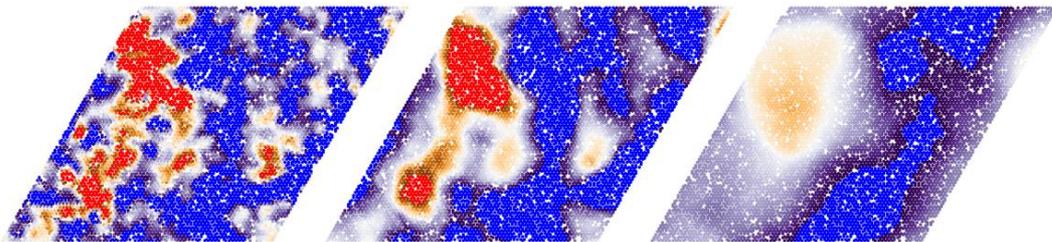


COMUNICATO STAMPA

Materiali topologici e fenomeni critici: due mondi che si incontrano

I materiali topologici mostrano comportamenti locali simili a quelli dell'acqua che ghiaccia o dei metalli che si magnetizzano. Lo dice una nuova ricerca pubblicata su *Physical Review Letters* guidata da Antimo Marrazzo della SISSA



Trieste, 10 luglio 2025

Le transizioni di fase dei materiali “comuni”, l’acqua che ghiaccia o un metallo che magnetizza da una parte, e le transizioni di fase topologiche. La fisica ha sempre raccontato questi due fenomeni come distanti, descritti da concetti e proprietà che sembravano non trovare un terreno comune. Una nuova ricerca pubblicata su *Physical Review Letters*, però, ci dice che le cose non stanno proprio così. Antimo Marrazzo, ricercatore e docente della SISSA, assieme a due dottorandi dell’Università di Trieste, Roberta Favata e Nicolas Baù, hanno mostrato che anche nelle transizioni topologiche esistono parametri locali che si comportano come quelli delle transizioni tradizionali. Proprio come accade in un magnete vicino alla sua temperatura critica, anche in questi materiali si osservano grandi fluttuazioni locali nel loro comportamento. Gli autori hanno anche identificato degli esponenti critici universali, cioè numeri che descrivono come avviene la transizione topologica e che valgono per molti materiali diversi, esattamente come succede per i cambiamenti di fase più noti. Una scoperta che, secondo gli autori, getta un ponte tra il mondo della topologia e la fisica delle transizioni di fase.

I materiali topologici: perché sono così peculiari

Simmetria, parametri d’ordine locali, fluttuazioni critiche: sono i concetti con cui la fisica descrive le cosiddette transizioni di fase. Si tratta di supporti teorici utilizzati per decenni ma non universali dal momento che alcuni materiali molto speciali

non seguono questi principi. “Si tratta dei cosiddetti materiali topologici” spiega Antimo Marrazzo, che ha coordinato la nuova ricerca. “Sono dei materiali che tipicamente si comportano come isolanti al loro interno ma possono condurre l’elettricità sulla superficie. Questi materiali sfuggono a molte regole. Per esempio, non si distinguono dagli altri per una simmetria diversa, come avviene normalmente, ma per delle proprietà globali chiamate “invarianti topologici”, numeri interi che restano invariati finché il materiale non cambia in modo profondo. Per questo si è pensato a lungo che le transizioni topologiche non potessero essere descritte come le altre”. Queste proprietà rimangono stabili anche in presenza di un disordine moderato, spiegano gli autori, fino a quando non interviene la localizzazione di Anderson, un fenomeno che distrugge la fase topologica. Un esempio tipico di disordine sono le cosiddette “vacanze”, ovvero piccoli “buchi” o spazi vuoti nella disposizione ordinata degli atomi, dove dovrebbe esserci un atomo ma manca, creando un difetto nella struttura. Curiosamente, il disordine può anche indurre una fase topologica — nota come isolante topologico di Anderson — a partire da una fase inizialmente priva di disordine. I materiali topologici non sono solo affascinanti scientificamente ma hanno anche una serie di potenziali applicazioni tecnologiche, che vanno dall’elettronica a basso consumo ai computer quantistici.

Non tutto è come sembra

Con il loro studio, svolto utilizzando delle simulazioni numeriche tramite un supercomputer del CINECA di Bologna, i ricercatori hanno dimostrato delle inedite peculiarità: “Se è vero che tradizionalmente, le proprietà topologiche sono considerate globali, cioè definite per tutto il materiale nel suo complesso, con la nostra ricerca abbiamo dimostrato che non solo possiamo usare anche indicatori locali, che permettono di vedere cosa succede punto per punto all’interno del materiale quando vi si aggiunge disordine, ma che questi indicatori si comportano esattamente come nelle transizioni di fase convenzionali, ovvero sono dei veri e propri parametri d’ordine locali. Ad esempio, se viene introdotto abbastanza disordine, un isolante topologico può diventare un isolante “normale”. Gli scienziati hanno osservato che in questa transizione di fase, esistono delle fluttuazioni su piccola scala degli indicatori topologici locali e che queste scompaiono guardando il sistema ad una scala più grande, un po’ come quando si allarga l’inquadratura con la macchina fotografica. Questo avviene sempre, tranne che in prossimità della transizione di fase topologica, dove quello che succede in un punto influenza altre regioni molto distanti e dove persistono fluttuazioni su larga scala: esattamente ciò che ci si aspetterebbe per una transizione di fase convenzionale, ovvero non topologica. In particolare, gli scienziati hanno introdotto una funzione di correlazione topologica che descrive come il valore del parametro d’ordine topologico in un punto influenza il valore in

un altro punto in funzione della distanza tra i due. Con molta sorpresa, hanno scoperto che questa funzione di correlazione è caratterizzata da esponenti critici che sembrano universali rispetto ai diversi tipi di disordine e ai dettagli microscopici del sistema, pur essendo in grado di distinguere tra differenti tipi di fasi topologiche. Questo tipo di esponenti critici universali sono caratteristici delle transizioni di fase convenzionali ed un capo saldo della teoria dei fenomeni critici.

Le conseguenze della ricerca

Il messaggio fondamentale di questo lavoro è che le transizioni di fase topologiche sono alla fine transizioni non troppo diverse da quelle note. Questa scoperta, dicono gli autori della ricerca, “è molto importante perché crea un ponte tra il mondo della topologia e la fisica delle transizioni di fase, aprendo nuove possibilità per usare strumenti potenti della fisica statistica e forse persino della teoria dell’informazione quantistica per studiare questi materiali misteriosi, utili e affascinanti. È cruciale capire come i materiali topologici si comportino in presenza di difetti e imperfezioni a livello microscopico, aspetti sempre presenti nei materiali su cui si basa la tecnologia, anche in quelli considerati più “puri”.

LINK UTILI

[Articolo completo](#)

IMMAGINE

Crediti: Antimo Marrazzo

SISSA

Scuola Internazionale
Superiore di Studi Avanzati
Via Bonomea 265, Trieste
W www.sissa.it

Facebook, Twitter
[@SISSAschool](#)

CONTATTI

Nico Pitrelli

M pitrelli@sissa.it
T +39 3391337950

Donato Ramani

M ramani@sissa.it
T +39 34280 22237