DUE PAROLE SUI SISTEMI COMPLESSI

ALBERTO GANDOLFI

Abstract. In this paper we explane with some examples the nature of complex systems.

1. Introduzione

Che cosa ha in comune il cervello con un formicaio? La domanda è intrigante e la risposta non è banale. Cervelli e formicai, infatti, hanno più cose in comune di quel che la nostra esperienza personale possa farci credere. Lo testimonia la "scienza della complessità", una materia interdisciplinare che, a partire dagli anni sessanta, ha sempre più attirato l'attenzione dei ricercatori.

La scienza della complessità si occupa dello studio dei sistemi complessi. Ma che cosa sono i sistemi complessi? Edgar Morin, filosofo francese, scrisse che "se si potesse definire la complessità in maniera semplice, ne deriverebbe evidentemente che il termine non sarebbe più complesso".

Questo articolo si prefigge lo scopo di spiegare nel modo più chiaro possibile che cosa sono i sistemi complessi, cercando altresì di evitare, per dirla alla Morin, tutte quelle esemplificazioni che svilirebbero il concetto di complessità.

2. Innanzitutto: Cos'è un sistema?

Partiamo da un esempio banale. Un mucchio di sabbia è un sistema? No, un mucchio di sabbia è un insieme *non organizzato* di elementi (i granelli); i singoli granelli non hanno nessuna interazione (se non quella triviale di essere appoggiati uno sull'altro ...) fra di loro, non comunicano, non hanno influssi a lunga distanza su altre parti del mucchio; nel mucchio di sabbia non vi sono sottoinsiemi, non c'è nessuna struttura funzionale; possiamo inoltre togliere sabbia o scambiare della parti del mucchio, senza modificarne la natura.

Ciò non è possibile in un sistema. *Un sistema forma un'entità organica, globale e organizzata*: togliendone una parte ne modifichiamo la natura e le funzionalità. I sistemi, per esempio un fiore, un animale, una cellula, una società, una macchina, una molecola, un'azienda, un cervello, sono formati da *numerose parti differenziate*. E queste parti devono

Alberto Gandolfi, Dipartimento di Economia e Management, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana, CH–6928 Manno (e–mail: gandolfi.afg@ticino.com).

mostrare una certa organizzazione, un'architettura interna. L'interazione organizzata degli elementi fa sì che un sistema si comporti in *modo diverso dalle sue parti.*

La gran parte dei sistemi è costituita da sottosistemi funzionali, costituiti a loro volta da elementi che ad un'analisi più approfondita si rivelano essere sotto–sottosistemi, e così via, in una vorticosa spirale simile alle bamboline russe che si incastrano una nell'altra. Questo progressivo inscatolamento forma una *gerarchia sistemica* che ritroviamo in moltissimi sistemi complessi. Si pensi alla struttura gerarchica del corpo umano, formato da organi, che sono formati da cellule, le quali a loro volta sono formate da organelli, costituiti da macromolecole organiche, e così via, fino all'evanescente universo delle particelle subatomiche.

3. La natura dei sistemi complessi

Guardiamoci attorno: una veloce carrellata sui sistemi naturali, sociali ed economici che ci circondano ci mostra come essi siano in definitiva dei sistemi complessi adattativi. **Un sistema complesso adattativo (SCA) è un sistema aperto, formato da numerosi elementi che interagiscono fra di loro in modo non lineare e che costituiscono un entità unica, organizzata e dinamica, capace di evolvere ed adattarsi all'ambiente**.

Nelle parole di John Holland, uno degli scienziati che al Santa Fe Institute, nel New Mexico, stanno indagando sui misteri della Complessità, *questi sistemi consistono in una rete di sottosistemi che si influenzano l'un l'altro continuamente. Questi sistemi sono formati da numerosi agenti che agiscono insieme. Possono essere cellule nervose nel cervello oppure individui nell'economia. Ogni elemento influisce sugli altri e subisce l'influsso degli altri. Questi agenti interattivi non sono controllati centralmente; i comportamenti emergono dalle interazioni stesse. Non v'è un elemento che controlla tutti gli altri. Il comportamento coerente del sistema deriva dalla competizione e collaborazione fra gli elementi.*

Ogni livello del sistema serve come mattone per costruire il prossimo livello. Così un gruppo di cellule formerà un tessuto, e un gruppo di operai costituirà un team di lavoro, e così via per ogni livello e per ogni tipo di sistema complesso. Un fenomeno fondamentale di adattamento di questi sistemi è che essi si riorganizzano continuamente, come le nazioni riorganizzano in modo continuo le relazioni con le altre nazioni.

Vediamo ora brevemente alcune caratteristiche peculiari dei sistemi complessi.

La struttura topologica fondamentale di un sistema complesso è la *rete.*

I vari processi che compongono il sistema non sono disposti in una semplice catena lineare (vedi figura 1), bensì collegati fra loro a formare una rete di relazioni (vedi figura 2). I processi hanno più di un'entrata e più di un'uscita. Gli output di un processo vanno ad influenzarne altri due o tre, o mille se consideriamo i neuroni del nostro cervello ...

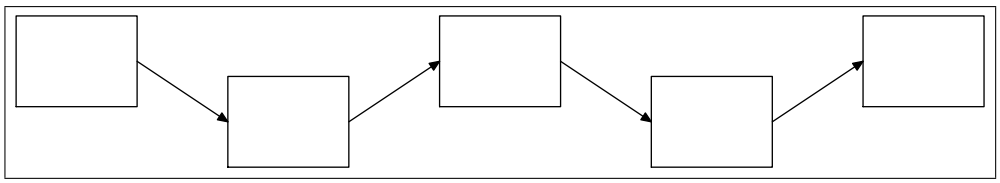

FIGURA 1

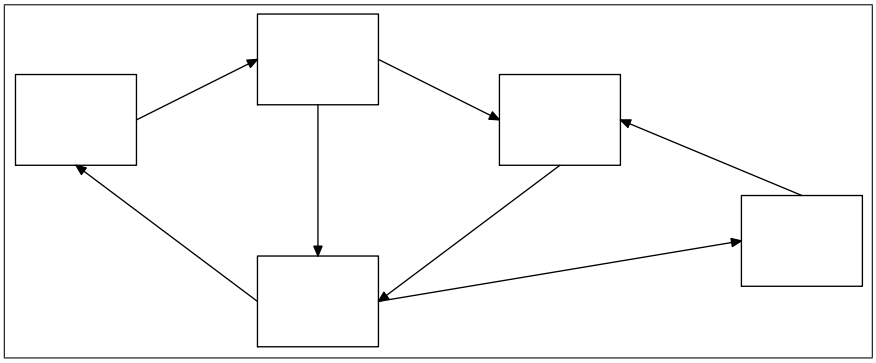

FIGURA 2

Si intuisce facilmente che in natura una serie di reazioni lineari è l'eccezione, non la regola. Anzi, una cosa molto rara. I sistemi complessi reali sono infatti costituiti da reti di una complessità inimmaginabile, con migliaia di interazioni che si intrecciano, si incrociano, si inibiscono o si rafforzano a vicenda, si biforcano o si riuniscono.

4. IL FEEDBACK: REGOLATORE O DISTRUTTORE

La topologia reticolare ha conseguenze molto importanti per il comportamento di un sistema complesso. Modificando un elemento del sistema ne modificherò, volutamente o meno, molti altri: ciò determina una scarsa prevedibilità delle conseguenze di un intervento sul sistema. Si vedono inoltre prodotti di un processo alla fine del sistema rientrare come input in un processo all'inizio. Questo particolare fenomeno è stato battezzato *feedback* (o, in buon italiano, *retroazione*).

Esistono feedback negativi , ovvero autoregolanti, che stanno alla base dellŠomeostasi dei sistemi biologici. Ed esistono i loro cugini "pazzi", i feedback positivi, i quali destabilizzano i sistemi. L'output finale di una sequenza di processi va a stimolare un processo iniziale di tale sequenza; questo fa logicamente aumentare ancora la produzione dello stesso output finale; di conseguenza il processo iniziale ne viene ancor più stimolato, e così via ... Si forma in questo modo un circolo vizioso che si autorafforza. Chiamiamo questo circolo vizioso anche *circolo autocatalitico*, perché si catalizza "da solo", si autorafforza anche senza nessun intervento esterno: una particolarità interessante ma spesso molto pericolosa ... Una precisazione: un feedback positivo può rafforzarsi "verso l'alto", ma anche "verso il basso",

ovvero il sistema si smorza sempre più fino a bloccarsi. Il termine positivo non indica cioè la direzione dell'autorafforzamento.

Un esempio in ambito tecnologico: i dischi musicali tradizionali, a 33 e 45 giri, sono stati sostituiti sul mercato discografico dai CD con un meccanismo di feedback positivo, ma "verso il basso". Appena i primi clienti hanno cominciato a comprare i CD, sia le case discografiche che i produttori di sistemi di lettura (giradischi, lettori CD, ecc.) hanno gradualmente diminuito la loro offerta di dischi e apparecchi rivolti ai dischi tradizionali. Questo ha indotto un sempre maggior numero di clienti ad abbandonare questo tipo di dischi, passando al CD, dove l'offerta cresceva. Ecco innescato il feedback positivo, che per i CD era rivolto verso l'alto (maggiori vendite), mentre per i dischi della vecchia generazione ha significato una lenta ma inesorabile morte per inedia commerciale ...

Molti altri fenomeni culturali, economici o naturali sono determinati dallŠinsorgere di un feedback positivo: fenomeni di euforia e panico in borsa; lŠesplosione demografica nei Paesi del Terzo Mondo; il successo di standard tecnologici (dalla tecnologia VHS delle videocassette al sistema operativo DOS, al senso di rotazione delle lancette degli orologi durante il rinascimento). Un caso interessante è la diffusione della lingua inglese come lingua ufficiale per la comunicazione a livello mondiale. Una ben determinata causa storica, e cioè la colonizzazione degli Stati Uniti da parte di coloni di lingua inglese, ha innescato un circolo vizioso. Il successo politico, commerciale, tecnico e scientifico degli Stati Uniti ha diffuso la lingua inglese a tal punto che sempre più gente la parlava. Parallelamente al numero di persone che parlano inglese è aumentata l'offerta di corsi e i documenti scritti in questa lingua; questo, a sua volta, ha fatto aumentare il numero di persone che sa comunicare in inglese, e via dicendo, in un circolo che si autorafforza spontaneamente.

5. Ritardi insidiosi

L'imprevedibilità dei sistemi complessi si manifesta non solo nel tipo di reazioni che il sistema avrà ad un determinato stimolo, bensì anche nei momenti in cui queste reazioni appariranno. Entra così in gioco, prepotentemente, un fattore spesso trascurato: *il tempo*.

Nel comportamento di un sistema complesso, e soprattutto nella sua imprevedibilità, il tempo assume un ruolo determinante, perché il sistema gioca su orizzonti temporali molto diversi. Nei sistemi complessi sono all'opera —parallelamente— meccanismi a corto, medio e lungo termine.

Ciò significa che un determinato input X, che modifica oggi il sistema, potrà avere molteplici effetti sugli output. Vi sarà una reazione immediata nei prossimi giorni, forse prevista. Fra due mesi scopriremo che emergono anche effetti ritardati su un altra parte del sistema: questo forse non l'avevamo previsto. Poi, fra due anni, ci troveremo di fronte ad uno strano comportamento globale del sistema. E a nessuno verrà naturalmente in mente di collegarlo all'input X ...

Nei sistemi complessi che ci circondano troviamo numerosi indizi di questi effetti ritardati. Consideriamo per esempio la psicologia di tutti i giorni. L'esperienza ci insegna che tutte le nostre azioni hanno effetti sulle persone che ci circondano. Questi effetti si manifestano appunto su orizzonti temporali differenti. Se ci comportiamo in modo scorretto o disonesto con i nostri amici o colleghi, si manifesteranno delle reazioni immediate, ma anche reazioni a lungo termine; dopo anni, una importante decisione potrebbe ancora essere influenzata dal ricordo di quel comportamento.

A volte un sistema reagisce subito con violenza ad un input. Altre volte —e qui si annida l'insidia— i sistemi complessi sono straordinariamente robusti, resilienti: assorbono senza scomporsi una gran quantità di stimoli e disturbi, poi, improvvisamente, "scoppiano", modificando i propri comportamenti e la propria organizzazione. A seconda dei fenomeni studiati questi repentini "scoppi" si chiameranno di volta in volta catastrofi naturali, rivoluzioni, estinzioni, crolli politici, fallimenti economici, divorzi.

Sarebbe cosa saggia interessarsi un po' più seriamente alla dinamica dei sistemi complessi, dato che proprio in essa potrebbe celarsi la risposta ad uno dei quesiti più drammatici del nostro tempo: il futuro dell'ecosistema terrestre. L'ecosistema che ci circonda è un sistema estremamente complesso e robusto. Da secoli resiste egregiamente agli input di ogni genere provocati dalle attività dell'Uomo; il problema è sapere fino a quando continuerà a farlo. I primi effetti, quelli a corto termine, si sono già verificati: aumento della temperatura media, aumento del CO_2 nell'atmosfera, danni allo strato di ozono che circonda la Terra, degrado sociale nelle aree densamente popolate del Terzo Mondo, estinzione di numerose specie animali e vegetali. È probabile che nei prossimi anni comincino ad apparire i cambiamenti a medio termine, cui seguiranno quelli a lungo e lunghissimo termine.

Il problema è che quando gli effetti ritardati iniziano a manifestarsi è sovente troppo tardi per evitarli ... Un sistema complesso ha una grande inerzia comportamentale: una volta in marcia, non è più possibile modificarne a corto termine la dinamica.

Riassumendo, abbiamo incontrato due inquietanti fenomeni tipici dei sistemi complessi, che riguardano in particolare la relazione fra input ed ouput:

- i sistemi complessi sono formati da reti di relazioni non lineari. Gli input che un sistema riceve si perdono in una palude di intrecci causali, si sovrappongono, si incrociano, si rafforzano, si cumulano, si annullano, si modificano. Morale: l'output perde la correlazione causale diretta con l'input.
- gli effetti di in un input sul sistema possono manifestarsi su orizzonti temporali molto differenziati. Agli effetti immediati si sommano effetti a medio termine, e a questi si sovrappongono effetti a lungo termine. Morale: l'output perde la correlazione temporale diretta con l'input.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. GANDOLFI, *Formicai, Imperi, Cervelli*, Bollati Boringhieri, Torino e Casagrande, Bellinzona, 1999.