

ALESSANDRO PLUCHINO

**LA FIRMA DELLA  
COMPLESSITÀ**

UNA PASSEGGIATA AL MARGINE DEL CAOS



LA FIRMA DELLA COMPLESSITÀ  
una passeggiata al margine del caos  
Alessandro Pluchino

ISBN 9788897909170

© Malcor D' s.r.l.  
via Giovannino, 7  
95126 Catania  
info@malcor.it  
www.malcor.it

I edizione giugno 2015

Book design  
Grafica e illustrazione in copertina: Fabio Consoli  
Graphic designer: Giorgia Di Carlo

Finito di stampare nel mese di giugno 2015  
presso Priulla srl, Palermo

Prologo	11
Introduzione <i>Atomi sociali e fenomeni emergenti</i>	19
PARTE PRIMA <i>Scalare il monte della complessità</i>	
I      Storie di ordinaria entropia	41
II     Le teorie delle tre C	45
III    Think non-linear...	53
IV    Nuvole, montagne e biforcazioni	65
V     La Legge di Potenza	71
VI    Uno sguardo sotto il tappeto	77
VII   Paesaggi di energia	85
VIII  More is different	97
IX    Vita al margine del caos	107
X     La dinamica del cigno nero	117
XI    Com'è piccolo il mondo!	129
XII   Stormi di storni	143
XIII  Il fascino discreto della sincronia	153
PARTE SECONDA <i>Sulla vetta del monte della complessità</i>	
Traiettorie evolutive	169
Epilogo	227

*L'analisi naturalistica dell'articolarsi delle strutture, su cui si fonda la società umana e la sua vita spirituale, ha di fronte a sé un compito quasi incommensurabile. La società umana è il più complesso dei sistemi viventi sulla Terra. Le nostre conoscenze scientifiche hanno appena scalfito la superficie della sua complessa totalità, il nostro sapere sta in una relazione con la nostra ignoranza che, per essere espressa, richiederebbe l'uso di cifre astronomiche. Eppure credo che l'uomo, come specie, si trovi di fronte a una svolta della sua storia, e che già ora sussista potenzialmente la possibilità di procedere verso un imprevedibile sviluppo superiore dell'umanità.*

*Certo, mai come oggi l'umanità si è trovata in pericolo. Potenzialmente però la nostra cultura è stata posta dalla riflessione scientifica nella situazione di potersi sottrarre a quella decadenza di cui sinora sono cadute vittime tutte le civiltà superiori. Ciò avviene per la prima volta nella storia del mondo.*

Konrad Lorenz

## Prologo

Una luce in fondo al tunnel.

È così che nascono le idee?

Un piccolo seme che si insinua, a nostra insaputa, tra le pieghe della nostra mente, lungo il tunnel della memoria a lungo termine, e per giorni, settimane, mesi, e magari perfino per anni, rimane lì, nascosto, assorbendo linfa vitale dalle altre idee, immagini e suoni già presenti, tracce indelebili ed uniche della nostra vita vissuta. Finché poi, improvvisamente, d'un tratto, si scorge la luce in fondo al tunnel. Il seme, finalmente, germoglia. E l'idea viene a galla.

Quel giorno però la luce in fondo al tunnel non era l'idea finale ma il seme da cui essa, parecchi anni dopo, sarebbe germogliata. E il tunnel non si trovava nella mia mente, ma a Città del Messico. Era una delle 127 vie di accesso agli spalti dello Stadio Azteca, il terzo stadio al mondo per dimensioni e capienza, dopo quelli di Pyongyang e di Calcutta: 180.000 tonnellate di pietra, oltre 100.000 di cemento e 8.000 tonnellate di infissi di ferro, erano state plasmate nell'arco di tre anni, dal 1963 al 1966, dalle mani di 800 operai, diretti da 34 ingegneri e 15 tecnici, al fine di realizzare un'idea concepita dalla creatività degli architetti Pedro Ramirez Vasquez e Rafael Mijares. Chissà se anche quell'idea era venuta fuori da un tunnel...

Quel giorno, il 29 giugno 1986, ben 114.600 spettatori (in realtà svariate migliaia in più rispetto alla capienza massima dichiarata di 105.000 spettatori) avrebbero assistito, stipati come sardine, alla finale della XIII edizione del Campionato del Mondo di calcio. E io ero uno di quelli.

Accanto a me, però, c'era anche mio padre. Anzi, per essere più precisi, ero io ad essere accanto a lui, visto che all'epoca ero solo un vispo bimbetto di 6 anni. Di origine napoletana, anche se ormai da diversi anni trasferitosi per lavoro in California, dove aveva sposato un'americana e generato me, mio padre non si sarebbe perso per nulla al mondo quella partita in cui il suo idolo, Diego Armando Maradona, avrebbe sfidato con la sua Argentina la temibile Germania Ovest di Karl-Heinz Rummenigge. Entrambi i giocatori, capitani delle rispettive squadre, militavano

quell'anno in Italia. Rummenigge nell'Inter e Maradona, ovviamente, nel Napoli. Mio padre, sia pur da oltre oceano, non aveva mai smesso di seguire la sua squadra del cuore, tanto più da quando Maradona, un paio d'anni prima, era entrato nel team, proiettando il Napoli verso traguardi mai raggiunti prima (non a caso i suoi compaesani definivano l'acquisto del goleador "o miracolo"). Alcuni mesi prima, mio padre si era procurato a caro prezzo quei due biglietti per la finale messicana nell'intima, incrollabile convinzione che Maradona avrebbe giocato quella partita. In verità, a dirla tutta, poiché fidarsi del proprio istinto è bene, ma non fidarsi è meglio, per ogni evenienza aveva anche chiesto un aiutino a San Gennaro. E il patrono della sua città natale lo aveva accontentato, anche se non del tutto in quanto la richiesta originaria prevedeva una finale Italia-Argentina, mentre purtroppo l'Italia era stata eliminata agli ottavi di finale dalla Francia di Michel Platini. Evidentemente San Gennaro si era distratto un attimo.

Ad ogni modo, quel giorno eravamo lì e avremmo visto Maradona in azione. Inutile dire che per me quella era la prima volta che facevo ingresso in uno stadio. Data l'età, non avevo ancora avuto modo di condividere la passione di mio padre per il calcio. Con suo disappunto, in realtà, quella passione non l'avrei mai avuta. Ma quel giorno segnò comunque per me, per i motivi che mi appresto a svelarvi, una tappa magica della mia vita. Infatti, fu precisamente in quel giorno che, per la prima volta, ovviamente non sul piano razionale ma su quello emozionale di un bimbo di 6 anni, mi resi conto di essere un atomo sociale.

Quella che segue è chiaramente la ricostruzione meditata che, molti anni dopo, feci degli avvenimenti di quel giorno. Noi diventiamo coscienti di un'idea solo quando è ormai germogliata. Il seme originario resta nascosto nel nostro passato ed è quasi sempre impossibile da recuperare. In questo caso io ho avuto fortuna, perché l'idea in questione sarebbe risultata, con tutta evidenza, indissolubilmente legata agli eventi che sperimentai in quell'afoso pomeriggio di fine giugno del 1986.

Eravamo arrivati allo stadio con leggero ritardo, quindi, quando entrammo, gli spalti erano già gremiti di tifosi. Mi è difficile esprimere oggi, a più di quarant'anni di distanza, la sensazione che provai sbucando fuori da quel tunnel sulla curva sud. Stretto tra la calca degli spettatori che stavano entrando insieme a noi e avvinghiato alla mano di mio padre, mi guardai attorno dall'alto – anzi dal basso – dei miei 115 centimetri di altezza: migliaia e migliaia di persone delle più svariate etnie, diverse

per sesso, colore della pelle, età, statura, professione, idee politiche e religiose, e ovviamente tifoseria, erano lì, tutte attorno a noi, e, come cellule di un unico, enorme e pulsante organismo, avvolgevano il vasto prato verde del campo da gioco. E anche io e mio padre, per qualche ora, avremmo fatto parte di quell'organismo. Anzi, visto che si trattava di un organismo composto da singoli organismi (gli spettatori), sarebbe più corretto chiamarlo "superorganismo".

Prima della discesa in campo delle squadre, in realtà, il superorganismo sembrava sonnecchiante, come un Gigante momentaneamente appisolatosi lungo gli spalti dell'Azteca. Le sue cellule chiacchieravano distrattamente le une con le altre, mentre raggruppamenti più o meno ampi di esse si cimentavano con trombe e tamburi, intonavano i primi cori e organizzavano i loro striscioni, ciascuno con i colori delle rispettive squadre. Inutile dire che i colori prevalenti erano l'azzurro-bianco dell'Argentina e il nero-rosso-giallo della Germania Ovest, ma mio padre si era portato appresso una bandiera del Napoli confidando che l'azzurro partenopeo si sarebbe confuso con quello dei sudamericani – del resto Maradona ormai apparteneva un po' anche ai tifosi della squadra campana. Chi si fosse guardato attorno, però, ancora non avrebbe percepito quel moto collettivo che di lì a poco avrebbe rianimato quell'essere gigantesco e variopinto. Le cose cambiarono completamente quando i giocatori fecero il loro ingresso nell'arena di gioco e l'arbitro fischiò l'inizio della partita. Improvvisamente, in un perfetto unisono, quelle decine di migliaia di persone, prevalentemente sconosciute le une alle altre ma momentaneamente legate da un medesimo obiettivo, esplosero in un boato: il Gigante si era destato, il superorganismo si era messo in moto. Da quel momento fu tutto un susseguirsi di emozioni.

Maradona non veniva lasciato un attimo solo dal suo marcatore, il tedesco Matthaus, ma la sua squadra riuscì comunque a portarsi in vantaggio al ventitreesimo del primo tempo, con un bel colpo di testa di Brown su punizione di Burruchaga. È vero, erano i singoli spettatori a gioire e soffrire, piangere ed esultare, urlare e sbracciarsi sventolando ciascuno la propria bandiera e seguendo ogni azione con religiosa attenzione. Ma io non percepivo le loro singole voci. Quella che udivo era la voce del Gigante. E io stesso mi sentivo parte di quel superorganismo. Certamente anch'io, come tutti gli altri singoli individui, ero libero di gridare o stare zitto, alzarmi o restare seduto, ma il Gigante non avrebbe comunque potuto fare a meno di reagire in occasione di un gol o per una mancata rete o per un fallo clamoroso o per un'azione spettacolare. E

così infatti fece quando al decimo minuto della ripresa Valdano, lanciato nell'area di rigore avversaria da uno splendido tocco di Enrique, mise il pallone alle spalle del portiere tedesco Schumacher. Era il 2 a 0. La curva argentina, vicino alla quale ci trovavamo anche noi, esplose nei festeggiamenti insieme a gran parte dello stadio, mentre ovviamente la tifoseria tedesca restò ammutolita. La squadra sudamericana aveva messo una seria ipotesi sul titolo mondiale e il Gigante gioiva con lei. Mio padre sembrava una cellula impazzita e insisteva a sventolare la sua bandiera bianco-celeste come se in campo ci fosse il Napoli, incitando anche me a partecipare a quell'entusiasmo collettivo. Io però, in quel preciso momento, ero attirato da qualcos'altro.

Da qualche minuto, subito dopo il gol, avevo notato che un piccolo gruppo di tifosi accanto a me continuava ad alzarsi, a risiedersi, e poi ancora a rialzarsi sollevando ogni volta le braccia. Mi era sembrata una cosa carina, e probabilmente non ero il solo a pensarla così, perché sia io che mio padre, insieme ad altri tifosi argentini seduti lì attorno, cominciammo ad imitare quella coreografia. Poi, improvvisamente, successe. Come innescata da una miccia che per qualche minuto aveva tentato di infiammarsi senza riuscirci ma che poi, per qualche insondabile motivo, aveva ottenuto il suo scopo, finalmente l'onda partì.

Se tenete in mano l'estremità di una corda e fissate l'altra estremità al muro, muovendo la mano su e giù è facile generare una sequenza di onde che si propagano dalla mano verso il muro. Ma a queste onde non corrisponde un moto orizzontale degli atomi che costituiscono la corda. Questi ultimi si spostano infatti solo su e giù, in verticale, trasversalmente alla direzione di propagazione dell'onda, come gli atomi della vostra mano. Quel che viaggia orizzontalmente lungo la corda è dunque un impulso di pura energia. Esattamente allo stesso modo, migliaia di spettatori dello stadio Azteca, muovendosi solo su e giù come atomi sociali vincolati nelle loro posizioni individuali, stavano dando vita ad un impulso collettivo di pura energia umana che cominciò rapidamente a spostarsi lungo gli spalti. Nessuno l'aveva previsto, nessuno l'aveva coordinato, non c'era nessuna regia occulta a manovrarlo, eppure era successo: l'impulso era nato spontaneamente e adesso sembrava animato da vita propria. Oggi tutti conosciamo bene quest'onda, l'abbiamo osservata tante volte in tante occasioni e spesso le tifoserie la innescano di proposito, ma lì, nel 1986 a Città del Messico, era la prima volta che una cosa del genere prendeva forma. Centinaia, migliaia di sconosciuti, stavano cooperando tra loro per mantenere l'onda in movimento, alzan-

dosi e sedendosi in sincronia con il movimento dei vicini. Da quel giorno quello spettacolare fenomeno avrebbe preso il nome di "Ola Messicana". E io avrei potuto raccontare di avervi preso parte, anch'io piccolo atomo sociale tra tanti, nessuno indispensabile ma tutti necessari per garantire la sopravvivenza di quell'impulso energetico.

L'entusiasmo dei tifosi argentini, però, non durò a lungo. Al ventottesimo minuto del secondo tempo, infatti, il capitano tedesco Rummenigge, su calcio d'angolo di Brehme, accorciava le distanze riaccendendo le speranze di quella parte del Gigante che ancora sperava in una rimonta teutonica. Ma la tensione, già elevata, salì alle stelle pochi minuti dopo, quando, sempre su calcio d'angolo di Brehme, un duplice colpo di testa, prima di Berthold e poi di Rudi Völler, riportarono la partita in una situazione di parità. Mio padre aveva smesso improvvisamente di sventolare la bandiera napoletana. Il suo Maradona, sempre braccato a vista da Matthaus, non stava riuscendo a prendere in mano il match come aveva fatto in molte altre occasioni, e la delusione stava lentamente prendendo il sopravvento dentro di lui. Ma io, giovanissimo spettatore della mia prima partita dal vivo, ero ugualmente incantato dal gioco di squadra che entrambi gli schieramenti avversari ricamavano azione dopo azione, attraverso un delicato equilibrio tra cooperazione e competizione. I grandi campioni sanno bene come dosare queste due fondamentali caratteristiche dell'interazione sociale. Maradona stesso lo aveva dimostrato qualche giorno prima, nell'accesissimo quarto di finale vinto 2 a 1 contro l'Inghilterra, simbolicamente considerato una rivincita sulla sconfitta nella guerra delle Falkland del 1982. Dopo essersi speso generosamente per la sua squadra durante tutto il primo tempo, subendo peraltro numerosi falli dagli avversari, all'inizio della ripresa "El Pibe de Oro" aveva fulminato gli inglesi con una doppietta realizzata nell'arco di soli 3 minuti grazie esclusivamente alle sue fantastiche doti individuali. Il primo gol sarebbe passato alla storia come il tocco della "mano di Dio", in quanto Maradona lo realizzò col pugno invece che con la testa, ingannando abilmente l'arbitro. Il secondo, invece, è da molti considerato come uno dei gol più belli di tutti i tempi: il capitano argentino prende la palla poco dietro la linea di metà campo e, dopo una galoppata di 62 metri, 42 passi, 12 tocchi di palla (tutti di sinistro, 4 di esterno, 1 con la pianta e 7 di interno) e 3 dribbling (compreso quello sul portiere), la mette in rete di fronte agli occhi attoniti degli inglesi.

Ma queste sono solo (leggendarie) eccezioni che confermano la re-

gola. E la regola, nel calcio come negli altri sport di squadra, è che, nella competizione per la supremazia in campo, il gruppo che ha sistematicamente la meglio è quello in cui maggiore è l'armonia, la sincronia, l'affiatamento, in altre parole la cooperazione tra i compagni di squadra. Quello che conta non è tanto né solo l'identità dei singoli giocatori, ma soprattutto la rete di relazioni che questi riescono a costruire come collettivo. In fondo, le due squadre che in quel momento si confrontavano sul campo da gioco erano anch'esse, come il Gigante che le osservava, dei superorganismi sociali, delle entità collettive, anche se di più modeste dimensioni. Nel corso della loro storia esse avevano, infatti, cambiato molti dei propri elementi, mantenendo però inalterati il proprio nome e la propria identità. E anche durante quella stessa partita, nella Germania Ovest, Völler aveva preso il posto di Allofs al quarantacinquesimo e Hoeneß quello di Magath al sessantaduesimo: eppure la squadra tedesca continuava ad esercitare la sua azione offensiva rispettando la propria coerenza interna, fatta di complesse interazioni cooperative e competitive tra i ruoli dei diversi giocatori. Qualche anno dopo, nel corso dei miei studi, avrei scoperto che anche gli atomi del nostro corpo, così come la maggior parte delle nostre cellule, vengono sostituiti e riciclati numerose volte durante la nostra vita. Ma non per questo gli amici cessano di riconoscerci, così come non è certamente per questo che ogni tanto dobbiamo aggiornare la carta d'identità. Insomma, anche noi esseri umani siamo delle entità collettive, emergenti dall'interazione complessa di un numero enorme di particelle, e anche noi manteniamo salda la nostra identità per tutta la vita, nonostante gli atomi del nostro corpo al momento della morte siano stati tutti sostituiti da atomi diversi. Allo stesso modo, anche loro alla stregua di atomi, in questo caso di atomi sociali, i giocatori delle due squadre che si contendevano il titolo in quell'afoso pomeriggio messicano erano solo dei temporanei rappresentanti dei rispettivi club. Ma quel giorno alcuni di loro sarebbero diventati campioni del mondo.

Ed ecco che, finalmente, mentre il seme inconscio di quelle intuizioni, che molto tempo dopo avrebbero cambiato la mia vita, continuava ad insinuarsi nel terreno ancora vergine della mia giovane mente, dopo una fitta rete di passaggi a centrocampo un improvviso guizzo di Maradona proiettò Burruchaga in una entusiasmante progressione che, palla al piede, trovò un varco nell'area di rigore tedesca, in quell'istante colpevolmente sguarnita. Diagonale rasoterra. Gol. A 7 minuti dalla fine della partita Schumacher era stato battuto per la terza, decisiva volta. E

così, nuovamente, udii tuonare la voce del Gigante. Migliaia di singole voci, accompagnate da trombe e tamburi, come un'immensa orchestra ma senza alcun direttore, intonavano all'unisono un unico coro: «Argentina! Argentina!». Tra queste, anche quella di mio padre, che però urlava: «Maradona! Maradona!». E la bandiera bianco-celeste del Napoli era tornata a sventolare.

Avrei dovuto attendere molti anni prima che le idee emerse in quel memorabile giorno germogliassero. Ma i loro semi erano stati ormai piantati e, presto o tardi, sarebbero venuti inevitabilmente alla luce. Quella luce in fondo al tunnel.

## Introduzione

### Atomi sociali e fenomeni emergenti

Immagino che qualche lettore, sfogliando le pagine del Prologo, possa aver pensato che questo libro si occupi di calcio, che i Giganti siano i grandi campioni e che quella che ha tra le mani sia una biografia di Diego Armando Maradona sotto mentite spoglie. O perfino che il nostro protagonista, il precoce bimbetto di 6 anni, sia un futuro giornalista sportivo. A costo di dover deludere gli appassionati di questo sport, mi sento però in dovere di tranquillizzare tutti gli altri: non si tratta di niente di tutto questo, non avete sbagliato libro, i nostri Giganti non hanno nulla a che vedere con i campioni sportivi. Il motivo per cui ho scelto come scenario per il Prologo un grande stadio durante un importante evento calcistico è legato al fatto che, come vedremo, si tratta di un esempio particolarmente ricco di spunti che rappresenterà un ottimo punto di partenza per introdurre, in termini semplici e comprensibili a tutti, i temi principali attorno ai quali ruota questo saggio: l'emergere della complessità tra ordine e disordine, le straordinarie proprietà di autoorganizzazione dei fenomeni collettivi e la nostra condizione di "atomi sociali".

Come indicato dal sottotitolo del libro, la nostra sarà una lunga, ma spero interessante, passeggiata "al margine del caos". Quest'ultimo, come vedremo, è un luogo, non geografico ma concettuale, misterioso e affascinante, che impareremo a riconoscere nelle prossime pagine, un luogo dove la complessità fa magicamente capolino, alimentata dal perenne conflitto che vede le forze dell'ordine e del disordine scontrarsi ed entrare in competizione a tutti i livelli di descrizione della realtà, dalla scala atomica a quella cosmologica. Lungo il nostro cammino, la nostra attenzione si concentrerà prevalentemente sulla scala a noi più familiare, quella dei fenomeni biologici e sociali, ma scopriremo che, quando ci si trova al margine del caos, questi fenomeni sono soggetti a leggi e principi organizzatori che li accomunano tra loro indipendentemente dalla scala di osservazione e, allo stesso tempo, li avvicinano ai fenomeni fisici e al mondo degli oggetti inanimati. A provarcelo sarà l'affiorare, alle diverse scale di osservazione, di alcuni tratti caratteristici, sia dinamici che strutturali, che presenteranno la medesima firma: quella che

chiameremo la “firma matematica della complessità”. Ed è proprio lì, al margine del caos, che scopriremo chi sono i veri Giganti.

Ma procediamo con ordine e ripartiamo, ancora una volta, dal nostro stadio.

Se qualcuno, armato di microfono o di taccuino, vi fermasse per strada per chiedervi cosa pensate che ci sia dentro uno stadio, durante una partita di calcio, cosa gli rispondereste? Probabilmente lo guardereste un po' sconcertati e magari, con il sorrisetto ironico di chi sta per rifilare una tautologia al proprio interlocutore, rispondereste: «Beh, c'è la partita di calcio, no?». Poi, forse, intuendo che il vostro sarcasmo non è stato granché apprezzato, cerchereste di rimediare aggiungendo: «E ci sono anche migliaia di spettatori che hanno pagato il biglietto per assistervi...».

In effetti la vostra risposta non fa una piega: è quello che risponderebbe sicuramente la maggior parte delle persone. Ma in giro c'è tanta gente strana e, proprio lì attorno, potrebbe esserci un fisico molto, ma molto pignolo, che, intervistato dopo di voi, alla stessa domanda potrebbe rispondere diversamente. Ad esempio: «Macché partita, macché spettatori... Dentro lo stadio ci sono solo miliardi di miliardi di miliardi di particelle elementari che si muovono impazzite, in balia dell'agitazione termica, ma rispettando i vincoli imposti loro dalle leggi dell'elettromagnetismo, della gravità e delle forze nucleari deboli e forti...».

Ma i tipi strani non devono necessariamente avere una laurea in fisica. Anche un chimico, altrettanto pignolo, avrebbe infatti potuto rispondere qualcosa del tipo: «Macché particelle elementari e leggi della fisica: dentro lo stadio ci sono solo miliardi di miliardi di atomi di Carbonio, Ossigeno, Azoto, Idrogeno e di una manciata di altri elementi chimici, legati tra loro all'interno di molecole che reagiscono e si combinano seguendo le leggi della chimica...».

Certo che la pignoleria a volte gioca brutti scherzi, penserete voi. Eppure, a voler essere rigorosi, questi due tizi, per quanto indubbiamente strani, non sembrano in fondo avere tutti i torti. Così come non li ha un biologo che, trovandosi a passare di lì per caso, pretende anch'egli di dire la sua: «Macché atomi e molecole, macché leggi della chimica... vi dico io cosa c'è dentro lo stadio: nient'altro che miliardi di cellule e batteri, in vari stadi di aggregazione, che formano organelli e organi di vario tipo, integrati tra loro in una rete dinamica di processi che seguono le leggi della biochimica e della fisiologia...».

Accanto al biologo, però, sbuca un collega medico che, di fronte a tanta sciovinistica tracotanza, si sente in dovere di intervenire: «Cellule? Organi? Caro collega, ma non vedi che queste cellule e questi organi non sono sparpagliati qua e là così, a caso, ma formano i corpi di migliaia di organismi umani individuali, alcuni più o meno fermi sugli spalti, altri in movimento sul campo, alcuni più in salute, altri affetti da patologie varie, tutti comunque miei potenziali pazienti...». E pure la sua argomentazione sembra piuttosto convincente, non c'è che dire.

I sociologi hanno, come tutti, tanti difetti, ma sicuramente non quello di perdersi una bella disputa tra scienziati. Eccone a questo punto intervenire uno che, avendo ascoltato con encomiabile contegno tutte le risposte, non riesce però più a controllarsi ed esclama con malcelata insofferenza: «Particelle elementari? Atomi? Molecole? Cellule? Individui? Cari signori, qui si mistifica la realtà! È evidente che dentro lo stadio si confrontano centinaia di gruppi sociali, più o meno numerosi: coppie, famiglie, comitive, le opposte tifoserie sugli spalti, le due squadre in campo... ciascuno in osservanza di specifici codici comportamentali, delle regole del contratto sociale, dei vincoli matrimoniali, del Codice civile e penale, della propria religione, della propria fede sportiva o delle regole calcistiche...».

Ma non è ancora finita. Poteva mancare lo psicologo? Ovviamente no. E mentre la disputa si fa sempre più accesa e i contendenti sembrano quasi sul punto di venire, sia pur con accademica eleganza, alle mani, eccolo avvicinarsi a voi, prendervi da parte e sussurrarvi all'orecchio: «Caro amico, lasciate perdere questo branco di matti, fidatevi di me che ho un dottorato in psichiatria e ho studiato Freud. Nello stadio ci sono solo cervelli, tanti, tantissimi cervelli, che interagiscono l'uno con l'altro animati da pulsioni sessuali, per lo più inconscie e solitamente represses, che li spingono a recarsi in questi luoghi affollati per sfogare le proprie frustrazioni sulla tifoseria opposta, sulla squadra avversaria, ma soprattutto sull'arbitro, solitamente insinuando che la gentile signora di quest'ultimo, mentre il marito è impegnato in campo, ami intrattenersi con prestanti avventori...».

Ebbene, chi ha veramente ragione? Il fisico o il chimico? Il biologo o il medico? Il sociologo o lo psicologo? Chi o che cosa si trova veramente all'interno di uno stadio durante una partita di calcio?

In realtà la risposta è semplice e soprattutto democratica: hanno ragione un po' tutti. Nello stadio ci sono sia particelle elementari che atomi, sia molecole che cellule, sia individui che cervelli, e anche gruppi

sociali: c'è tutto questo contemporaneamente. Tutto sta nel decidere su quale livello di descrizione della realtà vogliamo concentrarci. Bisogna rendersi conto, tuttavia, che questa scelta è del tutto arbitraria e fortemente condizionata dal fatto che a compierla siamo noi esseri umani e questo ci spingerà inevitabilmente a preferire il livello di descrizione degli individui: è per questo che voi, come chiunque altro, avreste risposto che nello stadio ci sono solo spettatori e giocatori di calcio.

La scelta del protagonista del Prologo, il nostro vispo bimbo di 6 anni alla sua prima esperienza di una partita di calcio dal vivo, era stata però, per qualche insondabile ragione, diversa. Come ricorderete, entrando nello stadio Azteca insieme al padre, egli aveva infatti avuto, immediatamente, una strana sensazione: che quelle migliaia di persone assiepite sugli spalti facessero parte di un organismo collettivo, un organismo fatto di organismi, un "superorganismo" dunque, a cui aveva dato il nome di "Gigante". Durante il corso della partita, nella mente del bimbo, quel Gigante, inizialmente appisolato, si era destato e, come animato da una sua propria volontà distinta da quella degli individui che lo costituivano, aveva sofferto e gioito, protestato o esultato, seguendo il ritmo degli eventi. Qualcuno potrebbe insistere nel sostenere che a gioire e soffrire, esultare o protestare, erano in realtà i singoli spettatori. Ma, alla luce di quanto detto sopra, dobbiamo riconoscere che anche l'interpretazione del bimbo, per quanto per noi inusuale, è assolutamente legittima: ad un livello di descrizione più elevato di quello degli individui e dei singoli gruppi di tifosi era possibile percepire un'entità collettiva, il Gigante appunto, della quale i singoli spettatori, compresi il bimbo stesso e suo padre, erano semplici cellule. A ben guardare, anzi, è proprio al Gigante, e non ai singoli spettatori, che i giocatori rendono tributo con le loro gesta sportive: è la voce del Gigante che essi percepiscono dal campo di gioco, non quella dei singoli individui. Sono le incitazioni entusiaste del Gigante, o magari i suoi fischi di delusione, ad influenzare, in un senso o nell'altro, l'umore e il rendimento dei giocatori, non quelle dei singoli tifosi. Nello stadio è il Gigante che guarda la partita ed è la volontà del Gigante a fare la differenza, non quella delle sue singole cellule.

A voler essere precisi, però, per descrivere la sensazione del nostro protagonista di fronte al Gigante, non abbiamo usato il termine "cellula", quanto piuttosto il termine "atomo". Certo, per un bimbo di 6 anni questa distinzione è irrilevante. Resta il fatto che la sua sensazione non era stata quella di essere una cellula quanto, piuttosto, un atomo di quel Gigante: si era sentito, infatti, un "atomo sociale".

La maggior parte di voi non avrà mai sentito parlare di atomi sociali, e si starà sicuramente chiedendo di cosa diavolo si tratta. Cerchiamo dunque di chiarirlo con un esempio.

Immaginate di essere seduti alla guida della vostra automobile nel bel mezzo di un ingorgo del traffico urbano. In quelle condizioni è evidente che non sono molti i possibili comportamenti che avete a disposizione. A parte ammazzare il tempo ascoltando la radio o parlando al telefono, non potete far altro che aspettare che l'auto che vi precede avanzi di qualche metro e, quando questo succede, premere l'acceleratore quanto basta per restarle incollati dietro. Qui la vostra identità personale conta ben poco. Poco importa infatti che siate uomini o donne, giovani o anziani, studenti o pensionati, avvocati o infermieri, disoccupati o imprenditori: in qualunque caso, non potete far altro che restare in coda, vincolati da tutti gli altri automobilisti che si trovano nelle vostre medesime condizioni. Come direbbe un fisico, in quel momento i vostri "gradi di libertà" sono estremamente ridotti. Il sistema collettivo dentro il quale vi trovate immersi pone, infatti, severi vincoli alla vostra abituale libertà di comportamento e alla potenziale complessità delle vostre azioni. Siete come particelle indistinguibili di un'unica, vasta struttura collettiva (l'ingorgo potrebbe coinvolgere decine, centinaia o addirittura migliaia di automobili) e siete in grado di compiere un insieme molto limitato di semplici azioni (premere l'acceleratore, ruotare lo sterzo, e così via). In altre parole, che la cosa vi piaccia o no, in quel momento siete degli atomi sociali.

Il concetto di atomo sociale è stato suggerito qualche anno fa dal fisico e divulgatore scientifico March Buchanan nel suo testo omonimo *L'atomo sociale. Il comportamento umano e le leggi della fisica*<sup>1</sup>. In quel saggio, Buchanan presentava lo stato dell'arte di una nuova branca della fisica, quella che egli chiama "fisica sociale" e che è stata, più concisamente, battezzata dallo scienziato francese Serge Galam con il termine "sociofisica"<sup>2</sup>. L'essenza della sociofisica si basa sull'assunto che per decifrare le complesse dinamiche della società in cui viviamo non è necessario partire dalla complessità degli individui che la compongono. Come spiega lo stesso Buchanan, «un buon modo di capire qualcosa di quel

1 M. Buchanan, *L'atomo sociale. Il comportamento umano e le leggi della fisica*, Milano, Mondadori (2008).

2 S. Galam, *Sociophysics: A Physicist's Modeling of Psycho-political Phenomena*, Berlino, Springer (2012).

mondo è fare un passo indietro e smettere di fissarci, come siamo soliti fare, sulle sfumature della psicologia individuale, per adottare invece un approccio più semplice. Dovremmo pensare alle persone come ad atomi o molecole che seguono regole abbastanza semplici e cercare di cogliere le strutture cui queste regole portano». Così come accade per il mondo fisico, è forte il sospetto che anche per il mondo sociale esistano dei meccanismi automatici, in qualche modo simili a vere e proprie leggi della fisica, che portano alla formazione di strutture complesse e che attendono di essere decifrati. Ma per farlo, questa è la tesi di Buchanan, bisogna utilizzare un approccio diverso da quello adottato finora dalle scienze umane, antropologiche, sociali ed economiche, e ascoltare invece i suggerimenti che vengono dalle scienze fisiche.

In realtà, a ben guardare, questa non è una novità. Forse non tutti sanno che negli ultimi trent'anni numerosi fisici, folgorati dalle analogie che la loro disciplina ha iniziato a mostrare con altri settori del sapere, hanno cominciato ad applicare le loro teorie e i loro modelli matematici a campi apparentemente molto distanti dal proprio ma che, come si è progressivamente scoperto, rientrano di diritto sotto un'unica etichetta, quella della cosiddetta Scienza della Complessità. Quest'ultima viene convenzionalmente fatta nascere a ridosso degli anni Novanta del secolo scorso, grazie soprattutto alla crescente potenza dei computer da tavolo<sup>3</sup> e alla possibilità di riprodurre al loro interno il comportamento di sistemi costituiti da un numero sempre più elevato di elementi in interazione reciproca.

Prima dell'avvento dei computer, il metodo scientifico poggiava esclusivamente su due pilastri: la teoria e l'esperimento. Lo scienziato teorico elaborava la sua intuizione su come funziona un certo aspetto della realtà con carta e penna, di solito in forma matematica o in qualche altro formalismo simbolico (talvolta anche in linguaggio naturale, come ad esempio in ambito biologico o psicologico). Poi, una volta proposta una certa teoria, altri scienziati predisponavano degli esperimenti per corroborare o falsificare le sue previsioni. Questo metodo, sin dalla sua introduzione nel XVII secolo, si è rivelato estremamente potente

<sup>3</sup> Come noto, la Legge di Moore prevede un raddoppio delle prestazioni dei processori ogni 18 mesi. Solo per dare un'idea della rapidità di questa crescita, si tenga conto che oggi gli iPad di quarta generazione con cui giocano i nostri figli hanno una potenza di calcolo superiore a quella del più potente supercomputer del mondo di trent'anni fa, il Cray-2 (si veda ad esempio: J. Markoff, *The iPad in your hand: as fast as a Supercomputer of Yore*, «The New York Times», 9 maggio 2011).

soprattutto nell'ambito delle scienze fisiche, che l'hanno utilizzato per scandagliare l'universo nelle due direzioni dell'infinitamente grande e dell'infinitamente piccolo, aiutati da strumenti e apparati sperimentali sempre più raffinati e potenti (telescopi, microscopi, acceleratori di particelle, ecc.). Oggi però i computer hanno reso possibile una terza modalità di approccio scientifico alla realtà: la simulazione. Una simulazione può essere considerata, simultaneamente, teoria ed esperimento: eseguendo le istruzioni contenute in un algoritmo scritto dallo scienziato, e basato su opportune ipotesi esemplificative relative al funzionamento di un certo sistema, il computer può infatti mettere alla prova la validità di un dato modello teorico, simulando l'evoluzione nel tempo del sistema in esame all'interno di un mondo virtuale e producendo una grande mole di risultati "sperimentali" che devono poi, a loro volta, essere confrontati con la realtà. Armati di questo nuovo strumento, da un lato gli scienziati si sono immediatamente rilanciati nell'investigazione sia dell'infinitamente piccolo sia dell'infinitamente grande, coprendo oggi un range di scale che va dalla simulazione delle interazioni microscopiche tra nanoparticelle alla simulazione delle interazioni gravitazionali negli ammassi di galassie. Dall'altro, però, hanno anche potuto dare il via all'esplorazione di una nuova dimensione dell'universo, inoltrandosi lungo una direzione di indagine che, in assenza della possibilità di simulare la realtà all'interno di un computer, ci sarebbe rimasta assolutamente preclusa. Si tratta di una direzione che si concentra prevalentemente su una scala intermedia, quella cosiddetta "mesoscopica", a cui appartengono i fenomeni biologici e sociali. Potremmo definirla come la direzione dell'infinitamente complesso.

Ma, innanzitutto, cos'è un sistema complesso?

Da un punto di vista molto generale, senza pretese di esaustività, è conveniente introdurre due possibili descrizioni di un sistema complesso – descrizioni di cui peraltro faremo largo uso in questo saggio – .

La prima, che potremmo chiamare "descrizione dinamica", considera il sistema complesso come costituito da numerosi elementi interagenti tra loro all'interno di un ambiente confinato, in uno spazio reale o virtuale, cooperando o entrando in competizione per accaparrarsi delle risorse limitate. La seconda, che chiameremo "descrizione topologica", considera il sistema complesso come una rete di nodi collegati gli uni agli altri per mezzo di link (legami), che esprimono delle relazioni di qualunque tipo tra i nodi stessi.



Queste due descrizioni non sono necessariamente alternative. Anzi, di fatto, in molti casi reali risultano sovrapporsi in vari modi. Entrambe sono comunque molto utili per costruire dei modelli matematici semplificati da dare in pasto al computer: in ambito sociofisico ad esempio, come vedremo meglio, è infatti possibile adottare l'una o l'altra descrizione per simulare una moltitudine di individui, ovvero di atomi sociali, che interagiscono tra loro in contesti anche molto diversi (una autostrada, uno stadio, un social network, ecc.). Si parla in questi casi di modelli di "simulazione ad agenti", o *agent-based models* (ABM). È però importante sottolineare sin da subito che l'esigenza di ricorrere al computer e alle simulazioni per studiare un sistema complesso, oltre che alla numerosità

degli elementi in gioco, è soprattutto legata al fatto che, contrariamente a quanto avviene in sistemi anche molto complicati – ma, appunto, non complessi –, in esso le interazioni tra gli elementi costituenti sono di solito "non lineari".

Cerco di spiegarmi meglio.

Consideriamo una singola automobile. L'insieme delle componenti e dei meccanismi che la costituiscono sono certamente complicati, tant'è che di solito si ricorre ad una *équipe* di ingegneri meccanici per progettare e realizzarla. Ma non sarebbe corretto definire un'automobile un sistema complesso, in quanto le relazioni tra queste componenti sono sempre "lineari", nel senso che in esse gli effetti devono essere proporzionali alle cause. Quando siamo al volante, diamo infatti per scontato che ad un angolo di rotazione doppio o triplo dello sterzo corrisponda approssimativamente una rotazione doppia o tripla delle ruote anteriori e ci aspettiamo che ad una pressione doppia o tripla del pedale dell'acceleratore o di quello del freno corrispondano, proporzionalmente, un'accelerazione o una frenata di entità doppia o tripla. Ed è ovvio che sia così, poiché le relazioni tra le componenti di un'automobile sono, appunto, progettate per essere prevedibili e controllabili. È questa l'essenza della linearità: prevedibilità e controllo. Vi immaginate cosa succederebbe se, ad una piccola rotazione dello sterzo, le ruote ruotassero

improvvisamente di 90 gradi? O se un qualunque lieve tocco del pedale del freno o di quello dell'acceleratore fossero liberi di amplificarsi spontaneamente fino a bloccare del tutto la nostra auto o portare di colpo il motore al massimo dei giri? Ne risulterebbero una totale imprevedibilità e una completa assenza di controllo.

Proviamo adesso a mettere insieme diverse centinaia di automobili all'interno di un ambiente confinato, come è quello di una rete stradale urbana, e a porle in competizione per raggiungere ciascuna la propria destinazione nel minor tempo possibile. In questo caso sappiamo tutti, per esperienza diretta, che il sistema diventa estremamente sensibile alle perturbazioni e che cause anche molto piccole possono produrre effetti insospettabilmente grandi. È ben noto, infatti, che anche un semplice tamponamento nell'ora di punta può tenere bloccato per ore il traffico in una intera zona della città, ed è quasi sempre da simili, piccoli eventi che nascono ingorghi come quello in cui vi trovavate imprigionati nel nostro esempio iniziale. Insomma, è evidente che questa volta siamo in presenza di un sistema altamente non lineare, in altre parole, di un sistema complesso. Ma la non linearità del traffico può giocare scherzi ancora più strani, che ci riportano alle analogie con la fisica e alla nostra natura di atomi sociali.

Nel 2009, alcuni matematici del Massachusetts Institute of Technology (MIT), esaminando alcuni dei filmati realizzati da ricercatori giapponesi su percorsi circolari, sono riusciti finalmente a svelare il mistero dei cosiddetti "ingorghi fantasma", ovvero quei blocchi improvvisi del traffico che si formano senza motivo apparente su strade e autostrade<sup>4</sup>. Si è scoperto che tutto dipende dal numero di autovetture presenti: al di sopra di una soglia critica di densità del traffico, anche il più piccolo rallentamento da parte di un singolo automobilista dà vita ad un fenomeno non lineare del tutto simile a quello che nella fisica dei fluidi si chiama "solitone", cioè un'onda solitaria autorinforzante che si sposta senza cambiare forma e che in questo ambito gli scienziati americani hanno subito ribattezzato *jamiton* (dall'inglese *soliton* e da *jam*, che significa appunto ingorgo). Ovviamente qui l'onda non è costituita da molecole di fluido ma da automobili, e dai loro occupanti, ovvero noi. Noi atomi sociali.

4 M.R. Flynn *et al.*, *Self-sustained nonlinear waves in traffic flow*, «Physical Review E», 79 056113 (2009). Su youtube sono presenti numerosi video che mostrano la formazione spontanea di un *jamiton*; si vedano ad esempio: <https://www.youtube.com/watch?v=Suugn-p5C1M>; [https://www.youtube.com/watch?v=Q78Kb4uLAdA&feature=player\\_embedded](https://www.youtube.com/watch?v=Q78Kb4uLAdA&feature=player_embedded).

Quest'onda vi ricorda qualcosa? Ai lettori più attenti non sarà sfuggito che nel Prologo il nostro protagonista assiste in diretta alla formazione spontanea di un fenomeno ondulatorio analogo, quello della "Ola Messicana", osservato per la prima volta proprio nello stadio Azteca durante i Mondiali del 1986. Anche in questo caso, nel 2002 un gruppo di fisici tedeschi e ungheresi è riuscito a studiare e riprodurre il fenomeno osservato per mezzo di un modello matematico e simulativo ispirato alla teoria dei "mezzi eccitabili", originariamente sviluppata per descrivere la propagazione degli incendi o delle onde nel tessuto cardiaco<sup>5</sup>. Analizzando la formazione della "Ola" in 14 stadi sparsi per il mondo, contenenti almeno 50.000 spettatori, gli studiosi hanno innanzitutto scoperto che le caratteristiche di questa onda umana sono indipendenti da quelle degli individui che li costituiscono. Da bravi atomi sociali questi ultimi, indipendentemente dalla propria lingua, cultura e identità personale, si limitano infatti ad eseguire un insieme estremamente esiguo di comportamenti. Gli scienziati hanno scoperto che ne bastano solo tre (denominati "eccitato", "attivo" e "passivo") per far sì che l'onda, una volta innescata, si propaghi sempre con la stessa velocità (12 metri al secondo), con la stessa larghezza (6-12 metri) e - stranamente - quasi sempre anche con lo stesso senso di rotazione (orario), come si può osservare in qualunque stadio del mondo. Per mezzo di numerose simulazioni al computer, il gruppo guidato da Tamàs Vicsek e Dirk Helbing ha anche scoperto che, come per gli ingorghi fantasma, anche in questo caso è necessaria una soglia critica di spettatori attivi per generare l'onda: al di sotto di un certo numero iniziale di individui coinvolti, infatti, il fenomeno di autoorganizzazione non si verifica mai, ma al di sopra della soglia ecco che gli atomi sociali cominciano a coordinarsi magicamente tra loro, dando vita a una struttura emergente (la Ola) che comincia a muoversi secondo leggi nuove, di natura diversa da quelle dei suoi elementi costituenti (gli individui).

Lo stesso gruppo di fisici, qualche anno prima, aveva trovato il modo di descrivere molto fedelmente le complesse dinamiche cui danno luogo migliaia di persone che cercano di fuggire da un ambiente confinato in una situazione di panico<sup>6</sup>. Ancora una volta, nei loro modelli matematici, gli individui vengono considerati come atomi sociali soggetti a leggi

5 I. Farkas *et al.*, *Mexican waves in an excitable medium*, «Nature», vol. 414 (2002).

6 D. Helbing *et al.*, *Simulating dynamical features of escape panic*, «Nature», vol. 407 (2000).

molto semplici, formalmente identiche a quelle cui sono soggetti i corpi materiali (ad esempio la seconda legge della dinamica di Newton, la celebre  $F = m \cdot a$ , forza uguale massa per accelerazione, che tutti abbiamo studiato a scuola), ma ovviamente con un'interpretazione sociale delle forze di attrazione o repulsione che spingono le persone in fuga verso le uscite di sicurezza o lontano dalle fonti di pericolo. Si parla in questo caso, appunto, di forze sociali o *social forces*, e la branca che le studia viene talvolta chiamata "sociodinamica" (che potremmo considerare una branca della sociofisica). Le simulazioni al computer dimostrano che, in condizioni di panico, si verifica l'analogo sociale di una brusca transizione di fase da uno stato "gassoso", in cui le distanze tra gli atomi sociali (cioè tra le persone confinate in uno spazio limitato) si mantengono relativamente grandi, ad uno stato "liquido", in cui gli atomi sociali si accalcano e comprimono tra loro, generando morti e feriti.

Forse non sarete sorpresi di scoprire che uno degli scenari ideali scelti dagli scienziati per studiare questo tipo di fenomeno sia, ancora una volta, quello dello stadio: molti dei più gravi disastri legati alla fuga da panico sono, infatti, accaduti all'interno di stadi stracolmi di spettatori in occasione di eventi sportivi o musicali<sup>7</sup>. In tutti questi casi non è difficile immaginare come il nostro Gigante, sentendosi in pericolo, abbia improvvisamente cominciato ad agitarsi con violenza e a scuotere con insospettata energia i suoi enormi tentacoli, cercando di liberarsi dal guscio di acciaio e cemento in cui si trovava intrappolato, noncurante della perdita di molti dei suoi atomi, gli spettatori, schiacciati dalla pressione reciproca nel tentativo di raggiungere le vie di fuga: ecco dunque che, ancora una volta, il caos a livello degli individui in preda al panico è in grado di trasformarsi in una precisa volontà collettiva (quella di uscire dallo stadio) al livello del Gigante.

I Giganti, però, non dimorano solo negli stadi o nelle reti del traffico urbano. Proviamo a cambiare ancora scenario.

Questa volta vi trovate in una grande sala da concerto. Avete appena assistito, insieme ad altre centinaia di persone, alla sonata in sol maggiore op. 96 per violino e pianoforte di Ludwig Van Beethoven, ma-

7 Su Wikipedia, alla voce "Stadium disasters", è possibile trovare un elenco dei più (tristemente) noti disastri avvenuti negli stadi sportivi negli ultimi decenni, tra cui ad esempio quello dell'Hillsborough Stadium del 1989 in Gran Bretagna o quello dell'Heysel Stadium del 1985 a Bruxelles - quest'ultimo accaduto circa un'ora prima della finale di Coppa dei Campioni tra Juventus e Liverpool, con un tragico bilancio di 39 morti e più di 600 feriti (si veda il link: [it.wikipedia.org/wiki/Strage\\_dell'Heysel](http://it.wikipedia.org/wiki/Strage_dell'Heysel)).

gistrilmente eseguita da due celebri musicisti svedesi. Al termine del concerto, come è ovvio, scatta un fragoroso applauso e anche voi, con entusiasmo, vi aggregate. Come nel caso dell'ingorgo o della Ola Messicana, ancora una volta l'identità di chi applaude è irrilevante e vi trovate nuovamente nella condizione di atomo sociale indistinguibile dagli altri, vincolato all'interno di una entità più vasta che cerca di comunicare la propria soddisfazione collettiva ai due artisti. I possibili moduli comportamentali a vostra disposizione sono qui estremamente ridotti: infatti potete solo decidere se partecipare o meno all'applauso, e in tal caso scegliere a che ritmo farlo. Ciò nonostante, anche stavolta succede qualcosa di strano.

Inizialmente ciascuno applaude disordinatamente, con un ritmo che è indipendente da quello dei propri vicini di posto, seguendo solo il livello del proprio personale entusiasmo. Il risultato è un rumore di fondo molto elevato, indizio di un alto gradimento da parte dell'audience. Dopo qualche secondo, però, a qualcuno viene in mente di domandare un bis e inizia a rallentare la cadenza del proprio applauso accompagnandola con la richiesta gridata ad alta voce. In quel momento, ovviamente, solo i vicini riescono a sentirlo e, per caso, qualcuno di essi decide di imitarlo, rallentando a sua volta il proprio ritmo, adeguandolo a quello del vicino e gridando «bis!» insieme a lui. Il risultato collettivo di questo processo imitativo è la rapida sincronizzazione degli applausi da parte di tutti i presenti, che adesso procedono a un ritmo più lento ma tutti insieme. Esattamente come si era verificato nello stadio Azteca di fronte agli occhi del nostro protagonista al momento del fischio d'inizio (lì lo avevamo chiamato "il risveglio del Gigante"), anche qui il comportamento inizialmente disordinato di una moltitudine di spettatori si trasforma improvvisamente in un movimento altamente ordinato e coordinato. Di nuovo, è come se adesso, ad applaudire, non fossero più centinaia di individui ma un'unica, più ampia entità: è il Pubblico che manifesta la sua soddisfazione e chiede a gran voce il bis. Ed è a lui che i due musicisti lo concedono. Ad uno o a pochi singoli spettatori probabilmente non lo avrebbero concesso; se invece è il Pubblico a chiederlo, le cose cambiano. Ma non appena i due artisti svedesi tornano ai loro strumenti, l'incanto si rompe: gli atomi sociali che componevano questa nuova entità collettiva, soddisfatti per il risultato ottenuto, tornano ad applaudire ciascuno con una propria e più rapida frequenza e l'ordine cede nuovamente il posto al disordine. Poi il bis finalmente inizia. E stavolta è silenzio assoluto.

Nel 2000, un'équipe internazionale di ricercatori, tra cui il già incon-

trato Tamàs Vicsek e il fisico ungherese Albert-László Barabási, si rese conto che il fenomeno di sincronizzazione spontanea che si osserva negli applausi è perfettamente analogo a quello che si verifica in numerosi sistemi fisici o biologici, quali il lampeggiare all'unisono delle lucciole nelle foreste del Sud-Est asiatico, la danza dei fotoni in un fascio di luce monocromatica di un raggio laser o la contrazione ritmica delle cellule *pacemaker* del nostro cuore. Nel loro studio, pubblicato sulla prestigiosa rivista «Nature»<sup>8</sup>, gli scienziati mostrarono che è proprio il dimezzamento della frequenza (o, che è lo stesso, il raddoppiamento del periodo) negli applausi che rende possibile la transizione dal disordine all'ordine attraverso la formazione di un'onda di sincronizzazione che si propaga per tutta l'audience. Curiosamente, questo rallentamento nel ritmo degli applausi sincronizzati fa diminuire il livello complessivo di rumore nella sala, ed è proprio il tentativo di far risalire il livello di rumore da parte di alcuni spettatori che dopo un po' distrugge lo stato sincronizzato. In altre parole, uccide il Pubblico e restituisce la loro indipendenza ai singoli individui.

Gli esempi dell'Ola e dell'applauso illustrano con chiarezza uno degli aspetti fondamentali degli atomi sociali: la tendenza ad imitare il comportamento altrui, che può essere vista come una forma di sincronizzazione sociale. Infatti, quando i nostri gradi di libertà sono estremamente ridotti (che è il prerequisito per essere, appunto, considerati atomi sociali), le probabilità di conformare il nostro comportamento con quello della maggioranza degli atomi sociali con cui siamo in contatto aumentano enormemente.

Supponiamo che, insieme a qualche decina di altre persone, vi invitino come volontari ad un esperimento psicologico di cui non conoscete i dettagli. In sala, su uno schermo, viene proiettata una immagine con una linea sulla sinistra e un gruppo di tre linee sulla destra. A questo punto viene chiesto contemporaneamente a tutti i presenti di scegliere, fra le tre linee 1, 2 e 3, quella che sembra loro più



8 Z. Néda et al., *The sound of many hands clapping*, «Nature», vol. 403 (2000).

simile, come lunghezza, alla linea A, alzando una paletta con il numero corrispondente. Voi quale paletta alzereste? Guardando adesso l'immagine a pagina precedente, non ho dubbi che abbiate già scelto la linea 3. È del tutto evidente che la linea 1 e la linea 2 sono, rispettivamente, troppo corta e troppo lunga. Ma abbiamo supposto che vi troviate in una sala insieme a molte altre persone. Cosa fareste vedendo che tutti gli altri volontari in sala alzano senza indugio la paletta col numero 1? Ammetterete che questo insinuerebbe in voi il sospetto che magari l'apparenza vi inganna, che forse, guardando meglio, tutto sommato la linea 1 non è poi così corta... Forse è la linea 3 ad essere troppo lunga... Insomma, ammettiamolo: è molto probabile che alla fine alzereste anche voi, come tutti, la paletta 1, pur contro ogni evidenza. Potenza dell'imitazione! In realtà questo preciso esperimento è già stato effettuato nel 1952 dallo psicologo americano Solomon Asch in un campus di Filadelfia. Ovviamente in quel caso tutti i volontari, tranne uno, erano complici dello sperimentatore e mentivano appositamente sulla lunghezza delle linee. I risultati sono stati sorprendenti: le "vittime designate", quasi sempre, sceglievano la linea indicata da tutti gli altri. Le stesse persone, in esperimenti preliminari dove erano sottoposte ai test da sole, avevano invece sempre scelto invariabilmente la linea giusta, come del resto avete fatto voi un momento fa.

Oggi sappiamo che questa irresistibile tendenza ad imitare il comportamento altrui, spesso indicata col termine *herding* (dall'inglese *herd*, gregge), ha un ben preciso fondamento neurologico<sup>9</sup> ed è alla base non solo del nostro apprendimento individuale, ma anche di molti fenomeni collettivi che rientrano nell'ambito di interesse della sociofisica. A livello individuale, fin da piccoli veniamo addestrati ad imitare la mamma o il papà («guarda come si sta a tavola!», «guarda come si allacciano le scarpe!», «guarda come ci si deve comportare!»); poi si prosegue con la scuola, con gli sport e con il lavoro, dove l'imitazione nei confronti del maestro, dei compagni, dei colleghi è alla base sia dei nostri progressi conoscitivi sia del nostro uniformarci alle convenzioni sociali. A

9 A cavallo tra gli anni Ottanta e Novanta del secolo scorso, è stato infatti scoperto il cosiddetto "sistema dei neuroni specchio", che fa riferimento ad una medesima classe di neuroni che si attivano nella corteccia cerebrale dei primati, di alcuni uccelli ma soprattutto dell'uomo, non solo quando si compie una certa azione ma anche quando si osserva qualcun altro compiere quella stessa azione. Si veda G. Rizzolatti - C. Sinigaglia, *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Milano, Raffaello Cortina Editore (2006).

livello collettivo, agendo spesso in maniera subliminale, automatica e inconsapevole, l'imitazione diventa invece responsabile di fenomeni che in parte abbiamo già incontrato, quali il panico negli stadi, gli ingorghi del traffico, la Ola e gli applausi, ma anche della formazione del consenso nella dinamica delle opinioni, del successo di un libro, di un film, di un brano musicale, di una app per smartphone, di un blog o di un sito web, del diffondersi delle mode, dello scoppio dei conflitti, dell'influenza dei sondaggi sulle elezioni, di alcune forme di cooperazione sociale, dell'euforia o del panico nei mercati finanziari.

Non è un caso che le origini stesse della sociofisica vengano fatte solitamente risalire ad un modello basato anch'esso su un particolare tipo di comportamento imitativo, cioè quello che apparentemente spinge gli abitanti di una città multiculturale a preferire quartieri dove prevale la propria etnia. Si tratta del noto modello sulla segregazione residenziale, con il quale negli anni Settanta del secolo scorso l'economista statunitense Thomas C. Schelling (poi premio Nobel nel 2005) mise in luce le discrepanze che possono nascere tra le micromotivazioni delle scelte individuali e le macroconseguenze che ne derivano a livello collettivo<sup>10</sup>. La domanda a cui Schelling cercava di rispondere era molto semplice: la segregazione residenziale (che in quegli anni si osservava in molte città americane) è veramente sintomo di razzismo? La problematica era certamente complessa, ma per rispondere a questa domanda l'economista decise di effettuare una serie di semplificazioni che oggi rientrerebbero perfettamente nello stile della sociofisica: rappresentò una città con una scacchiera, e gli individui con delle pedine colorate, bianche e nere, corrispondenti a due etnie diverse e disposte inizialmente a caso sulla scacchiera, in modo da lasciare però delle caselle vuote su cui spostarsi. Come veri e propri atomi sociali, gli individui di Schelling decidevano se spostarsi o meno in base ad un'unica, semplice regola, legata alla numerosità di pedine del proprio colore nelle caselle ad essi vicine: al di sotto di una soglia prefissata nel numero di tali pedine essi si spostavano, altrimenti rimanevano dove si trovavano. Pur senza utilizzare simulazioni al computer (ancora non disponibili negli anni Settanta), ma muovendo a mano le sue pedine sulla scacchiera, Schelling si rese conto che anche in assenza di micromotivazioni razziste, ovvero anche in presenza di

10 Per una panoramica su questo tema, centrale nell'intera produzione scientifica di Schelling, si veda ad esempio il saggio di T.C. Schelling, *Micromotivazioni della vita quotidiana*, Milano, Bompiani (2008).

bassi valori di soglia nel numero di pedine del proprio colore richieste ai singoli individui per non spostarsi, il sistema nel suo complesso si autoorganizzava dando luogo, in breve tempo, a zone di pedine di colore diverso nettamente separate le une dalle altre, che rappresentavano evidentemente l'emergere spontaneo della segregazione etnica. «Anche se ogni traccia di razzismo svanisse dall'oggi al domani», commentò Schelling, «qualcosa di analogo a una legge della fisica potrebbe continuare a tenere le razze separate, come avviene per l'olio e per l'acqua». Dunque, quando si ha a che fare con fenomeni sociali emergenti, e soprattutto quando entrano in gioco comportamenti imitativi, l'idea che le proprietà del sistema collettivo rispecchino necessariamente quelle dei singoli individui che lo compongono può rivelarsi profondamente sbagliata. Analogamente a come, in fisica, le proprietà macroscopiche dei materiali (solidità, temperatura, pressione, colore, trasparenza, conducibilità, ecc.) emergono esclusivamente dal modo in cui atomi identici e assolutamente privi di quelle proprietà interagiscono tra loro, così la complessità dei fenomeni sociali ed economici potrebbe emergere esclusivamente dalle modalità e dagli schemi dinamici di interazione tra individui considerati alla stregua di semplici atomi sociali che si imitano a vicenda. Del resto, quando uscite di casa in automobile, non lo fate con l'intenzione di creare un ingorgo, così come non lo fanno le altre centinaia di persone che, insieme a voi, si immettono ogni giorno in un raccordo autostradale o nel traffico urbano: eppure, magicamente, inevitabilmente, gli ingorghi nascono lo stesso, nonostante nessuno li voglia. E, anche in questo caso, come abbiamo visto, pare che dietro la loro formazione agiscano leggi analoghe a quella della fisica.

Oggi, con l'aiuto delle simulazioni, e in particolare delle simulazioni ad agenti, oltre a poter verificare in pochi secondi le previsioni del modello di Schelling, è possibile catturare l'essenza di una moltitudine di complessi fenomeni sociali, culturali ed economici emergenti, allo scopo di decifrare, per la prima volta nella storia umana, le dinamiche che li determinano<sup>11</sup>.

11 Si veda ad esempio: Dirk Helbing, *Social Self-Organization: Agent-Based Simulations and Experiments to Study Emergent Social Behavior*, Berlino, Springer-Verlag (2012).



Come scrive Mark Buchanan, «il fiorire delle ricerche in quella che mi piace chiamare “fisica sociale” mi ha convinto che ci troviamo a una svolta importante nella storia. Stiamo 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»<sup>12</sup>.

Attorno al concetto di “atomo sociale” si sono così sviluppate molte discipline, che possiamo per comodità raggruppare sotto l’etichetta concettuale della sociofisica<sup>13</sup>. Come si vede nella figura (che ovviamente è solo indicativa e non ha alcuna pretesa di completezza), accanto alla già incontrata sociodinamica, o dinamica delle folle, troviamo l’econofi-

12 M. Buchanan, op. cit. (2008).

13 Alcuni autori preferiscono riferirsi alla nuova scienza interdisciplinare che studia i sistemi sociali complessi per mezzo di tecniche e modelli computazionali con il termine Computational Social Science. Per questioni di contiguità con il concetto di “atomo sociale”, in questa sede noi continueremo comunque ad utilizzare il termine “sociofisica”.

sica, la dinamica delle opinioni, lo studio delle istituzioni politiche, dei mercati finanziari, delle attività umane, del ruolo del caso nei sistemi socio-economici e molte altre. Solo per citare alcuni esempi che potremmo (in diversi casi anche a-posteriori) collocare in questo ambito, i ricercatori hanno mostrato:

come l'omofilia, cioè la tendenza ad interagire con (e dunque imitare) individui i cui tratti culturali sono più simili ai nostri, sia alla base tanto della convergenza a livello locale quanto della differenziazione a livello globale tra gruppi e comunità sociali<sup>14</sup>;

come il comportamento imitativo che ci spinge a scegliere, tra due prodotti identici, quello più popolare, sia analogo al comportamento delle colonie di formiche in presenza di due identiche sorgenti di cibo<sup>15</sup>;

come sia possibile riprodurre le distribuzioni statistiche dei voti ricevuti dai diversi candidati in occasione di elezioni con semplici modelli in cui le opinioni si influenzano e competono tra loro alla stregua di momenti magnetici elementari<sup>16</sup>;

come il processo di formazione dei prezzi in un mercato finanziario presenti strette analogie con le oscillazioni dei pedoni attraverso una strettoia, qualora questi ultimi si comportino da veri e propri atomi sociali, manifestando cioè un livello di "intelligenza-zero"<sup>17</sup>;

come le forti disequaglianze nella distribuzione della ricchezza in una popolazione di individui, dotati delle medesime capacità e in grado di imitarsi reciprocamente, possano emergere automaticamente da semplici regole di investimento e da dinamiche di interazione simili a quelle che governano la formazione dei terremoti<sup>18</sup>;

o come l'adozione di strategie casuali possa migliorare l'efficienza

14 R. Axelrod, *The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization*, «Journal of Conflict Resolution» 41:203-26 (1997); D. Centola et al., *Homophily, cultural drift, and the co-evolution of cultural groups*, «J. Confl. Resolut.» 51, 6:905-929 (2007).

15 A.P. Kirman, *Ants, rationality and recruitment*, «Quarterly Journal of Economics» 108 (1993); A. Kononovicius et al., *Agent-based reasoning for the non-linear stochastic models of long-range memory*, «Physica A», 391(4), 1309 (2012).

16 A.T. Bernardes et al., *Elections results and the Sznajd model on Barabasi network*, «The European Physical Journal B», 25, 123-127 (2002).

17 D.R. Parisi et al., *Financial price dynamics and pedestrian counterflows: A comparison of statistical stylized facts*, «Phys. Rev. E», 87, 012804 (2013).

18 A.E. Biondo et al., *Reducing financial avalanches by random investments*, «Phys. Rev. E» 88, 062814 (2013).

delle organizzazione sociali gerarchiche<sup>19</sup>, delle istituzioni politiche<sup>20</sup> o dei mercati finanziari<sup>21</sup>, proprio come piccole dosi di rumore migliorano l'efficienza e la stabilità di sistemi fisici e biologici<sup>22</sup>.

Per poter comprendere cosa rende la dinamica dei sistemi socio-economici così simile a quella di molti processi fisici, ma anche biologici, bisogna però fare un passo indietro e ripartire dall'inizio.

Nella Prima Parte di questo saggio ripercorremo insieme le tappe di quel tortuoso sentiero (certamente non lineare, ma ormai consolidato) che, sullo sfondo dell'eterno conflitto tra ordine e disordine nel nostro universo, e passando in mezzo a frattali, automi cellulari, reti complesse, cigni neri e fenomeni emergenti, ci condurrà verso la vetta di quello che chiameremo il "monte della complessità". Giunti finalmente in cima, nella Seconda Parte ci spingeremo ad esplorarne le zone più impervie e meno conosciute, seguendo le traiettorie evolutive dei sistemi viventi dalle origini ai nostri giorni, e oltre, fino ai confini del regno della complessità adattiva, lì dove dimorano i Giganti, e suggerendo ai lettori che avranno avuto la pazienza di seguirci fin laggiù una inusuale prospettiva, dalla quale riconsiderare i fenomeni socioculturali e ripensare la propria condizione di atomi sociali.

Ma non voglio anticiparvi altri dettagli.

Rilassatevi, dunque, e godetevi questa passeggiata "al margine del caos".

19 A. Pluchino et al., *The Peter Principle revisited: a computational study*, «Physica A», 389, 467-472 (2010).

20 A. Pluchino et al., *Accidental politicians: how randomly selected legislators can improve Parliament efficiency*, «Physica A», 390, 3944-3954 (2011); si veda anche: M. Caserta et al., *Democrazia a Sorte. Ovvero, la Sorte della Democrazia*, Catania, Malcor D' Edizione (2012).

21 A.E. Biondo et al., *Micro and macro benefits of random investments in financial markets*, «Contemporary Physics» 55, 4 (2014).

22 Si vedano, ad esempio, R. Mantegna - B. Spagnolo., *Noise enhanced stability in an unstable system*, «Physical Review Letters» 76, 563 (1996); L. Gammaitoni et al., *Stochastic Resonance: A remarkable idea that changed our perception of noise*, «Eur. Phys. J. B», 69 (1): 1-3 (2009); F. Caruso et al., *Noise enhanced classical and quantum capacities in communication networks*, «Phys. Rev. Lett.» 105, 190501 (2010).