

# Computazione quantistica mediante dispositivi a stato solido

## Quantum computation and solid state devices

**Candidato:** Luca Gamberi (luca.gamberi@stud.unifi.it)

**Relatore:** Dott.ssa Paola Verrucchi (verrucchi@fi.infn.it)

**Correlatore:** Prof. Alessandro Cuccoli (alessandro.cuccoli@unifi.it)

Dopo decenni di crescita inarrestabile della loro potenza di calcolo, i dispositivi per l'elaborazione dell'informazione classica operano oggi al limite delle loro intrinseche possibilità fisiche, e questo ci spinge ad esplorare possibili alternative, non solo all'elettronica, per la realizzazione dei microprocessori, ma anche alla teoria dell'informazione classica, per l'elaborazione dei dati. È così emersa la possibilità di utilizzare le proprietà degli stati quantistici per definire una nuova teoria dell'informazione ed una corrispondente computazione, dette appunto quantistiche. L'ulteriore passaggio da queste costruzioni teoriche allo studio specifico delle possibili realizzazioni fisiche di dispositivi per la computazione quantistica è avvenuto nel momento in cui sono state individuate le condizioni necessarie (anche se ancora oggi non da tutti ritenute sufficienti) affinché un dispositivo possa essere in grado di portare a termine un qualsiasi algoritmo quantistico, e possa quindi essere considerato un computer quantistico a tutti gli effetti. Con tali condizioni, stabilite dai cosiddetti *cinque criteri di DiVincenzo*, si deve confrontare qualunque proposta per la realizzazione di un computer quantistico, al punto da costituire, esse stesse, una vera e propria linea guida per la progettazione dei dispositivi e la loro valutazione.

Facendo riferimento proprio al primo criterio di DiVincenzo, che individua come necessaria la condizione di *scalabilità* del dispositivo (ovvero il fatto che il suo funzionamento non deve risentire dell'aumento della quantità di informazione da elaborare), in questo elaborato ci siamo concentrati sui dispositivi quantistici basati sui sistemi a stato solido. Tali dispositivi, infatti, sono tipicamente caratterizzati da piccole dimensioni e strutture geometriche periodiche, o comunque facilmente riproducibili in array o matrici, e sembrano poter soddisfare, non solo la richiesta di scalabilità, ma anche quella (che costituisce il terzo criterio di DiVincenzo) di lunghi tempi di coerenza, in virtù della possibilità di raffreddare efficacemente circuiti di piccole dimensioni. Abbiamo in particolare considerato la proposta avanzata da Daniel Loss e David P. DiVincenzo per la realizzazione di un computer quantistico basato sui gradi di libertà di spin degli elettroni localizzati all'interno di nanostrutture chiamate, in letteratura, punti quantici (o *quantum dots*). Dopo una breve descrizione delle principali, almeno per quanto riguarda la nostra analisi, proprietà dei punti quantici, abbiamo considerato in dettaglio la proposta per la realizzazione delle necessarie porte logiche in sistemi di punti quantici accoppiati lateralmente, sfruttando la possibilità di controllare alcune specifiche interazioni fisiche, nonché l'evoluzione degli stati quantistici da esse indotta.

In particolare, nel primo capitolo della tesi introduciamo gli elementi fondamentali della computazione quantistica, mettendo in evidenza la relazione fra il funzionamento di un generico algoritmo quantistico ed i postulati della meccanica quantistica. Proseguiamo quindi, nel secondo capitolo, con l'enunciazione dei criteri di DiVincenzo ed una breve descrizione di come questi possano essere utilizzati come base per uno studio di fattibilità di un computer quantistico. Infine, nel terzo capitolo, presentiamo nel dettaglio la proposta di Loss-DiVincenzo, focalizzando l'attenzione sulla realizzazione di una particolare porta logica mediante l'interazione coulombiana di scambio fra due elettroni localizzati in due punti quantici adiacenti.