Pavia prima in Italia

del progetto "Dipartimento di eccellenza"

Finanziamento: Personale: RTDA, RTDB, Assegnista, 1 borsa dott. Infrastrutture: 150000E laboratorio ottica quantistica









Gruppo di fotonica quantistica



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

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

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

Quantum computer



quantum parallelism

"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."

Proc. R. Soc. Lond. A 400, 97-117 (1985) Printed in Great Britain

> Quantum theory, the Church–Turing principle and the universal quantum computer

By D. Deutsch Department of Astrophysics, South Parks Road, Oxford OX1 3RQ, U.K.

(Communicated by R. Penrose, F.R.S. – Received 13 July 1984)

Proc. R. Soc. Lond. A 425, 73–90 (1989) Printed in Great Britain

Quantum computational networks

BY D. DEUTSCH Oxford University Mathematical Institute, 24–29 St Giles, Oxford OX1 3LB, U.K.

(Communicated by R. Penrose, F.R.S. – Received 8 July 1988)











A quantum computer can break RSA encryption

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





...and crack bitcoin





quantum cryptography





security by physical laws no info without disturbance















QUANTUM TECHNOLOGIES



cryptography

randomness generation

sensing, imaging, measurements

simulations for research and development

efficiency & bandwidth of communications





QUANTUM INFORMATION AND FOUNDATIONS



Vienna Center for Quantum Science and Technology





PHYSICS





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

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?

Quantum Foundations in the Light of Quantum Information



PNRR MUR Linee Guida per le iniziative di sistema Missione 4: Istruzione e ricerca Componente 2: Dalla ricerca all'impresa

- Investimento 1.3 Partenariati allargati estesi a università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base
- Investimento 1.4 Potenziamento strutture di ricerca e creazione di "campioni nazionali di R&S" su alcune Key Enabling Technologies
- Investimento 1.5 Creazione e rafforzamento di "ecosistemi dell'innovazione", costruzione di "*leader* territoriali di R&S"
- Investimento 3.1 Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e di innovazione





1. Centro Nazionale per Simulazioni, calcolo e analisi dei dati ad alte prestazioni

Il Centro svolge ricerca e promuove l'innovazione di livello nazionale e internazionale, a partire da una infrastruttura di punta per l'High-Performance Computing (HPC) e la gestione di grandi quantità di dati (Big Data) capace di integrare le tecnologie emergenti disponibili, comprese quelle per la computazione quantistica (Quantum Computing, QC) Il Centro si focalizza, da una parte, sul mantenimento e il potenziamento dell'infrastruttura HPC e Big Data italiana e, dall'altra parte, sullo sviluppo di metodi e applicazioni numeriche avanzati, di strumenti software e workflow, per integrare il calcolo, la simulazione, la raccolta e l'analisi di dati di interesse per il sistema della ricerca e per il sistema produttivo e sociale, anche attraverso approcci in cloud e distribuiti. Coinvolge e promuove le migliori competenze interdisciplinari delle scienze e dell'ingegneria, permettendo innovazioni radicali e sostenibili in campi che vanno dalla ricerca di base alle scienze computazionali e sperimentali del clima, dell'ambiente, dello spazio, della materia e della vita, all'epidemiologia, alle tecnologie di materiali, ai sistemi e ai dispositivi del futuro per l'informazione e il sistema produttivo in generale. Il Centro sostiene l'alta formazione e promuove lo sviluppo di politiche per la gestione responsabile dei dati in prospettiva di open data e open science, coniugando profili di regolamentazione, standardizzazione e compliance. Il Centro contribuisce a raggiungere gli obiettivi del PNRR in relazione al digitale e al clima.



Home | Stampa | Notizie e comunicati stampa | Pnrr, Mur: pubblicato bando su partenariati per attività di ricerca

Pnrr, Mur: pubblicato bando su partenariati per attività di ricerca

Mercoledi, 16/03/2022

- L.

L'investimento complessivo è pari a 1,61 miliardi

È stato pubblicato sul sito del ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) il bando previsto per la creazione di almeno 10 e massimo 14 grandi Partenariati estesi alle università, ai centri di ricerca, alle aziende sul territorio nazionale.

L'investimento di 1,61 miliardi in tutto, di cui almeno il 40% nelle regioni del Mezzogiorno, è previsto all'interno della Missione 4 "Istruzione e ricerca" – Componente 2 "Dalla ricerca all' impresa" del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) e ha l'obiettivo di finanziare progetti di ricerca di base per rafforzare le filiere della ricerca a livello nazionale e promuovere la loro partecipazione alle catene di valore strategiche europee e globali.

L'avviso prevede che soggetti proponenti possano essere solo le Università statali e gli enti pubblici di ricerca vigilati dal MUR e che le proposte debbano prevedere la creazione di partenariati estesi organizzati con una struttura di governance di tipo Hub&Spoke.

Sarà possibile finanziare dottorati di ricerca e attività di ricerca fondamentale e applicata, progetti di supporto alla nascita e allo sviluppo di start-up e spin off da ricerca, attività di formazione in sinergia tra Università e imprese, con particolare riferimento alle PMI, per ridurre il disallineamento tra le competenze richieste dalle imprese e quelle offerte dalle Università.

I partenariati saranno creati rispetto alle seguenti tematiche, già indicate nelle Linee Guida del MUR di ottobre 2021: Intelligenza artificiale; Scenari energetici del futuro; Rischi ambientali, naturali e antropici. Scienze e tecnologie quantistiche Cultura umanistica e patrimonio culturale; Diagnostica e terapie innovative nella medicina di precisione; Cybersecurity; Conseguenze e sfide dell'invecchiamento; Sostenibilità economicofinanziaria dei sistemi e dei territori; Modelli per un'alimentazione sostenibile; Made-in-Italy circolare e sostenibile; Neuroscienze e neurofarmacologia; Malattie infettive emergenti; Telecomunicazioni del futuro.



Naviga la sezione Notizie e comunicati stampa Campagne di comunicazione Accrediti Stampa





Nuove tecnologie

Ricerca accademica su quantum information and foundations

12 INSEGNAMENTI

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

Insegnamento

Laboratorio di Fisica Quantistica

Fondamenti della Meccanica Quantistica

Fisica Quantistica della Computazione

Fotonica

Teoria Fisica dell'Informazione

Nanostrutture Quantistiche

Ottica Quantistica

Termodinamica Quantistica

Meccanica Statistica

Gruppi e Simmetrie Fisiche

Magnetismo e Superconduttività

Fisica dello Stato Solido 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.



	Settore	Semestre
	FIS/01	
	FIS/02	
	FIS/03	
	FIS/03	
	FIS/02	
	FIS/03	
	FIS/03	
	FIS/02	
(triennale)	FIS/02	
	FIS/02	
	FIS/03	
	FIS/03	



1 insegnamento scelto dal seguente elenco

Insegnamento

Artificial Intelligence

Processi Stocastici

Teoria dei Sistemi Dinamici

Elementi di Statistica Matematica

Robotics

Digital Communications

Information Security

Bioinformatica

Settore	Semestre
ING-INF/05	
MAT/06	
MAT/07	
MAT/06	
ING-INF/05	
ING-INF/03	
ING-INF/05	
ING-INF/06	



12 INSEGNAMENTI

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

Insegnamento

Laboratorio di Fisica Quantistica

Fondamenti della Meccanica Quantistica

Fisica Quantistica della Computazione

Fotonica

Teoria Fisica dell'Informazione

Nanostrutture Quantistiche

Ottica Quantistica

Termodinamica Quantistica

Meccanica Statistica

Gruppi e Simmetrie Fisiche

Magnetismo e Superconduttività

Fisica dello Stato Solido 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.



	Settore	Semestre
	FIS/01	
	FIS/02	
	FIS/03	
	FIS/03	
	FIS/02	
	FIS/03	
	FIS/03	
	FIS/02	
(triennale)	FIS/02	
	FIS/02	
	FIS/03	
	FIS/03	







Giacomo Mauro D'Ariano





Massimiliano Sacchi



Lorenzo Maccone



Paolo Perinotti





Simanraj Sadana



Alberto Riccardi



Giovanni Chesi



Stefano Mangini



Simone Roncallo



Claudio Sutrini



Leonardo Vaglini



Chiara Macchiavello



Alessandro Tosini

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

Marco Erba



Matteo Lugli





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

TERMODINAMICA QUANTISTICA

Meccanica statistica quantistica di non-equilibrio

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





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

Macchine termiche quantistiche e nanotecnologie



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

Cultura generale per la Fisica Contemporanea

NEW TECHNOLOGY



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





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



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	1	✓	 Image: A set of the set of the	 ✓ 	✓	✓	 Image: A start of the start of	 ✓ 	 ✓ 	 ✓
CT	1	✓	✓	 ✓ 	✓	✓	 Image: A start of the start of	×	×	×
FQT	1	✓	×	 ✓ 	✓	✓	×	 ✓ 	 ✓ 	 ✓
RQT	1	✓	×	 ✓ 	✓	✓	 Image: A start of the start of	 ✓ 	 ✓ 	 ✓
NSQT	?	?	×	×	?	?	?	?	?	?
PR	1	?	 Image: A start of the start of	 ✓ 	✓	?	×	×	×	 ✓
DPR	1	?	✓	 ✓ 	✓	?	×	×	×	 ✓
HPR	1	?	✓	 ✓ 	✓	✓	 Image: A start of the start of	 ✓ 	 ✓ 	 ✓
FOCT	X	?	✓	 ✓ 	✓	?	?	×	×	?
FOQT	X	?	?	 ✓ 	?	?	?	?	?	?
NLCT	1	✓	×	 Image: A set of the set of the	×	?	 Image: A start of the start of	×	×	×
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.





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

 $\rightarrow ab$

Teorie di ordine superiore







FQFT





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)





JOHN TEMPLETON FOUNDATION











NANOSTRUTTURE QUANTISTICHE

- 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 quantitstiche: Sorgenti a singolo fotone, laser a singolo atomo, qubits di semiconduttore e superconduttore



Es. Qubit a semiconduttore

Dario Gerace



Es. Qubit a superconduttore

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 quantitstiche: 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

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



Matteo Galli





RICERCHE CONNESSE Teoria



Dario Gerace



Marco Liscidini

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



Molecole magnetiche













Matteo Galli

RICERCHE CONNESSE Esperimenti

- 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 mm basate su materiali compatibili con le tecnologie della microelettronica (quantum dots di Ge in Si)







Daniele Bajoni







MINISTERO DELL' ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA

QUANTERA





FINANZIAMENTI E COLLABORAZIONI



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