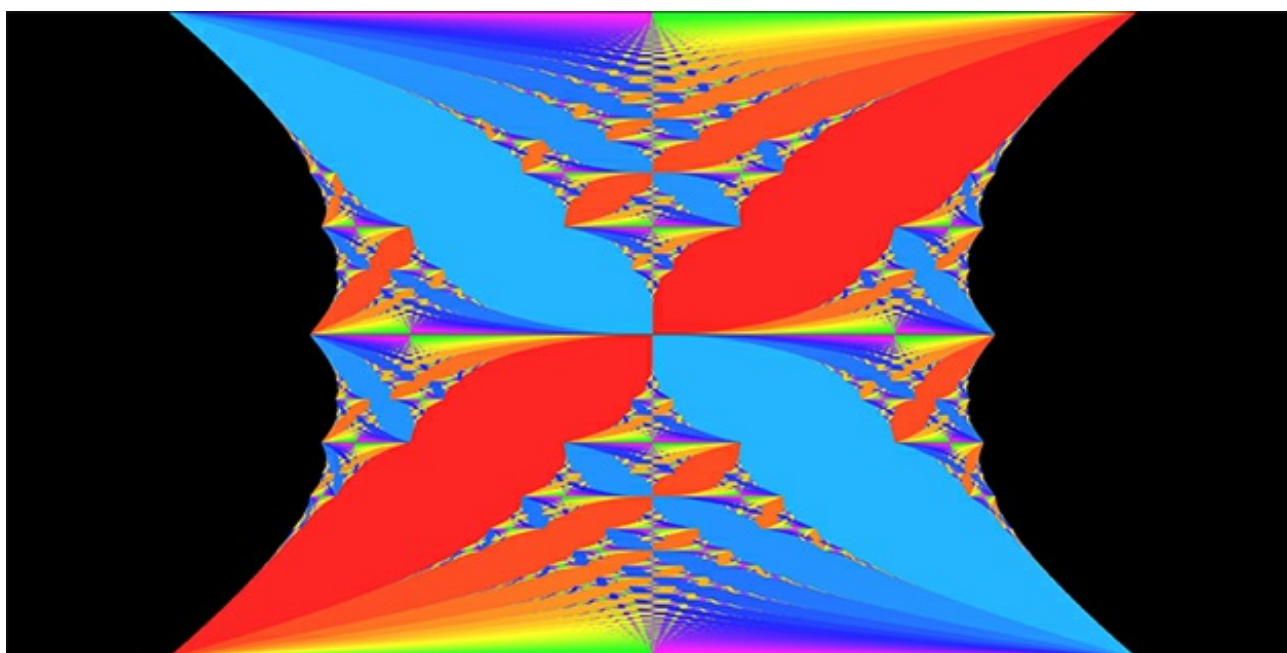


# Universalità e topologia in cristalli bidimensionali

✍ M. Porta 📅 26-09-2018 ↗ <http://www.primapagina.sif.it/article/835>

---



La "farfalla di Hofstadter" descrive il valore della conduttività Hall per un modello quantistico bidimensionale. Sull'asse verticale, il valore del campo magnetico esterno. Sull'asse orizzontale, il potenziale chimico, legato alla densità di elettroni. Il grafico ha una struttura frattale. Il colore è legato al valore della conduttività Hall: più il colore è caldo, maggiore è il valore della conduttività.  
Credits: By Mytomi - Own work, Public Domain.

Molti fenomeni fisici osservati in natura sono il risultato del comportamento collettivo di un enorme numero di atomi e molecole. Ciononostante, le leggi della termodinamica permettono di descrivere il comportamento macroscopico di un liquido o di un gas tramite la conoscenza di pochi parametri, come la temperatura, la pressione o il volume occupato dal sistema.

Una domanda centrale in fisica è capire come queste leggi fenomenologiche emergano a partire dall'equazione fondamentale della meccanica quantistica, l'equazione di Schrödinger. In generale, è naturale aspettarsi che il comportamento macroscopico di un gas o di un liquido dipenda dai dettagli della sua dinamica microscopica interna, come la velocità media delle molecole, o la loro repulsione elettrostatica. Uno degli aspetti più interessanti di questo studio è capire l'emergere di fenomeni universali: ovvero, proprietà macroscopiche comuni a sistemi con strutture microscopiche completamente diverse.

I progressi tecnologici della scienza dei materiali hanno permesso di osservare spettacolari fenomeni di universalità per il trasporto di carica in sistemi ultrasottili, come il grafene e gli isolanti topologici. La caratteristica comune di questi materiali è il loro ridottissimo spessore: il grafene, per esempio, consiste in uno strato monoatomico di grafite, descritto da un reticolo esagonale dove ogni nodo del reticolo è occupato da un atomo di carbonio. Sia per il grafene che per gli isolanti topologici, la conduttività elettrica che descrive il trasporto di carica indotto da un campo elettrico è completamente indipendente dai dettagli microscopici del materiale. In questo contesto, uno dei fenomeni di universalità più famosi è l'effetto Hall quantistico: la conduttività trasversa (o Hall) di alcuni materiali isolanti esposti a campi magnetici esterni può solo assumere valori interi. Questa osservazione è una delle misure più precise mai realizzate in fisica.

L'incredibile livello di precisione di questi fenomeni di quantizzazione può essere spiegato attraverso profonde idee topologiche. La topologia è la branca della matematica che si occupa di descrivere le caratteristiche di forme geometriche che non cambiano sotto deformazioni continue, ovvero senza strappi o incollature. Da un punto di vista topologico, una ciambella e una tazza sono equivalenti, perché esiste una deformazione continua che permette di sovrapporre le due forme; mentre una palla e una ciambella non sono equivalenti, perché nessuna deformazione continua può creare un buco nella palla. Semplificando molto, due materiali che presentano diverse conduttività Hall sono topologicamente non equivalenti, per lo stesso motivo per il quale la ciambella e la palla sono forme distinte. Il valore della conduttività Hall è legato all'informazione topologica che permette di distinguere forme non equivalenti, che negli esempi precedenti coincide con il numero di buchi della forma.

Queste idee, però, permettono di capire l'universalità del trasporto di carica in sistemi idealizzati, dove alcuni aspetti cruciali del materiale sono completamente trascurati, come per esempio la repulsione elettrostatica tra elettroni. Inoltre, non permettono di descrivere la transizione di fase che avviene tra diverse fasi topologiche, per alcuni aspetti simile alla transizione che avviene al punto critico tra gas e liquidi, o tra ferro e paramagneti. Uno degli scopi principali del progetto ERC MaMBoQ - "Macroscopic Behavior of Many-Body Quantum Systems" è sviluppare una teoria matematica rigorosa per l'universalità del trasporto di carica in sistemi bidimensionali realistici, tenendo in considerazione le interazioni tra i costituenti fondamentali, o la presenza di impurezze nel materiale. Il progetto è basato sulla combinazione di idee topologiche con nuovi metodi di gruppo di rinormalizzazione, sviluppati negli ultimi anni per studiare il comportamento critico di una vasta classe di sistemi quantistici interagenti.