

PREMIO NOBEL PER LA FISICA 2025: QUANDO I CIRCUITI ATTRAVERSANO I MURI



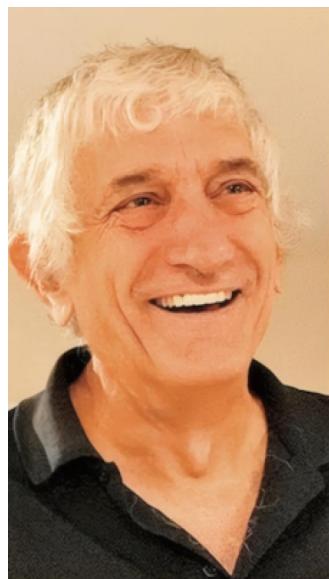
di Gabriele Rolleri*

Comportamenti tipicamente quantistici si possono ottenere anche su scala non microscopica, con spettacolari conseguenze applicative

* Ingegnere, PhD in Quantum Engineering all'ETH di Zurigo, Visiting Student al MIT di Boston.



Il 7 ottobre 2025, l'Accademia Reale Svedese delle Scienze ha assegnato il Premio Nobel per la Fisica a John Clarke, Michel H. Devoret e John M. Martinis. I tre scienziati operano tutti in centri di ricerca e università della California. John Clarke, nato nel 1942 a Cambridge (UK), ha conseguito il Dottorato di ricerca nel 1968 all'Università di Cambridge ed è Professore all'Università della California a Berkeley. Michel H. Devoret, nato nel 1953 a Parigi, ha conseguito il Dottorato di ricerca nel 1982 all'Université Paris-Saclay, è Professore all'Università della California a Santa Barbara, e anche alla

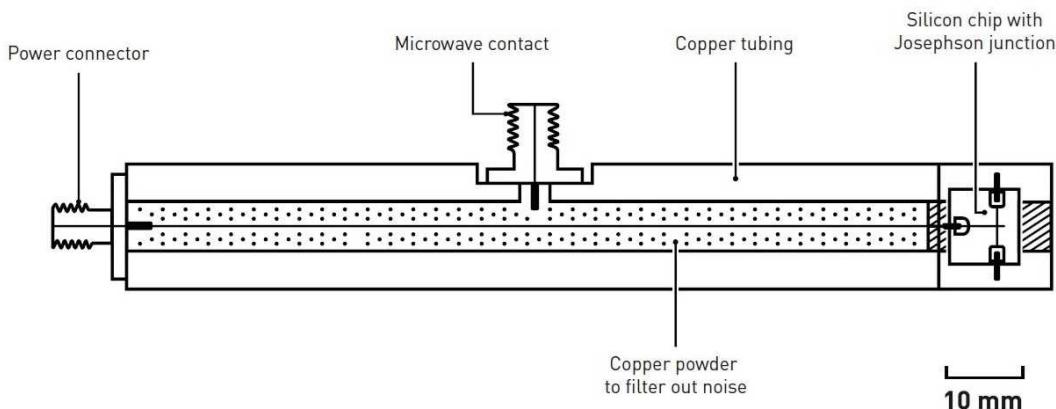


Da sinistra: John M. Martinis, Michel H. Devoret, John Clarke

Yale University a New Haven, ed è Chief Scientist per l'hardware quantistico presso Google Quantum AI. John M. Martinis, nato nel 1958 a San Pedro (CA), ha conseguito il Dottorato di ricerca nel 1987 all'Università della California a Berkeley, è Professore all'Università della California a Santa Barbara e Direttore tecnico del Qolab di Los Angeles.

Eloquente la motivazione del premio, attribuito «per la scoperta dell'effetto tunnel quantistico macroscopico e della quantizzazione dell'energia in un circuito elettrico».

Questo riconoscimento celebra una serie di esperimenti fondamentali che hanno permesso di dare risposta a una domanda nata più di un secolo fa dallo sviluppo della teoria quantistica. Dagli inizi del ventesimo secolo la meccanica quantistica ha permesso di descrivere il comportamento degli elementi più piccoli del nostro universo. È però apparso subito evidente che il "nostro" mondo, ovvero quello a scala macroscopica, non si comportava in maniera quantistica. Per decenni, la comunità scientifica ha dibattuto su quale fosse il limite dimensionale oltre il quale i fenomeni quantistici, come l'entanglement o l'effetto tunnel, cessassero di manifestarsi. Clarke, Devoret e Martinis hanno dimostrato sperimentalmente che, sotto condizioni controllate, questi fenomeni sono presenti anche in oggetti di dimensioni ben maggiori di particelle elementari o atomi.



Schema del circuito elettrico superconduttore utilizzato negli esperimenti da Clarke, Devoret e Martinis (Johan Jarnestad/Accademia Reale Svedese delle Scienze)

Al centro delle loro ricerche, condotte a metà degli anni '80, vi sono circuiti elettronici basati su giunzioni Josephson: dispositivi costituiti da due superconduttori separati da uno strato isolante sottilissimo. In questi sistemi la corrente elettrica fluisce senza resistenza e gli elettroni si muovono in uno stato quantisticamente coerente. I tre scienziati sono riusciti a trattare l'intero circuito, un oggetto artificiale e macroscopico, come se fosse descrivibile da un'unica funzione d'onda, concettualmente analoga a quella di un singolo atomo.

L'evidenza di due fenomeni quantistici

La conferma di questa scoperta è stata resa evidente dall'osservazione di due fenomeni distintamente quantistici.

Il primo è il tunneling quantistico macroscopico. Per comprendere questo fenomeno, si può immaginare lo stato elettrico del circuito come una particella intrappolata in una "buca" di energia, separata da uno stato a energia inferiore da una barriera di potenziale. Secondo la fisica classica, il sistema rimarrebbe confinato nella buca a meno di non ricevere una spinta energetica sufficiente a scalare la barriera, simile a una pallina che deve risalire un pendio per uscire da

una valle. I tre scienziati hanno invece osservato che la variabile macroscopica del circuito (la differenza di fase della funzione d'onda) è in grado di attraversare la barriera “passandoci attraverso”, emergendo nello stato successivo senza aver mai posseduto l'energia necessaria per superare l'ostacolo. È la dimostrazione che un intero dispositivo elettronico può eseguire una transizione proibita dalla fisica classica.

Il secondo risultato riguarda la quantizzazione dei livelli energetici. In un circuito elettrico convenzionale, l'energia può variare in modo continuo. Tuttavia, gli esperimenti hanno rivelato che questi circuiti superconduttori si comportano come “atomi artificiali”: possono assorbire o emettere energia solo in quantità discrete e ben definite. Il circuito non risuona a qualsiasi frequenza ma possiede una serie di “gradini” energetici fissi, dimostrando che la natura granulare dell'energia si può conservare anche in un oggetto fabbricato dall'uomo.

Questi studi hanno anche permesso di trasformare la meccanica quantistica da una teoria osservabile esclusivamente a scale microscopiche a una ingegnerizzabile su scala umana. I circuiti sviluppati da Clarke, Devoret e Martinis sono i diretti antenati dei qubit basati su circuiti superconduttori, piattaforma che oggi costituisce la maggiore parte dei computer quantistici. Queste macchine permettono di risolvere in pochi minuti calcoli che richiederebbero millenni ai supercomputer tradizionali, aprendo nuove frontiere nella scoperta di farmaci, materiali innovativi e sistemi di sicurezza informatica inviolabili.

Gabriele Roller

(Ingegnere, PHD in Quantum Engineering all'ETH di Zurigo, Visiting Student al MIT di Boston)