



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

Autore: Jacopo Dardini 7073554

Relatore: Prof. Filippo Caruso

Correlatore: Prof. Rosario Pugliese

Titolo: Reti Neurali Quantistiche Convoluzionali per la Rilevazione di Tumori Cerebrali Umani dalle Immagini MRI.

La mia ricerca si è focalizzata sull'implementazione di reti neurali convoluzionali quantistiche per la diagnosi dei tumori cerebrali tramite immagini MRI. Le reti neurali convoluzionali sono ampiamente riconosciute per la loro efficacia nell'analisi delle immagini, poiché permettono di ridurre la dimensionalità dei dati mantenendo le caratteristiche salienti attraverso l'uso di operazioni di convoluzione. Questo processo consente di estrarre informazioni rilevanti dalle immagini utilizzando filtri o kernel di dimensioni inferiori rispetto all'immagine stessa.

Recentemente, si è sviluppato un crescente interesse nel combinare il machine learning classico con il quantum computing. Il quantum computing sfrutta i qubit come unità fondamentali di informazione, che si distinguono dai classici bit per la capacità di esistere in sovrapposizione di stati. Questo significa che un qubit può rappresentare simultaneamente più stati di base con coefficienti di probabilità specifici, introducendo la possibilità di eseguire operazioni intrinsecamente più complesse e non replicabili dai computer classici. I principi fondamentali del quantum computing sono la sovrapposizione e l'entanglement. La sovrapposizione permette ai qubit di esistere in più stati contemporaneamente, mentre l'entanglement indica una correlazione profonda tra lo stato di un qubit e quello di altri qubit, indipendentemente dalla distanza che li separa. Questa correlazione è molto più forte di qualsiasi correlazione classica e rappresenta la risorsa fondamentale nei protocolli quantistici avanzati.

Nel mio studio, ho sviluppato modelli ibridi che combinano elementi di machine learning classico con tecniche quantistiche. Ogni modello è strutturato con un layer di convoluzione quantistica basato su circuiti quantistici, seguito da un modello convoluzionale classico. L'obiettivo è stato esplorare come diverse configurazioni e design di circuiti quantistici influenzino il processo di convoluzione delle immagini, alterando la capacità del modello di estrarre caratteristiche specifiche dall'input. Ad esempio, circuiti con un'elevata presenza di porte per l'entanglement hanno mostrato di generare immagini con bordi meno definiti, a causa della maggiore correlazione tra i pixel vicini.

Nel processo di convoluzione quantistica, ogni pixel dell'immagine è rappresentato da esattamente un qubit, che viene sottoposto a operazioni di rotazione e interazione con altri qubit, che a loro volta contengono l'informazione di pixel vicini, prima della misurazione finale. Questa misurazione porta al collasso del qubit in uno degli stati classici (0 o 1), e ogni qubit misurato corrisponde a un pixel dell'immagine di un canale in uscita. Infatti l'utilizzo di un circuito a 4 qubit, che simula un kernel 2x2, andrà a restituire 4 immagini convolute per ogni immagine in entrata.

Durante la sperimentazione, ho implementato e testato tre tipi di circuiti quantistici: uno con porte e parametri casuali, un altro che favorisce l'entanglement tra i qubit e un terzo ispirato alla Trasformata di Fourier. I risultati della ricerca non hanno mostrato miglioramenti significativi in termini di precisione di classificazione rispetto ai modelli puramente classici. Tuttavia, è stato osservato un impatto significativo sulla natura delle immagini elaborate, dimostrando come l'uso di circuiti quantistici possa generare interazioni e correlazioni non replicabili da filtri convenzionali. È interessante notare che i modelli classici impiegano significativamente meno tempo nell'allenamento su immagini già convolute quantisticamente rispetto a quelle nel formato originale.

In conclusione, questo è un ambito che vale assolutamente un maggiore approfondimento, magari andando a migliorare la componente di data preprocessing mirata alla diagnostica per immagini.

