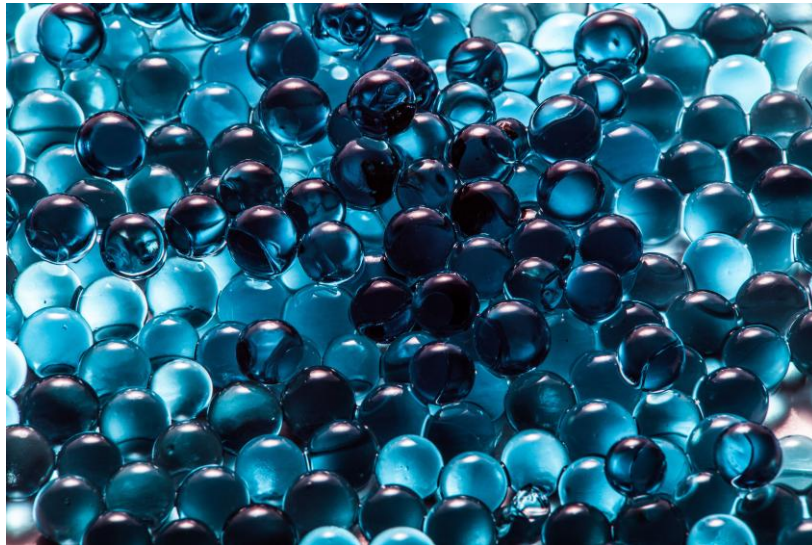


COMUNICATO STAMPA CONGIUNTO

Scoprire la complessità dell'acqua: i ricercatori dell'ICTP e della SISSA utilizzano il concetto di causalità per descrivere il movimento delle sue molecole

I fisici del Centro Internazionale di Fisica Teorica “Abdus Salam” (ICTP) e della Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) di Trieste hanno aperto una nuova prospettiva sulla dinamica delle molecole d'acqua, analizzandola per la prima volta attraverso un approccio causale. La nuova ricerca è stata pubblicata su PNAS.



Trieste, 29 ottobre 2026

Se osserviamo due persone muoversi vicine in una stanza affollata, è difficile capire dall'alto chi abbia dato origine al movimento: sarà stata una a fare spazio all'altra o sarà quest'ultima a essersi fatta avanti per prima, spingendo l'altra? Per superare questo limite nello studio dei sistemi complessi, un team guidato da Ali Hassanali, ricercatore dell'ICTP, e da Alessandro Laio, professore alla SISSA, ha sviluppato un metodo che permette di determinare i rapporti di causa ed effetto in sistemi di molte particelle, applicandolo poi al moto delle molecole d'acqua. I loro risultati aprono la strada a un nuovo modo di studiare il comportamento dell'acqua e sono stati pubblicati sulla rivista *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS).

Nonostante la loro apparente semplicità, ci sono molti aspetti che gli scienziati ancora non comprendono del comportamento collettivo delle molecole d'acqua. Una delle anomalie di maggiore interesse riguarda il fatto che l'acqua può rimanere liquida ben al di sotto di 0 °C. Questo stato di sopraraffreddamento è tuttavia estremamente difficile da studiare sperimentalmente e simulazioni accurate sono difficili da realizzare. Superando un limite intrinseco dei metodi

standard utilizzati dagli scienziati per descrivere il movimento delle molecole, il team ha applicato un'analisi causale avanzata per esaminare in dettaglio il modo in cui le molecole d'acqua si muovono, sia a temperatura ambiente che nell'acqua sopraraffreddata, mettendo così in luce nuove caratteristiche distintive di queste due fasi.

Gli strumenti teorici finora disponibili per interpretare i dati numerici e sperimentali si sono basati sul calcolo di correlazioni, che ci dicono in che misura due variabili co-variano ma non danno alcuna informazione su quale movimento venga prima e quale dopo. "Applicando un criterio predittivo che analizza in che modo le informazioni sul passato di una variabile consentano di prevedere meglio l'evoluzione futura di un'altra, il nostro metodo misura quale delle due variabili è all'origine delle variazioni, deducendo così le relazioni causali tra le due", spiega Vittorio Del Tatto, coautore dello studio, che ha svolto il lavoro come dottorando alla SISSA ed è ora ricercatore post-dottorato presso l'Università di Valencia.

I ricercatori hanno simulato l'acqua in due casi diversi: in condizioni ambiente e in uno stato di sopraraffreddamento a bassa temperatura e alta pressione. In particolare, hanno monitorato la posizione e l'orientamento delle molecole d'acqua nelle loro simulazioni e studiato le relazioni di causa ed effetto tra gli spostamenti (traslazioni) delle molecole e le loro rotazioni nel tempo. I risultati mostrano una spiccata differenza tra le due condizioni: mentre a temperatura ambiente le rotazioni e le traslazioni si influenzano a vicenda solo debolmente, nell'acqua sopraraffreddata i ricercatori osservano chiaramente che sono i movimenti di traslazione a provocare le rotazioni: secondo la loro analisi, intervenire sulla capacità delle molecole di diffondersi avrebbe un forte effetto sulla loro capacità di riorientarsi, ma non viceversa. Questi risultati riflettono il drastico rallentamento del movimento delle molecole che caratterizza l'acqua sopraraffreddata e dimostrano che la direzione dell'influenza causale ci segnala l'emergere di dinamiche complesse nei liquidi sopraraffreddati.

"Sappiamo da studi precedenti che i liquidi sopraraffreddati sono caratterizzati da regioni in cui le molecole si muovono velocemente e da altre in cui la forte prossimità ne ostacola il movimento, un fenomeno noto come 'effetto gabbia' (caging)", afferma Léon Huet, ricercatore post-dottorato presso l'ICTP e primo autore dello studio. "La nostra analisi rivela i rapporti di causa ed effetto alla base di questo fenomeno. Immaginate una molecola intrappolata tra le sue vicine: può riorientarsi solo dopo che l'ambiente circostante si è riorganizzato. Dal nostro lavoro emerge che nella fase sopraraffreddata i moti traslatori delle molecole d'acqua sono necessari per innescare le rotazioni, mentre non vale il contrario."

Questi risultati dimostrano che l'analisi causale permette di descrivere nel dettaglio le dinamiche molecolari collettive, svelando caratteristiche della materia su scala molecolare che finora non era stato possibile indagare. Se applicate ad altri stati della materia, le relazioni causali potrebbero in ultima analisi diventare un tratto distintivo delle diverse fasi, un modo per caratterizzarle non solo in base



alla disposizione delle molecole, ma in base a come queste innescano il movimento l'una dell'altra.

LINK UTILI

[Full paper:](#)

IMMAGINI

Crediti: Pexels / SplitShire

SISSA

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

Facebook, Twitter

[@SISSAschool](#)

CONTATTI SISSA

Nico Pitrelli

M pitrelli@sisssa.it
T +39 3391337950

CONTATTI ICTP

Giulia Foffano

M gfoffano@ictp.it
T +39 040 22404181