

**I LEGAMI DELLA RICERCA**

Alcuni membri del gruppo di ricercatori impegnati nel progetto europeo Cosin per lo studio delle reti organizzate mentre simulano per il nostro fotografo l'organizzazione di una rete.



**ALBERTO MARCHETTI SPACCAMELA**  
Capo del team dell'Università La Sapienza

**LUIGI LAURA**  
Ricercatore

**FRANCESCA COLAIORI**  
Ricercatrice

**ANDREA CAPOCCI**  
Ricercatore

**STEFANO MILLOZZI**  
Dottorando di ricerca

**DEBORA DONATO**  
Dottoranda di ricerca

**LUCIANO PIETRONERO**  
Responsabile del team di Roma dell'Infm

**GUIDO CALDARELLI**  
Coordinatore del progetto Cosin

**STEFANO LEONARDI**  
Responsabile del team dell'Università La Sapienza

**CECILE CARETTA**  
Laureanda

**FEDERICO SQUARTINI**  
Laureando

**FABRIZIO COCETTI**  
Ricercatore

**ANDREA GABRIELLI**  
Ricercatore

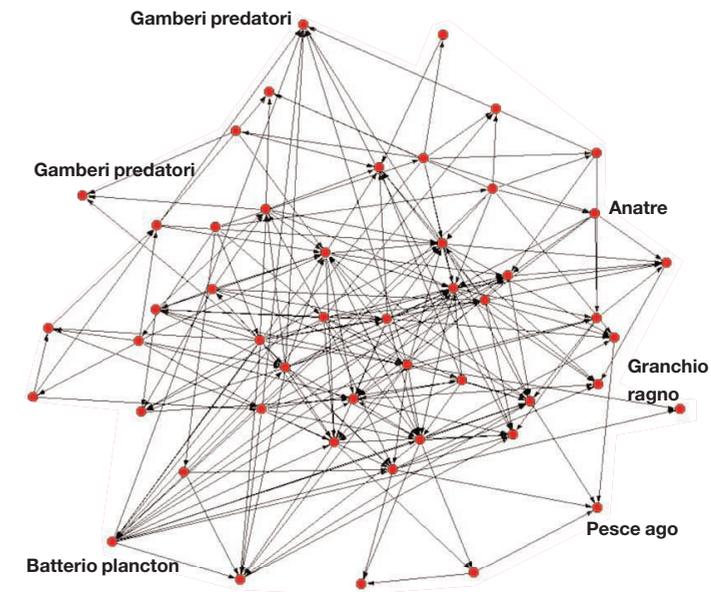
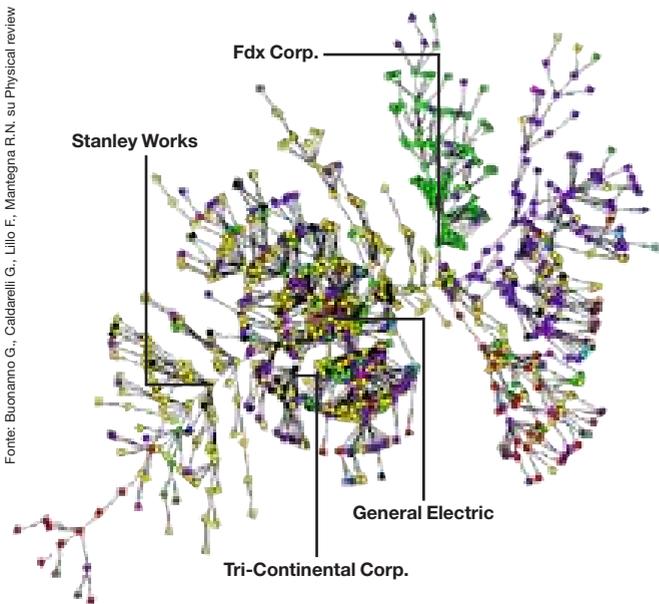
# Punti di contatto

Lo sviluppo di internet e la diffusione di un virus, ma anche i rapporti tra gli attori e le quotazioni in borsa funzionano in base allo stesso principio matematico. Capirlo ci aiuterà a difendere i nostri computer, sviluppare farmaci e molto altro

DI BARBARA PALTRINIERI

**C**he cosa hanno in comune un gruppo di attori del cinema, le proteine di un organismo, gli inseguimenti fra prede e predatori in un ambiente naturale, internet, gli eretici del Medioevo e le grandi aziende quotate in borsa? La risposta non ha niente a che fare con la biologia, l'economia o il gossip sui vip: il segreto è nelle connessioni che si instaurano all'interno di questi gruppi. Attori, siti web e proteine, infatti, formano delle reti molto particolari e apparentemente poco ordinate, in cui la maggior parte degli elementi si collega solo con pochi vicini, mentre pochi punti si connettono a moltissimi altri. All'interno di network di questo tipo, basta un numero limitato di passaggi per andare da un punto a un altro lontanissimo. A studiare questi rapporti è la scienza delle reti, nata appena >>

Fonte: Buonomano G., Caldarelli G., Lillo F., Mantegna R.N. su Physical review



### Borsa\_Pochi titoli influenzano gli altri

In questo grafico è visualizzata la rete di correlazioni fra i prezzi di società alla borsa di New York dal 1987 al 1998, mentre i colori rappresentano i tipi di aziende (per esempio in giallo sono le aziende manifatturiere). Alcuni titoli, come il colosso General Electric, influenzano l'andamento di moltissimi altri, anche di settori diversi.

### La palude\_La natura si salva con gli hub

Anche un ecosistema si comporta come un piccolo mondo, dove il legame fra le specie è rappresentato dall'essere preda o predatore. È quindi possibile pianificarne la salvaguardia puntando su alcune specie hub, ossia sugli elementi chiave della catena, come nell'ambiente paludoso illustrato sopra.

» cinque anni fa dalla costruzione della mappa delle connessioni fra i diversi siti web. Presto i ricercatori hanno capito che molti altri sistemi si basano su collegamenti analoghi, descrivibili dalle stesse leggi fisico-matematiche. Così è nato *Cosin* (COevolution and Self-organization In dynamical Networks), il progetto europeo gestito dall'Istituto Nazionale di Fisica della Materia (Infm) e coordinato dal fisico Guido Caldarelli. Uno studio importante che potrebbe indicare nuove strategie per tutelare ecosistemi naturali a rischio, sviluppare farmaci intelligenti o contrastare la rete mondiale dei computer da attacchi di hacker.

*free*, reti a invarianza di scala, in cui è impossibile prevedere con certezza quanti collegamenti partono da ogni punto», spiega Caldarelli. «Si può dire che in queste reti, la maggior parte dei punti si collega a pochi altri, mentre pochi eletti, i cosiddetti *hub*, i nodi principali, si legano a moltissimi altri». Si forma così un sistema molto aristocratico, facilmente riconoscibile, per esempio, nella rete del *W(orl) W(ide)*

*W(eb)*, dove la maggior parte dei siti si collega a pochi altri, ma alcuni siti, come quelli dei motori di ricerca, Google e Yahoo ne linkano tantissimi altri. Un altro esempio è quello degli scali aerei: molte cittadine di provincia hanno ormai un aeroporto, da dove però partono pochi voli. Accanto a questi ci sono poi i grandi scali internazionali, dove arrivano e partono voli per tantissime destinazioni vicine e lontane.

*Nexus*, spiega che l'iniziativa del *Die Zeit* ripercorreva un esperimento condotto negli anni Sessanta dal sociologo statunitense Stanley Milgram, che stabilì che fra due persone apparentemente lontanissime ci sono 6 gradi di separazione. Questa conclusione dipende dal fatto che le relazioni sociali rappresentano un *network scale free*, dove alcune persone, *hub*, hanno contatti con molte altre e creano delle vere e proprie scorciatoie tra due persone a caso. Questo tipo di reti crea quindi dei piccoli mondi, in cui tutti gli elementi sono collegati molto più strettamente di quanto si pensi.

*generazione* (1996) con Francesca Neri; la Neri era in *Collateral Damage* (2002) con Elias Koteas, che a sua volta ha recitato in *Novocaine* (2001) a fianco di Kevin Bacon.

**Gli hub sono un punto** di forza, poiché assicurano collegamenti rapidi ed efficienti fra elementi distanti, ma sono anche il tallone d'Achille della rete. Poniamo che si verifichi un danno in

un punto a caso: è più probabile che sia colpito uno dei nodi minori perché sono più numerosi degli *hub*. In questo caso saltano pochi collegamenti. Risultato: la rete resiste. Se l'attacco, però, è mirato contro un *hub*, le cose cambiano: vengono tagliati fuori i numerosissimi punti a cui questo si collega e la rete si sfalda. «Riconoscere in un sistema un'organizzazione a *network scale free* permette di individuare »



**LONTANI MA VICINI**  
Secondo la teoria delle reti bastano solo tre passaggi per collegare due attori a caso e distanti fra loro. La connessione può risiedere nei film in cui hanno recitato.

**Qualche anno fa** il quotidiano tedesco *Die Zeit* cercò di mettere in contatto il proprietario di un negozio di kebab a Francoforte con la stella del cinema Marlon Brando. Un'impresa impossibile? Tutt'altro: il proprietario del negozio ha un amico in California, che lavora con il marito di una signora, che fa parte della stessa associazione universitaria della figlia del produttore cinematografico del film *Don Juan de Marco, maestro d'amore*, in cui ha recitato Marlon Brando. Ecco fatto: per stabilire questo contatto sono bastati meno di 6 intermediari. Una coincidenza? Niente affatto: il fisico statunitense Mark Buchanan, nel suo ultimo libro

**Anche i legami fra gli attori** del cinema si comportano nello stesso modo: provate da soli collegandovi al sito web <http://www.cs.virginia.edu/oracle/> e mettetevi alla prova l'oracolo di Kevin Bacon. È un software on-line che dice in tempo reale quanti gradi di separazione ci sono fra la star hollywoodiana e qualunque altro attore. Si scopre che bastano tre passaggi per andare da Stefano Accorsi a Kevin Bacon: Accorsi infatti ha recitato in *La mia*

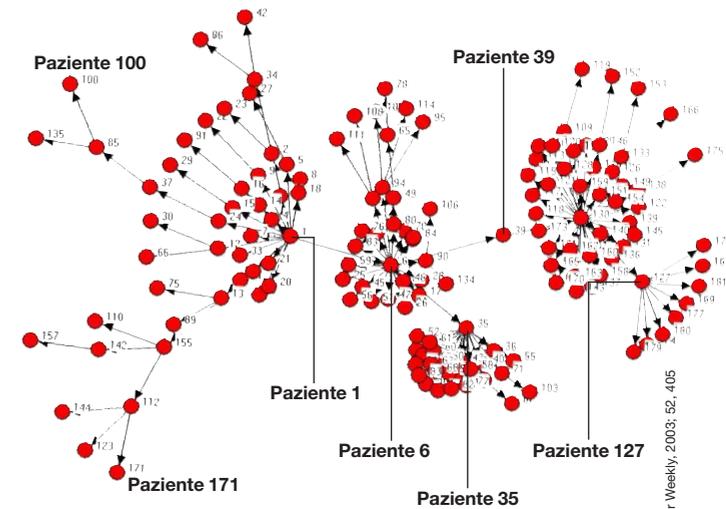
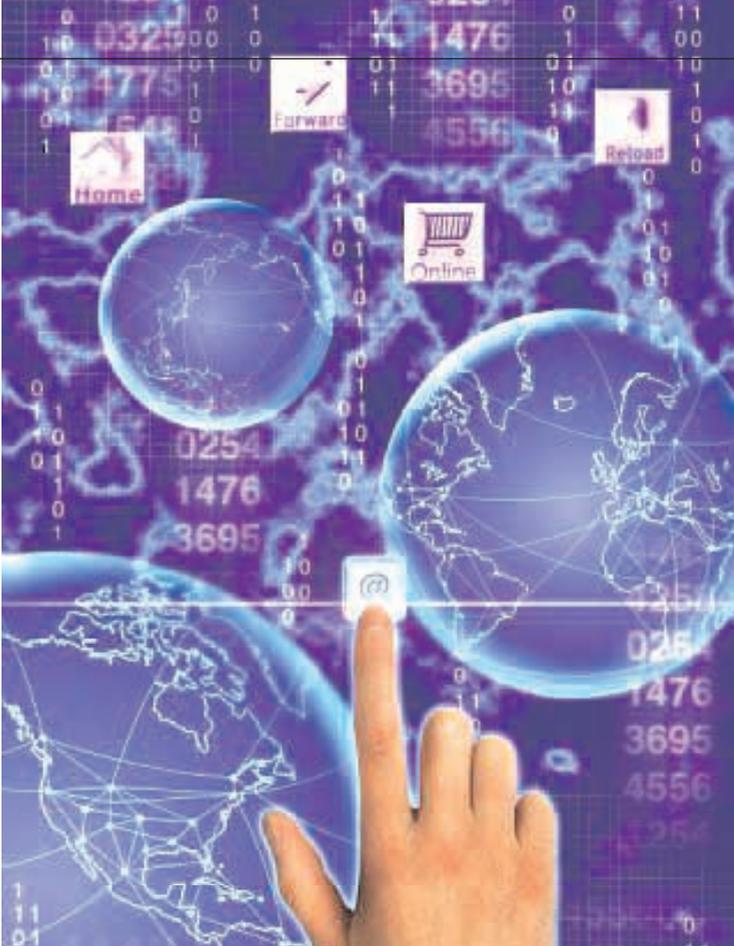
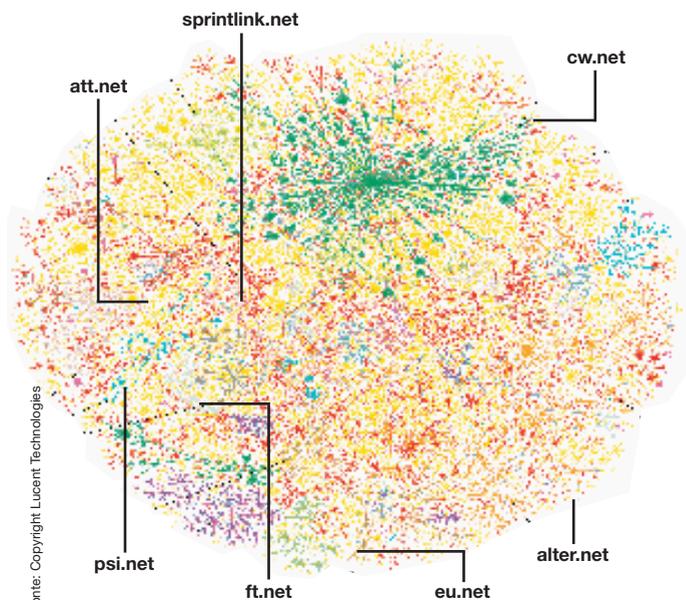
Il viaggio che vi proponiamo parte dal pendolo semplice e arriva ai mercati finanziari, a internet e alla fisica delle particelle elementari, passando attraverso il caos, i frattali e i processi stocastici. È il viaggio alla scoperta della

complessità che vi propongono i laboratori di Frascati dell'Infn l'Istituto di fisica nucleare, in collaborazione con *Quark*.  
■ Come ogni mese sul sito <http://scienzaper tutti.inf.infn.it/Quark/> uno dei nostri servizi viene approfondito e

integrato on line dagli scienziati dell'Infn. Questo mese tocca alla matematica dei sistemi complessi, una scienza giovane e ancora in cerca di una definizione. In rete cercheremo di capire cosa sia la complessità attraverso numerosi esempi. *N.S.*

**PER SAPERNE DI PIÙ**

## La scienza delle reti\_È in rete



### Internet Un mappamondo di link

È una rete con oltre 100.000 nodi. Cercare nella mappa il sito preferito è un'impresa ardua: il World Wide Web è cresciuto in modo esponenziale ricalcando un sistema molto aristocratico, dove in un mare di pagine web pochi siti tengono i contatti con moltissimi altri. **Sopra:** la mappa con i maggiori provider mondiali nel 1999.

### SARS Il contagio corre in rete

Dietro il diffondersi di alcuni virus potrebbe esserci una *network scale free*. Si potrebbe, allora, pensare a nuove strategie per contrastare il diffondersi delle malattie, concentrando vaccinazioni di contenimento sugli *hub*, le persone che hanno molti contatti con altri. **Sopra** sono rappresentati i primi contagi a Singapore.

» la strategia per proteggere o distruggere la rete stessa», spiega Alessandro Vespignani, dell'Università di Parigi-Sud. «Prendiamo internet. Una rete grande e complessa organizzata come una *network scale free*: un sistema aristocratico, in cui grandi *router*, cioè i supercomputer, tengono le fila di numerosi collegamenti fra tanti piccoli server locali». Il network resiste bene a un danno casuale, ma un attacco mira-

to a un *hub* fa crollare una fetta consistente delle connessioni. Ciò implica che contro i virus informatici, piuttosto che dotare ogni singolo computer di anti-virus, si dovrebbero proteggere selettivamente gli *hub*.

**In un lago o in un bosco** la rete del "chi mangia chi", ossia il legame tra preda e predatore, è organizzata come un *network scale free*. «Esistono, infat-

ti, alcuni ecosistemi di 20 o 30 specie che potrebbero seguire questa descrizione», spiega Caldarelli, «Quando il numero aumenta, il sistema diventa più complesso, ma è comunque possibile individuare un *network scale free*, per esempio, nelle relazioni della catena alimentare». Chi per esempio è alla base della catena alimentare condiziona la vita dell'intero ecosistema molto più di chi ne sta all'apice. La sua scom-

parsa o diminuzione può mandare il sistema in crisi. Per pianificare la conservazione degli equilibri naturali è quindi importante puntare su queste specie-*hub*. Non solo: l'intero sistema Terra, in fondo, si comporta come una rete complessa ed è proprio con l'aiuto della matematica delle reti che si può valutare la sostenibilità o meno dei nostri comportamenti.

**Nel Medioevo** in Europa si tessava la rete di un *network scale free*, simile a internet. Era quella che teneva legati gli eretici: una rete così ben assestata da vanificare i primi tentativi dell'Inquisizione mirati a uccidere chiunque fosse sospettato di eresia. Come scrive Michael Brooks su *New Scientist*: «Le

stragi a caso risolvevano il problema solo momentaneamente. L'eresia rinasceva sempre. È uno schema ben noto agli epidemiologi che hanno a che fare con l'influenza». Una rete *scale free* non si distrugge con attacchi casuali: bisogna colpire gli *hub*, i nodi nevralgici non la rete nel suo insieme. Pochi individui, influenti, molto mobili e pieni di contatti diffondevano l'eresia molto rapidamente. Fu così che nel XIII secolo l'Inquisizione fermò la diffusione delle eresie usando strategie che, anziché provocare un massacro di massa, colpivano soltanto persone che tenevano le fila, ne impedivano la mobilità punendoli con la reclusione o la morte. Gli inquisitori si erano finalmente resi conto dell'importanza degli *hub*. ■ **Q**

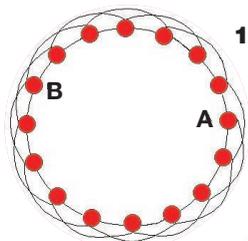
### La formula Il più raro è chi ha più legami

$$P(k) \propto \frac{1}{k^\gamma}$$

Ecco l'equazione che mette d'accordo tutti i *network scale free*. **P**, ossia la probabilità di pescare a caso un elemento con un numero **k** di legami con altri punti, è proporzionale a 1 diviso **k** elevato alla  $\gamma$ . Dove  $\gamma$  ha un valore compreso fra 2 e 3, secondo il sistema. Ciò vuol dire che la probabilità di colpire a caso il punto di una rete (**P**) è più elevata se il numero di legami con altri punti (**k**) è piccolo. È più facile trovare un elemento con pochi collegamenti di uno con molte connessioni, poiché gli *hub* sono più rari.

### MODELLO CIRCOLARE

### I ponti\_Riducono le distanze



1 Per andare dal punto A a B occorrono 4 o 5 passaggi



2

Immaginiamo di avere una rete di punti disposti in circolo, dove ogni punto è collegato con i 4 più vicini (grafico 1). Per andare da A a B servono 4 o 5 passaggi. Se però si introducono dei ponti casuali i passaggi si riducono a 3 (grafico 2).

■ L'introduzione di scorciatoie significa che nella rete compaiono degli *hub*, grandi punti di snodo che collegano molti punti della rete. Supponiamo di mettere in cerchio gli abitanti della terra. Sei miliardi di persone in una rete ordinata, in cui ognuno è

collegato con le 50 persone più vicine. Per unire due persone opposte occorrerebbero 60 milioni di passaggi. ■ Mark Buchanan dice che basta introdurre solo 2 collegamenti casuali ogni 10 mila, per far scendere il numero da 6 milioni a 8 passaggi.



### Link & Libri Per i più curiosi

- **Linked** Albert-Laszlo Barabasi, Plume 2003, (prossima edizione Einaudi).
- **Nexus**, Mark Buchanan, Arnoldo Mondadori, 2003, 275 pagine, 19 euro.

- [www.cosin.org](http://www.cosin.org) sito dell'omonimo progetto europeo
- [www.infm](http://www.infm) Istituto Nazionale Fisica della Materia.

