

IL MOTO COLLETTIVO COME FENOMENO CRITICO

Collective motion as a critical phenomenon

Candidata: Maddalena Torricelli (maddalena.torricelli@stud.unifi.it)

Relatore: Dott. Stefano Lepri (stefano.lepri@isc.cnr.it)

Correlatore: Prof. Roberto Livi (roberto.livi@unifi.it)

In questo lavoro di tesi presentiamo uno studio delle transizioni di fase critiche nei sistemi termodinamici, passando dalle prime teorie classiche fino alle recenti revisioni apportate dalla meccanica statistica. In seguito discutiamo una estensione di tali concetti al problema del moto collettivo di unità autotropellenti. Le discussioni inerenti al moto collettivo hanno attraversato negli anni varie discipline, a partire dalla fisica sino ad arrivare alle scienze biologiche e naturali: il nostro obiettivo principale è presentare il modello fisico-matematico che ne è alla base, per poi introdurre alcune osservazioni e simulazioni in campo ecologico.

Il primo capitolo della tesi contiene una breve trattazione sul concetto di transizione di fase al II ordine (detta *transizione critica*), prendendo ad esempio esplicativo il modello di Ising. Presentiamo poi la teoria di Landau: a partire dalla semplice premessa che un potenziale termodinamico possa essere sviluppato in serie di potenze nell'intorno della temperatura critica, la teoria arriva a definire alcuni concetti interessanti, come il parametro d'ordine (che rende conto del livello di ordine del sistema) e gli esponenti critici (che invece descrivono il comportamento critico di variabili come la suscettività magnetica o lo stesso parametro d'ordine). Tali concetti possono essere esportati a qualsiasi sistema che presenti proprietà critiche. Per correggere i valori sperimentali degli esponenti critici che non corrispondevano esattamente a quelli attesi, la teoria di Landau fu consolidata con gli strumenti della meccanica statistica, attraverso cui si è arrivati anche a definire due importanti proprietà dei fenomeni critici: l'invarianza di scala e l'universalità. Tali concetti rendono conto del fatto che ogni sistema che presenti una transizione critica, nell'intorno del punto critico, presenta caratteristiche che non variano se si effettua un cambio di scala e che sono, al contempo, indipendenti dai dettagli microscopici del sistema, quindi universali.

Proprio per esaltare la potenza del concetto di universalità, nel secondo capitolo descriviamo il modello di Vicsek del moto collettivo animale. Esso presenta forti analogie con i fenomeni critici termodinamici: molti aspetti del moto collettivo coincidono con quelli del modello di Ising, anche se il moto collettivo è a tutti gli effetti un fenomeno fuori dall'equilibrio ed è impossibile perciò descriverlo in termini di potenziali termodinamici. Introducendo però un opportuno parametro d'ordine e opportuni distinguo, osserveremo come sia possibile tracciare un parallelo tra le teorie della fisica statistica e le osservazioni sul moto di gruppi di unità. In ultimo luogo, è presentata brevemente una serie di applicazioni del modello suddetto al moto degli stormi.