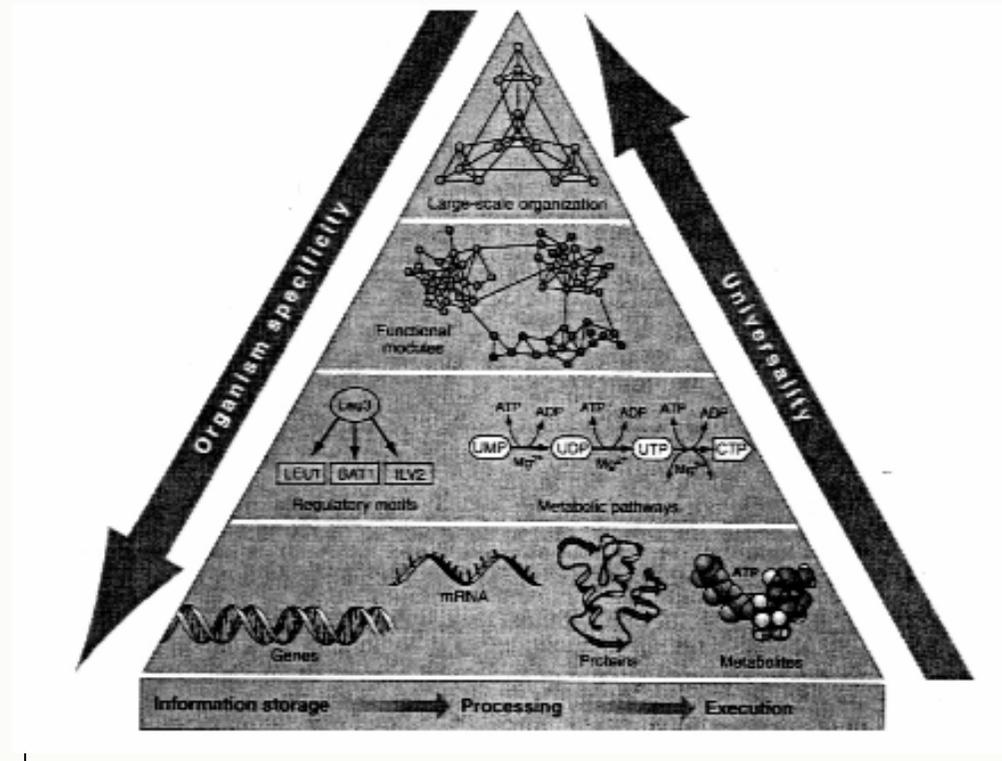


Riassumendo...

Moltissimi sistemi del mondo reale presentano
la stessa struttura: sono reti prive di scala!

Scale-free networks



Ma **COME** si formano queste reti?

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

I ricchi diventano sempre più ricchi!

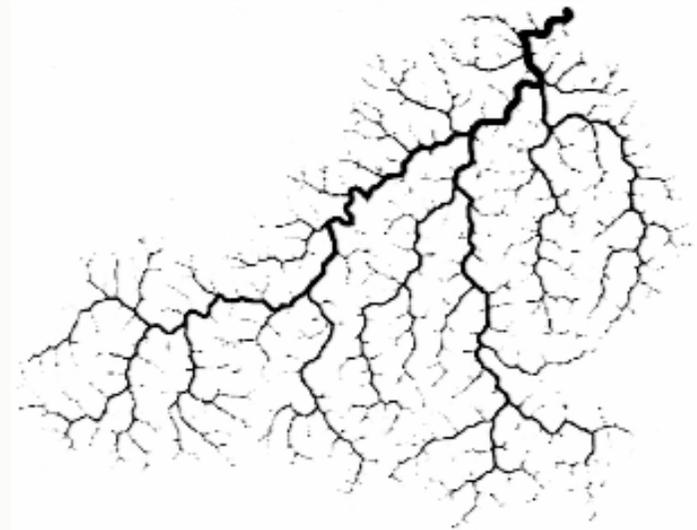


2



Aggregazione di molecole
limitata dalla diffusione

3

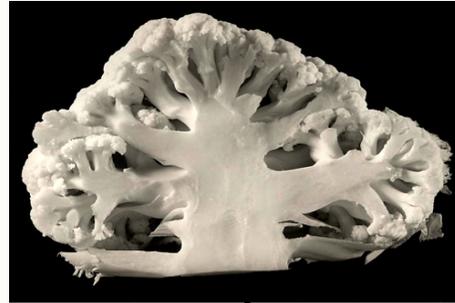


Rete fluviale generata da
un processo di erosione

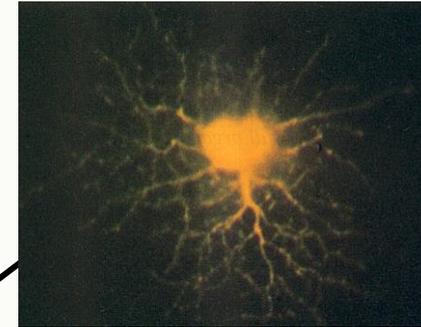
**Con questa semplice regola si generano spontaneamente
sia l'autosimilarità che la legge di potenza!**

autosimilarità in natura

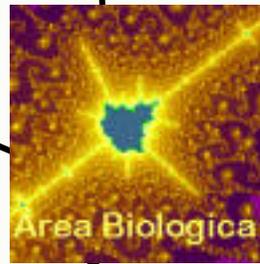
cavolfiore



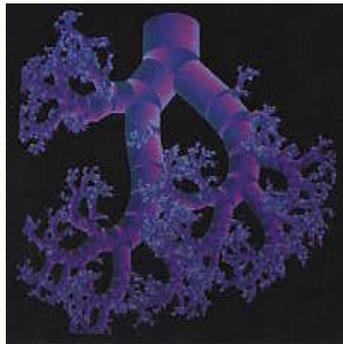
foglie



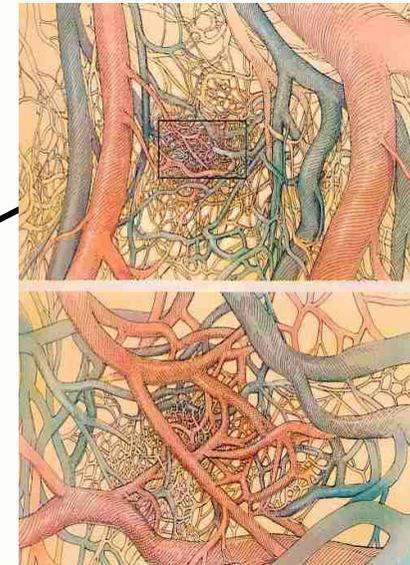
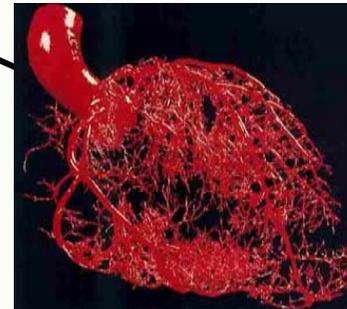
neuroni



bronchi



cuore



Attacco Preferenziale

I nodi ricchi di links diventano sempre più ricchi...

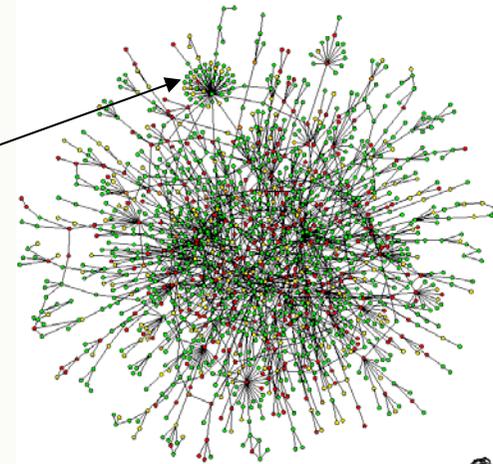
ci sono costi o
limiti di carico

non c'è alcun costo o
limite di carico



**Reti piccolo mondo
egualitarie**

Si formano gli
"hub", ovvero nodi
iperconnessi



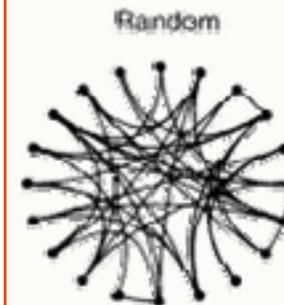
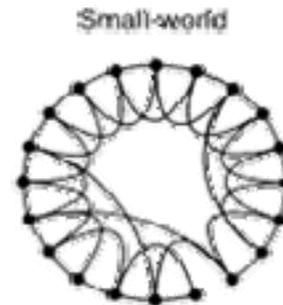
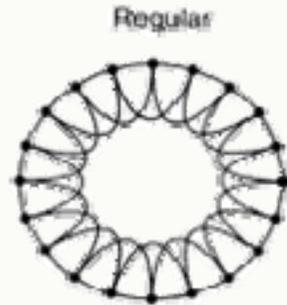
**Reti piccolo mondo
aristocratiche**



Ma **PERCHE'** la maggior parte dei sistemi complessi
evolve *spontaneamente* in reti piccolo mondo?

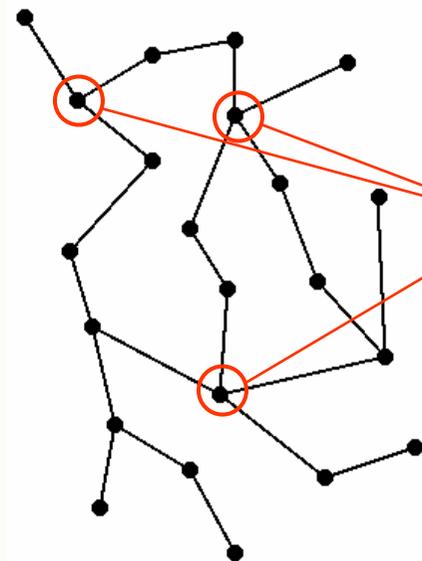
Vantaggi delle reti piccolo mondo

1. Maggiore efficienza nella circolazione della informazione

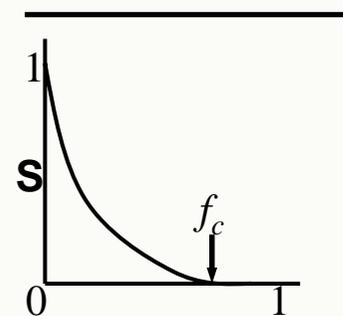


La forza dei legami deboli!

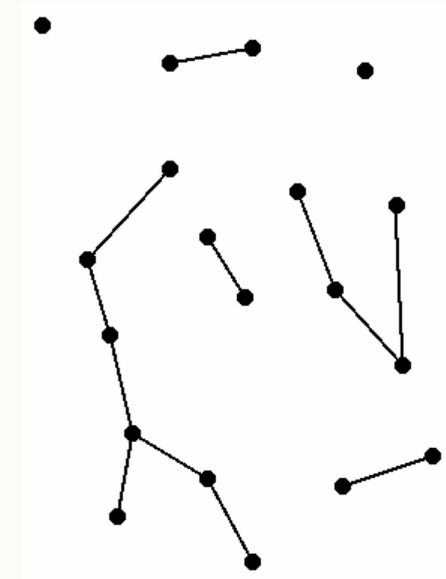
2. Alta tolleranza agli errori, ai guasti casuali e agli attacchi non organizzati



node failure

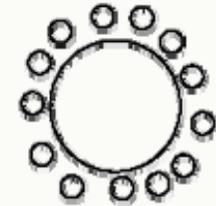
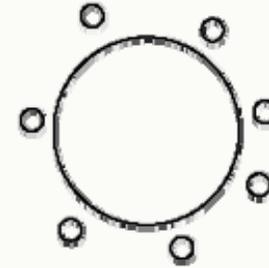
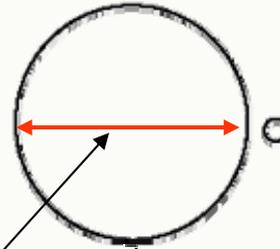


Frazione di nodi eliminati, f



Il tallone di Achille delle reti piccolo mondo

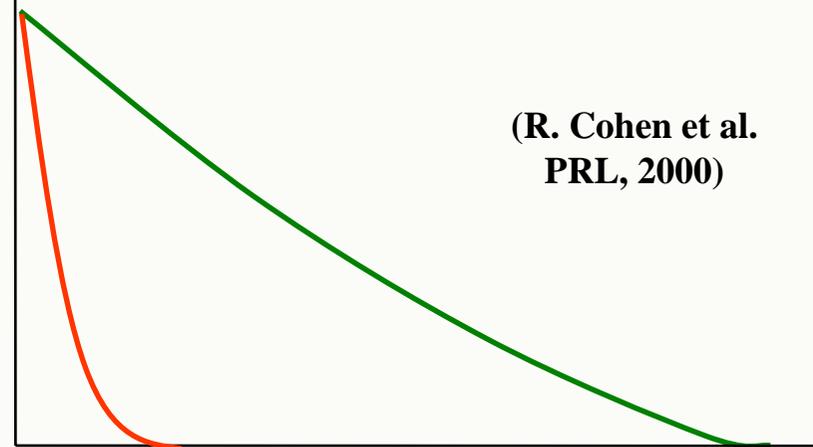
L'alta tolleranza agli errori o ai guasti casuali impedisce la frammentazione totale del sistema...



Diametro della Rete

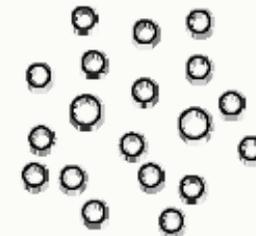
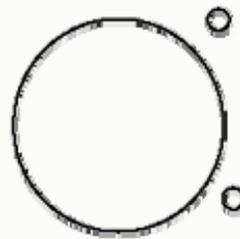
(R. Cohen et al.
 PRL, 2000)

ma...



f_c = soglia critica di hub distrutti

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



Frammentazione totale!

Soglie critiche e Transizioni di Fase

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...



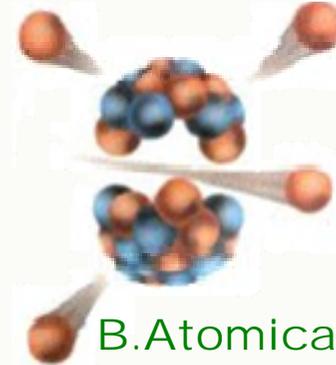
Soglie critiche e Transizioni di Fase



Uranio



MASSA
CRITICA



B. Atomica



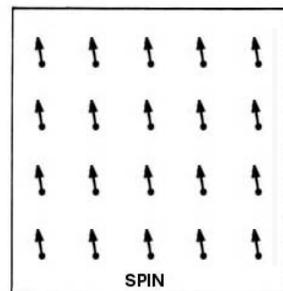
Ghiaccio



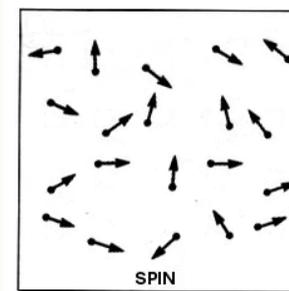
TEMPERATURA
CRITICA



Acqua



Magnete ordinato

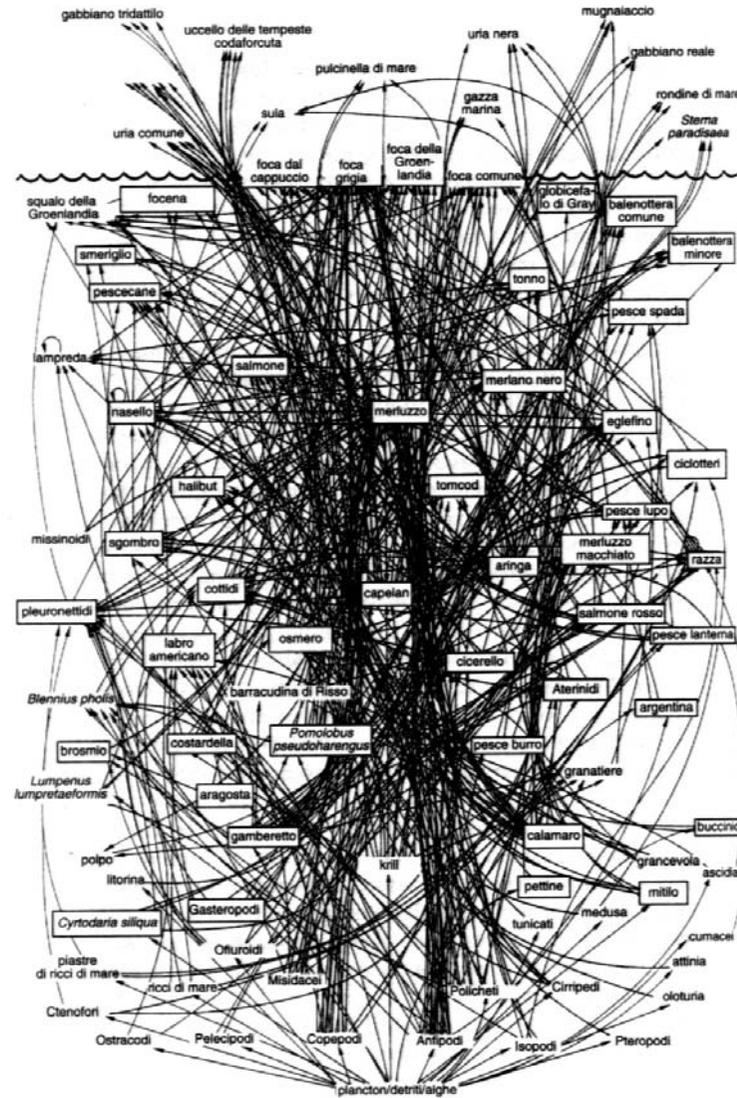


Magnete disordinato

Esempio 1: svantaggi per gli ecosistemi

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

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



Ma la rete alimentare nord atlantica è un sistema "scale free" formato da 150 specie diverse che interagiscono in modo complesso e non lineare!

Una alterazione del numero delle foche darebbe luogo a milioni di catene di retroazioni che rendono impossibile prevedere l'effetto sui merluzzi!

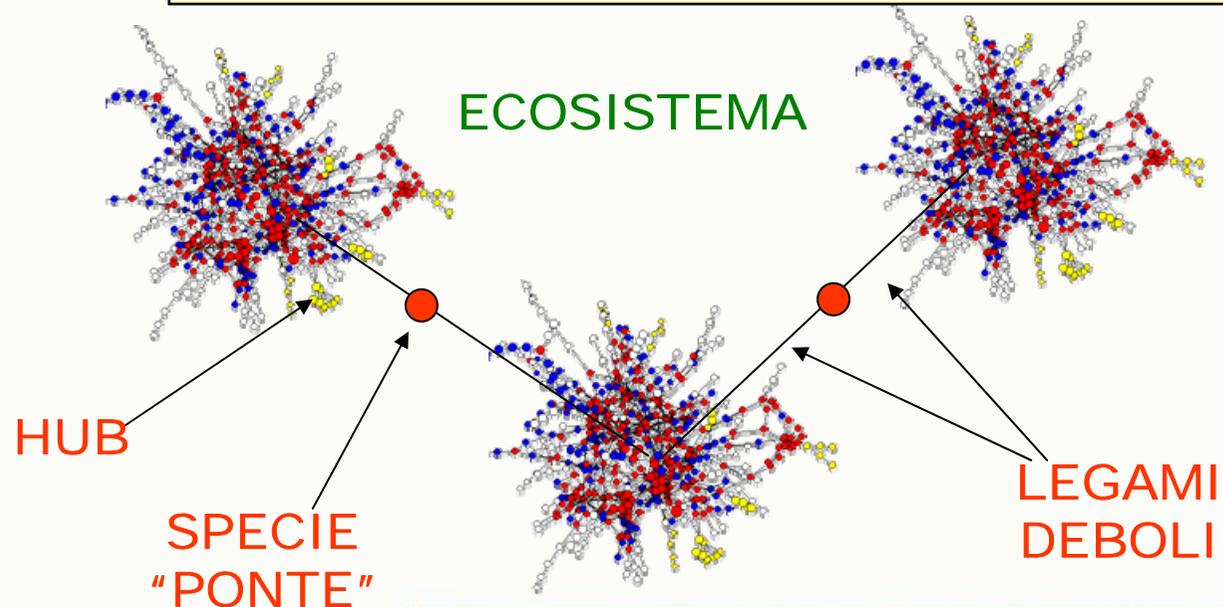
Esempio 1: svantaggi per gli ecosistemi

DISGREGAZIONE DEGLI ECOSISTEMI

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

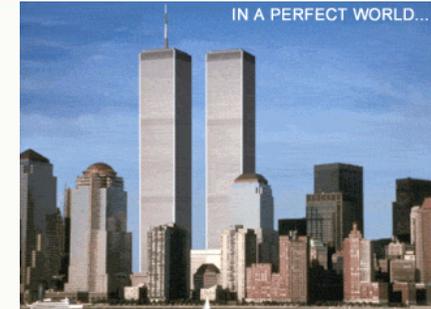


L'eliminazione di particolari *specie "perno"* (hub o specie "ponte") potrebbe distruggere un intero ecosistema (basta eliminare il 20% degli hub perché la rete si disgreghi quasi del tutto! *Solè e Montoya-2001*)

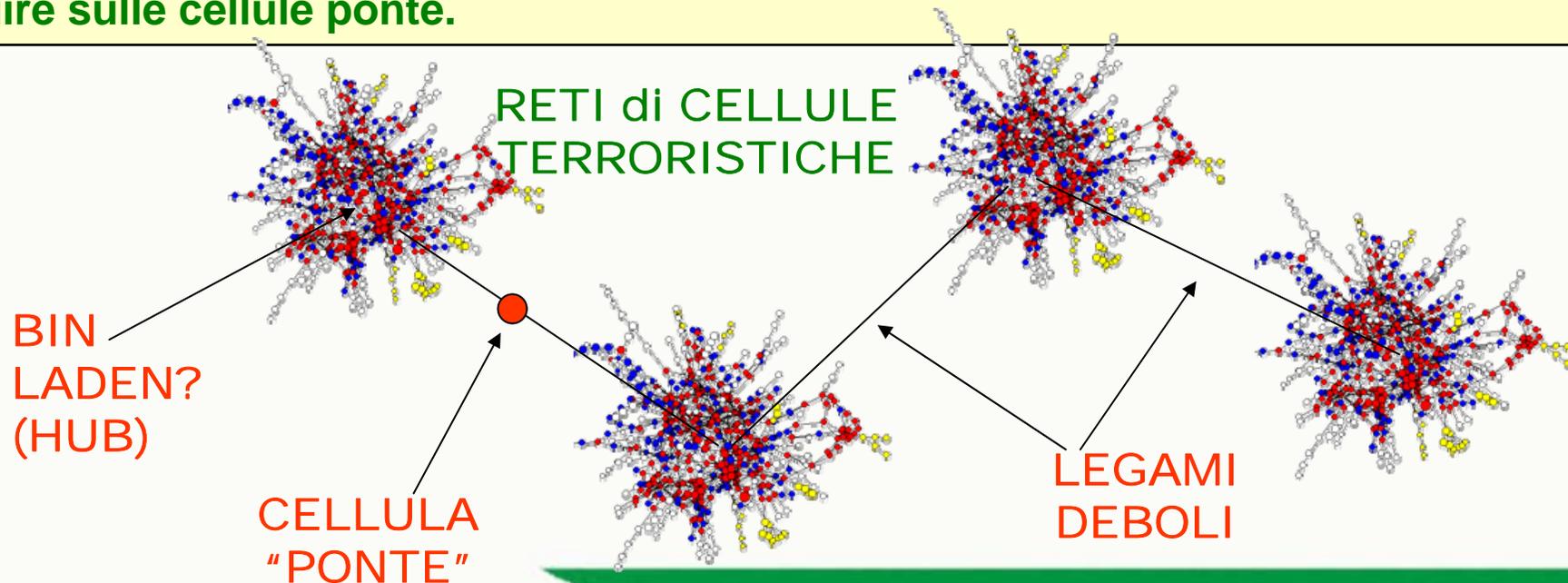


Esempio 2: attacchi terroristici

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



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

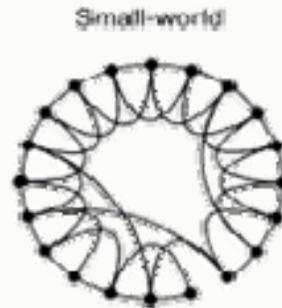
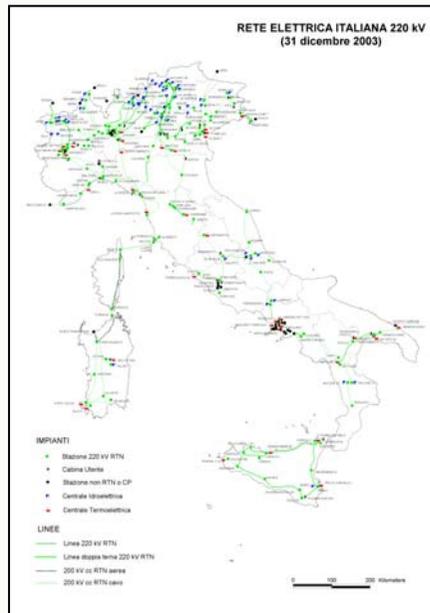


Esempio 3: rischi di black-out

LA STRUTTURA DI PICCOLO MONDO DELLE RETI ELETTRICHE CI ESPONE A 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



RETE ELETTRICA DEGLI STATI UNITI



Esempio 4: diffusione di epidemie

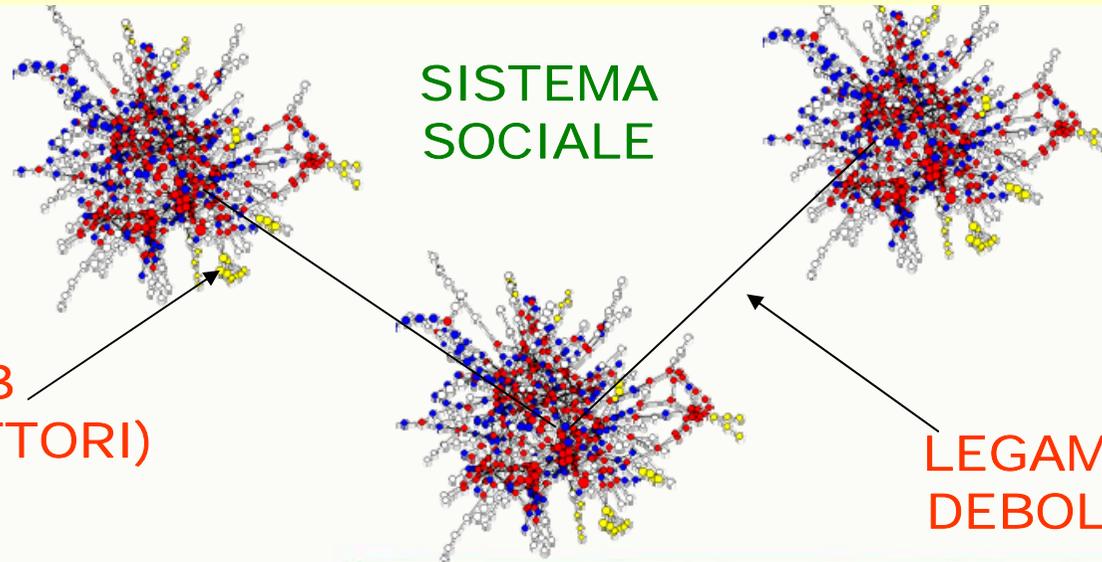
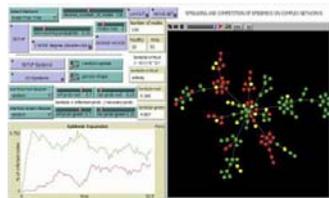
SOGLIE CRITICHE NELLA ESPLOSIONE DELLE EPIDEMIE INFETTIVE E NELLA DIFFUSIONE DELLE MODE E DEI VIRUS INFORMATICI



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

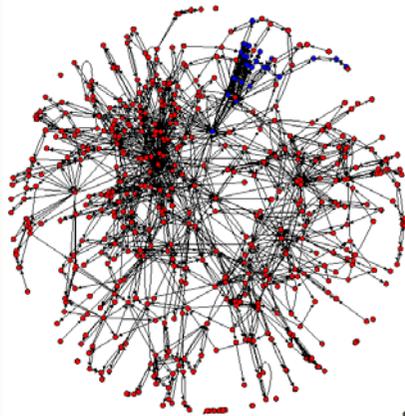


Esempio 5: svantaggi per l'economia

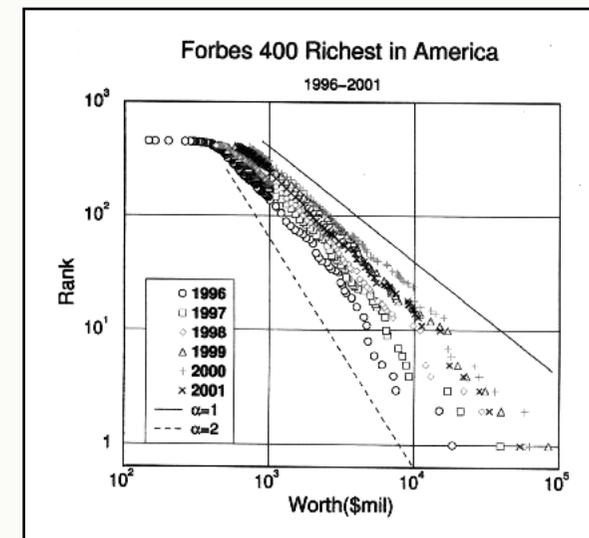
L'INEVITABILITA' DELLA LEGGE DI PARETO E DELLA SPEREQUAZIONE DELLA RICCHEZZA

Il ricco diventa veramente sempre più ricco! La sperequazione non dipende dalle capacità o dal talento nel “far soldi” dei singoli individui ma solo dall'irregolarità dei “ritorni di investimento” ed emerge spontaneamente come caratteristica organizzativa della rete! (Bouchaud-Mezard-2001)

RETE DELLA RICCHEZZA



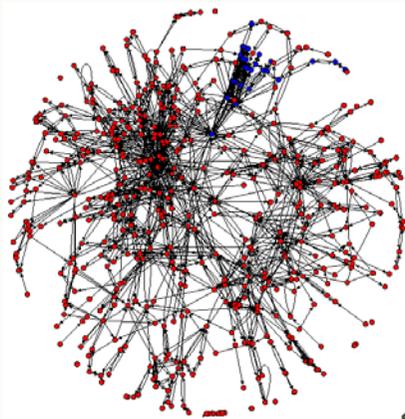
Vilfredo
Pareto (1897)



SOGLIA CRITICA DI SUPERCONCENTRAZIONE DELLA RICCHEZZA

Se le irregolarità dei ritorni di investimento sono troppo forti la ricchezza rischia di “**superconcentrarsi**” nelle mani di pochissimi individui e un sistema sociale ed economico che attraversi questa soglia critica può subire una trasformazione drammatica...

Questo **punto critico** dipende anche dall'instabilità politica ed esiste in qualsiasi sistema economico. (Bouchaud-Mezard-2001)



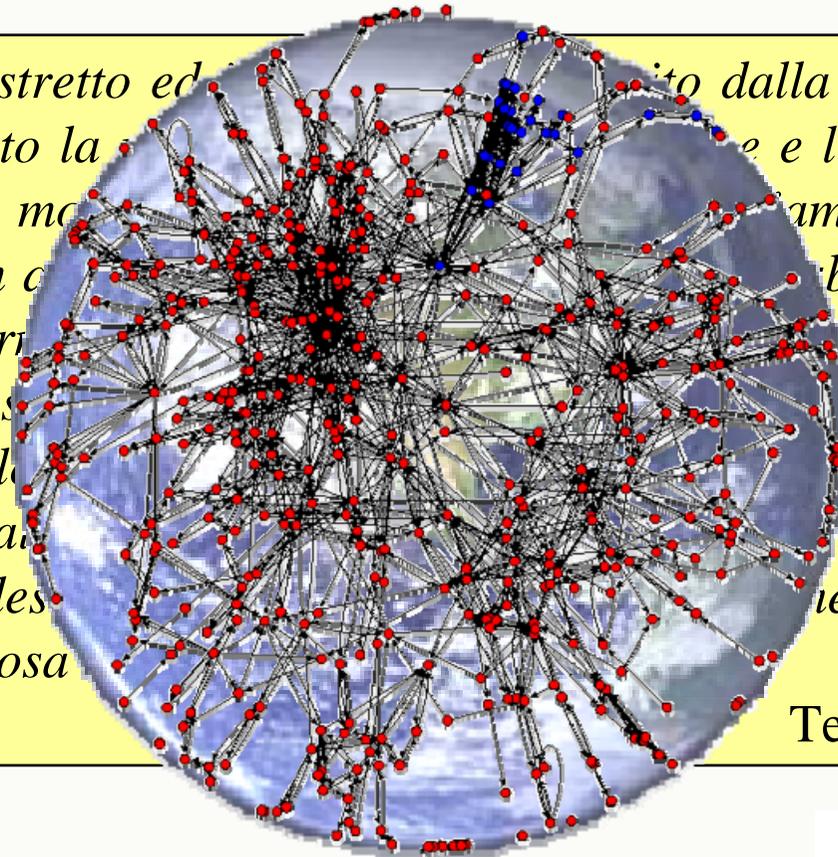
**SISTEMA
ECONOMICO**



Esempio 6: il sistema globale

NEGLI ULTIMI DECENNI IL SISTEMA SOCIO-ECONOMICO GLOBALE DEL PIANETA HA RAGGIUNTO UNA COMPLESSITA' ENORME E SI E' TRASFORMATO IN UN'UNICA GRANDE RETE GLOBALE...

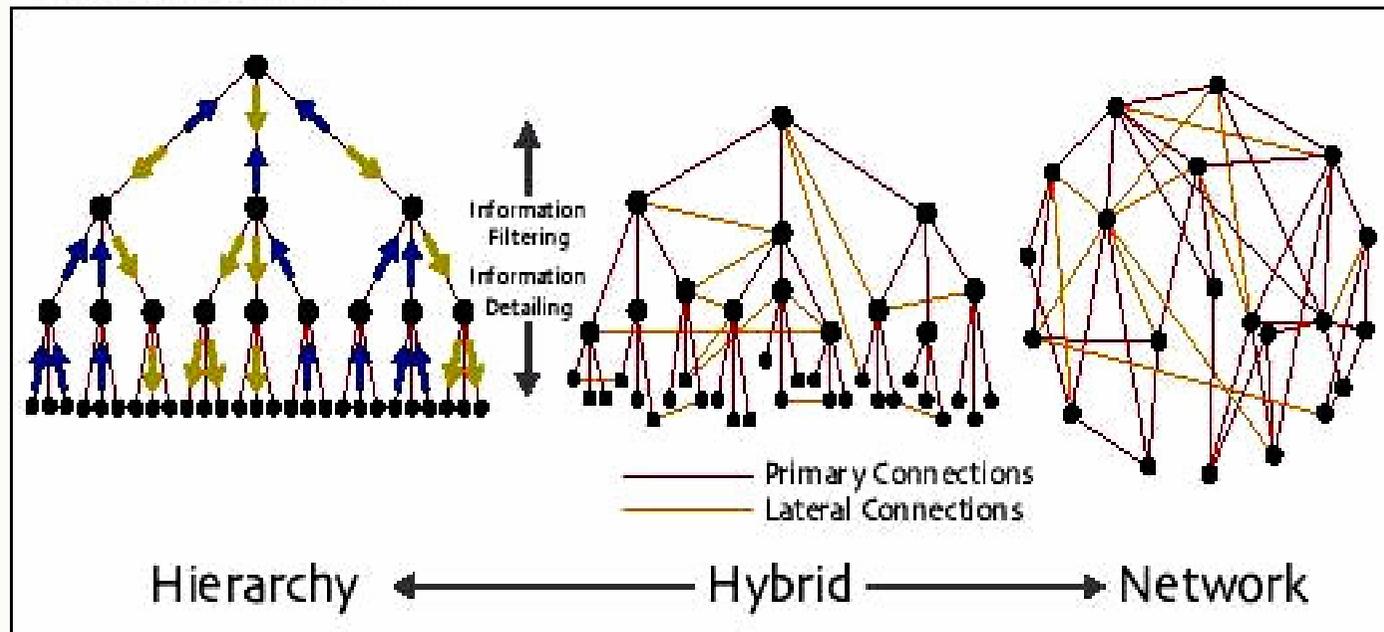
“Nello stampo ristretto ed unitario della superficie chiusa della Terra e sotto la spinta e l'azione di legami economici che si moltiplicano, il mondo sta diventando già più che un corpo unico. E in corso un processo di omogeneizzazione. E in corso un sistema uniforme. I nostri pensieri tendono a unificare il mondo come un medesimo cervello. Seguendo la sua linea naturale, il mondo sapranno cos'è desiderato, come d'un solo cuore, la stessa cosa”



Teilhard de Chardin

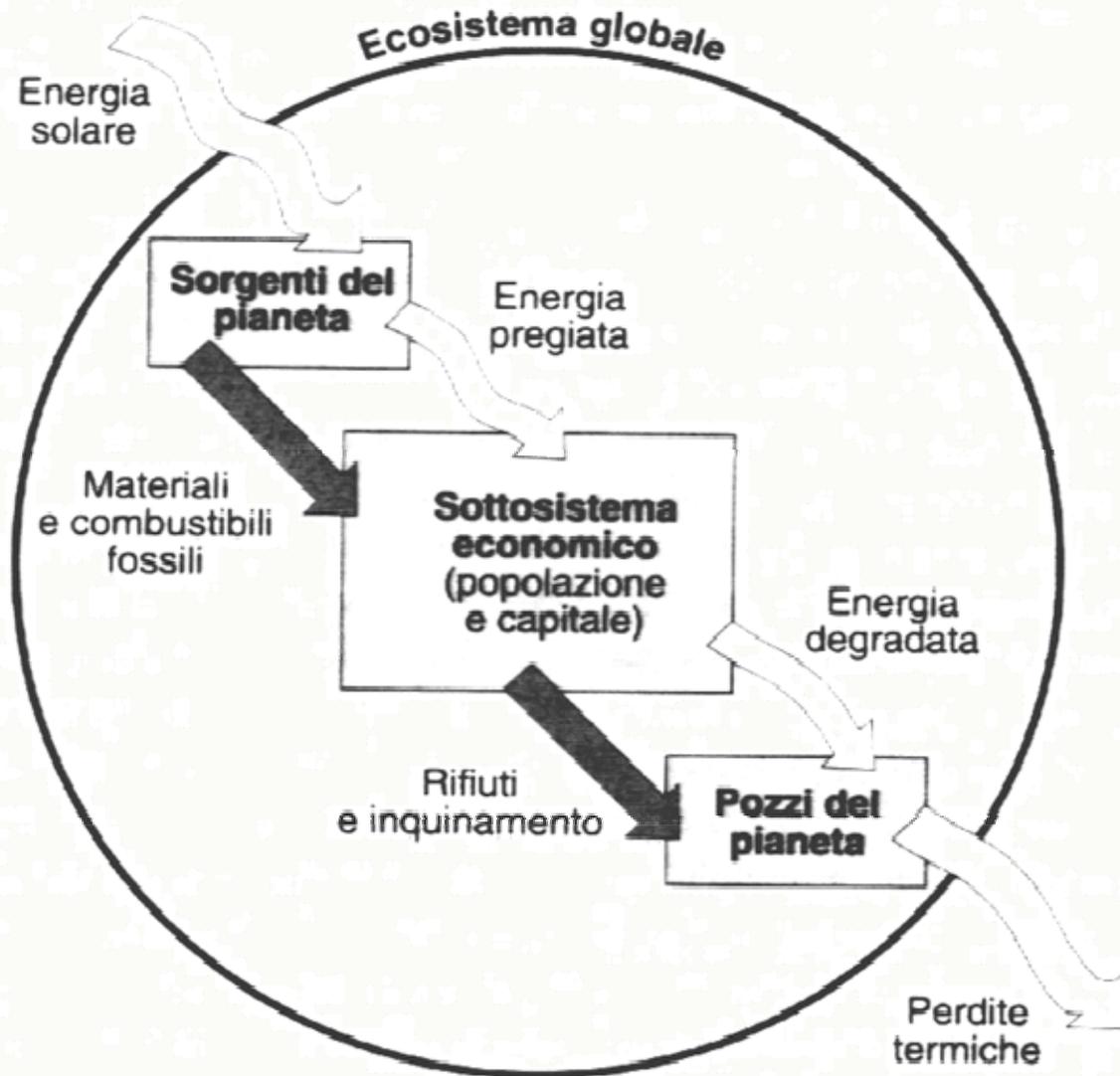
Esempio 6: il sistema globale

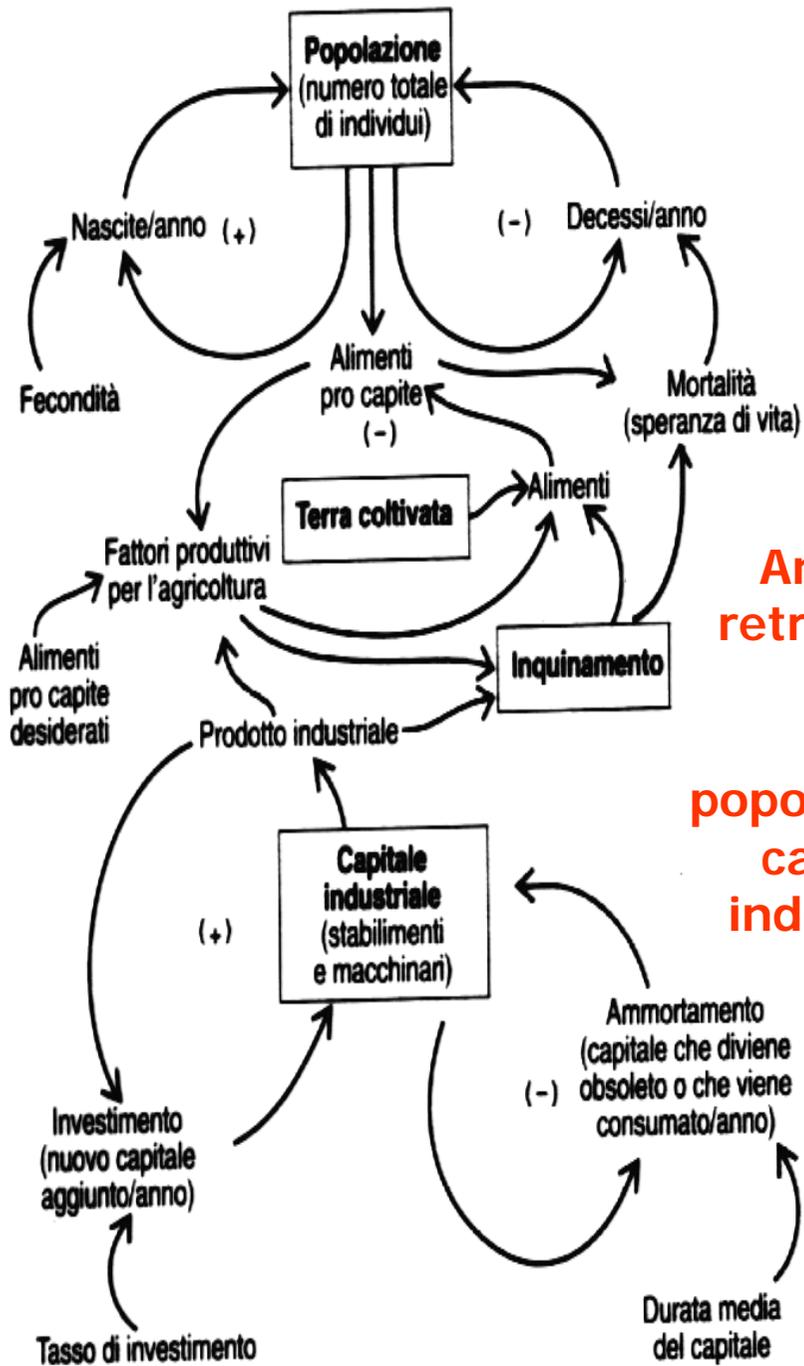
Control Structures



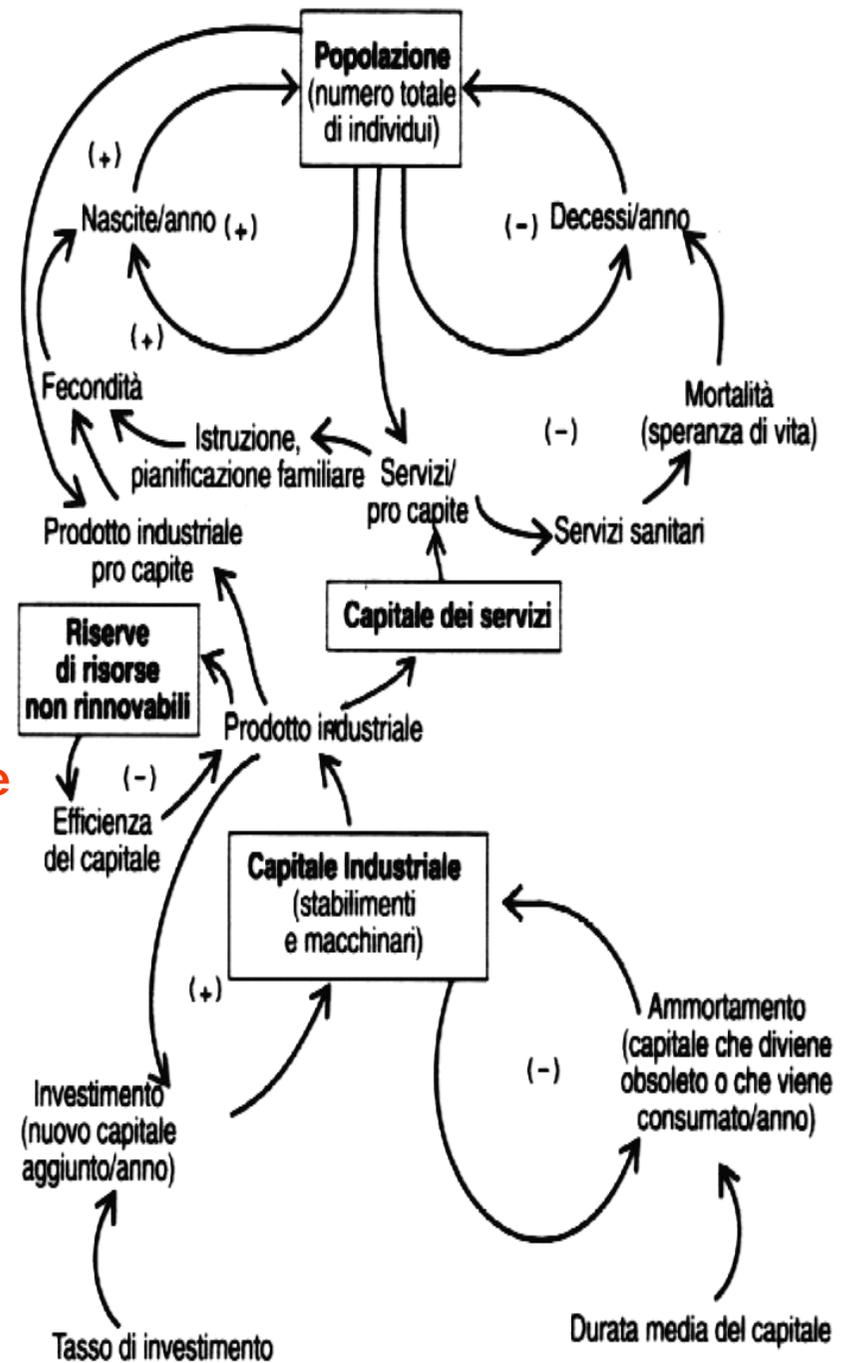
EVOLUZIONE DELLE STRUTTURE SOCIALI

Esempio 6: il sistema globale



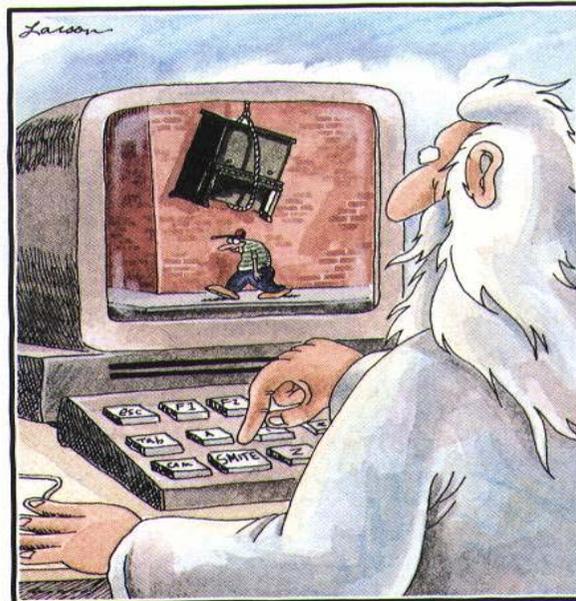


Anelli di retroazione di popolazione e capitale industriale



Oltre i limiti dello sviluppo: ci avviciniamo ad un punto critico?

**QUALE E' IL DESTINO CHE CI
ATTENDE?**



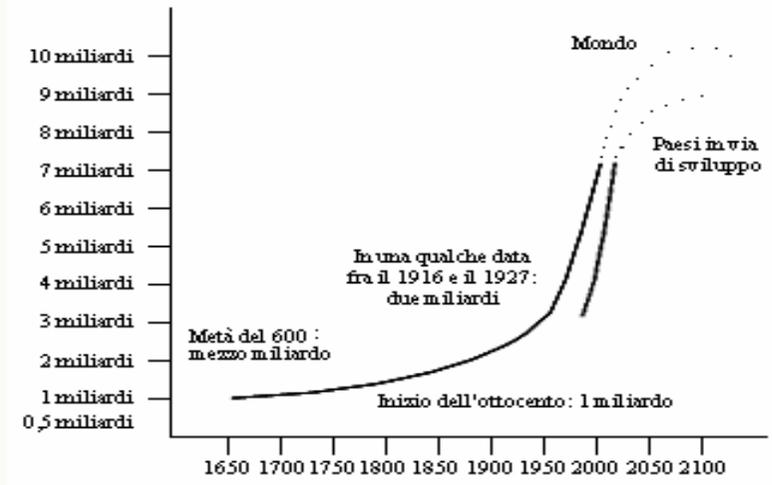
God at His computer

Oltre i limiti dello sviluppo: ci avviciniamo ad un punto critico?

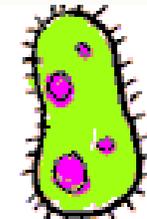
Crescita o Sviluppo?

Qualcosa che **cresce**
diventa quantitativamente
più grande;

Qualcosa che si **sviluppa**,
invece, diventa qualitati-
vamente migliore



Donna



Uomo

Oltre i limiti dello sviluppo: ci avviciniamo ad un punto critico?

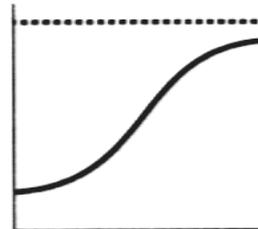
Quattro possibili modi di avvicinamento della popolazione mondiale alla capacità di carico del pianeta

(simulazioni "Mondo 3"
- MIT e Club di Roma
1972-1992)



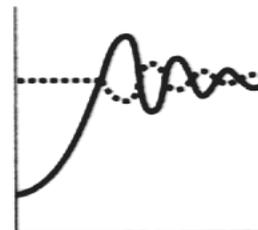
Si ha crescita continua se

- i limiti fisici sono molto lontani; *oppure*
- i limiti fisici crescono anch'essi con andamento esponenziale.



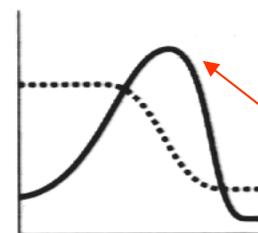
Si ha crescita sigmoide se

- i segnali provenienti dai limiti fisici sono precisi, istantanei e hanno risposte immediate; *oppure*
- la popolazione o l'economia si limitano senza bisogno di segnali dall'esterno.



Si ha superamento e oscillazioni se

- i segnali o le risposte sono ritardati; *oppure*
- i limiti non possono essere erosi o sono in grado di recuperare presto gli effetti dell'erosione.



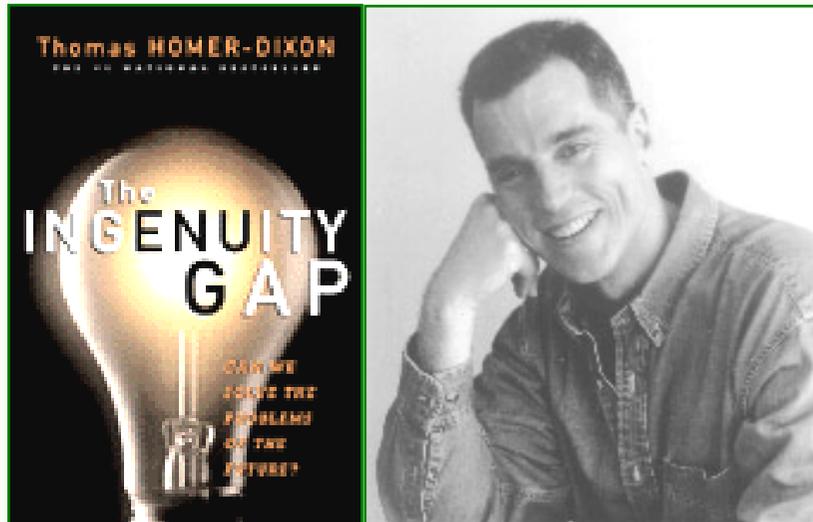
Si ha superamento e collasso se

- i segnali o le risposte sono ritardati; *oppure*
- i limiti possono essere erosi (subire una degradazione irreversibile quando vengono superati)

Mondo 3:

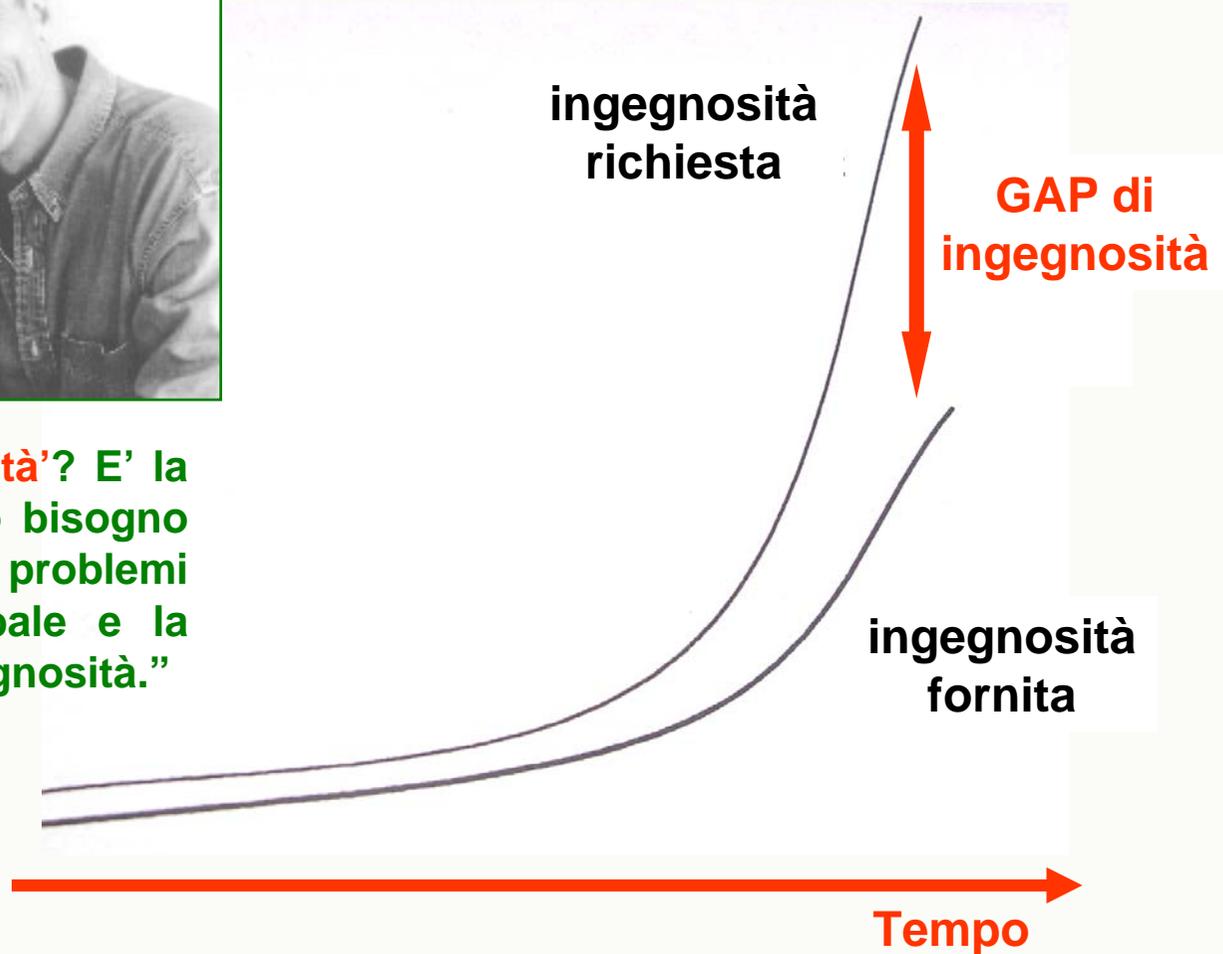
PUNTO CRITICO?

Oltre i limiti dello sviluppo: ci avviciniamo ad un punto critico?



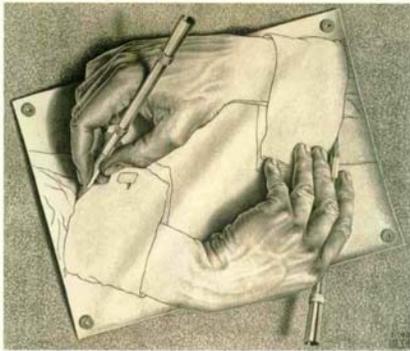
“Cosa è il ‘**gap di ingegnosità**’? E’ la distanza critica tra il nostro bisogno di nuove idee per risolvere i problemi complessi del mondo globale e la nostra attuale offerta di ingegnosità.”

Thomas Homer-Dixon,
“The Ingenuity Gap” (2001)



Conclusione

Lo scopo della Scienza è sempre consistito nello *“scoprire una significativa semplicità in mezzo a una complessità disordinata”*
(H.Simon)



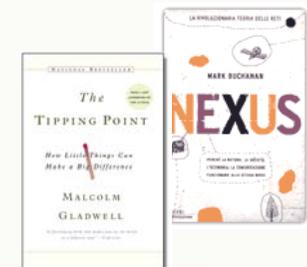
IL PARADOSSO DELLA COMPLESSITA'

Oggi la nuova Scienza della Complessità si basa sulla percezione che il mondo è per molti versi **più semplice** di quanto non appaia!

Per comprendere il mondo e soprattutto per cercare di migliorarlo colmando l'attuale 'gap di ingegnosità' bisogna però cambiare prospettiva e pensare in termini di reti complesse...



...ricordando che, in definitiva, il destino del nostro **“piccolo mondo”** è solo nelle nostre mani...





Gruppo di ricerca catanese sui sistemi complessi

www.ct.infn.it/~cactus

Dipartimento di Fisica e
Astronomia

Università di Catania

Via S. Sofia 64 95123 -
CATANIA ITALY



PEOPLE

PUBLICATIONS

COLLABORATIONS

EVENTS

LINKS

[@Andrea Rapisarda](#)



Associate Professor

[@Paolo Castorina](#)



Assistant Professor

[@Vito Latora](#)



Assistant Professor

[@Giuseppe Andronico](#)



IIFH

[@Dario Zappalà](#)



IIFH

[@Sergio Vinciguerra](#)



MarieCurie Fellowship

[@Alessandro Pluchino](#)



Researcher

[@Marco Mazza](#)



BoninoPulejo Fellowship