

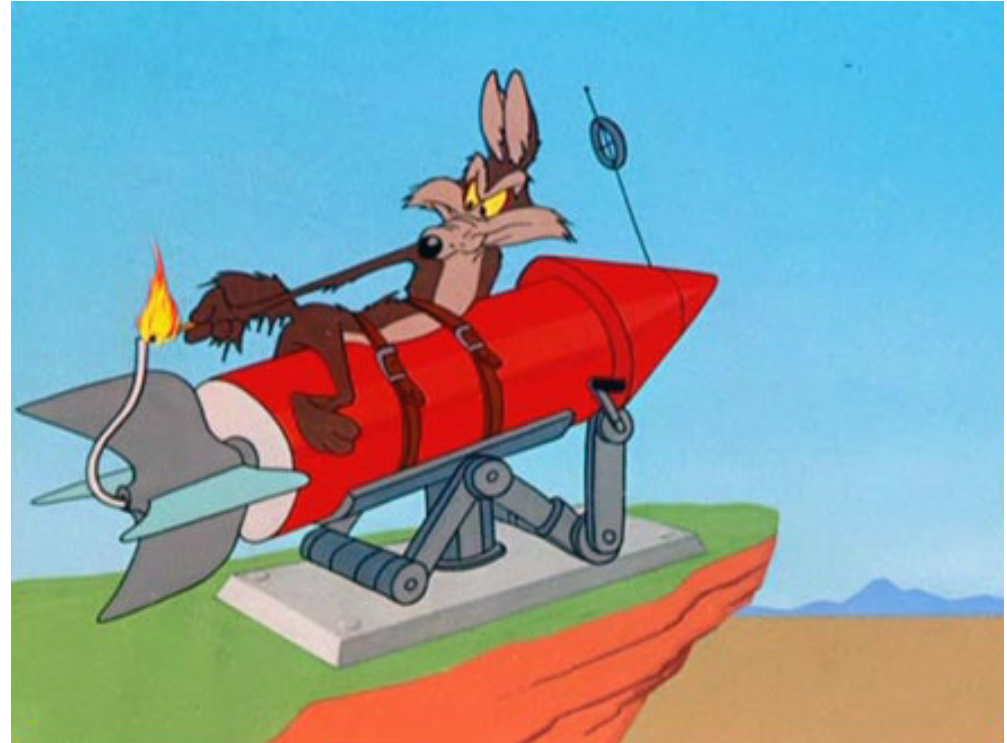
Viaggio all'interno dei Sistemi Complessi tra interdisciplinarietà e nuove tecnologie

Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Catania

Ministero dell'Università e della Ricerca - Iniziative per la diffusione
della cultura scientifica – Progetti annuali legge 6/2000

Prof. Ing. L. Fortuna, Ing. C. Bonomo, Ing. M. Frasca, Ing. G. Sciuto

Complesso, non complicato!



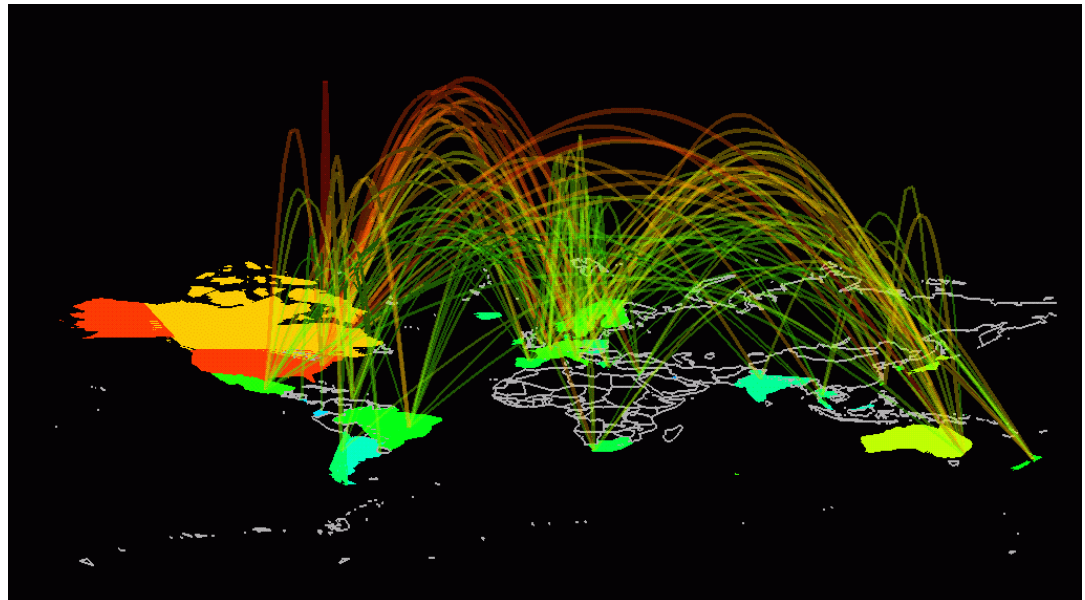
Un esempio di sistema complesso

- 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!



Sistemi complessi

- Nei sistemi complessi, le singole parti che li compongono sono semplici, ma **interagendo** tra di loro danno luogo a un comportamento molto più complesso
- Le parti che compongono un sistema complesso non sono organizzate dall'esterno, ma si **auto-organizzano**



Sistemi complessi

- Una foresta
- I terremoti
- Il clima
- I magneti
- Le formiche
- I sistemi sociali
- Internet e il web
- Il cervello, il sistema nervoso
- Le cellule, i tessuti
- Un gruppo di robot
- Un computer
- I circuiti elettronici
- ...



More than the sum of its parts: complex systems, such as highways, are constantly evolving.

Sistemi lineari e non lineari

LINEARE

- Una resistenza

- $y=mx+n$

-

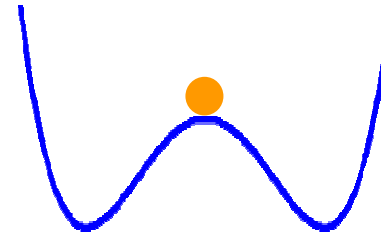


NON LINEARE

- Un transistor

- $y=x^2+c$

-



I sistemi complessi sono non lineari!

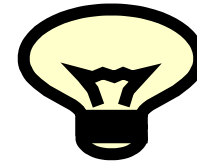
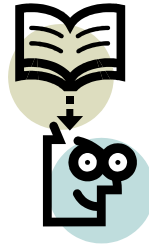
Benedetto sia 'l giorno, e 'l mese, e l'anno

Francesco Petrarca

Benedetto sia 'l giorno, e 'l mese, e l'anno,
e la stagione, e 'l tempo, e l'ora, e 'l punto,
e 'l bel paese, e 'l loco ov'io fui giunto
da' duo begli occhi, che legato m'hanno;
e benedetto il primo dolce affanno ch'i' ebbi ad esser con Amor congiunto,
e l'arco, e le saette ond'i' fui punto,
e le piaghe che 'n fin al cor mi vanno.
Benedette le voci tante ch'io
chiamando il nome de mia donna ho sparte,
e i sospiri, e le lagrime, e 'l desio;
e benedette sian tutte le carte
ov'io fama l'acquisto, e 'l pensier mio,
ch'è sol di lei, sì ch'altra non v'ha parte.

Come si studiano i sistemi complessi?

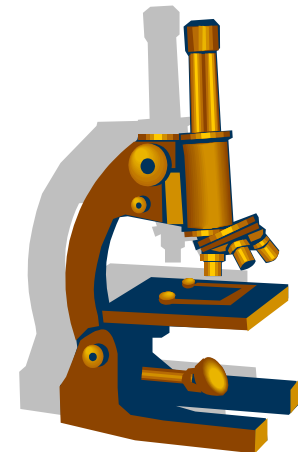
- Si formulano ipotesi e modelli matematici



- Si simulano i modelli al calcolatore



- Si fanno esperimenti e si analizzano dati



Alcuni fenomeni emergenti nei sistemi complessi

- Il caos
- La sincronizzazione
- Il comportamento collettivo
- La struttura

Alcuni fenomeni emergenti nei sistemi complessi

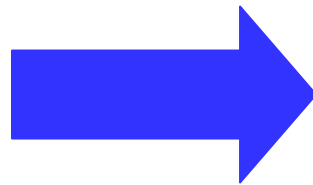
- Il caos
- La sincronizzazione
- Il comportamento collettivo
- La struttura

Il caos



Comportamento imprevedibile,
anche se è noto il *modello* del
fenomeno

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x) \\ \dot{y} &= rx - y - xz \\ \dot{z} &= xy - bz\end{aligned}$$

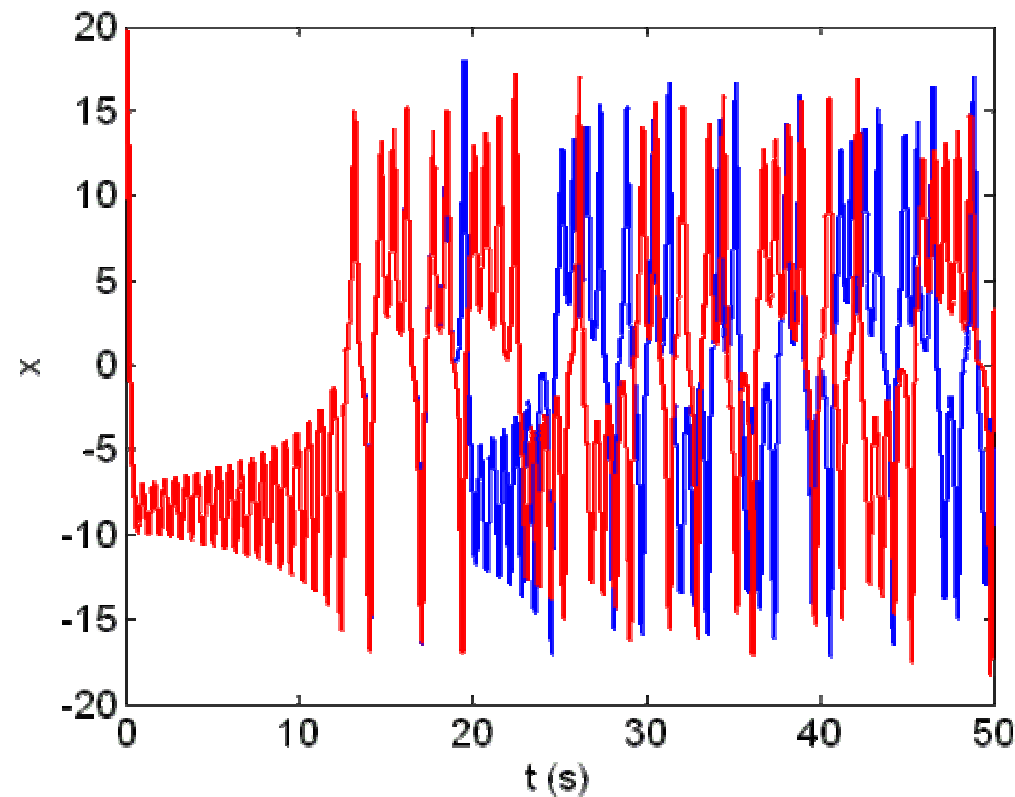


Crittografia
(messaggi
segreti)

Quando nasce il caos?



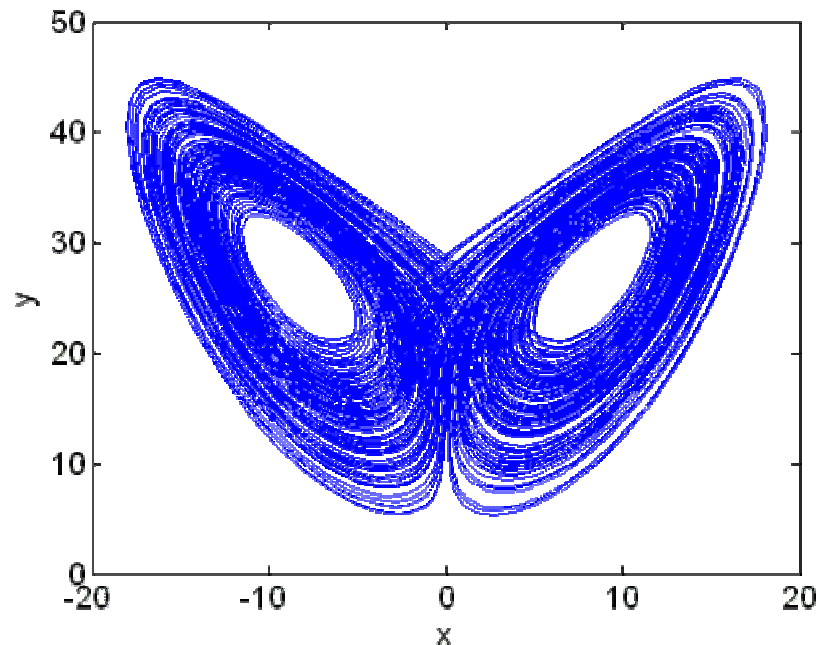
Nel 1963 Edward Lorenz mentre studiava un modello di predizione del tempo si accorse che da un giorno all'altro i risultati delle sue simulazioni cambiavano...



Da dove nasce il caos?

Il caos:

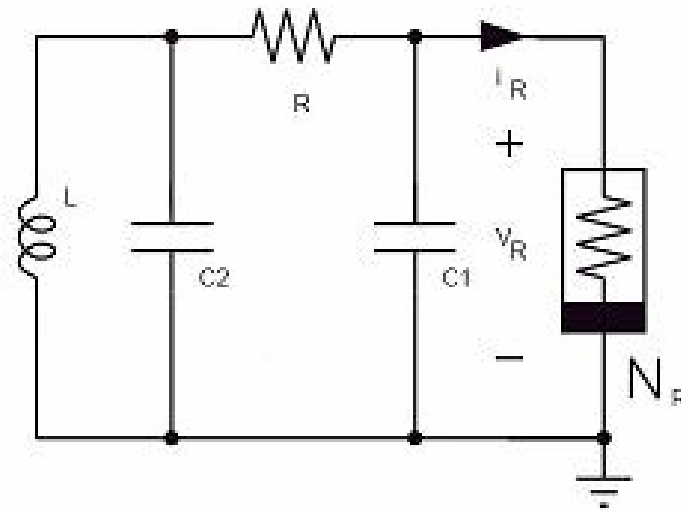
- modello deterministico
- forte dipendenza dalle condizioni iniziali
- comportamento aperiodico imprevedibile nel lungo periodo



Chaotic waterwheel



Il caos nei circuiti elettronici: il circuito di Chua

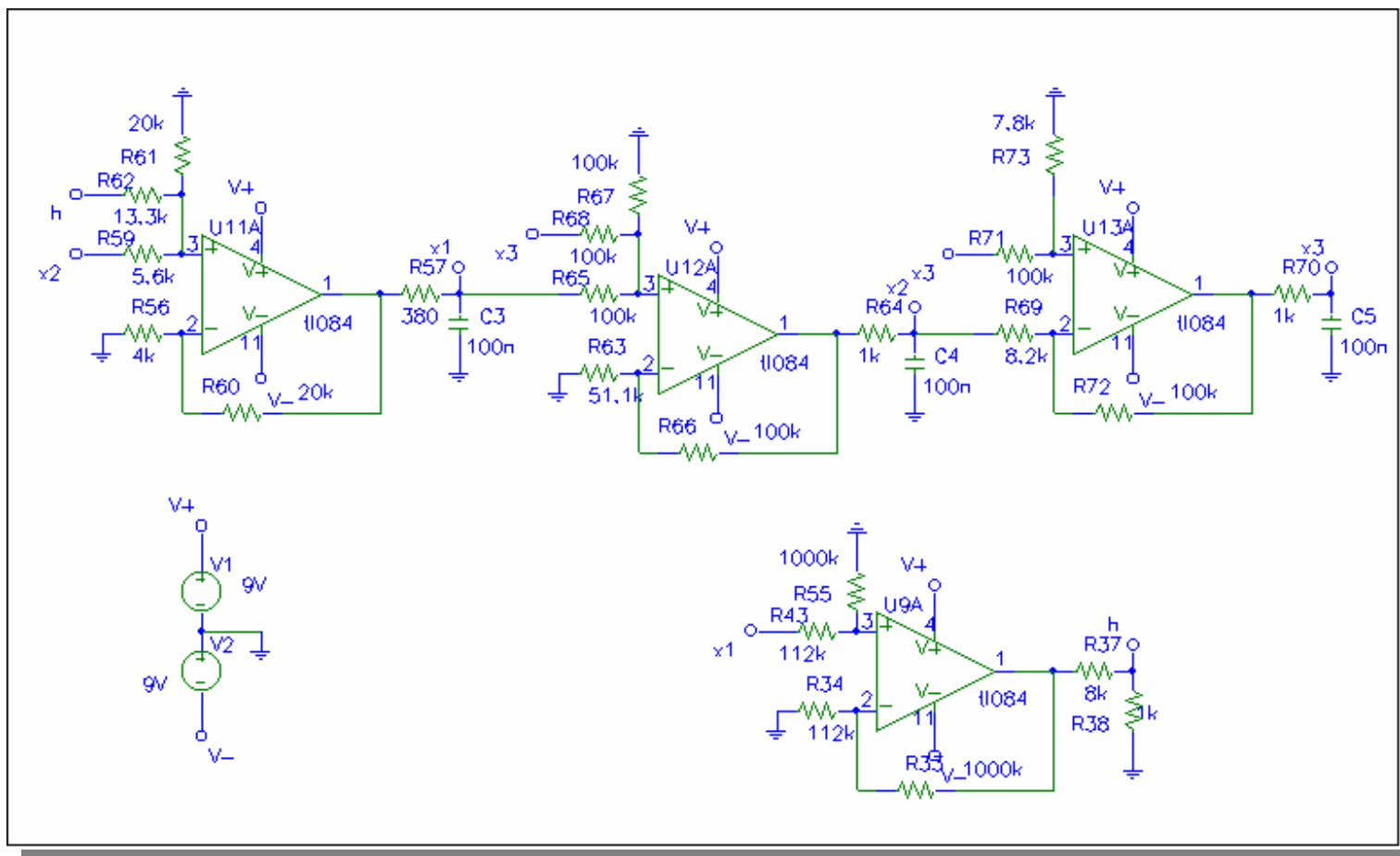


Il primo circuito caotico fu inventato nel 1983 da Leon Chua.

Nel 2008 si festeggeranno i venticinque anni del circuito di Chua, proprio a Catania!



Il caos nei circuiti elettronici



Alcuni fenomeni emergenti nei sistemi complessi

- Il caos
- La sincronizzazione
- Il comportamento collettivo
- La struttura

La sincronizzazione

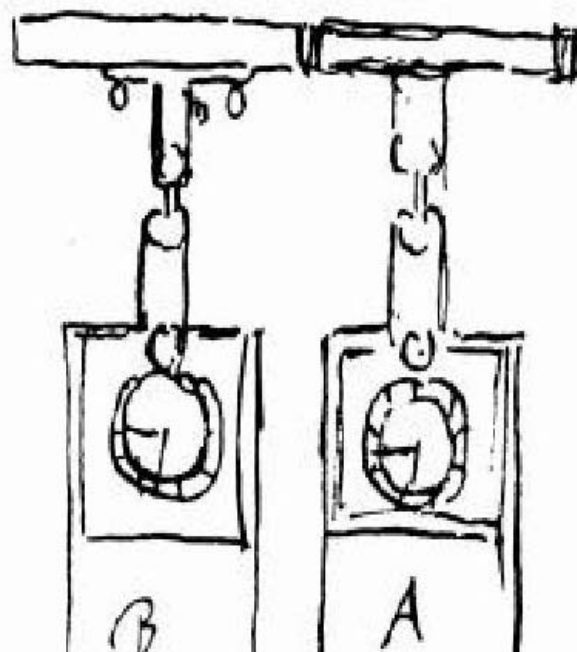
huygens'

V.^o

clocks

1665.

[Fig. 75.]²⁾



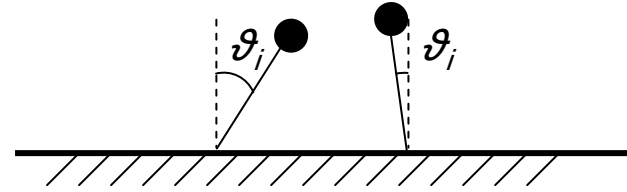
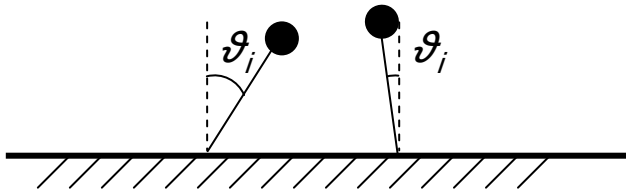
22 febr. 1665.

Diebus 4 aut 5 horologiorum duorum novorum in quibus catenulae [Fig. 75], miram concordiam observaveram, ita ut ne minimo quidem excessu alterum ab altero superaretur. sed consonarent semper recipro- cationes utriusque perpendiculi. unde cum parvo spatio inter se horologia distarent, sympathiae quandam³⁾ quasi alterum ab al- tero afficeretur suspicari coepi. ut experimen- tum caperem turbavi alterius penduli reditus ne simul incederent sed quadrante horae post vel semihora rursus concordare inveni.

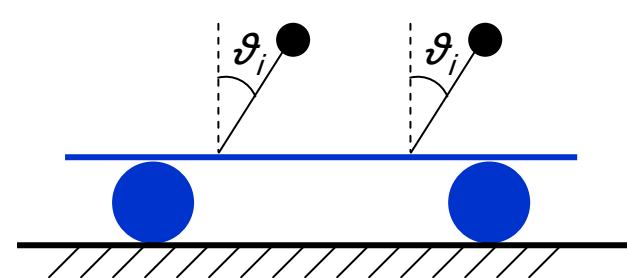
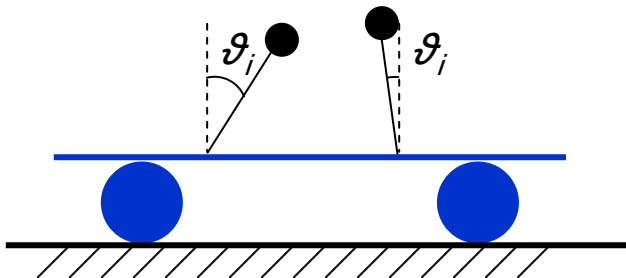


Christiaan Huygens
1657

La sincronizzazione



I metronomi non si sincronizzano



I metronomi si sincronizzano

Sistemi che si sincronizzano



Fireflies flashing in sync on the river banks of Malaysia



*Say's firefly, in the US
(Arwin Provonsha, Purdue Dept of Entomology, IN)*

- Ogni lucciola emette flash luminosi con un ciclo interno regolare
- Ogni lucciola aggiusta la sua frequenza di flash in funzione dei suoi vicini

Sistemi che si sincronizzano

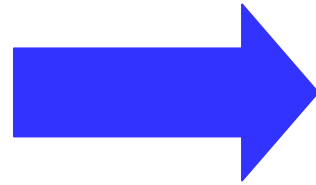


Alcuni fenomeni emergenti nei sistemi complessi

- Il caos
- La sincronizzazione
- Il comportamento collettivo
- La struttura



Sistemi di controllo innovativi



Algoritmi per il controllo decentralizzato e la cooperazione di gruppi di robot

[Video](#)

Formazione di pattern



Sand dunes
(Scott Camazine, <http://www.scottcamazine.com>)



*Rayleigh-Bénard convection cells
in liquid heated uniformly from below*
(Scott Camazine, <http://www.scottcamazine.com>)



Formazione di auto-onde



Le equazioni di reazione-diffusione



Turing

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f(u) + D\nabla^2 u$$



Belousov



Zhabotinskii

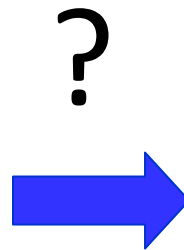


Alcuni fenomeni emergenti nei sistemi complessi

- Il caos
- La sincronizzazione
- Il comportamento collettivo
- La struttura

Qual è la distanza tra Charles Chaplin e Giovanna Mezzogiorno?

- Due attori hanno distanza 1 se hanno recitato insieme in un film
- Due attori hanno distanza 2 se ciascuno dei due ha recitato in un film insieme a un terzo attore
- ...



Qual è la distanza tra Charles Chaplin e Giovanna Mezzogiorno?



3
→



The Oracle says: Charles Chaplin has a Giovanna Mezzogiorno number of 3.

Charles Chaplin was in Countess from Hong Kong, A (1967) with Geraldine Chaplin
Geraldine Chaplin was in Melissa P. (2005) with Marcello Mazzarella
Marcello Mazzarella was in Notturmo bus (2007) with Giovanna Mezzogiorno

http://oracleofbacon.org/star_links.html

<http://oracleofbacon.org/>

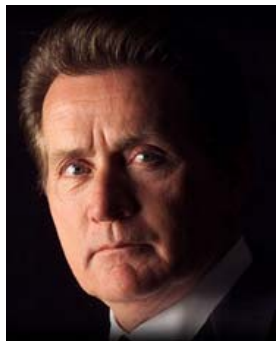
<http://www.imdb.com/>



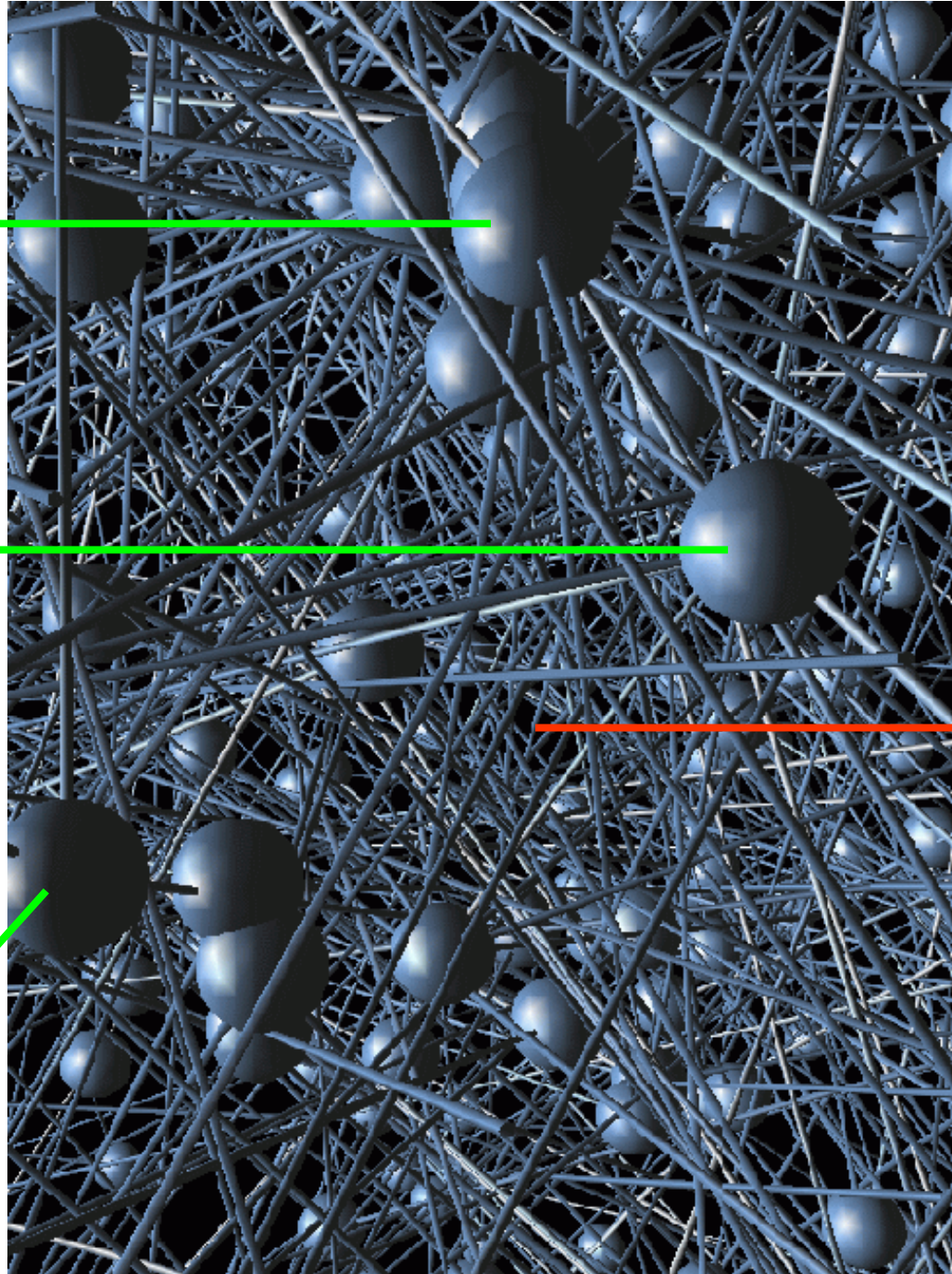
#1 Rod Steiger



#2 Donald
Pleasence



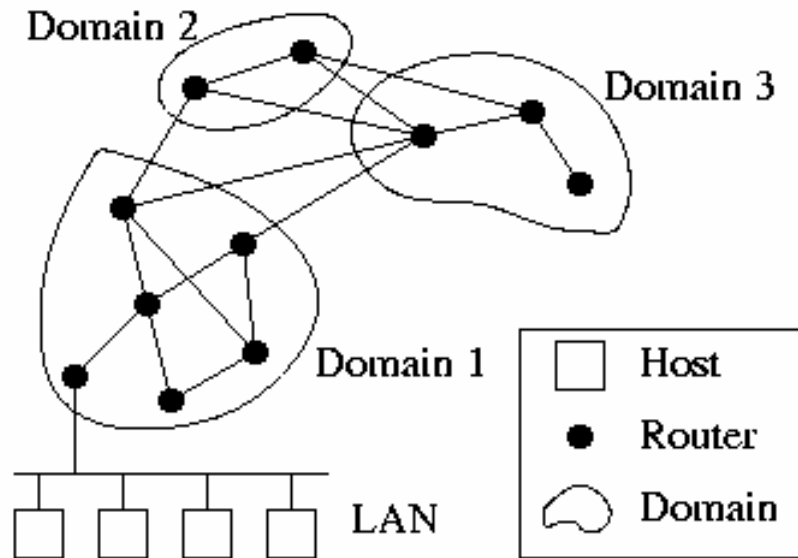
#3 Martin Sheen



#876
Kevin Bacon

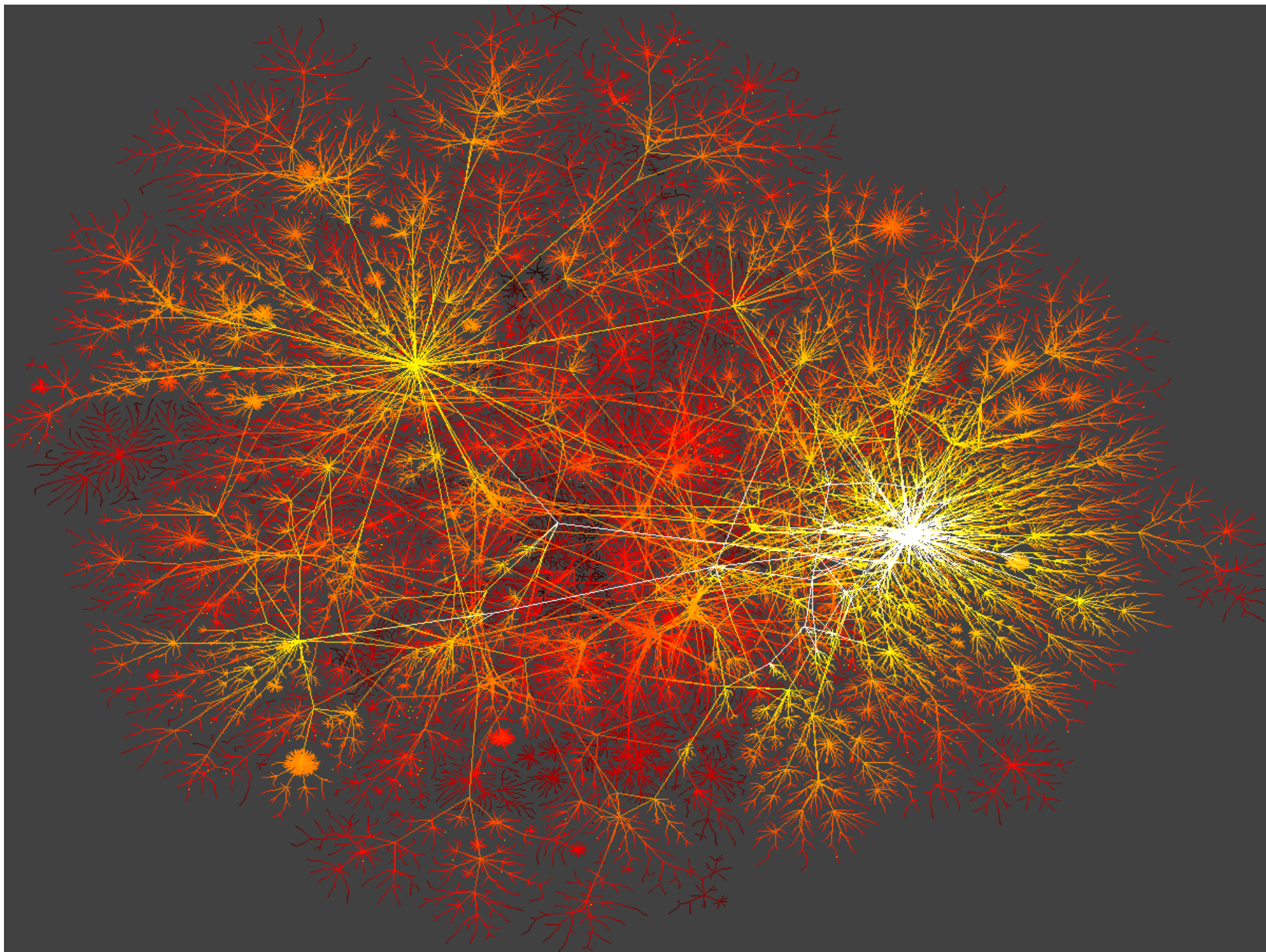


Internet



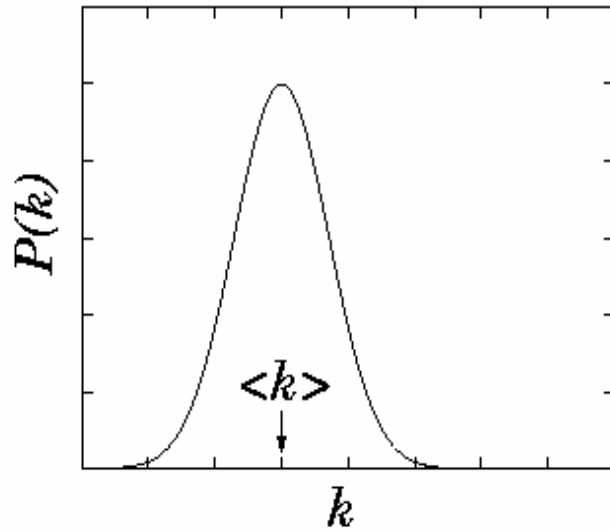
Nodi: computer, router

Connessioni: linee fisiche

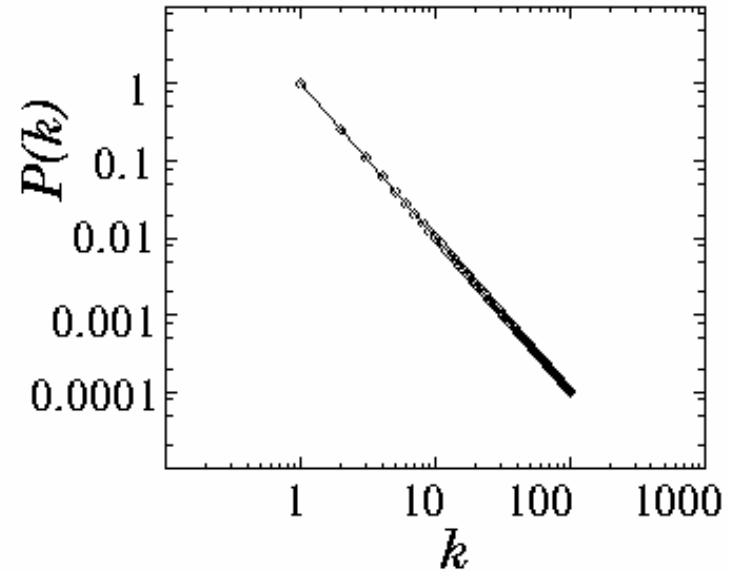


Quante connessioni?

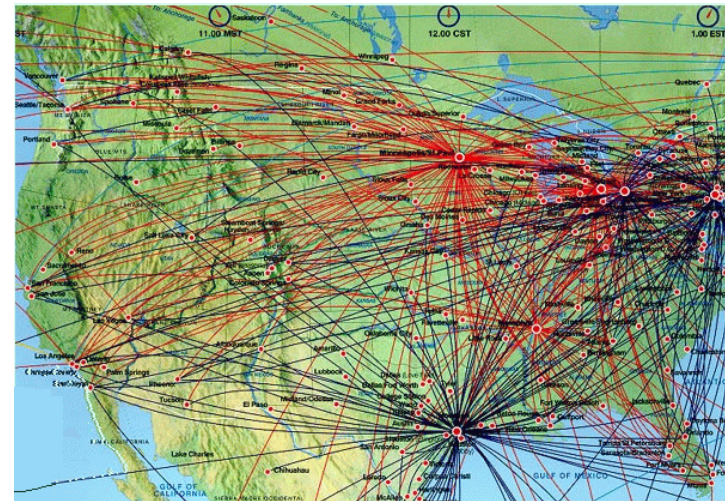
Poisson distribution



Power-law distribution

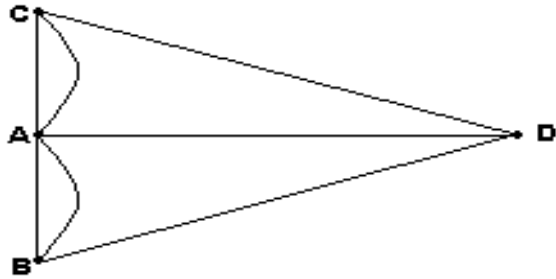


Exponential Network



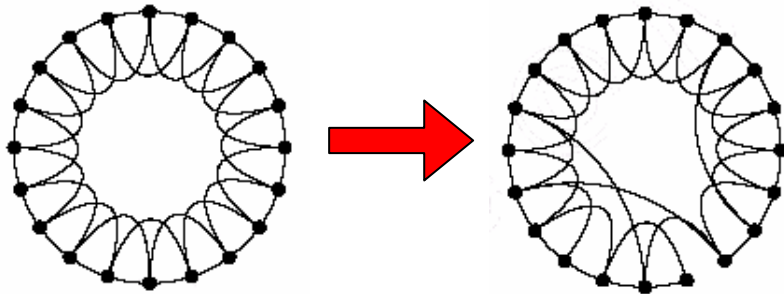
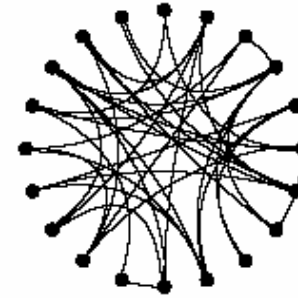
Scale-free Network

Struttura di reti complesse



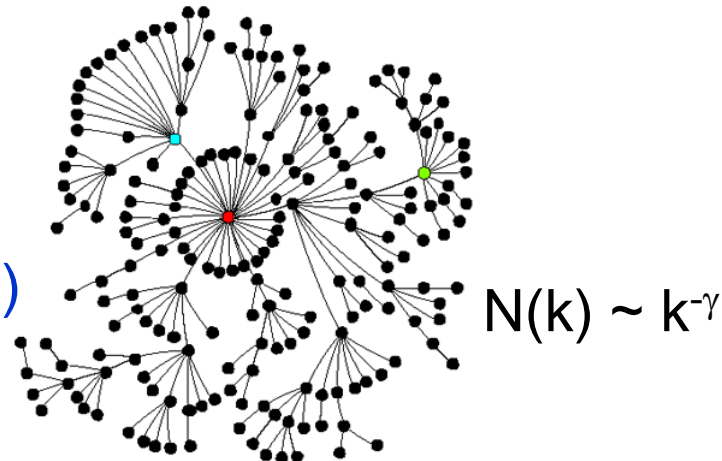
Königsberg Bridges Problem
Euler (1736)

Random Network
Erdos & Renyi (1959-68)

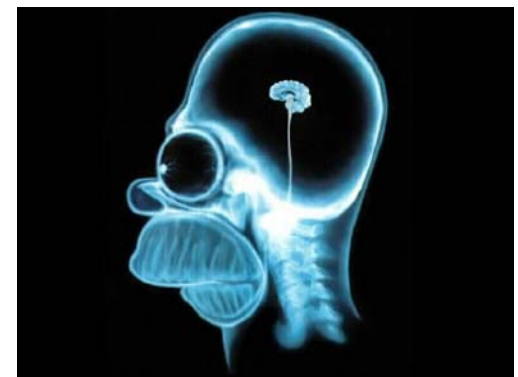
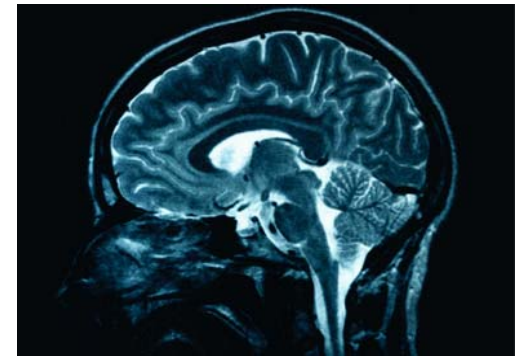
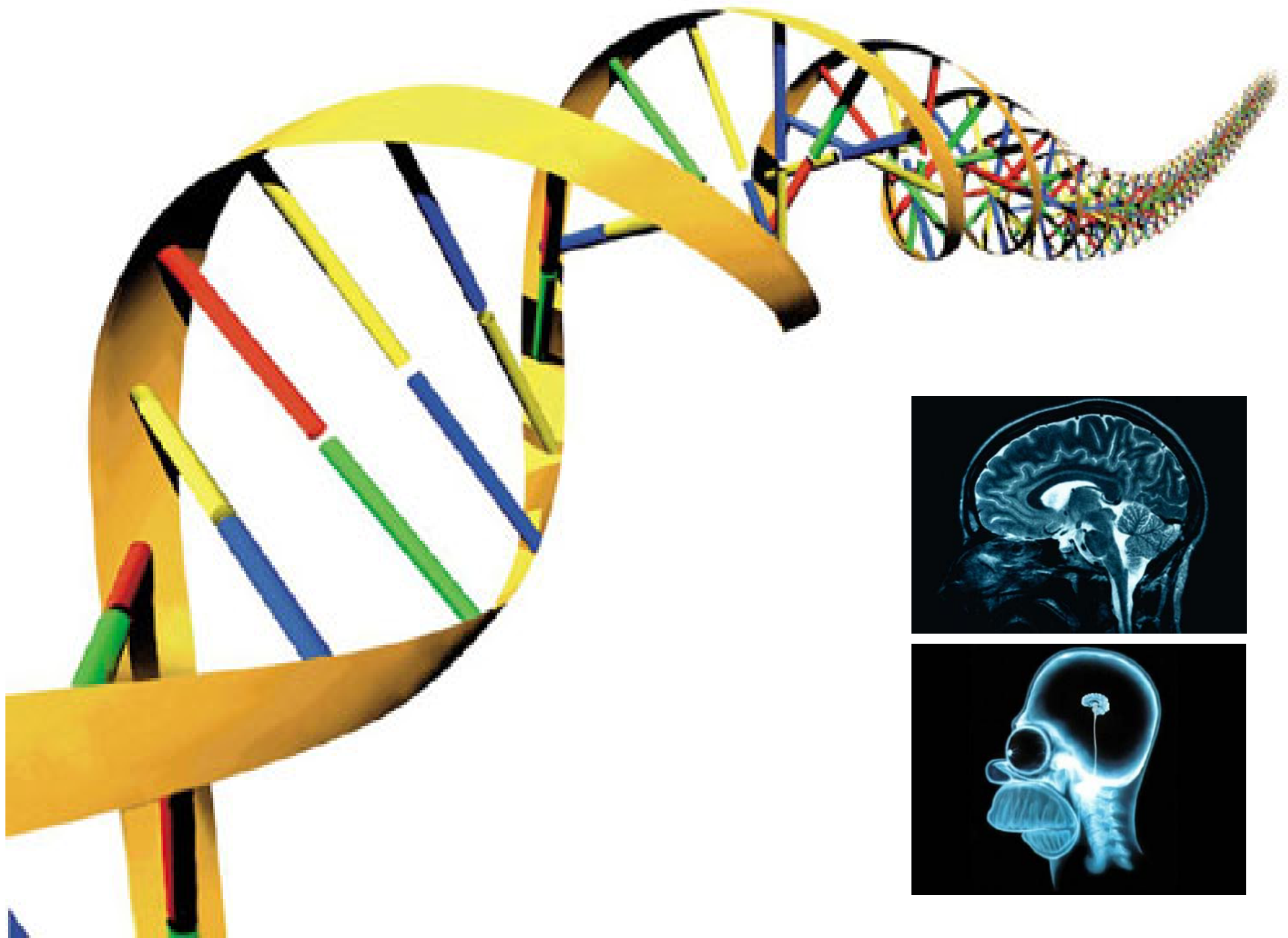


Small-World Network
Watts & Strogatz (1998)

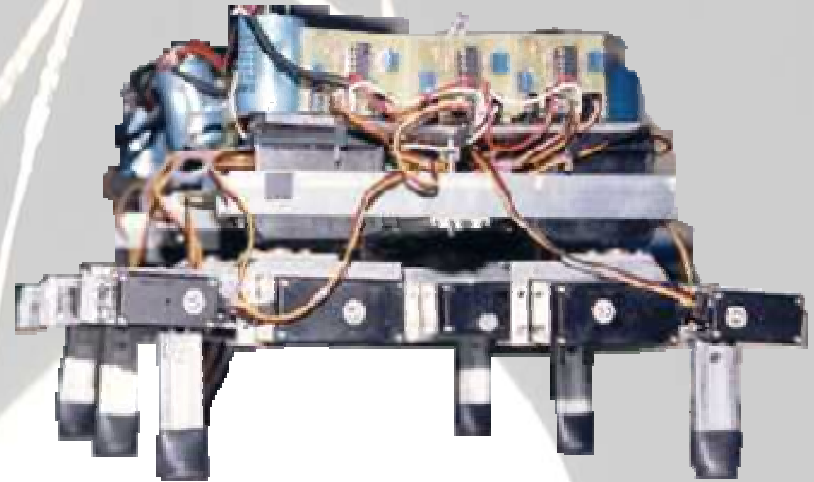
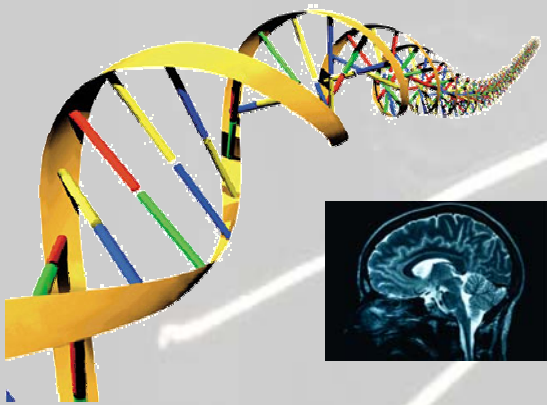
Scale-Free Network
Barabasi & Albert (1999)



$$N(k) \sim k^{-\gamma}$$



Robotica bio-ispirata



Bio-inspired robots: video

Conclusioni

- Sistemi complessi – sistemi formati da molte unità interagenti che danno luogo a un comportamento molto più complesso della somma delle singole parti
- Sistemi auto-organizzati
- Sistemi con caratteristiche emergenti: struttura, comportamento collettivo, caos, sincronizzazione

Lecture consigliate

- Barabasi, *Link. La scienza delle reti*, Einaudi, 2004
- Buchanan, *Ubiquità. Dai terremoti al crollo dei mercati: la nuova legge universale dei cambiamenti*, Mondadori, 2003
- Buchanan, *Nexus. Perché la natura, la società, l'economia, la comunicazione funzionano allo stesso modo*, Mondadori, 2004

Per dubbi, domande, curiosità...

www.ecc10.diees.unict.it/ViaggioSistemiComplessi.htm

- mfrasca@diees.unict.it
- cbonomo@diees.unict.it