

**Dipartimento di Fisica**  
**Anno Accademico 2020/21**  
**Registro lezioni del docente BASSI ANGELO**

Attività didattica

---

**INTRODUCTION TO QUANTUM MECHANICS AND QUANTUM COMPUTING [475SM], NUOVE FRONTIERE DELLA MECCANICA QUANTISTICA [775SM], MECCANICA QUANTISTICA AVANZATA [999SM], MECCANICA QUANTISTICA E RELATIVITA' SPECIALE [461SM]**

**Periodo di svolgimento:** *Primo Semestre*

**Docente titolare del corso:** BASSI ANGELO matr. 008253

**Riepilogo registro docente:**

---

**BASSI ANGELO** matr. 008253

Docente interno - Professori Associati

**Stato registro docente:** Stampato

**Ore inserite:** 72 ore

**Ore previste dall'offerta didattica:** 72 ore

**Gruppi di studenti con i quali è stata svolta l'attività - ore per gruppo**

- prevista per tutti gli studenti (senza gruppi associati) - 72 ore

**Ore inserite per tipologia di attività**

72 ore lezione :

- prevista per tutti gli studenti (senza gruppi associati) - 72 ore

Firma del docente:.....

Firma del direttore:.....

Data:.....

**Dettaglio delle attività svolte:****MECCANICA QUANTISTICA AVANZATA [999SM]****05/10/2020 - lezione -****Docente:** BASSI ANGELO**Ora inizio:** 14:00**Ora fine:** 16:00**Ore accademiche:** 2**Titolo attività:**

Lezione 1

**Descrizione attività:**

Introduction to the course. Circuit model for classical computation: input bits, output bits, gates.

Examples of logical gates; universal set of gates. Reversible vs irreversible gates.

**07/10/2020 - lezione -****Docente:** BASSI ANGELO**Ora inizio:** 14:00**Ora fine:** 16:00**Ore accademiche:** 2**Titolo attività:**

Lezione 2

**Descrizione attività:**

Probabilistic computational model and vector formulation. Examples. Quantum physics for a new model of computation. Review of linear algebra: vectors, basis vectors, computational basis. Inner product, norm. Dual vectors.

**09/10/2020 - lezione -****Docente:** BASSI ANGELO**Ora inizio:** 11:00**Ora fine:** 13:00**Ore accademiche:** 2**Titolo attività:**

Lezione 3

**Descrizione attività:**

Dirac formalism and corresponding matrix formalism. Linear operators: Hermitian and unitary operators. Spectral decomposition of Hermitian operators: eigen-states and eigen-values. Spectral resolution of the identity. Pauli matrices: eigen-values, eigen-states, eigen-projectors and exponentiation of the matrices. Tensor product of two Hilbert spaces: vectors and operators; main properties. Examples. Separable states and entangled states. Schmidt decomposition. The postulates of quantum mechanics. States, Schrödinger evolution, observables as Hermitian operators, the Born rule and the collapse of the wave function after the measurement.

**12/10/2020 - lezione -****Docente:** BASSI ANGELO**Ora inizio:** 14:00**Ora fine:** 16:00**Ore accademiche:** 2**Titolo attività:**

Lezione 4

**Descrizione attività:**

Elements of quantum computation: register, gates and measurements. First example of single qubit gates. The CNOT gate. The Hadamard gate

**14/10/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 5

**Descrizione attività:**

The CCNOT and Fredkin gates as examples of three-qubit gates. Lemma: Every unitary matrix can be decomposed as product of two-level unitary matrices. Examples.

---

**19/10/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 6

**Descrizione attività:**

Proof with examples (for 2 and 3 qubit gates) that a generic two-level unitary matrix can be decomposed as a product of CNOT and C-U operations, and their variants. Proof that a  $SU(2)$  matrix can be decomposed as a product of CNOT and single qubit gates.

---

**21/10/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 7

**Descrizione attività:**

Example of a decomposition of a two-qubit matrix into single qubit gates and CNOT.

---

**23/10/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 8

**Descrizione attività:**

The general structure of quantum algorithms. The Deutsch algorithm. The Deutsch-Jozsa algorithm.

---

**26/10/2020 - lezione -**  
**Docente:** BASSI ANGELO  
**Ora inizio:** 14:00  
**Ora fine:** 16:00  
**Ore accademiche:** 2  
**Titolo attività:**  
Lezione 9

**Descrizione attività:**  
Presentation of the IBM Q platform and examples.

---

**28/10/2020 - lezione -**  
**Docente:** BASSI ANGELO  
**Ora inizio:** 14:00  
**Ora fine:** 16:00  
**Ore accademiche:** 2  
**Titolo attività:**  
Lezione 10

**Descrizione attività:**  
The Deutsch-Jozsa algorithm (continuation). The Bernstein-Vaziarani algorithm. Exercises.

---

**30/10/2020 - lezione -**  
**Docente:** BASSI ANGELO  
**Ora inizio:** 11:00  
**Ora fine:** 12:00  
**Ore accademiche:** 1  
**Titolo attività:**  
Lezione 11

**Descrizione attività:**  
Grover's algorithm.

---

**02/11/2020 - lezione -**  
**Docente:** BASSI ANGELO  
**Ora inizio:** 14:00  
**Ora fine:** 16:00  
**Ore accademiche:** 2  
**Titolo attività:**  
Lezione 12

**Descrizione attività:**  
The Quantum Integral Transform and the Quantum Fourier Transform (QFT). Circuit implementation of the QFT; number of resources and exponential speedup.

---

**04/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 13

**Descrizione attività:**

Walsh-Hadamard transform e selective phase rotation transform. Shor's factorization algorithm and period finding.

---

**06/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 14

**Descrizione attività:**

Period finding (continuation). The density matrix: introduction. The density matrix: 2D examples and physical meaning of the matrix elements.

---

**09/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 15

**Descrizione attività:**

Exercises on quantum computing with IBMQ

---

**11/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 16

**Descrizione attività:**

The statistical operator and its properties. Pure states and statistical mixtures and their characterization. The Bloch sphere.

---

**12/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 17

**Descrizione attività:**

Newtonian mechanics and the Galileo principle of relativity. Galilei transformations. Maxwell's electrodynamics and the aether.

---

**13/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 18

**Descrizione attività:**

Quantum Mechanics in the statistical operator formalism. Selective and non-selective measurements. Partial trace, the reduced density matrix and its properties.

---

**16/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 19

**Descrizione attività:**

Introduction to decoherence. Strongly continuous semigroups and quantum dynamical semigroups (QDS).

---

**18/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 20

**Descrizione attività:**

Kraus decomposition. Complete positivity. 2D example.

---

**19/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 21

**Descrizione attività:**

The experiments of Fizeau and of Michelson-Morley. Lorentz theory to explain the null results of experiments, and its consequences. Relativity according to Einstein. Derivation of the Lorentz transformations from homogeneity and isotropy of spacetime.

---

**20/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 22

**Descrizione attività:**

Kraus decomposition and 2D examples (continuation). Lindblad's theorem. 2D examples.

---

**23/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 23

**Descrizione attività:**

Exercises on quantum computing with IBMQ.

---

**25/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 24

**Descrizione attività:**

Lindblad's dynamics: Relaxation to zero and to finite temperature. Microscopic derivation of collisional decoherence.

---

**26/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 25

**Descrizione attività:**

Derivation of the Lorentz transformations from homogeneity and isotropy of spacetime. (continuation). Length contraction, time dilation, relativity of simultaneity. The ladder-barn paradox.

---

**27/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 26

**Descrizione attività:**

Microscopic derivation of collisional decoherence (continuation)

---

**30/11/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 15:00

**Ore accademiche:** 1

**Titolo attività:**

Lezione 27

**Descrizione attività:**

Collisional decoherence: short and large wave length limits. Numerical estimates.

---

**02/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 28

**Descrizione attività:**

Exercises on quantum computing with IBMQ.

---

**04/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 29

**Descrizione attività:**

The twin paradox revisited. Transformation laws for velocity and acceleration.

---

**07/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 30

**Descrizione attività:**

Uniformly accelerated motion and Rindler observer. Relativistic momentum and energy.

---

**09/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 31

**Descrizione attività:**

Exercises on energy-momentum conservation. Relativistic force. Newton's laws in Special Relativity.

---

**10/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 32

**Descrizione attività:**

Exercises on energy-momentum conservation. 4-vectors and the Minkowski space-time: meaning and most relevant 4-vectors.

---

**11/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 33

**Descrizione attività:**

Electricity + Relativity implies Magnetism. Relativistic formulation of electrodynamics and exercises.

---

**14/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 34

**Descrizione attività:**

Completeness and Incompleteness in Quantum Mechanics. The EPR paradox. The telepathy game of Alice and Bob. Quantum non-locality: Bell's theorem

---

**16/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 35

**Descrizione attività:**

Bell's theorem (continuation). No faster-than-light-signaling theorem.

---

**17/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 14:00

**Ora fine:** 16:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 36

**Descrizione attività:**

Quantum teleportation. The FLASH cloning machine and the no-cloning theorem

---

**18/12/2020 - lezione -**

**Docente:** BASSI ANGELO

**Ora inizio:** 11:00

**Ora fine:** 13:00

**Ore accademiche:** 2

**Titolo attività:**

Lezione 37

**Descrizione attività:**

Quantum cryptography: general setting, the BB84 and the E92 protocols

---