

**Tecnologie Quantistiche con Laboratorio**  
**Quantum Technologies with Laboratory**

<u>Docente</u>	Fornieris, Olivero
<u>Corso di laurea</u>	Laurea Magistrale in Fisica
<u>Anno, Periodo</u>	3° semestre (i.e. 1° semestre del 2° anno)
<u>Tipologia</u>	...
<u>Crediti</u>	6 (3 PO + 1 JF + 2 JF)
<u>SSD attività didattica</u>	FIS/03
<u>Erogazione</u>	Tradizionale
<u>Lingua</u>	Inglese
<u>Frequenza</u>	Facoltativa/ Obbligatoria
<u>Tipologia esame</u>	Orale
<u>Prerequisiti</u>	...

Commentato [1]: → Ettore

## Lingua italiana

### Obiettivi formativi

- fornire i concetti generali che stanno alla base del campo delle tecnologie quantistiche
- fornire i concetti essenziali nei seguenti campi delle tecnologie quantistiche: computazione quantistica, comunicazione quantistica, sensoristica quantistica
- introdurre le principali piattaforme sperimentali nelle tecnologie quantistiche, con un particolare focus tematico sui sistemi a stato solido e sulla fotonica
- trasmettere competenze sperimentali di base nei campi di: comunicazione quantistica (schemi di crittografia quantistica), sensoristica quantistica (sistemi a stato solido con proprietà quanto-ottiche dipendenti dallo stato di spin)

### Risultati dell'apprendimento attesi

#### Conoscenza e capacità di comprensione

- comprensione dei concetti essenziali alla base dei campi della computazione, comunicazione e sensoristica quantistiche
- conoscenza delle principali piattaforme sperimentali nelle tecnologie quantistiche, con un particolare focus tematico sui sistemi a stato solido

#### Capacità di applicare conoscenza e comprensione

- capacità di comprendere e padroneggiare i modelli fisici funzionali all'implementazione di schemi di computazione, comunicazione e sensoristica quantistiche
- capacità di pianificare ed effettuare attività sperimentali nei campi della comunicazione quantistica e sensoristica quantistica

### Programma

#### Lezioni frontali:

- le tecnologie quantistiche: nascita della seconda rivoluzione quantistica
- concetti fisici essenziali: entanglement quantistico, teletrasporto quantistico, no-cloning theorem, stati di Bell
- computazione quantistica: bit e gate logici quantistici, cenni ai principali algoritmi quantistici (Deutsch, Deutsch-Jozsa, Shor, etc.)
- comunicazione quantistica: concetti di base, sorgenti di singolo fotone e funzioni di auto-correlazione, principali codici di crittografia quantistica (BB84, etc.)
- sensoristica quantistica: concetti di base, sistemi a stato solido basati su difetti otticamente attivi con proprietà di spin, il sistema azoto-vacanza in diamante

- piattaforme sperimentali: sistemi ottici, sistemi a superconduttore, atomi freddi, sistemi a stato solido

Sessioni sperimentali:

gli studenti svolgeranno esperienze laboratoriali tra le seguenti:

- sperimentazioni su un sistema di scambio di chiave basato sullo schema di crittografia quantistica BB84
- caratterizzazione di sorgenti di singolo fotone mediante microscopia confocale in fotoluminescenza
- caratterizzazione di magnetometri quantistici basati sull'effetto Zeeman in difetti luminescenti in diamante

#### Modalità di insegnamento

L'insegnamento è organizzato in 4 CFU (32 ore) di didattica frontale e 2 CFU (20 ore) di didattica laboratoriale.

La frequenza alle lezioni frontali è facoltativa, mentre è obbligatoria (frequenza minima 70%) per le sessioni di laboratorio.

#### Modalità di verifica dell'apprendimento

L'esame finale consisterà in un colloquio orale della durata di circa 30 minuti in cui si valuteranno:

- la comprensione dei contenuti delle lezioni frontali;
- i contenuti delle relazioni delle attività di laboratorio, che gli studenti sono chiamati a produrre a gruppi e consegnare almeno una settimana prima dell'esame; ciascuno studente sarà responsabile dell'intero contenuto delle relazioni prodotte dal proprio gruppo.

La valutazione della relazione di laboratorio peserà per il 30% nella determinazione del voto finale.

#### Testi consigliati e bibliografia

"Quantum Computation and Quantum Information", M. A. Nielsen e I. L. Chuang, Cambridge University Press, 2000, ISBN 13: 9780521635035

"Introduction to Quantum Technologies", A. Osada, R. Yamazaki, A. Noguchi, Springer, Lecture Notes in Physics (LNP, volume 1004), ISBN: 978-981-19-4643-1

## Lingua inglese

### Obiettivi formativi

- providing general concepts at the basis of the quantum technology field
- provide essential concepts in the following fields of quantum technologies: quantum computing, quantum communication, quantum sensing
- introducing the main experimental platforms in quantum technologies, with a specific thematic focus on solid-state-based systems
- providing basic experimental expertise in the fields of: quantum communication (quantum communication schemes), quantum sensing (solid-state systems with spin-dependent quantum-optical properties)

### Risultati dell'apprendimento appresi

#### Knowledge and understanding:

- understanding of the essential concepts at the basis of the fields of quantum computation, communication and sensing
- knowledge of the most prominent experimental platforms in quantum technologies, with a specific thematic focus on solid-state-based systems

#### Applying knowledge and understanding:

- understanding and utilizing the physical models that are functional to the implementation of quantum computing, communication and sensing schemes
- planning and conducting experimental activities in the fields of quantum communication and sensing

### Programma

#### Frontal lectures:

- quantum technologies: birth of the second quantum revolution
- essential physical concepts: quantum entanglement, quantum teleportation, no-cloning theorem, Bell states
- quantum computing: quantum bits and gates, hints to the main quantum algorithms (Deutsch, Deutsch-Jozsa, Shor, etc.)
- quantum communication: essential concepts, single-photon sources and auto-correlation functions, main quantum cryptography codes (BB84, etc.)

- quantum sensing: basic concepts, solid-state systems based on spin-selective optical defects, the nitrogen-vacancy system in diamond
- experimental platforms: optical systems, superconductor systems, cold atoms, solid-state systems

Experimental sessions:

the students will carry laboratory activities on the following topics:

- experimenting with a key exchange system based on the BB84 quantum cryptography scheme
- characterization of single-photon sources based on confocal photoluminescence microscopy
- characterization of quantum magnetometers based on Zeeman effect in luminescent defects in diamond

#### Modalità di insegnamento

The course is organized in 4 CFU (32 hours) of frontal lectures and 2 CFU (20 hours) of experimental activities.

Attendance is optional for the frontal lectures, while it is compulsory (minimum 70%) for the laboratory sessions.

#### Modalità di verifica dell'apprendimento

The exam will consist in an oral colloquium (in English or Italian, at the student's choice) of about 30 minutes in which the following aspects will be evaluated:

- understanding of the contents of the frontal lectures;
- the contents of the reports of the laboratory activities, which the students must produce in groups and deliver at least one week before the exam; each student is fully responsible for the contents of the group report.

The evaluation of the lab report will impact for about 30% in the determination of the final mark.

#### Testi consigliati e bibliografia

"Quantum Computation and Quantum Information", M. A. Nielsen e I. L. Chuang, Cambridge University Press, 2000, ISBN 13: 9780521635035

"Introduction to Quantum Technologies", A. Osada , R. Yamazaki , A. Noguchi, Springer, Lecture Notes in Physics (LNP, volume 1004), ISBN: 978-981-19-4643-1