

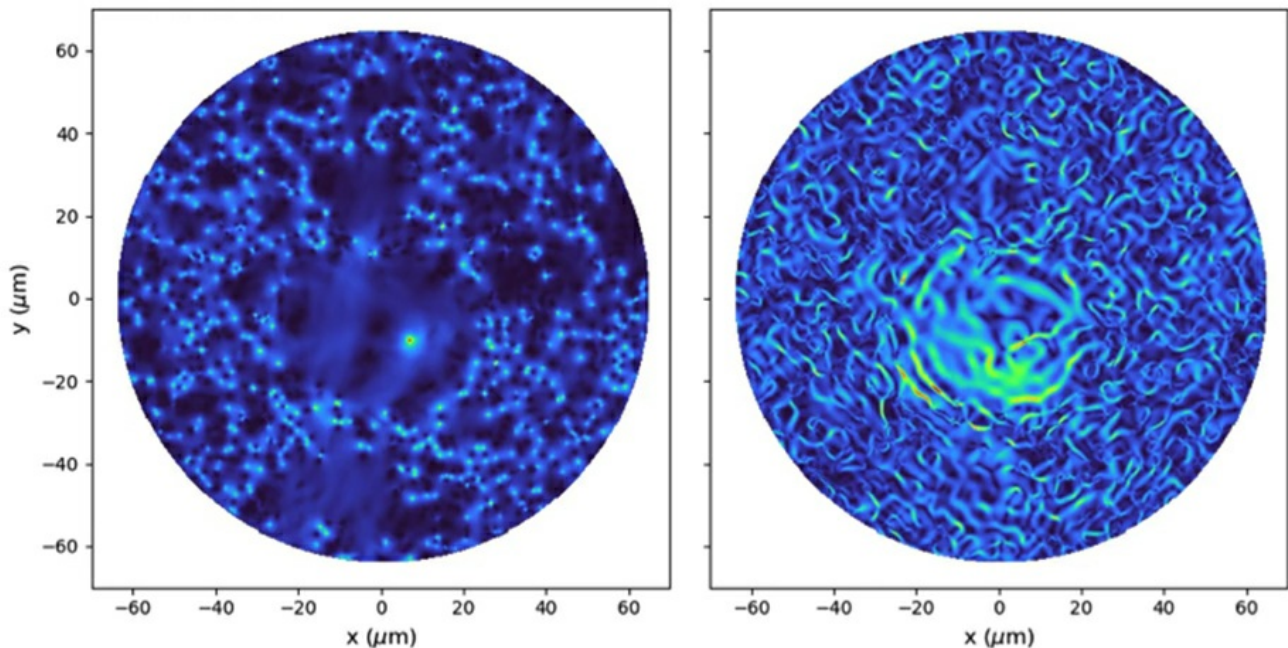
Turbolenza quantistica in un fluido di luce

✉ D. Ballarini, A. Lanotte, R. Panico, D. Sanvitto 📅 31-05-2023 🔗 <http://www.primapagina.sif.it/article/1700>

Quando Feynman, nel 1955, ipotizzò per primo la turbolenza quantistica, probabilmente non immaginava con che precisione saremmo stati oggi in grado di misurare i vortici nei fluidi quantistici.

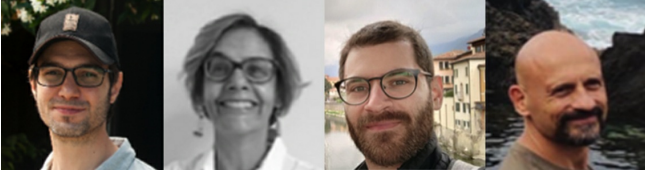
Negli anni '50, l'elio superfluido era l'unico fluido quantistico a disposizione e le minute dimensioni dei vortici (circa 1 angstrom) ne rendevano difficile la visualizzazione. Solo negli anni '90, con la realizzazione dei condensati di Bose-Einstein di atomi ultra-freddi, è stato possibile osservare i singoli vortici quantistici in moto turbolento. Più recentemente, è iniziato lo studio dei fluidi quantistici di luce, dove le interazioni fra fotoni sono mediate da materiali con forti nonlinearità ottiche. In microcavità di semiconduttore, i fluidi quantistici di polaritoni (fotoni vestiti con le nonlinearità degli eccitoni del semiconduttore) hanno dimostrato regimi superfluidi e permesso di misurare con facilità, tramite tecniche interferometriche, sia la velocità del fluido sia la posizione dei singoli vortici. Questo è molto intrigante, perché permetterebbe di confrontare un modello microscopico (quantistico), come l'equazione di Gross-Pitaevski per l'interazione fra vortici, con le previsioni della turbolenza classica, di natura statistica e mesoscopica (che si applicano su scale spaziali maggiori della dimensione dei vortici).

In fondo, la stessa aspirazione ha condotto Onsager, qualche anno prima di Feynman, a teorizzare un modello di vortici puntiformi che fosse in grado di catturare l'essenza di uno dei fenomeni più affascinanti della turbolenza in due dimensioni (2D), la cascata inversa di energia. Mentre in 3D un fluido turbolento trasferisce la sua energia cinetica verso vortici via via più piccoli fino a scale microscopiche dove viene dissipata per viscosità, il processo inverso avviene in 2D, con il trasferimento di energia verso strutture a grande scala. In effetti, la formazione di strutture vorticosi stabili appare ubiqua in 2D e si manifesta per esempio in film sottili di acqua e sapone, nell'atmosfera terrestre e negli oceani, ma anche nel Great Red Spot di Giove o nel vortice esagonale di Saturno. Onsager pensò che fosse possibile spiegare tutto questo con la formazione di aggregati (cluster) di vortici dello stesso segno come stato di equilibrio di un sistema di vortici puntiformi.



Misura dell'energia cinetica di un fluido quantistico di polaritoni. A sinistra, la parte incompressibile, associata alla presenza dei vortici quantistici visibili come punti luminosi nell'immagine. A destra, la parte comprimibile dell'energia cinetica è data dalla presenza di onde di densità.

In molti si sono chiesti se la turbolenza quantistica, la realizzazione pratica più vicina possibile a un modello di vortici puntiformi, sia in grado di unificare la comprensione della turbolenza a diverse scale. Tuttavia, creare un moto turbolento in un fluido quantistico di polaritoni non è stato così facile. All'Istituto di Nanotecnologia del CNR (CNR-Nanotec) di Lecce abbiamo trovato un modo che ricorda la turbolenza formata da un fluido versato in una vasca. I polaritoni vengono iniettati nella microcavità con un laser impulsato (impulso di 2 picosecondi) all'interno di un cerchio, disegnato con un secondo laser a forma di anello, in grado di formare una barriera di potenziale e di confinarli al suo interno. L'analisi della dinamica ha permesso di collegare la predizione classica dello spettro di energia di Kolmogorov, firma statistica della cascata inversa, con l'osservazione diretta della formazione di cluster di vortici dello stesso segno. Queste misure, pubblicate in un recente articolo sulla rivista Nature Photonics, dimostrano finalmente che la turbolenza può essere studiata in un fluido quantistico di luce, dando nuove speranze a chi cerca un modello quantistico della turbolenza.



Dario Ballarini - Primo ricercatore all'Istituto di Nanotecnologia (CNR-Nanotec) di Lecce, ha conseguito il dottorato di ricerca in Fisica presso l'Universidad Autonoma de Madrid nel 2008, dove si è concentrato sulle proprietà non lineari dei fluidi di luce. Ha pubblicato la prima dimostrazione della superfluidità a temperatura ambiente (Nature Physics, 2017) e l'osservazione della transizione di fase BKT in un condensato di polaritoni (Nature Materials, 2018).

Alessandra Lanotte - Dirigente di ricerca al CNR-Nanotec di Lecce, fisica teorica, esperta di approcci numerici applicati alla turbolenza e ai fluidi complessi, studia le leggi di scala di flussi turbolenti, mediante approcci multifrattali, con applicazioni in problemi di trasporto di campi di concentrazione o magnetici in astrofisica, fluidodinamica dell'atmosfera e degli oceani. La sua ricerca ha riguardato il comportamento statistico e dinamico di sospensioni turbolente di piccole particelle solide.

Riccardo Panico - Assegnista di ricerca al CNR-Nanotec di Lecce, lavora presso l'Advanced Photonics Lab dello stesso istituto, dove ha intrapreso il suo dottorato in Fisica e Nanoscienze. Il suo lavoro si concentra sullo studio dei superfluidi di luce, focalizzandosi sul fenomeno della turbolenza quantistica e sulla realizzazione di reti neurali ottiche.

Daniele Sanvitto - Dirigente di ricerca al CNR-Nanotec di Lecce, è alla guida del gruppo di Fotonica Avanzata. Prima di trasferirsi al CNR ha conseguito il dottorato di ricerca presso l'Università di Cambridge (Regno Unito) e ha lavorato in diverse istituzioni europee, tra cui l'Institut Jacques Monod di Parigi, l'Università di Sheffield e l'Universidad Autonoma de Madrid.