

# STUDIO DELLA DINAMICA CRITICA DI UN MODELLO STATISTICO NON DISSIPATIVO PER SISTEMI BIOLOGICI

GIULIA PISEGNA

Attualmente, la fisica moderna abbraccia differenti campi di ricerca, partendo dallo studio di leggi fondamentali in fisica delle particelle, per arrivare allo studio delle onde gravitazionali o a nuovi materiali e stati della materia. Negli ultimi anni, inoltre, e' stato sviluppato un nuovo approccio allo studio di sistemi biologici la cui descrizione, pur sembrando molto lontana dal mondo della fisica, puo' essere inquadrata all'interno di un contesto quantitativo e matematico.

La nostra attenzione e' focalizzata sui sistemi biologici che esibiscono la proprieta' di comportamento collettivo, vale a dire quando il movimento di un individuo e' determinato dall'interazione di questo con gli altri membri del gruppo e le forti correlazioni che si creano portano il sistema ad esibire proprieta' globali e macroscopiche. I sistemi in cui si riconosce un comportamento collettivo, possono essere caratterizzati da ordine globale (i.e. stormi di uccelli), oppure vivere in una fase disordinata mostrando sempre forti correlazioni tra gli individui, ad esempio sciami di insetti. Il lavoro di questa tesi magistrale parte proprio da risultati sperimentali riguardanti quest'ultimo sistema biologico. In un recente articolo e' stato evidenziato come le funzioni di correlazione spazio-temporali degli sciami naturali di insetti verifichino una proprieta' fondamentale della meccanica statistica quale lo scaling dinamico. Il sistema sembra poter essere descritto da una teoria critica in cui forti correlazioni spaziali e temporali emergono e sono caratterizzate da un esponente critico dinamico  $z \simeq 1.1$ , calcolato a partire dai dati sperimentali. Un altro elemento importante, scoperto nel suddetto lavoro, riguarda la forma di queste funzioni di correlazione. L'andamento per tempi piccoli riflette una derivata nulla, il che sottolinea una dinamica del sistema inerziale. Il modello pi famoso di materia attiva, vale a dire il modello di Vicsek, non si presta a una spiegazione quantitativa di questi risultati. Infatti, esso presenta una dinamica dissipativa con decadimento prettamente esponenziale e un esponente critico dinamico pari a  $z = 2$ .

In questo elaborato ci si e' posti l'obiettivo di studiare un modello di materia attiva chiamato Inertial Spin Model (ISM) approfondendone la dinamica critica di scaling da un punto di vista analitico e da un punto di vista numerico, con lo scopo di cercare di riprodurre le evidenze sperimentali degli sciami di moscerini. Questo modello fu introdotto per analizzare un altro sistema biologico completamente diverso da quello degli sciami, i.e. stormi di uccelli. Il meccanismo di propagazione di informazione negli stormi viene infatti ben descritto dalla dinamica del modello in fase ordinata e ferromagnetica. Per poter studiare gli sciami, d'altra parte, e' necessario spostare lo studio in fase paramagnetica e critica in modo tale da riprodurre la fenomenologia del sistema biologico. Per realizzare questo obiettivo, e' stato necessario studiare concetti avanzati di Meccanica Statistica quali

quelli riguardanti la teoria dei fenomeni critici dinamici all'equilibrio, maggiormente dovuta ad Halperin and Hohenberg negli anni '70. Grazie allo studio approfondito di tali elementi teorici e' stato possibile estrarre analiticamente informazioni sull'esponente critico dinamico del modello ISM posto pero' in condizioni di equilibrio, ossia considerando particelle ferme su reticolo. Attraverso analisi di scaling, la conclusione prodotta dai nostri calcoli e' stato un intervallo possibile per i valori di  $z$ , vale a dire  $z \geq 3/2$ .

Contemporaneamente il modello e' stato studiato con simulazioni numeriche sempre in condizioni di equilibrio dinamico, ottenendo una stima numerica del valore dell'esponente critico. Il risultato delle simulazioni ci ha fornito  $z = 3/2$  con una conseguente verifica dell'ipotesi di scaling dinamico per ISM. La classe di universalita' di questo modello, quindi, sembra essere quella di altri modelli presenti in letteratura (Model G). Si e' inoltre verificata la natura inerziale delle funzioni di correlazione spazio temporali del modello che sembrano riprodurre in modo convincente quelle degli sciami naturali. D'altra parte, l'esponente critico dinamico trovato, sebbene molto pi vicino a quello del sistema biologico rispetto al modello di Vicsek, non risulta ancora completamente consistente con i dati sperimentali. Questa tesi magistrale e' stata, pertanto, il punto di partenza di un lavoro pi raffinato e complicato, in cui si e' continuata l'analisi teorica e numerica del modello, portando a termine il calcolo dell'esponente critico del modello attraverso la tecnica avanzata del Gruppo di Rinormalizzazione Dinamico per il modello all'equilibrio. Ingrediente fondamentale e mancante nella teoria realizzata fino ad ora, e' la natura attiva delle particelle e la loro natura prettamente biologica. Studi futuri includeranno anche queste caratteristiche nell'analisi teorica. Ad ogni modo, l'esistenza della proprieta' di scaling in sistemi cosi' fuori dall'equilibrio rafforza la nostra idea che argomenti di Gruppo di Rinormalizzazione e universalita' possano essere lo strumento principale per la spiegazione del comportamento collettivo in sistemi biologici.