



PROGETTO FINVALI 2005

Progetto 032: Il sistema scolastico come sistema complesso: qualità delle rivelazioni e modelli di interpretazione dei risultati



Istituto per le Applicazioni del Calcolo 'Mauro Picone' del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sede di Napoli



Dipartimento di Statistica e Matematica per la Ricerca Economica, Università degli Studi di Napoli 'Parthenope'

Con la partecipazione di



Dipartimento di Statistica, Università degli Studi di Milano Bicocca



Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli 'Federico II'



Dipartimento di Matematica e Applicazioni, Università degli Studi di Napoli 'Federico II'



PROGETTO FINVALI 2005

**Progetto 032: Il sistema scolastico come sistema complesso: qualità delle rivelazioni
e modelli di interpretazione dei risultati**

**Report dicembre 2006: Analisi della letteratura sui Sistemi Complessi
pertinente al Sistema Scolastico**

Marco Fattore⁽¹⁾



⁽¹⁾ Dipartimento di Statistica, Università degli Studi di Milano Bicocca

Abstract: Il report contiene il resoconto delle attività svolte nel primo semestre sull'idea di considerare il Sistema Scolastico come Sistema Complesso. In particolare è stata analizzata la letteratura esistente riguardo la presenza di dinamiche di complessità adattativa all'interno del sistema scolastico. In particolare sono stati considerati modelli di reti con topologia small-world e scale-free.

Indice

<i>1 Introduzione</i>	<i>2</i>
<i>2 Il Sistema Scolastico come sistema adattativo complesso</i>	<i>4</i>
2.1 La scelta del livello di indagine	6
<i>3 Il concetto di network</i>	<i>9</i>
3.1 Random network, small world e scale-free network	9
3.2 Misura del sistema scolastico	11
<i>Bibliografia</i>	<i>13</i>

1 Introduzione

Le attività svolte in questa prima fase del progetto si sono concentrate sui seguenti aspetti:

1. L'analisi della letteratura esistente, in relazione alla presenza di dinamiche di complessità adattativa all'interno del sistema scolastico;
2. L'analisi della letteratura relativa alle reti con topologia small-world e scale-free;
3. L'analisi della letteratura relativa alle implicazioni che l'esistenza di una particolare topologia di rete può avere sulle procedure statistiche condotte sugli agenti presenti nella rete medesima;

In tutta generalità, occorre dire che i temi affrontati sono temi d'avanguardia, posti, in buona parte, sulla frontiera della ricerca. Questo ha comportato alcuni ordini di difficoltà. Innanzitutto, non esiste un corpus di letteratura riconosciuto, da cui partire per la ricerca. Di conseguenza, su molti dei temi affrontati l'analisi della letteratura è ancora in corso, sia perché nuovi contributi appaiono costantemente, sia perché nuovi "filoni" di testi ed articoli vengono via via individuati ed esplorati. Ciò è particolarmente vero per quanto riguarda i temi della complessità nel sistema scolastico e della definizione di metodi statistici per l'analisi di fenomeni su reti stocastiche. Meno difficile è la situazione con riferimento alle reti small world e scale-free, per le quali la letteratura è eccezionalmente abbondante, nonostante essa sia, in un certo senso, un insieme di spunti non ancora costituiti in una vera e propria teoria.

Questa prima fase è stata dunque, essenzialmente, una presa di contatto con i temi implicati nel progetto, al fine anche di precisarne più compiutamente i nessi. L'analisi della letteratura, ha infatti permesso una progressiva focalizzazione dei nessi tra gli elementi concettuali posti alla base del progetto (complessità del sistema scolastico, utilizzo di reti casuali con particolari topologie, conseguenze sui metodi d'indagine statistica) e il percorso di ricerca stesso si sta via via definendo.

Di seguito, sono descritti più in dettaglio i risultati conseguiti che, come si vedrà, hanno per il momento più natura concettuale e metodologica che non quantitativa, coerentemente con gli obiettivi di questa prima fase. Data la natura di questa relazione, non verranno riportati nel testo i

riferimenti alla letteratura effettivamente consultata, né si entrerà nel dettaglio tecnico (tutto quanto viene descritto è comunque basato su un ampio insieme di documenti, la cui organizzazione è tuttora in corso).

2 Il Sistema Scolastico come sistema adattativo complesso

La complessità come categoria interpretativa delle dinamiche evolutive dei sistemi sociali è ormai un dato acquisito, all'interno delle scienze sociali, nei vari ambiti in cui queste trovano applicazione. Si pensi, per fissare le idee, alla nozione di *chaordic enterprise* (*cahotic - ordered*) e, più in generale, alla nozione di *learning organization*. In sostanza, si riconosce che qualunque sistema organizzativo e sociale si trova ad agire in un ambiente-contesto dinamico, con il quale scambia costantemente informazioni, le quali modificano il comportamento del sistema stesso, dando luogo ad un processo adattativo che, a sua volta, modifica anche l'ambiente-contesto.

A discapito della riconosciuta rilevanza della nozione di *sistema adattativo complesso* per descrivere e comprendere la fenomenologia dei sistemi sociali, sono pochi, in letteratura, i riferimenti al sistema scolastico. Possiamo schematicamente suddividere in tre categorie i contributi che abbiamo rintracciato mediante una survey bibliografica:

1. Testi e articoli genericamente orientati alla descrizione di sistemi organizzativi (tipicamente aziendali) come sistemi adattativi complessi. Questi contributi sono storicamente motivati dal processo storico di rapido e progressivo "accorciamento" dei tempi di diffusione delle innovazioni tecnologiche, che rendono più rilevante, per qualunque organizzazione, la capacità di adattamento rispetto a quella di pianificazione.
2. Testi e articoli che discutono la rilevanza di "educare alla complessità", cioè di comprendere la complessità negli obiettivi della formazione, attraverso modalità didattiche differenti. Si tratta, quindi, di contributi che non descrivono la complessità del e nel sistema scolastico, ma che riconoscono la rilevanza della nozione di complessità come categoria necessaria per interpretare il contesto attuale e quindi ne fanno oggetto di formazione.
3. Testi e articoli che, tentativamente, cercano di guardare al sistema scolastico da un punto di vista sistemico, riconoscendone la natura di *learning organization*.

I testi che possono essere di qualche utilità per i nostri obiettivi ricadono evidentemente nella prima e, soprattutto, nella terza categoria, rispetto alla quale occorre però fare le seguenti osservazioni:

- La letteratura che si occupa più specificamente del sistema scolastico si rifà ad un generico approccio sistemico e pochi sono i contributi che utilizzano esplicitamente la nozione di complessità.
- Il tema più discusso e che più sollecita l'attenzione degli autori è quello della riforma del sistema scolastico e buona parte dei contributi che abbiamo rintracciato si occupano di questo problema, che rientra nel più ampio ambito del "change management".
- Pur rimanendo nell'ambito di un generico riferimento ad un approccio sistemico, nei documenti che abbiamo consultato si rintracciano, effettivamente, termini che si avvicinano alla categoria dei sistemi adattativi complessi. In particolare, alcuni contributi fanno riferimento all'esistenza, all'interno del sistema scolastico, di pattern di interazione, di processi di feedback, di reti di comunicazione e, più in generale, di caratteristiche tipiche di un sistema aperto e teleologico. Si tratta, per quanto abbiamo potuto verificare sinora, di spunti abbastanza occasionali e non pare esserci un corpus di conoscenze consolidate.

In definitiva, non sembra che vi sia un approccio strutturato alla descrizione del sistema scolastico, basato sulla nozione di sistema complesso adattativo. Il livello tipico della letteratura cui abbiamo potuto accedere è metaforico. L'apertura del sistema allo scambio di informazioni con l'esterno, la presenza di comportamenti emergenti, l'esistenza di un principio finale che determina, almeno parzialmente, i processi evolutivi e tutti gli altri elementi che genericamente possono essere riferiti alla complessità adattativa possono efficacemente essere riassunti in un'immagine "ecologica", di rapporto tra un organismo dotato di DNA e un ambiente circostante. Ma al di là di metafore di questo tipo, non abbiamo rintracciato alcuna descrizione compiuta delle caratteristiche di un sistema adattativo complesso, empiricamente riscontrabili all'interno del sistema scolastico. Manca, cioè, una definizione delle strutture e dei processi che configurano la complessità del sistema scolastico, che permetta di fondare un modello di rappresentazione quantitativa, in grado di riprodurre, almeno schematicamente, le dinamiche del sistema e di fornire indicazioni per il suo governo.

In assenza di contributi adeguati nella letteratura esistente, abbiamo provato ad individuare alcune linee interpretative che ci sembrano più utili per il nostro lavoro.

2.1 La scelta del livello di indagine

Pur consapevoli del fatto che il tentativo di articolare un sistema complesso in “parti” è un processo concettualmente incoerente con l’affermazione stessa della sua complessità, è inevitabile che nell’ambito di un sistema come quello scolastico si individuino dei “layer” che risultino sufficientemente articolati da mostrare, essi stessi, una dinamica complessa, ma che contemporaneamente non siano troppo interagenti fra loro, sicché sia possibile, almeno in prima approssimazione, cercare di descriverne le dinamiche separatamente, semplificando il problema.

Il modo più intuitivo per individuare questi livelli d’indagine e selezionare quello di interesse maggiore per noi, è quello di partire da una sorta di scala gerarchica (non in termini valoriali, ma puramente organizzativi) facilmente rintracciabile all’interno di un generico sistema scolastico. In particolare, ci sembra che in prima battuta si possano individuare i tre seguenti livelli:

1. Il singolo discente;
2. La classe;
3. L’istituto scolastico;

Qui l’attenzione è stata posta sullo scolaro, che interagisce con l’ambiente proprio (la famiglia e il contesto sociale da cui egli proviene), con la classe e con l’istituto scolastico. Dualmente, si possono considerare i docenti, che interagiscono con il proprio ambiente culturale, con i propri colleghi (per esempio, con il collegio dei docenti), con l’istituto presso il quale prestano servizio (ad esempio, con il proprio Preside) e, infine, con il più generale ambito del Ministero che, direttamente o indirettamente, è in relazione con i singoli docenti stessi (si pensi all’effetto delle politiche organizzative centrali sul comportamento degli attori coinvolti).

Ognuno di questi livelli è, anche singolarmente considerato, un sistema complesso: si passa dalla complessità umana e psicologica del discente, a quella anche organizzativa dei rapporti con il docente e con la classe e agli effetti che questi hanno sull’educazione, sull’apprendimento e sulla maturazione dei singoli scolari, sino alla complessità organizzativa di un istituto scolastico.

Il punto di vista che abbiamo assunto, necessariamente semplificatorio, è quello di studiare le relazioni che esistono tra agenti appartenenti al medesimo livello (ci occupiamo, per così dire, di

una “complessità orizzontale”). Fra i possibili livelli, abbiamo scelto quello degli istituti scolastici, per i seguenti motivi:

- I livelli più vicini al singolo scolaro coinvolgono aspetti di teoria psicologica che non possiamo affrontare in questa sede e che crediamo sfuggano ad una descrizione sistemica come quella che tentiamo di fare;
- Concettualmente, si tratta forse del livello più semplice da cui partire, almeno se l’attenzione viene ristretta ad alcuni aspetti della complessità potenziale di questo layer.
- Una delle difficoltà a trattare il tema della complessità è che, in un certo senso, esistono molti modi nei quali un sistema può essere complesso e quindi molti strumenti concettuali che possono essere utilizzati nella loro descrizione. Noi, come discuteremo in seguito, siamo interessati all’utilizzo della nozione di grafo casuale e ai pattern che possono emergere dalla presenza di una struttura relazionale latente tra agenti. La scelta del layer degli istituti scolastici si motiva, allora, perché da un parte è concettualmente più semplice individuare meccanismi di relazione tra istituti e, dall’altra, perché è forse più semplice definire l’ambiente-contesto di tali agenti (sottolineiamo ancora che si tratta pur sempre di approssimazioni schematiche, consapevoli che ogni elemento del sistema scolastico e del sistema istituzionale stesso è, in un certo senso, contemporaneamente agente e contesto).

Facciamo un breve e semplice esempio, tratto dalla diretta esperienza del personale docente, che può aiutare a chiarire i contenuti della nostra scelta.

In anni recenti, il Ministero della Pubblica Istruzione ha imposto agli istituti scolastici di emettere un Piano dell’Offerta Formativa che descriva i contenuti e i percorsi formativi offerti ai discenti e alle loro famiglie. All’obbligo del Piano dell’Offerta Formativa, non è stata affiancata l’indicazione delle modalità precise della sua redazione. Di fatto, e per ragioni differenti che non è nostra intenzione indagare, alcuni istituti scolastici non sono state in grado di definire ed attuare “in proprio” un processo per la definizione del piano, mentre altre realtà scolastiche, con maggiori risorse culturali, organizzative ed economiche, ne hanno invece avuto la capacità e hanno sviluppato le necessarie modalità attuative. Attraverso diversi canali, formali e informali, si è instaurato, successivamente, un processo di emulazione e diffusione del processo di redazione del

piano che, uscendo dagli istituti che lo hanno generato, è stato acquisito anche in altre realtà scolastiche, determinando l'emergere di un comportamento comune.

Questo esempio contiene almeno due elementi importanti da mettere in evidenza. Innanzitutto, l'esistenza di un contesto che, stimolandolo, induce, nel sistema scolastico, l'insorgere di una "risposta": l'introduzione del Piano dell'Offerta Formativa rappresenta, in questo senso, l'interazione con l'ambiente esterno. In secondo luogo, una struttura latente di relazioni tra istituti, che produce l'emergere di un comportamento collettivo. Naturalmente, che l'informazione proveniente dall'ambiente esterno sia relativa al Piano dell'Offerta Formativo è un semplice caso esemplificativo. L'elemento interessante è che nel layer che abbiamo individuato, l'emergere di un comportamento collettivo è dovuta a un pattern di relazioni non noto, ma realmente esistente e che permette l'emergere di una fenomenologia tipica di un sistema adattativo complesso.

Ribadiamo ulteriormente che quanto stiamo affermando nasce da una schematizzazione estrema della reale complessità: l'ambiente non coincide con il Ministero e con le sue indicazioni, l'instaurarsi di relazioni tra istituti scolastici è un processo esso stesso dinamico e quindi non è concettualmente del tutto lecito darlo per definito; il comportamento di un istituto e la sua ricerca di collegamento con altre realtà didattiche dipende anche dal tipo di alunni cui esso si rivolge, con le loro specificità culturali e sociali che dipendono, certamente, anche dal bacino d'utenza di riferimento e così via. Se però assumiamo strumentalmente come date tutte queste condizioni, possiamo isolare gli elementi che ci interessano e ricondurre l'intero discorso allo schema che abbiamo proposto poco sopra.

L'affermazione centrale che poniamo dunque alla base della nostra proposta di ricerca è che *la struttura relazionale esistente tra gli istituti è in grado di determinare la fenomenologia del layer cui ci stiamo riferendo.*

Accettata questa prospettiva, con le evidenti approssimazioni che essa comporta, di seguito mostriamo le conseguenze che ne possono derivare dal punto di vista dello sviluppo di un modello concettuale di rappresentazione, valutazione e misura del sistema scolastico.

3 Il concetto di network

La nozione di rete (network) nell'ambito delle scienze sociali ha ormai una lunga storia. L'idea essenziale è quella di associare agli agenti del sistema i vertici di un grafo i cui archi rappresentano relazioni esistenti tra gli agenti medesimi, cercando di caratterizzare la fenomenologia del sistema sociale in termini della topologia della rete.

Tra i vari utilizzi che di questo approccio sono stati fatti, è per noi rilevante ricordare lo studio di processi di diffusione (per esempio di informazioni, di epidemie) all'interno di ambienti sociali. Dai primi concetti sviluppati negli anni '50, oggi la teoria si è sviluppata, anche formalmente, dando luogo, tra l'altro, ad un interessante connubio con l'algebra astratta e le sue strutture oltre che, ovviamente, con la teoria dei grafi.

Non è nostra intenzione presentare in questo luogo i lineamenti di questo approccio. Ciò che interessa è introdurre alcune recenti innovazioni concettuali che possono essere utile per gli obiettivi del nostro progetto.

3.1 Random network, small world e scale-free network

Le reti che si possono reputare in grado di caratterizzare una realtà sociale come quella degli istituti scolastici hanno una struttura di relazione che dipende dal tempo e che si forma in maniera non deterministica. Questo tipo di rete viene descritta nell'ambito della teoria di grafi casuali. Da un punto di vista matematico, si tratta di una parte della teoria dei grafi interessata ad individuare modelli probabilistici di generazione di relazioni tra agenti, a cui corrispondano, eventualmente in modo asintotico, topologie caratterizzate da particolari valori attesi di specifici parametri strutturali del grafo.

Si supponga di osservare una struttura di rete sociale ad un istante temporale fissato. Se si è in grado di misurare i parametri strutturali del grafo corrispondente (cioè i parametri che ne specificano, almeno nella sostanza, la topologia) e se si assume che la rete sia di tipo casuale, allora si può cercare di inferire il modello di generazione delle relazioni, individuando i meccanismi che stanno alla base della crescita della rete.

Per valutare se questa linea d'indagine sia interessante per i nostri obiettivi, è necessario porsi, però il seguente quesito: la struttura topologica di una rete è in grado, al di là del tipo specifico di fenomeno che su di essa ha luogo, di spiegare l'emergere di una fenomenologia complessa, in particolare, dal nostro punto di vista, di comportamenti collettivi?

Alla fine degli anni '90, molti studi sui grafi casuali si sono concentrati su particolari tipi di reti, note come reti *small world* e *scale-free*. Evitando di entrare, in questo primo documento, nelle definizioni matematiche, e utilizzando un linguaggio del tutto informale, possiamo affermare che le reti *small world* si caratterizzano per una inaspettata compresenza di due elementi strutturali che intuitivamente tenderebbero ad escludersi: l'esistenza di un numero limitato di relazioni dirette fra un individuo e gli altri elementi della rete e, contemporaneamente, la possibilità (in media) di connettere due qualsivoglia nodi del grafo con un numero limitato di archi. Si tratta, cioè di reti caratterizzate dal fatto di essere "sistema" pur con un numero limitato di connessioni interne. Questa proprietà è dovuta all'esistenza di pochi archi che connettono tra loro cluster di nodi altrimenti disconnessi. Questi articolari archi permettono, ai membri di un cluster che viceversa sarebbe chiuso in se stesso, di essere connesso con altri cluster, dando origine alla percezione che "il mondo sia piccolo", da cui il nome dato a questa classe di reti.

Un esempio, può aiutare a comprendere l'interesse per questo tipo di rete. Se si cerca un lavoro e si fa circolare il proprio curriculum nella cerchia dei propri amici, è probabile che la richiesta di occupazione circoli sostanzialmente sempre negli stessi canali, giacché è relativamente facile che due amici di un individuo siano anche amici fra loro. Ma se vi è un amico che ha relazioni con ambienti totalmente differenti dagli altri, esso rappresenta una grande opportunità per il successo della ricerca, perché mette in comunicazione con ambiti che non hanno alcuna ridondanza con quelli di partenza. L'esistenza di questi legami, in grado di "accorciare" la dimensione della rete, è evidentemente in grado di alterare le proprietà della rete stessa e sta alla base della possibilità che su di essa si manifestino fenomeni collettivi di comportamento coerente e auto-organizzato. L'esistenza di queste connessioni è, per esempio, in grado di spiegare la fenomenologia della diffusione di epidemie o di informazioni di varia natura e si ritiene che la topologia *small world* sia in grado di dar luogo a fenomenologie complesse.

Si pensi ora ad un altro esempio reale: lo sviluppo della rete di comunicazioni aeree tra aeroporti. Una compagnia aerea è incentivata a stabilire rotte con aeroporti già ricchi di traffico, perché questo le permette di collegarsi ad un mercato di voli più ampio, almeno finché il traffico aereo non diventi

insostenibile e impedisca di svolgere un servizio di qualità. Si assisterà, dunque, ad una tendenza, almeno temporanea, all'aumento della concentrazione di rotte su hub già "ricchi" di voli. Quando l'aggiunta di nuovi voli sarà impossibile per raggiunti limiti di capacità, un nuovo hub verrà creato e progressivamente arricchito e così via, allargando la rete. Questo fenomeno, descritto dal precedente esempio banale, può essere tradotto in un modello probabilistico di rete, caratterizzato da un meccanismo di generazione di archi che predilige la costituzione di connessioni verso i nodi che sono già più ricchi di connessioni. E questo, a sua volta, può spiegare perché la distribuzione del numero di connessioni per nodo, in particolari grafi, presenta delle "code pesanti", cioè la presenza di frazioni non trascurabili di nodi con una numerosità elevata di connessioni. Tali grafi sono detti scale-free.

La presenza di hub in una rete, oltre ad essere importante in sé da un punto di vista topologico, è anche potenzialmente indice dell'esistenza di particolari meccanismi di generazione e sviluppo della rete stessa. E' chiaro che la conoscenza della topologia e dei processi generatori di un grafo che descrive una realtà sociale rappresenta un supporto potenzialmente molto rilevante per il governo stesso del sistema e per la sua misura.

Per esempio, ritornando all'esempio del Piano dell'Offerta Formativa, l'individuazione di eventuali hub, cioè di istituti scolastici terminali di un elevato numero di connessioni, rappresenta un'importante leva di governo, perché tramite essi è possibile determinare effetti collettivi nell'intero sistema.

3.2 Misura del sistema scolastico

L'eventuale riconoscimento di una struttura di rete small world e/o scale-free soggiacente all'insieme degli istituti scolastici, comporta una serie di conseguenze metodologiche che qui di seguito accenniamo senza, per il momento, pretesa di completezza:

1. Innanzitutto, qualunque rilevazione campionaria, su qualunque aspetto, non può prescindere dalla presenza di relazioni che modifichino i criteri di campionamento. Più in generale, la correlazione spaziale tra variabili associate, in qualche modo, agli istituti scolastici, potrebbe essere spiegata dalla presenza di particolari strutture relazionali, che rendono più vicini fra loro agenti apparentemente distanti, sia geograficamente che da un punto di vista delle caratteristiche sociali proprie e del proprio contesto.

2. L'esistenza di particolari topologie o di hub all'interno della rete è un'informazione essenziale per la comprensione del sistema stesso, pertanto nasce l'esigenza di sviluppare metodi statistici che abbiano come obiettivo l'indagine sulla struttura stessa della rete.
3. La dimensione temporale e lo studio dell'evoluzione della rete diventano un fattore chiave per la conoscenza del sistema. La costruzione di indagini panel, di conseguenza, non può prescindere dal fatto che la struttura topologica della rete abbia particolari caratteristiche ed evolva con dinamiche specifiche.

Esistono già, in letteratura, contributi che affrontano le tematiche che abbiamo appena accennato. In sintesi, possiamo affermare che l'impostazione che abbiamo assunto comporta, da un lato, che la struttura della rete, che è ignota in partenza, divenga oggetto d'indagine e, in secondo luogo, che, una volta conosciuta, sia tenuta presente nella costruzione di indagini campionarie cross-section e panel.

È chiaro, per concludere, che tutto quanto affermato, per poter essere tradotto in pratica, richiede la mappatura della rete degli istituti scolastici (o, sperimentalmente, almeno di un loro sottoinsieme). Questo, a sua volta, presuppone che si individuino le modalità e i criteri per cui abbia senso affermare che due istituti scolastici sono in relazione. Questo problema non è oggetto di queste attività, ma ci pare essenziale sottolinearlo, come fattore chiave per l'applicazione empirica dell'approccio da noi suggerito.

Le prossime fasi del progetto hanno l'obiettivo di rendere più specifiche le considerazioni che abbiamo fatto, approfondendo gli aspetti quantitativi, legati allo studio delle tecniche statistiche in presenza di una struttura di grafo casuale small-world o scale-free, con l'obiettivo finale, di costruire una simulazione che mostri la rilevanza di queste topologie per la descrizione e la misura del sistema.

Bibliografia

1. Degenne A., Forsé M. *Introducing social networks*, SAGE Publications, 1999;
2. Carrington P. J., Scott J., Wassermann S. *Models and methods in social network analysis*, CUP, 2005;
3. Pattison P. *Algebraic Models for Social Networks*, CUP, 1993;
4. Watts J. D: *Small Worlds*, Princeton University Press, 1999;
5. Ebel H., Mielsch L., Bornholdt S., *Scale-free topology of e-mail network*, Physical Review E 66, 2002;
6. Schwartz N., Cohen R., ben-Avraham D., Barabasi A., Havlin S., *Percolation in directed scale-free networks*, Physical Review E 66, 2002;
7. Guardiola X., Diaz-Guilera A., Pèrez C. J., Arenas A., Llas M., *Modelling diffusion of innovations in a social network*, Physical review E 66, 2002;
8. Klemm K., Eguiluz V. M., *Growing scale.free network with small-world behaviour*, Physical Review E, 65, 2002;
9. Newman M. E. J., I. Jensen, Ziff R. M., *Percolation and epidemics in a two dimensional small world*, Physical Review E, 65, 2002;
10. Davidson J., Ebel H, Bornholdt S., *Emergence of a small world from local interactions: modelling acquaintance networks*, Physical Review Letters, volume 99, number 12, 2002;
11. Park K., Lai Y. *Self-organized Scale-free networks*, Physical Review E 72, 2005;
12. Dorogovisev S. N., Mendes J. F. F., Samukhin A. N. *Structure of growing networks with preferential linking*, Physical Review Letters, volume 85, number 21, 2000;
13. Krapivsky P. L., Redner S., Leyvraz F., *Connectivity of Growing Random Networks*, Physical Review Letters, volume 85, number 21, 2000;
14. Watts D. J., Strogatz S. H., *Collective dynamics of "small-world" networks*, Nature, 393, 440-442, 1998;
15. Eriksen K. A., Hornquist M., *Scale.free growing networks imply linear preferential attachment*, Physical Review E, volume 65, 2001;
16. Dorogovtsev S. N. Mendes J. F. *Evolution of Networks*, Advances in physics, Vol. 51, No. 4, 1079-1187, 2002;
17. Amaral L. A., Scala A., Barthelemy M., Stanley H. E., 2000 *Classes of small world networks*, Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 97 11149; cond-mat/0001458;

18. Barabasi A. –L., Albert R., 1999, *Emergence of scaling in random networks*, Science, 286, 509; cond-mat/9910332.