

*Cooperazione di Agenti Informatici*  
*Corso di Laurea Specialistica in “Informatica”*  
*A.A. 2008/09*  
*Prof. Alberto Postiglione*

**UD 2.1.1: Sistemi Complessi (1)**

**Bibliografia dell'Unità Didattica**

- Gandolfi, A. “Formicai, imperi, cervelli, introduzione alla scienza della complessità”, Bollati Boringhieri, 1999
  - Introduzione
  - Capitolo 1 (pag. 17-22)

## Bibliografia di approfondimento su S.C.

- Gleick, J. “Caos. La nascita di una nuova scienza”, Superbur Scienza, 2000
- De Toni, A., Comello, L., “Prede o ragni, uomini e organizzazioni nella ragnatela della complessità”, UTET, 2005
- Tenna, P., Boero, R., Morini, R., Sonnessa, M. “Modelli per la complessità, la simulazione ad agenti in economia”, Il Mulino Strumenti, 2006
- Barabasi, Link. La scienza delle reti, Einaudi, 2004
- Buchanan, Nexus. Perché la natura, la società, l'economia, la comunicazione funzionano allo stesso modo, Mondadori, 2004

## Fonte delle Citazioni

- Annunziato M.: Caos, complessità e auto-organizzazione in “Energia Ambiente e Innovazione” n.5/1998 pp.57-69., <http://www.sci.unich.it/~aroli/dida/iasc/articoli/caos.pdf>
- Crichton, M. “Il mondo perduto”, Garzanti, 1997, Prefazione
- Film
  - Jurassic Park I
  - Minority Report

## Sistema

- Sistema è etimologicamente l'equivalente greco del latino "composizione" e vuole dire, più o meno, "stare con"

*sistēma* = *lat. SYSTĒMA* dal *gr. SYSTĒMA* composto della particella *SYN* *con, insieme*, e *-STĒMA* attinente all'iusitato *STĒNAI* pres. *ISTĒMI* *stare, collocare* (v. *Stare*).

Aggregato di parti, di cui ciascuna può esistere isolatamente, ma che dipendono e sono dalle altre secondo leggi e regole precise, e tendono a un medesimo fine; Aggregato di proposizioni su cui si fonda una dottrina; e anche Dottrina le cui varie parti sono fra loro collegate e seguono in mutua dipendenza; Complesso di parti similmente organizzate e sparse per tutto il corpo, quale il sistema linfatico, nervoso, vascolare ecc.

- E implica la presenza contemporanea di più componenti, o parti, o organi che non sono semplicemente messi alla rinfusa, ma che interagiscono tra di loro.
- E che la totalità presenta caratteristiche che non derivano dal puro accostamento degli elementi

## Riduzionismo

- **(Riduzionismo Scientifico)** Newton e Galileo ci hanno insegnato che nell'affrontare lo studio di un fenomeno fisico bisogna
  - scomporlo nelle sue componenti elementari, cominciando col liberarlo di tutti gli impedimenti esterni ed accidentali.
  - studiare il comportamento di ciascun componente
  - e quindi derivare il comportamento complessivo del sistema
- Con il riduzionismo
  - poniamo maggiore attenzione su **come sono fatte le cose**
  - Molto meno possiamo dire su **come funzionano le cose.**

## Riduzionismo e Sistemi Complessi

- La visione riduzionistica si scontra spesso con **la realtà, nella quale esistono sistemi “complessi”**, composti da
  - un numero di parti molto elevato
  - interconnessi in modo non lineare,per i quali è **impossibile analizzare separatamente ciascuna parte.**

## Olismo

- **Approccio Olistico** (più recente)
  - Dove il comportamento del sistema va interpretato come risultato delle relazioni tra le sue parti
  - Per esempio: il comportamento di uno stormo di uccelli non può essere spiegato dalla semplice descrizione del volo (posizione e velocità) degli uccelli, ma è il *risultato* dell'interazione dei singoli elementi.

## Esempio di un sistema complesso

- Ogni formica può svolgere vari ruoli: cercare cibo, raccogliere cibo, costruire il nido, tenere pulito il nido
- Nessuno ordina a una formica cosa deve fare
- Ogni formica è un “sistema semplice”
- Eppure una colonia di formiche è un sistema ben organizzato
- Una colonia di formiche è un sistema complesso!



## Esempi di sistemi complessi

- Cervello:
  - $10^{11} - 10^{12}$  neuroni (100-1.000 Miliardi)
  - Il numero di connessioni è  $10^{12} - 10^{13}$
- Mondo:  $10^{10}$  persone (10 Miliardi)
- Una foresta, I terremoti, Il clima
- Il cervello, il sistema nervoso, Le cellule, i tessuti
- Economia: aziende, economia nazionale, economia mondiale
- Linguistica: Linguaggi
- I sistemi sociali, Internet e il web
- Fisica: cristalli, plasmi, fluidi, laser
- Chimica: reazioni chimiche
- Un gruppo di robot, Un computer parallelo, I circuiti elettronici

## Esempi di sistemi complessi

- **Questi sono solo alcuni dei temi che la teoria della complessità si propone di affrontare**
  - Il comportamento di uno stormo di uccelli,
  - le dinamiche di un ingorgo stradale.
  - le fluttuazioni della Borsa
  - i comportamenti di cooperazione e competizione delle imprese.
  - il fenomeno del surriscaldamento globale
  - la diffusione dell'AIDS.

## Tutto (o quasi tutto) è complesso!

- Tutto (o quasi) ciò che ci circonda è complesso
  - La ditta in cui lavoriamo
  - Il clima terrestre
  - Un singolo batterio
  - L'economia mondiale
  - Bosco di castagni
  - Cultura di un popolo
  - Noi siamo sistemi complessi:
    - Cellule
    - Organi
    - Sistemi (linfatico, respiratorio, cardiovascolare, ...)

## Tutto (o quasi tutto) è complesso!

- Conosciamo ancora poco su
  - Comportamenti
  - Strutture
  - Regolaritàdei Sistemi Complessi
- Perché?
  - Perché per studiare gli oggetti complessi ci vogliono computer e algoritmi potenti ed efficaci per il trattamento di quantità enormi di informazioni.

## Nascita dello studio dei Sistemi Complessi

- **Lo studio della complessità prende l'avvio dalla consapevolezza della scarsa conoscenza dei fenomeni che accadono attorno a noi**
- Lo sviluppo della teoria della complessità è stato tumultuoso, disordinato, multidisciplinare.
- È così possibile trovare, nell'ambito della complessità, **contributi di fisici, matematici, informatici, biologi, filosofi, letterati, economisti, studiosi di management e quant'altro.**

## Nascita dello studio dei Sistemi Complessi

- Essa si è sviluppata, a partire dagli anni '60, dalla confluenza di numerosi flussi culturali
  - Il punto di partenza è rappresentato dalle ricerche nel campo della termodinamica del Nobel **Ilya Prigogine** (1917-2003).
  - Altro contributo importante è dovuto alla nascita e allo sviluppo della teoria del caos (cfr. **Gleick**)

## All'inizio fu il ... caos

- I sistemi caotici sono dappertutto.
- Non si può prevedere esattamente il comportamento di un sistema caotico
- Imprevedibili e microscopiche fluttuazioni si possono amplificare fino a stravolgere tutto il sistema.
- Un sistema caotico ritorna periodicamente su comportamenti simili, mai però identici.
- **Un sistema caotico, pur se imprevedibile, è però governato da leggi incredibilmente semplici.**
- La teoria del caos è parte integrante di una visione più globale della Natura, la Scienza della Complessità

## Simile ... mai uguale

- Teoria del caos porta ventata di anarchia nell'ordinato mondo scientifico tradizionale.
  - In passato si credeva che la imprevedibilità di un sistema derivasse dall'inadeguatezza degli strumenti a disposizione,
  - **Con la teoria del caos si è invece dimostrato che l'impossibilità di prevedere il comportamento di un sistema caotico è intrinseca al sistema stesso e non dipende dagli strumenti disponibili**
  - Cioè, non si potrà mai prevedere esattamente il comportamento di un sistema caotico, nemmeno in presenza di strumenti tecnologici di potenza infinita.
  - E' in sistema che non presenta possibilità di previsione.

## Area Interdisciplinare

- La SDC è la prima area completamente interdisciplinare
- La sua importanza crescerà ancora in futuro, con l'aumento di complessità dei sistemi che è chiamata a gestire

## Approccio

- La Teoria dei Sistemi è una disciplina ben radicata nel mondo delle discipline scientifiche e fa uso di strumenti matematici complessi
- Questo approccio si adatta bene ad applicazioni nell'ambito dell'informatica, della chimica, della fisica e dei settori tecnologici che operano con sistemi digitali.
- L'approccio matematico è molto meno operativo quando si entra nel mondo dei fenomeni naturali, sociali, economici, che non sono misurabili con precisione.
- Siamo quindi interessati a trattare i Sistemi Complessi da un punto di vista qualitativo.

## Sistemi Complessi

- La Teoria dei Sistemi Complessi
  - Parte dalla convinzione che sotto la complessità del mondo si celi un ordine che non è possibile studiare con i metodi della scienza riduzionista
  - studia il modo in cui si organizzano le componenti elementari di un sistema per dar vita ad un "tutto" che sia più della somma delle parti.
- Gli studi sulla complessità sgretolano le certezze illuministiche di prevedere il futuro di ogni sistema partendo dalle sue condizioni iniziali, introducendo il concetto di **caos deterministico**.

## Sistemi Complessi

- E' possibile elencare i tratti caratteristici dei sistemi complessi?
- E' possibile definire il profilo di un sistema complesso, in modo da riconoscerlo nella vita di tutti i giorni?
- ? I Sistemi Complessi hanno caratteristiche generali di tipo
  - Strutturale
  - Funzionale
- I sistemi complessi non possono essere gestiti con gli strumenti disponibili per i sistemi semplici

## Sistemi Complessi

- Esistono regole valide per tutti i sistemi complessi?
  - Non è ancora dimostrato, ma è molto probabile
  - La Scienza della Complessità è ancora giovane e in piena evoluzione
  - Le conoscenze che abbiamo sul mondo della complessità sono ancora poche e lacunose
  - La disciplina non ha ancora la maturità della fisica o della matematica
  - Ma tutte le esperienze portano a concludere che sotto l'apparente diversità dei fenomeni "complessi", sia naturali che artificiali si cela un'elegante semplicità di strutture e comportamenti

*Cooperazione di Agenti Informatici*  
*Corso di Laurea Specialistica in "Informatica"*

*A.A. 2008/09*

*Prof. Alberto Postiglione*

**ANATOMIA DI UN SISTEMA  
COMPLESSO**

**Cos'è un Sistema Complesso**

- Non esistono formule matematiche per classificare in modo oggettivo un sistema come complesso.
- Non esiste nemmeno una definizione universalmente accettata di Sistema Complesso.
- Ogni autore mette in risalto alcuni aspetti tralasciandone altri. Noi faremo riferimento agli autori citato in bibliografia e, in particolare, a Gandolfi.
- Esistono però delle caratteristiche comuni a tutti i sistemi complessi.

## Cos'è un Sistema Complesso

- In prima approssimazione possiamo dire che **un sistema complesso** è un'entità unica, organica (Gandolfi, pag 19)
  - composta da **numerosi elementi**
  - che interagiscono con l'ambiente, cioè è un **sistema aperto**
  - che tra di loro **interagiscono in modo non lineare**.
    - Oggetto della parte 2.1.2 del corso
  - generalmente **organizzati in modo gerarchico**
    - Oggetto della parte 2.1.3 del corso
  - e dinamica, capace cioè di **evolvere e adattarsi all'ambiente**
    - Oggetto della parte 2.1.4 del corso

## Sistemi Complessi: elementi

- Un sistema complesso **non è semplicemente un raggruppamento di elementi**.
- Ma è caratterizzato dal fatto che **questi elementi sono strutturati, interagiscono e si evolvono adattandosi all'ambiente**
- Ad esempio, un mucchio di sabbia non è un sistema complesso, anche se formato da tantissime parti in quanto
  - È un insieme non strutturato di elementi
  - i granelli non interagiscono tra di loro, non comunicano, e il loro comportamenti non è influenzato reciprocamente
  - Non si adattano all'ambiente né mutano struttura evolvendo

## Sistemi Complessi: elementi

- Una città è costituita da tante componenti molto complesse: insetti, topi, persone, strade, edifici, automobili, fognie, campi elettromagnetici...
- Un computer è costituito da tante componenti moderatamente complesse: circuiti integrati, cavi, alimentatore...



## Sistemi Complessi: Sistemi Aperti

- **Un Sistema Aperto è in comunicazione con l'ambiente** attraverso dei flussi, che possono essere (Gandolfi, pag. 20)
  - Materiali
  - Energetici
  - Informativi
- Un sistema aperto
  - riceve degli input
  - li elabora
  - restituisce degli output
- **In Natura tutti i sistemi sono aperti.**
- I sistemi chiusi sono delle astrazioni teoriche utilizzate per studiare i comportamenti al limite dei sistemi

## Esempi di Sistemi Aperti

- Il sistema solare è un esempio di sistema aperto: lo attraversano comete e polvere interstellare
- Anche una fabbrica è un sistema aperto: entrano materie prime ed energia; escono prodotti finiti e scorie



## Esempi di Sistemi Aperti

- Anche gli organismi sono sistemi aperti: entrano acqua, cibo e luce solare; escono semi e prodotti di scarto

