

# LINK

## La nuova teoria delle reti di Albert-László Barabási

- Prospettiva Marxista -

Il libro di Barabási, professore di fisica alla Notre-Dame University e scienziato delle reti, illustra la storia di un'affascinante ramo della matematica che solo di recente ha vissuto un notevole impulso. In *Link. La nuova teoria delle reti*, edito nel luglio 2008 da Einaudi per conto della rivista *Le Scienze*, si possono trarre spunti politici interessanti perché questa teoria si occupa della rappresentazione di sistemi complessi tramite reti, schemi grafici-matematici di date relazioni naturali o sociali.

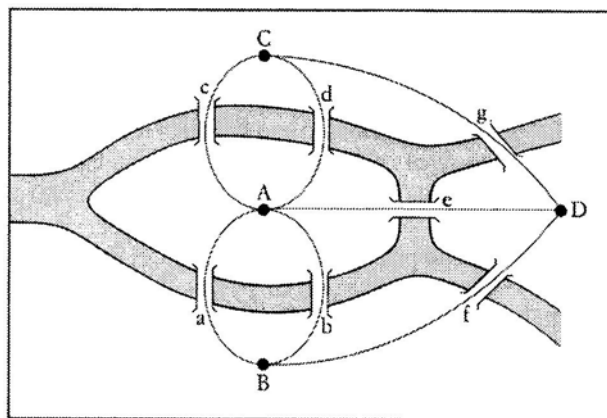
Il marxismo può rafforzarsi dall'interazione con altre scienze, ha le spalle abbastanza larghe per recepire anche fecondi insegnamenti da altri settori scientifici, a condizione che questi insegnamenti non ne scardinino i tratti salienti e gli assunti fondamentali. Alle volte, a ben leggere, si possono trovare anche implicite conferme. Questo è possibile perché la realtà è una sola, ma non esiste una sola scienza, poiché mille aspetti parziali della complessa realtà possono essere studiati ed approfonditi, con strumenti tecnici e teorici particolari. Così prende vita una specifica scienza che delimita inevitabilmente un proprio ambito. Così si generano una pluralità di scienze che possono avere legami e influenze reciproche più o meno marcate e proficue. Il fatto che, ad oggi, non vi sia una "teoria del tutto" in grado di unificare le principali teorie fisiche accettate, non impedisce affatto l'esistenza e la validità di scienze capaci di racchiuderne altre sotto di sé o di avere efficacia esplicativa in fenomeni apparentemente distanti tra loro. La scienza marxista, ad esempio, è la sintesi, nuova e creativa, di tre giganteschi rami di indagine sociale giunti ad un alto grado di maturazione: la filosofia tedesca, la politica francese e l'economia inglese. La teoria delle reti trova invece nessi, leggi comuni in fenomeni diversi come la strutturazione di Internet, la diffusione di un'epidemia virale, l'evangelizzazione di Paolo di Tarso, l'evoluzione delle reazioni biochimiche intercellulari e altro ancora. La teoria delle reti è solo in senso stretto una branca della matematica, non si limita a linee e numeri, si intreccia con la sociologia, con la medicina, con la biologia, l'informatica.

Non trattandosi di un romanzo crediamo di non far torto a nessuno dando un'ampia sintesi dei punti chiave di questo libro, anche perché solo così possiamo a conclusione portare alcune nostre considerazioni, utili al rafforzamento della scienza che riteniamo la più importante di tutte: quella marxista, l'unica in grado di liberare tutte le altre dai limiti imposti loro dalla logica del profitto.

### I grafi di Leonardo Eulero

La teoria delle reti origina dalla ingegnosa dimostrazione della soluzione di un rompicapo popolare. Siamo nella Königsberg del primo settecento. Il fiume che passava la città era attraversato da sette ponti. Il problema che divertì, per un poco probabilmente, gli abitanti del luogo consisteva nel cercare di compiere una passeggiata lungo tutti i sette ponti senza mai attraversare lo stesso due volte. Nel 1736 Leonardo Eulero, uno dei più grandi matematici dell'illuminismo, fornì una dimostrazione semplice, elegante e scientifica della soluzione di questo enigma. La sua intuizione fu quella di concepire la situazione concreta attraverso un grafo, cioè un insieme di nodi connessi da link, dove i nodi (o i vertici) erano le regioni di terra mentre i link (o gli spigoli) erano i ponti.

Così facendo ottenne un grafico di questo tipo:



[Immagine tratta da "Link", p. 12]

Una schematizzazione siffatta fu l'inizio di una branca analitica dotata di un proprio modo di operare, cioè in particolare la geometria topologica e più in generale la teoria dei grafi o delle reti. La soluzione era stata ovviamente trovata empiricamente dai più: un simile percorso era impossibile. Il passo avanti consistette nel dimostrare con rigore d'analisi il perché non fosse possibile. Capire i limiti di una circostanza è, dialetticamente, tanto importante quanto capirne le potenzialità. Spiega Barabási: «Eulero si basò su una semplice osservazione. I nodi con un numero dispari di link dovevano trovarsi all'inizio o alla fine del cammino. Un percorso continuo che attraversi tutti i ponti può avere soltanto un punto di partenza e uno di arrivo». Come si vede dalla figura non era questo il caso, avendo ogni nodo un numero dispari di link. Per questa ragione non era possibile quel tipo di percorso.

Il lavoro pionieristico di Eulero porta già ad una considerazione fondamentale della teoria delle reti: «nella loro architettura i grafi o le reti nascondono proprietà che possono limitare o favorire ciò che possiamo fare con loro». Il percorso continuo sui ponti di Königsberg fu infatti compiuto nella pratica solo nel 1875, quando venne costruito un ottavo ponte. Il motto "tutto è possibile" è perciò buono più per i film di fantascienza che per la nostra pratica comune. Quindi, se certi grafi, certe reti, sono in grado di rappresentare abbastanza fedelmente una concreta realtà, allora questa conoscenza ci può fornire indicazioni su come intervenire razionalmente e consapevolmente in essa.

### Reti in sviluppo

A seguito di Eulero molti prestigiosi matematici (Cauchy, Hamilton, Cayley, Kirchhoff, Polya ecc.) portarono contributi. Per molto tempo la riflessione sulle reti si concentrò però, oltre che su sciarade più articolate, soprattutto sulla scoperta e sulla catalogazione delle proprietà di vari grafi rintracciabili in natura come ad esempio il reticolo formato dagli atomi di un cristallo piuttosto che le cellette esagonali degli alveari. Dopo circa due secoli di descrizioni delle proprietà dei grafi, due matematici volsero la propria attenzione su come nascono le reti. I due scienziati in questione erano gli ungheresi Paul Erdős e Alfréd Rény che negli anni Cinquanta del Novecento rivoluzionarono la teoria delle reti rispondendo a quelle nuove domande da loro formulate. Notiamo di sfuggita che il destino di questa scienza è stato analogo a quello di molte altre che l'hanno preceduta. Partite da intuizioni geniali, vivono un'adolescenza nutrita di osservazioni descrittive ed empiriche, per maturate teoricamente ponendosi i problemi dialettici della nascita e dello sviluppo di costruzioni prima considerate come fisse e immutabili.

Una miriade di fenomeni possono essere rappresentati con dei grafi: clienti e fornitori uniti dal commercio, cellule nervose collegate da assoni, case connesse da linee telefoniche, città raggiunte da treni, persone legate ad altre tramite amicizia. Tutto ciò che ha connessione può essere schematizzato, matematicamente, con nodi e link. I campi di applicazione sono perciò i più vasti perché tutta la natura, inclusa la società, è fatta di complessi legami e interconnessioni. Perciò, per

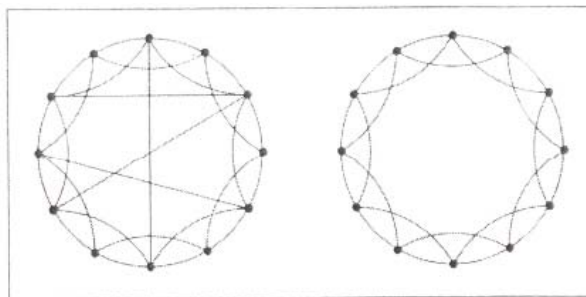
tagliare la testa al toro della diversità tra tutte le reti presenti in natura, Erdős e Rény elaborarono un modello generale di rete costruita secondo una connessione casuale di nodi. A differenza di quanto credeva Einstein, presupposero che “Dio giocasse ai dadi”. Il caso era il mezzo più uniforme e per certi versi più democratico di stabilire nodi e link di una rete.

Aggiungendo ad un tot di nodi isolati delle connessioni a caso tra un nodo e l'altro, emerse che all'inizio si formano coppie di nodi sparsi. Man mano che si aggiungono link casuali si stabiliscono sempre più piccoli gruppi isolati, ma ad un certo punto si forma repentinamente un *cluster* (gruppo) gigante, in cui ogni nodo arriva ad avere almeno un link con un altro nodo. Tutti i nodi giungono ad avere un nesso con gli altri, diventando un insieme, qualcosa di qualitativamente diverso da prima. Questo fenomeno è una trasformazione radicale che avviene dopo l'aggiunta quantitativa e graduale di link e viene definita dai fisici “transizione di fase”, analogamente alla trasformazione in ghiaccio dell'acqua.

### **Esperimenti sociologici**

Facciamo ora una digressione in qualche esempio sociologico, di cui è ricco il libro di Barabási, perché a partire da indagini su alcune caratteristiche dei rapporti umani si cominciò a mettere in discussione la teoria delle reti casuali, per lo meno nel suo aspetto di capacità descrittiva del reale. Nel 1967 un sociologo del Massachusetts Institute of Technology, Stanley Milgram, cercò di capire con vari esperimenti quanti contatti fossero necessari per connettere fra loro, via conoscenza, due individui scelti a caso all'interno degli Stati Uniti. Il risultato fu all'incirca di 5,5 passaggi, un numero non molto distante dai noti “sei gradi di separazione”, che separerebbero ogni individuo sulla terra, ipotizzati trent'anni prima dallo scrittore ungherese Karinthy in un suo romanzo. Questo portava alla conclusione che in realtà viviamo in un “mondo piccolo”, in una ragnatela di relazioni piuttosto fitta, in cui ciascuno di noi supera largamente quel singolo legame di conoscenza che ci fa appartenere alla società. Anche il Web, una volta studiato, si rivelò essere tutto sommato un piccolo mondo, perché con non più di diciannove link si era in grado di collegare un documento preso a caso a qualsiasi altro presente in rete, anche nel suo angolo più sperduto. Poco meno di vent'anni dopo il lavoro di Milgram comparve un'opera dal titolo *La forza dei legami deboli* di Mark Granovetter, anch'egli studioso al MIT di Boston, al tempo fucina di nuove scoperte sulle reti sociali. In quell'importante studio sociologico l'autore avanzava la seguente ipotesi: «quando si cerca un lavoro, quando si va a caccia di notizie, quando si vuole aprire un ristorante o lanciare una nuova moda, i legami sociali deboli sono più importanti delle amicizie forti e radicate». Questo era vero per il fatto che in linea di massima i nostri amici si muovono all'interno del nostro stesso ambiente, perciò i legami deboli, ovvero i conoscenti, sono un ponte più efficace verso il “mondo esterno” frequentando persone a noi meno vicine. La rappresentazione conseguente che derivava da queste considerazioni era di una società fatta di legami a rete in cui si trovavano molti *cluster* fitti comunicanti tra loro attraverso legami deboli. Qualche anno dopo Granovetter un altro studioso delle reti, Duncan Watts, che si occupò del *clustering*, ovvero della formazione dei gruppi, notò che due suoi propri amici non potessero avere la stessa identica probabilità di conoscersi tra loro di quanto l'abbiano, ad esempio, «un gondoliere veneziano e un pescatore eschimese», bensì molto superiore perché probabilmente facenti parte di un medesimo gruppo.

Fin qui però la prospettiva egualitaria di Erdős e Rény poteva ancora, sostanzialmente, reggersi in piedi, anche in virtù del perfezionamento e dell'integrazione data a questa dallo stesso Watts in collaborazione con Steven Strogatz nel 1998. Questi raffigurando i link di una rete disposti lungo un cerchio misero in luce come delle connessioni a lunga gittata, come nella società potrebbero essere delle semplici conoscenze extra-provinciali o a distanza, permettevano di spiegare la società a gruppi senza dover per forza abbandonare la genesi casuale delle reti.



[Immagine tratta da "link", p. 54]

### La scoperta dei connettori

L'universo reticolare casuale dei due matematici ungheresi incontrò invece problemi seri quando, studiando più a fondo i sistemi complessi reali, si scoprì l'importanza dei connettori all'interno delle reti naturali, tanto che le verità di quella teoria furono di fatto relegate a quelle dei regni della matematica.

Per capire cosa sia un connettore riprendiamo un recente test elaborato da Malcolm Gladwell, giornalista del *New Yorker* ed autore de *Il punto critico*, ideato per misurare il grado di socialità. Prendendo vari gruppi omogenei di persone Gladwell ha assegnato dei punti a ciascuno a seconda di quante persone dello stesso cognome conoscevano su una lista di 248 nomi presi a caso dall'elenco telefonico di Manhattan. Il risultato dell'esperimento fu alquanto interessante, in particolare lo era lo scarto che si evidenziava tra i punteggi più bassi e medi rispetto a quelli estremamente più alti, registrati da pochi individui. La sua conclusione, come riporta l'autore di *Link*, fu questa: «Disseminata in varie occupazioni esiste una manciata di persone che possiede l'abilità davvero straordinaria di stringere un numero eccezionale di amicizie e conoscenze. Sono i connettori». Aggiunge subito dopo Barabási: «I connettori hanno una grandissima importanza all'interno della rete sociale. Creano mode e tendenze, concludono affari importanti, diffondono usanze o fanno conoscere un nuovo ristorante». Forse anche per quest'aspetto commerciale si è posto l'attenzione nel marketing sull'individuazione di quelle persone più influenti di altre.

I connettori sono quindi, all'interno delle reti, dei nodi con un numero di link molto elevato, considerevolmente superiore alla media. Prendiamo la rete degli attori di Hollywood, essa è piuttosto fitta, in generale si può collegare ogni attore in non più di tre passaggi. Ma se mediamente ogni attore ha 27 link, il 41% ne ha meno di dieci e solo una cerchia ristretta ne ha parecchi di più. Robert Mitchum recitò con 2905 colleghi, John Carradine addirittura con 4 mila: questi sono degli hub, dei connettori della rete degli attori. Anche Erdős fu nel suo campo un grande connettore, pubblicò 1500 articoli firmati con altri 507 matematici, tanto che è stato creato il numero di Erdős, sinonimo di prestigio, che segna la distanza dalle pubblicazioni fatte con lui. Paolo, il vero fondatore del cristianesimo, era senza dubbio un hub e più in generale potremmo dire che i leader, i realizzatori di grandi imprese sociali, non possono che essere degli efficaci connettori.

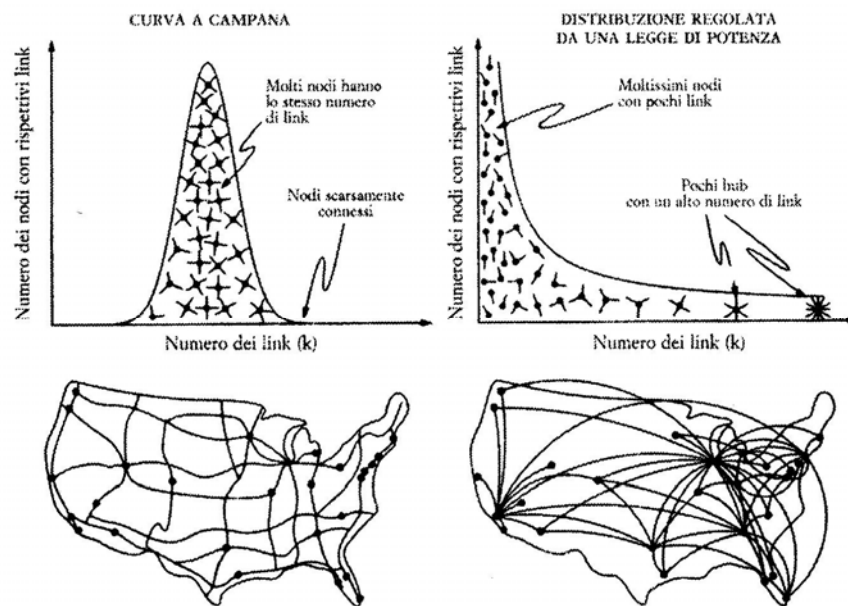
L'esistenza di questi connettori, o hub, era stata scoperta ancor prima di Gladwell dall'équipe di Barabási studiando la conformazione del Web alla fine degli anni Novanta. Se in pratica è abbastanza facile creare un sito e pubblicare via Internet, molto più difficile è avere visibilità. Mappando Internet, sostiene l'autore, emerse «la scoperta di una totale assenza, nel Web, di democrazia, equità e valori egualitari». Su circa 203 milioni di pagine Web analizzate, circa il 90% avevano meno di dieci link dall'esterno, mentre non più di due o tre ne avevano quasi un milione (si pensi a Yahoo o Google). Analogamente le società per azioni, nell'azionariato diffuso, non danno potere alla massa dei singoli azionisti, potere che resta invece, come già aveva notato Lenin, nelle mani dei pochi che detengono le quote più importanti.

### Reti che seguono leggi di potenza

La mappatura del Web mostrò che esso seguiva quella che in matematica è definita legge di

potenza o legge di scala, vale a dire un sistema in cui coesistono grandi eventi con piccoli eventi come appunto enormi hub circondati da una miriade di nodi con pochi link. Spiega l'autore che «se l'altezza degli abitanti di un pianeta immaginario seguisse una distribuzione regolata da una legge di potenza significherebbe che, pur essendo quelle creature tendenzialmente basse, nessuno si stupirebbe nel vedere di tanto in tanto un mostro di trenta metri spuntare per strada».

Per chiarire ulteriormente il concetto Barabási mette a paragone la rete autostradale statunitense con quella aerea, facendo così risaltare le differenze strutturali tra una rete casuale ed una descritta dalla legge di potenza (definita anche rete a invarianza di scala).



[Immagine tratta da "link", p. 78]

Nel caso della rete autostradale si è in presenza di una rappresentazione dei fenomeni a campana o a picco, che si può ravvisare in molti aspetti del mondo come la distribuzione del Quoziente Intellettivo sulla popolazione o anche della velocità delle molecole nei gas. Nella rete autostradale tutti i nodi hanno più o meno gli stessi numeri di link, come in una rete casuale. Ma in natura le reti più complesse assumono solitamente una struttura regolata dalla legge di potenza, di cui la rete aerea è un bell'esempio. Quel tipo di struttura è tenuta insieme dalla funzione degli hub che ne impediscono la frammentazione e ne regolano il funzionamento.

Secondo Barabási i sistemi complessi si comportano secondo leggi di potenza quando questi sono costretti ad una transizione di fase, quando si passa cioè dal disordine all'ordine superando un punto critico. In prossimità di tali eventi, come nella trasformazione dell'acqua in ghiaccio o nell'orientamento degli spin degli atomi nella formazione di un magnete, appaiono le leggi di scala. Esistono quindi delle leggi generali, fondamentali, che spiegano la strutturazione e la natura delle reti complesse. Non solo, venne indagata anche la loro formazione: si notò che l'emersione delle leggi di potenza nelle reti reali si verificano in presenza di una crescita di queste, anche se la sola crescita non è elemento sufficiente, benché necessario. Certamente i nodi più vecchi si trovano in netto vantaggio rispetto a quelli nuovi nelle reti in sviluppo, ed hanno perciò maggiori possibilità di diventare o restare hub, ma presto divenne evidente che occorre, oltre alla crescita della rete, anche un collegamento preferenziale per la creazione di grossi e influenti nodi. Questa preferenza chiama in causa quindi non solo il tempo di esistenza di un nodo, ma anche il suo fattore di *fitness*, ovvero il suo grado di adeguatezza. In particolare in un ambiente competitivo, in cui nodi e link periscono e altri ne nascono in una selezione più o meno frenetica, la rispondenza efficace, di un nodo rispetto ad un altro, ad esigenze concrete del sistema produce una evoluzione differente di questi nodi, il loro successo o fallimento. Google ad esempio non è stato il primo motore di ricerca presente in

Internet ma si è rapidamente affermato come il migliore.

### **Il problema della vulnerabilità**

La capacità di reazione agli attacchi, agli errori o a guasti casuali di una rete dipende anche dalla sua struttura. La teoria delle reti mostra forse da questo lato la sua maggiore portata pratica.

In molti sistemi naturali osserviamo un'altissima interconnessione unita ad una grande capacità di autoaggiustamento e di robustezza degne di attenzione. L'ecosistema ad esempio, con la continua estinzione di specie animali e vegetali, mostra un'eccellente tolleranza agli errori. In molti prodotti umani invece, come le reti elettriche, l'elevata interconnettività presta il fianco ad incontrollati effetti domino, come i blackout. La differenza risiede perciò non nella interconnessione ma nella topologia di queste relazioni.

A seguito di esperimenti si capì che lo sfaldamento di una rete casuale non avviene gradualmente. Se si tolgono un nodo dopo l'altro, in maniera casuale, la rete collassa di colpo una volta superata una data soglia critica. Il Web invece evidenziò una capacità di sopravvivenza a sottrazione casuale di nodi estremamente elevata, di molto superiore ad una analoga rete casuale che si dimostra quindi molto meno resistente ai guasti. Barabási sintetizza con queste parole: *«La robustezza topologica ha quindi le sue radici nella struttura antidemocratica delle reti a invarianza di scala: i guasti privilegiano in modo sproporzionato i nodi più piccoli»*. Questo per il semplice fatto che nelle reti a leggi di potenza esistono molti nodi piccoli e pochi nodi grandi, se perciò saltano nodi a casaccio è più probabile che non siano i numericamente limitati hub ad essere danneggiati. Analogamente nel campo biologico vediamo che solitamente una o più mutazioni casuali di un gene non uccidono la cellula e questo avviene perché le interazioni a livello proteico hanno una struttura a invarianza di scala.

Se però è altamente improbabile che il crollo casuale di pochi server su Internet provochi sconquassi, basta l'arresto di qualche centinaio di hub ben scelti per sfaldare potenzialmente tutta la rete informatica, così come il traffico aereo statunitense sarebbe messo in ginocchio se venissero chiusi New York, Detroit, Houston e Los Angeles. Le reti segnate dalla legge di potenza sono dunque fragili di fronte ad attacchi mirati. Il loro tallone d'Achille, la loro vulnerabilità si manifesta di fronte ad un'azione cosciente e preventivamente indirizzata. La National Security Agency degli Stati Uniti fece non a caso un'esercitazione nel 1997 sferrando un sabotaggio coordinato di diverse arterie vitali dei sistemi nazionali di pubblico dominio (in pratica gli hub) proprio per mostrare come questi fossero particolarmente vulnerabili ed andassero perciò maggiormente tutelati. Una rete casuale non corre chiaramente questi rischi, ma è molto meno resistente alle normali anomalie e difficoltà.

Ovviamente la specifica dimensione e distribuzione degli hub (hub che seguono una gerarchia tra loro), determina la topologia della rete, la sua stabilità e robustezza, il suo comportamento dinamico. Sapere quali sono e dove sono gli hub può permettere inoltre di difendersi meglio di fronte alla diffusione di virus ed epidemie. Anche nelle dinamiche di mode, innovazioni, diffusione di idee in un sistema complesso quale è appunto la società, l'esatta comprensione del ruolo degli hub e dei connettori, della loro stessa dislocazione, consente di individuare punti deboli e forti di una rete, permette di predisporre con maggiore efficacia le risorse per proteggerla o per svilupparla.

### **Marxismo e teoria delle reti**

Per scienza, in senso lato, intendiamo un'indagine e una comprensione razionale di fenomeni naturali che l'uomo si sforza di spiegare per mezzo di teorizzazioni, raffigurazioni logiche, spesso, ma non necessariamente, con l'ausilio della matematica. Per mezzo di tali rappresentazioni e conoscenze acquisite l'uomo è spesso capace di trasformare, trovati i mezzi necessari, la natura meglio compresa, è in grado molte volte di prevedere correttamente il futuro evolversi del corso degli eventi. La convinzione di Francesco Bacone, sulla potenza della conoscenza, non era poi sbagliata: il rappresentarsi precisamente come funziona una certa sezione di movimento reale fornisce all'uomo un potenziale potere di intervento nella stessa. Così la scienza delle reti può

essere utilizzata per descrivere relazioni umane ed essere anche d'ausilio nell'azione cosciente della lotta marxista per una società senza classi.

Non va infatti mai dimenticato che la specie umana non può essere concepita in astratto, a prescindere dalle condizioni materiali oggettive, dalle oggettive divisioni in classi che animano la presente società capitalistica che tutto il globo ha conquistato con i suoi peculiari rapporti di produzione e distribuzione. Le reti complesse di relazioni esistono per il capitale, perciò esistono per la classe dominante e per la classe dominata.

Nel capitalismo osserviamo un sistema internazionale di Stati che costituisce una rete in cui ogni nodo, ogni Stato, non ha lo stesso peso, anzi, su circa duecento entità statuali probabilmente una ventina incidono pesantemente sulla bilancia mondiale. Nella strategia rivoluzionaria di Lenin fu ben considerata l'interdipendenza delle nazioni ed il peso relativo di ogni anello della catena imperialista. La rottura dell'anello debole, la Russia, non poteva bastare per l'avanzata della rivoluzione internazionale, doveva estendersi ad un anello più forte, come la Germania, per pensare di dilagare ulteriormente. Il nodo tedesco era un tassello chiave per la rivoluzione in Europa, conquistarlo avrebbe significato destabilizzare la rete di relazioni almeno nel vecchio continente. Il nodo ungherese, pur conquistato per 133 giorni all'ascesa dell'ondata politica comunista, non era paragonabile per influenza ad una vittoria in Polonia e tanto meno in Germania.

La classe dei salariati nella sua lotta sviluppa organizzazioni e strutture, sviluppa dei nodi più importanti di altri, degli hub. I soviet in Russia furono una rete di auto-organizzazione proletaria di contropotere in cui Pietroburgo e Mosca erano certamente gli hub principali e determinanti del processo rivoluzionario. I bolscevichi erano consci di questo tanto che decidono la presa del potere valutando la propria presa su quei due gangli vitali del sistema sovietico, non attendendo la maggioranza formale in tutti i soviet di tutta la grande Russia. Lenin non ragiona democraticisticamente ma valuta attentamente i rapporti di forza che lo spingono a ritenere che il suo partito possa farcela avendo conquistato la parte decisiva dell'avanguardia di classe laddove si giocano effettivamente le sorti del potere. Ovviamente le due capitali erano hub anche per il loro peso economico e politico all'interno della società russa, erano i punti di forza anche per lo zarismo e per la borghesia in rapida ascesa.

La terza internazionale fu il principale hub politico della classe operaia rivoluzionaria mondiale e il partito bolscevico l'hub all'interno di quella rete. Lo fu in senso progressista quando era ancora guidato da una strategia corretta, lo fu in senso contro-rivoluzionario quando si affermò la reazione stalinista. Anche all'interno dei singoli partiti si trovano individui, gruppi, che fungono da hub e determinano l'orientamento dell'intera rete partito: i quadri politici possono essere intesi come connettori oggettivamente più influenti di altri nodi.

Come si vede la teoria delle reti non è affatto in contraddizione con il marxismo, ma anzi quest'ultimo trova conferme di battaglie politiche già condotte dai migliori rappresentanti della sua stessa scuola. La teoria delle reti dimostra semmai come molti fenomeni sociali siano oggettivamente non-democratici e non-egualitari. Questo non ci scandalizza: nessun comunista che sia approdato alla scienza si sente in imbarazzo di fronte a ciò, ma cercherà semmai, "senza ridere né piangere", di comprendere la realtà per quello che è e di favorire il proletariato nella sua storica lotta di emancipazione dell'umanità.

Un'ultima riflessione stimolata dal libro *Link* è portata dalla scoperta di una precisa corrispondenza matematica tra il modello a *fitness* delle reti a leggi di potenza e il comportamento del condensato di Bose-Einstein, stato della materia ipotizzato da Einstein nel 1925 e di cui è stata dimostrata l'esistenza solo nel 1995 quando si riuscì tecnicamente a portare atomi di rubidio a temperature così basse da produrre tale gas. La dinamica delle particelle del gas di Bose-Einstein, governato da speciali leggi della fisica quantistica, aveva delle caratteristiche le cui implicazioni trasportate nel mondo delle reti rendeva plausibile che un solo nodo fosse in grado nel suo sviluppo di "accaparrarsi" tutti i link. Se nelle rappresentazioni precedenti di reti a invarianza di scala si contemplavano solo sistemi con una pluralità di hub minoritari all'interno di un oceano di piccoli

nodi, questa scoperta aggiuntiva prende in considerazione il monopolio assoluto di un hub che tutto prende per sé.

Nella prefigurazione marxista della transizione della società capitalista a quella senza classi possiamo avanzare la previsione scientifica che nella serie di future rivoluzioni politiche comuniste che romperanno la vecchia marcia rete dei rapporti capitalistici, con tutti i suoi mille apparati statali di violenza, avanzerà un hub gigantesco che potrà finalmente unificare la specie umana e sottoporre l'intera produzione e distribuzione dei beni ad un unico piano cosciente piegato ai bisogni di tutti.