



(foto: Pixabay)

Roma,

8 agosto 2024 - Un gruppo di persone o uno stormo di uccelli hanno caratteristiche diverse rispetto agli atomi in un materiale, ma quando si tratta di movimento collettivo, le differenze contano meno di quanto si possa pensare. Possiamo provare a prevedere il comportamento di esseri umani, uccelli o cellule basandoci sugli stessi principi che usiamo per le particelle.

Questo

è il risultato di un nuovo studio condotto da un team internazionale che include la collaborazione del MIT di Boston e del CNRS in Francia pubblicato sul *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* (JSTAT). Lo studio, basato sulla fisica dei materiali, ha simulato le condizioni che causano un passaggio improvviso da uno stato disordinato a uno coordinato in “agenti autopropulsi” (come quelli biologici).

“In

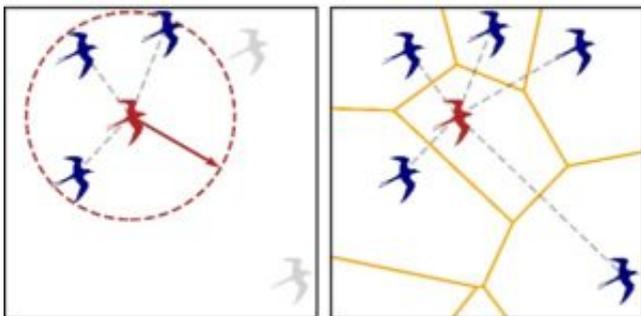
un certo senso, gli uccelli sono atomi volanti - spiega uno degli autori della ricerca, Julien Tailleur di MIT Biophysics - Può sembrare strano, ma una delle nostre principali scoperte è stata capire che il modo in cui si muove una folla

a piedi o uno stormo di uccelli in volo condivide molte somiglianze con i sistemi fisici delle particelle”.

Come

spiega Tailleur, nel campo degli studi sul movimento collettivo si è sempre pensato che esistesse una differenza qualitativa tra particelle (atomi e molecole) ed elementi biologici (cellule, ma anche interi organismi in gruppo). Si credeva soprattutto che il passaggio da un tipo di movimento a un altro (per esempio, dal caos a un flusso ordinato, noto come transizione di fase) fosse completamente diverso.

In questo caso la differenza cruciale per i fisici ha a che fare con il concetto di distanza. Le particelle che si muovono in uno spazio con molte altre particelle si influenzano principalmente in base alla loro distanza reciproca. Per gli elementi biologici, tuttavia, la distanza assoluta è meno importante.



*Distanza e relazioni topologiche*

“Prendiamo

un piccione che vola in uno stormo: ciò che conta per lui non sono tanto tutti i piccioni più vicini, quanto quelli che può vedere”. Inoltre, secondo la letteratura, tra quelli che può vedere, può tenere traccia solo di un numero finito, a causa dei suoi limiti cognitivi. Il piccione, nel gergo dei fisici, si trova in una “relazione topologica” con altri piccioni: due uccelli potrebbero essere a una distanza fisica piuttosto grande, ma se sono nello stesso spazio visibile, sono in contatto reciproco e si influenzano a vicenda.

Si

è a lungo creduto che per quel che riguarda l'emergere del movimento collettivo questo tipo di differenza portasse a uno scenario completamente diverso. "Il nostro studio, tuttavia, suggerisce che questa non è una differenza cruciale", continua Tailleur.

"Ovviamente, se volessimo analizzare il comportamento di un vero uccello, ci sono molte altre complessità che non sono incluse nel nostro modello. Il nostro campo di ricerca segue un consiglio attribuito a Einstein, ovvero che se vuoi capire un fenomeno, devi renderlo *"il più semplice possibile, ma non massimamente semplice"*. Non il più semplice in assoluto, ma quello che rimuove tutta la complessità che non è rilevante per il problema. Nel caso specifico del nostro studio, ciò significa che la differenza che esiste realmente - tra distanza fisica e relazione topologica - non altera la natura della transizione al movimento collettivo".

Il modello utilizzato da Tailleur e colleghi è ispirato al comportamento dei materiali ferromagnetici. Questi materiali hanno, come suggerisce il nome, proprietà magnetiche. Ad alte temperature o bassa densità, gli spin (semplificando: la direzione del momento magnetico associato agli elettroni) sono orientati in modo casuale a causa delle grandi fluttuazioni termiche e sono quindi disordinati. Tuttavia, a basse temperature e alta densità, le interazioni tra gli spin dominano le fluttuazioni e emerge un orientamento globale degli spin (si possono immaginare come tante piccole bussole allineate).

"Il mio collega Hugues Chaté vent'anni fa si è reso conto che, se gli spin si muovessero nella direzione in cui puntano, si ordinerebbero attraverso una transizione di fase discontinua, con la comparsa improvvisa di grandi gruppi di spin che si muovono insieme, molto simili a stormi di uccelli nel cielo", dice Tailleur. Tutto questo è molto diverso da quanto accade in un ferromagnete passivo, dove l'emergere dell'ordine avviene gradualmente.

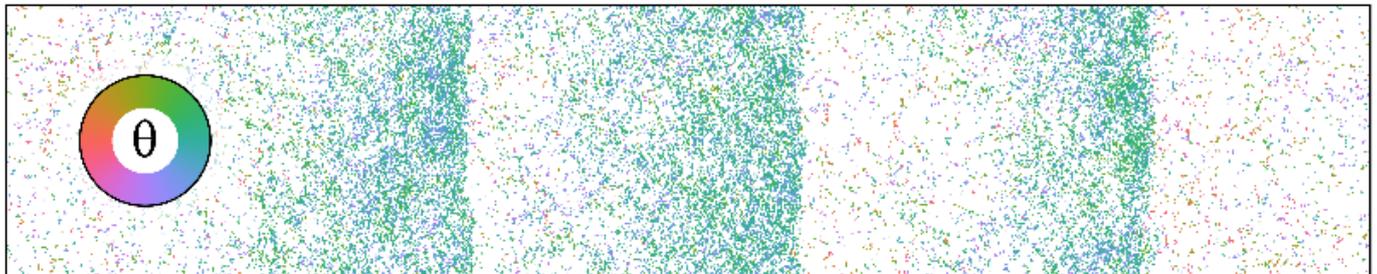
Fino a poco tempo fa, i fisici credevano che i modelli ispirati alla biologia in cui le particelle si allineano con i loro "vicini topologici" avrebbero

sperimentato anch'essi una transizione continua. Nel modello utilizzato nello studio, Tailleur e colleghi hanno dimostrato che, invece, si osserva una transizione discontinua, anche se si utilizza la relazione topologica invece della distanza, e che questo scenario dovrebbe applicarsi a tutti i modelli simili. “Entro certi limiti, i dettagli su come ci si allinea sono irrilevanti - spiega Tailleur - e il nostro lavoro dimostra che questo tipo di transizione dovrebbe essere generico”.

Un'altra

scoperta è che nel modello utilizzato si formano flussi stratificati all'interno del gruppo più grande, il che è simile a quello che osserviamo anche nella realtà: è raro che una massa di persone si muova tutta insieme in una direzione; piuttosto, vediamo al suo interno il movimento di gruppi finiti, flussi distinguibili che seguono traiettorie leggermente diverse.

Questi modelli statistici, basati sulla fisica delle particelle, possono quindi aiutarci a comprendere anche il movimento collettivo biologico, conclude Tailleur. “La strada per comprendere il movimento collettivo come lo vediamo in biologia - e utilizzarlo per progettare nuovi materiali - è ancora lunga, ma stiamo facendo progressi!”.



*In un modello di particelle autopropulsive che si allineano con i loro vicini topologici, si osserva la formazione di bande viaggianti (in verde), tipiche delle transizioni discontinue. I colori delle particelle codificano i loro orientamenti*