



# Dinamica di folle e stormi

Interazioni, auto-organizzazione, matematica

---

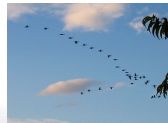
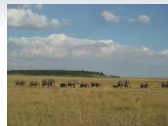
**Andrea Tosin**

13 gennaio 2011



# Un primo sguardo d'insieme

- **Sistemi multi-agente:** le folle e gli stormi sono caratterizzati da un certo numero di “particelle” **interagenti**.
- **Sistemi “complessi”:** il comportamento collettivo **non è la semplice sovrapposizione** dei comportamenti individuali → sistemi non lineari.
- **Configurazioni di gruppo ordinate:**
  - storni** cristalli regolari (ogni storno ha circa lo stesso numero di primi vicini);
  - elefanti** fila indiana (linea) quando migrano;
  - oche** lettera V quando volano in formazione;
  - pedoni** corsie alternate, organizzazione indotta dalla struttura dell'ambiente.
- **Assenza di coordinazione:** è improbabile che ciascun agente operi per raggiungere queste configurazioni collettive.





# Fragilità

- Pedoni e animali sono **fragili**:
  - ▷ cercano il più possibile di **evitare le collisioni** con gli altri;
  - ▷ si tengono lontani da eventuali ostacoli disseminati lungo il loro cammino.

## Per confronto...

- Le molecole di un liquido o un gas sono **robuste**:
  - ▷ interagiscono essenzialmente attraverso **collisioni**;
  - ▷ cambiano direzione quando sono colpite da altre molecole o quando urtano le pareti del recipiente in cui sono contenute.



# Fragilità

- Pedoni e animali sono **fragili**:
  - ▷ cercano il più possibile di **evitare le collisioni** con gli altri;
  - ▷ si tengono lontani da eventuali ostacoli disseminati lungo il loro cammino.

## Per confronto...

- Le molecole di un liquido o un gas sono **robuste**:
  - ▷ interagiscono essenzialmente attraverso **collisioni**;
  - ▷ cambiano direzione quando sono colpite da altre molecole o quando urtano le pareti del recipiente in cui sono contenute.



# Capacità decisionali e interazioni

- Pedoni e animali hanno **capacità decisionali** in base alle quali **interagiscono** gli uni con gli altri:
  - ▷ decidono **quale destinazione** vogliono raggiungere (ad es., una porta per uscire da una stanza);
  - ▷ decidono **come** raggiungerla (scelta di un percorso che eviti ostacoli intermedi e altri individui) → **sviluppo di una strategia**;
  - ▷ sono in grado di **controllare attivamente i propri movimenti**, senza essere soggetti passivamente alle leggi dell'inerzia.
- **I. Kant, Critique de la raison pure, 1967: "Living systems: special structures organized and with the ability to chase a purpose"**.

## Per confronto...

- Le molecole di un gas sono **inerti**:
  - ▷ la loro dinamica è essenzialmente il frutto di risposte passive a stimoli esterni: urti (gas classico), campi di forza eventualmente a distanza (gas coulombiano), ...
  - ▷ **non hanno un obiettivo predeterminato da raggiungere**;



# Capacità decisionali e interazioni

- Pedoni e animali hanno **capacità decisionali** in base alle quali **interagiscono** gli uni con gli altri:
  - ▷ decidono **quale destinazione** vogliono raggiungere (ad es., una porta per uscire da una stanza);
  - ▷ decidono **come** raggiungerla (scelta di un percorso che eviti ostacoli intermedi e altri individui) → **sviluppo di una strategia**;
  - ▷ sono in grado di **controllare attivamente i propri movimenti**, senza essere soggetti passivamente alle leggi dell'inerzia.
- **I. Kant, Critique de la raison pure, 1967**: "Living systems: special structures organized and **with the ability to chase a purpose**".

## Per confronto...

- Le molecole di un gas sono **inerti**:
  - ▷ la loro dinamica è essenzialmente il frutto di **risposte passive** a stimoli esterni: urti (gas classico), campi di forza eventualmente a distanza (gas coulombiano), ...
  - ▷ **non hanno un obiettivo predeterminato** da raggiungere;



## Interazioni senza contatto

- Le **capacità visive** di pedoni e animali rendono le interazioni **senza contatto**:
  - ▷ essi **vedono** oggetti o altri individui ad una certa distanza → **informazione distribuita** sull'ambiente circostante;
  - ▷ essi **non devono essere a contatto** per poter interagire.

### Per confronto...

- La **meccanica collisionale** delle particelle di un gas classico prevede interazioni di **contatto**:
  - ▷ le collisioni possono essere descritte immaginando che le molecole che si urtano occupino **la stessa posizione** al momento dell'impatto.
- Anche alcune interazioni della fisica classica avvengono **a distanza**:
  - ▷ interazione gravitazionale;
  - ▷ interazione elettrostatica;
  - ▷ ...



## Interazioni senza contatto

- Le **capacità visive** di pedoni e animali rendono le interazioni **senza contatto**:
  - ▷ essi **vedono** oggetti o altri individui ad una certa distanza → **informazione distribuita** sull'ambiente circostante;
  - ▷ essi **non devono essere a contatto** per poter interagire.

### Per confronto...

- La **meccanica collisionale** delle particelle di un gas classico prevede interazioni **di contatto**:
  - ▷ le collisioni possono essere descritte immaginando che le molecole che si urtano occupino **la stessa posizione** al momento dell'impatto.
- Anche alcune interazioni della fisica classica avvengono **a distanza**:
  - ▷ interazione gravitazionale;
  - ▷ interazione elettrostatica;
  - ▷ ...



# Anisotropia

- Pedoni e animali sono agenti **anisotropi**:
  - ▷ essi ricevono informazioni sull'ambiente circostante tramite la **vista**;
  - ▷ il loro **campo visivo** non comprende tutto lo spazio circostante;
  - ▷ essi sono sensibili a stimoli esterni **provenienti da specifiche direzioni**.

## Per confronto...

- I fluidi sono solitamente **isotropi**:
  - ▷ una molecola di liquido o di gas è sensibile ad urti provenienti da **qualsunque direzione**.
- Vi sono esempi di **anisotropia** anche nella materia inerte:
  - ▷ i solidi tendono ad essere **anisotropi** (ad es. il calccestruzzo);
  - ▷ **magnete polarizzato**.



# Anisotropia

- Pedoni e animali sono agenti **anisotropi**:
  - ▷ essi ricevono informazioni sull'ambiente circostante tramite la **vista**;
  - ▷ il loro **campo visivo** non comprende tutto lo spazio circostante;
  - ▷ essi sono sensibili a stimoli esterni **provenienti da specifiche direzioni**.

## Per confronto...

- I fluidi sono solitamente **isotropi**:
  - ▷ una molecola di liquido o di gas è sensibile ad urti provenienti da **qualsunque direzione**.
- Vi sono esempi di **anisotropia** anche nella materia inerte:
  - ▷ i solidi tendono ad essere anisotropi (ad es., il calcestruzzo);
  - ▷ magneti polarizzati.



# Auto-organizzazione

- Le folle e gli stormi originano **comportamenti auto-organizzati**:
  - ▷ il comportamento collettivo **emerge spontaneamente** nonostante l'**assenza di cooperazione** tra gli individui;
  - ▷ le configurazioni spaziali assunte dal gruppo **non tendono all'omogeneità** e all'**equiprobabilità** degli stati, bensì alla **formazione di strutture**;
  - ▷ le capacità auto-organizzative danno luogo a comportamenti imprevedibili e, talvolta, **paradossali** → **paradosso di Braess**.

## Per confronto...

- Per la materia inerte si applica solitamente il principio di **entropia** → equiprobabilità degli stati.
- E. Schrödinger, *What is life? Mind and matter*, 1943. "Living systems have the ability to extract entropy to keep their own at low levels" → **negative entropy**.



# Auto-organizzazione

- Le folle e gli stormi originano **comportamenti auto-organizzati**:
  - ▷ il comportamento collettivo **emerge spontaneamente** nonostante l'**assenza di cooperazione** tra gli individui;
  - ▷ le configurazioni spaziali assunte dal gruppo **non tendono** all'**omogeneità** e all'**equiprobabilità** degli stati, bensì alla **formazione di strutture**;
  - ▷ le capacità auto-organizzative danno luogo a comportamenti imprevedibili e, talvolta, **paradossali** → **paradosso di Braess**.

## Per confronto...

- Per la materia inerte si applica solitamente il principio di **entropia** → equiprobabilità degli stati.
- E. Schrödinger, *What is life? Mind and matter*, 1943: "Living systems have the ability to extract entropy to keep their own at low levels" → **negative entropy**.



## Riassumendo...

- Alcune **caratteristiche fisiologiche** di pedoni e animali ne **influenzano il comportamento dinamico**:

Caratteristica fisiologica	Effetto sulla dinamica
Fragilità	Evitare le collisioni
Capacità decisionali	{ Obiettivo da raggiungere Sviluppo di una strategia Controllo attivo dei movimenti
Visione	{ Informazione distribuita sull'ambiente Interazioni senza contatto
Limitatezza del campo visivo	Interazioni anisotrope
Auto-organizzazione	{ Assenza di cooperazione Tendenza alla formazione di strutture

- Risultato: l'emergere spontaneo di **comportamenti collettivi** caratteristici.
- I **modelli matematici** devono formalizzare i (alcuni dei) concetti della colonna di destra e, mediante essi, riprodurre i comportamenti collettivi osservati.
  - In questo modo descrivono "veramente" pedoni e animali.
  - Danno una risposta alla domanda "Come funziona?".



## Riassumendo...

- Alcune **caratteristiche fisiologiche** di pedoni e animali ne **influenzano il comportamento dinamico**:

Caratteristica fisiologica	Effetto sulla dinamica
Fragilità	Evitare le collisioni
Capacità decisionali	{ Obiettivo da raggiungere Sviluppo di una strategia Controllo attivo dei movimenti
Visione	{ Informazione distribuita sull'ambiente Interazioni senza contatto
Limitatezza del campo visivo	Interazioni anisotrope
Auto-organizzazione	{ Assenza di cooperazione Tendenza alla formazione di strutture

- Risultato: l'emergere spontaneo di comportamenti collettivi** caratteristici.
- I **modelli matematici** devono formalizzare i (alcuni dei) concetti della colonna di destra e, mediante essi, riprodurre i comportamenti collettivi osservati.
  - ▷ In questo modo descrivono "veramente" pedoni e animali.
  - ▷ Danno una risposta alla domanda "Come funziona?".



## Riassumendo...

- Alcune **caratteristiche fisiologiche** di pedoni e animali ne **influenzano il comportamento dinamico**:

Caratteristica fisiologica	Effetto sulla dinamica
Fragilità	Evitare le collisioni
Capacità decisionali	{ Obiettivo da raggiungere Sviluppo di una strategia Controllo attivo dei movimenti
Visione	{ Informazione distribuita sull'ambiente Interazioni senza contatto
Limitatezza del campo visivo	Interazioni anisotrope
Auto-organizzazione	{ Assenza di cooperazione Tendenza alla formazione di strutture

- Risultato: l'**emergere spontaneo** di **comportamenti collettivi** caratteristici.
- I **modelli matematici** devono formalizzare i (alcuni dei) concetti della colonna di destra e, mediante essi, riprodurre i comportamenti collettivi osservati.
  - ▷ In questo modo descrivono “veramente” pedoni e animali.
  - ▷ Danno una risposta alla domanda “Come funziona?”.



# I modelli matematici

- I **modelli matematici** servono a **rappresentare per analogia semplificata** la realtà fisica, che di solito è esageratamente complessa → **gestione della complessità**.
- Non esiste "il" modello di un fenomeno fisico, i modelli possono differire:
  - ▷ per gli **aspetti fisici presi in considerazione**;
  - ▷ per gli **strumenti matematici** impiegati nella loro formalizzazione.
- I modelli devono **spiegare i fenomeni a partire dai loro aspetti fisici caratterizzanti**:
  - ▷ non si devono limitare a riprodurre un singolo fenomeno
  - un modello che riproduca un singolo specifico fenomeno non spiega, al massimo **riformula un problema**;
  - ▷ **non devono procedere unicamente per analogie con fenomeni diversi**, anche se i risultati attesi sono simili
  - le strutture formali possono essere simili, purché colgano l'essenza fisica.



# I modelli matematici

- I **modelli matematici** servono a **rappresentare per analogia semplificata** la realtà fisica, che di solito è esageratamente complessa → **gestione della complessità**.
- **Non esiste “il” modello** di un fenomeno fisico, i modelli possono differire:
  - ▷ per gli **aspetti fisici presi in considerazione**;
  - ▷ per gli **strumenti matematici** impiegati nella loro formalizzazione.
- I modelli devono **spiegare i fenomeni a partire dai loro aspetti fisici caratterizzanti**:
  - ▷ non si devono limitare a riprodurre un singolo fenomeno
  - un modello che riproduca un singolo specifico fenomeno non spiega, al massimo **riformula un problema**;
  - ▷ **non devono procedere unicamente per analogie con fenomeni diversi**, anche se i risultati attesi sono simili
  - le strutture formali possono essere simili, purché colgano l'essenza fisica.



# I modelli matematici

- I **modelli matematici** servono a **rappresentare per analogia semplificata** la realtà fisica, che di solito è esageratamente complessa → **gestione della complessità**.
- **Non esiste “il” modello** di un fenomeno fisico, i modelli possono differire:
  - ▷ per gli **aspetti fisici presi in considerazione**;
  - ▷ per gli **strumenti matematici** impiegati nella loro formalizzazione.
- I modelli devono **spiegare** i fenomeni a partire dai loro **aspetti fisici caratterizzanti**:
  - ▷ non si devono limitare a riprodurre un singolo fenomeno
  - un modello che riproduca un singolo specifico fenomeno non spiega, al massimo **riformula** un problema;
  - ▷ non devono procedere unicamente per analogie con fenomeni diversi, anche se i risultati attesi sono simili
  - le strutture formali possono essere simili, purché colgano l'essenza fisica.



# I modelli matematici all'opera



Anatre



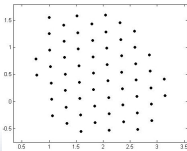
Elefanti africani



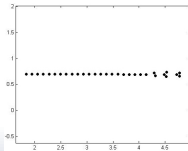
Oche



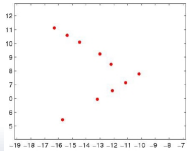
Pedoni



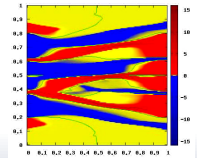
Cristalli regolari



Linea



V



Corsie opposte

Paradosso di Braess → **modello e teoremi**