

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

# SYLLABUS DEL CORSO

# **Quantum Information and Algorithms**

2526-2-F9102Q026

#### Obiettivi

#### (DdD 1) Conoscenza e capacità di comprensione

Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:

- Comprendere le peculiarità dell'informazione quantistica e la loro rilevanza teorica e applicativa.
- Conoscere i principali protocolli crittografici utilizzati nella comunicazione quantistica.
- Comprendere in profondità i principi di funzionamento dei modelli computazionali quantistici.

#### (DdD 2) Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Al termine del corso, lo studente sarà in grado di:

- Analizzare e classificare le principali classi di algoritmi quantistici.
- Implementare algoritmi quantistici utilizzando i formalismi appropriati e i linguaggi di programmazione dedicati all'informatica quantistica.

#### (DdD 3) Autonomia di giudizio

Durante il corso, lo studente svilupperà la capacità di:

- Valutare criticamente le potenzialità e i limiti degli algoritmi quantistici in relazione a problemi computazionali concreti.
- Giudicare l'adeguatezza di diversi modelli e tecnologie quantistiche per la risoluzione di problemi specifici.

#### (DdD 4) Abilità comunicative

Durante le attività del corso, lo studente sarà in grado di:

- Comunicare con chiarezza, rigore e proprietà di linguaggio risultati teorici e applicativi dell'informatica quantistica, anche in contesti interdisciplinari.
- Presentare relazioni su algoritmi o protocolli quantistici, rivolgendosi a un pubblico tecnico o accademico.

#### (DdD 5) Capacità di apprendere

Al termine del corso, lo studente avrà acquisito la capacità di:

- Proseguire in modo autonomo lo studio dell'informatica quantistica, anche accedendo alla letteratura scientifica avanzata e a nuove piattaforme tecnologiche.
- Aggiornare le proprie conoscenze in un ambito in rapida evoluzione, integrando autonomamente competenze teoriche e pratiche.

#### Contenuti sintetici

Il corso fornisce un'introduzione a temi rappresentativi delle seguenti aree tematiche:

- 1. Teoria dell'Informazione Quantistica (elementi di base)
- 2. Crittografia Quantistica (distribuzione quantistica di chiavi)
- 3. Comunicazione Quantistica (canali non ideali e codici per la correzione dell'errore)
- 4. Calcolo Quantistico (algoritmi avanzati selezionati, algoritmi di Machine Learning)
- 5. Elementi di Calcolo Quantistico Distribuito

#### Programma esteso

- 1. Teoria dell'Informazione Quantistica (elementi di base rivisitati)
  - o Dalle Computazioni Classiche a quelle Probabilistiche a quelle Quantistiche
  - o Correlazioni Classiche vs. Quantistiche
  - Quantità di Informazione nei Sistemi Classici e Quantistici
- 2. Crittografia Quantistica (distribuzione quantistica di chiavi)
  - o L'Entanglement come Risorsa per la Crittografia: Teletrasporto e Codifica Densa
  - º Protocolli di Distribuzione delle Chiavi Quantistiche: Bennet & Brassard 84, Bennet 92, Ekert 91
- 3. Comunicazione Quantistica (canali non ideali e codici per la correzione dell'errore)
  - · Teoria delle matrici densità
  - o Decoerenza e Canali Non Ideali
  - o Codici per la Correzione degli Errori Quantistici
- 4. Computazione Quantistica (algoritmi avanzati selezionati)
  - o Richiamo dei concetti fondamentali
  - "Subroutine" Quantistiche (es. phase kick-back)
  - Revisione del "Canone", gli algoritmi più noti e alcune varianti (es. Fixed-Point Grover)
  - Ulteriori algoritmo rilevanti: l'algoritmo di fattorizzazione di Shor
  - Introduzione al Quantum Machine Learning

- 5. Elementi di Calcolo Quantistico Distribuito
- CNOT Distribuito
- Le primitive del Calcolo Quantistico Distribuito
- Il paradigma dell'Internet Quantistico

## Prerequisiti

Algebra lineare e argomenti matematici trattati nei corsi di laurea triennale in discipline STEM. Familiarità con i concetti di base di Statistica e Apprendimento Automatico

Aver seguito l'insegnamento Fundations of Quantum Computing (Primo Anno Magistrale, anche denominato fino all'AA 23/24 Quantum Simulations), o un insegnamento equivalente.

#### Modalità didattica

L'insegnamento è composto da

- lezioni frontali, in modalità didattica erogativa (DE 32 ore)
- attività di programmazione in laboratorio in modalità didattica interattiva (DI 24 ore)

Tutte le attività si svolgeranno in presenza.

Il corso sarà erogato in Inglese.

#### **Materiale didattico**

Note e articoli scientifici forniti dai docenti.

Per approfondire ulteriormente gli argomenti sono utili i seguenti testi:

- Vathsan Introduction to Quantum Physics and Infromation Processing CRC Press 2016
- Hayashi Introduction to Quantum Information Science Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015
- Polak & Rieffel: Quantum Computing: A Gentle Introduction. MIT Press, 2011
- Schuld & Petruccione: Machine Learning with Quantum Computers. Springer 2021
- Schuld & Petruccione: Supervised Learning with Quantum Computers. Springer 2018

# Periodo di erogazione dell'insegnamento

Secondo Anno, Primo Semestre

# Modalità di verifica del profitto e valutazione

La valutazione dell'apprendimento si basa su un colloquio orale, sui temi trattati in aula durante il corso.

Criteri di Valutazione:

- Comprensione dei Concetti (comprensione approfondita e completa degli argomenti del corso)
- Capacità di Risolvere Problemi (applicazione della conoscenza teorica e creatività)
- Capacità di Spiegare e Discutere (chiarezza, sintesi e capacità critica)

## Orario di ricevimento

Su appuntamento.

# **Sustainable Development Goals**

ISTRUZIONE DI QUALITÁ | IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE