



Politecnico
di Torino

COMUNICATO STAMPA

Verso nuovi stati della materia: i simulatori quantistici realizzati con atomi ultrafreddi aprono scenari inesplorati nella fisica quantistica

Lo studio pubblicato su Nature Communications e co-firmato dal ricercatore Luca Barbiero del Politecnico di Torino svela un nuovo fenomeno fisico, osservabile in simulatori quantistici basati su atomi magnetici ultrafreddi, capace di descrivere e controllare fasi della materia inesplorate

Torino, 19 giugno 2026

Spingersi oltre gli stati classici della materia e progettare di nuovi è una delle sfide più affascinanti della fisica contemporanea.

Il team di ricerca internazionale che coinvolge il ricercatore **Luca Barbiero** del Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia-DISAT del Politecnico di Torino ha sviluppato un **nuovo modello teorico** basato su **atomi magnetici ultrafreddi**, in grado di rivelare una **fase della materia inesplorata** in cui forti correlazioni quantistiche permettono alla **superconduttività** di coesistere con l'**ordine topologico** dando quindi origine a un **superconduttore topologico**, cioè un materiale in cui la conduzione elettrica avviene senza resistenza e, allo stesso tempo, presenta proprietà topologiche robuste che lo rendono intrinsecamente protetto da perturbazioni e difetti.

Questa combinazione rappresenta un passo decisivo verso la realizzazione di **sistemi quantistici** più **stabili**, e controllabili **potenzialmente aprendo la strada verso lo sviluppo di nuove tecnologie quantistiche**.

[Lo studio, pubblicato sulla prestigiosa rivista Nature Communications](#), è stato condotto presso il Dipartimento di Fisica Sperimentale dell'Università di Innsbruck e l'Istituto per l'Ottica Quantistica e l'Informazione Quantistica (IQOQI) dell'Accademia Austriaca delle Scienze, in collaborazione con il Politecnico di Torino e con il supporto del Fondo Austriaco per la Scienza (FWF) e del Consiglio Europeo della Ricerca (ERC).

Al centro del lavoro c'è lo sviluppo di un **modello teorico avanzato** per descrivere sistemi quantistici costituiti da **particelle fortemente interagenti**, cioè particelle le cui interazioni sono così dominanti da generare **fenomeni collettivi complessi difficili da prevedere e controllare**. In questi sistemi, **il comportamento complessivo non è semplicemente la somma delle singole parti**: nasce invece dalle interazioni tra le particelle, che si influenzano a vicenda in modo profondo, dando origine a proprietà collettive emergenti.

Per rendere il modello concretamente realizzabile, i ricercatori hanno progettato **una piattaforma sperimentale basata su atomi magnetici ultrafreddi** della famiglia dei **lantanidi** – una classe di elementi noti per le loro peculiari proprietà magnetiche, molto più intense rispetto a quelle di altri atomi – in particolare erbio e disprosio.

Questi atomi vengono raffreddati a temperature prossime allo zero assoluto tramite tecniche di raffreddamento laser ed evaporativo, da cui il termine “ultrafreddi”. In queste condizioni, il loro comportamento è dominato dalle leggi della meccanica quantistica,

rendendo osservabili fenomeni che non emergono nella materia descritta dalla fisica classica. Gli atomi ultrafreddi possono, infatti, venire confinati in un reticolo ottico unidimensionale, una sorta di “cristallo di luce” creato con fasci laser, che permette ai ricercatori di posizionarli e controllarli con estrema precisione. In particolare, è possibile regolare tre parametri fondamentali: **il movimento delle particelle tra i siti del reticolo** (cioè la possibilità per gli atomi di “spostarsi” da una posizione all'altra), **l'accoppiamento magnetico** (ovvero il modo in cui i momenti magnetici degli atomi interagiscono tra loro, influenzandosi a vicenda) e **l'interazione locale** (le interazioni tra particelle che occupano lo stesso sito del reticolo). Questo livello di controllo trasforma il sistema in un vero **simulatore quantistico, capace di riprodurre con grande accuratezza stati complessi della materia quantistica**.

Attraverso una combinazione di **metodi analitici** e **simulazioni numeriche avanzate**, il team ha ricostruito un dettagliato **diagramma di fase**, individuando **sette distinti stati quantistici**. Tra questi figurano **diverse forme di superconduttività unidimensionale**, un **liquido topologico** e, soprattutto, un **superconduttore topologico**, cioè uno stato della materia in cui **il trasporto di carica avviene senza dissipazione ed è al tempo stesso protetto da perturbazioni esterne**.

Perché la scoperta di uno stato superconduttivo topologico rappresenta un risultato particolarmente significativo? Perché questi materiali possono ospitare quasiparticelle esotiche, come i fermioni di Majorana (speciali stati quantistici che si comportano come se una particella e la sua antiparticella coincidessero), considerate tra i candidati più promettenti per la realizzazione di computer quantistici più stabili e affidabili. Queste quasiparticelle consentono, infatti, di codificare l'informazione quantistica in modo non locale, distribuendola su più punti del sistema. In questo modo, l'informazione risulta maggiormente protetta dagli errori e dai disturbi esterni, come la decoerenza, il fenomeno per cui l'interazione con l'ambiente fa perdere ai sistemi quantistici le loro proprietà caratteristiche, compromettendone la stabilità. In prospettiva, **questi sistemi potrebbero aprire la strada a una nuova generazione di computer quantistici tolleranti agli errori**, grazie alla loro robustezza intrinseca nei confronti dei disturbi ambientali.

Un ulteriore elemento rilevante del lavoro è la definizione di un **protocollo sperimentale dettagliato per la preparazione e la rilevazione di tutte le fasi previste**, utilizzando tecniche già disponibili come il **quantum gas microscope**, ovvero la microscopia a gas quantistici, che consente di osservare e manipolare **singoli atomi** con risoluzione estremamente elevata. Questo rende il modello non solo **teoricamente solido**, ma anche **immediatamente verificabile in laboratorio, avvicinando concretamente la scoperta di nuovi stati della materia alla loro realizzazione sperimentale**.

*“Il nostro studio rappresenta un passo concreto verso una comprensione più profonda degli stati della materia che emergono in presenza di forti correlazioni quantistiche. – dichiara il ricercatore **Luca Barbiero** – È importante sottolineare che il regime quantistico che abbiamo rivelato può essere direttamente creato in simulatori quantistici basati su atomi ultrafreddi, un aspetto particolarmente rilevante se si considera che i superconduttori topologici sono tra i candidati più promettenti per lo sviluppo di nuove tecnologie quantistiche”.*

Leggi l'articolo completo su Nature Communications: [Topology meets superconductivity in a one-dimensional t-J model of magnetic atoms](#)