

COMUNICATO STAMPA

CONSTRUCTOR-BASED IRREVERSIBILITY: COME RICONCILIARE IRREVERSIBILITÀ E MECCANICA QUANTISTICA

Una collaborazione tra INRiM e Università di Oxford ha dimostrato la compatibilità tra irreversibilità e le leggi della meccanica quantistica, reversibili temporalmente. A questo scopo, è stato utilizzato un modello basato sull'omogeneizzatore quantistico, realizzato sperimentalmente tramite qubit a singolo fotone.

Torino, 23 Febbraio 2022 – In uno studio pubblicato sulla prestigiosa rivista [Physical Review Letters](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.080401), della **American Physical Society**, (doi.org/10.1103/PhysRevLett.128.080401), un gruppo di ricercatori dell'**Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM)**, in collaborazione con l'**Università di Oxford**, ha dimostrato la compatibilità tra l'irreversibilità e le leggi della meccanica quantistica, simmetriche rispetto all'inversione temporale. La questione dell'irreversibilità è stata affrontata con diversi metodi, da quelli propri della meccanica statistica a quelli di teoria dell'informazione basati su compiti logicamente irreversibili, fino a quelli relativi al secondo principio della termodinamica, sia nella sua forma classica che in quella quantistica. Tuttavia, in ciascun caso è sempre sorta una tensione tra la modellizzazione dei fenomeni irreversibili e le leggi quantistiche, reversibili temporalmente.

In questo studio, l'irreversibilità è stata definita come il fatto che una trasformazione T può essere realizzata arbitrariamente bene da una macchina ciclica, mentre lo stesso non vale per la sua inversa $T^{\sim}$. Un tipico esempio di questa definizione di irreversibilità è dato dall'esperimento di Joule: un volume d'acqua può essere riscaldato unicamente per via meccanica, ma non può essere raffreddato in tal modo. Il concetto di macchina ciclica che esegue una trasformazione è stato generalizzato da von Neumann a quello di *costruttore*, cioè un sistema in grado di svolgere un determinato compito su un altro sistema pur rimanendo in grado di ripetere la procedura. Quindi, una trasformazione è possibile solo se esiste un costruttore in grado di realizzarla. Tale irreversibilità, che generalizza quella dell'esperimento di Joule, viene definita nello studio col nome di “*constructor-based irreversibility*”.

Per mostrare la compatibilità tra questa definizione di irreversibilità e le leggi temporalmente simmetriche della meccanica quantistica, **è stato studiato un modello a qubit incentrato sull'omogeneizzatore quantistico (Fig. 1)**, ovvero una macchina

U.O. COMUNICAZIONE - INRiM

Responsabile: Barbara Fracassi - tel +390113919546

comunicazione@inrim.it <https://www.inrim.it/>



composta da un insieme di N qubit, tutti preparati in uno stesso stato specifico. Prendendo un qubit Q e facendolo interagire con gli N qubit dell'omogeneizzatore mediante successivi "partial SWAP" (operazioni quantistiche in grado di scambiare parzialmente gli stati di due qubit), lo stato di Q può essere trasformato adiabaticamente in quello dell'omogeneizzatore, inducendo al contempo una leggera modifica nella macchina. Se la nostra T è la trasformazione "puro-misto", ovvero quella in cui Q passa da uno stato puro a uno completamente misto, si può dimostrare che l'omogeneizzatore quantistico soddisfa i criteri per essere considerato un costruttore vero e proprio, mentre lo stesso non accade per quello relativo alla trasformazione inversa $T^{\sim}$ (caso "misto-puro"). Ciò significa che, anche se T è possibile, la sua controparte $T^{\sim}$ non lo è, quindi si ritrova l'irreversibilità anche in uno scenario governato da leggi fisiche reversibili temporalmente.

Al fine di offrire una dimostrazione quantitativa di questo fenomeno, **i ricercatori hanno eseguito un esperimento basato su qubit a singolo fotone ad alta precisione, generati da un prototipo di sorgente a basso rumore che emette singoli fotoni a 1550 nm accoppiati in fibra ottica (Fig. 2).** L'interazione tra il qubit Q e un omogeneizzatore quantistico composto da $N=3$ qubit è stata ottenuta collegando in cascata tre beam splitter 50:50 in fibra, le cui uscite sono connesse a rivelatori di singolo fotone a InGaAs/InP. Infine, gli impulsi dei rivelatori vengono raccolti da un apparecchio in grado di effettuare coincidenze temporali tra segnali elettrici. Con questa configurazione, sono state studiate le prestazioni dell'omogeneizzatore quantistico per diverse intensità dei "partial SWAP", e successivamente sono state valutate, per T e per $T^{\sim}$, sia l'accuratezza della macchina nella realizzazione del compito sia la sua resilienza rispetto ad un suo uso ripetuto. In questo modo, l'esperimento ha confermato le iniziali previsioni teoriche e simulazioni numeriche, mostrando che, mentre l'omogeneizzatore quantistico per T può qualificarsi come costruttore, quello per $T^{\sim}$ si deteriora troppo velocemente, fino a non risultare più in grado di eseguire tale trasformazione.

Questa può essere considerata una **chiara prova della compatibilità tra la constructor-based irreversibility e le leggi reversibili temporalmente della meccanica quantistica**, in grado di fornire un nuovo punto di vista sull'apparizione dell'irreversibilità termodinamica anche nel quadro della meccanica quantistica.

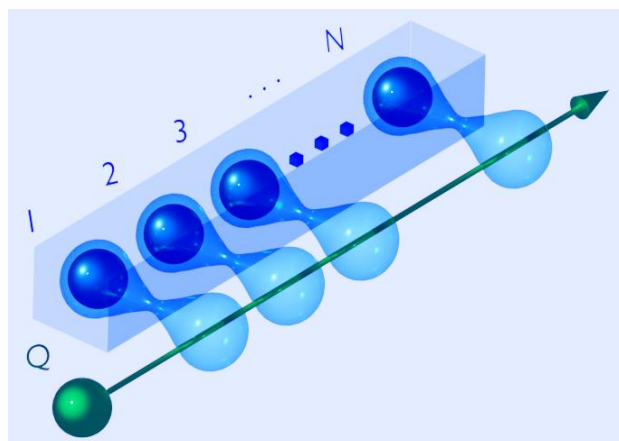


Fig.1: Interazione tra il qubit Q e gli N qubit dell'omogeneizzatore quantistico, realizzata tramite i partial SWAP indicati dalle clessidre.

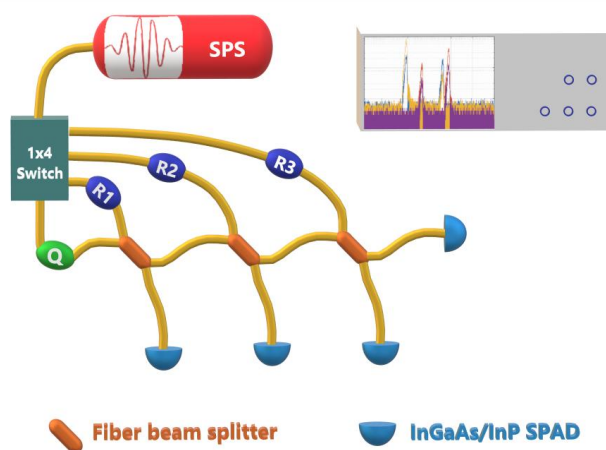


Fig.2: Schema dell'apparato sperimentale. SPAD: rivelatore a singolo fotone (single-photon avalanche diode).