

[as] riflessi

# Computer quantistici in tilt

di Martina Galli

Immaginate di mettere a punto un dispositivo complesso, composto di elementi estremamente delicati – diciamo un “chip quantistico”, composto da “qubit”. E poi immaginate di ideare una strategia per cui se uno di questi elementi, o qubit, smette di funzionare, gli altri possono prenderne il posto, conservare le sue informazioni e fare in modo che il chip non vada in arresto. Una strategia infallibile, insomma. Eppure, capita che, alle volte, non uno, ma un intero gruppo di questi delicatissimi qubit smette di funzionare all'unisono, con la conseguenza che il meccanismo di conservazione delle informazioni entra in crisi. Perché accade? C'è un errore strutturale? Una falla nella scelta dei materiali? Oppure è l'ambiente in cui il chip si trova a innescare il malfunzionamento?

Oggi sappiamo che l'ipotesi più coerente è la terza: la risposta è da ricercarsi nell'ambiente, e più precisamente nella radioattività ambientale. Questo

fenomeno, ben noto ai fisici delle particelle, è sfuggito a lungo ai fisici quantistici, e noi abbiamo incontrato Laura Cardani, ricercatrice della sezione INFN di Roma 1, per farci raccontare com'è avvenuto il salto disciplinare e quali strategie sono state messe in campo per contrastare gli effetti della radioattività sui qubit.



**[as]: Che cosa si intende con radioattività ambientale?**

**[Laura Cardani]:** Esistono in natura dei nuclei radioattivi, come il radon, che si disgregano spontaneamente, e che producono, decadendo, diversi tipi di radiazione: particelle alfa, elettroni, raggi gamma, raggi X... E poi, ci sono i raggi cosmici, che in ogni momento bombardano la nostra atmosfera producendo principalmente muoni, particelle molto penetranti (vd. anche p. 38, ndr). Insieme, i nuclei radioattivi e i raggi cosmici, costituiscono le principali fonti di radioattività ambientale capaci di interferire con i qubit.

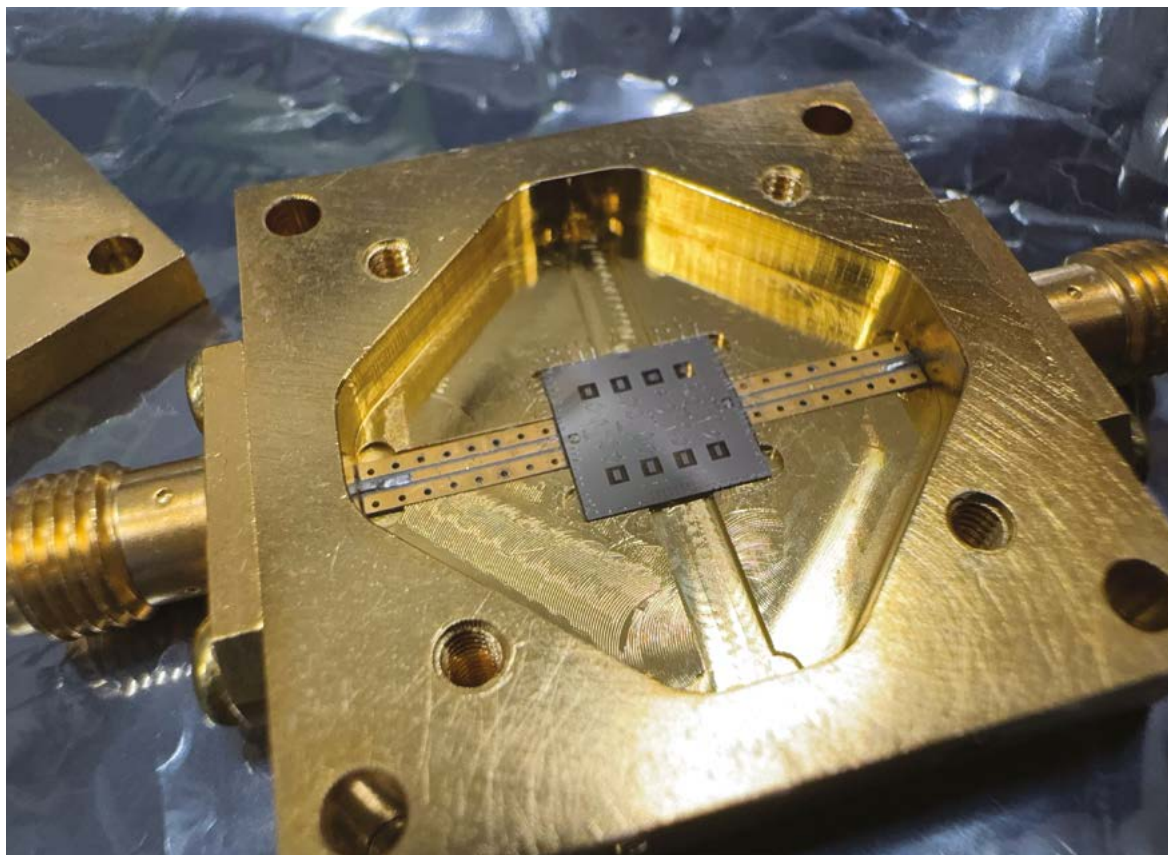
**[as]: Che cosa succede ai qubit quando sono esposti alla radioattività ambientale?**

**[LC]:** Per un qubit è fondamentale il tempo di coerenza, ovvero l'intervallo in cui mantiene il proprio comportamento quantistico. Si tratta di un intervallo brevissimo (nella

tecnologia a superconduttori pari a circa 30 microsecondi), da preservare limitando al massimo le interazioni con il mondo esterno. Quando, per esempio, un muone attraversa il chip su cui poggia il qubit, generalmente un wafer di silicio o di zaffiro, rilascia energia che ionizza il materiale: si forma una nuvola di carica e il qubit sovrastante vede considerevolmente ridotto il suo tempo di coerenza. Ma non finisce qui, perché la carica si ricombina, e tutta l'energia immagazzinata si disperde in vibrazioni del silicio, i cosiddetti “fononi”. Questi fononi viaggiano all'interno del chip anche a distanza di centimetri, per decine di millisecondi, e tutti i qubit che si trovano al di sopra del chip ne sperimentano l'effetto, andando incontro a decoerenza o perdita del proprio comportamento quantistico.

**[as]: Qual è l'impatto di questa interazione sulla capacità di calcolo dei qubit?**

**[LC]:** Quello della decoerenza è un problema comune ai qubit,



**a.**  
Un chip con otto qubit all'interno del suo supporto in rame, con agli estremi i due connettori per trasmettere segnali. I qubit sono depositati all'interno delle aree più scure.

e non dipende solo dalla radioattività. Per questo la stessa informazione viene codificata in tanti qubit fisici che agiscono come un unico qubit logico. Quello che accade però quando i fononi si propagano nel chip, è che molti qubit iniziano a commettere errori contemporaneamente e il risultato del calcolo può diventare del tutto casuale. Sono i cosiddetti “errori correlati”: una singola causa provoca errori correlati nel tempo e nello spazio, mettendo in crisi i protocolli di correzione, che funzionano solo con errori indipendenti o scorrelati nel tempo.

**[as]: Voi come avete identificato nella radioattività la causa di questi errori?**

**[LC]:** Il nostro gruppo lavorava allo sviluppo di rivelatori di particelle estremamente sensibili, i “risonatori a microonde”, già impiegati in astrofisica per fare misure di fotoni nello spazio. Questi risonatori sono estremamente simili ai qubit: c'è un circuito superconduttore depositato su silicio, messo in un holder di rame e inserito in un criostato. E, data la somiglianza, noi fisici delle particelle abbiamo iniziato a frequentare gli stessi workshop dei fisici quantistici. Durante uno di questi incontri, ho realizzato che molti colleghi dell'ambito quantistico non riconoscevano un segnale chiaramente dovuto alla radioattività. Mi è sorto così il dubbio che ci fosse un problema: come mai un dispositivo disegnato *ad hoc* per essere molto sensibile alla radioattività e misurare particelle, veniva

impiegato per un circuito con l'ambizione di non risentire affatto del mondo esterno? Ipoteizzavo che ne risentisse eccome, e le misure hanno poi confermato questa intuizione.

**[as]: Come contrastiamo allora l'effetto della radioattività ambientale sui qubit?**

**[LC]:** Ognuno sta investendo sulla tecnologia che è più nelle sue corde. I grandi sviluppatori di computer quantistici stanno tentando di ingegnerizzare il modo in cui costruiscono i qubit, così da renderli più robusti al passaggio di radioattività. Per noi fisici delle particelle, invece, è impensabile cambiare un rivelatore funzionante potendo schermarlo da fuori. Abbiamo spostato quindi i qubit sottoterra, nei Laboratori del Gran Sasso, dove il flusso dei raggi cosmici è circa un milione di volte inferiore, e abbiamo ottenuto risultati importanti senza troppo sforzo: una riduzione di circa dieci volte del numero di errori di ciascun qubit.

**[as]: Quindi il futuro del calcolo quantistico è sottoterra?**

**[LC]:** È ancora presto per dirlo. Oggi i qubit sono limitati da molte sorgenti di errore diverse, e la radioattività ambientale è solo una delle tante sfide da affrontare. Vista la velocità a cui evolve questo settore, non credo sia lontano il momento in cui la radioattività si imporrà come limite fondamentale, e a quel punto sottoterra potrà essere sicuramente una strada.