



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED
AZIENDALI "M. FANNO"**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE STATISTICHE

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"IL COMMERCIO INTERNAZIONALE: UNA RETE
COMPLESSA"**

RELATORE:

CH.MA PROF.SSA ALESSANDRA DALLA VALLE

LAUREANDO: CESARE BIDINI

MATRICOLA N. 1100927

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

IL COMMERCIO INTERNAZIONALE: UNA RETE COMPLESSA

Sommario

Introduzione.....	3
Capitolo 1.....	4
1.1 Cenni storici generali	4
1.2 Framework teorico	9
1.2.1 Definizioni e notazione	10
1.2.2 Indici utilizzati nella network analysis.....	13
1.2.3 Topologia delle reti Complesse.....	18
Capitolo 2.....	21
2.1 La topologia e le proprietà caratteristiche del WTN	22
2.1.1 Un primo sguardo agli indici del WTN	22
2.1.2 L'evoluzione e i cambiamenti del WTN.....	24
2.2 Una nuova costruzione degli indici	29
2.2.1 Misure modificate	29
2.2.2 Risultati	32
2.3 La network analysis e la globalizzazione	37
2.3.1 Iper-globalizzazione, le evidenze e i dubbi.....	37
2.3.2 Un' interessante prospettiva di studio.....	39
2.3.3 Gli effetti della distanza geografica sulla rete commerciale	41
Conclusioni.....	43
Bibliografia	45

Introduzione

Il concetto di complessità ha una storia lunga più di un secolo, si affaccia infatti nel panorama scientifico alla fine dell'800, quando il fisico-matematico Henri Poincaré pubblicò un importantissimo lavoro, nel tentativo di risolvere il famoso problema degli n -corpi orbitanti (ovvero il calcolo del moto di 3 corpi nello spazio sottoposti a vicendevole azione gravitazionale), che porterà allo sviluppo della teoria del caos. Questo, grazie anche all'aiuto dei computer, innescherà l'esplosione di studi che rinunceranno alle assunzioni di linearità nei sistemi in mutamento, e la dimostrazione che da cambiamenti infinitesimi nelle condizioni iniziali si può giungere a variazioni finite nei sistemi dinamici. Questa nuova teoria della complessità ha portato, nel corso del Novecento, all'applicazione nei più svariati ambiti, della formalizzazione fisico-matematica per descrivere i fenomeni presenti nella realtà, fino a quel momento semplificati per essere studiati attraverso sistemi lineari. Uno degli ambiti investiti da questo nuovo paradigma è stata l'economia e molte delle sue branche. Attraverso l'utilizzo dei grafi e la derivante teoria delle reti si è preso a studiare con intensità crescente quei fenomeni che presentano la struttura e i pattern tipici delle reti complesse, come ad esempio la rete del commercio internazionale oggetto di questo elaborato. Nel primo capitolo, diviso in due parti, ripercorreremo brevemente gli avvenimenti che hanno portato dallo studio dei grafi, e la loro prima applicazione, fino alle reti reali complesse di oggi, passando attraverso gli studi sui grafi casuali, e i forti contributi concettuali dati dalla sociologia con lo studio delle reti sociali. Inoltre, introdurremo il framework teorico necessario alla comprensione dell'elaborato, ovvero le definizioni matematiche di grafo e delle sue componenti, gli indici utilizzati per descrivere alcune caratteristiche della rete e dei suoi nodi, ed infine i concetti topologici che ne definiscono proprietà e struttura.

La motivazione principale alla stesura di questo elaborato è stato sicuramente il forte interesse scatenato dalle possibilità offerte da questo attualissimo paradigma, che promette di dare una prospettiva diversa da quella fino ad ora ottenuta con i metodi riduzionistici, e di dare nuovi spunti per rispondere quindi a molte delle domande fino ad adesso rimaste in parte o nella loro totalità in sospeso. Nel secondo, e conclusivo, capitolo andremo quindi ad analizzare alcuni studi

di “econofisica” (parte del paradigma complesso già citato), ovvero quell’ambito di ricerca che applica metodi sviluppati precedentemente in ambito fisico, come strumenti stocastici e di dinamica non lineare, all’economia. Passeremo dagli studi complessivi che hanno gettato le basi per la descrizione della rete commerciale internazionale, discutendone aspetti quali la topologia, le caratteristiche e le dinamiche generali, oltre ad alcune delle principali aggiunte ai metodi tradizionali di calcolo degli indici più importanti. Inoltre, presenteremo brevemente un interessante studio che modella la rete commerciale con i metodi applicati per quella alimentare, per studiarne forze, debolezze e i soggetti più importanti. Presenteremo i risultati più rilevanti nello studio di un fenomeno (da lungo tempo di interesse in ambito economico e politico) come la globalizzazione. Infine, presenteremo i risultati ottenuti attraverso alcune analisi longitudinali, che mirano a darci un quadro di come la struttura e le caratteristiche, precedentemente presentate, si stiano modificando nel tempo e gli effetti su di esse della distanza geografica tra i paesi in commercio.

Capitolo 1

1.1 Cenni storici generali¹

La nascita dello studio dei grafi

L’alba dello studio dei grafi risale al 1736 quando il matematico e fisico Leonardo Eulero, all’interno di una sua pubblicazione offrì una soluzione matematica ad un noto problema del suo tempo: il problema dei sette ponti di Königsberg.

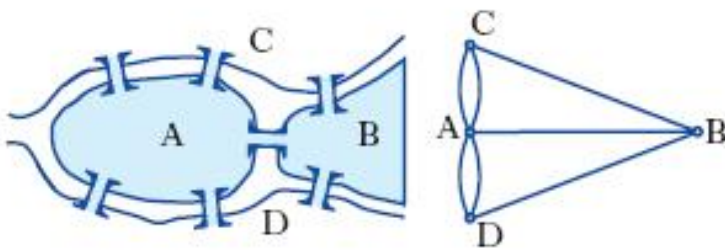
La cittadina di Königsberg, Prussia (oggi Kaliningrad in Russia), non lontano da San Pietroburgo, dove era professore Eulero, era una fiorente cittadina attraversata dal fiume Pregel, al centro del quale sorge ancora oggi un isolotto collegato al resto della città da 7 ponti (diventati 8 nel 1875). All’epoca i cittadini di Königsberg si divertivano con un rompicapo: “è possibile compiere una

¹ Barabasi, A-L. (2004), Torino: Einaudi editore

passaggiata lungo i 7 ponti tornando al punto di partenza senza mai attraversare lo stesso ponte 2 volte?”.

Eulero decise di dare una rigorosa risposta matematica al rompicapo, egli dimostrò l'inesistenza di tale tragitto attraverso una semplice dimostrazione matematica. Eulero decise di concepire i ponti della città come un grafo, ovvero un insieme di elementi detti vertici o nodi, connessi tra di loro da spigoli o link.

Attraverso la semplice osservazione che, i nodi con un numero dispari di link devono trovarsi all'inizio o alla fine del percorso, e un percorso continuo che attraversi tutti i ponti una sola volta deve avere un solo punto di partenza e uno di arrivo, Eulero stabilì che: per un grafo che abbia più di due nodi con un numero dispari di link, come nel caso di Königsberg, un simile percorso non può esistere.



2

L'analisi mostrò come le proprietà del grafo siano insite nella rete e l'unico modo per cambiarle è modificare l'architettura del grafo. Nel 1875 i cittadini di Königsberg si arresero e venne costruito l'ottavo ponte.

Dopo Eulero la teoria dei grafi fu oggetto del lavoro moltissimi altri grandi matematici quali Cauchy, Hamilton, Cayley ecc., che si occuparono di grafi ordinati (i.e. ogni nodo presenta lo stesso numero di link), scoprendo quasi tutto quello che ci è noto ad oggi sulle loro proprietà.

² (<http://www.treccani.it/enciclopedia/grafico/>)

Erdos e Renyi

Fu solo nella seconda metà del XX secolo che lo studio dei grafi iniziò a riguardare le leggi che governavano la loro formazione e struttura. Furono i matematici ungheresi Erdos e Renyi a occuparsene per primi.

Le più disparate strutture naturali e artificiali sono descrivibili secondo il modello dei grafi, ma le regole che li governano, poiché riguardanti oggetti così diversi, dovranno pur contenere qualche differenza, con i grafi regolari fino ad allora studiati. I due matematici risolsero questo problema ipotizzando che tutti questi fenomeni presentassero una connessione completamente casuale dei nodi presenti.

In ogni unità di tempo t ogni nodo del grafo ha la stessa probabilità di vedere nascere un link che lo collega ad un altro. Così che all'inizio si vedranno formarsi alcune coppie di nodi isolati via via che si aggiungono alcuni link, e con il loro aumentare si assisterà alla formazione di piccoli cluster. Una volta raggiunto il valore critico di almeno un link in media per nodo, si assisterà all'emergere di un unico cluster gigante. I nodi saranno cioè tutti collegati, almeno indirettamente, rendendo possibile raggiungere qualunque nodo all'interno del grafo partendo da un altro suo nodo qualsiasi. All'interno di questi cluster, si poté immaginare che la completa casualità di assegnazione dei nodi avrebbe condotto a delle asimmetrie di connessioni, invece si assistette ad un'alta democraticità nella distribuzione dei link fra i nodi. Nel 1982 un allievo di Erdos, Bela Bollobas, dimostrò poi come le reti casuali seguano una distribuzione poissoniana, cioè i nodi abbiano un numero medio di link, e solo alcuni di loro si scostino dal valore medio. Fu merito dei due scienziati ungheresi attraverso la loro teoria dei grafi casuali, di aprire una nuova epoca di studi sui grafi e inaugurare un cambio di prospettiva. Ciò rimane estremamente importante nonostante le loro reti casuali poco abbiano a che fare con gli esempi reali di reti a noi note e si mantengano maggiormente su un piano matematico e ideale.

Le scienze sociali e le reti

Furono solo molti anni dopo che lo studio dei grafi condotto principalmente da fisici con metodi matematici venne applicato alle reti reali. Uno dei primi passi che condusse a questo incontro fu un celebre studio del sociologo e professore ad Harvard Stanley Milgram che, nel 1967, interessandosi alla struttura delle reti sociali, decise di condurre un esperimento per capire quante

persone “separassero” in media due cittadini qualsiasi negli Stati Uniti, cioè quanti contatti fossero necessari per connetterli. Milgram scelse due destinatari finali (Una donna di Sharon nel Massachusetts, e un uomo a Boston), poi recapitò ad alcuni abitanti di Wichita (Ohio) e Omaha (Nebraska) delle lettere, con delle istruzioni precise sul funzionamento dell’esperimento. Si richiedeva che a loro volta spedissero la lettera ad altre persone, da loro personalmente conosciute con un determinato grado di confidenza, al fine di raggiungere i due destinatari, scegliendo ovviamente gli intermediari che ritenevano avessero la maggior probabilità di conoscere il destinatario finale o qualcuno a lui vicino. E così via per ogni passaggio fino a destinazione.

Circa un quarto delle lettere arrivò a destinazione e con grande sorpresa di Milgram il numero medio di passaggi intermedi per giungere a destinazione fu solo di 5,5 persone. Il dato divenne poi noto al grande pubblico nella forma di “sei gradi di separazione”, dal titolo della commedia del 1991 di John Guare che prende spunto dal famoso esperimento.

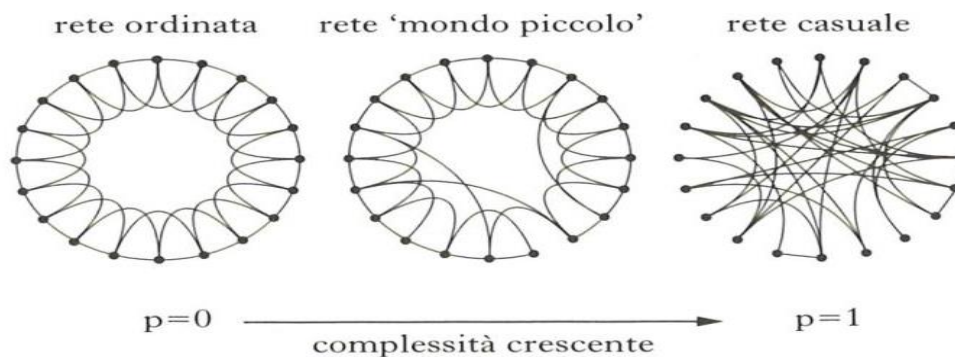
I sei gradi di separazione di Milgram portarono al concetto di small-world, ovvero: come all’interno di una rete (sociale in questo caso, ma vedremo poi come valga per molte reti presenti in natura), anche di grandi dimensioni, la distanza tra due nodi qualsiasi nodi può essere relativamente piccola se questa rete è altamente interconnessa. Avevamo già visto come oltre la soglia di un link mediamente per ogni nodo anche i grafi di Erdos e Reny andassero a formare un unico cluster. L’esperimento di Milgram mostra che nelle reti reali, questi cluster, superando di molto la media di un link per nodo, sono altamente connessi e permettono di andare da un nodo qualunque della rete ad un altro in pochi passaggi.

La teoria fu più tardi arricchita da un altro sociologo di Harvard, Mark Granovetter, che avanzò l’ipotesi della forza dei legami deboli. Intervistando alcuni professionisti nel Massachusetts, Granovetter si accorse che la maggior parte di loro avevano trovato lavoro grazie a persone esterne al loro cerchio sociale intimo, cioè principalmente conoscenti. Avanzò quindi l’ipotesi che diversamente dai grafi casuali, la struttura della società fosse strutturata in cluster altamente connessi internamente (grafi completi), collegati con il mondo esterno solo da pochi legami deboli, che tengono insieme tutta la rete. Questo studio evidenziò l’esistenza di reti in cui non solo i link non si stabiliscono in modo casuale, ma sono anche caratterizzati da differente intensità.

Il rinnovato interesse del mondo della matematica e della fisica

Nuova spinta allo studio delle reti fu data dal lavoro dei due matematici Duncan Watts e Steven Strogatz, che formalizzarono ciò che era contenuto anche nel lavoro di Granovetter introducendo un fattore per misurare la connessione di un cluster: il coefficiente di clustering. Il coefficiente si calcola facendo il rapporto tra i legami presenti nel cluster e tutti i legami in esso possibili tra i nodi. Nel loro lavoro del 1998, i due scienziati presentarono un modello che permetteva di riunire formalmente la visione di grafi casuali small-world, con la visione di reti ad alto coefficiente di clustering ma con nodi distanti. Dimostrarono infatti che senza variare in maniera significativa il livello di clustering, bastava aggiungere qualche link fra i nodi presi casualmente e la rete tornava ad essere nuovamente small-world, risultato che stabilì che sono sufficienti solo pochi nodi che abbiano connessioni con altri nodi distanti per ridurre drasticamente le distanze.

Il modello di Watts e Strogatz, nonostante continui a rappresentare un passo fondamentale della ricerca, fu presto smentito da alcune analisi empiriche.

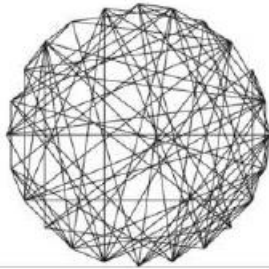


3

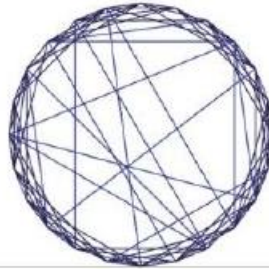
Molteplici reti del mondo reale rivelarono una struttura molto diversa dal modello precedentemente proposto, infatti molte di queste reti seguono piuttosto una legge di potenza che una distribuzione poissoniana. Questa scoperta fu fatta dal professore della Notre Dame University nell'Indiana, Albert Lazslo Barabasi, che analizzando la struttura delle pagine appartenenti al dominio dell'università, si accorse di come formassero una rete composta da pochi nodi con moltissimi link, detti hub, e via via molti nodi con sempre meno connessioni. Questa era la prova definitiva, che la prospettiva casualistica delle reti doveva essere abbandonata. Barabasi e il suo team si accorsero che anche le collaborazioni fra gli attori di Hollywood presentavano una medesima struttura. Il caratteristico andamento a legge di potenza li portò a definirle a invarianza di scala (o scale free). Un grafo viene detto scale-free (dalla pagina

³ http://www.treccani.it/enciclopedia/complessita-della-rete_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/

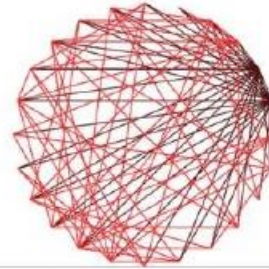
Wikipedia (https://it.wikipedia.org/wiki/Rete_a_invarianza_di_scala) “se gode della seguente proprietà: considerando la relazione tra il numero di nodi ed il numero delle loro connessioni si vede che il suo grafico è di tipo esponenziale negativo, e quindi invariante per cambiamenti di scala”. Con il tempo ulteriori reti reali rivelarono avere la stessa topologia, conducendo ad un incredibile fermento nel campo delle reti complesse e all’individuazione di una serie di proprietà comuni alla maggior parte delle reti reali.



Random
networks



Small-world
networks



Scale-free
networks

4

Uno sviluppo ancora più recente è quello delle reti pesate, ovvero quelle reti nelle quali ad ogni link è associato un valore, rappresentato da un numero reale, a rappresentare la differente intensità delle connessioni instaurate all’interno di alcune complesse reti reali.

1.2 Framework teorico

⁴ <https://www.slideshare.net/gn00023040/20100206brain-informaticsweco-lab>

Le definizioni e le formule sono tratte, rielaborate e modificate, dalle dispense del corso “Grafici e reti di flusso” del prof. Antonio Iovanella, <https://docplayer.it/57052132-Universita-degli-studi-di-roma-tor-vergata-grafi-e-reti-di-flusso-antonio-iovanella.html>.

1.2.1 Definizioni e notazione

Non esiste una notazione universale, e spesso in letteratura si trovano notevoli differenze, ma comunque cercheremo di dare delle definizioni compatibili globalmente con i lavori presentati.

D1.1.1 Un grafo G è una tripla costituita da un insieme di vertici $V(G)$ (o nodi), un insieme di link (o archi) $E(G)$ e una relazione che associa ad un link una coppia di vertici detti estremi.

Un grafo può essere rappresentato graficamente mediante dei punti per indicare i nodi e da linee e curve per gli archi.

D1.1.2 Un loop è un link in cui gli estremi coincidono. Si chiamano link multipli i link i cui estremi sono gli stessi

D1.1.3 Si definisce grafo semplice un grafo privo di loop e di link multipli

D1.1.4 Se $ab \in E(G)$ allora a e b si dicono adiacenti e si indica con $a \sim b$.

Due link si dicono adiacenti se hanno un vertice in comune.

D1.1.5 Un grafo si dice finito se gli insiemi $V(G)$ ed $E(G)$ sono finiti

D1.1.6 Dato un grafo $G=(V,E)$, $G'=(V',E')$ è un sottografo di G se $V' \subset V$ ed $E' \subset E$ e posso scrivere $G' \subset G$. Se il sottografo G' contiene tutti i link di G che congiungono due vertici in G' , allora G' è chiamato sottografo indotto e si indica con $G[V']$. Se il sottografo G' ha $V' \equiv V$, allora G' è chiamato sottografo ricoprente

D1.1.7 Si definisce ordine di un grafo G il numero dei suoi vertici, ovvero $|G| = |V(G)|$; si definisce dimensione di un grafo il numero dei suoi archi, ovvero $e(G) = |E(G)|$.

Si indica con $G(n,m)$ un grafo di ordine n e dimensione m .

D1.1.8 Un grafo completo (o clique) in un grafo G è un insieme di nodi mutualmente adiacenti. Dato l'insieme di tutte le clique di G , la cardinalità della clique massima viene chiamata numero di clique ed è indicato con $\omega(G)$.

D1.1.9 L'insieme dei vertici adiacenti ad un assegnato vertice $x \in G$ è chiamato neighborhood (vicinato) di x e si indica con $N(x)$. Si definisce grado $d(x)$ di un nodo $x \in G$ la cardinalità del suo vicinato, ovvero, $d(x) = |N(x)|$. Se un vertice ha $d(x) = 0$, allora si definisce vertice isolato.

Il concetto di grado di un vertice permette di introdurre il lemma di Handshaking secondo cui in ogni grafo, il numero di vertici di grado dispari è pari.

Una rete può essere pesata o non pesata, cioè a ogni link $(i,j) \in L$ può essere assegnato o meno un numero reale non negativo $w_{i,j}$ che ne rappresenta il peso. Se la rete è non pesata questa è completamente descritta dalla matrice di adiacenza $A = [a_{i,j}]$ di dimensioni $N \times N$ dove $a_{i,j} = 1$ se esiste (i,j) , altrimenti $a_{i,j} = 0$

Una rete pesata invece è descritta dalla matrice dei pesi $w = [w_{i,j}]$ dove

$w_{i,j} > 0$ se esiste (i,j) , altrimenti $w_{i,j} = 0$

D1.1.10 Un cammino (path) è un grafo semplice i cui vertici possono essere ordinati in una lista in modo che due vertici siano consecutivi se e soltanto se sono consecutivi nella lista medesima.

Un ciclo è un cammino con egual numero di vertici ed archi e con i terminali coincidenti.

D1.1.11 Dato un grafo arbitrario $G = (V,E)$, allora:

_un walk W in un grafo è una sequenza alternata di vertici ed archi, $x_0 e_1 x_1 e_2 \dots e_l x_l$ con $e_i = x_{i-1} x_i$ e $0 < i \leq l$; un trail T è un walk con tutti gli archi distinti;

_un path P è un trail con tutti i vertici distinti;

_un trail chiuso (o circuito) è un trail con $x_0 = x_l$;

_un ciclo C è un walk composto da più di tre archi,

_ha $x_0 = x_l$ ed ogni vertice distinto.

D1.1.12 Dato un grafo G , un insieme di cammini $\{P^1, P^2, \dots, P^k\}$ si dice indipendente (o internamente disgiunto) se per ogni coppia di cammini, gli unici vertici in comune sono i terminali, ovvero sono dei $\{x,y\}$ -path se $V(P^i) \cap V(P^j) = \{x,y\}, \forall i \neq j$.

Un grafo si dice connesso se, per ogni coppia di nodi i e j , c'è un cammino da i a j , altrimenti si dice che la rete non è connessa. Una componente della rete è un sottografo indotto massimo connesso, definito anche *Strongly Connected Component (SCC in seguito)*. Una componente gigante è una componente la cui dimensione è dello stesso ordine di N . La densità della rete infine è definita come la frazione di link che connettono gli N nodi della rete rispetto al numero massimo teorico di link in una rete con lo stesso numero di nodi N . La densità più formalmente è definita come $\gamma = L/L_{max}$. Nelle reti dirette $L_{max} = N(N - 1)$ mentre nelle non dirette è pari a $N(N - 1)/2$. Dove L è la dimensione del grafo, ovvero il suo numero di link, L_{max} è il numero massimo di link che il grafo ammette e N è invece il l'ordine del grafo, ovvero il numero dei suoi vertici.

D1.1.13 Un cut-vertex è un vertice la cui rimozione aumenta il numero di componenti connesse. Un bridge è un arco la cui rimozione aumenta il numero di componenti connesse. Ogni grafo G con n vertici e m archi ha almeno $n - m$ componenti connesse.

Definizione 13. Se a e b sono due vertici appartenenti alla stessa componente connessa, allora esiste un path di lunghezza minima $d(a, b)$ chiamato distanza. Ogni walk chiuso W di lunghezza dispari contiene un ciclo dispari.

D1.1.14 Un grafo G si dice aciclico se non contiene cicli. Ogni grafo aciclico ha, al più, $n - 1$ archi.

Teorema 1. Sia un grafo G di ordine n . Allora due qualunque delle seguenti affermazioni implicano la terza:

- a) G è connesso;
- b) G è aciclico;
- c) G ha $n - 1$ archi.

D1.1.15 Un albero è un grafo connesso che non contiene cicli. Ogni vertice di grado uno di un albero è chiamata foglia. Una foresta è un grafo le cui componenti connesse sono alberi. Per un albero sono vere le seguenti affermazioni:

1. Un albero con n nodi contiene $n - 1$ archi; una foresta di ordine n e con k componenti contiene $n - k$ archi.
2. Un albero ha almeno due foglie.

3. Ogni coppia di nodi di un albero è connessa da un solo path.

Teorema 2. Dato un grafo G le seguenti affermazioni sono equivalenti:

G è un albero.

G è connesso e se $xy \in G$, allora $G - xy$ è sconnesso, ovvero ogni arco è un bridge.

G è aciclico e se x e y sono due vertici non adiacenti di G , allora $G + xy$ contiene un ciclo.

D1.1.15 Un trail euleriano è un trail (trail chiuso) che contiene ogni arco di G esattamente una volta. Un grafo è chiamato Euleriano se contiene un tour di Eulero

Teorema di Eulero (1736). Sia G un multigrafo connesso. Allora le seguenti affermazioni sono equivalenti:

1. Il grafo G è euleriano.
2. Ogni vertice di G ha grado pari.
3. Gli archi di G possono essere parzionati in cicli.

1.2.2 Indici utilizzati nella network analysis

Gli indici utilizzati mirano a dare una misura della posizione strutturale di ogni nodo all'interno della rete, e sono una delle parti fondamentali della network analysis

Degree centrality

La centralità di grado indica come all'interno della sua area di rete il nodo occupi una posizione di importanza o meno per quello che riguarda il numero di connessioni, che in caso di grafo diretto distingue tra in-degree e out-degree (grado entrante e uscente), e invece nei grafi pesati tiene conto anche del peso delle relazioni e non solo del loro

$$C_D(i) = \frac{\sum_{j=0}^V e_{ij}}{\frac{1}{2}(V-1)}$$

$$C_{InD}(i) = \frac{\sum_{j=0}^V w_{ij}}{\sum_{i \neq j} w_{ij}}$$

$$C_{OutD}(i) = \frac{\sum_{j=0}^V w_{ij}}{\sum_{i \neq j} w_{ij}}$$

Il nodo con il grado più elevato in questo senso si trova al centro della rete. Volendo invece guardare all'indice come proprietà complessiva della rete si conteggia la differenza media tra il nodo più centrale e tutti gli altri

$$\mathcal{C}^d = \frac{\sum_{i=1}^n |\mathcal{C}_i^d - \mathcal{C}_i^{d*}|}{(n-2)(n-1)},$$

Ed indica quanto una rete sia strutturata intorno ad uno o pochi nodi, creando una struttura centro-periferia, oppure abbia una struttura decentralizzata

Closeness centrality

La closeness centrality è l'indice che segnala la distanza geodesica media tra un nodo e tutti gli altri nella rete, il valore per un vertice V_i è 1 della rete diviso per la somma di tutte le distanze tra V_i e tutti i V_j in caso di un grafo diretto, mentre nei grafi diretti si deve dividere il denominatore per 2

$$C_c(v) = \frac{1}{\sum_{j=1}^g \text{dist}(v_i, v_j)}$$

Nel caso di grafi pesati, bisognerà aggiungere al denominatore il termine w , che indica il peso dei legami

$$C_c(v) = \frac{1}{\sum_{j=1}^g \text{dist}(v_i, v_j) w_{i,j}}$$

A livello di rete invece si indica come la differenza tra il valore del nodo maggiormente centrale e tutti gli altri nodi diviso per il massimo valore di variazione per una rete delle stesse dimensioni

$$\mathcal{C}^c = \frac{\sum_{i=1}^n |\mathcal{C}_i^c - \mathcal{C}_i^*|}{(n-2)(n-1)/(2n-3)}$$

Questo indice ci dice in sostanza quanti link sia necessario percorrere mediamente da un nodo per raggiungere un altro qualsiasi nella rete, e risulta una misura di quanto veloce si propagano all'interno della rete e tra i nodi le informazioni

Betweenness centrality

Misura la probabilità di un vertice di trovarsi nel percorso della distanza geodesica tra due nodi qualsiasi, giocando quindi un ruolo importante all'interno del network, ad esempio in una rete a stella il nodo centrale ha betweenness centrality 1, e risulta intermediario necessario di tutte le relazioni indirette tra gli altri link. La betweenness centrality è calcolata come il rapporto tra la somma di tutte le distanze geodesiche che includono il vertice V_i e tutte quelle della rete (Vega e Redondo 2007)

$$\mathcal{C}_i^d = \sum_{j \neq k} \frac{\delta_{jk}^i}{\delta_{jk}}$$

In caso di network pesati basta aggiungere il peso del link w_{ij} ad entrambi i termini, e invece si dimezza per quanto riguarda i grafi indiretti.

La betweenness centralisation invece è l'indice complessivo per la rete, e si calcola come la variazione tra la betweenness centrality dei vertici divisa per la massima variazione possibile nel valore della betweenness centrality in un network della stessa dimensione

$$C^b = \sum_{i=1}^n |C_i^b - C_i^{b*}|.$$

È un indice molto importante perché indica il possibile posizionamento strategico di un vertice all'interno della rete, che lo rende in grado di influenzare un gran numero di relazioni e controllare il flusso attraverso i nodi della rete

Indice di clustering

Il clustering è una proprietà tipica delle reti che misura la probabilità che due nodi vicini di un certo nodo siano a loro volta tra loro collegati. Per una generica rete non diretta G la transitività sta quindi a indicare la presenza di un alto numero di triangoli. Questa può essere quantificata definendo il coefficiente di clustering C , una misura introdotta da Watts e Strogatz (1998) e definita come segue. Prima di tutto introduciamo una quantità C_i (il coefficiente di clustering locale del nodo i), che esprime quanto è probabile che $a_{j,m} = 1$ per i due vicini j e m del nodo i . Il suo valore è ottenuto contando il numero effettivo di link e_i in G_i (la sotto-rete di G costituita dai vicini del nodo i). G_i può essere non connessa. Il coefficiente di clustering locale è definito come la frazione di e_i rispetto al massimo numero possibile di link in G_i pari a $k_i(k_i-1)/2$:

Strenght

È un indice che fornisce una misura pesata della connettività di un nodo, ed è calcolata come la somma dei pesi associati ai link di un determinato nodo i

$$s_i = \sum_{j \in \mathbb{N}} w_{ij}$$

Nel caso di rete diretta ha ovviamente due componenti, quella entrante e quella uscente, e il valore totale dell'indice è la somma delle due. Due nodi con il medesimo grado possono avere

diversa strength come si può intuire. Le reti pesate possono mostrare pattern di assortatività o disassortatività riferite alla strength di un nodo, esattamente come succede per il suo grado.

Multiplexity

La multiplexity è un indice che viene dalla social network analysis, e sta ad indicare il numero di diverse tipologie di rapporti che intercorrono tra due nodi, nel caso della rete commerciale che analizzeremo si riferisce ai diversi flussi che intercorrono tra i paesi a livello di prodotto.

Tradizionalmente è calcolato come “la percentuale di tutti i gruppi di prodotto che un paese commercia con ogni partner, di cui poi si fa la media per tutti i paesi del network” (Kandogan 2018).

Reciprocity

Nelle reti dirette, si possono avere delle relazioni tra nodi non ricambiate, risulta quindi necessario ad esempio per sapere se il network può essere trattato come indiretto per semplicità, o per capire le direzioni dei flussi fra i nodi. Per farlo è necessario sapere la quantità di link che sono ricambiati nella rete. Tradizionalmente misura la probabilità appunto che, all'interno di un network, due nodi siano mutualmente connessi

$$r = \frac{L^{<->}}{L}$$

Dove $L^{<->}$ è il numero di link che vanno in entrambe le direzioni. Dove un rapporto di 1 indica un network completamente bi-direzionale, e uno di 0 un network in cui nessun legame va in entrambe le direzioni.

Degree-degree correlation

Indica la tendenza che hanno nodi con un certo grado di connettersi preferenzialmente con nodi con un determinato grado, e può oltre ovviamente a non presentare una correlazione, essere di due tipi, assortativa o disassortativa.

Si dice che una coppia di nodi o una rete sono assortativi quando mostrano una correlazione positiva nel meccanismo di connessione preferenziale, ovvero tendono a vedere connessioni tra nodi con grado simile. Si chiamano invece disassortativi quando presentano un'anti-correlazione, ovvero tendono a vedere connessioni tra nodi con grado significativamente diverso. Altrimenti

non presentano un pattern di connessione apprezzabile. La correlazione si calcola con attraverso l'ANND (average nearest neighbour degree) che calcola il grado medio dei vicini di un nodo

$$\langle k_{nn} \rangle = \sum_{k'} k' P(k'|k)$$

Dove $P(k'|k)$ rappresenta la probabilità che un nodo di grado k si connetta ad un nodo di grado k' , se questa funzione cresce al crescere di k , si parla di assortatività.

1.2.3 Topologia delle reti Complesse

La modellizzazione a rete può essere applicata a molteplici fenomeni e oggetti appartenenti al mondo reale, in quanto se pur semplificando riesce a dare un'approssimazione significativa di tutti quei sistemi che per essere studiati formalmente necessitano di uno strumento che permetta di concentrarsi sulle molteplici relazioni, e gli effetti non lineari e indiretti che l'intrecciarsi delle stesse provoca globalmente. Per far questo è necessario anche, oltre ad una grande mole di dati che grazie allo sviluppo di sempre più precise e grandi banche dati diviene finalmente disponibile, rinvenire proprietà globali attribuibili a qualunque entità sia il risultato di elementi in connessione. Ciò rende possibile riportare sistemi, ampiamente diversi nella realtà, come internet, le reti alimentari e i pattern di diffusione di un'epidemia, ad uno stesso modello interpretativo. La ricerca empirica ha dimostrato come questo sia possibile, poiché inaspettatamente molte di queste reti condividono alcune proprietà topologiche, le quali permettono di studiarle sotto un unico paradigma, che come vedremo si discosta molto dai modelli precedentemente teorizzati in ambito matematico con la teoria dei grafi.

Reti regolari

Una rete regolare è una rete in cui ogni nodo ha lo stesso numero di vicini, un grafo regolare con nodi di grado k è chiamato grafo k -regolare. Un grafo fortemente regolare è un grafo regolare nel quale ogni coppia adiacente di vertici ha in comune lo stesso numero di vicini r , e ogni coppia non adiacente di vertici ha in comune lo stesso numero di vicini s .

Reti casuali

Il primo modello compiuto di rete viene studiato in matematica sotto l'ipotesi di una modalità casuale di formazione delle connessioni, chiamata appunto per questo rete casuale o random. La loro formulazione si deve ai matematici ungheresi Erdos e Renyi i quali, per risolvere la problematicità presentata da reti eterogenee e complesse, che si diversificavano dalle reti omogenee e regolari fino ad allora studiate, ipotizzarono reti all'interno delle quali i nodi formassero casualmente le loro connessioni, con una probabilità fissa p di creazione di un link fra i due nodi. Nelle reti random ogni nodo ha circa lo stesso grado, con il grado che si distribuisce come una poissoniana, per questo anche definite reti democratiche (Barabasi, 2002). Esse presentano inoltre delle distanze medie tra link piuttosto piccole, ma mancano di una struttura topologica, e descrivono poche reti reali.

Proprietà Small-world

La proprietà small-world delle reti complesse è protagonista di una serie di scoperte e osservazioni in più di una disciplina prima di essere formalizzata com'è tradizionalmente da Watts e Strogatz (1998), e identifica una rete come a metà tra le reti strutturate e le reti randomiche. La proprietà viene ottenuta con una modifica al modello di Erdos e Renyi, in modo tale che cambiando i parametri il risultato possa essere sia un grafo casuale che uno regolare. Si parte infatti da quest'ultimo, con una distribuzione degli N nodi a formare un cerchio, dove ogni nodo ha un link con i k vicini che si trovano a destra e i k vicini che si trovano a sinistra. A questo punto si inserisce un meccanismo che per cui ogni nodo ha una probabilità p di vedere interrotto il suo link con un vicino e casualmente direzionato verso un altro nodo, nel caso in cui $p=1$ otteniamo nuovamente una rete random. Si ottiene quindi un numero di link che connettono dei nodi ad altri che non sono nelle immediate vicinanze (ovvero a distanza di un link), diciamo a "lunga gittata", pari a pNk . Questi link mettono in connessione punti distanti della rete creando dei percorsi che riducono significativamente la distanza minima media tra i nodi, mantenendo sostanzialmente simile il coefficiente di clustering. Questo di fatto dà vita alla proprietà small-world della rete, che con maggiore formalità indica come la crescita delle dimensioni del network è associata ad una crescita logaritmica della distanza minima media.

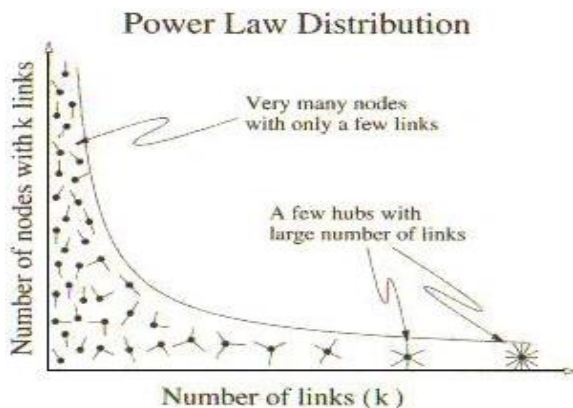
Proprietà scale-free

Di Barabasi et al. (1998) è invece la scoperta che il modello di Watts e Strogatz, come quello di Erdos e Reny, non descriveva le reti reali che erano state empiricamente rilevate. Infatti, mentre i modelli precedenti assumevano una formazione casuale, e quindi sostanzialmente egualitaria dei

link, le reti reali studiate mostravano invece situazioni estremamente diverse, con una grande eterogeneità di grado tra i nodi: un piccolo numero di questi poi chiamati “Hub” presentavano un alto numero di link, e sostanzialmente facevano da collegamento per tutti gli altri nodi, che in continuo diminuendo possedevano sempre meno link. Queste evidenze portarono a formulare un modello di rete all’interno della quale, ad ogni intervallo di tempo si veniva a creare un nodo, e ognuno di questi nodi aveva la probabilità di creare un link con un altro nodo. Quindi una rete casuale in crescita, che però mostrò subito di non essere in grado di spiegare gli hub e le reti reali. La distribuzione suggeriva un qualche meccanismo preferenziale di collegamento tra i nodi responsabile della struttura gerarchica assunta dalla rete, quindi negli studi successivi si creò una rete in crescita ma nella quale i nuovi nodi avevano una maggiore probabilità di connettersi a nodi con un grado elevato. Questa tipologia di modello riuscì a ricreare gli Hub tipici delle reti reali indicando un comportamento non casuale dei nodi, che produceva poi le proprietà emergenti tipiche delle reti.

Formalmente questo tipo di distribuzione del grado dei nodi viene definita come scale-free, a indicare che non muta la distribuzione con l’aggiunta di fattori moltiplicativi, e presenta un andamento a legge di potenza negativa

$$P(k) = Ck^{-\gamma} \text{ per } k \geq k_{min}$$



⁵ Barabasi, A-L. (2004), Torino: Einaudi editore.

Capitolo 2

Negli ultimi anni si è fatta strada nell'economia l'utilizzo di un nuovo paradigma di studio, l'analisi complessa. Nel superamento dei modelli riduzionistici del passato si è pensato di applicare i metodi già utilizzati in altri ambiti di studio per rendere conto delle problematiche legate alla complessità, donando una prospettiva non gerarchicamente posizionata rispetto alla precedente, ma in grado di adattarsi meglio ad alcune prospettive di analisi rispetto alle metodologie passate. Se il paradigma della complessità si occupa di rendere conto del comportamento emergente di sistemi altamente interconnessi, l'economia è una delle naturali discipline di applicazione, in quanto la maggior parte dei suoi studi si focalizza su realtà non banalmente connesse, che sfidano la capacità di previsione delle teorie fino ad oggi formulate.

Lo studio della rete commerciale internazionale si presta intuitivamente ad una applicazione di questo nuovo paradigma nel tentativo di rispondere alle domande lasciate insolite dal precedente approccio riduzionistico. Occupandosi maggiormente della relazione di interdipendenza che intercorre tra i paesi in commercio e la macrostruttura creata da queste relazioni, o più precisamente di quali sono le caratteristiche di questa struttura e le sue proprietà, e il ruolo dei singoli paesi all'interno di essa. Questa nuova metodologia si propone di spiegare in maniera soddisfacente le caratteristiche del sistema internazionale nella sua totalità e delle sue dinamiche evolutive, che acquisiscono attraverso l'azione indipendente dei soggetti che ne fanno parte, una serie di proprietà che non si rinvergono nella semplice aggregazione lineare delle proprietà individuali, secondo la nota prospettiva che "il tutto è maggiore della somma delle parti", ad ogni modo la vera natura della complessità esula dagli scopi di questa trattazione. Ci concentreremo quindi, maggiormente su cosa questo approccio possa dirci del commercio internazionale e quali siano le sue modalità e capacità descrittive, che prospettiva ci può fornire e quali interpretazioni ci permette di formulare rispetto agli argomenti di maggiore interesse all'interno dello studio del commercio internazionale, anche per quelle dinamiche e quei fenomeni già ampiamente studiati.

Brevi cenni sulla network analysis

All'interno del paradigma della complessità, metodo di indagine maggiormente adatto al sistema che andremo ad analizzare risulta essere la network analysis, che si inquadra all'interno della teoria delle reti, ovvero lo studio delle reti complesse. Il suo utilizzo è ispirato dallo studio delle reti sociali (social network analysis o SNA) e poi formalizzato matematicamente attraverso la

teoria dei grafi, permettendo di studiare i rapporti e le reciprocità che intercorrono tra gli agenti che formano la rete e la topologia che ne scaturisce.

Una definizione data da Scott (1992) definisce la SNA come un insieme di metodologie analitiche per studiare le strutture sociali che, diversamente dall'approccio statistico puro, considera maggiormente la relazione tra i soggetti e si concentra su di esse in quanto appartenenti ad un sistema. Si ha così la possibilità di studiarne comportamento e dinamiche, e trarne dati quantitativi riferiti alla struttura. Questo tipo di approccio consente di analizzare il comportamento delle singole componenti del sistema che, messe in relazione con le altre, determinano uno schema più ampio il quale acquisisce delle caratteristiche proprie e presenta delle regolarità. Inoltre, viene permesso di studiare aggregati che forniscono una mole molto elevata di dati, come richiesto dalle sempre maggiori quantità di informazioni da gestire.

Una volta descritto e modellizzato un sistema, come ad esempio quello del commercio internazionale, ed averne individuato le principali caratteristiche topologiche, interpretandolo secondo la teoria delle reti, sarà possibile lavorare su eventuali previsioni con l'utilizzo di modelli che permettano, attraverso simulazioni dell'alterazione della struttura (come ad esempio la rimozione di un link o l'eliminazione di nodi), di individuare i nodi e le connessioni più importanti, studiare possibili meccanismi di contagio, e individuare più in generale le reazioni della rete ad eventuali modifiche o shock.

2.1 La topologia e le proprietà caratteristiche del WTN

2.1.1 Un primo sguardo agli indici del WTN

In un loro studio Serrano e Boguna (2003) analizzano il WTN studiandolo come un grafo diretto non pesato, metodologia che permette agli autori di recuperare alcuni dati mancanti, data la complementarità dei flussi di esportazioni-importazioni, individuando 179 vertici e 7510 link, con grado entrante e grado uscente medio entrambi di 30.9. Il coefficiente di correlazione tra i due gradi è molto alto, pari a 0,91, anche se non tutti i nodi hanno reciproci per link entrati o uscenti, vale a dire che non sempre le esportazioni verso un paese sono corrisposte da importazioni da quel paese. Calcolando l'indice di reciprocità si può notare che è pari a 0,61,

indicando che “il network può essere studiato come un grafo indiretto” senza perdere le sue determinanti topologiche, questo network diretto ha grado pari a 43. Dal punto di vista della distribuzione di grado, si può notare che la rete è simile ad un grafo casuale fino a grado pari a 20, dove raggiunge un massimo di probabilità, oltre questo K segue un andamento a legge di potenza $P_c(k) \sim k^{1-\gamma}$, con $\gamma \approx 2.6$, tipico delle reti a invarianza di scala (o scale-free), che implica un’alta eterogeneità di grado tra i nodi. La caratteristica di avere per $K < 20$ una struttura simile ai grafi casuali potrebbe essere correlata al fatto che i paesi con minori connessioni sono spesso i più poveri, ed essendo costretti ad instaurare flussi commerciali di sussistenza, potrebbe venir meno il meccanismo di connessione preferenziale descritto da Barabasi et al. (1999) caratteristico dei network scale-free.

Possiamo notare una correlazione tra il numero di link di un paese e il suo PIL pro-capite, usato come misura del benessere, uguale a 0,65 che conferma come i paesi meno connessi siano anche i più poveri. All’opposto si trovano i paesi maggiormente connessi (anche se ovviamente esistono alcuni paesi che non rispondono a questo pattern come ad esempio l’Islanda per i secondi o la Cina per i primi).

Risultano invece indicativi il coefficiente di clustering e la correlazione degree-degree, segnali di una organizzazione gerarchica della rete. In assenza di un’organizzazione gerarchica fra i nodi della rete, i due indici non presenterebbero correlazioni con altre proprietà della stessa. Notiamo che il coefficiente di clustering risulta invece funzione del grado dei nodi. Mentre per quanto riguarda la correlazione degree-degree notiamo che è di tipo assortativo, ovvero i nodi con maggior numero di collegamenti risultano connessi a nodi con grado basso.

Si presenta quindi una rete ad aree di influenza altamente interconnesse al loro interno, che si connettono tra loro attraverso hub.

Infine, la distanza media tra due nodi all’interno della rete, definita come “la media delle distanze più brevi tra tutte le coppie di nodi” è uguale a 1,8, valore non dissimile a quello di un grafo casuale delle stesse dimensioni e grado medio.

Quindi analizzando il WTN si accorsero che nel 2000 mostrava le proprietà tipiche di una rete complessa. Segnatamente:

- I)** una distribuzione di grado dei nodi scale-free, ovvero alta eterogeneità del grado dei nodi.
- II)** proprietà small world.

III) alto coefficiente di clustering, i vicini di un certo nodo hanno un'alta probabilità di essere interconnessi tra di loro, ovvero sono maggiormente connessi mediamente rispetto a reti con basso coefficiente di clustering.

IV) degree–degree correlation, proprietà importante nella comprensione dell'organizzazione gerarchica del network.

Questa analisi ha importanti conseguenze, perché se è vero che il WTN è una rete complessa, può essere studiato nella sua interezza secondo gli strumenti propri dello studio delle reti complesse portando a studi successivi che all'interno del quadro delle reti complesse hanno tentato approcci con differenti specificazioni della tipologia di link tra i nodi.

Smith e White (1992) studiarono le caratteristiche della struttura del commercio internazionale ed individuaron prove della presenza di una sua tripartizione in gruppi di paesi, in centro-semiperiferia-periferia.

Garlaschelli e Loffredo (2005) e Kali e Reyes (2007) hanno studiato il WTN come un grafo diretto, i risultati ottenuti hanno confermato la struttura gerarchica e la proprietà scale free, sottolineando già prima di De Benedictis e Tajoli (2011) l'inconsistenza del concetto di paese rappresentativo nel commercio internazionale. Fagiolo et al. (2008) studiandolo come un network simmetrico pesato, hanno confermato le grandi differenze esistenti tra paesi in termini del loro ruolo nel commercio internazionale, con paesi con poche e deboli connessioni che risultano maggiormente connessi a paesi con molte connessioni che svolgono il ruolo di hub (caratteristica disassortativa). Questa tipologia di approccio e queste scoperte hanno permesso di capire che ogni paese ha un ruolo diverso all'interno del network, ed è presente una alta diversità di flussi, partner e link tra i vari paesi. In contrasto con ciò che risultava dai precedenti modelli riduzionistici.

2.1.2 L'evoluzione e i cambiamenti del WTN

Nel loro articolo, De Benedictis e Tajoli (2011) hanno studiato attraverso la network analysis le caratteristiche del WTN nel tempo, per verificare cambiamenti nella sua topologia.

Proprietà del WTN

Il WTN tende ad essere concentrato in un piccolo Gruppo di paesi. Nel 1950, 350 rapporti commerciali erano responsabili del 90 % del commercio totale pur essendo solo il 20,6% soltanto del totale dei rapporti di scambio, e il 99° percentile era responsabile del 29.25% del totale del commercio mondiale. Dei 60 paesi studiati, 57 erano responsabili del 90% del commercio. Nel 2000, si assiste ad un aumento dei flussi, in particolare quelli di piccola entità, mentre avevano acquisito di importanza i flussi maggiori, l'1 per cento più alto dei flussi era diventato responsabile del 58.17 per cento del commercio internazionale; 82 paesi dei 157 paesi presi in considerazione erano responsabili del 90% del commercio. Il numero medio di partner è aumentato nel corso del tempo, si è però mantenuto limitato il numero di mercati in cui esportare e sono aumentati invece il numero e la varietà delle fonti di importazioni, evidenziando la difficoltà di creare flussi di esportazione verso nuovi paesi. I paesi più grandi risultano responsabili di una quota maggiore del commercio e hanno più link, ma è presente molta varietà anche sotto questo punto di vista.

Lo studio riporta un aumento della densità del network, che decresce leggermente intorno al 2000 a causa dell'incremento dei nodi. L'utilizzo della network analysis permette di evidenziare, che è quindi vero che sta aumentando l'apertura al commercio, ma nella prospettiva sistemica è più chiaro come questo aumento di vivacità commerciale non sia regolare. L'indice di densità rimane sotto il 50%, suggerendo un aumento preferenziale del numero di flussi commerciali, ovvero che l'apertura dei paesi non è stata diretta a tutti gli altri paesi ma a partner specifici. La diminuzione dell'indice di centralizzazione suggerisce invece una diminuzione, nel tempo, dell'importanza degli hub presenti. Inoltre, la diminuzione degli indici di centralità, come la total betweenness indica una diminuzione della distanza geodetica tra i nodi, anche se, come per l'aumento di densità, l'indice è aumentato in tempi recenti, causa l'aumento delle dimensioni del network. Fino al 1980 l'aumento delle importazioni si è concentrato in un gruppo centrale e ristretto di paesi, successivamente si assiste ad una diminuzione dell'indice di closeness centralisation, possibile segnale della crescita della dimensione del network causata dall'ascesa di un gruppo di paese emergenti.

Il network si è trasformato da una rete, nel 1960, con molti paesi aventi un basso numero di link, ad una nel 1980 con un aumento considerevole di paesi con un numero medio di link, intensificato negli anni. Nel 2000 il risultato, sia per il grado dei link in entrata che dei link in uscita, è una distribuzione bimodale, con due gruppi, uno di paesi con un numero medio di link e uno leggermente minore con un numero elevato di link (la distribuzione del numero di link per le

importazioni è più piatta e leggermente spostata a sinistra). In generale nello studio si riporta una situazione nel 2000 in cui è aumentato il numero medio di link, con la maggior parte dei paesi che presentano un numero maggiore di link in uscita rispetto a quelli in entrata. Inoltre, entrambe le distribuzioni presentano elevata eterogeneità, con alta varianza e spessore delle code, tale che risulta inadeguato tentare di individuare un paese rappresentativo in termini di pattern di commercio geografico. In seguito a queste evidenze, secondo l'articolo, diventa obsoleta la precedente divisione nucleo(centro)-periferia studiata in passato.

Posizione dei paesi nel WTN

Nel 1960 il Regno Unito era il paese con il maggior numero di link entranti e gli Stati Uniti uscenti. Nel 1980 il Regno Unito risultava avere il maggior numero di link sia in entrata che in uscita e tutti i primi posti venivano occupati da paesi europei, indicando un'alta integrazione europea nel commercio internazionale. Nel 2000 sono invece gli Stati Uniti il paese con il grado maggiore sia in entrata che in uscita. Si è inoltre assistito ad un aumento nel grado di molti paesi in via di sviluppo, specialmente in riferimento ai paesi del Sud-Est asiatico.

Risultano, parimenti, avere il maggiore indice di centralità del vertice Stati Uniti e Germania. All'interno del network inoltre si rileva una correlazione di grado, tra il grado entrante e grado uscente dei nodi. Lo stesso vale per gli indici di closeness centrality entrante e uscente.

In un primo momento la NA fu applicata al commercio internazionale per comprendere il significato strutturale della posizione di determinati paesi nella rete, oppure per studiare le asimmetrie nei flussi commerciali. Furono sollevati alcuni problemi metodologici, come ad esempio quali flussi dovessero essere considerati, e quali misure di centralità e distanza catturassero meglio la posizione di un paese nella rete. Nel tempo si è assistito all'incremento del grado di paesi in via di sviluppo, in particolare paesi del sud est asiatico.

Nel 1960 si può osservare un nucleo formato dai paesi europei e dagli USA, questi ultimi risultano terzi nell'indice di betweenness centrality, scendendo fino all'ottava posizione negli anni successivi per poi risalire al primo posto, insieme alla Germania. Intorno agli anni 2000 questo nucleo di paesi risulta più affollato e meno definito, con il cambiamento del ruolo di alcuni Hub di origine coloniale, che perdono di importanza, come quello formato dalla Francia e le sue colonie nord-africane. Si può osservare invece un aumento della centralità di Hong Kong e la diminuzione di quella della Svizzera.

Interpretazione delle proprietà del WTN

Gli autori valutano e interpretano i risultati precedenti confrontandoli con le predizioni del modello gravitazionale del commercio, che pure se non rende conto della struttura del sistema nella sua interezza, ma si riferisce a caratteristiche e pattern dei singoli paesi, risulta essere il modello più diffuso e di successo. Nella specificazione base si presenta in una forma

$$\mathcal{L}_{ij} = A \cdot \frac{GDP_i \cdot GDP_j}{D_{ij}}$$

In queste specificazioni, “fino a che due paesi, V_i e V_j , hanno PIL positivo nella funzione di valore del vertice P , e la distanza fisica tra loro, D_{ij} , è meno che infinita” ... “e i beni prodotti nei due paesi non sono perfetti sostituti, dovremmo vedere un link con valore positivo fra loro” (De Benedictis e Tajoli, 2011). Quindi secondo il modello di gravità, che comunque può essere ulteriormente espanso per dare conto di alcuni flussi con valore 0 che osserviamo nel mondo reale, dovremmo avere un WTN con densità 1, diversamente dai dati osservati, che riportano una densità di 0,5, che pur se aumentata nel corso del tempo, non è ancora ai livelli di densità che ci si aspetterebbe da una rete completamente integrata.

Modelli gravitazionali e la rete commerciale

Nonostante introducendo un termine multilaterale di resistenza, come hanno fatto Anderson e Van Wincoop (2003), si possa anche nei modelli gravitazionali tenere conto dell'effetto del commercio di una coppia di paesi su un'altra coppia di partner, esso viene tendenzialmente trattato come eterogeneità non osservata e controllata per stimatori degli effetti aggiustati per il paese. Però “questa procedura funziona solo con dati cross-country ma non panel (Baldwin e Taglioni, 2006), poiché il termine di resistenza multilaterale varia nel tempo” (De Benedictis e Tajoli, 2011), mentre la network analysis permette di gestire meglio questo tipo di effetti grazie ad indici che variano con il tempo.

Regionalizzazione del commercio internazionale

La network analysis viene utilizzata dagli autori per verificare se il commercio internazionale risulta regionalizzato (ovvero organizzato intorno a blocchi commerciali, possibilmente formati in seguito ad accordi tra gli stati (Pomfret, 2007; Baier et al., 2008)). Si controlla quindi se risulta maggiore il numero di flussi commerciali tra paesi dello stesso continente con eventualmente anche accordi commerciali. A questo proposito vengono analizzati i sotto-network regionali.

Gli indici di densità risultano sia nel 1980 che nel 2000 più elevati nelle reti regionali che a livello mondiale che, se considerato come un valido indicatore di regionalizzazione, questa stabilità nel tempo ne dà la conferma. Mentre il numero di flussi regionali nel 1980 ammontava al 27% del numero totale di flussi a livello mondiale, scendendo al 26% nel 2000, limitando la rilevanza assegnata alla regionalizzazione.

Risultano invece altamente interconnessi: Europa, seppur divisa al suo interno in gruppi di paesi (figure), con densità approssimabile ad 1, i paesi asiatici appartenenti all'ASEAN (in particolare Giappone e Corea) ed i paesi del NAFTA. I sotto-network di cui fanno parte questi gruppi di paesi presentano in generale una densità maggiore dei continenti a cui appartengono. L'Africa invece presenta oltre ad un basso numero di link anche un grande numero di paesi periferici distanti, all'interno del continente, anche dalla rete locale.

L'indice di intensità dei singoli continenti risulta inoltre diminuito, sebbene più alto di quello mondiale, tra il 1980 e il 2000, mentre l'indice di intensità a livello mondiale vede un aumento nello stesso periodo.

Intensive ed extensive margin

Se si assiste ad un cambiamento nel rapporto di due partner già in relazione stiamo parlando di intensive margin, mentre nel momento in cui si viene a creare una relazione bilaterale prima non esistente o si interrompe, si parla di extensive margin. Il 60% della crescita del commercio internazionale dal 1955 al 1977 è dovuta dall'intensive margin confermato anche da Helpman et al (2008). L'evoluzione del network mostra nel tempo che, tra il 1980 e il 1990, si osservano 109 nodi attivi che sono responsabili di 7355 link, dei quali il 23,7% sono nuove connessioni commerciali. Questo evidenzia come la maggior parte dei link appartengano a connessioni già stabilite nel 1980: si osserva inoltre una forte somiglianza tra la componente positiva e negativa dell'intensive margin, ovvero si assiste ad una diminuzione di intensità di alcuni link ed un aumento di altri, indicando una modifica nei link maggiore intensità, che si registrano verso paesi diversi rispetto al 1980. Il network di extensive margin risulta meno denso di entrambi i network delle componenti dell'intensive margin, ma è maggiore di entrambi il grado entrante, e minore la betweenness centralisation. Questo sembra indicare che l'evoluzione dell'extensive margin all'interno del world trade network sia principalmente dovuta al ruolo di un gruppo di paesi, in particolare Messico, Nigeria, Tunisia e Cina.

2.2 Una nuova costruzione degli indici

Kandogan (2018) propone invece nel suo articolo un'analisi delle misure classiche utilizzate per lo studio dei network e di alcune modificate, indicando quali di queste danno una immagine più accurata della topologia del WTN. Risulta, come analizzato in questa tesi, che utilizzare la teoria delle reti permetta di avere un'idea sistemica e complessiva dei rapporti che regolano il commercio internazionale, anche nell'analisi del singolo rapporto tra due nazioni in commercio. L'assunzione di una prospettiva complessa si porta dietro tutte le implicazioni di questa visione unitaria del sistema. L'autore si chiede quindi se le misure adottate fino ad adesso in precedenti studi, non presentino dei punti deboli, che grazie ad un lavoro di affinamento possano portare ad una visione più accurata della situazione del WTN. Già prima di questo articolo altri studi avevano introdotto delle modifiche alle misure per permettere di inquadrare meglio il fenomeno del WTN. L'utilizzo di grafi diretti per la rappresentazione della rete ad esempio permette di vedere in che direzione e che tipo di relazione si instaura tra due nodi, indicandone la direzione rispetto ad un link tracciato, in questo senso anche l'utilizzo di link pesati invece che binari permette di non eliminare dall'analisi una serie di rapporti che non superano una certa soglia di valore, e oltre a permette di valutare le connessioni non rende necessario l'imposizione di un valore-soglia che indica la significatività di un certo commercio. Anche la completezza, ovvero il comprendere quanti più nodi del network possibili all'interno dell'analisi consente di essere più precisi. La scelta del livello di aggregazione dei dati potrebbe evidenziare o nascondere le caratteristiche di un commercio. Per esempio, un'analisi condotta a livello aggregato potrebbe non interpretare a dovere la struttura di un network a livello di gruppi di prodotti che si viene a creare. Infine, la frequenza dei dati utilizzati, ovvero a che intervallo di tempo si situano i dati raccolti, potrebbe alterare i risultati di una ricerca, nascondendo ad esempio una parte della rete, o dando rilievo maggiore a elementi inusuali e di dimensioni maggiori all'interno della struttura.

2.2.1 Misure modificate

_ **Clustering:** Nell'approccio tradizionale vengono ignorate le differenze nel volume del commercio tra coppie di partner, ogni nodo e i diversi gruppi di prodotti sono trattati allo stesso modo. L'autore in merito produce una lista di potenziali partner di un nodo, e "la quota di

importazioni del primo partner del paese in questione viene moltiplicata per la quota del secondo partner in importazioni del primo partner. Nel calcolare la seconda quota il paese in questione viene escluso per evitare un errore nelle misure del clustering, per paesi con grandi volumi di commercio, che apparirebbero altrimenti di minor importanza” (Kandogan, 2018). La misura assume valore 1 quando tutti i partner di un paese commerciano solo tra loro. Inoltre, i calcoli “vengono fatti separatamente per ogni gruppo di prodotti e pesati con la quota di importazioni del paese in questione che rappresentano” (Kandogan, 2018). La misura per l’intera rete viene calcolata per ogni paese “pesando la sua quota di importazioni”.

_ **Centralità di grado:** è il numero di paesi da cui importa un determinato paese. Per tenere conto della diversa influenza dei vari partner viene calcolata la quota di ogni paese nelle importazioni del paese in considerazione. Inoltre, un paese che presenta una certa percentuale delle sue importazioni proveniente da molteplici partner avrà una centralità maggiore rispetto ad uno con la stessa percentuale proveniente da un paese soltanto; si aggiunge perciò la radice quadrata della quota di ogni partner commerciale nelle importazioni del paese in questione. Dividiamo quindi la somma per la radice quadrata della massima centralità di grado ($n-1$), per ottenere 1 come massimo valore. Per l’intera rete, queste misure calcolate per ogni paese vengono sottratte dal valore del paese con indice più alto nel network e sommate le differenze. Quindi per un network a stella (ovvero con un unico nodo che intesse connessioni con tutti gli altri) il valore sarà ($n-1$), si divide poi la misura precedentemente calcolata per ($n-1$), e si ottiene un rapporto che avrà al massimo valore 1. Ogni misura viene calcolata per ogni gruppo di prodotti e pesata per la quota dei gruppi di prodotti nelle importazioni del paese o della rete in totale.

_ **Closeness centrality:** Un paese può assumere maggiore importanza all’interno di un network se risulta vicino a paesi importanti, quindi consideriamo la loro quota nelle esportazioni totali per tenerne di conto quando calcoliamo l’indice, escludendo il paese di cui si calcola l’indice per evitare errori nella sua misura. Per la misura complessiva di tutta la rete i valori di ogni paese sono pesati con la loro quota di importazioni sul totale, il valore massimo assumibile è 1. Anche in questo caso per ogni gruppo di prodotto le misure per i paesi e la rete sono calcolati pesandoli in base alla quota di ogni prodotto nel totale delle importazioni.

_ **Betweenness centrality:** Per dare conto del fatto che non ha lo stesso valore trovarsi nel percorso più corto di relazioni commerciali con diverso volume o importanza, il valore

dell'indice viene scalato con la percentuale di importazione dell'importatore sul totale, e la percentuale di esportazioni dell'esportatore sul totale. Il "valore massimo" viene assunto dal paese "quando si trova al centro di un network a stella, dove tutti i paesi importano ed esportano direttamente da lui un uguale volume di beni. In questo caso, la quota di ogni importatore ed esportatore è il reciproco di $(n-1)$, e ci sono $(n-1)*(n-2)$ coppie" (Kandogan, 2018), risultando il paese al centro della rete avere un valore dell'indice di $(n-2)/(n-1)$. Dividendo il valore di betweenness centrality di un paese per questo numero, si ottiene un valore che può raggiungere il massimo di 1.

Per l'intera rete, calcoliamo il valore come una somma pesata dei singoli valori attraverso la quota di ogni singolo paese sul totale del commercio, moltiplicando poi il valore ottenuto per 2. I calcoli vengono fatti per ogni paese e separatamente per ogni gruppo di prodotti, e sommati utilizzando come pesi la quota di ogni gruppo di prodotti sul totale del commercio

Reciprocity: Per catturare la quantità di importazioni ricambiata si può calcolare la quota che ogni paese ricambia sul totale, inoltre per avere un valore più alto per la medesima quota ma proveniente da un maggiore numero di partner si calcola la radice quadrata della quota di ogni partner e si somma. Per tenere invece conto dell'importanza dei partner per un paese si moltiplicano queste radici quadrate per la quota di ogni partner nelle importazioni del paese per ogni prodotto, e poi si sommano per tutti i gruppi di prodotto e tutti i partner. Si produce così una misura che ha valore massimo di 1 se tutte le importazioni ad ogni livello di prodotto sono ricambiate da esportazioni almeno equivalenti. Per l'intero network, "le misure del paese importatore sono pesate secondo la loro quota sul totale delle importazioni e poi sommate" (Kandogan, 2018). Questo procedimento porta ad un massimo valore di 1 se "tutte le importazioni ad ogni livello di prodotto con ogni partner sono ricambiati da esportazioni" equivalenti verso tutti i paesi del network.

Multiplexity: Viene calcolato come "la percentuale di tutti i gruppi di prodotti che un certo paese importa da ognuno degli altri paesi, di cui poi viene fatta la media per tutti i paesi". Rappresenta in un certo modo l'ampiezza e la forza di un rapporto tra due partner. Al fine di darne una misura migliore, si calcola l'ammontare di importazioni per ogni gruppo di prodotti. Si calcolano e poi si sommano quindi, le radici quadrate delle quote di ogni gruppo di prodotti nelle importazioni di un paese da uno specifico partner, avendo al massimo un valore di 1. Questo valore andrà scalato dividendolo per la radice quadrata del numero totale di gruppi di prodotti.

Poi si pesa questa misura moltiplicandola per la quota di ogni partner nelle importazioni. Per il network nella sua totalità invece dobbiamo “pesare le misure ottenute per ogni paese moltiplicandole per la loro quota delle importazioni totali del network e poi sommarle”.

2.2.2 Risultati⁶

Reciprocity

Per calcolare la reciprocità dobbiamo studiare le connessioni della rete come dirette. Analizzando il commercio a livello di prodotto la reciprocità risulta minore piuttosto che nell’analisi utilizzando dati bi-annuali, con metodologia pesata i valori si abbassano ulteriormente. Per i primi 5 posti si notano forti differenze quando si analizzano le importazioni a livello totale piuttosto che a livello di prodotto, nella metodologia 2 le economie piccole e relativamente chiuse sono in cima probabilmente perché mentre non commerciano in ogni prodotto, mantengono rapporti di importazione ed esportazione con un minor numero di paesi. La reciprocità aumenta per i paesi sviluppati se si considera l’analisi a livello di prodotto, a causa del loro coinvolgimento in un maggior numero di commerci di differenti prodotti, ricambiati dai partner, è invece “degnò di nota che, nei metodi non pesati 3 e 4, le economie maggiori sono tra le prime 5, mentre nell’analisi pesata, i primi 5 posti sono occupati da paesi sviluppati con economie meno importanti, con l’eccezione della Germania” (Kandogan, 2018).

Spostando il focus sulla rete dei prodotti, ci aspettiamo un minor valore per le risorse naturali, poiché il loro commercio si basa su meccanismi di vantaggio comparato, mentre per i prodotti con un alto grado di ritorni di scala crescenti ci aspettiamo maggior reciprocità, come sembra essere. Generalmente questa tipologia di commercio avviene tra paesi sviluppati, che sono tra i primi paesi della classifica.

Multiplexity

Ovviamente l’indice di multiplexity è calcolabile solo con un’analisi a livello di prodotto. Gli ultimi paesi nella classifica sono le economie piccole e relativamente chiuse, mentre le economie più importanti e sviluppate sono in cima in caso di metodologie non pesate e le economie piccole e sviluppate, con l’eccezione della Palestina, nel caso di metodi pesati. Questo implica che “per i paesi più piccoli, commerci rilevanti avvengono con i loro partner più importanti per i vari gruppi

⁶ Le tabelle originali, con i valori per i singoli paesi, possono essere trovate all’interno dell’articolo.

di prodotti, mentre per i paesi più grandi, il commercio avviene per molti prodotti con vari partner, ma alcuni di questi commerci non sono rilevanti, o non lo sono i partner all'interno del network. La misura di molteplicità a livello di network aumenta quando vengono analizzati dati bi-annuali, dato che catturano link commerciali meno frequenti rispetto a quelli annuali". E "aumenta significativamente quando viene adottata una metodologia pesata, nelle quali la quota di ogni paese nelle importazioni viene presa in considerazione" (Kandogan, 2018).

Clustering

L'indice di clustering diminuisce quando invece che il commercio totale prendiamo in considerazione le importazioni, lo stesso vale quando facciamo un'analisi a livello di gruppi di prodotto piuttosto che complessivamente, poiché un minor numero di coppie di partner possono intraprendere commerci a livello aggregato rispetto alle sole importazioni o i singoli gruppi di prodotto. Gli indici provenienti da dati bi-annuali hanno valori maggiori, poiché un maggior numero di link che rappresentano importazioni meno frequenti entrano nell'analisi, e lo stesso vale nel caso delle misure pesate che hanno valori maggiori di quelle non pesate. Si osserva che nel caso di analisi che utilizzano metodologie non pesate, le economie piccole e chiuse hanno i valori più alti, mentre le grandi economie sviluppate quelli più bassi. Mentre con l'utilizzo di metodi pesati la situazione si inverte. Il clustering è basso nel caso di metodi non-pesati "nell'industria delle risorse naturali, dove il vantaggio comparativo spiega i pattern di commercio. La situazione nuovamente si ribalta in caso dell'utilizzo di metodi pesati" (Kandogan, 2018)

Degree centrality

Le economie di piccole dimensioni e chiuse si trovano sistematicamente in posizioni basse, con valori minori rispetto alle economie più grandi e sviluppate, in particolare quelle europee che hanno i valori più alti. I valori si mantengono simili anche quando si porta l'analisi ad un diverso livello rispetto a quello aggregato, indicando valori simili sia per l'indice aggregato, sia per le esportazioni che per le importazioni, mentre a livello di network assume un valore più alto quando si analizzano le importazioni rispetto al commercio complessivo. Utilizzando dati a livello di prodotto gli indici per i paesi diminuiscono fortemente, mentre aumentano se si utilizzano dati bi-annuali. Il metodo pesato restituisce valori ancora minori, nelle metodologie non pesate i valori più alti a livello di gruppi di prodotto appartengono alle industrie delle

macchine utensili, manifatturiero e vestiario. L'ordine cambia quando si utilizzano i pesi per l'analisi a livello di gruppo di prodotti, dove i valori più alti li hanno la pelle, i metalli e la pesca.

Closeness centrality

A livello di closeness centrality la situazione del valore dei singoli paesi è molto simile a quella della degree centrality, con l'eccezione dell'India nella "misura pesata per la closeness. Pur avendo un grado relativamente alto, non era tra le prime 5. Mentre ci sono anche alcune similarità tra le prime e le ultime 5 industrie, con l'unica differenza quando adottiamo la misura pesata"... "l'industria delle macchine utensili e il manifatturiero si posizionano relativamente in alto in closeness, ma non in grado." (Kandogan, 2018).

L'analisi a livello di prodotto restituisce valori più bassi, e come per le altre, includendo i dati bi-annuali la misura aumenta il suo valore. Gli autori evidenziano inoltre la presenza di alti valori di closeness con la metodologia pesata. Mentre "quando l'importanza relativa dei partner viene utilizzata per pesare la distanza, la misura per i singoli paesi si alza" (Kandogan, 2018), indicando che i paesi all'interno del network sono meno distanti dalle grandi economie.

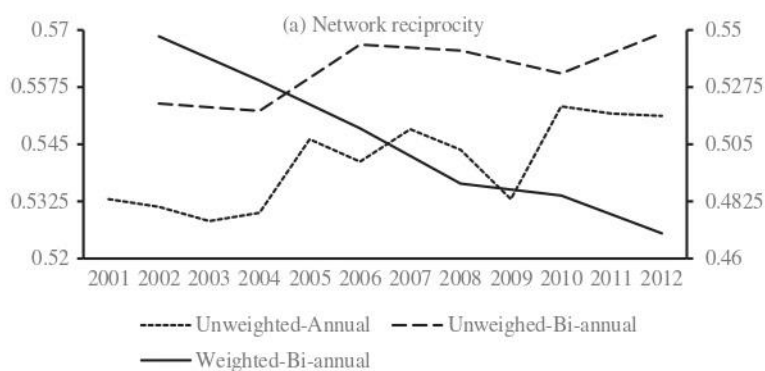
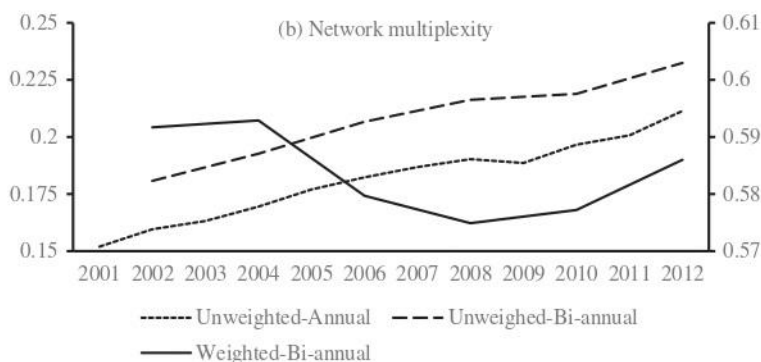
Betweenness centrality

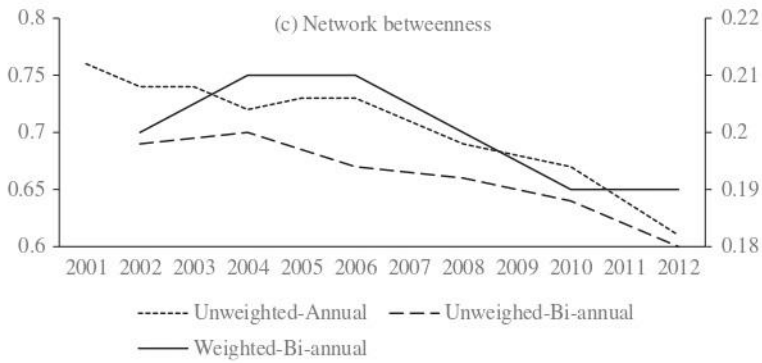
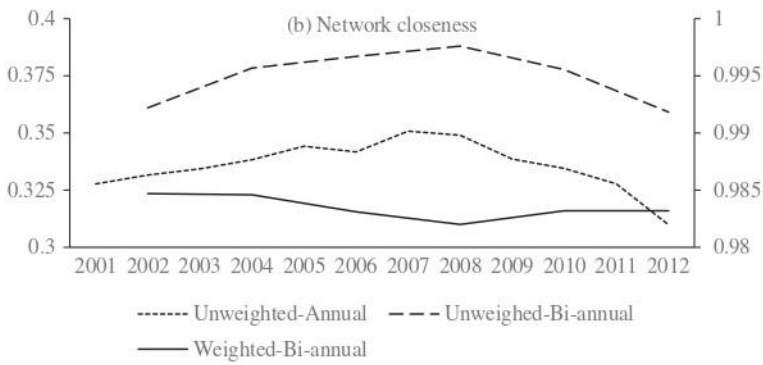
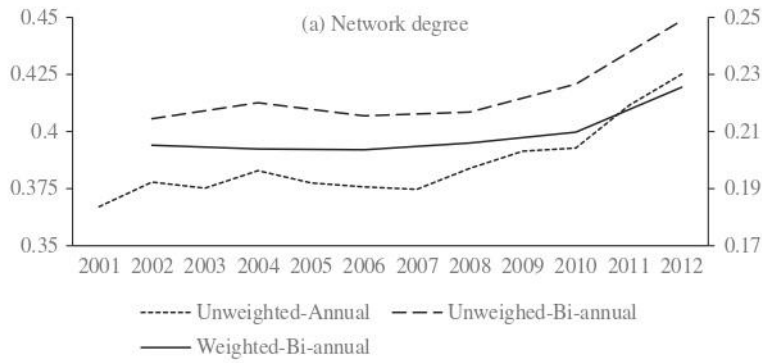
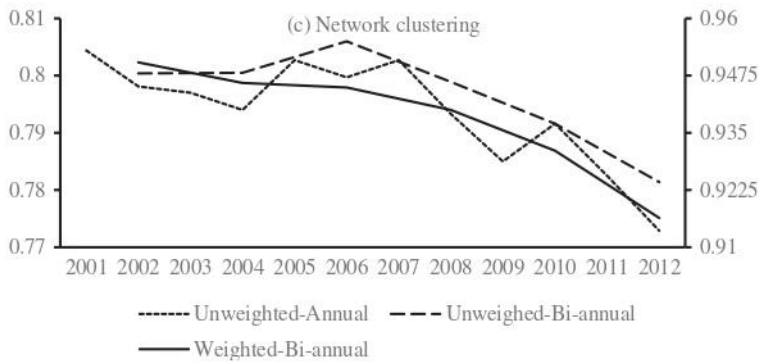
Per il valore di betweenness i primi 5 paesi risultano essere gli stessi per tutte le misure ottenute con metodologie non pesate, mentre per tutti i metodi gli ultimi risultano essere le economie piccole e chiuse, e i valori diminuiscono considerando le importazioni piuttosto che il commercio totale, mentre aumentano analizzando i dati a livello di prodotto, poiché le connessioni diventano meno dirette, l'opposto di ciò che rende minori le misure quando vengono utilizzati i dati bi-annuali. Nelle misure pesate ai primi posti si trovano i paesi della international supply chain, risultano inoltre molto minori i valori poiché prendono in "considerazione la quota dei partner nelle importazioni e esportazioni", ci sono cioè più link diretti con partner dagli alti volumi di commercio e un numero minore di paesi in mezzo. Mentre "non si osservano pattern significativi nelle misure per i gruppi di prodotti", ritrovando "il medesimo gruppo nella stessa posizione del ranking" (Kandogan, 2018) anche al cambio della metodologia di misurazione

Andamento nel tempo

Si può notare come i due metodi pesati abbiano pattern molto simili per tutti gli indici, e come in generale con dati bi-annuali i valori siano più alti che con i dati annuali, con l'eccezione dell'indice della betweenness. Nelle misure di clustering, grado e betweenness il pattern delle

misure pesate segue quello delle misure non pesate. Si può notare la diminuzione dell'indice di clustering e di betweenness centrality e invece un aumento del grado, causato da un incremento dei partner commerciali per paese, che comporta un maggior numero di link diretti e commerci anche al di fuori della clique. Si nota come la reciprocità del network nella misura pesata risulta avere un trend negativo, ovvero nonostante l'aumento dei link ricambiati, è diminuita l'intensità dei flussi degli stessi. Nonostante questo declino, con un valore di 0,46, il commercio internazionale si mostra significativamente simmetrico. La multiplexity nella misura non pesata mostra un trend crescente, mentre il valore pesato decresce dal 2004 fino al 2008, in cui comincia ad aumentare, ad indicare un aumento nel numero di tipologie di gruppi di prodotti, ma una diminuzione dell'importanza dei flussi. Infine, l'indice di closeness mostra due opposti andamenti per valori con metodologia pesata e non. Mentre i primi inizialmente mostrano un trend crescente poi tendono a diminuire, il secondo fa l'opposto, ovvero prima mostra un trend decrescente e poi inizia a crescere intorno al 2008.





2.3 La network analysis e la globalizzazione

2.3.1 Iper-globalizzazione, le evidenze e i dubbi

Kastelle, Steen, Liesch (2006) nel loro articolo studiano i cambiamenti del commercio internazionale dal 1938 al 2003 e tentano di dare una misura del fenomeno di globalizzazione, se e a che livello si stia effettivamente verificando. Gli autori definiscono la globalizzazione come già fatto da Woods (2000), ovvero l'aumento dei flussi di commercio, di movimento di capitali, di investimenti e persone attraverso i confini nazionali. Per verificare tali cambiamenti in atto analizzano le ipotesi che derivano dal modello di iper-globalizzazione, nel caso fossero confermate non si potrebbe escludere l'esistenza di una forma forte di globalizzazione.

H1. L'economia internazionale è sempre più connessa con il passare degli anni.

La densità del network, preso come indicatore del fenomeno, era del 12% nel 1938 ed è scesa all'11,1% nel 2003. Il significato di questo valore però va interpretato alla luce del fatto che il network ha visto aumentare la sua dimensione da 89 a 183 nodi nel '98. Tenendo conto del fatto che la dimensione del network aumenta esponenzialmente all'incremento lineare dei nodi, per mantenere all'11,1% la densità del network, il numero delle connessioni deve essere quadruplicato. Il grado medio del network è passato da 11 a 20. Sembra quindi che il livello di interconnessione del network abbia subito un incremento notevole, H1 è quindi non rifiutata.

H2 Un aumento del commercio internazionale dovrebbe condurre ad una diminuzione dell'importanza delle connessioni regionali, dovremmo quindi assistere ad una diminuzione del commercio a livello regionale.

Viene utilizzato come misura il coefficiente di clustering, che dai dati risulta invariato dal 1948, a sostegno dell'ipotesi di regionalizzazione. La maggior parte dei link presenti si hanno tra paesi geograficamente vicini, o con paesi che hanno il ruolo di hub economici maggiori.

Complessivamente il cambiamento del coefficiente di clustering dal 1948 risulta poco rilevante confermando la natura ancora principalmente regionale del commercio internazionale. Pertanto, H2 può essere rifiutata.

H3 Un forte fenomeno di globalizzazione dovrebbe condurre ad un WTN capace di muovere maggiormente a livello internazionale beni e idee, conducendo ad un aumento dei flussi tra paesi.

I dati supportano l'ipotesi di una migliorata capacità di movimento, all'intero della rete, di beni ed idee nel corso del tempo. Gli autori utilizzano un modello, sviluppato da Newman (2006), per misurare i flussi di informazioni (e qualunque altra cosa) attraverso una rete. I dati suggeriscono la migliorata abilità di trasmissione nel tempo acquisita dal WTN. Comparandola poi con quella di un grafo casuale, delle stesse dimensioni e densità del WTN nel 2003, la prima risulta significativamente maggiore. Queste evidenze supportano H3.

H4 Dovremmo, in presenza di forte globalizzazione, osservare una sempre minore importanza dei singoli paesi, in particolare per quanto riguarda le nazioni occidentali.

Una possibile misura di questo fenomeno è l'indice di betweenness centrality, che valuta a che livello un nodo particolare si trova nel percorso geodetico tra gli altri nodi del network. Se un nodo si trova in tutti i percorsi geodetici del network il suo BCI sarà 1, all'opposto se non si trova in nessuno sarà 0. In caso di forte globalizzazione quindi, nei dati il BCI dell'intero network, dovrebbe avere un valore basso, maggiormente vicino allo 0, a mano a mano che ci si avvicina al 2003. Lo studio mostra come l'indice si riduce nel corso degli anni, con un movimento verso l'alto dal 1968 al 1988 dovuto probabilmente alla gerarchizzazione economica nel commercio internazionale causata dalla guerra fredda. In ogni caso nel complesso, i dati supportano H4.

H5 La globalizzazione dovrebbe comportare una modifica nella struttura del network.

Il cambiamento può essere verificato osservando come cambia la distribuzione del grado dei nodi negli anni. Le curve della distribuzione derivate da tre anni all'interno del periodo considerato, 1938, 1968 e 1998 sono simili. Mostrano tutte una distribuzione secondo legge di potenza, con un'improvvisa discesa esponenziale della coda nel lato destro, come evidenziato da Newman e Park (2003). La distribuzione secondo una legge di potenza testimonia l'interdipendenza all'interno dei dati, mostrando come l'utilizzo della statistica Gaussiana non sia adatto per analizzare questo tipo di dati.

Il secondo risultato mostra che le distribuzioni cumulative hanno caratteristiche scale-free, suggerendo un meccanismo di crescita del network secondo una modalità preferenziale di connessione dei nuovi nodi, che tendono a creare link che li collegano a nodi già altamente connessi, secondo un meccanismo detto dei "ricchi che diventano ancora più ricchi" (Barabasi,

2002). L'esponenziale discesa della coda suggerisce invece che, almeno parte del network, abbia seguito un diverso meccanismo di collegamento dei nodi (Amaral, Scala, Barthelemy e Stanley, 2000). Gli autori evidenziano come ancora non ci sia un'opinione chiara e condivisa di quale meccanismo sia la causa di questo tipo di curva. L'analisi dei dati mostra quindi come la struttura del WTN sia rimasta sostanzialmente stabile nel corso degli anni, e non ci siano abbastanza dati a supporto di H5. Gli autori in base ai dati rilevano evidenze a supporto della prospettiva che vede il WTN in una condizione di semi-globalizzazione e ancora in via di trasformazione.

Come gli autori stessi sottolineano un contributo importante di questa ricerca è l'utilizzo di molteplici indici e parametri derivati dalla teoria delle reti per misurare la globalizzazione.

Un'altra analisi della globalizzazione viene condotta da Tzekina, Danthi e Rockmore (2007). La struttura e il comportamento della rete vengono analizzati nel tempo, attraverso la nozione di "isola" ovvero: all'interno di una rete, un gruppo di nodi i cui link reciproci hanno pesi maggiori rispetto ai link che li connettono con paesi non appartenenti all'isola. La metodologia utilizzata prevede di escludere tutti i link che hanno un peso inferiore al 5% del valore totale del commercio di una nazione. Vengono definiti Hub i paesi con un grado entrante elevato.

L'analisi rileva evidenze miste nei confronti della globalizzazione, come già visto in altri lavori. Nel 2005 c'è un numero di paesi, con flussi commerciali almeno del 5%, maggiore che nel 1950. Si nota anche un aumento di hub di commercio, ma complessivamente si assiste ad un aumento di commerci non significativi (link al di sotto del 5%). Si può notare anche un'eterogeneità di nazioni commercianti nelle isole, ma le influenze regionali giocano ancora un ruolo importante, e si assiste ad una diminuzione dell'influenza coloniale.

2..3.2 Un' interessante prospettiva di studio

Particolarmente interessante risulta il lavoro di Foti, Pauls e Rockmore (2011) che utilizzano la teoria delle reti per studiare il WTN tracciandone un'analogia con la rete alimentare, testando un'extinction analysis e quindi l'analisi di robustezza della rete del commercio internazionale. La metodologia utilizzata è quella del knockout experiment, ovvero testare la stabilità della rete perturbandola, rimuovendo o danneggiando alcuni punti della struttura, osservando poi come la

medesima si riorganizza. Nelle reti alimentari i nodi rappresentano le specie, e un link diretto indica un rapporto gerarchico, inteso nella successione della catena alimentare, che vede la specie da cui parte il link prima, e quindi che si nutre, della specie rappresentata dal nodo a cui il link arriva. In questo contesto si simula un'estinzione, ovvero la rimozione di uno o più nodi, osservando poi le reazioni della rete.

Gli autori applicano alla rete tre tipi di knockout experiment:

_Nel primo, attraverso una simulazione, si misura "l'extinction power" di un paese qualsiasi su un qualunque altro paese, ovvero la porzione di economia del secondo paese che viene perduta quando rimuoviamo dal grafo il nodo che rappresenta il primo. Viene svolto questo procedimento in maniera sequenziale per i paesi valutandone gli effetti.

_Nel secondo invece di rimuovere i nodi si applicano delle perturbazioni al profilo di importazioni ed esportazioni

_Nell'ultimo si eliminano invece i link e se ne analizza l'impatto.

L'analisi rivela un trend e dei cambiamenti, risulta una forte correlazione tra le misure di connettività e di robustezza cioè "una correlazione negativa con la robustezza MEA (maximal extinction analysis, analogo al knockout experiment ma con delle variazioni nella formulazione delle dinamiche di estinzione), una correlazione negativa con la percentuale massima di vulnerabilità, e una correlazione negativa con la robustezza all'estinzione delle connessioni" (Foti, Pauls e Rockmore, 2011).

Per quanto riguarda il knockout experiment relativo alla perturbazione dei nodi, si nota che nel tempo la vulnerabilità della rete "declina in maniera ripida e poi continua una diminuzione associata all'aumento della connettività".

Gli autori interpretano i dati come il segnale di un impatto complesso e sfaccettato della globalizzazione sul WTN, che ha effetti ambivalenti sulla sua stabilità ad esempio permettendo, in caso di molteplici partnership per lo stesso bene, alla rete di recuperare se vengono rimosse delle specifiche arterie del commercio. Questa situazione però mostra il fianco alla possibilità che shock e i loro impatti negativi si propaghino con maggiore facilità e velocità attraverso la rete, dandole la tipica caratteristica del robusto ma fragile, ovvero un aumento della connettività rende maggiormente robusto a danneggiamenti o eliminazione casuali di nodi la rete, ma allo stesso tempo la rende maggiormente soggetta alle conseguenze relative all'eliminazione o al

danneggiamento di alcuni specifici nodi, o link che svolgono un ruolo importante all'interno della rete.

2.3.3 Gli effetti della distanza geografica sulla rete commerciale

Abbate, De Benedictis, Tajoli e Fagiolo (2012) conducono invece un'analisi longitudinale in cui oltre alla variabile temporale e alla distanza geodetica, viene presa in considerazione come parte della network analysis la distanza geografica tra i paesi in commercio. Risulta che l'effetto del parametro della distanza geografica sulla rete e le sue proprietà topologiche è non lineare e molti indici, se non calcolati considerandola, non sono robusti al suo inserimento.

Connettività del WTN

Complessivamente il WTN risulta interconnesso. Se viene diviso in virtù della distanza in due sotto-reti, possiamo analizzarne il numero di componenti connesse e la dimensione della componente gigante, ovvero il gruppo di nodi che va a costituire l'agglomerato connesso di maggiori dimensioni.

Il numero di componenti connesse segue una legge di Potenza, diminuendo con la distanza. Il WTN risulta molto disconnesso a brevi distanze, la dimensione della componente gigante è del 7% e aumenta rapidamente fino ad 1 con l'aumentare della distanza, segnatamente se superiore a 4000 km.

Peso e forza dei link

Come predetto anche dal modello gravitazionale il peso medio dei link diminuisce con l'aumentare della distanza. A maggiori distanze l'effetto della distanza sul peso dei link diventa fortemente non lineare e il peso medio dei link aumenta per le medie distanze diminuendo di nuovo per le lunghe distanze.

Risulta invece alta la correlazione tra il grado uscente dei paesi e il totale delle esportazioni e in aumento con la distanza nel breve, con un calo nella media e di nuovo un aumento nella lunga distanza. Risultano quindi non intaccati dalla distanza né il numero né l'intensità dei link uscenti, suggerendo che i costi di commercio risultino costanti col variare della distanza.

Assortatività e clustering

I dati mostrano, come precedenti ricerche hanno trovato (Garlaschelli and Loffredo, 2004, 2005; Serrano and Boguñna, 2003; Fagiolo et al., 2008, 2009), che il WTN è disassortativo a livello aggregato, la correlazione tra il grado di un nodo e il suo ANND è negativo. Si può invece vedere come a breve distanza tutte le sotto-reti risultino altamente assortative. L'assortatività sembra causata dai rapporti e accordi regionali, mentre sembra che quando un paese isolato si vuole connettere con il resto del mondo al fine di esportare, tende a creare rapporti con paesi con un alto grado, gli hub, dando vita alla disassortatività nelle lunghe distanze .

La distanza influenza anche il clustering della rete, sia per le reti pesate che binarie. Il coefficiente di clustering diminuisce per entrambe non linearmente all'aumentare della distanza non appena si raggiungono i 6000 km, con un'eccezione attorno a gruppi che si trovano a 9900 km . Sembra quindi che gli accordi commerciali regionali possano essere la causa di questi pattern di clustering, favorendo rapporti multipli triangolari e quindi il clustering a brevi distanze

Grandezza e reddito del paese

Analizzando come variano la correlazione tra reddito e PIL e gli indici di rete al variare delle distanze si possono fare alcune osservazioni:

La correlazione tra PIL, grado e forza dei nodi è positiva, particolarmente tra paesi che distano tra i 6000 km e i 7000 km, ma non negli ultimi due decili di distanza, lo stesso vale per il PIL pro-capite. Gli autori osservano che i coefficienti di correlazione prima aumentano e poi diminuiscono, ovvero che potrebbe esistere una distanza ottima che massimizza sia il numero di partner che il volume totale di commercio in base al PIL di ogni paese. Per il PIL pro-capite invece le correlazioni non sembrano significativamente diverse da 0 a distanze intorno a 4000km.

Questi dati vengono da un'analisi che non tiene in considerazione però, che la forza dei nodi, ovvero l'intensità di commercio dipende bilateralmente dal PIL di entrambi i paesi di una coppia in commercio.

Per rendere conto di questa dipendenza gli autori ri-scalano il peso dei link definendolo in questo modo: il peso dei link i,j tra i paesi i e j è il rapporto tra il valore e le esportazioni da i e j e il prodotto del PIL dei paesi. Vengono quindi utilizzati i logaritmi dei pesi dei link ri-scalati e vengono ricalcolate tutte le proprietà topologiche della rete ri-scalata per il PIL per vederne il cambiamento a livello dei decili della distribuzione di distanza. Dopo questi cambiamenti viene confermata la relazione negativa tra il peso dei link e la distanza. Resta positiva anche la

correlazione tra il grado di un nodo e la sua forza, e leggermente meno sensibile alla distanza. Rimangono i pattern di disassortatività pesata e anche la relazione negativa tra il coefficiente di clustering medio e la distanza.

Struttura del Network e distanza nel tempo

La distribuzione del peso medio dei link vede alcune modificazioni nel tempo.

L'andamento è più irregolare nel 1970 e 1980, mentre nel 1990 e nel 2000 un rialzo del grado medio dei nodi nelle medie-lunghe distanze risulta più evidente.

Rimane invece invariata la correlazione tra il grado del nodo e la dimensione del paese, come quella tra la forza del nodo e il reddito. Gli autori interpretano questa evidenza affermando che "all'aumento della dimensione del network causato dall'aumento del numero di paesi rilevanti che commerciano, la distanza continua a contare, poiché anche se i costi variabili per km potrebbero diminuire, i costi totali per rimanere connessi all'intero network rimangono alti".

Diminuiscono invece nel tempo le correlazioni tra le dimensioni o il reddito di un paese e la sua connettività, più alte nel 1970 che nel 2000, in particolare nelle medie distanze, mentre nelle lunghe distanze la correlazione rimane comunque rilevante. Questo cambiamento è probabilmente dovuto ad una diminuzione di barriere al commercio. Aumenta invece il livello di disassortatività del network nelle lunghe distanze dal 1970 al 2000, poiché in passato il minor numero di possibili paesi con cui commerciare e i costi di commercio favorivano link con paesi simili.

Il coefficiente di clustering invece nel tempo pur presentando lo stesso andamento, rispetto al 1970 nel 2000 presenta valori più alti a tutte le distanze, collegabili agli accordi preferenziali stipulati tra paesi. I valori aumentano anche fra paesi di diversi continenti.

Conclusioni

Lo studio dei sistemi complessi si propone come la frontiera nell'approccio a molteplici fenomeni a cui assistiamo. La grande promessa in ambito economico è quella di portare ad una più solida metodologia, avvicinandosi alle scienze dure, e ad un'analisi quantitativa dei fenomeni studiati. In questo lavoro abbiamo provato a esporre in maniera sintetica, ma comunque non

esemplificativa, alcuni dei principali risultati ottenuti grazie all'applicazione della teoria delle reti al commercio internazionale. Abbiamo visto come il WTN abbia tutte le caratteristiche topologiche tipiche di una rete complessa, presentando una distribuzione a invarianza di scala (scale-free), la proprietà small world, alto clustering e un pattern correlativo di tipo disassortativo per ciò che riguarda il grado dei nodi, evidenze testimoni della natura autorganizzata di questa struttura, che mostra comportamenti emergenti derivati dall'autorganizzazione. Si registra inoltre una divisione in centro-semiperiferia-periferia nella struttura della rete. Prese unitamente queste evidenze fanno sì che cada il concetto, spesso utilizzato, di paese rappresentativo, portando alla luce un WTN altamente eterogeneo, con paesi che ricoprono ruoli diversi all'interno della rete, e una struttura gerarchica definita.

Si è poi visto come molte delle metodologie tradizionali utilizzate per la costruzione delle misure e degli indici prestino il fianco a molte approssimazioni, e possano comportare una sbagliata interpretazione e valutazione di alcuni valori. Si è quindi passato in rassegna la proposta di nuove modalità di misurazione e presentato le principali differenze, e la loro variazione nel tempo, tra gli indici tradizionali e quelli modificati, come ad esempio quelle tra misure pesate e non, e tra dati raccolti con diverse cadenze temporali.

Abbiamo poi mostrato un'analisi, attraverso la teoria delle reti, delle principali ipotesi a favore della iper-globalizzazione, e verificato la consistenza o meno delle stesse. Nello specifico abbiamo visto che negli anni la connettività del network ha avuto un aumento significativo, mostrando una maggiore interconnessione dei mercati, l'indice di clustering invece non ha mostrato cambiamenti significativi, confermando la natura regionale del commercio internazionale. La rete mostra una migliorata capacità di trasmissione di beni ed idee, particolarmente se comparata ad una rete casuale delle stesse dimensioni, ed una diminuzione dell'importanza dei singoli paesi all'interno del commercio. Infine, si può notare come la struttura della rete sia rimasta sostanzialmente invariata, nel complesso i dati indicano quindi un commercio internazionale in una condizione di semi-globalizzazione e ancora in via di trasformazione.

Inoltre, abbiamo anche presentato un interessante paragone, tra la rete alimentare e la rete di commercio internazionale, la cui robustezza è stata testata con metodi tipici dello studio della prima, ovvero i knockout experiment. La ricerca rivela come l'aumento della connettività della rete la renda, allo stesso tempo, robusta ma fragile ovvero resistente anche a danneggiamenti o

rimozioni casuali di un gran numero di nodi, ma particolarmente soggetta alle conseguenze del danneggiamento o alla rimozione di specifici nodi che occupano dei ruoli e delle posizioni strutturali.

Infine, abbiamo mostrato un'analisi longitudinale che oltre alla distanza nella rete tra i nodi, la distanza geodesica, include nell'analisi anche la corrispondente distanza geografica dei paesi. I risultati dello studio mostrano come la distanza geografica abbia effetti non lineari sulle proprietà topologiche della rete e di come gli indici risultino non robusti al suo inserimento. Viene mostrato come schemi geografici di commercio siano differenti per gruppi di paesi posti a intervalli diversi di distanza, il WTN risulta infatti disassortativo complessivamente, ma i sotto-network a distanze minori mostrano degli schemi assortativi. Si può anche osservare una struttura della rete basata su specifici ruoli dei vari paesi, con alcuni che ricoprono il ruolo di Hub, suggerendo un diverso effetto della distanza sui vari paesi, in base anche alla grandezza della loro economia e quindi della capacità di affrontare i costi del commercio dovuti alla distanza.

In conclusione, l'applicazione della teoria delle reti all'economia e, nello specifico, al commercio internazionale permette di attingere a strumenti matematico-statistici che sono in grado di fornire una descrizione più rigorosa della rete oggetto di studio. Inoltre, questo approccio permette l'utilizzo di indici sistemici, che forniscono informazioni sui singoli componenti rispettivamente a tutto il resto del sistema, permettendo un'analisi unitaria e globale della rete oggetto di studio e la descrizione di fenomeni che sono il risultato di interazioni dinamiche non lineari fra gli elementi. Tutto ciò permette di affrontare le nuove e le vecchie domande sotto una nuova prospettiva, traendo anche metodologie da altre discipline, e consentendo un confronto tra i risultati prodotti con quelli ottenuti dai modelli tradizionali, quando anche di andare ad integrare e potenziare tali modelli.

Bibliografia

Abbate, Angela & Benedictis, Luca & Fagiolo, Giorgio & Tajoli, Lucia. (2012). The International Trade Network in Space and Time. SSRN Electronic Journal. 10.2139/ssrn.2160377.

Amaral, L.A.N., Scala, A., Barthelemy, M., and Stanley, H.E. (2000) 'Classes of small-world networks', Proceedings of the National Academy of Science 97(21):11149-11152.

Anderson, J. E. and E. van Wincoop (2003), ‘Gravity with Gravitas: A Solution to the BorderPuzzle’, *American Economic Review*, 93, 1, 170–92.

Antonio Iovanella, dispense del corso “Grafici e reti di flusso”, <https://docplayer.it/57052132-Universita-degli-studi-di-roma-tor-vergata-grafici-e-reti-di-flusso-antonio-iovanella.html>.

Barabasi, A-L. (2004), Torino: Einaudi editore

Barabasi, A-L. e Albert, R. (1998), “*Emergence of scaling in Random Networks*” *Science* 286, pp 509-512, 1999.

David A. Smith, Douglas R. White, Structure and Dynamics of the Global Economy: Network Analysis of International Trade 1965–1980, *Social Forces*, Volume 70, Issue 4, June 1992, Pages 857–893, <https://doi.org/10.1093/sf/70.4.857>

De Benedictis, L. Tajoli, L. (2011), The World Trade Network, *The World Economy*, **34**, (8), 1417-1454.

Fagiolo, G., S. Schiavo and J. Reyes (2008), “On the topological properties of the world trade web: A weighted network analysis”, *Physica A*, forthcoming.

Fagiolo, G., S. Schiavo and J. Reyes (2009), “World-trade web: Topological properties, dynamics, and evolution”, *Physical Review E*, 79: 036115.

Foti, N. and Pauls, S. and Rockmore, D. (2011). Stability of the World Trade Web over Time - An Extinction Analysis. *J. Econ. Dyn. Control*. 37. 10.1016/j.jedc.2013.04.009.

Garlaschelli, D. and Loffredo, M. (2005). Structure and Evolution of the World Trade Network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 355. 138–144. 10.1016/j.physa.2005.02.075.

Garlaschelli, D., T. Di Matteo, T. Aste, G. Caldarelli and M. Loffredo (2007), “Interplay between topology and dynamics in the World Trade Web”, *The European Physical Journal B*, 57: 1434–6028.

Garlaschelli, D. and M. Loffredo (2004), “Fitness-Dependent Topological Properties of the World Trade Web”, *Physical Review Letters*, 93: 188701.

Grafo, pagina di Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/Grafo>

Helpman, E., M. Melitz and Y. Rubinstein (2008), 'Estimating Trade Flows: Trading Partners and Trading Volumes, *Quarterly Journal of Economics*, 123, 2, 441–87.

Kali, R. e Reyes, J. (2007), [The architecture of globalization: a network approach to international economic integration](#), *Journal of International Business Studies*, **38**, (4), 595-620.

Kandogan, Y. (2018) Topological Properties of the International Trade Network Using Modified Measures, *The International Trade Journal*, 32:3, 268-292, DOI: 10.1080/08853908.2017.1322547.

Kastelle, T., Steen, J-T. and Liesch, P-W. (2006). *Measuring globalisation: An evolutionary economic approach to tracking the evolution of international trade*. DRUID Summer Conference 2006, Copenhagen, Denmark, 18-20 June 2006. Denmark: Danish Research Unit for Industrial Dynamics.

Reti a invarianza di scala, pagina Wikipedia,
https://it.wikipedia.org/wiki/Rete_a_invarianza_di_scala.

Newman, M.E.J. and Park, J. (2003) 'Why social networks are different from other types of networks', *Physical Review E*, 68: article 036122.

Newman, M.E.J. (2006) 'The mathematics of networks', in L. Blume and S. Durlauf (eds.), *The New Palgrave Encyclopedia of Economics*, 2nd Edition, Palgrave –MacMillan: Basingstoke.

Scott, J. (1992), "Social Network Analysis: a Handbook", Sage, Newbury Park.

Serrano, M. e Boguna, M. (2003), "Topology of the World Trade Web" *Physical Review E* 68(1 Pt 2):015101.

Serrano, A., M. Boguñá and A. Vespignani (2007), "Patterns of dominant flows in the world trade web", *Journal of Economic and Coordination*, 2: 111–124.

Woods, N. (2000) 'The political economy of globalisation', in N. Woods (ed.), *The Political Economy of Globalisation*, Palgrave: New York, pp 1-19.

Tzekina, Irena & Danthi, Karan & Rockmore, Daniel. (2007). Evolution of community structure in the world trade web. arXiv.org, Quantitative Finance Papers. 63. 10.1140/epjb/e2008-00181-2.

