

La misura quantistica come strumento per alimentare macchine termiche

Candidato: Andrea Solfanelli (andrea.solfanelli@stud.unifi.it)

Relatore: Prof. Michele Campisi (michele.campisi@unifi.it)

In questo lavoro di tesi abbiamo studiato l'impatto della misura quantistica sui processi termodinamici. In particolare il nostro studio si è basato sull'osservazione che la misura in meccanica quantistica implica necessariamente un'interazione tra il sistema misurato e l'apparato di misura e che, come conseguenza di questa interazione, si possono avere scambi di energia che, se sfruttati opportunamente, possono diventare uno strumento per alimentare macchine termiche. A questo scopo abbiamo studiato un modello di macchina termica a due tempi composta da due qubit su cui si fanno misure quantistiche. Se l'osservabile misurata è opportunamente scelta la macchina può eseguire operazioni più o meno utili, come ad esempio estrarre calore da un bagno freddo, funzionando quindi da macchina refrigerante. Tra i risultati principali vi è quello di aver individuato, tramite lo sviluppo di una teoria generale riguardante l'estrazione di energia da un sistema quantistico per mezzo di misure proiettive, l'osservabile che ottimizza la performance termodinamica della macchina. La tesi è organizzata come segue. Nel capitolo 1, dopo una definizione di calore e lavoro in meccanica quantistica, abbiamo presentato la prima e la seconda legge della termodinamica, in una formulazione adeguata al contesto delle macchine termiche quantistiche. Quindi abbiamo illustrato due modelli di macchina termica quantistica discussi in letteratura: il ciclo di Otto quantistico e la macchina SWAP. Riguardo al ciclo di Otto, si è provveduto ad uno studio numerico dettagliato e realistico del suo funzionamento con riguardo ad una particolare implementazione proposta dal gruppo sperimentale del Prof. Pekola. Il capitolo 2 è dedicato al processo di misura quantistico sia dal punto di vista teorico (seguendo l'approccio dinamico di Allahverdyan et al) che sperimentale (con particolare riferimento al processo di misura comunemente impiegato in circuit QED). I risultati principali della tesi si trovano nel capitolo 3, dove abbiamo introdotto il concetto di "metrotopia" \mathcal{M} , come la massima energia estraibile da un sistema quantistico per mezzo di una misura proiettiva, in analogia con il concetto, precedentemente noto, di "ergotopia" \mathcal{W} , che denota la massima energia estraibile da un sistema quantistico per mezzo di un'evoluzione unitaria. Abbiamo confrontato queste due grandezze trovando che in generale $\mathcal{M} \leq \mathcal{W}$. Nel caso in cui lo stato iniziale sia stazionario abbiamo dimostrato analiticamente che la metrotopia è raggiunta quando la base di misura contiene solamente singoli autovettori dell'Hamiltoniano e coppie di vettori che sono combinazioni simmetriche e antisimmetriche di autovettori dell'Hamiltoniano. Si è inoltre dimostrato che, in questo caso, $\mathcal{M} \leq \mathcal{W}/2$ e si sono individuate le condizioni affinché valga il segno di uguaglianza. In fine nel capitolo 4 abbiamo applicato questi risultati, validi per un generico sistema quantistico a N livelli, allo studio del funzionamento della macchina termica a due qubit menzionata sopra, che lavora su due tempi, interagendo alternativamente con un apparato di misura e con due bagni termici a temperature diverse. Usando i concetti di ergotopia e metrotopia abbiamo identificato le regioni dei parametri nelle quali i quattro possibili regimi di funzionamento (macchina termica, refrigeratore, acceleratore termico e riscaldatore) sono realizzabili. Abbiamo ottimizzato la performance per i regimi più utili, cioè di macchina termica e di refrigeratore, sia in termini di valore assoluto di energia scambiata (cioè, rispettivamente, il lavoro fornito e il calore sottratto da un bagno freddo) che in termini di efficienza termodinamica. Sorprendentemente abbiamo trovato che in ciascuno dei casi elencati la base ottimale è quella di singoletto/tripletto. Questa base è massimamente entangled ed abbiamo mostrato come la presenza di entanglement nella base di misura sia un ingrediente necessario per realizzare qualsivoglia funzionamento che non sia il riscaldatore. La tesi si conclude con la descrizione di una possibile implementazione di questa macchina termica, per mezzo di circuiti superconduttivi.