

Può l'approccio sistemico aiutarci a gestire la complessità?

Luca Mari

24/11.05

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Una premessa

- ▶ Non c'è bisogno dell'approccio sistemico per riconoscere che **"gestire la complessità"** è più o meno **un ossimoro**
- ▶ Più semplicemente, ma forse più pragmaticamente, ci chiederemo se e come l'approccio sistemico possa essere **utile per prendere decisioni** adeguate a proposito di sistemi modellizzati come complessi...
- ▶ ... e intenderemo come complesso qualsiasi oggetto se e in quanto si consideri difficile prendere decisioni che si ritengano adeguate su di esso

L'inevitabilità dello spazio-tempo

- ▶ Viviamo in un **ambiente** che sembra inevitabilmente **spazio-temporale** (le entità a-spaziali e a-temporali -- molti sosterranno, per esempio, che siano tali i numeri -- sono, appunto, peculiari)
- ▶ Spazio e tempo sono le **variabili indipendenti** sottostanti alle nostre attività e alle nostre decisioni: gli "eventi" sono in effetti "eventi spazio-temporali"
- ▶ Ci occuperemo di (gestione della) **complessità che si manifesta nello spazio-tempo**

"Divide et impera"

In quanto strumento per la gestione della complessità, tale principio si applica prima di tutto proprio alla spazio-temporalità:

- si studia un oggetto nella sua evoluzione temporale dopo averne assunto l'invarianza spaziale: **analisi** (puramente) **diacronica**

- si studia un oggetto nella sua struttura spaziale dopo averla assunta temporalmente statica: **analisi** (puramente) **sincronica**

Si tratta già del risultato di una semplificazione

Un'entità si può manifestare come complessa non solo nella giustapposizione della sua complessità spaziale e della sua complessità temporale, ma anche e più in generale nella loro interazione:

- **la complessità spaziale può rendere complessa l'evoluzione temporale**

- **l'evoluzione temporale complessa può rendere complessa la struttura spaziale**

nel più **fondamentale circuito di feedback** che si può immaginare

Un'immagine

«Noi viviamo in un pianeta che è un corpo relativamente freddo; quindi molti dei sistemi naturali che osserviamo sono prossimi a una condizione di equilibrio stabile, il che, sovente, permette di considerarli "quasi" lineari, trascurando le non linearità esistenti. Anzi, è proprio il fatto che gran parte di questi sistemi sia "quasi" lineare e presenti, pertanto, un comportamento "quasi" regolare, che ha permesso di riconoscere l'esistenza di leggi della natura invarianti nel tempo e descrivibili in termini matematici.»

[C.S. Bertuglia, F. Vaio, "Non linearità, caos, complessità", 2003]

▶ Temperatura media come indicatore della regolarità dei sistemi

▶ Per estensione:

Sistemi

informatzionali

fisici

sociali



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Sis-temi

- ▶ **Tra analisi** (la versione sviluppata dal metodo scientifico del "divide et impera") **e olistismo** ("tutto o niente"), si riconosce che spesso il tutto non è ricostruibile come somma / giustapposizione / sovrapposizione delle parti:
 - perché le parti interagendo manifestano un comportamento in cui la reciproca dipendenza è qualificante ("**il tutto è più della somma delle parti**")
 - perché le parti per interagire devono adattarsi l'una all'altra ("**il tutto è meno della somma delle parti**")
- ▶ Il *system thinking* investiga proprio queste differenze...

La meta-modellistica usuale

Da un certo punto in poi, sembra inevitabile un **atteggiamento di tipo comportamentistico** ("a scatola chiusa", nel senso del "hypotheses non fingo" newtoniano)

input
cause
stimoli

output
effetti
risposte

L'input rappresenta la possibilità di operare in conseguenza di una decisione: questo schema interpreta perciò il **prototipo dell'attività di gestione**:

- il sistema ha un suo comportamento spontaneo ("autonomo");
- un soggetto esterno è interessato a modificare tale comportamento secondo proprie finalità...
- ... e interviene a questo scopo sul sistema sollecitandolo

Le ipotesi basilari

Il comportamento di un sistema, cioè l'output che esso produce, **dipende dall'input** che il sistema stesso riceve (*le decisioni hanno un'influenza sul comportamento*)

La trasformazione input --> output dipende dalla struttura del sistema, così che:
da: input + struttura, si deduce: output

ma anche:

da: input + output, si può inferire: struttura

Interpretando un sistema come un **insieme organizzato di parti** (in cui ogni parte è a sua volta un sistema), la struttura di un sistema è caratterizzata da:

il **numero** delle sue parti / sottosistemi

le **relazioni** che intercorrono tra esse

oltre che, evidentemente, il comportamento di ognuna di esse

A parità di input un sistema può produrre output diversi: il comportamento di un sistema in un certo istante può dunque dipendere non solo dall'input ricevuto in quell'istante, ma anche dallo **stato** in cui il sistema si trova (*le decisioni devono tener conto del fatto che i sistemi hanno spesso una memoria del loro passato*)

Il concetto di sistema dinamico

«Tutti gli avvenimenti, anche quelli che per la loro piccolezza non sembrano essere dominati dalle grandi leggi della natura, ne sono una conseguenza così necessaria come le rivoluzioni del Sole. Nell'ignoranza dei legami che li uniscono all'intero sistema dell'universo, li si fa dipendere da cause finali o dal caso. Ma queste cause immaginarie sono state successivamente arretrate fino ai limiti delle nostre conoscenze, e svaniscono del tutto davanti alla sana filosofia, che non vede in esse se non l'espressione dell'ignoranza in cui siamo circa le vere cause. Un'intelligenza che per un dato istante conoscesse tutte le **forze** da cui la natura è animata e la **situazione** rispettiva degli esseri che la compongono, se fosse così vasta da sottoporre questi dati all'analisi, abbraccerebbe in un'unica e medesima **formula** i **movimenti** dei più grandi corpi dell'universo e quelli del più lieve atomo: nulla sarebbe incerto per essa, e l'avvenire, come il passato, sarebbe presente ai suoi occhi.»

[P.S. Laplace, "Saggio sulle probabilità", 1814]

forze + situazione + formula --> movimenti

input + stato + struttura --> output

Una breve ricostruzione delle concezioni scientifiche di fronte alla complessità

- ▶ **Determinismo:** si trattano sistemi semplici sia nella loro struttura (il problema degli $n > 2$ corpi) sia nella loro dinamica (l'ipotesi di linearità); altrimenti, occorre "difalcare gli impedimenti"
- ▶ **Indeterminazione statistica:** si trattano sistemi con un grande numero di componenti, ma senza interrelazioni (l'ipotesi di gas perfetto) e comunque solo relativamente a grandezze statistiche (termodinamica)
- ▶ **Indeterminazione quantistica:** Dato che «nessuno ha mai capito la meccanica quantistica» [R. Feynman]: «La causalità si applica, a rigore, solo a sistemi isolati. L'intervento degli strumenti di osservazione distrugge ogni connessione causale tra lo stato del sistema prima e dopo la misurazione. (D'altra parte) il complesso (sistema + strumento di misurazione) evolve in modo causale, in accordo all'equazione di Schrödinger» [A. Messiah]
- ▶ **Caos deterministico:** la complessità è dietro l'angolo...

Complessità: qualche esempio

- ❑ Verhulst: crescita rapida a tempo discreto...
- ❑ Lotka-Volterra: interazione per competizione...
- ❑ Lorenz: interazione (moderatamente) non lineare

Tra analitico e numerico

Nel passato, la prevalenza dell'**approccio analitico** ha tenuto (relativamente) nascosta la complessità

Un esempio classico: oscillatore armonico smorzato ("pendolo con attrito")

E' un'equazione differenziale del secondo ordine non lineare:
non è facile trovarne la soluzione in forma analitica...

Meta-soluzione: approssimare ("linearizzare"), nell'ipotesi di "piccoli segnali"



Pendolo linearizzato



Pendolo non linearizzato

Oggi l'ampia disponibilità di capacità di calcolo automatico rende spesso irrilevante la (non) linearità...

... ma l'**approccio numerico** può diventare radicalmente comportamentistico

Strutturalismo

▶ Ma dunque in cosa si caratterizza rispetto al metodo scientifico?

▶ E' uno – forse il più generale – degli esiti dello strutturalismo; a partire dalla "visione semiotica" (Peirce), con la distinzione tra sintassi, semantica e pragmatica (Morris), nell'arco di poche decine di anni:

- teoria dell'informazione (Shannon)
- cibernetica (Wiener)
- teoria dei giochi (von Neumann)
- teoria dei tipi di scala e della misurazione (Stevens)
- ricerca operativa (Dantzig)
- ...
- **teoria generale dei sistemi** (von Bertalanffy)

▶ Il "denominatore comune" è nell'enfasi sulla **struttura** dei problemi: **non conta il cosa** (e naturalmente nemmeno il perché), **ma solo il come**

L'approccio sistemico /1

«La fisica classica ha ottenuto grandi successi nello sviluppare la teoria della complessità non organizzata. Così, per esempio, il comportamento di un gas è il risultato dei movimenti, non organizzati e non osservabili individualmente, di innumerevoli molecole; il gas, complessivamente considerato, segue le leggi della termodinamica. In ultima istanza, la teoria della complessità non organizzata ha le proprie origini nelle leggi del caso e delle probabilità, e nella seconda legge della termodinamica.

Al contrario, il problema che è oggi di importanza fondamentale è quello della complessità organizzata. Concetti come quello di organizzazione, di totalità, di tendenza direzionale, di teleologia e di differenziazione sono estranei alla fisica tradizionale. Essi tuttavia balzano fuori a ogni piè sospinto nelle scienze biologiche, comportamentiste e sociali, e sono, in realtà, indispensabili per trattare gli organismi viventi o i gruppi sociali. Pertanto un problema fondamentale che si pone di fronte alla scienza moderna è quello di una teoria generale dell'organizzazione.»

[L. von Bertalanffy]

L'approccio sistemico /2

«Si hanno delle **corrispondenze tra i principi che governano il comportamento** di entità che sono, intrinsecamente, molto diverse tra loro. Per esempio, una legge esponenziale di crescita si applica a certe cellule batteriche, a popolazioni di animali e di uomini, ai progressi della ricerca scientifica misurati mediante il numero delle pubblicazioni. Le entità in questione, quali i batteri, gli animali, gli uomini, i libri, ... sono completamente differenti le une rispetto alle altre, e questo vale anche per i meccanismi causali implicati. Ciò nondimeno, la legge matematica è la stessa. Oppure ci sono dei sistemi di equazioni che descrivono la competizione tra specie vegetali e animali in natura. Ma risulta che gli stessi sistemi di equazioni sono altrettanto bene applicabili in certi campi della chimica-fisica e dell'economia».

[L. von Bertalanffy]

Ancora comportamento...

▶ ... dunque enfasi sulla dimensione temporale...

▶ ... anche perché il feedback ha mostrato che una struttura anche molto semplice, ma appunto dotata di feedback, è in grado di esibire un comportamento complesso, in particolare relativamente a:

- **orientamento finalistico** (è l'insegnamento di base della cibernetica: con il feedback si riesce a imporre il mantenimento di set point: i famosi "servo-meccanismi" degli anni '50)
- **memoria** (a partire dal fatto che il feedback è funzione di auto-osservazione: per esempio in elettronica il più semplice circuito sequenziale, 1 bit di memoria, è il flip-flop, che tiene in feedback l'una sull'altra due porte logiche)

E la complessità spaziale?

▶ Anche a questo riguardo, la transizione da analitico a numerico ha giocato un ruolo rilevante, come dimostra l'esempio della teoria dei grafi / delle reti: tradizionalmente finalizzata a studiare, appunto con modalità analitiche, reti costituite da un numero di vertici non superiore a qualche decina, oggi con l'uso dei calcolatori si analizzano, ovviamente su base statistica, reti anche di milioni (miliardi?) di vertici
E ne emergono risultati nuovi, come il concetto di "rete di piccolo mondo" (*small-world network*), di natura pienamente strutturale

▶ E poi: «One of the most powerful intellectual tools for managing complexity is hierarchical ordering, that is, organizing related concepts into a tree structure with the most general concepts at the root.»

[B. Stroustrup, 1991]

Per (non) concludere

▶ L'approccio sistemico è in larga misura oggi diventato parte delle STIC...

... anche perché i sistemi software sono plausibilmente le entità artificiali più complesse spazio-temporalmente mai prodotte da esseri umani...

... e benché in origine *freddi* si stanno progressivamente *scaldando*:

Suggerisco, al proposito, uno sguardo all'object-orientedness (p.es.: UML) e al mondo (*in ebollizione...*) dei design pattern (aspect-orientation, dependency injection, ...)