

Alessandro Pluchino

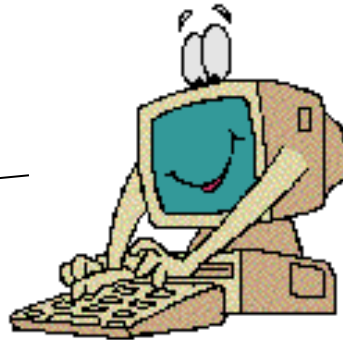
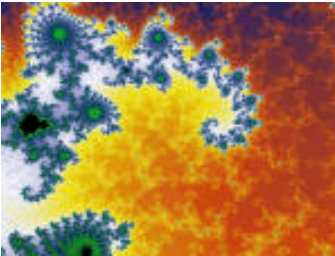
**Dipartimento di Fisica e Astronomia
dell'Università di Catania**

Simulare la Complessità

**Punti Critici, Reti e Leggi di Potenza:
Introduzione alla nuova scienza
dei Sistemi Complessi**

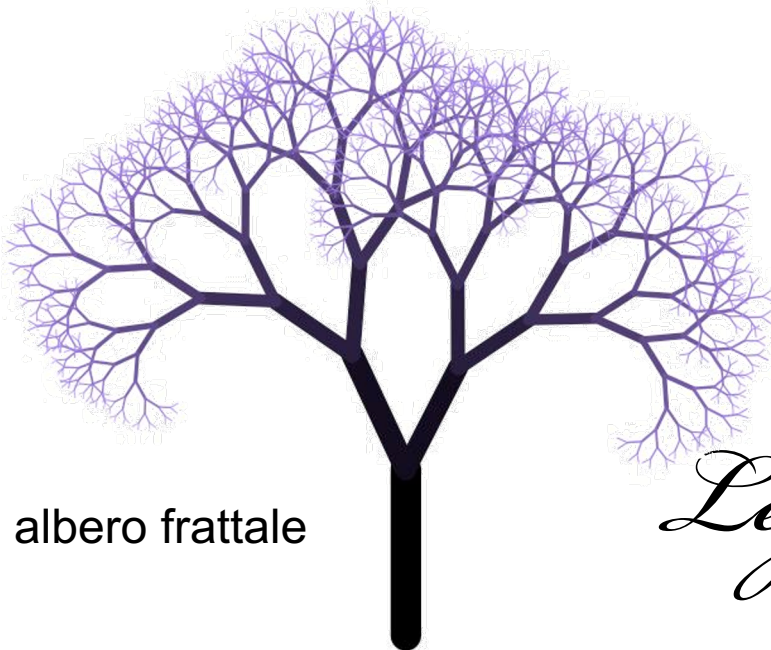
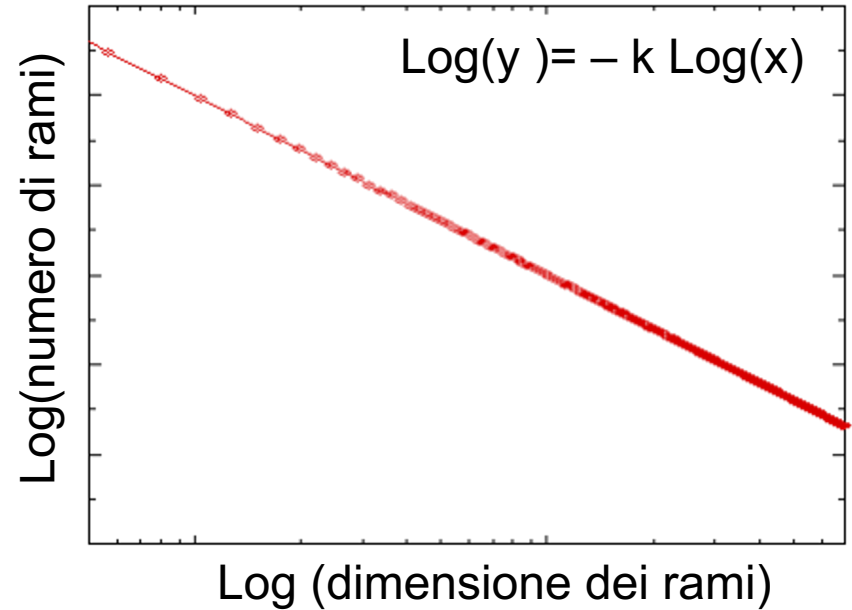


Autosimilarità e Invarianza di Scala



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

**La 'firma' matematica
dell'autosimilarità e della
invarianza di scala è la
legge di potenza!
(power law)**



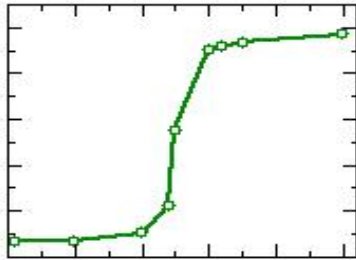
albero frattale

$$y = x^{-k}$$

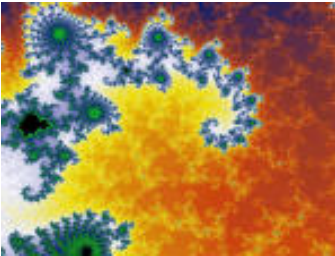
Legge di Potenza



**Non linearità e
Soglie Critiche**



**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**



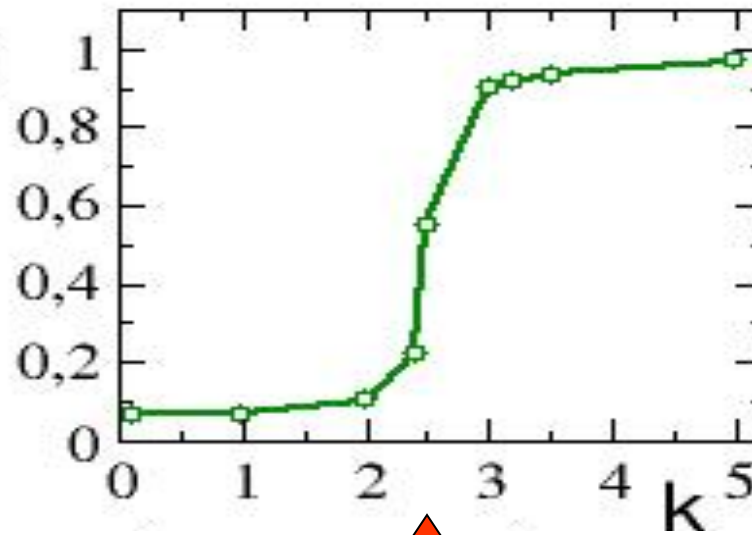
**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Non linearità e Soglie critiche

I sistemi non lineari di solito non cambiano gradualmente ma attraversano delle **SOGLIE CRITICHE** dopo le quali la loro **struttura** (nello spazio) e/o il loro **comportamento** (nel tempo) cambia drasticamente...

**parametro
d'ordine**

M



**parametro di
controllo**

Punto Critico



i terremoti

le valanghe



gli incendi

Le guerre



i crolli in Borsa

Le epidemie

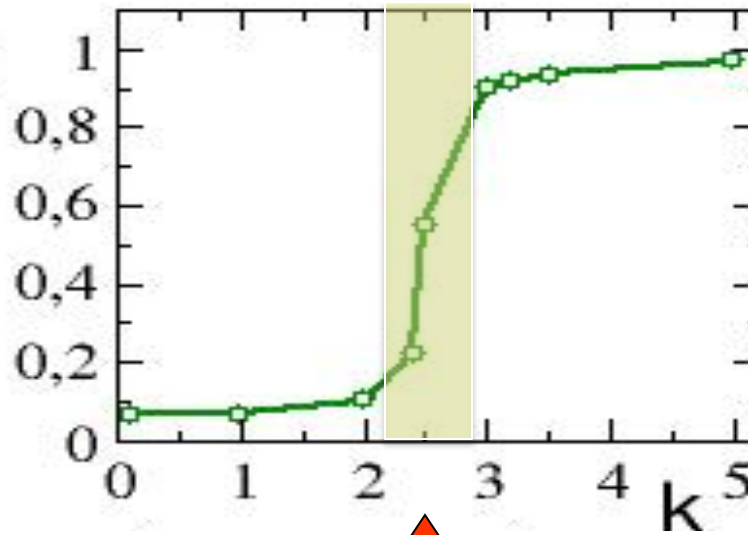


Alcuni sistemi non hanno bisogno che questa soglia venga regolata dall'esterno, ma si portano **spontaneamente** nella zona critica...

parametro d'ordine



M



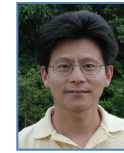
parametro di controllo



Stato Critico

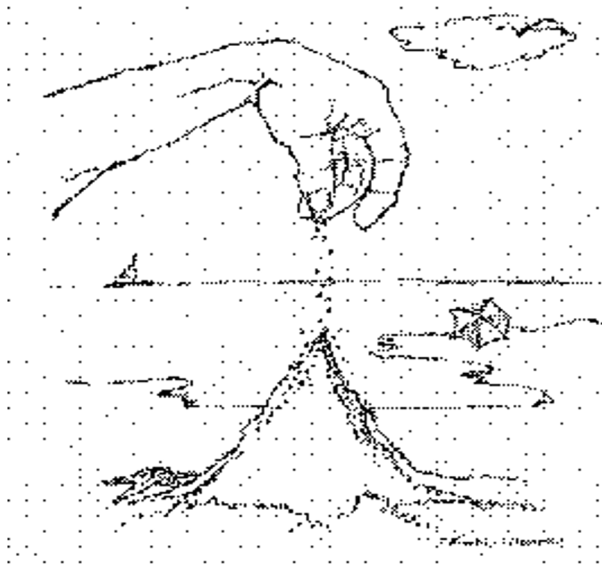


La Criticità Auto-organizzata



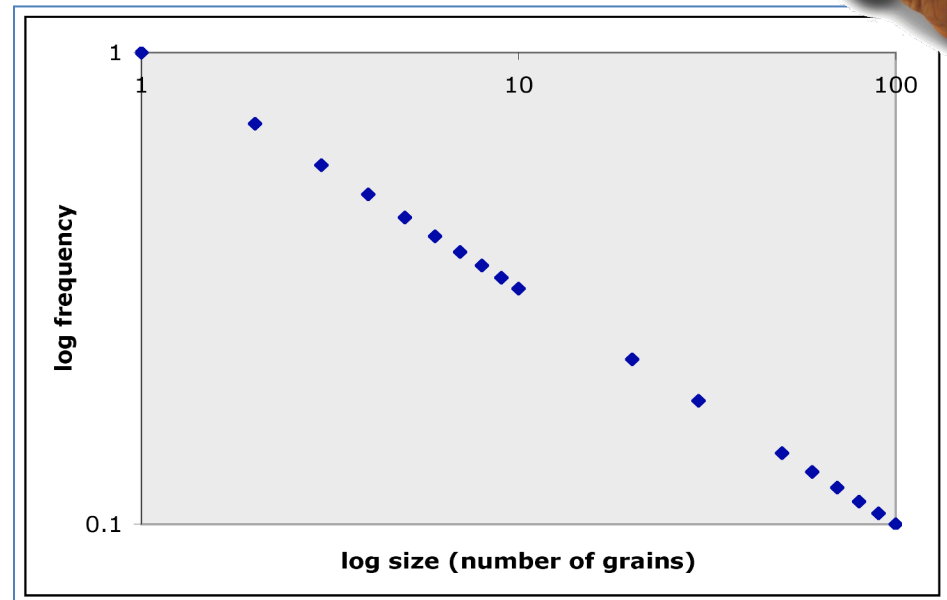
Nel 1987, studiando la **formazione delle “valanghe”** in un mucchietto di sabbia (sandpile), tre ricercatori americani, Per Bak, Chao Tang e Kurt Weisenfeld scoprirono un importante meccanismo fisico generatore di complessità, noto come **“criticità auto-organizzata”**, il quale permette di capire come molti sistemi, apparentemente assai diversi tra loro, siano tutti riconducibili a un semplice modello matematico dotato della stessa logica di base ma anche di una stessa **“firma matematica”**

Sandpile Model



P.Bak, C.Tang and K.Weisenfeld, PRL 59 (1987)

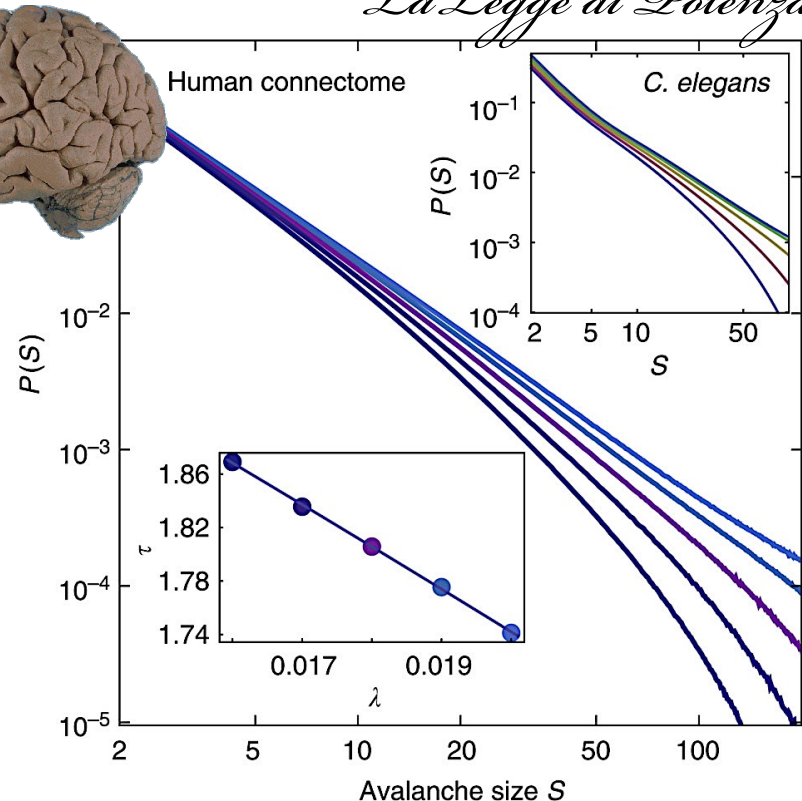
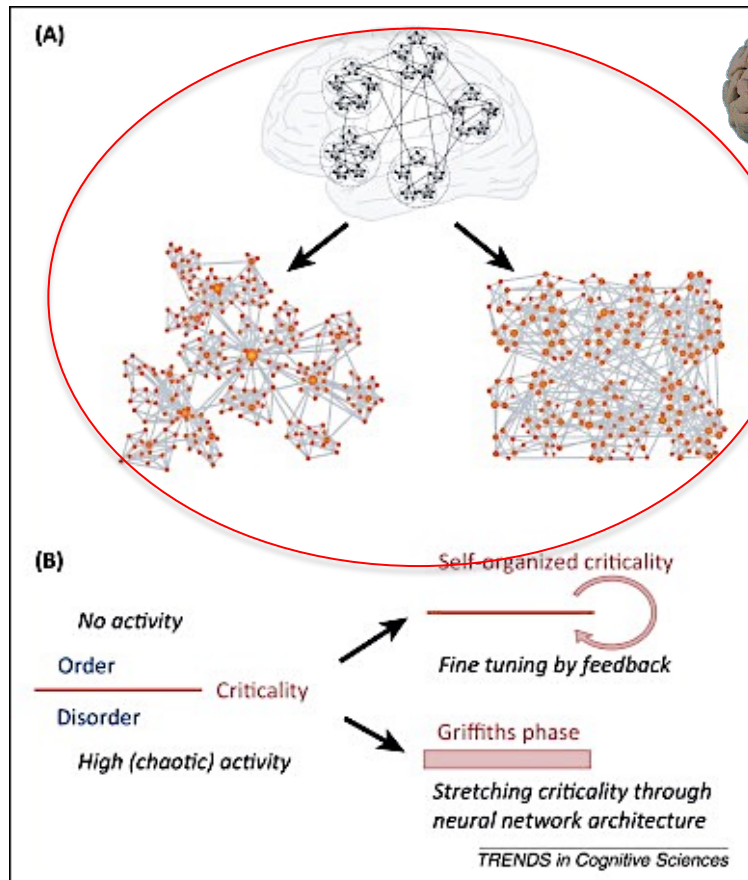
La Legge di Potenza



Criticità Auto-organizzata nel Cervello Umano

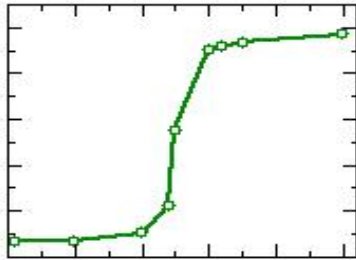
LE DINAMICHE SOC DEI MERCATI FINANZIARI MOSTRANO UNA PROFONDA SIMILITUDINE CON QUELLE CHE CARATTERIZZANO I NEURONI NEL NOSTRO **CERVELLO**: INFATTI, SI E' SCOPERTO CHE, IN CONDIZIONI NORMALI, IL NOSTRO CERVELLO SI TROVA NELLO "**STATO CRITICO**", AL "**MARGINE DEL CAOS**", E PRESENTA "VALANGHE" DI SCARICHE NEURONALI SINCRONIZZATE DI TUTTE LE DIMENSIONI... **MA ANCHE CHE E' IMPORTANTE LA SUA TOPOLOGIA...**

La Legge di Potenza

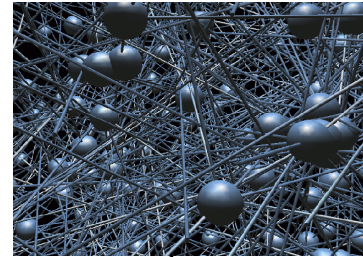


P.Moretti, M.A.Munoz, "Griffiths phases and the stretching of criticality in brain networks", Nature Communications 4, 2521 (2013)

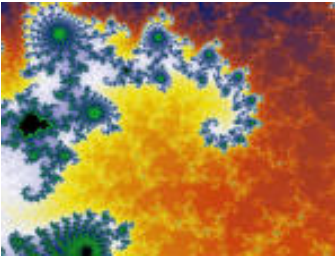
**Non linearità e
Soglie Critiche**



**Reti Complesse tra
Ordine e Caos**



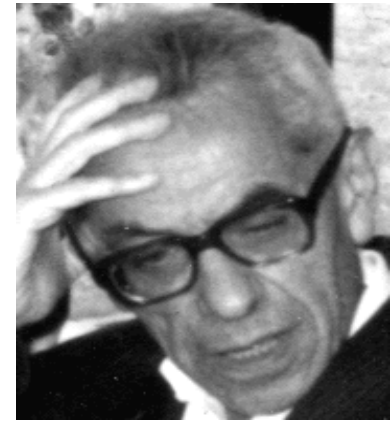
**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**



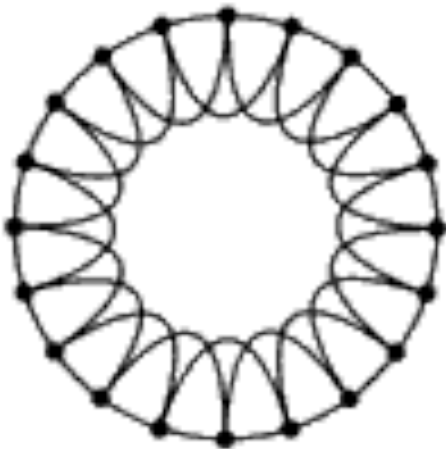
**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Pál Erdős (Ungheria, 1913-1996)

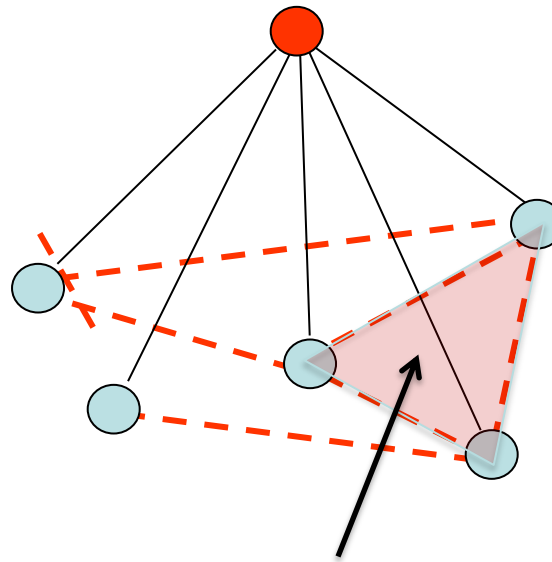
La teoria dei grafi



rete regolare

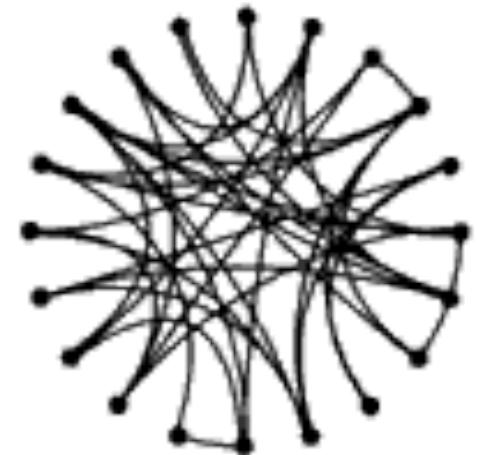


Ha una forte aggregazione,
ma non è un 'piccolo mondo'



**triangoli
di amicizie**

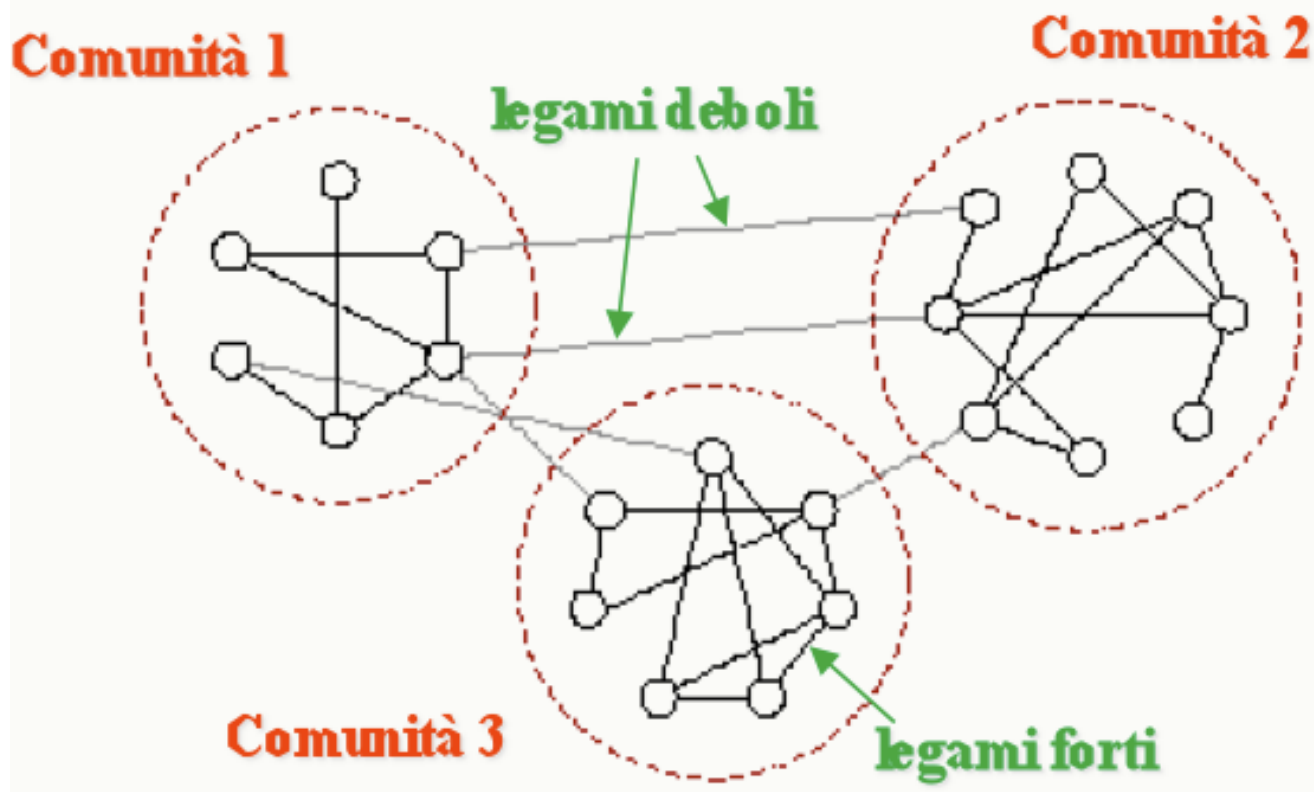
rete casuale



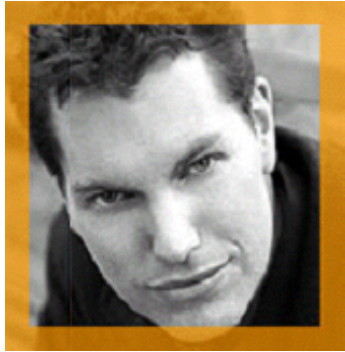
E' un 'piccolo mondo'.
ma non ha aggregazione

Moduli e Comunità nelle Reti Complesse

Le reti sociali, come molti altri tipi di reti complesse, sono solitamente costituite da **comunità**, le quali possono essere intuitivamente definite come **gruppi di nodi che risultano più densamente connessi** se confrontati con il resto della rete:



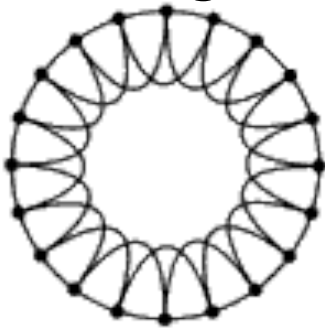
La scoperta delle Reti Complesse



1998 - Watts e Strogatz (USA)
Scoprono che il segreto delle reti “piccolo mondo” si trova al confine tra ordine e disordine!

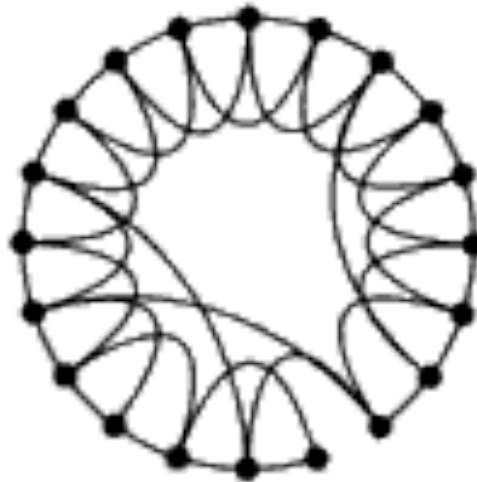


rete regolare



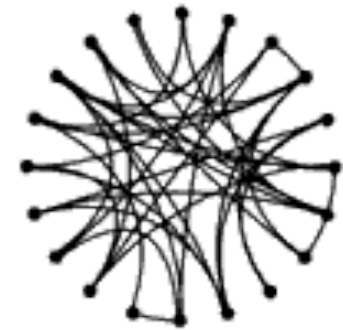
Ha una forte aggregazione,
ma non è un ‘piccolo mondo’

rete small world



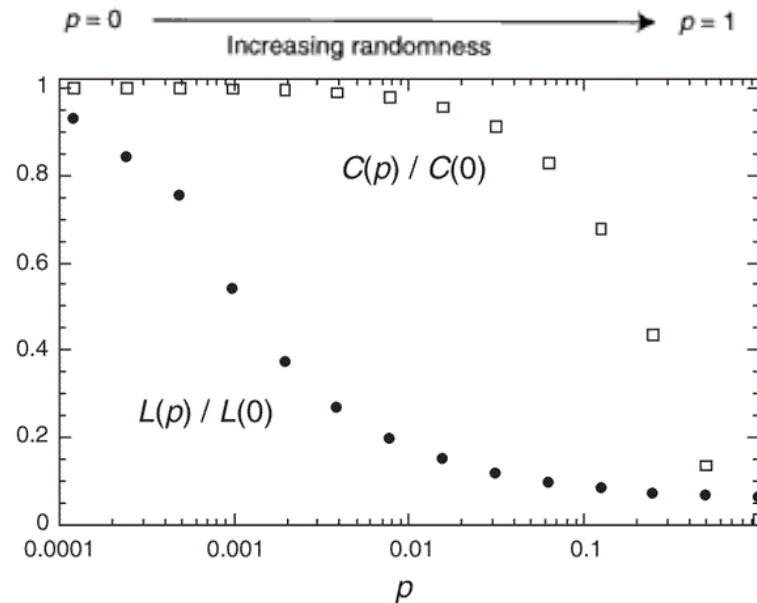
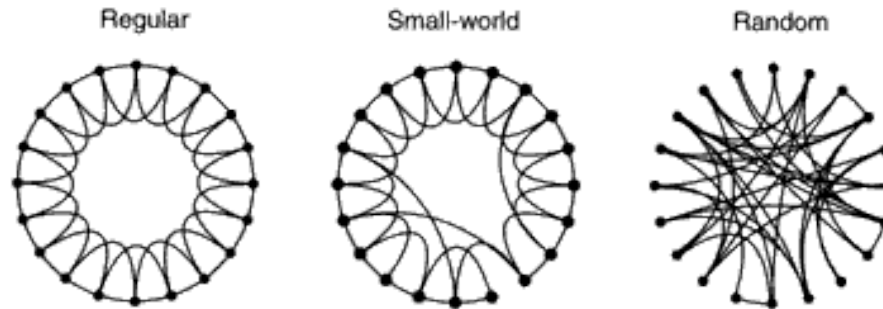
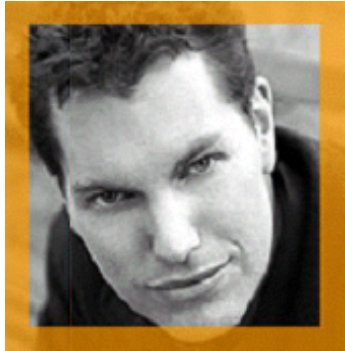
*E' un ‘piccolo mondo’
ma ha anche una forte
aggregazione!*

rete casuale



E' un ‘piccolo mondo’.
ma non ha aggregazione

Watts-Strogatz Model



$C(p)$: coefficiente di aggregazione

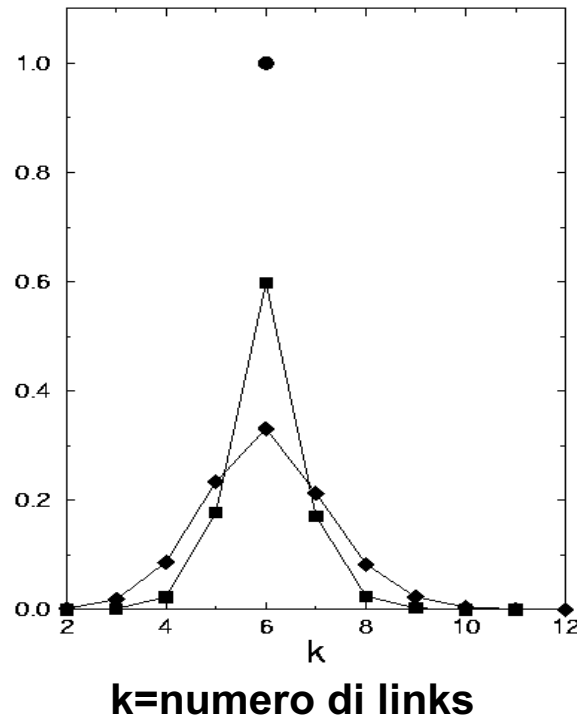
$L(p)$: minimo cammino medio

(Watts and Strogatz, Nature **393**, 440 (1998))

IMPORTANTE:

Gli Small Worlds di Watts e Strogatz sono reti 'egualitarie', cioè tutti i nodi hanno *circa lo stesso numero k di links*:

$P(k)$ =frazione di nodi con quel numero di links

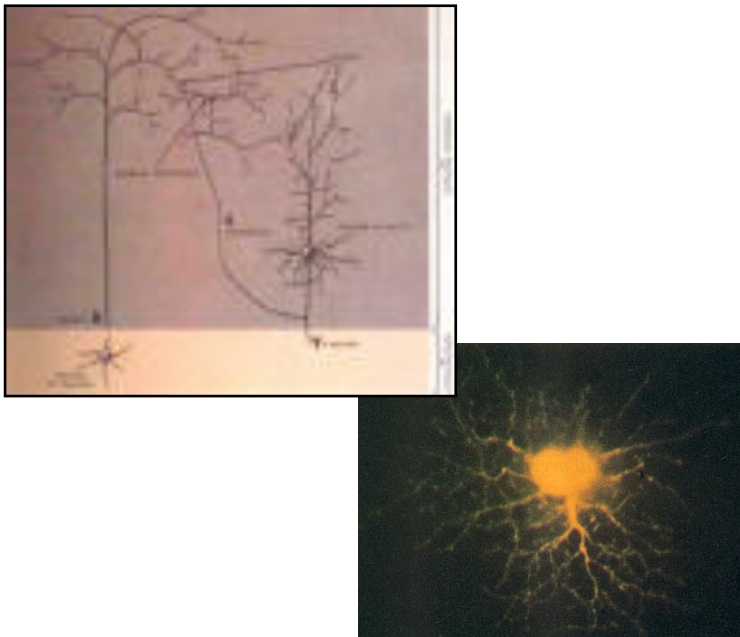


Distribuzione
Gaussiana:
esiste una scala tipica,
la media dei links

Watts and Strogatz, Nature **393**, 440 (1998)

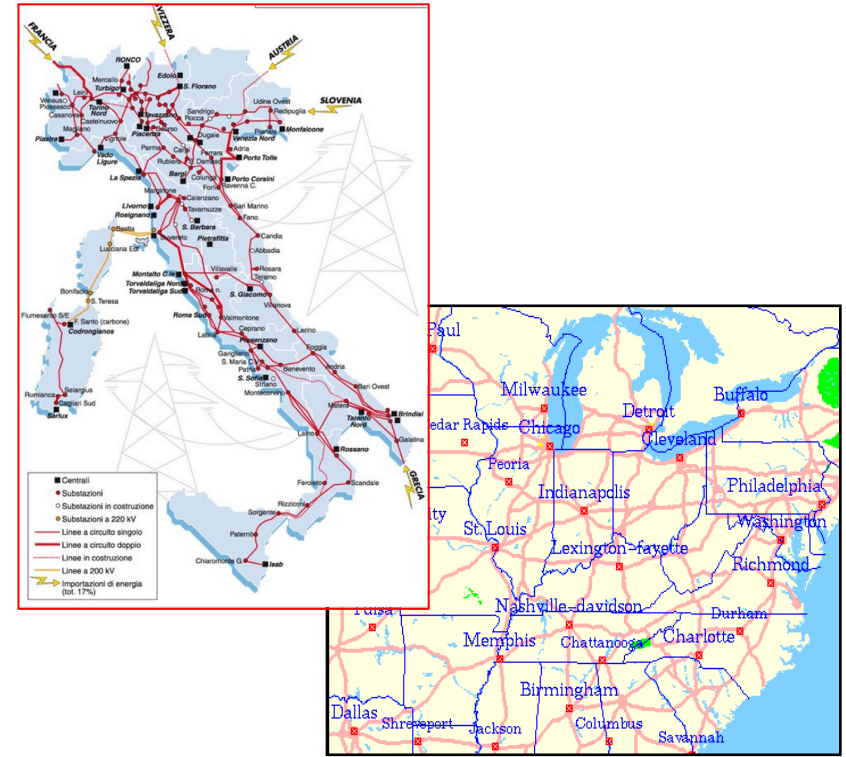
Esempi di reti small world egualitarie

Nodi: neuroni
Links: assoni e sinapsi



Reti di neuroni

Nodi: centrali elettriche
Links: reti di distribuzione



Reti elettriche

Esempi di reti small world egualitarie

Reti sismiche

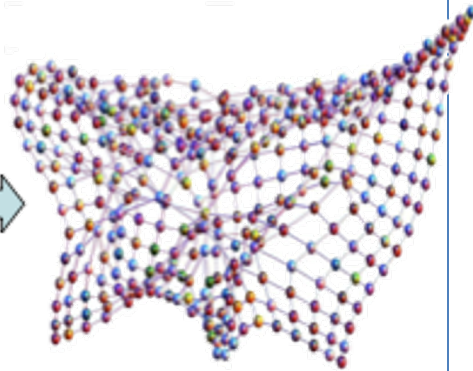
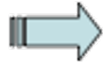
OFC model

Nodi: blocchi che simulano la crosta terrestre

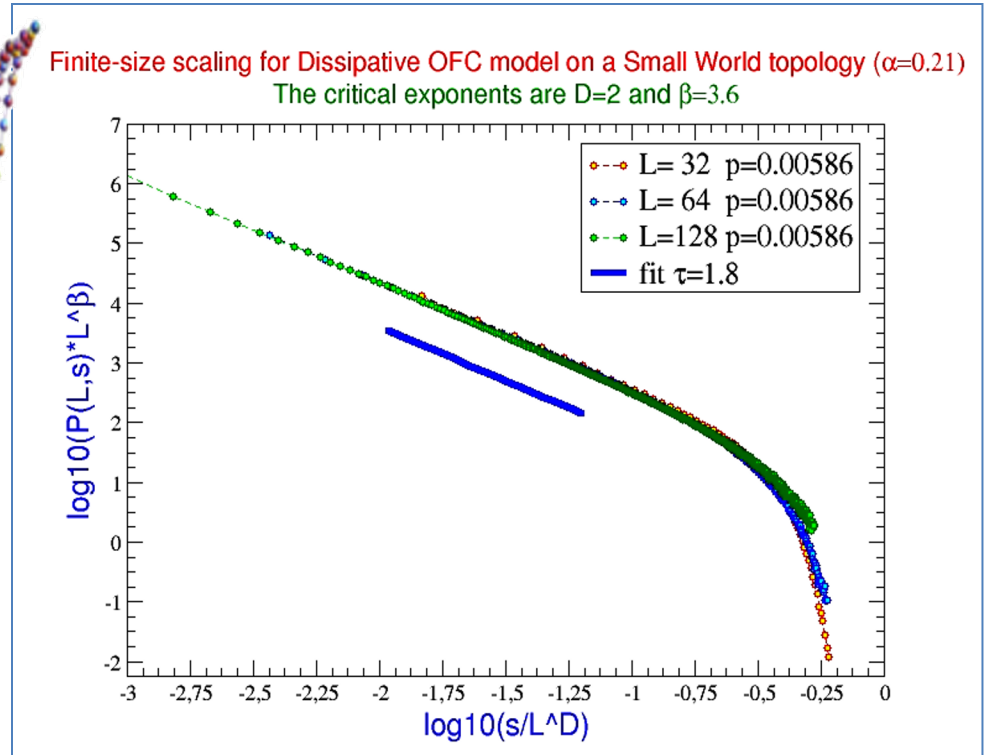
Links: trasferimento di energia



Reticolo
di blocchi
regolare



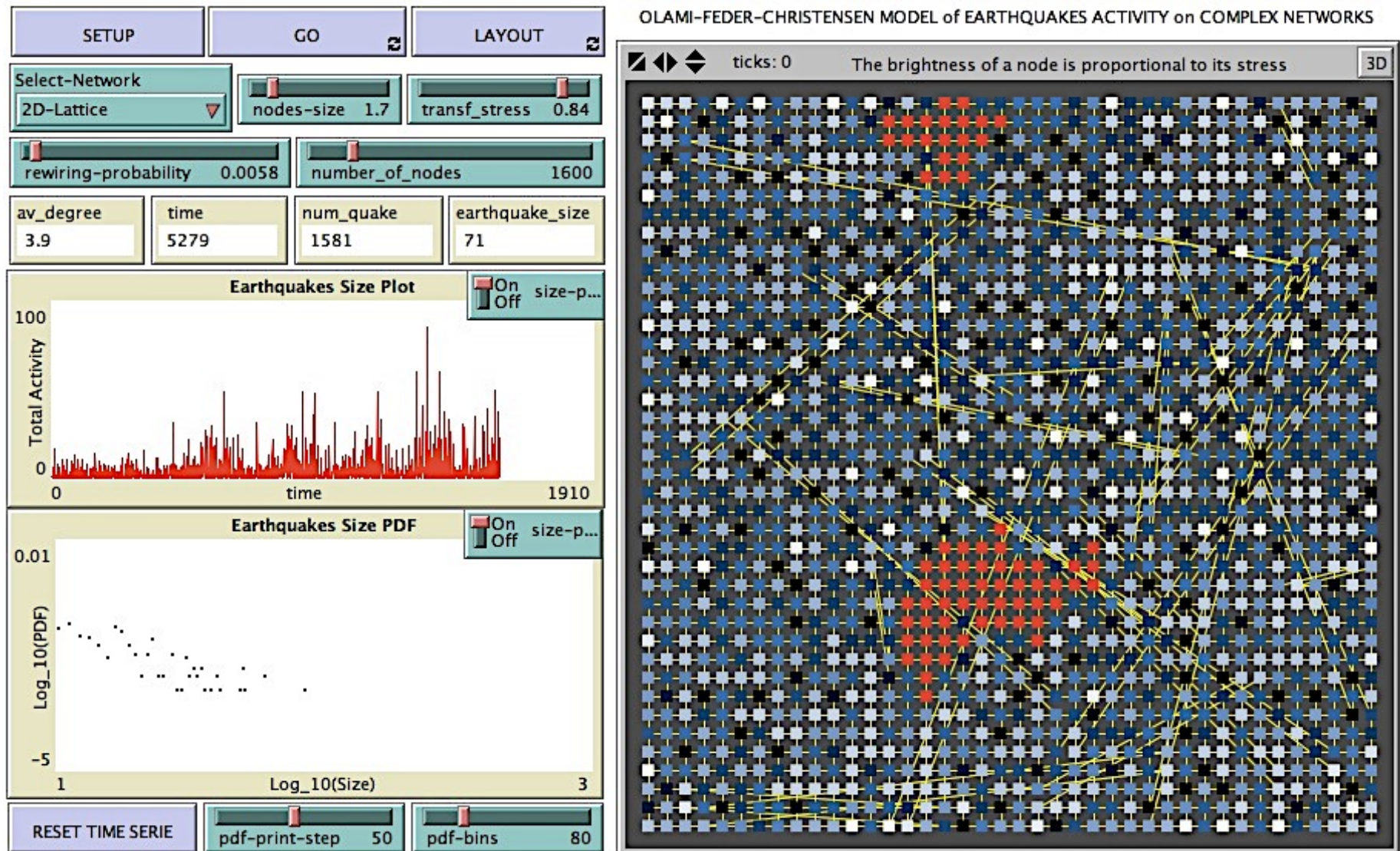
Reticolo
di blocchi
Small-World



F.Caruso, V.Latora, A.Pluchino, A.Rapisarda and B.Tadic, Eur. Phys. J. B 50 (2006) 243-247

F.Caruso, A.P., V.Latora, S.Vinciguerra, A.Rapisarda, Physical Review E 75 (2007) 055101(R)

Il modello OFC su Small World Network



F.Caruso, A.P., V.Latora, S.Vinciguerra, A.Rapisarda, Physical Review E 75 (2007) 055101(R)

Esempi di reti small world egualitarie

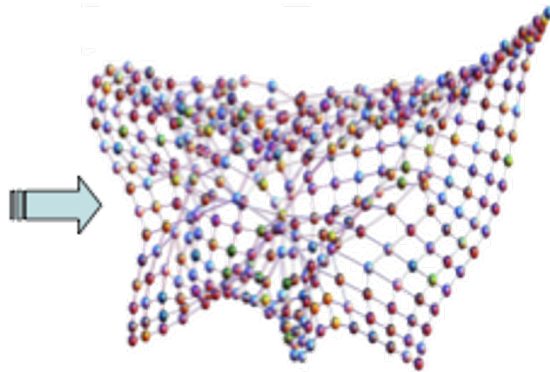
Reti di trading finanziario

FQM model

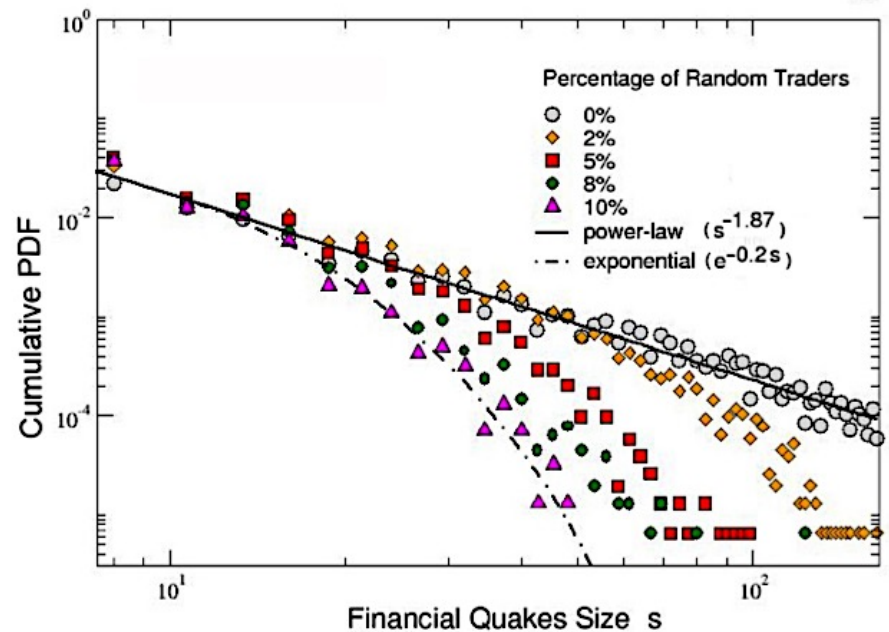
Nodi: traders che investono in un mercato finanziario
Links: scambi di informazioni fra i traders



Reticolo
di traders
regolare



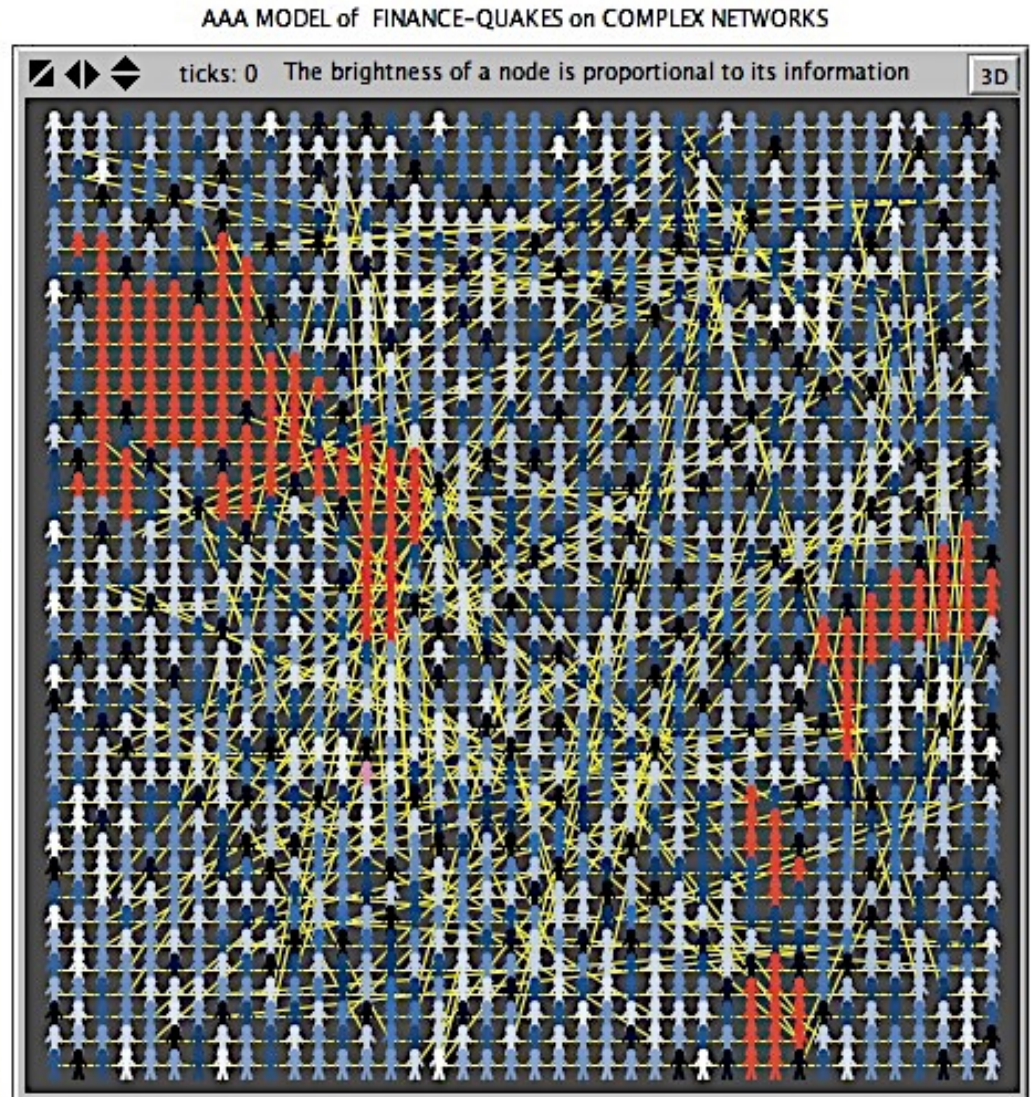
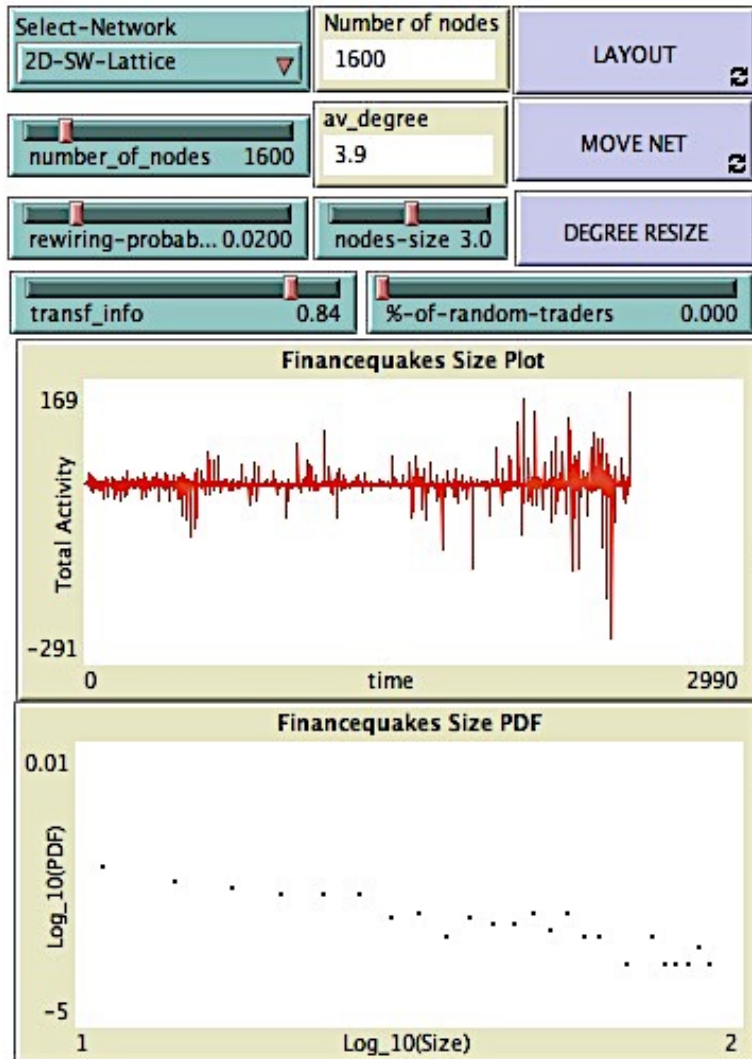
Reticolo
di traders
Small-World



A.E.Biondo, A.Pluchino, A.Rapisarda, Physical Review E 88 (2013) 062814

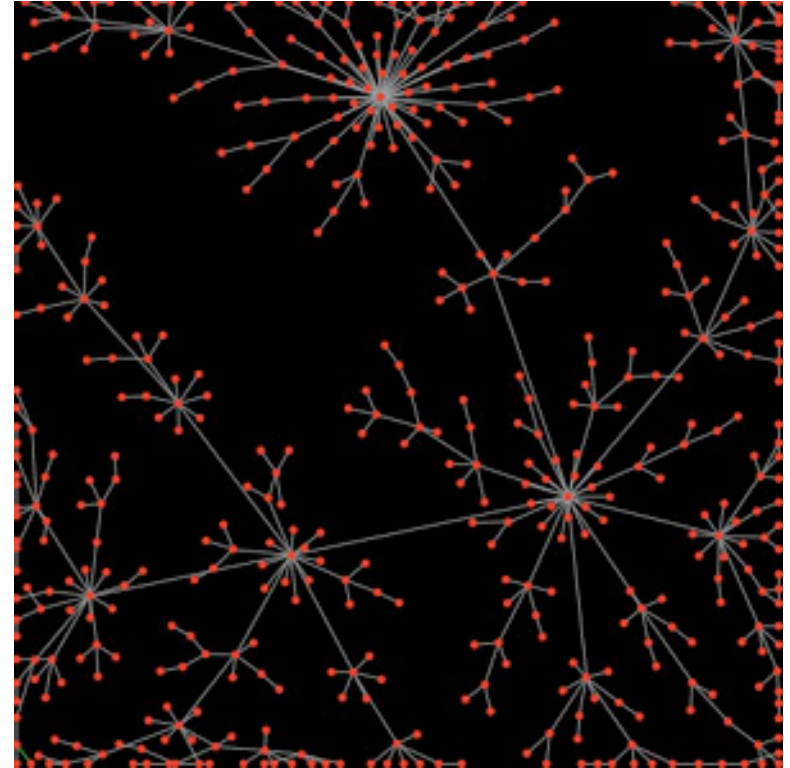
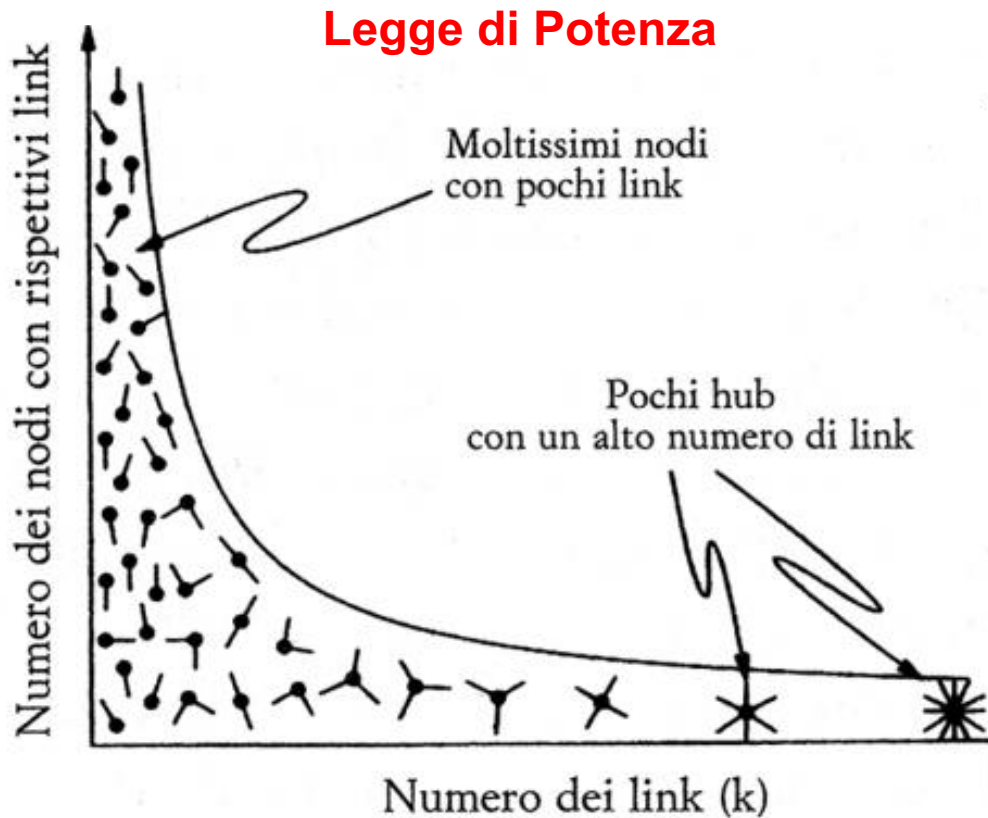
<http://www.pluchino.it/financial-markets.html>

Il modello FQM su Small World Network



Ma non tutte le reti small world sono egualitarie...

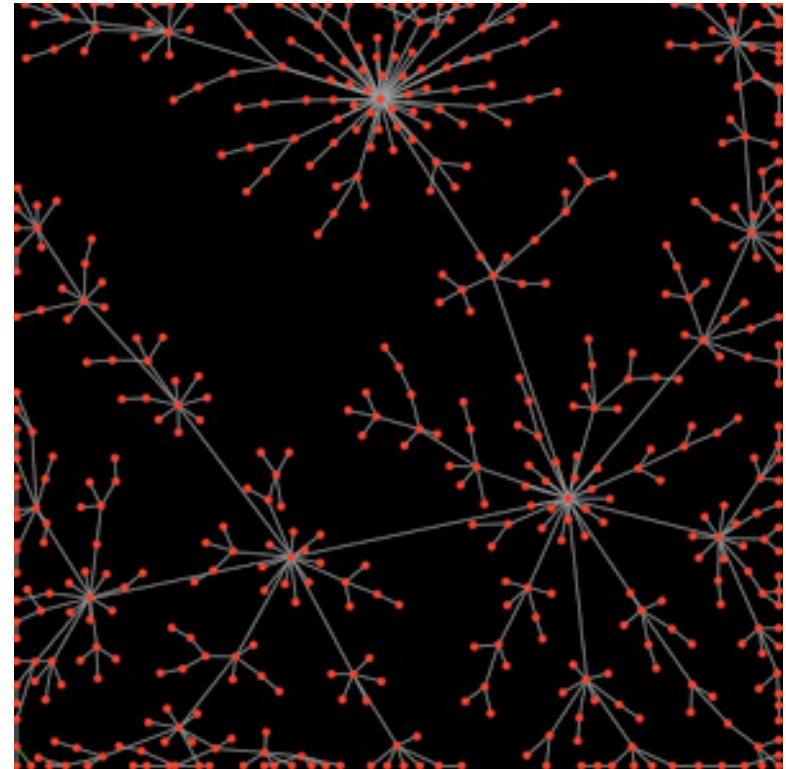
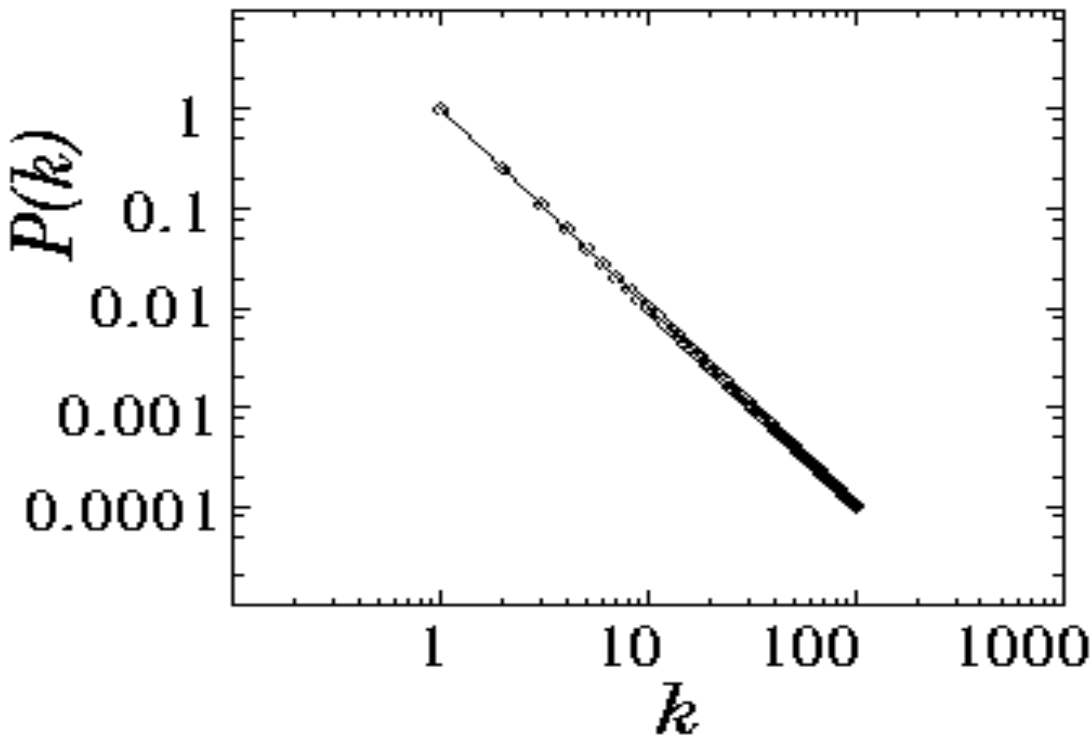
...anzi, la maggior parte delle reti complesse esistenti in natura sono **'aristocratiche'**: la stragrande maggioranza dei nodi ha pochi links, ma esistono pochissimi nodi iperconnessi, i cosiddetti "hub"!



Ma non tutte le reti small world sono egualitarie...

...anzi, la maggior parte delle reti complesse esistenti in natura sono **'aristocratiche'**: la stragrande maggioranza dei nodi ha pochi links, ma esistono pochissimi nodi iperconnessi, i cosiddetti "hub"!

Legge di Potenza in scala Log-Log

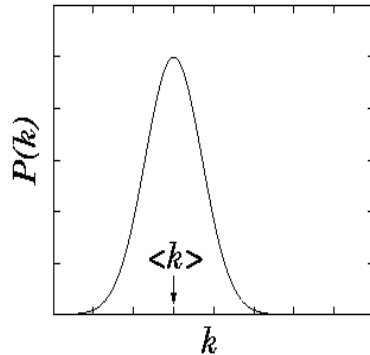


La Firma della Complessità



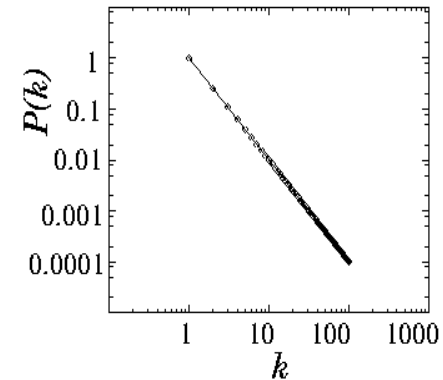
In conclusione: esistono due tipi fondamentali di reti small world:

Gaussiana



Distribuzioni dei links

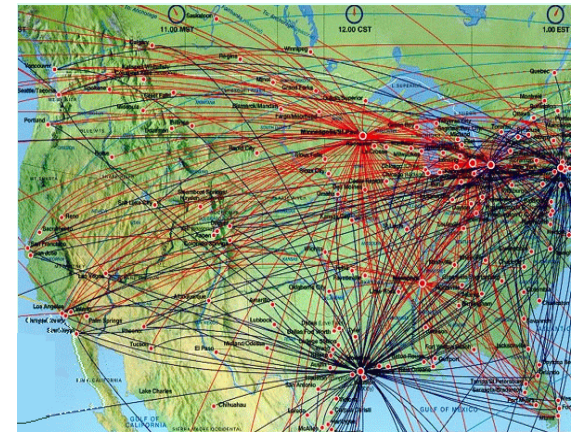
Legge di Potenza



Reti "Egalitarie":
hanno una scala
caratteristica e non
hanno "hub"

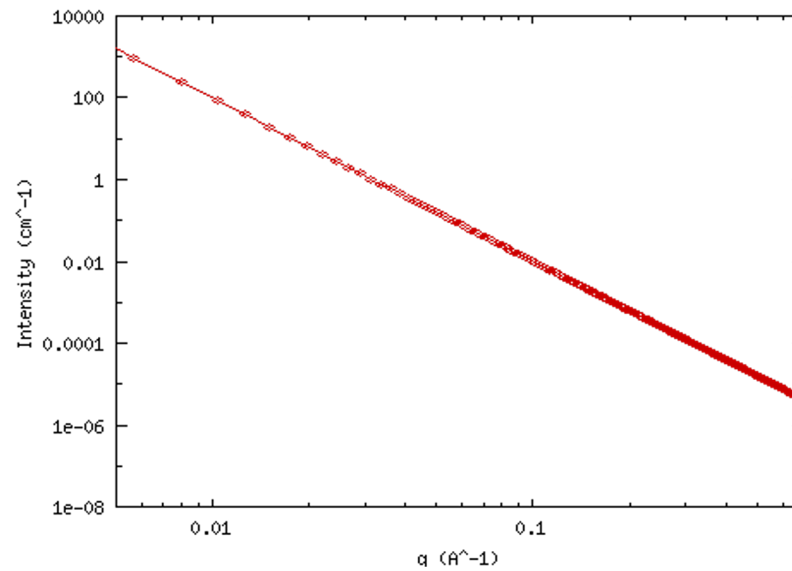


A.L. Barabási
(USA, 1999)



Reti "Aristocratiche":
sono prive di scala
(reti "**scale free**") ma
dotate di "hub"

Esempi di reti scale-free



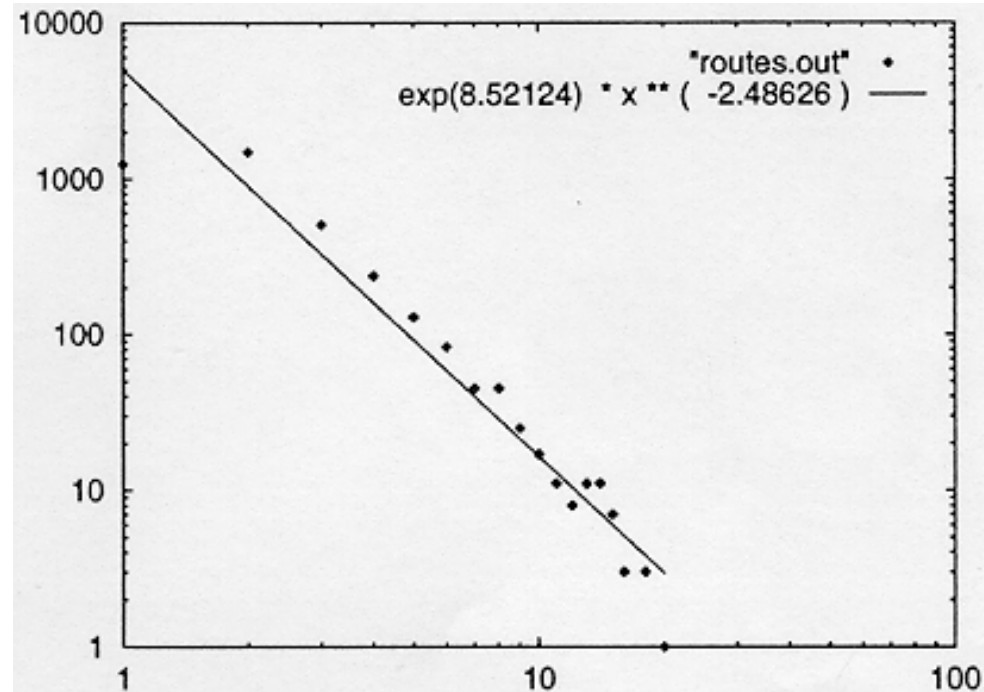
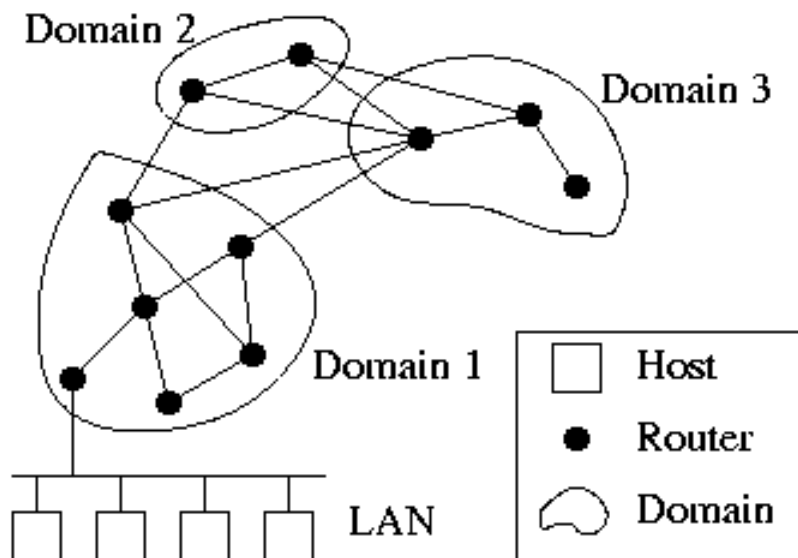
La Legge di Potenza



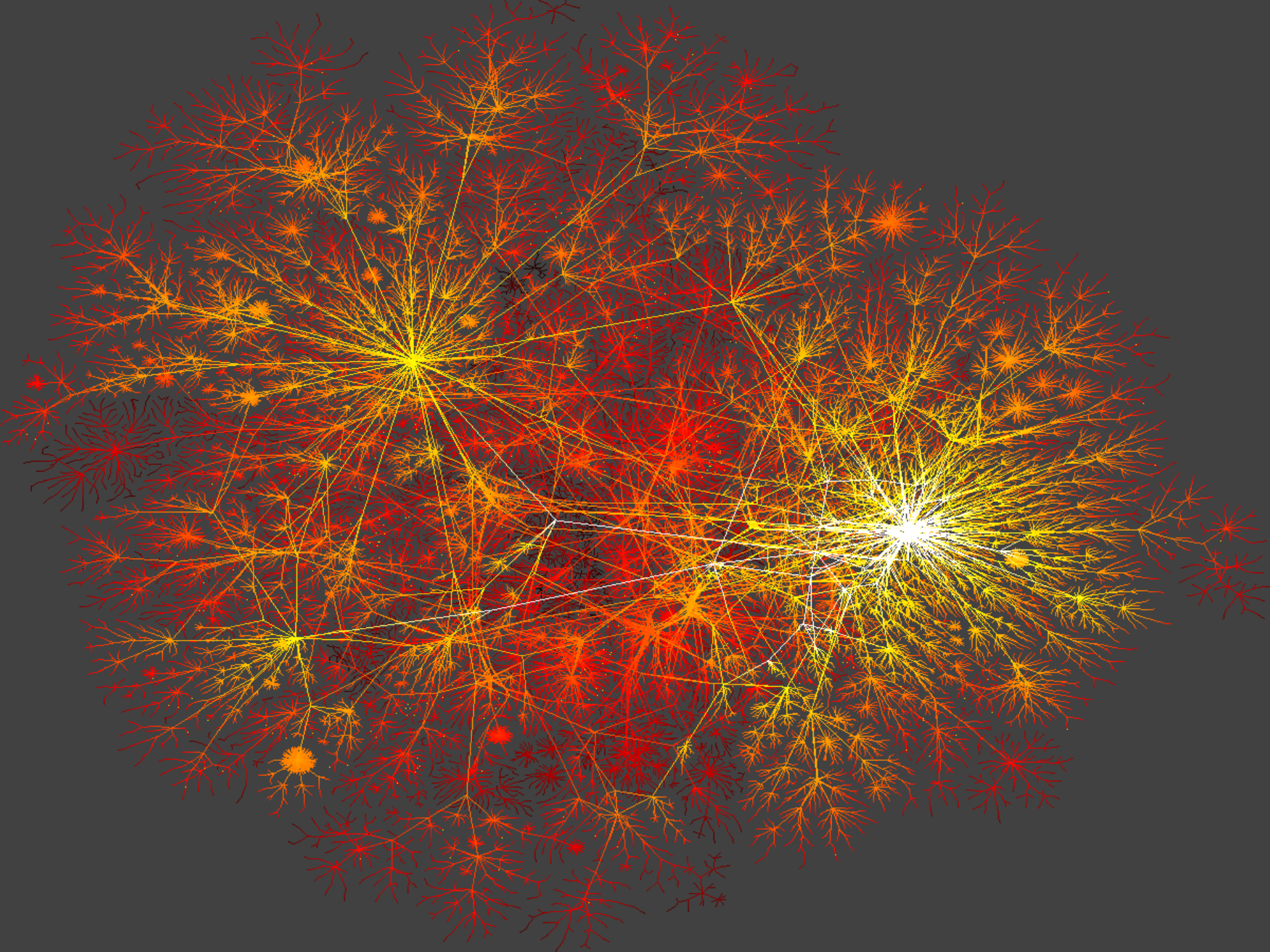
INTERNET

Nodi: computers, routers

Links: linee di telecomunicazione



(Faloutsos, Faloutsos and Faloutsos, 1999)

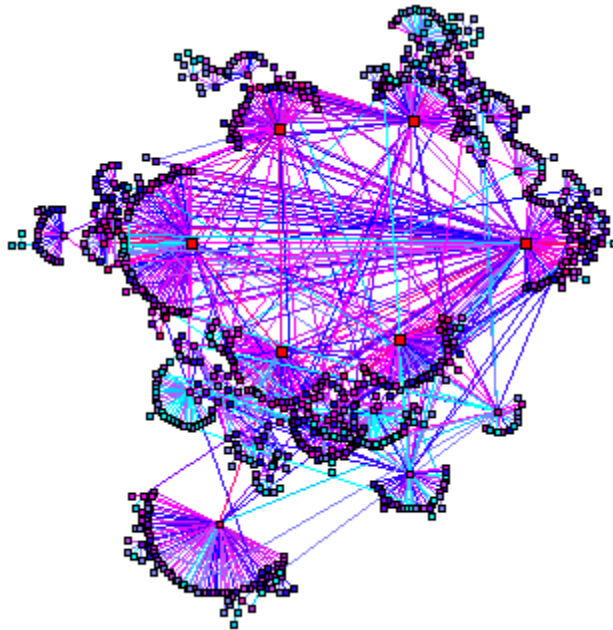


World Wide Web

Nodes: WWW documents

Links: URL links

800 milioni di documenti (S. Lawrence, 1999)



ROBOT: cerca tutti
gli URL presenti in un
documento e li esplora
ricorsivamente

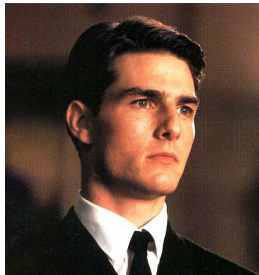
R. Albert, H. Jeong, A-L Barabasi, Nature, **401** 130 (1999)

NETWORK DEGLI ATTORI

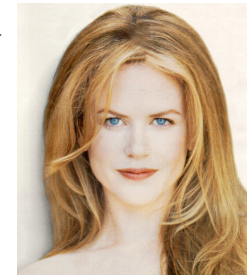
Nodi: attori

Links: film comuni

IMDb Internet Movie Database

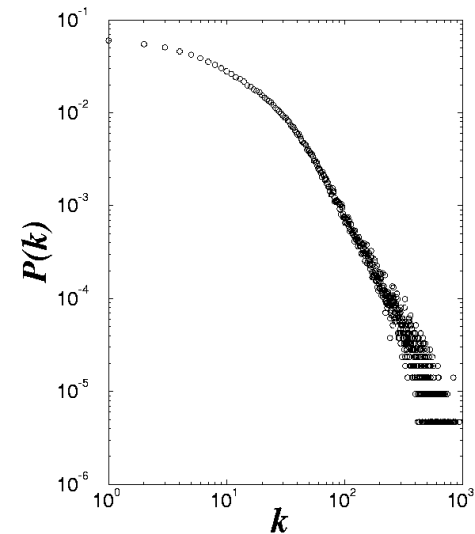


Days of Thunder (1990)
Far and Away (1992)
Eyes Wide Shut (1999)



N = 212,250 actors

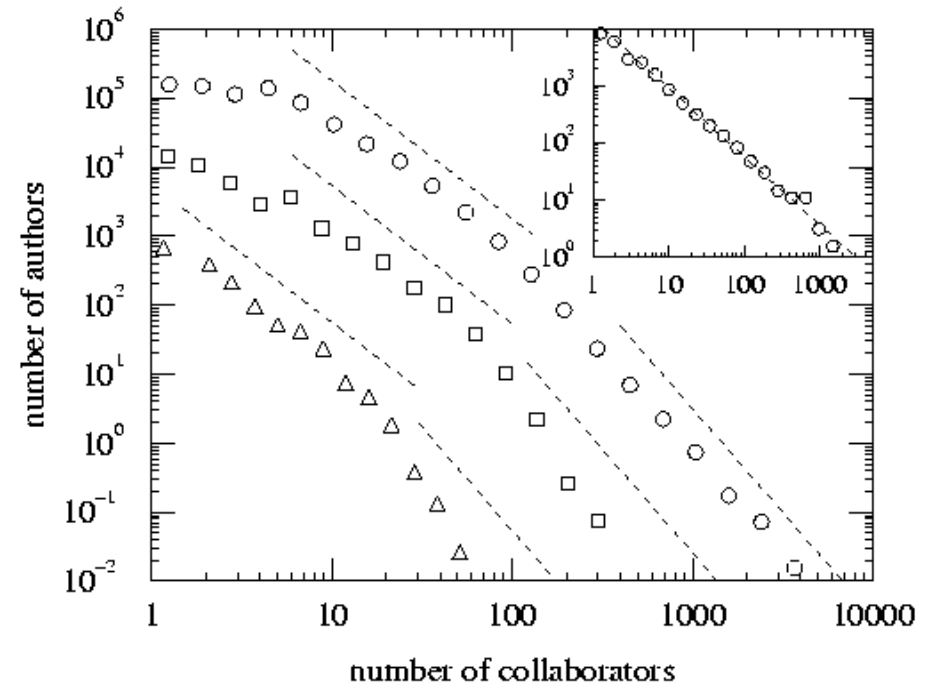
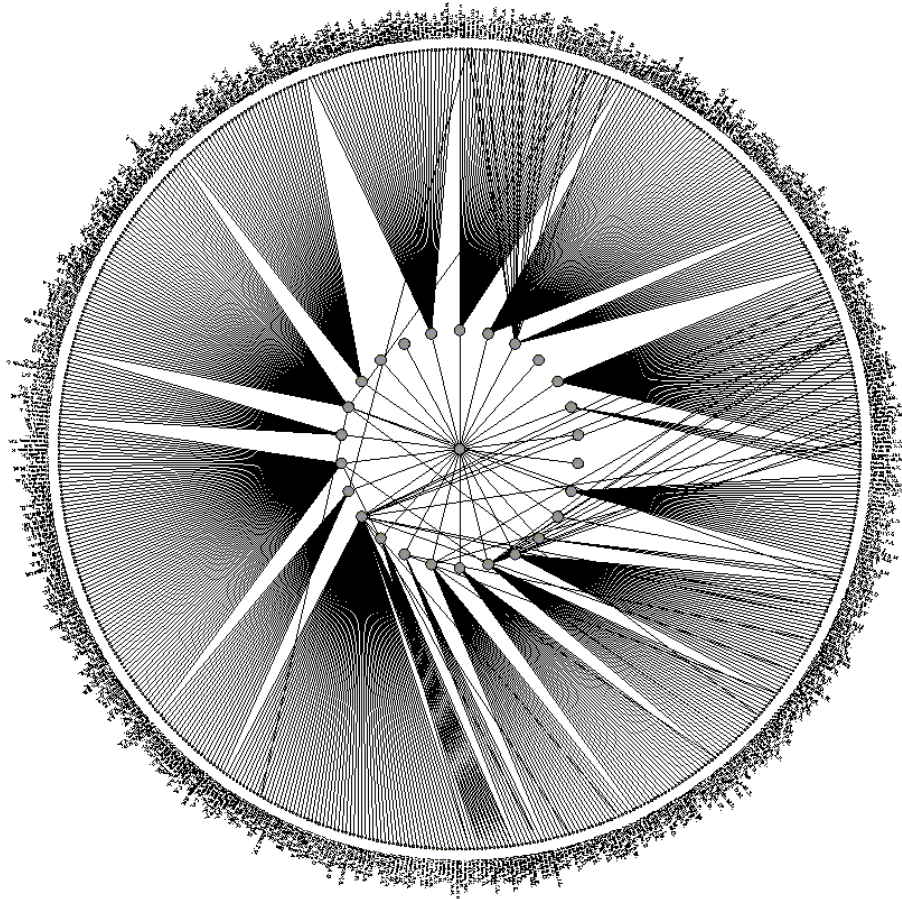
$P(k) \sim k^{-2.3}$



RETE delle COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE

Nodi: scienziati (autori)

Links: articoli in comune

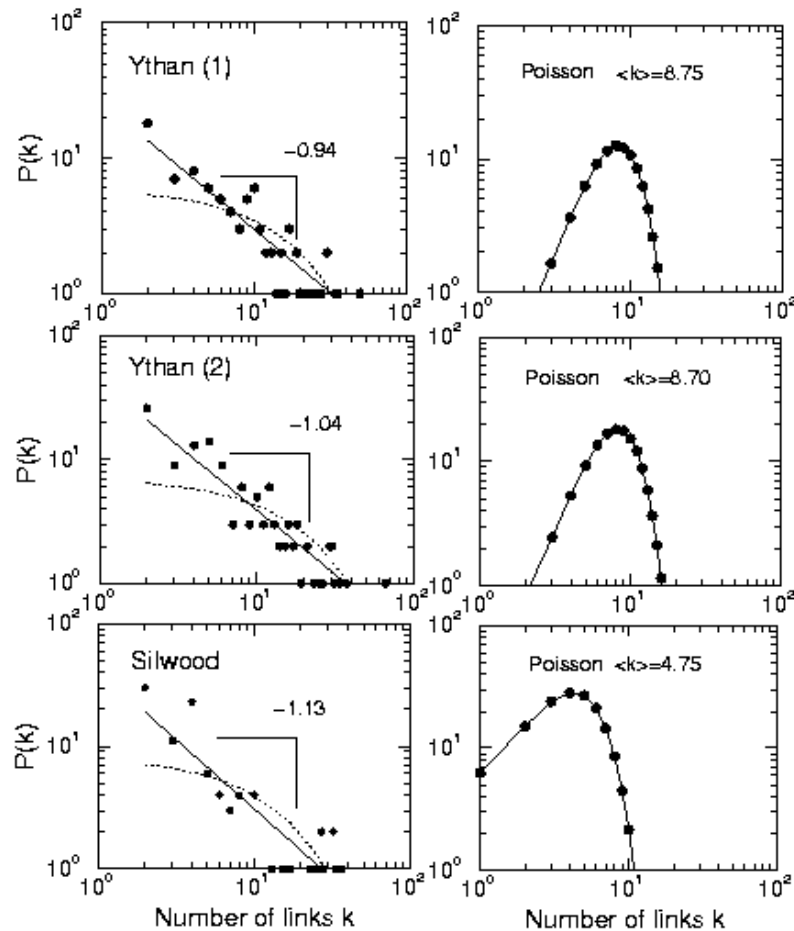


(Newman, 2000, H. Jeong et al 2001)

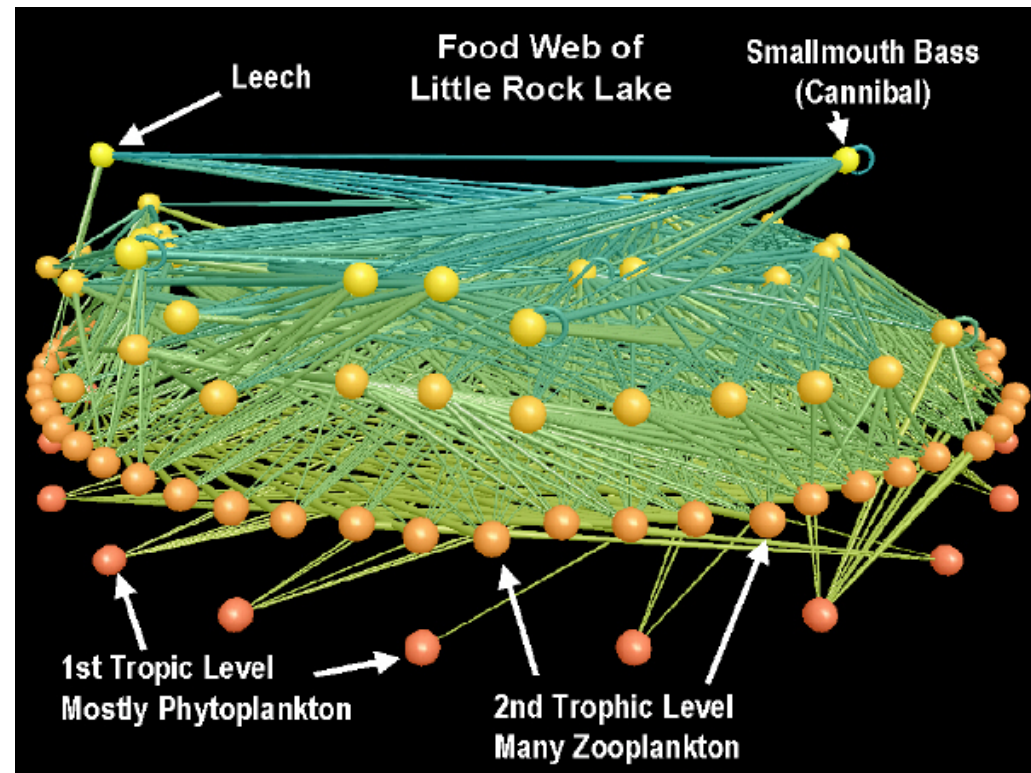
RETI ALIMENTARI

Nodi: specie

Links: interazione preda-predatore



R. Sole (cond-mat/0011195)

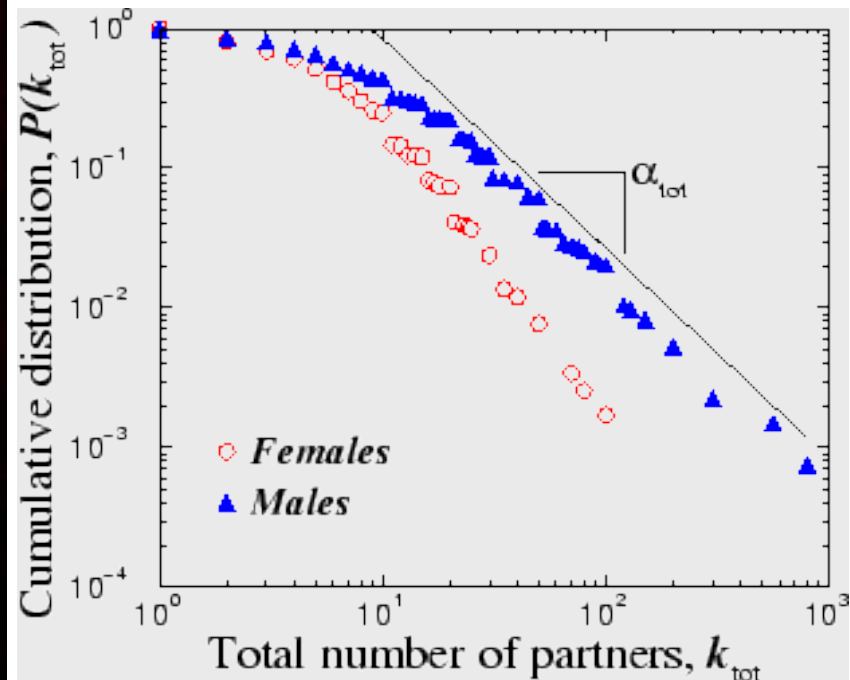


R.J. Williams, N.D. Martinez *Nature* (2000)

RETE DEI CONTATTI SESSUALI

Nodi: persone (femmine;maschi)

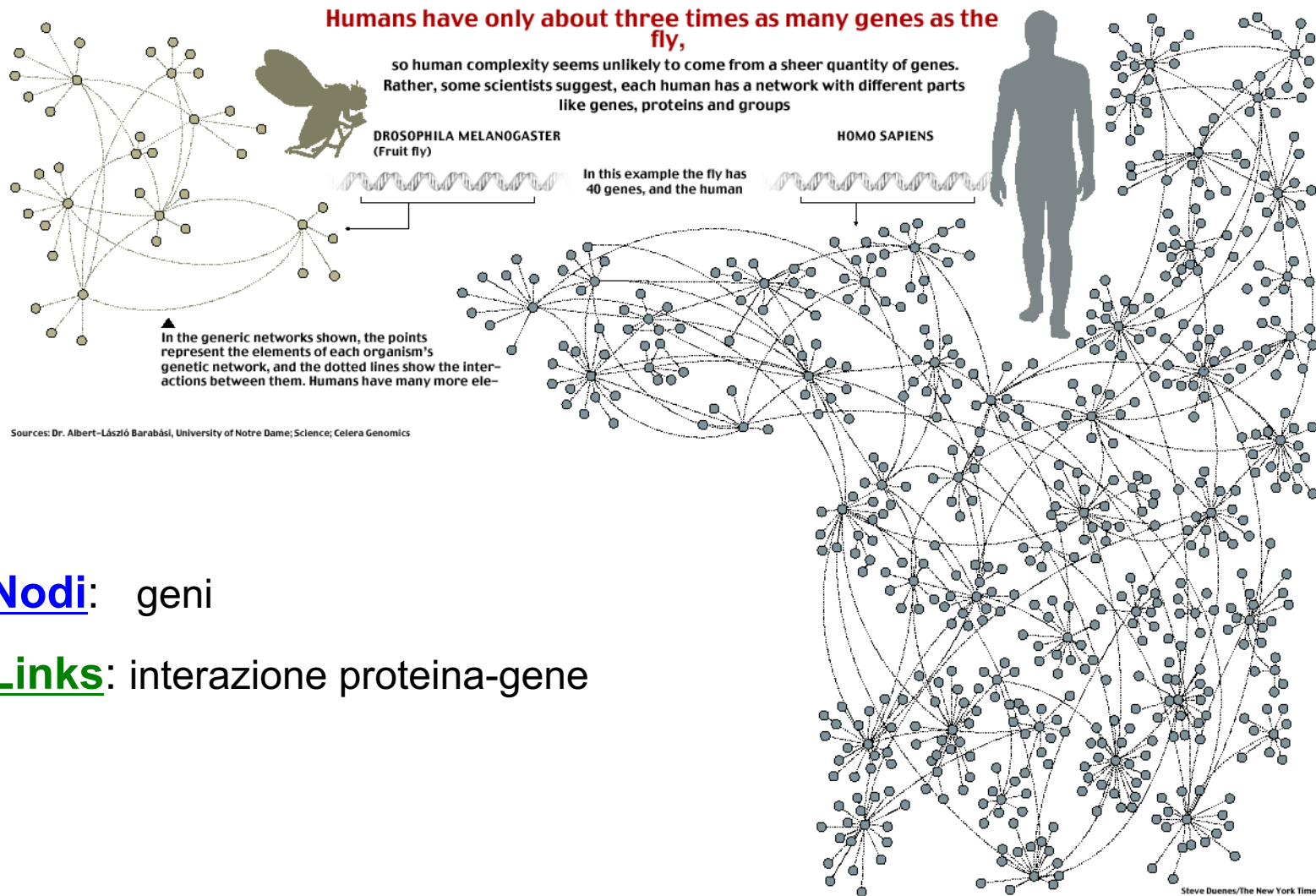
Links: relazioni sessuali



4781 Svedesi; 18-74;
59% percentuale di risposta.

Liljeros et al. Nature 2001

Reti geniche



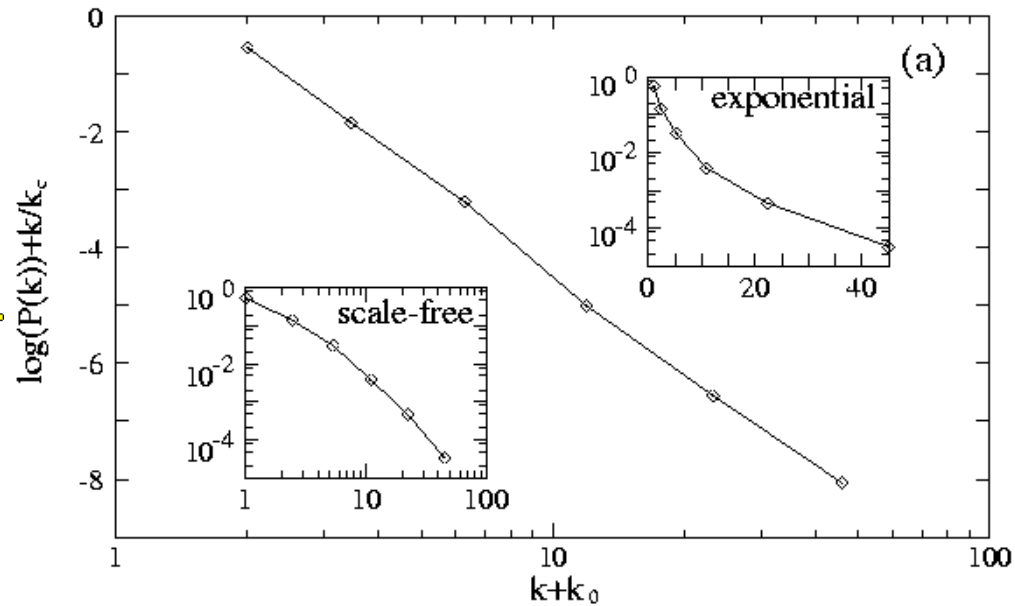
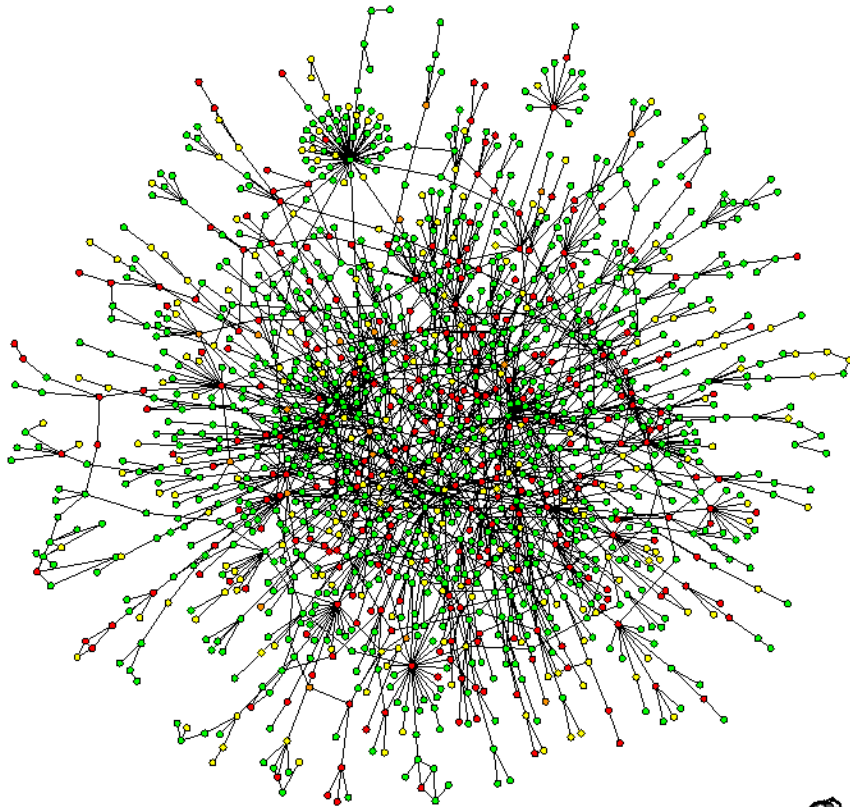
Nodi: geni

Links: interazione proteina-gene

Reti di proteine

Nodi: proteine

Links: interazioni proteina-proteina

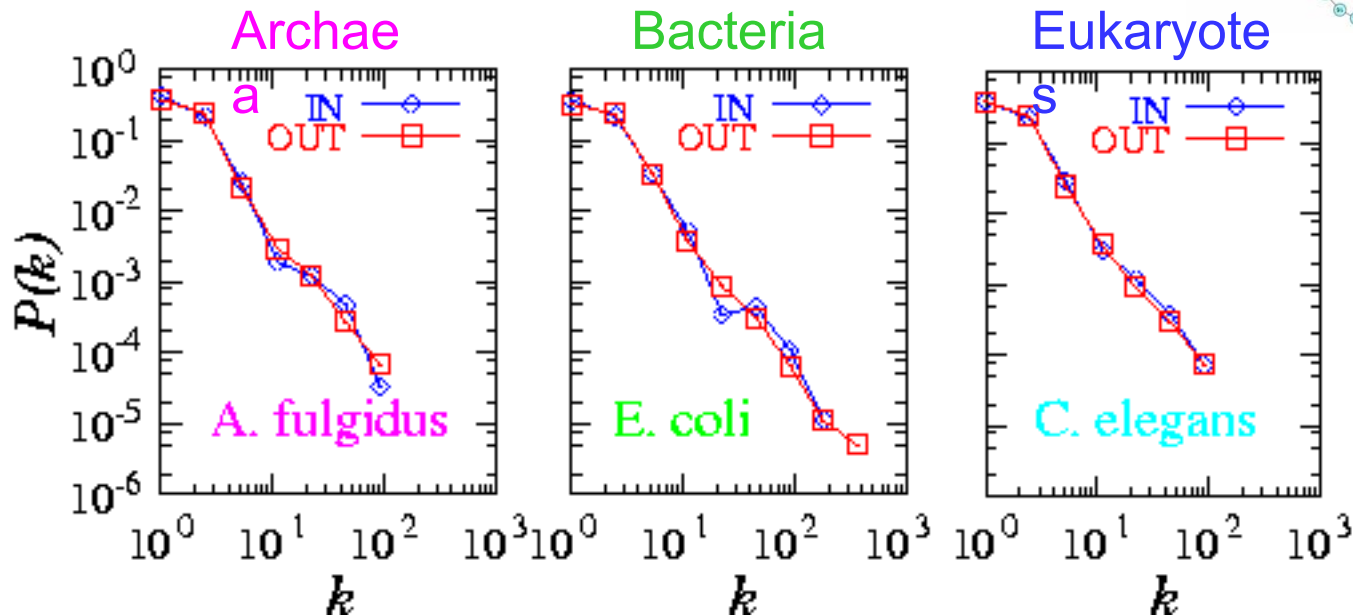
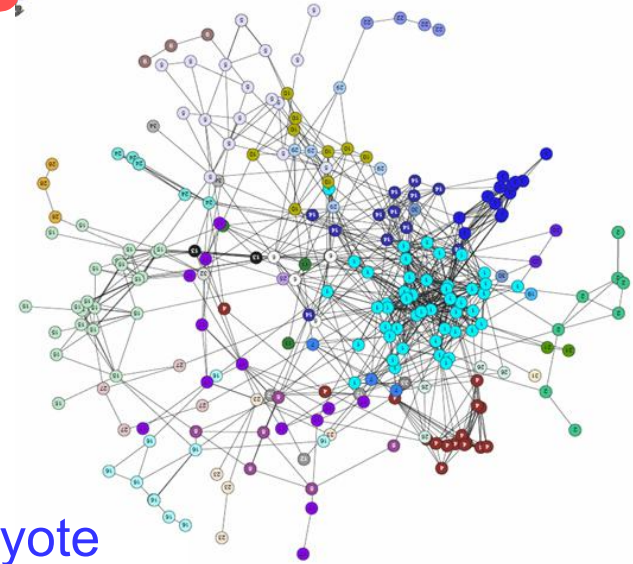


H. Jeong, S.P. Mason, A.-L. Barabasi, Z.N. Oltvai, Nature 411, 41-42 (2001)

Reti metaboliche

Nodi: molecole

Links: reazioni biochimiche



Le reti metaboliche degli organismi dei 3 domini della vita sono **scale-free** networks!

Abbiamo visto che moltissimi sistemi del mondo reale presentano la stessa struttura: sono reti small world prive di scala, ovvero “scale free networks”...

Ma COME si formano queste reti?



In realtà il meccanismo è molto semplice ed è ben noto a tutti...

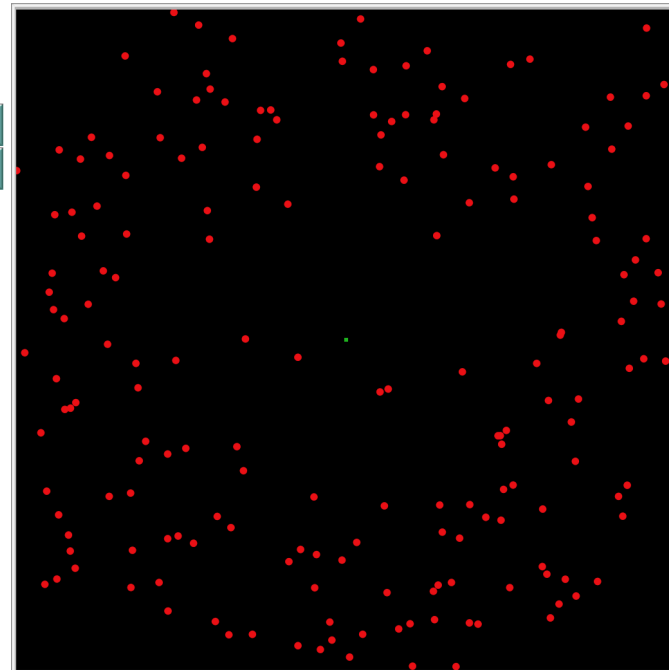
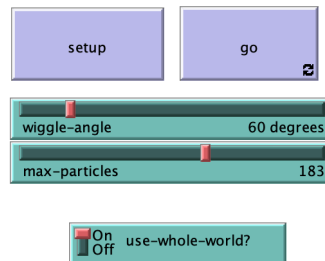
I ricchi diventano sempre più ricchi!



In sociologia questo meccanismo del “*the rich get richer*” è conosciuto come “**Effetto San Matteo**” (*Matthew effect*), dal noto passo evangelico:

« ...a chi ha verrà dato, in modo che abbia ancor più in abbondanza; ma a chi non ha, verrà tolto anche quello che sembra avere. » ([Vangelo secondo Matteo](#), XXV 25-29)

...ma molti sono gli esempi anche in natura, che danno luogo a strutture dotate di autosimilarità...



In realtà il meccanismo è molto semplice ed è ben noto a tutti...

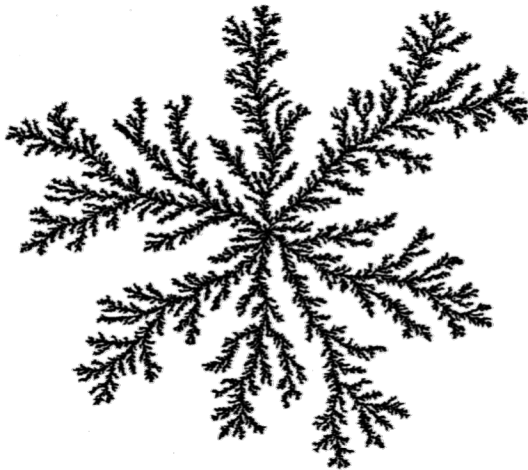
I ricchi diventano sempre più ricchi!



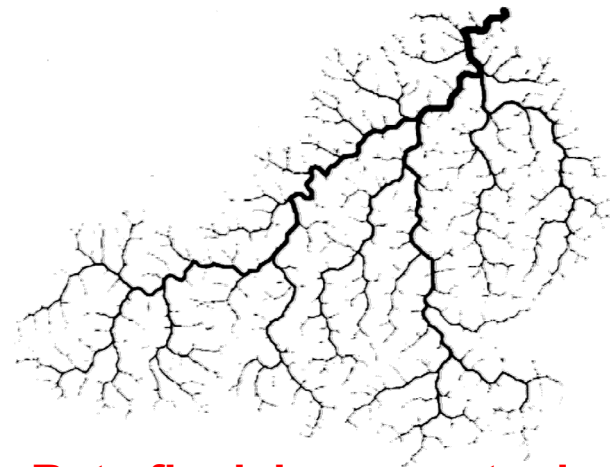
In sociologia questo meccanismo del “*the rich get richer*” è conosciuto come “**Effetto San Matteo**” (*Matthew effect*), dal noto passo evangelico:

« ...a chi ha verrà dato, in modo che abbia ancor più in abbondanza; ma a chi non ha, verrà tolto anche quello che sembra avere. » ([Vangelo secondo Matteo](#), XXV 25-29)

...ma molti sono gli esempi anche in natura, che danno luogo a strutture dotate di autosimilarità:



**Aggregazione di molecole
limitata dalla diffusione**

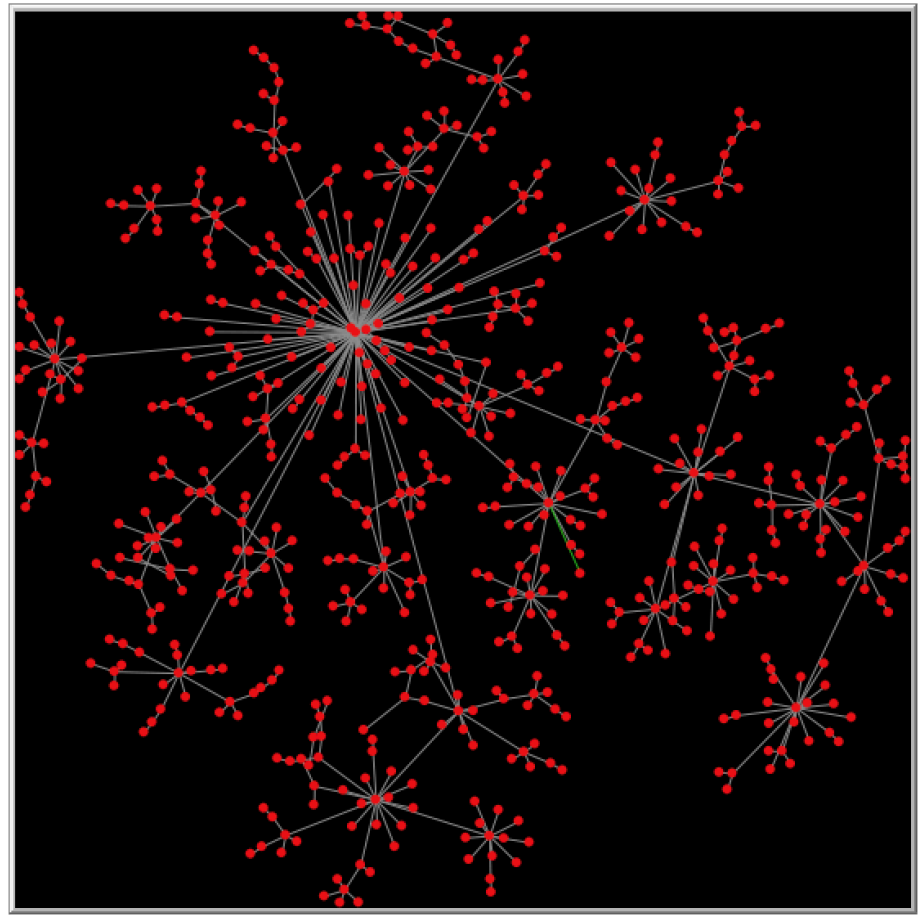
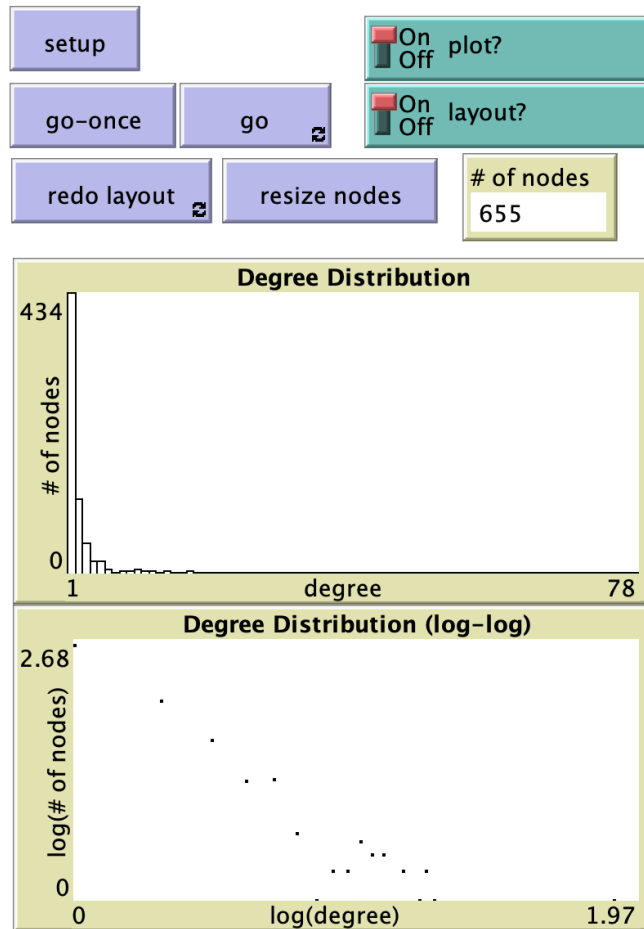


**Rete fluviale generata da
un processo di erosione**

Preferential Attachment

(Barabasi-Albert 1999)

Si può dimostrare che l'applicazione iterata di questa semplice regola tende a produrre spontaneamente una **distribuzione dei links a legge di potenza** nelle reti complesse.



Preferential Attachment

(Barabasi-Albert 1999)

Si può dimostrare che l'applicazione iterata di questa semplice regola tende a produrre spontaneamente una **distribuzione dei links a legge di potenza** nelle reti complesse.

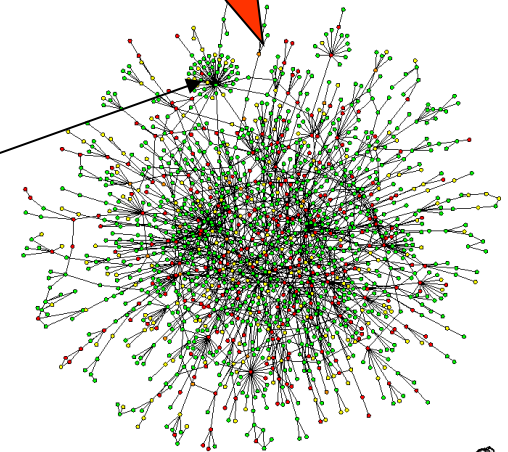
**I nodi ricchi di links diventano sempre più ricchi di links,
ma...**

**...se ci sono costi o
limiti di carico
(es. Centrali Elettriche)**



**Reti small world
egualitarie**

**...se non c'è alcun
costo o limite di carico
(es. Pagine Web)**



**Reti small world
aristocratiche**

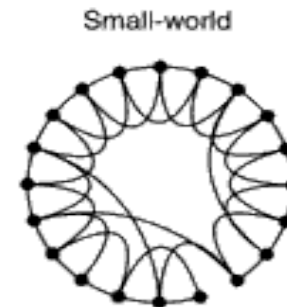
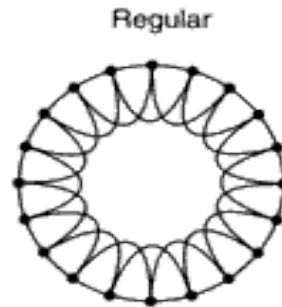
**Si formano gli
“hub”, cioè i nodi
iperconnessi**

Ma **PERCHE'** la maggior parte dei sistemi
complessi evolve *spontaneamente* in reti
scale free?

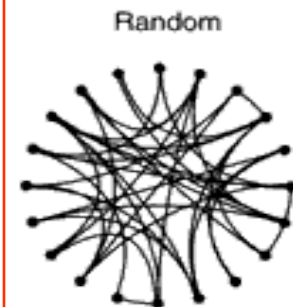


Vantaggi delle reti scale free

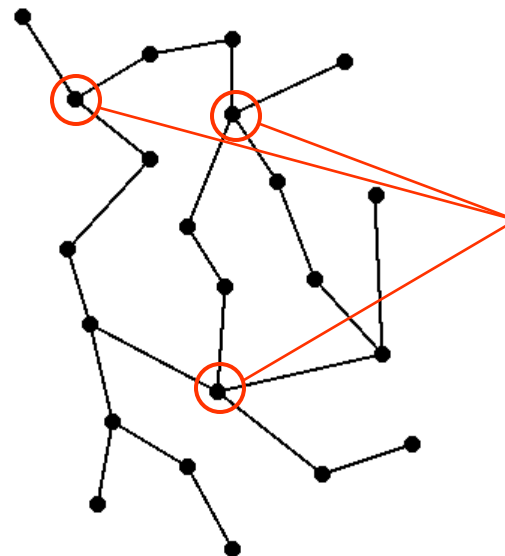
1. Maggiore efficienza nella circolazione della informazione



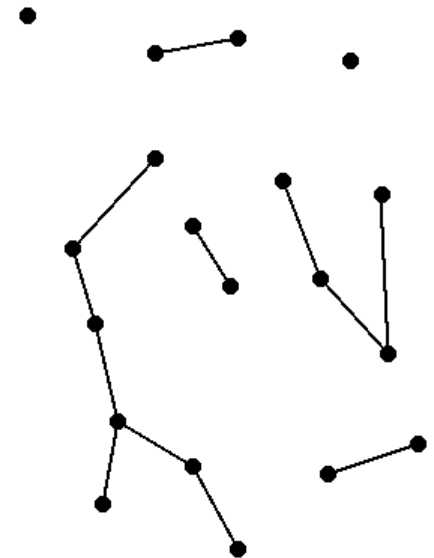
La forza dei legami deboli!



2. Alta tolleranza agli errori, ai guasti casuali e agli attacchi non organizzati



node failure



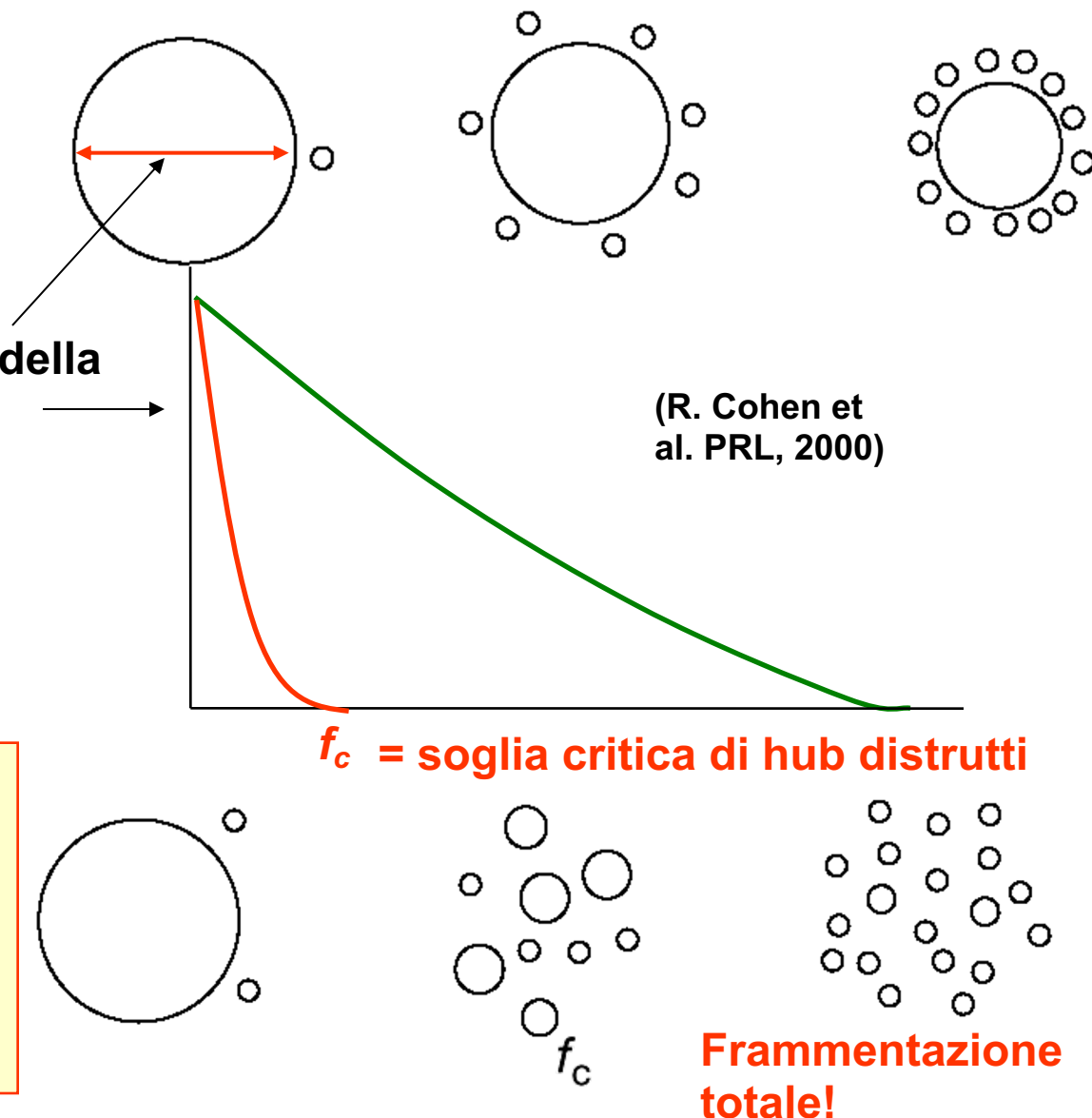
Vantaggi... e svantaggi delle reti scale free...

L'alta tolleranza agli errori o ai GUASTI CASUALI impedisce la frammentazione totale del sistema...

Diametro della Rete

ma...

... non è così per gli ATTACCHI MIRATI agli hub o ai legami deboli, che producono rapidamente la totale disgregazione del sistema!





Effetti collaterali in un mondo di Reti e Sistemi Complessi



CIRCUITI NON LINEARI NELLE RETI COMPLESSE

Il **cervello umano**, è sicuramente una tra le reti (small world) più complesse a noi note: dal peso di circa 1300 grammi, nella sola corteccia contiene pressappoco **30 miliardi di neuroni**, connessi tra loro da circa un milione di miliardi di connessioni, per un totale di **$10^{1.000.000}$ possibili circuiti di attività cerebrale (anelli di retroazione)**, un numero che supera di gran lunga il numero di particelle elementari dell'universo conosciuto!



NON LINEARITA' NELLE RETI ALIMENTARI (FOOD WEB)

A metà degli anni
'80 i merluzzi
dell'Atlantico
nordoccidentale
cominciarono a
scarseggiare...

...e siccome le
foche della
Groenlandia si
nutrono di merluzzi,
il governo
Canadese pensò di
risolvere il
problema
“linearmente” e
sterminò per
diversi anni milioni
di foche!

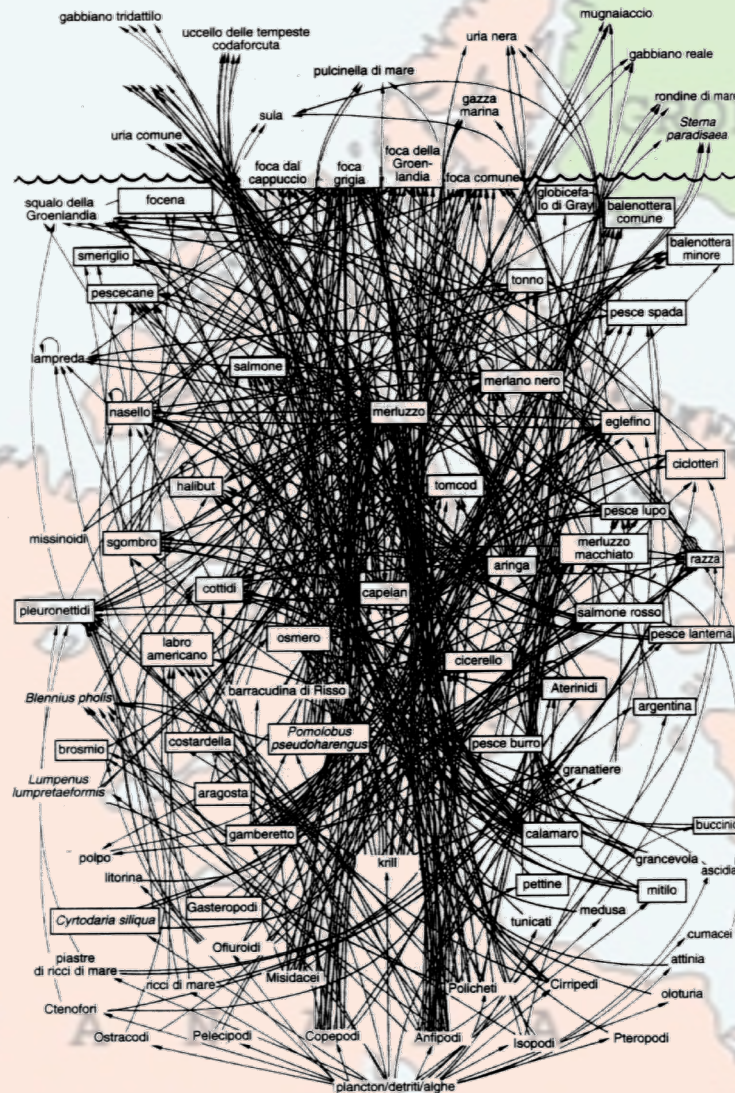


**Soluzione LINEARE:
eliminiamo le foche!**

NON LINEARITA' NELLE RETI ALIMENTARI (FOOD WEB)

A metà degli anni '80 i merluzzi dell'Atlantico nordoccidentale cominciarono a scarseggiare...

...e siccome le
foche della
Groenlandia si
nutrono di merluzzi,
il governo
Canadese pensò di
risolvere il
problema
“linearmente” e
sterminò per
diversi anni milioni
di foche!



Ma la rete delle relazioni alimentari del nord atlantico è una **rete complessa di tipo scale free** formata da 150 specie diverse che interagiscono in modo **altamente non lineare!**

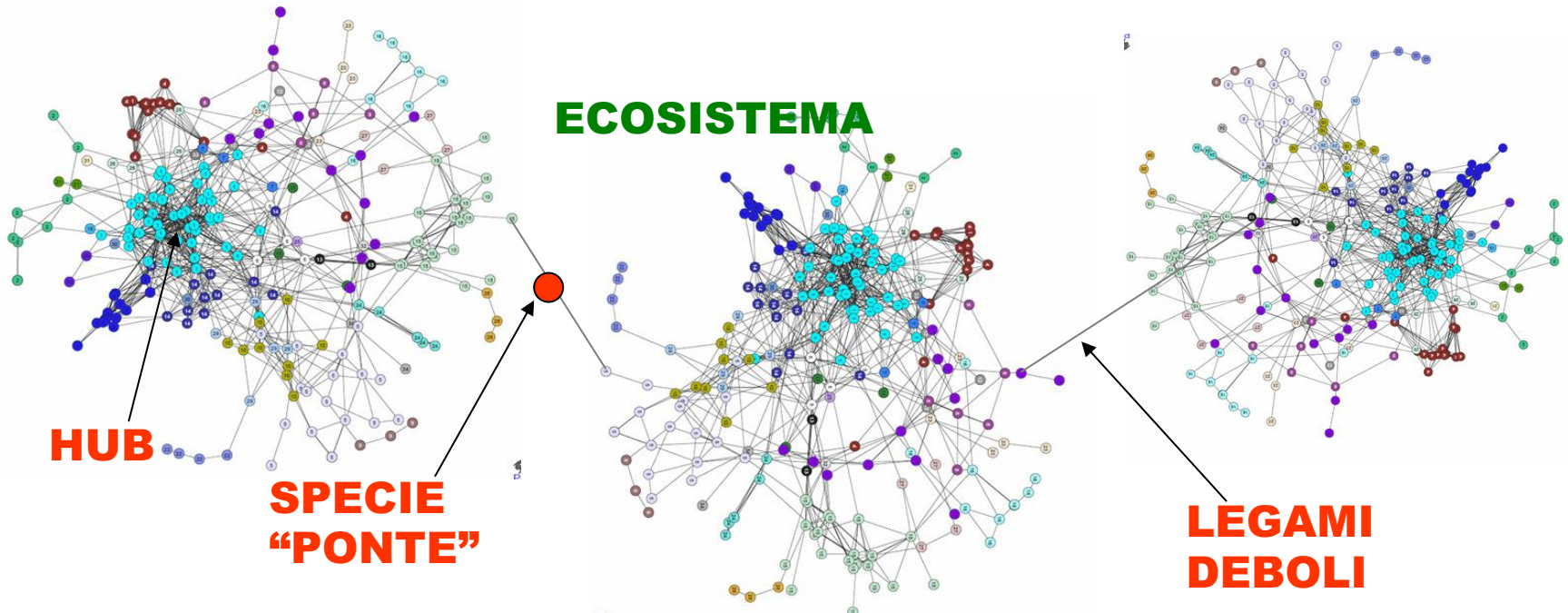
L'alterazione del numero delle foche diede luogo a migliaia di catene di retroazioni, rendendo di fatto impossibile prevedere l'effetto sui merluzzi!

DISGREGAZIONE DEGLI ECOSISTEMI

Oggi il tasso di estinzione delle specie viventi nel globo è *mille volte più alto* di quanto non fosse prima della comparsa dell'uomo sulla terra...



L'eliminazione di hub o di particolari legami deboli nella rete alimentare (specie "ponte") potrebbe distruggere un intero ecosistema (ad es. si è visto che basta eliminare il 20% degli hub perché la rete si disgreghi quasi del tutto! Solé e Montoya-2001)

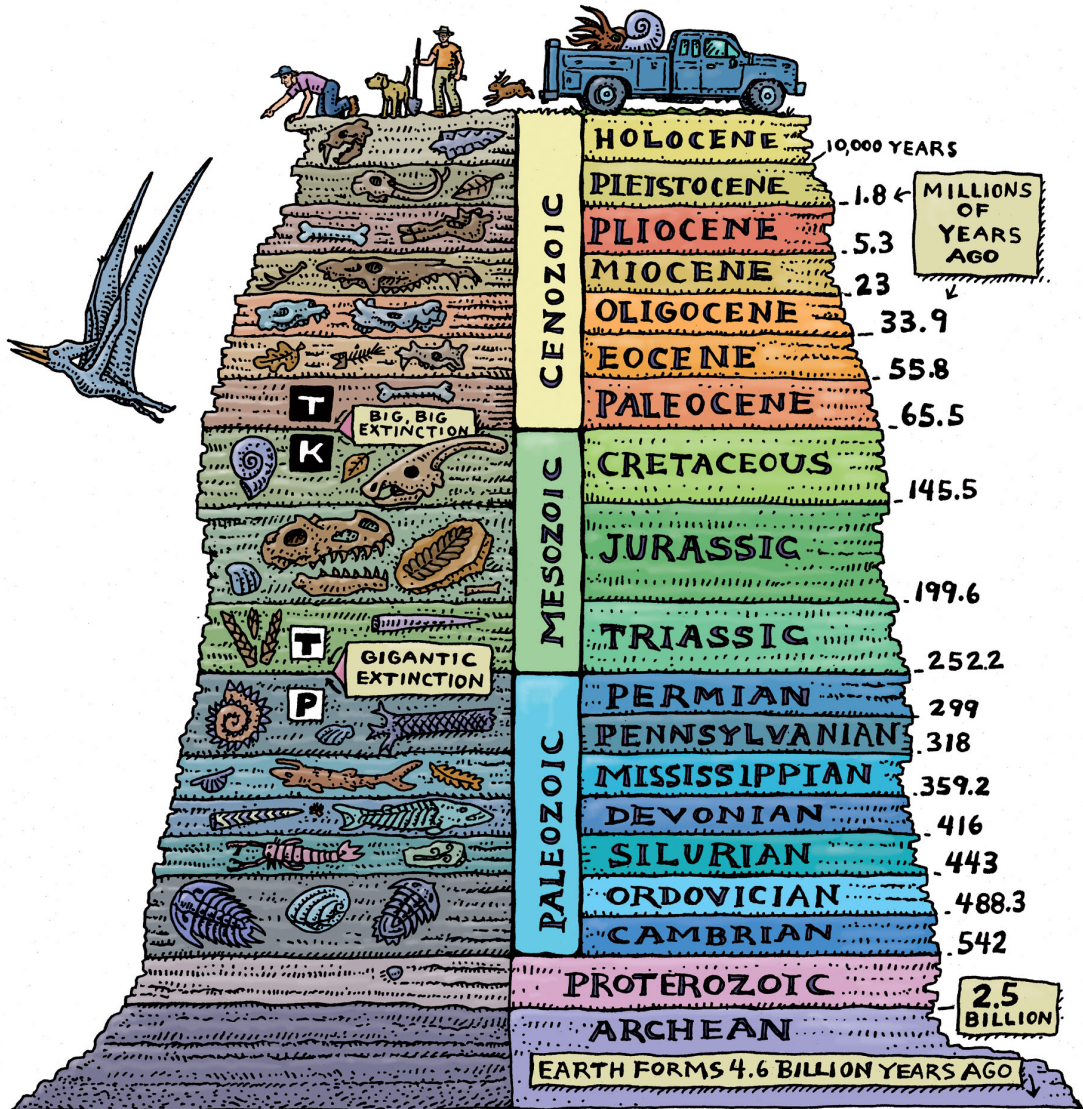




Eugene F. Stoermer



Benvenuti nell'Antropocene!

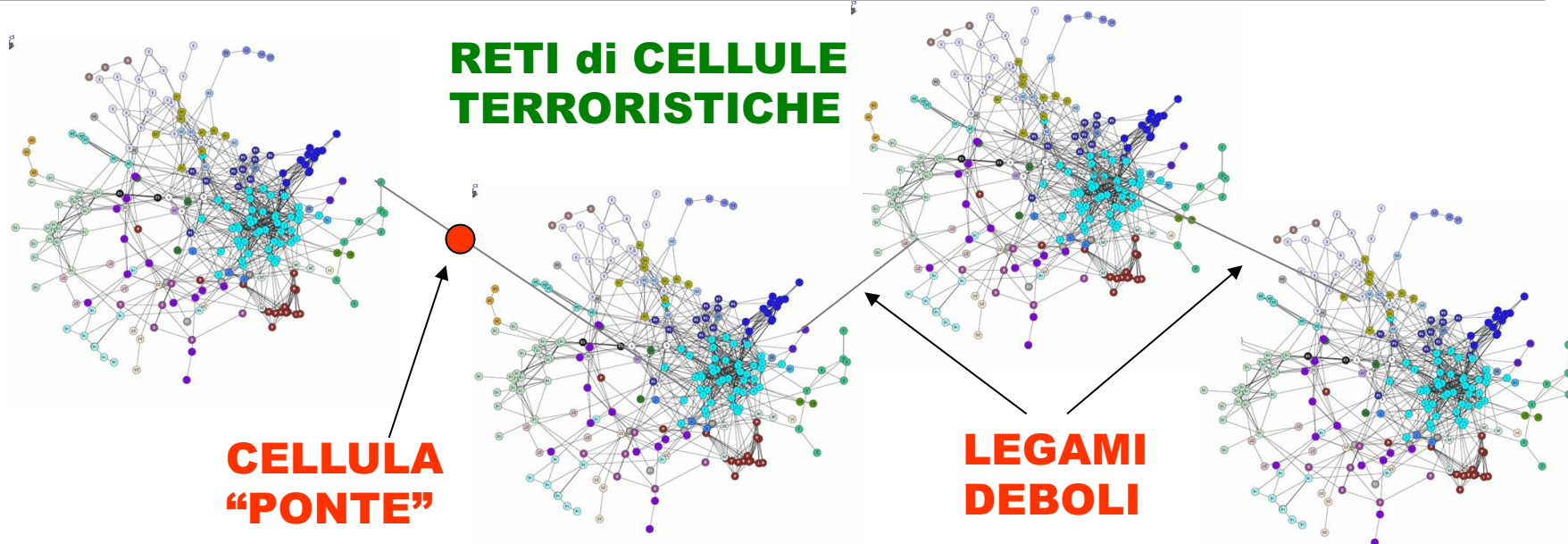


ATTACCHI TERRORISTICI

COME PUTROPPO SAPPIAMO, ATTACCHI TERRORISTICI MIRATI AGLI HUB DELLE NOSTRE RETI SOCIALI, ECONOMICHE ED INFORMATICHE POSSONO PRODURRE GRAVISSIME CONSEGUENZE...



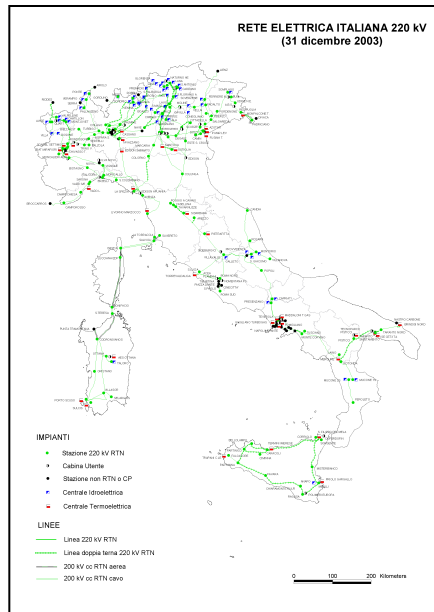
D'altra parte la conoscenza delle proprietà strutturali delle reti piccolo mondo potrebbe aiutarci nel tentativo di neutralizzare le reti di **cellule terroristiche decentralizzate** tipo Al Qaida o ISIS. In questo senso eliminare un hub potrebbe essere inutile, mentre per disgregare il sistema potrebbe essere più efficace agire sulle cellule ponte.



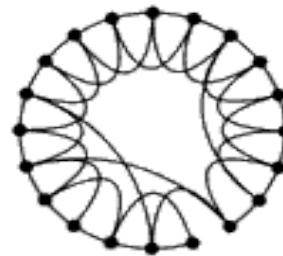
RISCHI DI BLACK-OUT

Le reti elettriche, come sappiamo, sono egualitarie e non hanno HUB ma i loro legami deboli le espongono comunque a rischi di black-out totali (come è accaduto nel 2003 sia negli Stati Uniti – ad Agosto - che in Italia – a Settembre).

RETE ELETTRICA ITALIANA



Small-world



RETE ELETTRICA DEGLI STATI UNITI



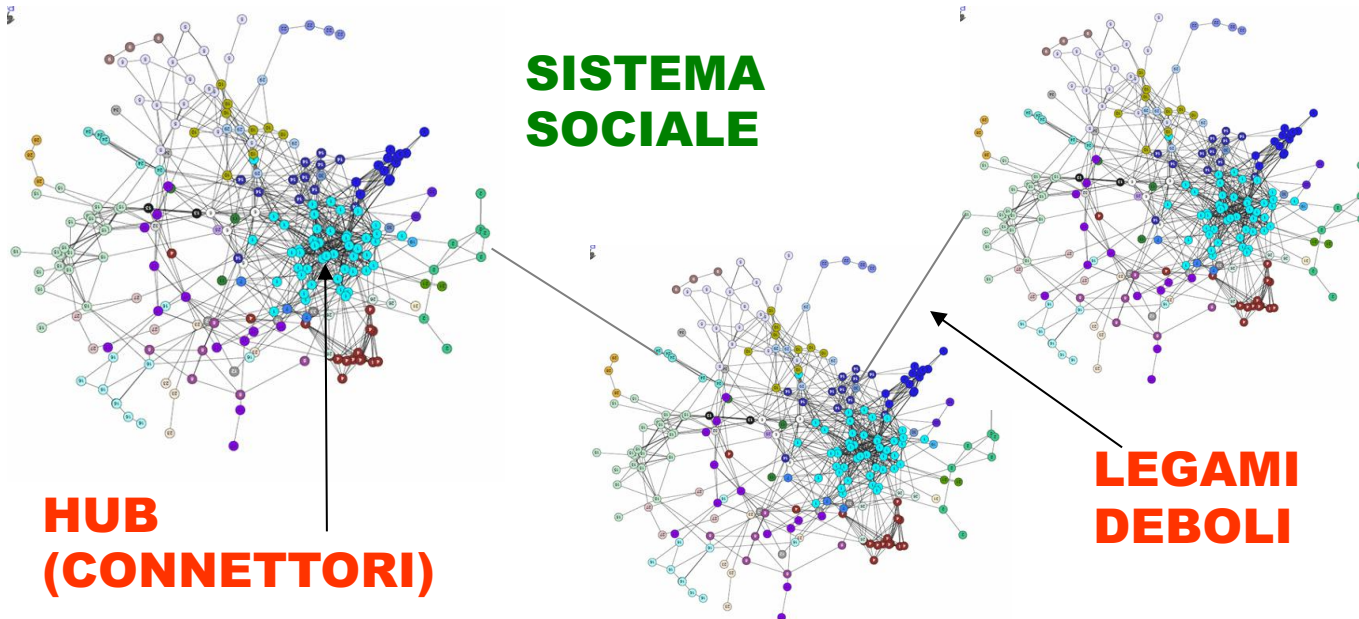
DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE

SOGLIE CRITICHE NELLA ESPLOSIONE DELLE EPIDEMIE INFETTIVE

RETI REGOLARI: L'epidemia rimane circoscritta a causa della mancanza di connettori e di legami deboli (“**gruppi chiave**”).

RETI EGUALITARIE: Esiste una soglia critica nella percentuale di legami deboli di lunga distanza, oltre la quale l'epidemia si espande senza controllo (*Zanette - 2001*)

RETI ARISTOCRATICHE: La presenza di hubs azzerla la soglia critica: quindi le malattie e i virus si diffondono *in ogni caso!* (*Vespignani-Pastor Satorras - 2001*)



DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE

ITALIA

Intervista al quotidiano La Repubblica

aa ✉ 🖨

Coronavirus, Borrelli: "Per ogni contagiato ufficiale 10 non censiti"

Secondo il capo della Protezione civile "Verosimilmente ad oggi circa 600mila contagiati". Sui numeri in calo resta cauto: "Nelle prossime ore capiremo se davvero la curva della crescita si sta appiattendendo". Ieri 3780 nuovi casi contro 3957 del giorno prima

Condividi 722

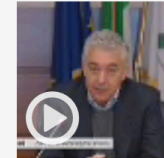
Tweet



24 marzo 2020

La parola d'ordine ora è cautela. Soprattutto perché per il capo della Protezione civile, Angelo Borrelli, verosimilmente in Italia ad oggi ci sono circa 600mila contagiati dal nuovo coronavirus. I numeri ufficiali parlano di 63mila ma in una intervista al quotidiano La Repubblica Borrelli ammette: "Il rapporto di un malato certificato ogni dieci non censiti è credibile".

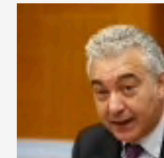
ITALIA



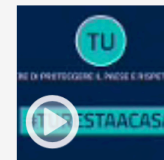
ARCURI: "GRAZIE AD ACCORDO CON UE 50 MILIONI ALLE IMPRESE CHE SI CONVERTONO PER LOTTA A CORONAVIRUS"



EMILIA ROMAGNA, AL LAVORO I MEDICI ASINTOMATICI



ARCURI: "300 NUOVI MEDICI DA DOMANI NELLE REGIONI PIÙ COLPITE. COMBATTIAMO UN NEMICO INVISIBILE"



CHI PUÒ FERMARE L'EPIDEMIA DI #COVID-19?



CORONAVIRUS, SPALLANZANI: 220 I PAZIENTI POSITIVI, 25 CON SUPPORTO VENTILATORIO

DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE



Coronavirus COVID-19 Global Cases by the Center for Systems Science and Engineering

Total Confirmed

392.780

Confirmed Cases by
Country/Region/Sovereignty

81.588 China

63.927 Italy

46.481 US

39.673 Spain

30.150 Germany

24.811 Iran

20.149 France

9.117 Switzerland

9.037 Korea, South

6.733 United Kingdom

4.829 Austria

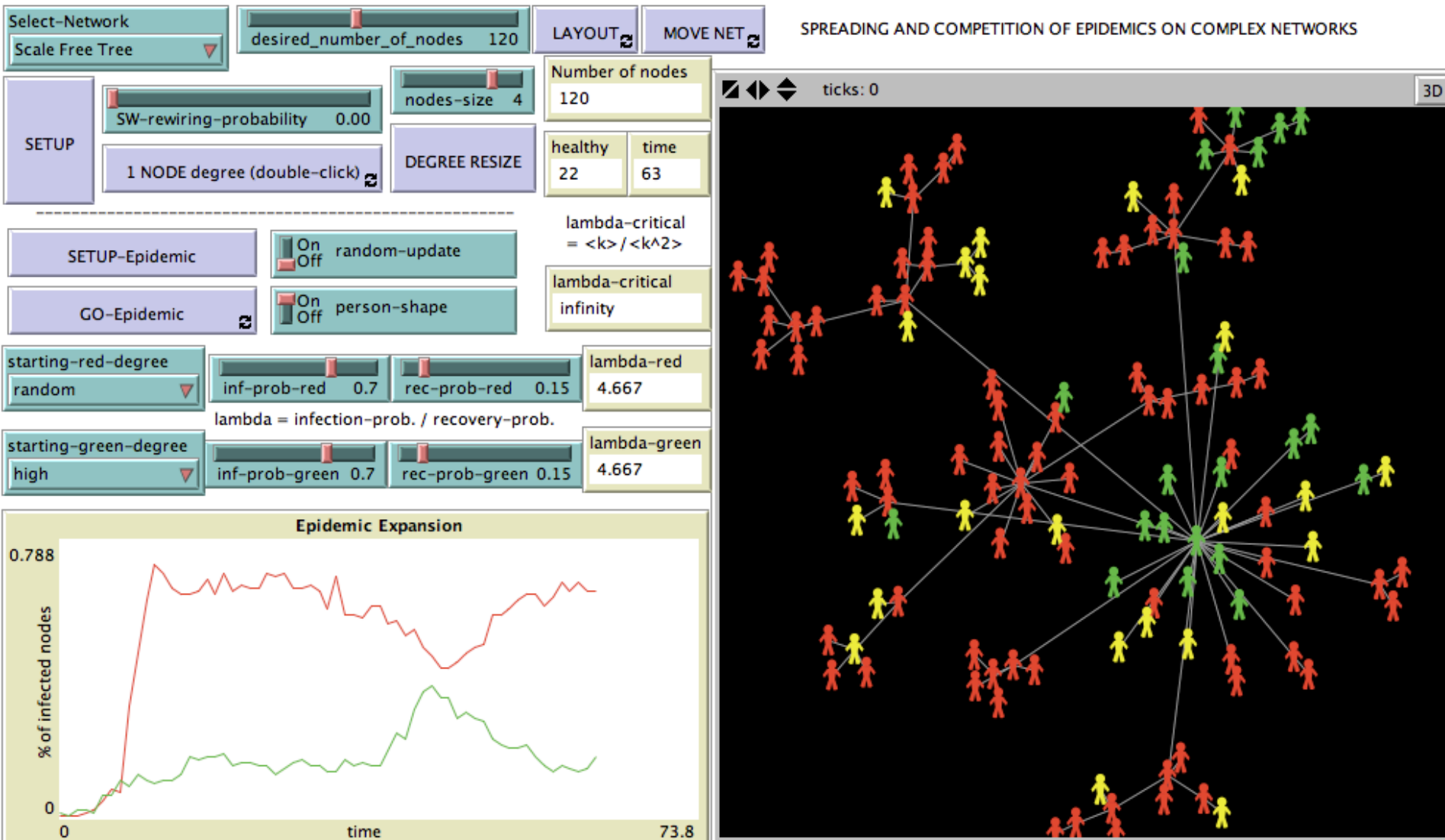
4.767 Netherlands

4.269 Belgium



Esri, FAO, NOAA

DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE, DELLE IDEE, DELLE MODE O DEI VIRUS INFORMATICI



Le Scienze

EDIZIONE ITALIANA DI SCIENTIFIC AMERICAN

LA RIVISTA IN EDICOLA

L'universo quantistico

Un esperimento chiarirà se lo spazio-tempo è discreto

ABBONAMENTI E RINNOVI


[ZOOM SU](#)
[sonno e sogni](#)
[energia oscura](#)
[entanglement](#)
[paleontologia](#)
[nucleare](#)
[tutti gli argomenti](#)

29 marzo 2012

La competizione fra idee nei social network



© Images.com/Corbis

Nelle reti sociali virtuali le idee possono trasmettersi tra gli utenti in modo simile ai geni che si trasmettono tra generazioni di organismi viventi. Un'analisi su dati ottenuti da Twitter ha dimostrato che il successo globale di un'idea sui social network è determinato sia dalla sua capacità di vincere la competizione per l'attenzione degli utenti, una risorsa che scarseggia nel mondo virtuale, sia dalla struttura della rete sociale on line di riferimento, e non dal suo merito specifico (red)

CONTENUTI CORRELATI



Social media: che cosa ha successo e che cosa no su Twitter



L'origine sociobiologica di Facebook


[società](#)
[internet](#)

Le idee possono avere un impatto potenziale formidabile sull'opinione pubblica, la cultura o la politica, grazie alla loro capacità di auto-propagarsi. Sono cioè l'equivalente di ciò che è il gene per l'organismo vivente: memi, per usare l'espressione coniata da Richard Dawkins.

Login

International FameLab
TALKINGSCIENCE Media partner

RICERCA


[Mail](#)
[Stampa](#)
[Consiglia](#) 81

[Tweet](#) 13

[+1](#) 5

SULLO STESSO ARGOMENTO

DAL SITO

13/02/2012

Social media: che cosa ha successo e che cosa no su

SEGUICI

[Facebook](#)
[Twitter](#)
[RSS](#)

CONTATTI

[Newsletter](#)
[Chi siamo](#)

Mente&cervello

IL MENSILE DI PSICOLOGIA E NEUROSCIENZE

Sconfiggere lo stress

Lo stress può avere conseguenze gravi su salute e produttività. Ma imparare a gestirlo è possibile
In edicola dal 28 marzo

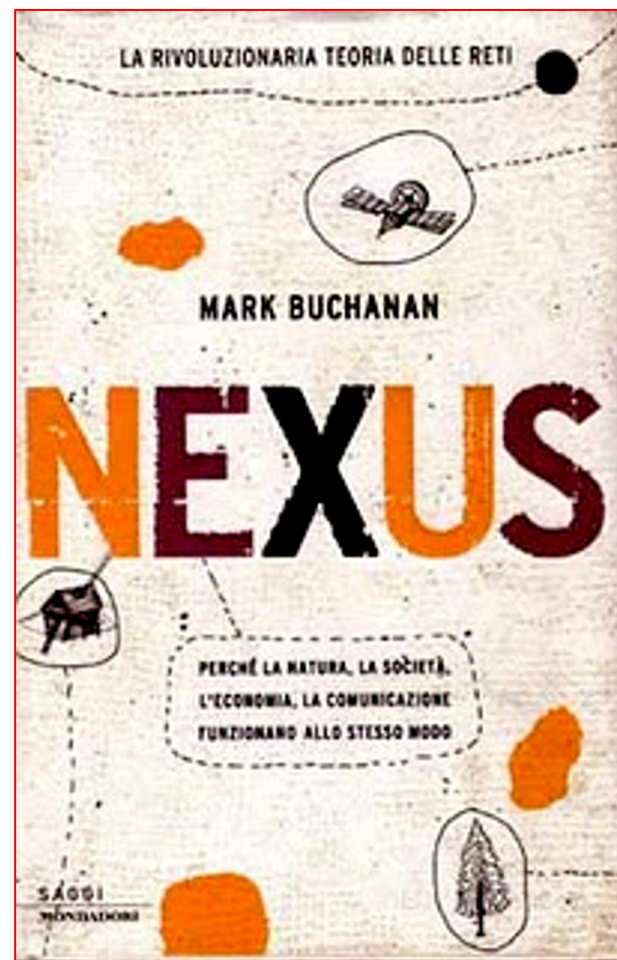
ABBONAMENTI E RINNOVI

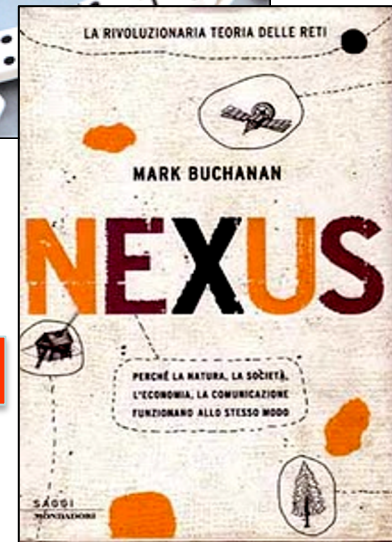


Mark Buchanan

“Nexus: La Rivoluzionaria Teoria delle Reti. Perché la natura, la società, l'economia, la comunicazione funzionano allo stesso modo”

2004 – Mondadori (Oscar Saggi)

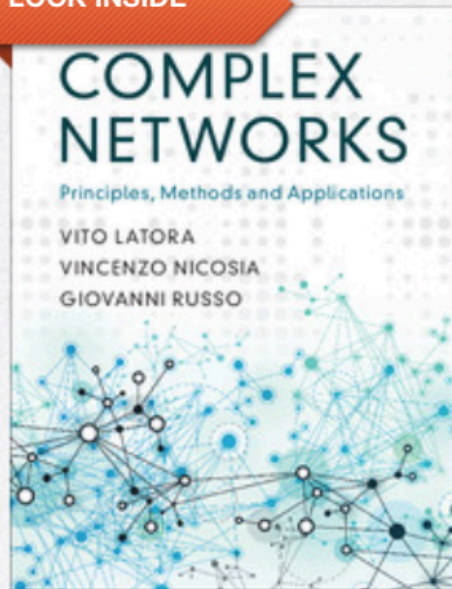




La Legge di Potenza



LOOK INSIDE



Complex Networks

Principles, Methods and Applications

AUTHORS:

[Vito Latora](#), Queen Mary University of London

[Vincenzo Nicosia](#), Queen Mary University of London

[Giovanni Russo](#), Università degli Studi di Catania, Italy

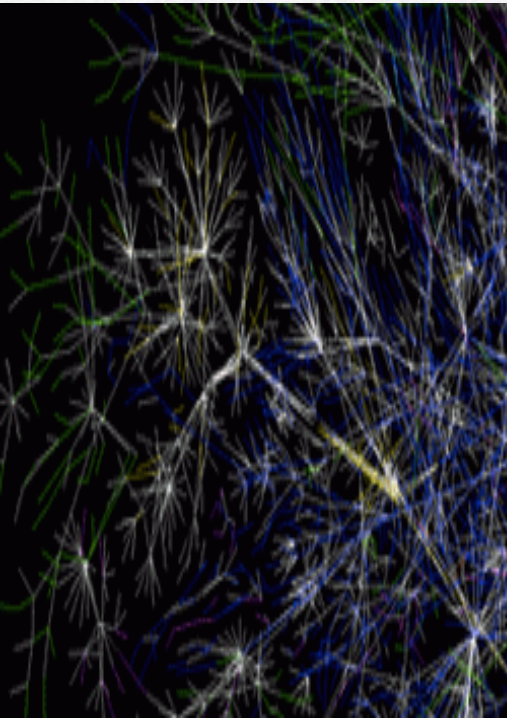
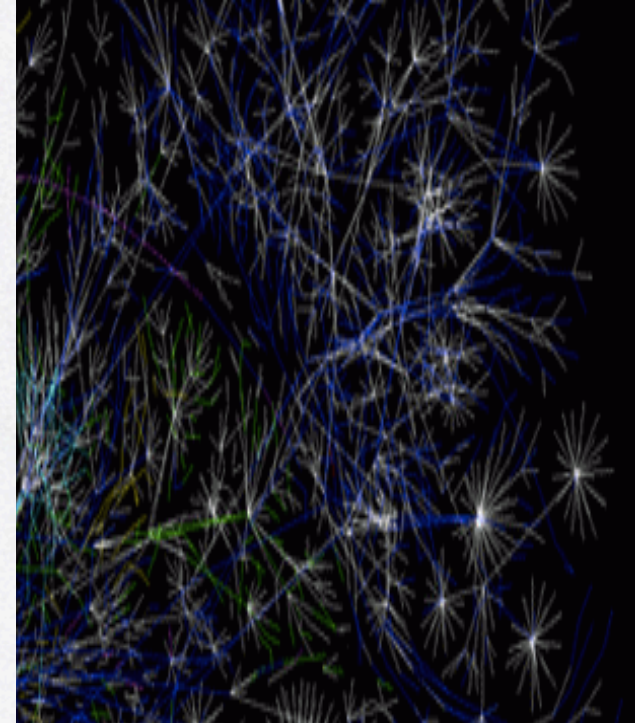
DATE PUBLISHED: September 2017

AVAILABILITY: In stock

FORMAT: Hardback

ISBN: 9781107103184

[Rate & review](#)



LOOK INSIDE



Dynamical Processes on Complex Networks

AUTHORS:

[Alain Barrat](#), Centre de Physique Théorique, Marseille

[Marc Barthélemy](#), Centre Commissariat à l'Energie Atomique (CEA)

[Alessandro Vespignani](#), Northeastern University, Boston

DATE PUBLISHED: October 2012

AVAILABILITY: In stock

FORMAT: Paperback

ISBN: 9781107626256

[Rate & review](#)