

IMPLEMENTAZIONE DI UN ALGORITMO KNN MULTICLASSE SU HARDWARE QUANTISTICO

TESI DI LAUREA SPERIMENTALE IN FISICA

MARIANO MOLLO N85000880

RELATORI:

GIOVANNI ACAMPORA

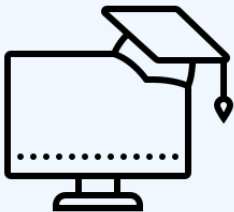
AUTILIA VITIELLO

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

OTTOBRE 2019



INTRODUZIONE

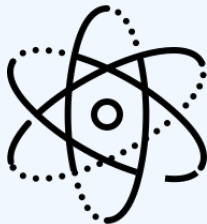


Il machine learning
permette ai
computer di
imparare dai dati

Gli algoritmi di ML prevedono spesso di

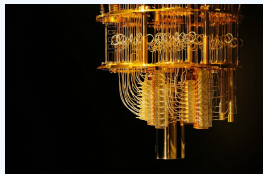
- risolvere grandi sistemi di equazioni lineari
- invertire grandi matrici
- calcolare distanze

Effettuare questi calcoli su insiemi dati
grandi e complessi diventa difficile



Il quantum computing studia la costruzione e l'uso di hardware di elaborazione basato sulla meccanica quantistica

- Il quantum computing lavora con vettori in spazi di Hilbert
- I computer quantistici eseguono operazioni lineari sui qubit
- Sistemi a molti qubit sono descritti da grandi vettori che possono essere manipolati in parallelo
- Il machine learning prevede la manipolazione di grandi vettori e matrici



L'uso dei computer quantistici per risolvere problemi classici difficili o classi di problemi completamente nuove è chiamato machine learning quantistico, ovvero permettere ai computer quantistici di imparare dai dati più velocemente dei computer classici

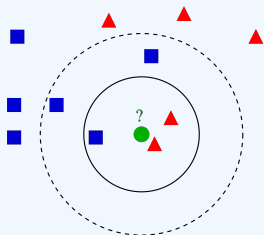
MACHINE LEARNING

Definizione del problema

Dato un insieme dati in input con i corrispondenti output, predire l'output di un nuovo input ignoto.

Input	Output
facce	emozioni
battito cardiaco	stato di salute
meteo dell'anno scorso	meteo di domani
messaggio di un utente	intenzione del messaggio
cronologia di ricerca	probabilità di cliccare su un annuncio

K-NEAREST NEIGHBOURS CLASSICO



k è un numero naturale

Dato un insieme di apprendimento

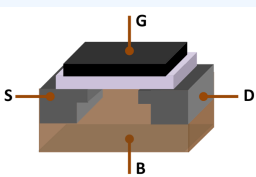
$D = v_0, \dots, v_{M-1}, v_i \in \{\text{classe}_0, \text{classe}_1\}$

Dato un nuovo vettore x :

- considera i k elementi più vicini ad x
- classifica x con un voto a maggioranza

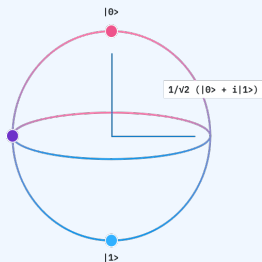
Si assegnano pesi dipendenti da $\frac{1}{\text{distanza}}$ per aumentare l'influenza dei vettori più vicini

QUANTUM COMPUTING



- Solitamente implementati attraverso MOSFET^a
- 2 stati definiti (0, 1)
- Può trovarsi in uno tra gli stati 0 o 1

^aMOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



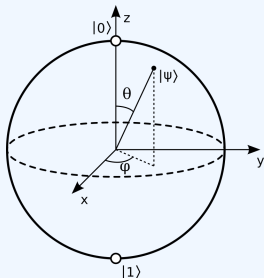
- Può essere $|0\rangle$ o $|1\rangle$
- Può anche essere $|0\rangle$ e $|1\rangle$ contemporaneamente (sovrapposizione quantistica)

Matematicamente, la sovrapposizione di un qubit è espressa come

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}, \quad (1)$$

dove α e β sono chiamate ampiezze di probabilità.
L'ultima espressione è chiamata vettore di probabilità.

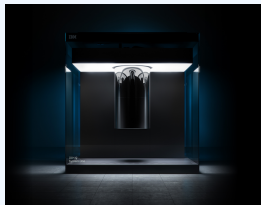
SFERA DI BLOCH



Un qubit si può visualizzare su una 2-sfera parametrizzando α e β in coordinate polari

$$|\psi\rangle = \cos \frac{\theta}{2} |0\rangle + e^{i\varphi} \sin \frac{\theta}{2} |1\rangle, \quad (2)$$

dove $0 \leq \theta \leq \pi$ e $0 \leq \varphi < 2\pi$



L'IBM Q System One è il primo computer quantistico basato su circuiti commerciale al mondo, introdotto dall'IBM nel gennaio 2019. L'IBM Q System One possiede 20 qubit.

PUNTI DI FORZA DEI QUANTUM COMPUTER

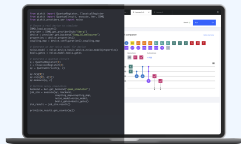
Un computer quantistico con n qubit ha 2^n ampiezze di probabilità

Queste ampiezze possono essere usate per memorizzare quantità enormi di informazioni

Numero di qubit	RAM classica richiesta	
5	256 byte	
25	2 gigabyte	
50	8000 terabyte	secondo
275	numero di atomi nell'universo osservabile	

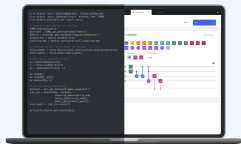
- Riprodurre l'algoritmo di classificazione binaria KNN quantistico proposto da Schuld et al.
- Implementarne una versione multiclasse
- Esplorare le possibilità usando l'hardware attualmente disponibile
- Simulare esperimenti più complessi che richiedono più risorse

METODI



L'IBM Q Experience è un'interfaccia per interagire con le risorse di quantum computing dell'IBM

- accessibile al pubblico
- permette simulazioni con e senza rumore
- fino a 14 qubit superconduttivi
- fino a 32 qubit simulati

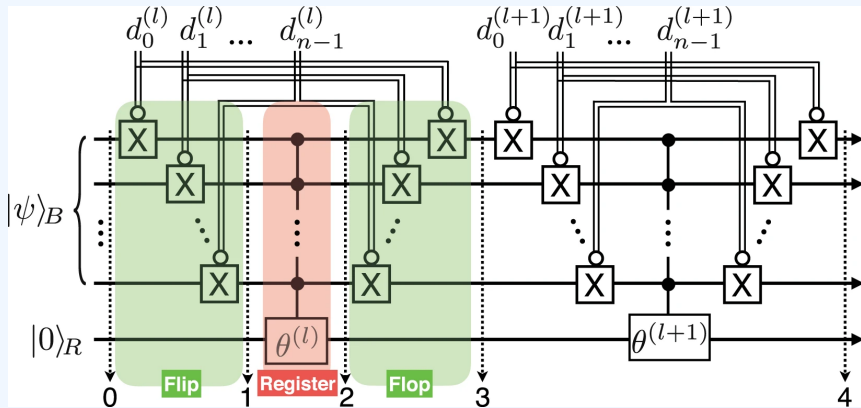


Struttura open source di sviluppo software per quantum computing, permette di

- progettare circuiti quantistici
- simularli sul proprio computer personale
- inviare ordini di esecuzione su hardware quantistico reale
- visualizzare i risultati

QUANTUM MACHINE LEARNING

CODIFICARE DATI CLASSICI NELLE AMPIEZZE DI PROBABILITÀ



Per codificare dati classici nelle ampiezze di probabilità è stata usata la tecnica di costruzione di stati flip-flop QRAM, come proposto da Petruccione et al.

ALGORITMO KNN QUANTISTICO

Stato quantistico iniziale

$$|\psi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2M}} \sum_{m=1}^M (|0\rangle |\psi_x\rangle + |1\rangle |\psi_{t^m}\rangle) |c^m\rangle |m\rangle$$

Calcolo della distanza con interferenza quantistica

$$|\psi_1\rangle = \frac{1}{2\sqrt{M}} \sum_{m=1}^M (|0\rangle (|\psi_x\rangle + |\psi_{t^m}\rangle) + |1\rangle (|\psi_x\rangle - |\psi_{t^m}\rangle)) |c^m\rangle |m\rangle$$

Misura condizionale

$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{2\sqrt{M}} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N (x_i + t_i^m) |0\rangle |i\rangle |c^m\rangle |m\rangle$$

Probabilità di misurare una data classe

$$P(|c^m\rangle = |s\rangle) = \sum_{m|c^m=s} 1 - \frac{1}{4M} |x - t^m|^2$$

Classificazione

$$c = \begin{cases} 0 & \text{se } P(|c^0\rangle) \text{ maggiore} \\ 1 & \text{se } P(|c^1\rangle) \text{ maggiore} \\ \text{etc} \dots \end{cases}$$

RISULTATI

CLASSIFICAZIONE BINARIA

Classificazione setosa vs. versicolor dal data set Iris

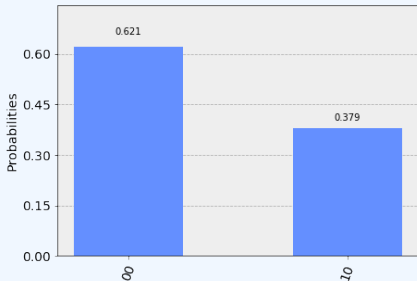


Figure: Simulazione su setosa

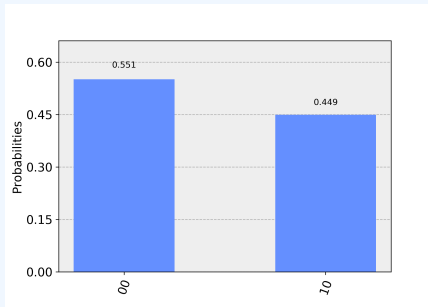


Figure: Esecuzione reale su setosa

CLASSIFICAZIONE MULTICLASSE

Classificazione setosa vs. versicolor vs. virginica dal data set Iris

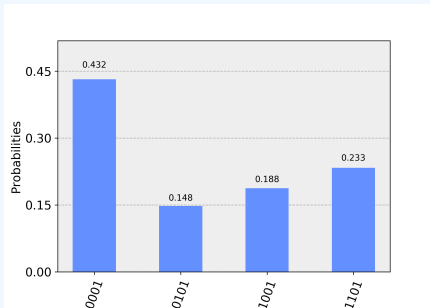


Figure: Simulazione su setosa

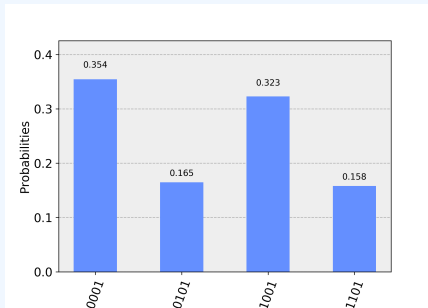


Figure: Esecuzione reale su setosa

CONCLUSIONE

- L'elaborazione quantistica è nella frontiera dei supercomputer e ha il potenziale di accelerare gli algoritmi di machine learning classico
- È stata riprodotta un'implementazione di algoritmo KNN quantistico di classificazione binaria su hardware di piccola scala
- Se ne è esteso il funzionamento in modo da renderlo multiclasse
- Si sono effettuati test su hardware quantistico di media scala

- Far girare gli algoritmi su computer con maggiori risorse, sia in termini di numero di qubit che di tempi di decoerenza
- A tal proposito, sarebbe interessante l'esecuzione sul computer a 20 qubit annunciato quest'anno
- Si attende lo sviluppo di corrispettivi quantistici per algoritmi di IA più complessi

DOMANDE?