

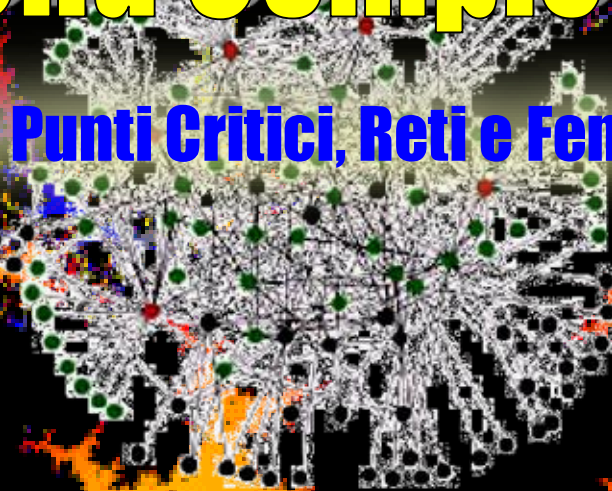
Corso di Sistemi Dinamici, Caos e Complessità 2025-2026

Alessandro Pluchino

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

Introduzione alla Nuova Scienza della Complessità

Simulazioni, Punti Critici, Reti e Fenomeni Emergenti

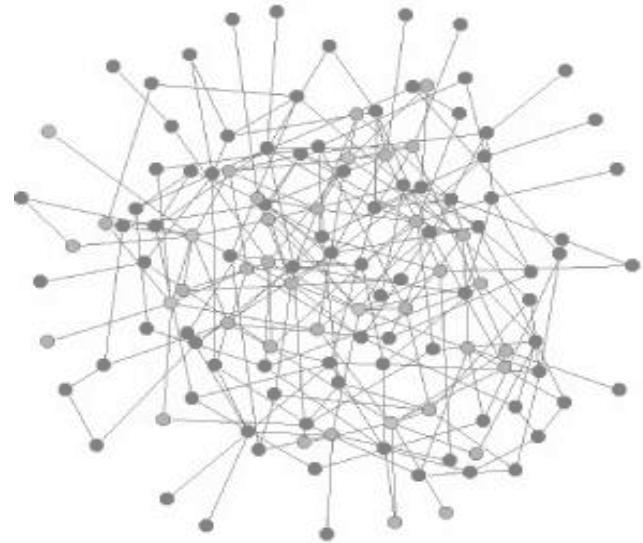


Due possibili descrizioni di un sistema complesso

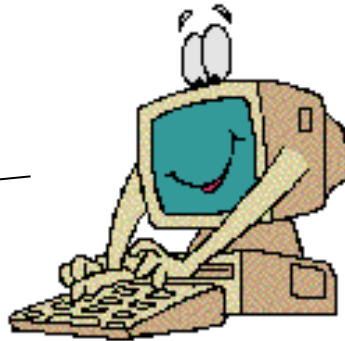
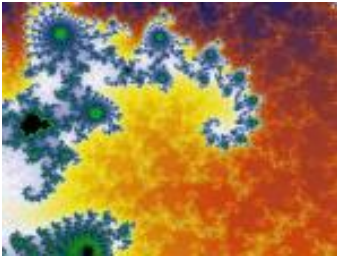
Da un **punto di vista dinamico** è possibile descrivere un sistema complesso come un insieme costituito da numerosi elementi, detti anche “**agenti**” (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...), che **interagiscono** tra loro di solito in maniera **non lineare** 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:

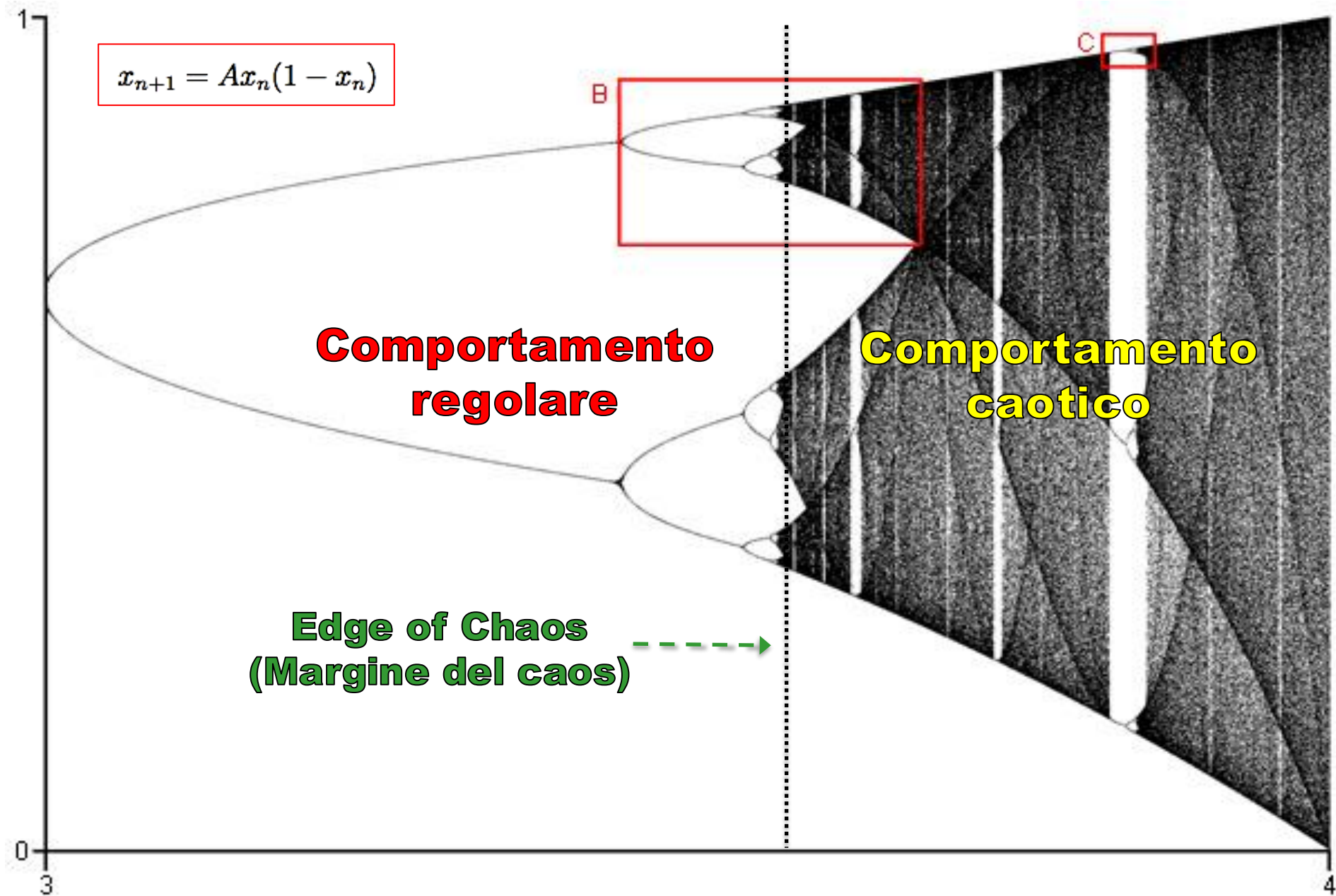


Autosimilarità e Invarianza di Scala

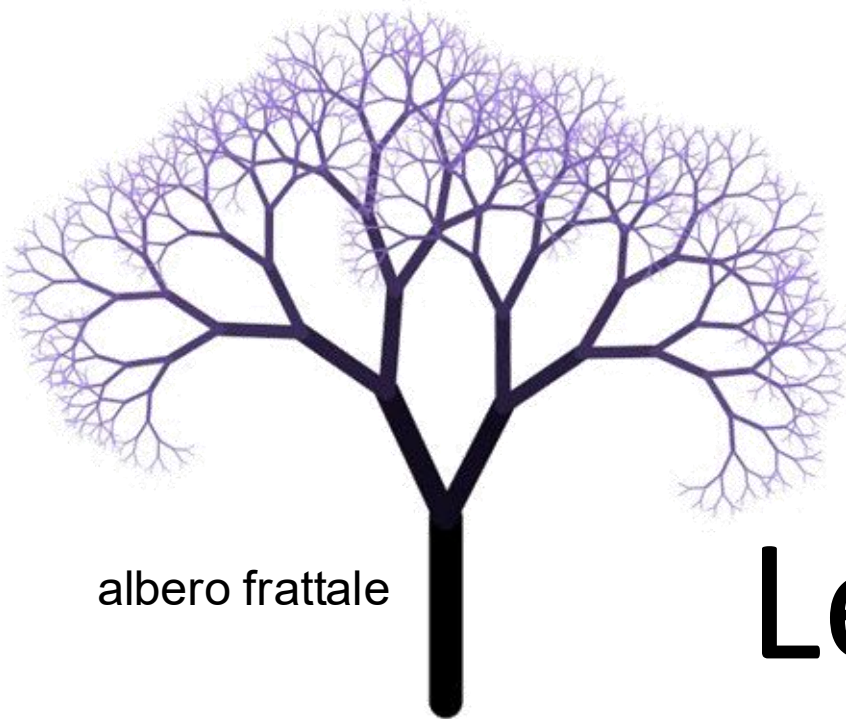
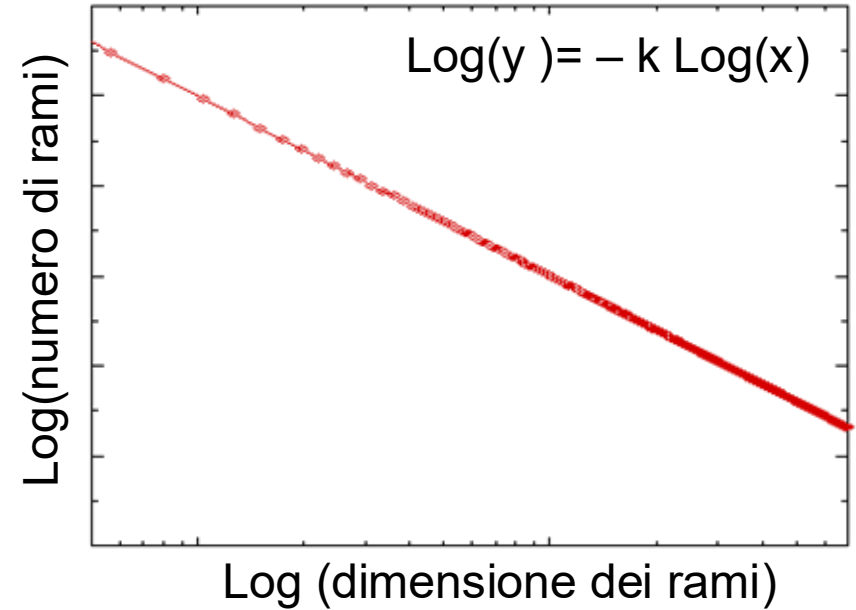


**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**

Autosimilarità e caos in una dimensione: la Mappa Logistica



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



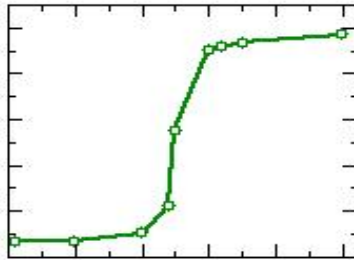
albero frattale

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

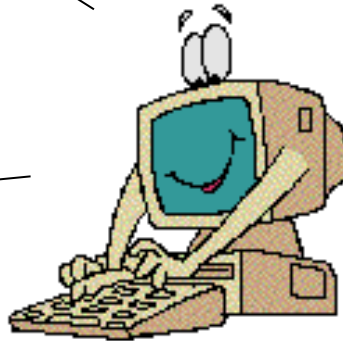
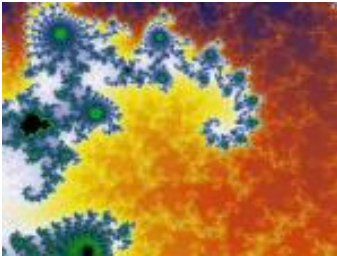
Legge di Pc



**Non linearità e
Soglie Critiche**



**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**



**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**



uragani



terremoti



incendi



estinzioni



**cambiamenti
di paradigma**

crolli in Borsa



guerre



epidemie

La presenza di **leggi di potenza e invarianza** di scala in molti sistemi fisici, biologici, economici o sociali, indica che tali sistemi, per quanto apparentemente diversi tra loro, si organizzano spontaneamente in uno stato dalle caratteristiche comuni, al **confine tra ordine e disordine**, detto:



"Stato Critico"

La Legge di
Potenza

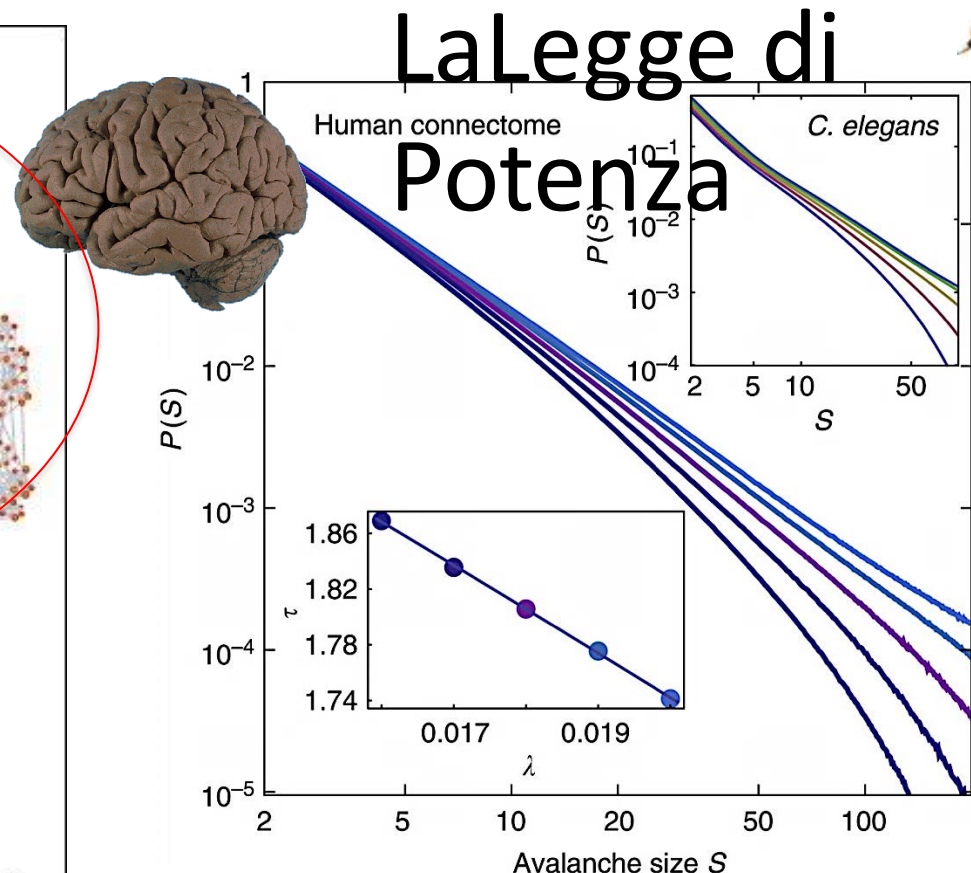
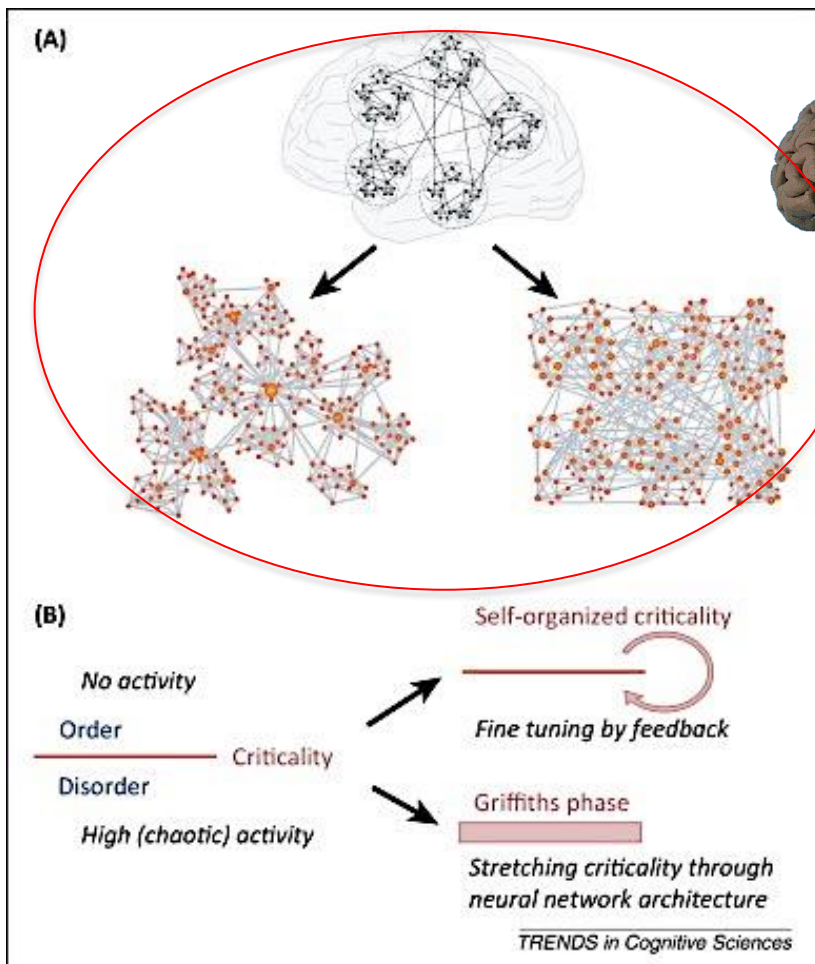


Eventi Estremi

La Criticità Auto-Organizzata (SOC: Self-Organized Criticality) è uno dei principali meccanismi generatori di complessità dal punto di vista dinamico!

Criticità Auto-organizzata nel Cervello Umano

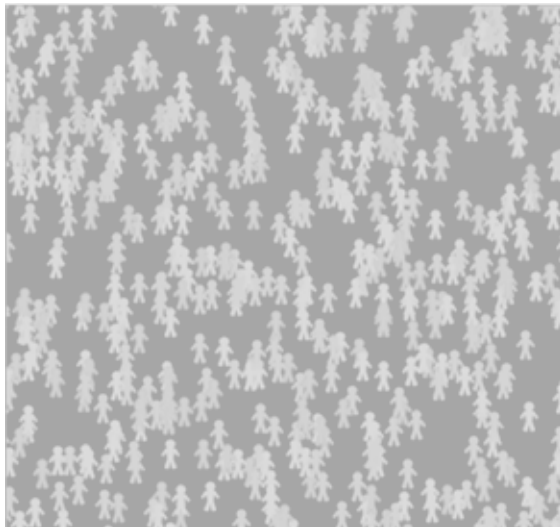
RECENTEMENTE SI E' SCOPERTO CHE ANCHE IL NOSTRO CERVELLO SI TROVA NELLO **"STATO CRITICO"** E PRESENTA **"VALANGHE"** DI SCARICHE NEURONALI SINCRONIZZATE DI TUTTE LE DIMENSIONI... **MA IN QUESTO GIOCA UN RUOLO IMPORTANTE ANCHE LA SUA TOPOLOGIA...**



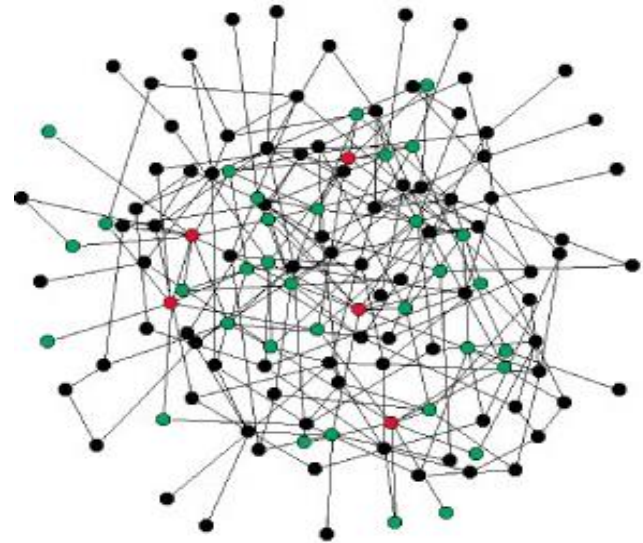
P.Moretti, M.A.Munoz, "Griffiths phases and the stretching of criticality in brain networks", Nature Communications 4, 2521 (2013)

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:

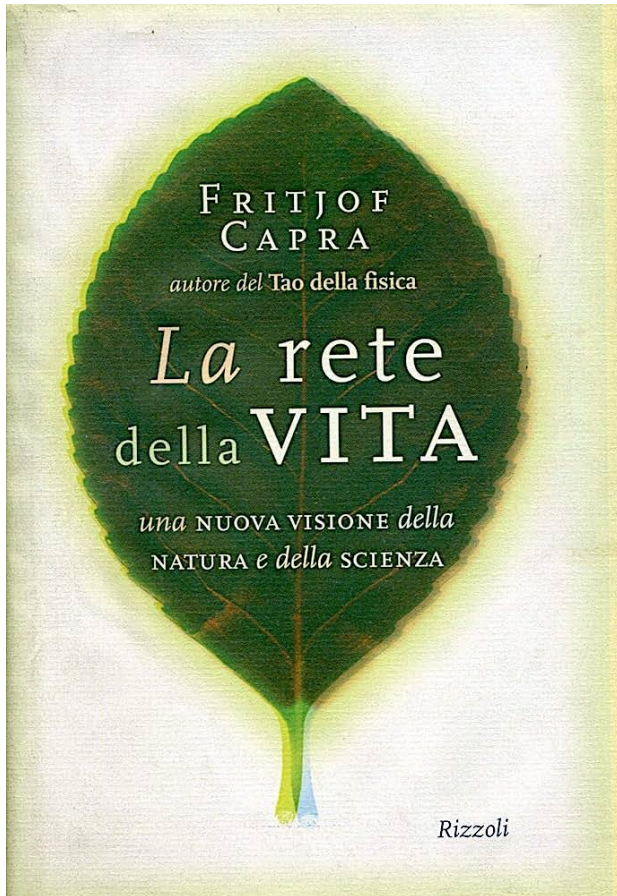


Da un **punto di vista topologico** (cioè se ci interessa invece sapere “chi interagisce con chi”) è anche possibile descrivere un sistema complesso come una **rete** (network) costituita da un certo numero di **nodi** (particelle, cellule, piante, animali, individui, opinioni, automobili, etc...) collegati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



Complessità e Pensiero Sistemico

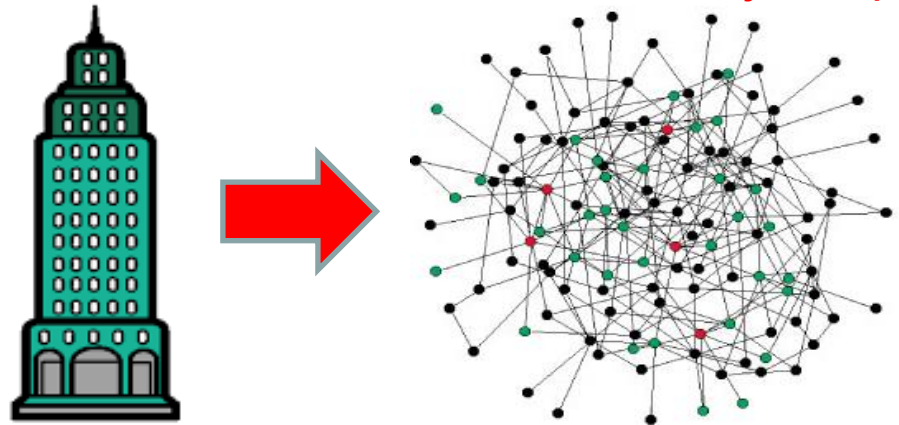
Questa descrizione di sistema complesso è in linea con la **visione sistemica della vita** che è stata delineata a partire dai primi decenni del secolo scorso, in discontinuità con la **visione meccanicistica e riduzionistica** del paradigma scientifico dominante. **Fritjof Capra** (1996) ne ha così riassunto le caratteristiche fondamentali:



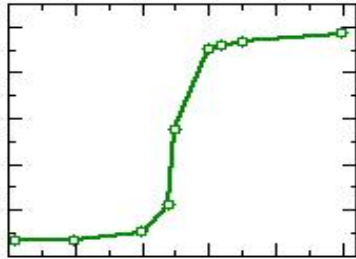
1. Spostamento **dalle parti al tutto**
2. **Livelli sistemici e proprietà emergenti**
3. Spostamento **dagli oggetti alle relazioni**

«Nel nuovo pensiero sistemico, la rete sostituisce l'edificio nella metafora della conoscenza»

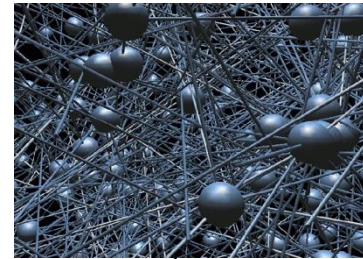
Fritjof Capra



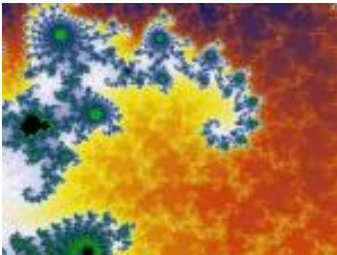
**Non linearità e
Soglie Critiche**



**Reti Complesse tra
Ordine e Disordine**



**Autosimilarità e
Invarianza di Scala**

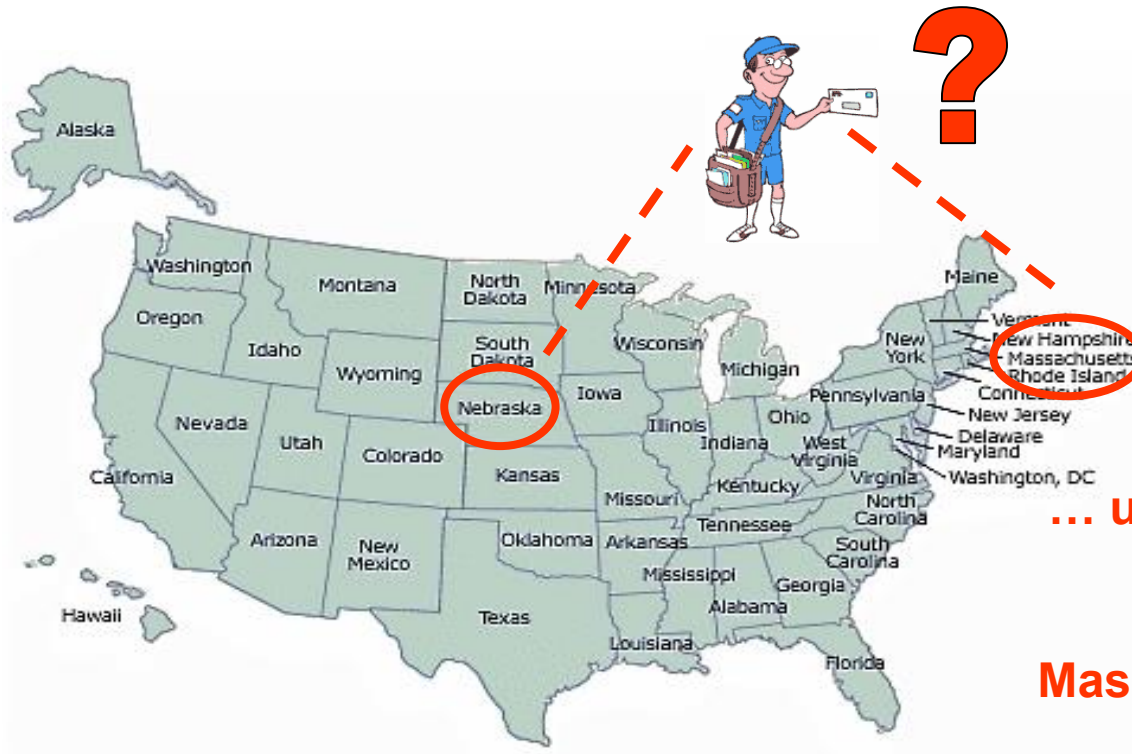


**Proprietà tipiche
dei sistemi complessi**



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

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



... un agente di
Borsa di
Boston,
Massachussets

Quanti passaggi li separano?

...la risposta è:

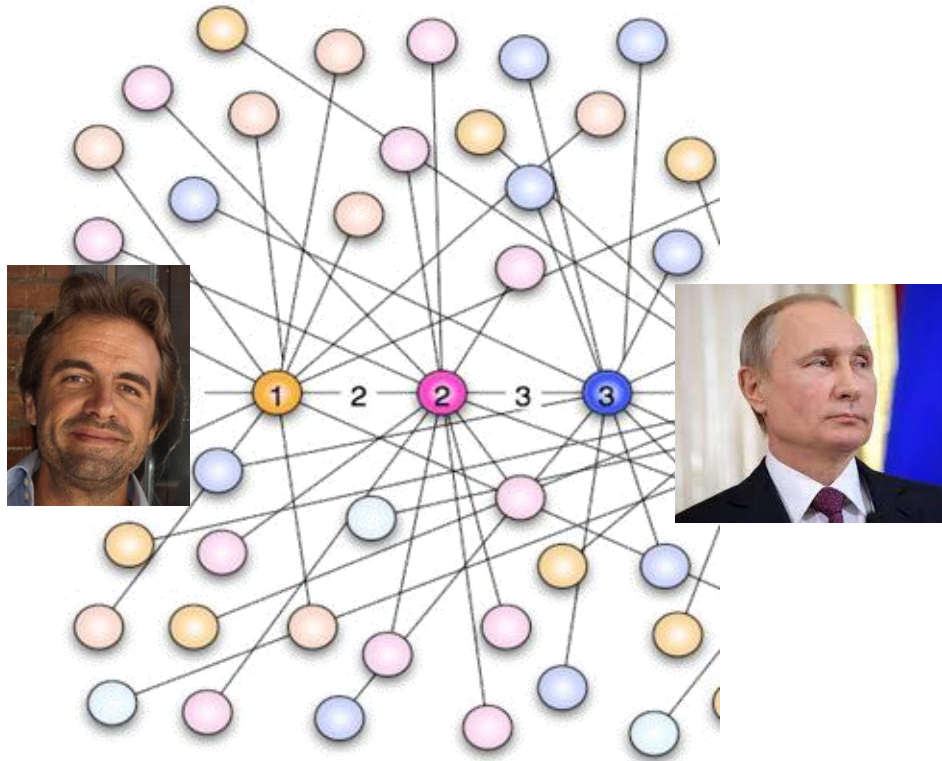
6 GRADI DI SEPARAZIONE!

**La rete sociale degli
Stati Uniti e del
Mondo intero è un
“piccolo mondo”!**





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



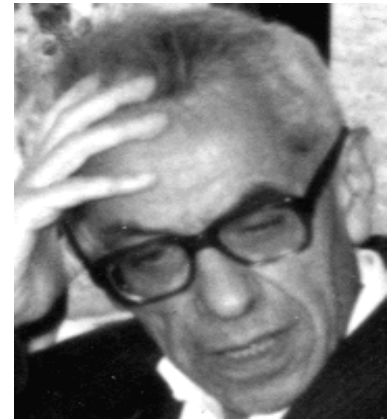
Il nostro "piccolo mondo" sembra diventare sempre più piccolo...

**Ma da cosa dipende
il fenomeno del
“piccolo mondo”?**

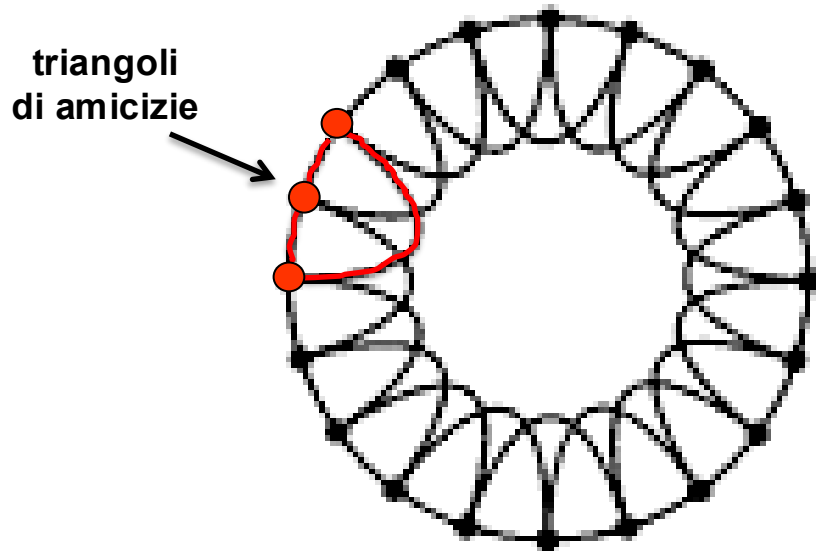


Pál Erdős (Ungheria, 1913-1996)

La teoria dei grafi

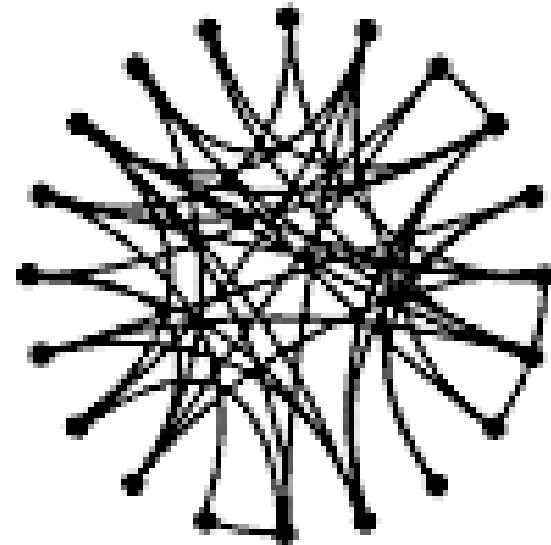


grafo regolare



Ha una forte aggregazione
(molti triangoli),
ma non è un 'piccolo mondo'

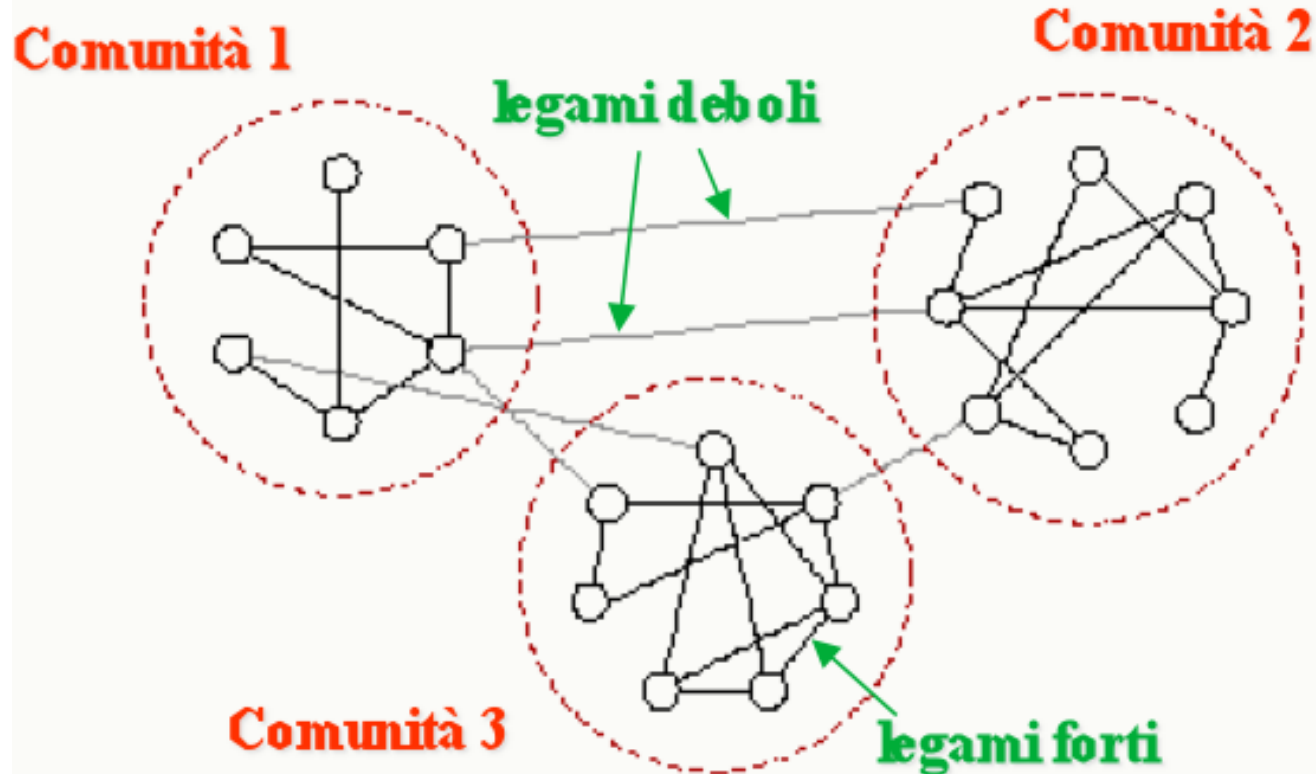
grafo casuale



E' un 'piccolo mondo'.
ma non ha aggregazione
(pochissimi – o nessuno - triangoli)

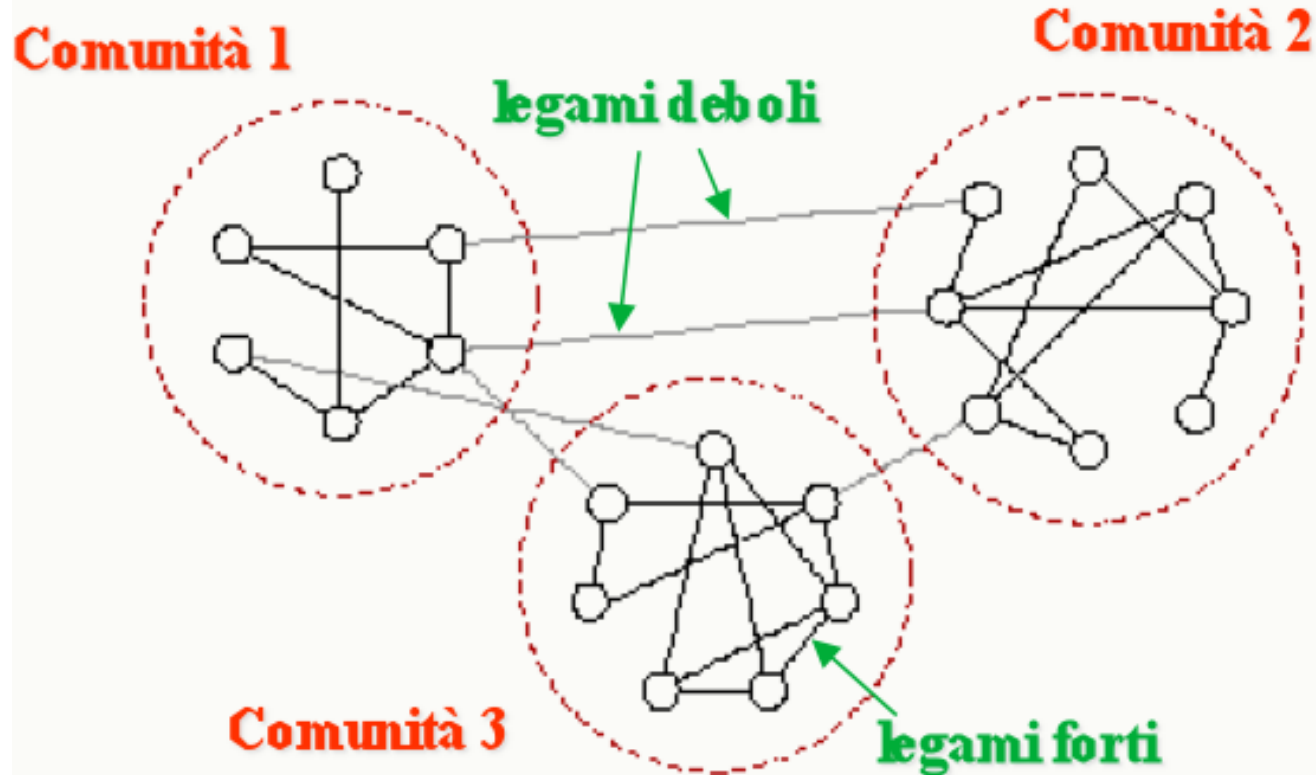
Altri indizi dalle Reti Sociali: la STRUTTURA A COMUNITA'

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



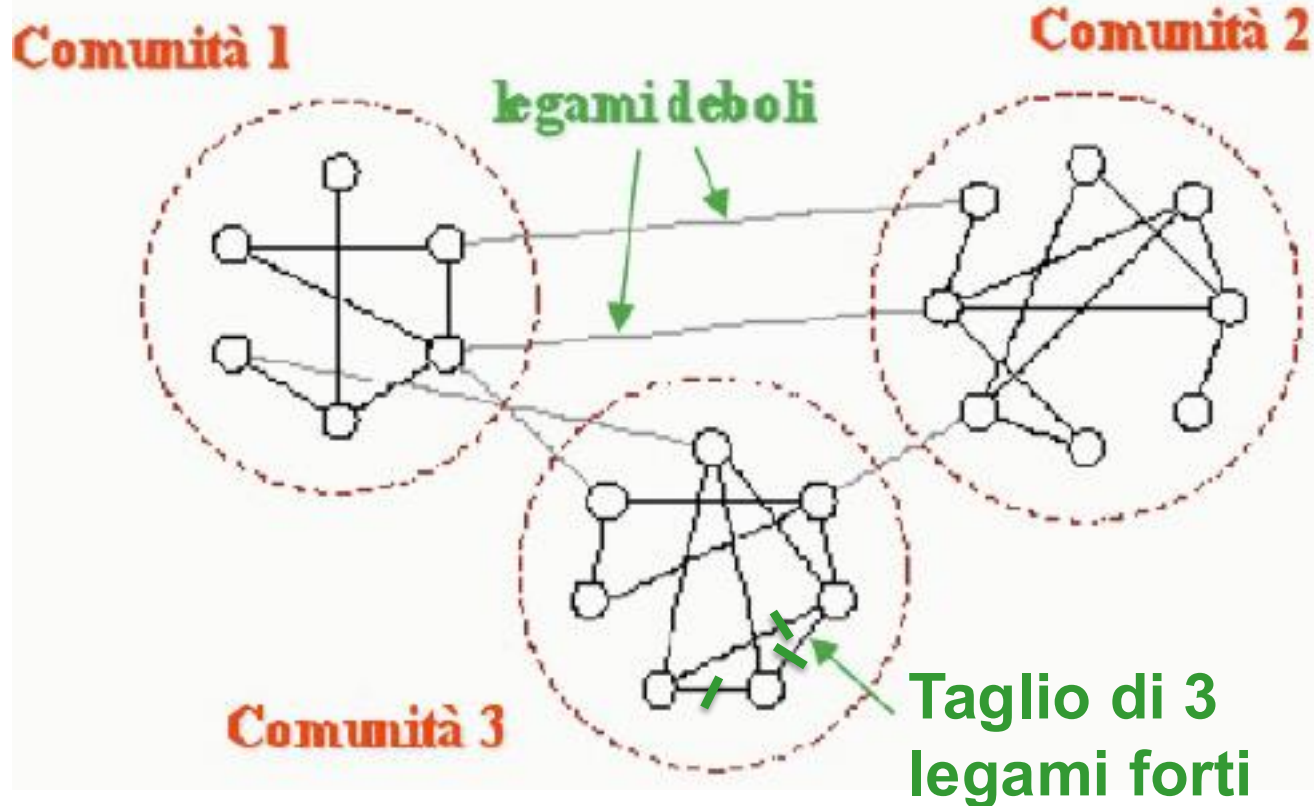
Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



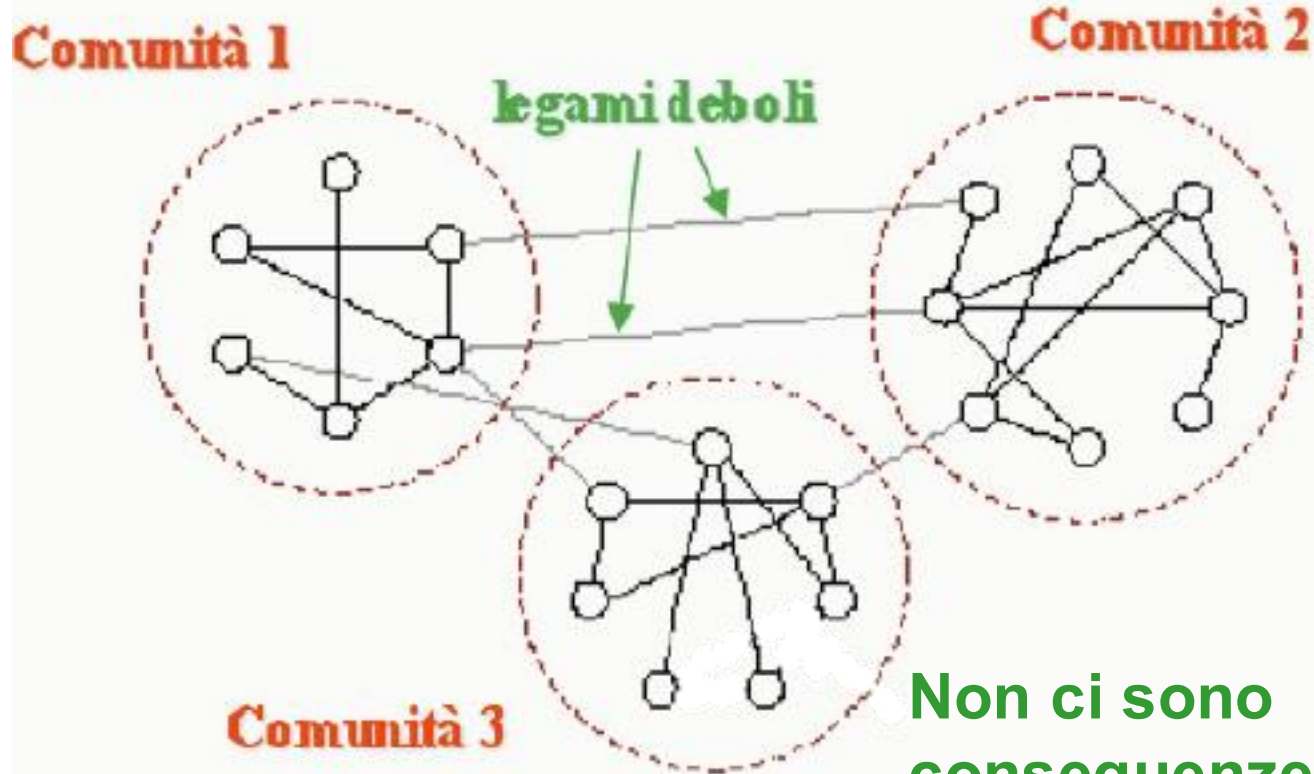
Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

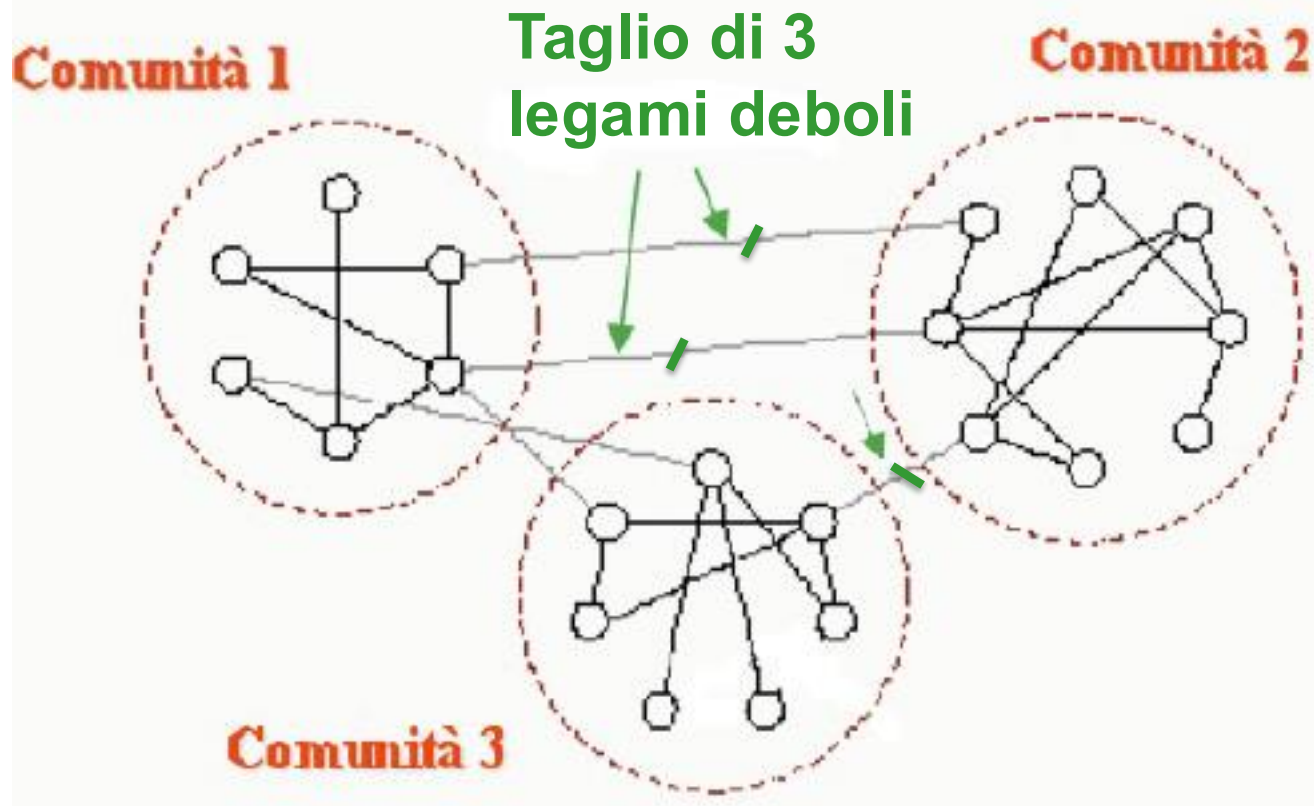
La forza dei legami deboli



Non ci sono
conseguenze sulla
connettività globale!

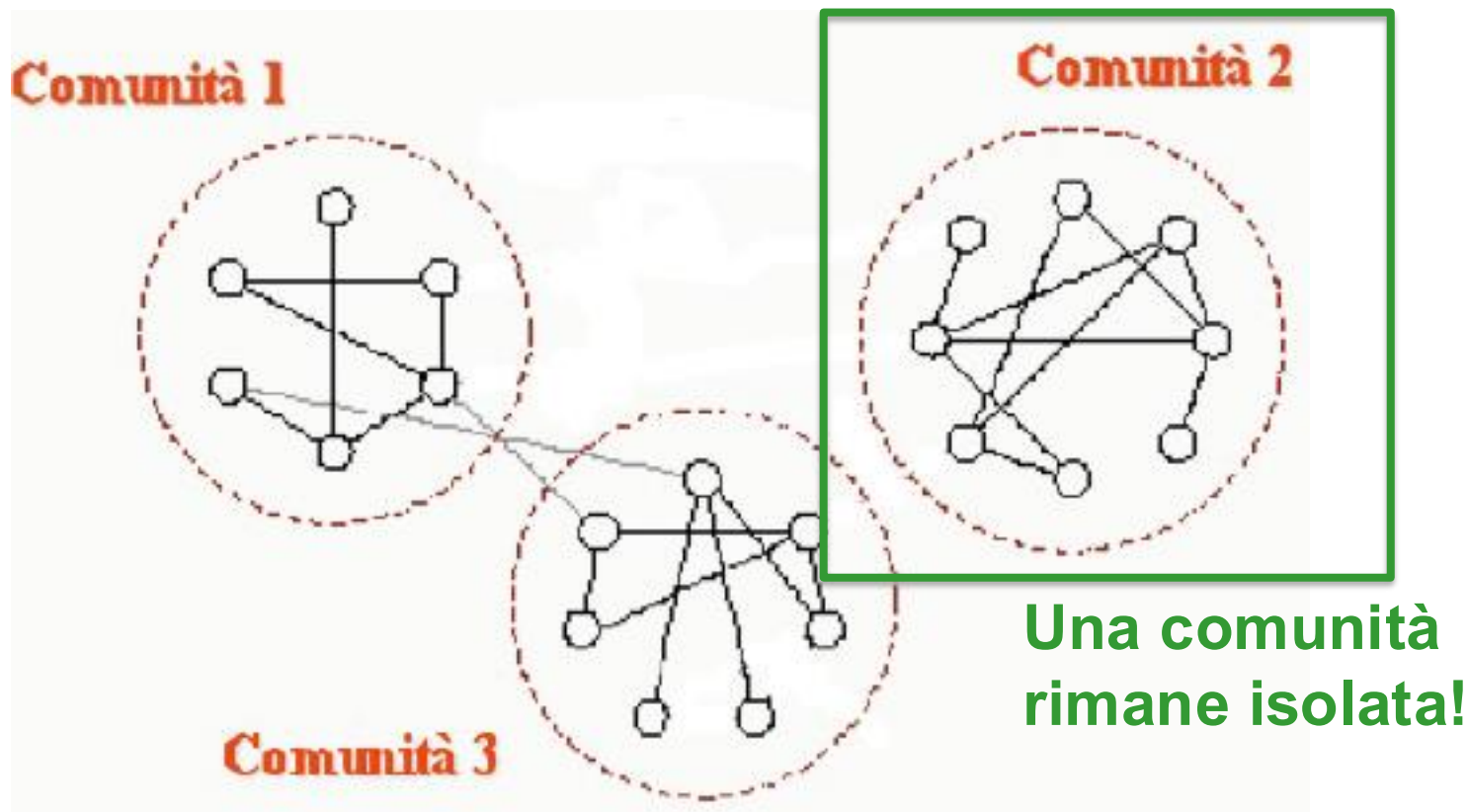
Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



Mark Granovetter (Baltimora, 1973)

La forza dei legami deboli



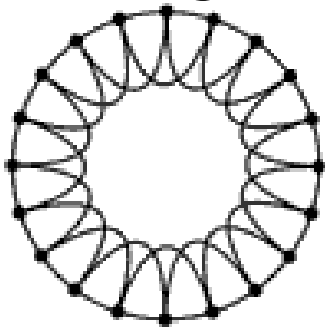
LA SCOPERTA delle RETI COMPLESSE



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

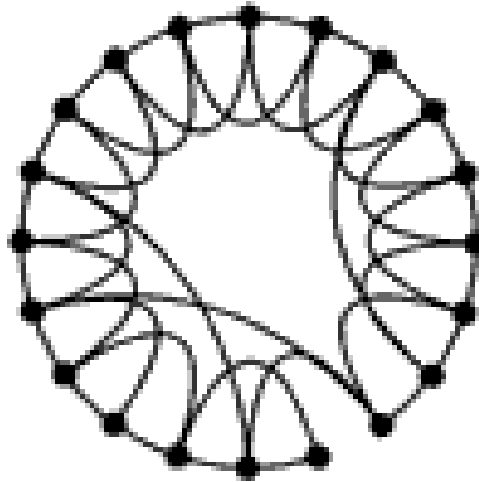


rete regolare



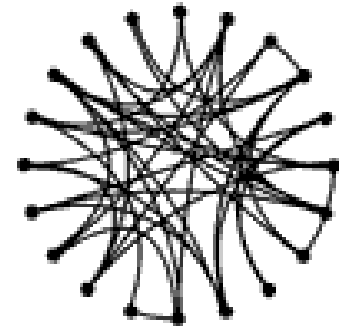
Ha una forte aggregazione,
ma non è un ‘piccolo mondo’

rete small world



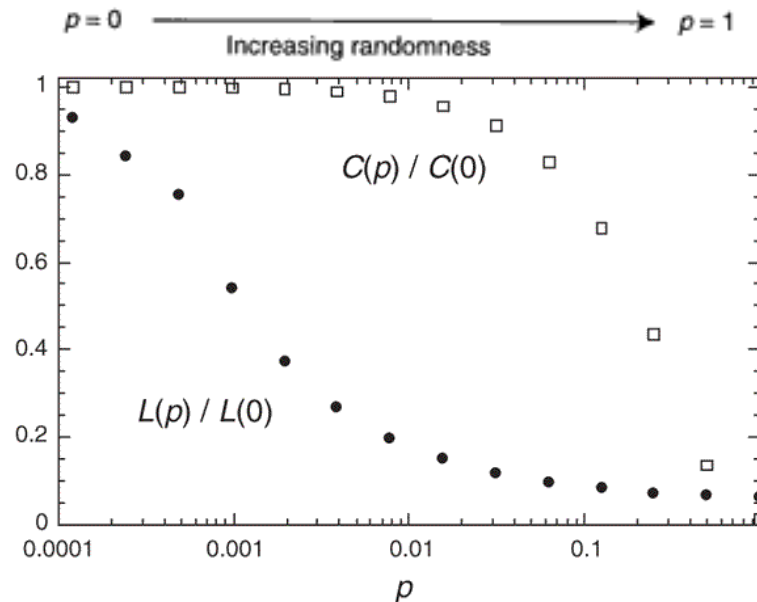
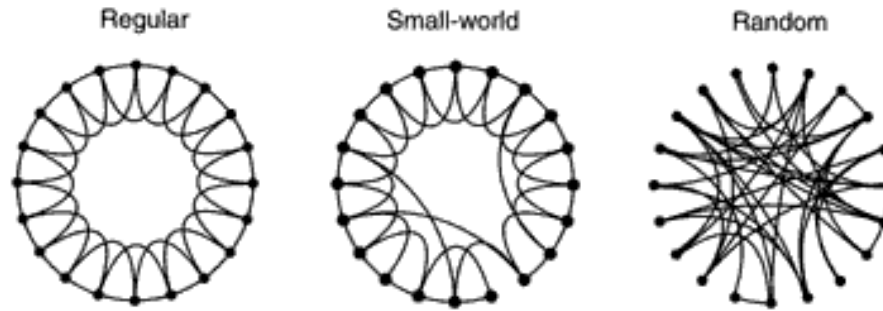
*E' un ‘piccolo mondo’
ma ha anche una forte
aggregazione!*

rete casuale



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

MODELLO di WATTS e STROGATZ

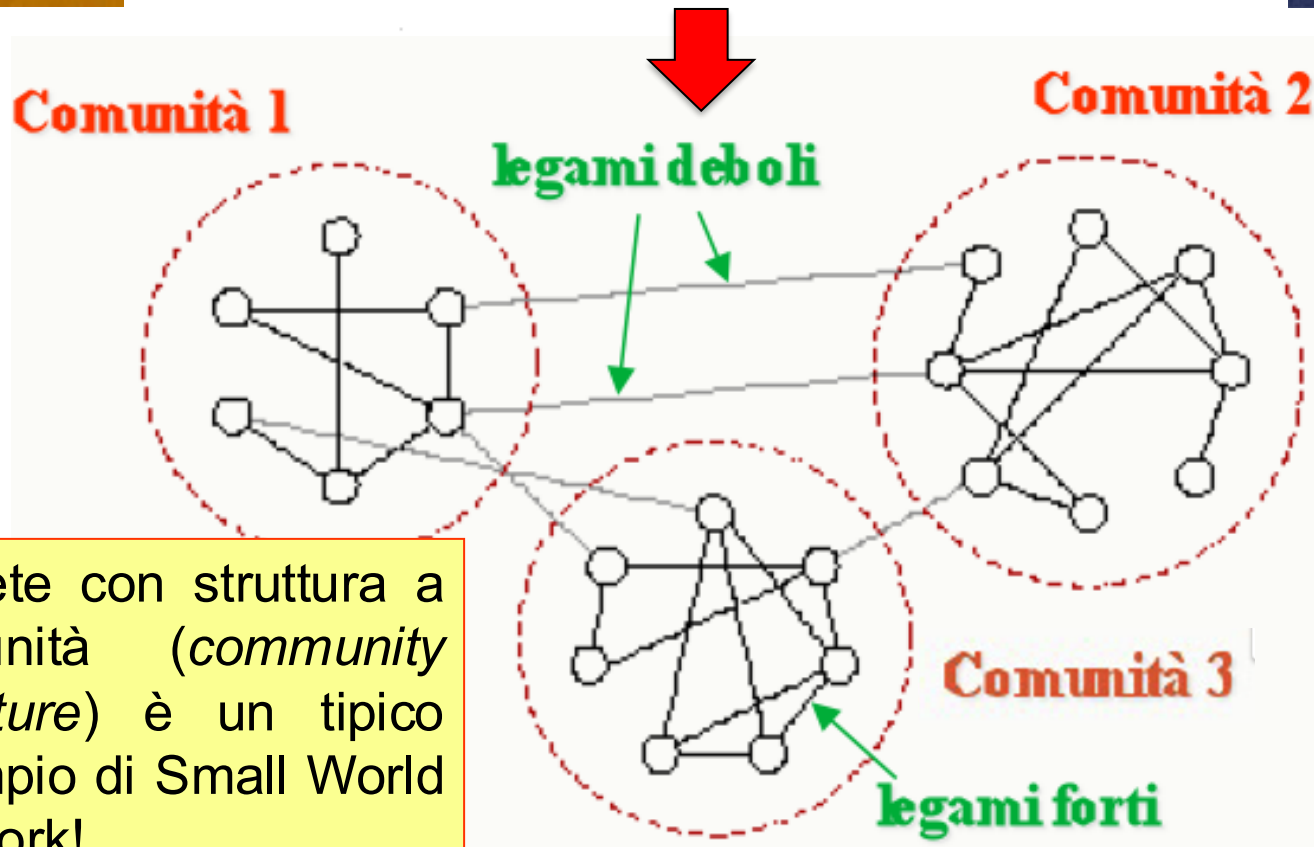
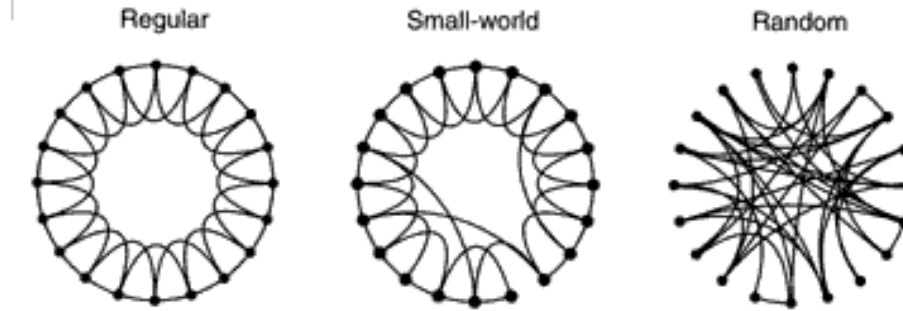


$C(p)$: coefficiente di aggregazione (*clustering coefficient*)

$L(p)$: minimo cammino medio (*minimum path length*)

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

MODELLO di WATTS e STROGATZ

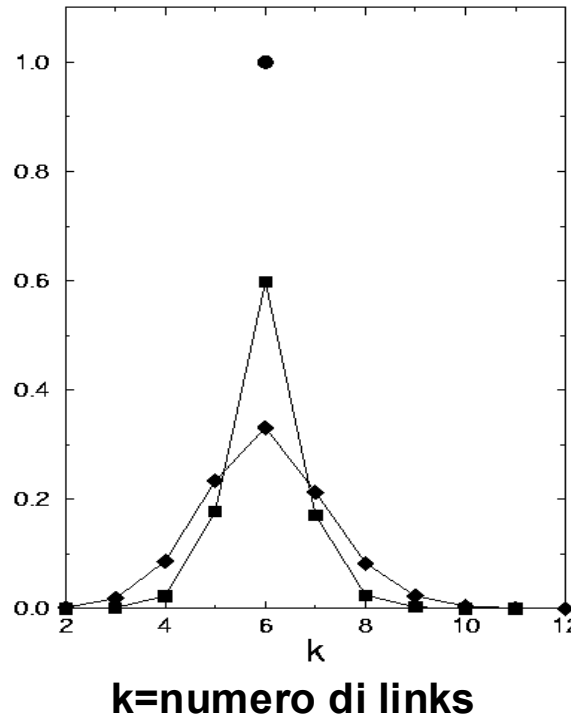


La rete con struttura a comunità (*community structure*) è un tipico esempio di Small World Network!

IMPORTANTE:

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

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



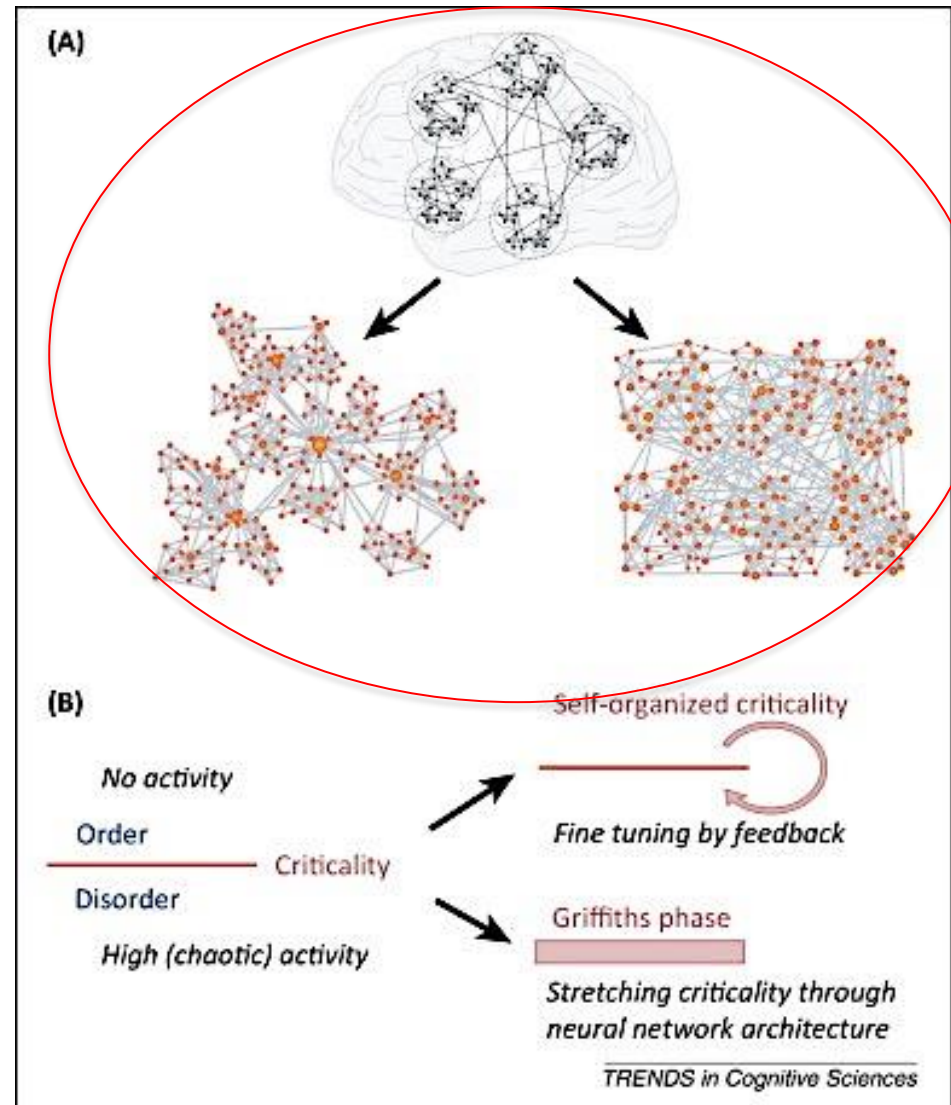
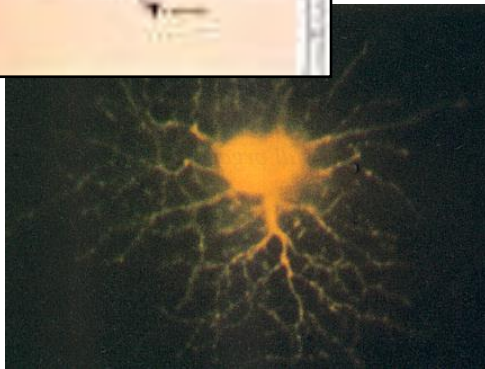
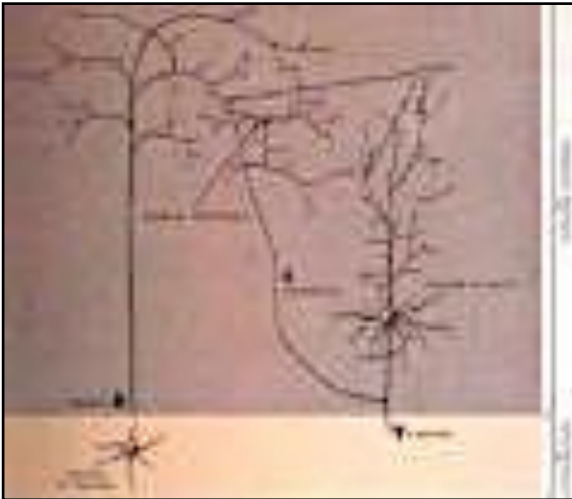
**Distribuzione
Gaussiana:**
esiste una scala tipica,
la media dei links

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

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Reti di neuroni

[Nodi: neuroni
Links: assoni e sinapsi



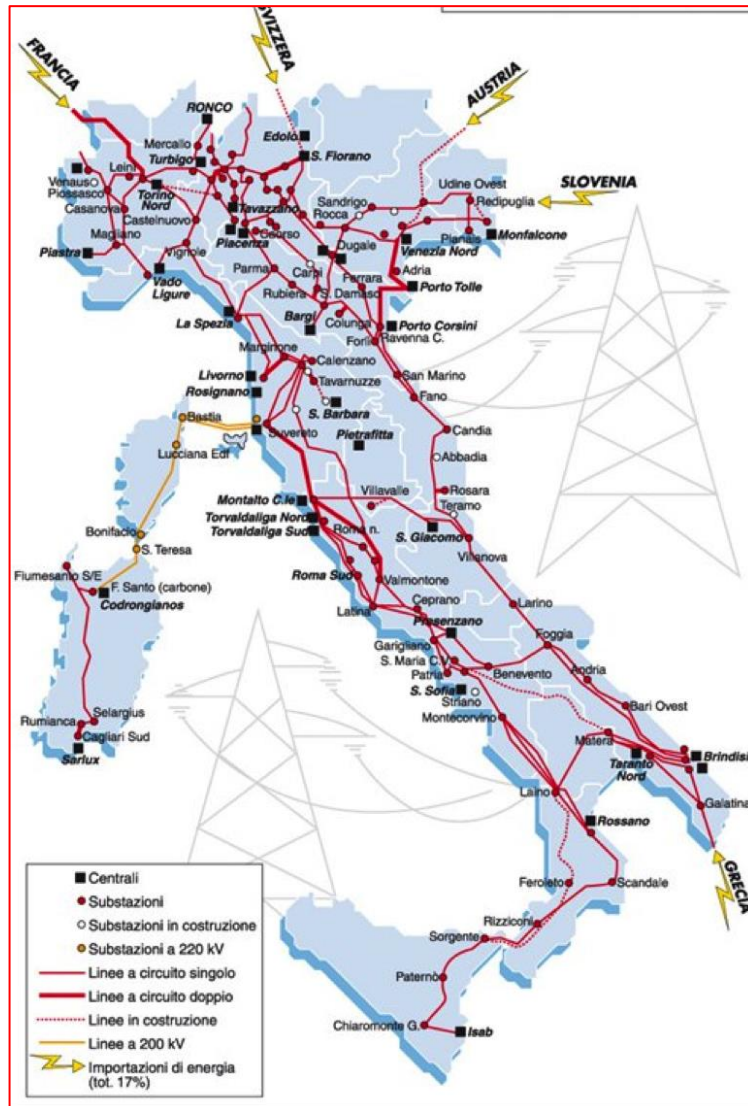
P.Moretti, M.A.Munoz, "Griffiths phases and the stretching of criticality in brain networks", Nature Communications 4, 2521 (2013)

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Reti elettriche

Nodi: centrali elettriche

Links: reti di distribuzione



RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

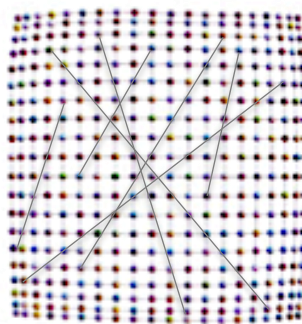
Reti sismiche OFC model

Nodi: blocchi che simulano la crosta terrestre

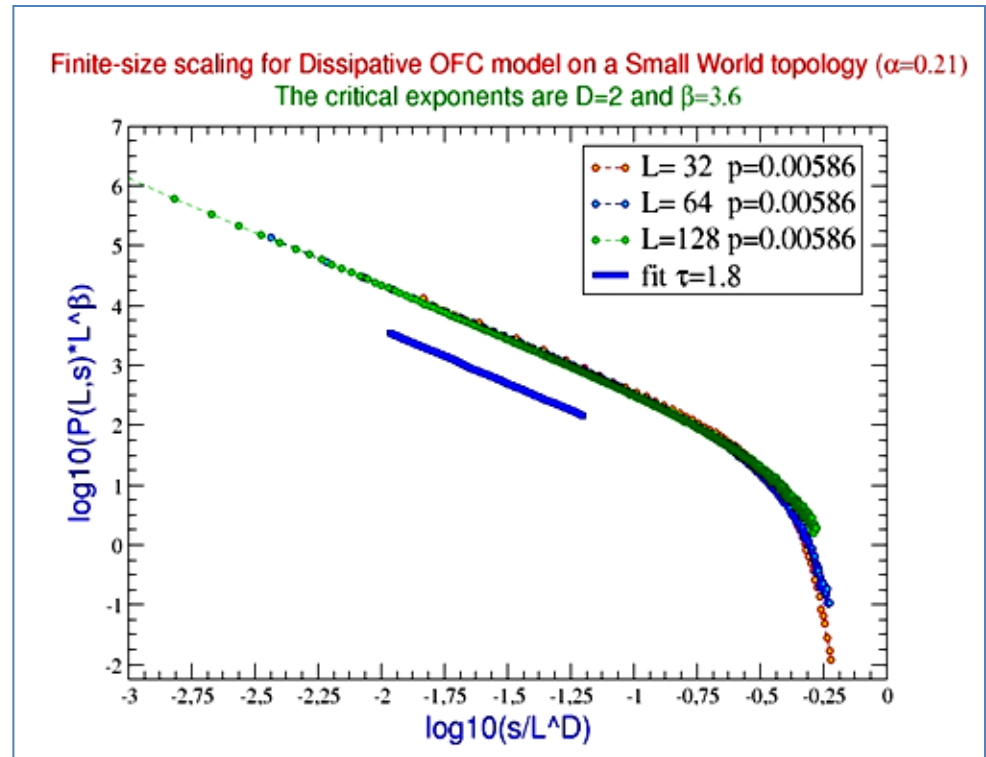
Links: trasferimento di energia



Reticolo
di blocchi
regolare



Reticolo
di blocchi
Small-World

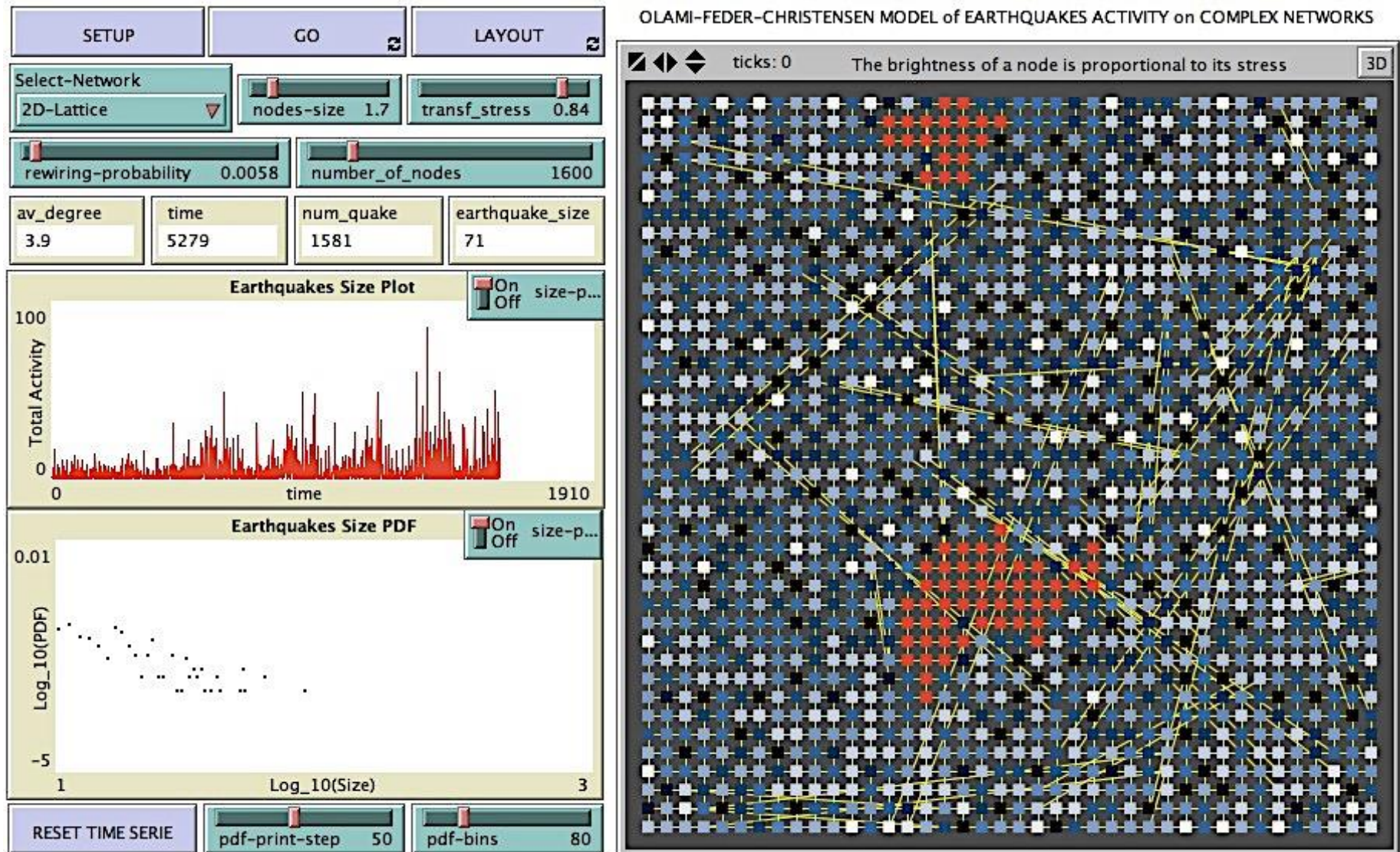


F.Caruso, V.Latora, A.Pluchino, A.Rapisarda and B.Tadic, Eur. Phys. J. B 50 (2006) 243-247

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

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Il Modello OFC su Small World Network



RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

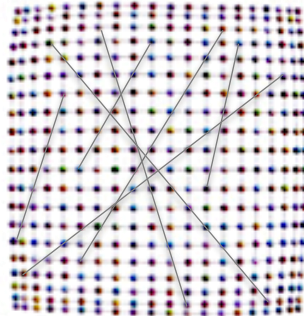
**Reti di trading
finanziario**

FQM model

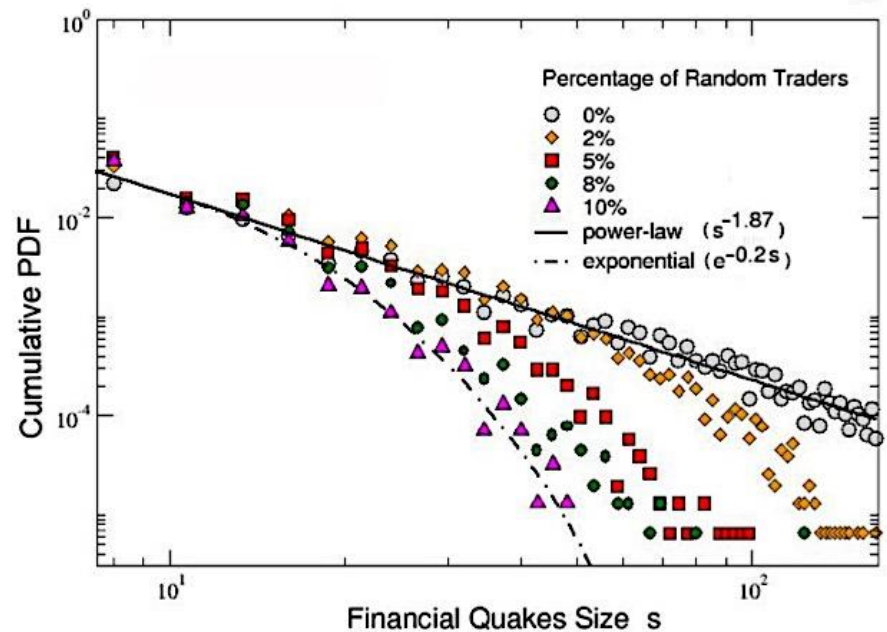
Nodi: traders che investono in un mercato finanziario
Links: scambi di informazioni fra i traders



Reticolo
di traders
regolare



Reticolo
di traders
Small-World

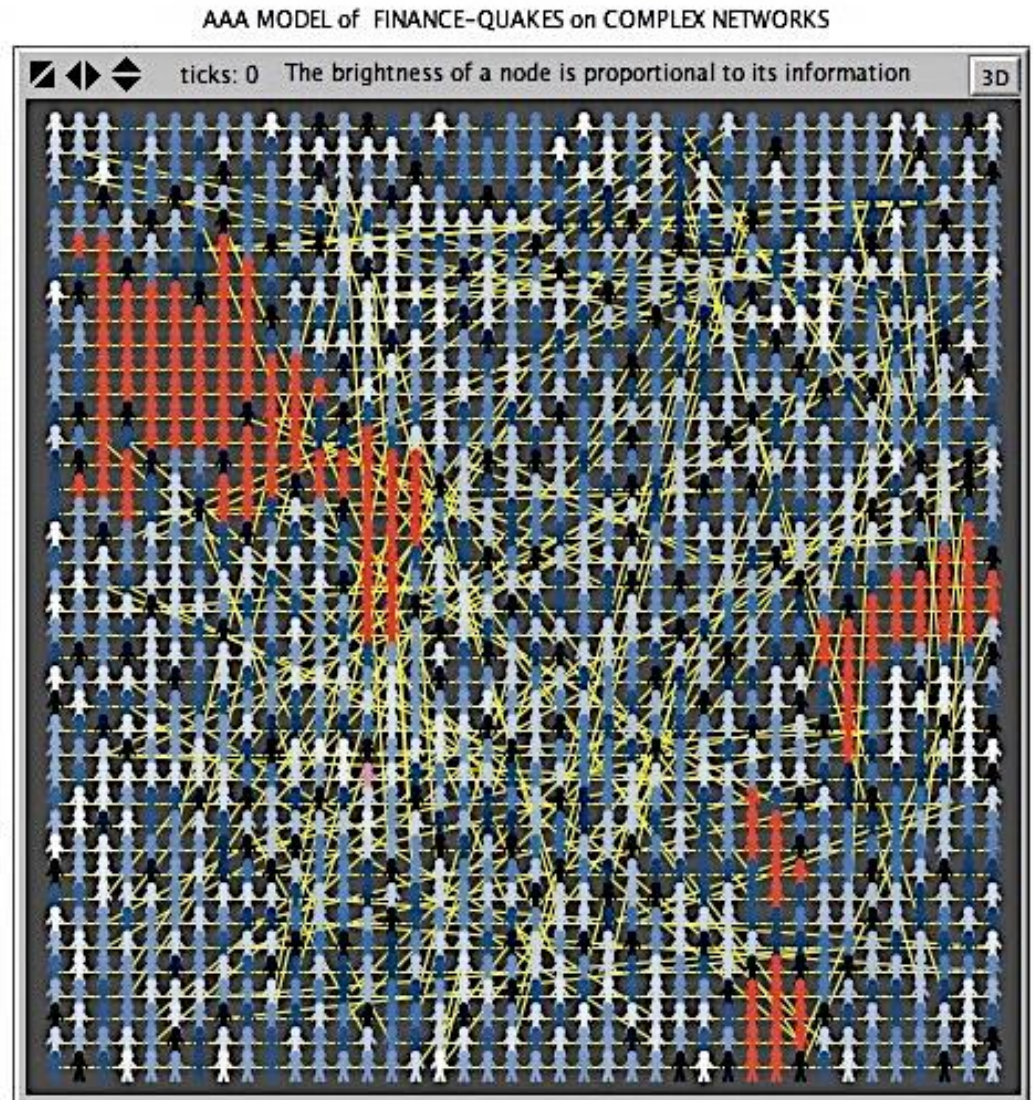
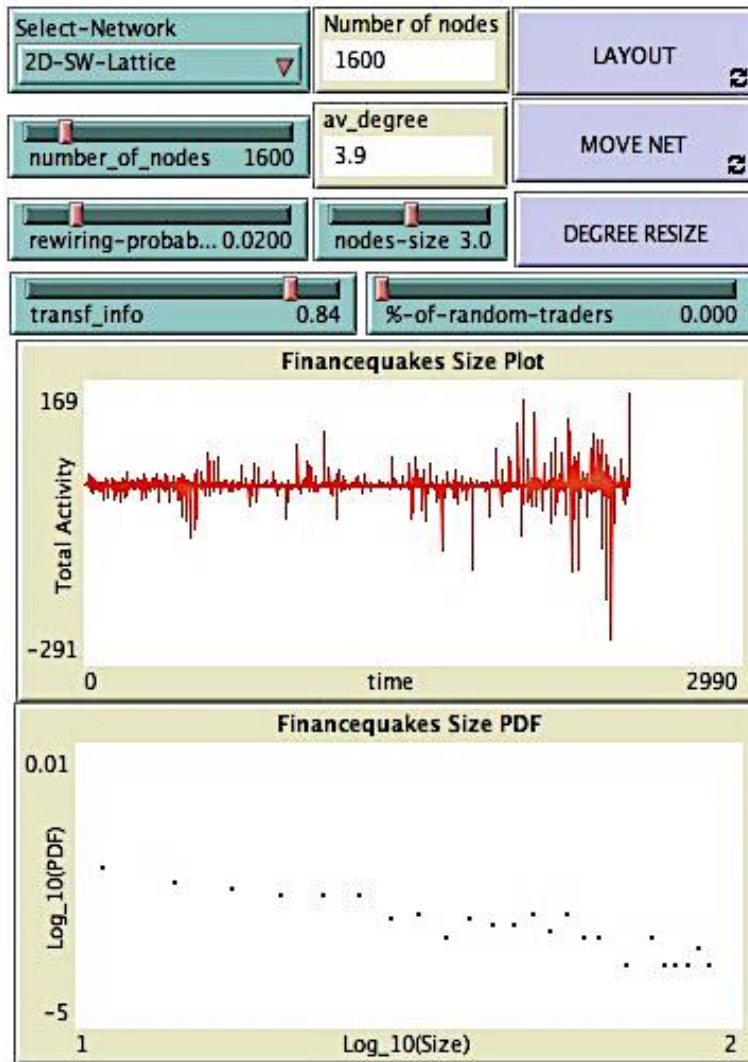


A.E.Biondo, A.Pluchino, A.Rapisarda, Physical Review E 88 (2013) 062814

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

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Il Modello FQM su Small World Network

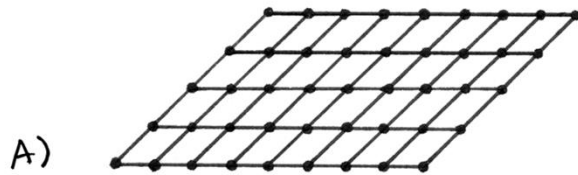


RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

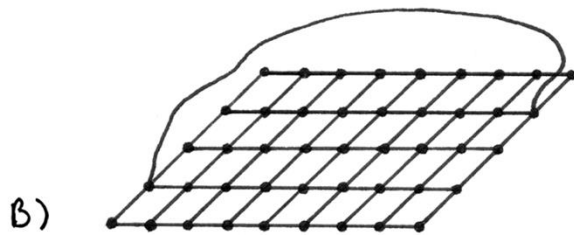
Reti quantistiche non-locali di siti spaziali “entangled”

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.61Issue 9 (2013) - <https://arxiv.org/abs/1306.0533>

RETI SMALL-WORD EGUALITARIE

Reti quantistiche non-locali di siti spaziali “entangled”

Nodi: punti dello spazio

Links: collegamenti “non-locali” a lungo raggio

Più gli oggetti corrispondenti ai sottografi sono simili, più interagiscono non-localmente



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.

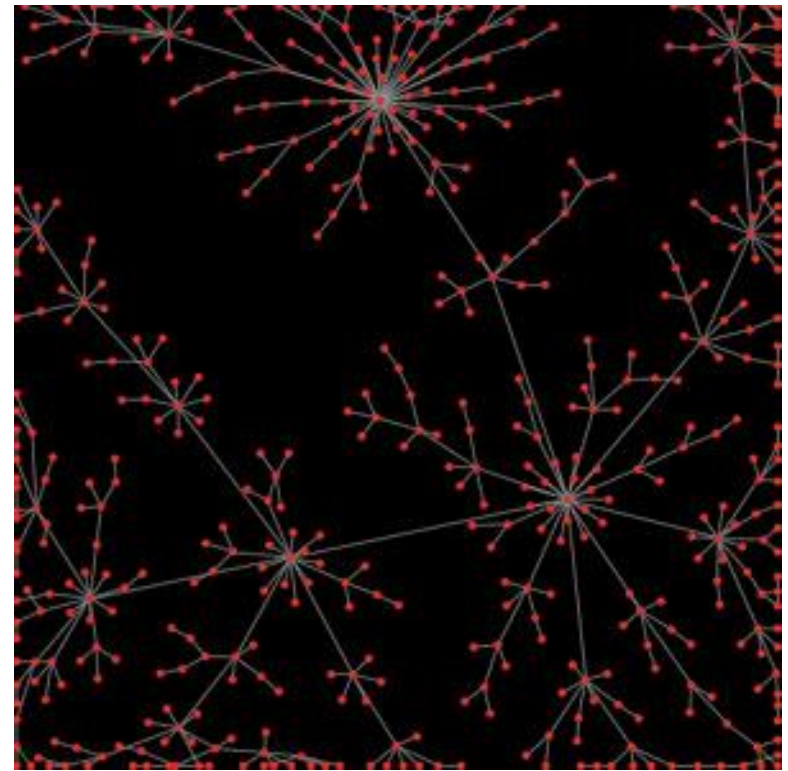
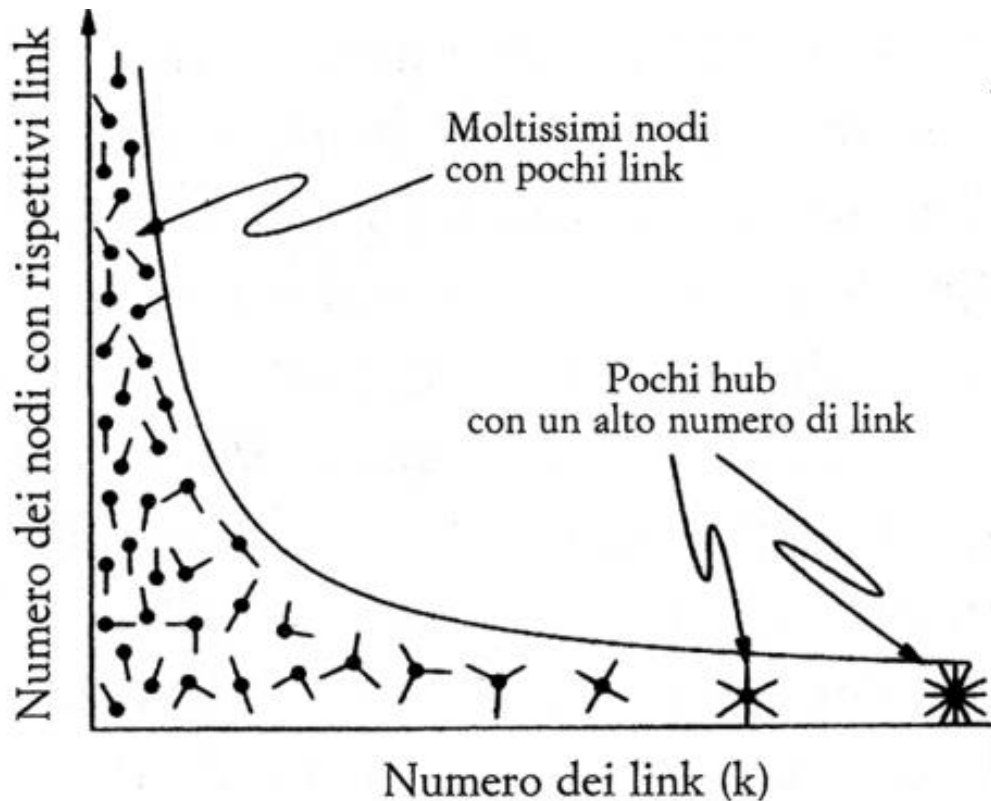


F.Markopoulou, L.Smolin, Class.Quant.Grav. 24 (2007) 3813-3824 - <https://arxiv.org/abs/gr-qc/0702044>

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

RETI SMALL-WORD ARISTOCRATICHE

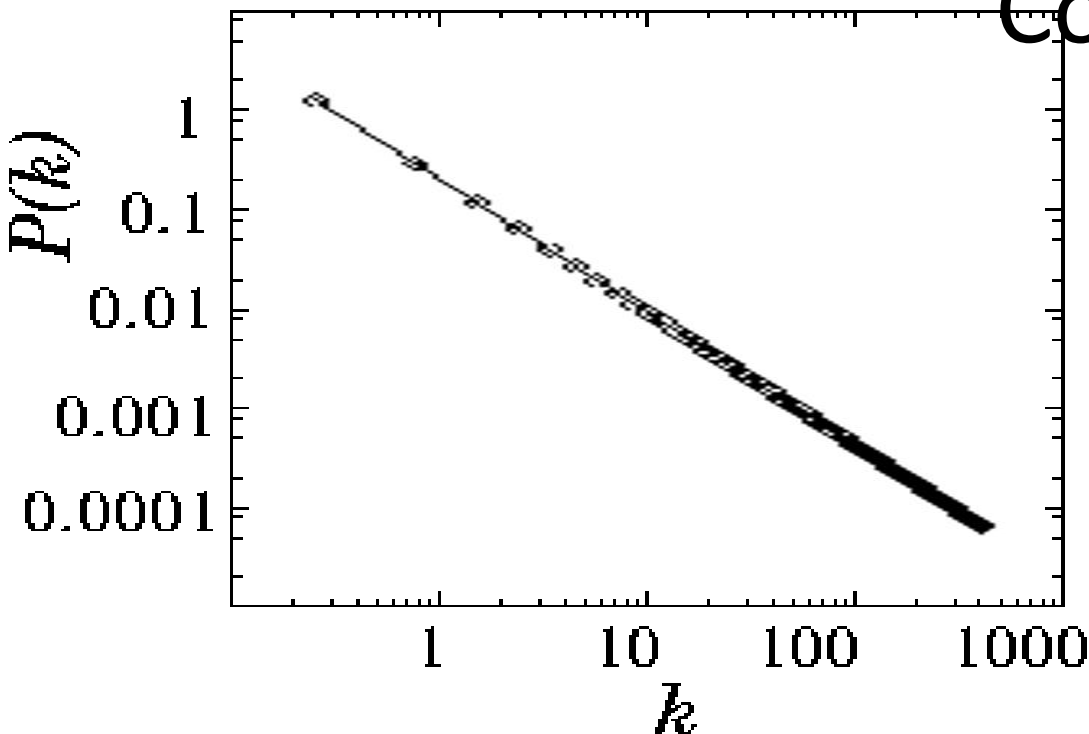
Non tutte le reti Small Word sono egualitarie: anzi, la maggior parte delle reti complesse esistenti in natura sono **'aristocratiche'**: la stragrande maggioranza dei nodi ha pochi links, ma esistono pochissimi **nodi iperconnessi, i cosiddetti "hub"**!



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!



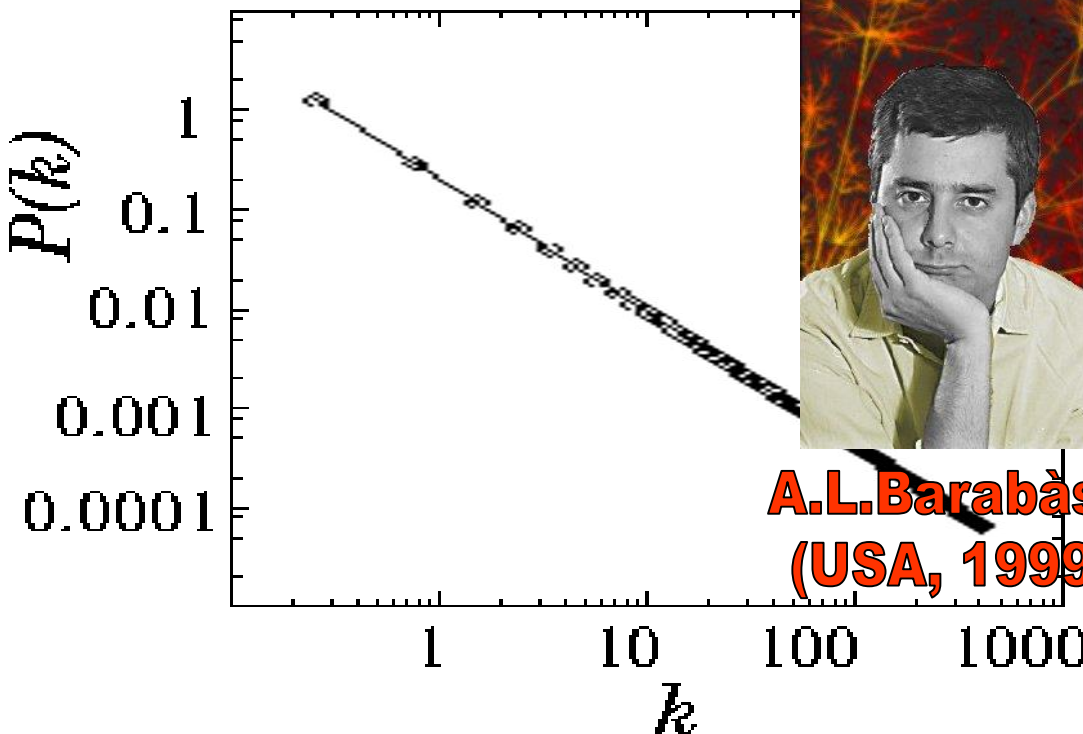
La Firma della
Rete dei collegamenti aerei
Complessità



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!



**A.L. Barabási
(USA, 1999)**

La Firma della

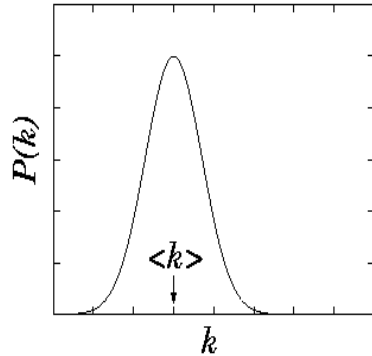
complessità

Rete dei collegamenti aerei



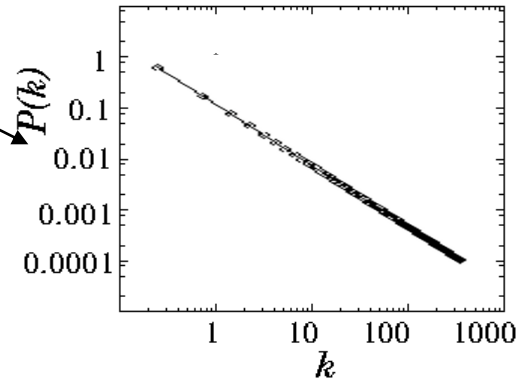
IN CONCLUSIONE: esistono due tipi fondamentali di reti Small World:

Gaussiana



Distribuzioni dei links

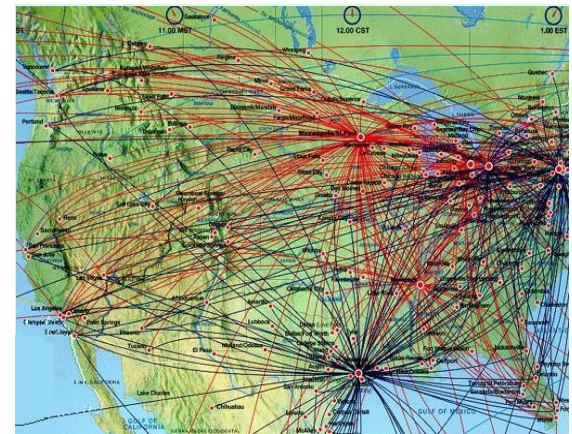
Legge di Potenza



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



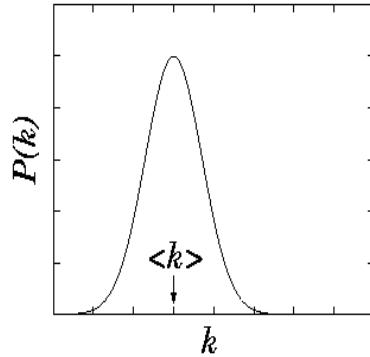
A.L. Barabási
(USA, 1999)



Reti "Aristocratiche":
sono prive di scala
(reti "**Scale Free**") ma
dotate di "hub"

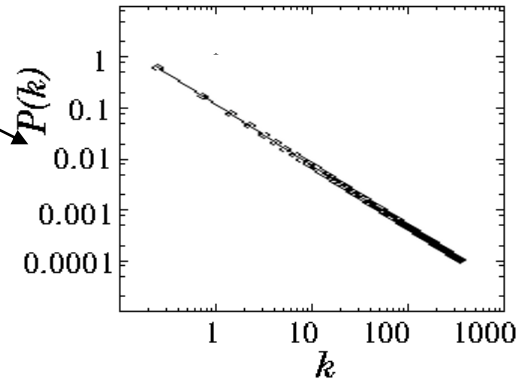
IN CONCLUSIONE: esistono due tipi fondamentali di reti Small World:

Gaussiana

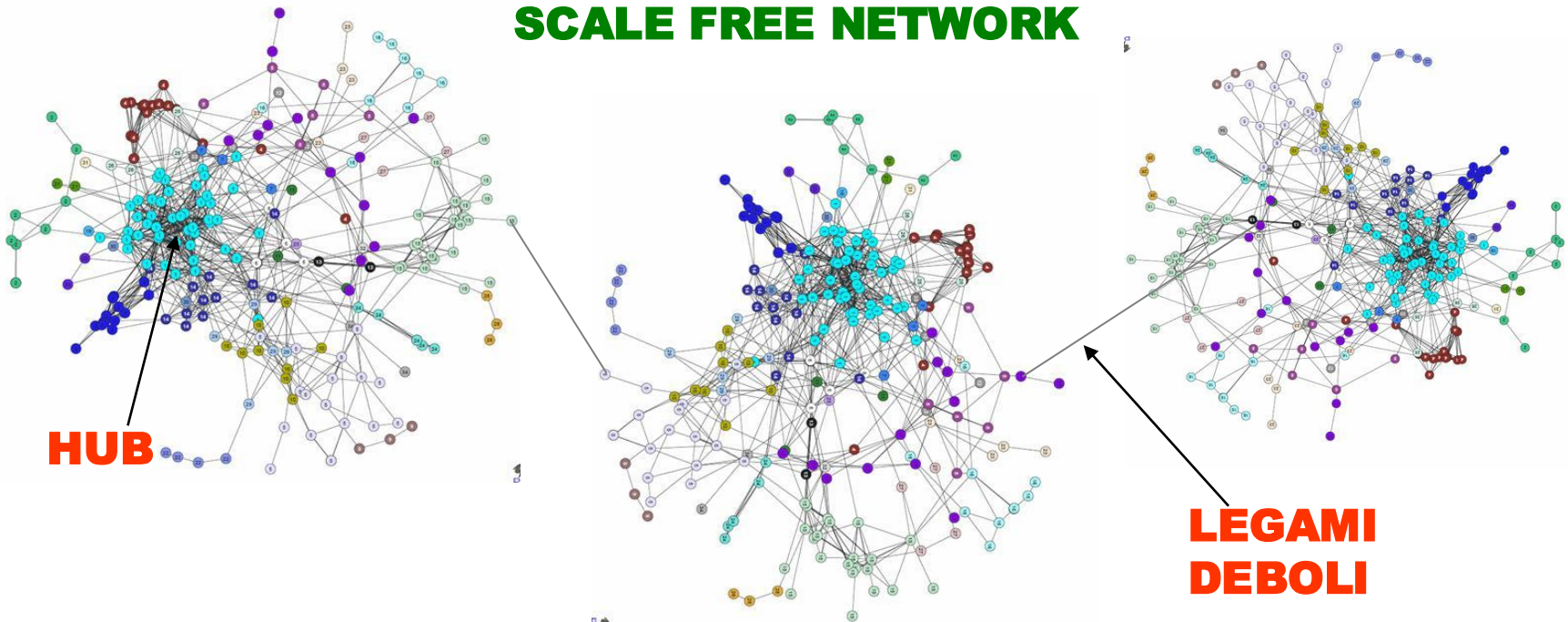


Distribuzioni dei links

Legge di Potenza



Esempio di SCALE FREE NETWORK



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



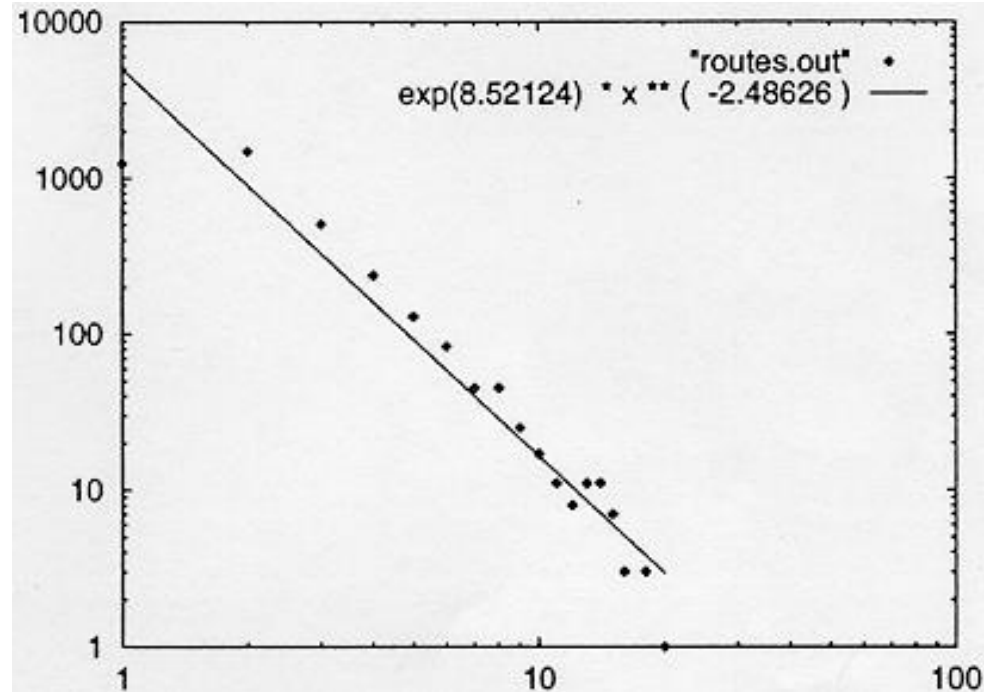
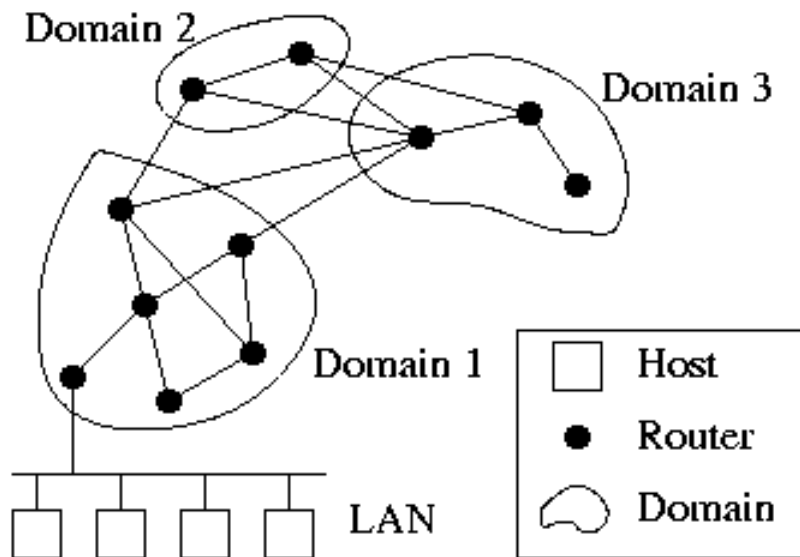
La Legge di



INTERNET

Nodi: computers, routers

Links: linee di telecomunicazione

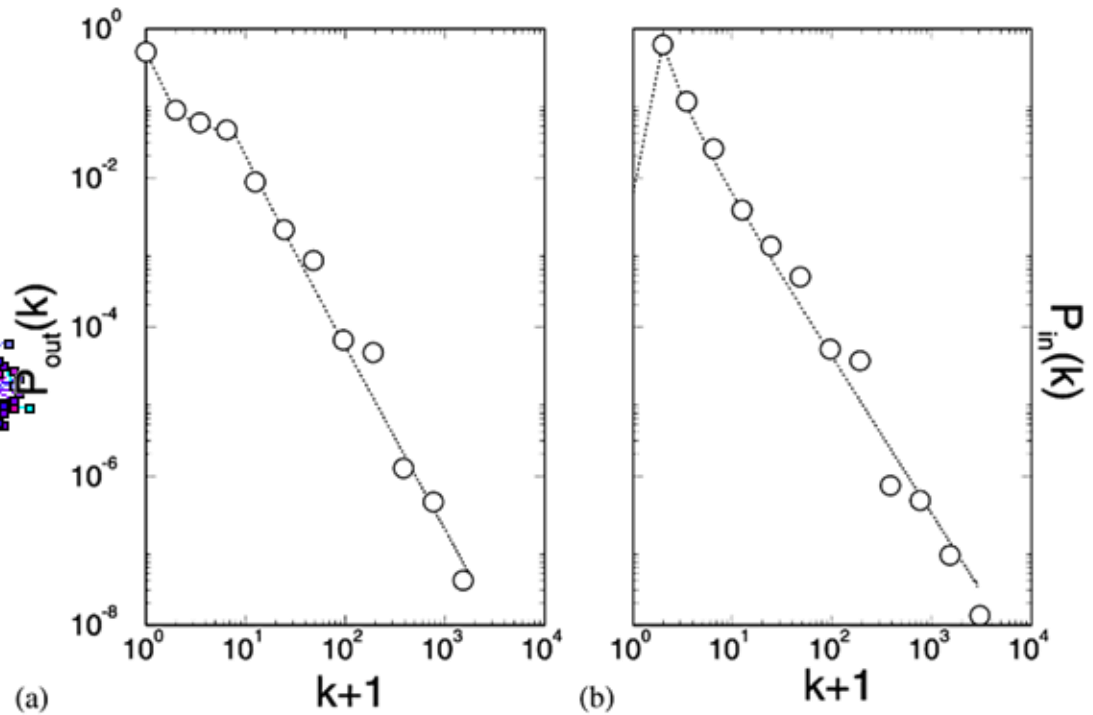
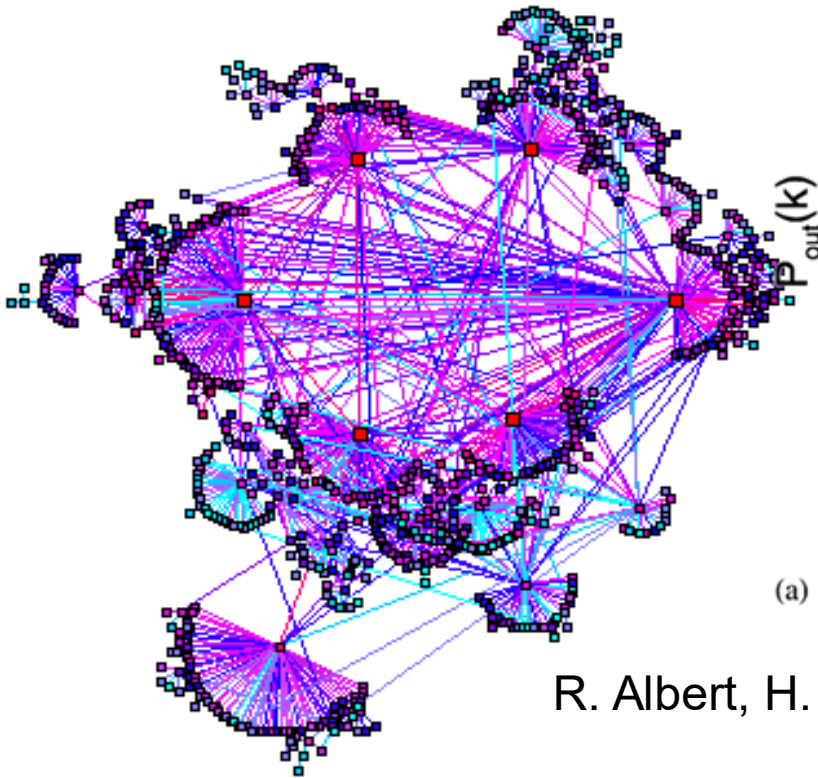


(Faloutsos, Faloutsos and Faloutsos, 1999)

World Wide Web

Nodes: WWW documents

Links: URL links



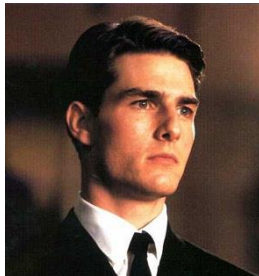
R. Albert, H. Jeong, A-L Barabasi, Nature, **401** 130 (1999)

RETE delle COLLABORAZIONI CINEMATOGRAFICHE

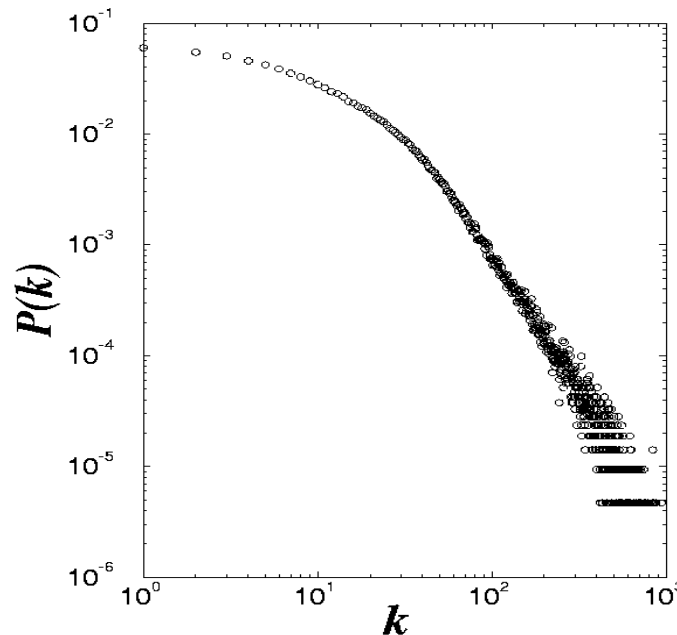
Nodi: attori

Links: film comuni

IMDb Internet Movie Database



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



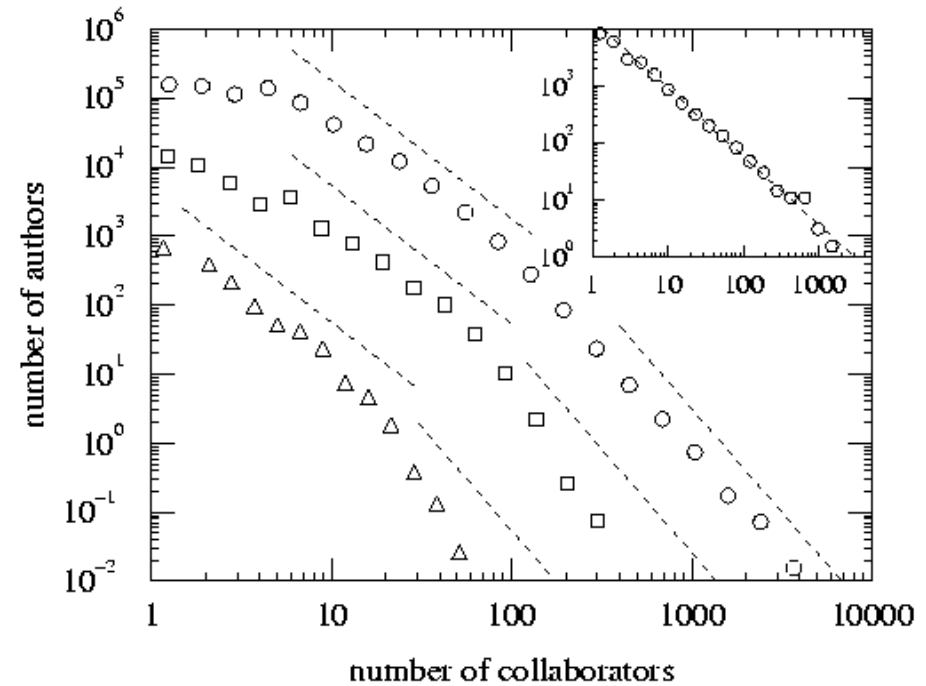
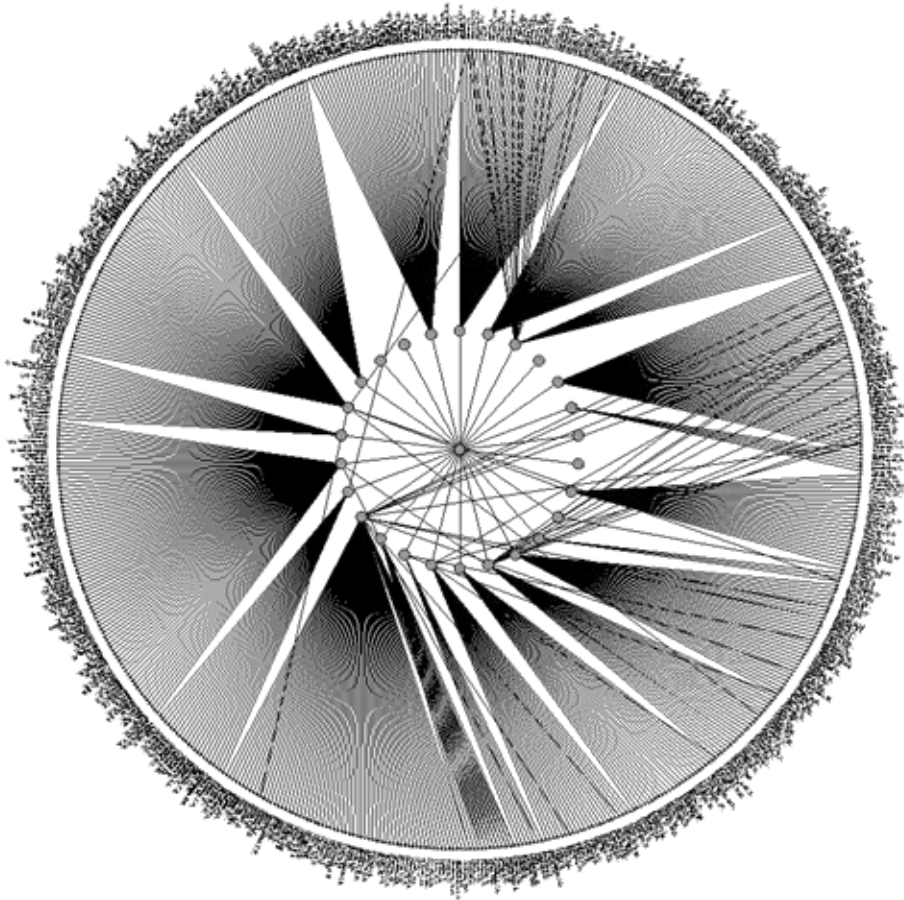
N = 212,250 actors

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

RETE delle COLLABORAZIONI SCIENTIFICHE

Nodi: scienziati (autori)

Links: articoli in comune

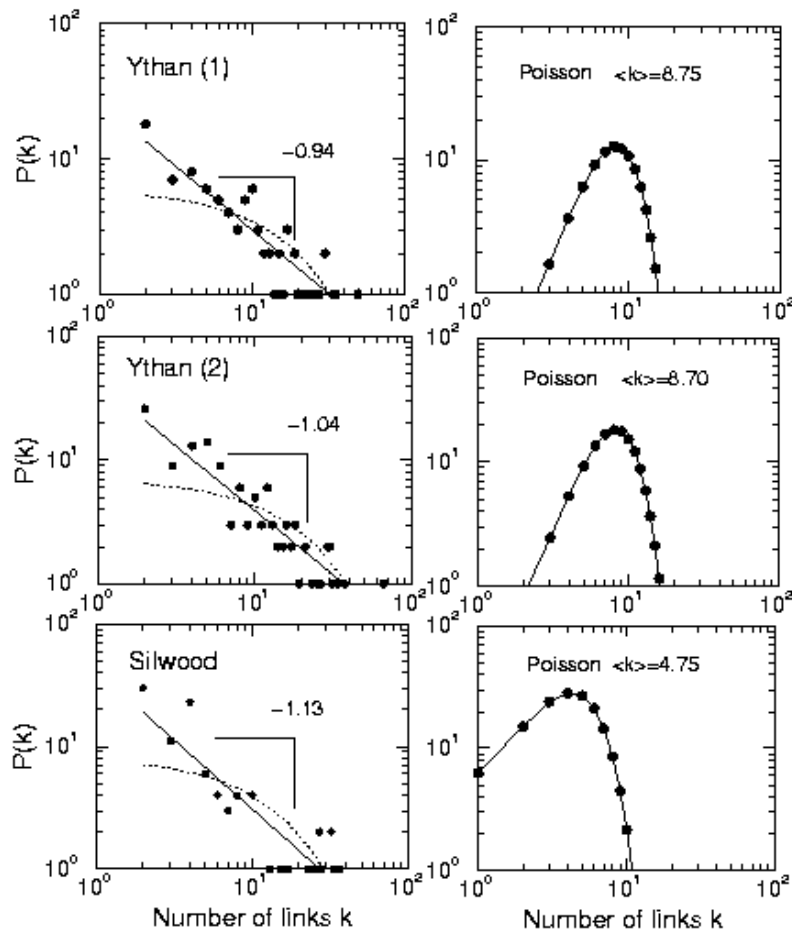


(Newman, 2000, H. Jeong et al 2001)

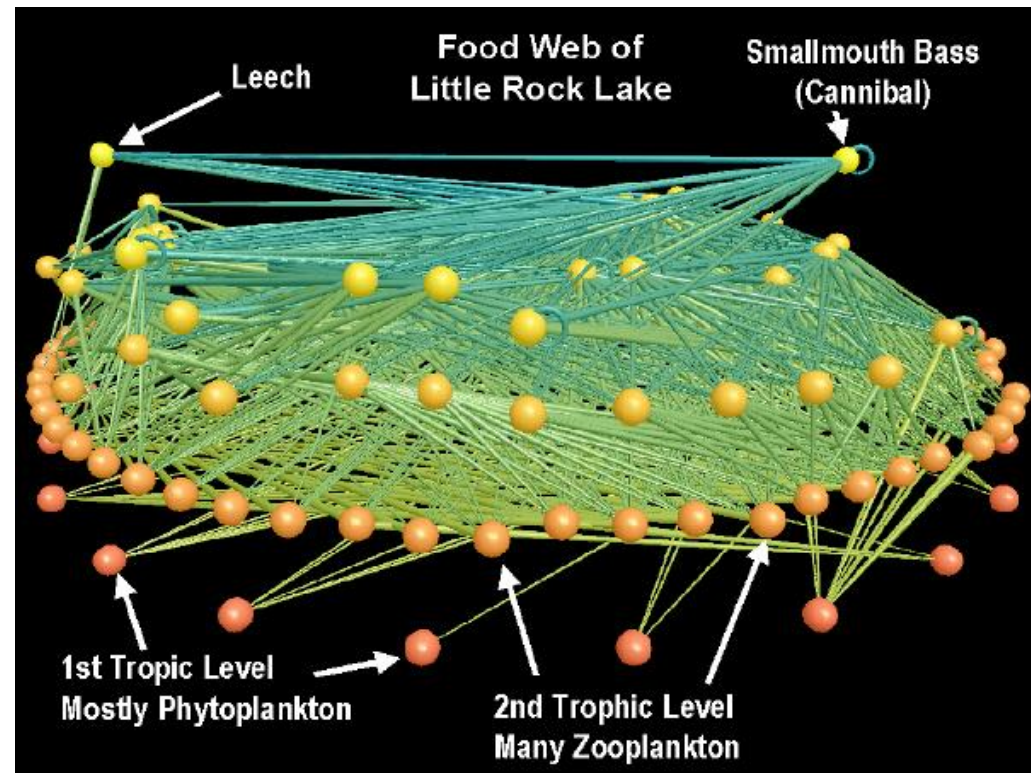
RETI ALIMENTARI - FOOD WEBS

Nodi: specie

Links: interazione preda-predatore



R. Sole (cond-mat/0011195)

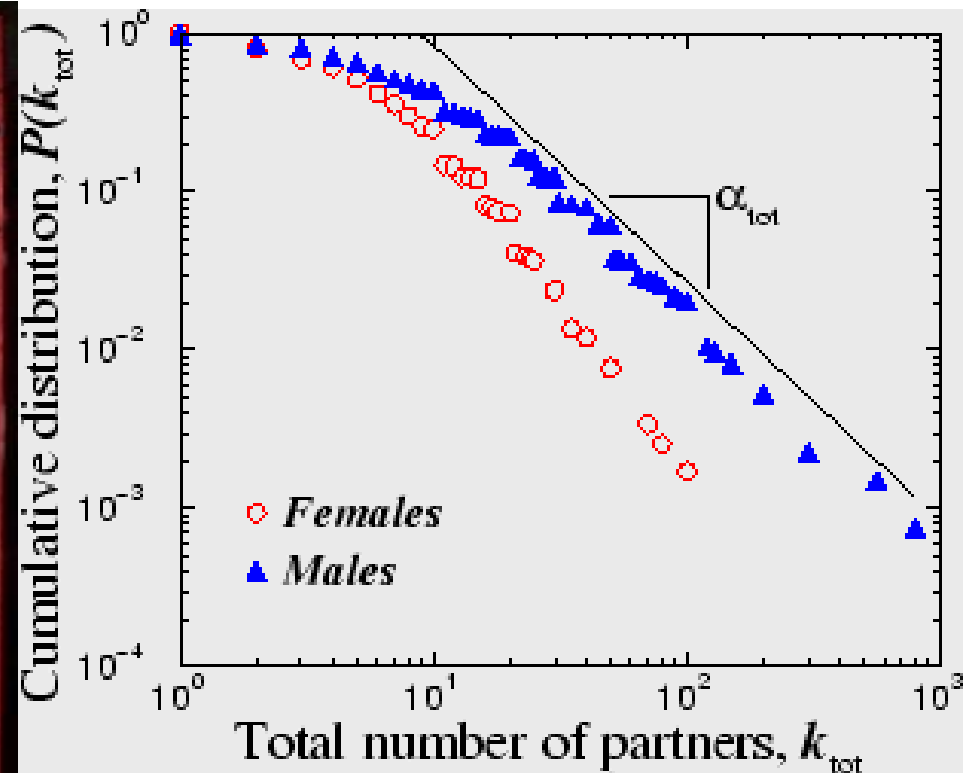


R.J. Williams, N.D. Martinez *Nature* (2000)

RETI EPIDEMICHE

Nodi: persone (femmine;maschi)

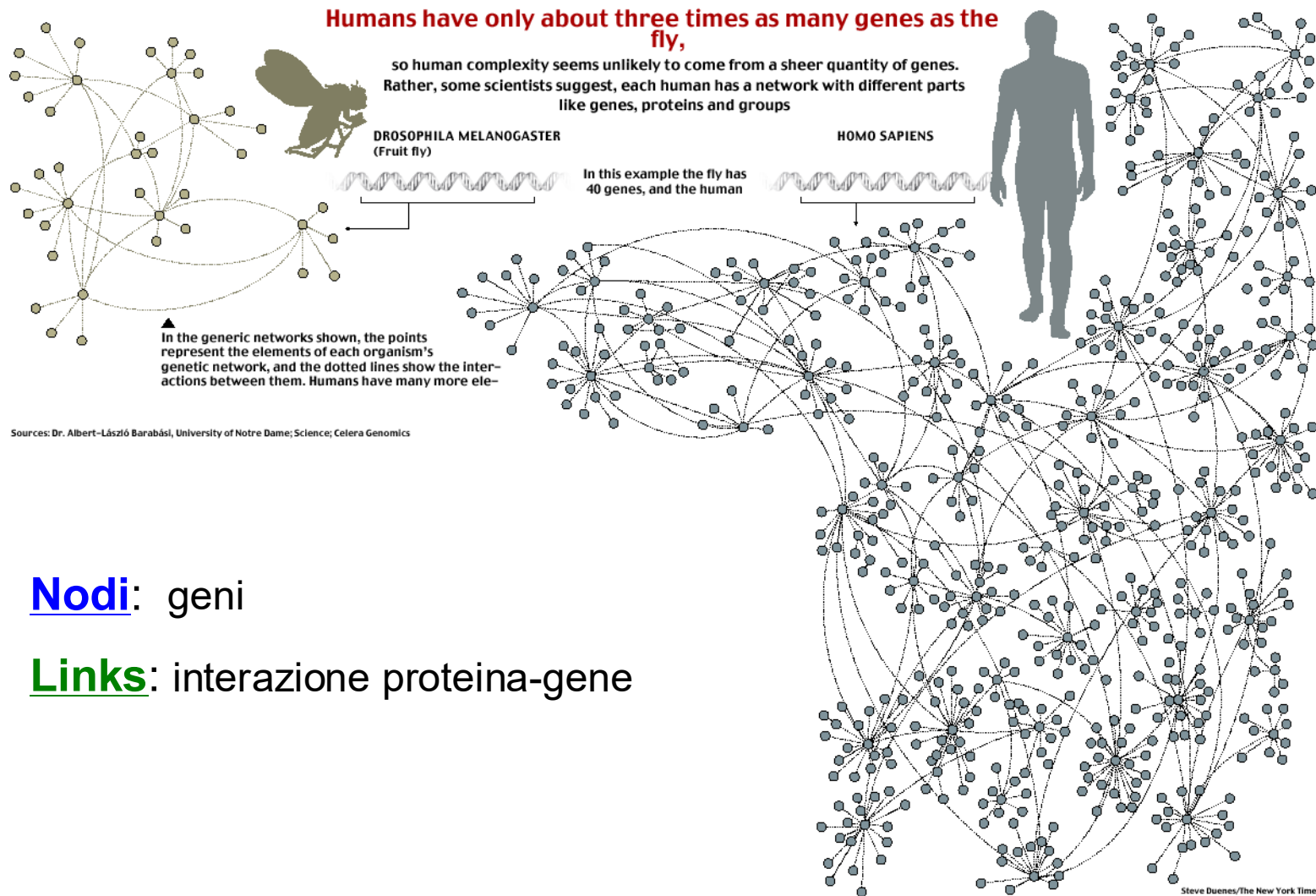
Links: contatti sessuali



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

Liljeros et al. Nature 2001

RETI GENICHE



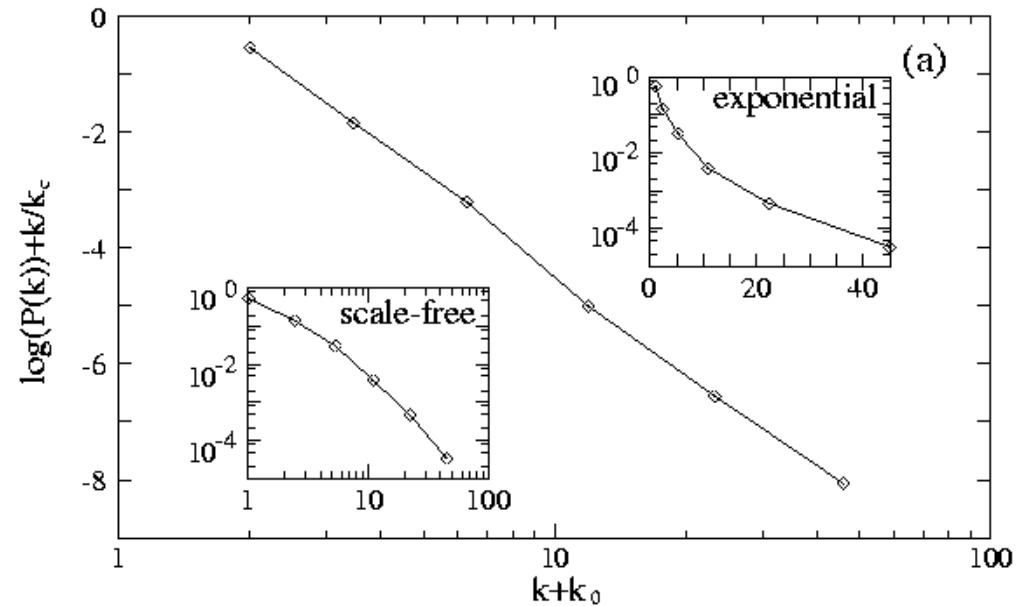
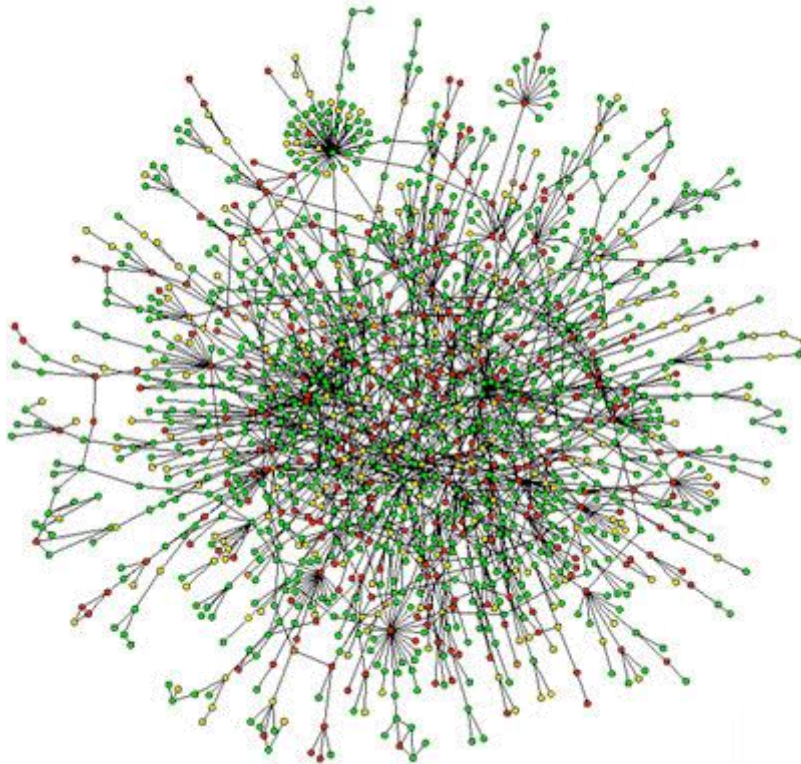
Nodi: geni

Links: interazione proteina-gene

RETI di PROTEINE

Nodi: proteine

Links: interazioni proteina-proteina

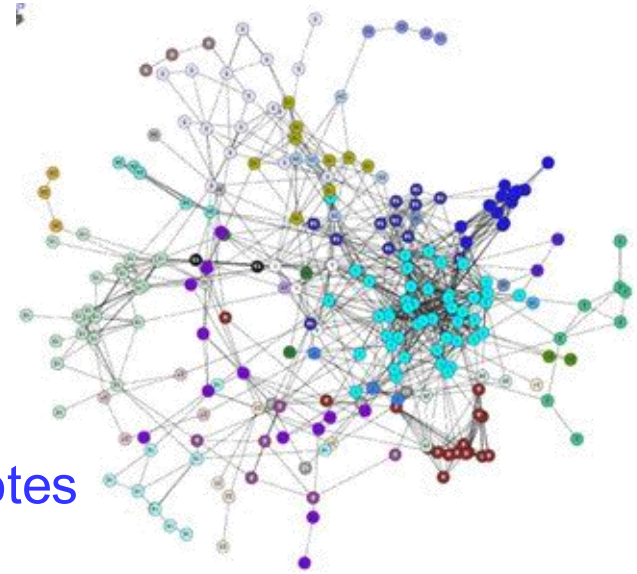


H. Jeong, S.P. Mason, A.-L. Barabasi, Z.N. Oltvai, Nature 411, 41-42 (2001)

RETI METABOLICHE

Nodi: molecole

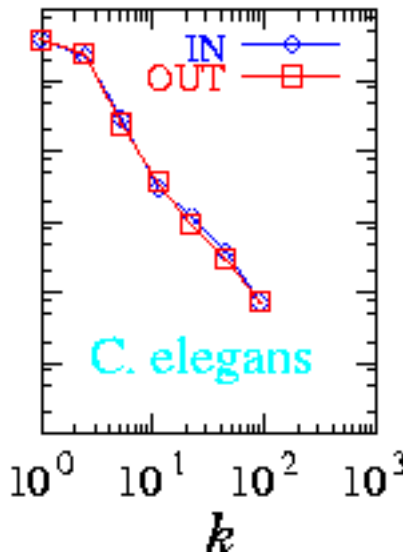
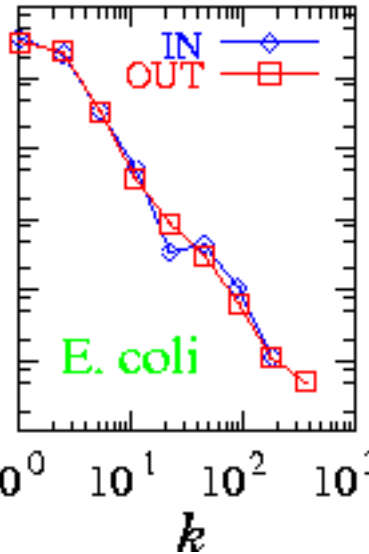
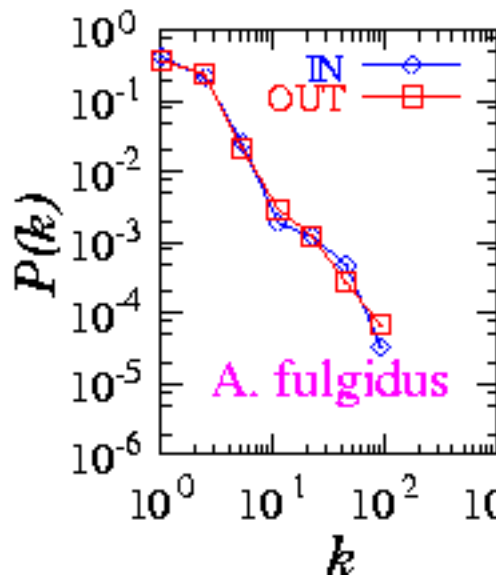
Links: reazioni biochimiche



Archaea

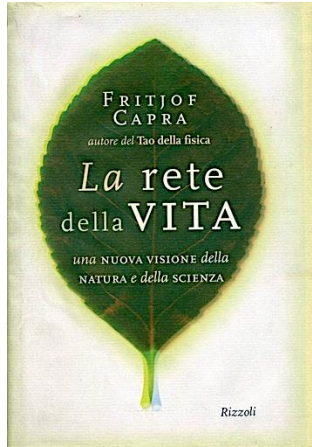
Bacteria

Eukaryotes

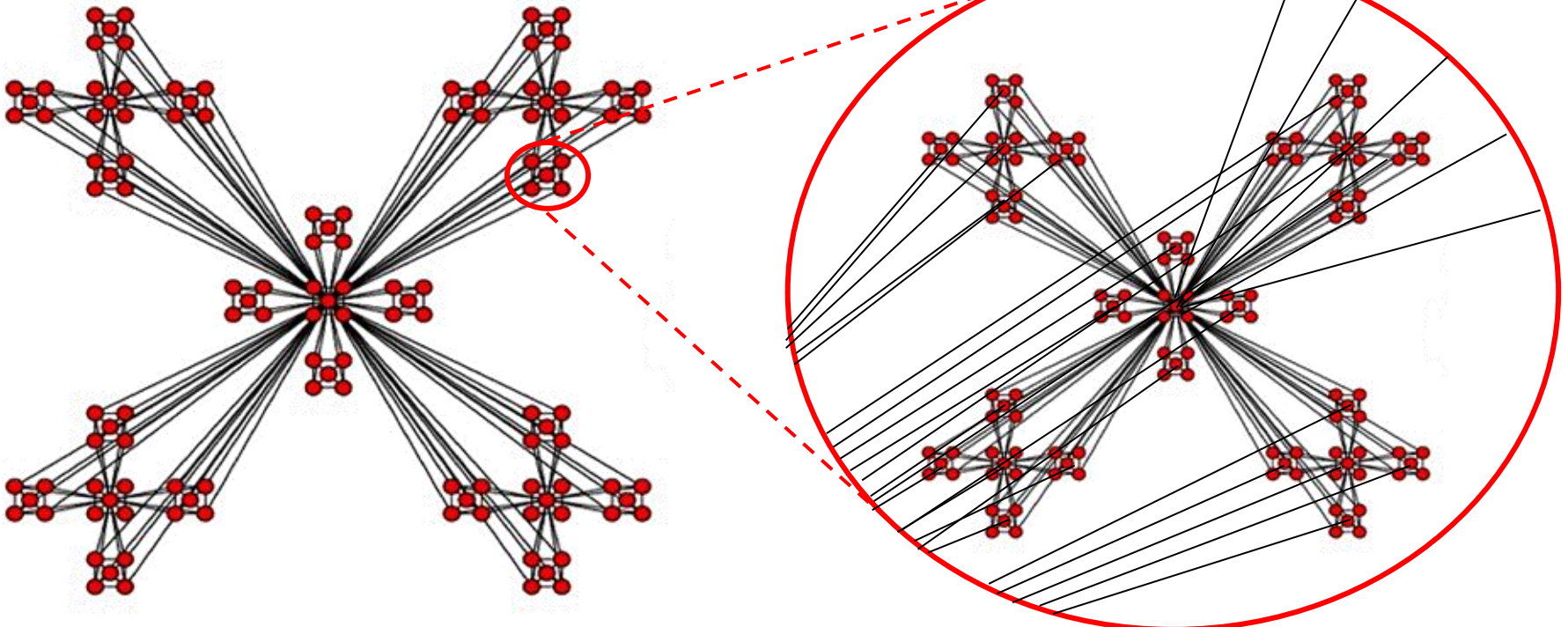


Le reti metaboliche degli organismi dei 3 domini della vita sono **scale-free** networks!

Reti "Scale Free" Gerarchiche: decifrare la Rete della Vita



«[...] La trama della vita è fatta di reti all'interno di reti. A ogni scala d'ingrandimento, in osservazioni più ravvicinate, i nodi della rete si rivelano come reti più piccole. La nostra tendenza è quella di ordinare questi sistemi, inseriti tutti all'interno di sistemi più grandi, secondo uno schema gerarchico, ponendo i sistemi più grandi al di sopra di quelli più piccoli in una struttura a piramide. Ma questa è una rappresentazione umana. In natura non c'è alcun «sopra» o «sotto», e non esistono gerarchie. Ci sono solo reti dentro altre reti...»



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**

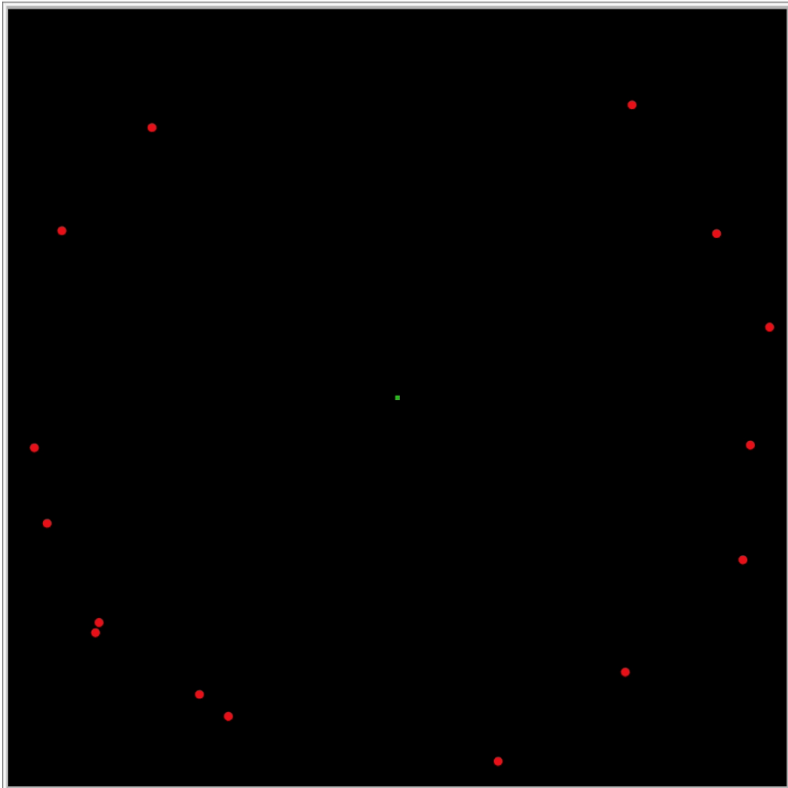
In realtà il meccanismo è molto semplice ed è ben noto a tutti...

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)



DLA.nlogo



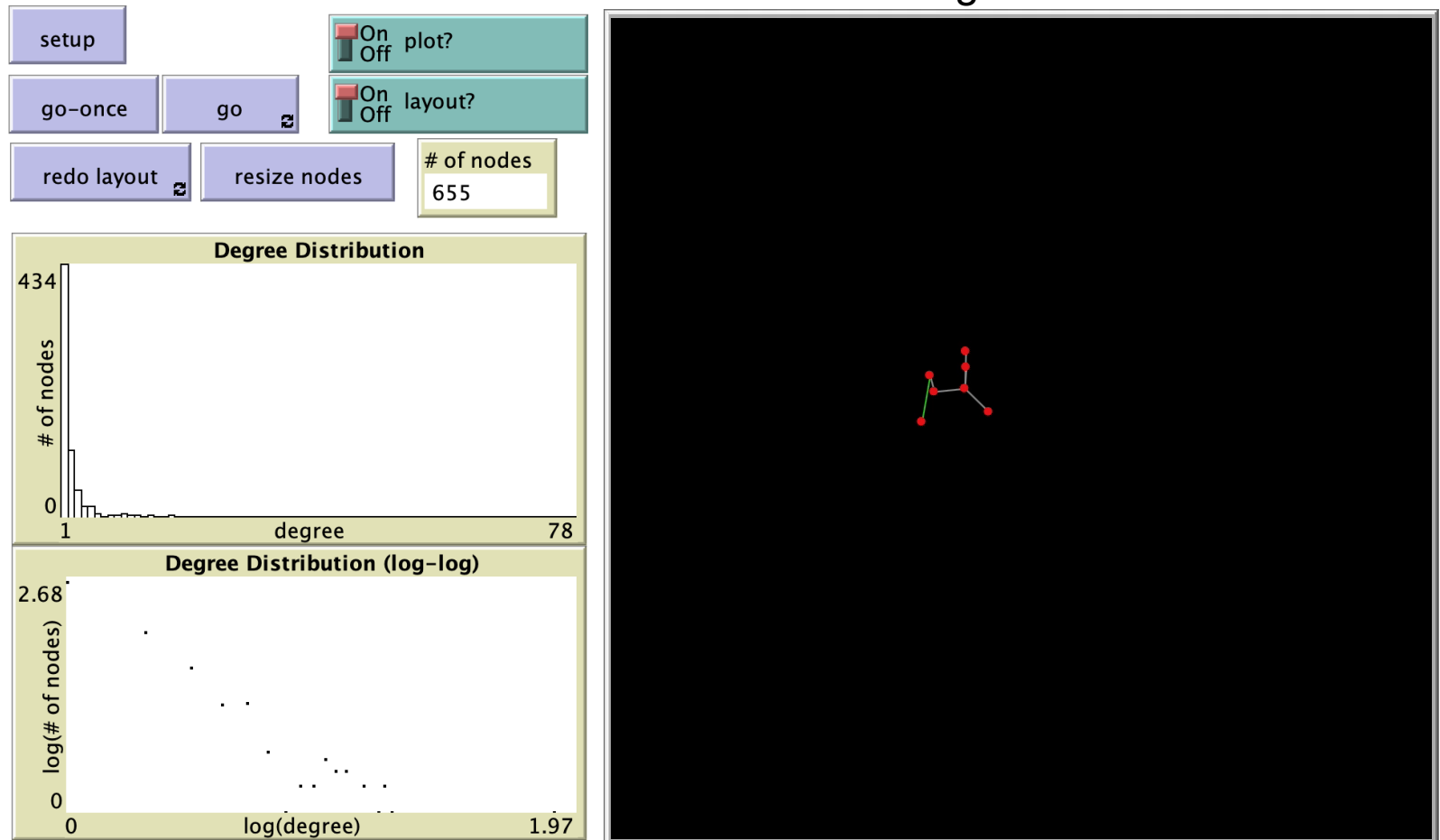
**Aggregazione di molecole
limitata dalla diffusione**

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

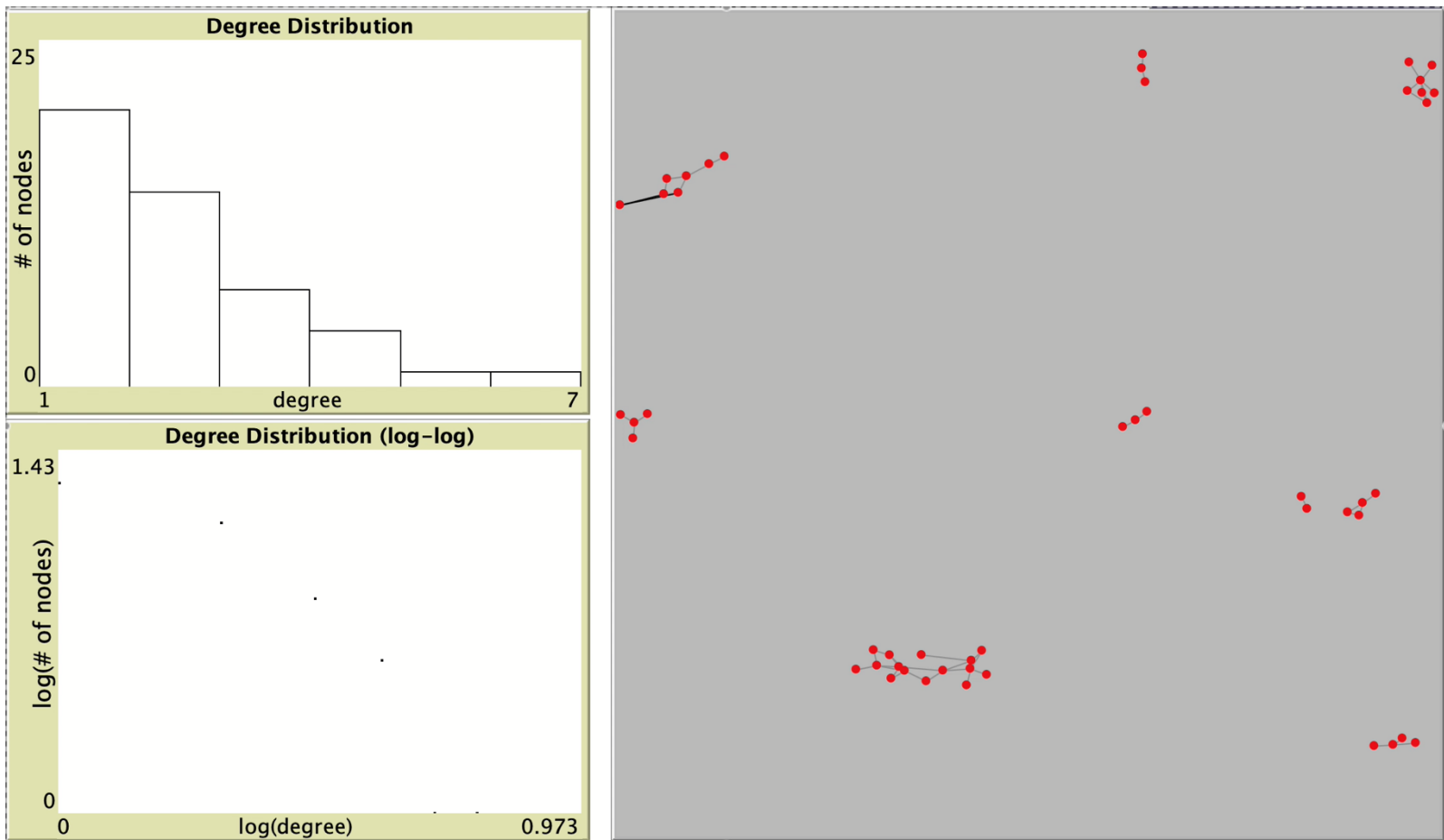


PREFERENTIAL ATTACHMENT

(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.

Multiple-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...**

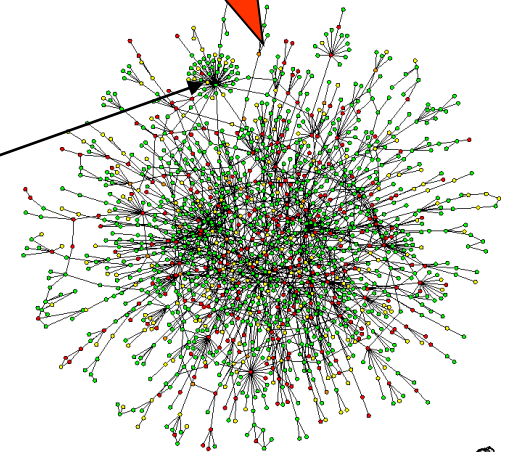
**...se ci sono costi o
limiti di carico
(es. Centrali Elettriche)**



**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**



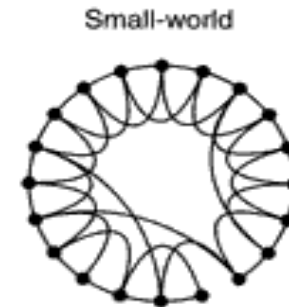
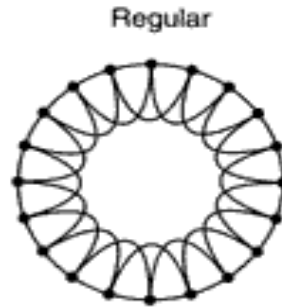
**Reti small world
aristocratiche**

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

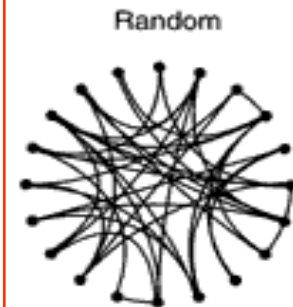


VANTAGGI-SVANTAGGI DELLE RETI SCALE-FREE

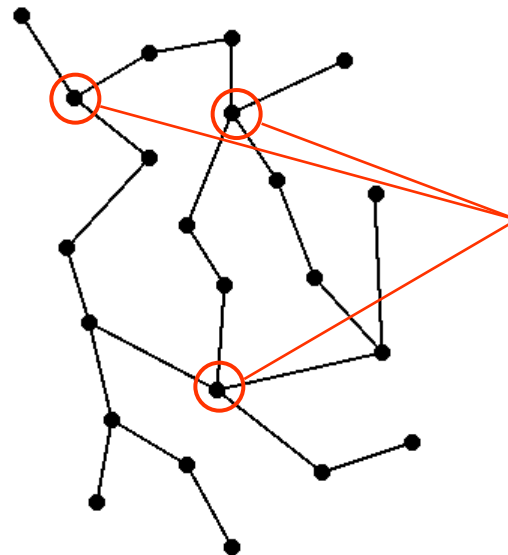
1. Maggiore efficienza nella circolazione della informazione



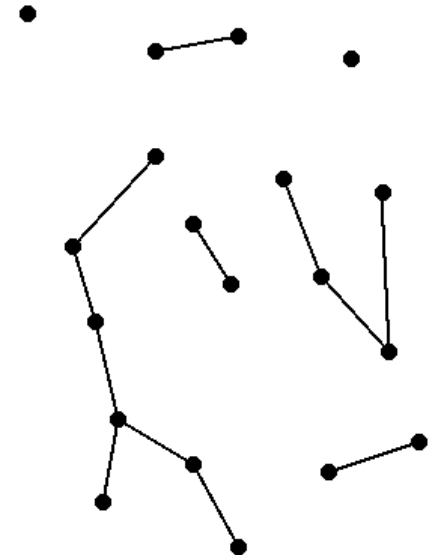
La forza dei legami deboli!



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



node failure



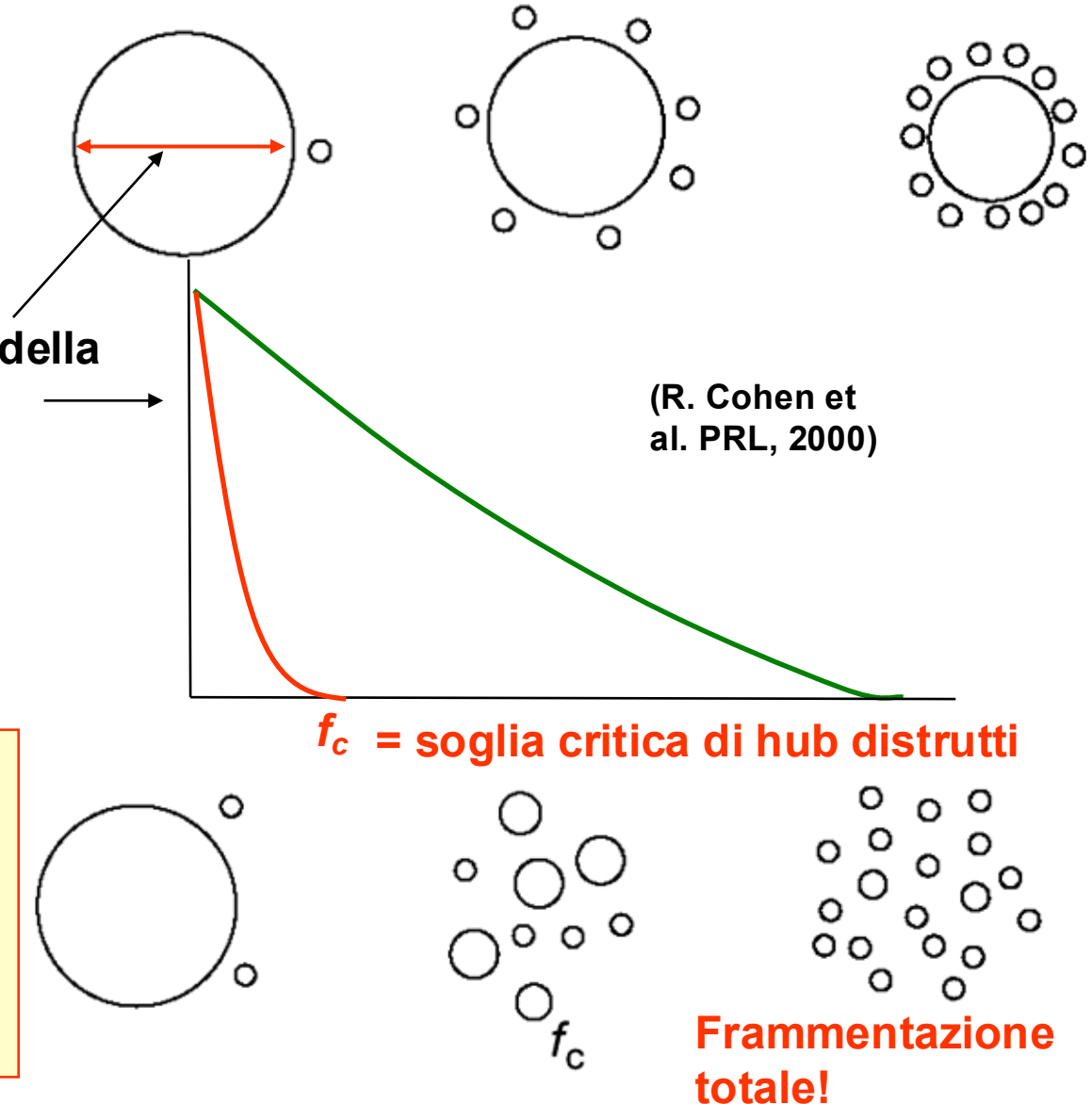
VANTAGGI-SVANTAGGI DELLE RETI SCALE-FREE

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!





EFFETTI COLLATERALI IN UN MONDO DI RETI E SISTEMI COMPLESSI

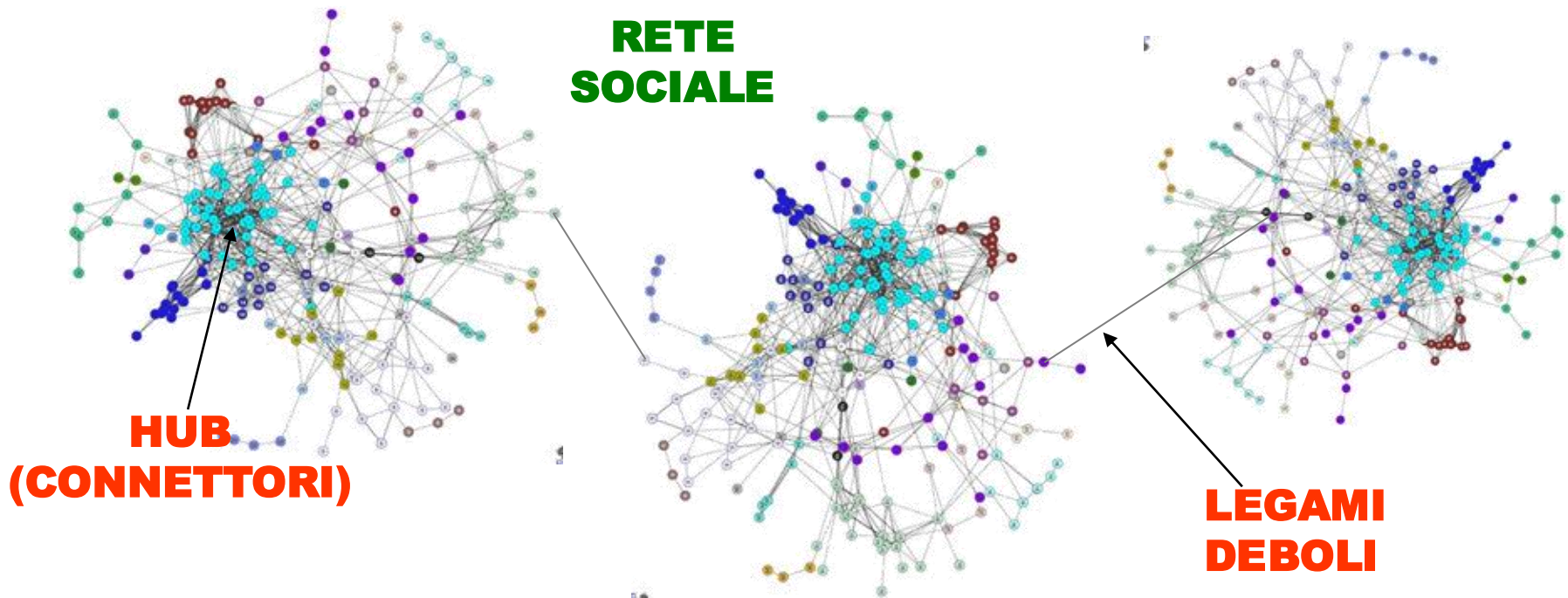


Vulnerabilità delle Reti di Contatti Sociali → Epidemie

RETI REGOLARI: L'epidemia rimane **circo**scritta a causa della mancanza di legami deboli ("gruppi chiave").

RETI SMALL WORLD 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 SCALE FREE: La presenza di **hubs** azzerla la soglia critica: quindi le malattie e i virus si diffondono in ogni caso! (Vespignani-Pastor Satorras - 2001). Questo rende le reti scale-free estremamente **vulnerabili**...

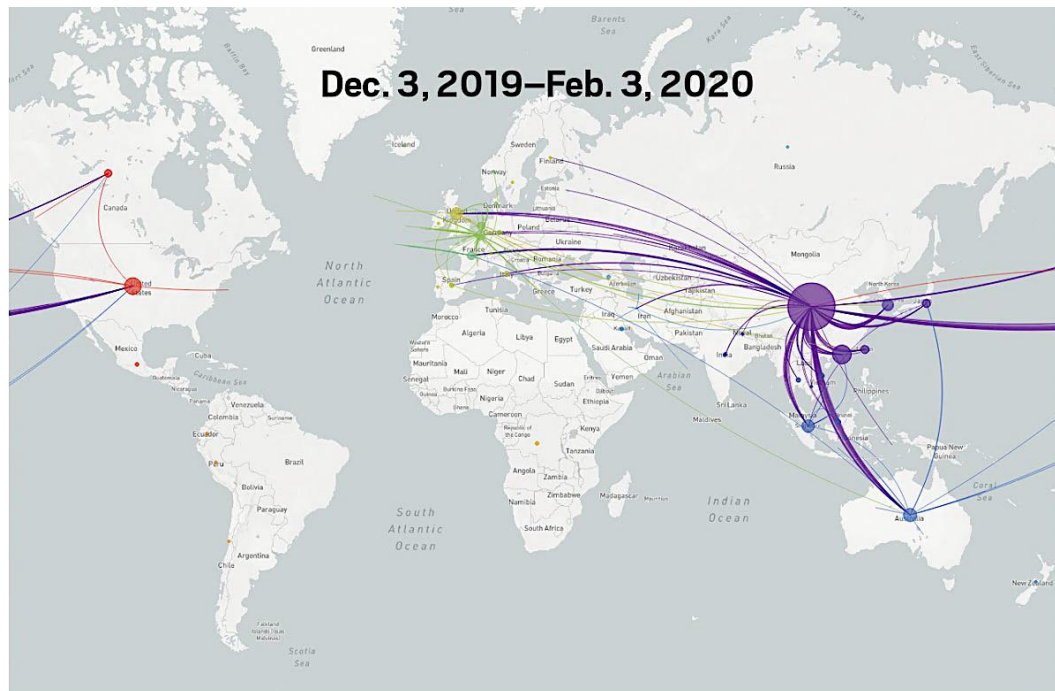


Vulnerabilità delle Reti di Contatti Sociali → Epidemie

RETI REGOLARI: L'epidemia rimane **circonscritta** a causa della mancanza di legami deboli ("gruppi chiave").

RETI SMALL WORLD 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 SCALE FREE: La presenza di **hubs** azzerava la soglia critica: quindi le malattie e i virus si diffondono in ogni caso! (Vespignani-Pastor Satorras - 2001). Questo rende le reti scale-free estremamente **vulnerabili**...

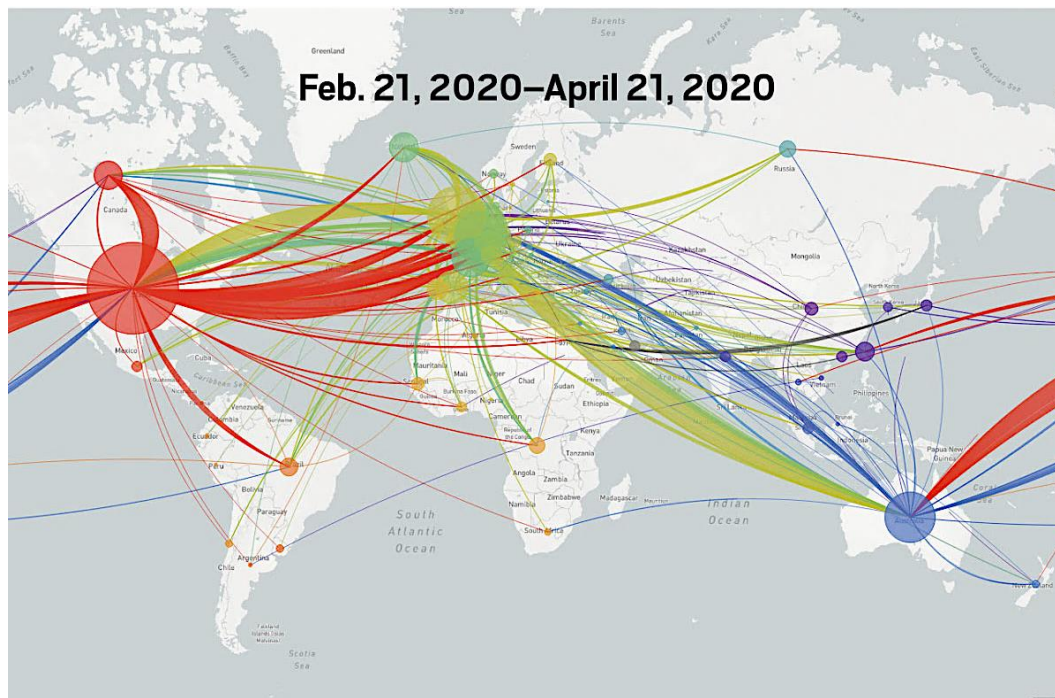


Vulnerabilità delle Reti di Contatti Sociali → Epidemie

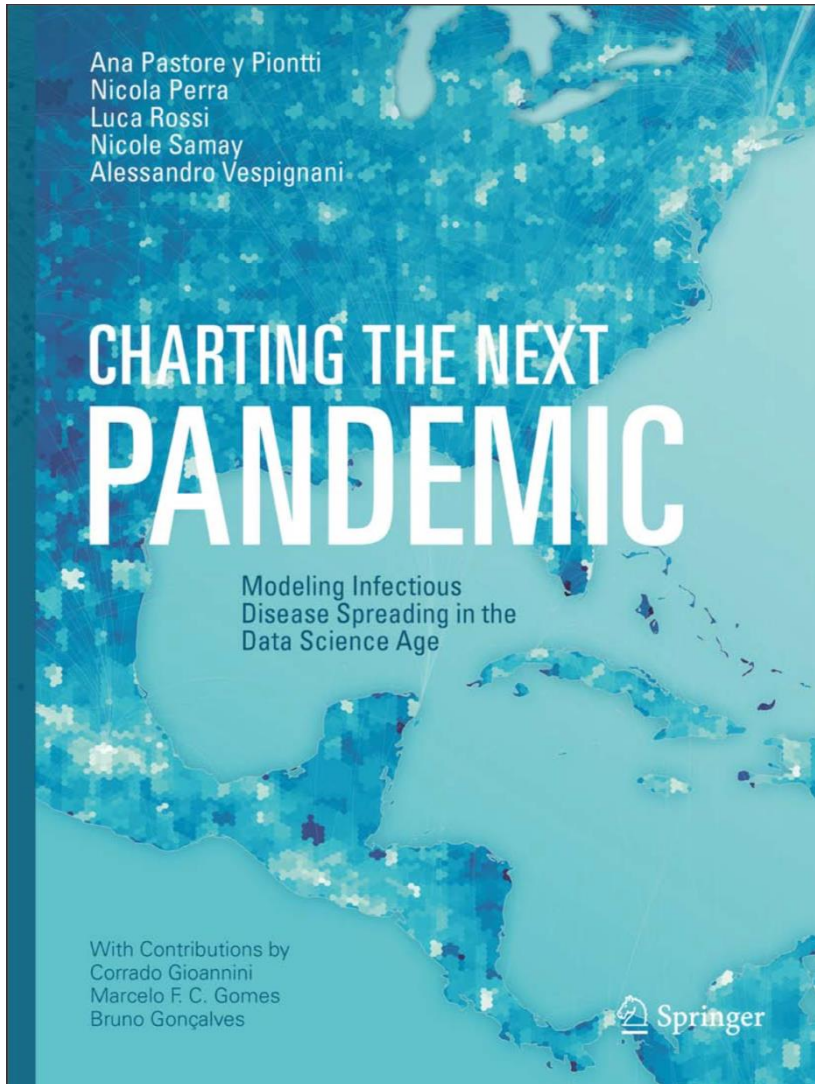
RETI REGOLARI: L'epidemia rimane **circonscritta** a causa della mancanza di legami deboli ("gruppi chiave").

RETI SMALL WORLD 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 SCALE FREE: La presenza di **hubs** azzerava la soglia critica: quindi le malattie e i virus si diffondono in ogni caso! (Vespignani-Pastor Satorras - 2001). Questo rende le reti scale-free estremamente **vulnerabili**...



Vulnerabilità delle Reti di Contatti Sociali → 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

Vulnerabilità delle Reti di Contatti Sociali → Epidemie

Nessun modello matematico è risultato in grado di fare previsioni affidabili relativamente alla pandemia da COVID-19, e ci sono motivi per ritenere che questo tipo di obiettivi siano di fatto irrealizzabili (→ SOC)

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 117 (42) 26190-26
<https://doi.org/10.1073/pnas.2007868117>

ScienceAdvances

Current IssueFirst release papersArchiveAbout ▼

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

 | RESEARCH ARTICLE | NETWORK SCIENCE



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

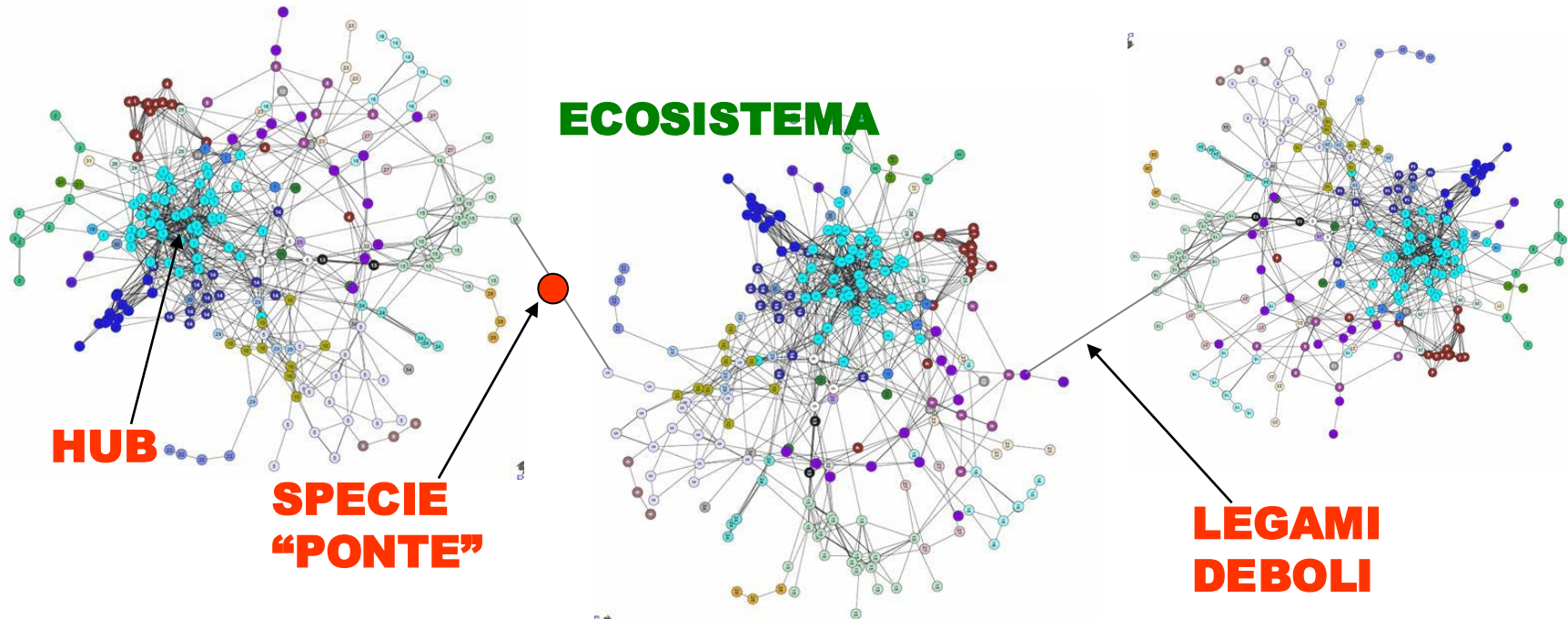
[LUCA GALLO](#) , [MATTIA FRASCA](#) , [VITO LATORA](#) , AND [GIOVANNI RUSSO](#) [Authors Info & Affiliations](#)

Vulnerabilità delle Reti Ecologiche

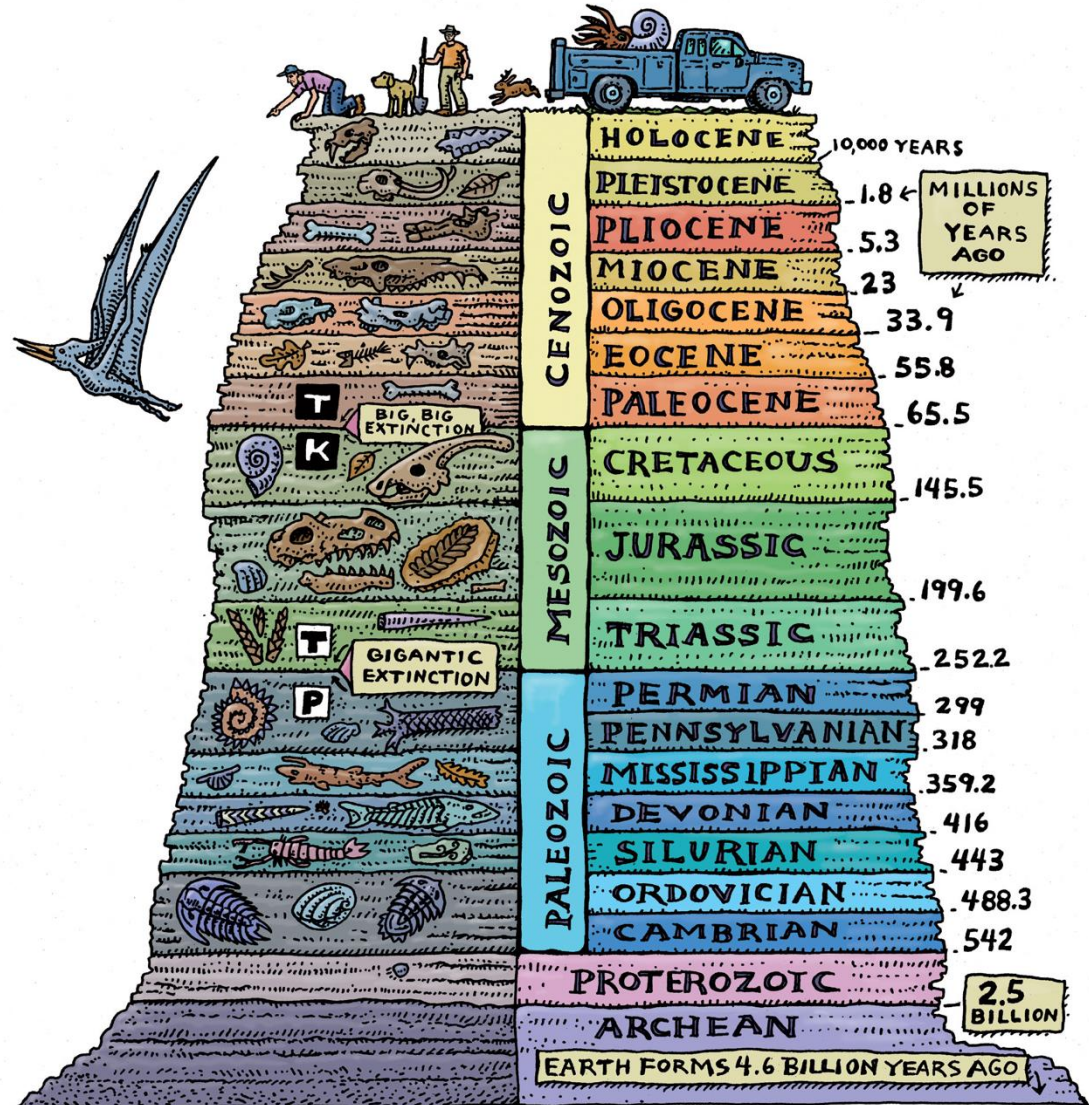
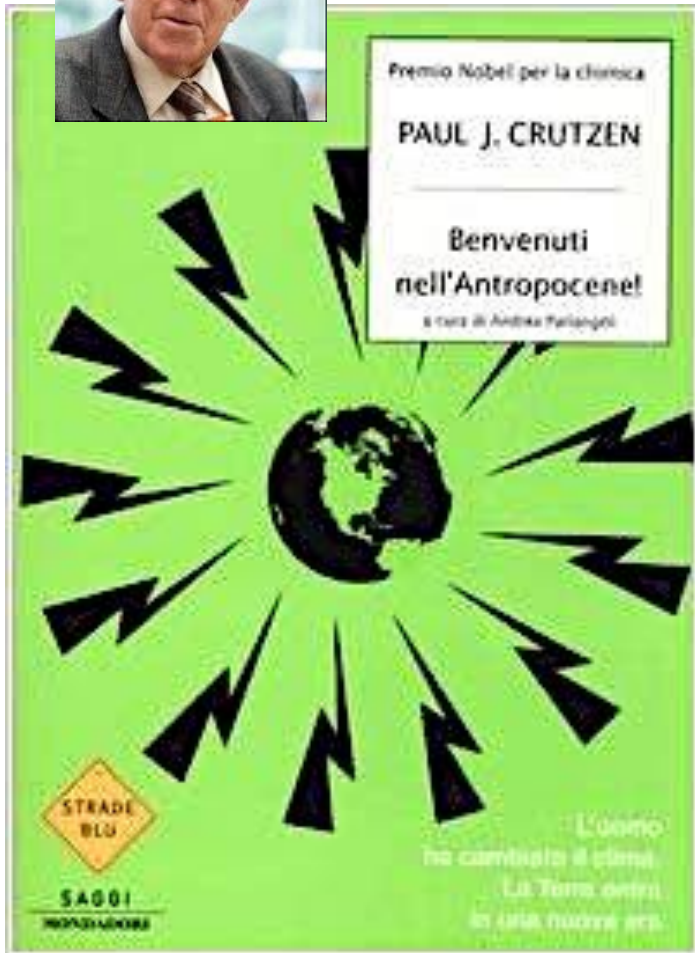
Oggi il tasso di estinzione delle specie viventi nel globo è *mille volte più alto* di quanto non fosse prima della comparsa dell'uomo sulla terra...



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)



Vulnerabilità delle Reti Ecologiche



Vulnerabilità delle Reti Ecologiche

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!

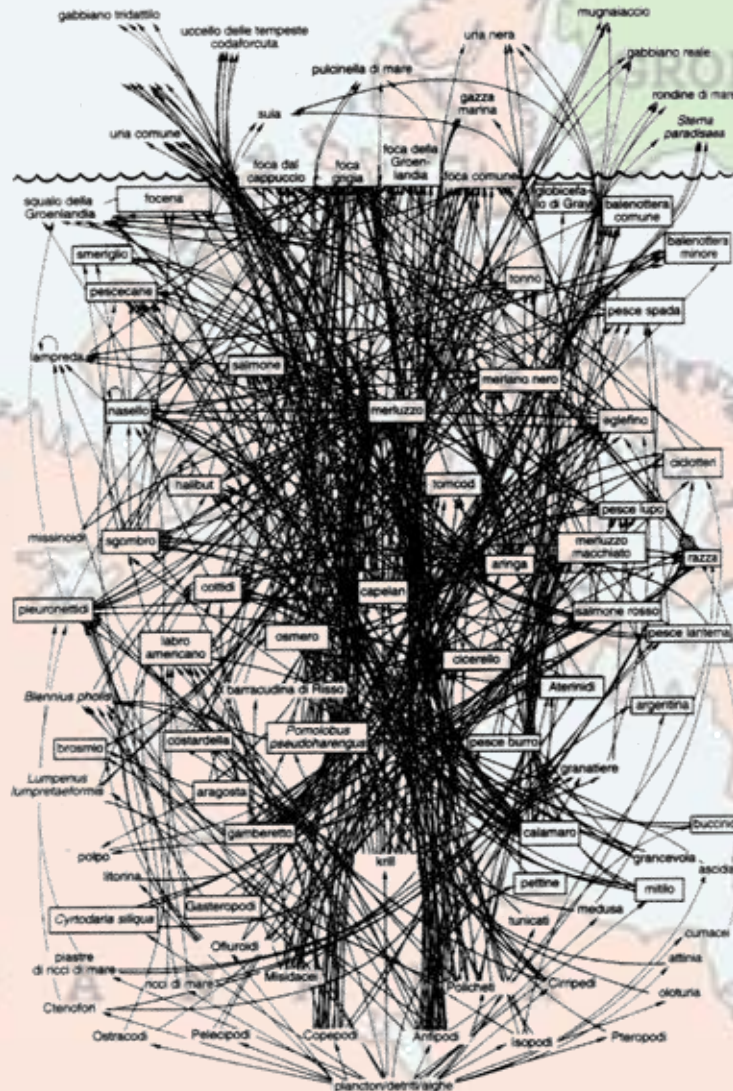


**Soluzione LINEARE:
eliminiamo le foche!**

Vulnerabilità delle Reti Ecologiche

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

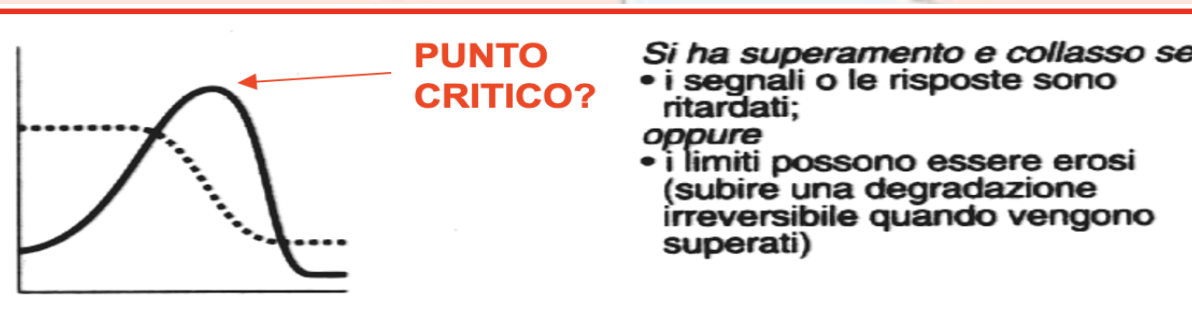
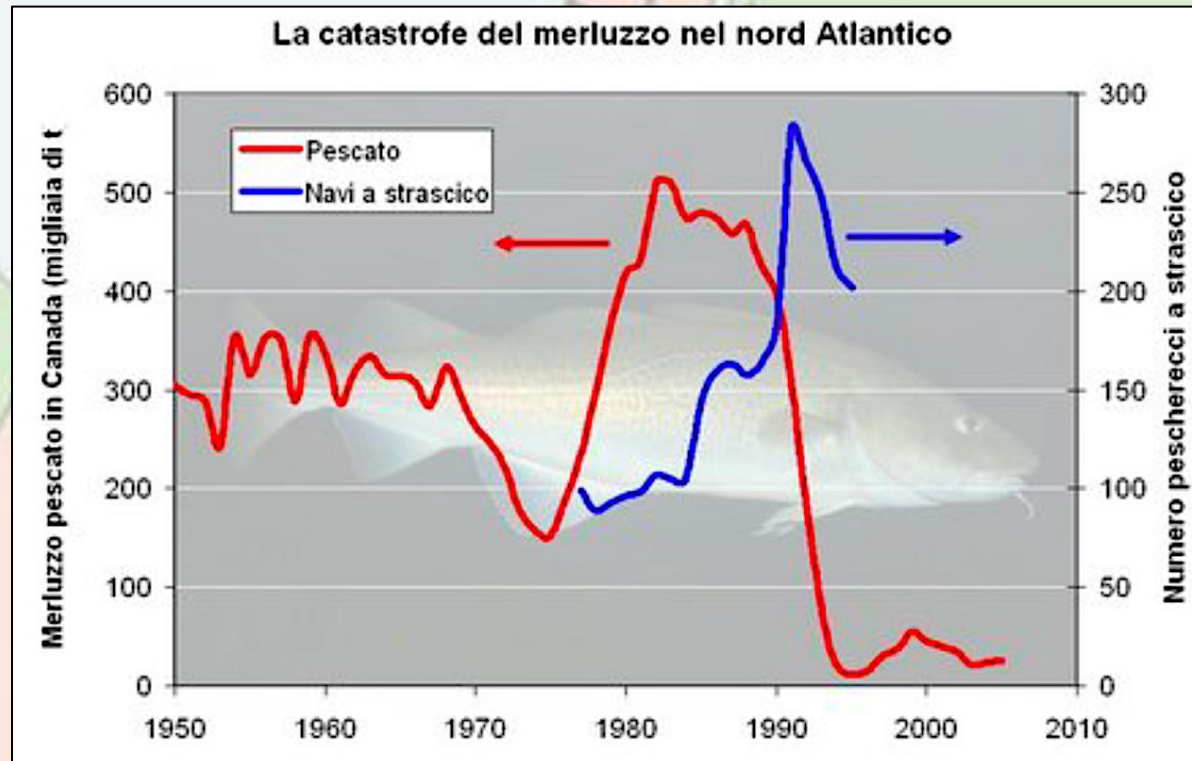
Siccome le foche della Groenlandia si nutrono di merluzzi, il governo Canadese pensò di risolvere il problema **“linearmente”** e sterminò per diversi anni milioni di foche!



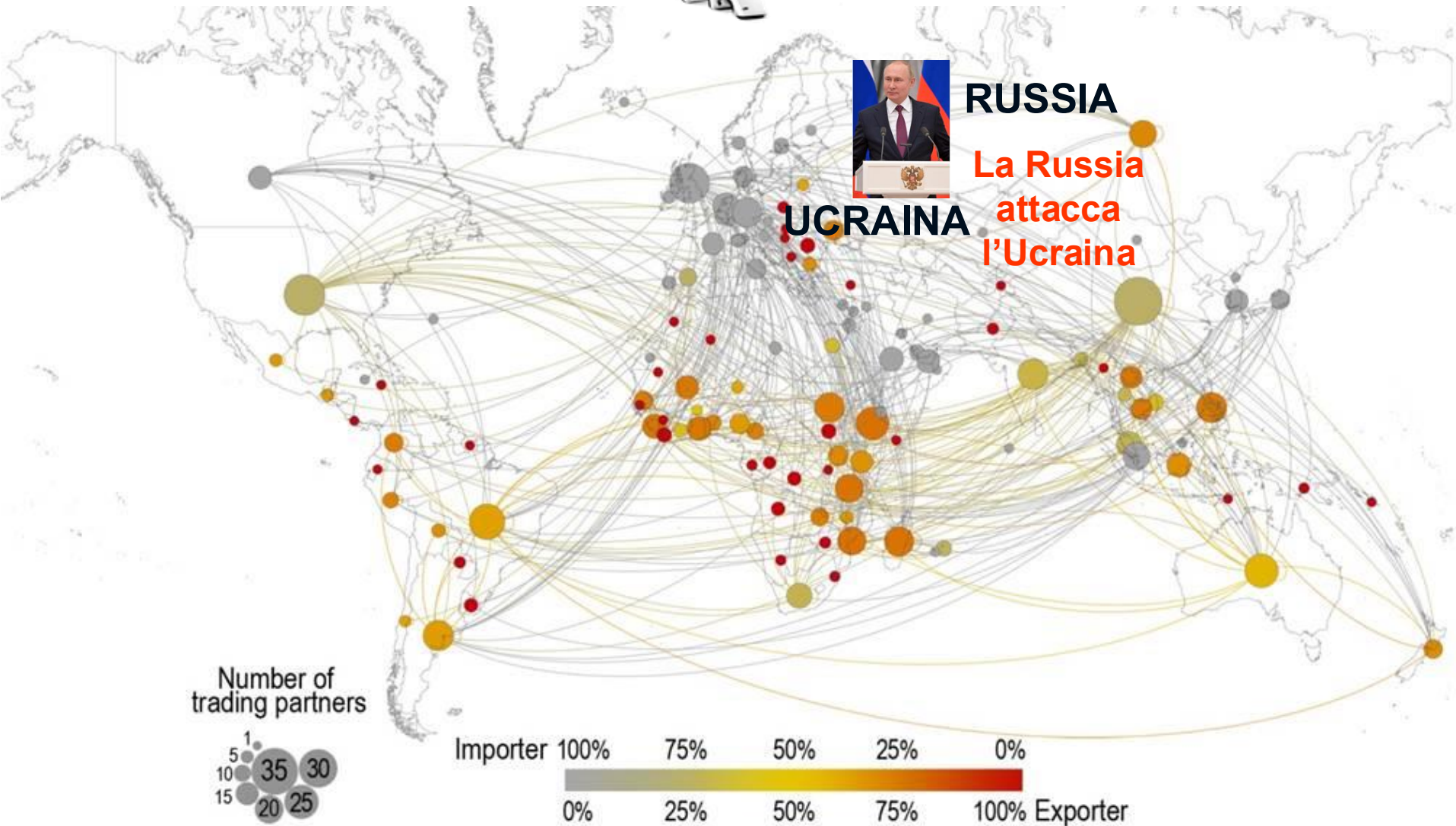
Ma la rete delle relazioni alimentari del nord atlantico è una **rete complessa di tipo scale free** formata da 150 specie diverse che interagiscono in modo **altamente non lineare!**

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!

Vulnerabilità delle Reti Ecologiche



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



Vulnerabilità delle 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: perché 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

Servizio | Lo scenario

Le sanzioni alla Russia un ostacolo più per le imprese italiane

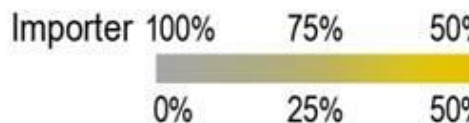
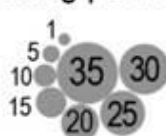
Le aziende della filiera legno-arredo restano tuttora escluse da restrizioni dirette, ma la Russia sempre più isolata penalizza le vendite

di Antonella Scotti

7 giugno 2022

Giugno 2022

Number of trading partners



Carta
Costi saliti del 100% I produttori chiudono

Gas
Bollette su del 130% GRAZIE ALLE sanzioni alla RUSSIA

Agricoltura
Mangimi su del 50% Alle aziende conviene abbattere gli animali

Nichel
Prezzo record: +250% Lavorare con l'acciaio diventa impossibile

Turismo
Addio russi negli hotel Perdiamo 984 milioni

Benzina
Carburanti alle stelle il pieno ci costerà 1.750 euro l'anno

Gasolio troppo caro e tutti i pescherecci di Anzio restano a terra: scarseggia il pesce al mercato

Ad Anzio 24 pescherecci non escono in mare da giorni perché il costo del gasolio è troppo alto.

il Resto del Carlino

Guerra Ucraina Incidente Modena Pullman Di Uor

Home > Economia > Grano e mais sfondano ...

Grano e mais sfondano i 400 euro a tonnellata: è la prima volta in Italia

Lo comunica Cai, Consorzi Agrari d'Italia, in base alla rilevazione della Borsa Merci di Bologna. Stabile il grano duro che non è toccato dalla guerra in corso

11 mar 2022

Vulnerabilità delle 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: perché rischiano di non funzionare. E lo Swift potrebbe essere...

PRIMO PIANO QUI EUROPA

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

27 Febbraio 2022

Febbraio 2022



UCRAINA

**Soluzione LINEARE:
sanzioniamo la Russia!**

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 Scott
7 giugno 2022

Giugno 2022

Guerra in Ucraina

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

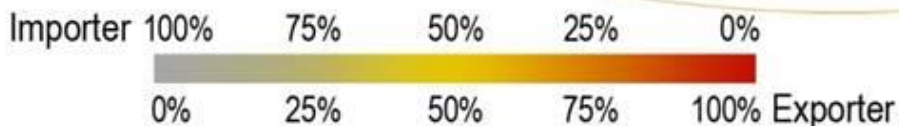
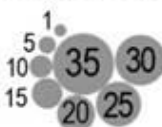
1 Febbraio 2023 - 10:00

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

Andrea Muratore

73

Number of trading partners



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



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

08 maggio 2023 | 18.36
Redazione Adnkronos

Maggio 2023



Guerra in Ucraina

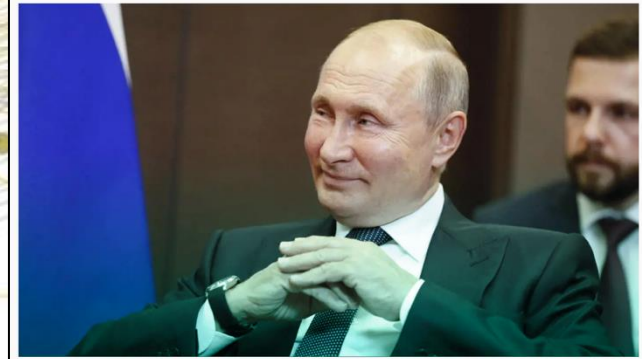
Sanzioni aggirate e Pil in crescita: cosa succede all'economia russa

1 Febbraio 2023 - 10:00

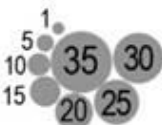
La Russia si mantiene aperta al commercio e il Fmi conferma: il suo Pil si espanderà nel 2023 e nel 2024

Andrea Muratore

73



Number of trading partners



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



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

08 maggio 2023 | 18.36
Redazione Adnkronos

Maggio 2023

Leggi dopo

ECONOMIA

Russia, Fmi rivede al rialzo il pil 2023 (+1,5%). Il Paese guidato da Putin cresce più di Italia e Germania

di Luca Carrello

Luglio 2023

Guerra in Ucraina

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

1 Febbraio 2023 - 10:00

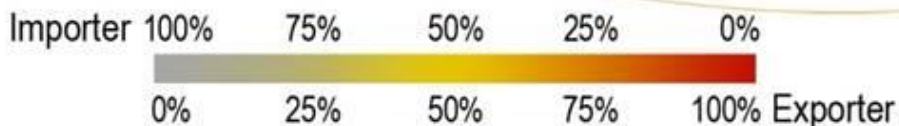
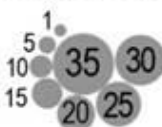
La Russia si mantiene aperta al commercio e il Fmi conferma: il suo Pil si espanderà nel 2023 e nel 2024

Andrea Muratore

73



Number of trading partners



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



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

08 maggio 2023 | 18:36
Redazione Adnkronos

Maggio 2023

Leggi dopo

ECONOMIA

Russia, Fmi rivede al rialzo il pil 2023 (+1,5%). Il Paese guidato da Putin cresce più di Italia e Germania

di Luca Carrello

Luglio 2023

Russia: due anni dopo l'invasione su vasta scala e la guerra di aggressione contro l'Ucraina, l'UE adotta il tredicesimo pacchetto di sanzioni individuali ed economiche

Febbraio 2024

Consiglio dell'UE Comunicato stampa 23 febbraio 2024 10:23

Guerra in Ucraina

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

1 febbraio 2023 - 10:00

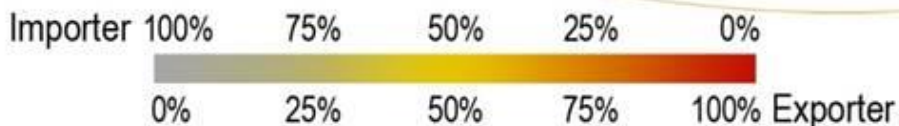
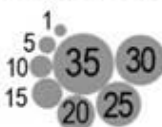
La Russia si mantiene aperta al commercio e il Fmi conferma: il suo Pil si espanderà nel 2023 e nel 2024

Andrea Muratore

73



Number of trading partners



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



Dal mondo ▾ Temi ▾ Agenda 2030 ▾ Framing the World Rubriche ▾ Comunicati Stampa Interviste

Maggio 2024

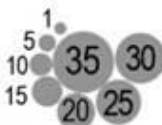
L'economia russa resiste a guerra e sanzioni: il PIL in crescita nel 2024

Consiglio dell'UE Comunicato stampa 23 febbraio 2024 10:23

Russia: due anni dopo l'invasione su vasta scala e la guerra di aggressione contro l'Ucraina, l'UE adotta il tredicesimo pacchetto di sanzioni individuali ed economiche

Febbraio 2024

Number of trading partners



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



Dal mondo ▾ Temi ▾ Agenda 2030 ▾ Framing the World ▾ Rubriche ▾ Comunicati Stampa ▾ Interviste

Maggio 2024

L'economia russa resiste a guerra e sanzioni: il PIL in crescita nel 2024

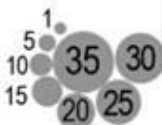
La resilienza dell'economia di guerra russa: uno studio del RUSI

Marzo 2025

🕒 2 Marzo 2025 👤 di Redazione 📁 in Energia e Sicurezza, In evidenza

Nonostante i proclami fiduciosi di molti leader Ue e delle nazioni occidentali che prefiguravano nel 2022 il rapido tracollo economico della Russia a causa delle spese di guerra e delle sanzioni occidentali, Mosca sembra aver retto molto bene a tre anni di conflitto sbugiardando la sicumera con cui Mario Draghi, Ursula von der Leyen e decine di leader politici sulle due sponde dell'Atlantico avevano dato per spacciati la Federazione Russa e Vladimir Putin.

Number of trading partners



0% 25% 50% 75% 100% Exporter

Vulnerabilità delle Reti Commerciali



Newsletter

Ottobre 2025

Invasione russa in Ucraina — Energia — Israele — U

Home » [Politica Estera](#) » L'Ue adotta il 19esimo pacchetto di sanzioni contro la Russia. Kallas: "Allineati con gli Usa"

L'Ue adotta il 19esimo pacchetto di sanzioni contro la Russia. Kallas: "Allineati con gli Usa"

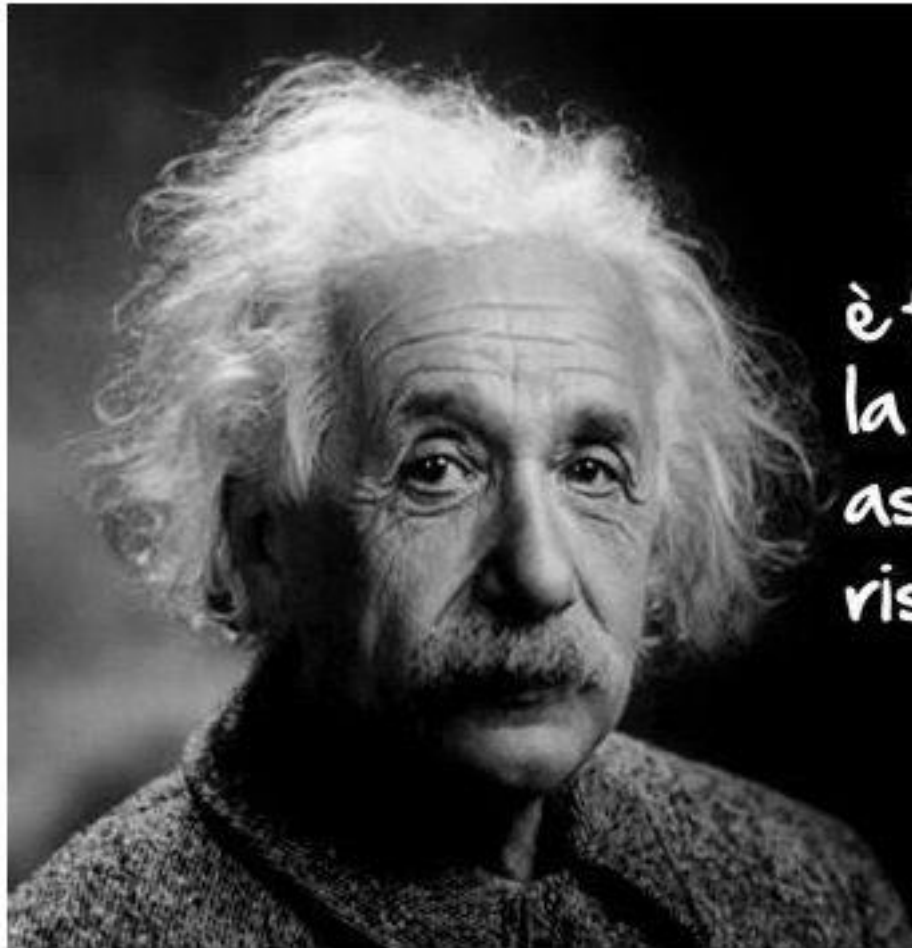
La Slovacchia ritira la sua riserva dopo aver ottenuto garanzie sull'approvvigionamento energetico. Nel mirino dei Ventisette il gnl russo e le entità dei Paesi terzi che favoriscono l'elusione. Per la prima anche Washington colpisce i giganti petroliferi di Mosca



di **Francesco Bortoletto** [✕ bortoletto_f](#) — 23 Ottobre 2025 in [Politica Estera](#)



Vulnerabilità delle Reti Commerciali



"Follia
è fare sempre
la stessa cosa
aspettandosi
risultati diversi"

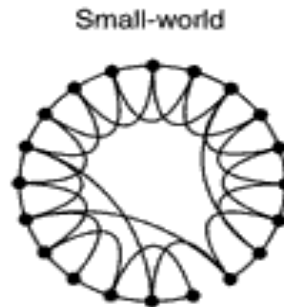
Albert Einstein



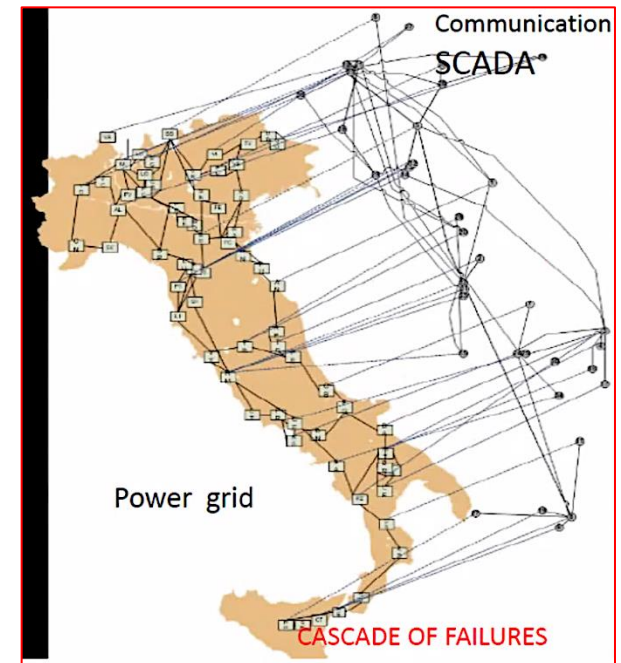
Vulnerabilità delle Reti Elettriche: rischi di Black-Out

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 per effetto domino (come è accaduto nel **2003** sia negli **Stati Uniti** – ad Agosto - che in **Italia** – a Settembre).

RETE ELETTRICA DEGLI STATI UNITI



RETE ELETTRICA ITALIANA



Vulnerabilità delle Reti Elettriche: 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 per effetto domino (come è accaduto nel **2003** sia negli **Stati Uniti** – ad Agosto - che in **Italia** – a Settembre).

Dieci anni fa il super blackout che sparse l'Italia

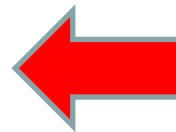
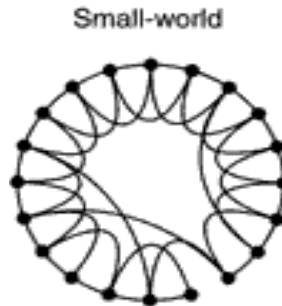


di Alessandro Marzo Magno

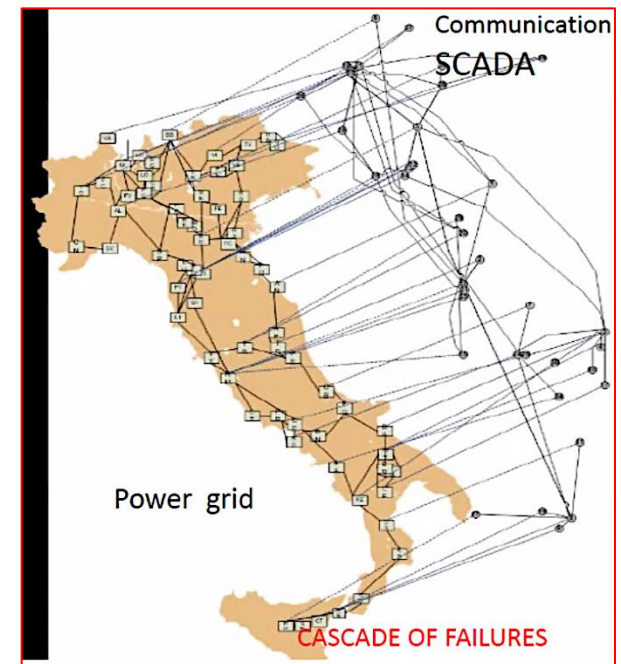
Era il 28 settembre 2003



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.



RETE ELETTRICA ITALIANA

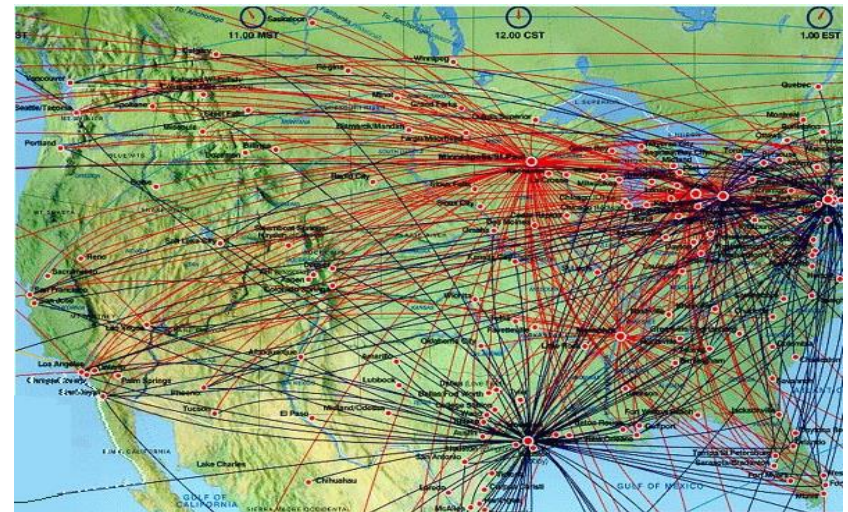


Vulnerabilità delle Reti Informatiche: rischi di collasso

12 GENNAIO 2023 09:16

Usa, traffico aereo in tilt per **un file** danneggiato nel sistema

Il guasto che negli Usa ha portato allo [stop del traffico aereo](#) è stato provocato da un file danneggiato nel sistema Notam, che serve a inviare allerta di sicurezza ai piloti, e nel suo backup. Secondo la Cnn, i dirigenti della Federal Aviation Administration hanno quindi deciso di riavviare il sistema all'alba di mercoledì, prima che il traffico aereo diventasse intenso. Il sistema però si è ripristinato in modo incompleto, costringendo la Faa a sospendere tutti i voli per alcune ore.

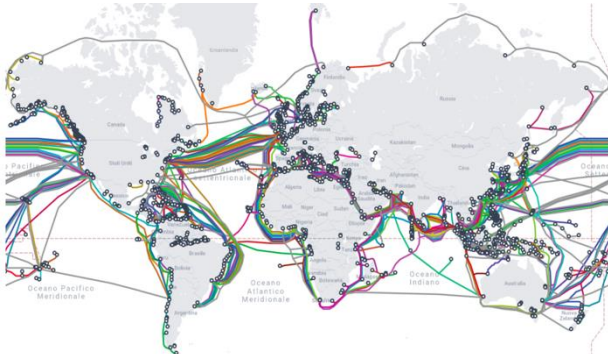


Vulnerabilità delle Reti Informatiche: rischi di collasso



INTERVENTI

I cavi sottomarini infrastruttura chiave per internet e la sicurezza dei dati



Internet funziona in tutto il pianeta grazie a una fitta rete di cavi sottomarini, i quali dunque permettono di comunicare da una parte all'altra del globo. Attualmente, l'Internet mondiale dipende al 95% da tali cavi e si stima che la rete sia lunga 1.4 milioni di km (37 volte la circonferenza della Terra!).



Il Professor Maurizio Mensi, membro dell'Organo di vigilanza sulla rete TIM, consigliere del Comitato economico e sociale europeo (CESE) e componente dell'Osservatorio CESE della transizione digitale e del mercato interno ne ha parlato con Stefano Cardini in occasione dell'articolo pubblicato sulla rivista The Good Life Italia lo scorso 16 dicembre 2020.

I nostri dati corrono lungo dorsali sottomarine, che sono il sistema nervoso del pianeta. Questo li espone a rischi?

La rete dei cavi costituisce la "colonna vertebrale" dell'Internet globale, essenziale per il commercio e le comunicazioni internazionali. Si tratta di tubi in silice del diametro di un idrante da giardino protetti da una guaina protettiva, adagiati lungo le dorsali oceaniche che sono pericolosamente esposti al sabotaggio e ad altre manipolazioni.

Se i cavi sottomarini fossero tagliati o interrotti il danno provocato alla vita e all'economia mondiale sarebbe devastante in quanto su di essi scorrono gran parte dei dati e delle comunicazioni.

Nel 2008 una nave che cercava di ormeggiare al largo delle coste egiziane ha tranciato un cavo, mettendo fuori uso il servizio Internet per 75 milioni di persone in almeno tre paesi. Nel 2019 è stata un'ancora trascinata lungo il fondo dell'oceano a causare un blackout a Tonga, costringendo gli abitanti dell'isola, le imprese, le agenzie governative e i turisti ad affidarsi al collegamento satellitare fino alla ripresa del regolare servizio. All'inizio del 2020 lo Yemen e i suoi cittadini, così come l'intera regione del Mar Rosso, hanno avuto una connessione di rete molto lenta in seguito alla rottura di un cavo sottomarino.

Vulnerabilità delle Reti di Trasporto: rischi di collasso

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 /



Vulnerabilità delle Reti di Trasporto: rischi di collasso

≡ sky tg24

TRUMP

EURO 2024

V

ECONOMIA

News

Approfondimenti

Finanza E Me

ECONOMIA

Guasto informatico, aeroporti e migliaia di voli bloccati: cosa succede ora

19 lug 2024 - 15:09

©Ansa

6.855 voli cancellati in tutto il mondo!

12-hour timelapse of American Airlines, Delta, and United plane traffic after what was likely the biggest IT outage in history forced a nationwide ground stop of the three airlines.

[Traduci post](#)



1:59 PM · 19 lug 2024 · 13,5 Mln visualizzazioni

Un errore di aggiornamento del software CrowdStrike ha causato problemi ai sistemi di Microsoft, mandando in tilt dispositivi e scali aerei di tutto il mondo. I principali problemi si sono registrati nella vendita di biglietti e ai check-in, per le procedure di accettazione dei passeggeri, che sono andate in blocco.

Vulnerabilità delle Reti di Trasporto: rischi di collasso

MENU CERCA

LA STAMPA

IL QUOTIDIANO ABBONATI 1459103 GDCJDJD

Un chiodo blocca i treni, il giorno nero dei ritardi è costato 40 milioni a 500 mila viaggiatori

Ogni ora persa vale 20 euro a persona, da sommare a tutte le altre spese. Da luglio tre mesi difficili per l'alta velocità con la puntualità in caduta libera

PAOLO BARONI

03 Ottobre 2024 Aggiornato alle 09:26 3 minuti di lettura

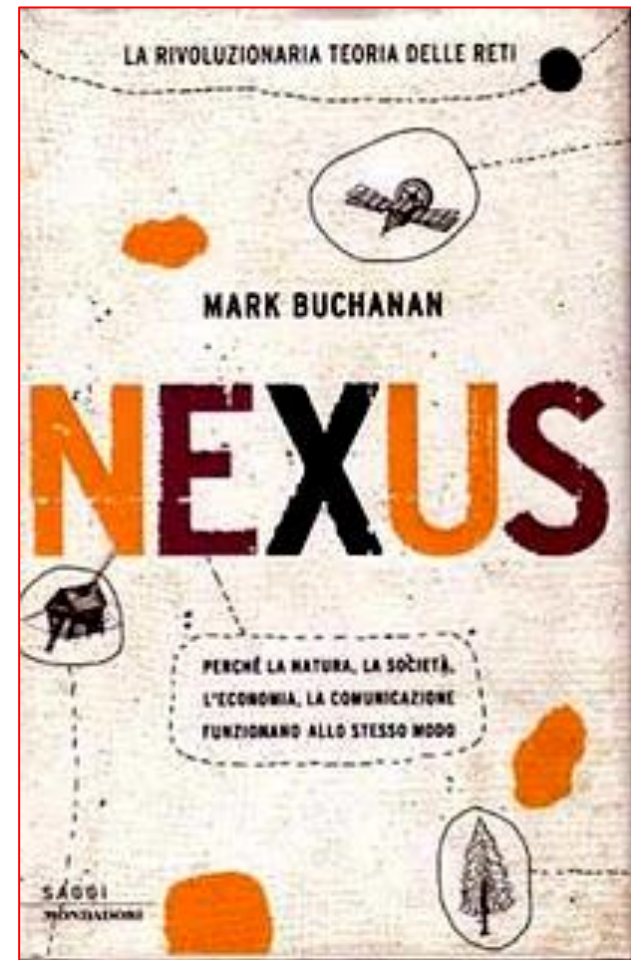


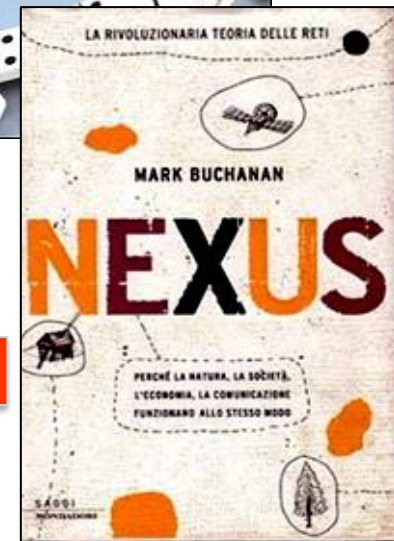


Mark Buchanan

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

2004 – Mondadori (Oscar Saggi)

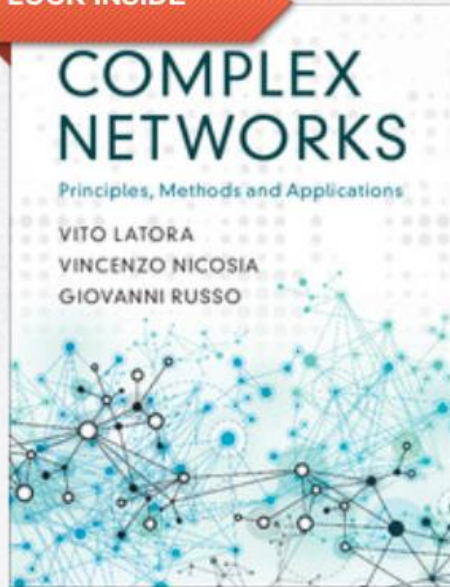




La Legge di
Potenza



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

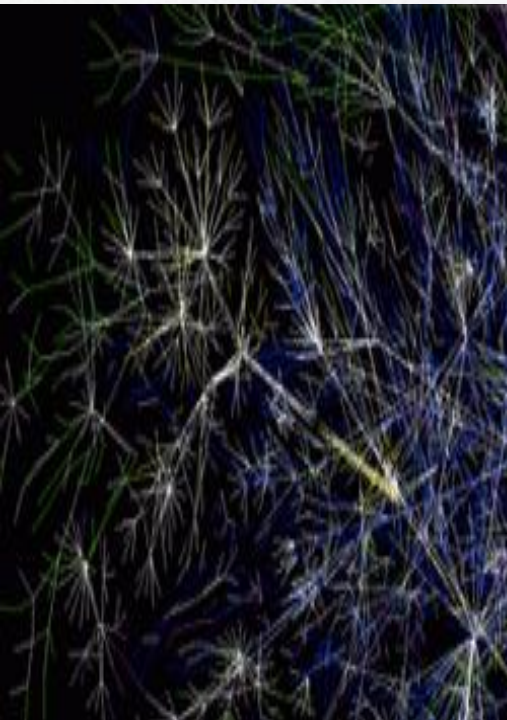
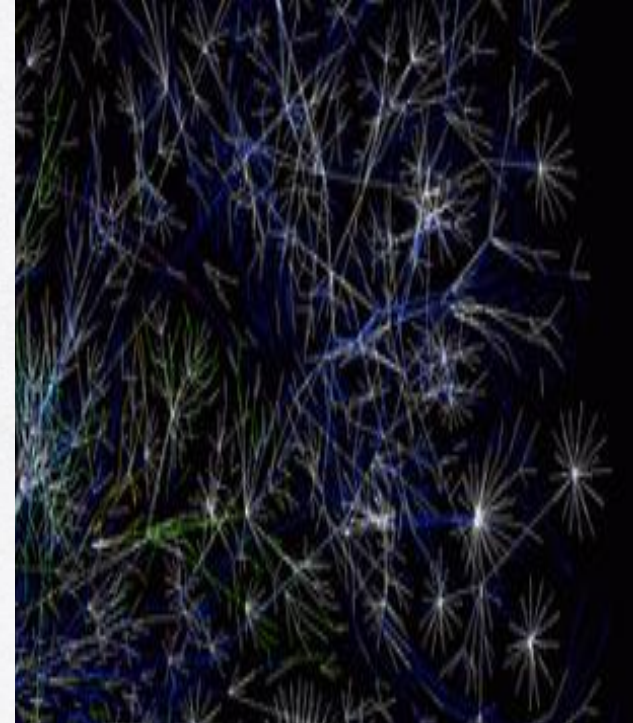
DATE PUBLISHED: September 2017

AVAILABILITY: In stock

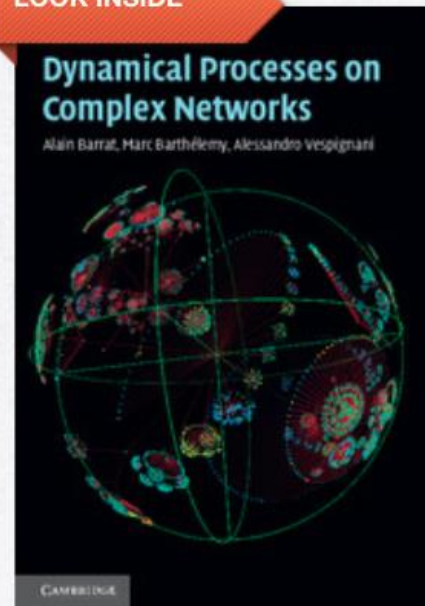
FORMAT: Hardback

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](#)