

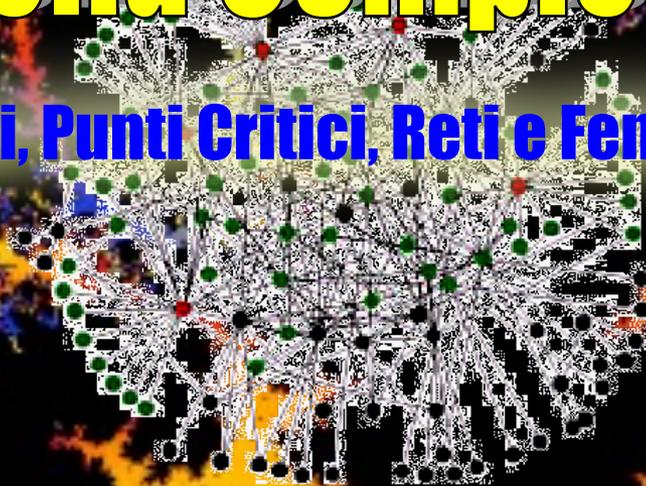
Corso di Sistemi Dinamici, Caos e Complessità 2023-2024

Alessandro Pluchino

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

Introduzione alla Nuova Scienza della Complessità

Simulazioni, Punti Critici, Reti e Fenomeni Emergenti

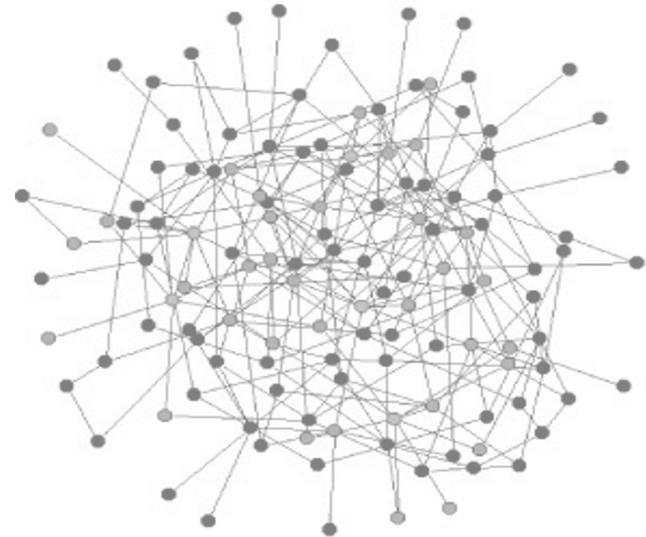


Due possibili descrizioni di un sistema complesso

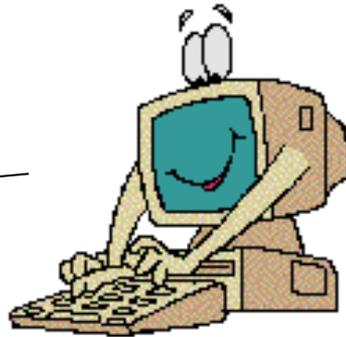
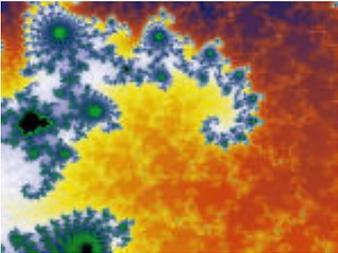
Da un **punto di vista dinamico** è possibile descrivere un sistema complesso come un insieme costituito da numerosi elementi, detti anche **“agenti”** (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...), che **interagiscono** tra loro di solito in maniera **non lineare** spostandosi all'interno di un certo **spazio** (reale o virtuale) e secondo certe regole:



Da un punto di vista topologico (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una rete (network) costituita da un certo numero di nodi (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra loro per mezzo di links che esprimono delle relazioni tra i nodi:

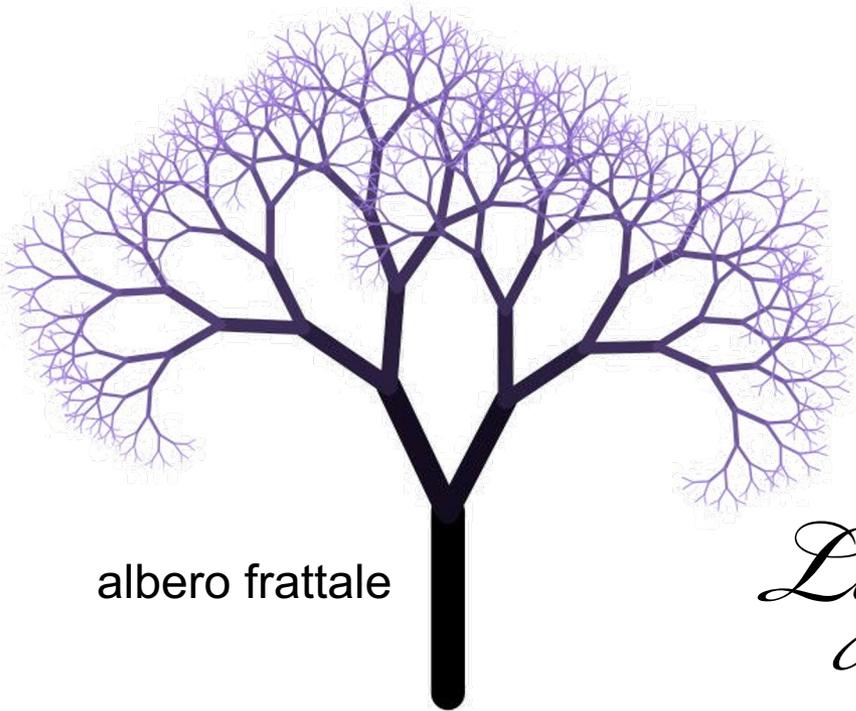
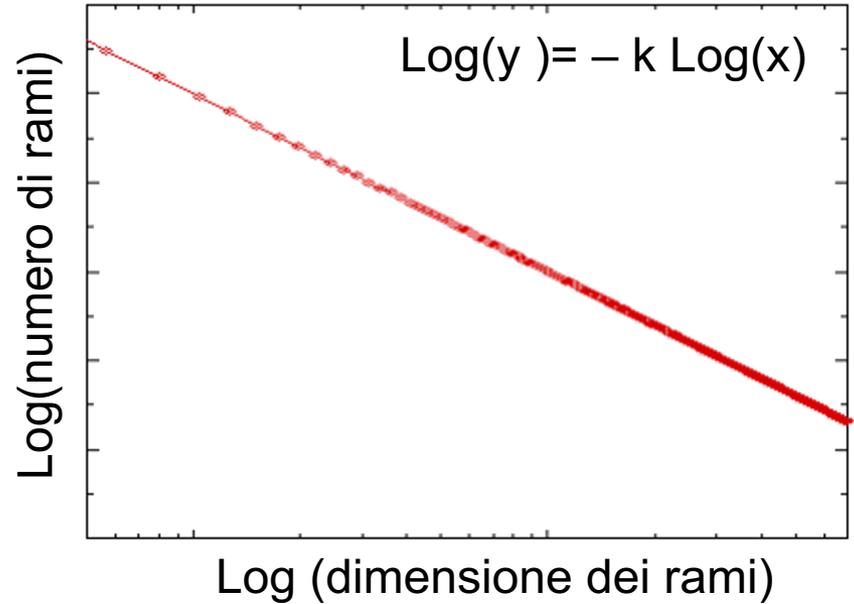


Autosimilarità e Invarianza di Scala



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

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



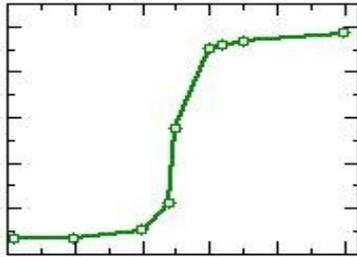
albero frattale

$$f(x) = ax^{-k}$$

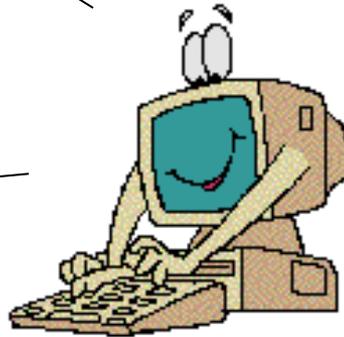
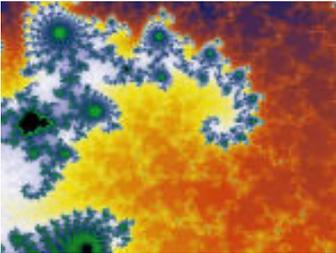
Legge di Potenza



Non linearità e Soglie Critiche



Autosimilarità e Invarianza di Scala

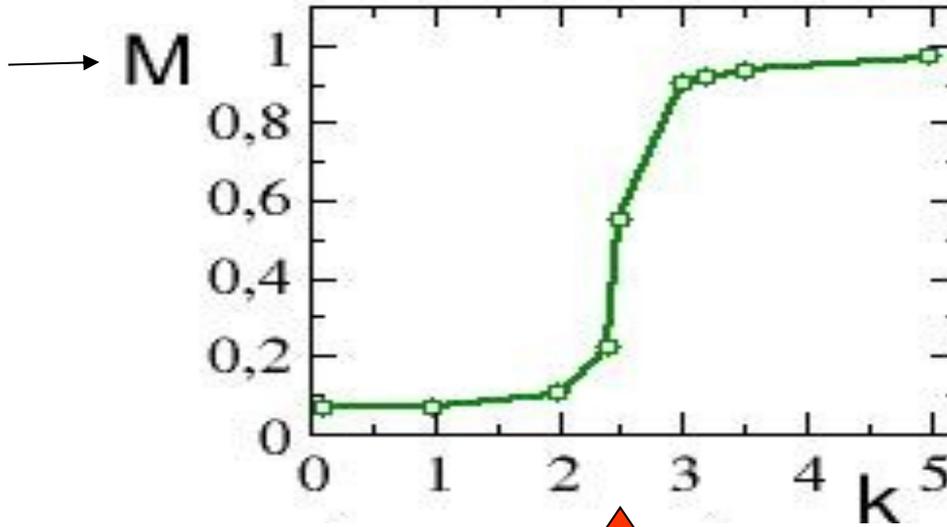


**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

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



parametro di
controllo

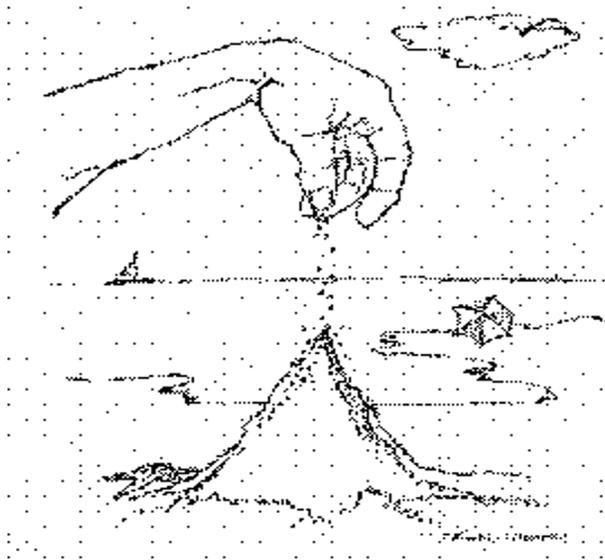
Punto Critico

Bisogna regolare il parametro di controllo
per portare il sistema al punto 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)

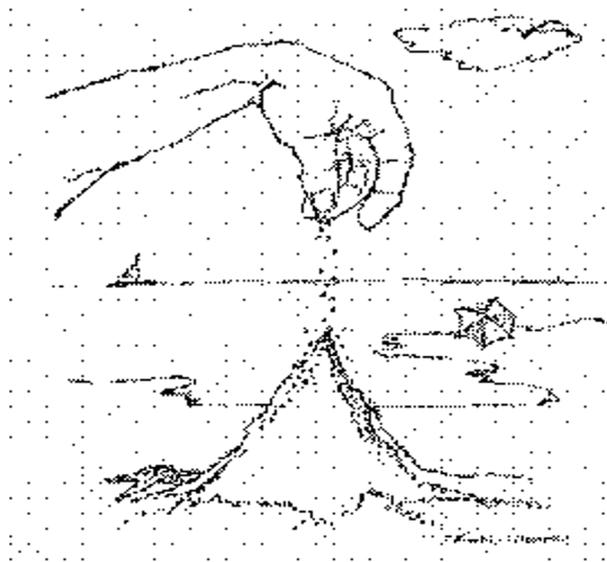
Valanghe reali



La Criticità Auto-organizzata

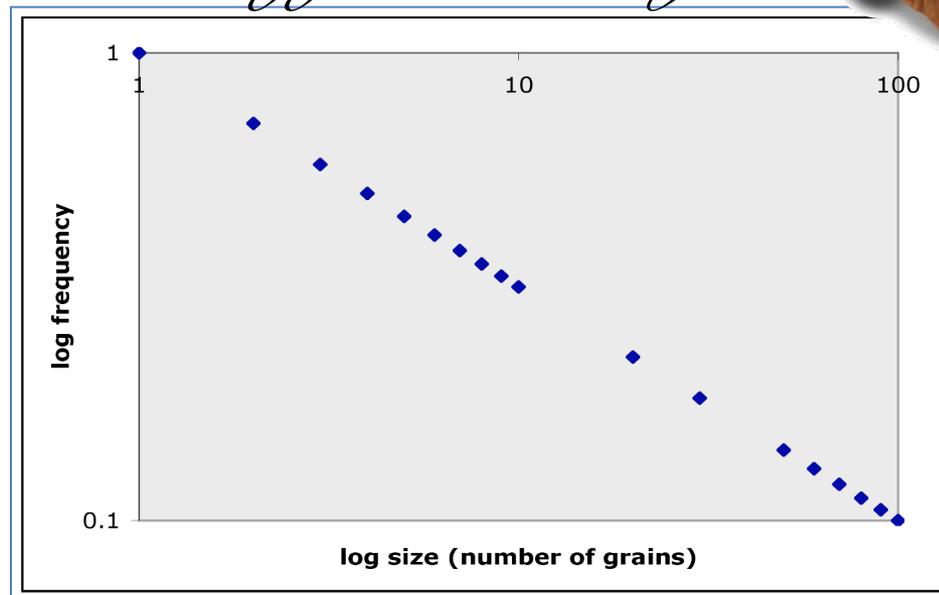
Nel 1987, studiando la **formazione delle “valanghe”** in un mucchietto di sabbia (sandpile), tre ricercatori americani, Per Bak, Chao Tang e Kurt Weisenfeld scoprirono un importante meccanismo fisico generatore di complessità, noto come **“criticità auto-organizzata”**, il quale permette di capire come 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



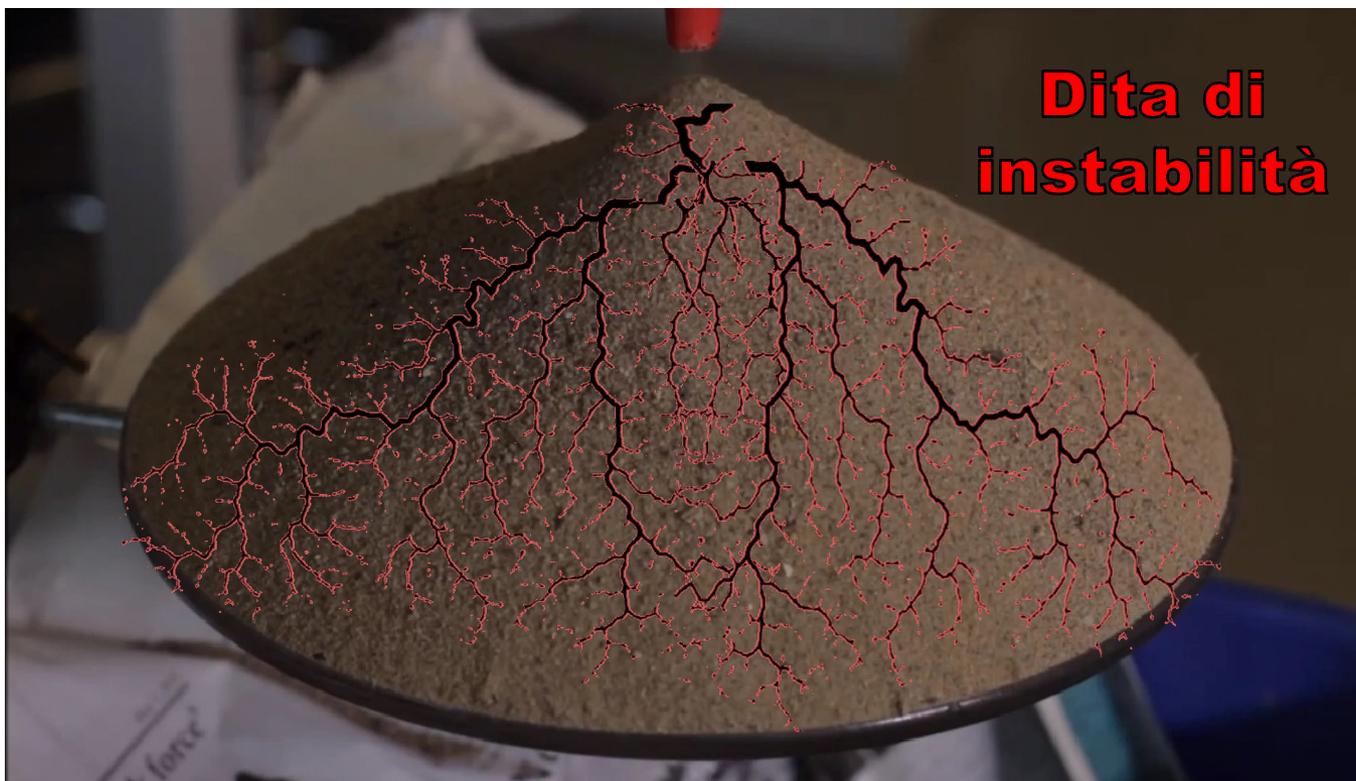
La Criticità Auto-organizzata

Nel 1987, studiando la **formazione delle “valanghe”** in un mucchietto di sabbia (sandpile), tre ricercatori americani, Per Bak, Chao Tang e Kurt Wiesenfeld 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”**



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 Wiesenfeld 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”**

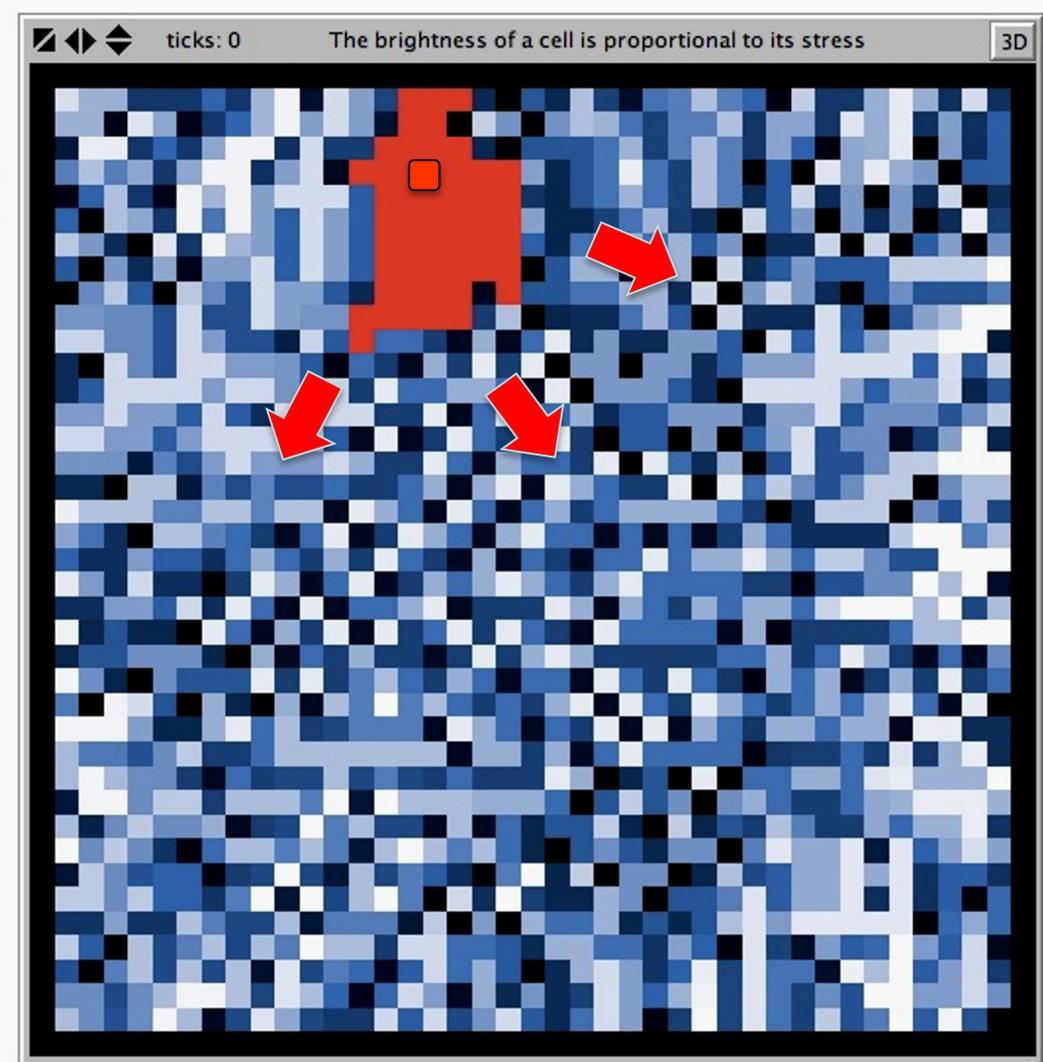


La Criticità Auto-organizzata e i Terremoti: il modello OFC

Nel **modello OFC** ogni celletta simula un blocco di crosta terrestre soggetto a uno **stress sismico** F_i (l'intensità del colore blu è proporzionale allo stress). Inizialmente lo stress su ogni celletta è distribuito casualmente, poi viene fatto **aumentare gradualmente in maniera uniforme** per simulare ad esempio uno spostamento di faglia. Appena lo stress su una certa celletta supera la **soglia critica** F_{th} (uguale per tutte le cellette) parte l'effetto domino: la celletta in questione (colorata in rosso) scarica tutto il suo stress sulle cellette vicine (a meno di un certo fattore di **dissipazione** regolato dal parametro α), che a loro volta, grazie a questo surplus di stress, potrebbero superare la soglia (diventando rosse) e scaricare sulle vicine, e così via, finchè non ci sono più celle che superano la soglia.

$$F_i \geq F_{th} \Rightarrow \begin{cases} F_i \rightarrow 0, \\ F_{nn} \rightarrow F_{nn} + \alpha F_i \end{cases}$$

Il **numero totale di celle rosse** alla fine dell'evento sismico rappresenta la sua «**size**», o dimensione, legata (nella realtà) all'energia rilasciata.

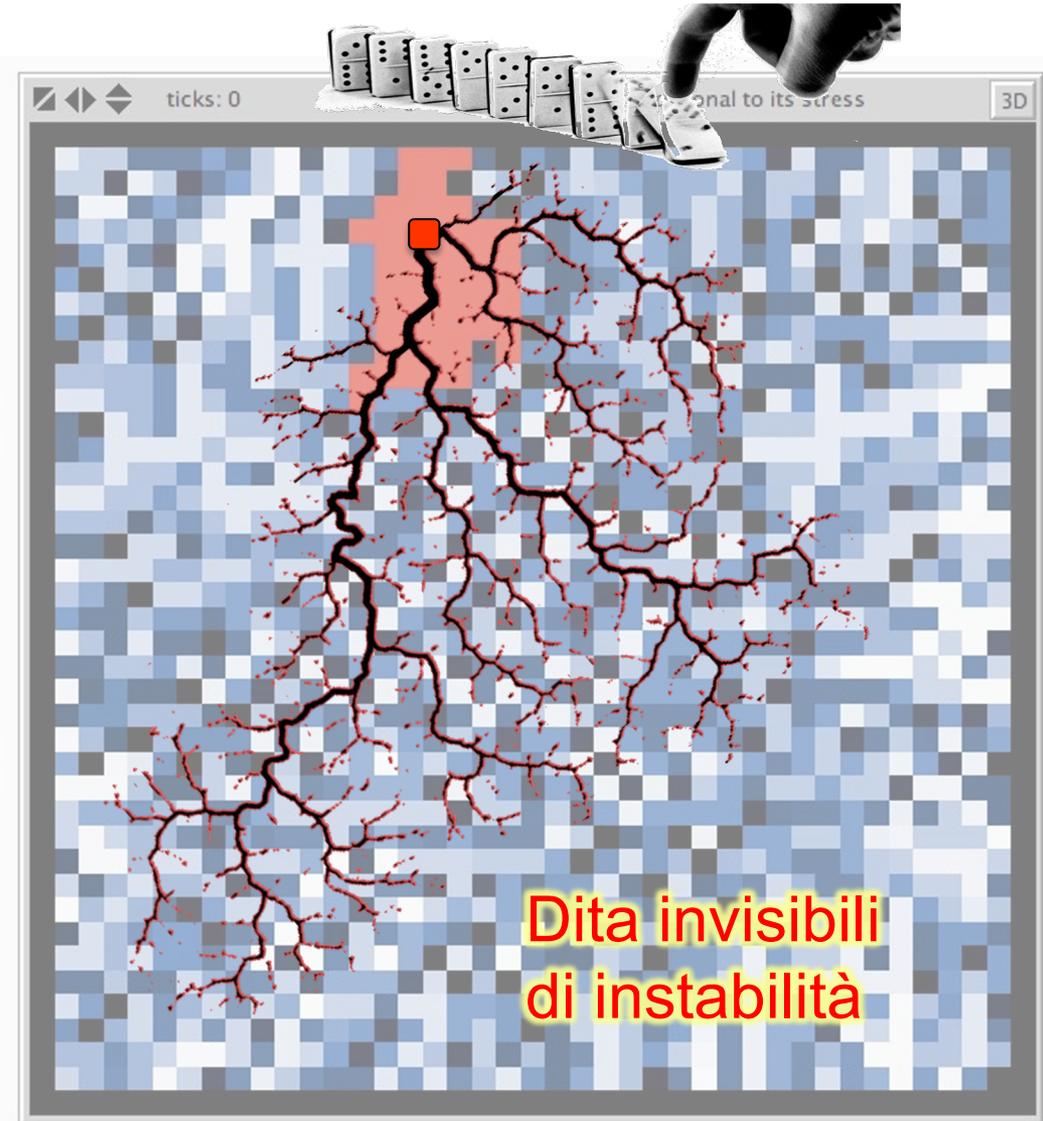


La Criticità Auto-organizzata e i Terremoti: il modello OFC

Nel **modello OFC** ogni celletta simula un blocco di crosta terrestre soggetto a uno **stress sismico** F_i (l'intensità del colore blu è proporzionale allo stress). Inizialmente lo stress su ogni celletta è distribuito casualmente, poi viene fatto **aumentare gradualmente in maniera uniforme** per simulare ad esempio uno spostamento di faglia. Appena lo stress su una certa celletta supera la **soglia critica** F_{th} (uguale per tutte le cellette) parte l'effetto domino: la celletta in questione (colorata in rosso) scarica tutto il suo stress sulle cellette vicine (a meno di un certo fattore di **dissipazione** regolato dal parametro α), che a loro volta, grazie a questo surplus di stress, potrebbero superare la soglia (diventando rosse) e scaricare sulle vicine, e così via, finché non ci sono più celle che superano la soglia.

$$F_i \geq F_{th} \Rightarrow \begin{cases} F_i \rightarrow 0, \\ F_{nn} \rightarrow F_{nn} + \alpha F_i \end{cases}$$

Il **numero totale di celle rosse** alla fine dell'evento sismico rappresenta la sua «**size**», o dimensione, legata (nella realtà) all'energia rilasciata.

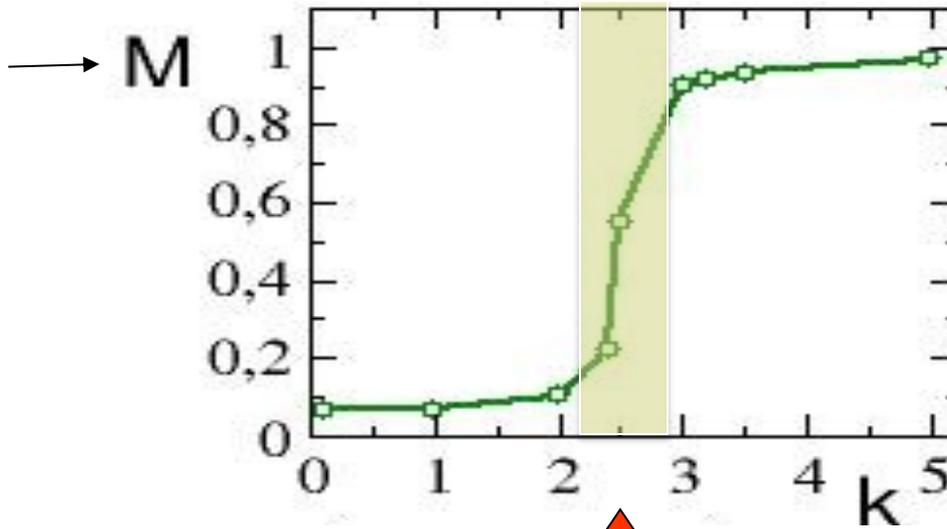


La dinamica dello stato critico implica quindi che **tutti i terremoti (o le altre tipologie di eventi simili) nascono «piccoli»**. Se e quanto diventeranno «grandi», dipende solo dalle **dita invisibili di instabilità** che percorrono il sistema. Per questo motivo, **prevedere** l'occorrenza di eventi estremi in un sistema nello stato critico è di fatto **impossibile**.

Dal «punto critico» allo «stato critico»

I sistemi soggetti alla **criticità autorganizzata** non hanno bisogno di regolare «a mano» il parametro di controllo ma si portano «spontaneamente» al confine tra ordine e disordine, ossia nel cosiddetto «**stato critico**»...

parametro
d'ordine



parametro di
controllo

Stato Critico

Il sistema si porta SPONTANEMENTE
nello stato critico



i terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



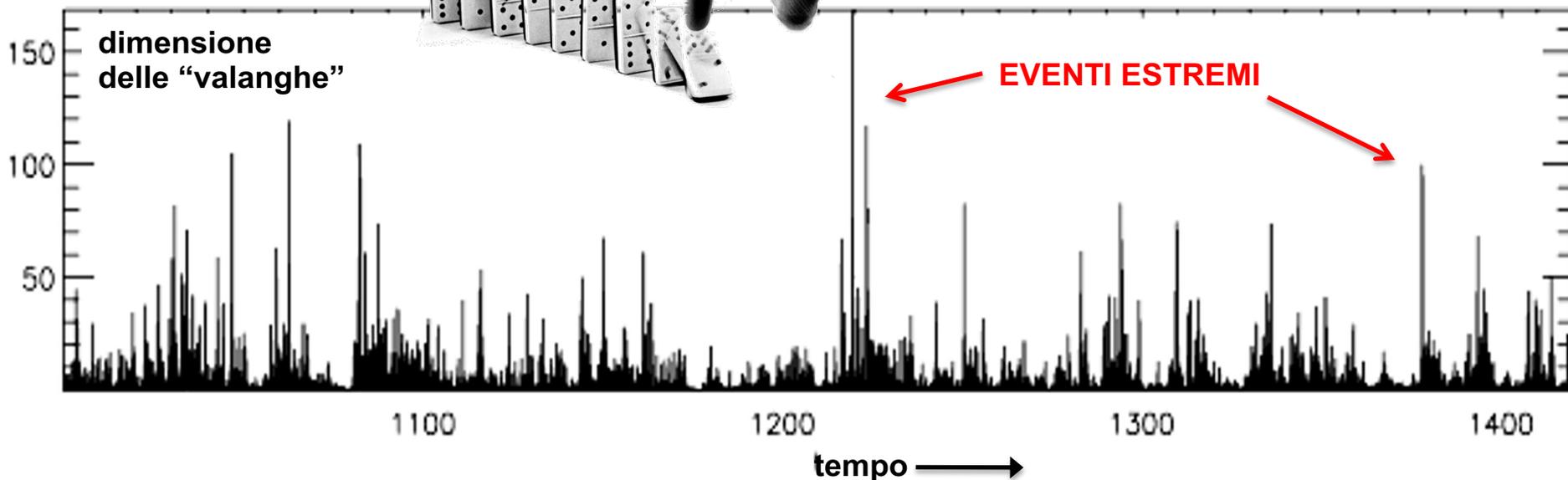
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**





i terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



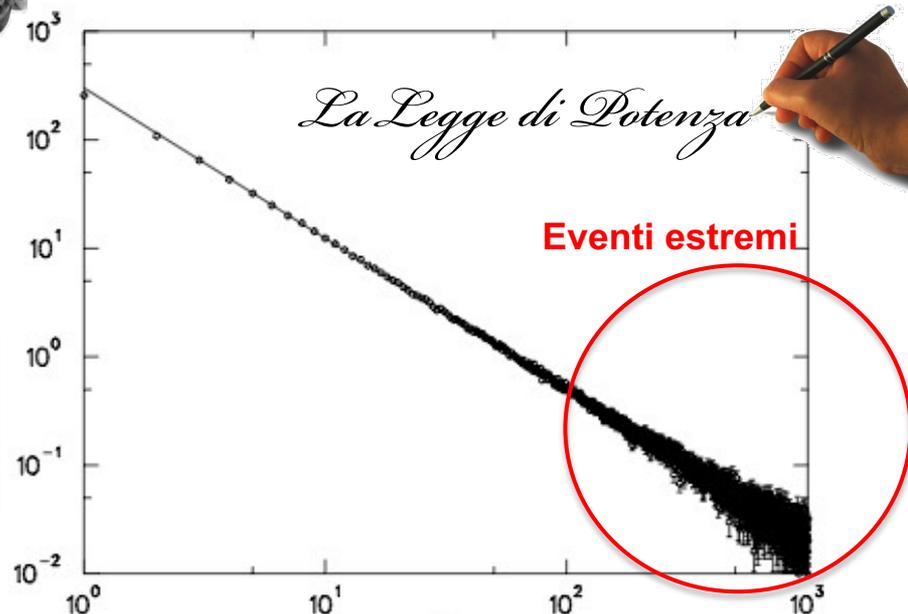
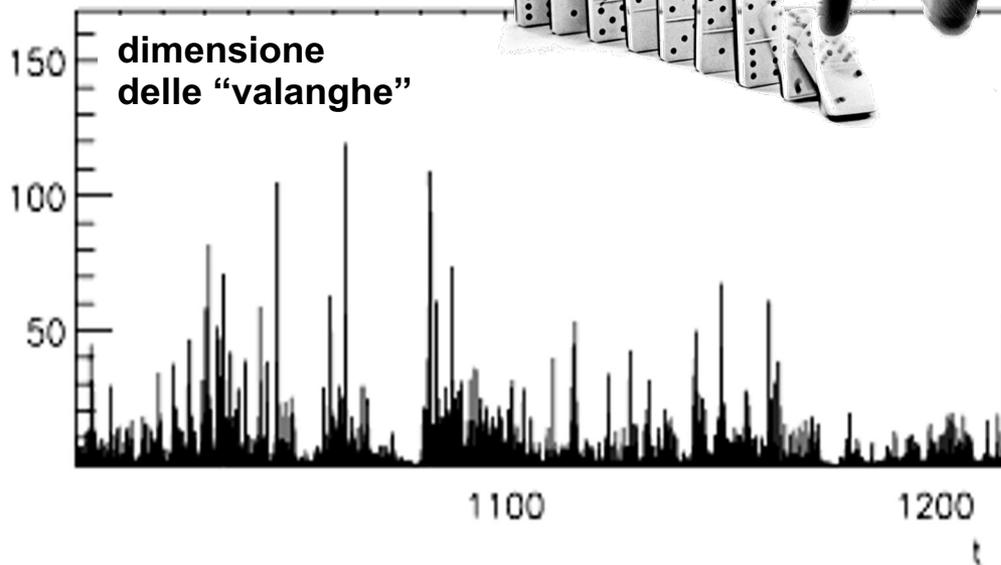
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**





gli terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



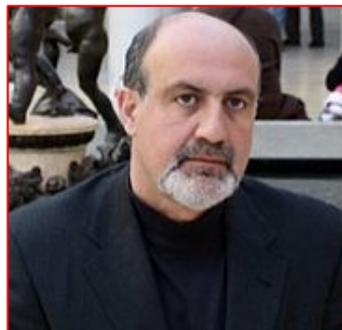
i crolli in Borsa

Le epidemie

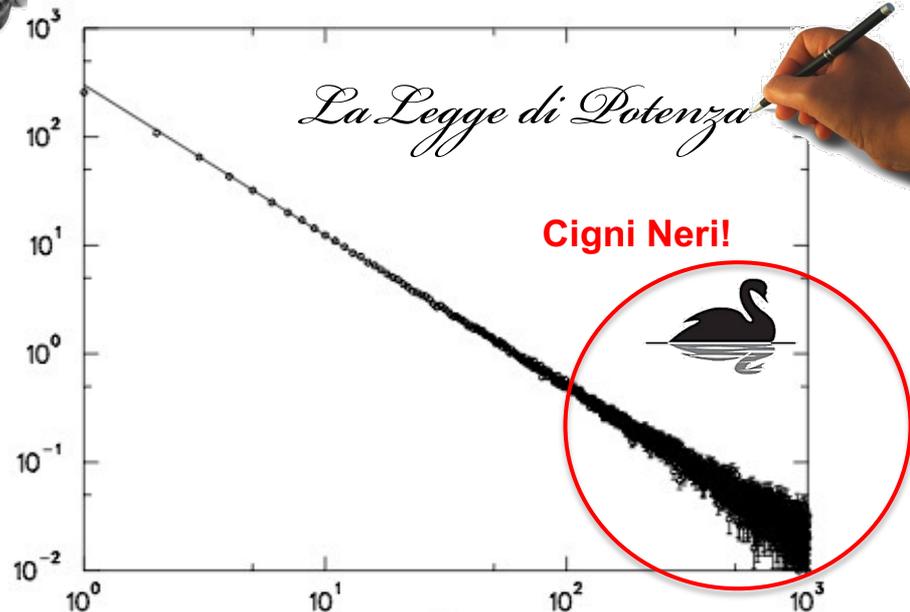


"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





i terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



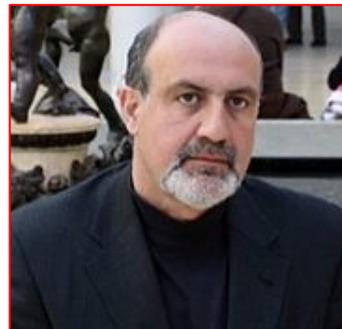
i crolli in Borsa

Le epidemie

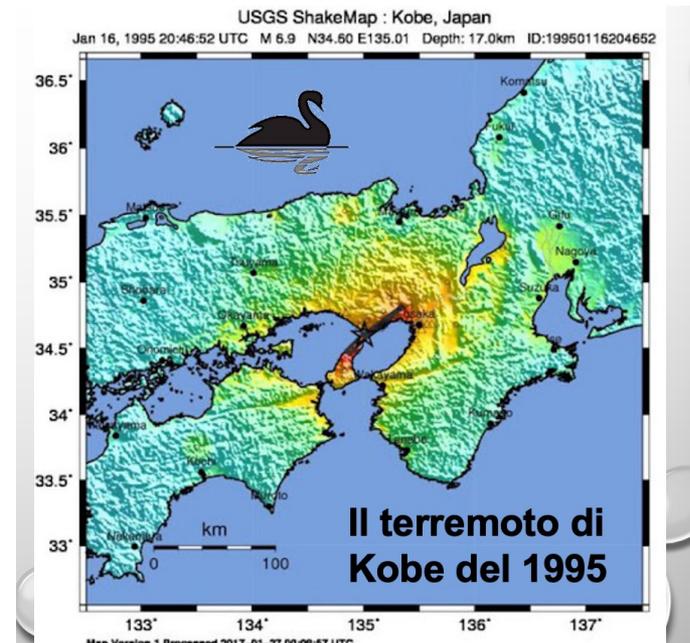


"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





gli terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



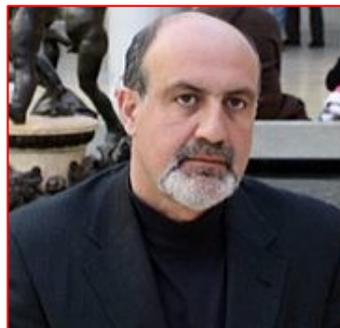
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





i terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



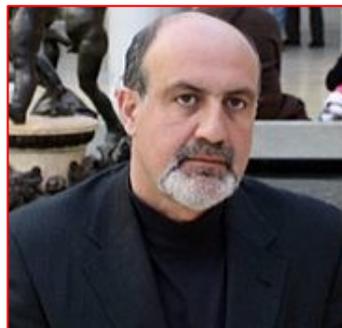
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





i terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



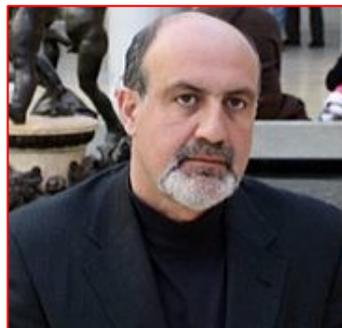
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





i terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



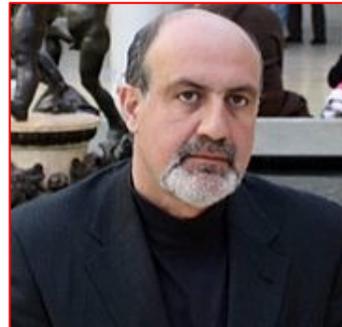
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





gli uragani

gli uragani



gli incendi

Le guerre



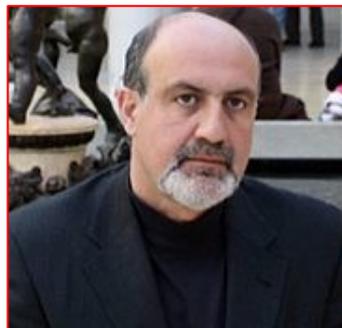
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





gli terremoti

gli uragani



gli incendi

Le guerre



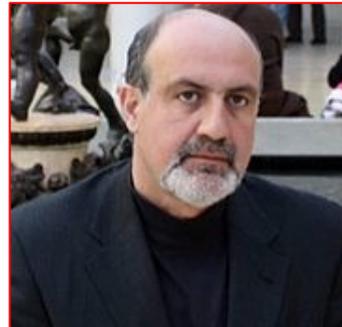
i crolli in Borsa

Le epidemie



"Stato Critico"

Si tratta di una situazione di estrema instabilità e intermittenza situata al **confine tra ordine e disordine**, molto sensibile alle condizioni iniziali e fortemente dipendente dalla storia passata del sistema, nella quale **cause anche molto piccole possono essere amplificate, per effetto domino, dalle "dita invisibili" formate dalle correlazioni che attraversano il sistema, fino a produrre effetti ("valanghe" o eventi estremi) di qualunque dimensione!**



Nassim Nicholas Taleb





i terremoti

gli uragani



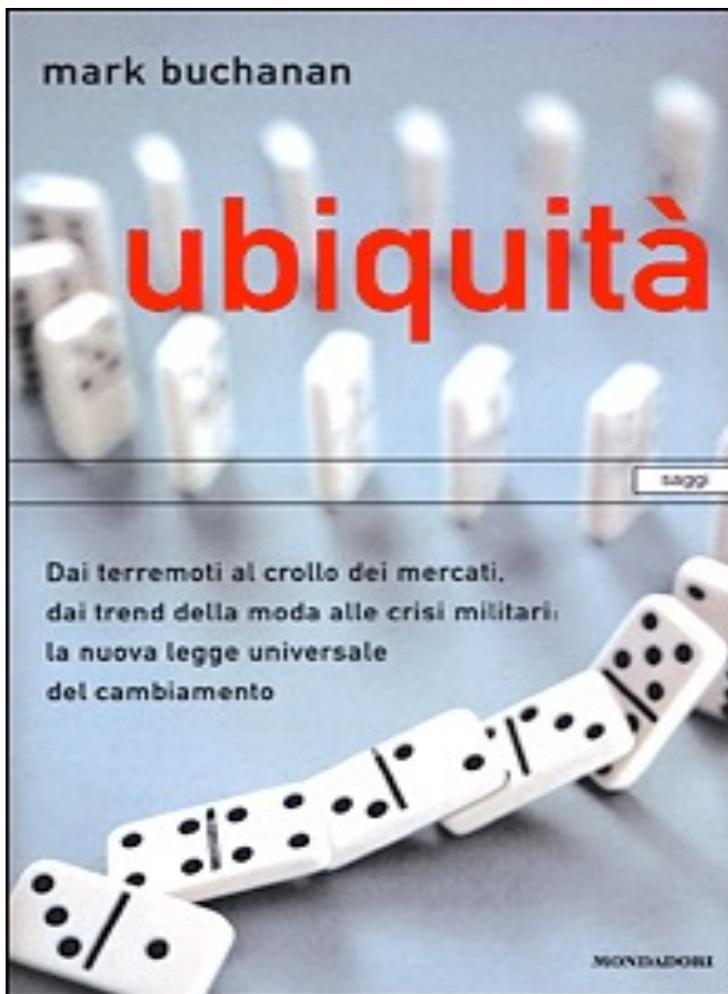
gli incendi

Le guerre



i crolli in Borsa

Le epidemie



“Ubiquità. dal terremoto al crollo dei mercati, dai trend della moda alle crisi militari: la nuova legge universale del cambiamento”

Mark Buchanan
2001 – Mondadori (collana Saggi)

La Criticità Auto-organizzata e gli Incendi



Subject ▾ Journals Books Major Reference Works Partner With Us ▾ Open Access About Us ▾

Fractals in Natural Sciences, pp. 599-606 (1994)

No Access

SELF ORGANIZATION IN A FOREST-FIRE MODEL

B. DROSSEL and F. SCHWABL

https://doi.org/10.1142/9789814503792_0059 | Cited by: 0

< Previous

1992

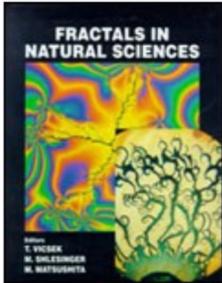
La Legge di Potenza

PDF/EPUB

Tools Share

Abstract:

We generalize the forest-fire model of P. Bak et al., which contains a tree nearest growth probability p and fire spreading to the neighbors, by including a lightning probability f and an immunity g which is the probability that a tree catches no fire although one of its neighbors is burning. The model becomes self-organized critical in the limit $f/p \rightarrow 0$, provided the time scales of tree growth and burning down of forest clusters are separated. The size distribution of forest clusters obeys a power law. We calculate the critical exponents in one dimension. A continuous phase transition is observed in the general forest-fire model when g reaches its critical value. We determine the critical line $g_c(p)$ and show that the critical fire propagation represents a new type of percolation. Finally, we point out similarities between the forest-fire model and excitable media, which comprise such different systems as chemical reactions, spreading of diseases and populations, and propagation of electrical activity in neurons.



La Criticità Auto-organizzata e le Epidemie



[Recent Advances in Applied Probability](#), pp 455-494 | [Cite as](#)

Criticality in Epidemics: The Mathematics of Sandpiles Explains Uncertainty in Epidemic Outbreaks

Authors **2005** [Authors and affiliations](#)

Nico Stollenwerk

Chapter

3

970

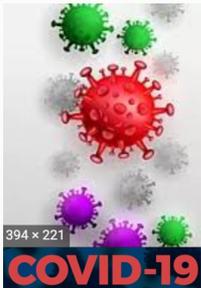
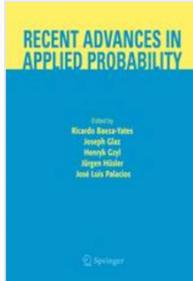
Citations Downloads

La Legge di Potenza



Summary

We have described epidemic processes near criticality, and have given analysis for mean field models under homogeneous mixing conditions. In one case we found that an epidemiological system evolves on its own towards criticality, hence self-organizes itself towards the critical state. For spatial systems we have presented the basic description of the master equation and have shown the connection with the previous sections under the explicit analysis of mean



La Criticità Auto-organizzata e le Guerre



Subject ▾ Journals Books Major Reference Works Partner With Us ▾ Open Access About Us ▾

Fractals | Vol. 06, No. 04, pp. 351-357 (1998) | Articles

No Access

Fractality and Self-Organized Criticality of Wars

D. C. Roberts and D. L. Turcotte

<https://doi.org/10.1142/S0218348X98000407> | Cited by: 100

La Legge di Potenza

< Previous **1998**

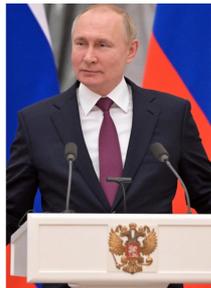
Next >

PDF/EPUB

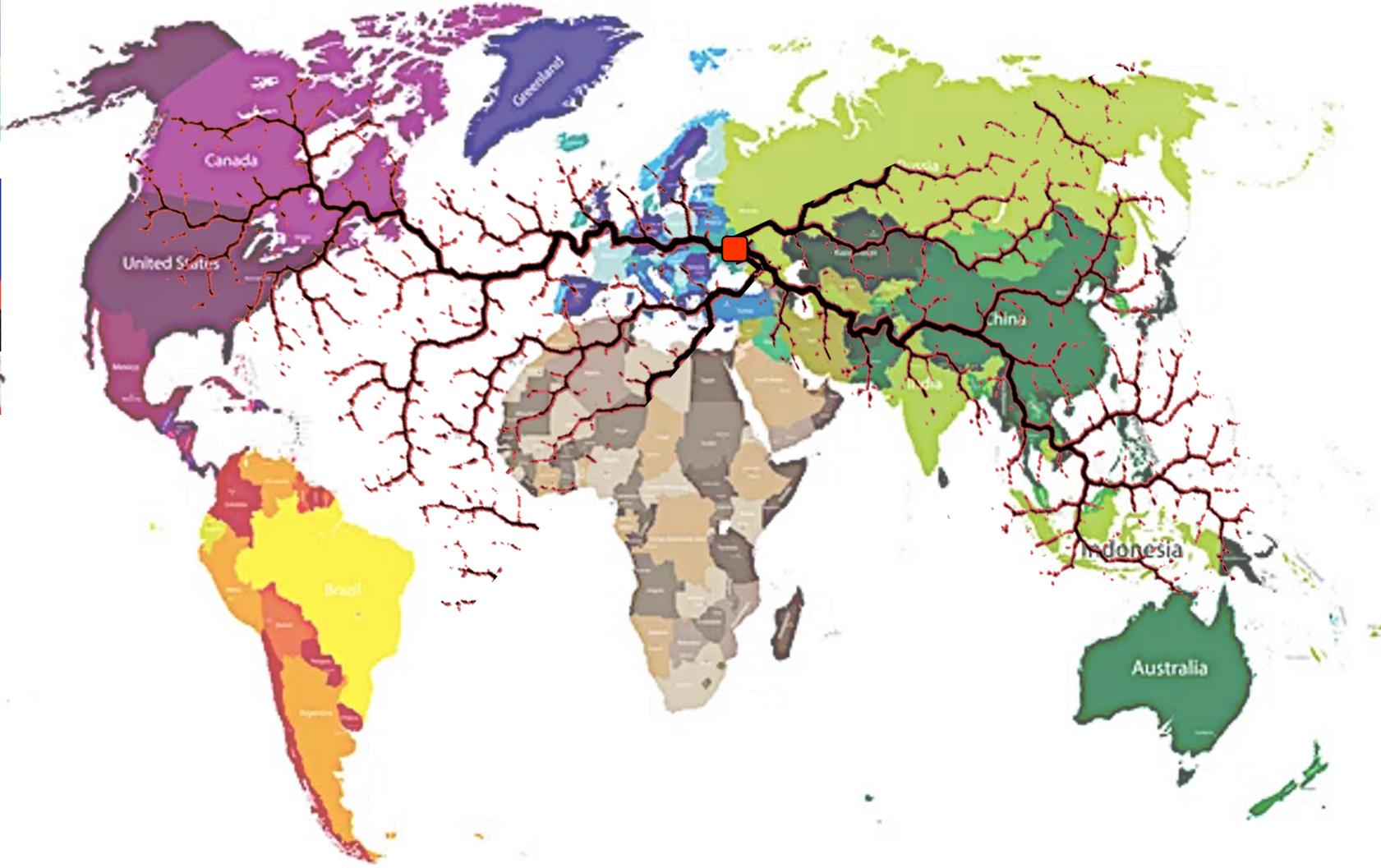
Tools Share

Abstract

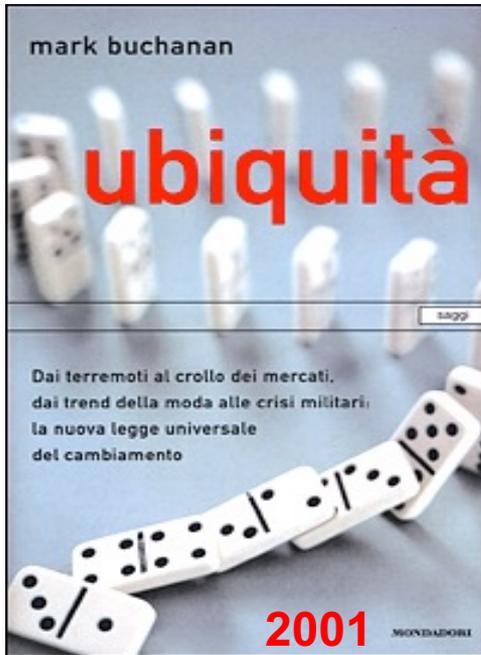
This paper considers the frequency-size statistics of wars. Using several alternative measures of the intensity of a war in terms of battle deaths, we find a fractal (power-law) dependence of number on intensity. We show that the frequency-size dependence of forest fires is essentially identical to that of wars. The forest-fire model provides a basis for understanding the distribution of forest fire in terms of self-organized criticality. We extend the analogy to wars in terms of the initial ignition (outbreak of war) and its spread to a group of metastable countries.



La Criticità Auto-organizzata e le Guerre



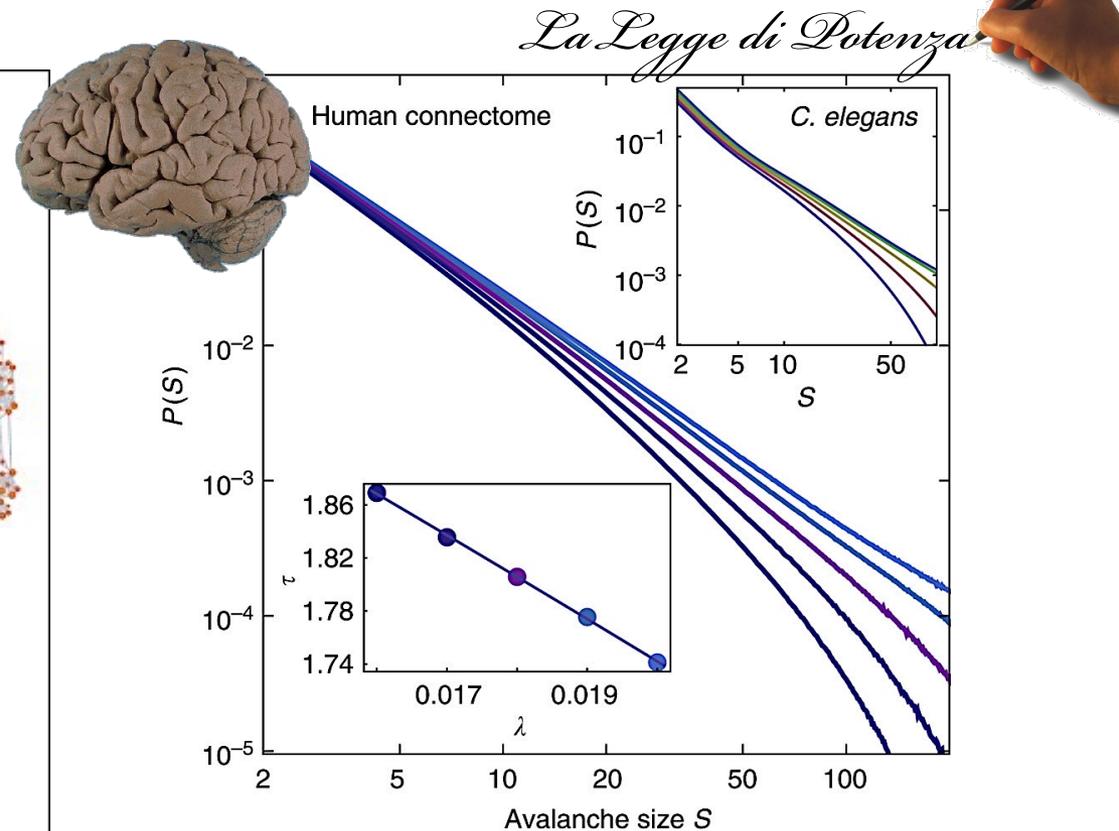
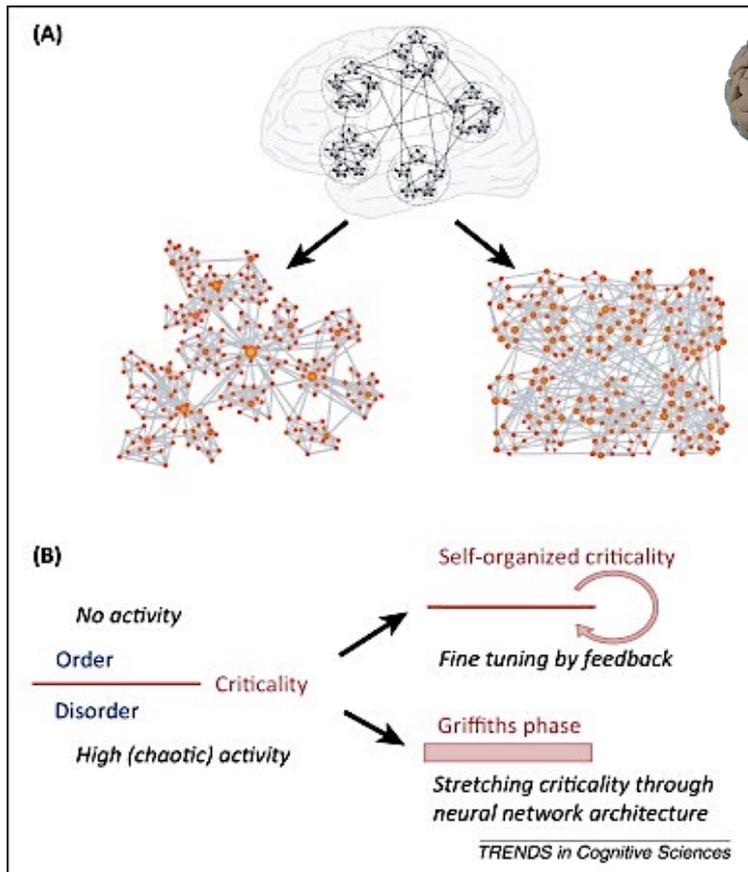
La Criticità Auto-organizzata e le Guerre



*“[...]Credo sia ormai chiaro perché il mondo umano è così interessante. Abbiamo visto che, a molti livelli, è realmente soggetto alle stesse fluttuazioni del **mucchietto di sabbia** o di un magnete nel punto critico e, come quei due sistemi, è caratterizzato da una accresciuta capacità di diffusione delle influenze. Se la struttura sociale e politica del mondo è davvero organizzata in tal modo, dovremo imparare a considerare naturale l'imprevisto. Oggi viviamo in un'epoca relativamente pacifica. Può darsi che la relativa calma duri un altro secolo, come può darsi che entro cinque anni scoppi un'altra **guerra mondiale**; chi può dirlo? Il nostro paese potrebbe sopravvivere ancora cinquecento anni o sgretolarsi fra trenta. Se il mondo è **critico**, si potranno analizzare le cause locali e si potrà cercare di capire in che modo le forze politiche e sociali determinino qui e là cambiamenti storici; ma se gli esiti finali di un evento dipendono dalla maniera in cui gli elementi in gioco si collegano per produrre **dita di instabilità** che percorrono il mondo intero, diventa praticamente impossibile prevedere il futuro. Insomma non si può presupporre che le tendenze persistano e l'unica cosa che si può prevedere è che il futuro continui a sfuggire alla nostra comprensione. Proprio per questo, forse, la storia è interessante: non è né statica né casualmente mutevole, ma si trova in **equilibrio precario** tra l'uno e l'altro polo, sicché, come il mucchio di sabbia, è sempre sull'orlo di sconvolgimenti drammatici”.*

Criticità Auto-organizzata nel Cervello Umano

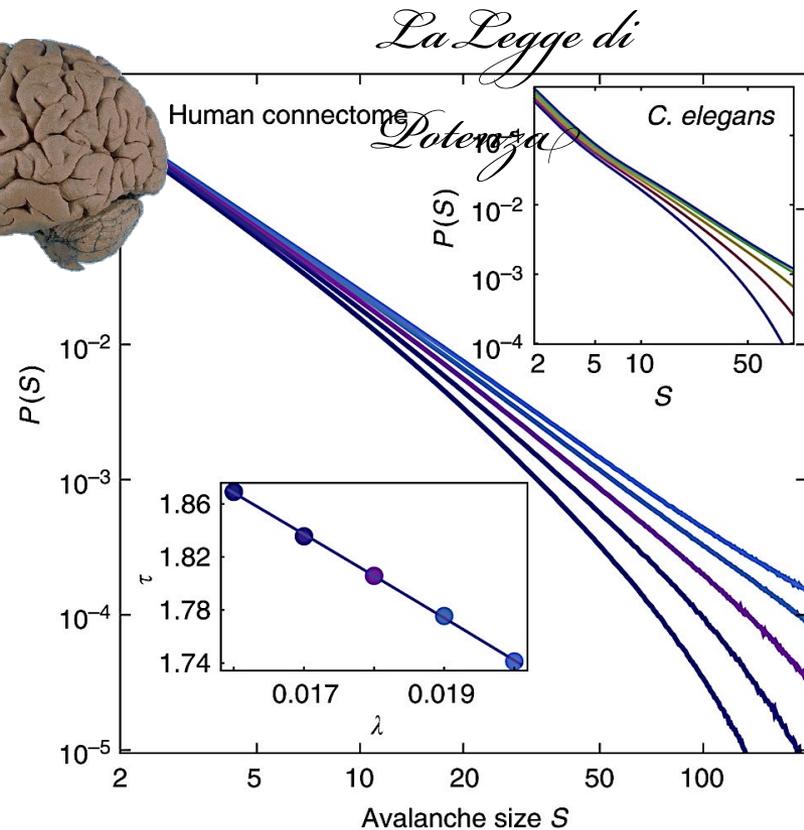
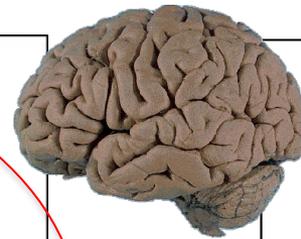
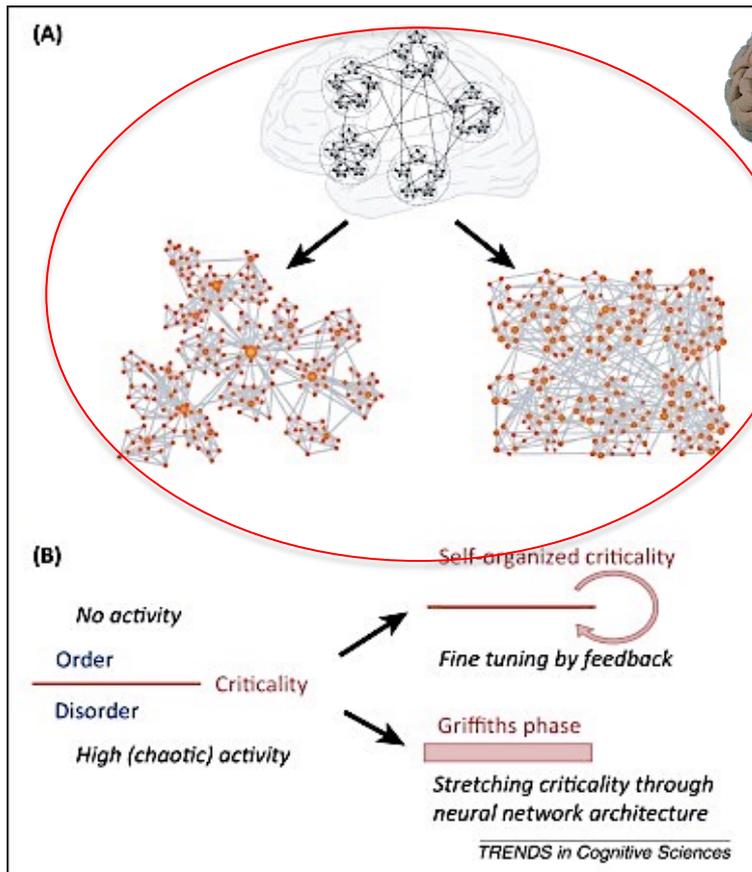
RECENTEMENTE SI E' SCOPERTO CHE ANCHE IL NOSTRO CERVELLO SI TROVA NELLO "STATO CRITICO", AL "MARGINE DEL CAOS", E PRESENTA "VALANGHE" DI SCARICHE NEURONALI SINCRONIZZATE DI TUTTE LE DIMENSIONI...



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

Criticità Auto-organizzata nel Cervello Umano

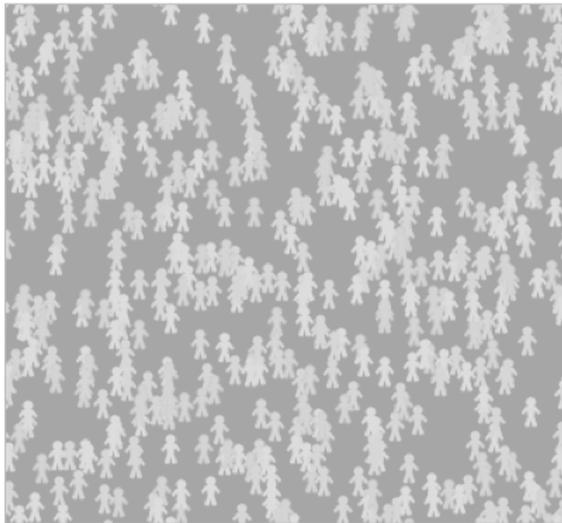
RECENTEMENTE SI E' SCOPERTO CHE ANCHE IL NOSTRO CERVELLO SI TROVA NELLO "STATO CRITICO", AL "MARGINE DEL CAOS", E PRESENTA "VALANGHE" DI SCARICHE NEURONALI SINCRONIZZATE DI TUTTE LE DIMENSIONI... MA IN QUESTO, COME VEDREMO, GIOCA UN RUOLO IMPORTANTE ANCHE LA SUA TOPOLOGIA...



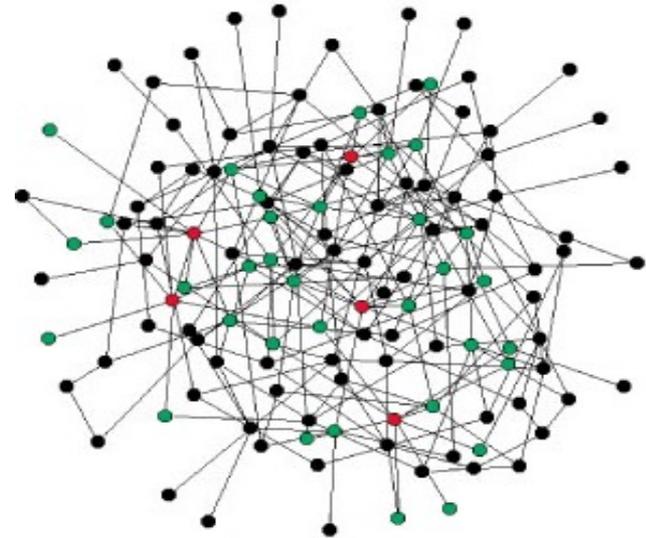
P.Moretti, M.A.Munoz, "Griffiths phases and the stretching of criticality in brain networks", Nature Communications 4, 2521 (2013)

Due possibili descrizioni di un sistema complesso

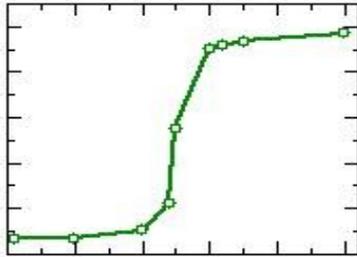
Da un punto di vista dinamico è possibile descrivere un sistema complesso come un insieme costituito da numerosi elementi, detti anche “agenti” (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...), che interagiscono tra loro di solito in maniera non lineare spostandosi all’interno di un certo spazio (reale o virtuale) e secondo certe regole:



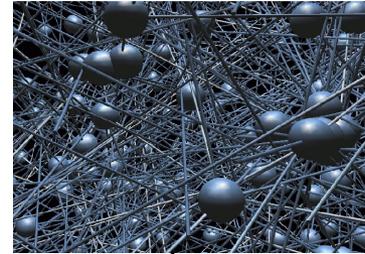
Da un **punto di vista topologico** (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una **rete** (network) costituita da un certo numero di **nodi** (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati tra loro per mezzo di **links** che esprimono delle relazioni tra i nodi:



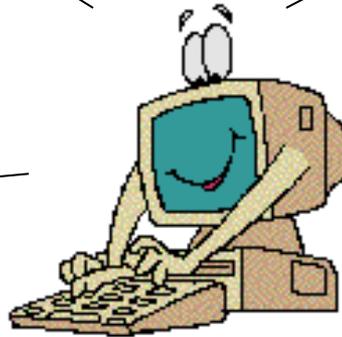
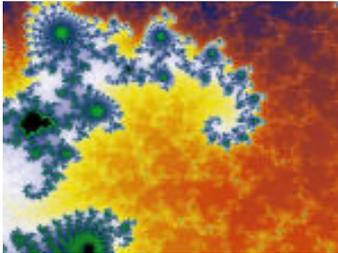
**Non linearità e
Soglie Critiche**



**Reti Complesse tra
Ordine e Caos**



**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**

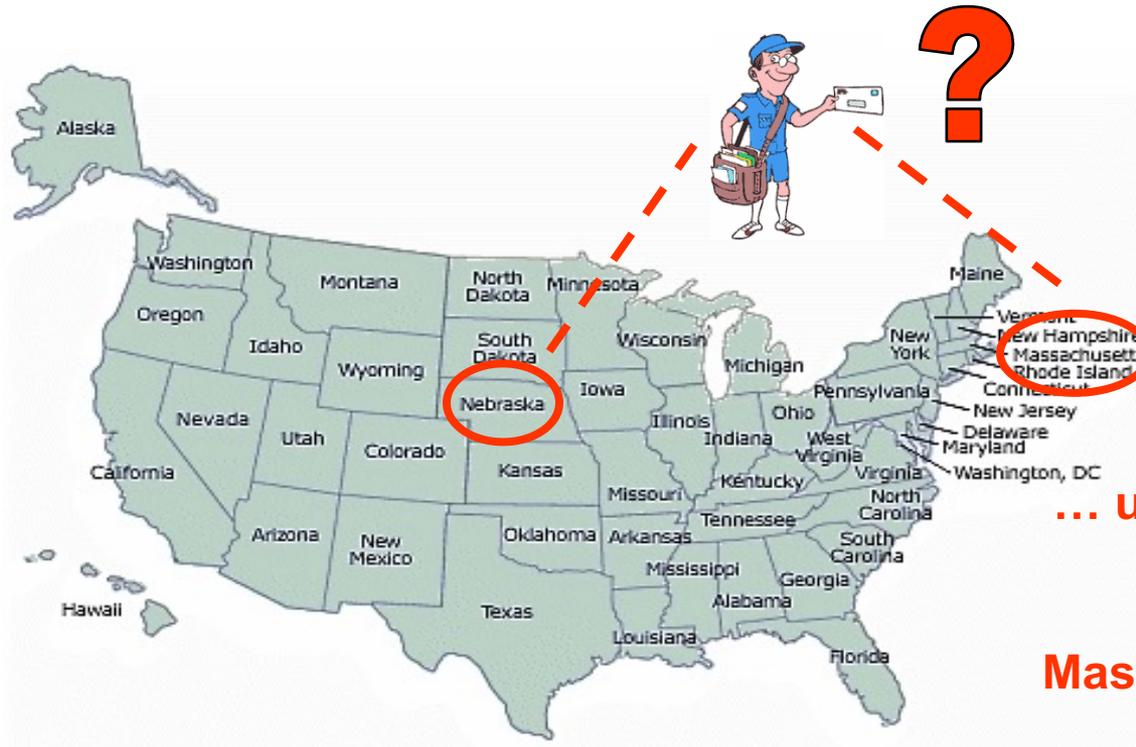


**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**



L'esperimento di Stanley Milgram (Harvard, anni '60)

160 persone
prese a caso ad
Omaha,
Nebraska...



... un agente di
Borsa di
Boston,
Massachusetts

Quanti passaggi li separano?

...la risposta è:

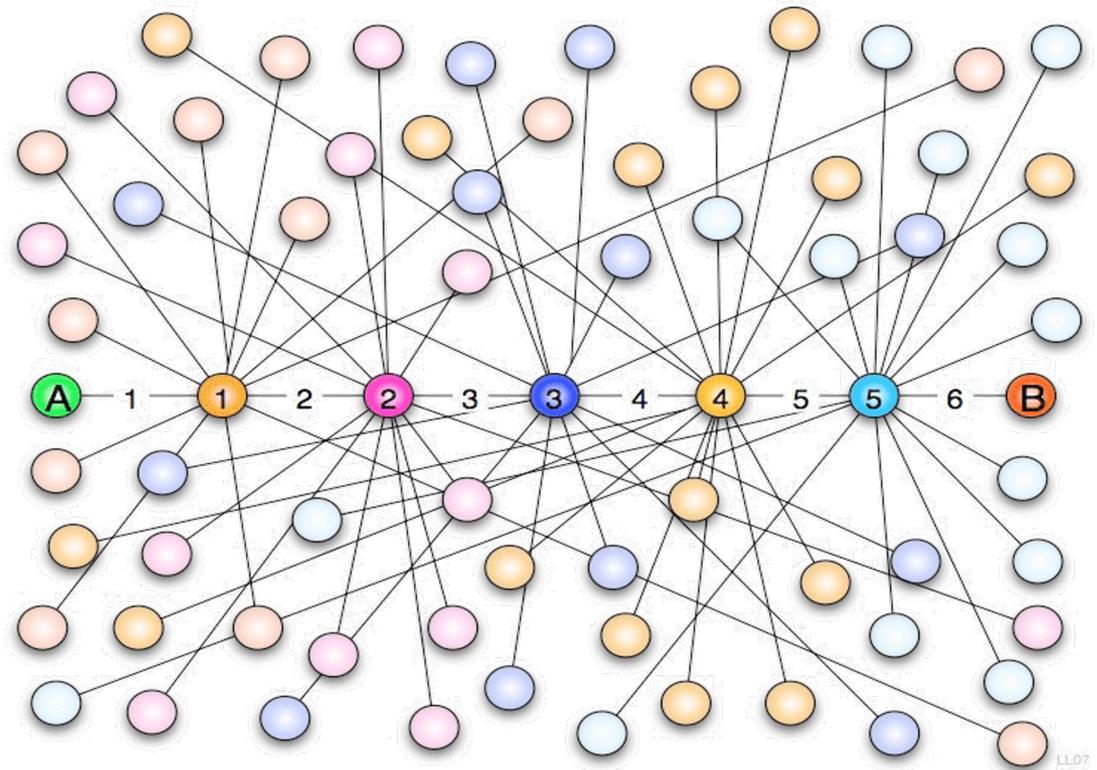
6 GRADI DI SEPARAZIONE!

La rete sociale degli
Stati Uniti è un
“piccolo mondo”!



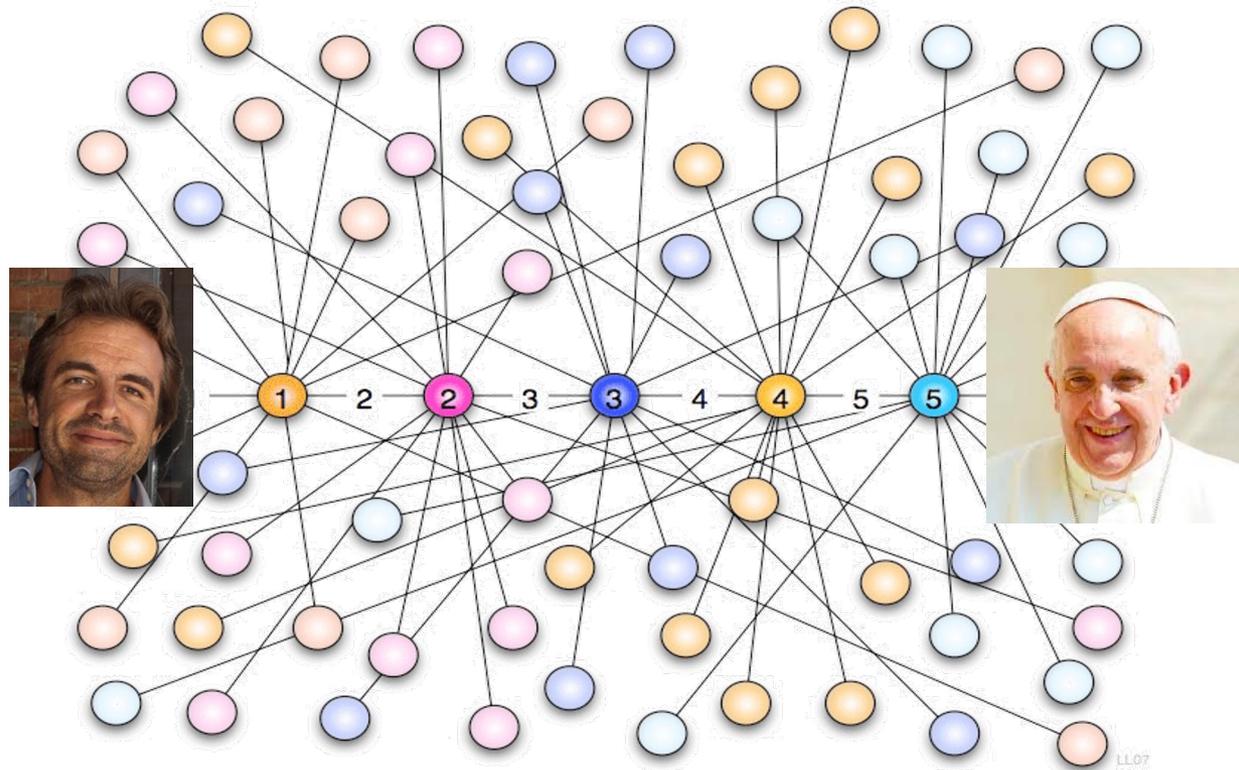
“SIX DEGREES OF SEPARATION”

Successive ricerche hanno dimostrato che anche la rete sociale mondiale è un “piccolo mondo”!



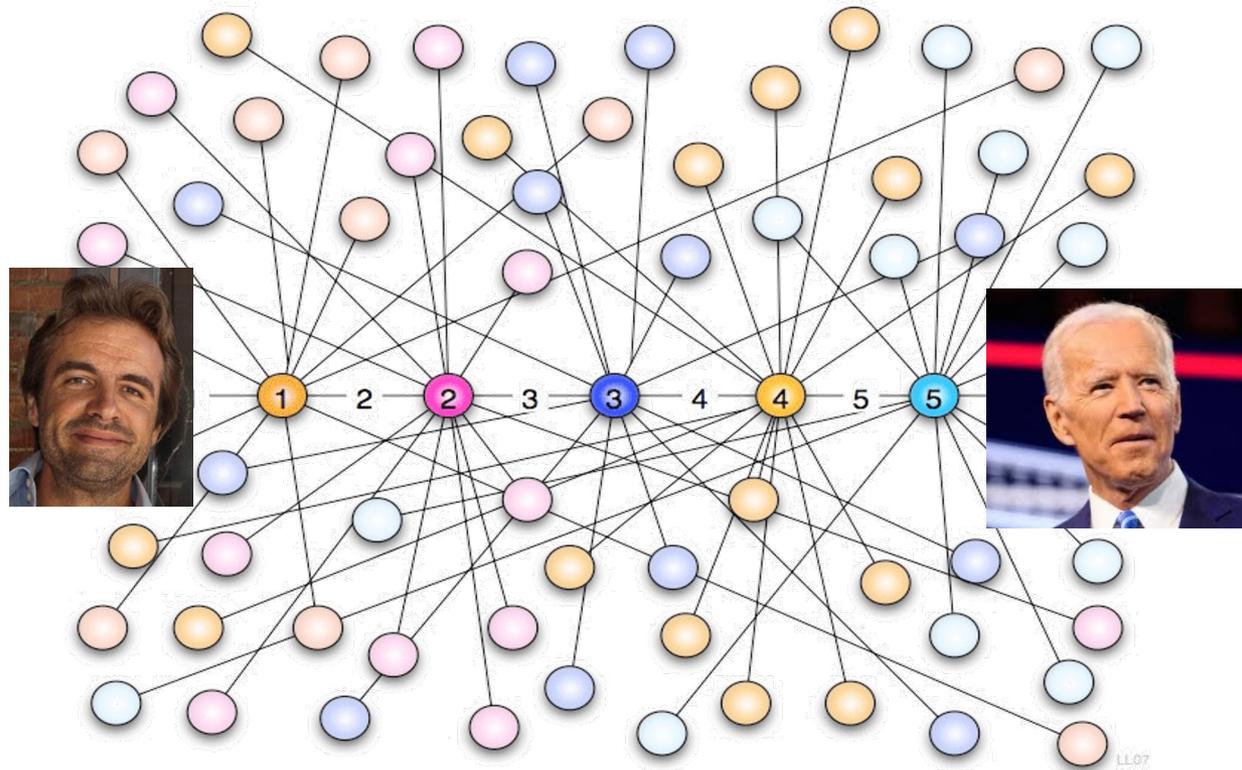
“SIX DEGREES OF SEPARATION”

Successive ricerche hanno dimostrato che anche la rete sociale mondiale è un “piccolo mondo”!



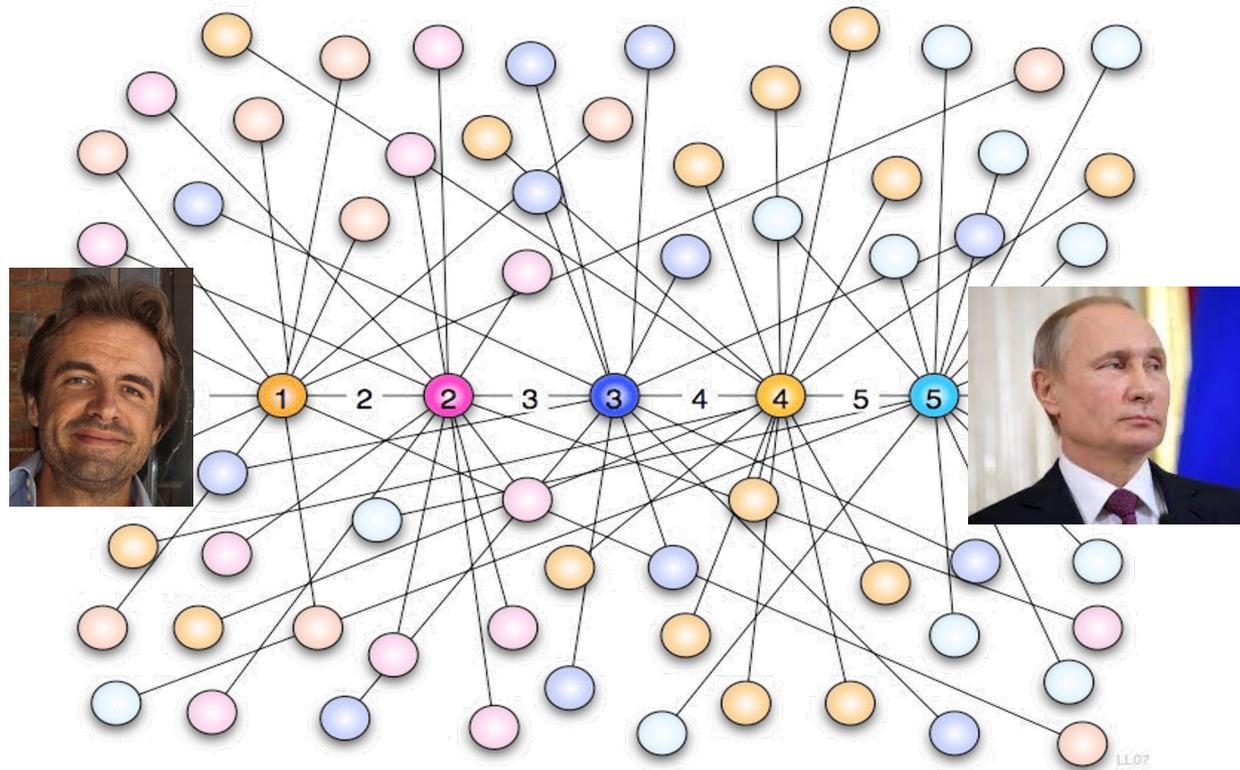
“SIX DEGREES OF SEPARATION”

Successive ricerche hanno dimostrato che anche la rete sociale mondiale è un “piccolo mondo”!



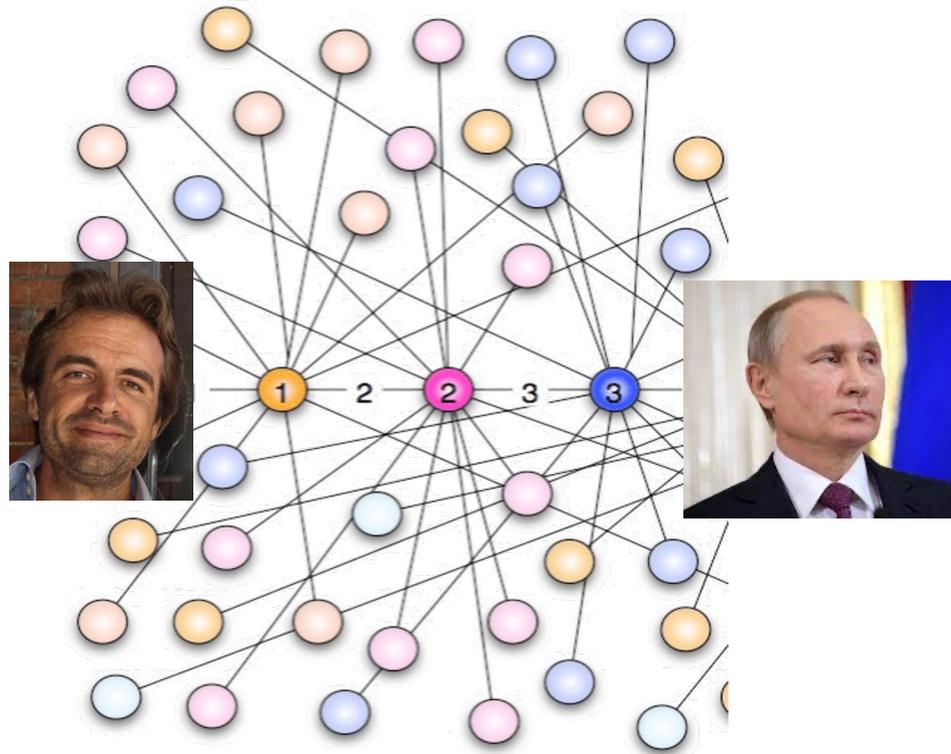
“SIX DEGREES OF SEPARATION”

Successive ricerche hanno dimostrato che anche la rete sociale mondiale è un “piccolo mondo”!





Oggi, grazie a Facebook,
i 6 gradi di separazione
si sono ridotti a soli
.....**3,74!!!**



**Il nostro "piccolo mondo" sembra
diventare sempre più piccolo...**

**Ma quanto è generale
il fenomeno del
“piccolo mondo”?**



Chi è questo attore?



THE ORACLE OF BACON



<https://oracleofbacon.org>

Kevin Bacon

to Brad Pitt

Find link



Brad Pitt has a Bacon number of 1.

Brad Pitt

was in

Sleepers

with

Kevin Bacon



THE ORACLE OF BACON



<https://oracleofbacon.org>

Kevin Bacon

to

Natalie Portman

Find link



Natalie Portman has a Bacon number of 2.

Natalie Portman

was in

New York, I Love You

with

John Hurt

was in

Jayne Mansfield's Car

with

Kevin Bacon



THE ORACLE OF BACON



<https://oracleofbacon.org>

Kevin Bacon

to

Charlie Chaplin

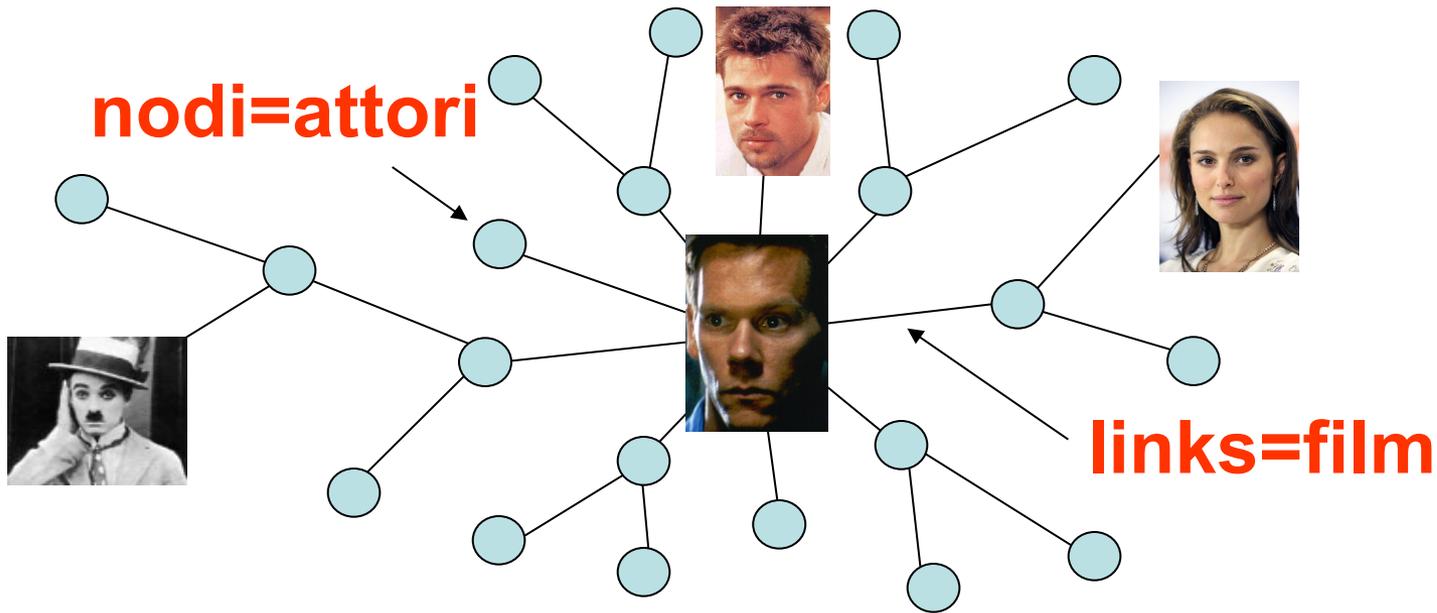
Find link



charlie chaplin has a Bacon number of 3.



Rete di collaborazioni cinematografiche



Kevin Bacon sembra essere al centro della rete delle collaborazioni tra gli attori... ma è veramente così?

Ci dispiace per lui ma in realtà Kevin Bacon non ha proprio nulla di speciale!!!

THE ORACLE OF BACON



<https://oracleofbacon.org>

Brad Pitt

to

Natalie Portman

Find link



Natalie portman has a Brad Pitt number of 2.

Natalie Portman

was in

Heat

with

Amy Brenneman

was in

America: A Tribute to Heroes

with

Brad Pitt



THE ORACLE OF BACON



<https://oracleofbacon.org>

Natalie Portman

to

Charlie Chaplin

Find link



Charlie Chaplin has a Natalie Portman number of 3.



Lista di “centralità” nella rete di collaborazione degli attori (212250 actors)



Rank	Name	Average distance	# of movies	# of links
1	Rod Steiger	2.537527	112	2562
2	Donald Pleasence	2.542376	180	2874
3	Martin Sheen	2.551210	136	3501
4	Christopher Lee	2.552497	201	2993
5	Robert Mitchum	2.557181	136	2905
6	Charlton Heston	2.566284	104	2552
7	Eddie Albert	2.567036	112	3333
8	Robert Vaughn	2.570193	126	2761
9	Donald Sutherland	2.577880	107	2865
10	John Gielgud	2.578980	122	2942
11	Anthony Quinn	2.579750	146	2978
12	James Earl Jones	2.584440	112	3787
...				
876	Kevin Bacon	2.786981	46	1811
...				



**Anche la rete degli attori è un
“piccolo mondo”:**



Ma andiamo avanti....

Reti di collaborazioni scientifiche

il mio “piccolo mondo”...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

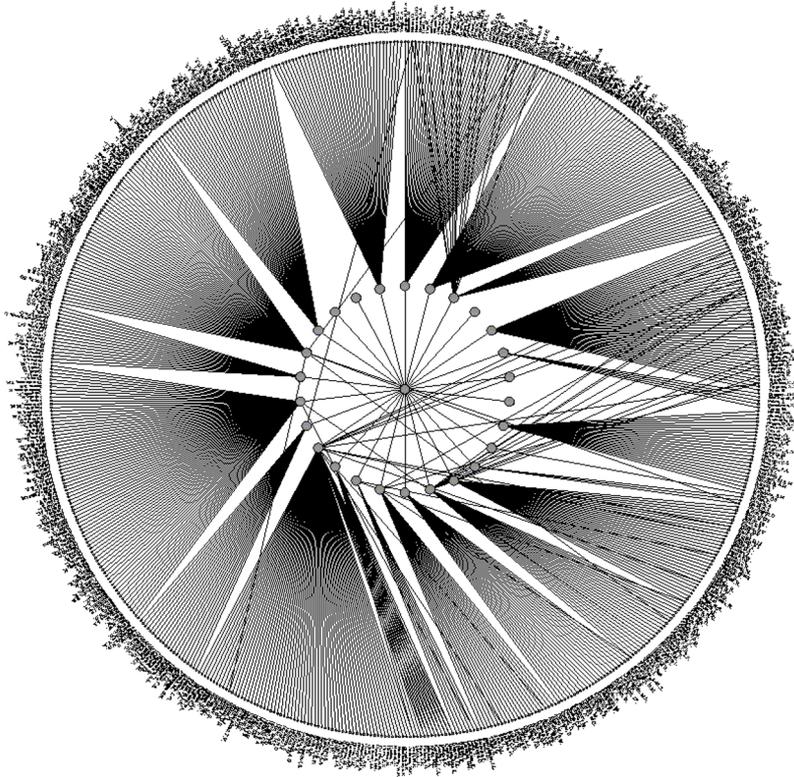
AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

Search MSC Collaboration Distance Current Journals Current Publications

Author Name

My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)



Reti di collaborazioni scientifiche

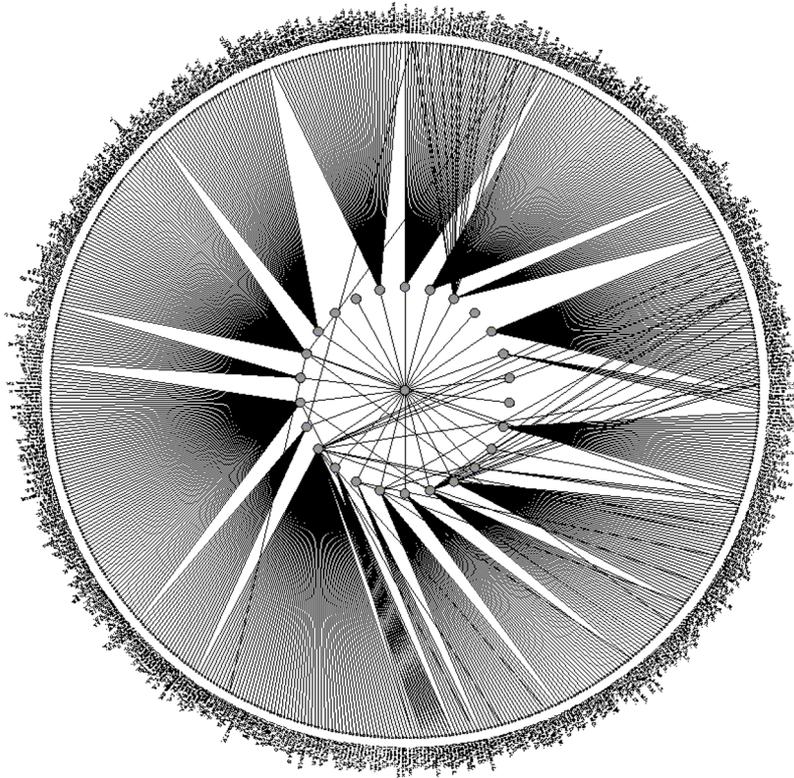
il mio "piccolo mondo"...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

Search MSC Collaboration Distance Current Journals Current Publications

Author Name



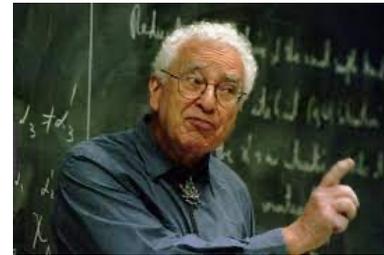
My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis **MR2441210 (2009h:82053)**

My Collaboration Distance with Murray Gell-Mann = 2

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis **MR2441210 (2009h:82053)**

Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann **MR2188923 (2006f:82005)**



Reti di collaborazioni scientifiche

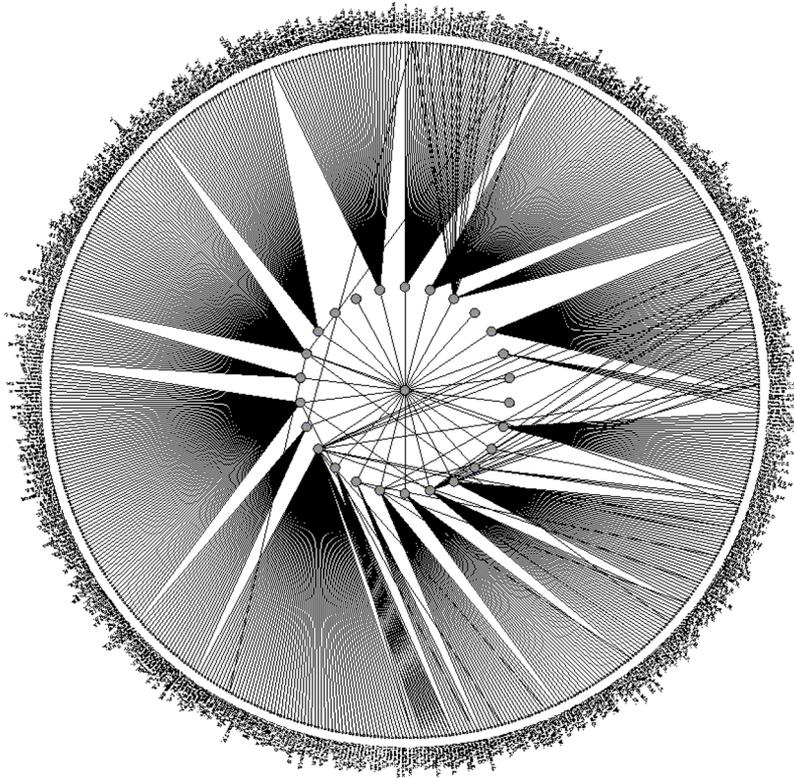
il mio "piccolo mondo"...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

Search MSC Collaboration Distance Current Journals Current Publications

Author Name



My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis [MR2441210](#) (2009h:82053)

My Collaboration Distance with Murray Gell-Mann = 2

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis [MR2441210](#) (2009h:82053)

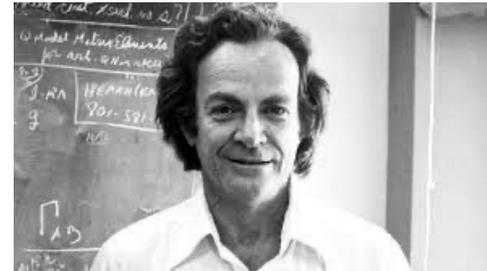
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann [MR2188923](#) (2006f:82005)

My Collaboration Distance with Richard Feynman = 3

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis [MR2441210](#) (2009h:82053)

Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann [MR2188923](#) (2006f:82005)

Murray Gell-Mann coauthored with Richard Phillips Feynman [MR0090430](#) (19,813e)



Reti di collaborazioni scientifiche

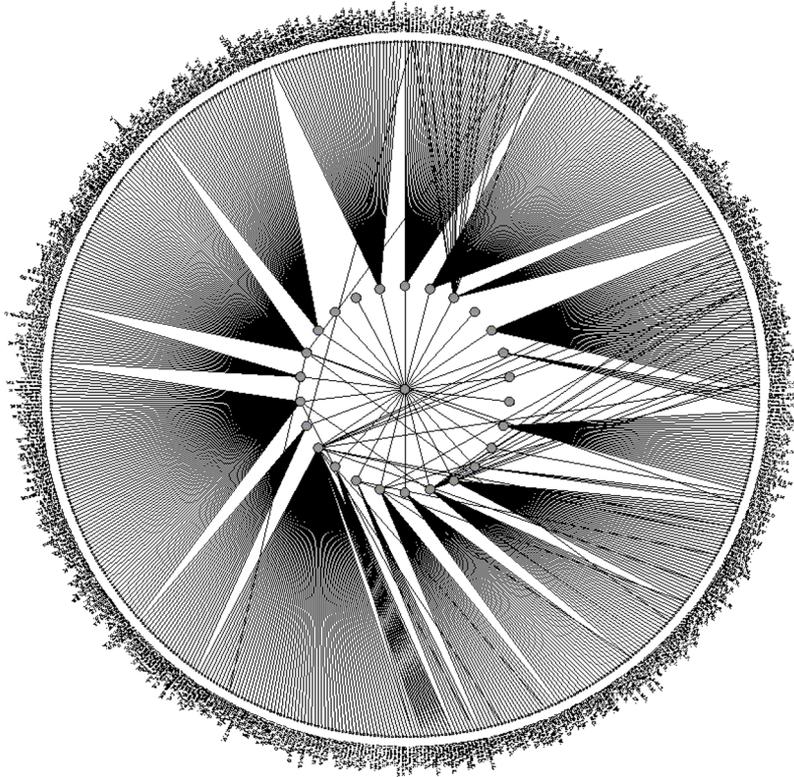
il mio "piccolo mondo"...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

Search MSC Collaboration Distance Current Journals Current Publications

Author Name



My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

My Collaboration Distance with Murray Gell-Mann = 2

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)

My Collaboration Distance with Richard Feynman = 3

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)
Murray Gell-Mann coauthored with Richard Phillips Feynman MR0090430 (19,813e)

My Collaboration Distance with Stephen Hawking = 4

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)
Murray Gell-Mann coauthored with James B. Hartle MR1105972
James B. Hartle coauthored with Stephen W. Hawking MR0726732 (85i:83022)



Reti di collaborazioni scientifiche

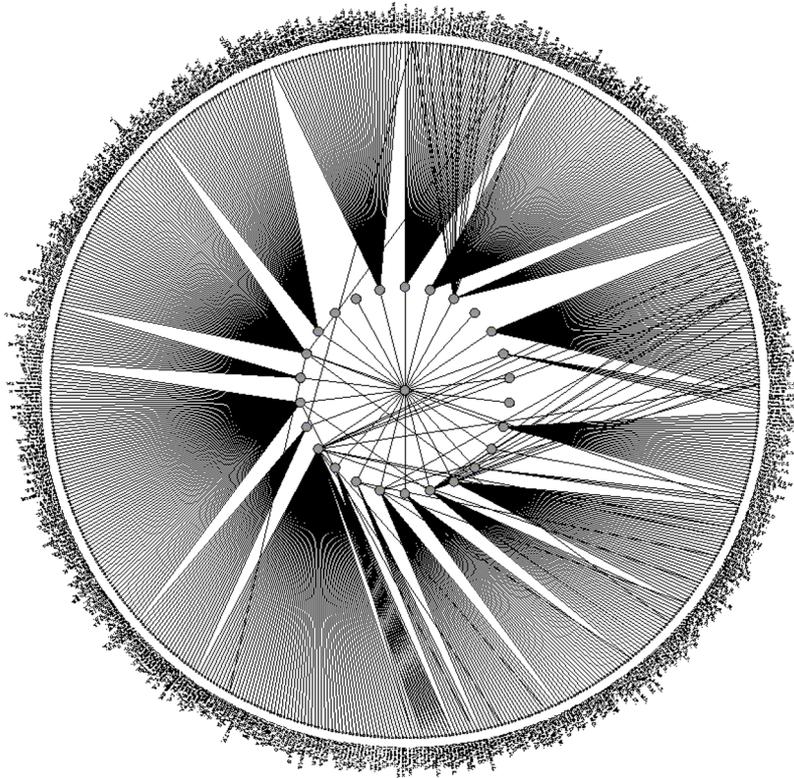
il mio "piccolo mondo"...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

Search MSC Collaboration Distance Current Journals Current Publications

Author Name



My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

My Collaboration Distance with Murray Gell-Mann = 2

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)

My Collaboration Distance with Richard Feynman = 3

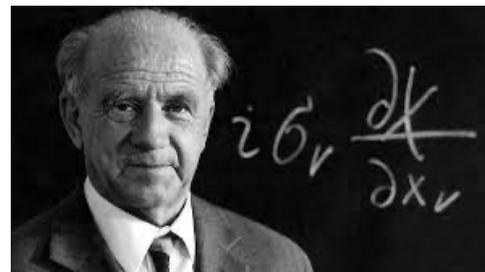
A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)
Murray Gell-Mann coauthored with Richard Phillips Feynman MR0090430 (19,813e)

My Collaboration Distance with Stephen Hawking = 4

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)
Murray Gell-Mann coauthored with James B. Hartle MR1105972
James B. Hartle coauthored with Stephen W. Hawking MR0726732 (85i:83022)

My Collaboration Distance with Werner Heisenberg = 5

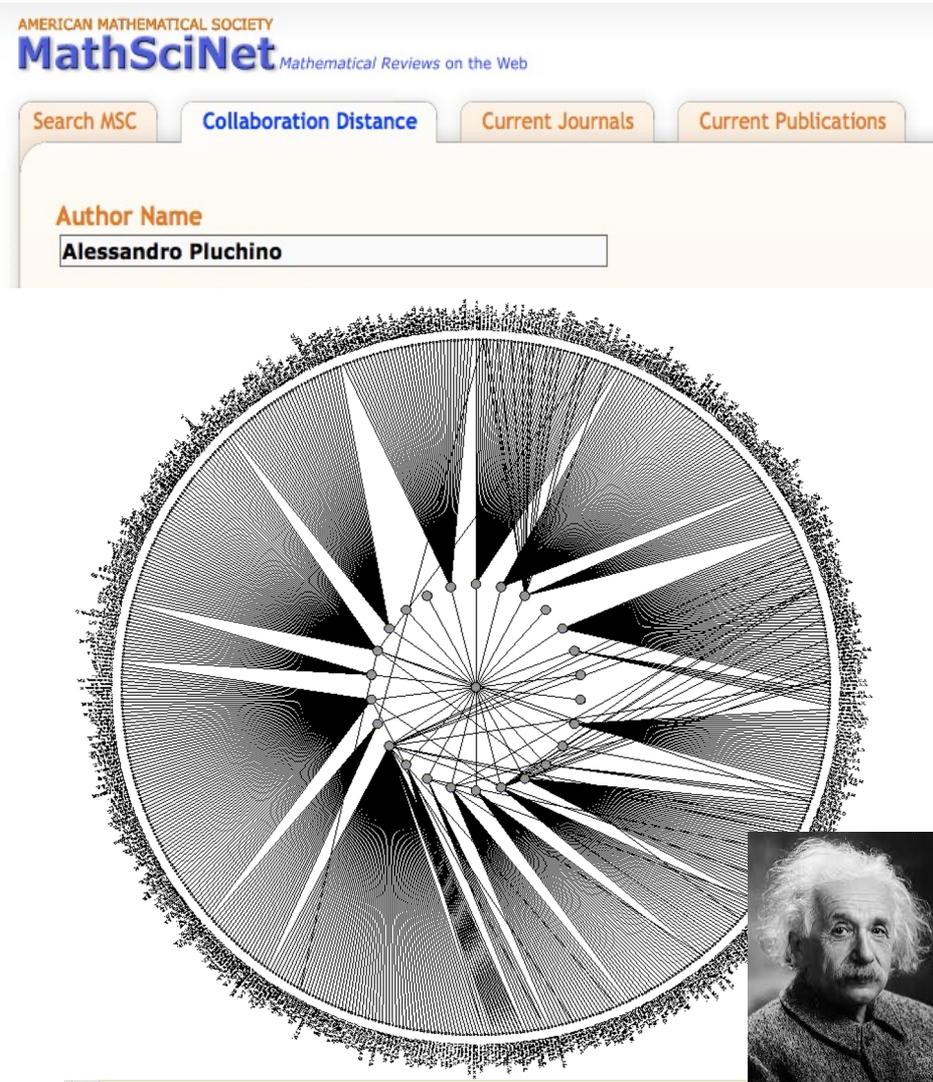
A. Pluchino coauthored with Andrea Rapisarda MR2070689
Andrea Rapisarda coauthored with Marko Robnik MR1618594
Marko Robnik coauthored with Wolfgang Kundt MR0598131 (82b:85003)
Wolfgang Kundt coauthored with Pascual Jordan MR0127937 (23 #B982)
Pascual Jordan coauthored with Werner Karl Heisenberg MR1069378 (91i:01142)



Reti di collaborazioni scientifiche

il mio "piccolo mondo"...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>



My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

My Collaboration Distance with Murray Gell-Mann = 2

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)

My Collaboration Distance with Richard Feynman = 3

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)
Murray Gell-Mann coauthored with Richard Phillips Feynman MR0090430 (19,813e)

My Collaboration Distance with Stephen Hawking = 4

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)
Murray Gell-Mann coauthored with James B. Hartle MR1105972
James B. Hartle coauthored with Stephen W. Hawking MR0726732 (85i:83022)

My Collaboration Distance with Werner Heisenberg = 5

A. Pluchino coauthored with Andrea Rapisarda MR2070689
Andrea Rapisarda coauthored with Marko Robnik MR1618594
Marko Robnik coauthored with Wolfgang Kundt MR0598131 (82b:85003)
Wolfgang Kundt coauthored with Pascual Jordan MR0127937 (23 #B982)
Pascual Jordan coauthored with Werner Karl Heisenberg MR1069378 (91i:01142)

My Collaboration Distance with Albert Einstein = 6

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)
Constantino Tsallis coauthored with A. K. Rajagopal MR1698773 (2000d:81073)
A. K. Rajagopal coauthored with E. C. George Sudarshan MR0406252 (53 #10043)
E. C. George Sudarshan coauthored with Emil Wolf MR0180280 (31 #4515)
Emil Wolf coauthored with Max Born MR0108202 (21 #6918)
Max Born coauthored with Albert Einstein MR0718489 (85d:01024)

Reti di collaborazioni scientifiche

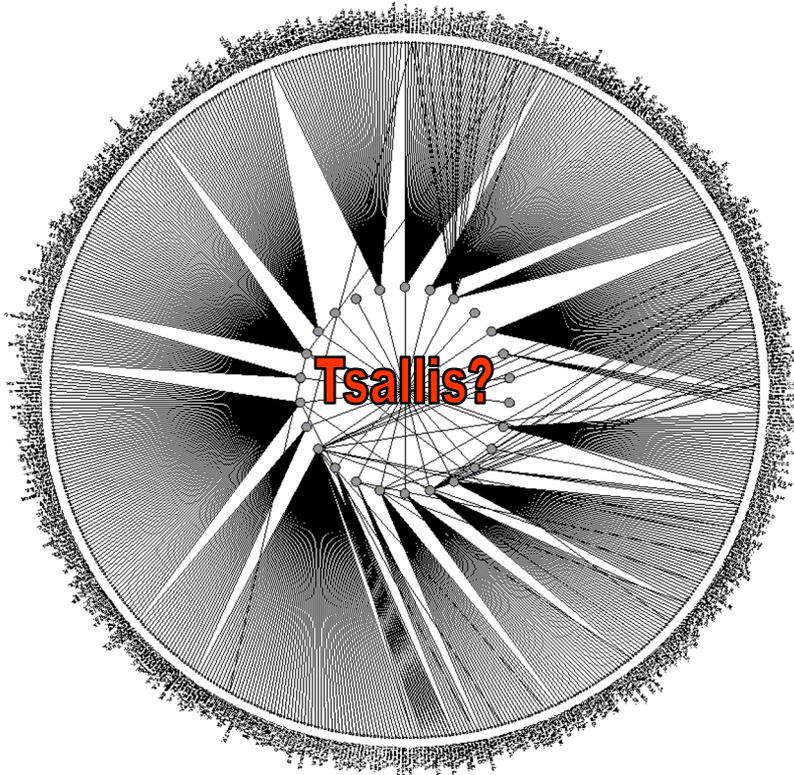
il mio "piccolo mondo"...

<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

Search MSC Collaboration Distance Current Journals Current Publications

Author Name



My Collaboration Distance with Constantino Tsallis = 1

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

My Collaboration Distance with Murray Gell-Mann = 2

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)

My Collaboration Distance with Richard Feynman = 3

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)

Murray Gell-Mann coauthored with Richard Phillips Feynman MR0090430 (19,813e)

My Collaboration Distance with Stephen Hawking = 4

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

Constantino Tsallis coauthored with Murray Gell-Mann MR2188923 (2006f:82005)

Murray Gell-Mann coauthored with James B. Hartle MR1105972

James B. Hartle coauthored with Stephen W. Hawking MR0726732 (85i:83022)

My Collaboration Distance with Werner Heisenberg = 5

A. Pluchino coauthored with Andrea Rapisarda MR2070689

Andrea Rapisarda coauthored with Marko Robnik MR1618594

Marko Robnik coauthored with Wolfgang Kundt MR0598131 (82b:85003)

Wolfgang Kundt coauthored with Pascual Jordan MR0127937 (23 #B982)

Pascual Jordan coauthored with Werner Karl Heisenberg MR1069378 (91i:01142)

My Collaboration Distance with Albert Einstein = 6

A. Pluchino coauthored with Constantino Tsallis MR2441210 (2009h:82053)

Constantino Tsallis coauthored with A. K. Rajagopal MR1698773 (2000d:81073)

A. K. Rajagopal coauthored with E. C. George Sudarshan MR0406252 (53 #10043)

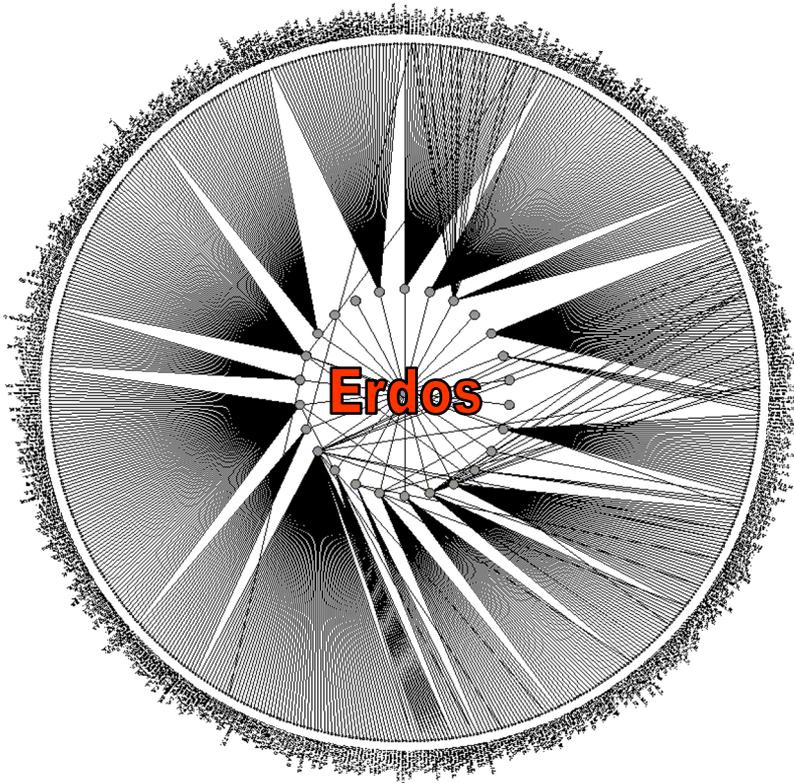
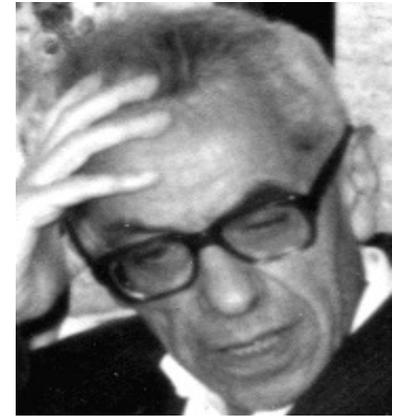
E. C. George Sudarshan coauthored with Emil Wolf MR0180280 (31 #4515)

Emil Wolf coauthored with Max Born MR0108202 (21 #6918)

Max Born coauthored with Albert Einstein MR0718489 (85d:01024)

Pál Erdős (Ungheria, 1913-1996)

La teoria dei grafi



AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY
MathSciNet Mathematical Reviews on the Web

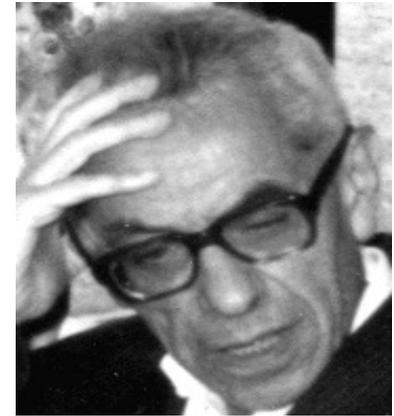
[Search MSC](#) [Collaboration Distance](#) [Current Journals](#) [Current Publications](#)

Author Name

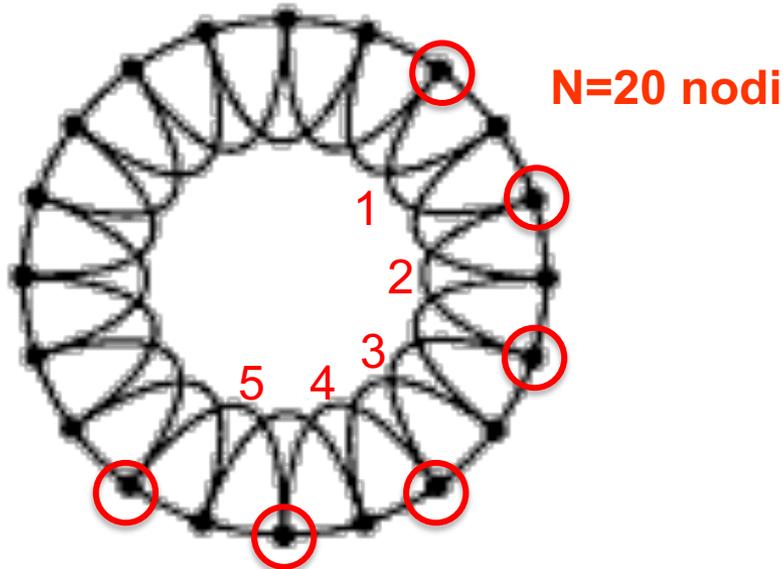
Enter another Author Name

Pál Erdős (Ungheria, 1913-1996)

La teoria dei grafi



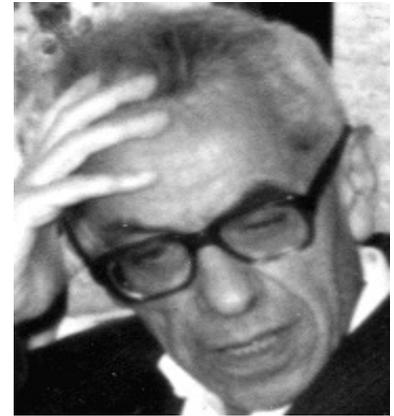
grafo regolare



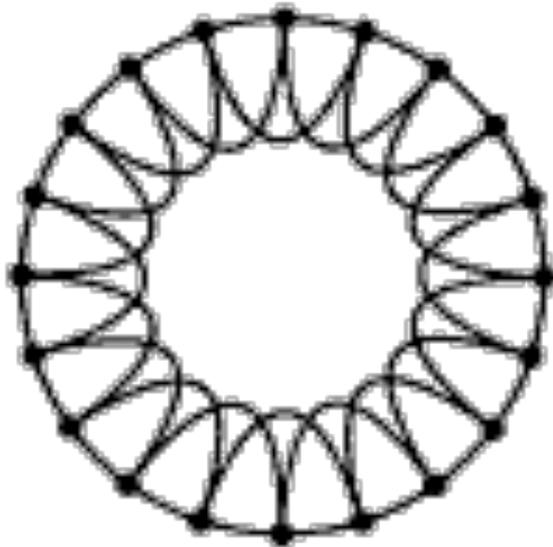
I grafi regolari
NON posseggono
la proprietà di
piccolo mondo!!!

Pál Erdős (Ungheria, 1913-1996)

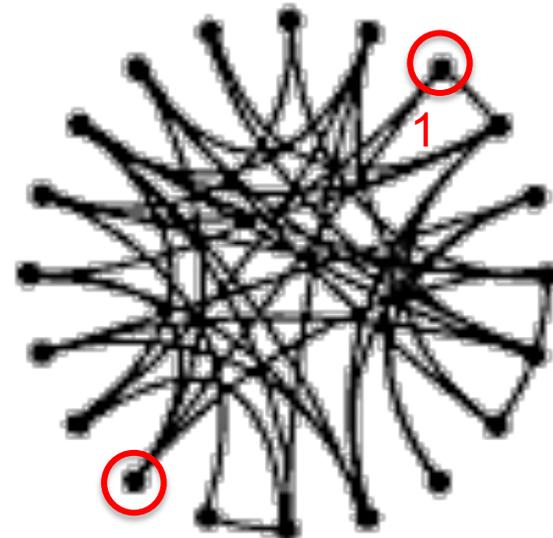
La teoria dei grafi



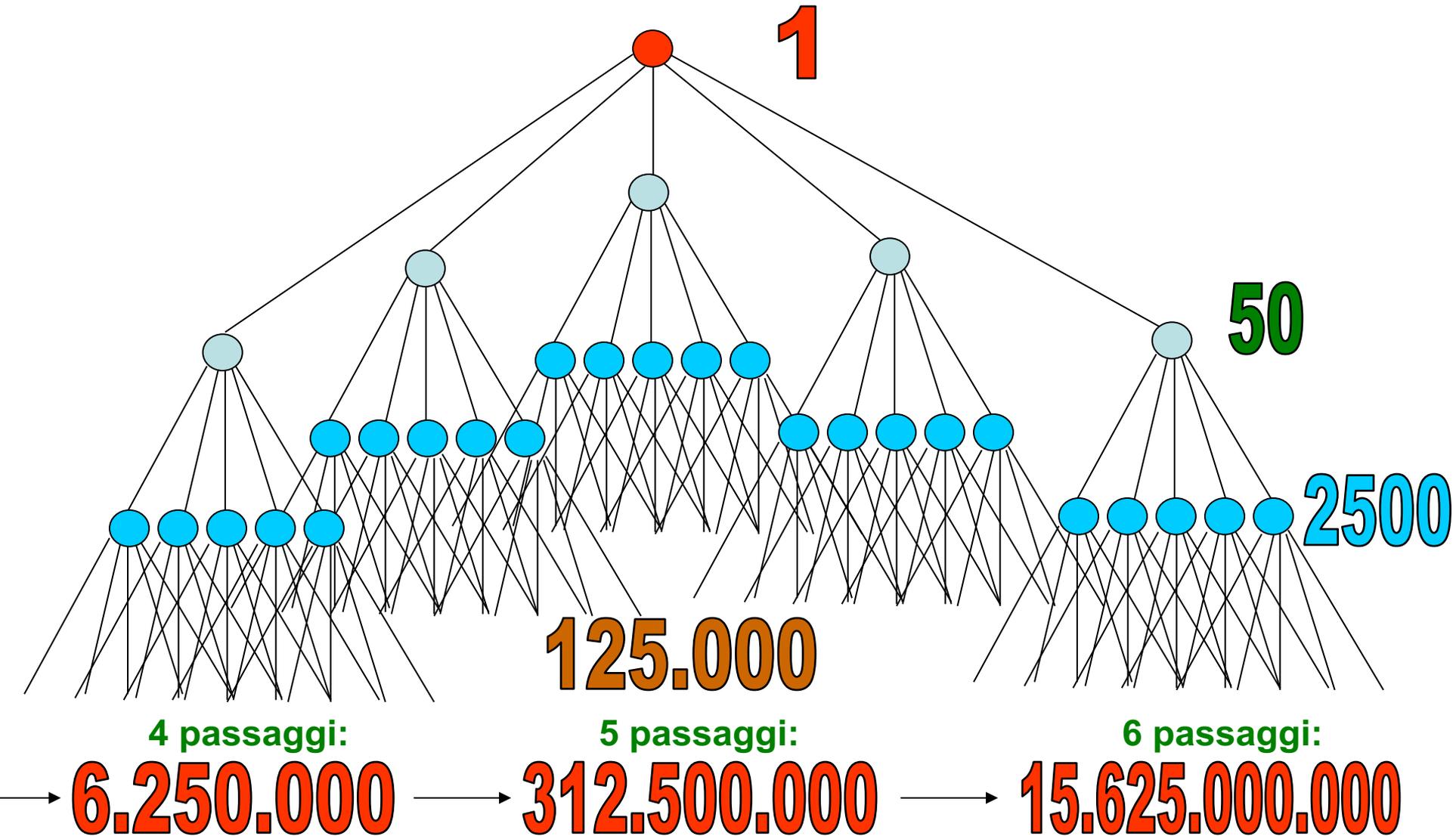
grafo regolare

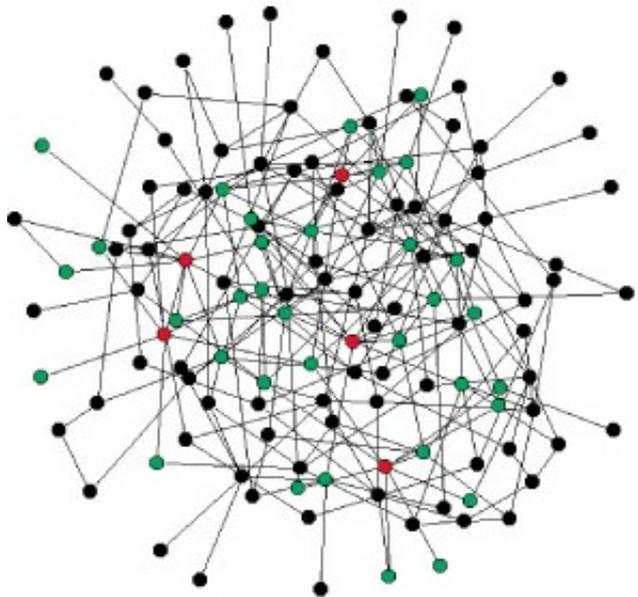


grafo casuale



Rete di amicizie casuali (random):





Dunque i grafi casuali
posseggono la proprietà di
piccolo mondo!!!

Però a ben guardare manca
loro un'altra essenziale
proprietà delle vere reti
sociali...

QUALE?

Social Networks: Facebook



Alessandro Pluchino

www.pluchino.it
[Modifica](#)

[Post](#)

[Informazioni](#)

[Amici 1617](#)

[Foto](#)

[Altro](#) ▾

[Modifica il profilo](#)



In breve



Zetanet



A cosa stai pensando?

Social Networks: Facebook



Alessandro Pluchino [Aggiorna informazioni](#) ¹ [Registro attività](#) ²⁰⁺

[Diario](#) [Informazioni](#) [Amici](#) 1442 [Foto](#) [Archivio](#) [Altro](#)

Amici [+ Trova amici](#)

[Tutti gli amici](#) 1.442 [Aggiunti di recente](#) [Compleanni](#) [Lavoro](#) [Università](#) [Altro](#)



Andrea Rapisarda
607 amici [✓ Amici](#)



Santo Fortunato
677 amici [✓ Amici](#)



Peppino Scucces
331 amici [✓ Amici](#)



Angelo Adamo
3411 amici [✓ Amici](#)

Social Networks: Facebook

Andrea Rapisarda

Alessandro Home Crea

Amici Segui già Messaggio

Diario Informazioni **Amici 238 in comune** Foto Altro

In breve

My new official web site
<http://www.andrea-rapisarda.it>

Professore associato presso Università di Catania

Precedentemente ricercatore presso INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Ha studiato Borsa di studio presso Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark

Ha studiato presso Università di Francoforte

Crea un post Foto/video

Scrivi qualcosa a Andrea...

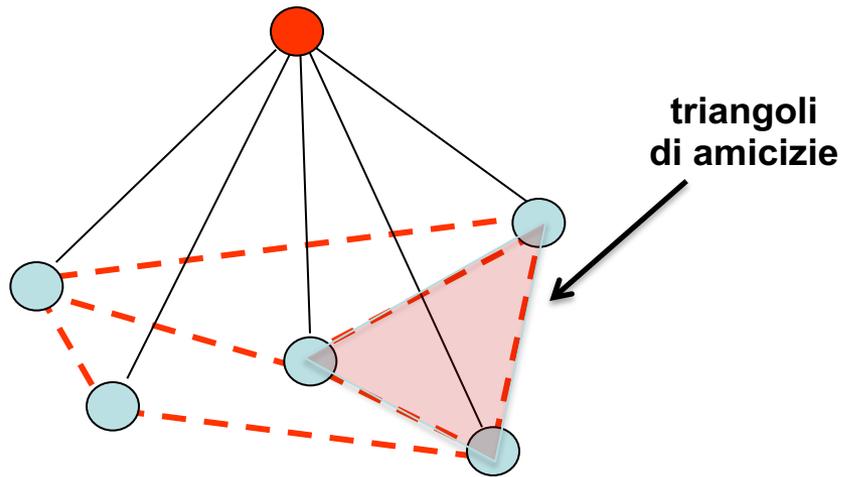
Foto/video Tagga amici Stato d'anim...

Publicca

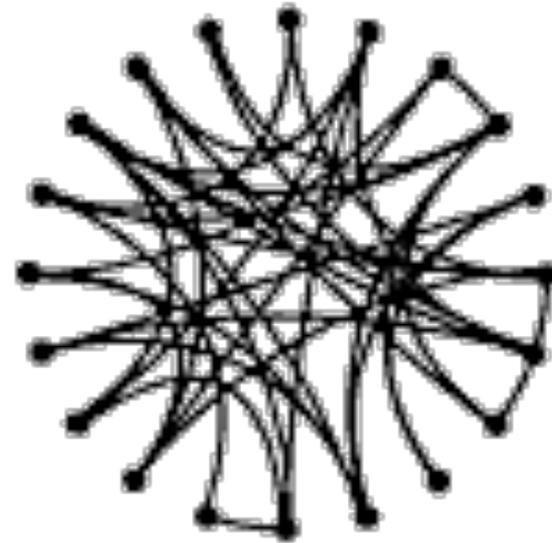
Giuliana Caruso — con Andrea Rapisarda e altre 19 persone. 7 h ·

Chat (124)

Su Facebook, come in tutte le vere reti sociali, i nostri amici sono spesso anche amici tra di loro!

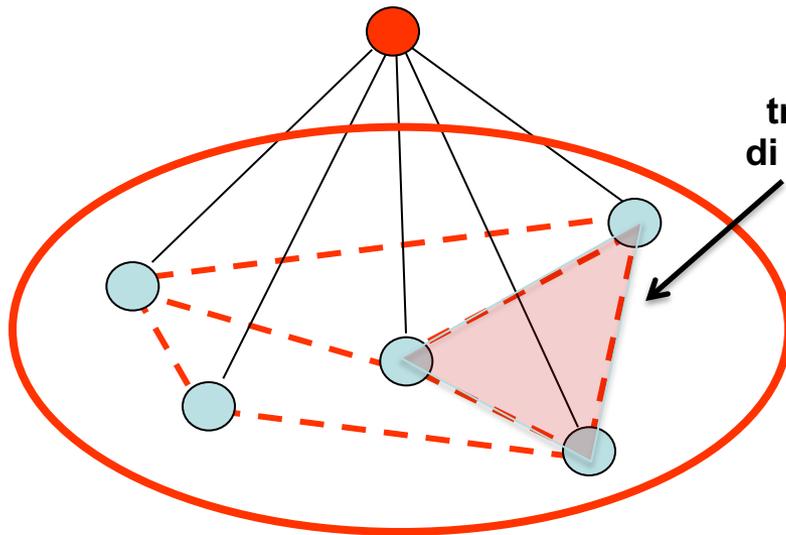


grafo casuale

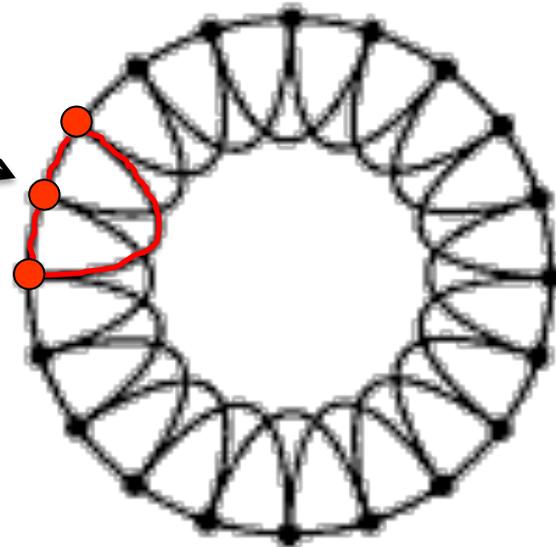


non ci sono
"triangoli"!

Su Facebook, come in tutte le vere reti sociali, i nostri amici sono spesso anche amici tra di loro!



grafo regolare

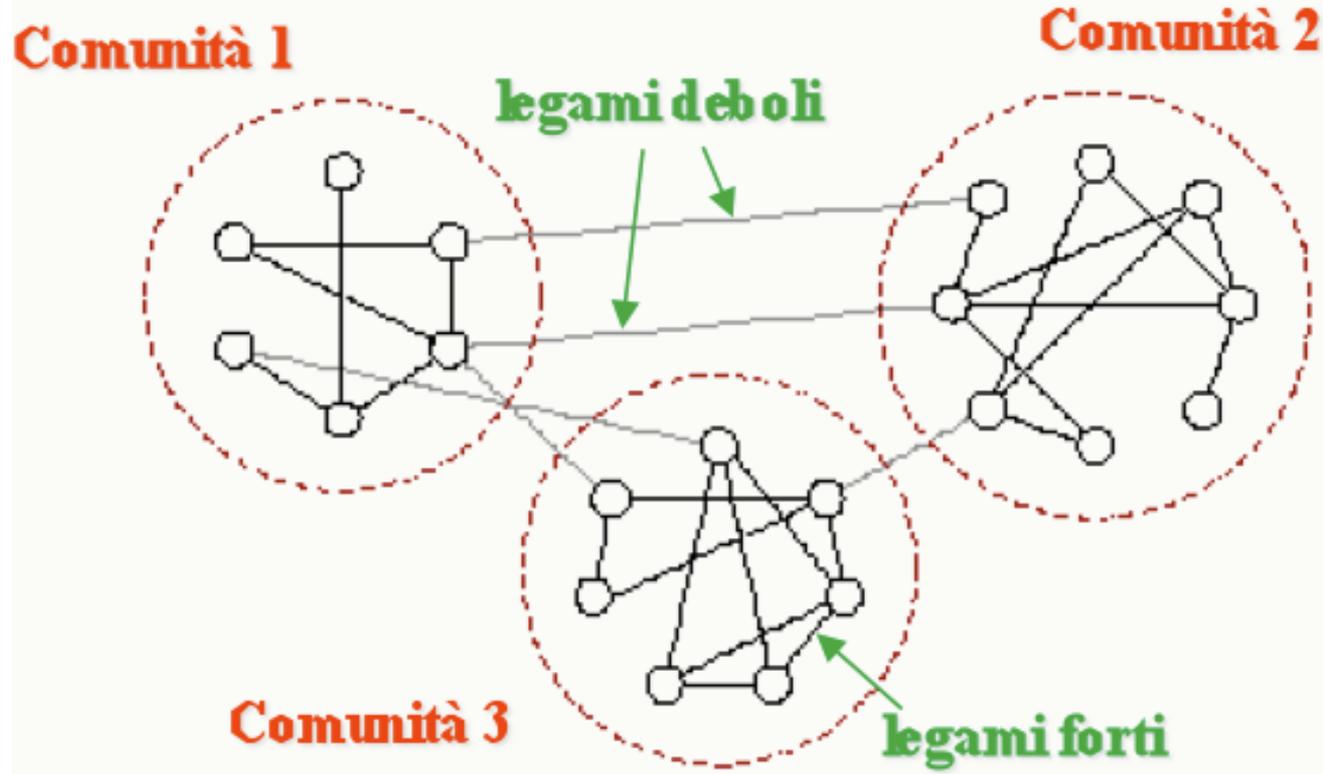


Quello che manca alle reti casuali è quindi:

l'aggregazione in comunità!

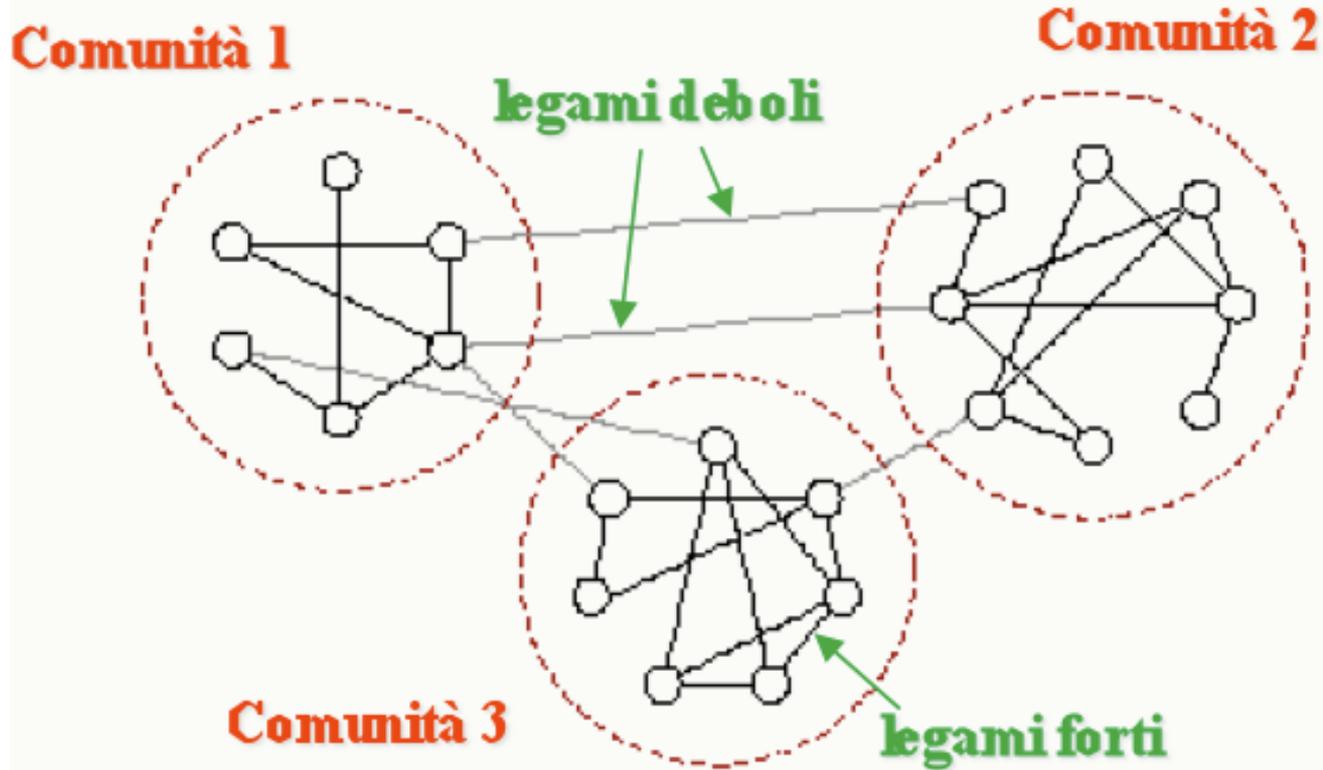
Struttura a “Comunità” nelle RETI COMPLESSE

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 piú densamente connessi** se confrontati con il resto della rete:



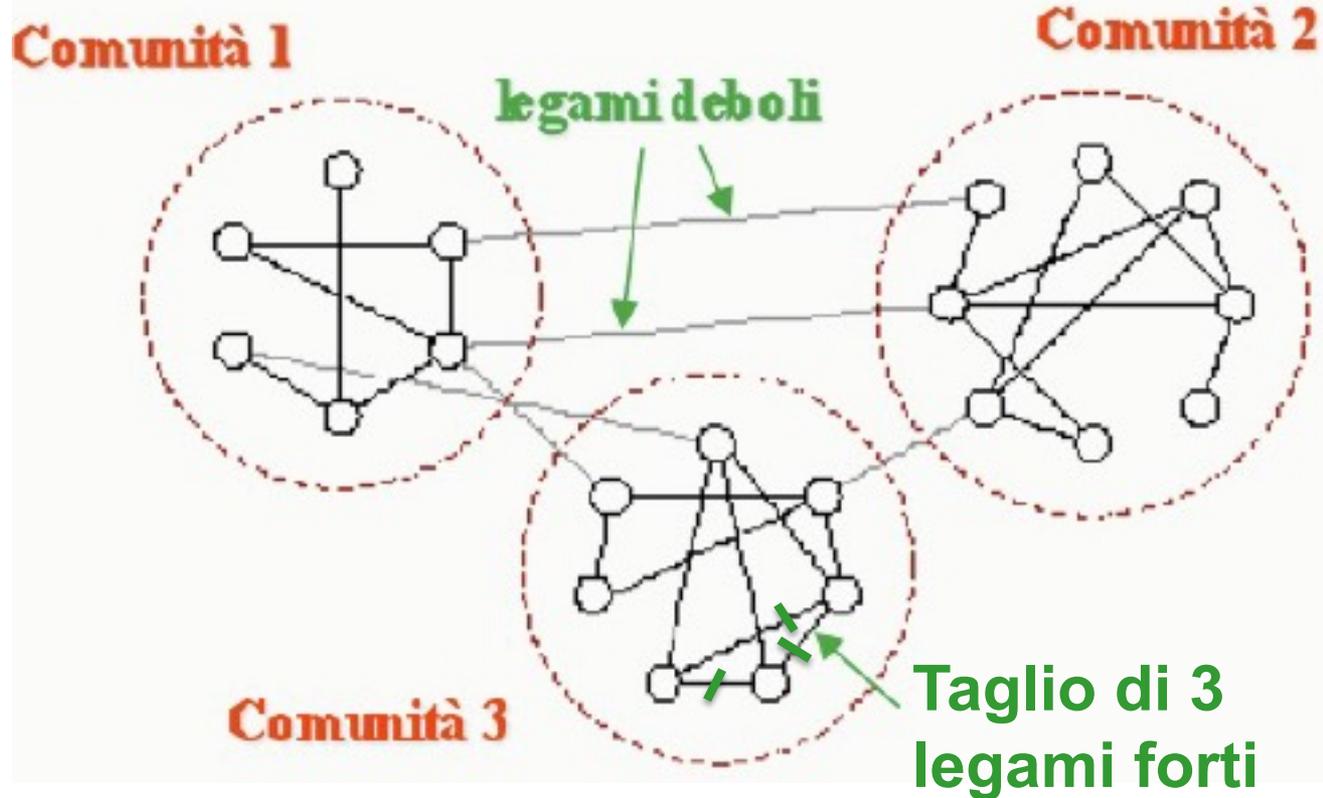
Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



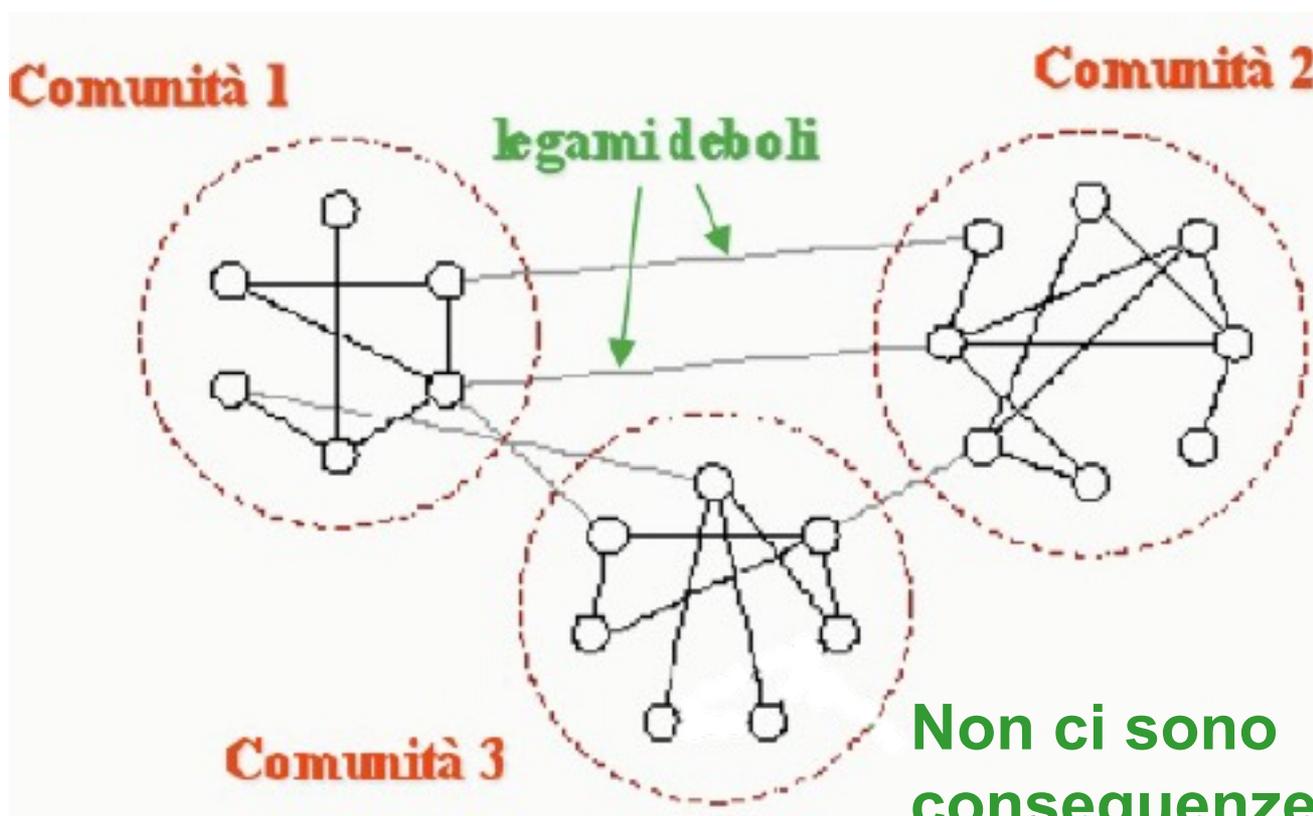
Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

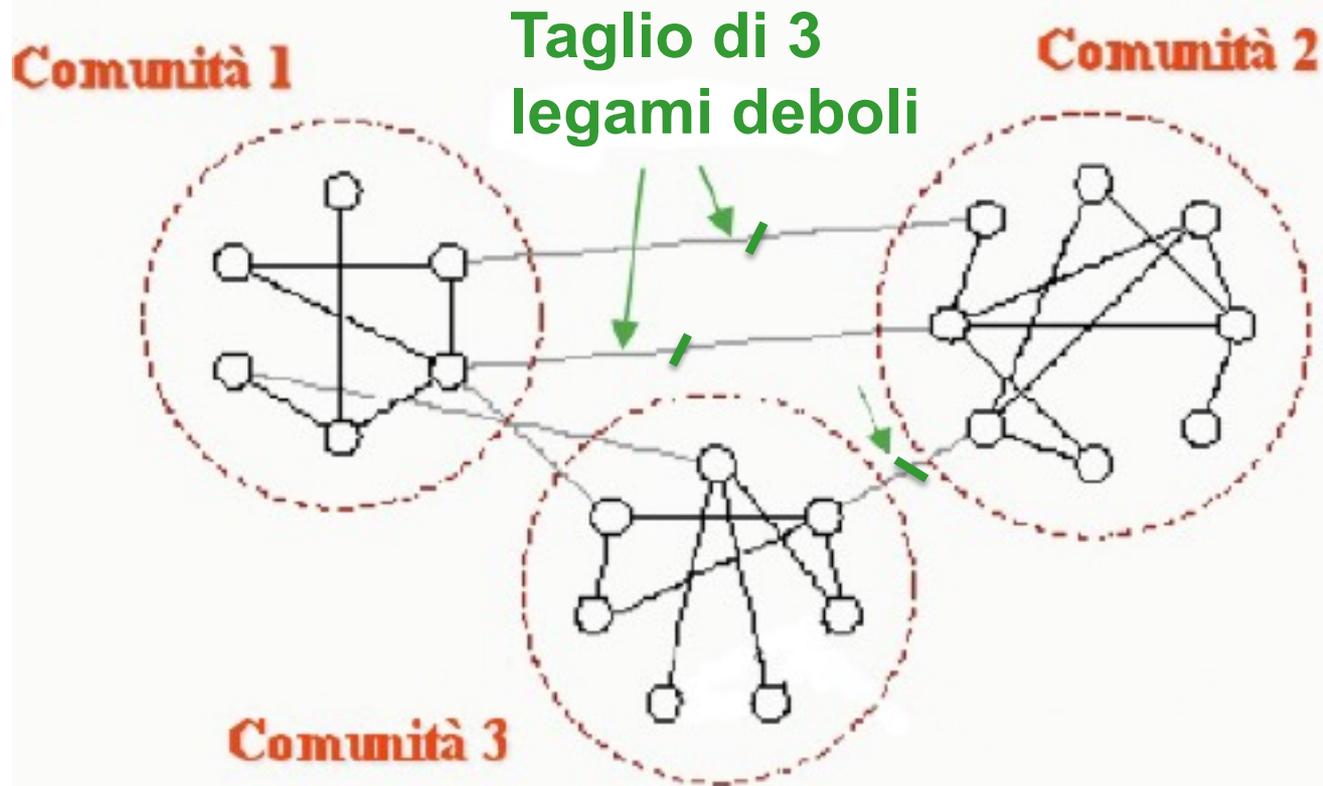
La forza dei legami deboli



Non ci sono
conseguenze sulla
connettività globale!

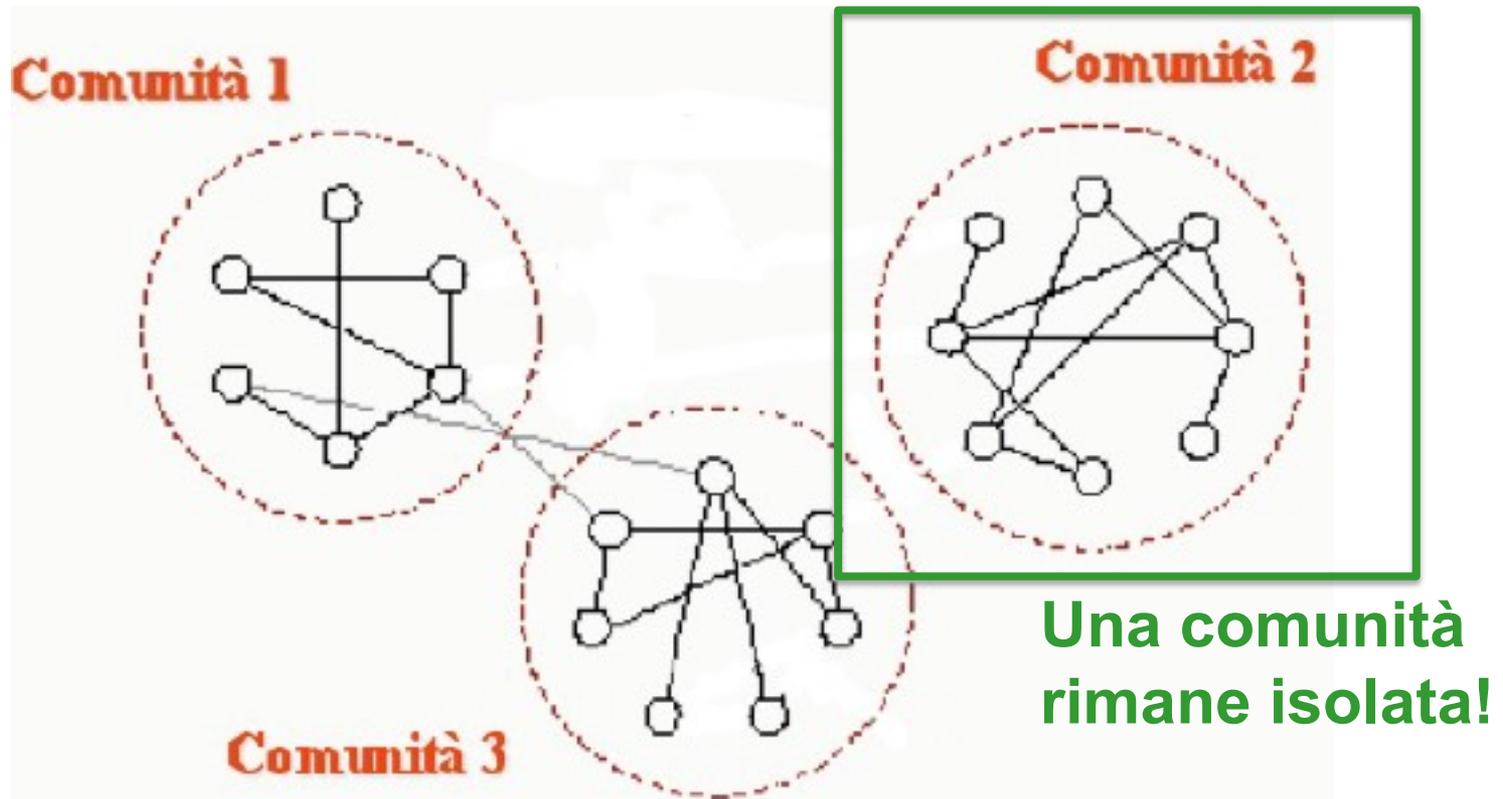
Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli

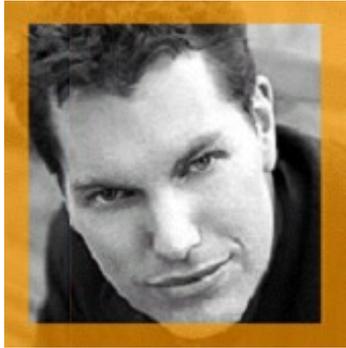


Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



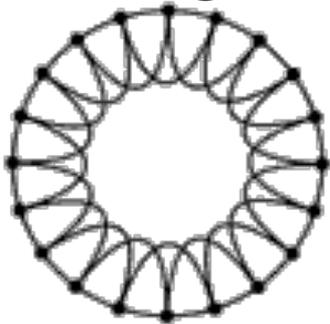
LA SCOPERTA delle RETI COMPLESSE



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

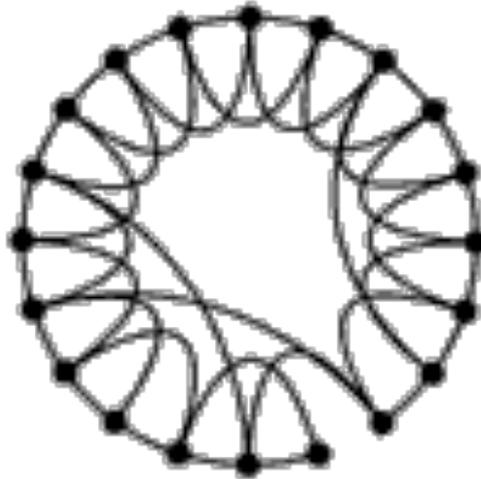


rete regolare



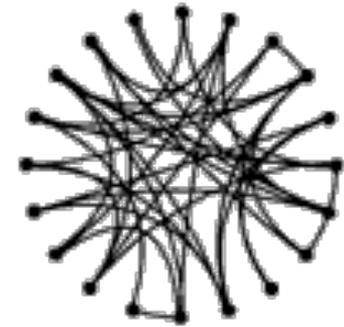
Ha una forte aggregazione,
ma non è un ‘piccolo mondo’

rete small world



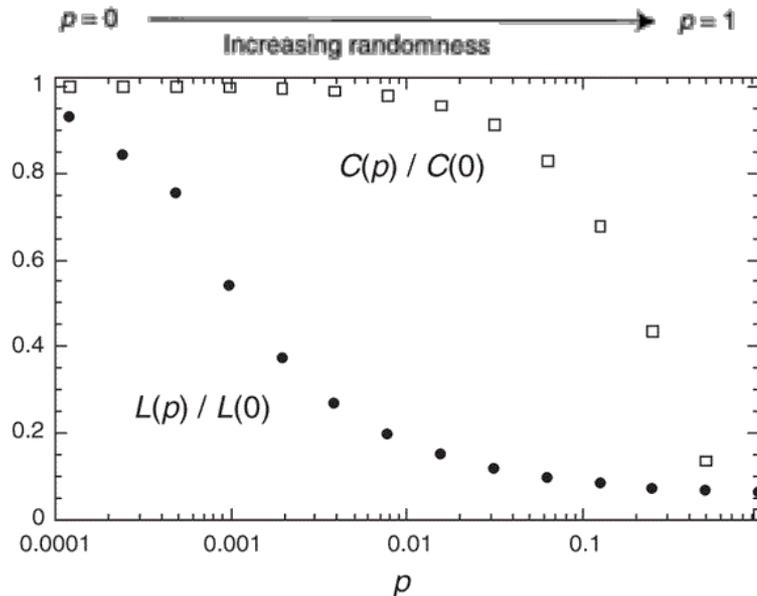
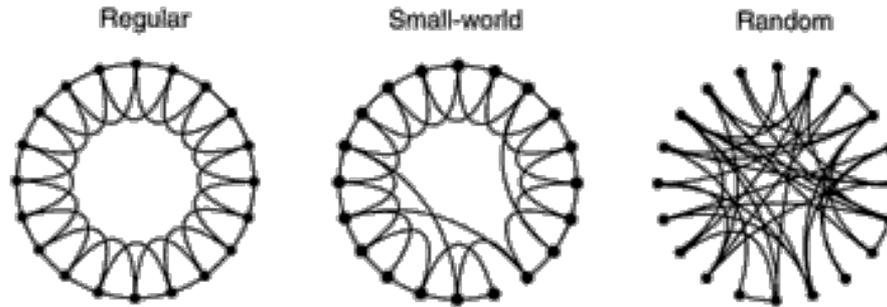
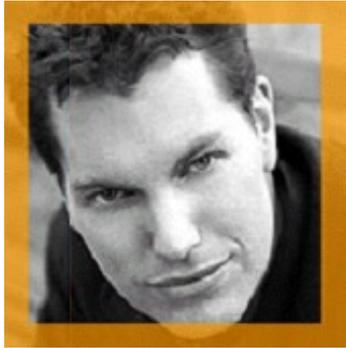
*E' un ‘piccolo mondo’
ma ha anche una forte
aggregazione!*

rete casuale



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

MODELLO di WATTS e STROGATZ



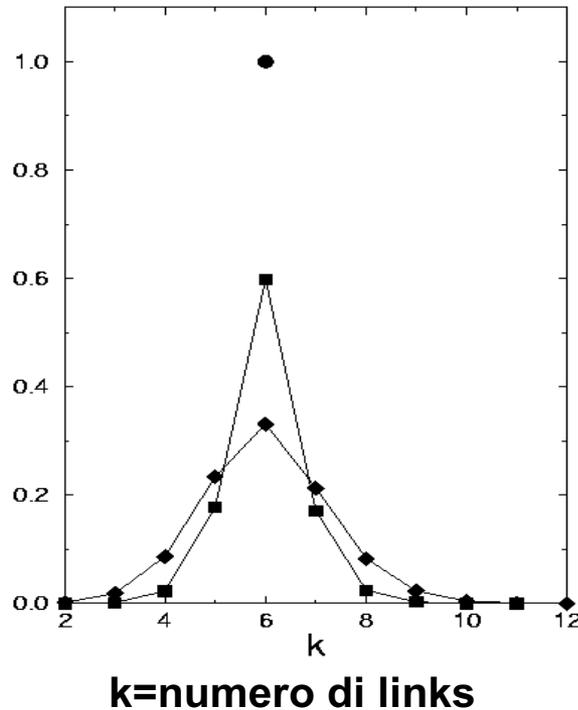
$C(p)$: coefficiente di aggregazione (clustering)
 $L(p)$: minimo cammino medio

(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



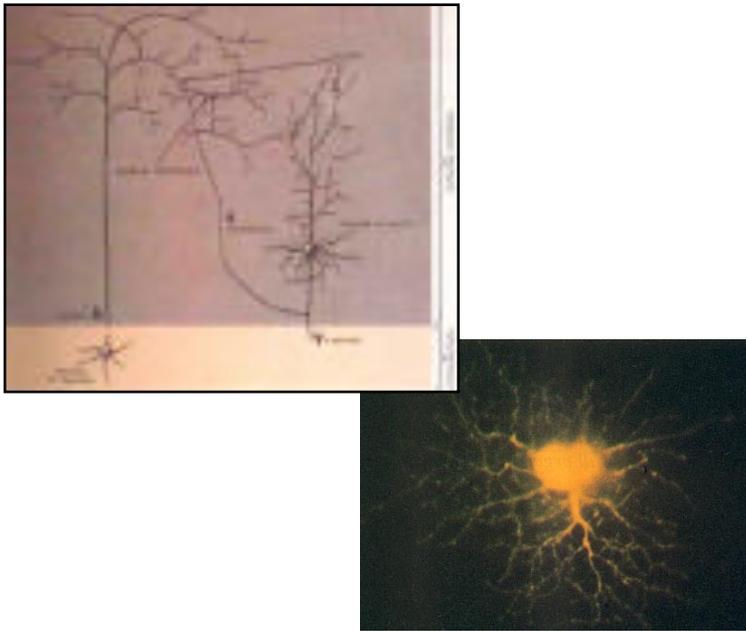
Distribuzione
Gaussiana:
esiste una scala tipica,
la media dei links

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

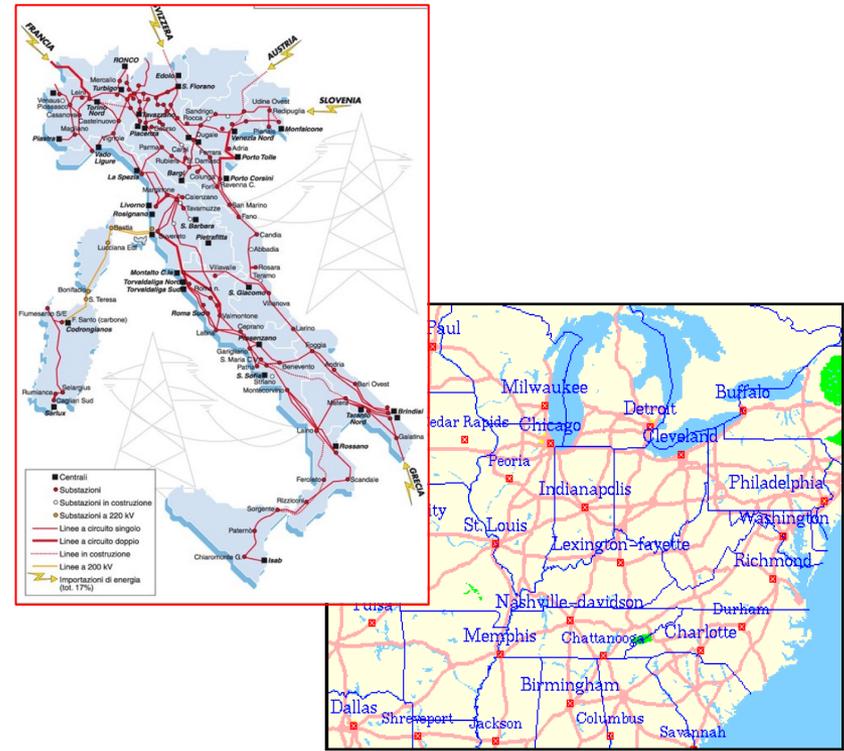
RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Nodi: neuroni
Links: assoni e sinapsi

Nodi: centrali elettriche
Links: reti di distribuzione



Reti di neuroni



Reti elettriche

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Reti sismiche

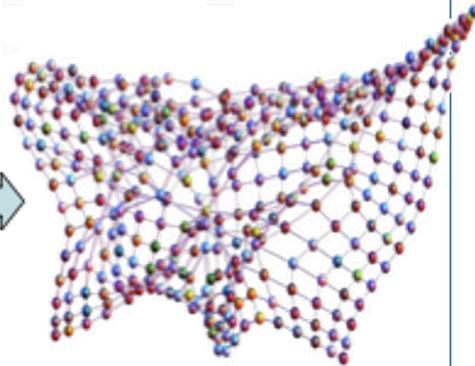
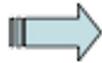
OFC model

Nodi: blocchi che simulano la crosta terrestre

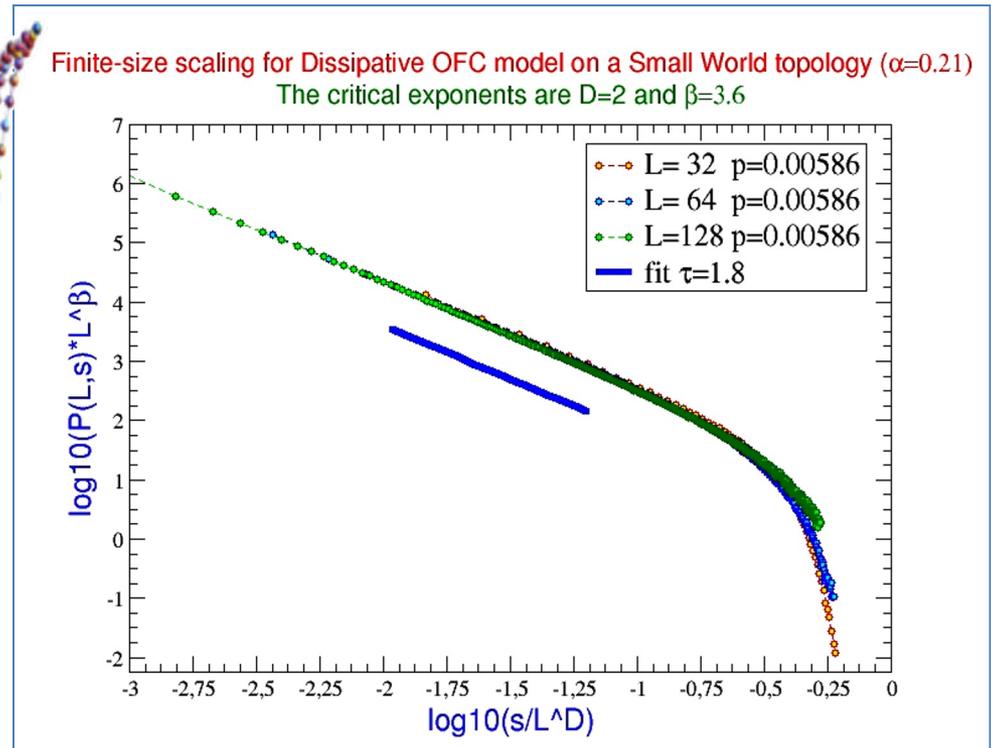
Links: trasferimento di energia



Reticolo di blocchi regolare



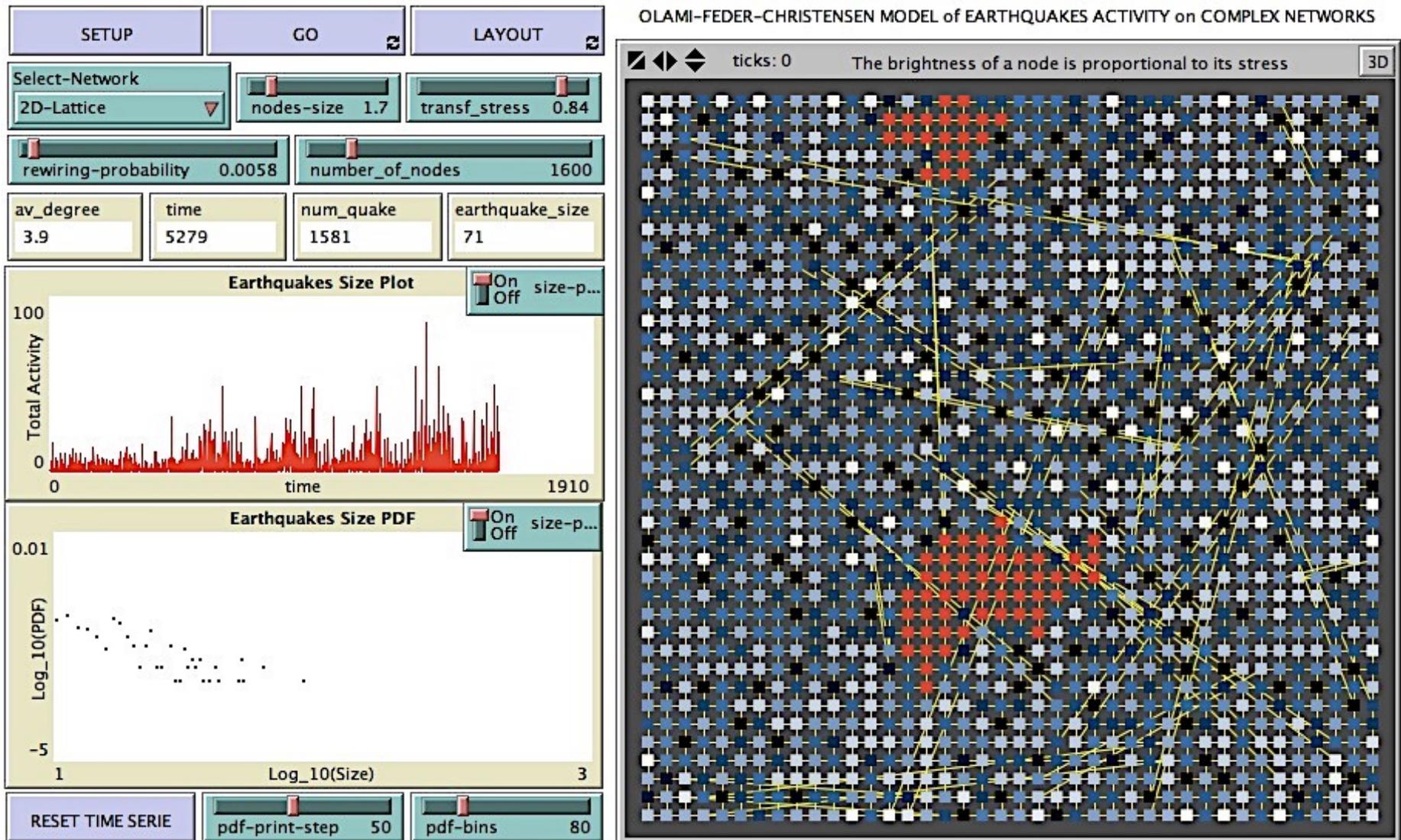
Reticolo di blocchi Small-World



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)

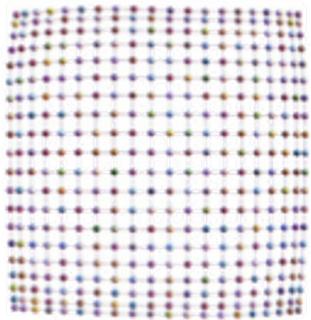
RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Reti di trading finanziario

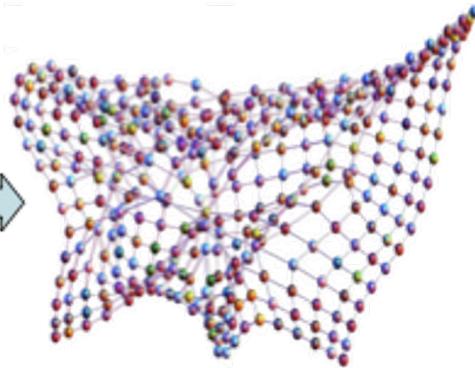
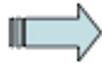
FQM model

Nodi: traders che investono in un mercato finanziario

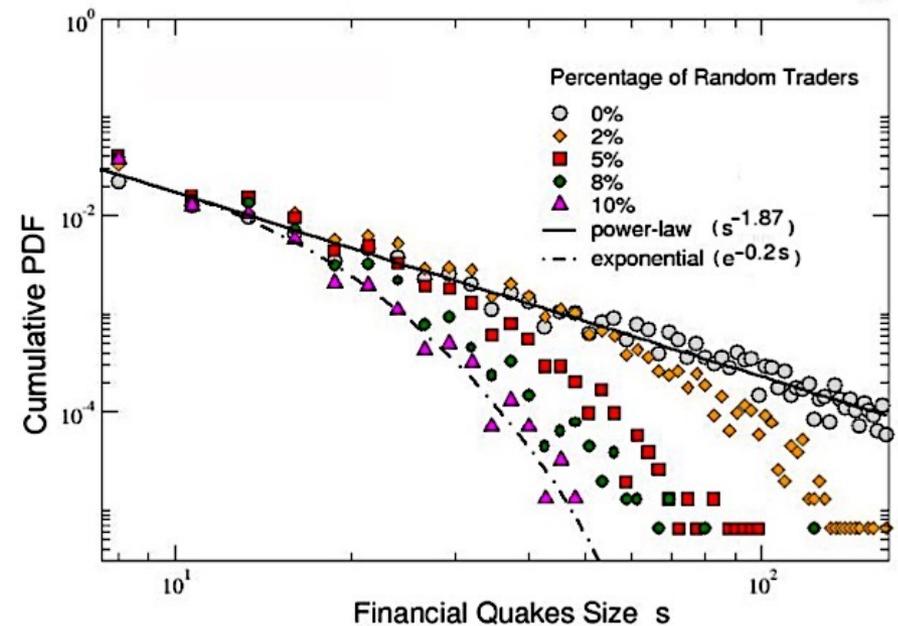
Links: scambi di informazioni fra i traders



Reticolo
di traders
regolare



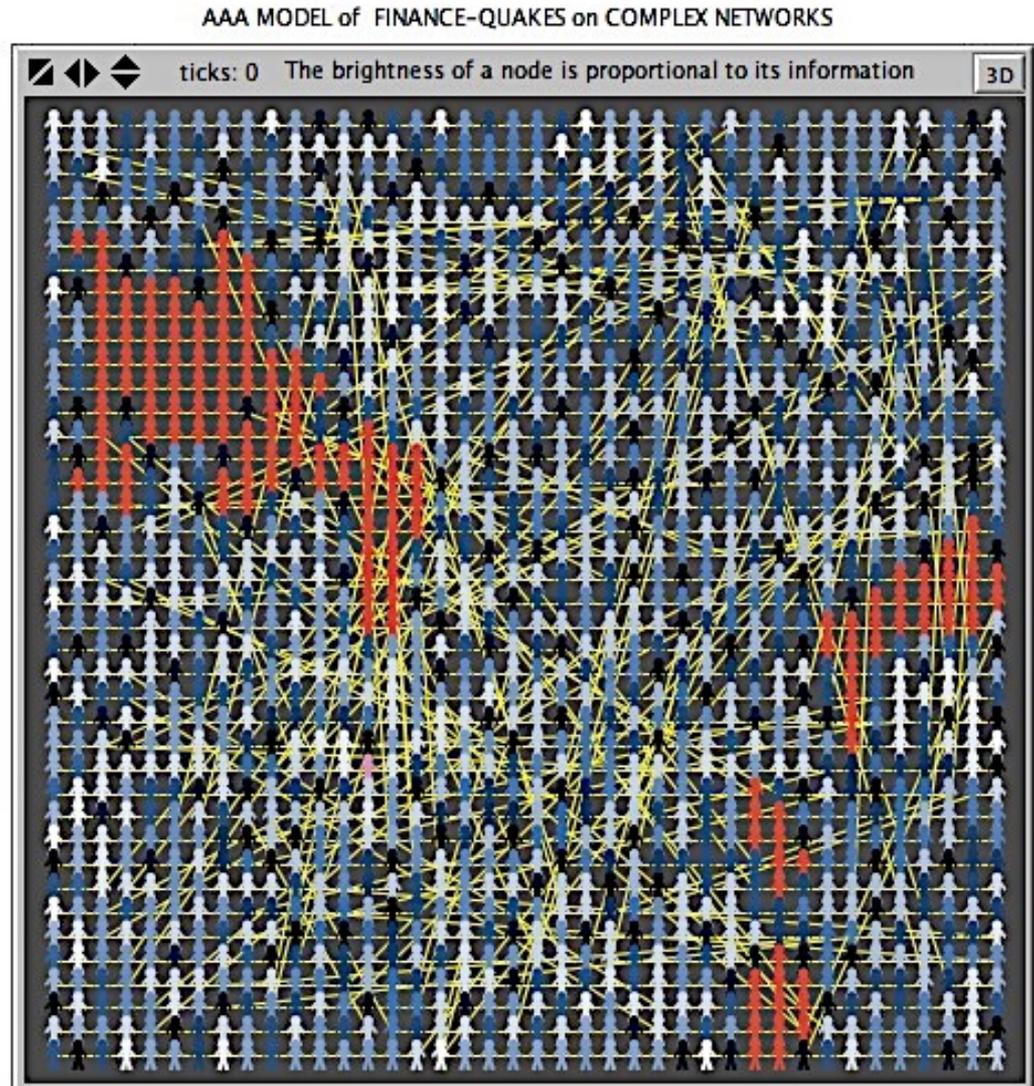
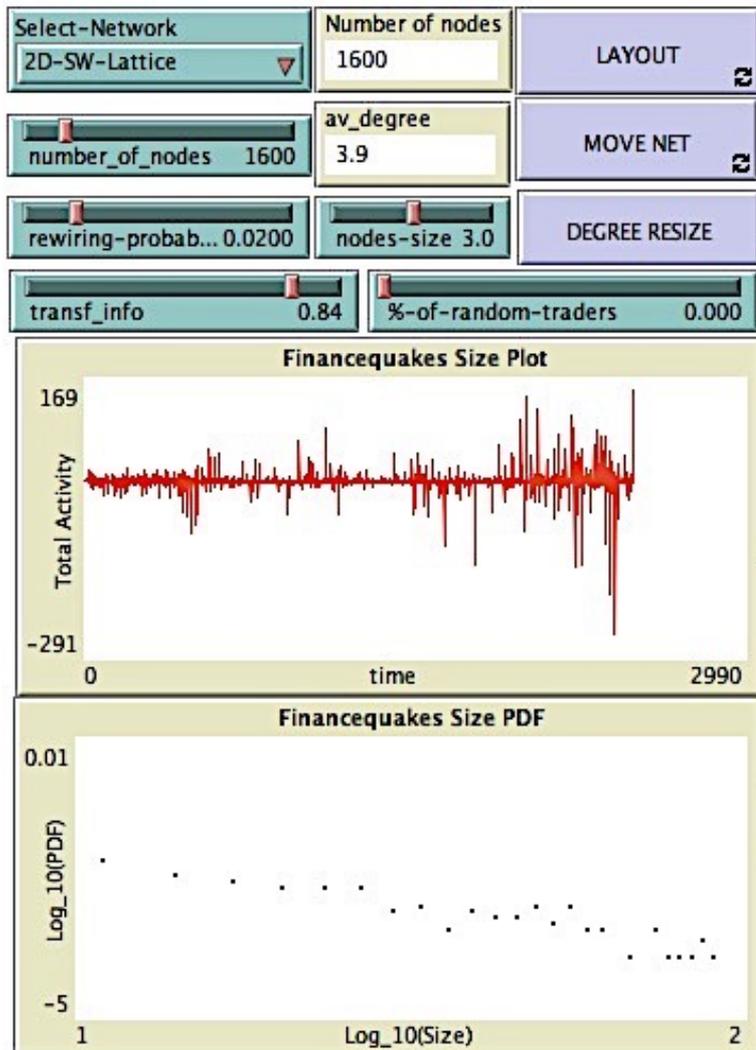
Reticolo
di traders
Small-World



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



RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

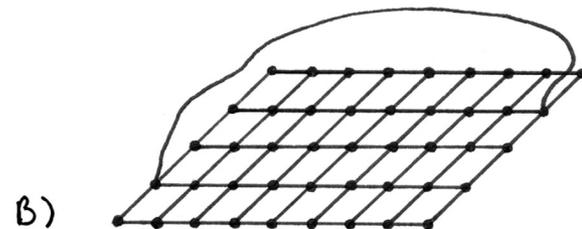
Reti non-locali di siti spaziali "entangled"

Nodi: punti dello spazio

Links: collegamenti "non-locali" a lungo raggio



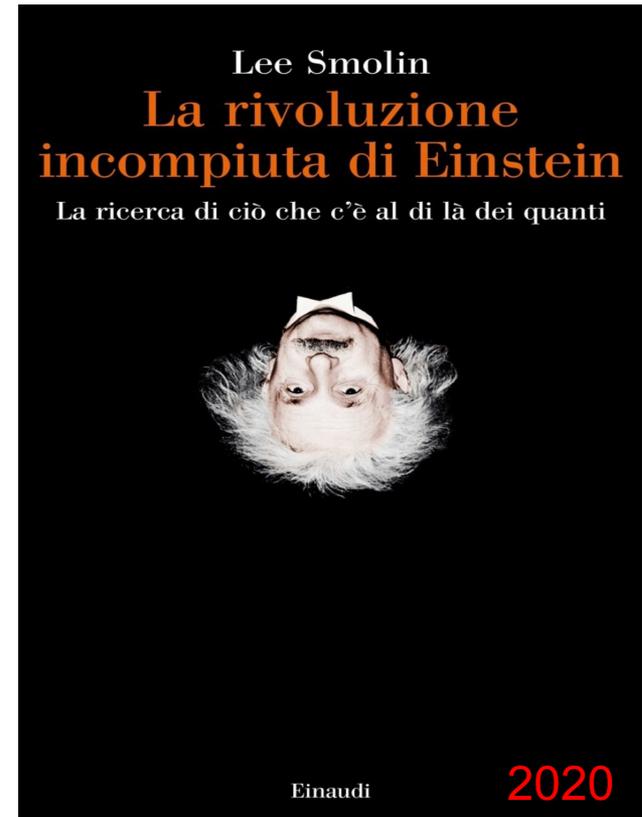
Reticolo
spaziale
regolare



Reticolo
Spaziale
Small-World
(entangled)

Figura 12.

Località disordinata. A) Un reticolo di punti, immerso nello spazio, che chiamiamo locale perché punti che sono distanti in termini di passi sul reticolo sono distanti anche nello spazio in cui è immerso. B) L'aggiunta di un nuovo collegamento tra due punti distanti distrugge la località perché i punti collegati sono ancora lontani nello spazio, ma distano solo un passo sul reticolo.



F.Markopoulou, L.Smolin, Class.Quant.Grav. 24 (2007) 3813-3824 - <https://arxiv.org/abs/gr-qc/0702044>

J.Maldacena, L.Susskind, Progress of Physics Vol.61 Issue 9 (2013) - <https://arxiv.org/abs/1306.0533>

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Reti non-locali di siti spaziali "entangled"

Nodi: punti dello spazio

Links: collegamenti "non-locali" a lungo raggio

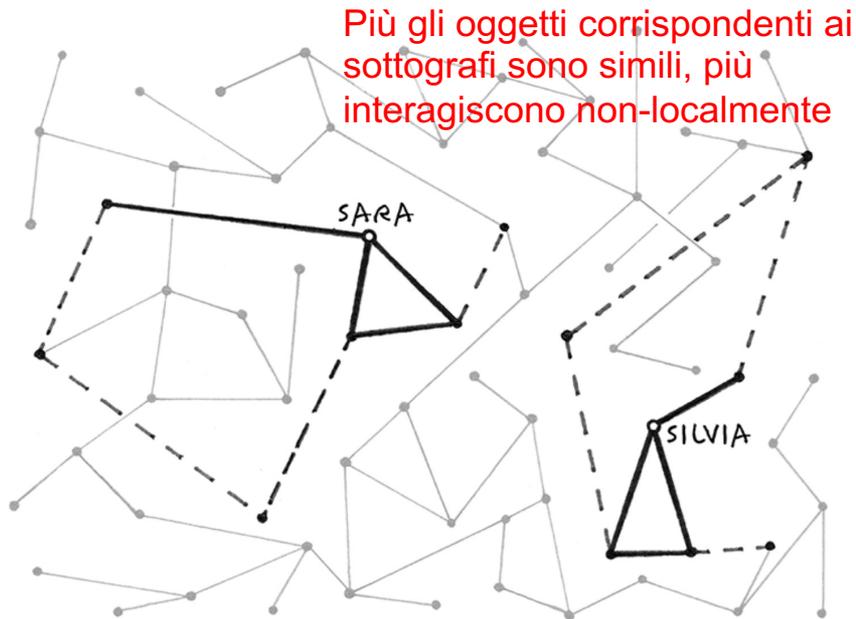
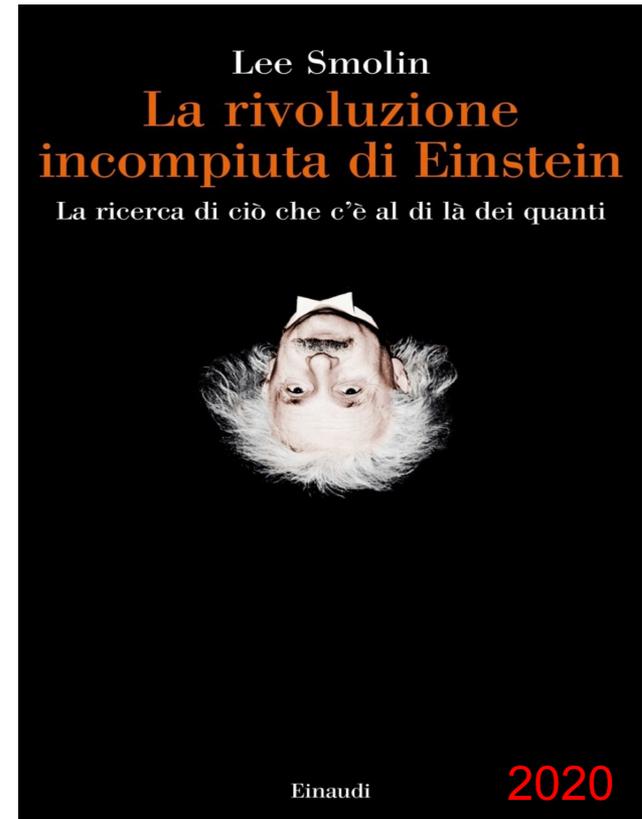


Figura 13.
I primi e i secondi intorni di Sara e Silvia, definiti dalle connessioni del grafo di cui fanno parte, sono identici, ma a partire dal terzo grado i loro intorni permettono di distinguerle.

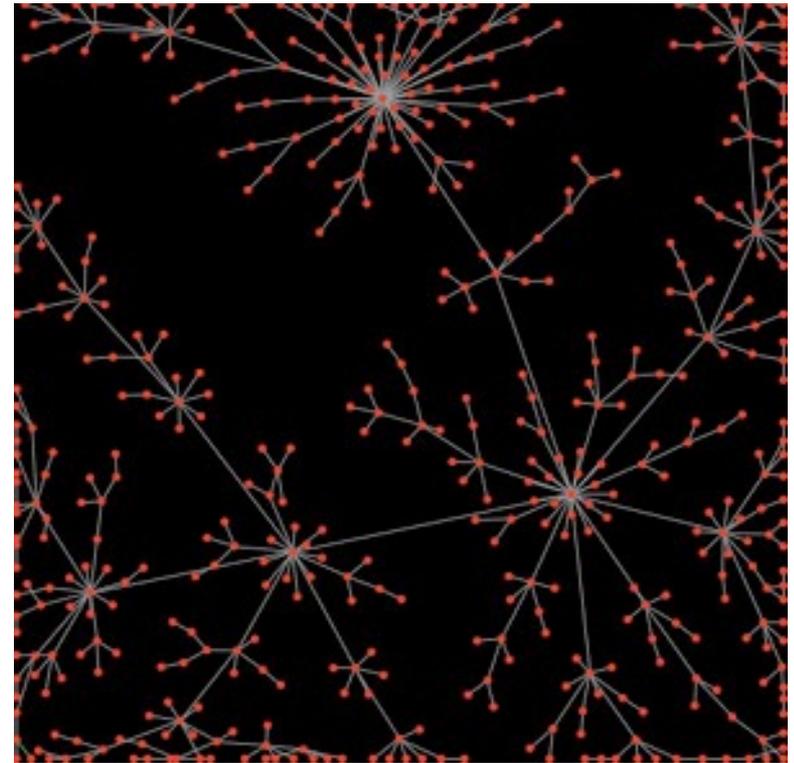
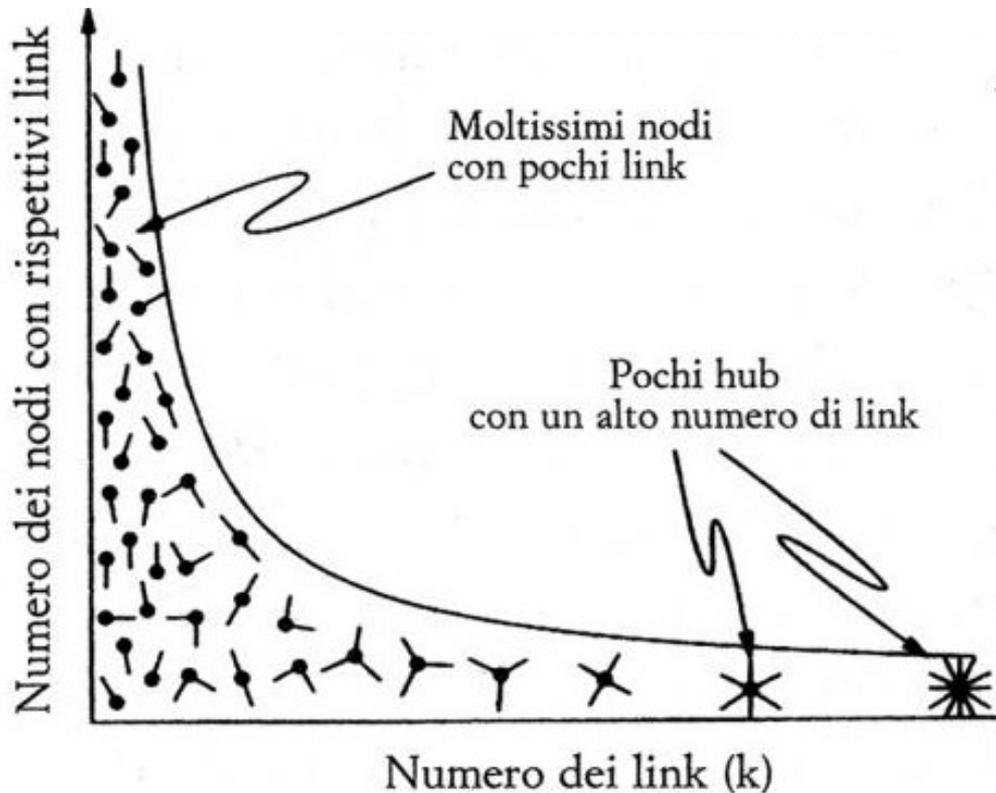


F.Markopoulou, L.Smolin, Class.Quant.Grav. 24 (2007) 3813-3824 - <https://arxiv.org/abs/gr-qc/0702044>

J.Maldacena, L.Susskind, Progress of Physics Vol.61 Issue 9 (2013) - <https://arxiv.org/abs/1306.0533>

RETI SMALL-WORD ARISTOCRATICHE

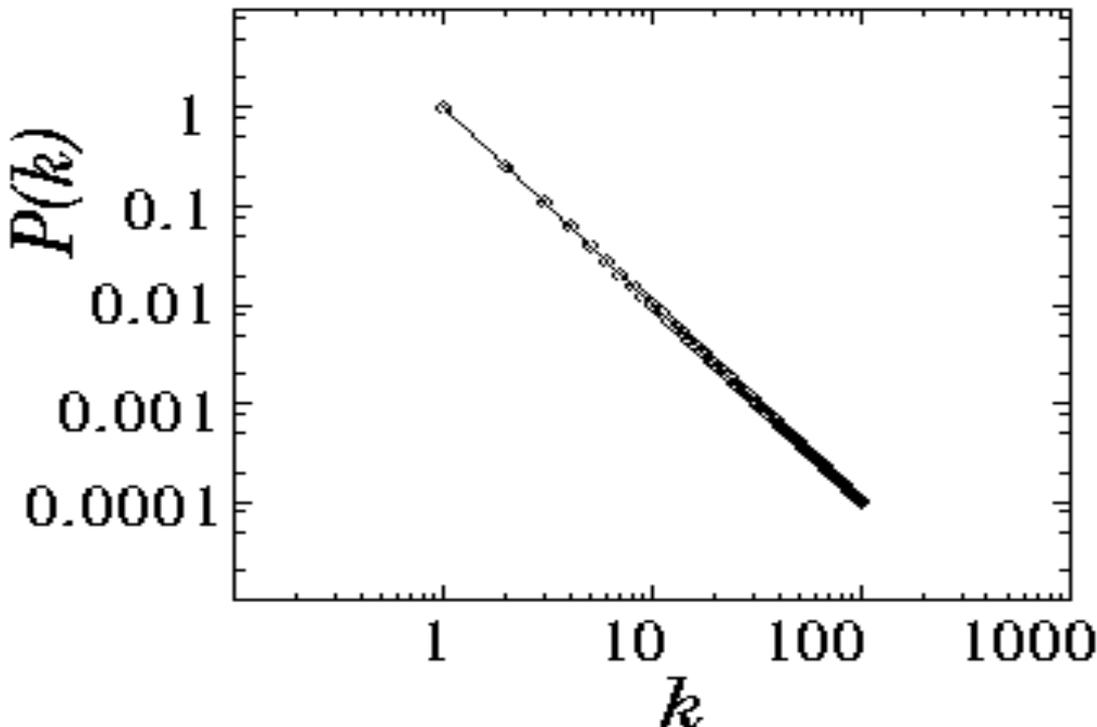
Non tutte le reti Small Word sono egualitarie: anzi, la maggior parte delle reti complesse esistenti in natura sono **'aristocratiche'**: la stragrande maggioranza dei nodi ha pochi links, ma esistono pochissimi **nodi iperconnessi, i cosiddetti "hub"**!



RETI SMALL-WORD ARISTOCRATICHE

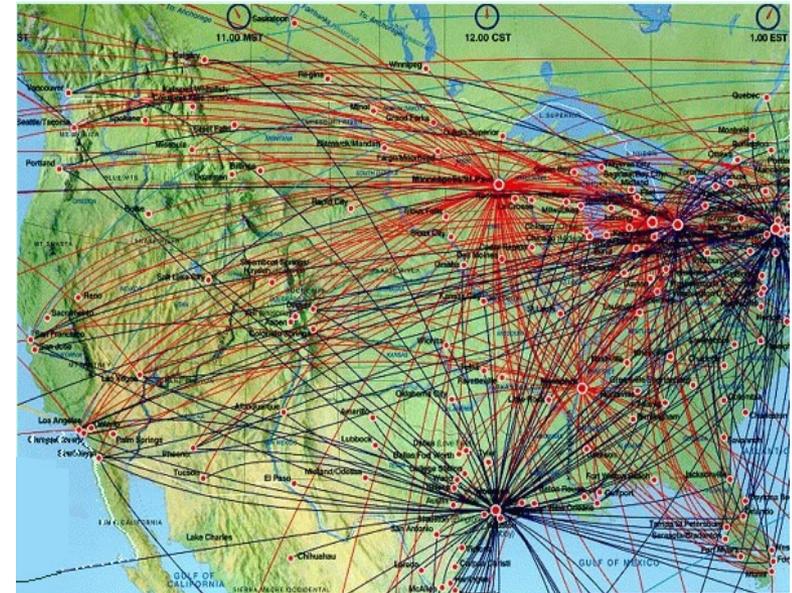
Queste reti sono **prive di una scala tipica** (la media del numero dei links non ha alcun particolare significato) dunque vengono anche dette reti **«Scale Free»**, caratterizzate da una distribuzione dei links a legge di potenza.

Legge di Potenza!



La Firma della Complessità

Rete dei collegamenti aerei

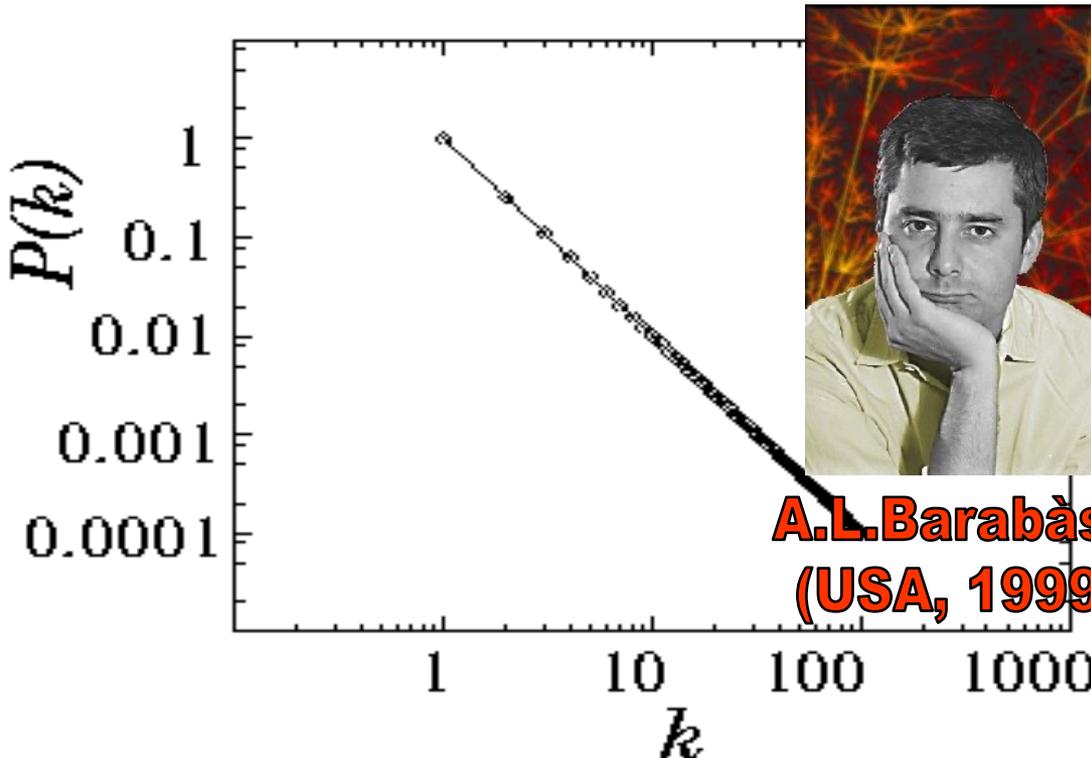


RETI SMALL-WORD ARISTOCRATICHE

Queste reti sono **prive di una scala tipica** (la media del numero dei links non ha alcun particolare significato) dunque vengono anche dette reti **«Scale Free»**, caratterizzate da una distribuzione dei links a legge di potenza.

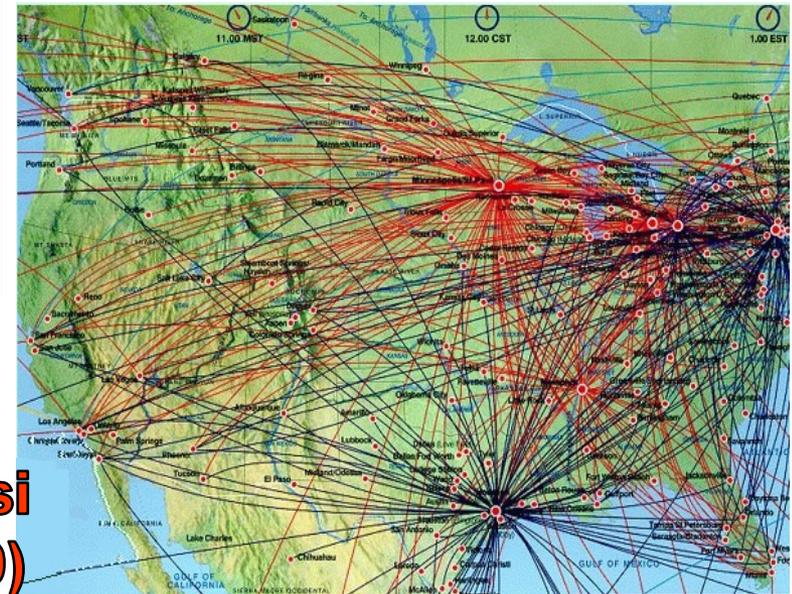
La Firma della Complessità

Legge di Potenza!



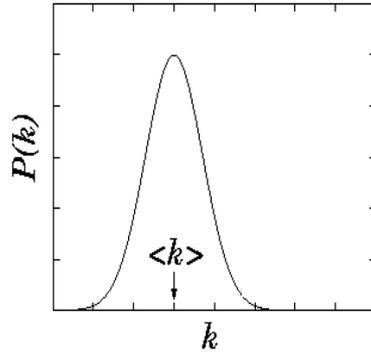
**A.L. Barabási
(USA, 1999)**

Rete dei collegamenti aerei



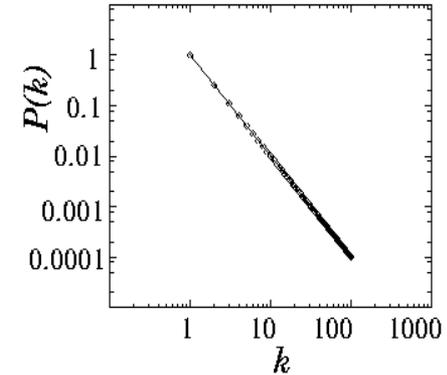
IN CONCLUSIONE: esistono due tipi fondamentali di reti Small World:

Gaussiana



Distribuzioni dei links

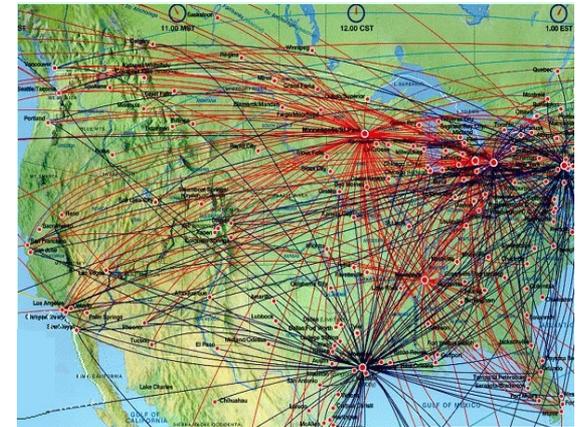
Legge di Potenza



Reti "Egualitarie":
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"

**LE RETI "SCALE FREE" SONO DAPPERTUTTO
ATTORNO A NOI!**



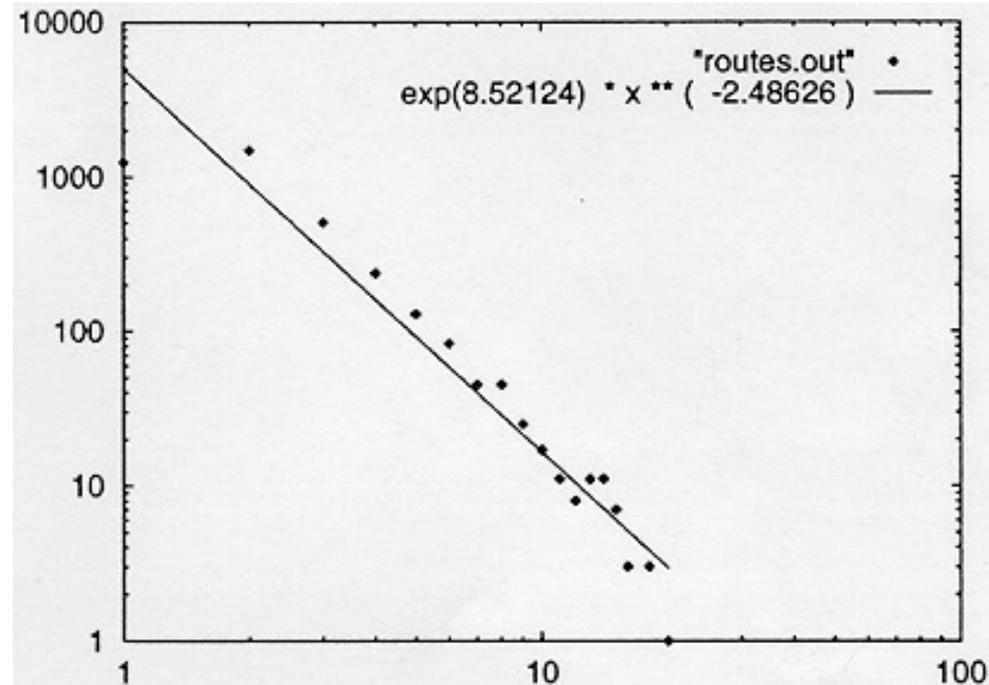
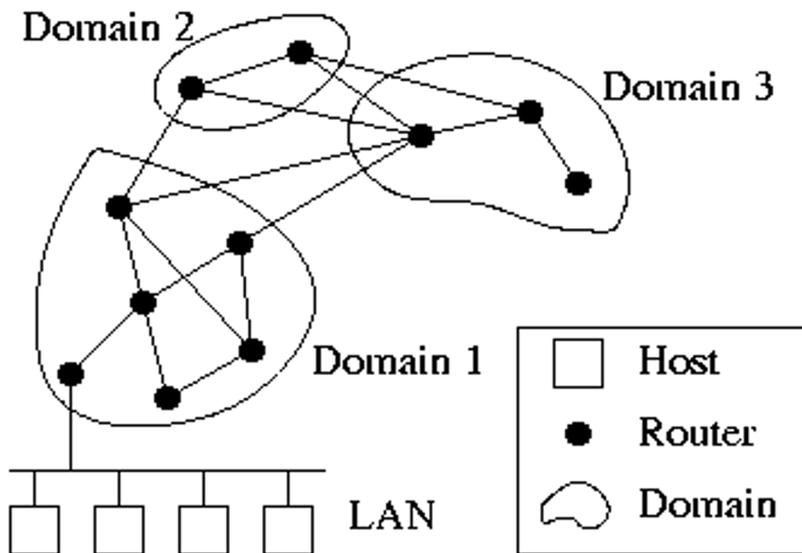
La Legge di Potenza



INTERNET

Nodi: computers, routers

Links: linee di telecomunicazione

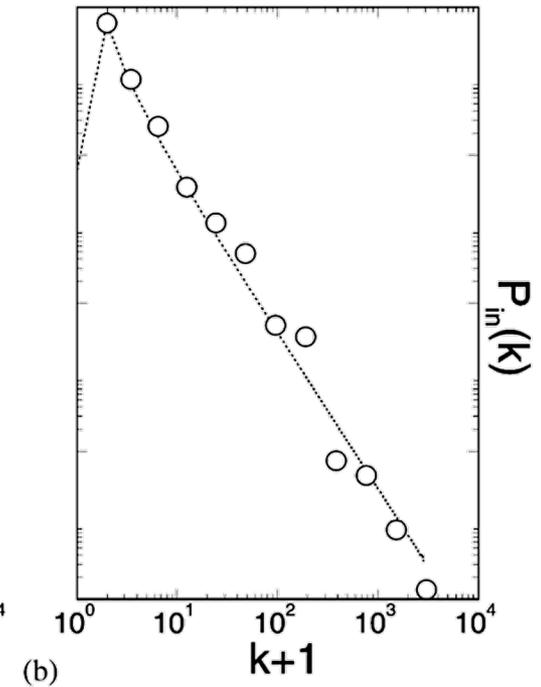
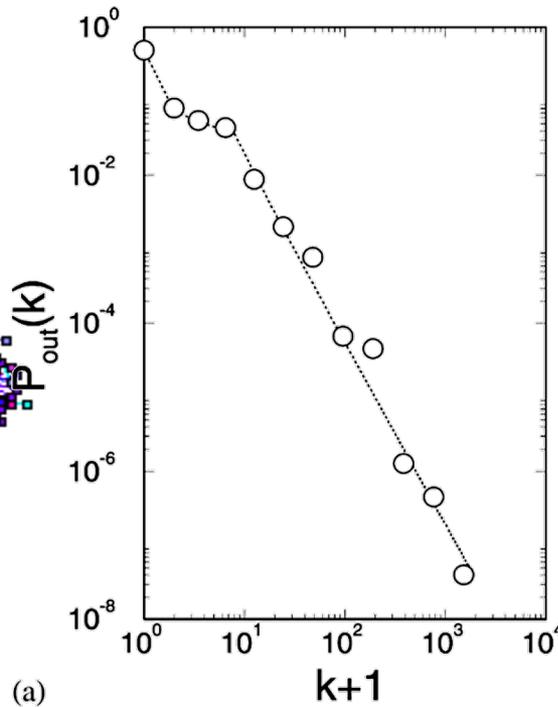
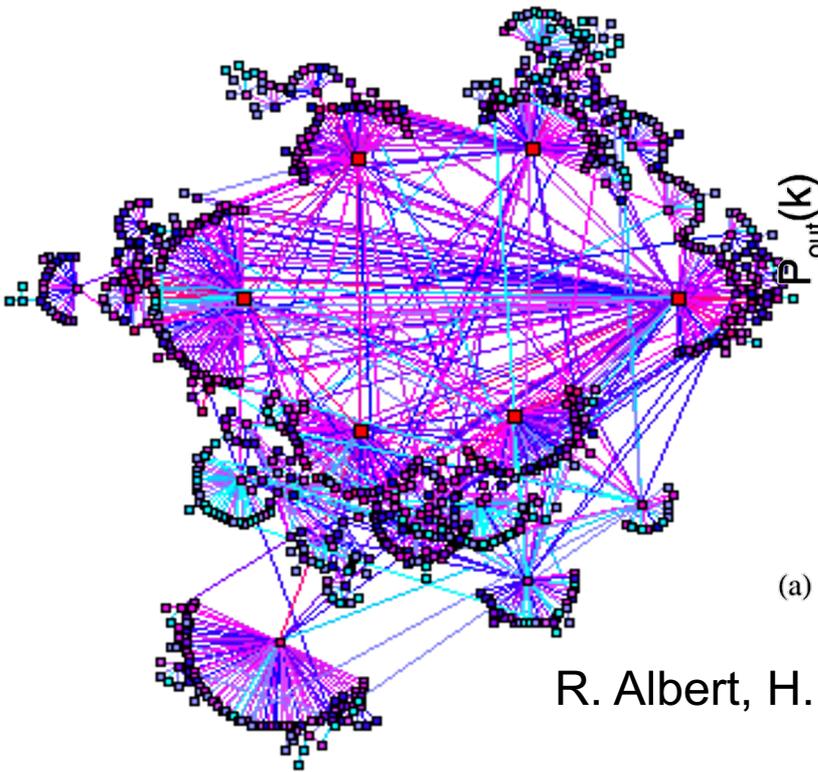


(Faloutsos, Faloutsos and Faloutsos, 1999)

World Wide Web

Nodes: WWW documents

Links: URL links



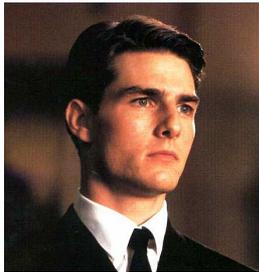
R. Albert, H. Jeong, A-L Barabasi, Nature, **401** 130 (1999)

RETE delle COLLABORAZIONI CINEMATOGRAFICHE

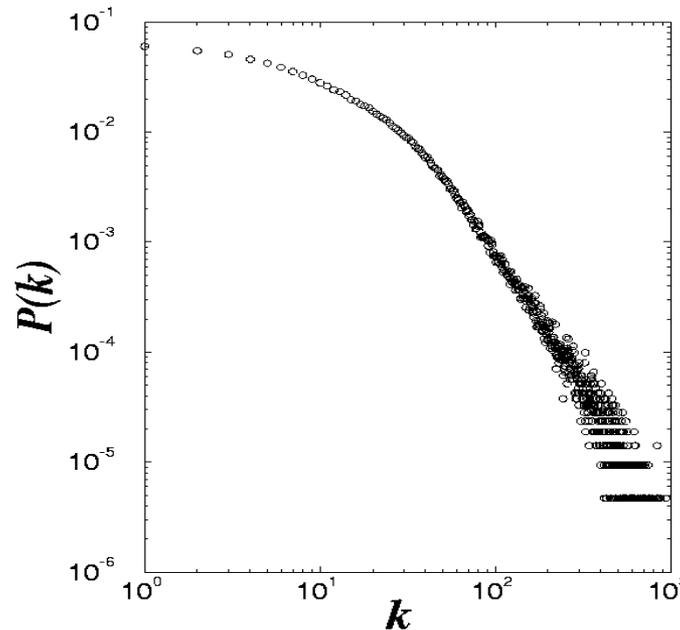
Nodi: attori

Links: film comuni

IMDb Internet Movie Database



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



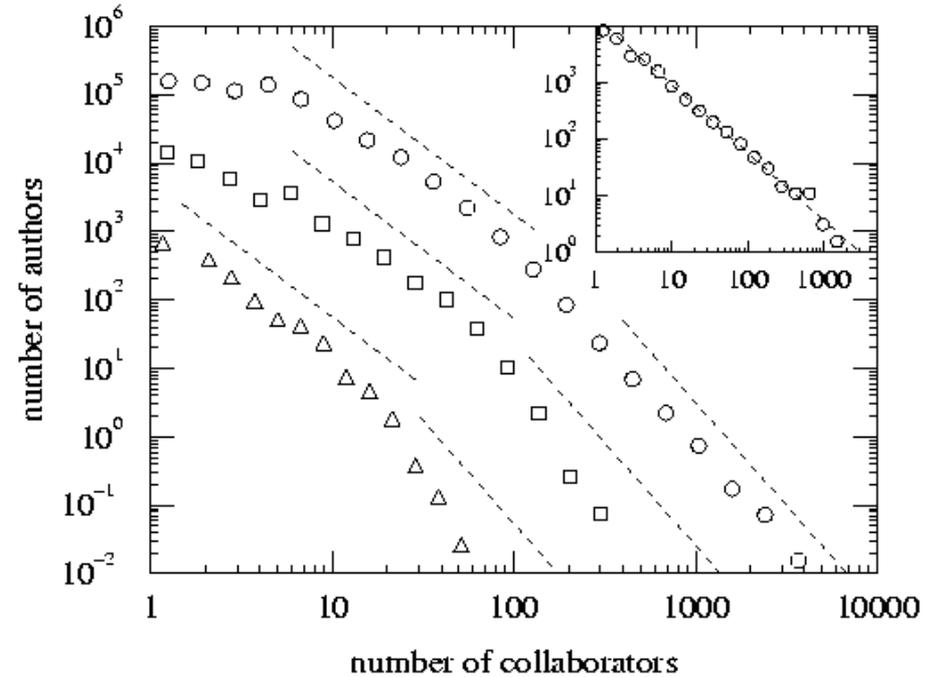
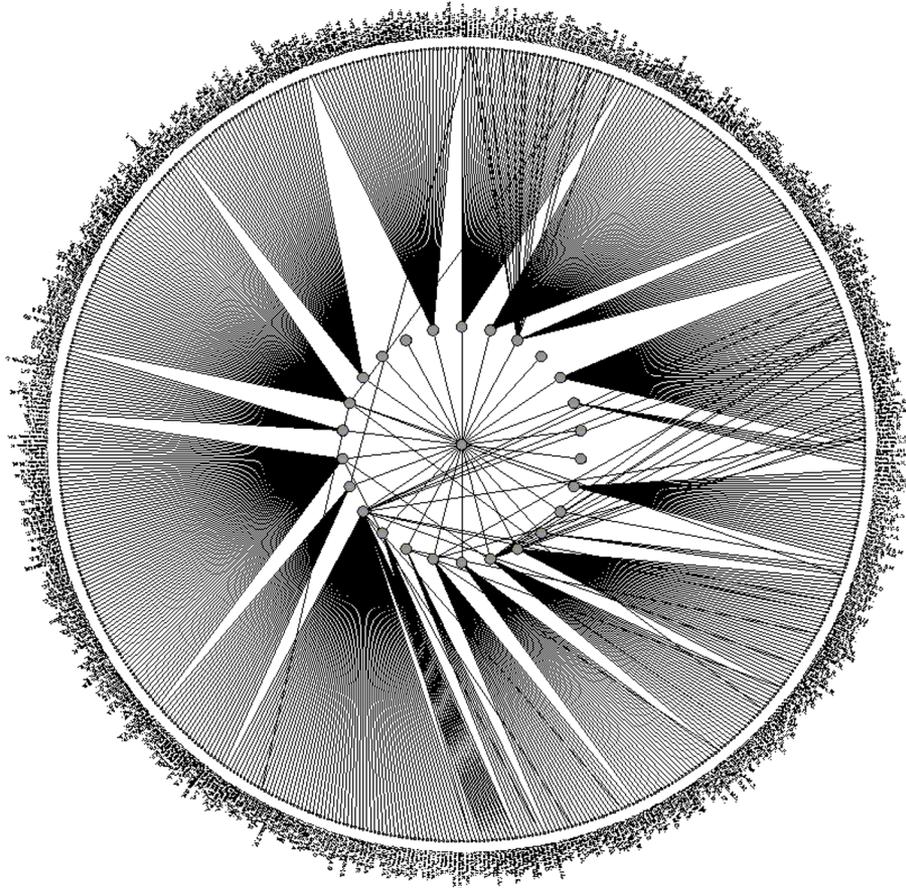
N = 212,250 actors

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

RETE delle COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE

Nodi: scienziati (autori)

Links: articoli in comune

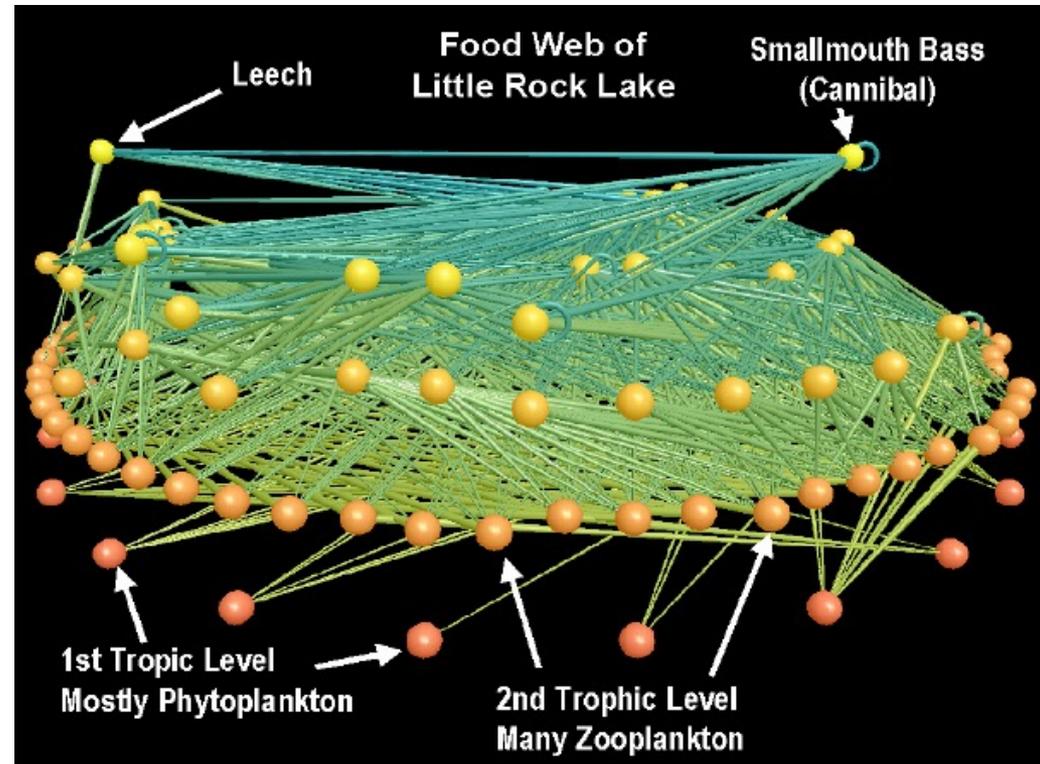
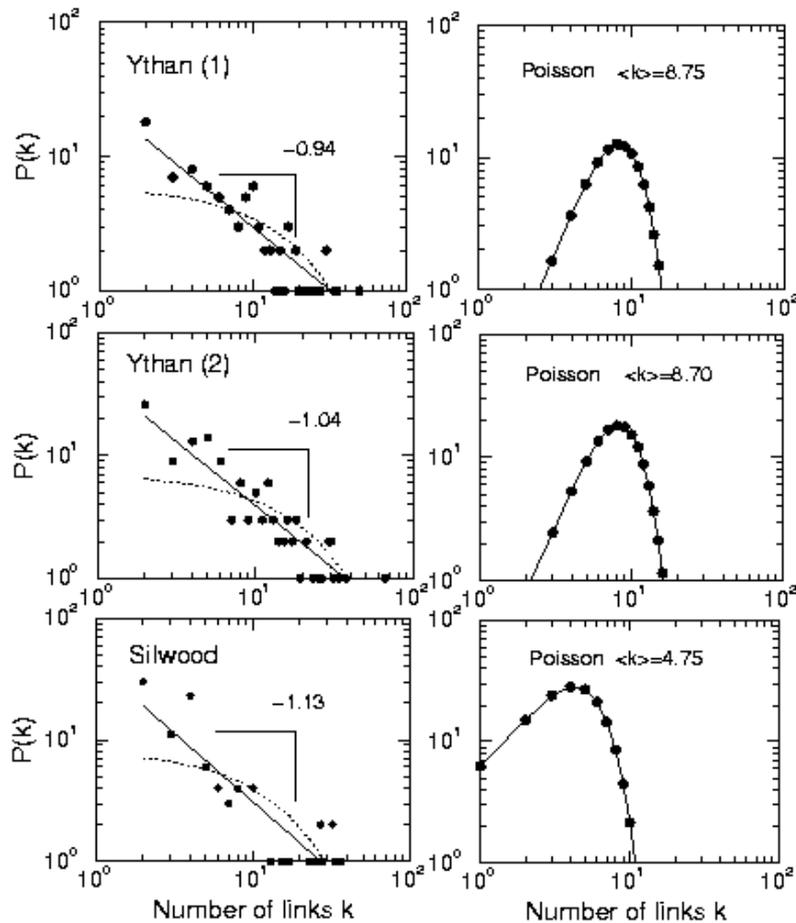


(Newman, 2000, H. Jeong et al 2001)

RETI ALIMENTARI - FOOD WEBS

Nodi: specie

Links: interazione preda-predatore



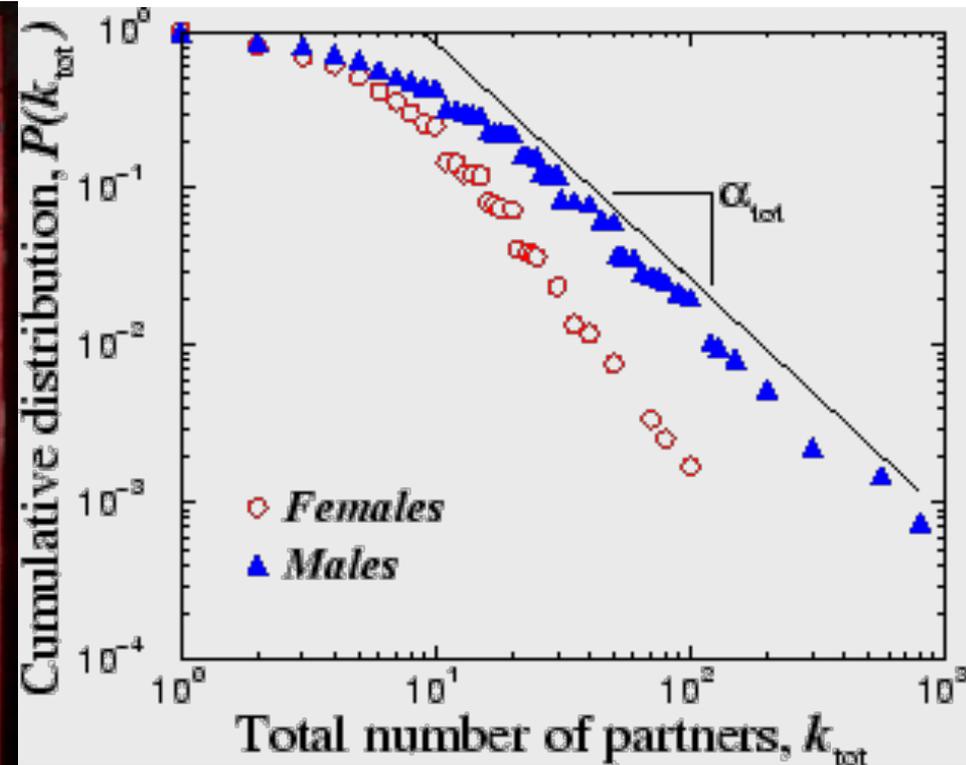
R.J. Williams, N.D. Martinez *Nature* (2000)

R. Sole (cond-mat/0011195)

RETI EPIDEMICHE

Nodi: persone (femmine;maschi)

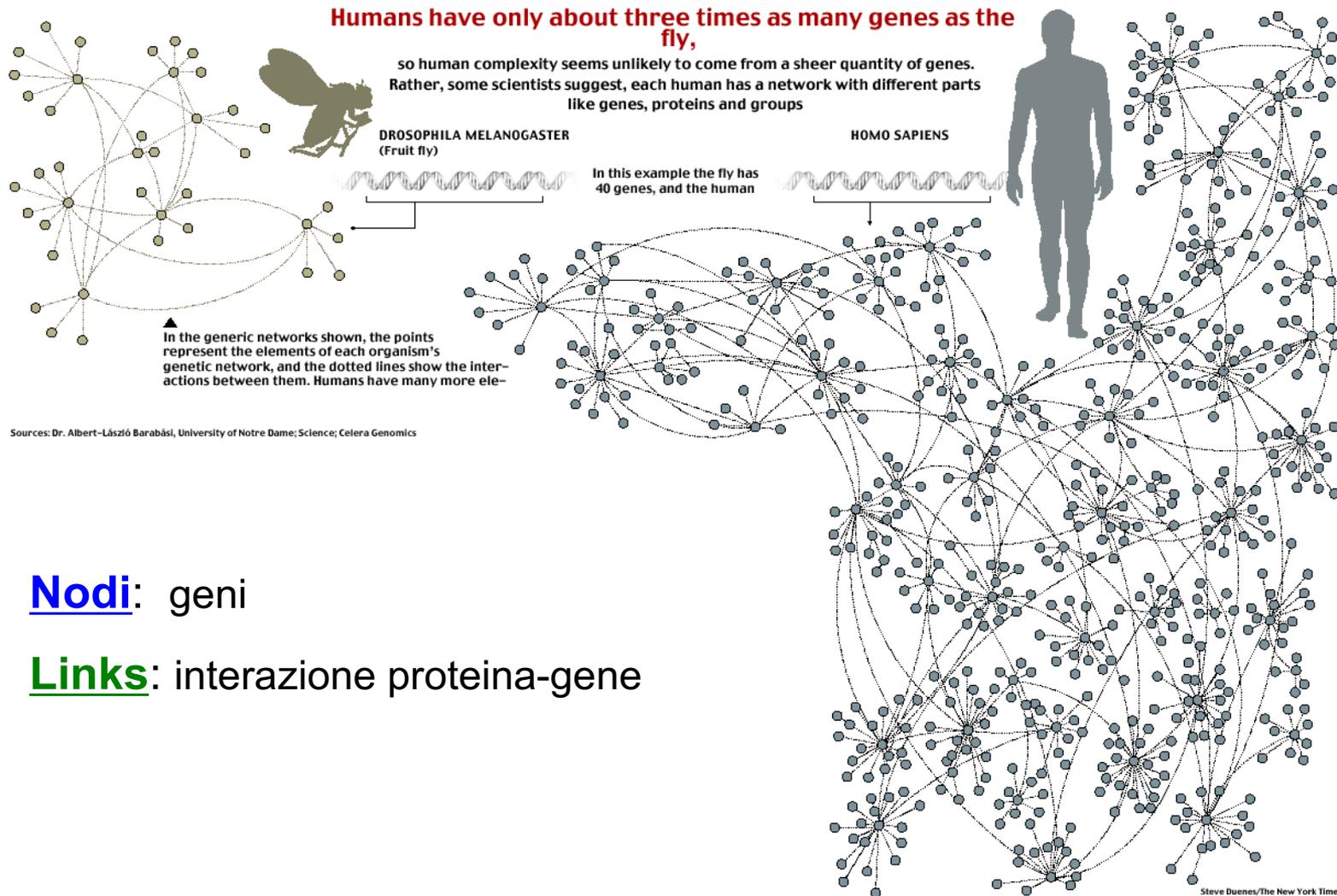
Links: contatti sessuali



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

Liljeros et al. Nature 2001

RETI GENICHE



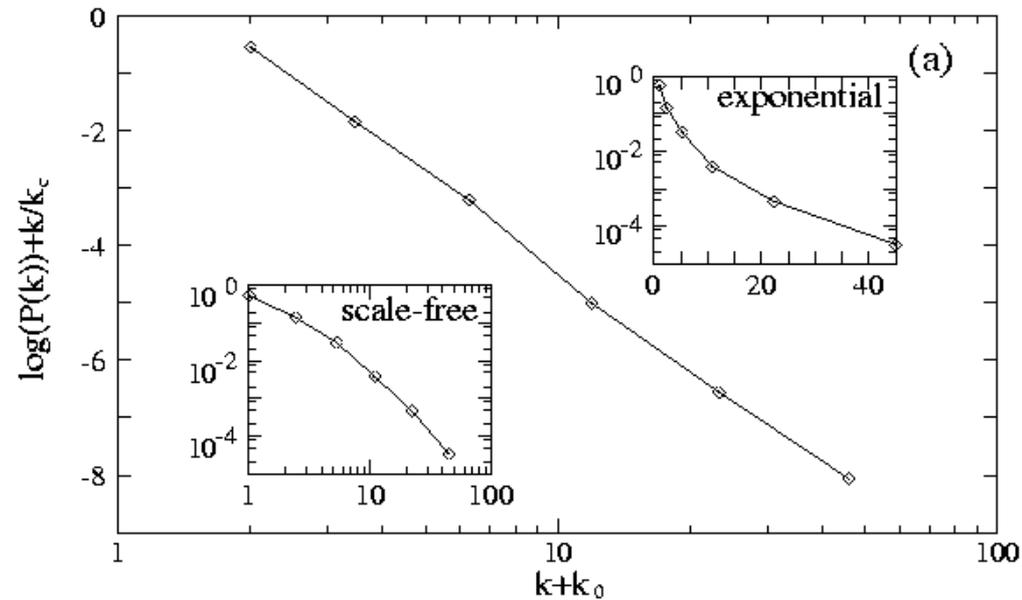
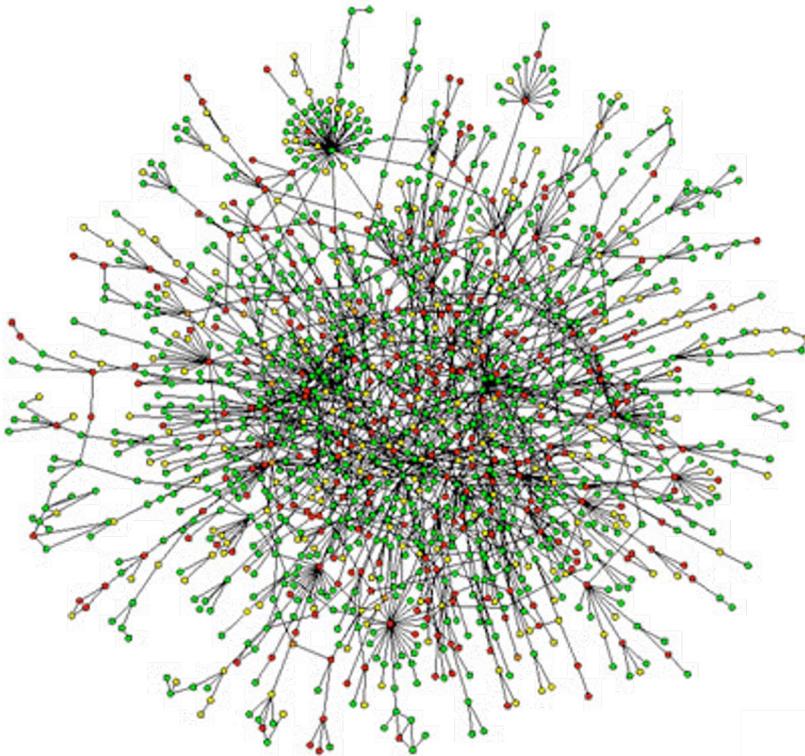
Nodi: geni

Links: interazione proteina-gene

RETI di PROTEINE

Nodi: proteine

Links: interazioni proteina-proteina

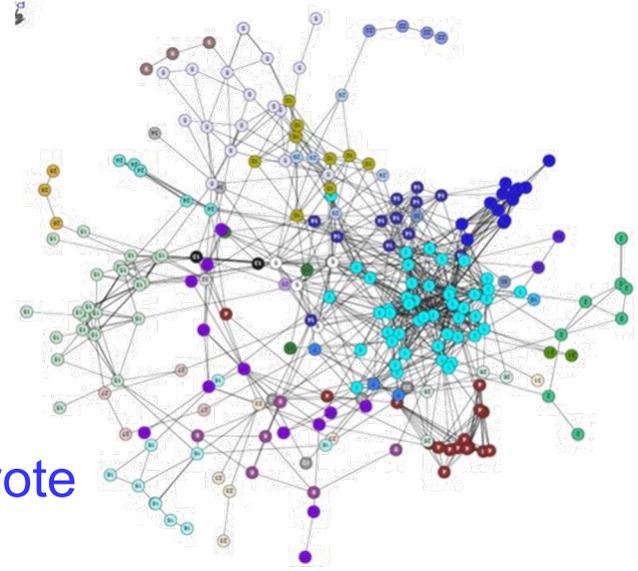


H. Jeong, S.P. Mason, A.-L. Barabasi, Z.N. Oltvai, Nature 411, 41-42 (2001)

RETI METABOLICHE

Nodi: molecole

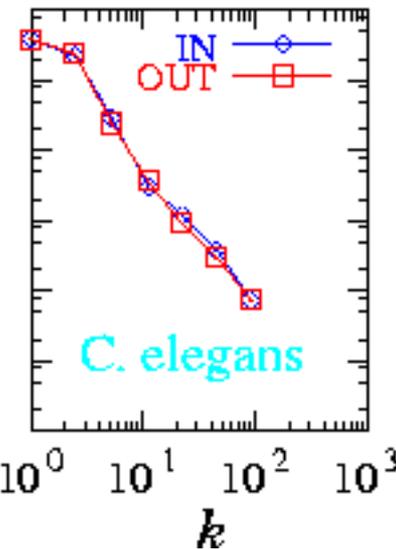
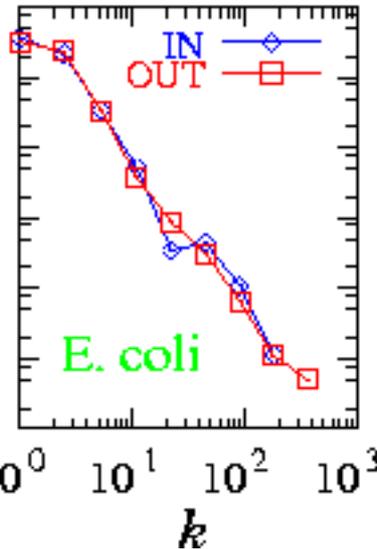
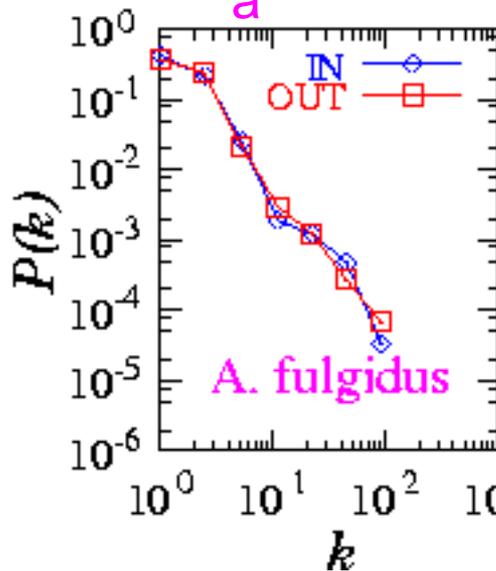
Links: reazioni biochimiche



Archae

Bacteria

Eukaryote



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...

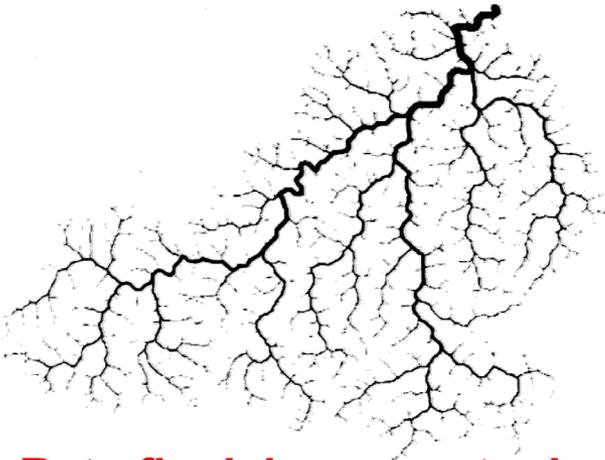
I ricchi diventano sempre più ricchi!



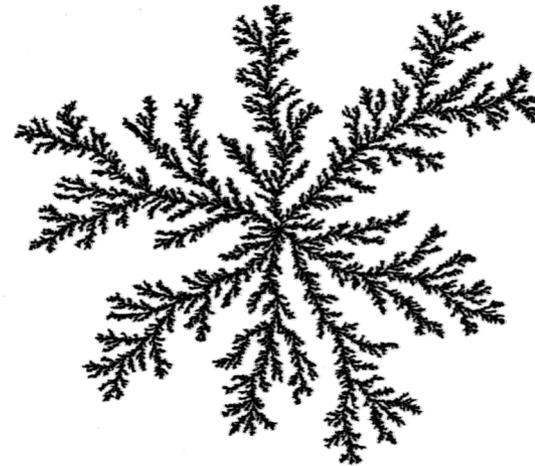
In sociologia questo meccanismo del “*the rich get richer*” è conosciuto come “**Effetto San Matteo**” (*Matthew effect*), dal noto passo evangelico:

« ...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:...



Rete fluviale generata da un processo di erosione



Aggregazione di molecole limitata dalla diffusione

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

I ricchi diventano sempre più ricchi!

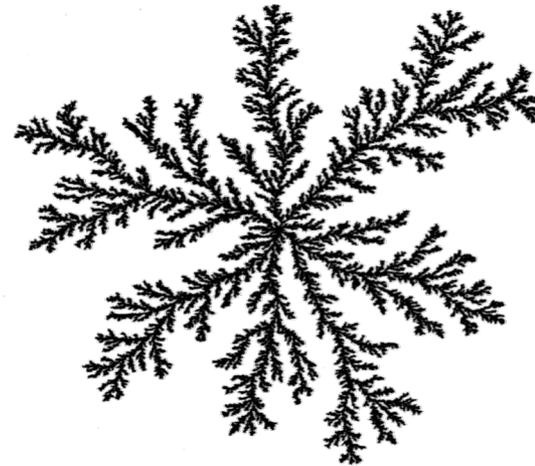
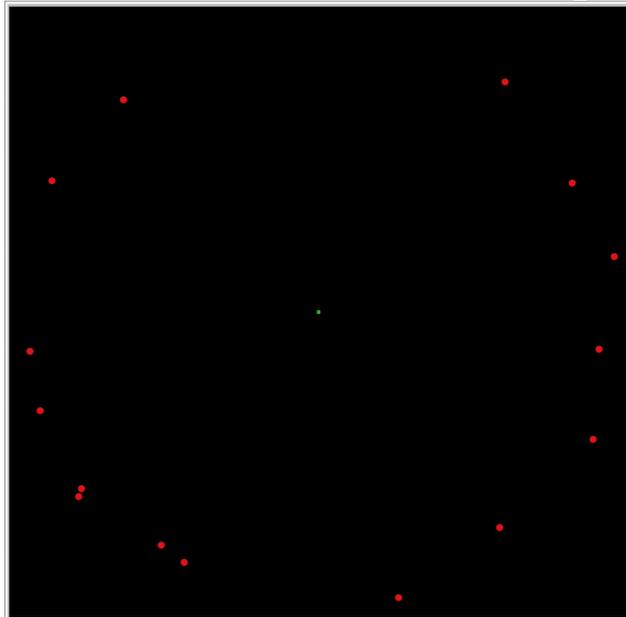


In sociologia questo meccanismo del “*the rich get richer*” è conosciuto come “**Effetto San Matteo**” (*Matthew effect*), dal noto passo evangelico:

« ...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:

DLA.nlogo



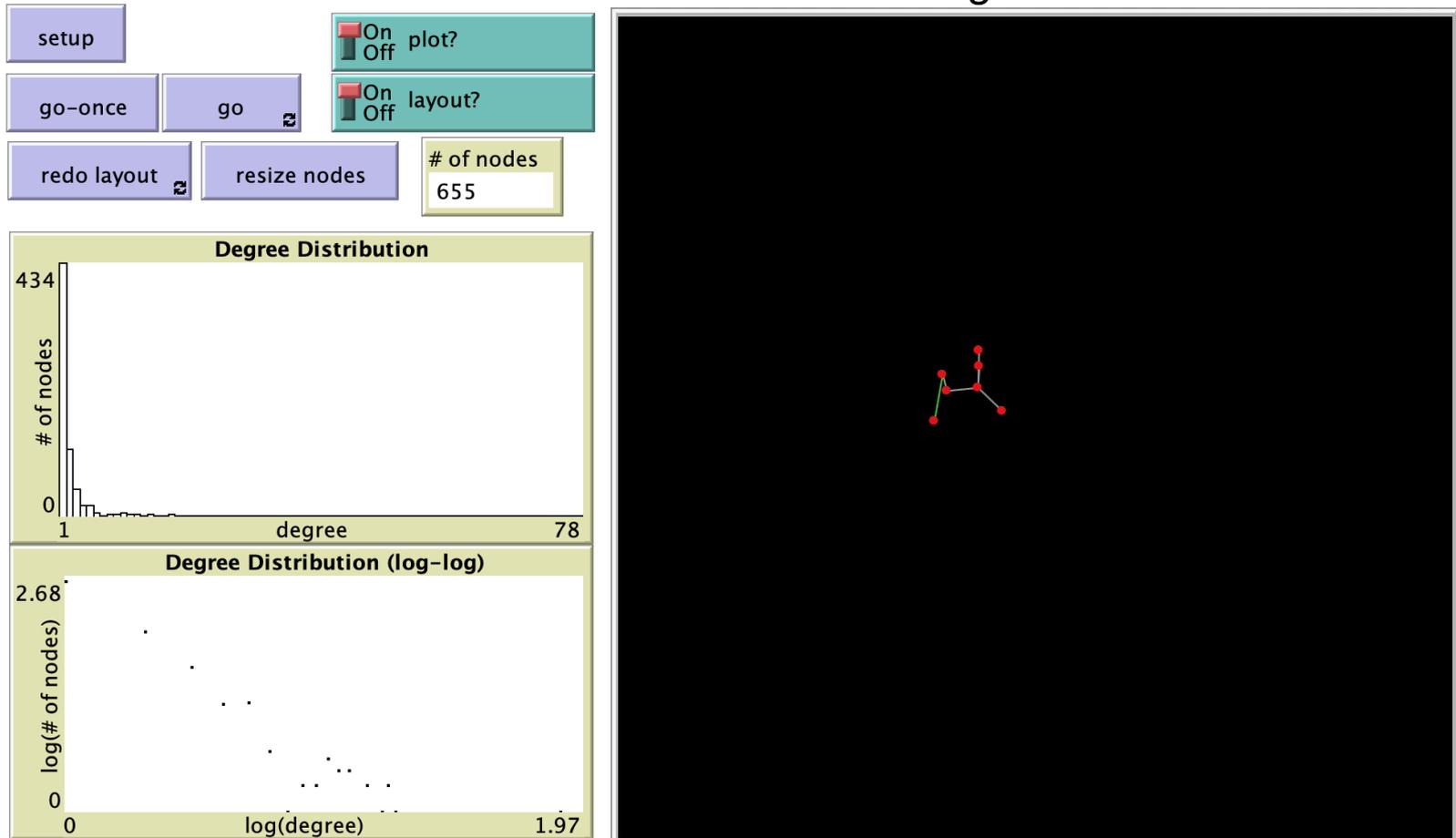
**Aggregazione di molecole
limitata dalla diffusione**

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.nlogo



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...

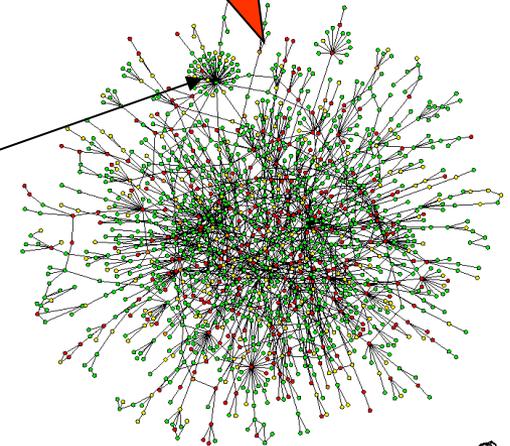
...se ci sono costi o limiti di carico (es. Centrali Elettriche)



**Reti small world
egualitarie**

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

Si formano gli "hub", cioè i nodi iperconnessi



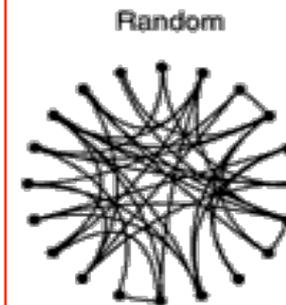
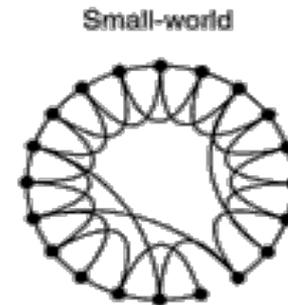
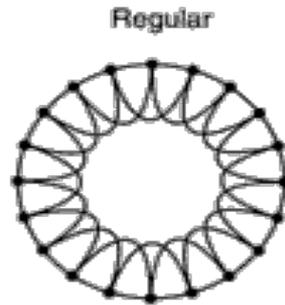
**Reti small world
aristocratiche**

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



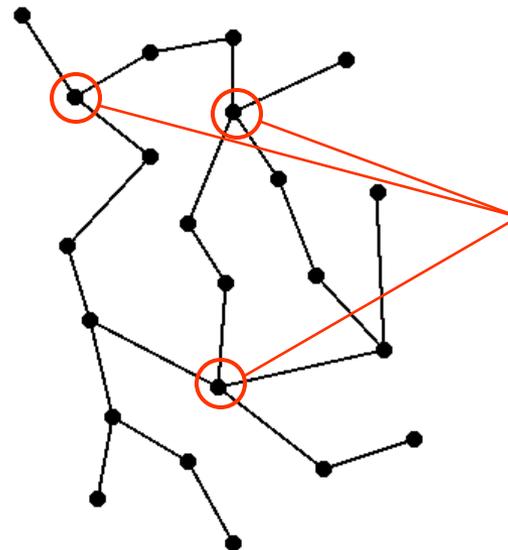
VANTAGGI-SVANTAGGI DELLE RETI SCALE-FREE

1. Maggiore efficienza nella circolazione della informazione

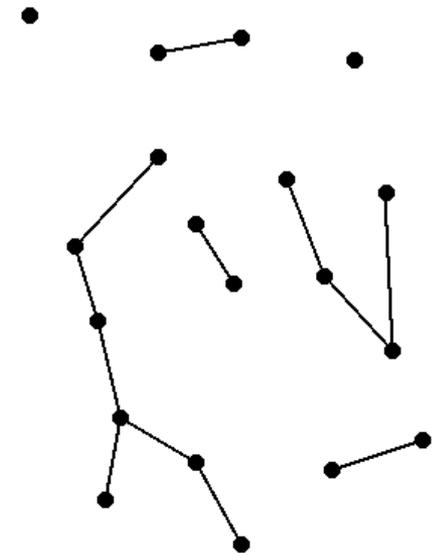


La forza dei legami deboli!

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



node failure



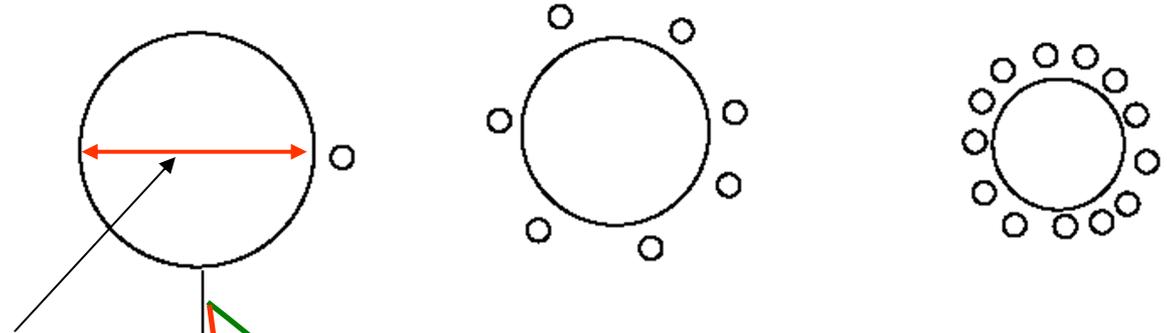
VANTAGGI-SVANTAGGI DELLE RETI SCALE-FREE

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

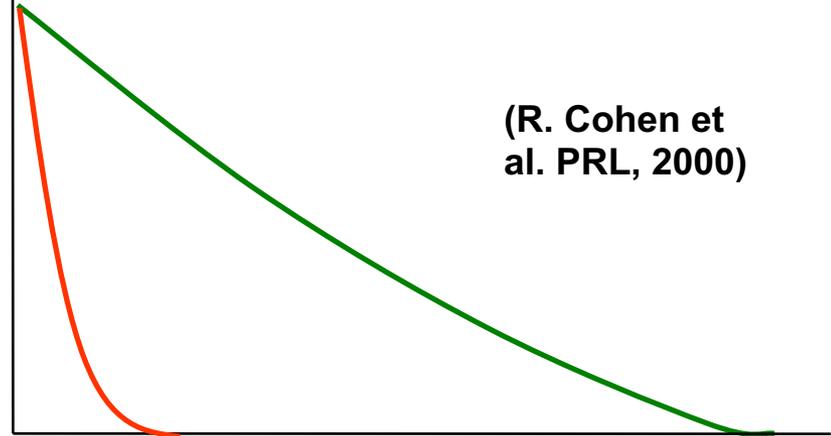
Diametro della Rete

ma...

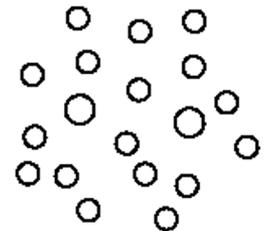
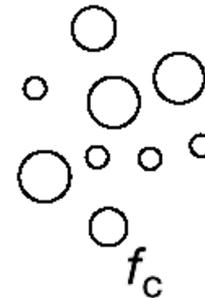
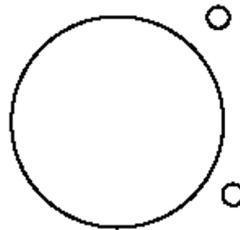
... non è così per gli **ATTACCHI MIRATI** agli hub o ai legami deboli, che producono rapidamente la totale disgregazione del sistema!



(R. Cohen et al. PRL, 2000)



f_c = soglia critica di hub distrutti



Frammentazione totale!



EFFETTI COLLATERALI IN UN MONDO DI RETI E SISTEMI COMPLESSI



CIRCUITI NON LINEARI NELLE RETI COMPLESSE:

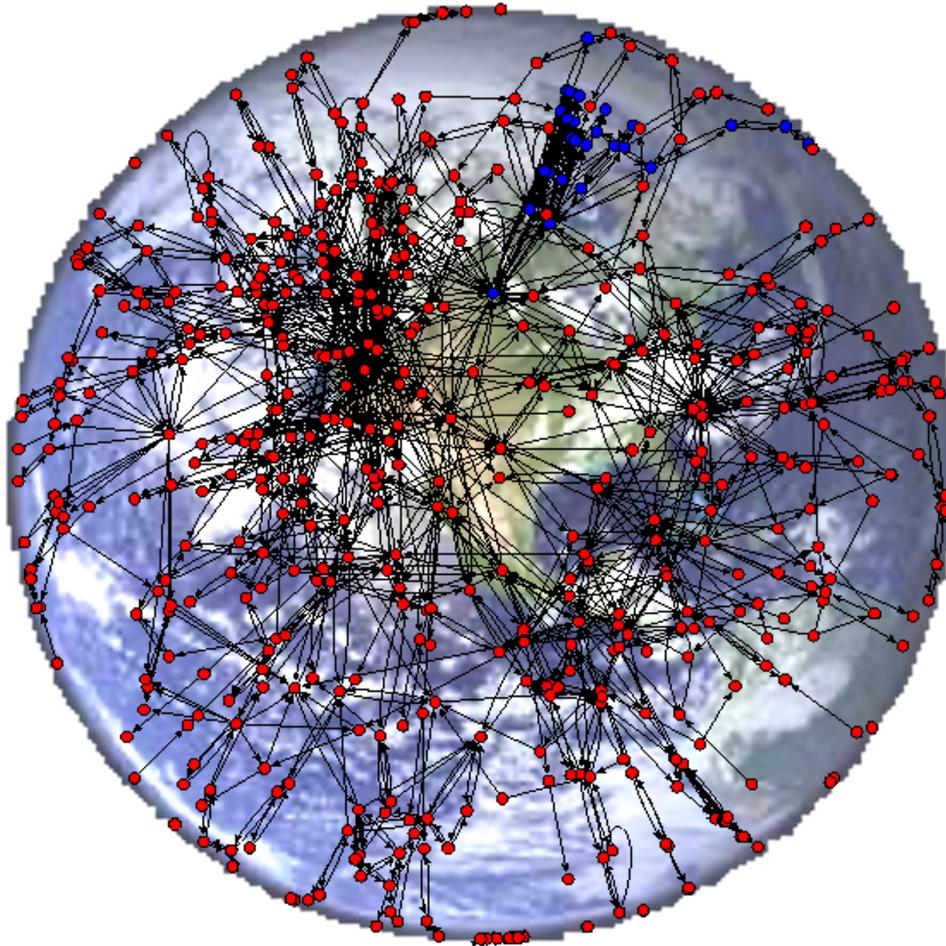
IL CERVELLO UMANO

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!



CIRCUITI NON LINEARI NELLE RETI GLOBALI

NEGLI ULTIMI DECENNI IL **SISTEMA SOCIO-ECONOMICO-ECOLOGICO** DEL PIANETA SI E' TRASFORMATO IN UN'UNICA ENORME **RETE COMPLESSA**, PIENA DI CIRCUITI NON LINEARI, CHE MOSTRA TUTTE LE CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA NELLO "**STATO CRITICO**" ... PER CUI E' PERICOLOSO PENSARE «LINEARMENTE»...



NON LINEARITA' NELLE RETI ALIMENTARI (FOOD WEBS)

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

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!



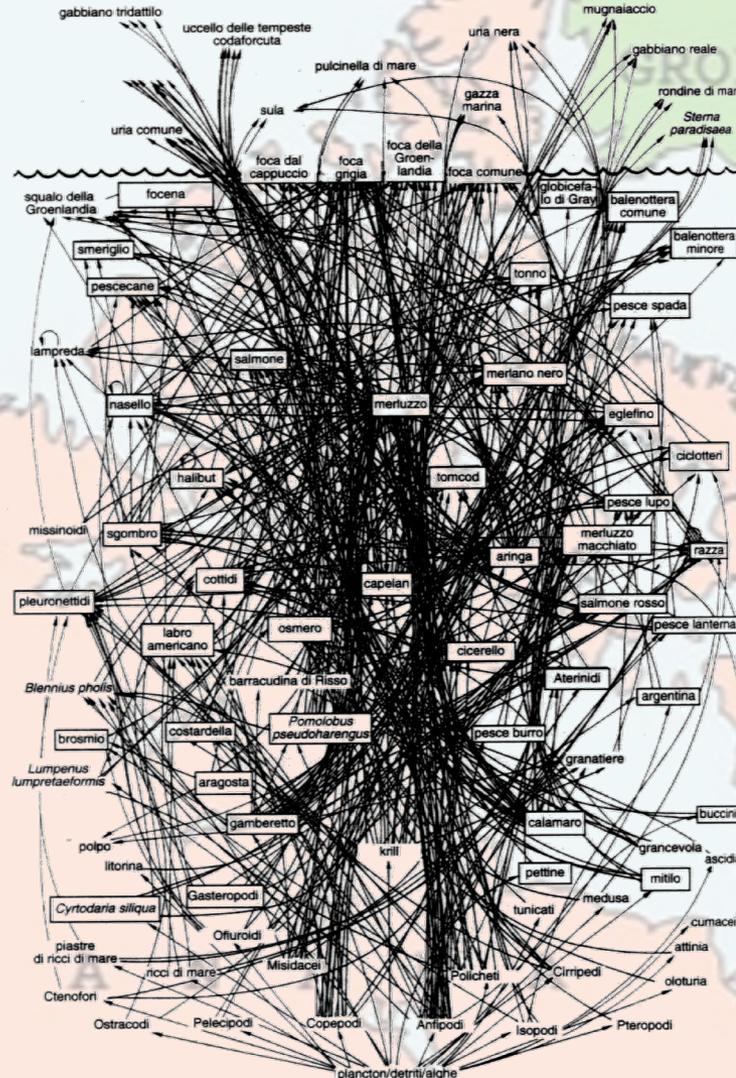
Le foche mangiano i merluzzi

**Soluzione LINEARE:
eliminiamo le foche!**

NON LINEARITA' NELLE RETI ALIMENTARI (FOOD WEBS)

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

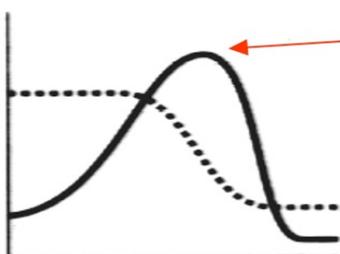
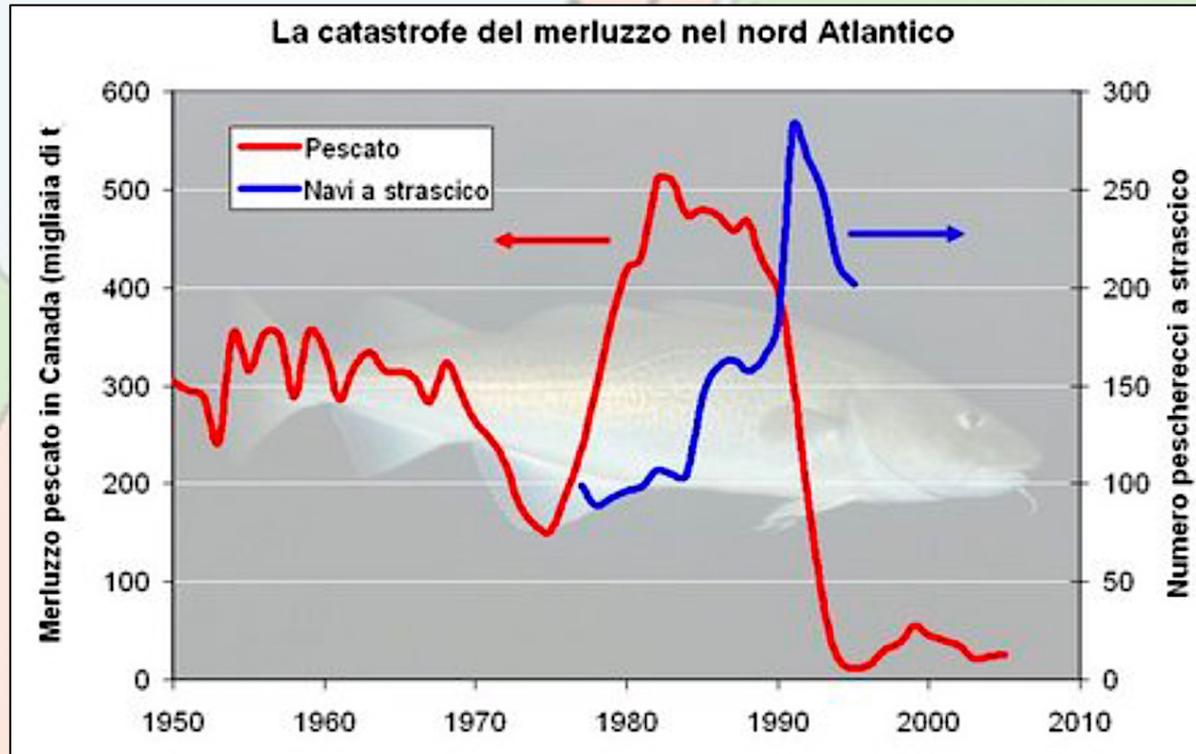
Siccome le foche della Groenlandia si nutrono di merluzzi, il governo Canadese pensò di risolvere il problema "linearmente" e sterminò per diversi anni milioni di foche!



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 retroazione, che ebbero il solo effetto di rendere ancor più instabile il sistema, senza risolvere il problema dei merluzzi!

NON LINEARITA' NELLE RETI ALIMENTARI (FOOD WEBS)



**PUNTO
CRITICO?**

Si ha superamento e collasso se

- i segnali o le risposte sono ritardati;

oppure

- i limiti possono essere erosi (subire una degradazione irreversibile quando vengono superati)

NON LINEARITA' NELLE RETI COMMERCIALI

NG Notizie Geopolitiche
Quotidiano indipendente on line di geopolitica e politica

PRIMO PIANO PANORAMA FOCUS L'INTERVISTA L'ANALISI ECONOMIA IL PUNTO

Home > Primo piano > Sanzioni alla Russia: perchè rischiano di non funzionare. E lo Swift potrebbe...

PRIMO PIANO QUI EUROPA

SANZIONI ALLA RUSSIA: PERCHÈ RISCHIANO DI NON FUNZIONARE. E LO SWIFT POTREBBE ESSERE UN BOOMERANG

Febbraio 2022



**Soluzione LINEARE:
sanzioniamo la Russia!**

UCRAINA

Guerra in Ucraina

Sanzioni aggirate e Pil in crescita: cosa succede all'economia russa

Febbraio 2023

1 Febbraio 2023 - 10:00

La Russia si mantiene aperta al commercio e il Fmi conferma: il suo Pil si espanderà nel 2023 e nel 2024

Andrea Muratore

Servizio | Lo scenario

Le sanzioni alla Russia un ostacolo in più per le imprese italiane

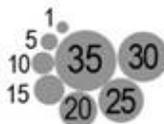
Le aziende della filiera legno-arredo restano tuttora escluse da restrizioni dirette, ma una Russia sempre più isolata penalizza le vendite

di Antonella Scotti
7 giugno 2022

Giugno 2022



Number of trading partners



NON LINEARITA' NELLE RETI COMMERCIALI

Notizie Geopolitiche
Quotidiano indipendente on line di geopolitica e politica

PRIMO PIANO PANORAMA FOCUS L'INTERVISTA L'ANALISI ECONOMIA IL PUNTO

Home > Primo piano > Sanzioni alla Russia: perchè rischiano di non funzionare. E lo Swift potrebbe...

PRIMO PIANO QUI EUROPA

SANZIONI ALLA RUSSIA: PERCHÈ RISCHIANO DI NON FUNZIONARE. E LO SWIFT POTREBBE ESSERE UN BOOMERANG

27 Febbraio 2022

Febbraio 2022

Russia-Ucraina, nuove sanzioni per vincere la guerra con l'economia

08 maggio 2023 | 18.36
Redazione Adnkronos

Maggio 2023

Guerra in Ucraina

Sanzioni aggirate e Pil in crescita: cosa succede all'economia russa

1 Febbraio 2023 - 10:00

La Russia si mantiene aperta al commercio e il Fmi conferma: il suo Pil si espanderà nel 2023 e nel 2024

Andrea Muratore



Servizio | Lo scenario

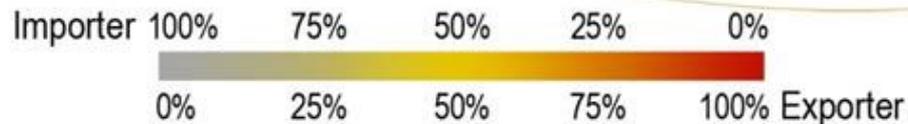
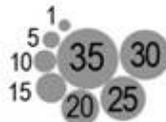
Le sanzioni alla Russia un ostacolo in più per le imprese italiane

Le aziende della filiera legno-arredo restano tuttora escluse da restrizioni dirette, ma una Russia sempre più isolata penalizza le vendite

di Antonella Scotti
7 giugno 2022

Giugno 2022

Number of trading partners

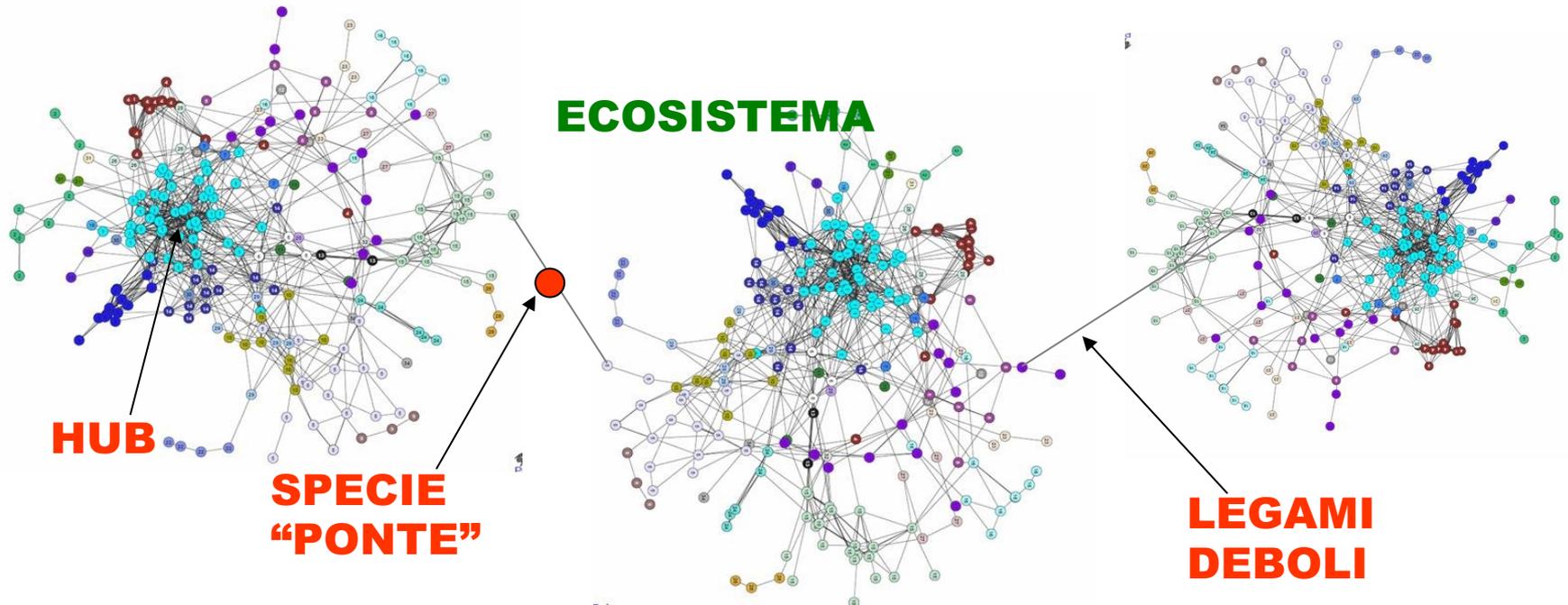


DISGREGGAZIONE DEGLI ECOSISTEMI

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! *Solè e Montoya-2001*)

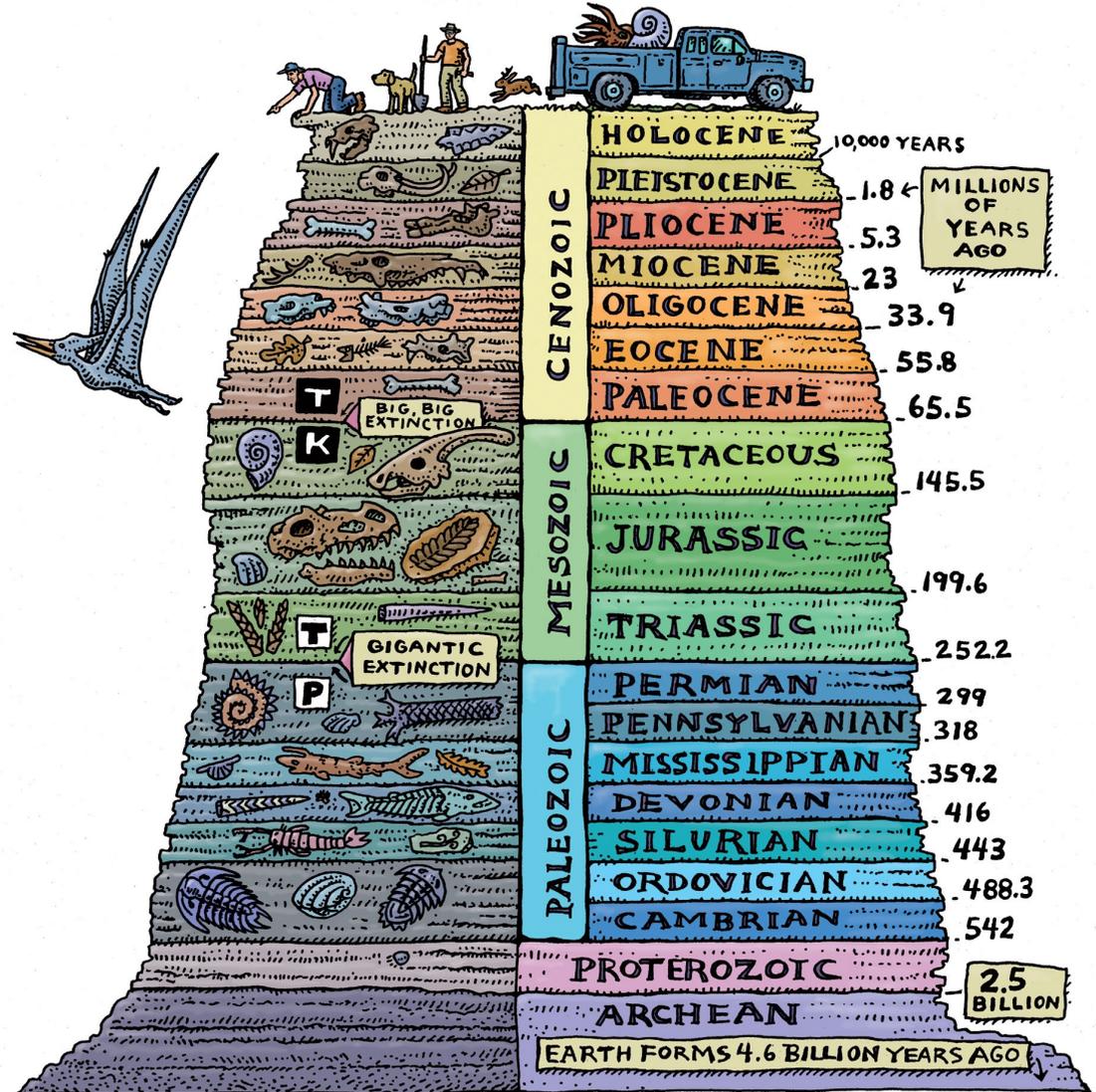
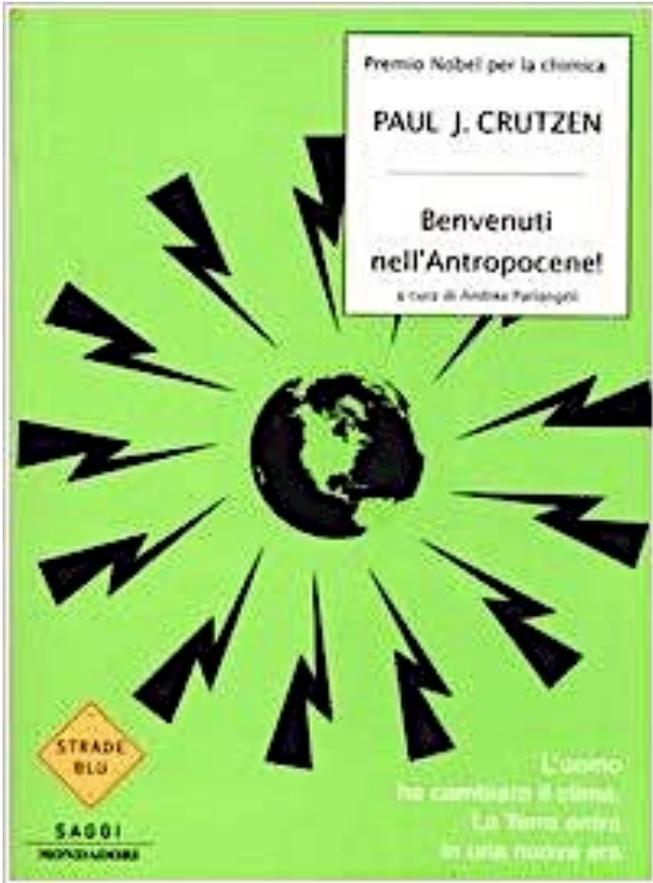




Eugene F. Stoermer



Benvenuti nell'Antropocene!

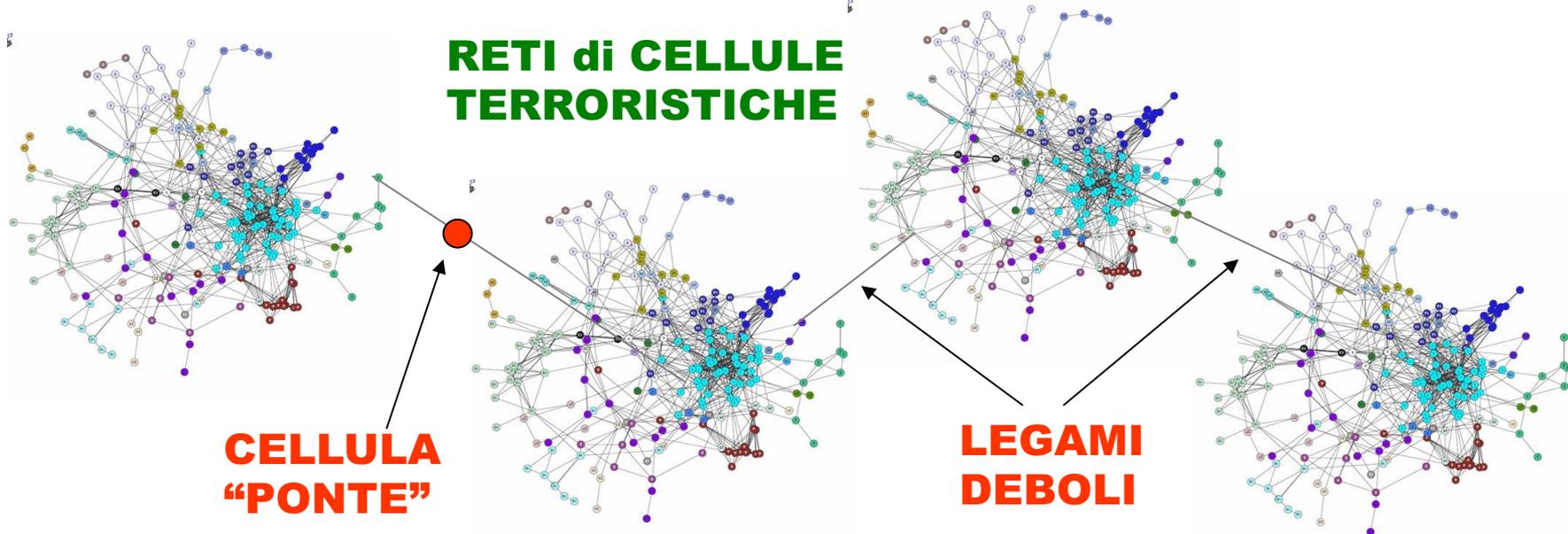


ATTACCHI TERRORISTICI

COME PUTROPPO SAPPIAMO SIN DAL 2001, 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.



ATTACCHI TERRORISTICI

COME PUTROPPO SAPPIAMO SIN DAL 2001, ATTACCHI TERRORISTICI MIRATI AGLI HUB DELLE NOSTRE RETI SOCIALI, ECONOMICHE ED INFORMATICHE POSSONO PRODURRE GRAVISSIME CONSEGUENZE...



MENU  **MINISTERO DELL'INTERNO**

Seguici su:    

cerca nel sito... 

Home / Sicurezza informatica, attacco hacker ad alcuni siti istituzionali italiani

Sicurezza informatica, attacco hacker ad alcuni siti istituzionali italiani

 Video a disposizione con licenza **CC-BY-NC-SA 3.0 IT**



Fonte: Tgcom 24

22 Maggio 2022

L'INTERVISTA

Cyber-attacchi: perché in Italia c'è il rischio "tempesta perfetta"

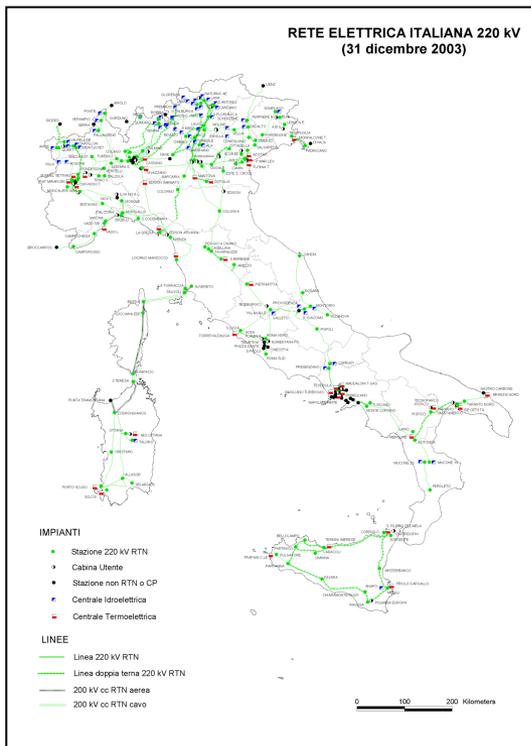
Una crescita esponenziale: gli ultimi attacchi a siti istituzionali italiani hanno riportato alla ribalta il tema della cybersecurity in Italia. Ne abbiamo parlato con uno dei massimi esperti italiani del tema



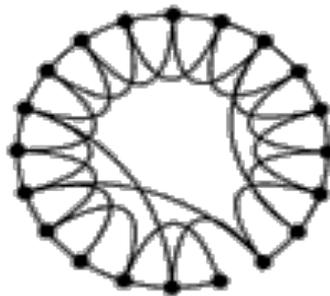
RISCHI DI BLACK-OUT

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



RISCHI DI BLACK-OUT

Dieci anni fa il super blackout che spense l'Italia

 di Alessandro Marzo Magno

Era il 28 settembre 2003



Cade un albero in Svizzera, l'Italia resta al buio. Accade il 28 settembre 2003. Un incubo che passa quasi inosservato in Val d'Aosta, ma che si protrae per oltre un giorno nell'Italia meridionale. Solo una regione ne resta fuori: la Sardegna che, dotata di una rete elettrica propria, non viene coinvolta nel black out generalizzato. E poi ci sono delle isole qua e là, tipo Foggia e Siracusa, che continuano a ricevere energia senza che nessuno sappia spiegarsi il perché.

RISCHI DI BLACK-OUT

Puntoinformatico



USA, traffico aereo in tilt per il crash di un PC

E' bastato un problema al software di un singolo computer per far saltare l'intero sistema di smistamento dei piani di volo. L'attrezzatura è vetusta, le tecnologie ancor di più

← Annuncio pubblicato da Google

Ad options

Invia commenti

Perché questo annuncio? ▶

Oltre seicento voli rimasti a terra, 60mila viaggiatori inviperiti e controllori costretti a chiamare i piloti per capire dove dovessero andare. È questo il risultato di un problema al software di un PC della Federal Aviation Administration ([FAA](#)), localizzato a sud di Atlanta, Georgia, e incaricato per il *National Airspace Data Interchange Network* di smistare i piani di volo a favore degli aeroporti dell'intera parte orientale degli Stati Uniti.

“Stavamo lanciando il software, come avviene ordinariamente due volte al giorno – ha dichiarato ad *Associated Press* l'ufficiale di FAA Hank Krakowski – Durante l'operazione qualcosa si è corrotto nel file, e l'evento ha buttato giù il sistema”. In conseguenza di ciò lo smistamento dei piani è stato automaticamente dirottato verso l'altro computer del network, sito in Salt Lake City, normalmente responsabile della parte occidentale del traffico aereo degli States.

Il sovraccarico di lavoro ha però mandato in tilt anche quest'ultimo sistema, causando **un blocco durato alcune ore** con la conseguente impossibilità, da parte dei controllori, di dare l'OK ai decolli. Una situazione che ha costretto alcuni dei suddetti controllori a informarsi personalmente via radio con i piloti per inserire i dati nei terminali e dare il via libera al volo.



Alfonso Maruccia
Pubblicato il
29 ago 2008



RISCHI DI BLACK-OUT

SEZIONI

CERCA

HUFFPOST



ABBONATI

ACCEDI

CONTENUTO PER GLI ABBONATI

Tecnologie avanzate, ma fragili. Così tocchi un cavo e va in tilt Lufthansa e il trasporto mondiale

/ di Domenico Talia



(ansa)

Ore di blackout negli scali tedeschi e di riflesso in tutto il mondo perché quattro cavi della rete a banda larga di Deutsche Telekom erano stati tranciati per errore dagli operai che lavoravano in un cantiere nei pressi dell'aeroporto di Francoforte. È perché oggi si progettano e si realizzano sistemi ultramoderni pensando alla loro efficienza e molto poco alla loro affidabilità

16 Febbraio 2023 alle 09:34

Segui i temi

germania



Il blocco dei sistemi informatici dell'aeroporto di Francoforte, hub principale per Lufthansa, si è verificato in modo del tutto inatteso intorno alle 10:15 di mercoledì 15 febbraio, quando l'aeroporto era affollato di passeggeri. Soltanto qualche ora dopo si è potuto comprendere la causa: quattro cavi della rete a banda larga di Deutsche Telekom erano stati tranciati per errore da un gruppo di operai che lavoravano in un cantiere ferroviario nei pressi dell'aeroporto.

/ VIDEO DEL GIORNO /



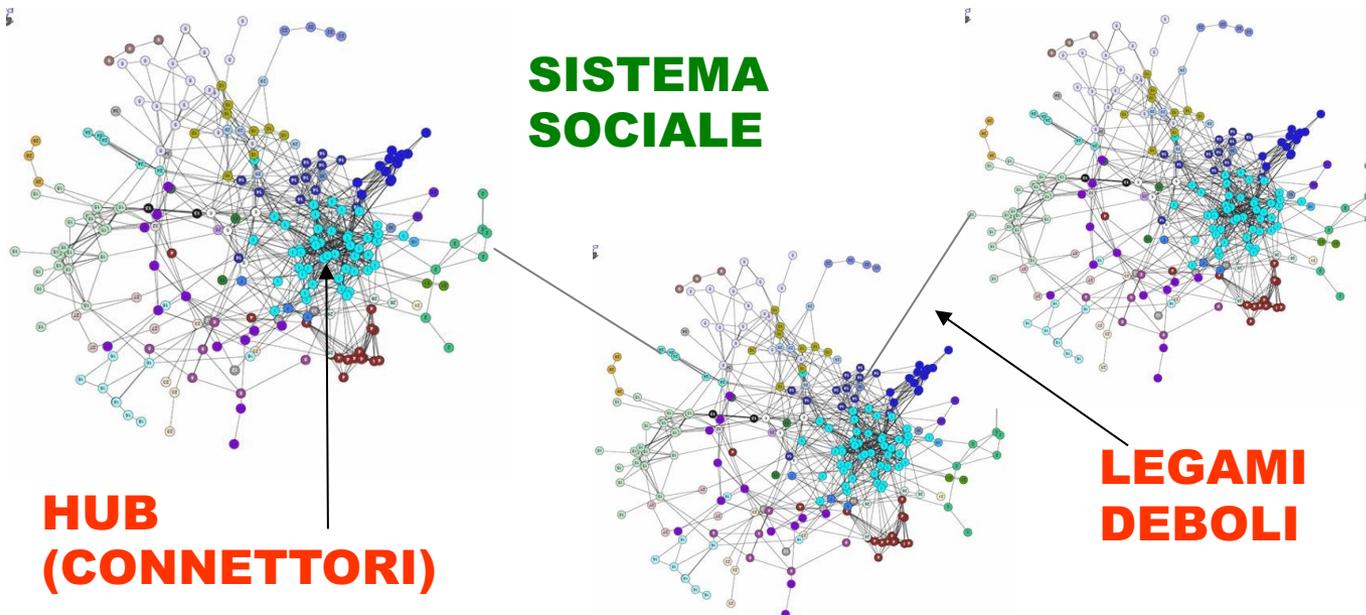
DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE

SOGLIE CRITICHE NELL'ESPLOSIONE DELLE EPIDEMIE INFETTIVE:

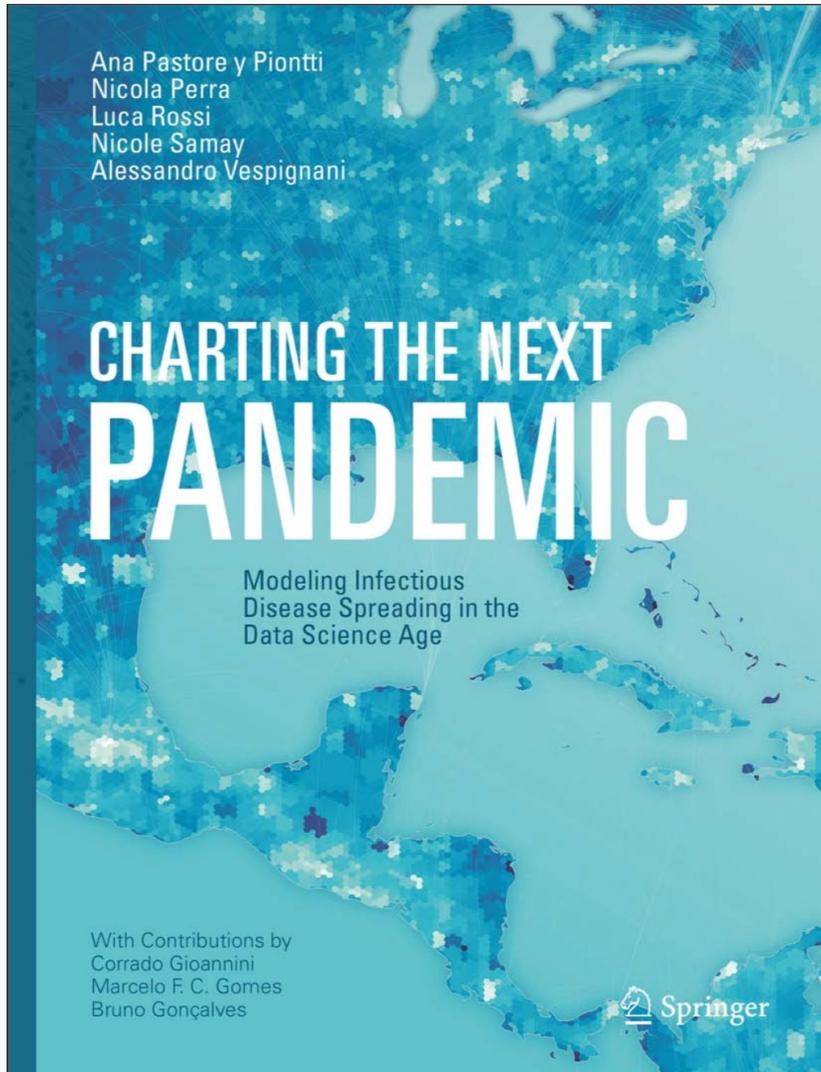
RETI REGOLARI: L'epidemia rimane circoscritta a causa della mancanza di connettori e di legami deboli (“**gruppi chiave**”).

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 azzerava la soglia critica: quindi le malattie e i virus si diffondono *in ogni caso!* (*Vespignani-Pastor Satorras - 2001*)



DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE



TOP NEWS / PRIMO PIANO

Matematica contro il virus: il lavoro della task force di Boston guidata da Vespignani

Un nuovo approccio basato sulle relazioni tra le persone e la loro tracciabilità online, uno scienziato italiano che coordina il gruppo di lavoro. E un team internazionale

DIFFUSIONE DELLE EPIDEMIE

Purtroppo nessun modello matematico è risultato finora in grado di fare previsioni affidabili relativamente alla pandemia da COVID-19, e ci sono motivi per ritenere che questo obiettivo sia di fatto irrealizzabile...

PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America Keywo

RESEARCH ARTICLE

The turning point and end of an expanding epidemic cannot be precisely forecast

 Mario Castro,  Saúl Ares,  José A. Cuesta, and  Susanna Manrubia

PNAS October 20, 2020 11
<https://doi.org/10.1073/pnas>

ScienceAdvances Current Issue First release papers Archive About

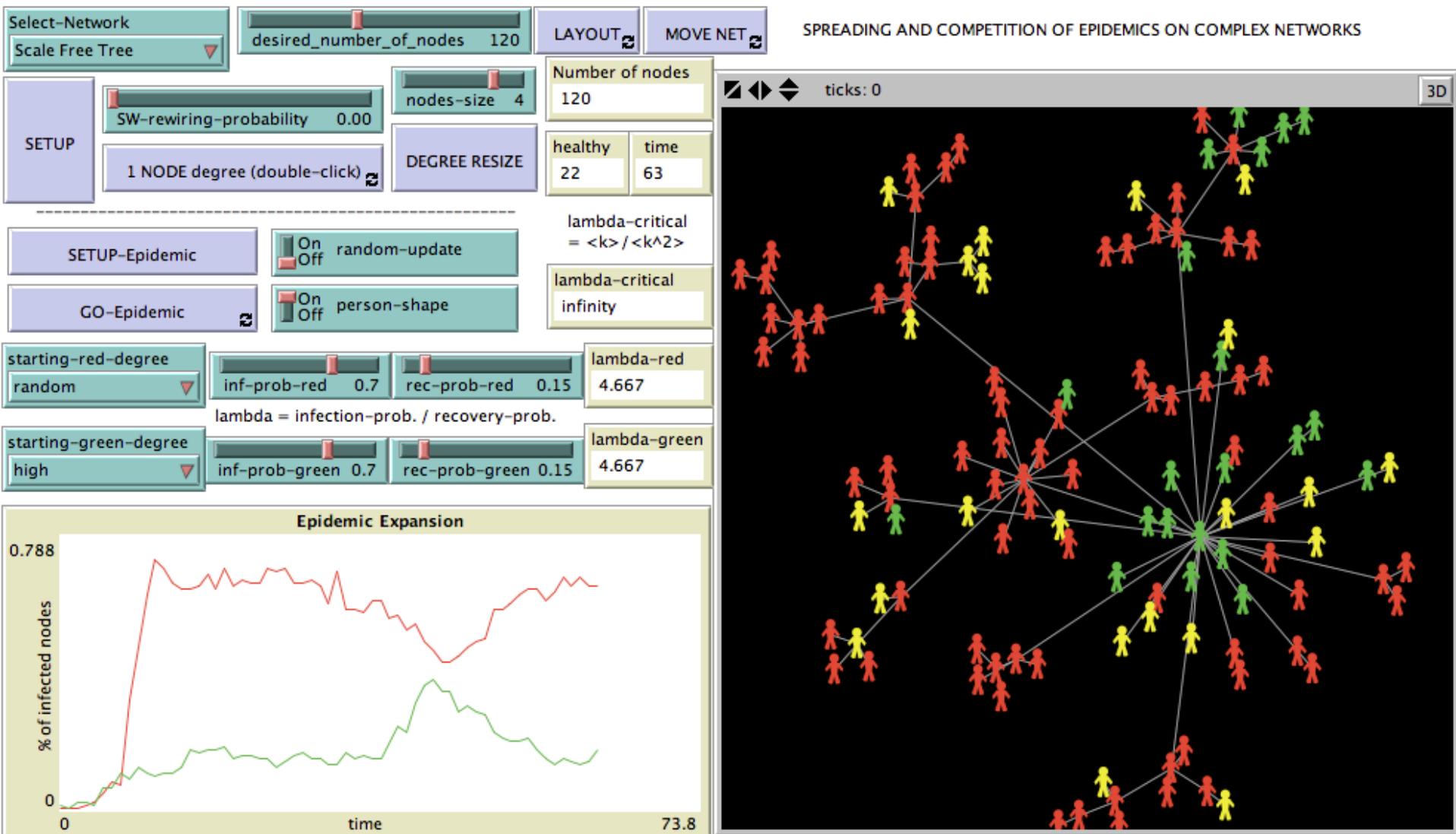
HOME > SCIENCE ADVANCES > VOL. 8, NO. 3 > LACK OF PRACTICAL IDENTIFIABILITY MAY HAMPER RELIABLE PREDICTIONS IN COVID-19 EPIDEMIC MODELS

 | RESEARCH ARTICLE | NETWORK SCIENCE f t in re wh ✉

Lack of practical identifiability may hamper reliable predictions in COVID-19 epidemic models

LUCA GALLO , MATTIA FRASCA , VITO LATORA , AND , GIOVANNI RUSSO [Authors Info & Affiliations](#)

DINAMICHE COMPETITIVE SU RETI COMPLESSE



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.

✉ Mail 🖨 Stampa

👍 Consiglia 81

🐦 Tweet 13

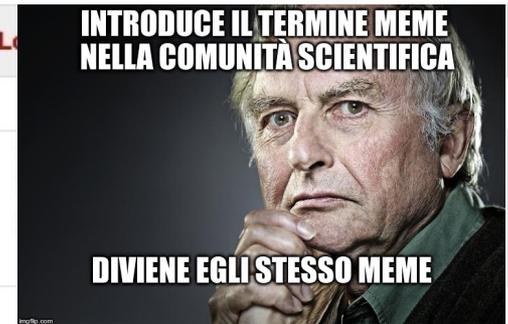
👤 +1 5

SULLO STESSO ARGOMENTO

DAL SITO

13/02/2012

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

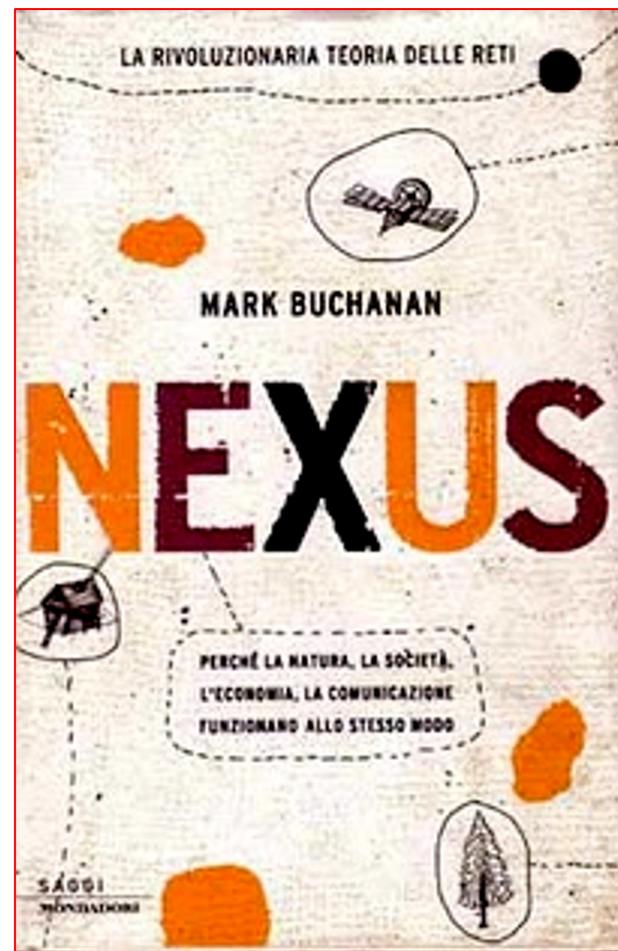


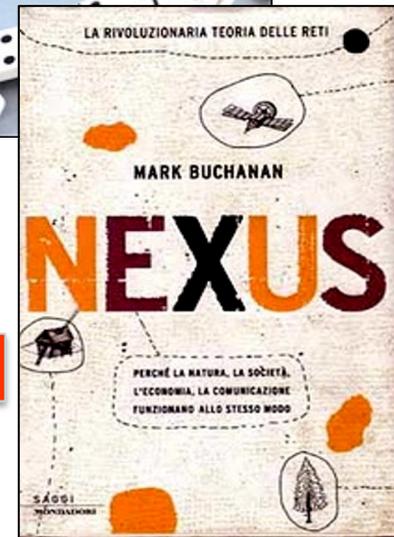


Mark Buchanan

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

2004 – Mondadori (Oscar Saggi)

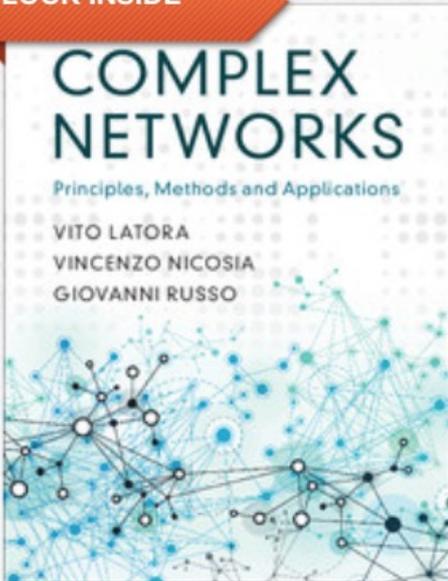




La Legge di Potenza



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

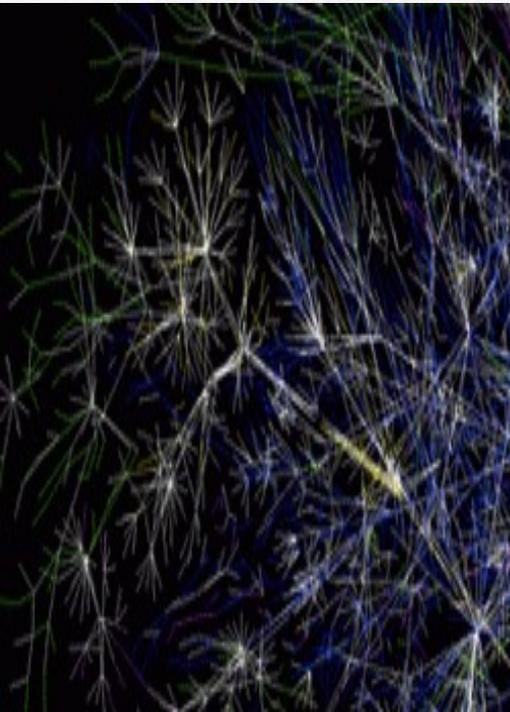
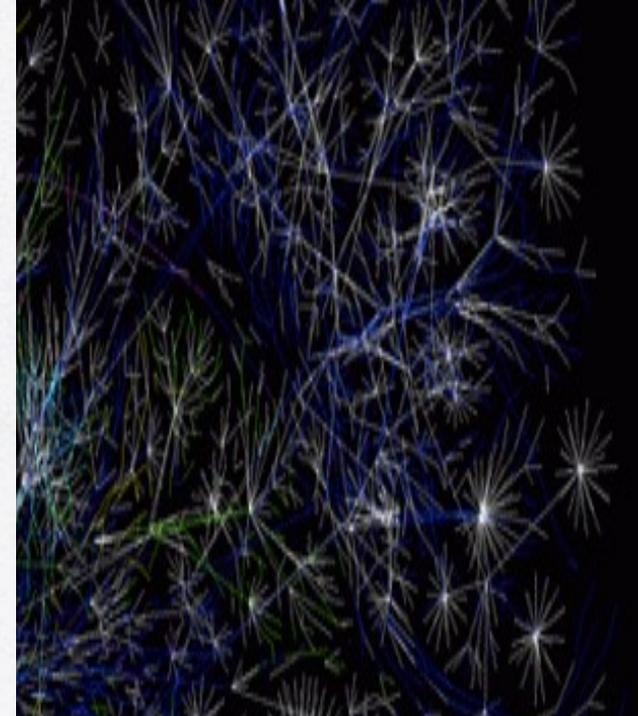
DATE PUBLISHED: September 2017

AVAILABILITY: In stock

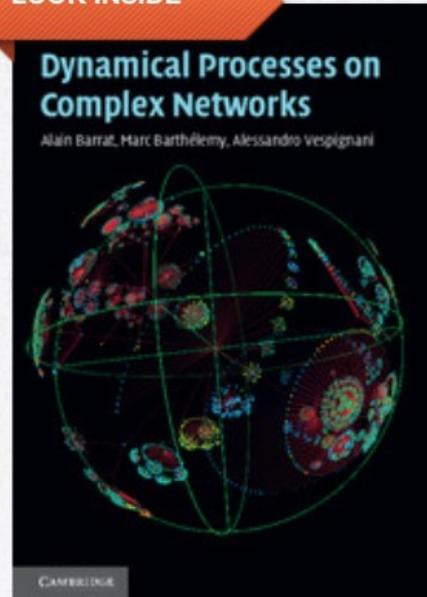
FORMAT: Hardback

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