TELECOM ITALIA
FUTURE CENTRE

TELECOM ITALIA

Ciclo di incontri

“Gli ECOSISTEMI”

La biosfera

I piccoli mondi

Rappresentare un ecosistema

Evoluzione darwiniana e sistemi produttivi

I Piccoli Mondi

Guardiamoci attorno. Le cose che vediamo, quelle che facciamo, non sono mai isolate, ma fanno parte di un ecosistema caratterizzato da una varietà di relazioni. La casa si trova sulle pendici di una collina, fa molto caldo e l'evaporazione porta ad un addensarsi di nuvole. Si scatena un temporale che genera uno smottamento di terreno in una zona che è stata disboscata per far posto ad altre costruzioni che poi non sono mai state costruite per problemi con il piano regolatore. Lo smottamento travolge lo steccato della casa, causando molti danni al giardino.

La colpa è del piano regolatore?

L'esempio, chiaramente, può far sorridere. Tuttavia, sono centinaia le esemplificazioni di questo tipo che potremmo trovare sulle pagine dei giornali.

Nelle diverse relazioni di causa ed effetto contenute nell'esempio precedente, ve ne sono alcune che fanno parte di un sistema di regole ben precise, ad esempio la casa è stata originariamente costruita in quel posto sulla base di permessi e azioni ben determinate; altre ricadono, invece, in quell'insieme di eventi aleatori difficili da definire in modo preciso (come lo scatenarsi del temporale).

Negli ultimi decenni alcuni ricercatori hanno studiato questi fenomeni e con una certa sorpresa si è scoperto che è possibile applicare la matematica per realizzare modelli che li descrivono in modo molto preciso.

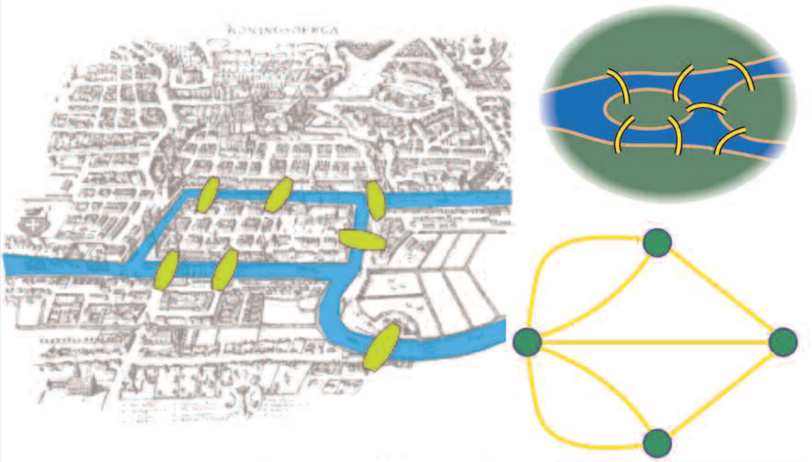
Non solo. Si è scoperto che quegli stessi modelli si possono applicare a contesti molto diversi, dallo studio di epidemie, ai movimenti delle azioni in borsa, dalle relazioni che si vengono a creare sul web tra persone che “chattano”, alla spiegazione di come “lievitano” le torte quando vengono messe in forno.

Una delle applicazioni è quella della rappresentazione e studio dell’Economia della Rete (Network Economy) e dell’impatto che le evoluzioni tecnologiche possono avere sul mercato.

Vedremo nella quarta parte di questo ciclo proprio queste applicazioni. Per arrivarci, dopo aver esplorato un po’ alcuni dei concetti che caratterizzano l’evoluzione della biosfera, è opportuno però dare uno sguardo a questa recente teoria matematica, chiamata per le ragioni che vedremo, dei “*Piccoli Mondi*”.

I ponti di Konigsberg

Konigsberg è una città russa che nel 1700 era parte della Prussia; oggi il suo nome è Kaliningrad. Questa città è alla confluenza di due fiumi che formano un’isola al centro della città; a quell’epoca erano attraversati da sette ponti che consentivano l’accesso all’isola.



I ponti di Konigsberg

Pare che i curiosi cittadini di Koningsberg si siano posti il problema di trovare un modo per percorrere tutti i sette ponti senza però dover transitare due volte per lo stesso.

Il problema venne risolto da uno dei più grandi matematici della storia, Eulero, nel 1736 con la dimostrazione che tale percorso non era possibile. La soluzione pratica la si ebbe solo nel 1875 con la costruzione di un ottavo ponte!

La rilevanza di questo problema, che ovviamente può essere generalizzato nella domanda di trovare un percorso che unisca un numero prefissato di punti collegati tra loro in vario modo, in modo tale che vengano toccati tutti i punti una e una sola volta, risiede nella complessità del trovare una soluzione, complessità che ha dato origine ad una nuova branca della matematica, lo studio dei grafi e la teoria dei gruppi (che ne consente la rappresentazione).

Sono moltissime le cose che possono essere descritte utilizzando la teoria dei gruppi. Ad esempio, chi scrive un articolo, spesso cita nel suo testo un altro autore. Andando a leggere gli articoli di quell'altro autore, si scopriranno ulteriori citazioni e così via. Partendo da un qualunque autore si riesce a raggiungere, per "salti successivi", un qualunque altro autore? Esiste, cioè, un percorso che ci porti, attraverso un numero magari elevato di articoli, dall'uno all'altro?

La stessa domanda possiamo farcela quando stiamo guardando una pagina del Web. In questa saranno presenti dei link ad altre pagine che avranno ulteriori link e così via. È possibile, partendo da una pagina, arrivare a qualunque altra pagina?

È interessante notare che questa caratteristica di "esistenza" di un percorso tra due nodi di un grafo, seguendo i legami esistenti tra un nodo e l'altro, è una proprietà del grafo stesso. Non dipende cioè dalla nostra abilità. Anzi, tramite la matematica è possibile dimostrare se un grafo è completamente connesso (cioè da un qualunque nodo è possibile raggiungere un qualunque altro nodo), anche se in pratica può essere difficilissimo (molto lungo) trovare una soluzione.

Il numero di Bacon

Ci si potrebbe anche chiedere quale sia il precorso più breve per passare da un punto ad un altro. I matematici hanno definito come "*numero di Erdos*" il più piccolo numero di passi che occorre fare per passare dall'autore di un articolo pubblicato su una rivista di matematica a un articolo scritto dal matematico Erdos. La regola è che si passa da un articolo ad un altro che sia stato scritto da uno che è coautore dell'articolo da cui si parte.

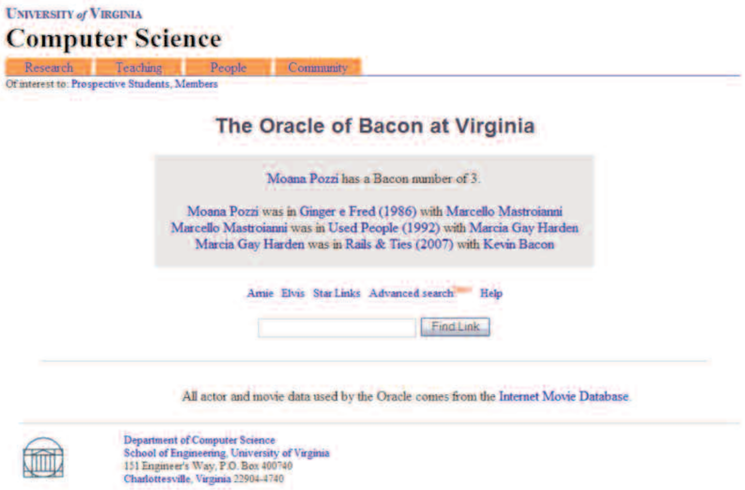
In questo gruppo (quello dei matematici che hanno scritto un articolo) risulta che la stragrande maggioranza dei matematici è separata da Erdos per un numero inferiore a 4 (occorrono cioè meno di 4 articoli, per passare da quello scritto da un certo matematico ad uno scritto da Erdos).

L'Università della Virginia ha messo in rete un calcolatore del numero di Bacon. Questi è un attore americano che ha recitato in diversi film. Inserendo il nome di un altro attore, ad esempio Sean Connery, il sistema calcola il più piccolo numero di passi che occorre fare per passare da quell'attore a Kevin Bacon. Nel caso di Sean Connery, ad esempio, questo numero è 2. Infatti Sean Connery ha recitato nel film "Gli Intoccabili", in cui lavorava con Andy Garcia e questo ha recitato nel film "L'aria che respiro" con Kevin Bacon. Quindi a Sean Connery occorre fare due passi per raggiungere Kevin Bacon (Andy Garcia ha ovviamente numero 1, in quanto ha lavorato direttamente con Kavin Bacon).

Se provassimo a mettere un nome improbabile in termini di "vicinanza" a Kevin Bacon, come Moana Pozzi, che numero otterremmo? 3! Infatti Moana recitò nel 1986 con Mastroianni in "Ginger e Fred", Mastroianni con Marcia Gay Harden in "Used People" nel 1992 e questa con Kevin Bacon in "Rails&Ties" del 2007[1].

1 Potete divertirvi ad andare a cercare numeri di Bacon per i vostri attori preferiti al sito http://oracleofbacon.org

L'Oracolo di Bacon



L'Oracolo di Bacon

Sei gradi di separazione

Non ci sono solo matematici ed attori. Ci siamo anche noi, con il nostro insieme di relazioni. Mando un SMS ad un amico e so che lui manda SMS ad altri suoi amici e così via. Se applicassi lo stesso ragionamento visto per i matematici o gli attori, potrei chiedermi a quante persone mi trovo collegato dopo 2, 3, 4, 1000 passi. Arriverei a raggiungere tutte le persone esistenti al mondo? Ovviamente no. Non potrei raggiungere quelle che non hanno un telefonino. Ma tra i 3 miliardi di persone che hanno un telefonino, quanti passi dovrei fare per raggiungerne una a caso?

E se estendessimo il ragionamento alla conoscenza diretta, faccia a faccia, non mediata dal telefonino?

È la domanda che si è posto uno psicologo sociale, Stanley Milgram, che, nel 1967, condusse un esperimento per testare il livello di connessione esistente tra persone.

Sei gradi di separazione

Per far questo, Milgram consegnò 296 lettere a persone scelte a caso, residenti a Omaha nel Nebraska e a Wichita nel Kansas, chiedendo a ciascuna persona di far arrivare quella lettera alla persona che veniva descritta nella lettera e che risiedeva a Boston. Se la descrizione era sufficiente ad identificare la persona, la lettera avrebbe dovuto essere indirizzata alla persona. Se, come era altamente probabile, quella persona risultava sconosciuta, la persona che riceveva la lettera avrebbe dovuto indirizzarla ad una persona di sua conoscenza che potesse, secondo lui, avere maggiori probabilità di conoscere la persona della lettera.

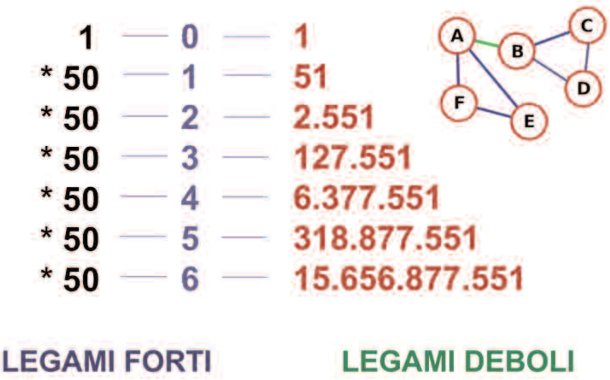
Se abito a Wichita e conosco una persona che abita a Boston, posso immaginare che quella persona abbia maggiori probabilità di conoscere la persona a cui mi chiedono di spedire la lettera e quindi la spedirò a lui, chiedendogli di inoltrarla.

Milgram scoprì che in media occorrono 5,5 passaggi e concluse che viviamo in un mondo molto connesso, in cui ogni persona è separata da qualunque altra persona, mediamente, per 6 passi.

In realtà, delle 296 lettere che aveva chiesto di spedire, ne arrivarono solo 64! Questo risultato di per sé era quindi non conclusivo.

Certo giocavano contro il fatto che qualcuno nella catena si era certamente stancato della “catena di S. Antonio” e non aveva fatto proseguire le lettere. Inoltre l’esperimento non diceva nulla sul fatto che i passaggi seguiti fossero effettivamente rappresentativi dei percorsi più corti ottenibili.

Era, insomma, un esperimento più da sociologo che da matematico. La pubblicazione del risultato, tuttavia, incuriosì non poco diversi matematici, anche perché sembrava una conferma a supposizioni che erano state ventilate per la prima volta da Guglielmo Marconi, nel suo discorso di accettazione del premio Nobel (nel 1967) e successivamente dallo scrittore svedese Frigyes Karinthy. Quest’ultimo sfidò a identificare una persona da cui lui era separato da una catena di conoscenze più lunga di cinque passaggi.



Sei gradi di separazione

In effetti, se supponiamo di conoscere 50 persone, che ciascuna di queste conosca 50 persone e così via, dopo 6 passaggi (6 gradi di separazione) arriveremmo al numero 15.656.877.551, ben di più della popolazione sulla terra.

Questo sembrerebbe confermare la supposizione.

Tuttavia, se ragioniamo un po' le cose non quadrano. Tra le 50 persone che conosco ve ne sono diverse che vedo con una certa assiduità e fanno parte di un cerchio ristretto di amici. È quindi molto probabile che queste si conoscano tra di loro, per cui il conto di moltiplicare per 50 le 50 persone che conosco non funziona: molte di queste comprenderanno nella loro cerchia di conoscenti le stesse persone che ho compreso nella mia cerchia di conoscenti.

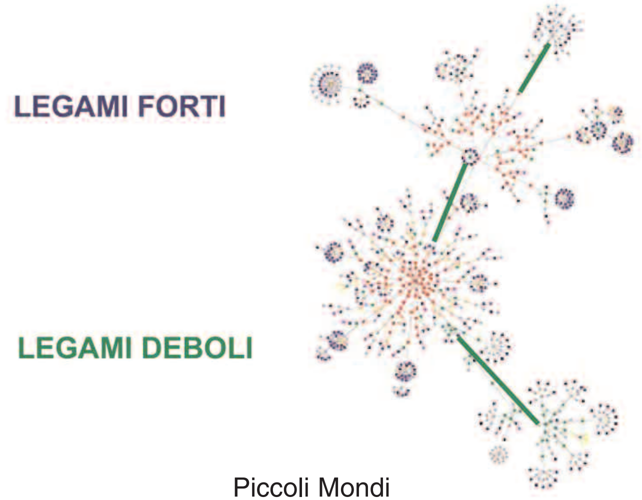
In matematica, ma anche nel linguaggio di tutti i giorni, possiamo dire che il legame esistente tra due amici, o quello in una cerchia di amici, è un legame forte, mentre quello tra persone che si sono incrociate magari per caso e non si sono più riviste, è un legame debole.

Dal punto di vista della possibilità di raggiungere uno sconosciuto, il legame debole è molto più importante del legame forte. Infatti, il legame forte mi porta da un amico che probabilmente conosce le stesse persone che conosco io, mentre un legame debole mi apre un mondo di conoscenze che non ho.

I legami forti rappresentano aggregazioni locali, mentre i legami deboli forniscono la connettività complessiva.

Rimane quindi tutto da dimostrare se effettivamente sia possibile raggiungere una qualunque persona in un massimo di 6 passaggi. Quello che è certo, è che le relazioni tra le persone tendono ad assumere raggruppamenti che sono tipici dei "piccoli mondi", molteplicità di aggregazioni unite da legami deboli.

Questo vale ancora di più quando si fa riferimento a persone all'interno di una certa comunità ,come abbiamo visto per gli attori (il numero di Bacon) e per i matematici (il numero di Erdos). Un recente studio di ricercatori di Microsoft sulle comunità on line ha nuovamente riscontrato questa caratteristica. Eric Horvitz e il suo gruppo di ricercatori hanno esaminato 30 miliardi di SMS inviati da 180 milioni di persone in tutto il mondo, raggiungendo la conclusione che, in media, esiste una distanza di 6,6 passi tra una qualunque coppia in questo insieme.

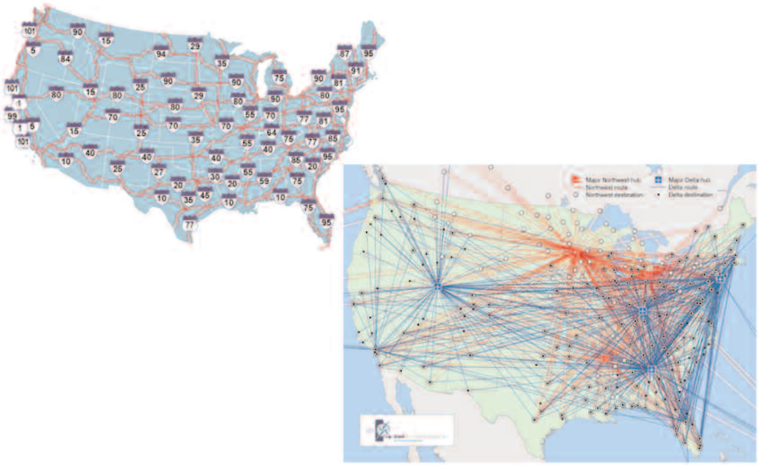


Piccoli Mondi

Reti a invarianza di scala

Le reti che caratterizzano i piccoli mondi (con rete si intende l'insieme delle relazioni tra i diversi elementi di quel particolare piccolo mondo) hanno l'interessante caratteristica di essere invarianti rispetto alla scala. Questo significa che se anche aggiungiamo molti nuovi elementi, in generale il numero di passi che occorrerà fare, per passare da un elemento all'altro, non varierà in modo significativo (come dire che, supponendo veri i 6 gradi di separazione tra le persone sulla Terra, oggi che siamo in 6 miliardi, questo grado di separazione rimarrà immutato, anche quando si arriverà a 10 miliardi di persone).

Non tutte le reti hanno questo comportamento. Ad esempio, una rete stradale tende ad aumentare in modo significativo quanti più "paesi" vengono collegati dalla rete. Al contrario, la rete formata dalle rotte degli aerei tende a restare abbastanza stabile. Questo perché nelle rotte aeree si vengono a creare dei nodi (hub), da cui si dipartono alcune rotte verso altri hub e quindi una raggiera che collega gli aeroporti limitrofi. Se anche aggiungiamo un aeroporto, questo sarà



Cresce, cresce... è sempre piccola

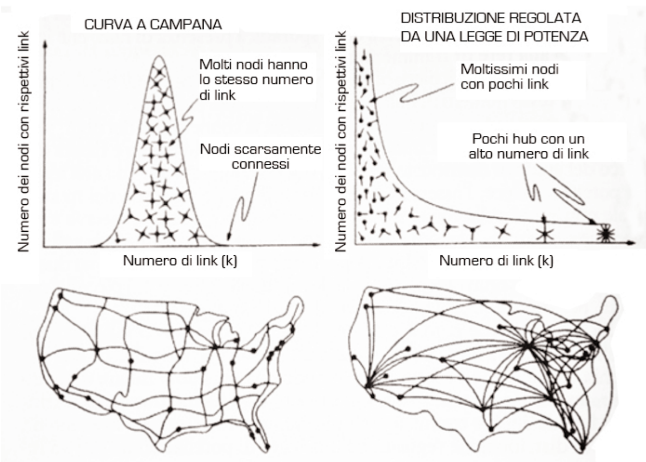
collegato come gli altri ad un hub e quindi la separazione tra i vari nodi non aumenta.

Le reti a invarianza di scala hanno un enorme vantaggio: mantengono basso il livello della complessità comunicativa anche quando le dimensioni aumentano.

È grazie a questo che possiamo avere in natura organismi così complessi: quello che tiene insieme un organismo è la comunicazione tra le sue parti e questa sarebbe inefficace, se la sua complessità crescesse al crescere della complessità dell'organismo.

Lumaca, mosca, uomo, indipendentemente dalle dimensioni e dalla sofisticazione dei comportamenti, sono tutti caratterizzati da una rete di comunicazione a invarianza di scala.

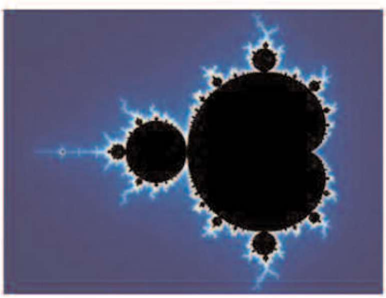
Un esempio, molto bello esteticamente, è rappresentato dai frattali. Questi sono delle forme matematiche che vengono generate a partire da una relazione in cui, al variare dei parametri, si creano sottostrutture, ciascuna diversa dalle precedenti ma straordinariamente simile al nostro occhio.



Cresce, cresce... è sempre piccola

E in natura abbiamo un'enorme quantità di forme che sono rappresentabili come frattali, dalle nuvole agli alberi, ai fiori…ai visi delle persone. I ricercatori addirittura utilizzano questo tipo di matematica per semplificare la trasmissione di immagini, in quanto bastano poche informazioni per descrivere sistemi enormemente complessi. Il fatto che in natura moltissime cose abbiano questo aspetto, spiega anche come mai il frattale evochi in ciascuno di noi un senso di "bello". La natura ci ha abituato, nei milioni di anni di evoluzione, ad apprezzare quello che vediamo e quello che vediamo ha in generale forme simmetriche e ripetitive; pensate ai fiori, alle felci, al favo delle api, alle spirali di una chiocciola, alle creste di una montagna, al fulmine, ai nostri bronchi e al sistema idrico di un fiume e dei suoi affluenti.

Simmetria e ripetizione sono proprietà fondamentali degli esseri viventi (noi siamo simmetrici, anche se la nostra parte destra è leggermente diversa dalla sinistra…). L'evoluzione ha premiato la simmetria e la ripetizione, perché queste sono "economiche" in termini di istruzioni per costruire un organismo.



Cresce, cresce... è sempre piccola

Il bello è…matematico!

Simmetria nella natura intorno a noi, nei fiori, negli animali. Ma anche nelle montagne. Certo non è simmetria perfetta ma il nostro cervello cattura questa potenziale simmetria e quanto più ciò che vede si avvicina ad un modello di simmetria tanto più trova bella la visione. Il Fujiama è considerata montagna sublime dai giapponesi proprio per la sua forma simmetrica da qualunque punto la si guardi; da noi il Cervino viene considerato bello in quanto la sua piramide pur essendo non proprio simmetrica vi si avvicina abbastanza.

Tendiamo a considerare come bello anche quello che, diciamo, ha delle proporzioni armoniose. In realtà siamo nuovamente nel campo di considerare bello ciò a cui siamo abituati. Perché una proporzione la consideriamo armoniosa ed un'altra no? Se guardiamo al corpo degli uomini (e delle donne) facciamo riferimento a ciò che è l'idealizzazione della norma. L'uomo di Leonardo con le sue proporzioni, le rappresentazioni in quadri rinascimentali...

In effetti gli artisti sono quelli che hanno saputo cogliere questo senso di piacere estetico suscitato dall'armonia di forme e proporzioni e si sono adeguati riportandole nelle loro opere, rafforzando ancora di più a livello culturale ciò che consideriamo bello.

In natura troviamo con una impressionante regolarità alcune armonie, da quelle musicali (la scala di una ottava è composta da 5 chiavi nere e 8 bianche per un totale di 13 semitoni) a quelle presenti nei petali dei fiori (la margherita ha 34 o 55 petali, il girasole 55 o 89 petali..), dalla suddivione in 3 parti della banana e in 5 della mela. Un matematico italiano del tardo medioevo, Fibonacci, scoprì una serie di numeri che si collegava a questi accadimenti naturali. Si parte dalla coppia 0,1 e si trova il successivo facendo la somma dei due precedenti. In questo modo otteniamo 0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,55,89…..

Questa è la serie di Fibonacci. Se proviamo a fare la divisione tra un numero e il suo predecessore (esclusa la prima coppia in quanto non si può dividere per 0) vediamo che il risultato è un numero che molto rapidamente assume valori sempre più ristretti intorno ad un numero irrazionale 1,618033…Questo numero, cui diciamo tendere il rapporto, è stato chiamato º, (fi) e ricorre inaspettatamente in moltissimi campi. I greci lo conoscevano come segmento aureo (la suddivisione di un segmento in modo tale che la prima parte fosse nello stesso rapporto con il segmento stesso in cui la seconda parte era con la prima parte.

Il nome, rapporto aureo, stava ad esprimere la bellezza che risultava da queste proporzioni. Il Partenone rispecchia questo rapporto, così come le piramidi di Keophe e Kephern. I quadri di Leonardo, la Gioconda e l'Ultima Cena hanno i vari componenti che rispecchiano queste proporzioni. Le conchiglie crescono con queste proporzioni, così come i fiori e gli alberi.

Ovviamente in natura vediamo delle approssimazioni ma l'interessante è che statisticamente parlando la media tende a º.

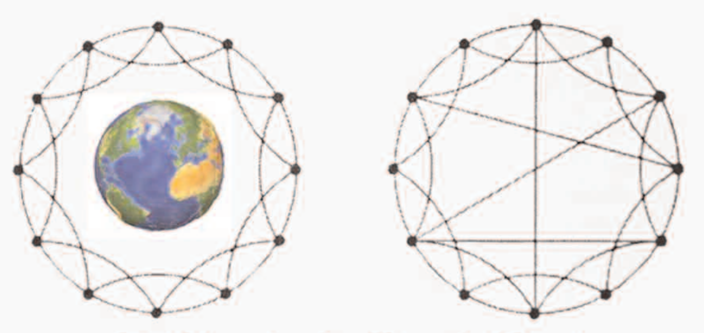
Questo non è frutto del caso ma di un insieme di vincoli e processi evolutivi (di cui abbiamo trattato nel precedente capitolo) che hanno portato in questa direzione. L'esagono è il poligono che ha il minor perimetro a parità di superficie se si vuole ricoprire un piano (ecco perché le api che sono buone matematiche hanno deciso di costruire i favi con degli esagoni: qualunque altro approccio avrebbe richiesto molta più energia e fatica). Se si vuole far crescere la propria casa massimizzando quento già fatto e minimizzando il materiale da utilizzare per l'espansione viene fuori una forma a spirale in cui il rapporto tra i raggi è º. Anche i molluschi sanno la matematica e hanno adottato questo rapporto per le loro conchiglie.

La scoperta di queste "regolarità", in qualunque ambito capitino deve stimolare la nostra curiosità di capirne il perché. Non è mai un caso: come abbiamo visto nel primo capitolo la natura evolve ottimizzando il consumo di energia all'interno di vincoli tipici dell'ecosistema. Lo stesso, vedremo, capita nei sistemi economici globali.

Le reti di comunicazione

Se guardiamo alla distribuzione della popolazione nel mondo, vediamo che questa, nel corso dei millenni, si è raggruppata in piccoli insediamenti man mano cresciuti, divenendo villaggi e città. Fino a due secoli fa le comunicazioni erano molto difficoltose: in pratica le persone passavano tutta la loro vita in un raggio di poche decine di chilometri dal punto in cui erano nate. I gradi di separazione erano certamente maggiori di quelli di oggi. Non solo. Al crescere della popolazione, e quindi degli insediamenti, aumentava il numero di passi necessari per raggiungere da un punto un altro qualunque punto sulla terra.

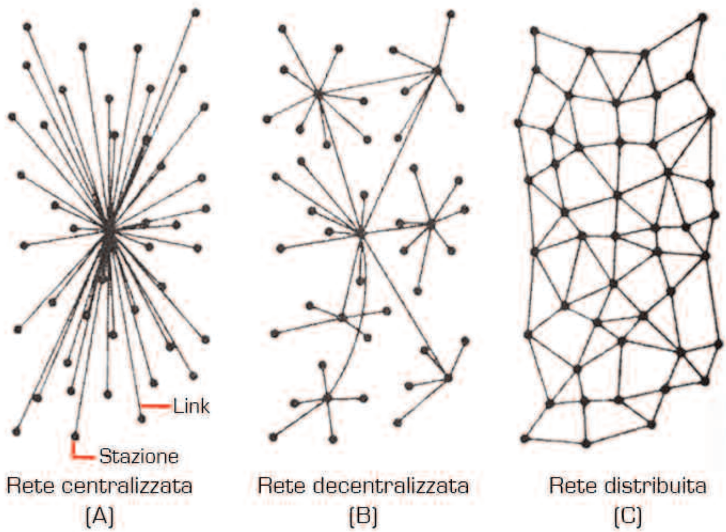
Il cambiamento è avvenuto con la creazione di sistemi di comunicazione "economicamente" efficienti. Non è stata, infatti, l'aumentata velocità a cambiare le abitudini delle persone, favorendo la mobilità e gli spostamenti, ma il costo sempre minore che questi comportavano. Il "tempo" nel passato aveva un valore molto inferiore di quello che ha oggi. Il problema non stava nell'intera giornata di viaggio per andare da Padova a Venezia o la settimana necessaria per andare da Venezia a Roma, ma nel costo.



Dal Mondo al... Piccolo Mondo

Nel 1800 andare da Padova a Venezia con una carrozza costava quanto oggi costerebbe andare in taxi da Venezia a Reggio Calabria, più di quanto guadagnava un operaio in un mese.

Con lo stabilirsi di comunicazioni efficaci (economicamente sostenibili) le persone iniziano a muoversi molto di più. In realtà, le prime cose che iniziano a muoversi sono le merci e i prodotti, accompagnate da "professionisti" del viaggio. Queste vie di comunicazione hanno portato nel XIX e XX secolo, a creare punti di contatto tra posti e persone geograficamente separate. Quella che era una rete che al crescere dei nodi aumentava la sua "scala" si è trasformata in una rete ad invarianza di scala. Sono le grandi vie di comunicazione marittime che hanno portato a questo cambiamento. Via mare, infatti, si possono ragigungere solo alcuni punti e su questi occorre far convergere le mercanzie in partenza e smistarle quando arrivano. Cipro e Creta



Il mondo delle reti

sono state per i veneziani dei punti di raccolta e smistamento così come oggi è Memphis per Federal express. Notiamo come sia l'efficienza delle comunicazioni che porta alla creazione di nodi (hub). Se si va a piedi conviene prendere la strada più breve tra due punti. Invece, se si usa un mezzo veloce, ad esempio il treno, diventa più vantaggioso creare dei punti uniti da treni veloci portando a questi punti on treni locali chi vive in paesini.

Dal punto di vista delle comunicazioni è possibile immaginare varie tipologie di rete. La più semplice è quella che vede tutti i punti da connettere dotati di un filo, strada che da loro arriva in un punto centrale della rete. In questo modello, tutti i punti saranno ad una distanza 2 l'uno dall'altro: un passo per raggiungere il nodo centrale e un passo per andare da questo al punto voluto.

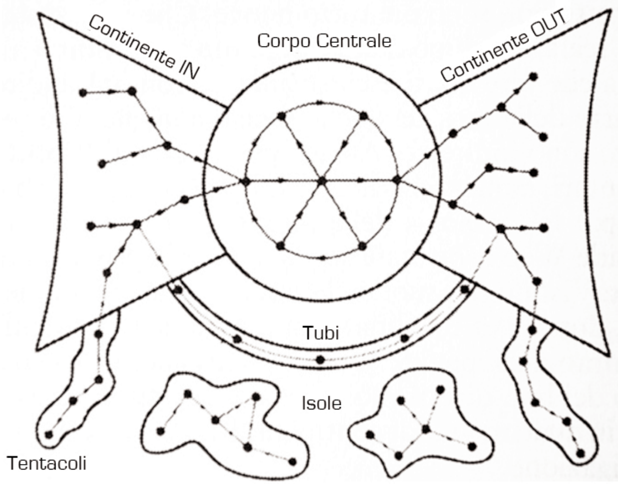
Se questa è indubbiamente una rete semplice, ha, per contro, lo svantaggio di necessitare di un numero molto elevato di cammini, uno per ogni punto che viene aggiunto. Se immaginassimo di dover fare una strada per ciascuna nuova casa che viene costruita, in modo da poter arrivare ad un punto centrale da cui poi procedere verso qualunque altra casa, andremmo ben presto in rovina. Non solo. Per andare dalla nostra casa a quella del vicino, dovremmo percorrere anche una distanza lunghissima, prima andando al centro e poi tornando, praticamente, a casa nostra. È chiaro che una rete stradale fatta in questo modo avrebbe poco senso.

In una rete di telecomunicazioni, invece, il problema della distanza non si pone: visto che la nostra voce viaggia alla velocità della luce, anche se per parlare con il nostro vicino si dovesse andare fino a Roma per poi tornare alla casa di fianco a noi a Venezia, il ritardo sarebbe impercettibile: se andare direttamente dalla nostra casa a quella del vicino, attraversando la calle il tempo impiegato sarebbe di 0,1 milionesimo di secondo -30 metri di percorso-, passando da Roma il tempo sarebbe, invece, di 3 millesimi di secondo, certo “molto di più”, ma identico dal punto di vista del nostro orecchio! Si noti che se anzi-

Il mondo delle reti

ché andare a Roma per poi tornare a Venezia, usassimo un satellite per veicolare la nostra voce, il tempo impiegato salirebbe a due decimi di secondo e, in questo caso, il nostro orecchio se ne accorgerebbe. Questo ritardo era tipico nelle comunicazioni tra le due sponde dell'Oceano negli anni '60, quando le comunicazioni venivano inviate facendo ponte su un satellite. Oggi, quasi tutte le conversazioni passano sotto l'Oceano dentro a fibre ottiche e il ritardo non è più percepibile.

Se l'aspetto del ritardo non costituisce un problema, rimane però il problema del costo del rame e della posa di una nuova coppia di fili da casa nostra fino ad un punto centrale. Ecco allora, che una struttura di rete decentralizzata diventa interessante. Nodi, case vicine fanno riferimento tutte ad un unico punto e poi vi saranno altre linee che collegheranno questo punto centrale ad altri punti centrali. Spesso, questo approccio viene ripetuto, creando una vera e propria gerarchia di punti "centrali"; il primo a livello di un'area densamente popolata, il secondo



Internet... è un Piccolo Mondo

a livello urbano, il terzo a livello regionale e così via.

Se, ad esempio, volessimo fare una telefonata da Venezia ad un amico che si trova ad Austin nel Texas, la nostra voce farebbe questa strada: da casa nostra alla centrale di San Salvador, da questa alla centrale intercontinentale di Roma, di qui alla centrale intercontinentale di Whiteplains negli USA per poi proseguire verso Dallas, in Texas e poi arrivare alla centrale di Austin, da cui finalmente può essere collegata con la casa del nostro amico. Quanti sono i gradi di separazione in questo esempio? 6! E sarebbero 6 per la stragrande maggioranza dei numeri telefonici che volessimo raggiungere dal telefono di casa nostra. Certo, molti dei numeri che facciamo sono verso amici che vivono nella stessa città e quindi il numero di "passi" sarà inferiore, 2, 3 o 4.

Con l'aumentare del traffico telefonico sono state progressivamente aggiunte linee di collegamento trasversali, facendo perdere alla rete telefonica quella caratteristica di gerarchia, che l'aveva contraddistinta per molti anni, assumendo sempre più una topologia di tipo distribuito.

La rete Internet è basata sulla rete di telecomunicazioni e quindi ne riprende la struttura topologica.

Se però osserviamo non la rete fisica, su cui scorrono le informazioni, ma la rete logica, cioè le connessioni esistenti tra le diverse pagine del web, ovvero i link su cui, cliccando, si passa dall'una all'altra pagina, si scopre …il Piccolo Mondo.

È opportuno chiarire che l'interesse sul Piccolo Mondo non è di pura curiosità. Gli antichi attribuivano a certe forme e a certi numeri ricorrenti determinati poteri magici. Qui, invece, l'interesse è opposto. Se la distribuzione normale, quella cioè che troviamo in fenomeni di tipo casuale, non si verifica, questo suggerisce che debba esistere un motivo. È questo che rende interessante il fenomeno dei Piccoli Mondi. Qual è la causa che porta a questo tipo di aggregazione?

Nel caso delle reti di telecomunicazioni abbiamo visto che vi sono motivi economici e "pratici" che portano ad architetture di rete di un certo tipo. Nel caso delle pagine web il motivo è da ricercarsi nella tendenza di chi sviluppa una pagina web per renderla il più visibile possibile. Per far questo, oltre a introdurre il contenuto potenzialmente interessante, inserisce anche dei collegamenti ad altre pagine.

In particolare tenderà ad inserire collegamenti verso quelle pagine che sono più interessanti per i navigatori.

Uno studio effettuato sulla forma (topologia) del web, ha evidenziato come questo si presenti simile ad una farfalla, con un centro in cui si trovano pagine che fanno da nodi di aggregazione e le ali che contengono l'una le pagine che puntano ai nodi centrali e l'altra le pagine puntate dai nodi centrali. A queste, ovviamente, si aggiungono molte altre parti del web più isolate. Il "grosso", tuttavia, sta nella "farfalla" ed è un Piccolo Mondo che presenta le caratteristiche di invarianza di scala. Aumentando il numero di pagine web, il numero di click, per passare da una di queste ad una qualunque altra pagina, non cambia significativamente.

Riferimenti bibliografici

Albert Lazlo Barabasi , “La scienza delle reti”, 2004, Einaudi