica



QUit
quantum information
theory group

+



Gruppo fotonica
quantistica

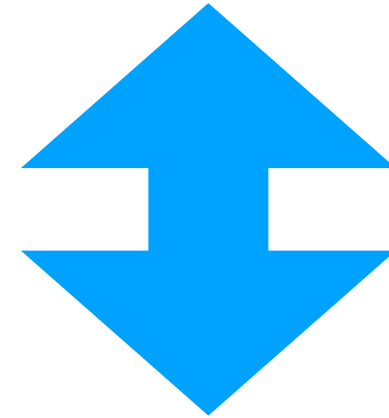


QUANTUM INFORMATION: ORIGINS

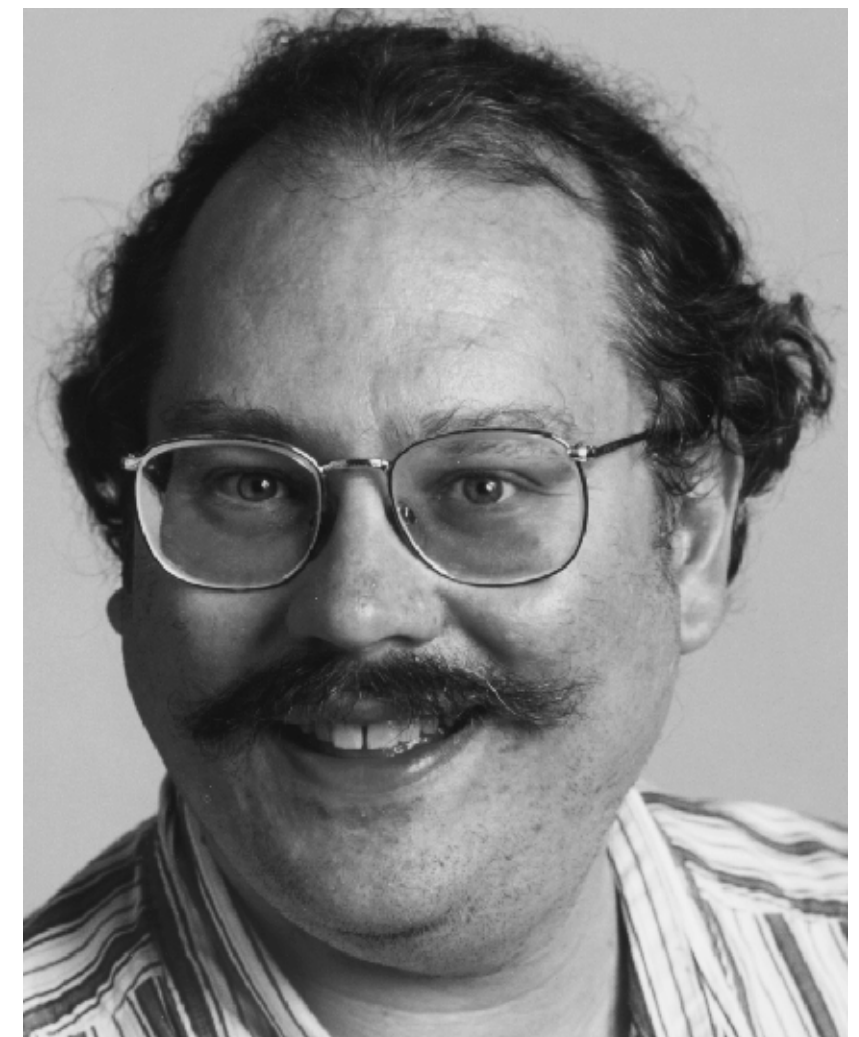


Quantum computers

$$N \text{ qubits: } d=2^N$$



quantum
parallelism



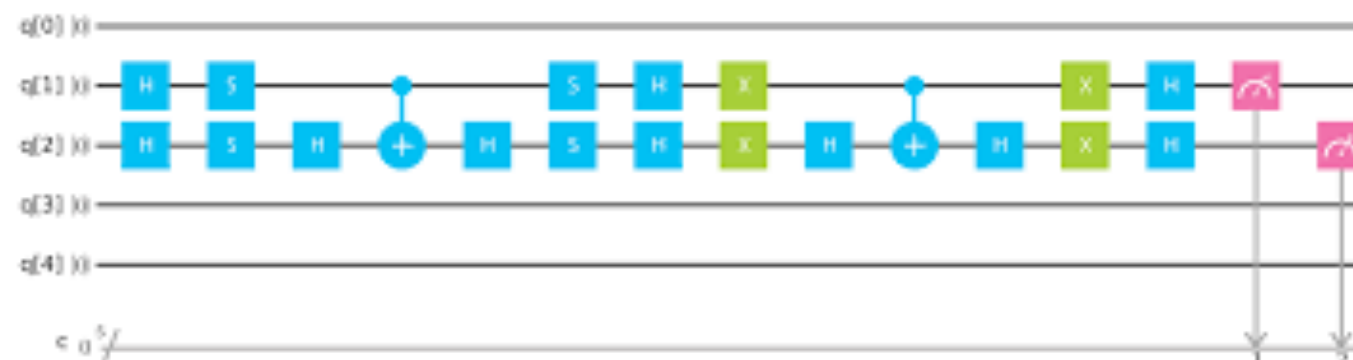
International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982

Simulating Physics with Computers

Richard P. Feynman

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

Received May 7, 1981



**A quantum computer can
break RSA encryption
and crack bitcoin**

QUANTUM INFORMATION: ORIGINS

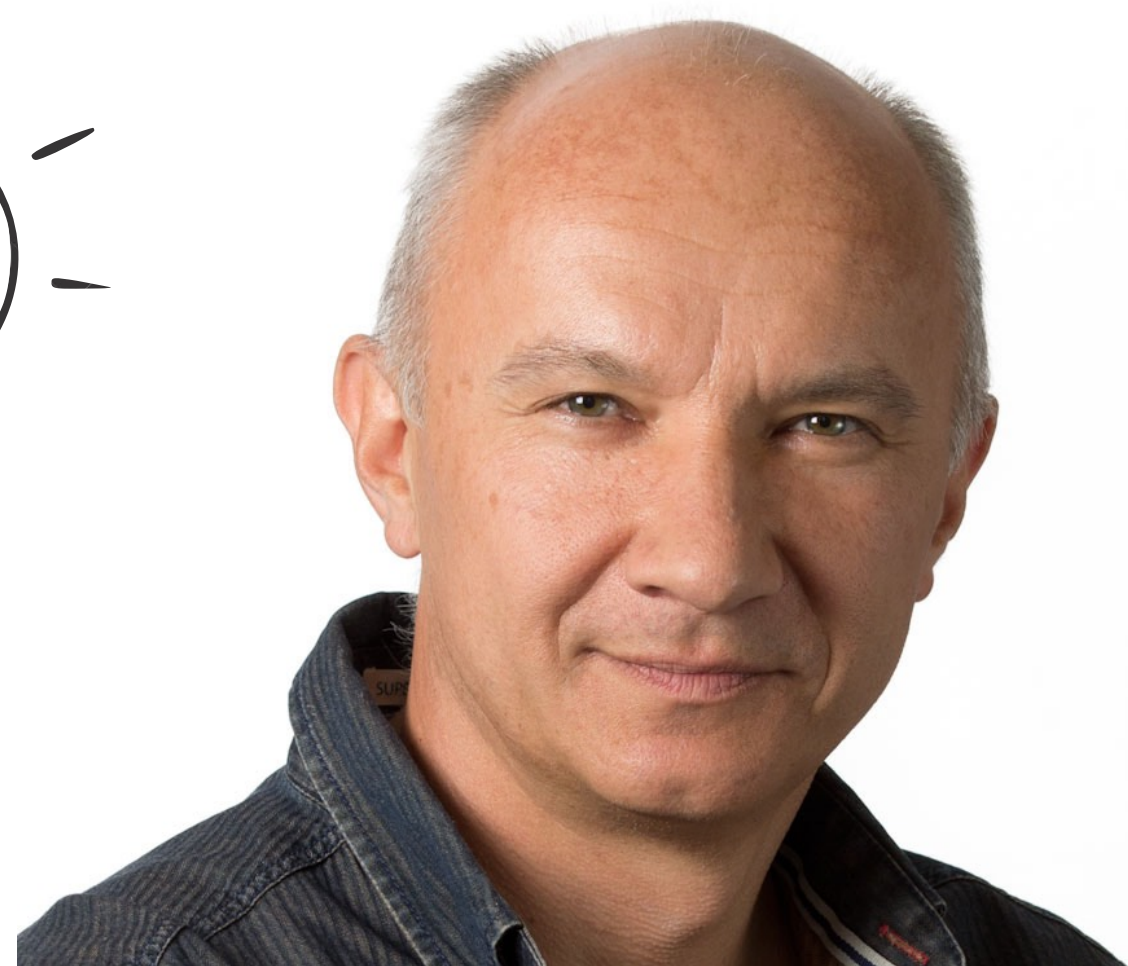
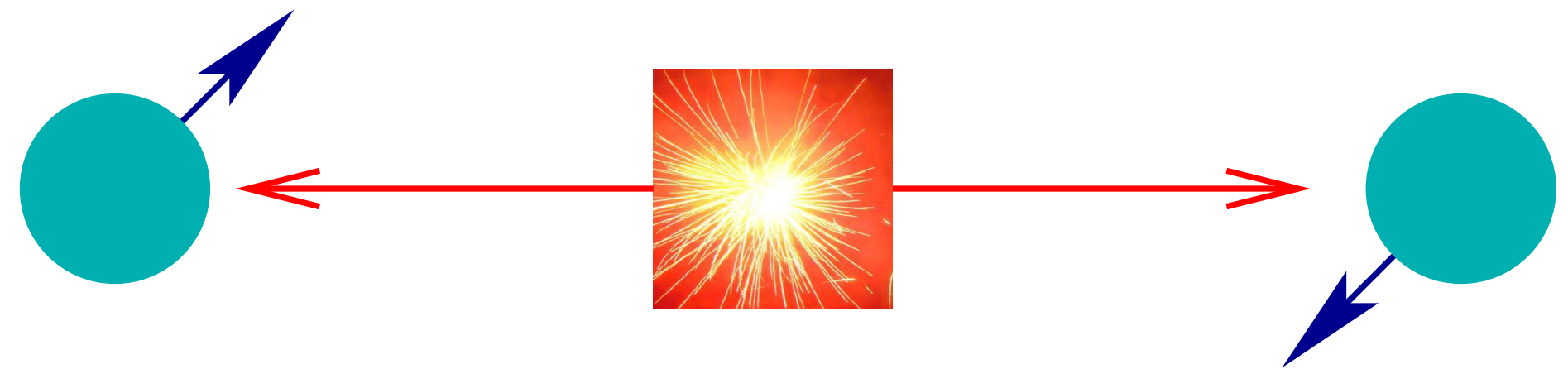


quantum cryptography

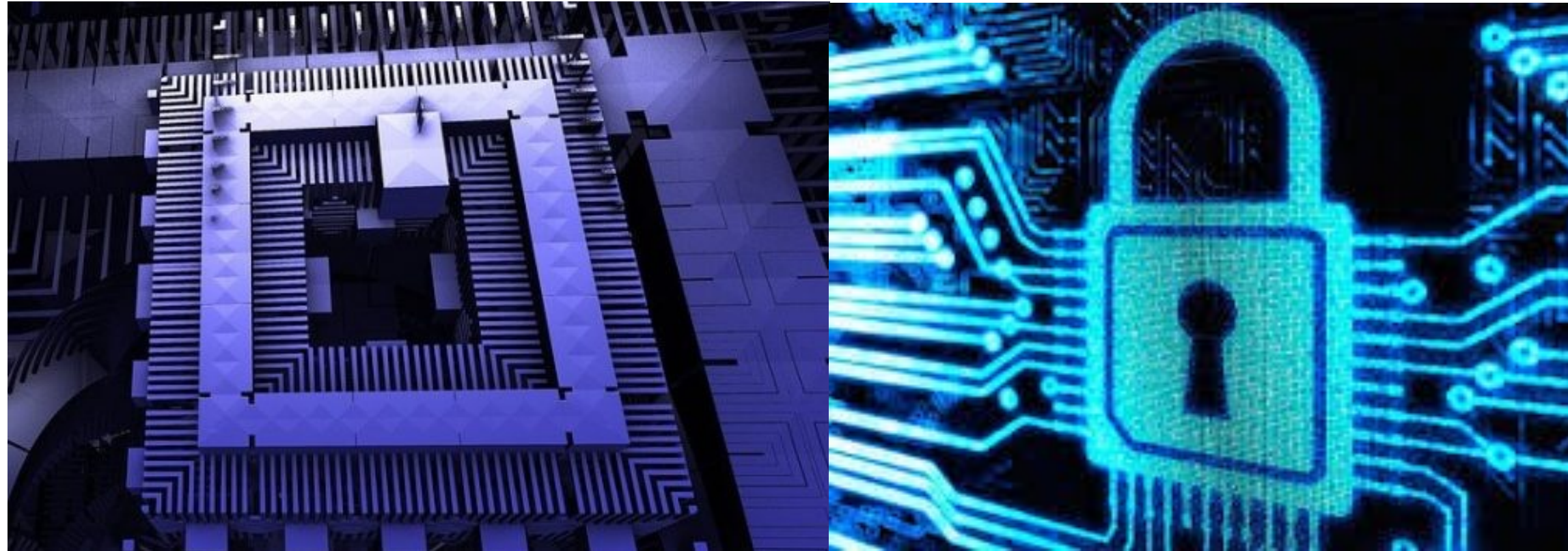


security by physical laws

no info without disturbance



QUANTUM TECHNOLOGIES



supercomputing

cryptography

randomness generation

sensor, imaging, measurements

simulations for research and development

efficiency & bandwidth of communications

D:wave
The Quantum Computing Company™

id Quantique

Biogen
AMGEN

Welcome To
Gnt Ltd
Biggest One!
Cross platform
With multitasking.
[Download Now](#)

rigetti

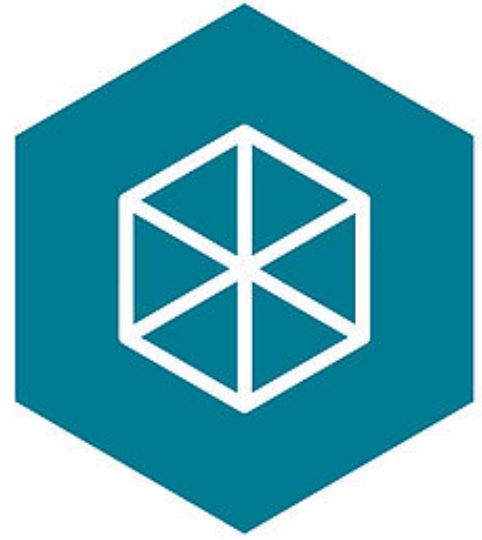
Google

IBM

intel

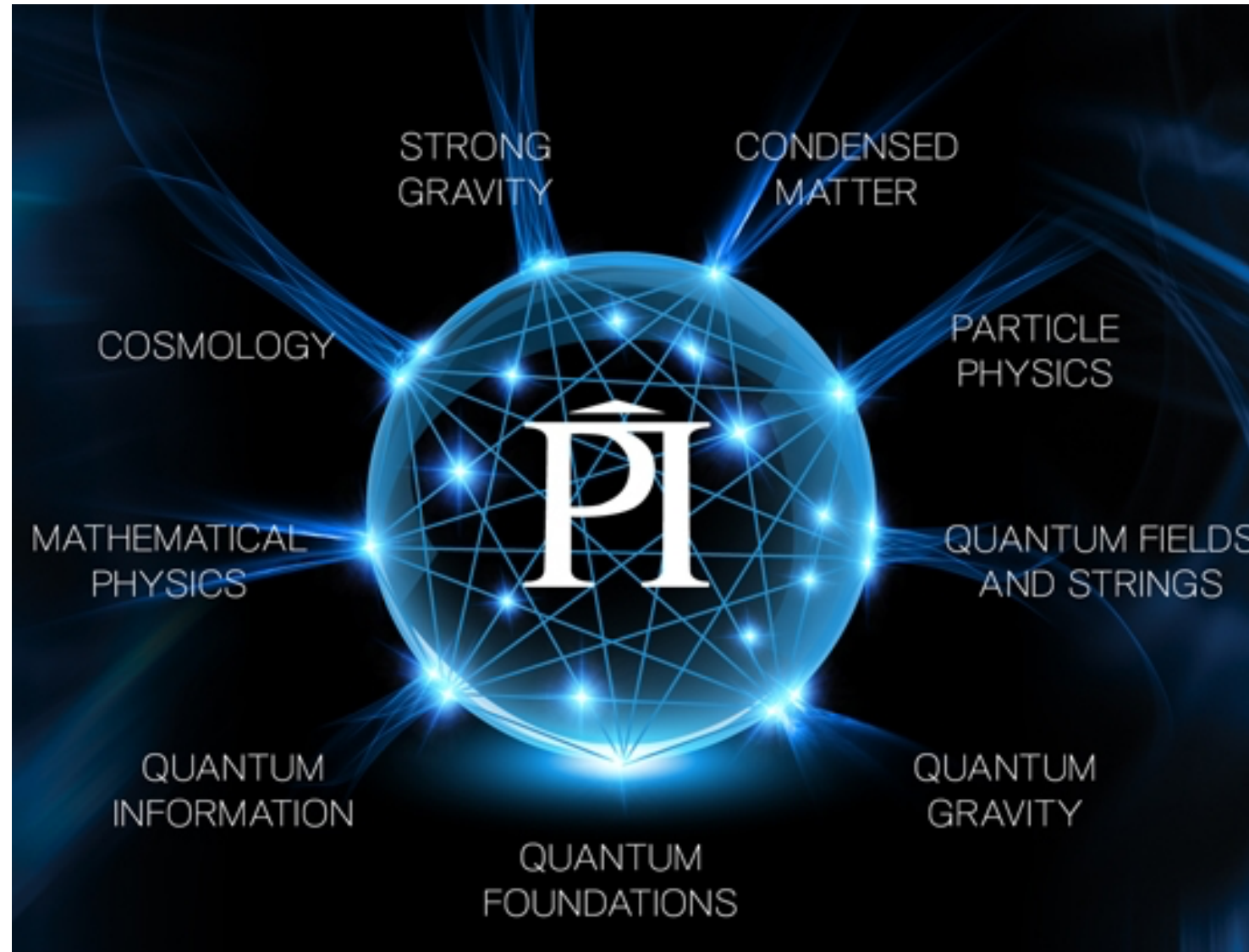
Microsoft

QUANTUM INFORMATION AND FOUNDATIONS



VCQ

Vienna Center for Quantum
Science and Technology



INSTITUTE FOR QUANTUM INFORMATION AND MATTER



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](#)

Nuove tecnologie

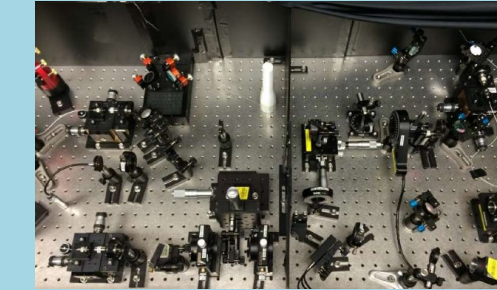
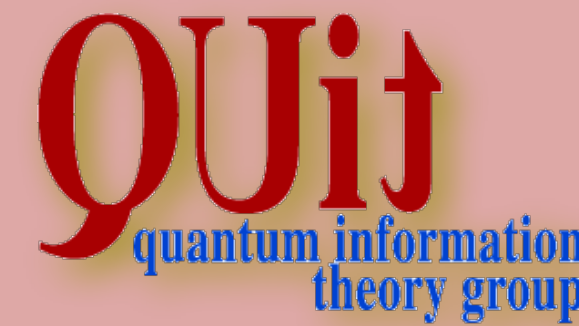


Ricerca accademica su quantum information and foundations

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

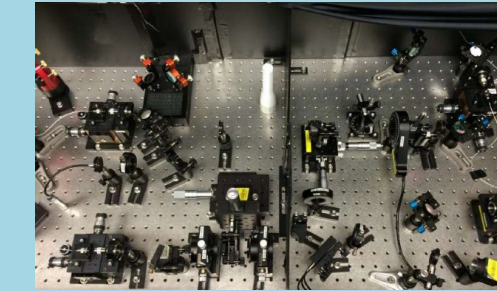
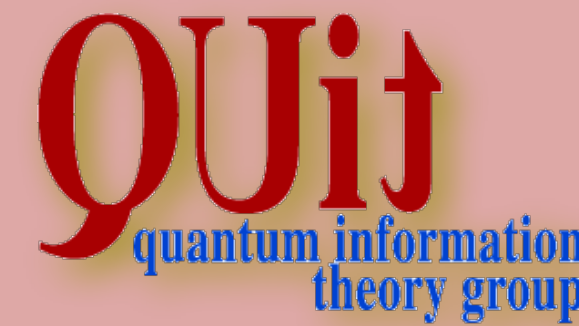
1 insegnamento scelto dal seguente elenco

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

FISICA DELLE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

12 INSEGNAMENTI

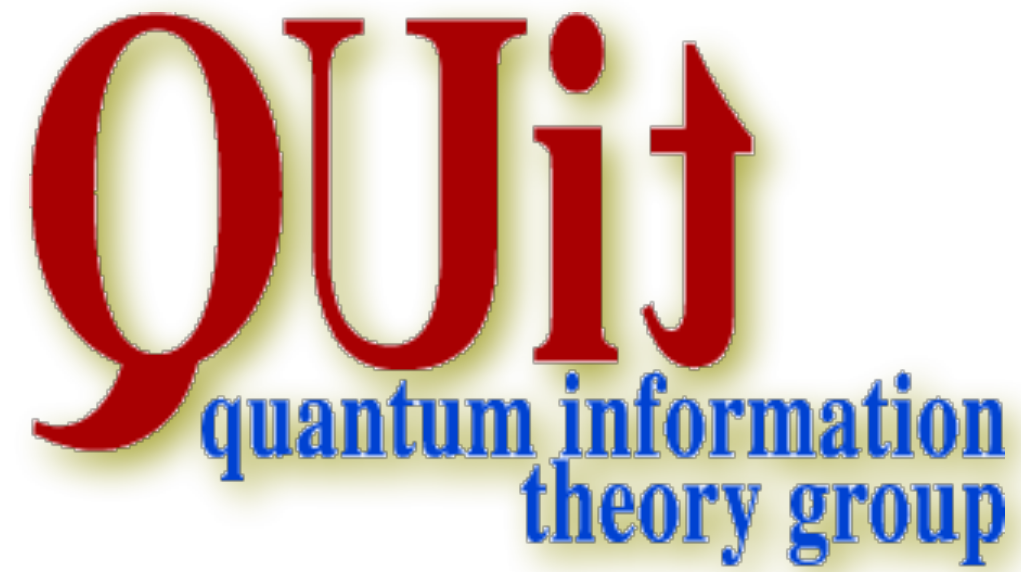
8 insegnamenti dal seguente elenco,
di cui **1** in FIS/01, **3** di FIS/02 e **4** di FIS/03



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.



Corsi

Fondamenti della Meccanica Quantistica
 Fisica Quantistica della Computazione
 Teoria Fisica dell'Informazione
 Ottica Quantistica
 Termodinamica Quantistica

Linee di ricerca

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



Leopoldo Poggiali



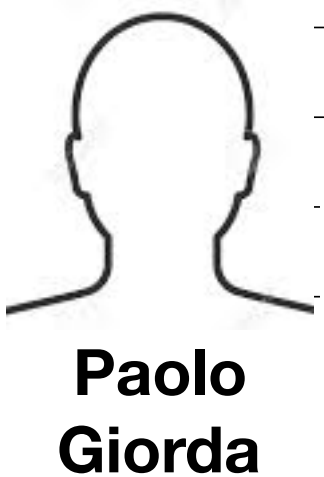
Nicola Mosco



Marco Erba



Giacomo Mauro D'Ariano



Paolo Giorda



Alessandro Tosini



Alessandro Bisio



Alberto Riccardi



Paolo Perinotti



Massimiliano Sacchi



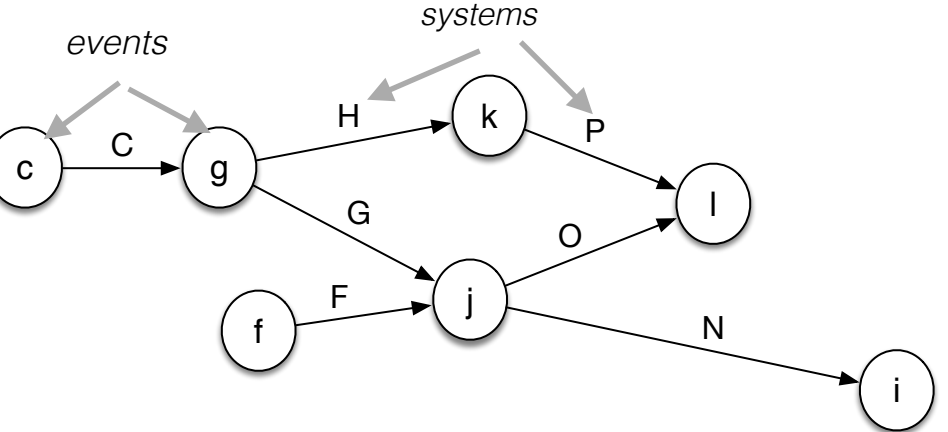
Lorenzo Maccone



Chiara Macchiavello

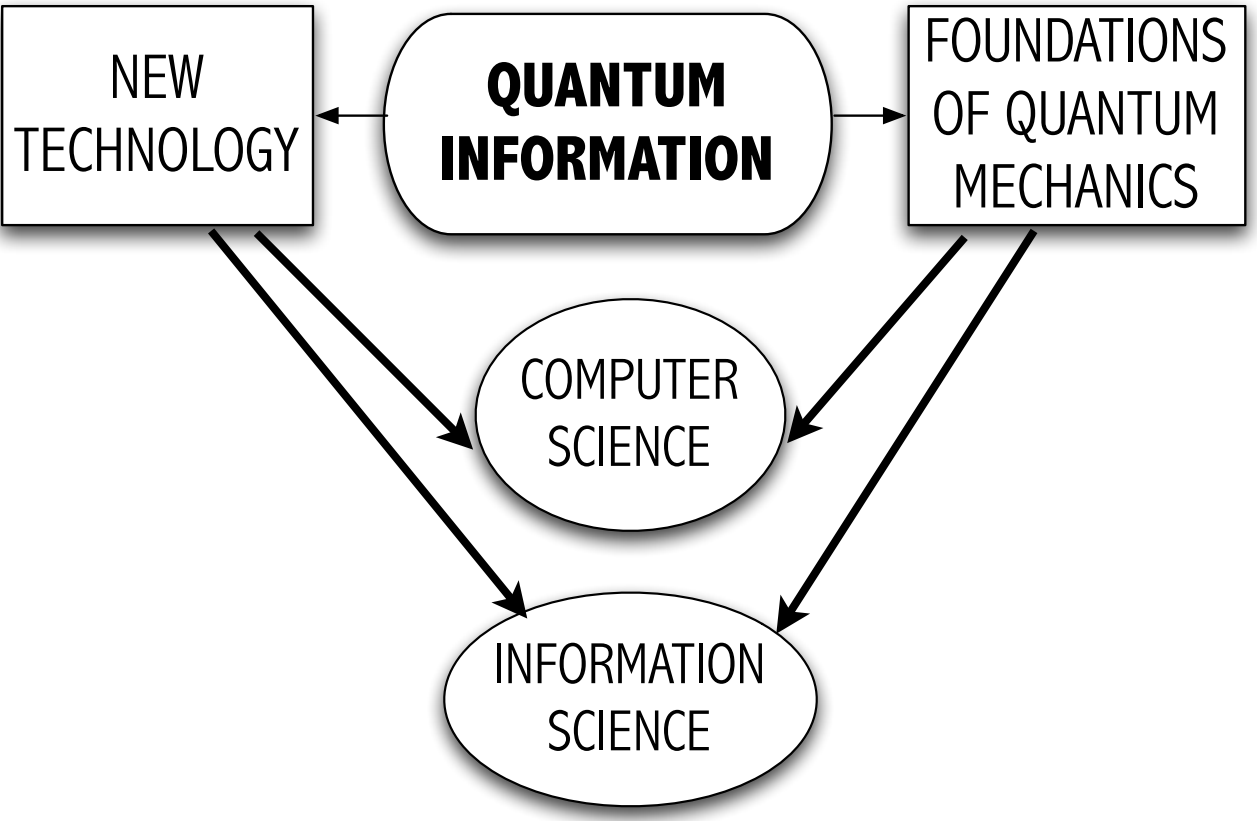
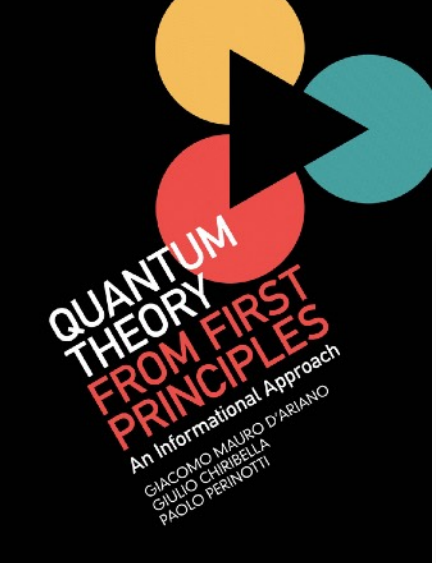
FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA

Struttura matematica della teoria (OPT)



- causalità
- discriminabilità locale
- discriminabilità perfetta
- atomicità della composizione
- purificazione
- compressione perfetta

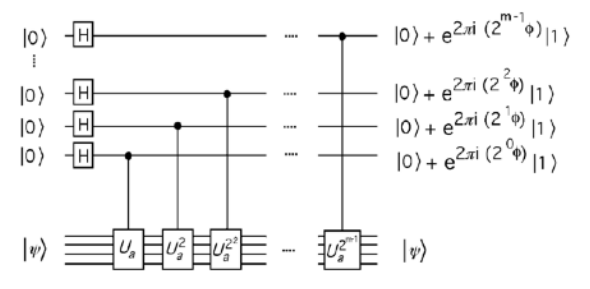
Stati,effetti,entanglement, quantum operations, Choi-Jamiolkowski, purificazione di quantum operations e strumenti, no-cloning, no-programming, no-signaling, no information without disturbance, stati steering e fedeli, tomografia di processi e stati, teletrasporto, quantum error correction



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

Teorie dell'informazione classica e quantistica

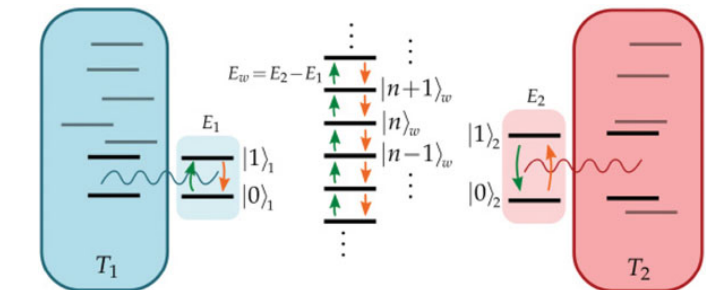
- Definizione e quantificazione dell'informazione
- Bit/qubit e entropie di Shannon/von Neumann
- Compressione
- Codifica per canali rumorosi
- Informazione classica su canali quantistici
- Informazione quantistica e entanglement
- Catene di Markov e data processing
- Rumore e flussi di entropia



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 di Fisica Contemporanea

OTTICA QUANTISTICA

Tecniche avanzate di meccanica quantistica



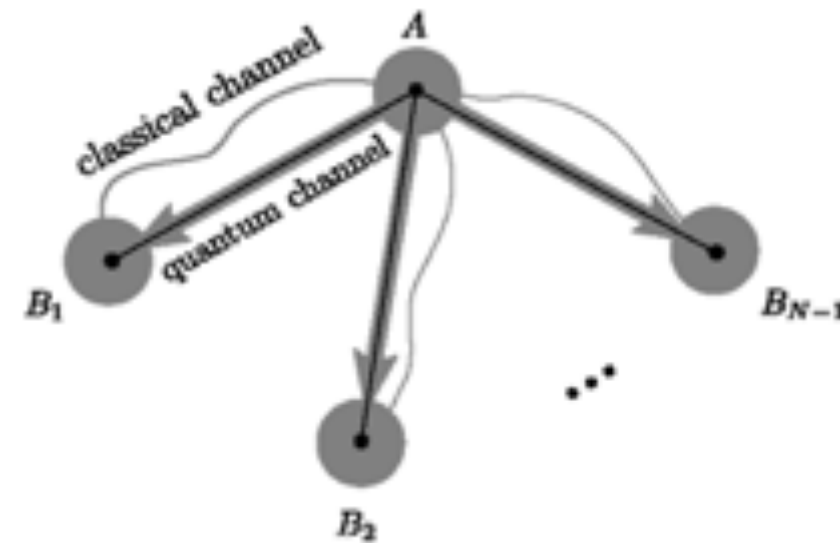
Teoria dell'ottica quantistica, dei sistemi quantistici aperti, della stima Applicazioni



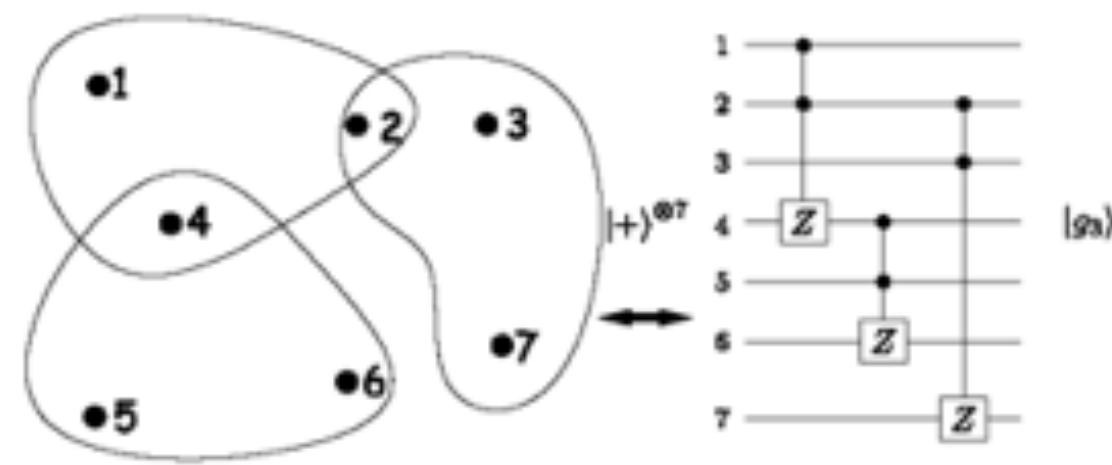
- Acquisizione di "intuizione fisica" della teoria quantistica attraverso l'ottica.
- Preparazione alla ricerca (working knowledge):
- Tecniche di calcolo e di simulazione,
- Analisi e descrizione matematica di devices sperimentali
- Teoria dei sistemi quantistici aperti

QUANTUM INFORMATION

Crittografia quantistica a molti utenti



Metodi di rivelazione di entanglement

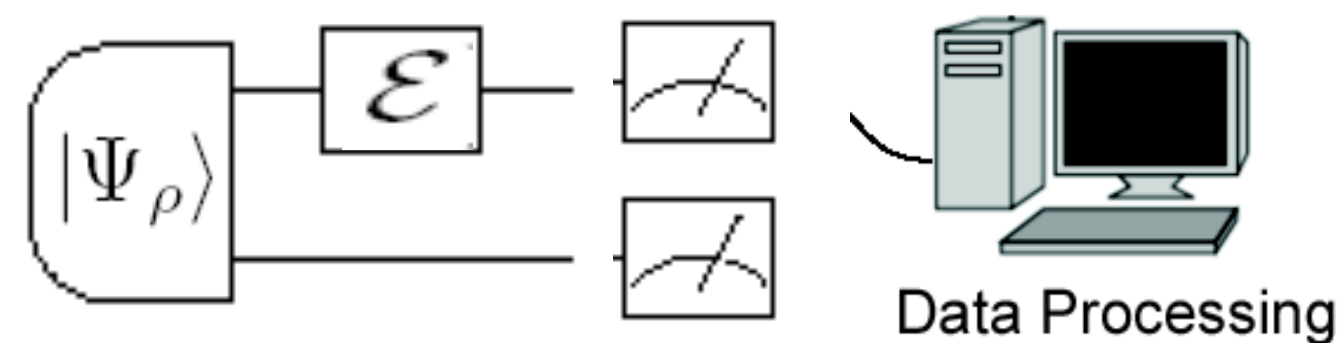


Stati ipergrafi negli algoritmi quantistici e nelle reti neurali

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

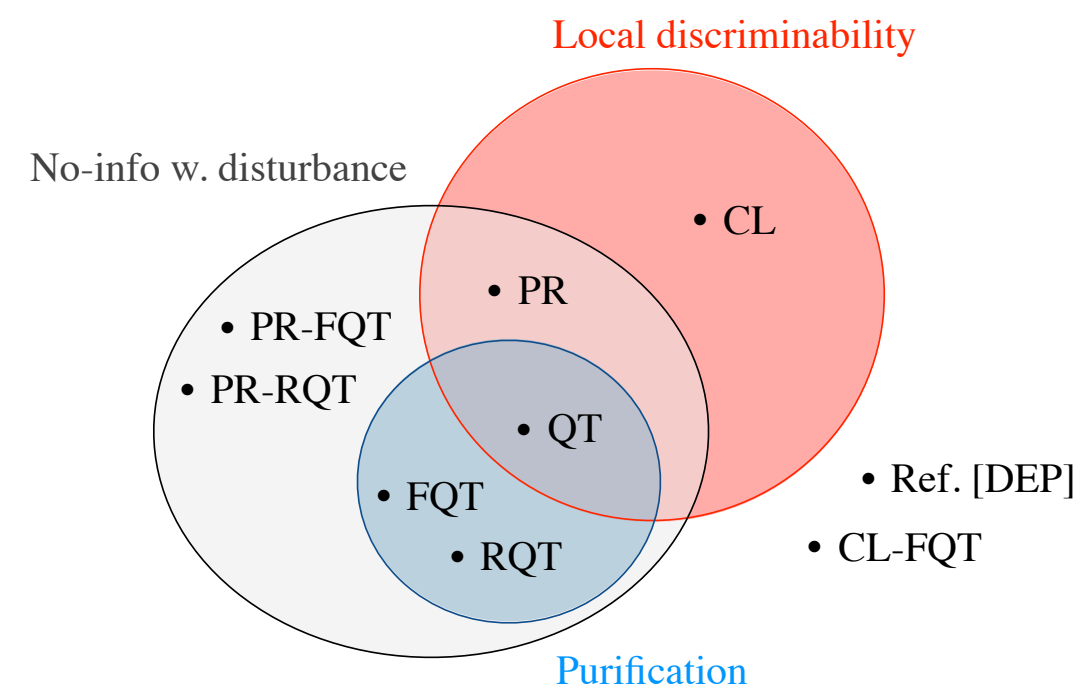
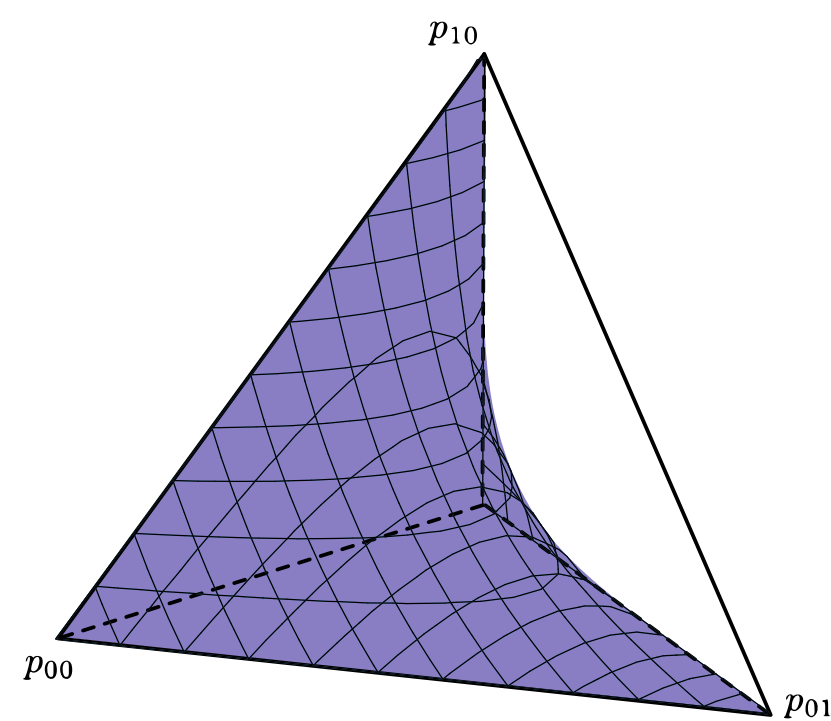
Il tempo in meccanica quantistica



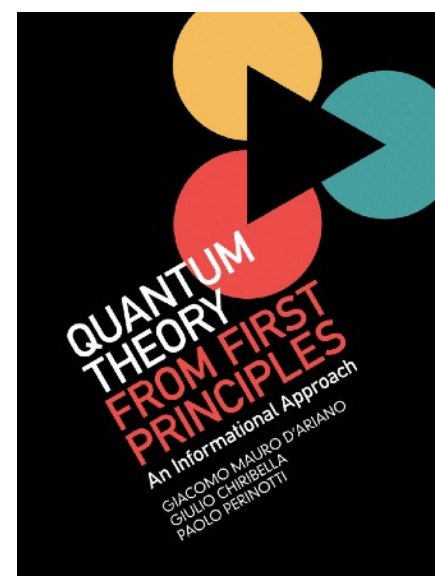
QUANTUM FOUNDATIONS

OPT

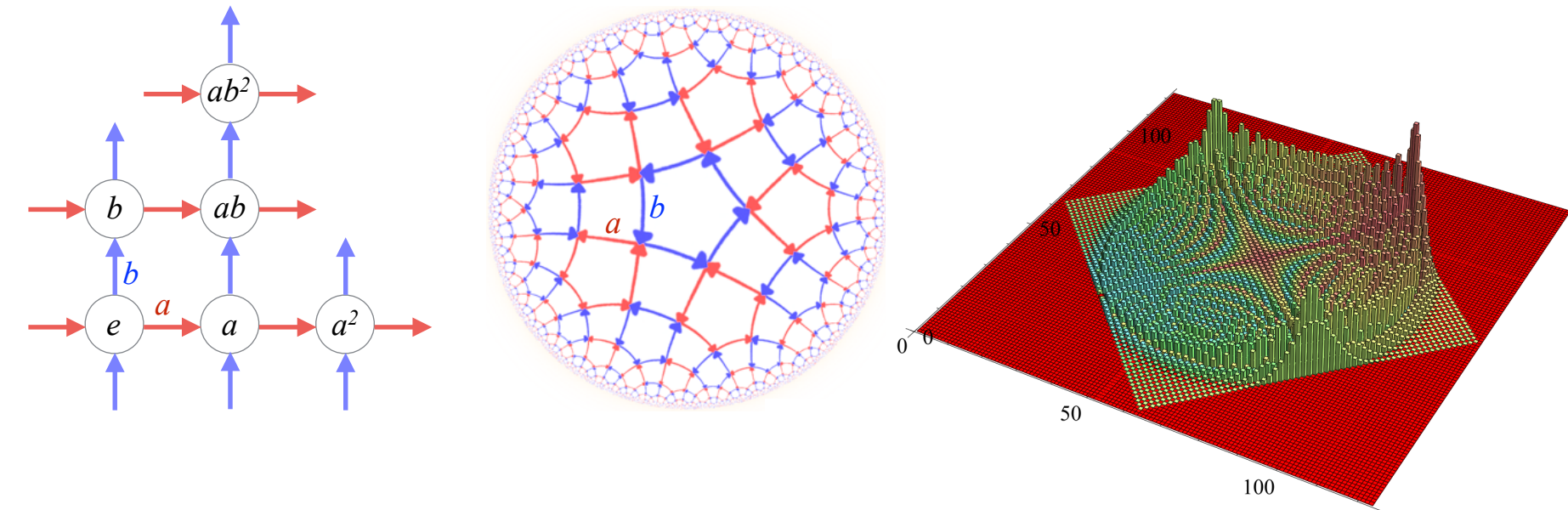
	Caus.	Perf. disc.	Loc. discr.	n-loc. discr.	At. par. comp.	At. seq. comp.	Compr.	\exists Purification	$\exists!$ Purification	NIWD
QT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
FQT	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
RQT	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NSQT	?	?	✗	✗	?	?	?	?	?	?
PR	✓	?	✓	✓	✓	?	✗	✗	✗	✓
DPR	✓	?	✓	✓	✓	?	✗	✗	✗	✓
HPR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



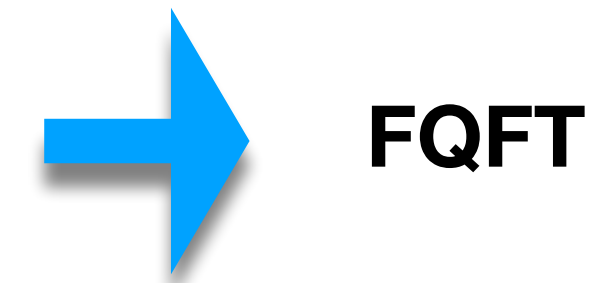
Teorie alternative (fermionica, reale, classica nonlocale, ... per testare indipendenza logica dei principi, mondi possibili, e regole generali di teoria dell'informazione (no-information without disturbance...) e proprietà dell'informazione e del suo processing.



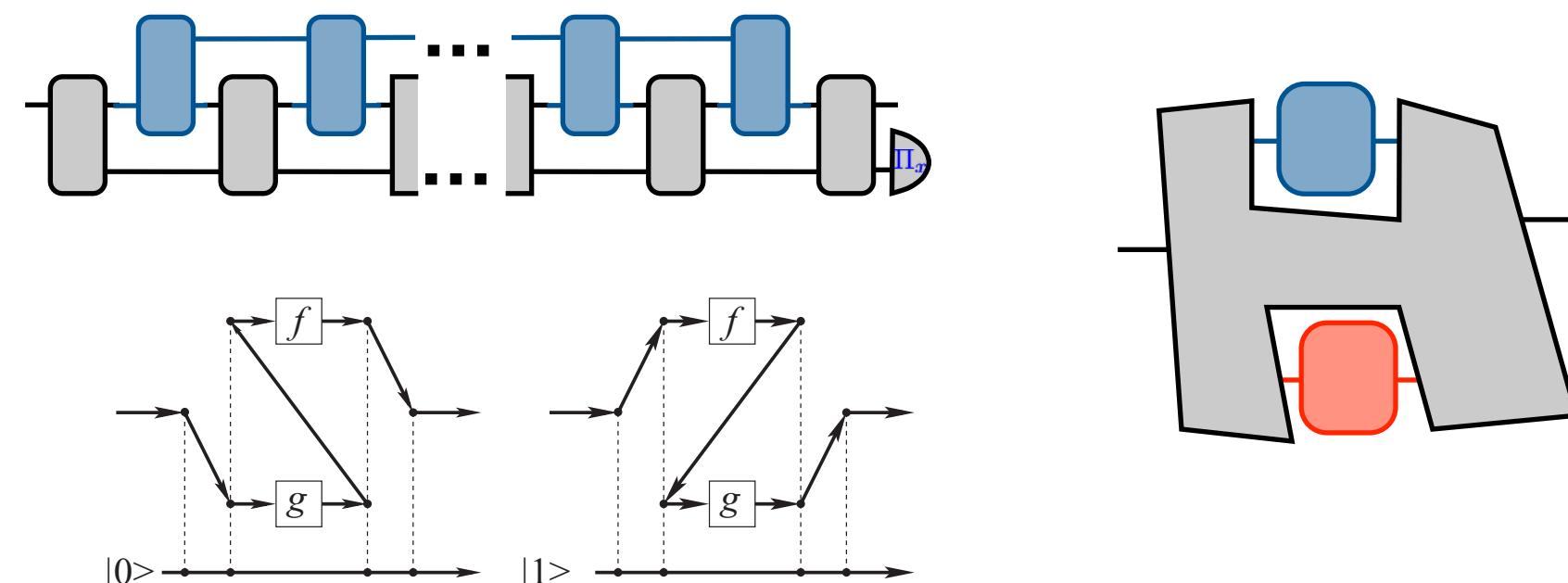
Automati cellulari e teoria di campo



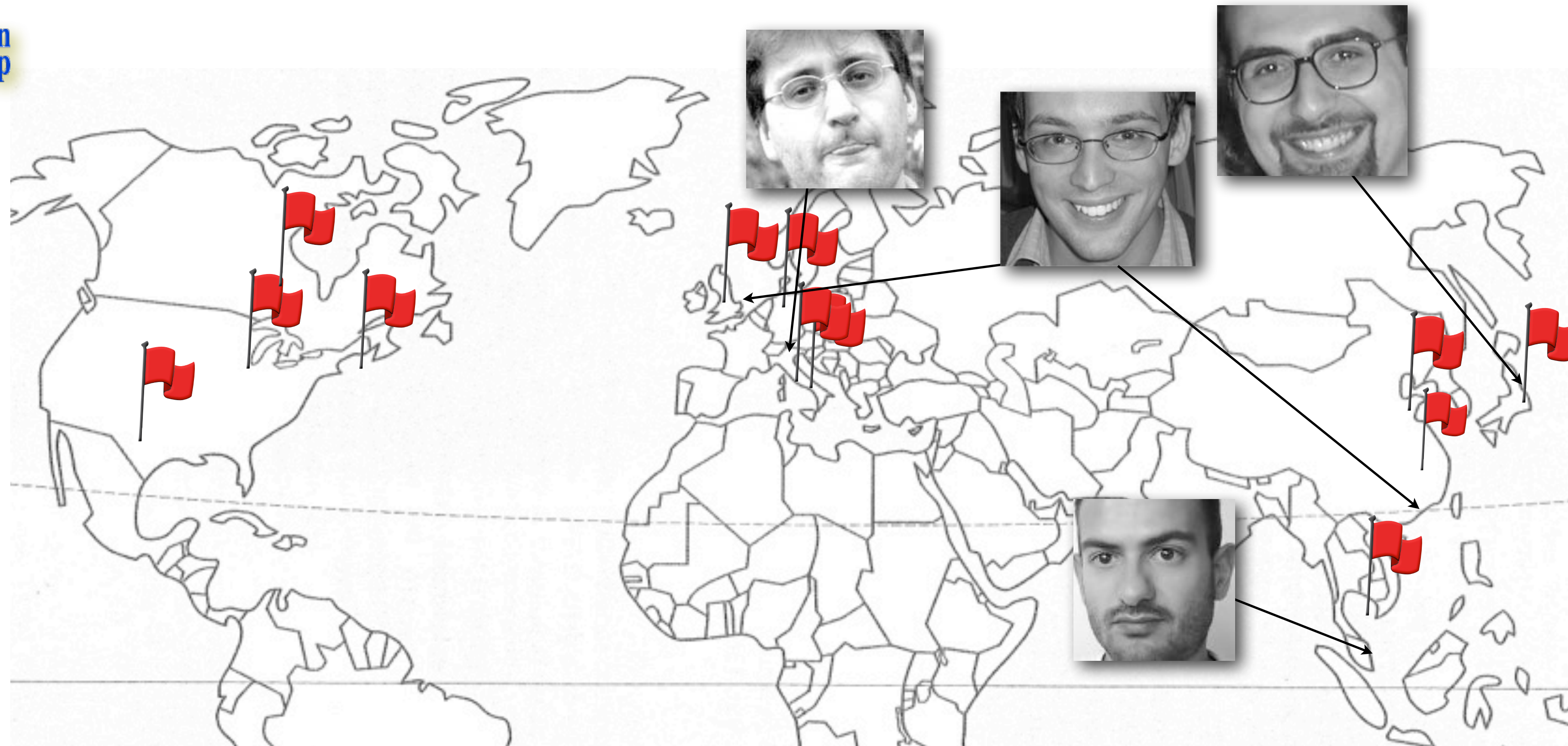
Legge fisica come algoritmo
Località, omogeneità, ...
L'algoritmo con complessità minima



Teorie di ordine superiore

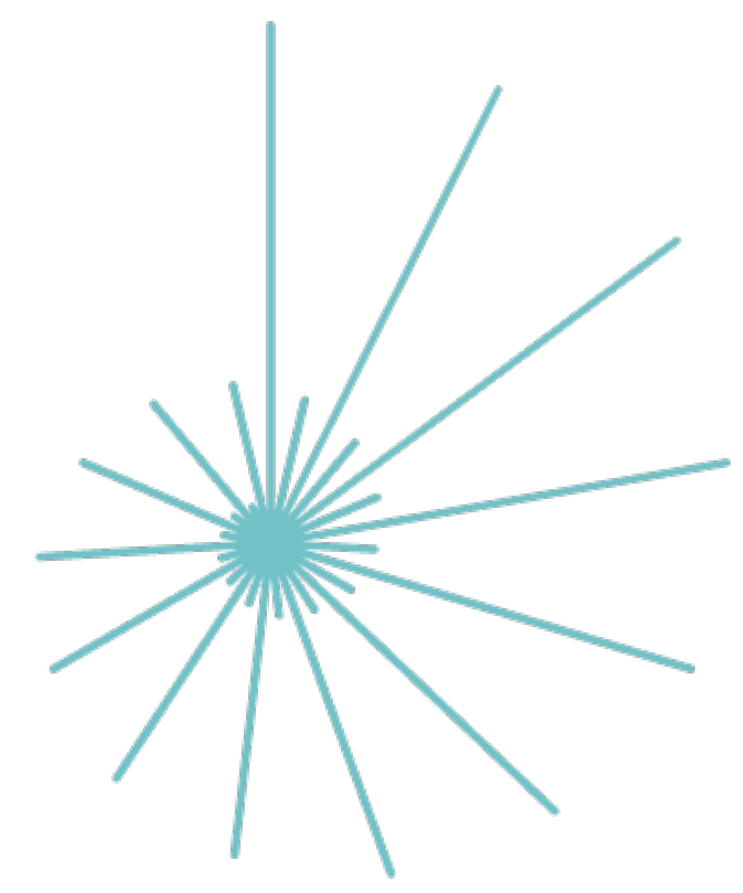
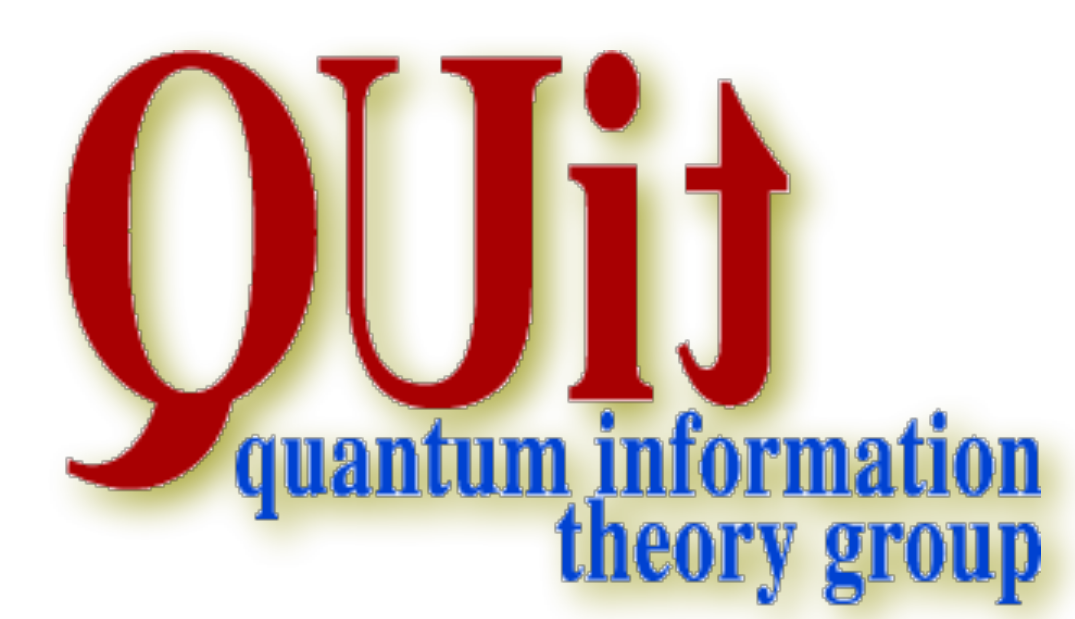


COLLABORATIONS



- Northwestern Chicago (GMD)
- Vienna (GMD, PP)
- MIT Boston (LM)
- Hong Kong (GMD, PP)
- Nagoya (GMD, PP)
- Singapore (CM)
- Oxford, Cambridge (GMD, PP, CM)

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



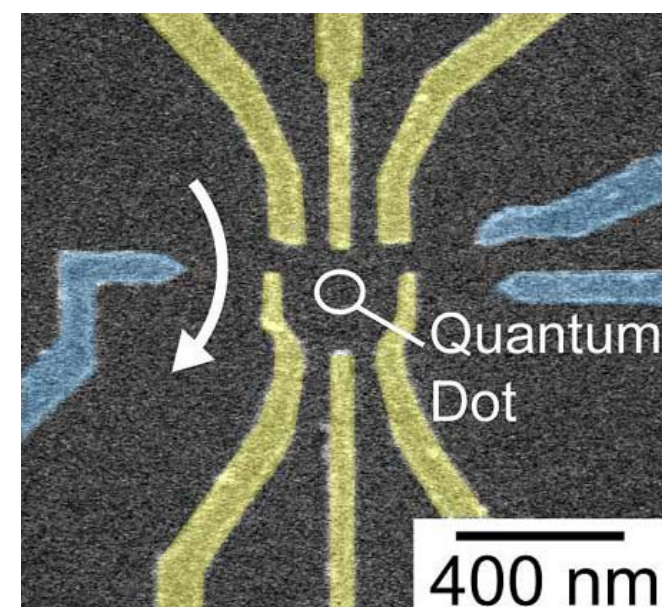
JOHN TEMPLETON FOUNDATION



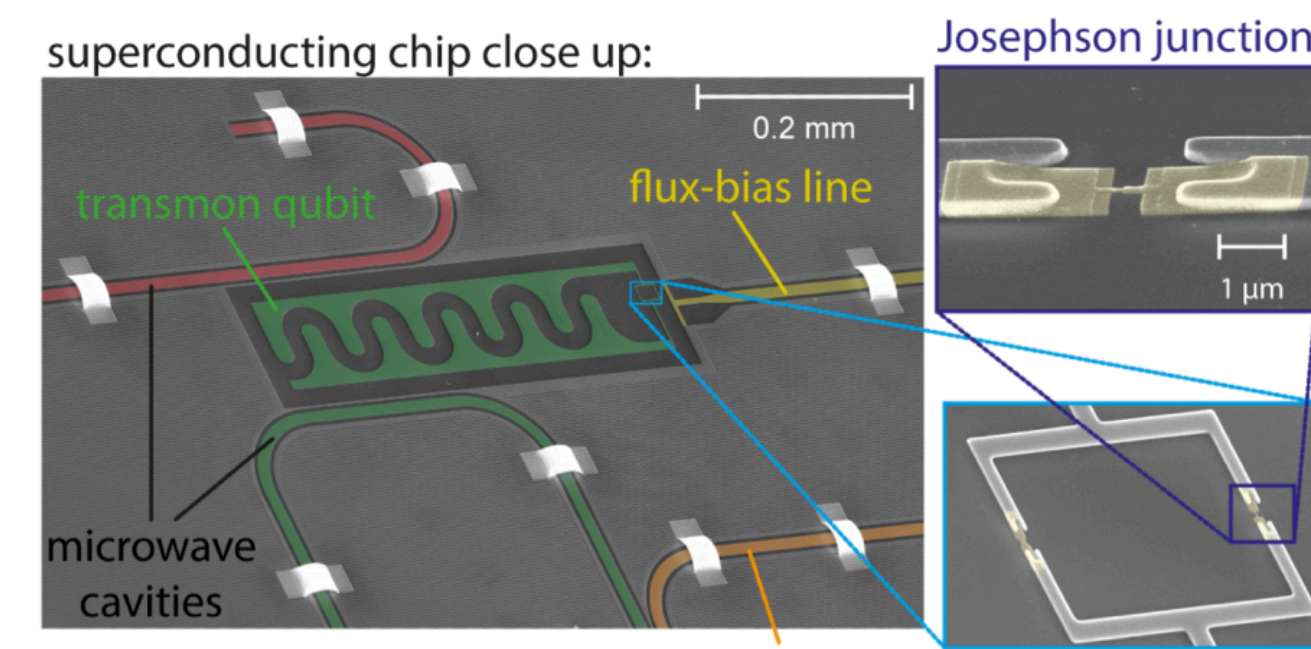
NANOSTRUTTURE QUANTISTICHE

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

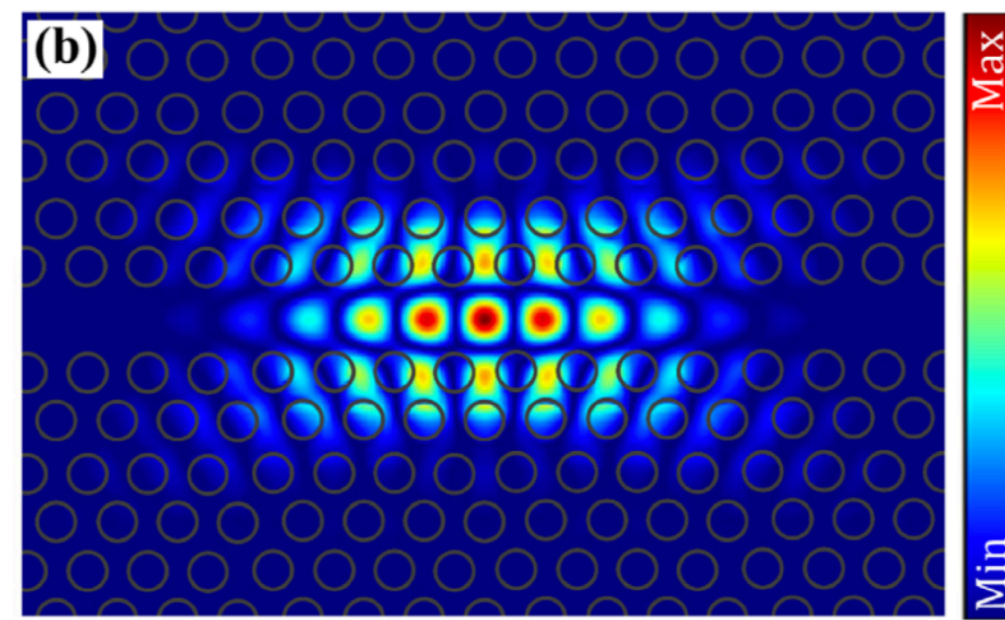


Es. Qubit a superconduttore

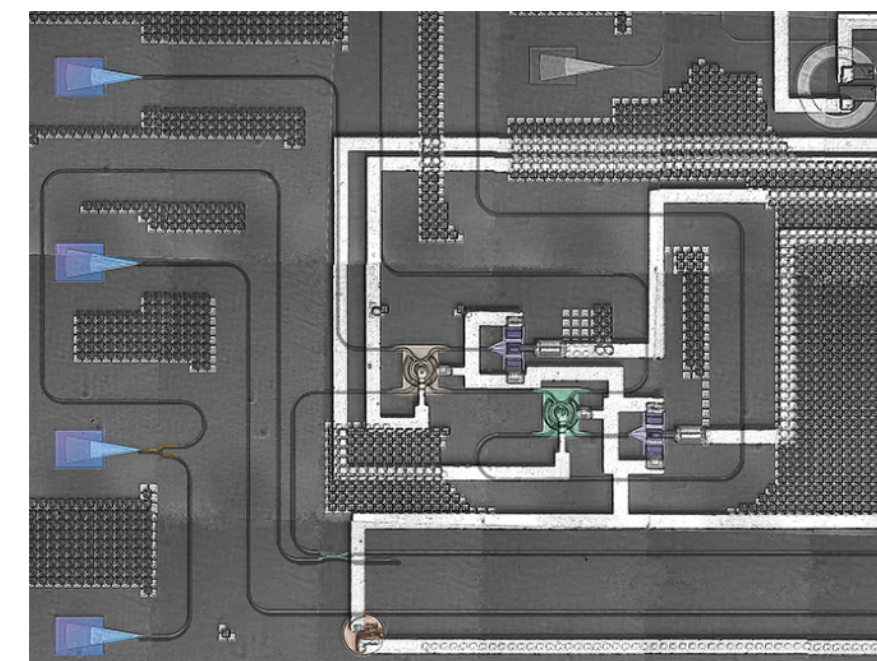
FOTONICA

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

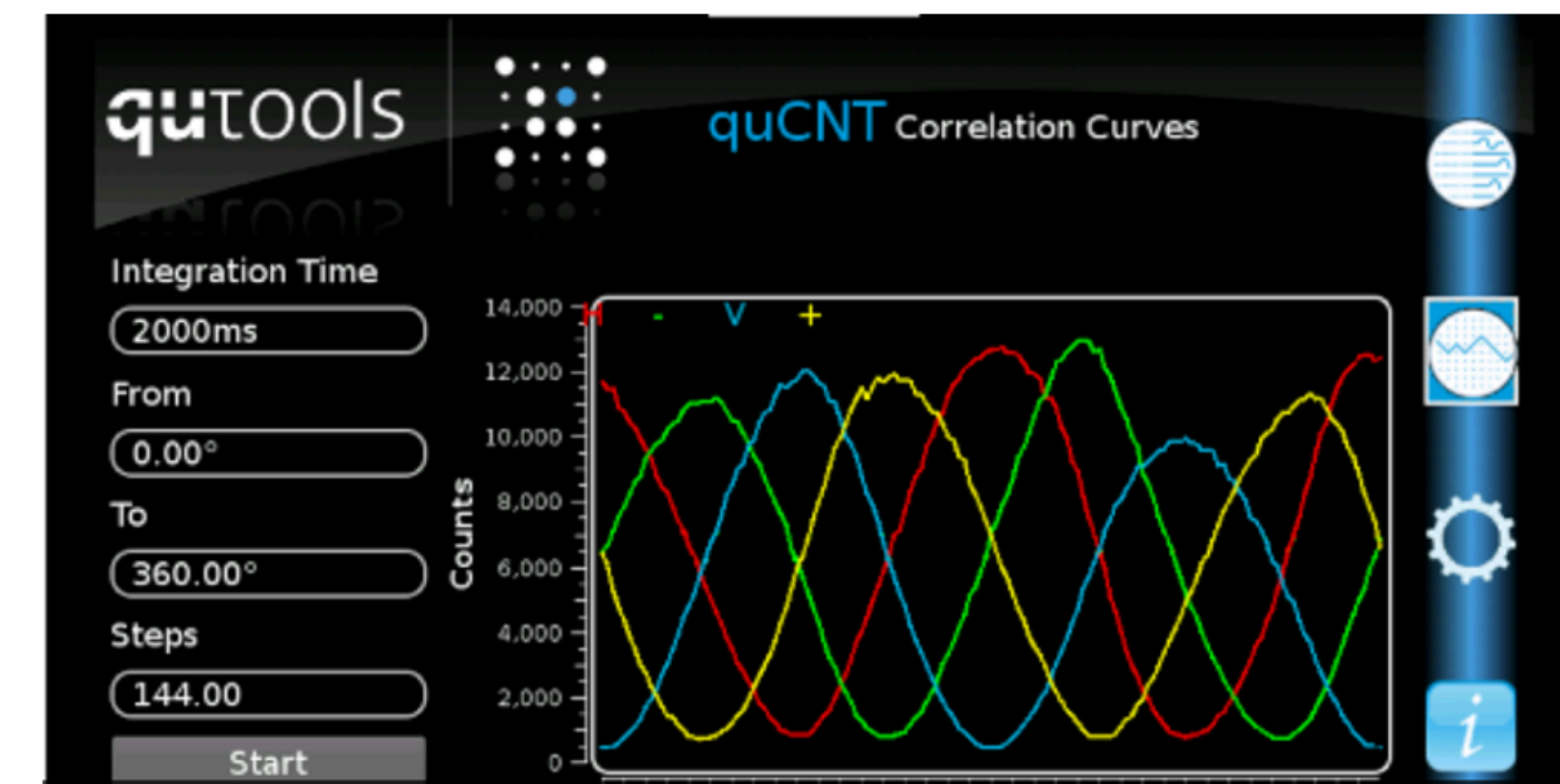
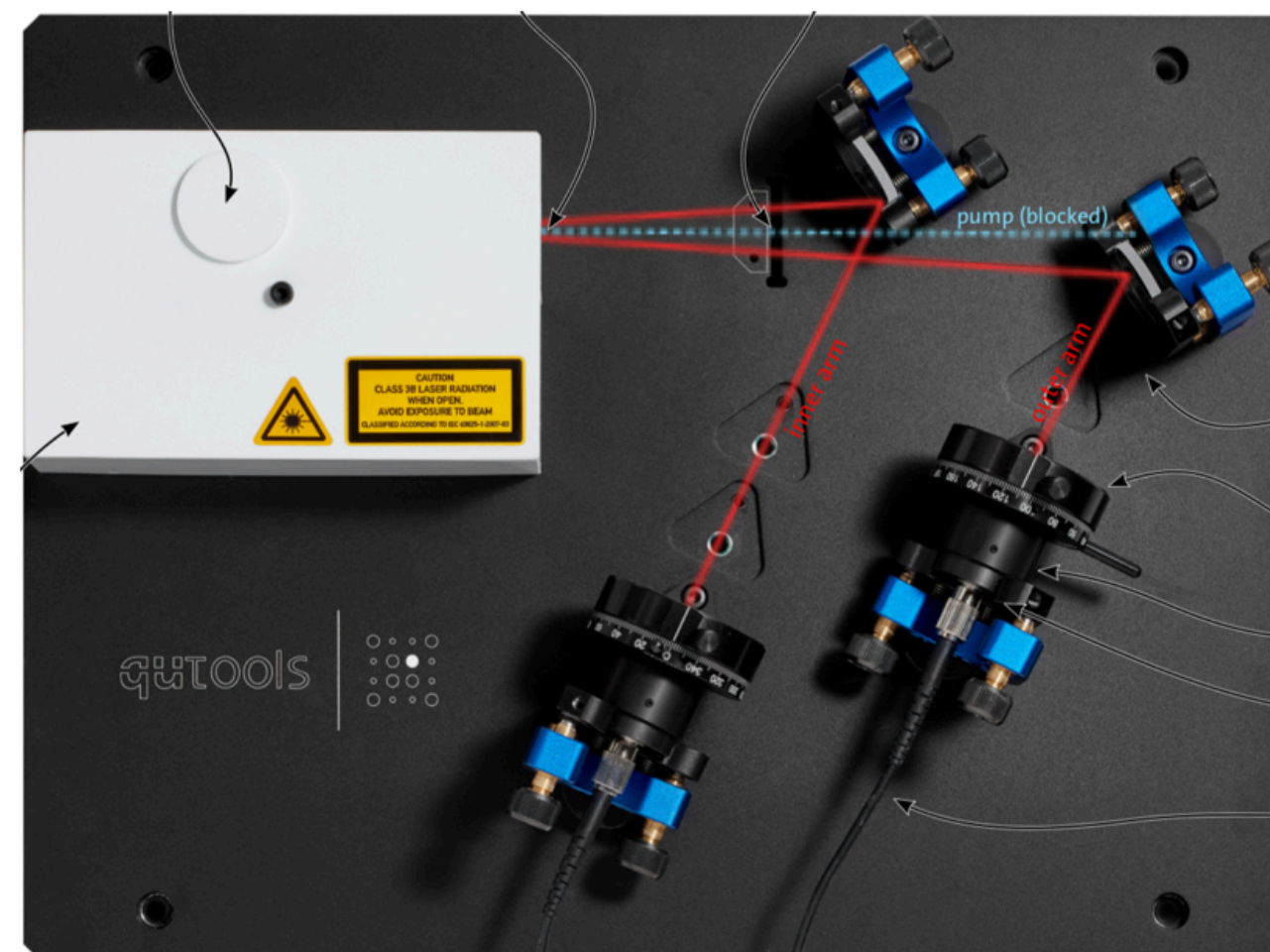
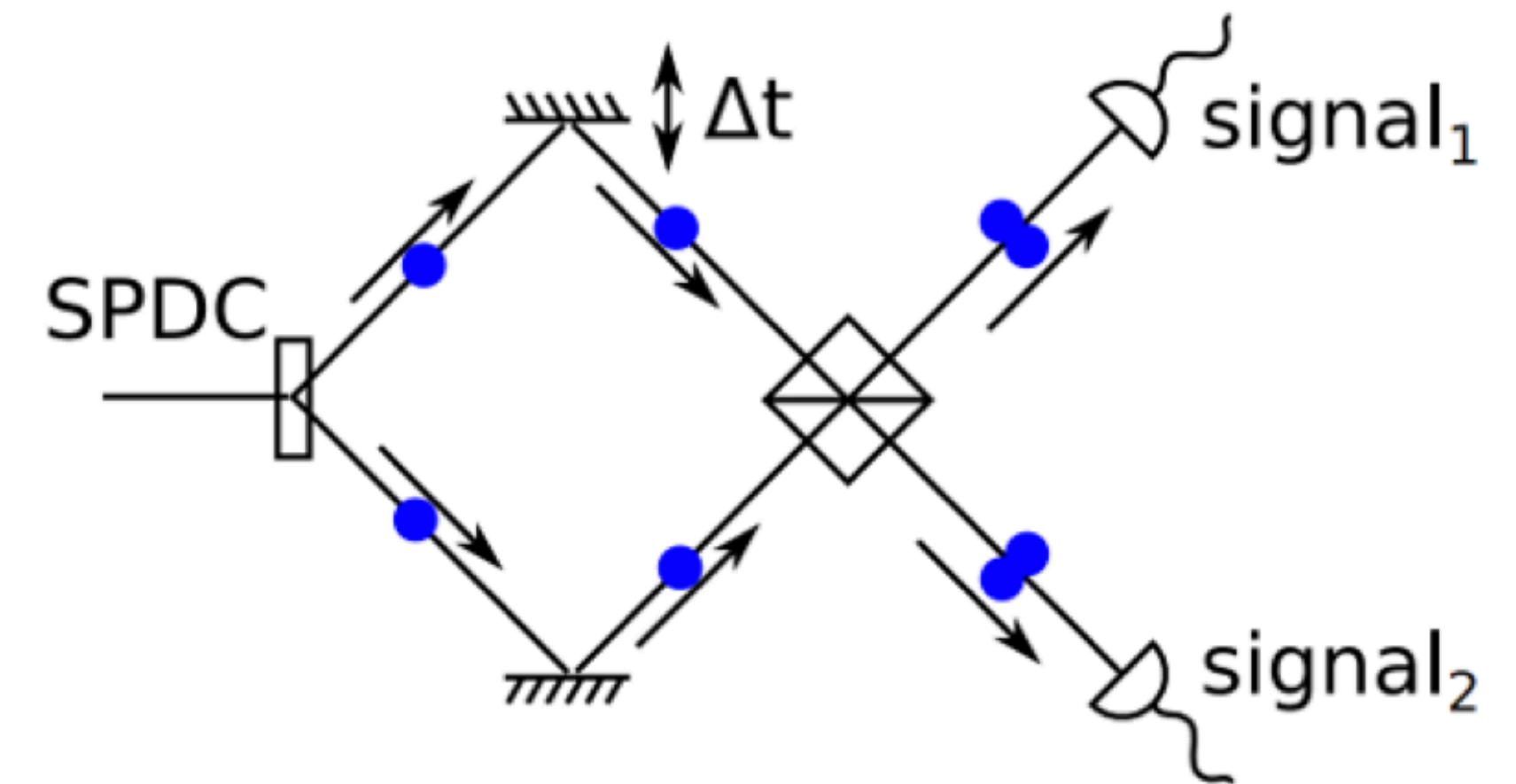


Es. Fotonica quantistica integrata

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



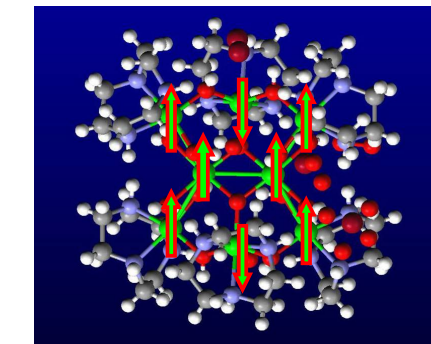
RICERCHE CONNESSE

Teoria

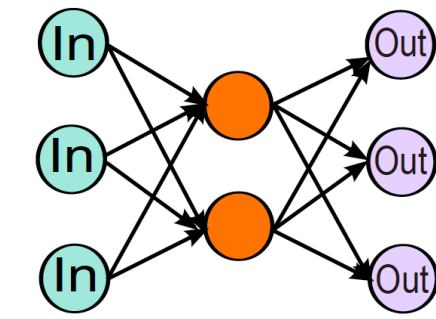


Dario Gerace

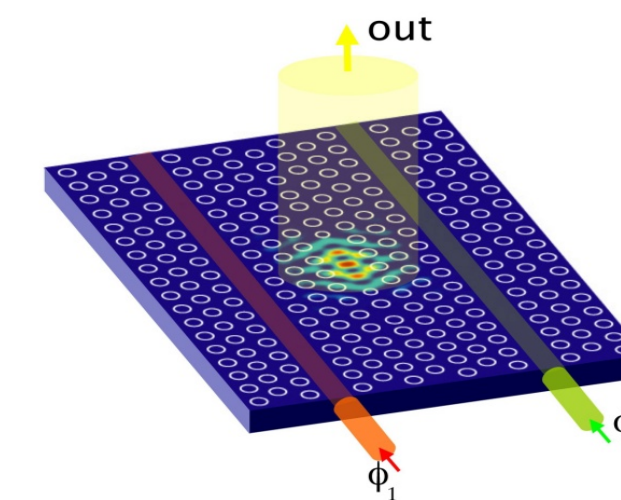
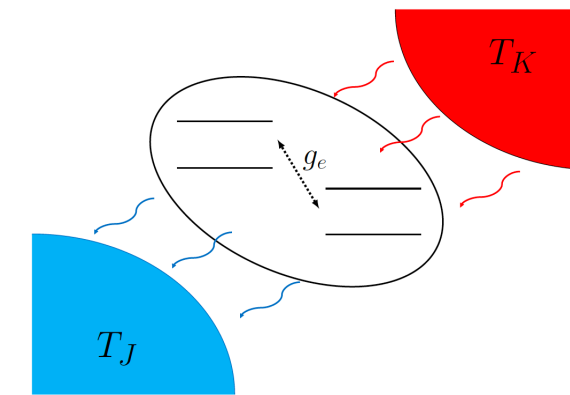
- Simulazioni quantistiche di sistemi complessi: algoritmi quantistici e cloud quantum computing
- Termodinamica quantistica: entanglement ed entropia in nanostrutture quantistiche



Molecole magnetiche

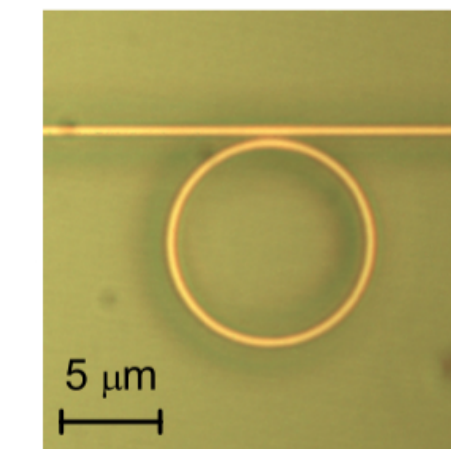


Reti neurali artificiali



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

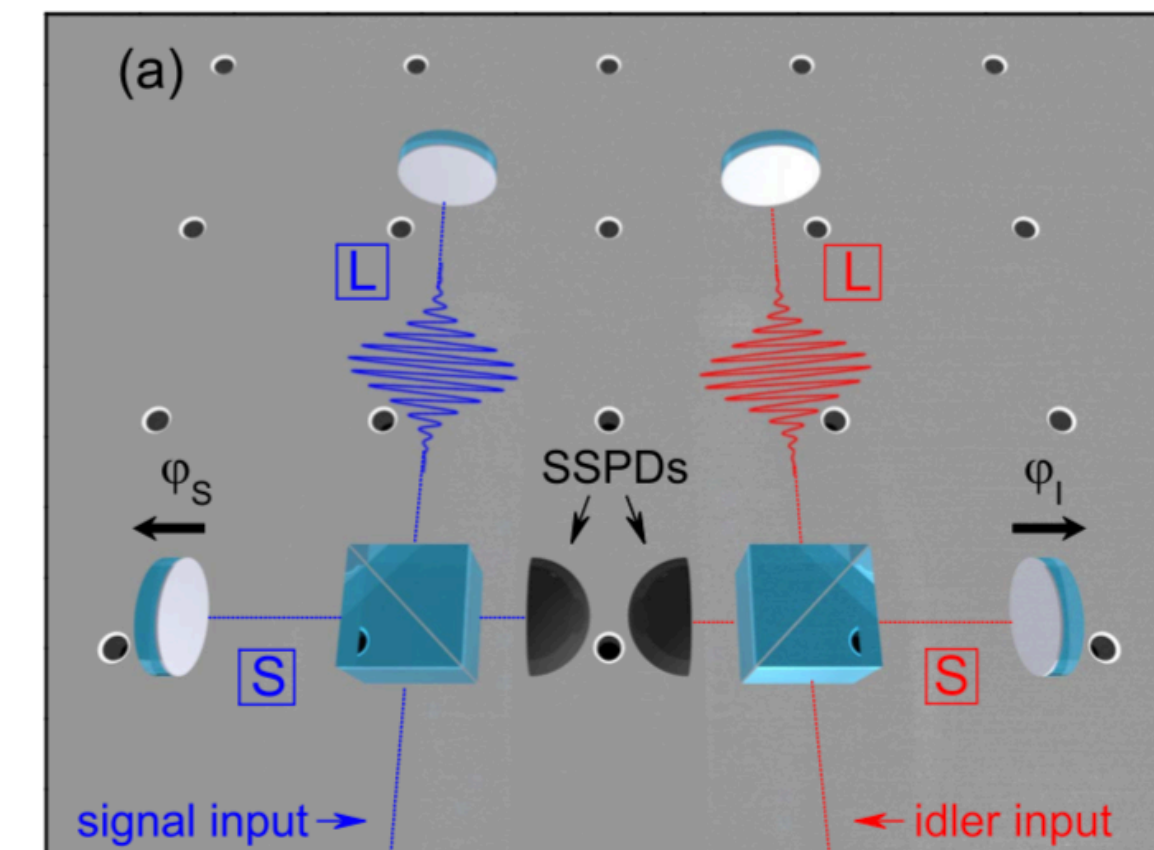
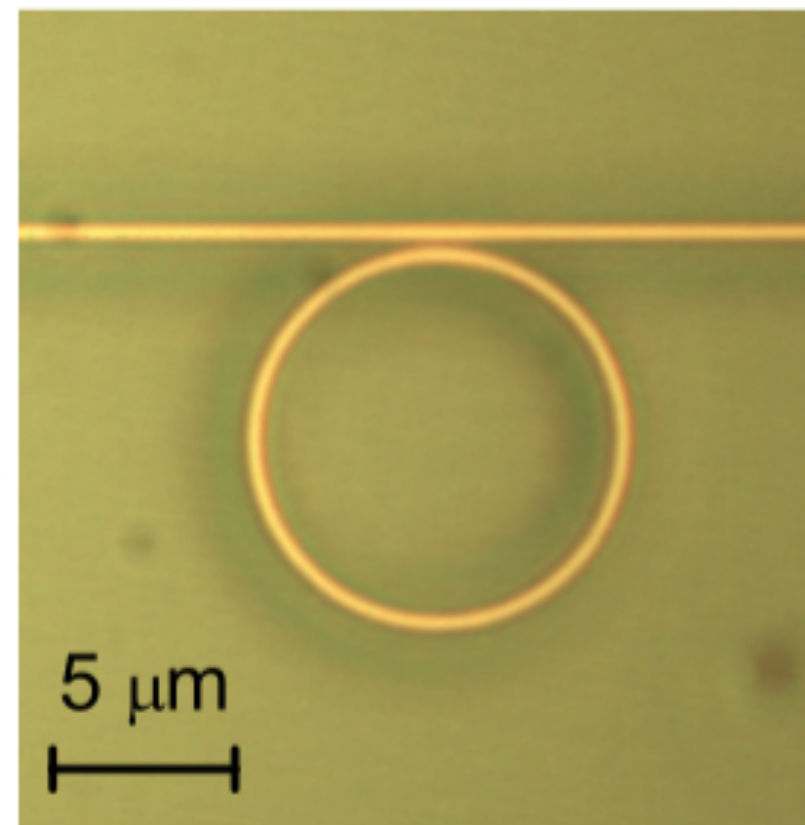
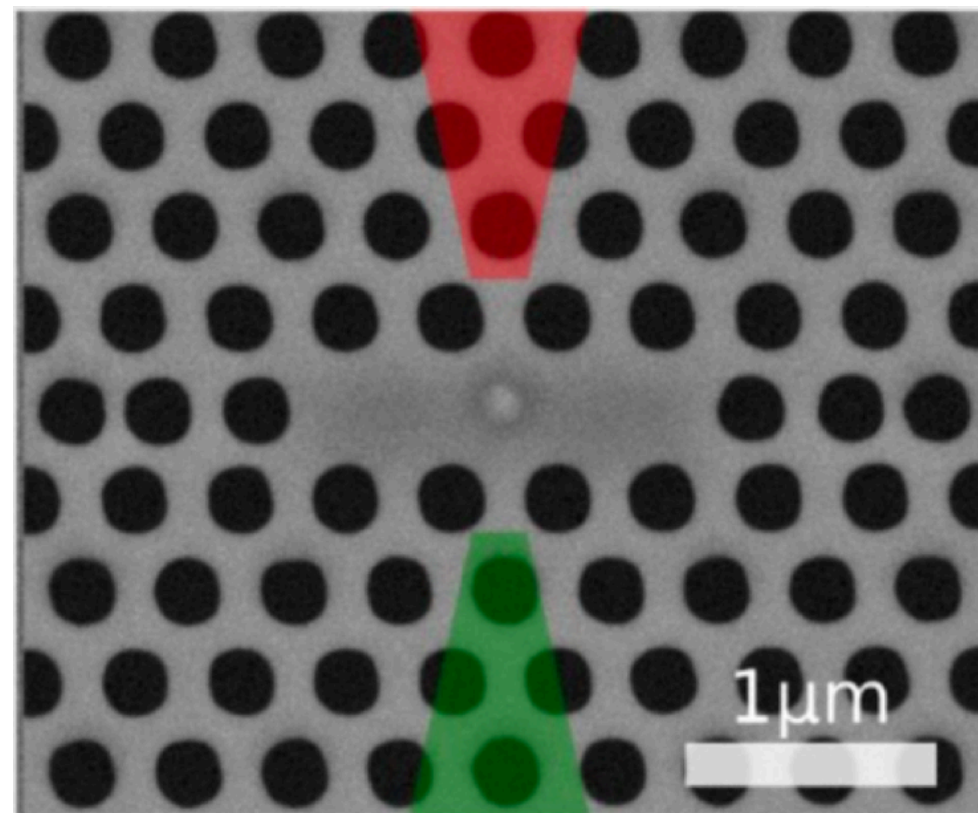
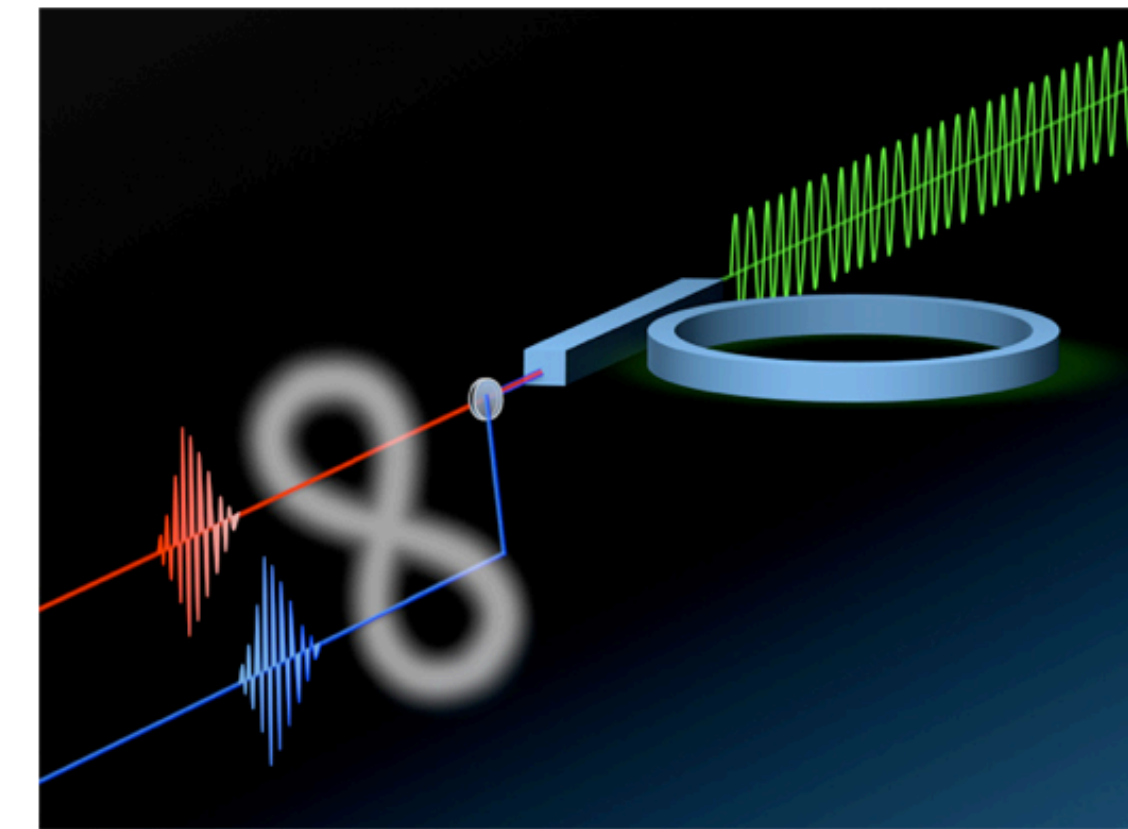
RICERCHE CONNESSE

Esperimenti

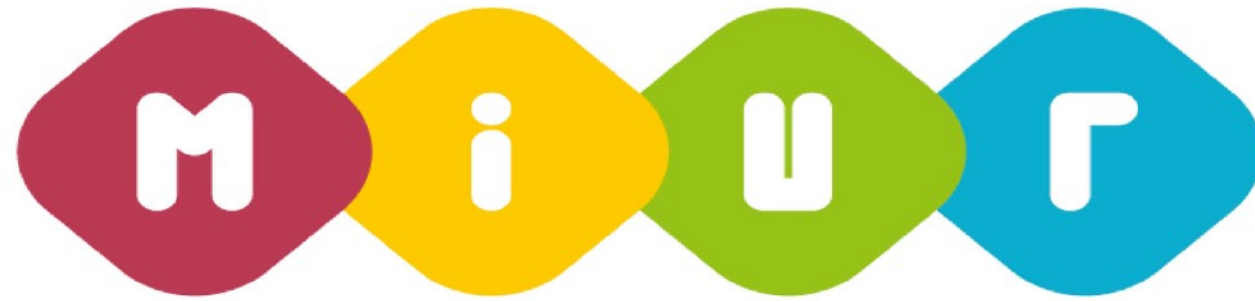


Daniele Bajoni

- 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' ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA



QUANTERA



XANADU



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