UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA

SYLLABUS DEL CORSO

Quantum Information and Algorithms

2627-2-F9103Q026

Obiettivi

(DdD 1) Conoscenza e comprensione
Lo studente acquisisce una comprensione approfondita dei fondamenti dell'informazione quantistica, dei sistemi quantistici aperti e della decoerenza, dei principali protocolli di crittografia quantistica, e dei modelli di calcolo quantistico distribuito e avanzato, inclusi gli approcci di quantum machine learning.

(DdD 2) Capacità di applicare conoscenza e comprensione
Lo studente è in grado di analizzare e classificare algoritmi quantistici avanzati — dalle subroutine fondamentali agli algoritmi variazionali per il QML — e di implementarli mediante i formalismi appropriati, inclusi canali quantistici, circuiti variazionali e protocolli distribuiti.

(DdD 3) Autonomia di giudizio
Lo studente sa valutare criticamente potenzialità e limiti degli algoritmi e dei protocolli quantistici — dalla correzione degli errori alla crittografia, dal calcolo distribuito al machine learning quantistico — in relazione a problemi computazionali e scenari applicativi concreti.

(DdD 4) Abilità comunicative
Lo studente è in grado di esporre con chiarezza, precisione e linguaggio tecnico adeguato risultati teorici e applicativi nei diversi ambiti del corso — crittografia, comunicazione quantistica, algoritmi avanzati e QML — anche in contesti interdisciplinari e davanti a un pubblico accademico.

(DdD 5) Capacità di apprendimento
Lo studente sviluppa la capacità di aggiornarsi autonomamente in un campo in rapida evoluzione, integrando competenze teoriche e pratiche attraverso la letteratura scientifica avanzata e le piattaforme emergenti nei settori della computazione quantistica, della crittografia e del quantum machine learning.

Contenuti sintetici

Il corso fornisce un'introduzione ad argomenti rappresentativi nelle seguenti aree tematiche:

1. Sistemi Quantistici Aperti
2. Crittografia Quantistica
3. Calcolo Quantistico Distribuito
4. Algoritmi Quantistici Avanzati
5. Quantum Machine Learning

Programma esteso

0. Ripasso dei metodi e strumenti fondamentali

Operatori e porte di Pauli e di Clifford
Entanglement vs. Interferenza
La base degli stati di Bell
Teoria della matrice densità
Stati puri vs. Stati misti

1. Sistemi Quantistici Aperti (modellazione della Decoerenza)

Sistemi composti e stati ridotti
Espansione, Evoluzione e Riduzione
Canali Quantistici: rappresentazioni di Stinespring, Kraus e Choi
Decoerenza e canali non ideali: Reset del Qubit, Dephasing, canali Depolarizzanti
Elementi di Correzione degli Errori Quantistici
Entropia di Shannon e Informazione Mutua nei sistemi classici
Entropia di Von Neumann e Informazione Mutua nei sistemi quantistici

2. Crittografia Quantistica (protocolli rappresentativi)

Primitive di Crittografia Quantistica
Protocolli di Distribuzione Quantistica delle Chiavi: Bennet & Brassard 84, Bennet 92, Ekert 91
Crittografia Omomorfica Quantistica
Condivisione Quantistica del Segreto
Clonazione Quantistica Cifrata

3. Comunicazione Quantistica e Calcolo Quantistico Distribuito (DQC)

Teletrasporto Quantistico e Codifica Densa
Il CNOT non-locale
Le primitive del DQC
L'Internet Quantistico

4. Calcolo Quantistico Avanzato (algoritmi avanzati selezionati)

"Subroutine" Quantistiche (es. phase kick-back)
Ripasso del "Canone": algoritmi noti e alcune varianti (es. Grover a Punto Fisso)
Ulteriori algoritmi notevoli: algoritmo di fattorizzazione di Shor

5. Quantum Machine Learning (algoritmi avanzati selezionati)

Codifica dell'Informazione nei Sistemi Quantistici
Reti Neurali Quantistiche (QNN) e Circuiti Quantistici Variazionali (VQC)
Metodi Kernel Quantistici e Macchine a Vettori di Supporto
Analisi delle Componenti Principali Quantistica (qPCA) e Algebra Lineare Quantistica (HHL)

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), o un insegnamento equivalente.

Modalità didattica

L’insegnamento è composto da

- lezioni frontali, in modalità didattica erogativa (DE 32 ore)
- attività di esercitazione 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 dal docente.

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