



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES

**OLIVER MORSCH**

Anno accademico 2023/24  
CdS FISICA  
Codice 376BB  
CFU 9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
QUANTUM COMPUTING AND TECHNOLOGIES	FIS/03	LEZIONI	54	ROBERTO CAPPUCCIO OLIVER MORSCH

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Computazione quantistica: basi della computazione quantistica, della manipolazione dei qubit e dei principali algoritmi (Deutsch, Grover, Shor); programmazione quantistica usando i linguaggi Microsoft e IBM

Simulazione quantistica: concetti di base, realizzazione fisica su diverse piattaforme

Comunicazione quantistica: principali protocolli di quantum key exchange, teleportazione quantistica

Metrologia quantistica: principi di base, implementazione con NV centres e atomi freddi

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Gli studenti verranno coinvolti dai docenti durante le lezioni per controllare le conoscenze acquisite.

#### *Capacità*

Al termine del corso lo studente sarà in grado di seguire la letteratura scientifica nell'ambito delle tecnologie quantistiche e di intraprendere il lavoro di tesi di laurea/dottorato.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Le capacità verranno controllate tramite interrogazione durante le lezioni.

#### *Comportamenti*

Gli studenti impareranno a ragionare in maniera "quantistica", cioè analizzare un problema tecnologico usando le proprietà della meccanica quantistica.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Il "ragionamento quantistico" verrà controllato tramite interrogazione durante le lezioni.

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

E' consigliata una buona conoscenza di base della meccanica quantistica e dei principali aree della fisica classica (in particolare elettromagnetismo).

#### *Programma (contenuti dell'insegnamento)*

Computazione quantistica:

- Qubit e porte quantistiche: rotazioni di singolo qubit, Hadamard, CNOT, Toffoli
- Algoritmi quantistici: Deutsch e Deutsch-Josza, Grover, Shor



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Processi di decoerenza (operatori di Kraus)

- Quantum error correction (bit-flip, phase-flip e bit/phase-flip)

- implementazioni fisiche: ioni intrappolati, giunzioni di Josephson, atomi freddi, fotoni, quantum dots

- programmazione quantistica usando i linguaggi di Microsoft e IBM e programmazioni in rete del computer quantistico IBM (se disponibile)

Simulazioni quantistica:

- l'idea di Feynman del 1980

- simulazione quantistica analogica e digitale; espansione di Trotter

- implementazioni fisiche con atomi freddi e ioni intrappolati

Comunicazione quantistica:

- protocolli BB84 e Ekert90

- entanglement e teletrasporto quantistico

- quantum dense coding

- capacità dei canali quantistici

Metrologia quantistica:

- il limite di Heisenberg

- implementazioni fisiche con NV centres e atomi freddi

- applicazioni

### **Bibliografia e materiale didattico**

Nielsen and Chuang, "Quantum Computation and Quantum Information", CUP

Kaye, Laflamme and Mosca, "An Introduction to Quantum Computing", OUP

### **Modalità d'esame**

Esame finale: breve seminario su un articolo scientifico da concordare (circa 20 minuti); interrogazione sugli argomenti del corso

*Ultimo aggiornamento 12/09/2023 15:49*