

# FISICA DELLE TECNOLOGIE QUANTISTICHE

Esclusività di Pavia

del progetto “*Dipartimento di eccellenza*”

Finanziamento:

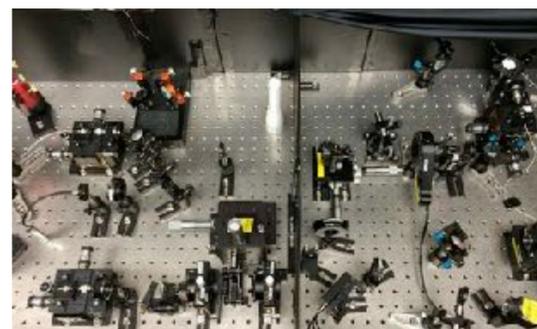
Personale: RTDA, RTDB, Assegnista, 1 borsa dott.

Infrastrutture: 1500000E laboratorio ottica quantistica



**QUit**  
quantum information  
theory group

+



Gruppo fotonica  
quantistica





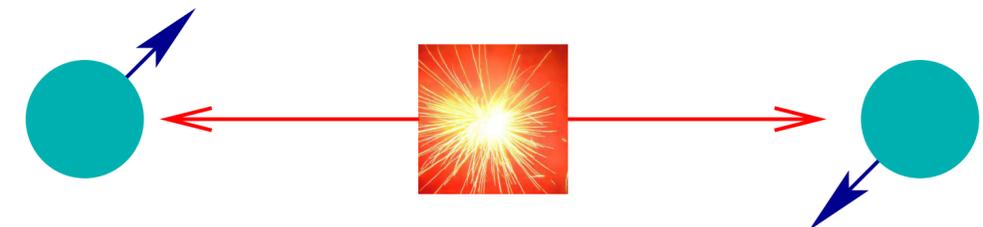
# QUANTUM INFORMATION

## Quantum cryptography

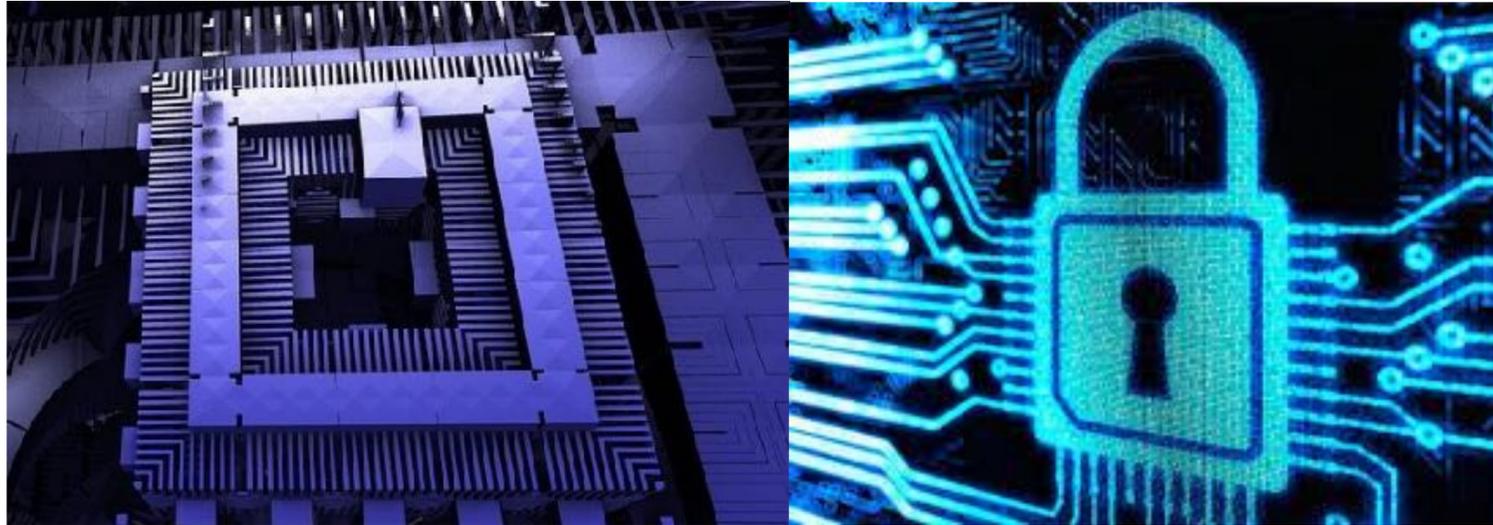
### Quantum computers



A quantum computer can break RSA encryption and crack bitcoin



# QUANTUM TECHNOLOGIES



supercomputing

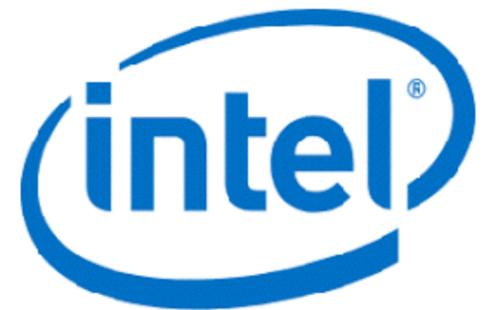
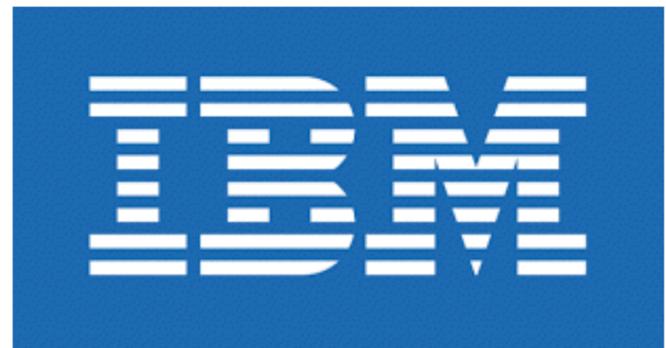
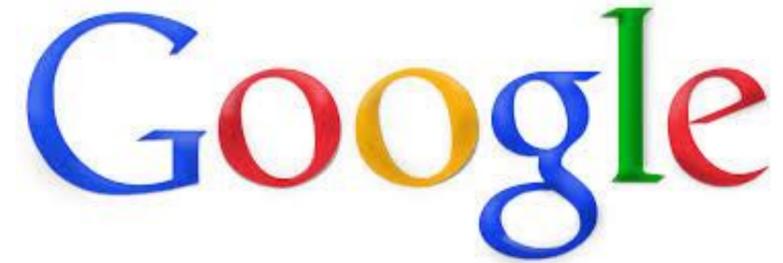
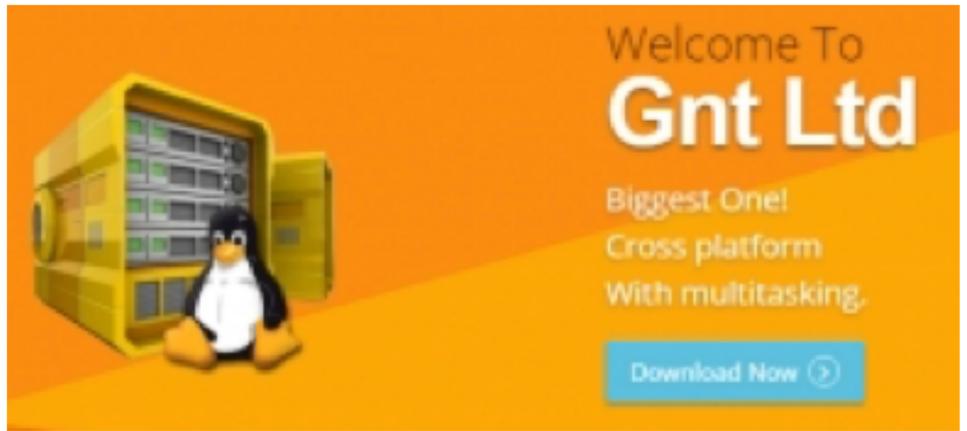
cryptography

randomness generation

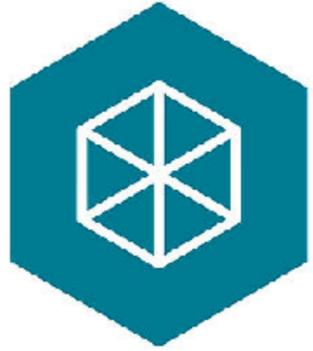
sensor, imaging, measurements

simulations for research and development

efficiency & bandwidth of communications

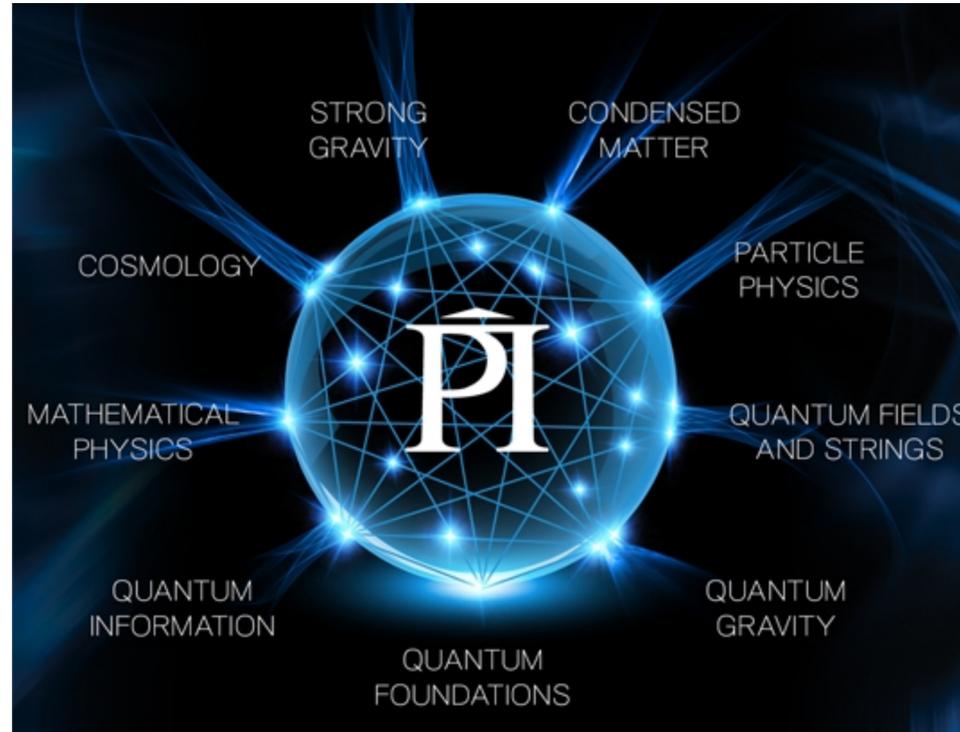


# QUANTUM INFORMATION AND FOUNDATIONS



**VCQ**

Vienna Center for Quantum  
Science and Technology



INSTITUTE FOR QUANTUM INFORMATION AND MATTER



UNIVERSITY OF  
**WATERLOO**



Nuove tecnologie



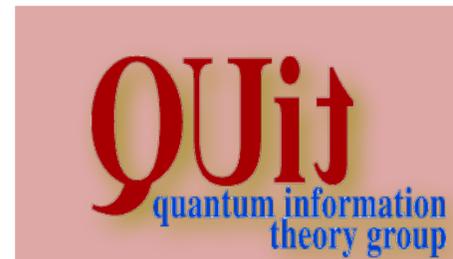
Ricerca accademica su quantum information and foundations

**IL CURRICULUM DI  
FISICA DELLE TECNOLOGIE  
QUANTISTICHE**

# 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	<b>FIS/01</b>	II
Fondamenti della Meccanica Quantistica	<b>FIS/02</b>	II
Fisica Quantistica della Computazione	<b>FIS/03</b>	II
Fotonica	<b>FIS/03</b>	I
Teoria Fisica dell'Informazione	<b>FIS/02</b>	I
Nanostrutture Quantistiche	<b>FIS/03</b>	II
Ottica Quantistica	<b>FIS/03</b>	I
Termodinamica Quantistica	<b>FIS/02</b>	I
Meccanica Statistica (triennale)	<b>FIS/02</b>	II
Gruppi e Simmetrie Fisiche	<b>FIS/02</b>	II
Magnetismo e Superconduttività	<b>FIS/03</b>	I
Fisica dello Stato Solido I	<b>FIS/03</b>	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
Machine Learning	ING-INF/05	II
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

**I gruppi di ricerca**



**Giacomo Mauro D'Ariano**



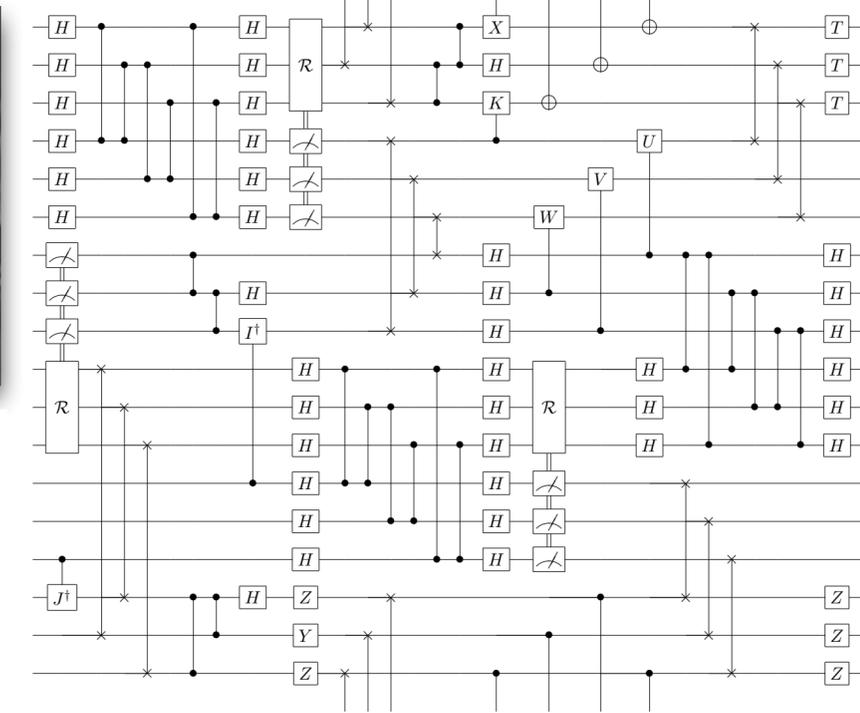
**Paolo Perinotti**



**Chiara Macchiavello**



**Lorenzo Maccone**



**Massimiliano Sacchi**



**Alessandro Bisio**



**Alessandro Tosini**



**Dario Gerace**



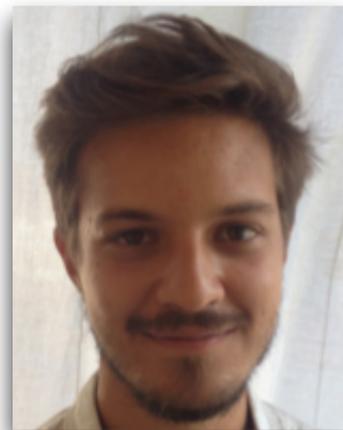
**Marco Liscidini**



**Matteo Galli**



**Paolo Giorda**



**Marco Erba**



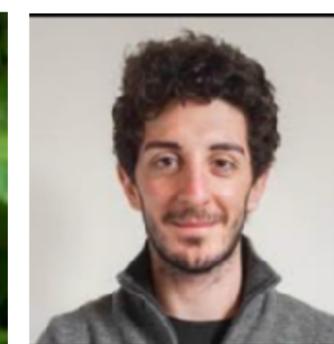
**Nicola Mosco**



**Daniele Bajoni**



**Marco Clementi**



**Francesco Garrisi**



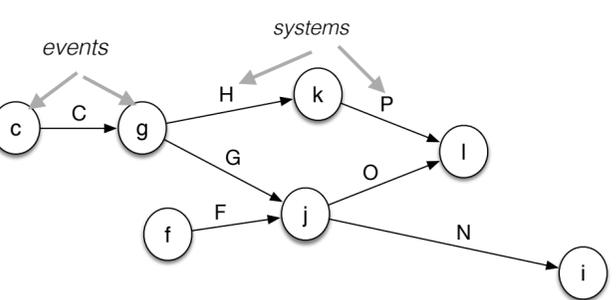
**Davide Grassani**

**Gruppo fotonica quantistica**

# I contenuti dei corsi

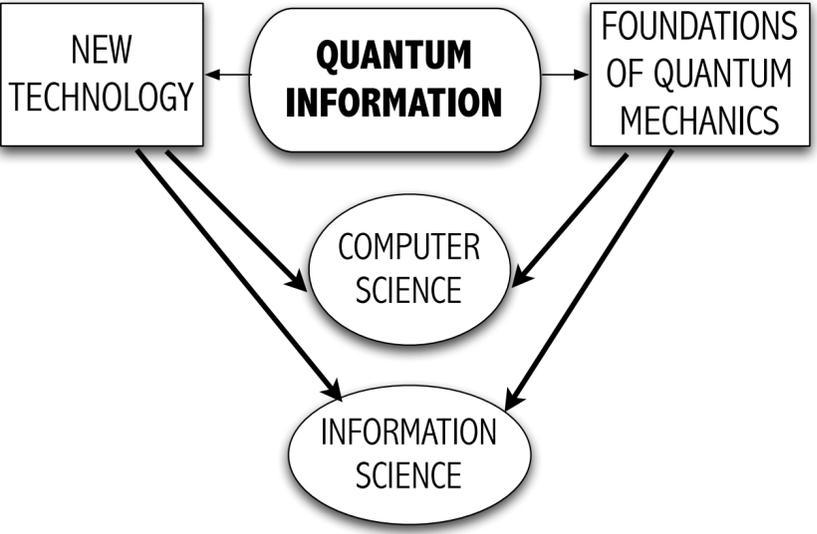
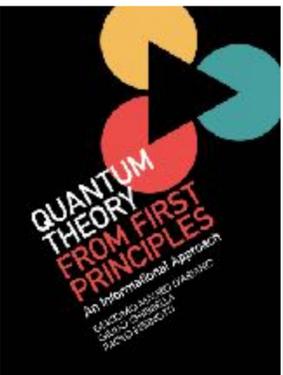
# FONDAMENTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA

Struttura matematica della teoria (OPT)



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

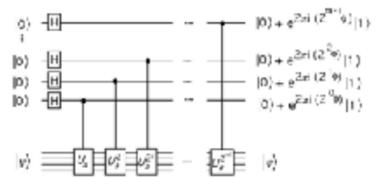
Stati,effetti,entanglement, quantum operations, Choi-Jamiolkowski, purificazione di quantum operations e strumenti, no-cloning, no-programming, no-signaling, no information without disturbance, stati steering e fedeli, tomografia di processi e stati, teletrasporto, quantum error correction



# 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



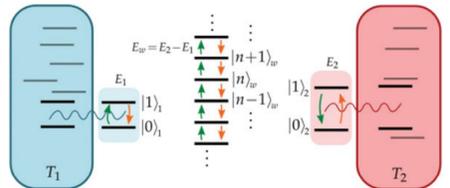
# TERMODINAMICA QUANTISTICA

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



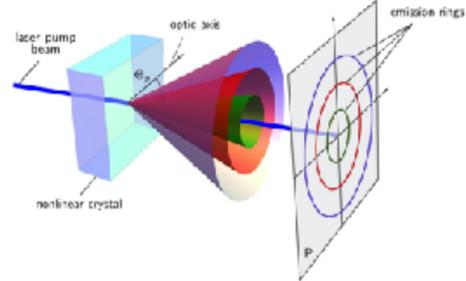
- Acquisizione di "intuizione fisica" della teoria quantistica attraverso l'ottica.
- Preparazione alla ricerca (working knowledge):
- Tecniche di calcolo e di simulazione,
- Analisi e descrizione matematica di devices sperimentali
- Teoria dei sistemi quantistici aperti

# LABORATORIO DI FISICA QUANTISTICA

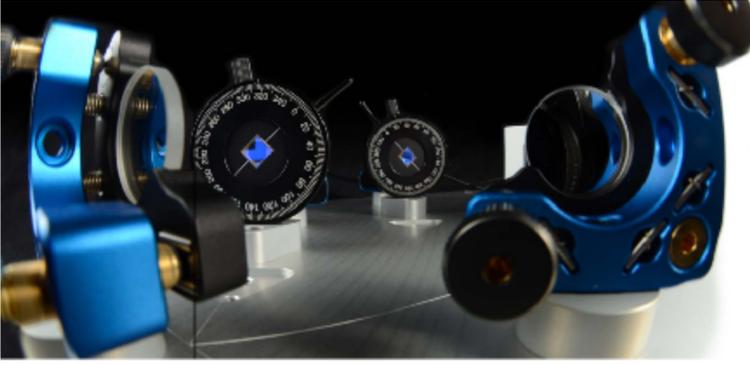
Il laboratorio di Fisica Quantistica, è un corso di laboratorio, ma tratta anche la teoria degli esperimenti affrontati, e riguarda la realizzazione di alcuni degli esperimenti più significativi nel campo della fotonica e dell'ottica quantistica, fra i quali la generazione di fotoni singoli e fotoni entangled in polarizzazione, e relativi esperimenti, quali interferenza a singolo fotone, dualismo onda particella, interferenze di Hong O Mandel, e di Franson, e molto altro.



Matteo Galli



# Setup per lo studio di luce non-classica

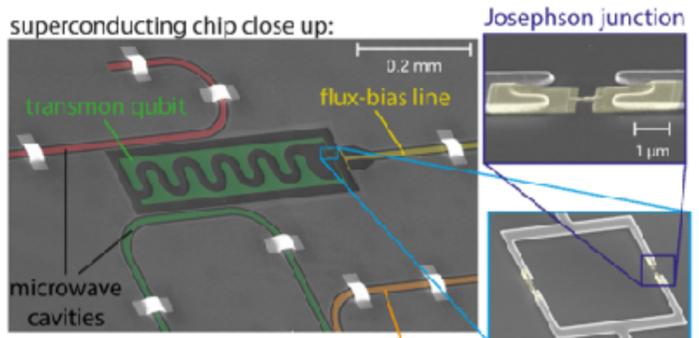


# NANOSTRUTTURE QUANTISTICHE

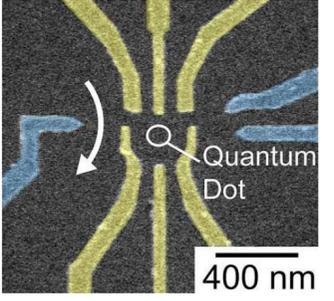
Il corso di Nanostrutture quantistiche verte su nanostrutture quantistiche di semiconduttori, nanostrutture di superconduttore, stati elettronici in sistemi bidimensionali, proprietà radiative, effetto di campi elettrici e magnetici statici, e in generale fisica dei sistemi mono- e zero-dimensionali.



Dario Gerace



Qubit a superconduttore

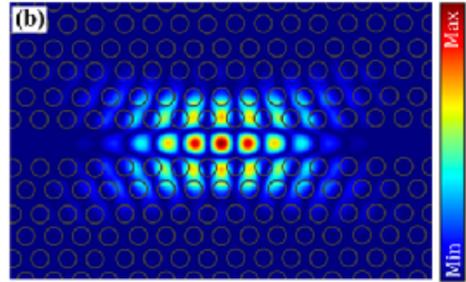


Qubit a semiconduttore

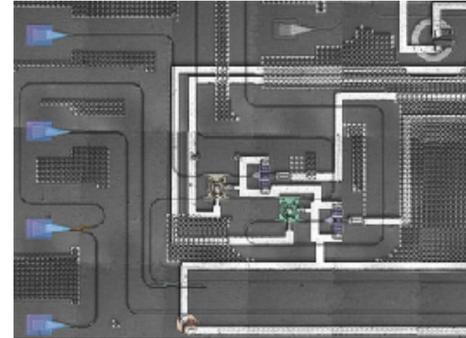
# FOTONICA

## Microcavità fotonica

Dopo un introduzione contenente elementi di ottica classica e quantistica, verte sulla teoria della propagazione di luce in guide d'onda dielettriche, risonatori ottici e cavità, interazione radiazione-materia, ottica nonlineare classica e quantistica.



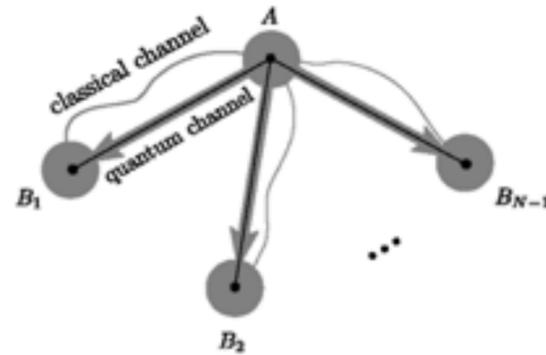
Marco Liscidini



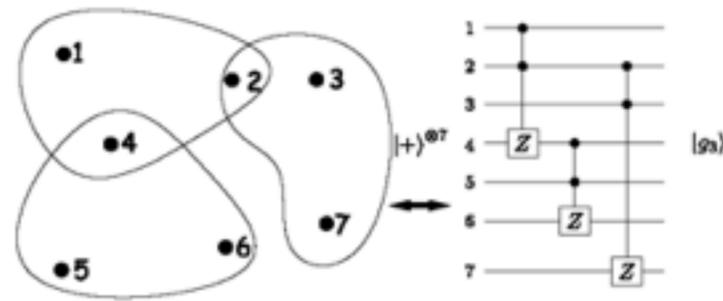
**Le linee di ricerca  
dei due gruppi**

# QUANTUM INFORMATION

Crittografia quantistica a molti utenti



Metodi di rivelazione di entanglement

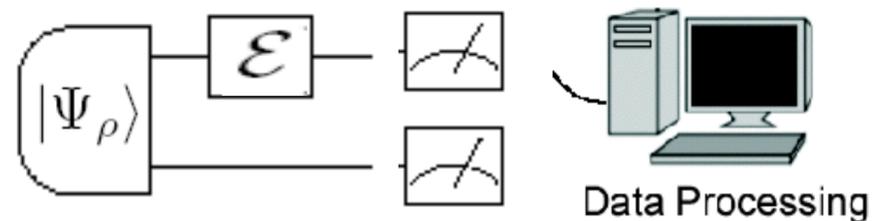


Stati ipergrafi negli algoritmi quantistici e nelle reti neurali

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

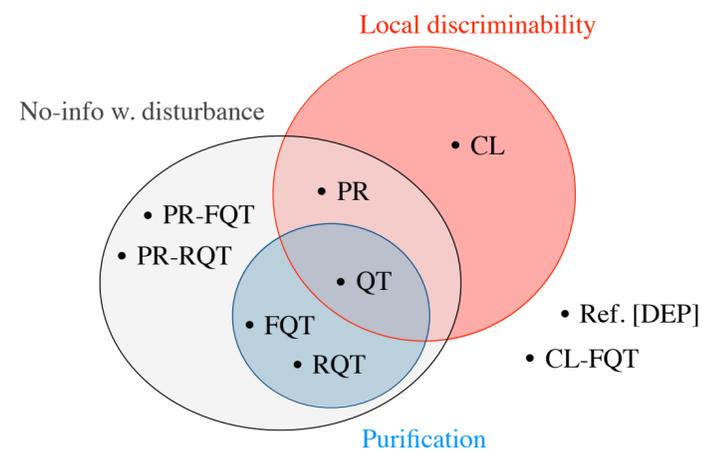
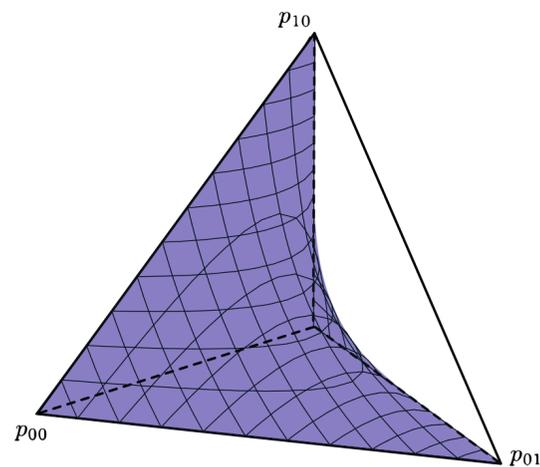
Il tempo in meccanica quantistica



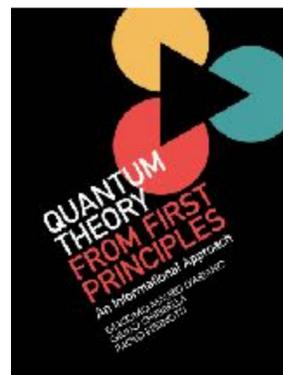


## OPT

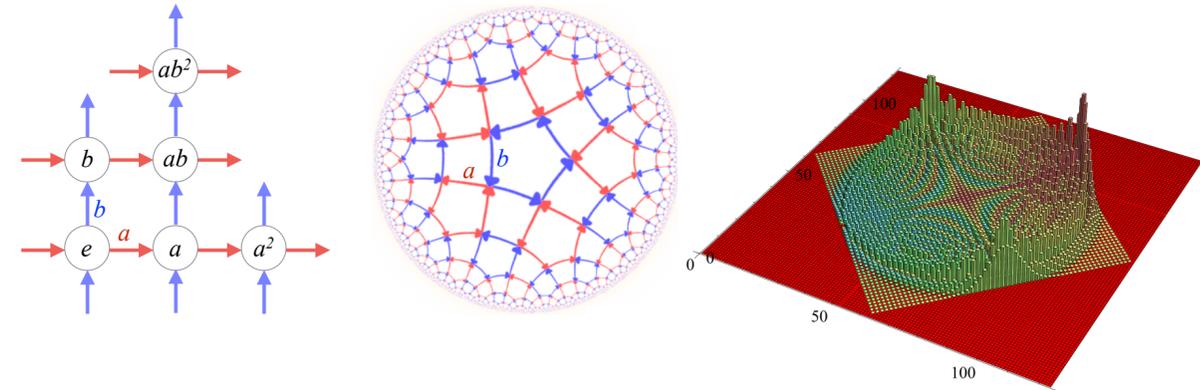
	Caus.	Perf. disc.	Loc. discr.	n-loc. discr.	At. par. comp.	At. seq. comp.	Compr.	$\exists$ Purification	$\exists!$ Purification	NIWD
QT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
FQT	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
RQT	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NSQT	?	?	✗	✗	?	?	?	?	?	?
PR	✓	?	✓	✓	✓	?	✗	✗	✗	✓
DPR	✓	?	✓	✓	✓	?	✗	✗	✗	✓
HPR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



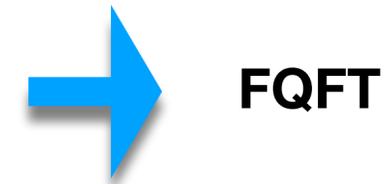
Teorie alternative (fermionica, reale, classica nonlocale, ... per testare indipendenza logica dei principi, mondi possibili, e regole generali di teoria dell'informazione (no-information without disturbance...) e proprietà dell'informazione e del suo processing.



## Automi cellulari e teoria di campo

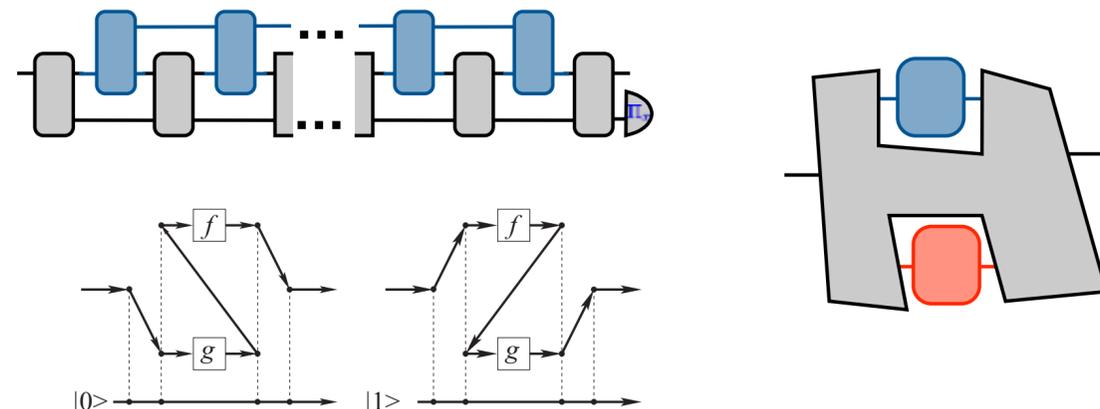


Legge fisica come algoritmo  
Località, omogeneità, ...  
L'algoritmo con complessità minima



**FQFT**

## Teorie di ordine superiore

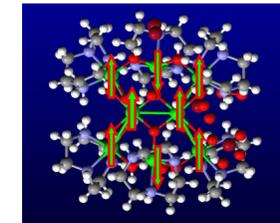


# IMPLEMENTAZIONI FISICHE: TEORIA

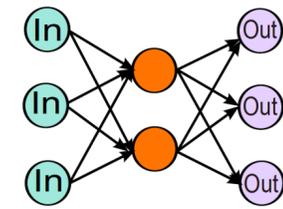


**Dario Gerace**

- Simulazioni quantistiche di sistemi complessi: algoritmi quantistici e cloud quantum computing

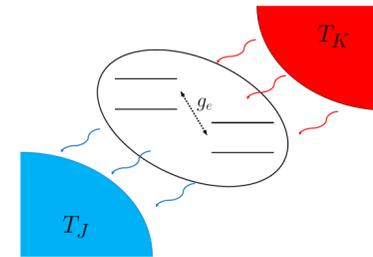


**Molecole magnetiche**

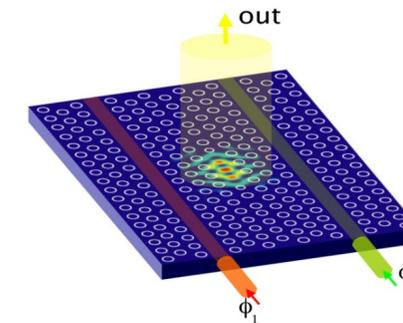


**Reti neurali artificiali**

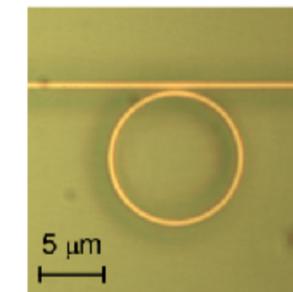
- Termodinamica quantistica: entanglement ed entropia in nanostrutture quantistiche



- Fotonica quantistica in nanostrutture fotoniche: modellizzazione dispositivi e teoria dell'interazione radiazione-materia



- Generazione di luce non classica via fluorescenza parametrica



**Marco Liscidini**



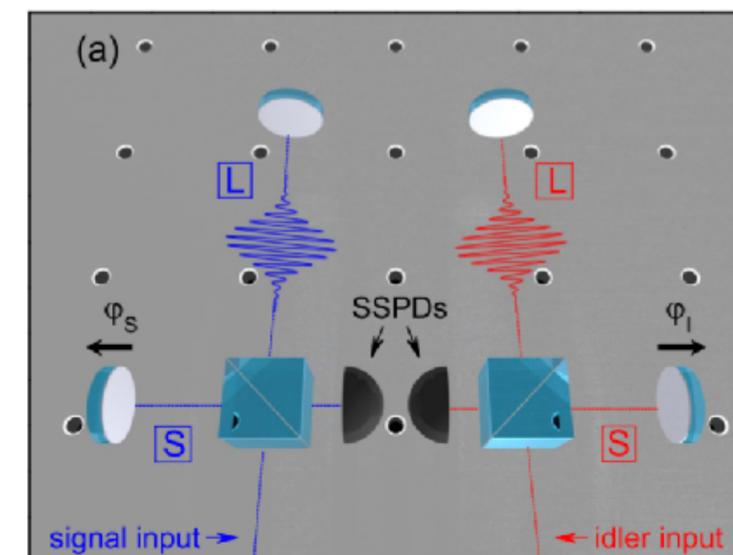
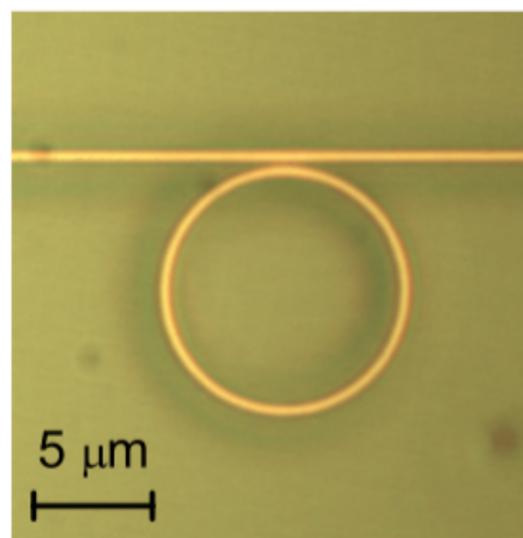
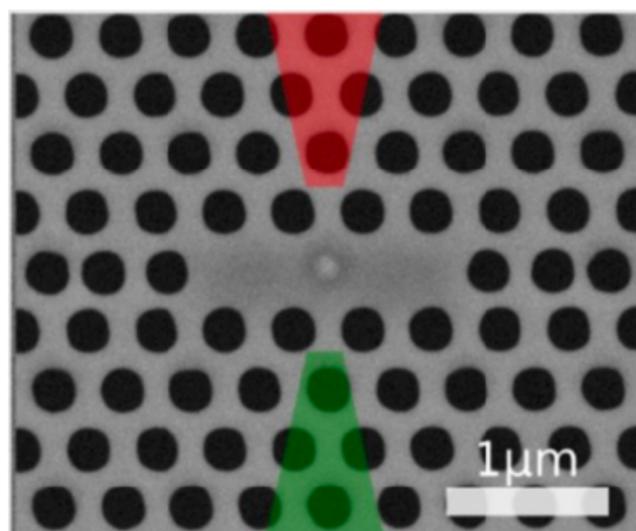
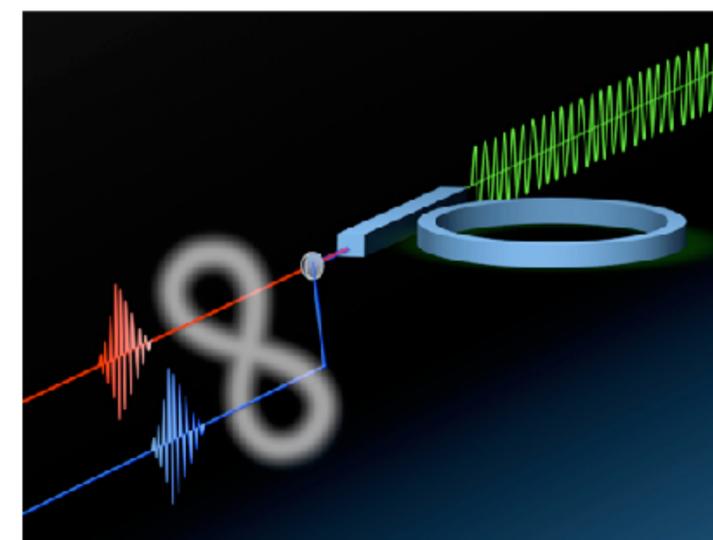
**Matteo Galli**

# IMPLEMENTAZIONI FISICHE: ESPERIMENTI

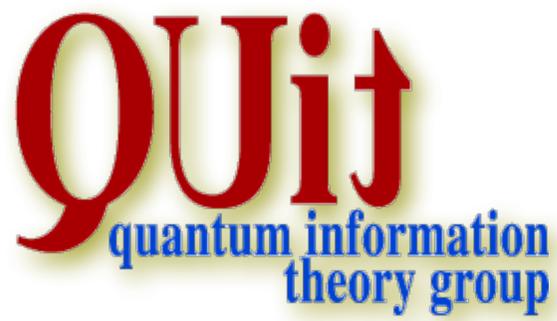


**Daniele Bajoni**

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



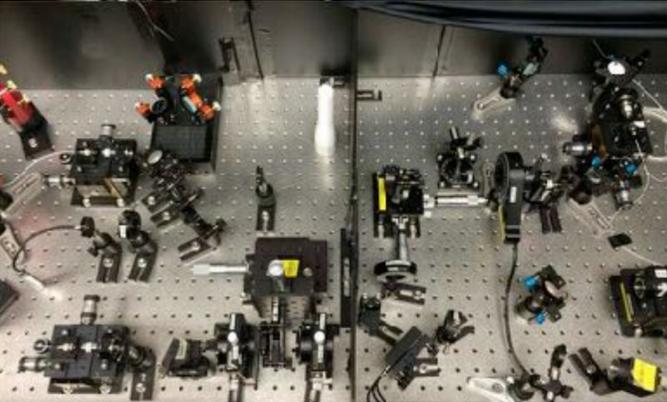
# Funding & collaborations



- 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)
- Bratislava (PP,GMD)

**Gruppo fotonica quantistica**



# Funding & collaborations



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

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**