

Corso di Sistemi Dinamici, Caos e Complessità 2024-2025

Alessandro Pluchino

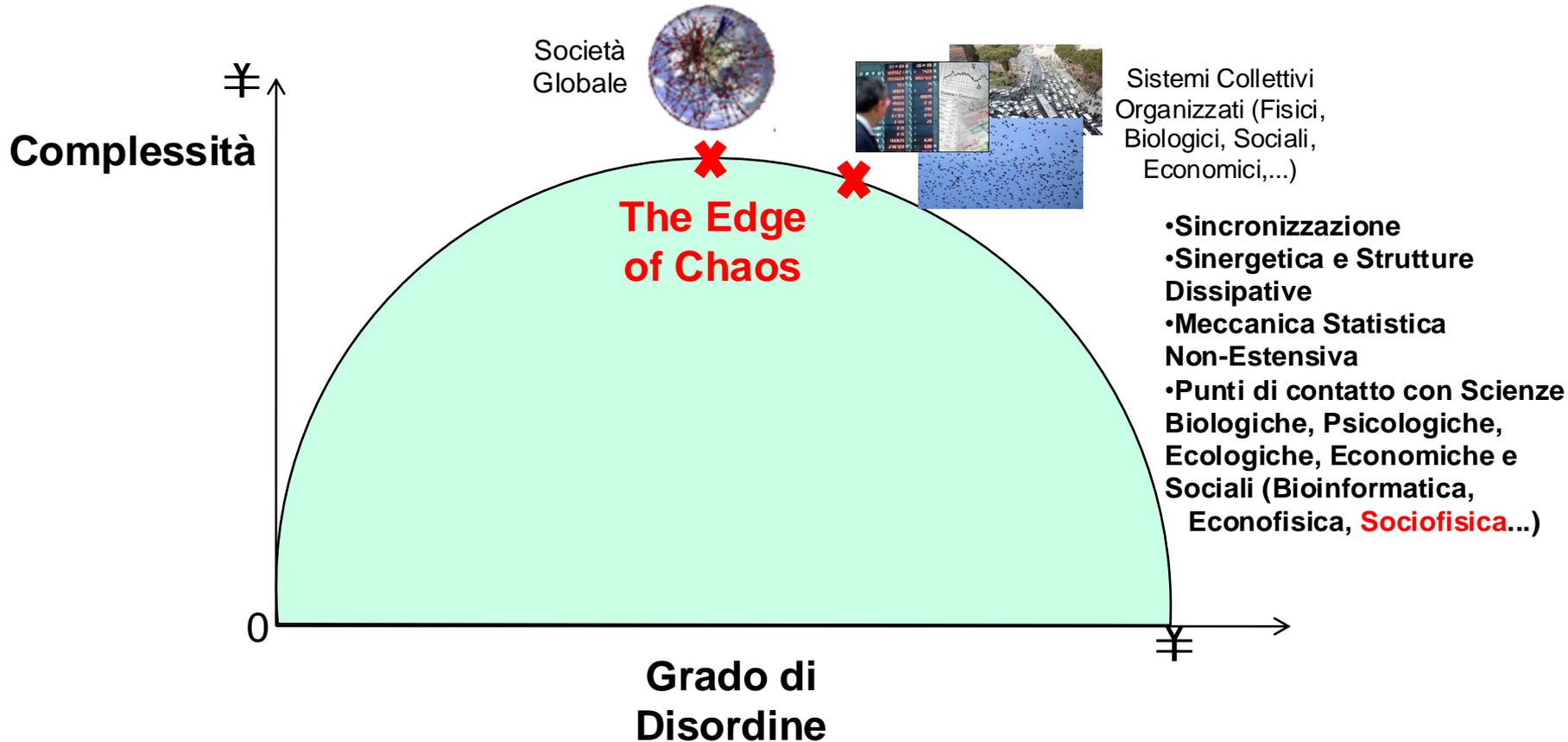
**Dipartimento di Fisica e Astronomia
dell'Università di Catania**

Introduzione alla Nuova Scienza della Complessità

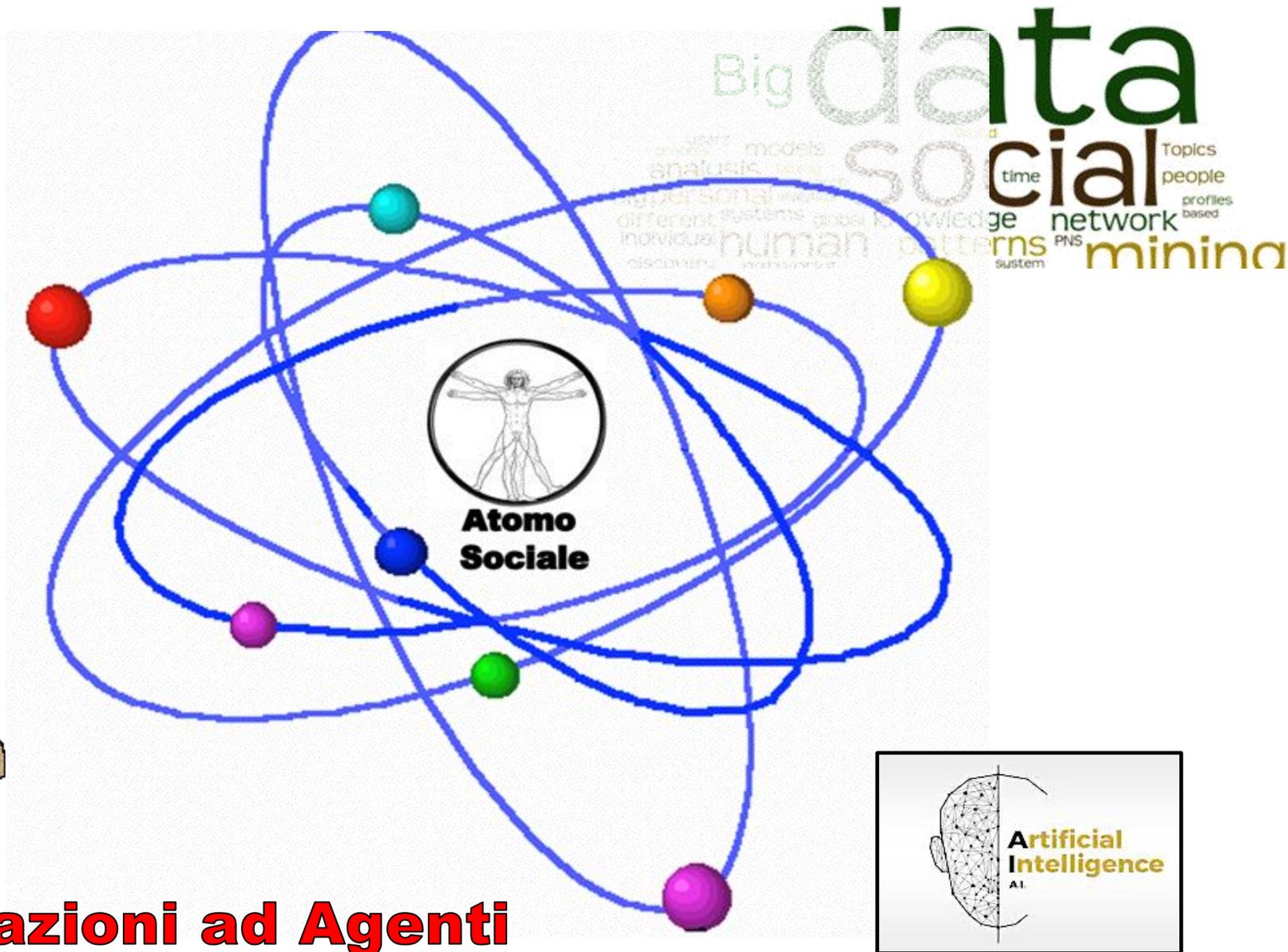
Simulazioni, Punti Critici, Reti e Fenomeni Emergenti



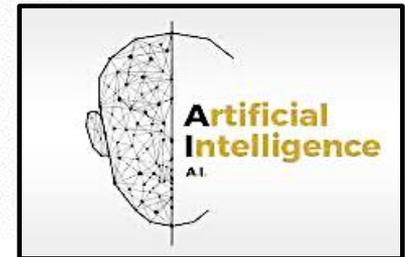
Complessità “at the edge of chaos”



Gli Atomi Sociali e la Sociofisica

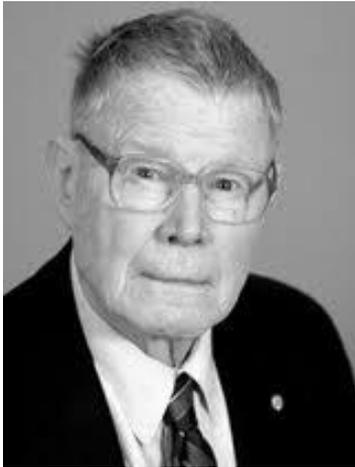


Simulazioni ad Agenti



Segregation (1971)

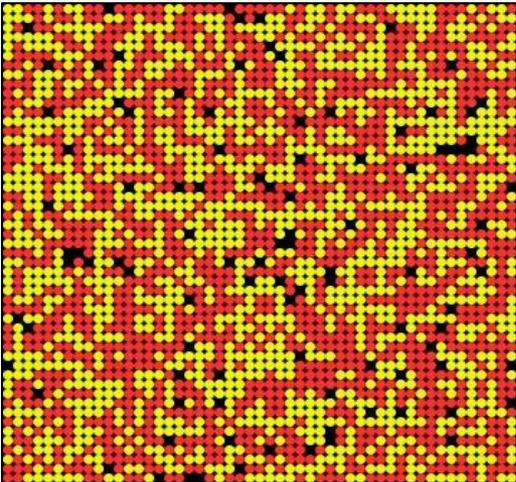
“La segregazione razziale nelle città americane è veramente sintomo di razzismo?”



Thomas Schelling (Nobel per l'Economia 2005)

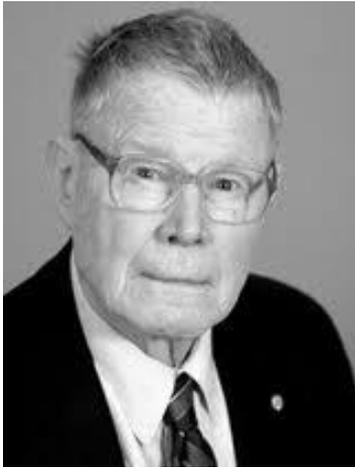
- razza bianca
- razza nera
- spazi vuoti

2 comunità etniche



Segregation (1971)

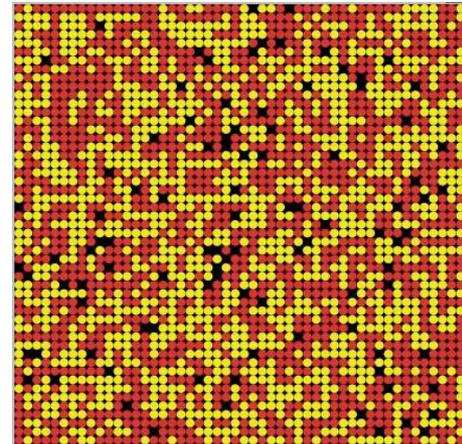
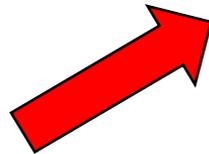
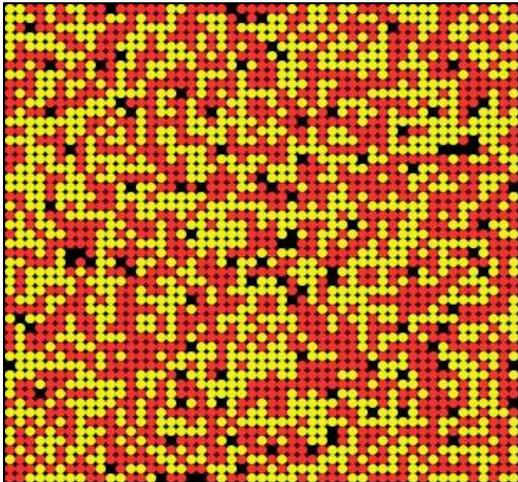
“La segregazione razziale nelle città americane è veramente sintomo di razzismo?”



Thomas Schelling (Nobel per l'Economia 2005)

- razza bianca
- razza nera
- spazi vuoti

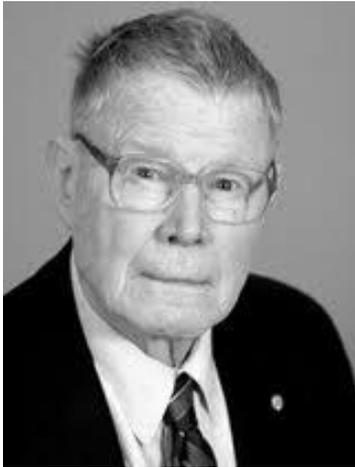
2 comunità etniche



**Ipotesi razzista:
70% di vicini
della stessa razza**

Segregation (1971)

“La segregazione razziale nelle città americane è veramente sintomo di razzismo?”

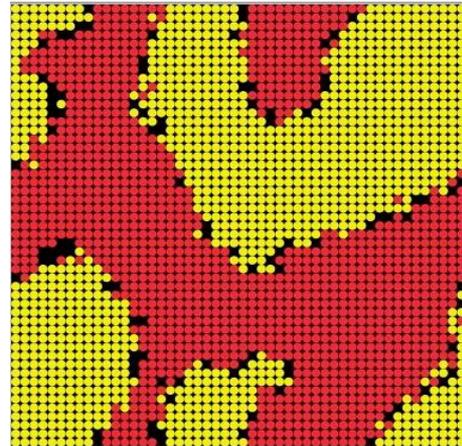
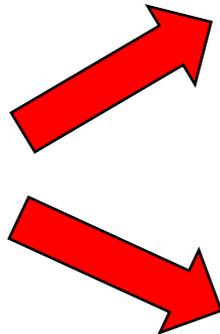
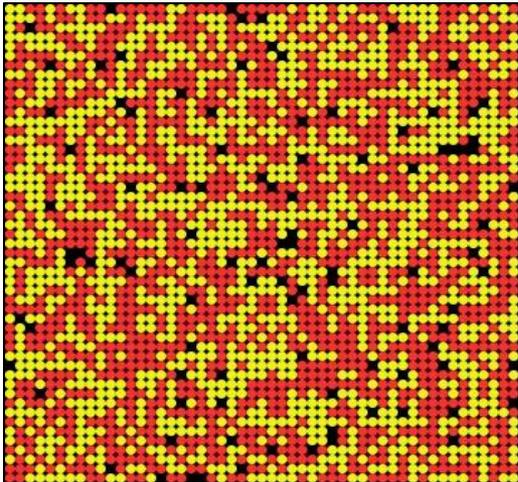


Thomas Schelling (Nobel per l'Economia 2005)

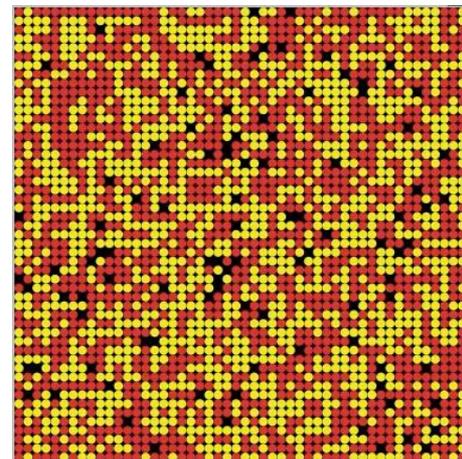
”Anche se ogni traccia di razzismo svanisse dall'oggi al domani, qualcosa di analogo a una legge della fisica potrebbe continuare a tenere le razze separate, come avviene per l'olio e per l'acqua”

- razza bianca
- razza nera
- spazi vuoti

2 comunità etniche



Ipotesi razzista:
70% di vicini
della stessa razza

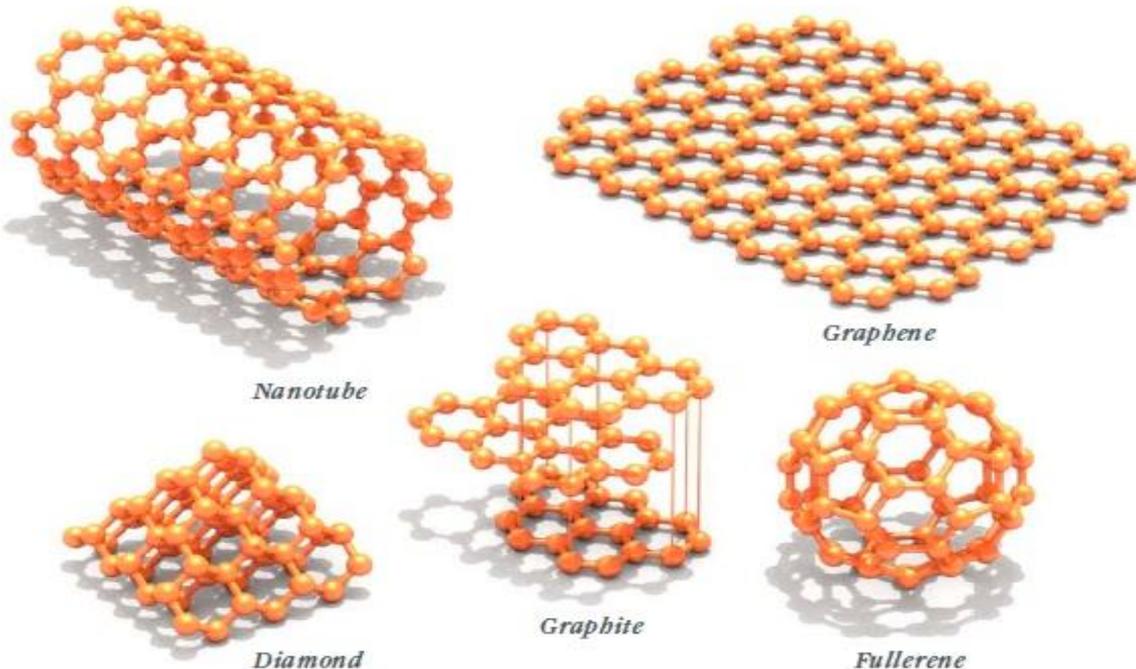


Ipotesi non razzista:
30% di vicini
della stessa razza

Indizi dalla Fisica...

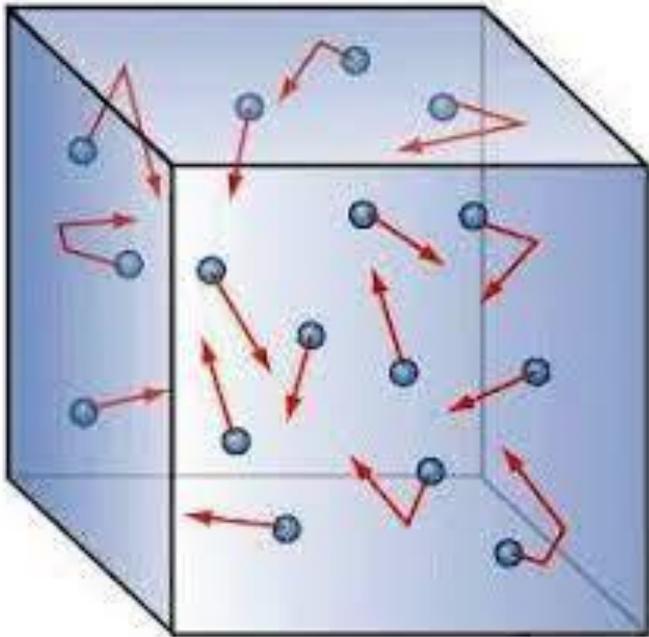
L'esperimento di Schelling dimostra che è pericoloso farsi guidare dal senso comune quando si ha a che fare con **fenomeni sociali emergenti**: l'idea (propria delle Scienze Sociali ed Economiche classiche) che il **comportamento di un gruppo sociale** o di una comunità riflettano, più o meno direttamente, il carattere e il comportamento dei singoli individui che li costituiscono, può rivelarsi spesso **sbagliata!**

Questo è normale in fisica, dove **a contare più di ogni altra cosa, non sono le proprietà dei singoli elementi** che costituiscono un sistema (gli atomi o le molecole), **ma piuttosto la loro organizzazione e la loro struttura** (si vedano ad es. le forme allotropiche del carbonio...)



Dalla Fisica alla... “Sociofisica”

Ebbene: nell'ambito della scienza della complessità si è recentemente scoperto che, analogamente a quanto accade nel contesto della fisica statistica (pensate a un gas in termodinamica), se pure il comportamento di una singola persona è essenzialmente **impredicibile**, l'organizzazione globale di molti individui interagenti presenta spesso **strutture e patterns generali prevedibili** che vanno oltre gli specifici attributi individuali e possono **emergere** in contesti anche molto diversi tra loro.



Dalla Fisica alla... “Sociofisica”

Ebbene: nell'ambito della scienza della complessità si è recentemente scoperto che, analogamente a quanto accade nel contesto della fisica statistica (pensate a un gas in termodinamica), se pure il comportamento di una singola persona è essenzialmente **impredicibile**, l'organizzazione globale di molti individui interagenti presenta spesso **strutture e patterns generali prevedibili** che vanno oltre gli specifici attributi individuali e possono **emergere** in contesti anche molto diversi tra loro.

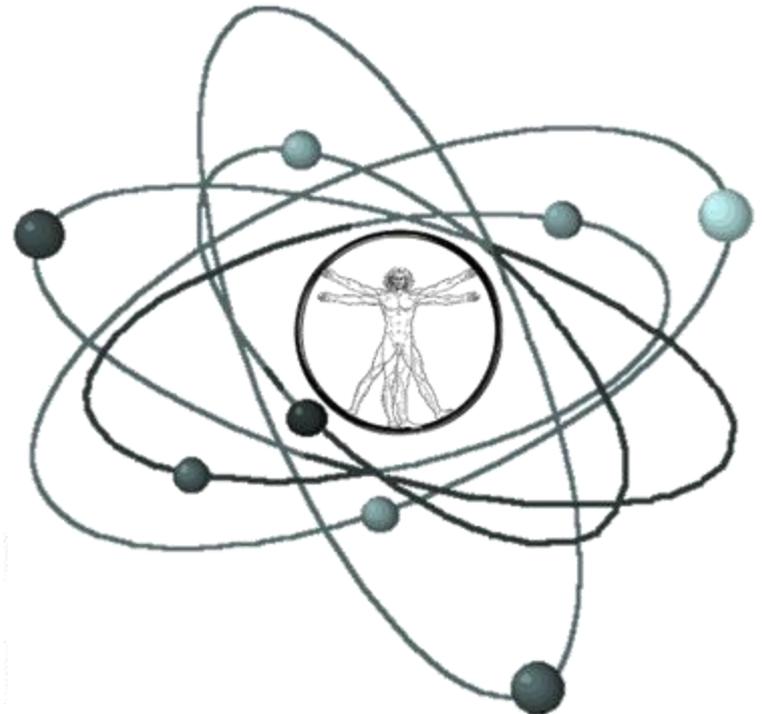
Il motivo è che, quando siamo **vincolati all'interno di strutture sociali collettive** che limitano i nostri “gradi di libertà”, il nostro comportamento perde molta della sua complessità e finiamo per seguire **regole assai semplici**. A rendere il mondo sociale così complesso, dunque, non è la complessità di noi individui ma piuttosto **i modi spesso sorprendenti (e a volte inconsapevoli) in cui cooperiamo a creare strutture**.



Dalla Fisica alla... “Sociofisica”

Ebbene: nell'ambito della scienza della complessità si è recentemente scoperto che, analogamente a quanto accade nel contesto della fisica statistica (pensate a un gas in termodinamica), se pure il comportamento di una singola persona è essenzialmente **impredicibile**, l'organizzazione globale di molti individui interagenti presenta spesso **strutture e patterns generali prevedibili** che vanno oltre gli specifici attributi individuali e possono **emergere** in contesti anche molto diversi tra loro.

Ne deriva che molti fenomeni sociali in apparenza complessi possono essere studiati **immaginando noi stessi come una sorta di “ATOMI SOCIALI”**, dotati di comportamenti relativamente semplici e soggetti a leggi non molto diverse da quelle della fisica: **è di questo che si occupa appunto quella nuova branca della scienza chiamata “Fisica Sociale” o “Sociofisica”**.





Precursori della Sociofisica

“Donde [l'intelletto] ha tratto tutti questi materiali della ragione e della conoscenza? Rispondo con una sola parola: dall'esperienza. È questo il fondamento di tutte le nostre conoscenze; da qui esse traggono la loro prima origine”.

John Locke ("Saggio sull'intelletto umano", 1690)

Seguendo la **fisica newtoniana**, il filosofo e medico inglese **John Locke** sviluppò una **visione atomistica della società**, descrivendola in termini del suo elemento costitutivo di base, l'essere umano. Come i fisici hanno ridotto le proprietà dei gas al moto dei loro atomi, o molecole, così **Locke ha tentato di ridurre gli schemi osservati nella società al comportamento dei suoi individui**. Secondo Locke, tutti gli esseri umani erano uguali alla nascita e il loro sviluppo dipendeva interamente dal loro ambiente.

Quando Locke applicò la sua teoria della natura umana ai fenomeni sociali, fu guidato dalla **convinzione che esistessero leggi di natura che governano la società umana simili a quelle che governano l'universo fisico**. Come gli atomi di un gas tendono a stabilizzarsi in uno stato di equilibrio termico, così gli esseri umani tendono a stabilizzarsi in uno **"stato di natura"**, ossia uno stato dove si rispettano le leggi naturali che esistevano prima della formazione di qualsiasi governo. Secondo Locke, queste leggi naturali includerebbero la libertà e l'uguaglianza di tutti gli individui così come il diritto alla proprietà, che rappresenta i frutti del proprio lavoro.



Precursori della Sociofisica

“La Fisica Sociale è quella scienza che si occupa dei fenomeni sociali trattandoli alla stessa stregua di quelli astronomici, fisici, chimici o fisiologici, come se anch’essi fossero soggetti a leggi naturali ad invariabili”.

Auguste Comte ("Opuscules de philosophie sociale»,1826)

Fu **Auguste Comte**, filosofo francese del XIX secolo, considerato uno dei padri fondatori della sociologia moderna, a coniare il termine "**fisica sociale**" nel tentativo di applicare i metodi scientifici delle scienze naturali allo studio della società.

Comte **vedeva la società come un organismo complesso, soggetto a leggi naturali** che potevano essere scoperte e comprese attraverso lo studio sistematico. **La sua "fisica sociale" mirava a identificare queste leggi, simili alle leggi della fisica, per poter prevedere e controllare i fenomeni sociali.** Questo approccio influenzò profondamente lo sviluppo della sociologia come disciplina scientifica, ponendo le basi per future teorie e metodi di ricerca sociologica.

In sostanza, con la sua idea di "fisica sociale», Comte **ha cercato di trasformare lo studio della società in una scienza empirica rigorosa**, capace di fornire spiegazioni razionali e predizioni affidabili sui comportamenti umani e sui fenomeni sociali. La sua eredità è evidente nell'approccio scientifico e metodologico che caratterizza ancora oggi la sociologia

Precursori della Sociofisica

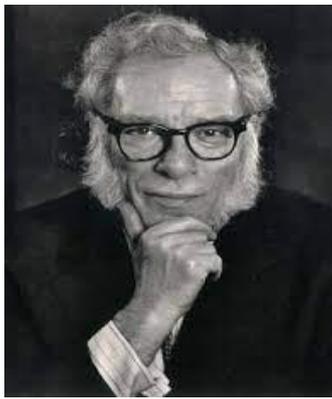


ETTORE MAJORANA:

**Il valore delle Leggi Statistiche nella Fisica
e nelle Scienze Sociali**

1942

"Possiamo ormai esaminare il rapporto che passa fra le leggi stabilite dalla meccanica classica e quelle regolarità empiriche che sono note con lo stesso nome in modo particolare nelle scienze sociali. L'analogia formale, infatti, non potrebbe essere più stretta. Quando si enuncia, ad esempio, una legge statistica su una certa popolazione, è chiaro che si rinuncia deliberatamente a indagare sulla biografia degli gli individui che compongono la società in esame; non altrimenti, allorché si definisce lo stato (macroscopico) di un gas semplicemente dalla pressione e dal volume, si rinuncia deliberatamente a investigare posizione e velocità di tutte le singole molecole costituenti."



Precursori della Sociofisica

“La psicostoria era la quintessenza della sociologia; era la scienza del comportamento umano ridotto ad equazioni matematiche”.

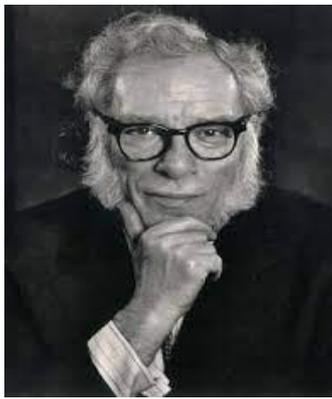
Isaac Asimov ("Fondazione" o "Cronache della Galassia", 1951)

La **psicostoria** (o **psicostoriografia**, a seconda della traduzione) è una scienza immaginaria, presente nei libri del «**Ciclo della Fondazione**» di Isaac Asimov. Inventata da **Hari Seldon**, la psicostoria tramite metodi matematici e statistici è in grado di prevedere, sia pure solo a livello probabilistico, **l'evoluzione futura** di una determinata società, a condizione che:



- 1.essa comprenda un numero particolarmente elevato di intelligenze umane, dell'ordine minimo di un centinaio di miliardi;
- 2.almeno il 99% di questa collettività non sia al corrente delle predizioni della psicostoria;

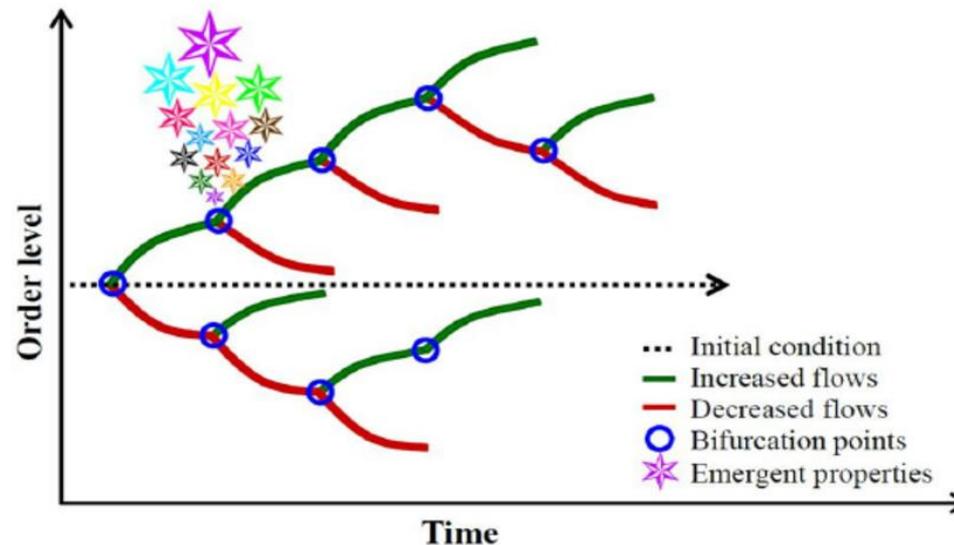
La psicostoria, sebbene sostenga che sia ininfluenza, in linea di massima, l'agire del **singolo essere umano** sul comportamento e le tendenze complessive di una intera società, mostra anche chiaramente che l'operato di alcuni particolari singoli è invece importantissimo durante certi **momenti critici** dell'evoluzione storica (detti «Crisi Seldon») in cui una società è ad un crocevia fra più cammini evolutivi possibili.



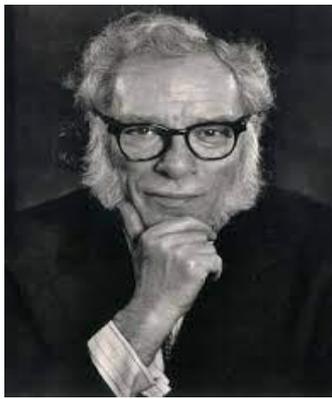
Precursori della Sociofisica

“La psicostoria era la quintessenza della sociologia; era la scienza del comportamento umano ridotto ad equazioni matematiche”.

Isaac Asimov ("Fondazione" o "Cronache della Galassia", 1951)



La psicostoria, sebbene sostenga che sia ininfluente, in linea di massima, l'agire del **singolo essere umano** sul comportamento e le tendenze complessive di una intera società, mostra anche chiaramente che l'operato di alcuni particolari singoli è invece importantissimo durante certi **momenti critici** dell'evoluzione storica (detti «Crisi Seldon») in cui una società è ad un crocevia fra più cammini evolutivi possibili.



Precursori della Sociofisica

“La psicostoria era la quintessenza della sociologia; era la scienza del comportamento umano ridotto ad equazioni matematiche”.

Isaac Asimov ("Fondazione" o "Cronache della Galassia", 1951)

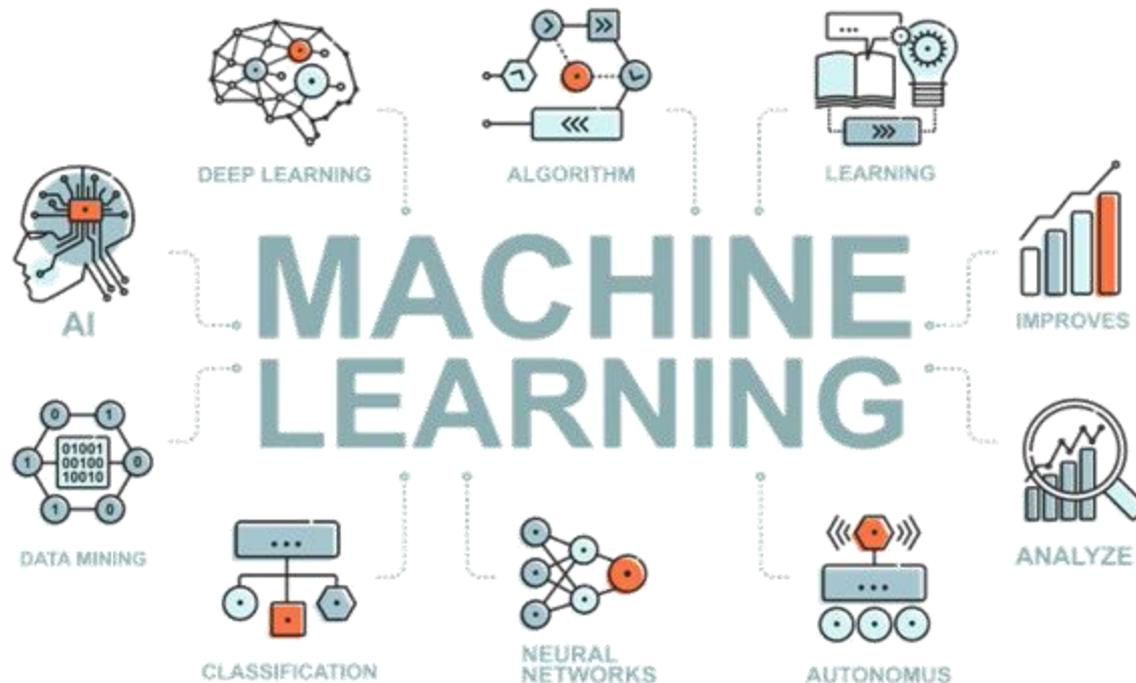
Serie TV



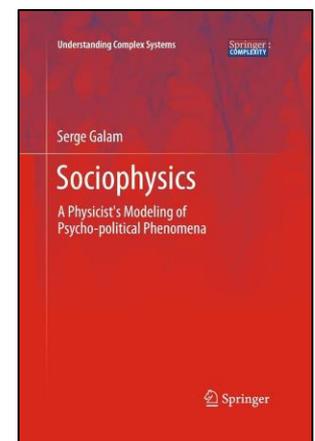
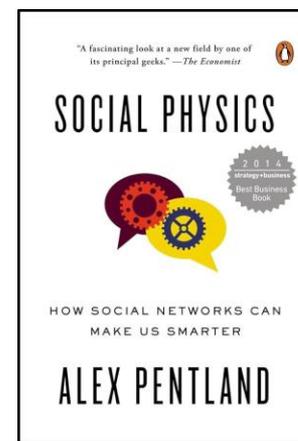
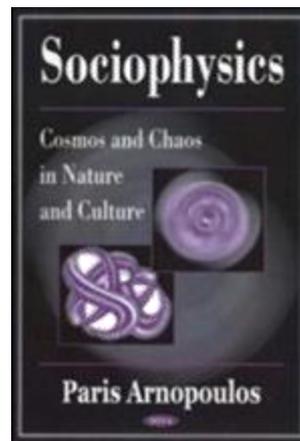
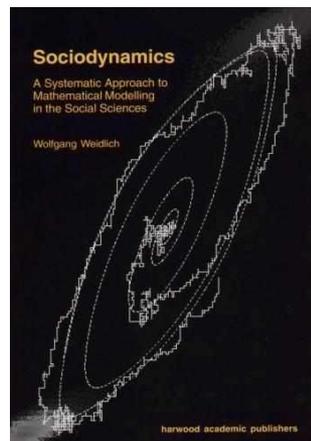
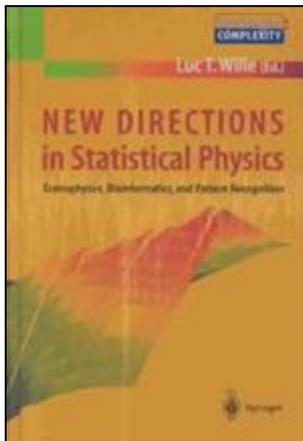
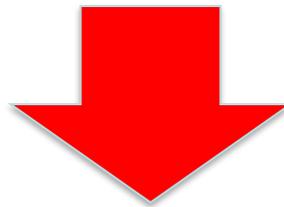
Romanzi



Purtroppo queste intuizioni non ebbero seguito immediato perché fino a una ventina di anni fa mancavano due ingredienti essenziali affinché la Sociofisica potesse affermarsi come scienza a tutti gli effetti:



Purtroppo queste intuizioni non ebbero seguito immediato perché fino a una ventina di anni fa mancavano due ingredienti essenziali affinché la Sociofisica potesse affermarsi come scienza a tutti gli effetti:

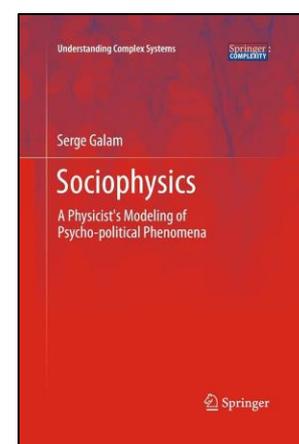
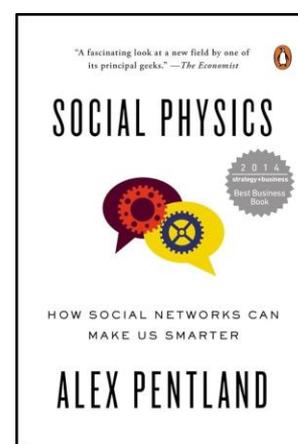
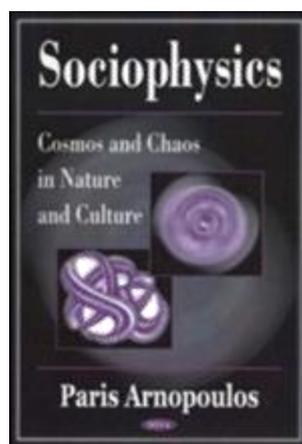
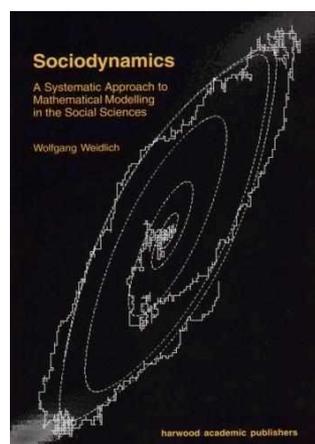
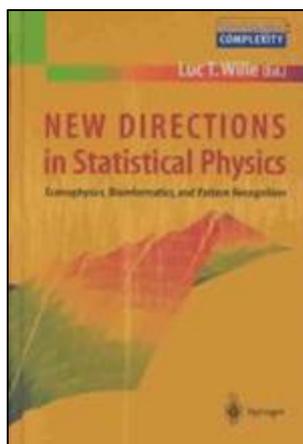


La rivoluzione della Sociofisica



*“Il fiorire delle ricerche in quella che mi piace chiamare **“Fisica Sociale”** (o **“Sociofisica”**) mi ha convinto che ci troviamo a una svolta importante nella storia. Siamo assistendo a una **“rivoluzione quantistica”** nelle scienze sociali. Siamo probabilmente ben lontani dall’identificare rigorose **“leggi”** per il mondo umano, tuttavia gli scienziati hanno scoperto in esso **strutture e regolarità** somiglianti a leggi, che non sono affatto in conflitto con l’esistenza del libero arbitrio individuale: **possiamo essere individui liberi le cui azioni, combinate, portano in ambito collettivo a risultati prevedibili**. Non molto diversamente da come, in fisica, il caos a livello atomico conduce alla precisione cronometrica della termodinamica o del moto planetario”*

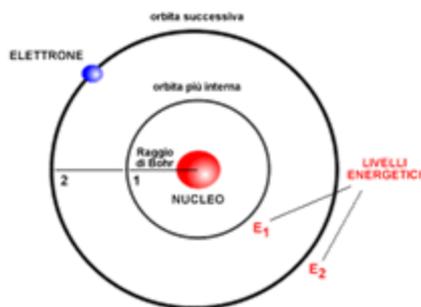
*(Mark Buchanan **“L’atomo sociale”**, 2008)*



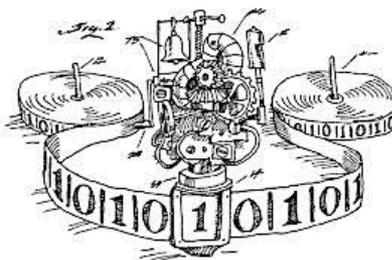
Toy Models nella Fisica dell'Ordine e del Disordine

E' indubbio che la rivoluzione scientifica iniziata a partire dal 1600 nell'ambito delle scienze fisiche (ma non solo) abbia basato il suo successo delle sue teorie matematiche sull'elaborazione di toy models, cioè di modelli giocattolo estremamente semplificati (e dunque più facili da trattare analiticamente) ma in grado di catturare con pochi ingredienti essenziali le caratteristiche salienti dei sistemi che cercavano di rappresentare (così da poter essere anche facilmente generalizzabili).

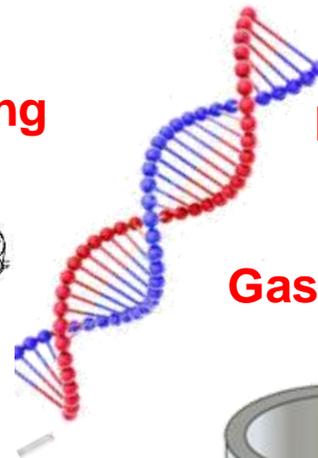
Atomo di Bohr



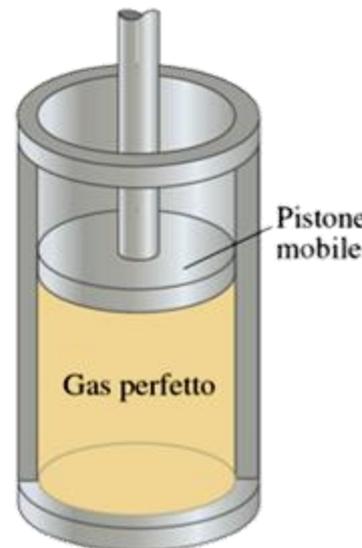
Macchina di Turing



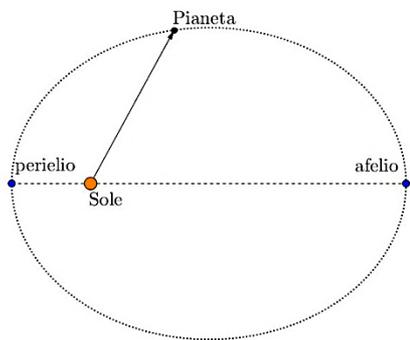
DNA



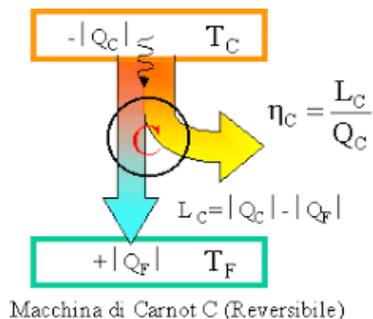
Gas Ideale



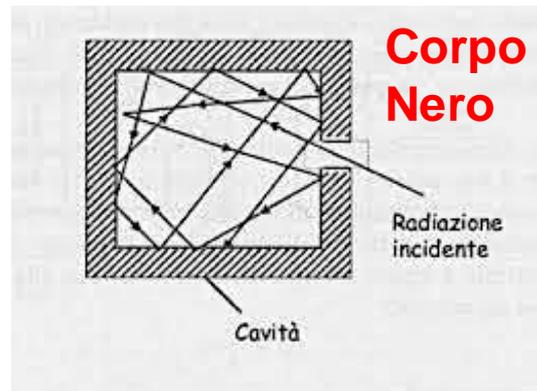
Modello Eliocentrico



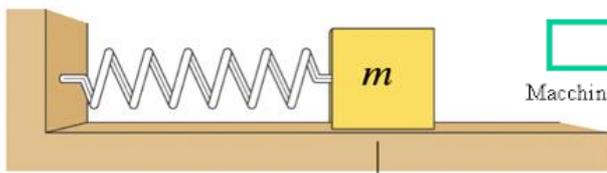
Macchina di Carnot



Corpo Nero



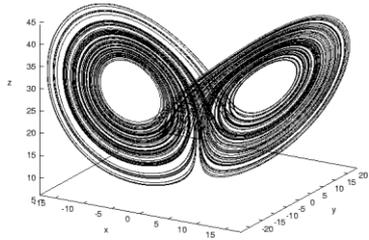
Oscillatore Armonico



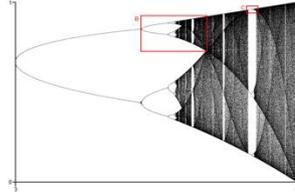
Toy Models nelle Teorie del Caos e della Complessità

In realtà anche le rivoluzioni concettuali introdotte nel secolo scorso nell'ambito della **teoria del Caos**, prima, e della **Complessità** poi, hanno trovato nei **toy models** uno strumento computazionale di grande utilità per orientarsi in un contesto dove diventava **sempre più difficile ricavare soluzioni matematiche esatte** dell'evoluzione nel tempo dei sistemi studiati (anche noi ne abbiamo già incontrati parecchi...).

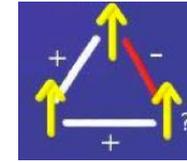
Modello di Lorenz



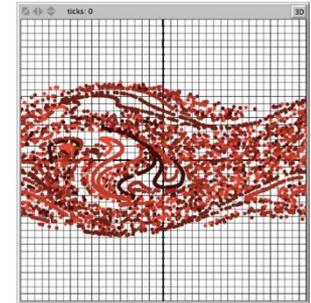
Mappa Logistica



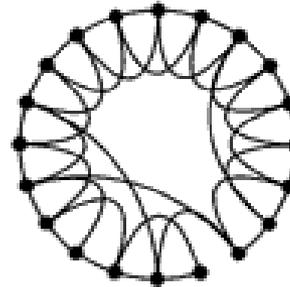
Spin Glasses



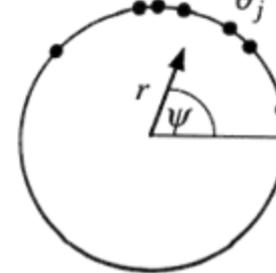
Modello HMF



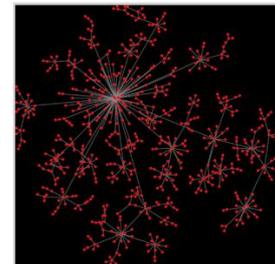
Small World Networks



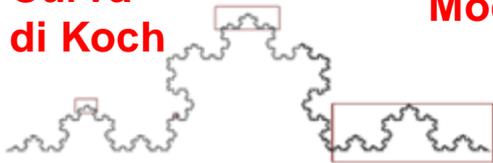
Modello di Kuramoto



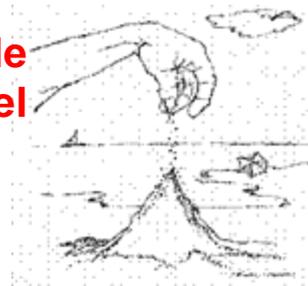
Preferential Attachment



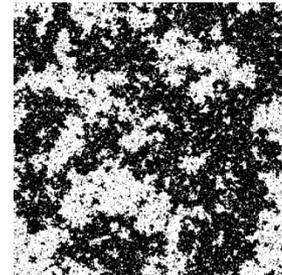
Curva di Koch



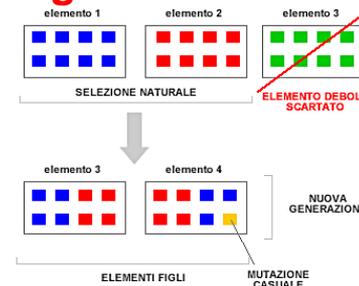
Sandpile Model



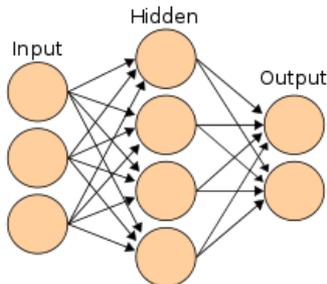
Modello di Ising



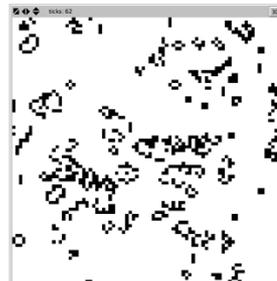
Algoritmi Genetici



Reti Neurali



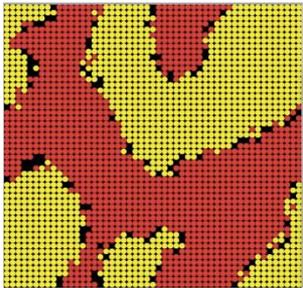
Automi Cellulari



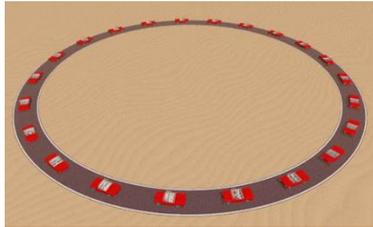
L'importanza dei Toy Models in Sociofisica

Si comprende dunque il motivo per cui la rivoluzione concettuale che si sta facendo strada **nell'ambito delle scienze sociali** (di solito restie all'utilizzo dei modelli matematici) stia già mostrando i suoi primi successi nel realizzare modelli molto semplificati dei fenomeni socio-economici, contenenti il **numero minimo di ingredienti necessari e sufficienti a riprodurre la dinamica del sistema da modellare e far emergere i suoi «fatti stilizzati»**, cioè le sue caratteristiche salienti (features). Abbiamo già presentato "Segregation" di Thomas Schelling. Vedremo adesso molti altri **esempi di modelli giocattolo** (spesso ispirati alla fisica) diventati già celebri in Sociofisica ed Econofisica, che orbitano attorno al concetto di **atomo sociale** e basati soprattutto sulle cosiddette **"simulazioni ad agenti"** ...

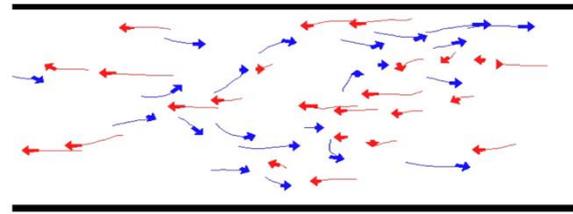
Segregation



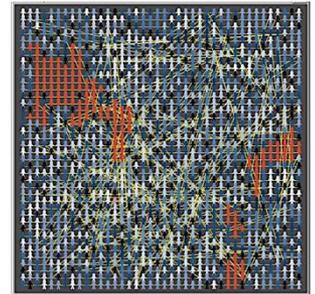
Ingorgo Fantasma



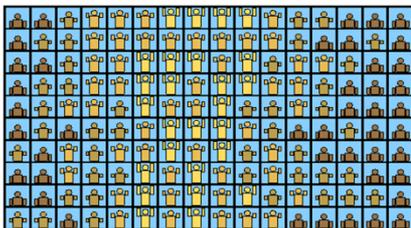
Social Force Model



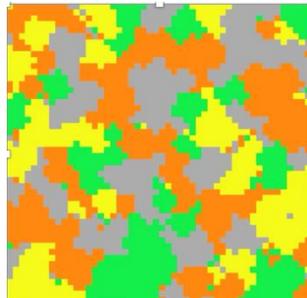
Modello FQM



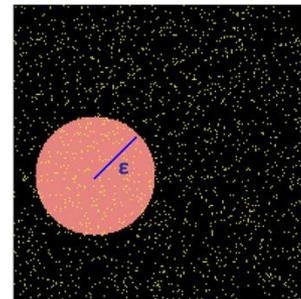
Mexican Wave



Modello di Sznajd



Modello HK



Modello TvL



La ricetta della Sociofisica

1. **Individuare**, esaminando gli indizi appropriati, **un fenomeno socio-economico complesso** che potrebbe emergere da una dinamica più semplice a livello dei singoli individui (cioè dei singoli «atomi sociali»).

Ad es. il fenomeno della Segregazione Residenziale



La ricetta della Sociofisica

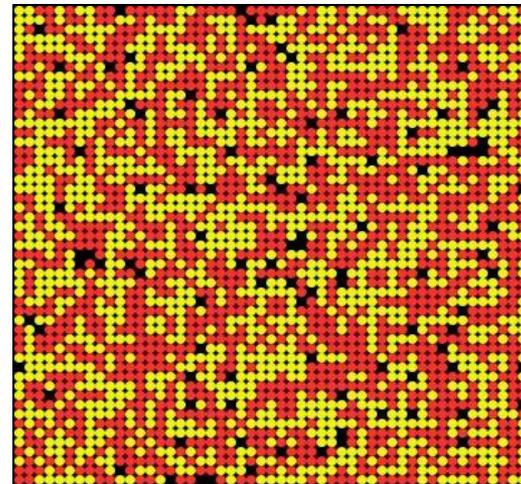
1. **Individuare**, esaminando gli indizi appropriati, **un fenomeno socio-economico complesso** che potrebbe emergere da una dinamica più semplice a livello dei singoli individui (cioè dei singoli «atomi sociali»).
2. **Costruire** (sotto certe ipotesi) **un modello matematico semplificato** del sistema che si vuole studiare, scegliendo le **poche variabili indipendenti** che si ritengono necessarie e sufficienti a riprodurre il fenomeno, e se possibile **calibrarlo** con i dati reali (magari anche con tecniche di *machine learning*).

Ad es. il modello di Schelling



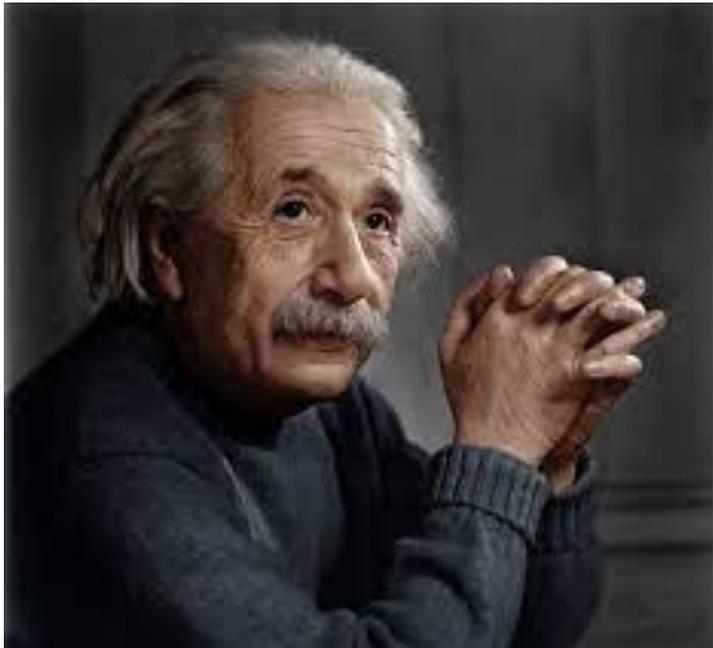
- **razza bianca**
- **razza nera**
- **spazi vuoti**

2 comunità etniche



La ricetta della Sociofisica

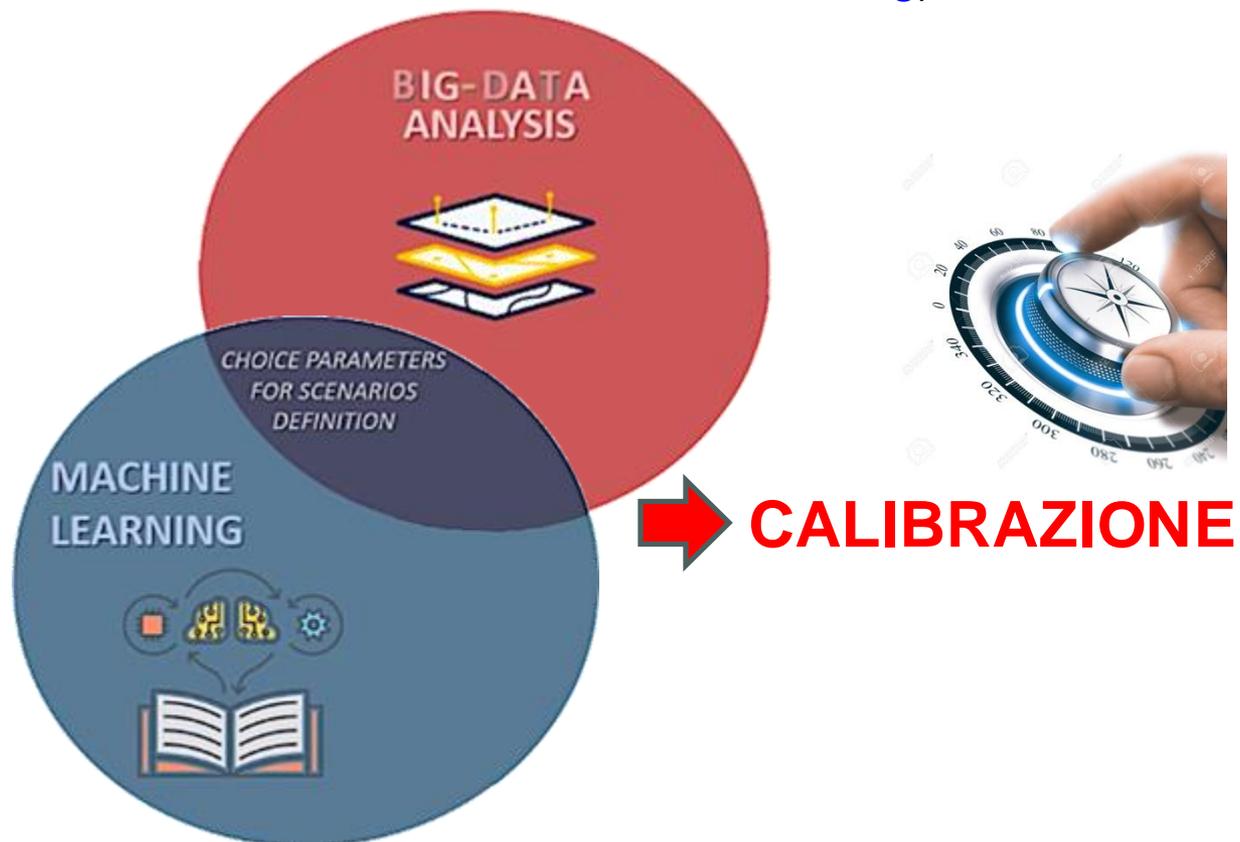
1. **Individuare**, esaminando gli indizi appropriati, **un fenomeno socio-economico complesso** che potrebbe emergere da una dinamica più semplice a livello dei singoli individui (cioè dei singoli «atomi sociali»).
2. **Costruire** (sotto certe ipotesi) **un modello matematico semplificato** del sistema che si vuole studiare, scegliendo le **poche variabili indipendenti** che si ritengono necessarie e sufficienti a riprodurre il fenomeno, e se possibile **calibrarlo** con i dati reali (magari anche con tecniche di *machine learning*).



**“Tutto dovrebbe essere reso
il più semplice possibile,
ma non ancora più semplice”
A.Einstein**

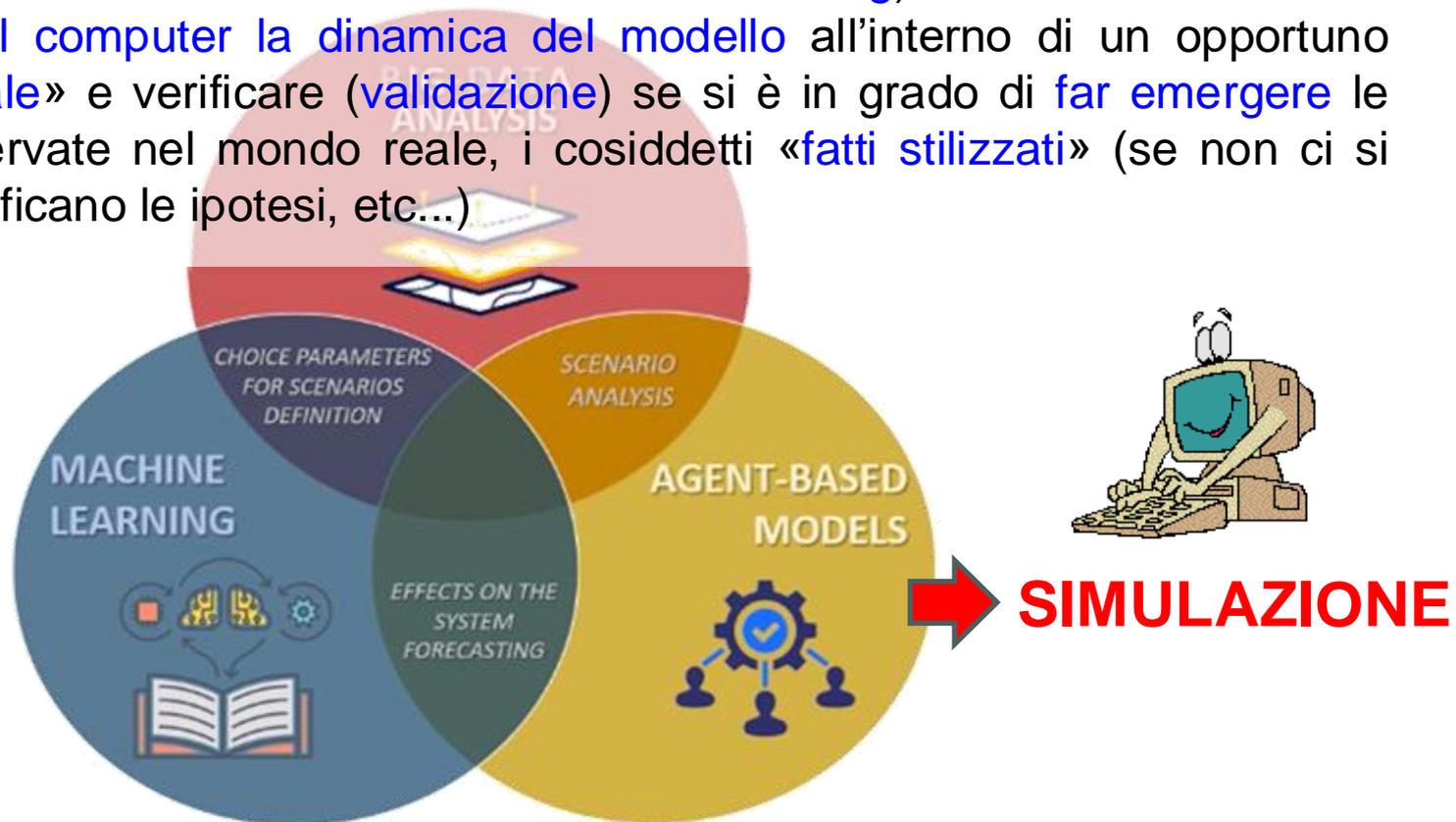
La ricetta della Sociofisica

1. **Individuare**, esaminando gli indizi appropriati, **un fenomeno socio-economico complesso** che potrebbe emergere da una dinamica più semplice a livello dei singoli individui (cioè dei singoli «atomi sociali»).
2. **Costruire** (sotto certe ipotesi) **un modello matematico semplificato** del sistema che si vuole studiare, scegliendo le **poche variabili indipendenti** che si ritengono necessarie e sufficienti a riprodurre il fenomeno, e se possibile **calibrarlo** con i dati reali (magari anche con tecniche di *machine learning*).



La ricetta della Sociofisica

1. **Individuare**, esaminando gli indizi appropriati, **un fenomeno socio-economico complesso** che potrebbe emergere da una dinamica più semplice a livello dei singoli individui (cioè dei singoli «atomi sociali»).
2. **Costruire** (sotto certe ipotesi) **un modello matematico semplificato** del sistema che si vuole studiare, scegliendo le **poche variabili indipendenti** che si ritengono necessarie e sufficienti a riprodurre il fenomeno, e se possibile **calibrarlo** con i dati reali (magari anche con tecniche di *machine learning*).
3. **Simulare al computer la dinamica del modello** all'interno di un opportuno «**mondo virtuale**» e verificare (**validazione**) se si è in grado di **far emergere** le proprietà osservate nel mondo reale, i cosiddetti «**fatti stilizzati**» (se non ci si riesce, si modificano le ipotesi, etc...)



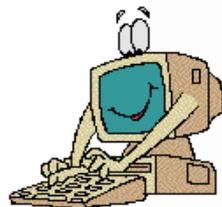
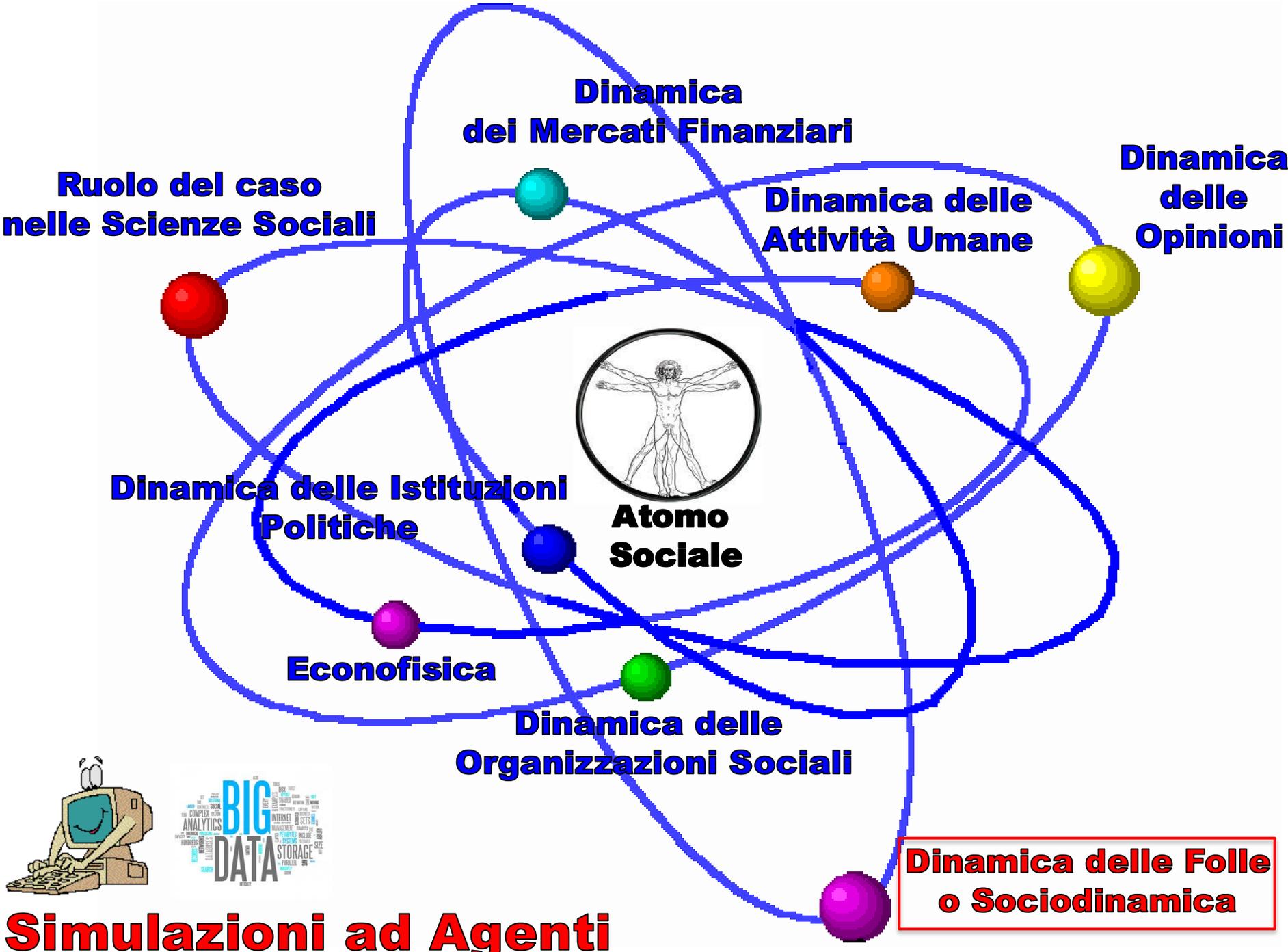
La ricetta della Sociofisica

1. **Individuare**, esaminando gli indizi appropriati, **un fenomeno socio-economico complesso** che potrebbe emergere da una dinamica più semplice a livello dei singoli individui (cioè dei singoli «atomi sociali»).
2. **Costruire** (sotto certe ipotesi) **un modello matematico semplificato** del sistema che si vuole studiare, scegliendo le **poche variabili indipendenti** che si ritengono necessarie e sufficienti a riprodurre il fenomeno, e se possibile **calibrarlo** con i dati reali (magari anche con tecniche di *machine learning*).
3. **Simulare al computer la dinamica del modello** all'interno di un opportuno «**mondo virtuale**» e verificare (**validazione**) se si è in grado di **far emergere** le proprietà osservate nel mondo reale, i cosiddetti «**fatti stilizzati**» (se non ci si riesce, si modificano le ipotesi, etc...)
4. Una volta riprodotte con una buona approssimazione le proprietà osservate del fenomeno sociale (ossia lo **status quo**), possiamo ritenere di averne catturato i **principali nessi causali**, dunque è possibile utilizzare il nostro modello per **simulare scenari alternativi** allo scopo – ad esempio – di **migliorare l'efficienza** del sistema o di evitare comportamenti indesiderati, dando così utili suggerimenti ai **policy makers**.



**SIMULAZIONE DI
SCENARI ALTERNATIVI**





Simulazioni ad Agenti

Fenomeni collettivi emergenti in sociodinamica

La **Sociodinamica** ha sviluppato **modelli semplificati ad agenti mobili** in grado di simulare e caratterizzare con una certa efficacia il comportamento collettivo, spesso **controintuitivo**, emergente dall'interazione fisica di numerosi individui all'interno di ambienti confinati...

Mexican Wave



Mexican Wave

Modello matematico:

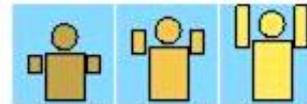
I. Farkas*, D. Helbing†, T. Vicsek*

“Mexican waves in an excitable medium”
Nature, Brief Communications, Vol.419 (2002)

**Department of Biological Physics, Eötvös*



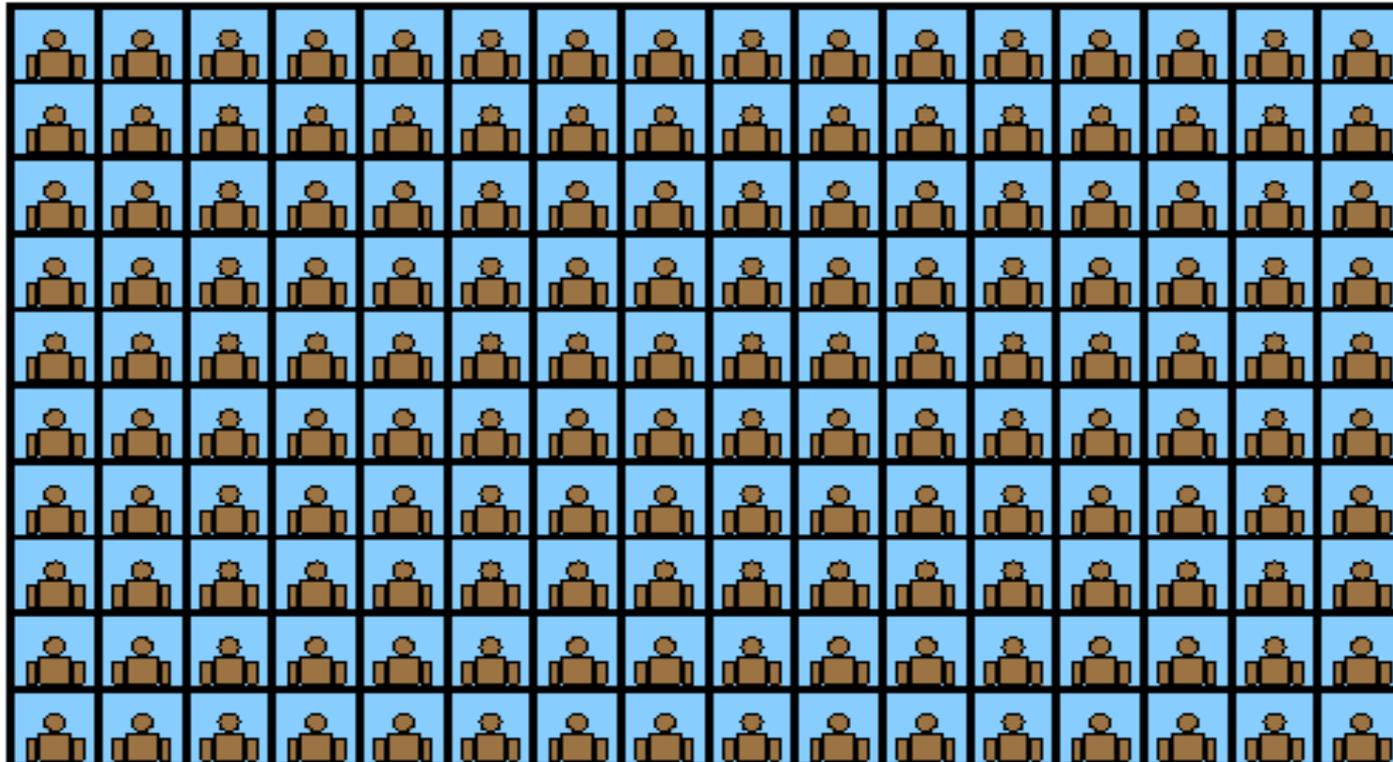
inactive
(sitting)



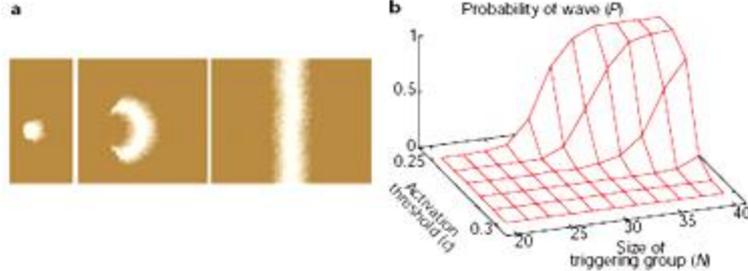
active
(moving upward)



refractor
(moving back or already sitting)

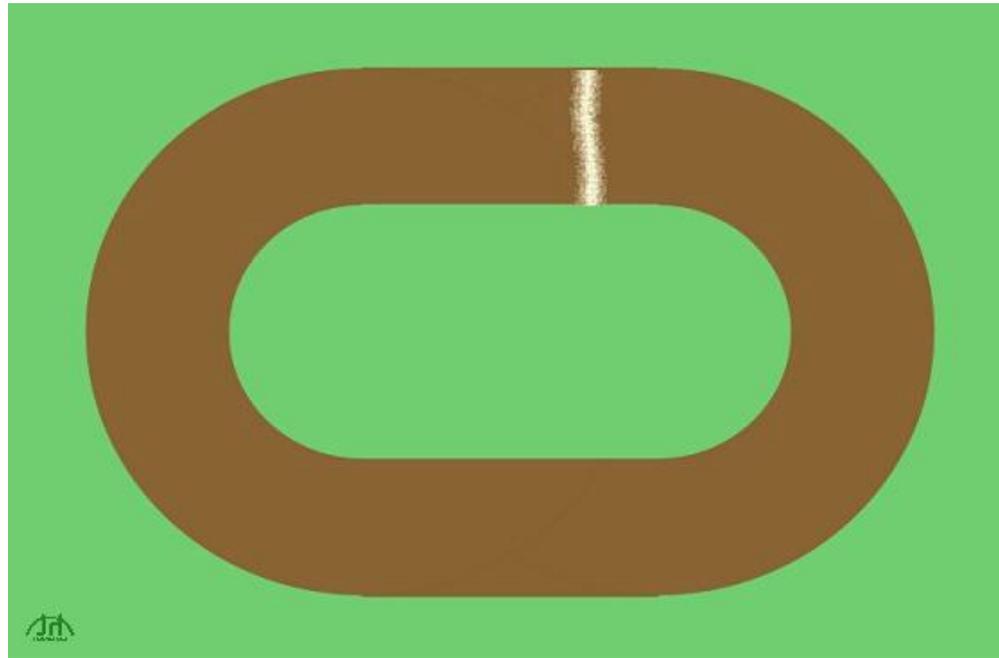
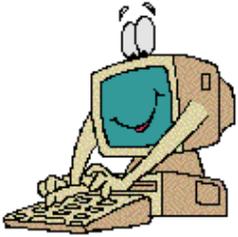


Mexican Wave

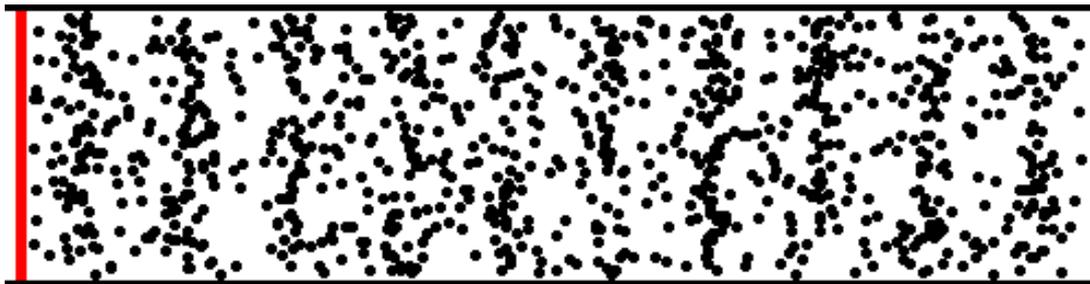


Caratteristiche dell'onda:

- Direzionale di rotazione in senso orario
- Larghezza: 6-12 m (in media 15 sedie)
- Velocità media: 12 m/s (circa 20 sedie/s)



Onda
Longitudinale:



L'Ingorgo Fantasma

Curiosità

19 giugno 2009



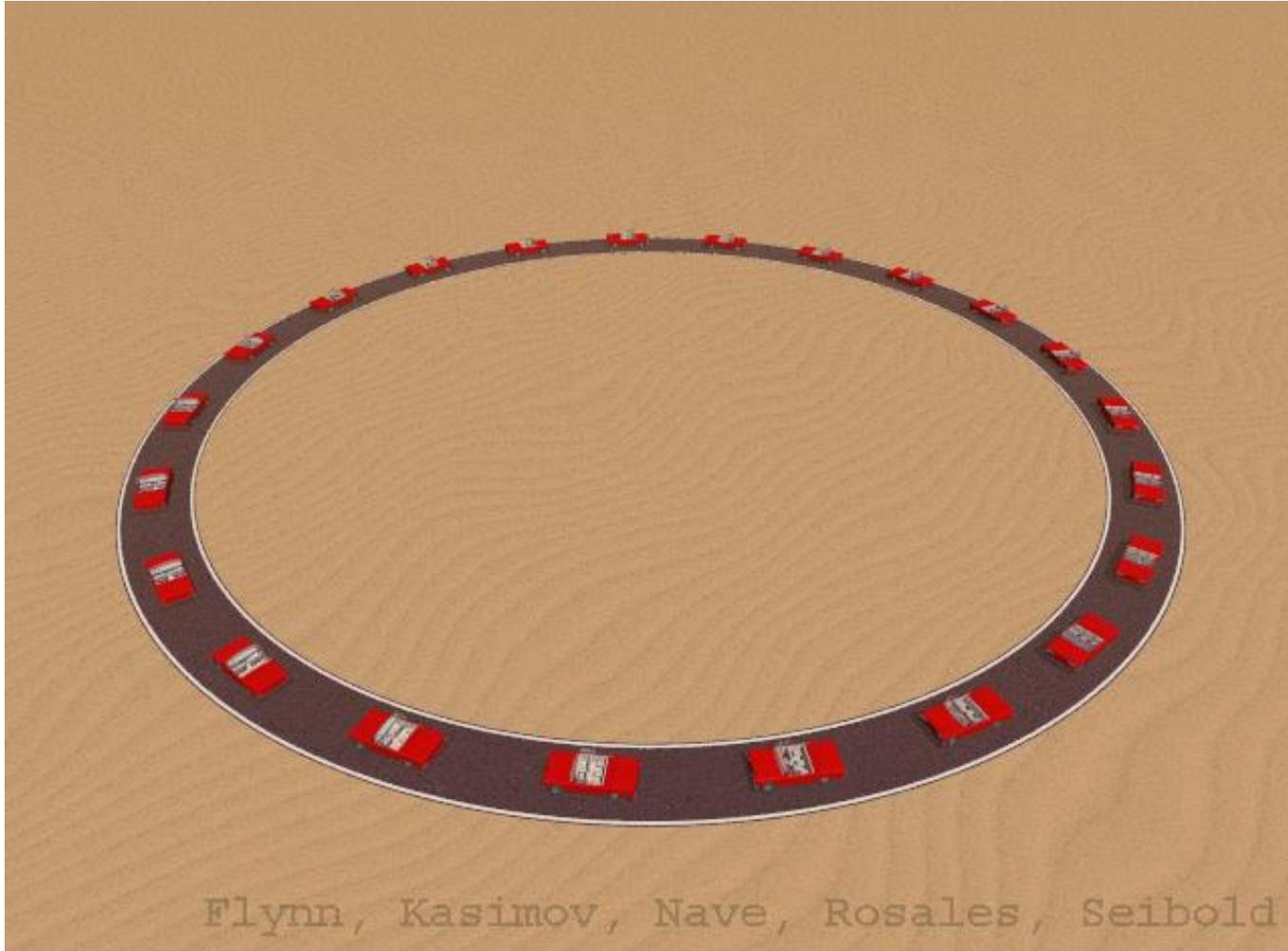
Il MIT cerca la soluzione per gli "ingorghi fantasma"

Allo studio l'onda di traffico che crea le code

Un altro tipico fenomeno emergente in sociodinamica è il cosiddetto **ingorgo fantasma**, una struttura che può formarsi **spontaneamente** su qualunque strada in cui **il traffico sia sufficientemente intenso**.

Alcuni matematici del MIT, coordinati da **Asian Kasimov**, hanno realizzato un modello matematico basato sulla **meccanica dei fluidi** che pone le prime basi fisico-scientifiche del fenomeno, scoprendo che il problema è fondamentalmente legato alla quantità di vetture presenti sulla superficie stradale: al di sopra di una densità critica di auto, **la minima variazione di velocità di un veicolo è sufficiente ad innescare una reazione a catena che può costringere ("asservire" direbbe Haken) interi gruppo di vetture a procedere periodicamente a passo d'uomo...**

L'Ingorgo Fantasma



<http://math.mit.edu/projects/traffic/>

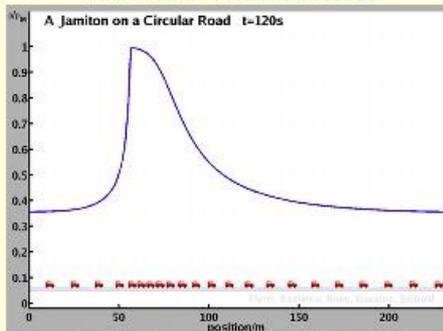


L'Ingorgo Fantasma

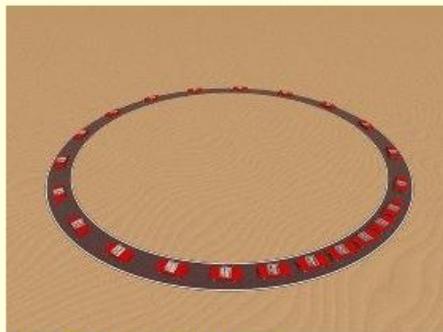
Partendo dal filmato precedente, realizzato da ricercatori giapponesi, in cui per la prima volta si può osservare con precisione il formarsi degli "ingorghi fantasma" all'interno di un **percorso circolare**, i ricercatori del MIT hanno definito questo fenomeno col termine "**jamiton**", ovvero una variante automobilistica di quello che i fisici chiamano "**soliton**" (solitone), ovvero **un'onda solitaria auto-rinforzante** che mantiene la propria forma anche in movimento.

Viscous
model

Large number of cars (22)

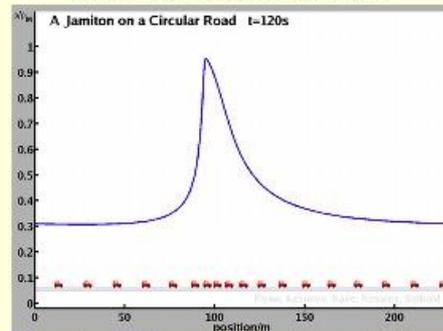


[Download Video side view](#) (divx, 4MB)

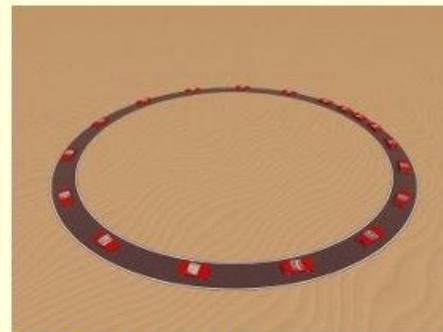


[Download Video 3D view](#) (divx, 10MB)

Medium number of cars (18)

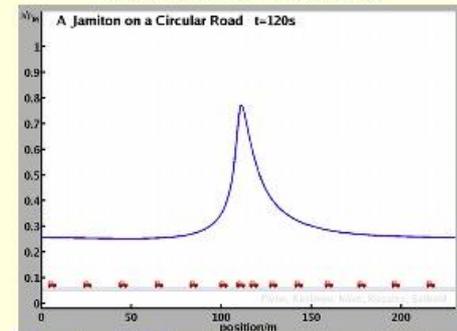


[Download Video side view](#) (divx, 4MB)

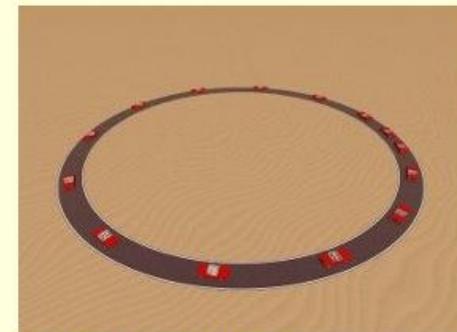


[Download Video 3D view](#) (divx, 8MB)

Small number of cars (14)



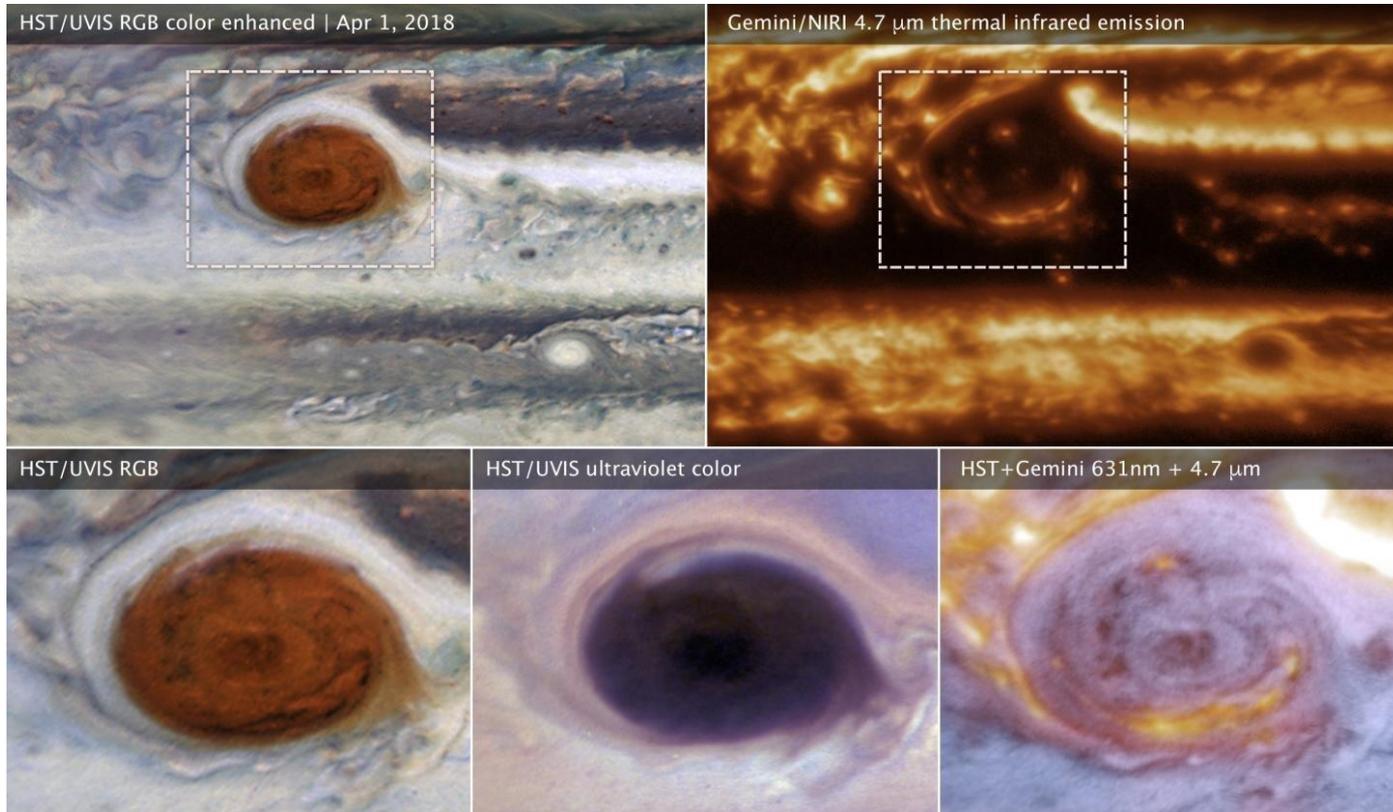
[Download Video side view](#) (divx, 4MB)



[Download Video 3D view](#) (divx, 8MB)

L'Ingorgo Fantasma e i Solitoni

Alcuni tra i numerosi fenomeni descrivibili, come l'ingorgo fantasma, in termini di onde solitarie o **solitoni** sono: la grande “**macchia rossa**” di **Giove**, una struttura persistente da diverse centinaia di anni nella atmosfera altamente turbolenta del pianeta; la propagazione di **onde ionico-acustiche nei plasmi**, di interesse astrofisico e nei plasmi fusionistici; l'accumulo e il trasferimento di energia nelle **catene di proteine** (solitone di Davydov); la teoria delle **giunzioni di Josephson**, utilizzate in circuiti veloci di interesse per i supercalcolatori.



Dinamica delle Folle: la Fuga da Panico

Tragedia di piazza San Carlo

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.



Questa voce o sezione deve essere rivista e aggiornata appena possibile.

Sembra infatti che questa voce contenga informazioni superate e/o obsolete. Se puoi, [contribuisci](#) ad aggiornarla.

La **tragedia di piazza San Carlo** è un riferimento ai fatti avvenuti la sera del 3 giugno 2017, a [Torino](#), nell'[omonima piazza](#) della città.

Indice [\[nascondi\]](#)

- [Vicenda](#)
- [Aspetti critici](#)
- [Reazioni](#)
- [Indagini](#)
 - [Le indagini sugli aspetti amministrativi e logistici](#)
 - [Le indagini su eventuali comportamenti dolosi](#)
- [Conseguenze](#)
- [Note](#)



Vicenda [\[modifica | modifica wikitesto \]](#)

La sera del 3 giugno 2017, a Torino, in occasione della [finale della UEFA Champions League](#) tra [Juventus](#) e [Real Madrid](#), fu installato in [piazza San Carlo](#) uno dei due maxischermi per permettere ai tifosi juventini rimasti in città di seguire in diretta la partita che si disputava a [Cardiff](#). Le indagini hanno appurato che durante lo svolgimento della partita, a seguito del comportamento di un gruppo di malviventi che utilizzavano spray urticante per aprirsi la strada dopo aver raziato oggetti di valore tra il pubblico, si è scatenato il panico.

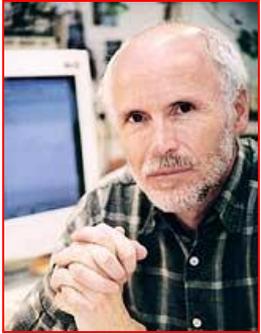
I presenti, presi dal terrore, hanno creato, nel fuggire, una calca che ha provocato più di 1500 feriti e la morte di due donne e un uomo: la prima dopo dodici giorni di agonia^[1], la seconda, rimasta inizialmente [tetraplegica](#), deceduta dopo diciotto mesi,^{[2][3]} il terzo dopo un calvario durato due anni e mezzo e l'amputazione di un piede.^[4]

Aspetti critici [\[modifica | modifica wikitesto \]](#)

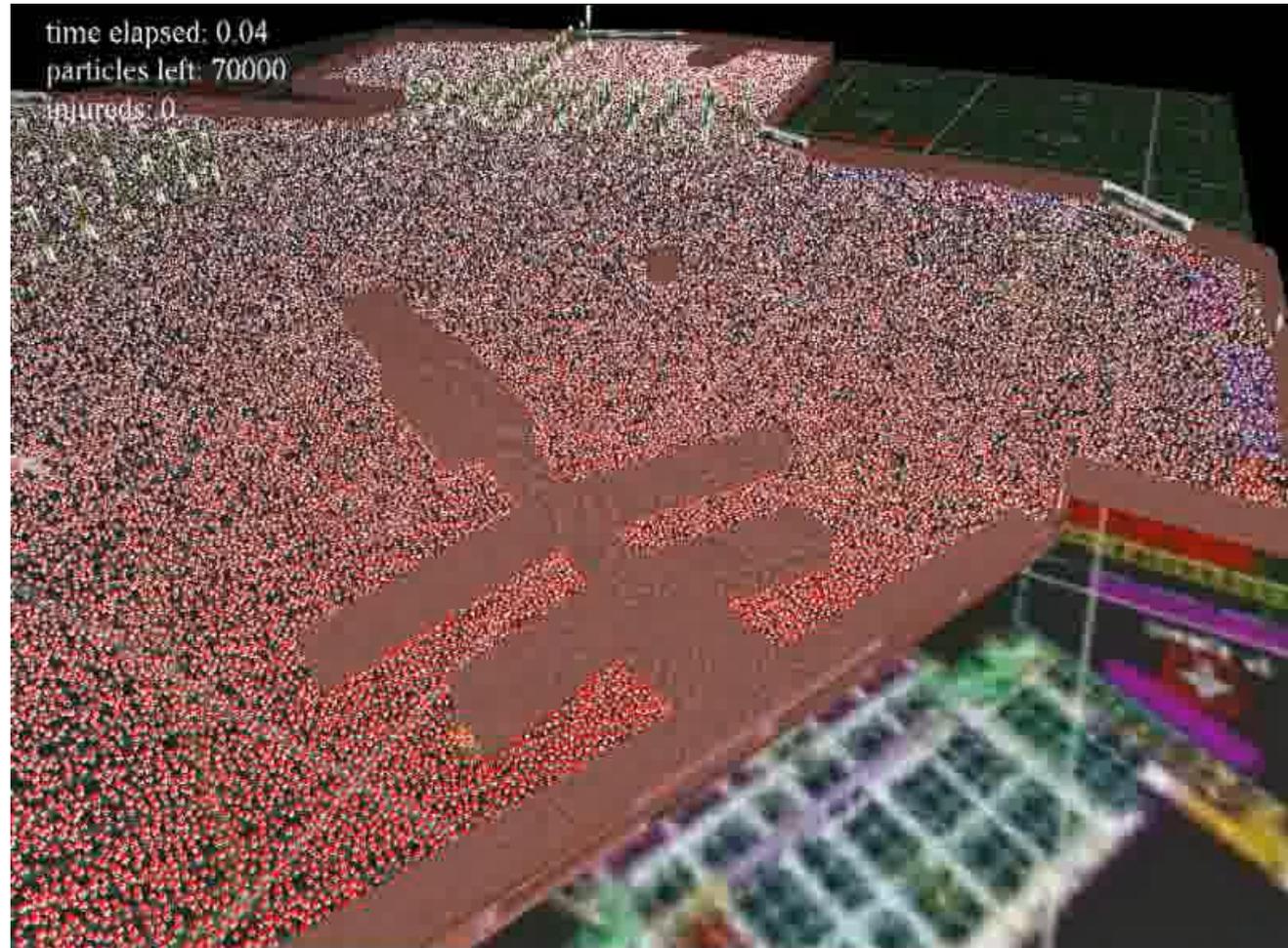
A seguito della tragedia sono stati osservati dai media alcuni aspetti critici che potrebbero aver contribuito al suo verificarsi^[5]:

- mancanza di coordinamento tra le forze di pubblica sicurezza presenti in piazza;
- mancanza di un punto di soccorso prestabilito in caso di emergenza;
- presenza incontrollata di venditori abusivi di bevande contenute in bottiglie di vetro, i cui cocci hanno contribuito all'aumento del numero dei feriti durante la fuga collettiva^[6].

Il Modello della “Social Force”



Dirk **Helbing**, Illes J. **Farkas**,
and Tamas **Vicsek**:
Simulating dynamical
features of escape panic.
Nature **407**, 487-490
(2000).



<http://www.tu-dresden.de/vkiwv/vwista/Pedestrians/> <http://angel.elte.hu/~panic/>

Equazione del moto del singolo agente

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \mathbf{f}_i(t) + \boldsymbol{\xi}_i(t)$$

fluttuazioni individuali



forza trainante

$$\mathbf{f}_i(t) = \frac{v_i^0(t) \mathbf{e}_i^0 - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} [\mathbf{f}_{ij}^{soc}(t) + \mathbf{f}_{ij}^{att}(t)] + \sum_b \mathbf{f}_{ib}(t) + \sum_k \mathbf{f}_{ik}^{att}(t)$$

forza sociale repulsiva

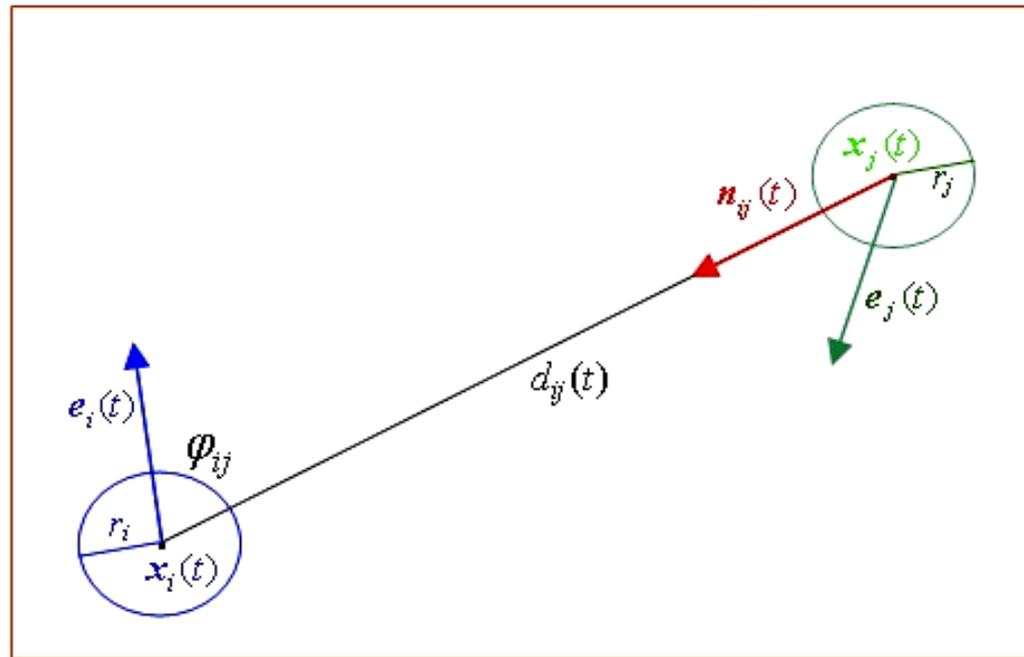
$$\mathbf{f}_{ij}^{soc}(t) = A_i \exp[(r_{ij} - d_{ij}) / B_i] \mathbf{n}_{ij} \left(\frac{1 + \cos(\varphi_{ij})}{2} \right)$$

forza sociale attrattiva

forze esterne repulsive

forze esterne attrattive

Moto in condizioni normali (gas)



Equazione del moto del singolo agente

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \mathbf{f}_i(t) + \boldsymbol{\xi}_i(t)$$

fluttuazioni individuali



forza trainante

$$\mathbf{f}_i(t) = \frac{\mathbf{v}_i^0(t) \mathbf{e}_i^0 - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} [\mathbf{f}_{ij}^{soc}(t) + \mathbf{f}_{ij}^{att}(t)] + \sum_b \mathbf{f}_{ib}(t) + \sum_k \mathbf{f}_{ik}^{att}(t)$$

forza sociale repulsiva

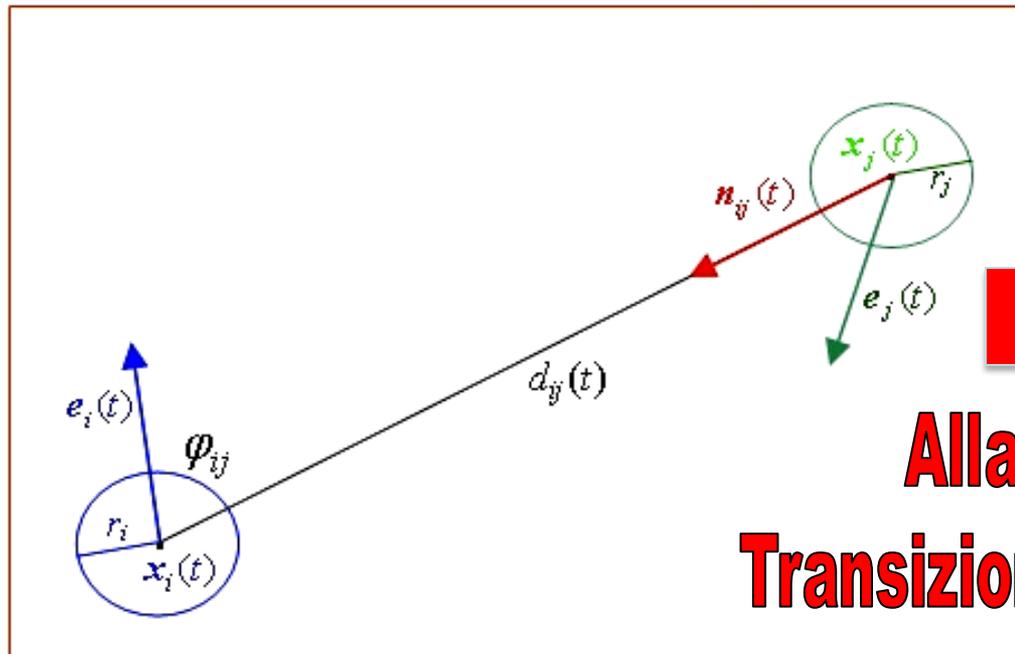
$$\mathbf{f}_{ij}^{soc}(t) = A_{ij} \exp[(r_{ij} - d_{ij}) / B_{ij}] \mathbf{n}_{ij} \left(\frac{1 + \cos(\varphi_{ij})}{2} \right)$$

forza sociale attrattiva

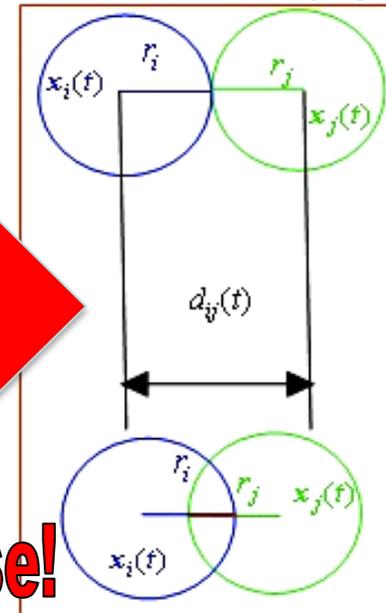
forze esterne repulsive

forze esterne attrattive

Moto in condizioni normali (gas)



Moto in condizioni di sovrappollamento (liquido)



**Allarme:
Transizione di fase!**

Equazione del moto del singolo agente

$$m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \mathbf{f}_i(t) + \boldsymbol{\xi}_i(t)$$

fluttuazioni individuali



forza trainante

$$\mathbf{f}_i(t) = \frac{\mathbf{v}_i^0(t) \mathbf{e}_i^0 - \mathbf{v}_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} [\mathbf{f}_{ij}^{soc}(t) + \mathbf{f}_{ij}^{aff}(t)] + \sum_b \mathbf{f}_{ib}(t) + \sum_k \mathbf{f}_{ik}^{aff}(t)$$

forza sociale repulsiva

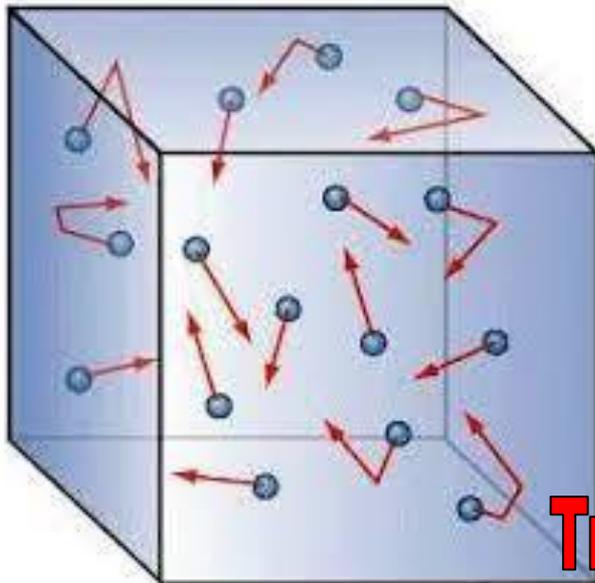
$$\mathbf{f}_{ij}^{soc}(t) = A_i \exp[(r_{ij} - d_{ij}) / B_i] \mathbf{n}_{ij} \left(\frac{1 + \cos(\varphi_{ij})}{2} \right)$$

forza sociale attrattiva

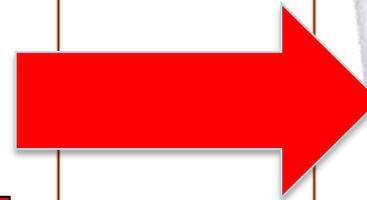
forze esterne repulsive

forze esterne attrattive

Moto in condizioni normali (gas)



Moto in condizioni di sovraffollamento (liquido)



**Allarme:
Transizione di fase!**

Fuga da Panico da luoghi chiusi



Ala / Mondo

Rogo in discoteca, strage di giovani in Macedonia del Nord

16 Marzo 2025

Almeno 59 vittime e 150 feriti. 'Il locale non era a norma'



↑ La discoteca distrutta dalle fiamme © ANSA/EPA

Macedonia del Nord, 59 morti nel rogo in discoteca: arrestati organizzatori. Sette giorni di lutto

A causare il rogo fuochi d'artificio durante esibizione dei Dnk, quattro componenti tra le vittime. Il locale, senza licenza, poteva contenere 700 persone, ce n'erano 1500. Proteste all'Università di Skopje. Si dimette sindaco di Kocan

🕒 15:56

Taseba è sopravvissuta al rogo in discoteca: "Tutti gridavano di scappare, ma c'era una sola uscita"

🔊 **ATTIVA AUDIO**

Pause

LEGGI ANCHE:

VIDEO Tragedia in Macedonia del Nord, effetti pirotecnici mandano a fuoco una discoteca. Oltre 50 morti

VIDEO L'istante in cui il soffitto prende fuoco in discoteca a Kocani: video

VIDEO I soccorsi febbrili sul posto: incendio in discoteca, almeno 50 morti

VIDEO Le fiamme divorano tutto: vasto incendio in discoteca

VIDEO Il tetto bucatato dal fuoco, l'edificio stravolto dalle fiamme



Condividi

In Macedonia del Nord, che da oggi osserva **sette giorni di lutto nazionale**, proseguono le indagini per accertare le responsabilità del disastroso incendio nella **discoteca di Kocani**, che nella notte tra sabato e domenica ha provocato la morte di 59 giovani e il ferimento di altri 155.

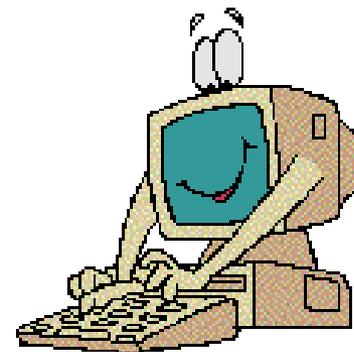
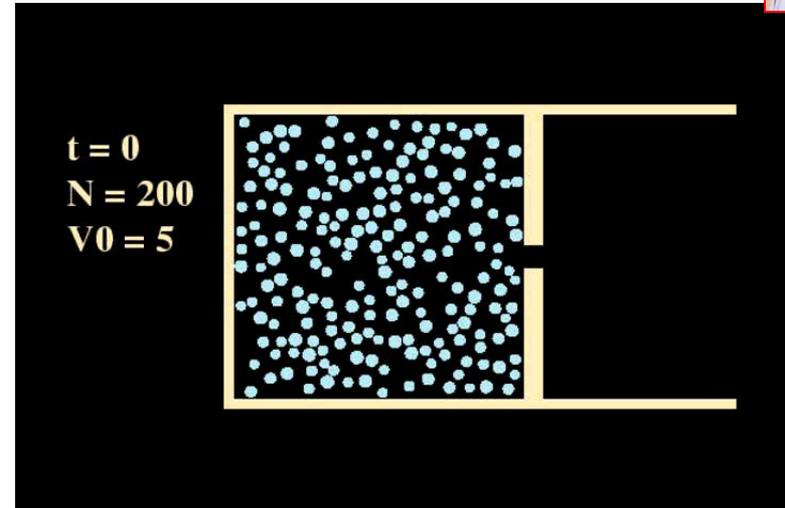
Un locale del tutto illegale, con **falsa licenza** e privo delle più elementari misure di sicurezza. Ai quattro ordini di cattura per persone reresi irreperibili e ai mandati di arresto già effettuati ieri se ne aggiungeranno con ogni probabilità altri nelle prossime ore, con gli inquirenti di magistratura e polizia impegnati a sentire e interrogare decine di persone.

Fuga da Panico da luoghi chiusi



Guatemala Stadium 1996

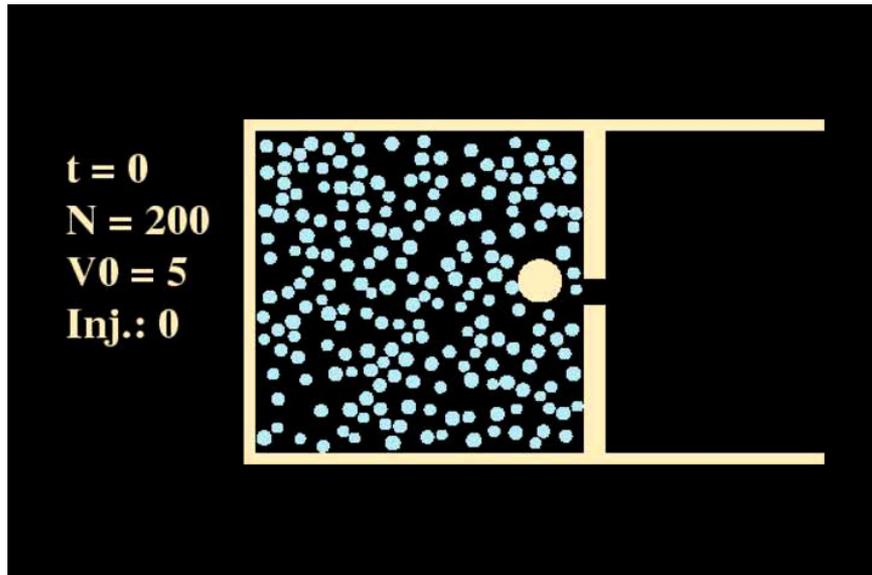
- Fuga da un'area chiusa con una sola uscita
- L'onda di pressione rallenta la fuoriuscita degli individui in preda al panico



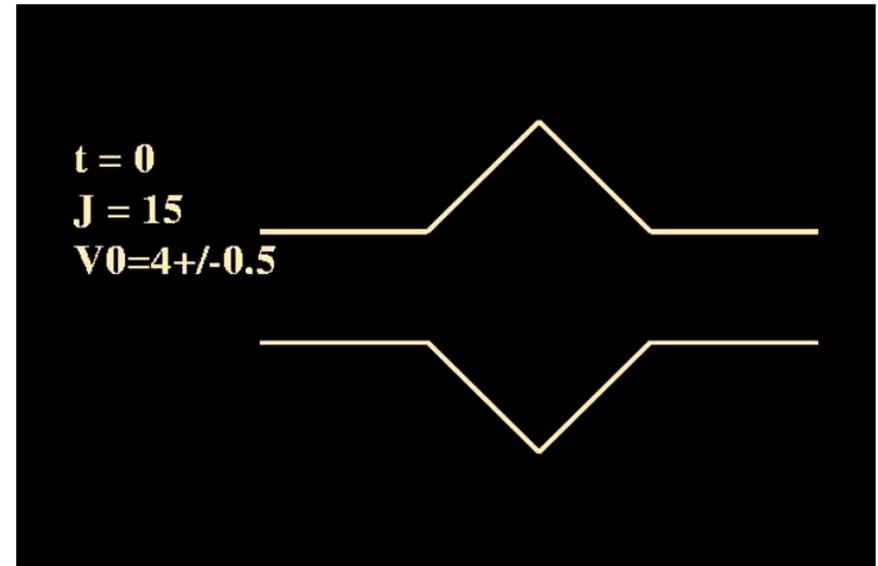
EFFETTI PARADOSSALI



Un ostacolo aiuta il deflusso



Uno slargo danneggia il deflusso

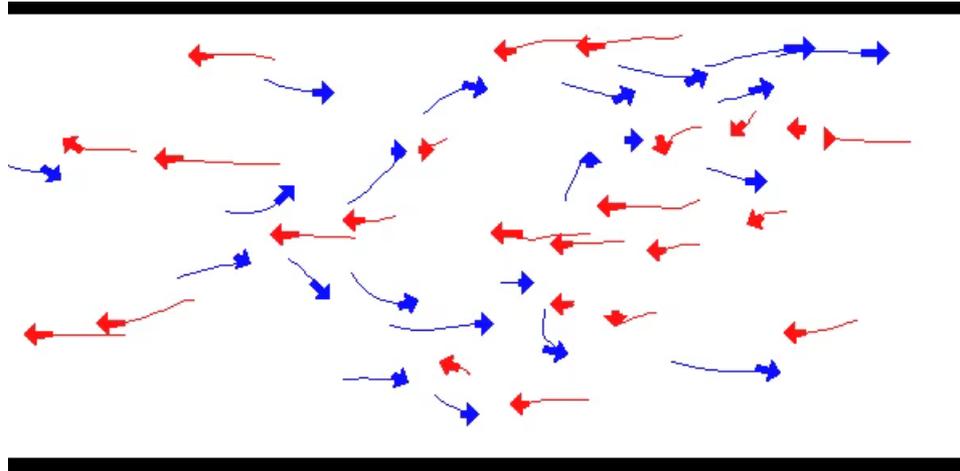


Fenomeni emergenti nel traffico pedonale

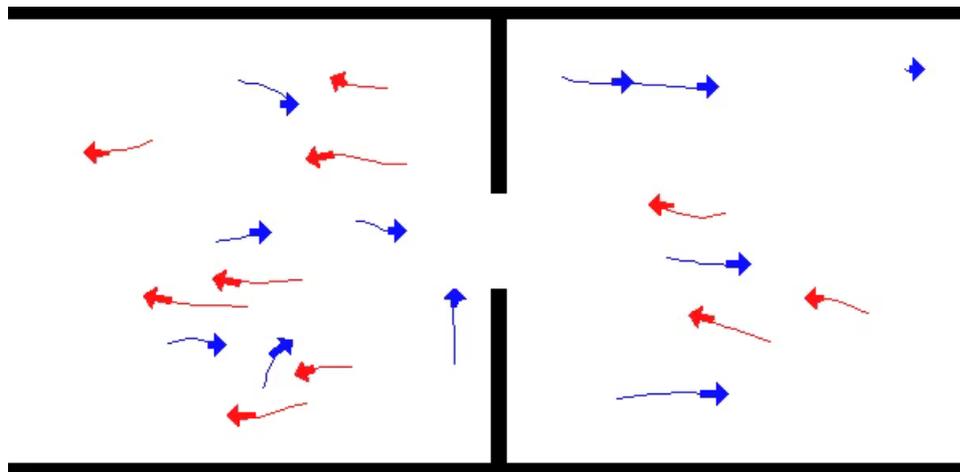
<https://www1.ethz.ch/soms/research/Videos>



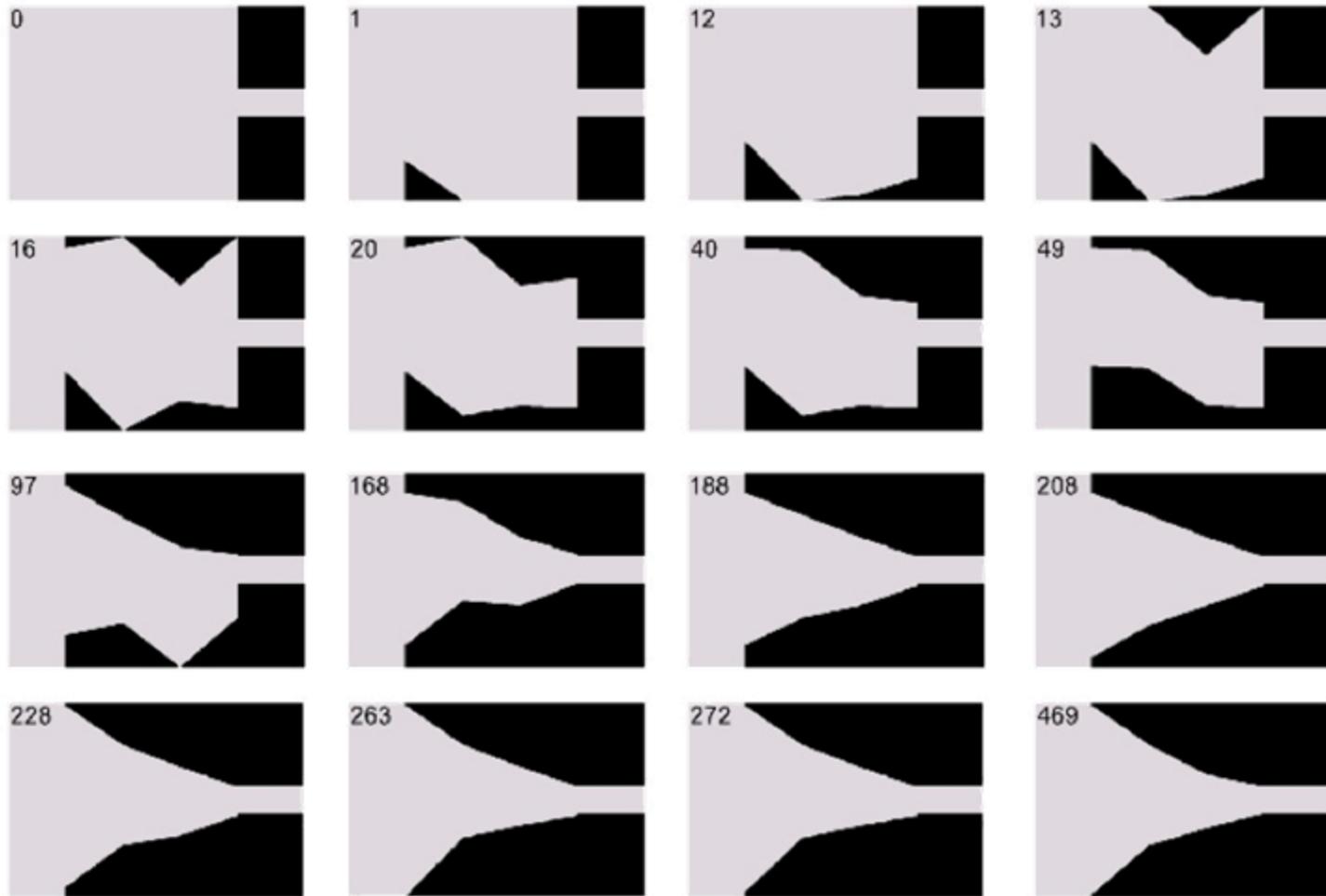
Formazione di
“lanes” di pedoni in
una strada



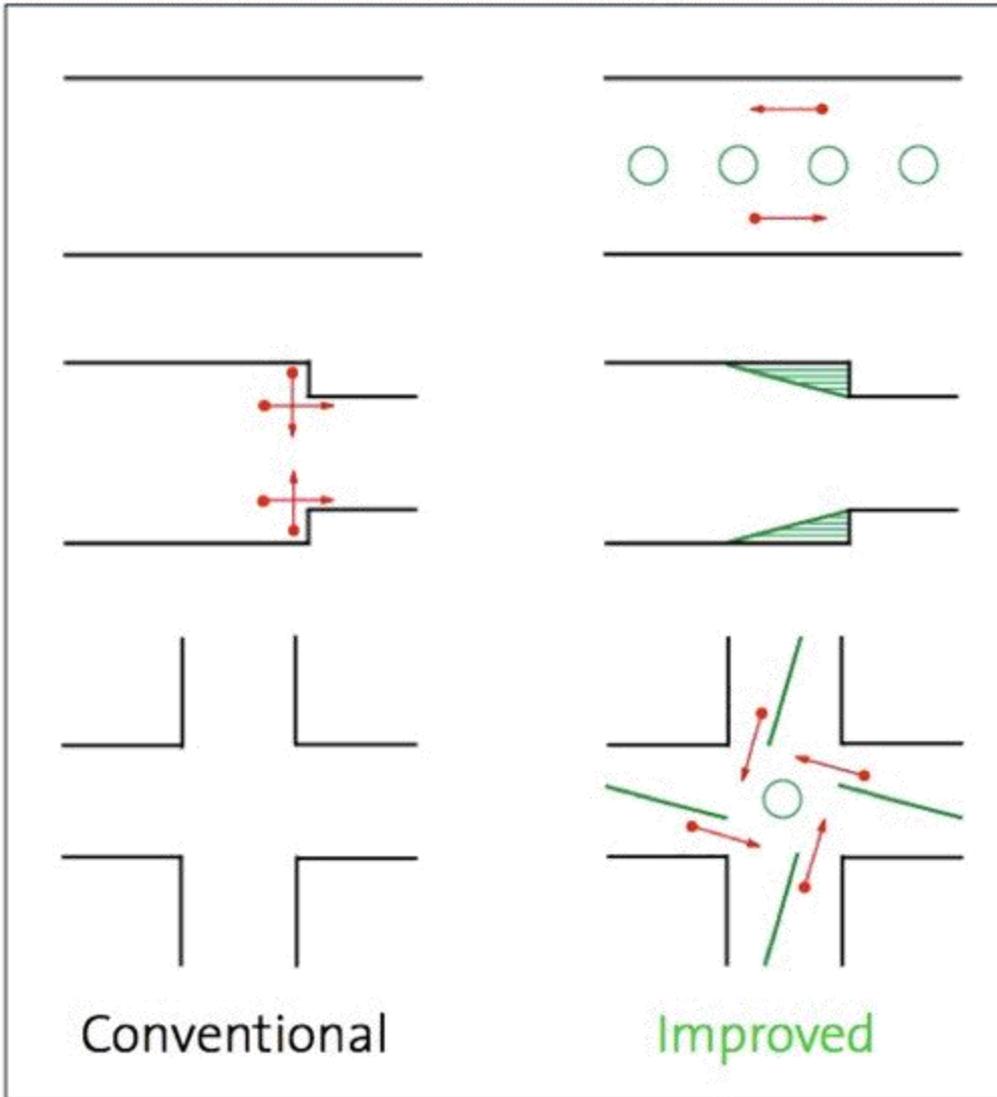
Oscillazioni di
pedoni in presenza
di un “collo di
bottiglia”



Evolutionary Optimization of a Bottleneck



How to Optimize Pedestrian Facilities



How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters

Mehdi Moussaïd^{a,b,c,1}, Dirk Helbing^{b,d}, and Guy Theraulaz^{a,c}

^aCentre de Recherches sur la Cognition Animale, Unité Mixte de Recherche 5169, Université Paul Sabatier, 31062 Toulouse Cedex 9, France; ^bEidgenössische Technische Hochschule Zurich, Swiss Federal Institute of Technology, 8092 Zurich, Switzerland; ^cCentre National de la Recherche Scientifique, Centre de Recherches sur la Cognition Animale, F-31062 Toulouse, France; and ^dUniversity of Oxford, Nuffield College, Oxford OX1 1NF, Great Britain

Edited by Susan Hanson, Clark University, Worcester, MA, and approved March 18, 2011 (received for review November 16, 2010)

With the increasing size and frequency of mass events, the study of crowd disasters and the simulation of pedestrian flows have become important research areas. However, even successful mod-

relatively hard to calibrate (10). Second, these models are based on the superposition of binary interactions. For example, in a situation where an individual A is facing three other individuals

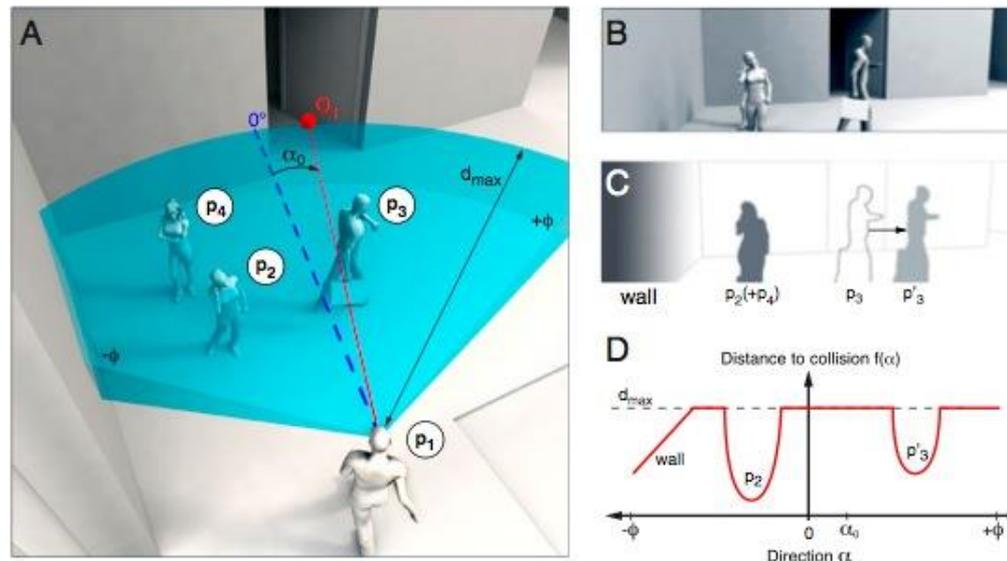
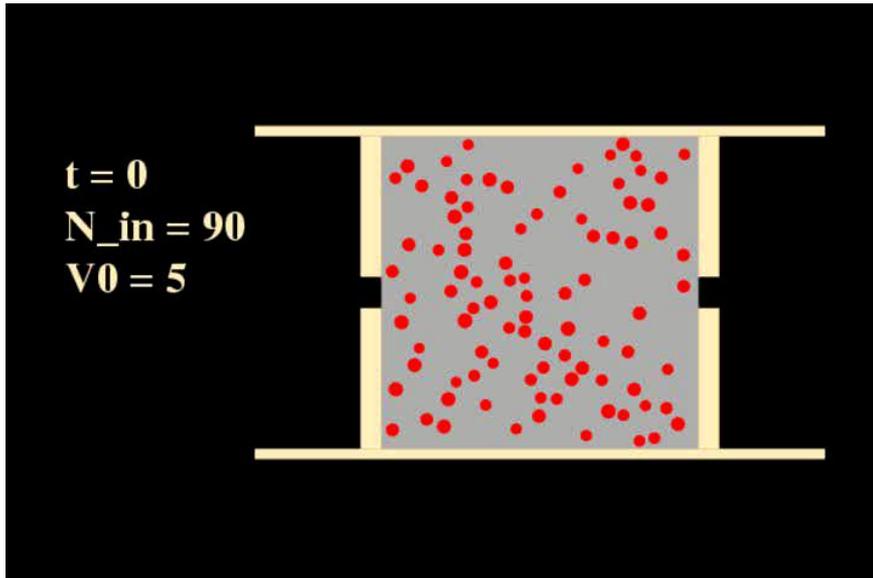
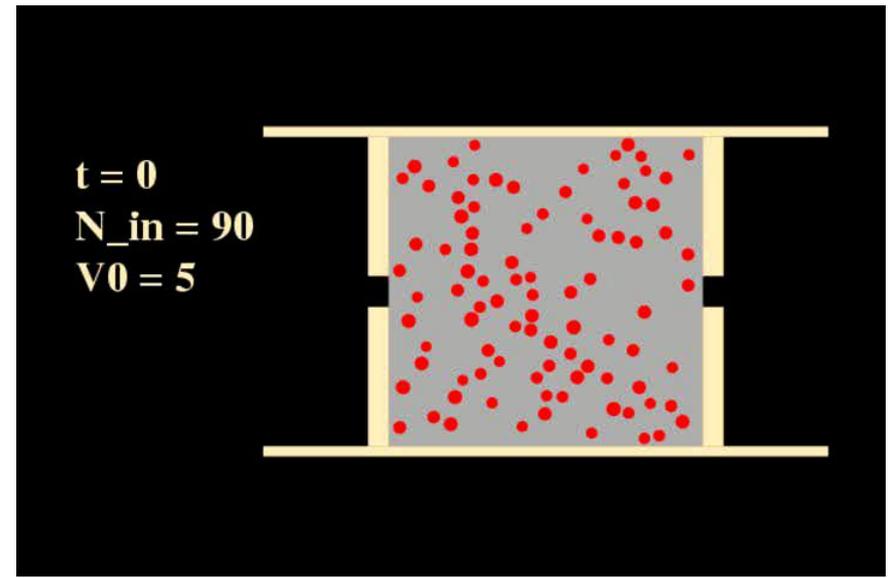


Fig. 1. (A) Illustration of a pedestrian p_1 facing three other subjects and trying to reach the destination point O_1 marked in red. The blue dashed line corresponds to the line of sight. (B) Illustration of the same situation, as seen by pedestrian p_1 . (C) Abstraction of the scene by a black and white visual field. Here, darker areas represent a shorter collision distance. (D) Graphical representation of the function $f(\alpha)$ reflecting the distance to collision in direction α . The left-hand side of the vision field is limited by a wall. Pedestrian p_4 is hidden by pedestrian p_2 and, therefore, not visible. Pedestrian p_3 is moving away, so a collision would occur in position p'_3 , but only if p_1 moved toward the right-hand side.

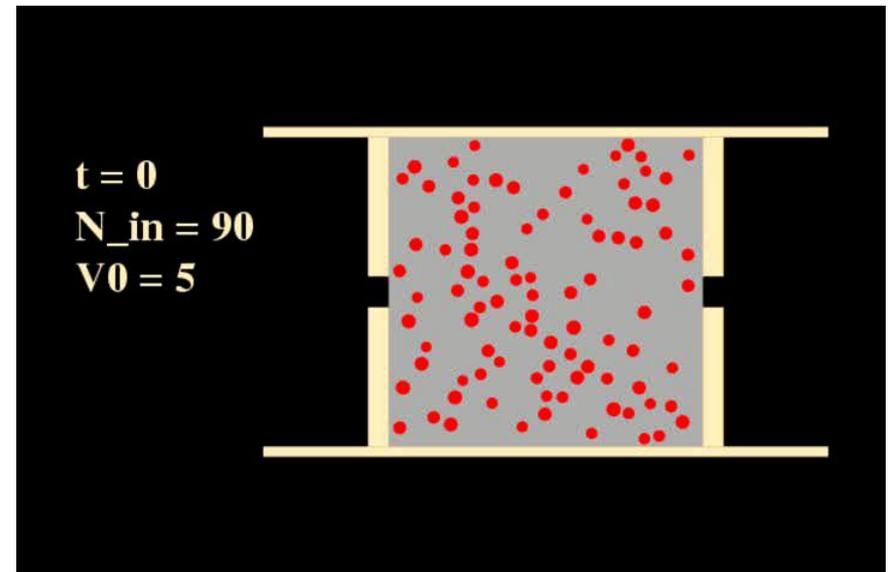




assente



media

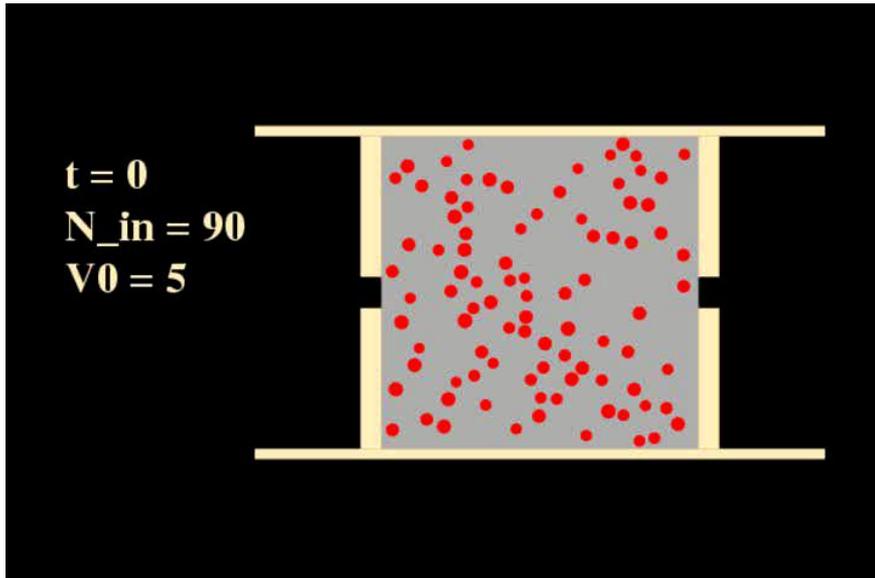


alta

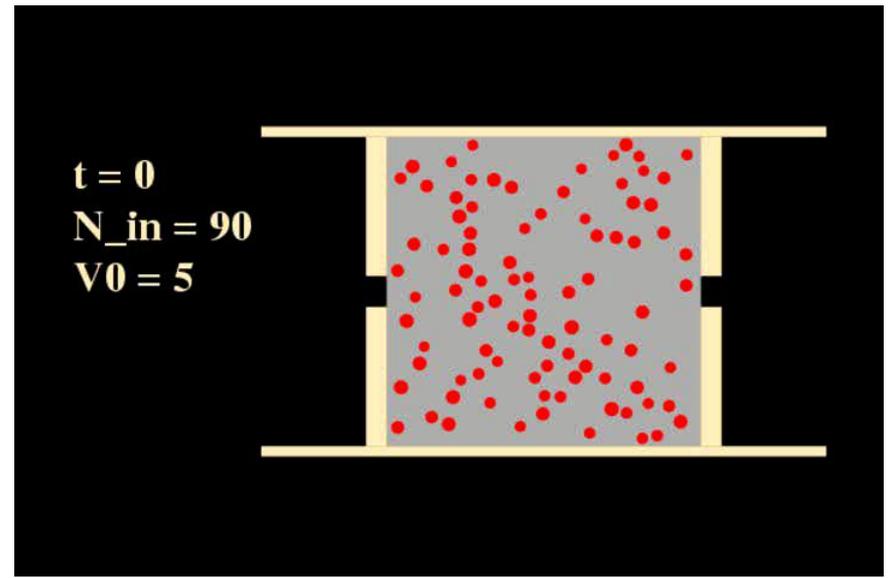
Il ruolo dell' Imitazione



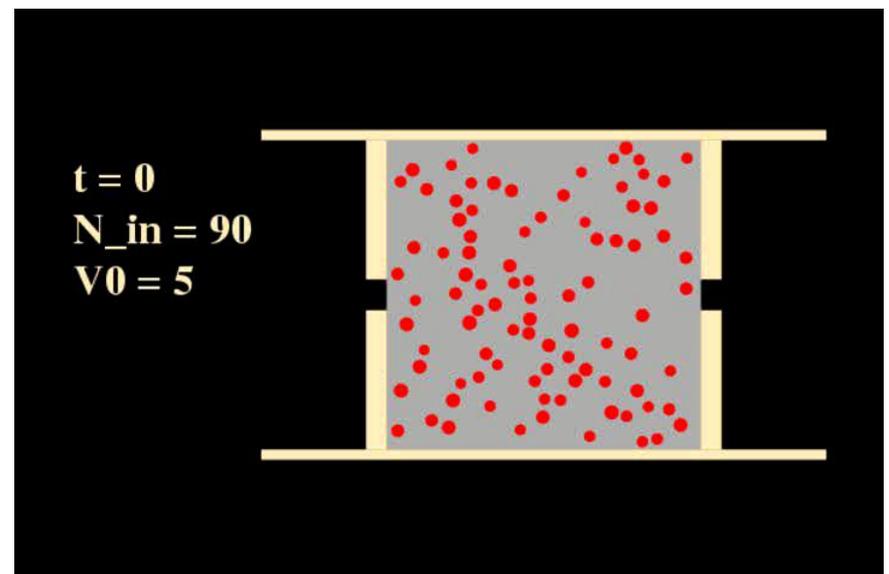
Panico in una stanza al buio.
Viene variata la tendenza ad
imitare il comportamento
altrui...



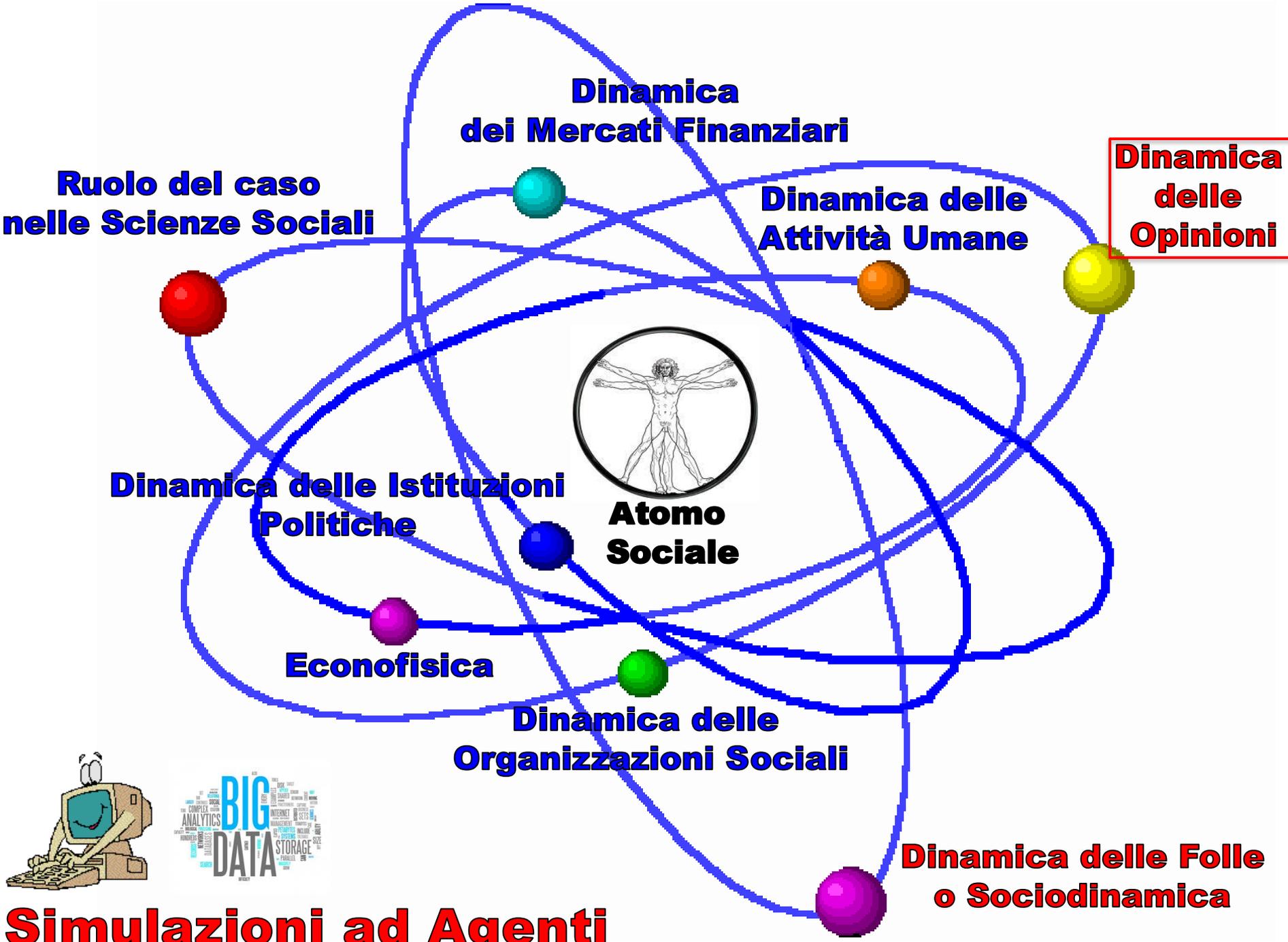
assente



media



alta



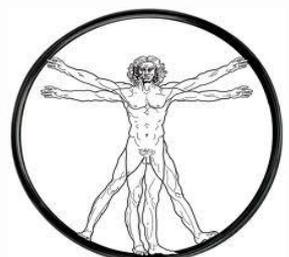
**Ruolo del caso
nelle Scienze Sociali**

**Dinamica
dei Mercati Finanziari**

**Dinamica delle
Attività Umane**

**Dinamica
delle
Opinioni**

**Dinamica delle Istituzioni
Politiche**



**Atomo
Sociale**

Econofisica

**Dinamica delle
Organizzazioni Sociali**

**Dinamica delle Folle
o Sociodinamica**



Simulazioni ad Agenti

Herding nella dinamica delle opinioni

Video che fa riflettere

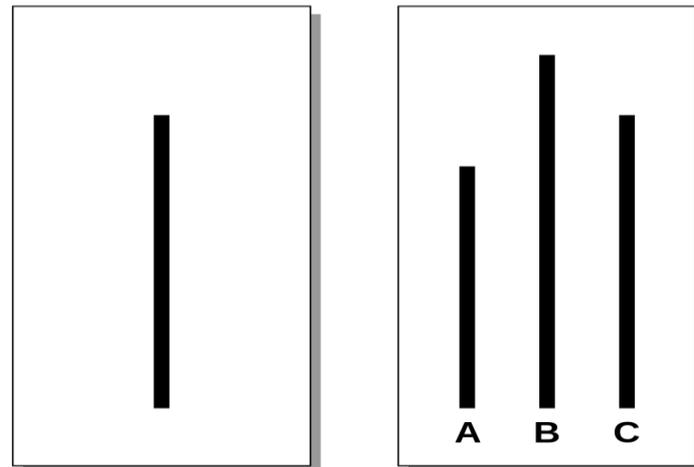
https://www.youtube.com/watch?v=k_DEtkEYuyQ



Herding nella dinamica delle opinioni

Un esperimento analogo è stato effettuato nel **1952** dallo psicologo americano **Solomon Asch** in un campus di Filadelfia. Anche in quel caso tutti i volontari, tranne uno, erano complici dello sperimentatore e mentivano appositamente su quale di **tre linee** (A,B,C) fosse della stessa lunghezza di una quarta **linea di riferimento** (a sinistra). I risultati furono sorprendenti: le “vittime designate” sceglievano la linea (sbagliata) indicata da tutti gli altri il **33%** delle volte. In esperimenti preliminari, dove i medesimi volontari erano stati sottoposti al test da soli, avevano scelto una linea sbagliata solo nell'**1%** dei casi!

Asch's Conformity Experiments



Sociofisica e Opinion Dynamics

L'*Opinion Dynamics* (dinamica di opinioni) è sicuramente una delle branche più produttive e indagate della Sociofisica.

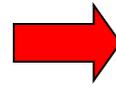
La maggior parte dei modelli di opinion dynamics sviluppati nel corso degli anni (Sznajd, Deffuant, Hegselmann e Krause, Galam, Stauffer etc.) cercano di rispondere alla seguente domanda:

“In quali condizioni é possibile mettere d'accordo individui (agenti) che hanno opinioni differenti?”



Sociofisica e Opinion Dynamics

Normalmente, nel simulare una dinamica di opinioni, si parte assegnando **a caso** un numero reale (cioè una opinione) ad ogni agente di una data popolazione (distribuita su una certa rete sociale nello **spazio fisico**)...



...dopodiché parte un certo tipo di processo dinamico, dipendente dal modello adottato, per mezzo del quale gli agenti **riaggiustano (sincronizzano) le loro opinioni** (nello **spazio delle opinioni**) a seguito di mutue interazioni (“discussioni”)...



Sincronizzazione nella Dinamica delle Opinioni

"Togheter we stand, divided we fall"

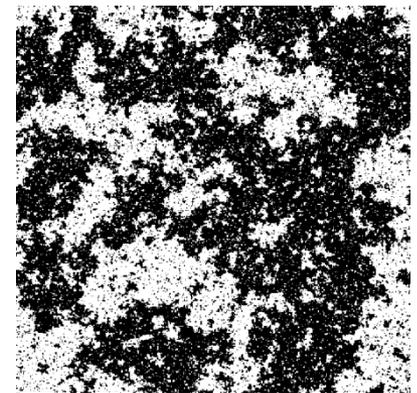
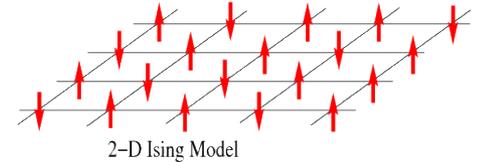
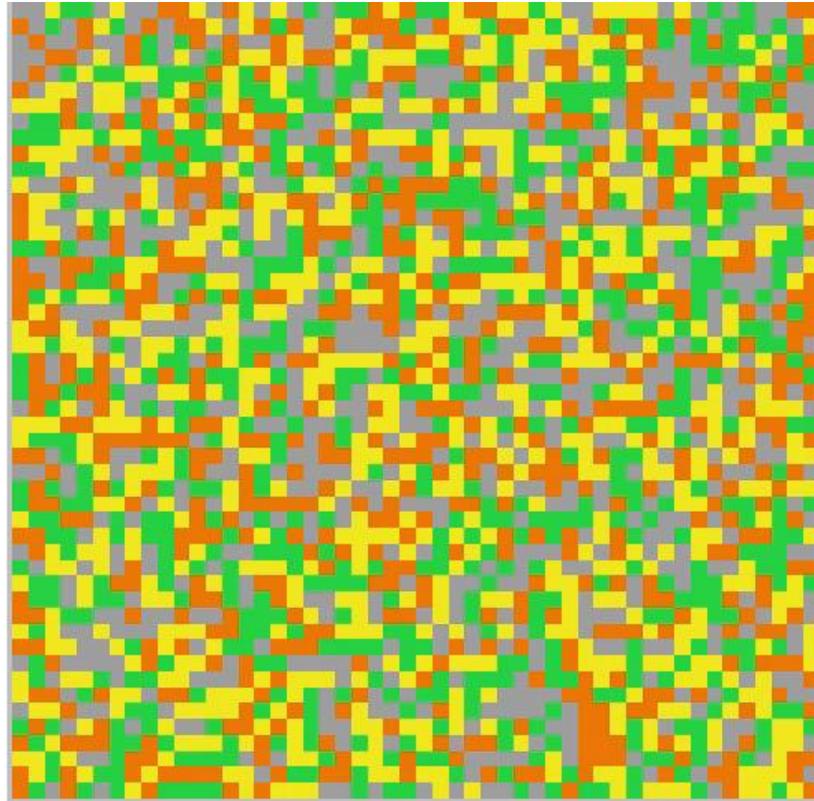
Pink Floyd – "Hey you" (1979)

Un celebre modello di Opinion Dynamics è quello di **Sznajd**, dove gli individui si trovano su una griglia bidimensionale e le loro opinioni sono rappresentate con celle di colori diversi (in sostanza si tratta di un automa cellulare con dinamiche simili a quelle dei modelli di spin). Ad ogni iterazione, solo **coppie di individui adiacenti** con la stessa opinione possono convincere i loro vicini.

spazio fisico (colori=opinioni)



K. Sznajd-Weron and J. Sznajd,
Int. J. Mod. Phys. C 11, 1157
(2000)



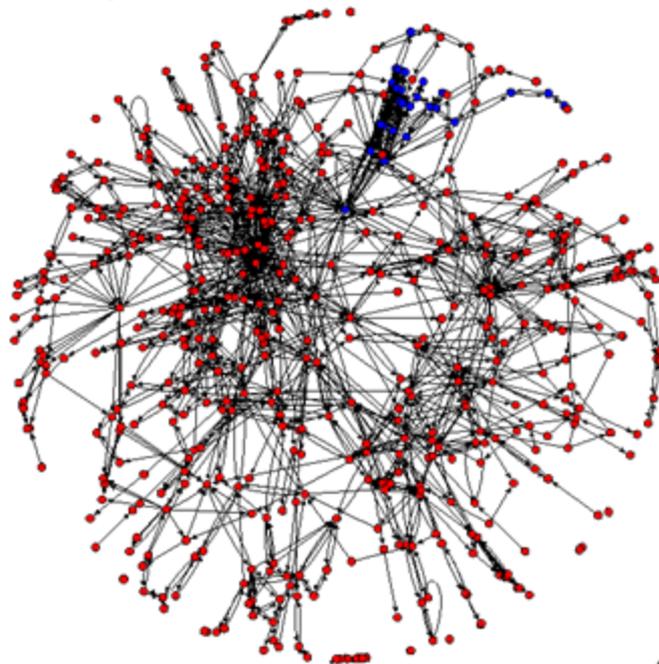
Modello di Sznajd ed elezioni brasiliane (2001)

Election results and the Sznajd model on Barabasi network

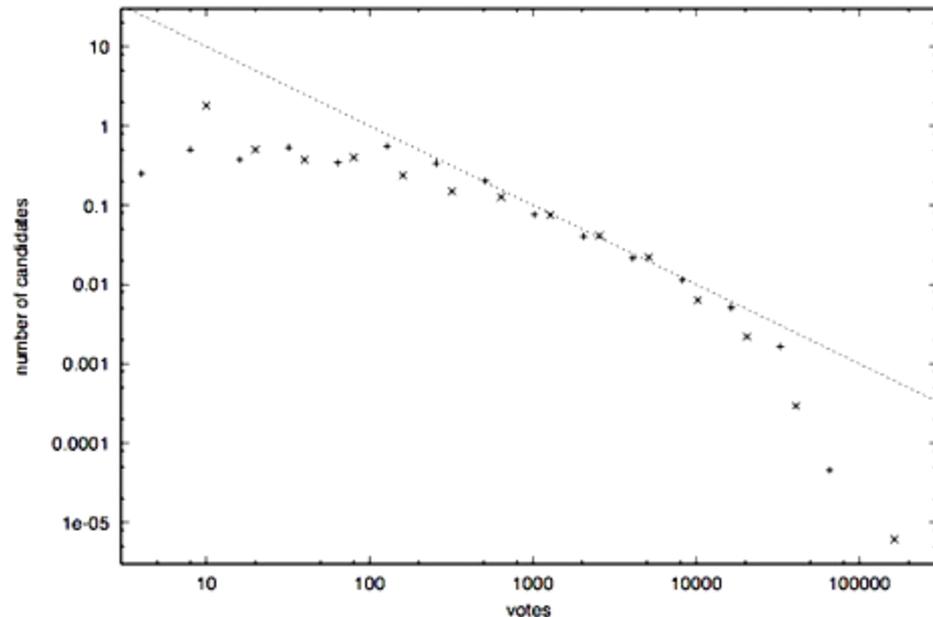
A. T. Bernardes^{1,2}, D. Stauffer² and J. Kertész³

Abstract

The network of Barabasi and Albert, a preferential growth model where a new node is linked to the old ones with a probability proportional to their connectivity, is applied to Brazilian election results. The application of the Sznajd rule, that only agreeing pairs of people can convince their neighbours, gives a vote distribution in good agreement with reality.



Vote distribution, Barabasi network (+) at $t=40$, and real votes 1998 MG/Brazil (x, multiplied by 10)



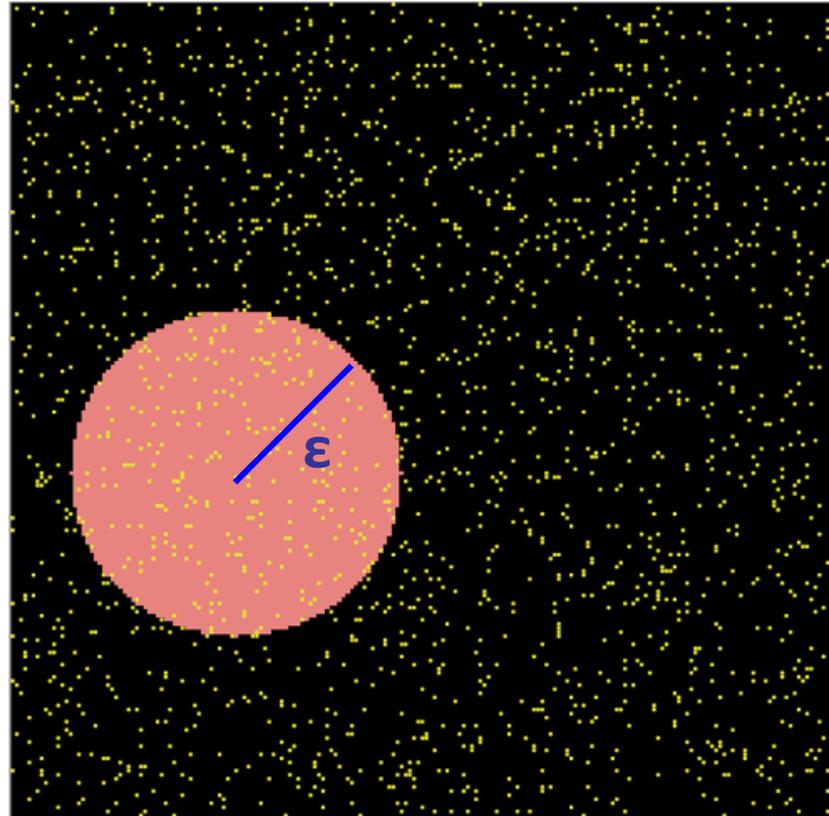
Bounded Confidence: il Modello di Hegselmann e Krause

Si è scoperto che la possibilità di sincronizzare una molteplicità di opinioni diverse dipende dal cosiddetto “**confidence bound**”, che esprime il range di compatibilità reciproca delle opinioni degli agenti e che agisce da parametro di controllo: il consenso è raggiungibile solo al di sopra di un **valore critico di soglia** del confidence bound (attorno a 0.21)

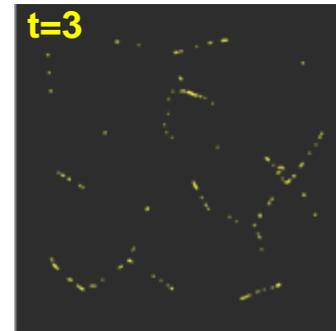
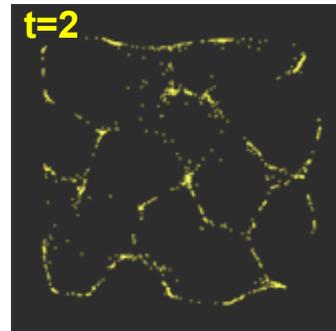
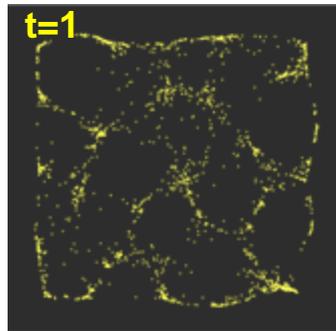
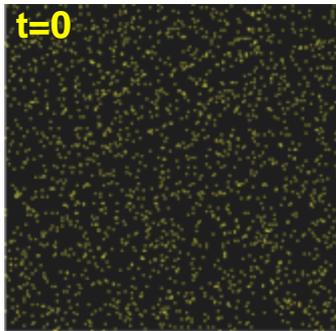
spazio delle opinioni 2D



R. Hegselmann and U. Krause,
Journal of Artificial Societies and
Social Simulation 5,issue 3, paper
2 (jasss.soc.surrey.ac.uk) (2002).



$\epsilon < 0.21$: **Frammentazione**, dove numerosi clusters di opinioni sopravvivono



HEGSELMANN-KRAUSE OPINION DYNAMICS MODEL

SQUARED OPINION SPACE 1000

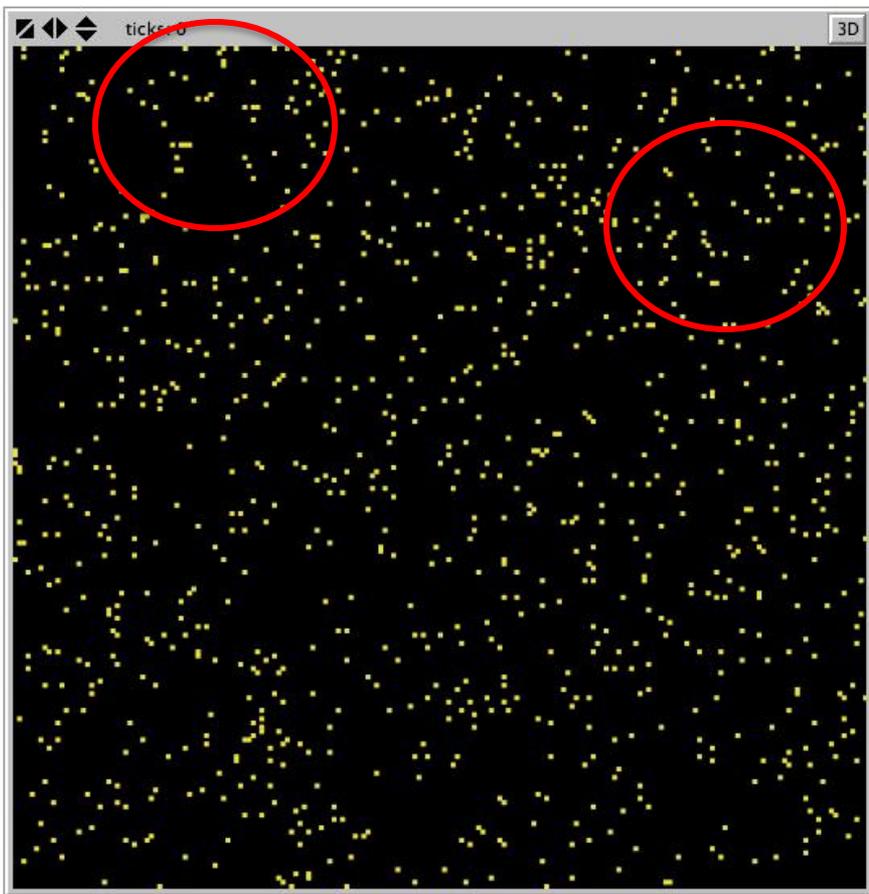
CIRCULAR OPINION SPACE 0.10

1.0

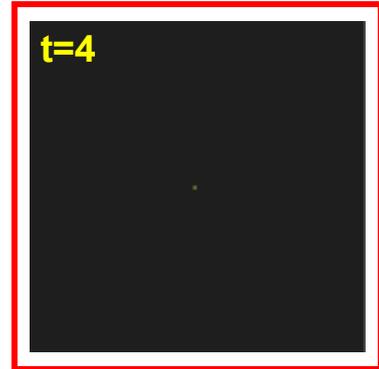
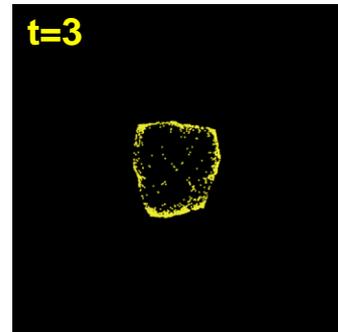
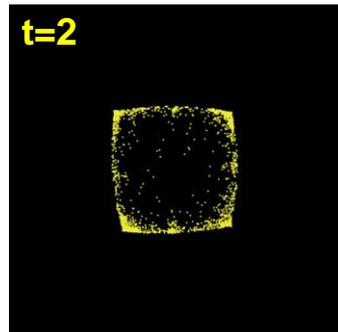
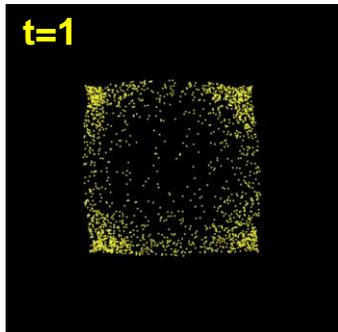
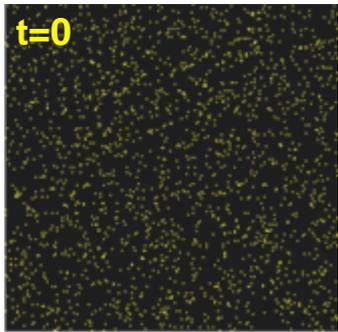
CLUSTER LABELS

0 0

scaled_topology 5 0.6



$\epsilon > 0.21$: **Consenso**, al di sopra di una soglia critica del “confidence bound”



HEGSELMANN-KRAUSE OPINION DYNAMICS MODEL

SQUARED OPINION SPACE | nagents 500

CIRCULAR OPINION SPACE | confidence_bound 0.30

SIMULTANEOUS UPDATE

RANDOM SERIAL UPDATE

SHOW POINT CB | SHOW ALL CB

CLEAR BKGRND | reduction_cb 1.0

CLUSTER LABELS

DRAW | CLEAR | SELECT | N of agents in selected circle 0 | Time 0

On/Off scaled_topology | influence_dist 5 | field_intensity 0.6

ADD MASS-MEDIA | STOP-START MASS MEDIA

ticks: 0 3D

Modelli per la diffusione di opinioni nelle reti sociali



opinione 1



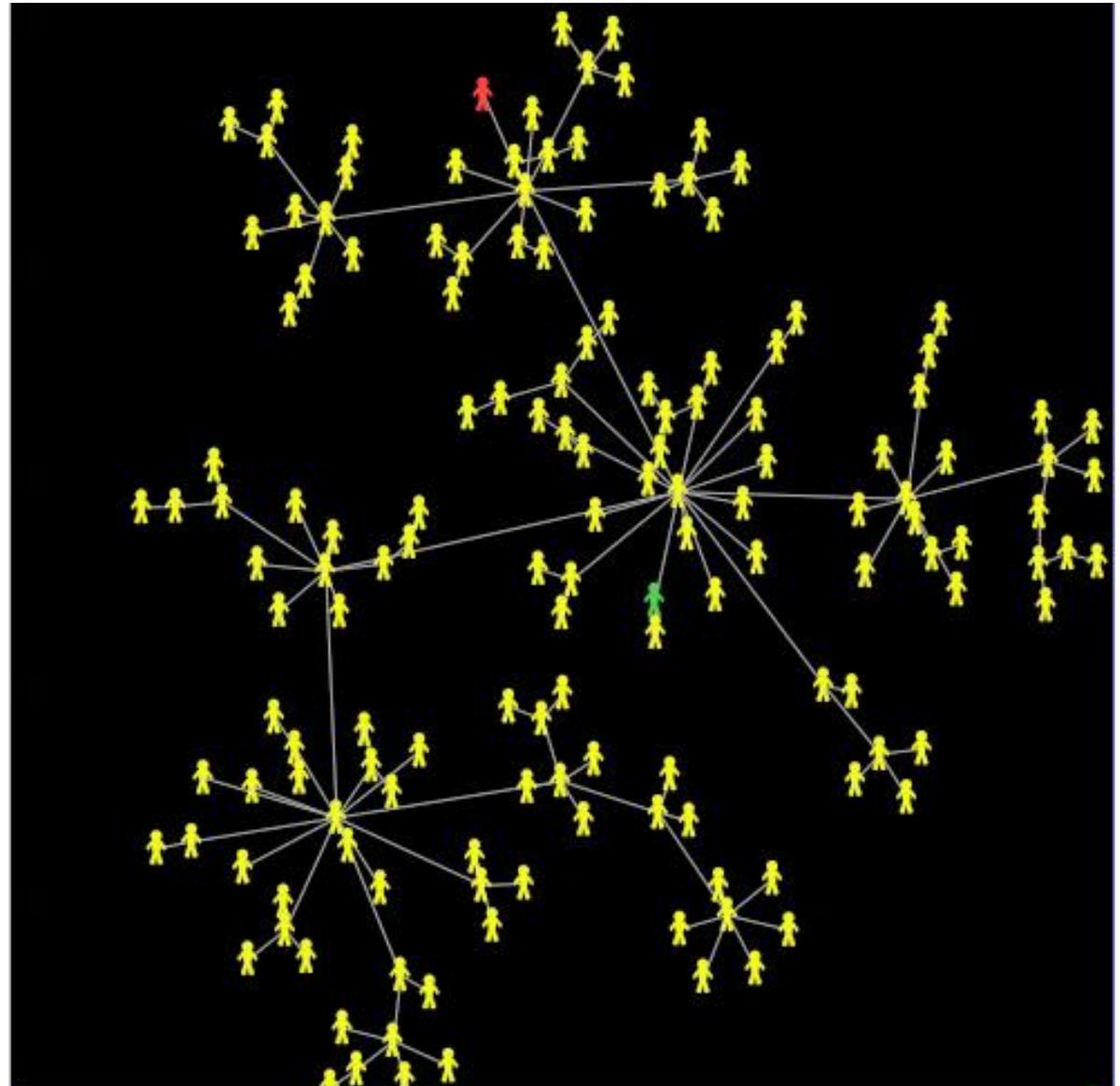
opinione 2



indecisi

(es. modelli SIR)

Come abbiamo visto accadere per le epidemie, anche nelle reti sociali complesse esistono **soglie critiche** per il raggiungimento del consenso, legate alla topologia e al numero di **“hub”**...



Statistical physics of social dynamics

Claudio Castellano, Santo Fortunato, and Vittorio Loreto
Rev. Mod. Phys. **81**, 591 – Published 11 May 2009

Article

References

Citing Articles (2,421)

PDF

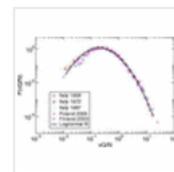
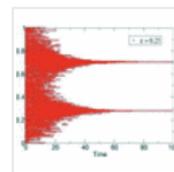
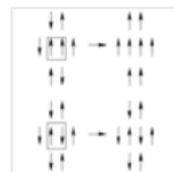
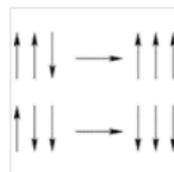
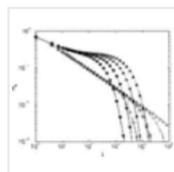
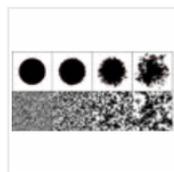
HTML

Export Citation



ABSTRACT

Statistical physics has proven to be a fruitful framework to describe phenomena outside the realm of traditional physics. Recent years have witnessed an attempt by physicists to study collective phenomena emerging from the interactions of individuals as elementary units in social structures. A wide list of topics are reviewed ranging from opinion and cultural and language dynamics to crowd behavior, hierarchy formation, human dynamics, and social spreading. The connections between these problems and other, more traditional, topics of statistical physics are highlighted. Comparison of model results with empirical data from social systems are also emphasized.

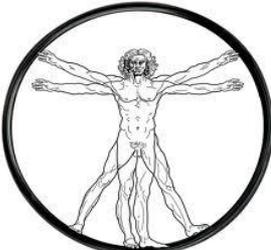


**Ruolo del caso
nelle Scienze Sociali**

**Dinamica
dei Mercati Finanziari**

**Dinamica
delle
Opinioni**

**Dinamica delle
Attività Umane**



**Atomo
Sociale**

**Dinamica delle Istituzioni
Politiche**

Econofisica

**Dinamica delle
Organizzazioni Sociali**

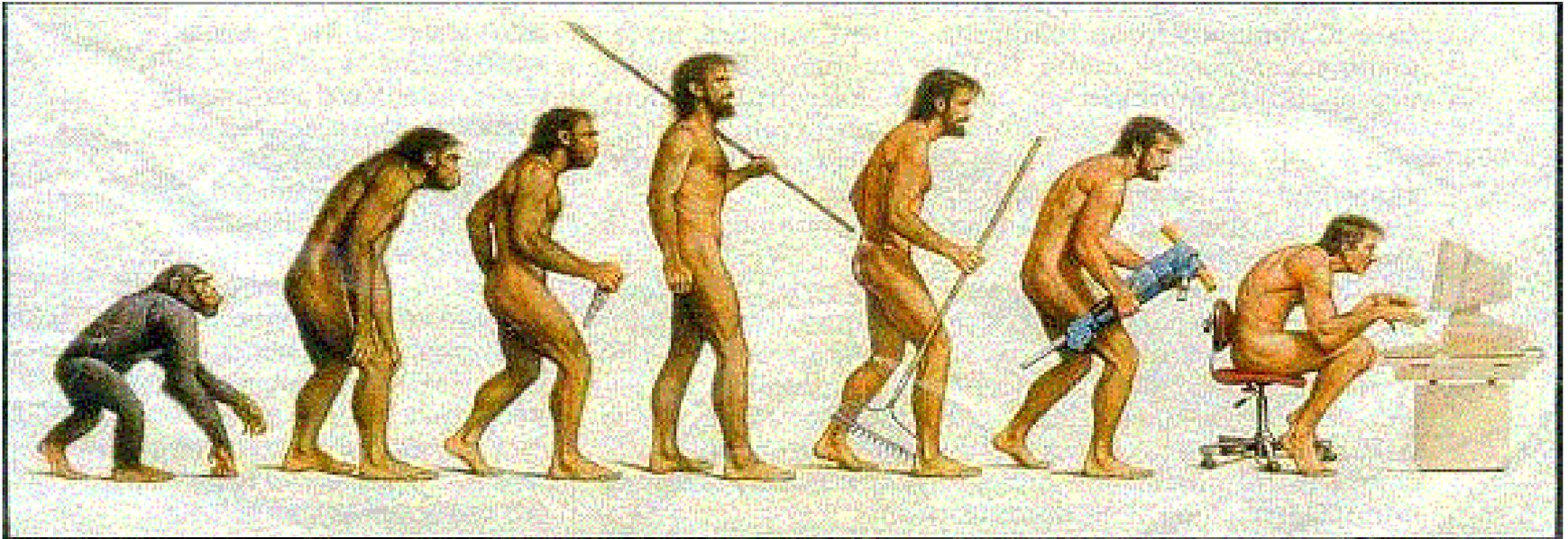
**Dinamica delle Folle
o Sociodinamica**



Simulazioni ad Agenti

Il ruolo benefico del caso in Fisica e Biologia

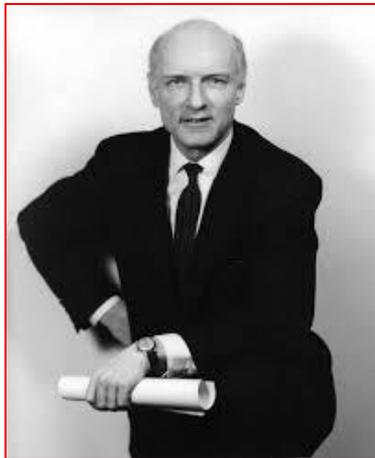
E' sempre più evidente che molti sistemi classici e quantistici possono aumentare la propria efficienza grazie alla presenza di rumore casuale. In realtà, molti processi fisici e biologici possono funzionare grazie al ruolo vantaggioso del rumore: l'evoluzione darwiniana (attraverso mutazioni casuali e selezione naturale), la risonanza stocastica, la stabilizzazione indotta («noise enhanced»), la cristallizzazione delle proteine, la fotosintesi nei batteri dello zolfo, gli effetti di aumento di efficienza “assistiti dal rumore” nei canali di comunicazione classici e quantistici, eccetera....



Il ruolo benefico del caso in Fisica e Biologia

E' sempre più evidente che molti sistemi classici e quantistici possono aumentare la propria efficienza grazie alla presenza di rumore casuale. In realtà, molti processi fisici e biologici possono funzionare grazie al ruolo vantaggioso del rumore: l'evoluzione darwiniana (attraverso mutazioni casuali e selezione naturale), la risonanza stocastica, la stabilizzazione indotta («noise enhanced»), la cristallizzazione delle proteine, la fotosintesi nei batteri dello zolfo, gli effetti di aumento di efficienza “assistiti dal rumore” nei canali di comunicazione classici e quantistici, eccetera....

«ORDER FROM NOISE»



H. Von Foerster



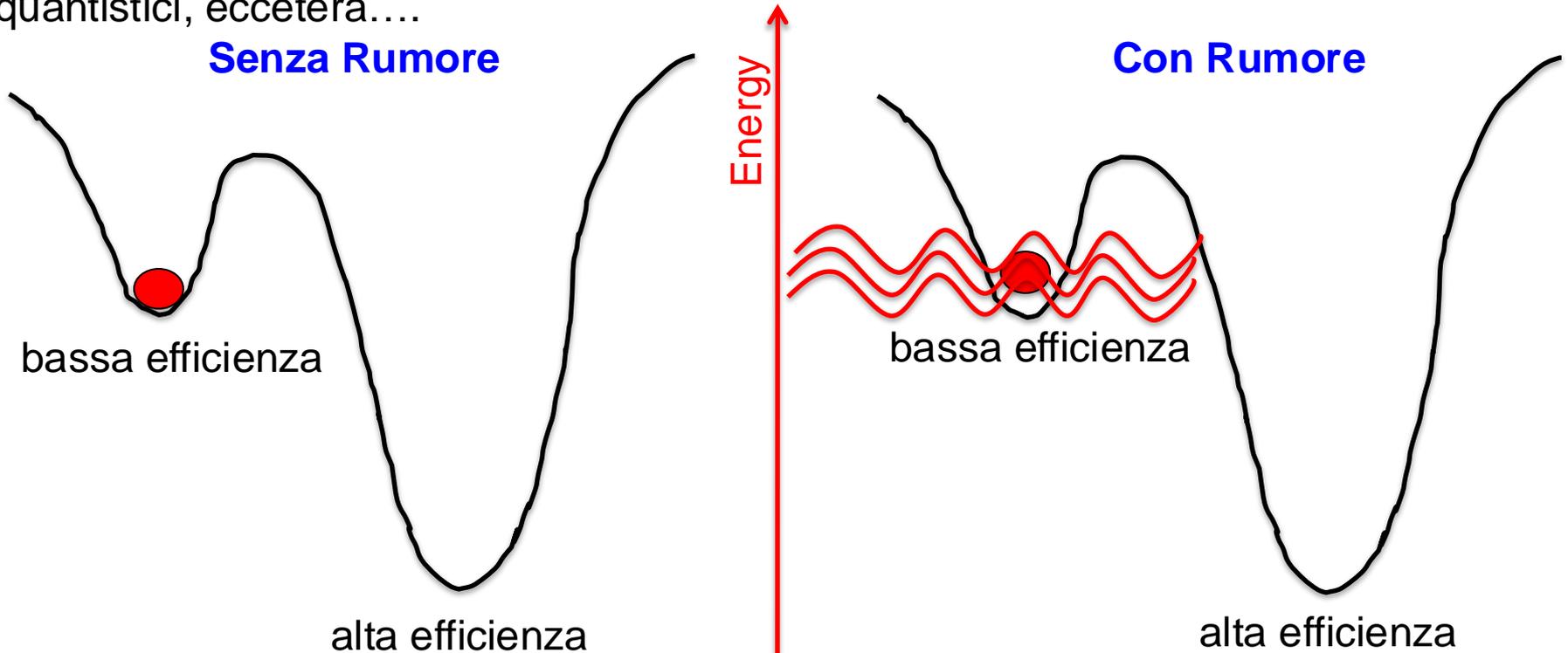
H. Haken



I. Prigogine

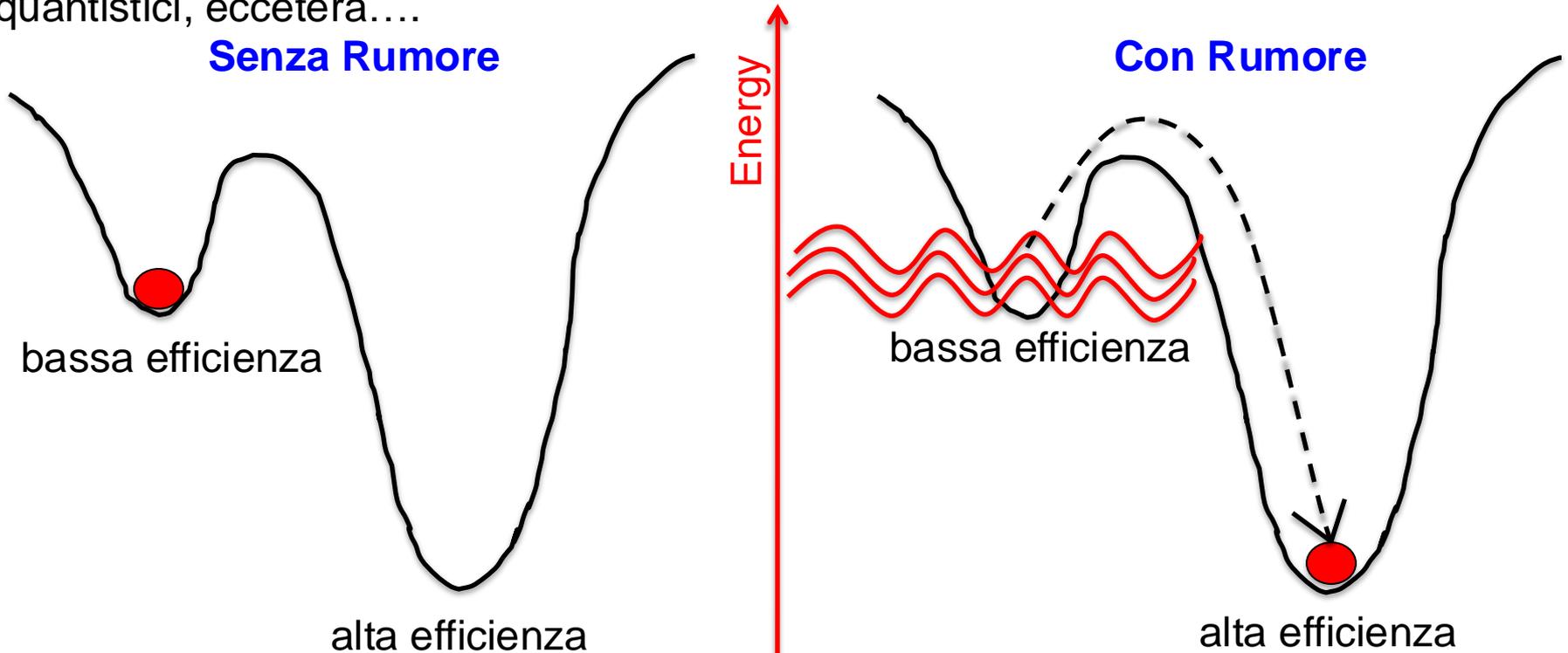
Il ruolo benefico del caso in Fisica e Biologia

E' sempre più evidente che molti sistemi classici e quantistici possono aumentare la propria efficienza grazie alla presenza di rumore casuale. In realtà, molti processi fisici e biologici possono funzionare grazie al ruolo vantaggioso del rumore: l'evoluzione darwiniana (attraverso mutazioni casuali e selezione naturale), la risonanza stocastica, la stabilizzazione indotta («noise enhanced»), la cristallizzazione delle proteine, la fotosintesi nei batteri dello zolfo, gli effetti di aumento di efficienza «assistiti dal rumore» nei canali di comunicazione classici e quantistici, eccetera....



Il ruolo benefico del caso in Fisica e Biologia

E' sempre più evidente che molti sistemi classici e quantistici possono aumentare la propria efficienza grazie alla presenza di rumore casuale. In realtà, molti processi fisici e biologici possono funzionare grazie al ruolo vantaggioso del rumore: l'evoluzione darwiniana (attraverso mutazioni casuali e selezione naturale), la risonanza stocastica, la stabilizzazione indotta («noise enhanced»), la cristallizzazione delle proteine, la fotosintesi nei batteri dello zolfo, gli effetti di aumento di efficienza «assistiti dal rumore» nei canali di comunicazione classici e quantistici, eccetera....





Strategie Random nei Sistemi Sociali

Il ruolo benefico del Caso nel Management, nella Politica, nella Finanza e nel raggiungimento del Successo





Strategie Random nei Sistemi Sociali

Il ruolo benefico del Caso nel Management, nella Politica, nella Finanza e nel raggiungimento del Successo

