

Analisi della rete commerciale globale dal 1999 al 2023

Bruno A. innocente (168381)

Contents

1	Introduzione	1
1.1	LA RETE DEL COMMERCIO MONDIALE	1
1.2	DOMANDE DI RICERCA	2
2	METODI UTILIZZATI E RISULTATI	3
2.1	PREPARAZIONE DEI DATASET	3
2.2	ANALISI ESPLORATIVA	5
2.3	INDICI DI CENTRALITÀ	11
2.4	COMMUNITY DETECTION	21
2.5	RESILIENZA	22
2.6	POWER	23
3	COMMENTI AI RISULTATI	27
4	LIMITI E SVILUPPI FUTURI PER QUESTO PROGETTO	28

1 Introduzione

1.1 LA RETE DEL COMMERCIO MONDIALE

Gli anni 2000 sono stati caratterizzati da forti eventi geopolitici che hanno visto mutare fortemente l'economia globale. L'evento più importante è stato il diffondersi e radicarsi della globalizzazione, a cui si assiste ancora oggi. Il XXI secolo è stato caratterizzato anche da guerre, crisi finanziarie e sviluppo di nuove economie emergenti. Per studiare l'impatto di questi fenomeni può essere utile analizzare le relazioni tra paesi sotto il punto di vista della Network Science. Una possibile rappresentazione per analizzare la realtà consiste nel considerare il network degli import e export internazionali. Questo approccio verrà seguito nel seguente report analizzando reti dove i nodi sono i Paesi del mondo in diversi anni, e gli archi tra due Paesi i e j sono presenti se lo stato i esporta verso lo stato j . Il peso dell'arco è pari al valore monetario in dollari americani del totale dei beni esportati in quell'anno. Quindi si sta analizzando grafi diretti e pesati. L'analisi verterà sul confronto tra 2019 e 2023 (ultimi dati disponibili), perchè è di interesse studiare l'effetto del conflitto russo-ucraino e della pandemia sulla rete globale. E' anche di interesse valutare i macrocambiamenti nelle rete negli ultimi 20 anni: Per questo verranno anche considerati gli anni e 2009 e 1999 I dati utilizzati provengono dal database BACI sviluppato dal CEPII [Gaulier and Zignago, 2010]. BACI (*Base pour l'Analyse du Commerce International*) fornisce dati dettagliati sul commercio internazionale, coprendo più di 200 paesi e oltre 5.000 prodotti nel periodo compreso tra il 1994 e il 2007. Questo database nasce dall'esigenza di

disporre di statistiche commerciali più precise e disaggregate rispetto a quelle fornite da altre fonti, poiché i dati riportati dai diversi paesi spesso presentano discrepanze e incoerenze. BACI si basa sulle informazioni raccolte da COMTRADE, il database delle Nazioni Unite che raccoglie i flussi commerciali dichiarati da ciascun paese.

Uno degli aspetti chiave della costruzione di BACI è il processo di riconciliazione dei dati commerciali bilaterali. Ogni paese riporta le proprie esportazioni e importazioni, ma mentre i dati sulle esportazioni sono generalmente riportati FOB (*Free on Board*), cioè escludendo i costi di trasporto e assicurazione, i dati sulle importazioni sono solitamente riportati CIF (*Cost, Insurance, and Freight*), che includono questi costi. Ciò significa che, per uno stesso scambio commerciale, i valori dichiarati dall'importatore e dall'esportatore possono differire. Per correggere questa discrepanza, BACI stima il CIF/FOB ratio, un coefficiente che permette di eliminare i costi di trasporto e assicurazione dai dati di importazione, rendendoli comparabili con quelli di esportazione.

Un altro elemento fondamentale nella costruzione del database è la valutazione dell'affidabilità delle dichiarazioni dei paesi. Per ogni coppia di paesi, BACI analizza la discrepanza tra il valore dichiarato dall'importatore e quello dichiarato dall'esportatore, calcolando un indicatore di qualità per ciascun paese. Questo indicatore viene poi utilizzato per ponderare le due fonti di dati e ottenere una stima più affidabile dei flussi commerciali.

BACI adotta anche una metodologia specifica per armonizzare le quantità commercializzate. Poiché le unità di misura dichiarate nei dati COMTRADE non sono sempre uniformi (ad esempio, alcuni prodotti vengono riportati in tonnellate, altri in libbre, pezzi o metri cubi di materiale,...), il database applica coefficienti di conversione per esprimere tutte le quantità in un'unica unità di misura (nell'esempio tonnellate), permettendo così un confronto più accurato tra i diversi prodotti.

Il CEPII, l'istituto che ha sviluppato BACI, è un centro di ricerca economica francese specializzato in economia internazionale. Il suo obiettivo principale è fornire dati e analisi sulle relazioni commerciali globali, le politiche economiche, i flussi di investimento e la competitività tra paesi. Oltre a BACI, il CEPII ha sviluppato altri importanti database come CHELEM, che fornisce una visione macroeconomica del commercio internazionale, e MacMap, che offre informazioni dettagliate sulle tariffe doganali e le barriere commerciali.

Grazie alla sua metodologia di armonizzazione e alla sua ampia copertura, BACI rappresenta uno strumento essenziale per l'analisi del commercio internazionale. Il database è ampiamente utilizzato per studiare la specializzazione commerciale dei paesi, le politiche tariffarie, la competitività internazionale e l'evoluzione dei prezzi nei mercati globali.

1.2 DOMANDE DI RICERCA

- Centralità dei nodi: Quali sono i Paesi più importanti nel commercio globale? Sono variati negli anni? Gli Stati Uniti sono ancora leader oppure sono stati sorpassati dalla Cina?. Per rispondere a queste domande si analizzerà quali sono i paesi più centrali nella rete di esportazioni in base a misure come la centralità basata su strength, eigen-centrality, betweenness e PageRank.
- Cluster economici regionali: È possibile individuare comunità di paesi che tendono a commerciare maggiormente tra loro? Come si correlano questi cluster con la geografia o con accordi commerciali regionali?
- La rete del commercio globale è resiliente? Quanti e quali Paesi è preferibile eliminare se si vuole interrompere il commercio globale?
- Che relazione c'è tra il potere e la centralità dei Paesi?
- In che modo gli eventi geopolitici e le crisi economiche si riflettono sulla dinamica temporale del network degli scambi?

2 METODI UTILIZZATI E RISULTATI

2.1 PREPARAZIONE DEI DATASET

I dati sono contenuti all'interno di sei file CSV, nel seguente chunk di codice è possibile analizzarne un'antemprima di quello relativo al 1999. Gli altri hanno tutti una struttura simile

```
head(baci_example)
```

```
##      t i  j      k      v      q
## 1 1999 4 12  90920  4.855    9.125
## 2 1999 4 12  90930 399.656   332.062
## 3 1999 4 12  91030  2.914    20.000
## 4 1999 4 12 330749  0.772     0.957
## 5 1999 4 12 950390  0.826     0.238
## 6 1999 4 20 570110  2.333     0.097
```

Le variabili sono:

- t: anno di riferimento
- i: codice paese esportatore
- j: codice paese importatore
- k: codice tipologia di beni esportati
- v: valore dei beni esportati
- q: quantità di beni esportati

Ogni riga corrisponde all'esportazione di una tipologia di beni da un paese i verso un paese j durante l'anno di riferimento. Di seguito il codice relativo alla operazione di pulizia e preparazione dei dati

```
baci<- read.csv("BACI_HS92_Y1999_V202401b.csv")

baci_example <- baci[c(1:100,5994474:5994574),]

names(baci)<- c("year","fromCode","toCode","product","value","quantity")

baci <- baci %>% group_by(fromCode) %>%
  mutate(valuetot = sum(value))

baci99 <- baci %>%
  group_by(fromCode, toCode, year) %>%
  summarise(value = sum(value, na.rm = TRUE), .groups = "drop")

baci_c<- read.csv("BACI_CCOCODES.csv")
names(baci_c)<- c("fromCode","fromName", "iso2", "from")

baci99clean <- baci99 %>%
  left_join(baci_c %>% select(from, fromCode, fromName), join_by(fromCode))
```

```

names(baci_c)<- c("toCode","toName", "iso2", "to")

baci99clean <- baci99clean %>%
  left_join(baci_c %>% select(to, toCode, toName), join_by(toCode))

baci99clean <- baci99clean %>%
  filter(!to %in% c("W00", "O19", "A79", "A59", "X1", "UMI", "HMD",
                    "ATF", "SGS", "PYF", "GRL", "MAC", "S19", "MNP", "_X ",
                    "CYM", "E19", "F19", "MHL", "TCA", "CUW", "SXM", "X2",
                    "ATA", "CXR", "FLK", "NFK", "ESH", "X1 ", "WLF", "FRO",
                    "XX ", "UMI", "HKG", "IOT", "SPM", "BLM", "BVT", "TKL",
                    "SHN", "PCN", "NIU", "NCL", "COK", "CCK", "X2 ", "ABW", "MSR", "STP",
                    "GIB", "VCT", "BES"
  )) %>%
  filter(!from %in% c("W00", "O19", "A79", "A59", "X1", "UMI", "HMD",
                      "ATF", "SGS", "PYF", "GRL", "MAC", "S19", "MNP", "_X ",
                      "CYM", "E19", "F19", "MHL", "TCA", "CUW", "SXM", "X2",
                      "ATA", "CXR", "FLK", "NFK", "ESH", "X1 ", "WLF", "FRO",
                      "XX ", "UMI", "HKG", "IOT", "SPM", "BLM", "BVT", "TKL",
                      "SHN", "PCN", "NIU", "NCL", "COK", "CCK", "X2 ", "ABW", "MSR", "STP",
                      "GIB", "VCT", "BES"
  ))

cbind(unique(baci99clean$to), unique(baci99clean$toName))
cbind(unique(baci99clean$from), unique(baci99clean$fromName))

baci99clean %>%
  group_by(to) %>%
  mutate(totalImp = sum(value), relValueImp = value/totalImp) %>%
  distinct(toName, totalImp) %>%
  arrange(desc(totalImp))

baci99clean <- baci99clean %>%
  group_by(from) %>%
  mutate(totalExp = sum(value), relValue = value/totalExp)

top_exports99 <- baci99clean %>%
  group_by(from) %>%
  slice_max(value, n = 5)

nodi_99 <- data.frame(cbind(name = unique(baci99clean$to)))

long <- read.csv("country-coord.csv")
names(long)[c(3,5,6)]<- c("name", "latitude", "longitude")

conti<- read.csv("continents.csv")
names(conti)[c(1,5)]<- c("cont", "name")

conti <- conti %>% distinct(name, .keep_all = T)

nodi_99 <- nodi_99 %>%
  left_join(long %>% select(name, latitude, longitude), join_by(name))

```

```

nodi_99 <- nodi_99 %>%
  left_join(conti %>% select(name,cont), join_by(name))

export_99 <- data.frame(from = baci99clean$from, to = baci99clean$to,
  value= baci99clean$value)

g_99 = graph_from_data_frame(export_99, directed=T, vertices = nodi_99)

E(g_99)$weight= baci99clean$value

```

Il precedente codice viene ripetuto per sei volte (una per ogni anno). In modo da ottenere sei data-frame completi con tutte le informazioni relative alle esportazioni, sei dati frame contenenti le informazioni relative ai nodi, sei grafi in rappresentazione igraph contenenti tutte le transazioni e un grafo in rappresentazione igraph contenti solo le 5 esportazioni più importanti per ogni paese nel 2023.

Un esempio di data-frame contenente le informazioni relative agli archi

```
head(baci99clean)
```

```

## # A tibble: 6 x 10
## # Groups:   from [1]
##   fromCode toCode year value from fromName to toName totalExp relValue
##   <int> <int> <int> <dbl> <chr> <chr> <chr> <chr> <dbl> <dbl>
## 1      4     12  1999  409.  AFG  Afghanistan DZA  Algeria  94492.  4.33e-3
## 2      4     20  1999   2.33 AFG  Afghanistan AND  Andorra  94492.  2.47e-5
## 3      4     28  1999  28.3  AFG  Afghanistan ATG  Antigu~  94492.  3.00e-4
## 4      4     36  1999  33.1  AFG  Afghanistan AUS  Austra~  94492.  3.50e-4
## 5      4     40  1999  125.  AFG  Afghanistan AUT  Austria  94492.  1.32e-3
## 6      4     52  1999   1.40 AFG  Afghanistan BRB  Barbad~  94492.  1.48e-5

```

Un esempio di dati-frame contenente le informazioni relative ai nodi

```
head(nodi_99)
```

```

##   name latitude longitude      cont
## 1  DZA  28.0000    3.0000    Africa
## 2  AND  42.5000    1.6000    Europe
## 3  ATG  17.0500  -61.8000 North America
## 4  AUS -27.0000  133.0000    Oceania
## 5  AUT  47.3333   13.3333    Europe
## 6  BRB  13.1667  -59.5333 North America

```

2.2 ANALISI ESPLORATIVA

La reti analizzate presentano un numero di nodi che va da 186 a 195 e un numero di archi che va da 20149 a 26510 come si può osservare nella tabella 1. Il numero di archi o la densità crescenti sono dei buoni indicatori dell'aumento della globalizzazione del nostro sistema economico: sempre più paesi sono connessi direttamente e commerciano tra loro. La rete è caratterizzata da un'elevata reciprocità vicina al 90%. Questo implica che se un paese i esporta ad un j , è vero quasi sempre anche il viceversa. Cioè anche j esporta a i . Tutte e sei le reti sono connesse

Table 1: Caratteristiche descrittive delle reti analizzate

	archi	nodi	reciprocità	densità archi
1999	20149	186	0.854	0.586
2004	24688	194	0.864	0.659
2009	24491	195	0.872	0.647
2014	26908	194	0.878	0.719
2019	26165	194	0.893	0.699
2023	24970	194	0.900	0.667

```
nedges<- c(dim(baci99clean)[1],dim(baci04clean)[1], dim(baci09clean)[1],dim(baci14clean)[1], dim(baci19clean)[1],
dim(baci23clean)[1])

nnodi<-c(length(unique(baci99clean$toName)),length(unique(baci04clean$toName)),length(unique(baci09clean$toName)),
length(unique(baci14clean$toName)),
length(unique(baci19clean$toName)),length(unique(baci23clean$toName)))

rec<- c(reciprocity(g_99),reciprocity(g_04),reciprocity(g_09),reciprocity(g_14),
reciprocity(g_19),reciprocity(g_23))

den<- round(c(edge_density(g_99),edge_density(g_04),edge_density(g_09),edge_density(g_14),
edge_density(g_19),edge_density(g_23)),4)

c(is_connected(g_99),is_connected(g_04),is_connected(g_09),is_connected(g_14),
is_connected(g_19),is_connected(g_23) )
```

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
```

```
dimdata <- data.frame(nedges, nnodi,rec,den)

rownames(dimdata)<- c("1999","2004", "2009","2014","2019", "2023")
colnames(dimdata)<- c("archi", "nodi", "reciprocità", "densità archi")
round(dimdata,3) %>% kable(booktabs=T, caption = "Caratteristiche descrittive delle reti analizzate")
```

```
ggraph(lay) +
  geom_edge_link(edge_alpha=0.2,arrow = arrow(length = unit(2, 'mm'), type="closed"),
end_cap= circle(5, "mm"), show.legend = NA) +
  geom_node_point( aes(fill=cont,size =(strength(g5_23, mode = "all"))),alpha=0.8,
color = "black", shape=21,show.legend = T) +
  scale_size_continuous(range = c(6, 25), guide = F) +
  geom_node_text(aes(label=nodi5_23$name)) +
  scale_edge_width(range = c(1, 6), guide=F) +
  scale_fill_manual(values = c("yellow", "red","blue", "green", "white",
"darkviolet"), name="Continent") +
  ggtitle("Mappa dei paesi come network geografico, maggiori 5 esportazioni per ogni stato") +
  theme(legend.text = element_text(size = 16),
legend.title = element_text(size = 18),
plot.title = element_text(size = 23, face = "bold", hjust = 0.5))+
  guides(fill = guide_legend(override.aes = list(size = 8)))
```

Mappa dei paesi come network geografico, maggiori 5 esportazioni per ogni stato

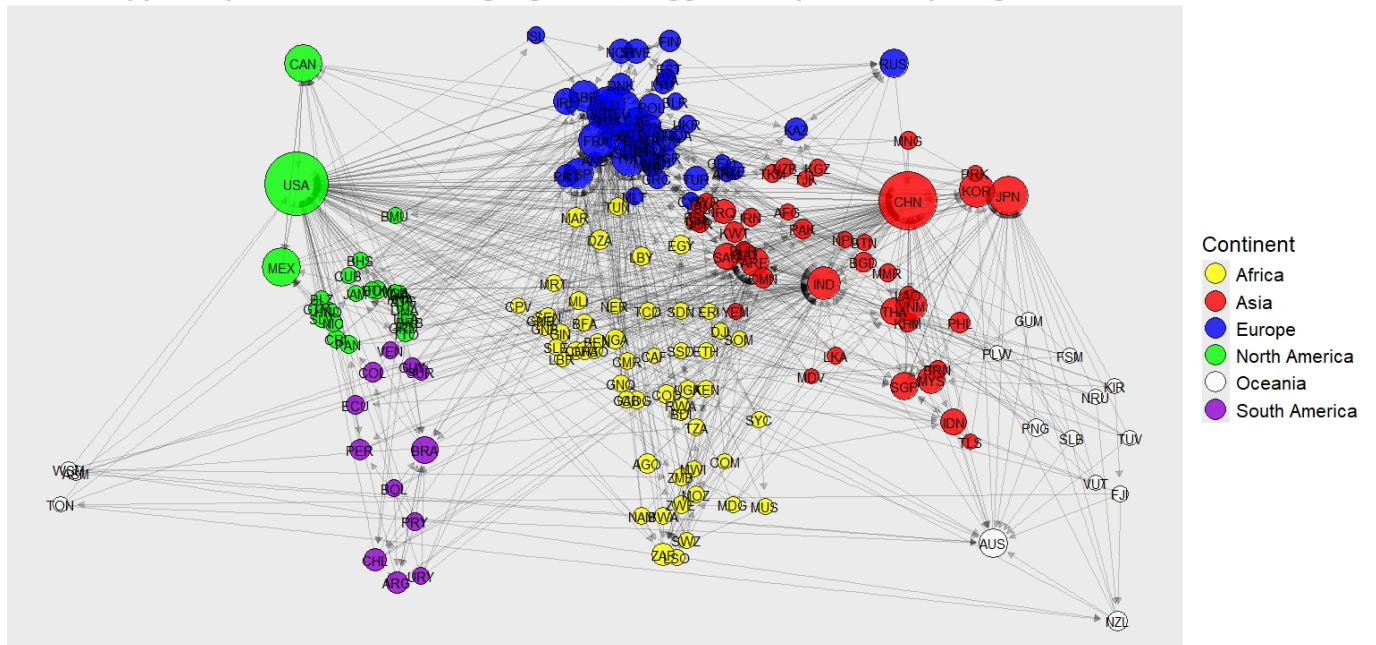


Figure 1: Rete degli stati secondo la loro posizione geografica reale. I colori rappresentano i continenti a cui gli stati appartengono

In figura 1 si può osservare la rete delle esportazioni secondo la posizione geografica dei Paesi. I continenti più importanti risultano essere Nord-America, Asia e Europa. I Paesi più importanti sembrano essere Stati Uniti e Cina seguiti da India, Nord-Korea Giappone e alcuni Paesi Europei. Questo grafico tuttavia non chiarisce in modo esaustivo l'importanza dei singoli Stati né ci permette di capire l'effetto delle relazioni tra due Paesi rispetto a tutta la rete. Per questo è necessario procedere con un altro grafico

```
set.seed(1)
ggraph(g5_23, layout = 'fr', weights = log(E(g5_23)$value)) + # Force-directed layout
  geom_edge_link(alpha=0.2, arrow = NULL, show.legend = F) + # Draw edges
  geom_node_point(alpha=.8, aes(fill=cont, size = (strength(g5_23, mode = "all"))),
    color = "black", shape=21, show.legend = T) + # Draw nodes
  scale_size_continuous(range = c(6, 25), guide = F) +
  geom_node_text(aes(label = nodi5_23$name)) + # Add node labels
  scale_fill_manual(values = c("yellow", "red", "blue", "green", "white",
    "darkviolet"), name="Continent") +
  ggtitle("Mappa dei paesi nel 2023 come network force oriented, maggiori 5 esportazioni per ogni stato")
theme(legend.text = element_text(size = 16), # Ingrandisce il testo della legenda
  legend.title = element_text(size = 18),
  plot.title = element_text(size = 23, face = "bold", hjust = 0.5)) +
  guides(fill = guide_legend(override.aes = list(size = 8)))
```

La figura 2 è ottenuta allentando il vincolo geografico sulla posizione dei paesi nella rete commerciale e applicando un *force-directed algorithm* sugli stessi dati. I colori, le etichette e le dimensioni del cerchio di ciascun nodo-paese sono gli stessi di prima. Semplificando, l'algoritmo agisce come un sistema di molle equilibrato che minimizza l'energia del sistema. In altre parole, è come se i paesi fossero collegati attraverso delle molle: i Paesi che sono collegati con un peso maggiore tendono a rimanere vicini, mentre quelli che non sono collegati tendono a essere distanti tra loro. Tuttavia, la posizione di ciascun Paese non dipende solo dai suoi legami bilaterali, ma anche dall'effetto indiretto degli altri: i partner commerciali dei suoi partner

commerciali contribuiranno a determinare la posizione del paese nella rete. Il sociogramma permette di cogliere l'effetto multilaterale sui flussi bilaterali, attribuendo a ogni paese una posizione rispetto a tutti gli altri paesi della rete commerciale e dipendendo dall'intero sistema commerciale. Il vantaggio di rappresentare il commercio internazionale come una rete di flussi commerciali è quindi la possibilità di visualizzare l'effetto della relazione tra i Paesi commerciali e della struttura della rete stessa, rivelando schemi difficilmente visibili con altri approcci. [De Benedictis et al., 2014] Attraverso questa disposizione è possibile individuare tre blocchi centrali principali: Stati Uniti, China, e blocco europeo guidato dalla Germania. Interessante notare che l'effetto delle sanzioni da parte dell'Unione Europea sulla Russia non è rilevabile. Lo si può intuire dalla vicinanza delle Federazione alle economie occidentali piuttosto che a partner come Cina e India. I Paesi dell'Oceania sono più vicini al blocco asiatico, mentre quelli del Nord e Sud America a Stati Uniti. I Paesi africani sono sparsamente distribuiti ma la maggior parte sono vicini al blocco Cinese e a quello Europeo.

Mappa dei paesi nel 2022 come network force oriented, maggiori 5 esportazioni per ogni stato

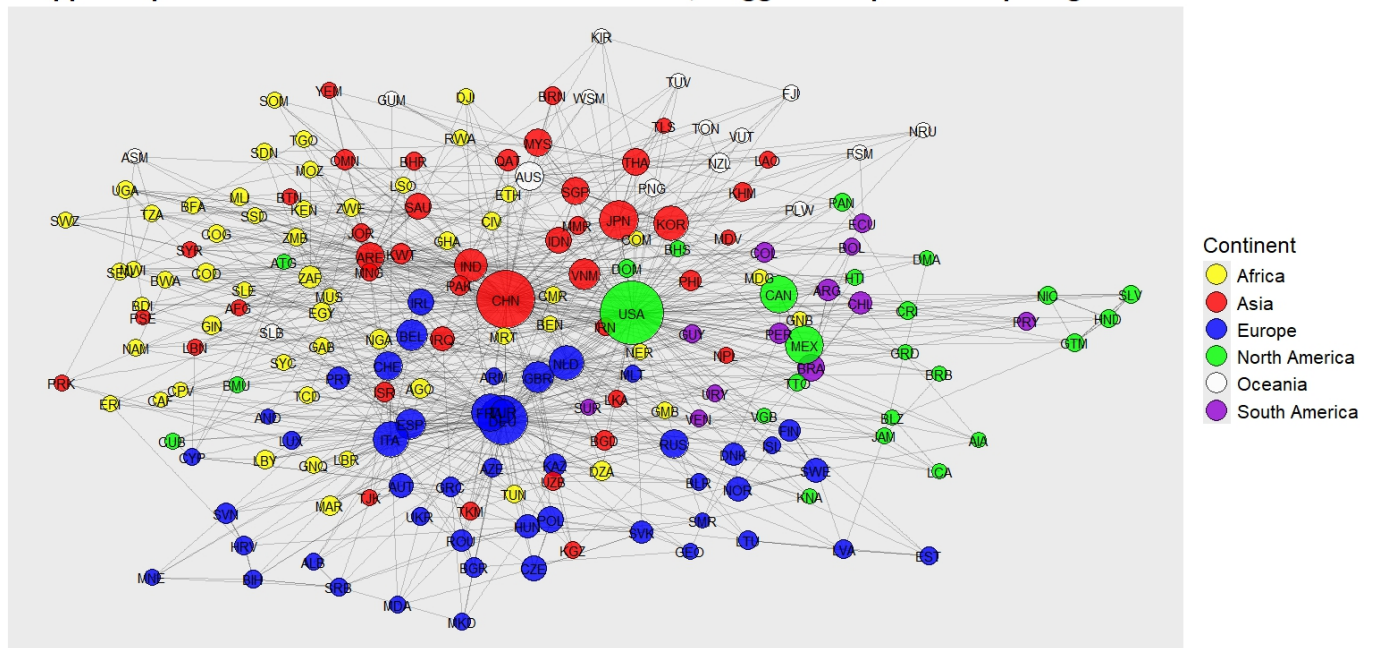
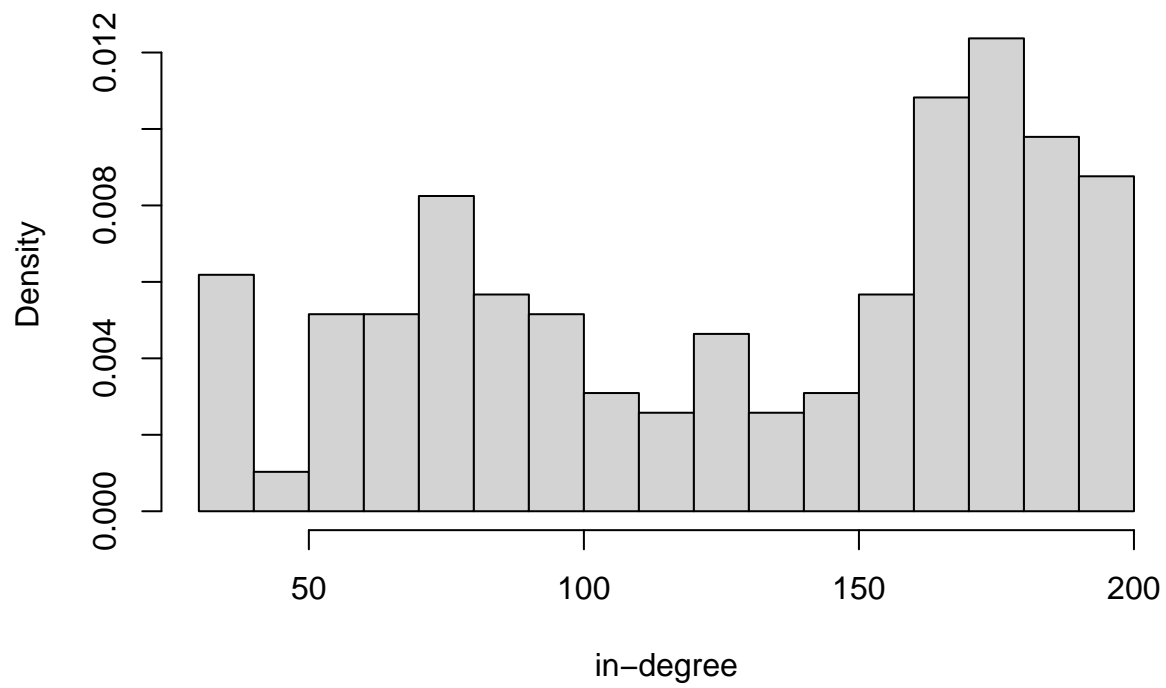


Figure 2: Rete degli stati tenuto conto delle 5 esportazioni più importanti per paese. Realizzata con algoritmo force-directed. La dimensione di ogni nodo è proporzionale alla sua $\log(\text{strength})$. I colori corrispondono al continente/area geografica di appartenenza.

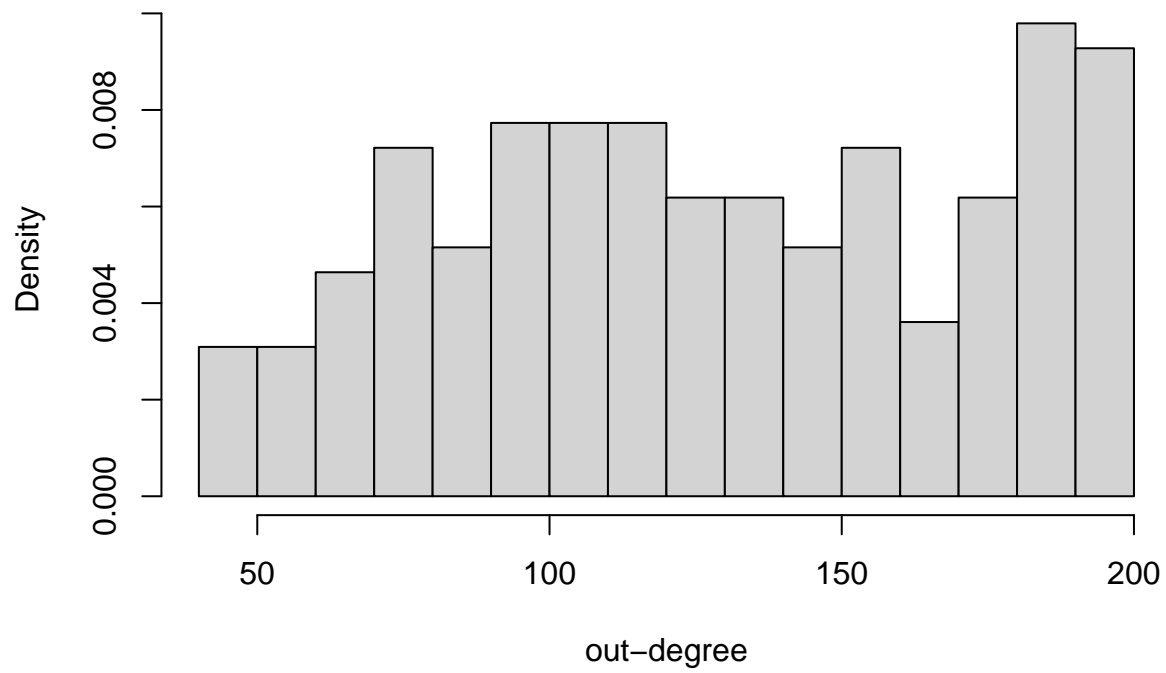
```
hist(degree(g_23, mode="in"), freq = F, nclass = 20, main="Istogramma del grado in entrata dei nodi", x.
```


Istogramma del grado in entrata dei nodi



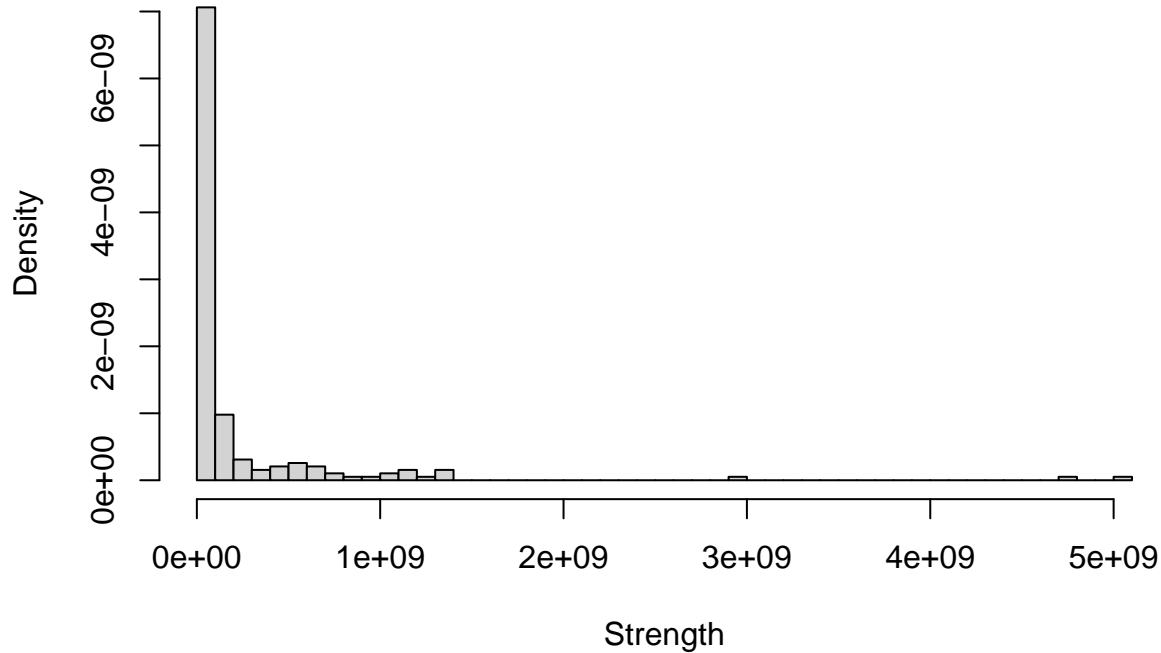
```
hist(degree(g_23, mode="out"), freq = F, nclass = 20, main="Istogramma del grado in uscita dei nodi", xlab="in-degree", ylab="Density")
```

Istogramma del grado in uscita dei nodi



```
hist((strength(g_23, mode="all")), freq = F, nclass = 50, main="Istogramma della strength dei nodi", xlab="out-degree", ylab="Density")
```

Istogramma della strength dei nodi



Per quanto concerne la distribuzione del grado dei sembra esserci molta più informazione nell'utilizzare una misura basata sul peso degli archi chiamata *strength* (il grado pesato), piuttosto che il grado inteso come numero di Paesi come si può osservare nelle figure @ref{fig:hs-stren}, @ref{fig:hs-deg-in} e @ref{fig:hs-deg-out}. Questo perché la rete è molto connessa e sono pochi i Paesi poco connessi. Il grado inteso come numero di paesi con cui uno stato ha rapporti commerciali non è utile a discriminare il ruolo dei Paesi all'interno della rete. Molto più utile è l'intensità di questi scambi

2.3 INDICI DI CENTRALITÀ

Per individuare gli stati più importanti all'interno della rete globale si studieranno gli indici di centralità *strength*, *betweenness*, *eigen-centrality* e *page-rank centrality*.

```
stren99 <-round((strength(g_99, mode="all"))[order(strength(g_99, mode="all"),
decreasing=TRUE)]/max((strength(g_99, mode="all"))),3)[1:10]

stren04 <-round((strength(g_04, mode="all"))[order(strength(g_04, mode="all"),
decreasing=TRUE)]/max((strength(g_04, mode="all"))),3)[1:10]

stren09 <-round((strength(g_09, mode="all"))[order(strength(g_09, mode="all"),
decreasing=TRUE)]/max((strength(g_09, mode="all"))),3)[1:10]

stren14 <-round((strength(g_14, mode="all"))[order(strength(g_14, mode="all"),
decreasing=TRUE)]/max((strength(g_14, mode="all"))),3)[1:10]

stren19 <-round((strength(g_19, mode="all"))[order(strength(g_19, mode="all"),
```

Table 2: 10 paesi con la maggiore strenght al variare degli anni

1999	1999	2004	2004	2009	2009	2014	2014	2019	2019	2023	2023
USA	1	USA	1	USA	1	USA	1	USA	1	CHN	1
DEU	0.598	DEU	0.699	CHN	0.805	CHN	0.924	CHN	0.992	USA	0.928
JPN	0.398	CHN	0.442	DEU	0.763	DEU	0.686	DEU	0.664	DEU	0.581
FRA	0.37	JPN	0.414	JPN	0.426	JPN	0.364	JPN	0.339	FRA	0.273
GBR	0.351	FRA	0.4	FRA	0.415	FRA	0.333	FRA	0.313	JPN	0.267
ITA	0.276	GBR	0.37	GBR	0.34	GBR	0.307	GBR	0.286	NLD	0.259
CAN	0.272	ITA	0.317	ITA	0.325	NLD	0.301	NLD	0.282	ITA	0.251
NLD	0.233	NLD	0.275	NLD	0.32	KOR	0.276	ITA	0.261	GBR	0.225
BEL	0.2	CAN	0.266	KOR	0.263	ITA	0.27	KOR	0.258	MEX	0.222
CHN	0.195	BEL	0.25	BEL	0.258	CAN	0.247	CAN	0.229	CAN	0.217

```

decreasing=TRUE)]/max((strength(g_19, mode="all"))),3)[1:10]

stren23 <-round((strength(g_23, mode="all"))[order(strength(g_23, mode="all"),
decreasing=TRUE)]/max((strength(g_23, mode="all"))),3)[1:10]

strenghtTot<-cbind(names(stren99),stren99,names(stren04),stren04,names(stren09),stren09, names(stren14),
names(stren23),stren23)

colnames(strenghtTot)<- c("1999","1999","2004","2004","2009","2009","2014","2014","2019","2019","2023",
rownames(strenghtTot)<-NULL

strenghtTot%>% kable(booktabs=T, caption = "10 paesi con la maggiore strenght al variare degli anni")

anni <- c(rep(1999,10), rep(2004,10), rep(2009,10), rep(2014,10), rep(2019,10), rep(2023,10))

x<-rbind(strenghtTot[,c(1,2)],strenghtTot[,c(3,4)],strenghtTot[,c(5,6)],strenghtTot[,c(7,8)], strenghtTot[,c(9,10)])
x1<- cbind(x,anni )

dati <- data.frame(stato=x1[,1], valore=as.numeric(x1[,2]),anno=x1[,3] )

ggplot(dati, aes(x = anno, y = log(valore), color = stato, group = stato)) +
  geom_point(size = 2) + # Pallini
  geom_line(linewidth = 0.8,) + # Linee che collegano gli anni per ogni stato
  geom_text(aes(label = stato), vjust = -0.5, hjust=+0.5, size = 4) +
  labs(title = "Evoluzione della Strenght nel tempo",
        x = "Anno",
        y = "log(normalized Strenght)") +
  expand_limits(y = c(min(log(dati$valore-0.001)), max(log(dati$valore+0.2)))) + # Aggiunge spazio sopra
  theme_minimal()

```

La strength è un indice di centralità che corrisponde al grado pesato di un nodo, ovvero la somma del peso degli archi in entrata e/o in uscita del nodo. Nel caso in considerazione rappresenta il totale del valore delle esportazioni e importazioni di un Paese. Il potere commerciale di uno Stato non è solo dato dalla sua capacità esportativa ma anche dal suo volume di scambi in entrata. Due casi all'estremo sono Stati Uniti e Russia: il primo utilizza dazi commerciali come arma politica per imporre condizioni ai Paesi Partner, il secondo usa la minaccia di interrompere le esportazioni come minaccia in politica estera. Ecco perchè in quest'analisi si

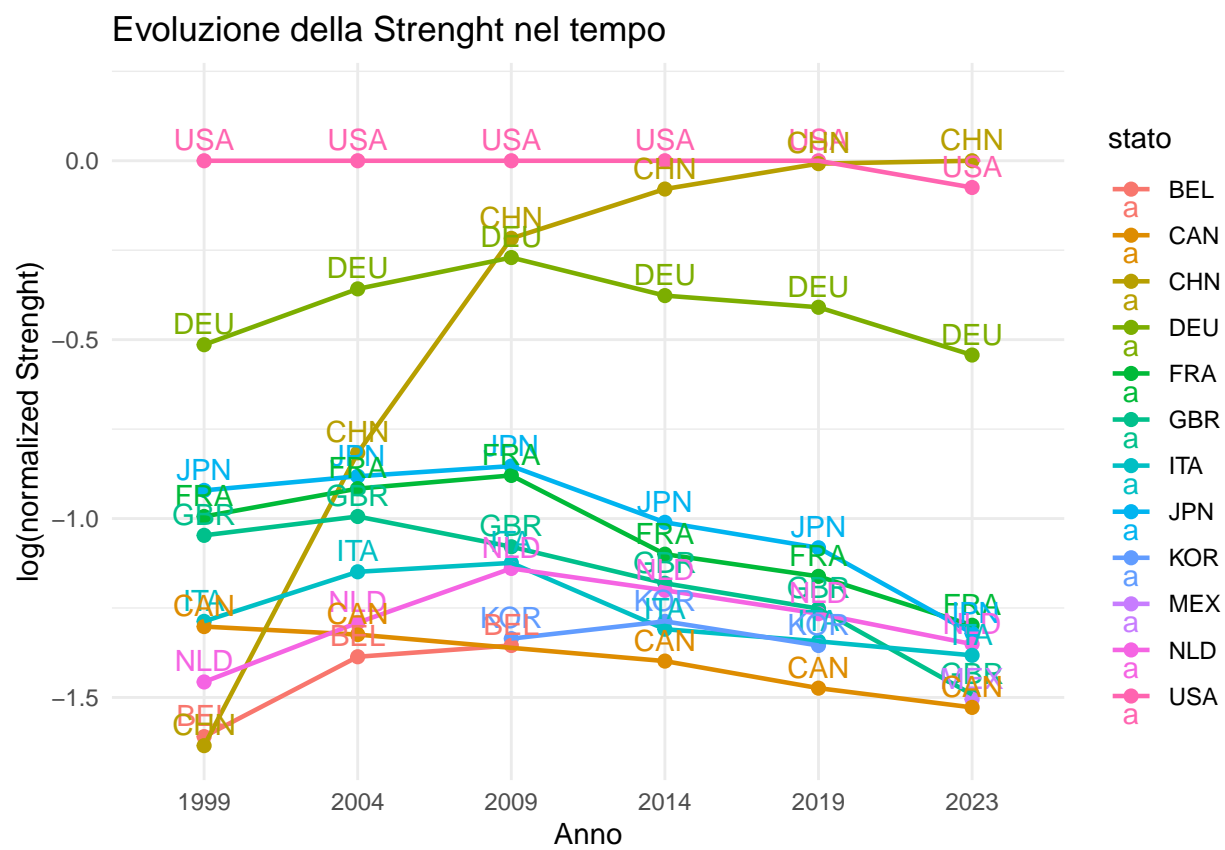


Figure 3: Andamento della strength nel tempo per i primi 10 paesi

Table 3: 10 paesi con la maggiore betweenness al variare degli anni

1999	1999	2004	2004	2009	2009	2014	2014	2019	2019	2023	2023
USA	1	USA	1	CHN	1	CHN	1	CHN	1	CHN	1
DEU	0.72	DEU	0.88	DEU	0.948	DEU	0.556	DEU	0.596	USA	0.557
JPN	0.274	FRA	0.236	USA	0.891	USA	0.505	USA	0.461	DEU	0.423
FRA	0.265	JPN	0.212	RUS	0.181	ARE	0.134	ITA	0.103	ARE	0.16
ITA	0.174	CHN	0.207	FRA	0.176	JPN	0.12	ARE	0.097	IND	0.088
GBR	0.168	RUS	0.174	JPN	0.161	RUS	0.084	RUS	0.09	ITA	0.087
RUS	0.118	ZAF	0.162	IND	0.138	ESP	0.071	IND	0.089	ZAF	0.075
AUS	0.096	ITA	0.13	NGA	0.123	IND	0.066	JPN	0.085	CHE	0.075
IND	0.067	GBR	0.113	ZAF	0.106	ZAF	0.062	ZAF	0.073	ESP	0.061
ZA1	0.063	AUS	0.084	THA	0.097	THA	0.05	FRA	0.071	THA	0.048

utilizzerà la strength totale per tenere conto del potere e della centralità di un Paese Come si può osservare in figura 3 e in tabella 2 la Cina ha avuto una crescita dei volumi dell'import e dell'export superando persino gli Stati dal 2019 al 2023, seppur lievemente. La Germania pur crescendo come volume d'affari tra il '99 e il 2009 ha registrato un calo che la riporta ai livelli iniziali. I restanti Paesi hanno un andamento simile alla Germania ma con un volume di scambi ridotto. In generale si può osservare che l'andamento è quello di un sistema in cui China e Stati Uniti mantengono il primato in termini di volume dell'import-export, mentre le altre economie sviluppate mantengono le loro posizioni, ma aumenta il loro divario da Cina e Stati Uniti.

```

bt99 <-round((betweenness(g_99, weights = 1/E(g_99)$weight)[order(betweenness(g_99,
weights = 1/E(g_99)$weight), decreasing=TRUE)])/max(betweenness(g_99, weights=1/E(g_99)$weight)),3)[1:10]

bt04 <-round((betweenness(g_04, weights = 1/E(g_04)$weight)[order(betweenness(g_04,
weights = 1/E(g_04)$weight), decreasing=TRUE)])/max(betweenness(g_04, weights=1/E(g_04)$weight)),3)[1:10]

bt09 <-round((betweenness(g_09, weights = 1/E(g_09)$weight)[order(betweenness(g_09,
weights = 1/E(g_09)$weight), decreasing=TRUE)])/max(betweenness(g_09, weights=1/E(g_09)$weight)),3)[1:10]

bt14 <-round((betweenness(g_14, weights = 1/E(g_14)$weight)[order(betweenness(g_14,
weights = 1/E(g_14)$weight), decreasing=TRUE)])/max(betweenness(g_14, weights=1/E(g_14)$weight)),3)[1:10]

bt19 <-round((betweenness(g_19, weights = 1/E(g_19)$weight)[order(betweenness(g_19,
weights = 1/E(g_19)$weight), decreasing=TRUE)])/max(betweenness(g_19, weights=1/E(g_19)$weight)),3)[1:10]

bt23 <-round((betweenness(g_23, weights = 1/E(g_23)$weight)[order(betweenness(g_23,
weights = 1/E(g_23)$weight), decreasing=TRUE)])/max(betweenness(g_23, weights=1/E(g_23)$weight)),3)[1:10]

btTot<-cbind( names(bt99),bt99,names(bt04),bt04,names(bt09),bt09, names(bt19),bt19,names(bt14),bt14,names(bt23),bt23)

colnames(btTot)<- c("1999","1999","2004","2004","2009","2009","2014","2014","2019","2019","2023","2023")
rownames(btTot)<-NULL

btTot %>% kable(booktabs=T, caption = "10 paesi con la maggiore betweenness al variare degli anni")

```

```

bt_data<-rbind(btTot[,c(1,2)],btTot[,c(3,4)],btTot[,c(5,6)],btTot[,c(7,8)],btTot[,c(9,10)],btTot[,c(11,12)])
bt_data<- cbind(bt_data,anni )

bt_data <- data.frame(stato=bt_data[,1], valore=as.numeric(bt_data[,2]),anno=bt_data[,3] )

ggplot(bt_data, aes(x = anno, y = log(valore), color = stato, group = stato)) +
  geom_point(size = 2) +
  geom_line(linewidth = 0.8) +
  geom_text(aes(label = stato), vjust = -0.5, hjust=+0.5, size = 4) +
  labs(title = "Evoluzione della Betweenness nel tempo",
        x = "Anno",
        y = "log(normalized Betweenness)") +
  expand_limits(y = c(min(log(bt_data$valore-0.001)), max(log(bt_data$valore+0.2)))) + # Aggiunge spazio
  theme_minimal()

```

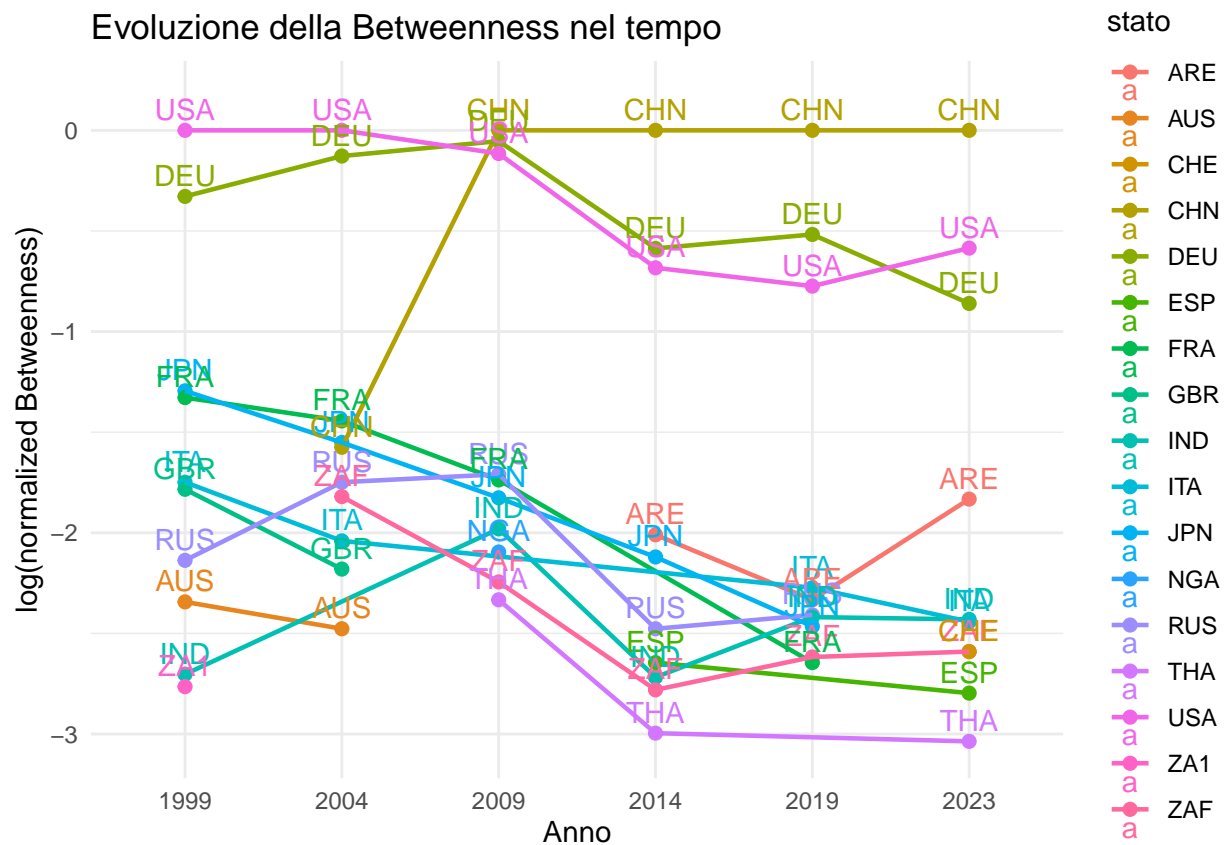


Figure 4: Andamento della betweenness nel tempo per i primi 10 paesi

La betweenness degli Stati misura sempre la centralità ma intesa come capacità di un Paese di essere uno snodo commerciale fondamentale all'interno della rete. La betweenness è sempre calcolata tenendo conto della strength ma utilizzando il suo reciproco come distanza tra due nodi: maggiore è l'intensità dei rapporti commerciali minore è la distanza. Osservando la figura 4 e la tabella 3 si può notare che rispetto alla strength i 10 paesi con la maggior betweenness tendono a variare di più nel tempo. Dalla fine degli anni '90 gli U.S.A. e la Germania hanno perso il loro primato di snodi commerciali a dispetto della Cina e mantengono un livello simile tra loro. Gli altri dopo i primi tre seguono un andamento simile al grafico della strength (3). Rispetto alle altre misure di centralità il ranking dei 10 stati secondo la betweenness è quella soggetta a più variabilità

Table 4: 10 paesi con la maggiore eigen-centrality al variare degli anni

1999	1999	2004	2004	2009	2009	2014	2014	2019	2019	2023	2023
USA	1	USA	1	USA	1	USA	1	USA	1	USA	1
CAN	0.672	CHN	0.823	CAN	0.628	CHN	0.795	CHN	0.82	CHN	0.808
JPN	0.482	DEU	0.582	DEU	0.52	CAN	0.527	MEX	0.49	MEX	0.521
DEU	0.423	CAN	0.513	CHN	0.514	DEU	0.468	CAN	0.477	CAN	0.497
MEX	0.396	JPN	0.504	JPN	0.473	MEX	0.447	DEU	0.475	DEU	0.46
GBR	0.326	MEX	0.385	MEX	0.391	JPN	0.404	JPN	0.414	JPN	0.349
FRA	0.295	FRA	0.363	GBR	0.344	KOR	0.302	KOR	0.317	KOR	0.31
CHN	0.254	GBR	0.333	FRA	0.336	GBR	0.263	GBR	0.255	GBR	0.234
ITA	0.217	KOR	0.306	ITA	0.255	FRA	0.249	FRA	0.246	NLD	0.234
NLD	0.198	NLD	0.291	NLD	0.249	NLD	0.234	NLD	0.234	FRA	0.222

```

eg99 <-round((eigen_centrality(g_99)$vector[order(eigen_centrality(g_99)$vector,
decreasing=TRUE)]))/max(eigen_centrality(g_99)$vector),3)[1:10]

eg04 <-round((eigen_centrality(g_04)$vector[order(eigen_centrality(g_04)$vector,
decreasing=TRUE)]))/max(eigen_centrality(g_04)$vector),3)[1:10]

eg09 <-round((eigen_centrality(g_09)$vector[order(eigen_centrality(g_09)$vector,
decreasing=TRUE)]))/max(eigen_centrality(g_09)$vector),3)[1:10]

eg14 <-round((eigen_centrality(g_14)$vector[order(eigen_centrality(g_14)$vector,
decreasing=TRUE)]))/max(eigen_centrality(g_14)$vector),3)[1:10]

eg19 <-round((eigen_centrality(g_19)$vector[order(eigen_centrality(g_19)$vector,
decreasing=TRUE)]))/max(eigen_centrality(g_19)$vector),3)[1:10]

eg23 <-round((eigen_centrality(g_23)$vector[order(eigen_centrality(g_23)$vector, decreasing=TRUE)]))/max

egTot<-cbind( names(eg99),eg99,names(eg09),eg09,names(eg04),eg04, names(eg14),eg14, names(eg19),eg19, n

colnames(egTot)<- c("1999","1999","2004","2004","2009","2009","2014","2014",
                    "2019","2019","2023","2023")
rownames(egTot)<-NULL

egTot %>% kable(booktabs=T, caption = "10 paesi con la maggiore eigen-centrality al variare degli anni

eg_data<-rbind(egTot[,c(1,2)],egTot[,c(3,4)],egTot[,c(5,6)],egTot[,c(7,8)], egTot[,c(9,10)],egTot[,c(11,12)])
eg_data<- cbind(eg_data,anni )

eg_data <- data.frame(stato=eg_data[,1], valore=as.numeric(eg_data[,2]),anno=eg_data[,3] )

ggplot(eg_data, aes(x = anno, y = log(valore), color = stato, group = stato)) +
  geom_point(size = 2) +
  geom_line(size = 0.8) +
  geom_text(aes(label = stato), vjust = -0.5, hjust=+0.5, size = 4) +
  labs(title = "Evoluzione della Eigen-Centrality nel tempo",
       x = "Anno",

```

```

y = "log(normalized Eigen-centrality)" +
expand_limits(y = c(min(log(eg_data$valore-0.001)), max(log(eg_data$valore+0.2)))) + # Aggiunge spazio
theme_minimal()

```

```

## Warning: Using 'size' aesthetic for lines was deprecated in ggplot2 3.4.0.
## i Please use 'linewidth' instead.
## This warning is displayed once every 8 hours.
## Call 'lifecycle::last_lifecycle_warnings()' to see where this warning was
## generated.

```

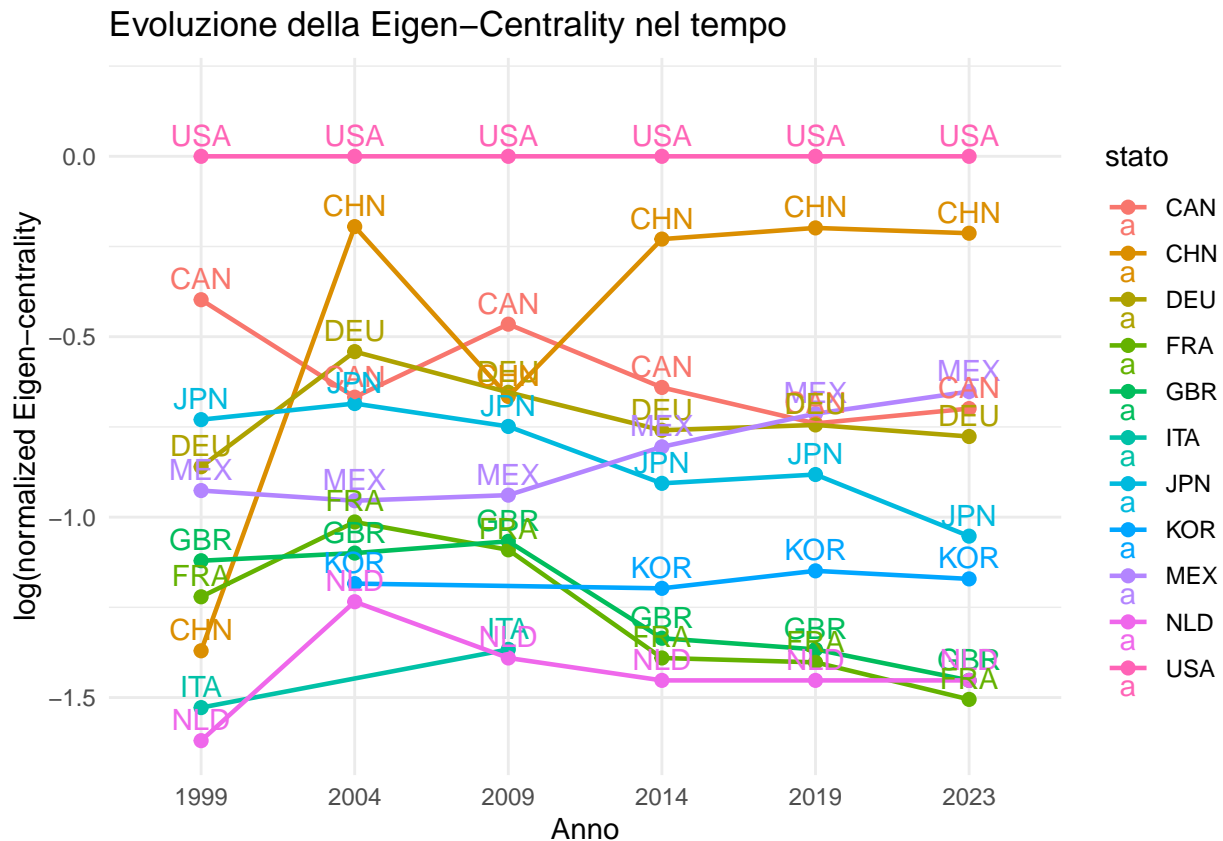


Figure 5: Andamento della eigen-centrality nel tempo per i primi 10 paesi

```

pg99 <-round((page_rank(g_99)$vector[order(page_rank(g_99)$vector, decreasing=TRUE)])/max(page_rank(g_99)$vector))
pg04 <-round((page_rank(g_04)$vector[order(page_rank(g_04)$vector, decreasing=TRUE)])/max(page_rank(g_04)$vector))
pg09 <-round((page_rank(g_09)$vector[order(page_rank(g_09)$vector, decreasing=TRUE)])/max(page_rank(g_09)$vector))
pg19 <-round((page_rank(g_19)$vector[order(page_rank(g_19)$vector, decreasing=TRUE)])/max(page_rank(g_19)$vector))
pg14 <-round((page_rank(g_14)$vector[order(page_rank(g_14)$vector, decreasing=TRUE)])/max(page_rank(g_14)$vector))
pg23 <-round((page_rank(g_23)$vector[order(page_rank(g_23)$vector, decreasing=TRUE)])/max(page_rank(g_23)$vector))

```

Table 5: 10 paesi con il maggiore page-rank al variare degli anni

1999	1999	2004	2004	2009	2009	2014	2014	2019	2019	2023	2023
USA	1	USA	1	USA	1	USA	1	USA	1	USA	1
DEU	0.541	DEU	0.507	DEU	0.602	CHN	0.654	CHN	0.694	CHN	0.718
GBR	0.364	GBR	0.356	CHN	0.507	DEU	0.515	DEU	0.517	DEU	0.514
FRA	0.363	FRA	0.356	FRA	0.412	FRA	0.313	FRA	0.3	FRA	0.3
JPN	0.306	JPN	0.296	GBR	0.348	JPN	0.307	GBR	0.299	NLD	0.274
ITA	0.28	ITA	0.276	JPN	0.324	GBR	0.303	JPN	0.273	GBR	0.264
CAN	0.262	CHN	0.266	ITA	0.305	NLD	0.262	NLD	0.251	IND	0.259
NLD	0.228	CAN	0.266	NLD	0.277	CAN	0.251	IND	0.246	ITA	0.258
BEL	0.204	NLD	0.225	CAN	0.251	ITA	0.245	CAN	0.236	JPN	0.236
ESP	0.184	BEL	0.208	BEL	0.245	IND	0.231	ITA	0.233	CAN	0.23

```
pgTot<-cbind( names(pg99),pg99,names(pg04),pg04,names(pg09),pg09, names(pg14),pg14, names(pg19),pg19, n
colnames(pgTot)<- c("1999","1999","2004","2004","2009","2009","2014","2014","2019","2019","2023","2023")
rownames(pgTot)<-NULL

pgTot %>% kable(booktabs=T, caption = "10 paesi con il maggiore page-rank al variare degli anni")

pg_data<-rbind(pgTot[,c(1,2)],pgTot[,c(3,4)],pgTot[,c(5,6)],pgTot[,c(7,8)],pgTot[,c(9,10)],pgTot[,c(11,
pg_data<- cbind(pg_data,anni )

pg_data <- data.frame(stato=pg_data[,1], valore=as.numeric(pg_data[,2]),anno=pg_data[,3] )

ggplot(pg_data, aes(x = anno, y = log(valore), color = stato, group = stato)) +
  geom_point(size = 2) +
  geom_line(linewidth = 0.8) +
  geom_text(aes(label = stato), vjust = -0.5, hjust=+0.5, size = 4) +
  labs(title = "Evoluzione del Page-Rank nel tempo",
        x = "Anno",
        y = "log(normalized Page-Rank)") +
  expand_limits(y = c(min(log(pg_data$valore-0.001)), max(log(pg_data$valore+0.2)))) +
  theme_minimal()
```

La centralità basata su autovalori e page-rank sono entrambe misure ricorsive molto simili. In particolare entrambe tengono conto nel calcolo dell'importanza di un nodo anche l'importanza dei suoi vicini. Tuttavia in quest'analisi è meglio affidarsi alla centralità Page-Rank piuttosto che a quella eigen. Questo perché osservando il grafico 5 e la tabella 4 si possono fare due osservazioni. L'andamento della centralità eigen tende ad avere pattern meno chiari rispetto alle altre centralità, e questo tipo di misura tende a premiare Paesi che sono vicini ad altri Paesi centrali. Ad esempio Canada e Messico registrano posizioni di centralità più importanti semplicemente perché hanno strette relazioni con gli Stati Uniti che sono il paese più importante. Tuttavia questo non è sinonimo di una caratteristica positiva come quella che si sta andando a ricercare. Infatti se si osserva il grafico 7 si nota che la maggior parte delle economie più importanti esporta un quantitativo minore o uguale al 50% del suo volume totale con i primi 5 partner. Questo è un indice molto importante riguardo alla solidità dell'economia di un Paese. Canada e Messico importano esportano più del 75% del loro volume totale ai soli Stati Uniti. Osservando invece la tabella 5 e la figura 6 si nota che Gli Stati Uniti detengono il primato di importanza a livello commerciale poiché commerciano principalmente con molti Paesi ma soprattutto quelli più importanti. Il secondo Paese più importante è la Cina che mantiene

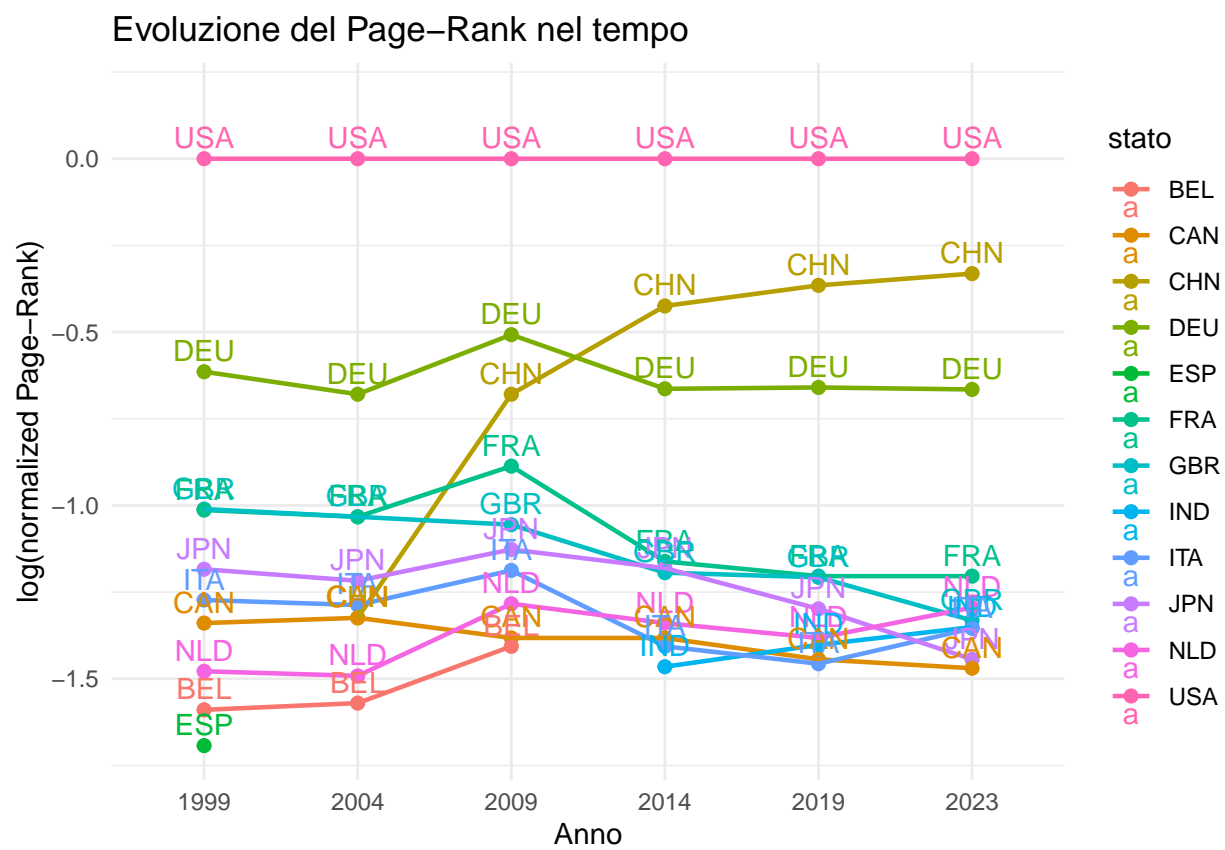


Figure 6: Andamento della centralità Page-Rank nel tempo per i primi 10 paesi

un certo distacco dagli Stati Uniti ma supera la Germania che dopo un calo dal 2009 si mantiene stabile al terzo posto. Infine anche secondo la centralità Page-Rank ci sono economie sviluppate e Emergenti che mantengono un livello importanza simile ma in calo dal 1999 rispetto a Stati Uniti.

```
nomi_cen <- unique(c(names(pg23), names(pg19), names(pg09), names(pg99), names(eg23), names(eg19), names(eg09)))

depend <- top_exports23 %>%
  group_by(from) %>%
  filter(from %in% nomi_cen)%>%
  mutate(cumRelVal = cumsum(relValue))

ggplot(depend, aes(x=rep(seq(1,5), length(nomi_cen)), y = cumRelVal, color = from, group = from)) +
  #geom_point(size = 2) +
  geom_line(linewidth = 0.8) +
  geom_text(aes(label = from)) + #, vjust = -0.5, hjust = +0.5, size = 4) +
  labs(title = "Andamento del valore relativo cumulato dell'esportazioni",
       x = "numero partner commerciali",
       y = "Somma cumulata valore export relativo") +
  #expand_limits(y = c(min(log(eg_data$valore-0.001)), max(log(eg_data$valore+0.2)))) + # Aggiunge spa
  theme_minimal()
```

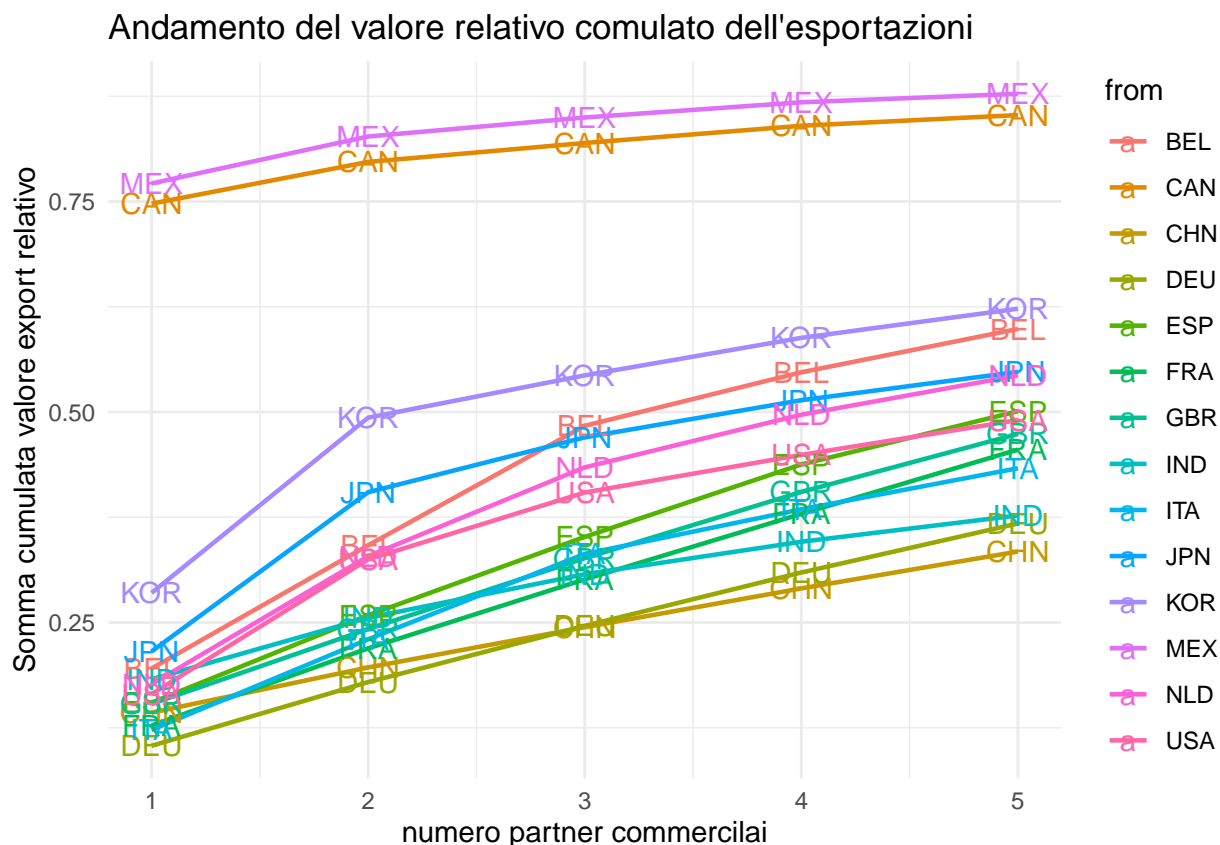


Figure 7: Andamento del valore di esportazione relativo cumulato per i Paesi più importanti secondo Page-Rank e eigen-centralità nel 2023. I valori relativi sono calcolati tenendo conto del totale dell'esportazioni del Paese. Si tiene conto solo delle 5 più importanti esportazioni per ogni Paese

2.4 COMMUNITY DETECTION

```
ceigen <-cluster_leading_eigen(as_undirected(g5_23, mode="collapse"))
modularity(ceigen)
```

```
## [1] 0.356198
```

```
nodi5_23$com_eigen <- ceigen$membership

clouv <-cluster_louvain(as_undirected(g5_23, mode="collapse"))
modularity(clouv)
```

```
## [1] 0.3877265
```

```
nodi5_23$com_lou <- clouv$membership

cwalk <-cluster_walktrap(g5_23, steps=5)
modularity(cwalk)
```

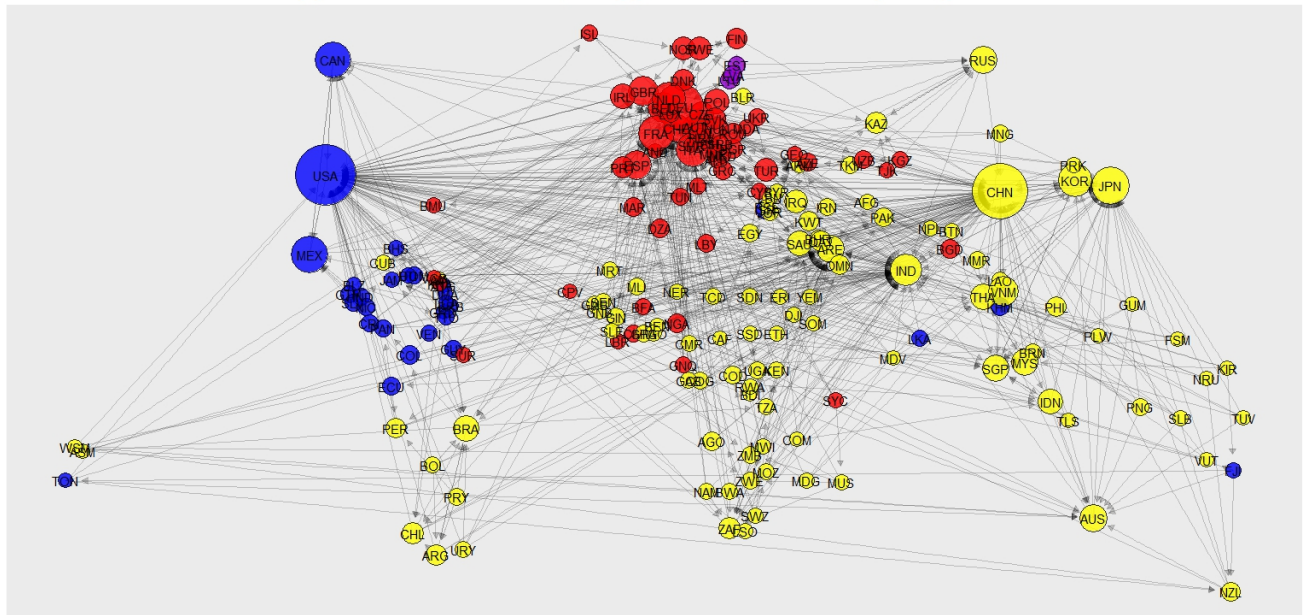
```
## [1] 0.3668998
```

```
nodi5_23$com_walk <- cwalk$membership
```

```
ggraph(lay) +
  geom_edge_link(edge_alpha=0.2,arrow = arrow(length = unit(2, 'mm'), type="closed"), end_cap= circle) +
  geom_node_point( aes(fill=as.factor(nodi5_23$com_lou),size =(strength(g5_23, mode = "all"))),alpha=0.5,
    color = "black", shape=21,show.legend = F) +
  scale_size_continuous(range = c(6, 25), guide = F) +
  geom_node_text(aes(label=nodi5_23$name)) +
  scale_edge_width(range = c(1, 6), guide=F) +
  scale_fill_manual(values = c("yellow", "red","blue","darkviolet"
    ), guide=F) +
  ggtitle("Mappa delle comunità, maggiori 5 esportazioni per ogni stato") +
  theme(legend.text = element_text(size = 16), # Ingrandisce il testo della legenda
    legend.title = element_text(size = 18),
    plot.title = element_text(size = 23, face = "bold", hjust = 0.5))+
  guides(fill = guide_legend(override.aes = list(size = 8)))
```

```
knitr::include_graphics("plot/rete_com.jpeg")
```

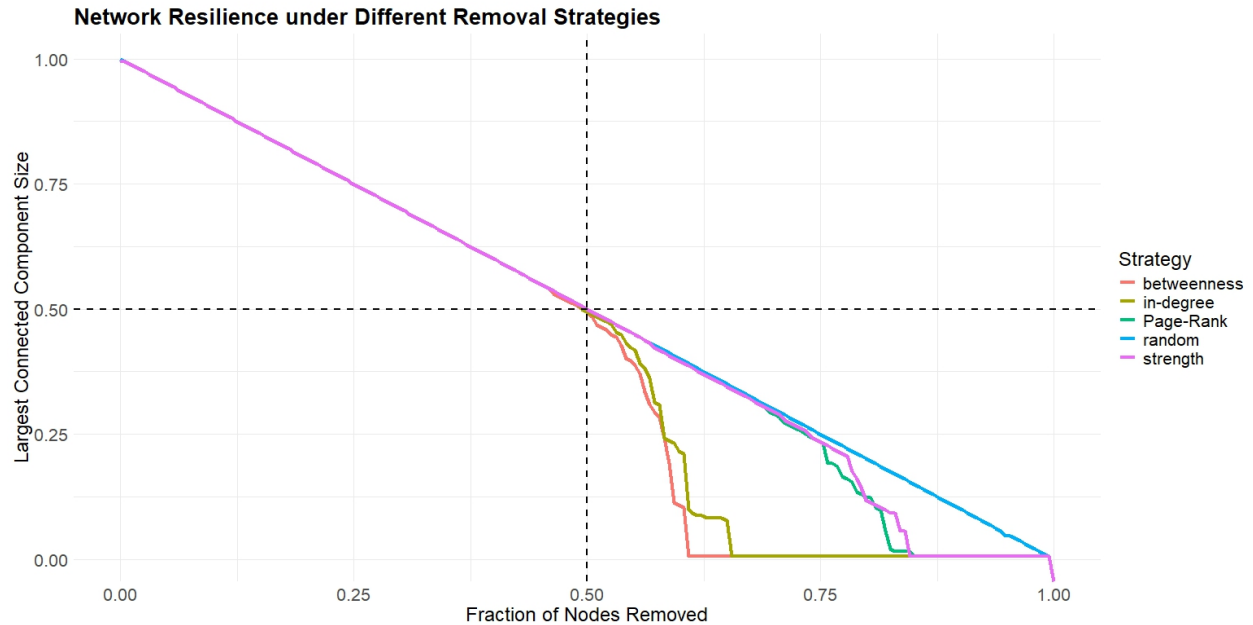
Mappa delle comunità, maggiori 5 esportazioni per ogni stato



2.5 RESILIENZA

```
ggplot(all_results, aes(x = fraction_removed/vcount(g_23), y = lcc_size/vcount(g_23), color = strategy)) +
  geom_line(linewidth=1.5) +
  geom_hline(yintercept = .50, color = "black", linetype = "dashed", size = 1) +
  geom_vline(xintercept = .50, color = "black", linetype = "dashed", size = 1) +
  labs(title = "Network Resilience under Different Removal Strategies",
       x = "Fraction of Nodes Removed",
       y = "Largest Connected Component Size",
       color = "Strategy") +
  theme_minimal() +
  theme(
    plot.title = element_text(size = 20, face = "bold"),
    axis.title.x = element_text(size = 18), #
    axis.title.y = element_text(size = 18),
    axis.text = element_text(size = 16),
    legend.title = element_text(size = 18),
    legend.text = element_text(size = 16))

knitr::include_graphics("res-plot.jpeg")
```

2.6 POWER

```
pow99 = power(as_adjacency_matrix(g_99, attr="weight"), 6)$vector
names(pow99)<-names(V(g_99))
pow99<- round(pow99[order(pow99, decreasing = T)]/max(pow99),4)[1:10]

pow04 = power(as_adjacency_matrix(g_04, attr="weight"), 6)$vector
names(pow04)<-names(V(g_04))
pow04 <-round(pow04[order(pow04, decreasing = T)]/max(pow04),4)[1:10]

pow09 = power(as_adjacency_matrix(g_09, attr="weight"), 6)$vector
names(pow09)<-names(V(g_09))
pow09 <-round(pow09[order(pow09, decreasing = T)]/max(pow09),4)[1:10]

pow14 = power(as_adjacency_matrix(g_14, attr="weight"), 6)$vector
names(pow14)<-names(V(g_14))
pow14<-round(pow14[order(pow14, decreasing = T)]/max(pow14),4)[1:10]

pow19 = power(as_adjacency_matrix(g_19, attr="weight"), 6)$vector
names(pow19)<-names(V(g_19))
pow19<-round(pow19[order(pow19, decreasing = T)]/max(pow19),4)[1:10]

pow23 = power(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"), 6)$vector
names(pow23)<-names(V(g_23))
pow23<-round(pow23[order(pow23, decreasing = T)]/max(pow23),4)[1:10]
```

Table 6: 10 paesi con il maggiore potere al variare degli anni

1999	1999	2004	2004	2009	2009	2014	2014	2019	2019	2023	2023
USA	1	USA	1	USA	1	CHN	1	CHN	1	CHN	1
JPN	0.6277	JPN	0.371	JPN	0.6316	USA	0.6123	USA	0.7901	USA	0.4065
DEU	0.306	DEU	0.3149	CHN	0.6253	IND	0.373	IND	0.4225	THA	0.2306
THA	0.2072	CHN	0.3135	DEU	0.3638	DEU	0.2579	JPN	0.3645	IND	0.2233
GBR	0.188	GBR	0.274	IND	0.3386	ARE	0.2406	DEU	0.3522	ARE	0.2146
FRA	0.1879	FRA	0.2272	FRA	0.2737	JPN	0.1767	GBR	0.2408	DEU	0.1808
ESP	0.181	ITA	0.2223	THA	0.2641	THA	0.1692	KOR	0.2131	NLD	0.1314
KOR	0.1756	KOR	0.1637	ITA	0.2616	KOR	0.1682	FRA	0.213	CHE	0.1137
ITA	0.1706	ESP	0.1564	KOR	0.2484	ITA	0.1655	ITA	0.2126	JPN	0.1129
IND	0.1569	IND	0.1404	GBR	0.2275	ESP	0.1615	NLD	0.1843	ITA	0.1116

```
powTot<-cbind( names(pow99),pow99,names(pow04),pow04,names(pow09),pow09, names(pow19),pow19,names(pow14),
colnames(powTot)<- c("1999", "1999", "2004", "2004", "2009", "2009", "2014", "2014", "2019", "2019", "2023", "2023")
rownames(powTot)<-NULL

powTot %>% kable(booktabs=T, caption = "10 paesi con il maggiore potere al variare degli anni")
```

```
pw_data<-rbind(powTot[,c(1,2)],powTot[,c(3,4)],powTot[,c(5,6)],powTot[,c(7,8)], powTot[,c(9,10)],powTot[,c(11,12)])
pw_data<- cbind(pw_data,anni )
```

```
pw_data <- data.frame(stato=pw_data[,1], valore=as.numeric(pw_data[,2]),anno=pw_data[,3] )
```

```
ggplot(pw_data, aes(x = anno, y = log(valore), color = stato, group = stato)) +
  geom_point(size = 2) +
  geom_line(size = 0.8) +
  geom_text(aes(label = stato), vjust = -0.5, hjust=+0.5, size = 4) +
  labs(title = "Evoluzione del Power nel tempo",
       x = "Anno",
       y = "log(normalized Power)" +
  expand_limits(y = c(min(log(pw_data$valore-0.001)), max(log(pw_data$valore+0.2)))) + # Aggiunge spazio
  theme_minimal()
```

```
cor99 <- c(cor(power(as_adjacency_matrix(g_99, attr="weight"),6)$vector, page_rank(g_99)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_99, attr="weight"),6)$vector, eigen_centrality(g_99)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_99, attr="weight"),6)$vector, betweenness(g_99, weights = 1/E(g_99)$weights)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_99, attr="weight"),6)$vector, strength(g_99, mode="all")))
```

```
cor04 <- c(cor(power(as_adjacency_matrix(g_04, attr="weight"),6)$vector, page_rank(g_04)$vector),
```

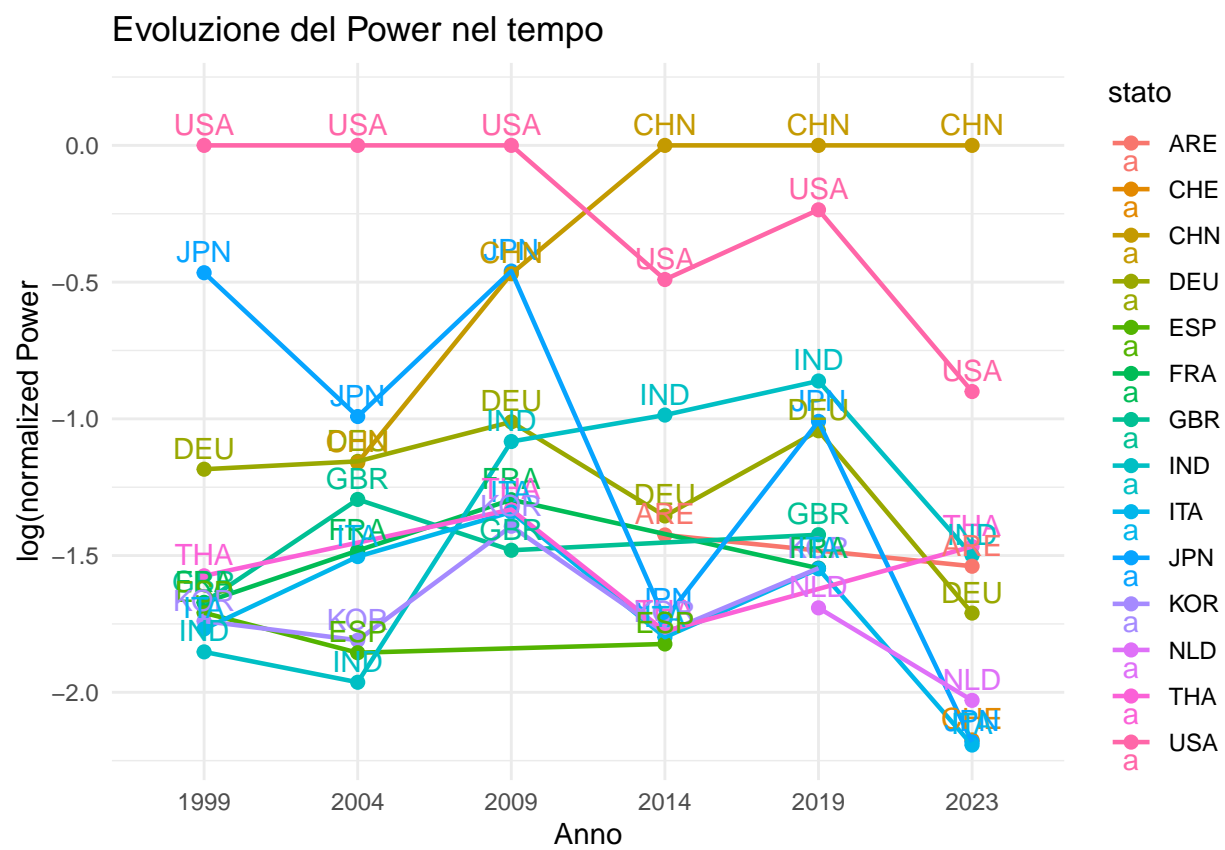


Figure 8: Andamento del potere nel tempo per i primi 10 paesi

Table 7: 10 paesi con il maggiore potere al variare degli anni

	1999	2004	2009	2014	2019	2023	media
page-rank	0.8956058	0.9581972	0.9290369	0.9281457	0.8859054	0.8121890	0.9015133
eigen-centrality	0.8373619	0.8867544	0.9093413	0.8847856	0.8362291	0.7591515	0.8522706
betweenness	0.8736967	0.8736617	0.8140177	0.8783237	0.9070937	0.9360982	0.8804820
strength	0.9045415	0.9399281	0.9256100	0.9448521	0.9120051	0.8734364	0.9167289

```

cor(power(as_adjacency_matrix(g_04, attr="weight"),6)$vector, eigen_centrality(g_04)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_04, attr="weight"),6)$vector, betweenness(g_04, weights = 1/E(g_04)$wei
cor(power(as_adjacency_matrix(g_04, attr="weight"),6)$vector, strength(g_04, mode="all")))

cor09 <- c(cor(power(as_adjacency_matrix(g_09, attr="weight"),6)$vector, page_rank(g_09)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_09, attr="weight"),6)$vector, eigen_centrality(g_09)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_09, attr="weight"),6)$vector, betweenness(g_09, weights = 1/E(g_09)$wei
cor(power(as_adjacency_matrix(g_09, attr="weight"),6)$vector, strength(g_09, mode="all")))

cor14 <- c(cor(power(as_adjacency_matrix(g_14, attr="weight"),6)$vector, page_rank(g_14)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_14, attr="weight"),6)$vector, eigen_centrality(g_14)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_14, attr="weight"),6)$vector, betweenness(g_14, weights = 1/E(g_14)$wei
cor(power(as_adjacency_matrix(g_14, attr="weight"),6)$vector, strength(g_14, mode="all")))

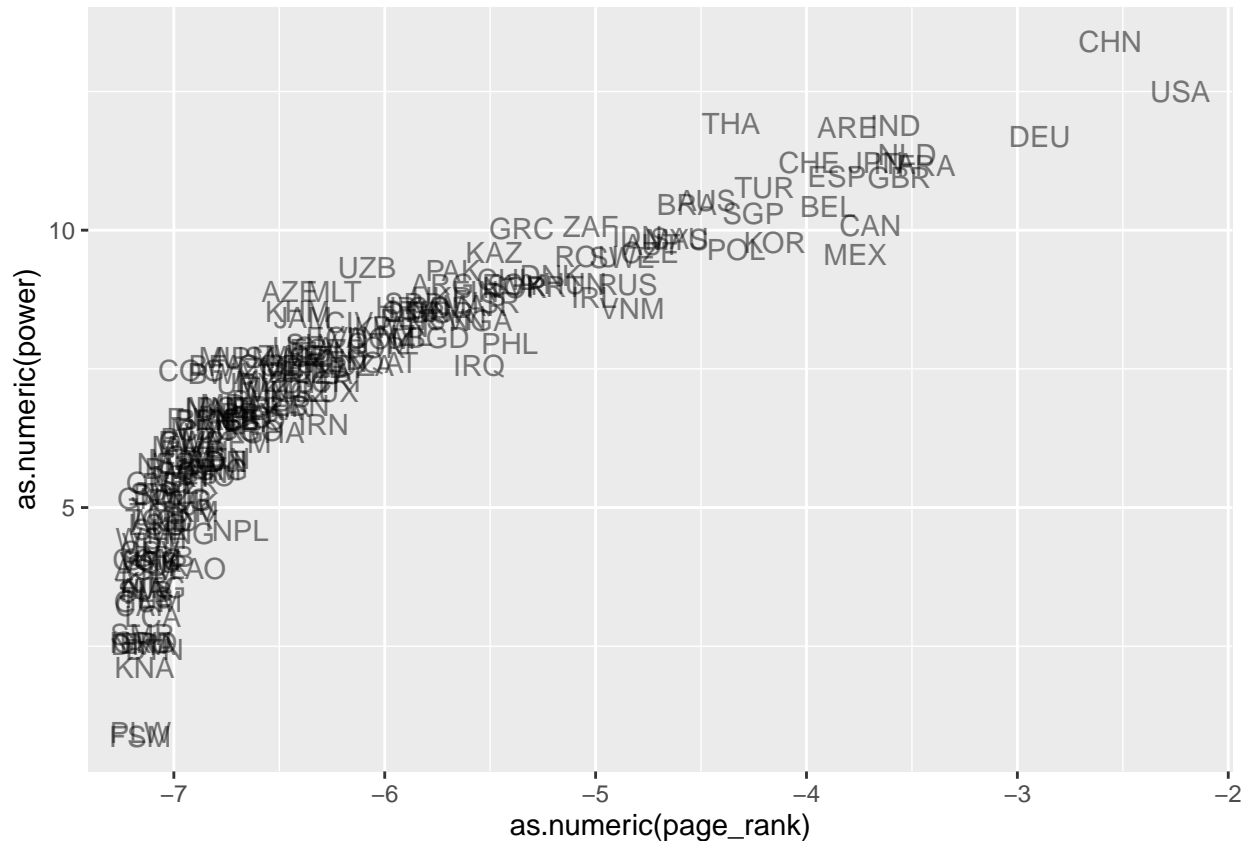
cor19 <- c(cor(power(as_adjacency_matrix(g_19, attr="weight"),6)$vector, page_rank(g_19)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_19, attr="weight"),6)$vector, eigen_centrality(g_19)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_19, attr="weight"),6)$vector, betweenness(g_19, weights = 1/E(g_19)$wei
cor(power(as_adjacency_matrix(g_19, attr="weight"),6)$vector, strength(g_19, mode="all")))

cor23 <- c(cor(power(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"),6)$vector, page_rank(g_23)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"),6)$vector, eigen_centrality(g_23)$vector),
cor(power(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"),6)$vector, betweenness(g_23, weights = 1/E(g_23)$wei
cor(power(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"),6)$vector, strength(g_23, mode="all")))

correlaz<-cbind(cor99,cor04, cor09, cor14, cor19, cor23)
correlaz<-cbind(correlaz, apply(correlaz,1, mean))
colnames(correlaz) <- c("1999","2004","2009","2014","2019","2023","media")
rownames(correlaz)<- c("page-rank", "eigen-centrality","betweenness","strength")
correlaz%>% kable(booktabs=T, caption = "10 paesi con il maggiore potere al variare degli anni")

```

```
conf<- cbind("power"=log(power(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"),6)$vector), "page_rank"=log(page_rank(as_adjacency_matrix(g_23, attr="weight"),6)$vector))
ggplot(conf, aes(x = as.numeric(page_rank), y = as.numeric(power))) +
  geom_text(aes(label =names ), alpha = 0.5)
```



3 COMMENTI AI RISULTATI

Conclusioni L'analisi della rete commerciale globale tra il 1999 e il 2023 ha evidenziato l'evoluzione delle dinamiche economiche mondiali e l'importanza crescente di alcuni attori chiave. I risultati principali possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

Aumento della connettività globale L'analisi esplorativa ha mostrato un incremento nel numero di archi e nella densità della rete, indicando una crescente interconnessione tra i paesi e un rafforzamento della globalizzazione. La reciprocità prossima al 90% suggerisce che le relazioni commerciali tra paesi sono bilaterali nella maggior parte dei casi.

Evoluzione della centralità degli stati La misura della strength ha evidenziato il sorpasso della Cina sugli Stati Uniti come primo attore nel commercio globale in termini di volume totale di scambi. La Germania ha mantenuto un ruolo di rilievo, pur mostrando una leggera riduzione della sua centralità nel tempo. Il PageRank ha confermato il primato di Stati Uniti e Cina, mentre economie emergenti come India e Corea del Sud hanno registrato una crescita significativa.

Struttura e resilienza della rete L'analisi delle community ha rivelato cluster economici coerenti con accordi commerciali e vicinanza geografica, mentre lo studio della resilienza ha mostrato come la rete sia relativamente robusta, ma vulnerabile alla rimozione di pochi paesi chiave (principalmente Cina, Stati Uniti e Germania).

Relazione tra potere economico e centralità Il calcolo del potere ha evidenziato la forte correlazione tra il volume di scambi e l'influenza economica di uno stato. Il confronto tra le diverse misure di centralità ha permesso di identificare paesi che fungono da hub strategici nella rete commerciale globale.

Effetti degli eventi geopolitici L'impatto di crisi economiche, guerre e politiche commerciali è stato osservato nella variazione della centralità di alcuni stati. Ad esempio, nonostante le sanzioni occidentali, la Russia è rimasta connessa alle economie occidentali piuttosto che riallinearsi completamente con Cina e India.

4 LIMITI E SVILUPPI FUTURI PER QUESTO PROGETTO

Uno dei principali limiti di questo studio è legato alla disponibilità di tempo: l'analisi si è concentrata su alcuni anni specifici (1999, 2004, 2009, 2014, 2019, 2023) senza considerare ogni singolo anno intermedio. Un'analisi più dettagliata con una griglia temporale più fine permetterebbe di individuare con maggiore precisione l'evoluzione della rete commerciale e l'impatto degli eventi globali.

Un ulteriore sviluppo interessante sarebbe l'integrazione di variabili economiche e sociali, come il PIL, il PIL pro capite, la popolazione o l'indice di istruzione, per valutare la correlazione tra centralità economica e altri indicatori di sviluppo. Questo permetterebbe di comprendere meglio le determinanti strutturali che influenzano la posizione di un paese nella rete commerciale globale.

Dati incompleti attuali

References

- Luca De Benedictis, Silvia Nenci, Gianluca Santoni, Lucia Tajoli, and Claudio Vicarelli. Network analysis of world trade using the baci-cepii dataset. *Global Economy Journal*, 14(03n04):287–343, 2014.
- Guillaume Gaulier and Soledad Zignago. Baci: International trade database at the product-level. the 1994-2007 version. (2010-23), 2010. URL <https://www.cepii.fr/CEPII/fr/publications/wp/abstract.asp?NoDoc=2726>.