



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO - BICOCCA

**Scuola di Economia e Statistica**

**Dipartimento di Statistica e Metodi Quantitativi**

**Corso di laurea in Statistica e Gestione delle Informazioni**

## **Competitività in Europa**

**Una analisi multidimensionale tra stati**

**Relatore:** Prof. Fattore Marco

**Relazione di:**

Jimenez Iris Dania

Matricola 827147

**Anno Accademico 2021-2022**



# Prefazione

Mi sono imbattuta nell'argomento dei Poset(*Partially ordered set*) durante le lezioni del Prof.

Fattore Marco, relatore di questa tesi. Sono rimasta colpita ed affasciata da questo diverso approccio ai dati e all'analisi matematico-statistica, che si discosta dai metodi tradizionali. Ho così deciso di approfondire lo studio di questo argomento, applicandolo anche al mondo che ci circonda ed in cui viviamo, l'Europa.



# Ringraziamenti

*A mia mamma, mio fratello e mio papà per essere la mia famiglia e avermi sempre sostenuto,*

*Ad Adrian, per farmi essere una persona migliore,*

*A Sofia, la mia sorella dalle stelle,*

*A mi abuela Isabela e a nonna Iole per avermi cresciuta,*

*Per aspera ad astra.*



# Abstract

Convenzionalmente, i dati di tipo ordinale sono stati visti come di livello in qualche modo inferiore rispetto ai più studiati dati numerici. In particolar modo, basti pensare come, per molti concetti esprimibili in modo unicamente ordinale si tende a credere che la “variabile latente” vera, che sottosta all’indicatore ordinale, sia di tipo numerale e l’indicatore ordinale sia solo un’espressione di questo numero. Questa linea di pensiero ha portato gli sforzi matematico-statistici a concentrarsi su tecniche principalmente applicabili a dati di tipo numerico, tralasciando i dati non numerici.

Negli ultimi anni però, i dati di tipo ordinale sono sempre stati maggiormente impiegati ed utilizzati, sia perchè in campo sociale molti concetti sono esprimibili in questo formato sia perchè, sono state sviluppate nuove tecniche specifiche per i dati ordinali. I Poset(*Partially ordered set*) appartengono proprio a quest’ultima categoria e formalizzano e generalizzano il concetto di ordinamento e comparazione. Essi, quindi, permettono di analizzare insieme di indicatori ordinali, tenendo conto proprio della loro natura non numerica.

In questa tesi, i Poset verranno utilizzati per creare una classifica in diversi ambiti dei vari stati europei, inoltre sempre tramite i poset verrà creato un punteggio di incomparabilità tra stati, che andrà a tenere conto di quanto, in un ranking, i punteggi siano affidabili. Quest’ultima informazione viene spesso trascurata, eppure risulta essere estremamente importante perchè, anche se è vero che le classifiche ci aiutano a comprendere meglio la realtà, dobbiamo sempre tenere conto che quella che abbiamo davanti è una sintesi, una forzatura, e che i numeri che vediamo non sono sempre così semplicemente interpretabili.





# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Insiemi parzialmente ordinati</b>	<b>9</b>
2.1	Definizione . . . . .	10
2.2	Diagramma di Hasse . . . . .	10
2.3	Estensioni lineari . . . . .	13
2.4	Rappresentazione matriciale di un insieme parzialmente ordinato . . . . .	15
2.5	Singular Value Decomposition . . . . .	16
2.6	Sistemi di indicatori multidimensionali . . . . .	18
2.7	Incomparabilità . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Analisi</b>	<b>21</b>
3.1	Descrizione dei dati . . . . .	22
3.2	Analisi statistiche . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>30</b>
4.1	Economia . . . . .	31
4.2	Demografia . . . . .	38
4.3	Istruzione . . . . .	41
4.4	Innovazione . . . . .	47
4.5	Considerazioni finali . . . . .	53
	<b>Elenco delle figure</b>	<b>54</b>
	<b>Bibliografia e sitografia</b>	<b>55</b>



# Capitolo 1

## Introduzione

In questa tesi si è sviluppato il concetto di «competitività» tra diversi stati, a partire dal European Innovation Scoreboard(EIS), con lo scopo di creare una classifica dei paesi europei più competitivi in diversi settori, per poterli comparare tra di loro in modo tale da considerare nella lettura dei risultati anche le differenze che esistono tra diversi stati. L'EIS è un dataset, pubblicato ogni anno a partire dal 2014 dall'Unione Europea, composto da un insieme di indicatori che valutano le performance sotto diversi punti di vista dei vari stati Europei.

Il World Economic Forum definisce la competitività tra paesi come *«l'insieme di istituzioni e politiche che determinano il livello di produttività di un paese»*[1], mentre The Oxford Dictionary la definisce come *«l'abilità di un'economia di aumentare la domanda e mantenere alte le esportazioni»*[2].

Entrambe queste definizioni non sono molto precise, in quanto non individuano quali siano i fattori determinanti che contribuiscono a formare la competitività di un paese, ma invece indicano delle metriche per cercare di misurarla, come la produttività e il livello di esportazioni di un paese. Inoltre, entrambe queste definizioni si concentrano fortemente sull'aspetto economico della competitività di un paese, tralasciando altri fattori. Intuitivamente quando pensiamo ad un paese «competitivo», la sfera economica risulta essere certamente importante e determinante nel definire il livello di competitività di uno stato, ma non è l'unico aspetto da considerare. Vi sono, infatti, altri fattori che influiscono sul concetto di «competitività», i quali però non risultano essere altrettanto discussi e analizzati dalle istituzioni.

Con questa tesi il mio obiettivo invece è quello di sviluppare il concetto di «competitività» con lo scopo di individuare quali sono i fattori che la determinano e che la influenzano, utilizzando gli indicatori presenti nel European Innovation Scoreboard, per infine creare una classifica dei diversi stati europei che mostri quali sono i paesi più «competitivi». In aggiunta, si svilupperà anche il concetto di «incomparabilità», ossia di come di fronte ad una classifica, quanto possiamo porre a confronto i punteggi ottenuti da due differenti stati. Questa nozione aiuta anche a tenere sempre presente che i valori che si vogliono comparare non sono dei semplici numeri, ma esprimono concetti più profondi, non sempre facilmente identificabili da una nozione di «migliore» e «peggiore».

Una classifica multidimensionale sulla competitività può aiutare le istituzioni a comprendere quali sono gli elementi che la determinano e che la influenzano, andando così a fornire un supporto nel capire quali sono i settori ed i paesi che maggiormente necessitano di aiuti e finanziamenti per aumentare la loro competitività a livello europeo.

Queste informazioni possono fornire validi ed efficaci insights con il fine di avvantaggiare e favorire i paesi europei a livello internazionale, sotto un'ottica di cooperazione e solidarietà

tra stati membri, tenendo però sempre conto delle caratteristiche che compongono i singoli stati.

Prendendo in considerazione più dimensioni, oltre a quella prettamente economica, risulta assai più complesso e meno intuitivo creare una classifica della «competitività» tra paesi, questo perchè alcuni stati potrebbero avere performance maggiori su alcune dimensioni e minori su altre, andando così a creare contrasti difficilmente risolvibili. Date queste complessità ho utilizzato la teoria degli ordinamenti parzialmente ordinati (poset), che ha proprio lo scopo di formalizzare e generalizzare il concetto di «ordinamento». I poset sono *parzialmente ordinati* perchè non ogni coppia di elementi è comparabile, ossia vi sono delle incomparabilità, come nel caso in cui un paese abbia dei valori maggiori su alcuni indicatori e minori su altri, ma nonostante queste difficoltà gli ordinamenti parzialmente ordinati sono in grado di fornire un ordinamento *totalmente ordinato*, in cui ogni coppia di elementi, stati nel nostro caso, è comparabile.

Nella seconda sezione di questa tesi descriverò la teoria degli ordinamenti parzialmente ordinati e spiegherò come, nonostante sussistano delle incomparabilità tra gli elementi di un dataset, i poset sono in grado di fornire comunque un unico ordinamento finale e di come si possa anche ricavare un punteggio di «incomparabilità». Successivamente presenterò i dati utilizzati e descriverò le principali tecniche statiche e computazionali utilizzate nell'analisi dei dati. Infine presenterò i risultati e le conclusioni delle analisi.

## Capitolo 2

### Insiemi parzialmente ordinati

I poset (partially ordered set) sono insiemi parzialmente ordinati utilizzati in matematica, in particolare nella teoria degli ordini, per effettuare una riduzione della dimensionalità su dati di tipo ordinale. Lo scopo dei poset quindi, risulta essere quello di ridurre ad un ranking, ossia una struttura di tipo unidimensionale, un insieme di indicatori ordinali i quali si presentano come degli oggetti multidimensionali.

Gli indicatori di tipo ordinale sono ampiamente diffusi soprattutto in campo sociale e vengono utilizzati per esprimere idee e nozioni che per loro natura non possono essere rigorosamente ordinate secondo una scala metrica. Per esempio, i concetti legati alla sfera emotiva come la felicità, la soddisfazione ed il benessere vengono espressi tramite indicatori di questo tipo, inoltre appartengono alla famiglia dei dati ordinali tutti quegli indicatori che richiedono di esprimere un giudizio o un'opinione.

Il problema che si incontra con questo tipo di dati è quello di effettuare un'analisi statistica multivariata su un tipo di dato «non-matematico». Per ovviare a questo problema molto spesso si cerca di trasformare in una qualche maniera il dato ordinale in un dato numerico, per poi procedere con le usuali tecniche di analisi statistica che meglio si conciliano con i fini della ricerca.

Tralasciando il discorso su che tipo di risultati le canoniche tecniche di analisi possono produrre su dati la cui vera natura è non numerica, il problema che si pone è un altro e di natura ben più profonda; perchè dover necessariamente trasformare il dato? Questa idea si basa sul concetto che la forma in cui il dato viene naturalmente espresso sia in qualche modo sub-ottimale e di minor qualità rispetto al classico dato numerico. Eppure nella nostra quotidiana esperienza tutti noi facciamo largamente uso di questo tipo di dato; nella vita di tutti i giorni non esprimiamo i concetti e le nostre esperienze in numeri ma tramite le nozioni di «migliore» o «peggiore», «buono» e «meno buono», «bello» e «brutto». Perchè allora cercare di forzare e trasformare la vera natura del dato? Perchè assumere che la vera variabile latente sottostante al concetto che vogliamo esprimere sia numerica? Soprattutto, alla luce di questi nuovi concetti sarebbe ancora ragionevolmente sensato e attendibile interpretare come veritiero ciò che otteniamo come risultato?

Un nuovo e differente approccio è quello di cercare di mappare i dati come sono senza trasformazioni, ed è in questo campo che vengono utilizzati i poset. Tramite la teoria degli ordinamenti parzialmente ordinati si cerca di costruire una grammatica del dato multidimensionale che preservi la natura ordinale dello stesso.

## 2.1 Definizione

Di seguito viene fornita la definizione standard di poset.

Sia  $X$  un insieme e sia  $\leq$  una relazione binaria, tale che abbia le proprietà di;

- 1) Riflessività:  $x \leq x, \forall x \in X$
- 2) Antisimmetria:  $x \leq y$  e  $y \leq x \Leftrightarrow x = y, \forall x, y \in X$
- 3) Transitività:  $x \leq y$  e  $y \leq z \Rightarrow x \leq z, \forall x, y, z \in X$

Allora la coppia  $(X, \leq)$  è chiamata insieme parzialmente ordinato.

Un poset si presenta quindi come una relazione binaria tra un insieme  $X$  e la relazione d'ordine  $\leq$  con le proprietà sopraelencate di riflessività, antisimmetria e transitività.

La proprietà di riflessività ci garantisce che ogni elemento è relazionato con se stesso, mentre la proprietà di antisimmetria assicura che qualunque siano gli elementi di  $x$  e  $y$  appartenenti all'insieme  $X$ , le relazioni  $x \leq y$  e  $y \leq x$  non possono sussistere contemporaneamente quando  $x$  è diverso da  $y$ . Infine la proprietà di transitività afferma che se sussiste una relazione tra  $x$  e  $y$  e, a sua volta, sussiste una relazione tra  $y$  e  $z$ , allora esisterà anche una relazione tra  $x$  e  $z$ , con  $x, y$  e  $z$  appartenenti allo stesso insieme  $X$ .

## 2.2 Diagramma di Hasse

I poset possono essere rappresentati graficamente tramite il diagramma di Hasse, il quale prende il nome dal suo ideatore Helmut Hasse<sup>1</sup>(1898-1979). Esso si presenta come un grafo formato da un insieme di nodi uniti da archi orientati. Di seguito è riportato un esempio di un diagramma di Hasse.

Sia  $P = (\{a, b, c, d, e, f, g, h, i, l\}, \leq)$  un insieme parzialmente ordinato. Un possibile diagramma di Hasse associato può essere, il seguente;

---

<sup>1</sup>Helmut Hasse fu un matematico tedesco che lavorò nel campo della teoria algebrica dei numeri, fondamentali sono i suoi contributi alla teoria dei campi[3].

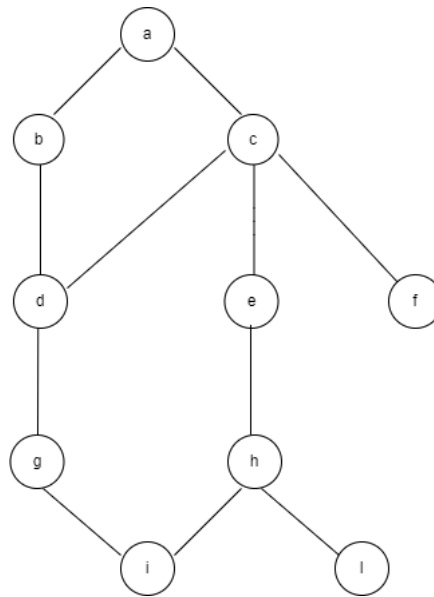


Figura 2.1: Diagramma di Hasse del poset P

Il diagramma si legge dall'alto verso il basso e due generici elementi sono tra loro comparabili se risultano essere uniti da una sequenza discendente di archi; nel caso in cui questa sequenza discendente di archi non dovesse essere presente i due elementi sono incomparabili. Nell'esempio proposto nella Figura 2.1 gli elementi «a» e «b» sono comparabili, mentre «b» e «f» sono incomparabili, in quanto non vi è una sequenza discendente di archi ad unire questi due elementi.

Tramite questa lettura il poset può essere interpretato come un insieme di coppie di elementi che possono essere tra loro comparabili o non comparabili.

Ai fini di comprendere appieno il diagramma di Hasse è necessario introdurre un ulteriore concetto di fondamentale importanza per gli ordinamenti parzialmente ordinati; la nozione di copertura.

L'idea sottostante alla relazione di copertura è che un elemento *domina* un'altro elemento se e solo se vi è una successione di «coperture» che lega i due elementi. Nell'esempio in Figura 2.1 «a» copre «b» perchè «sta sopra» a quest'ultimo. A sua volta «b» domina «d» e per la proprietà di transitività «a» domina a sua volta «d». Si formano così insiemi di coppie comparabili o incomparabili, ed in tal senso possiamo dire che la relazione di copertura genera la relazione d'ordine, dato che quest'ultima è ottenuta seguendo transitivamente gli archi che collegano i punti.

Quando un elemento domina tutti gli altri assume il nome di *massimo*. In Figura 2.1 «a» è un massimo, appunto perchè domina tutti gli altri elementi. Nel diagramma di Hasse soprarappresentato, non sono presenti *minimi*, in quanto nessun elemento viene dominato da tutti, ma sono invece presenti dei *minimali*, elementi che non dominano nessuno ma non sono dominati da tutti. Nell'esempio illustrato precedentemente i minimali risultano essere gli elementi «f», «i» ed «l».

Una rappresentazione di un diagramma di Hasse in cui sono presenti *minimi* e *massimali*, è la seguente;

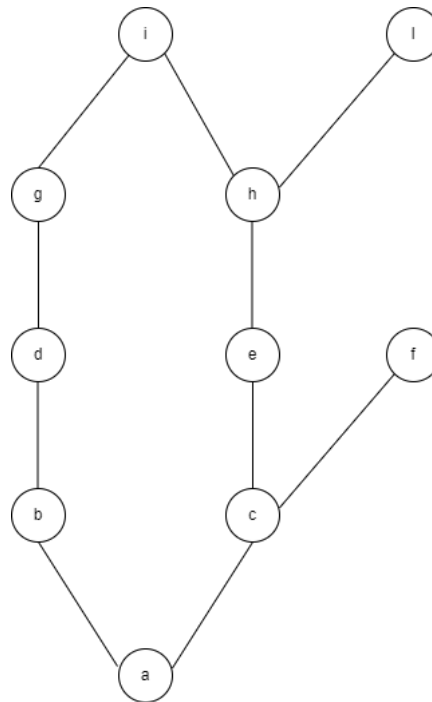


Figura 2.2: Diagramma di Hasse del poset P

Nella Figura 2.2 l'elemento «a» è un minimo, perchè viene dominato da tutti gli elementi, mentre «i», «l», «f» sono dei massimali, in quanto non vengono dominati da nessuno ma non dominano tutti.

Un poset con un numero finito di elemento ammette sempre minimi e massimali, ma non sempre ha massimo o minimo.

In un insieme parzialmente ordinato un sottoinsieme di elementi tutti fra loro comparabili viene chiamato *catena*. Nella Figura 2.3 un esempio di catena è dato dal sottoinsieme composto dagli elementi «a»-«b»-«d»-«g»-«i»

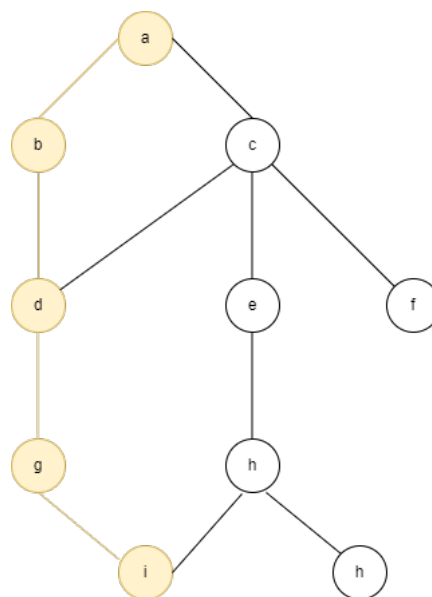


Figura 2.3: Evidenziata una catena



Le antichatene invece sono sottoinsiemi costituiti da elementi tutti fra loro incomparabili, come riportato nella Figura 2.4.

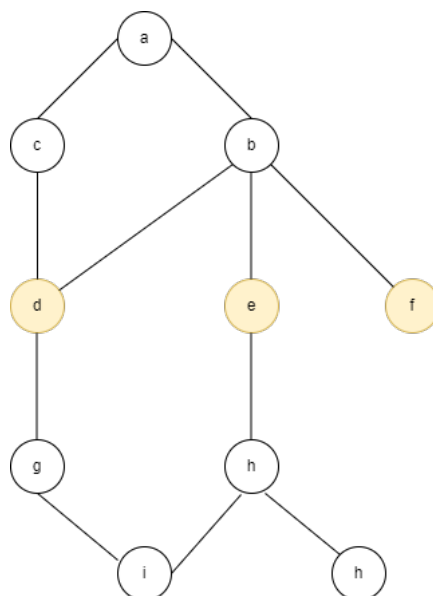


Figura 2.4: Evidenziata una antichatena

Le antichatene aggiungono ricchezza nella comprensione del dato ordinale poichè esprimono la nozione di *incomparabilità*, propria dei dati non numerici. I dati di tipo ordinale presentano diverse sfaccettature e sfumature che compongono il fenomeno in studio. Normalmente gran parte di questo tipo di informazione andrebbe persa con i classici approcci numerici, ma tramite gli insiemi parzialmente ordinati siamo in grado di costruire un oggetto formale non euclideo in grado di catturare alcune caratteristiche importanti dei nostri dati e di ricavarne dell'informazione, senza però trasformare e snaturare il dato dalla sua forma originaria con una conseguente perdita di informazione.

## 2.3 Estensioni lineari

Un'estensione lineare è un ordinamento completo che contiene tutte le comparabilità del poset di input. L'idea è quella di trasformare alcune incomparabilità in comparabilità, in modo tale da ottenere un ordinamento completo che contiene tutte le comparabilità del poset di partenza. Per ottenere questo risultato si aggiunge comparabilità al poset finchè non si ottiene un ordinamento parzialmente ordinato che non può più essere esteso perchè è diventato lineare.

Gli oggetti che si creano da questo processo prendono il nome di *estensioni lineari*. *Estensioni* poichè aggiungendo comparabilità si estende l'insieme delle coppie comparabili del poset, *lineari* perchè non vi sono più incomparabilità.

Sia  $P_1 = (\{a, b, c, d, e\}, \leq)$  un poset, l'insieme delle sue estensioni lineari sono rappresentate in Figura 2.5 insieme al poset stesso.

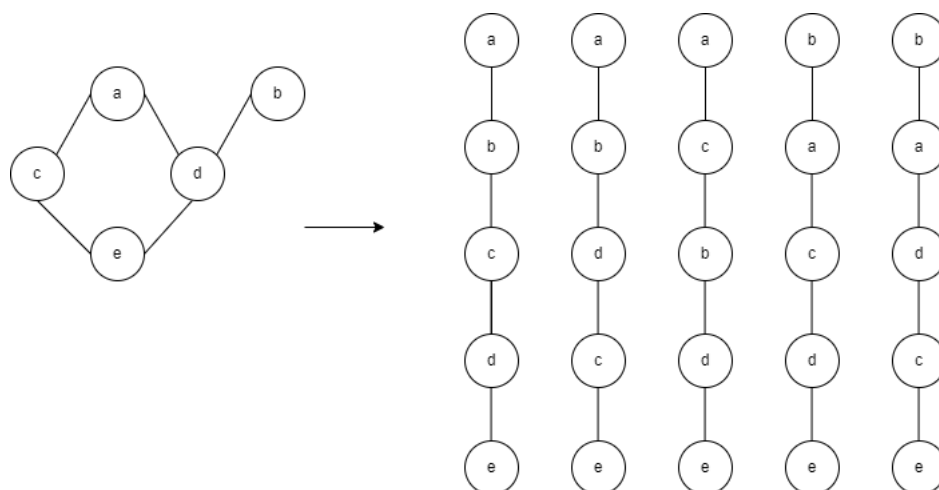


Figura 2.5: Tutte le sole ed uniche estensioni lineari del poset  $P_1$

Le estensioni lineari permettono di ricostruire univocamente il poset di partenza, difatti le comparabilità del poset sono tutte e solo le comparabilità comuni al suo insieme di estensioni lineari. Nell'esempio sopraillustrato possiamo vedere come l'elemento «e», il quale è un minimo, si trovi sempre all'ultimo posto in tutte e cinque le differenti estensioni lineari, mentre gli elementi «a» e «b», i quali sono entrambi due massimali, siano sempre al primo posto nelle diverse estensioni lineari. L'elemento «a» domina più elementi di quanti non ne domini «b», intuitivamente quindi anche se «a» e «b» non sono comparabili si sviluppa il concetto che «a» «è maggiore» in qualche modo di «b». Questa intuizione si riproduce nell'estensione lineare nel fatto che «a» è più spesso al primo posto rispetto all'elemento «b».

Di fatto possiamo osservare come queste catene sono ottenute ordinando, in tutti i diversi possibili modi, le coppie incomparabili del poset di partenza, senza però andare a modificare le comparabilità già esistenti. Perciò possiamo affermare che un poset è equivalente alle sue estensioni lineari, ed attraverso di esse siamo in grado di trasformare un problema descritto da una struttura complessa a più dimensioni in una struttura unidimensionale più semplice.

In termini pratici ciò che si ottiene è che l'analisi statistica su un ordinamento parzialmente ordinato può, nella maggior parte dei casi, essere ricondotta all'analisi delle sue estensioni lineari, proprio grazie al fatto che queste individuano univocamente un poset. Come conseguenza, non si lavora più con degli oggetti multidimensionali, ma con degli ordinamenti completi semplici, i quali sono riconducibili a variabili ordinali multidimensionali.

Fin ora abbiamo introdotto il concetto di ordinamento parzialmente ordinato e le principali problematiche legate all'analisi di insiemi di indicatori ordinali. I diagrammi di Hasse e le estensioni lineari sono differenti espressioni di un poset, che rappresentano e mantengono le fondamentali nozioni di comparabilità, e di conseguenza di incomparabilità, che rendono i poset così particolari e non banali da analizzare e comprendere, soprattutto da un punto di vista matematico-statistico. Tuttavia questi elementi non bastano per avere una profonda comprensione dell'argomento e per effettuare una attenta analisi dei fenomeni qualitativi. Per questi motivi, sempre nell'ambito della teoria degli insiemi di cui fanno parte gli insiemi parzialmente ordinati, vi sono altri elementi che permettono, sempre mantenendo le nozioni di comparabilità ed incomparabilità, di studiare e modellizzare il problema da una prospettiva matematica.

A differenza dei canonici metodi utilizzati per l'analisi di dati ordinali discussi precedentemente, le tecniche esposte di seguito hanno la peculiarità e la caratteristica di conservare l'ordine

naturale dei dati ordinali.

## 2.4 Rappresentazione matriciale di un insieme parzialmente ordinato

Gli insiemi parzialmente ordinati possono essere rappresentati anche sotto forma matriciale, tramite le matrici  $Z$  di *dominanza* e la matrice  $G$  di *copertura*. Di seguito vengono proposte le matrici  $G$  e  $Z$  per il poset  $P_1$  rappresentato in Figura 2.5.

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad G = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Le colonne e le righe di ambe due le matrici rappresentano gli elementi del poset  $P_1 = (\{a, b, c, d, e\}, \leq)$

La matrice di copertura  $G$  rappresenta lo scheletro della relazione d'ordine; presenta degli «1» se un elemento copre un altro e «0» altrimenti. Mentre la matrice di dominanza  $Z$  esprime la relazione d'ordine in senso vero e proprio, l'«1» è presente se e solo se un elemento domina un altro e «0» altrimenti. Per definizione ogni elemento domina se stesso, perciò la matrice  $Z$  presenta tutti «1» sulla diagonale principale.

Nell'esempio soprariportato l'elemento  $Z_{1,3}$  è uguale ad 1 perchè «a» domina «c», e per transitività «a» domina «e», perciò l'elemento di  $Z_{1,5}$ , che rappresenta la coppia «a»-«e», è sempre pari ad 1. Nella matrice  $G$  invece, dato che vengono riportate solo le relazioni di copertura l'elemento di  $G_{1,3}$  è sempre pari ad 1, dato che «a» copre «c», ma a differenza della relazione di dominanza, la relazione di copertura non è transitiva, perciò «a» non copre «e», da cui l'elemento  $G_{1,5}$  è pari a 0.

Un'ulteriore rappresentazione matriciale dei poset si ha tramite la matrice di *mutual ranking probabilities* (MRP), la quale rappresenta al suo interno la quota di estensioni lineari in cui un elemento domina un'altro. Infatti i valori all'interno della MRP si ottengono tenendo conto di quante volte l'elemento  $i$ -esimo domina l'elemento  $j$ -esimo, pertanto questa matrice esprime quanto intensamente i punti si dominano a vicenda. Inoltre si nota anche come la matrice MRP identifica univocamente il poset in quanto «contiene» al proprio interno la matrice di dominanza  $Z$ . Di seguito vi è la rappresentazione della matrice  $M$  di mutual ranking probabilities del poset  $P_1$ .

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0,6 & 1 & 0,2 & 0 & 0 \\ 1 & 0,8 & 1 & 0,4 & 0 \\ 1 & 1 & 0,6 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Il valore di  $M_{1,2}$  indica che nel 40% delle volte l'elemento «b» domina «a», allo stesso modo  $M_{2,1}$  pari a 0,60 indica che nel 60% delle volte «a» domina «b». L'elemento «e», è un minimo

in quanto viene sempre dominato da tutti gli altri elementi, di conseguenza la quinta ed ultima riga della matrice presentano tutti valori unitari. Come nella matrice di dominanza  $Z$  anche nella matrice  $M$  ogni elemento domina se stesso, perciò la diagonale principale presenta tutti gli elementi pari ad 1. In questo modo i valori all'interno della matriche di mutual ranking probabilities rappresentano proprio la quota di estensioni lineari che classificano l'elemento  $i$ -esimo sopra l'elemento  $j$ -esimo. La matrice di MRP risulta di fondamentale importanza perchè da essa si estrae successivamente l'informazione necessaria per creare il ranking finale. L'idea alla base è che dato che ogni colonna esprime quanto quell'elemento domina gli altri, di conseguenza la media della colonna indicherà quanto un punto tende ad essere dominante rispetto a tutti gli altri punti e questo si presenta come un primo approccio alla costruzione di un ranking finale. Il raking è una struttura unidimensionale perciò per ottenerlo si richiede di effettuare una riduzione della dimensionalità della matrice di MRP  $n \times k$ . Vi sono differenti tecniche che effettuano la riduzione della dimensionalità, ma la più utilizzata è la Singular Value Decomposition(SVD).

## 2.5 Singular Value Decomposition

La *Singular Value Decomposition*(SVD) è ritenuta la soluzione ottimale a qualunque problema di approssimazione dei dati di input[4]. All'interno della teoria degli insiemi parzialmente ordinati è utilizzata per effettuare un'ottimale riduzione della dimensionalità sulla matrice di mutual ranking probabilities. L'idea alla base è che una matrice  $X$ , complessa o reale di dimensione  $m \times n$  si possa scrivere come il prodotto di tre matrici;  $U$ ,  $D$ ,  $V$ .

$$X = UDV^t \quad (2.3)$$

dove;

- $U$  è una matrice  $n \times k$  le cui colonne sono ortonormali.
- $D$  è una matrice diagonale  $k \times k$  i cui elementi sulla diagonale sono i valori singolari della matrice  $X$  in ordine decrescente.
- $V$  è una matrice ortogonale  $k \times k$  le cui righe e colonne sono ortonormali.

Vi è una duplice interpretazione del risultato della decomposizione a valori singolari.

In un primo caso possiamo effettuare la seguente assimilazione:

$$X = UDV^t = AV^t \quad (2.4)$$

Con  $A = UD$ .

In questo caso ogni profilo della matrice  $X$  viene ricostruito come somma pesata delle righe ortonormali di  $V^t$ , con pesi nelle righe di  $A$ . Di conseguenza le righe di  $A$  appaiono come le coordinate delle righe della matrice  $X$  sulla base formata dalle righe ortonormali di  $V^t$ , ciò significa che esse contengono l'informazione necessaria a ricostruire le righe di  $X$ , una volta scelta la base di riferimento data dalle righe di  $V^t$ .

Nel secondo caso possiamo vedere la decomposizione a valori singolari nel seguente modo;

$$X = UDV^t = UQ \quad (2.5)$$

Con  $Q = DV^t$ .

Così facendo la base vettoriale è data dalle righe di  $Q$  e le righe di  $U$  sono i coefficienti della combinazione lineare che trovano le righe di  $X$ . Bisogna però porre attenzione al fatto che le righe di  $Q$  sono date dalle righe di  $V^t$  moltiplicate per i valori singolari, perciò non sono più normalizzate. Questo non pone di per sé dei problemi, si tratta semplicemente di una scelta da compiere durante l'analisi.

Possiamo quindi affermare che tramite la decomposizione a valori singolari(2.3) noi identifichiamo le coordinate  $UD$  che costruiscono la matrice  $X$  sulla base formata dalle righe ortonormali di  $V^t$ , come risultato si ha che conoscere  $UD$  equivale a conoscere la matrice originale  $X$ .

La SVD è definita come la *soluzione ottimale* a qualunque problema di approssimazione dei dati di input, ma cosa garantisce questa ottimalità della decomposizione a valori singolari rispetto ad altre tecniche di riduzione della dimensionalità?

La risposta si trova nel Teorema di Eckart-Young il quale stabilisce come costruire la matrice  $\hat{X}$  che meglio approssima la matrice di input  $X$  nella norma di Frobenius<sup>2</sup>. Di seguito viene enunciato il teorema di Eckart-Young;

Sia  $X$  una matrice  $n \times k$  di rango  $k \leq n$ , sia  $0 < p \leq k$  un intero fissato e sia  $X = UDV^t$  la decomposizione a valori singolari di  $X$ . Indichiamo con  $U_{[p]}$  la matrice  $n \times p$  composta dalle prime  $p$  colonne di  $U$ , con  $V_{[p]}$  la matrice  $k \times p$  composta dalle prime  $p$  colonne di  $V$  e con  $D_{[p]}$  la matrice  $p \times p$  composta dalle prime  $p$  righe e prime  $p$  colonne di  $D$ . La matrice

$$\hat{X} = U_{[p]} D_{[p]} V_{[p]}^t = \sum_{i=1}^p \sigma_i Z_i \quad (2.6)$$

minimizza la distanza  $\|X - \hat{X}\|_F$  nell'insieme delle matrici  $n \times k$ , di rango  $p$ .

Con questa scrittura il Teorema di Eckart-Young ci permette di vedere la decomposizione a valori singolari come la sovrapposizione di  $p$  layers(strati) tutti con rango unitario, pesati per i valori singolari  $\sigma_i$ .

La SVD effettua la riduzione della dimensionalità ponendo a zero i valori oltre il  $p$ -esimo nella matrice  $D$ , ciò significa che i valori da  $p+1$  a  $k$  sono tutti nulli, di conseguenza restano solo  $k-p$  valori singolari non nulli. Ponendo a zero i valori singolari sulla matrice  $D$  vengono anche «annullati» i  $k-p$  valori delle colonne di  $U$  e righe di  $V^t$ . Di conseguenza la matrice  $\hat{X}_{n \times k}$  ha  $k$  colonne ma è di rango  $p$ . Come risultato ottengo che le righe della matrice approssimante  $\hat{X}$  sono  $k$  dimensionali ma scrivibili come combinazione lineare di  $p$  vettori linearmente indipendenti.

La SVD è unica se i valori singolari della matrice  $A$  sono positivi, non crescenti e non degeneri, inoltre la decomposizione a valori singolari è resistente alle permutazioni delle colonne di  $U$  e di  $V$ . Nella pratica perciò la SVD è unica, perchè anche se si scelgono diverse basi vettoriali e diversi coefficienti lineari ciò che si ottiene è solo una diversa interpretazione della stessa matrice di input  $X$ .

---

<sup>2</sup>La norma di Frobenius  $\|M_F\|$  di una matrice  $M$   $n \times k$  è definita come  $\|M_F\| = \sqrt{\text{Tr}(M^t M)}$

## 2.6 Sistemi di indicatori multidimensionali

All'atto pratico ciò che accade è che si devono gestire dei sistemi di indicatori multidimensionali (SMI), i quali si presentano come un insieme di  $k$  variabili congiuntamente rilevate su una data popolazione. Ad ogni unità statistica viene attribuito un punteggio, o in grado, su ogni variabile ed infine questi valori si presentano come una configurazione di punteggi sulle  $k$  variabili in studio.

Lo scenario sopra descritto è assai comune, se si pensa che una qualsiasi indagine statistica non si limita a raccogliere informazioni per una determinata variabile, ma cerca di recuperare quanta più informazione possibile e come risultato ci si ritrova con diverse centinaia di punteggi (profili) per ogni unità statistica.

La complessità, in questo tipo di analisi, è quella di tentare di costruire un qualche tipo di ordinamento, in modo tale da poter creare un unico *ranking*, ossia un ordinamento unidimensionale di facile e immediata comprensione. Quest'ordinamento però deve avere la fondamentale proprietà di preservare l'ordine dei profili, questo significa che se un profilo domina un altro nello SMI voglio che questa dominanza venga mantenuta anche nel ranking finale. Ciò che stiamo cercando quindi è una mappa che effettua la riduzione della dimensionalità da un insieme di indicatori multidimensionali ad un ranking che preservi l'ordine in maniera stretta.

Siano  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5$  cinque variabili ordinali valutate su  $k = 5$  scale con un numero di gradi  $g_i, \dots, g_j$  con  $j = 4$ , rilevate su  $u_1, \dots, u_7$  unità statistiche. Alla generica unità statistica  $u_i$  corrisponde un profilo di punteggi ordinali  $p_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{i7})$  costituito dai diversi gradi che l' $i$ -esima unità statistica assume sulle  $k$  variabili (Tabella 2.1).

	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
$u_1$	1	4	2	3	1
$u_2$	1	1	2	4	2
$u_3$	4	4	1	3	3
$u_4$	3	2	3	3	1
$u_5$	1	4	3	3	1
$u_6$	1	1	2	4	3
$u_7$	2	3	3	2	2

Tabella 2.1: Struttura di un sistema multidimensionale di indicatori ordinali

Il nostro obiettivo è costruire un ordinamento basato sui confronti tra diversi profili, ma per poterlo effettuare si rende necessario introdurre la nozione di ordinamento prodotto.

L'ordinamento prodotto è un criterio d'ordine per, appunto, ordinare diversi profili. Dati due profili  $p_i$  e  $p_j$  con  $j \neq i$ , si dice che il profilo  $p_j$  domina il profilo  $p_i$ , se e solo se, i gradi di  $p_j$  sono tutti non inferiori a quelli di  $p_i$  e almeno uno è superiore, in tal caso scriveremo  $p_i \prec p_j$ .

Se l'unità  $u_i$  presenta punteggi più elevati o non inferiori a  $u_j$  su tutte le variabili, allora  $u_i$  avrà un punteggio maggiore rispetto a  $u_j$ . Utilizzando questo criterio è lampante il fatto che non è possibile ordinare in moto totale le diverse unità statistiche, a causa di punteggi «in conflitto», ossia nel caso in cui un'unità abbia punteggi maggiori su alcune variabili ma minori su altre. Ma alcuni confronti tra unità sono tuttavia possibili, permettendo di ottenere un ordinamento

parzialmente ordinato su sistemi di indicatori multidimensionali.

Lo scopo è quello di creare un ranking unidimensionale a partire da confronti multidimensionali fra unità statistiche, per ottenere questo risultato ad ogni profilo si attribuisce un punteggio e successivamente si ordinano questi punteggi in ordine decrescente creando così una classifica. Il punteggio attribuito ad ogni profilo esprime quanto quel profilo tende a dominare gli altri, creando così una nozione di «somiglianza» in base al punteggio ottenuto. Di conseguenza, in base alla distribuzione dei punteggi è possibile anche identificare cluster o pattern di profili, oltre che ad ottenere una classifica finale.

Di seguito viene presentata la procedura utilizzata per ottenere il ranking[5];

1. Si crea l'insieme  $\pi$  che contiene tutti i possibili profili originati dai punteggi degli attributi presenti nel sistema di indicatori multidimensionali. La cardinalità di  $\pi$  è pari a  $|\pi| = g_1 \cdot g_2 \dots g_j$
2. Utilizzando il criterio dell'ordinamento prodotto si struttura in un insieme parzialmente ordinato  $\pi$ , il quale rappresenta lo «spazio» in cui collocare il calcolo dei punteggi dei profili. Lo spazio  $\pi$  generalmente conterrà al suo interno sia i profili osservati nel dataset che quelli non osservati. I profili non osservati hanno un valore prezioso, perchè aiutano a definire i gradi di dominanza anche fra i profili osservati.
3. Successivamente si costruisce l'insieme  $\Omega(\pi)$  di tutte le possibili estensioni lineari di  $\pi$ . L'insieme  $\Omega(\pi)$  rappresenta l'insieme di tutti i possibili ordinamenti lineari di elementi che appartengono a  $\pi$  che non violino le sue comparabilità.
4. Per ogni coppia di profili  $p_i$  e  $p_j$  appartenenti a  $\pi$ , si calcola la matrice di MRP, la quale al suo interno contiene la frazione  $P_{ij}$  di estensioni lineari nelle quali  $p_j$  domina  $p_i$ .
5. Dopodichè si effettua la decomposizione a valori singolari della matrice  $P$ ,  $P = UDV^t$  e si estrae la prima colonna  $v = (v_i, \dots, v_k)^t$  della matrice  $V$ , i cui elementi rappresentano il grado di dominanza di ciascun profilo sugli altri.
6. Infine, ordinando i vari profili in ordine decrescente si ottiene la classifica finale.

Questa procedura descrive il processo di creazione di un ranking unidimensionale a partire da un sistema di indicatori multidimensionali, nella prossima sezione invece discuterò del concetto, estremamente importante, di incomparabilità.

## 2.7 Incomparabilità

La trasformazione dei dati che avviene passando da un Insieme Parzialmente Ordinato ad un unico ranking unidimensionale comporta, ovviamente, una forzatura dei dati originali, oltre che una perdita di informazioni, questo perchè, come già spiegato nelle sezioni precedenti, le incomparabilità tra i diversi profili vengono eliminate, ma ai fini di cercare di tenere conto di questa perdita di informazione è possibile calcolare un punteggio di incomparabilità per ogni profilo. Questo punteggio esprime non solo quanto stiamo distorcendo i dati originali nel posizionare un generico profilo nella posizione  $i$ -esima, ma ci fornisce anche un'idea dell'incertezza con cui leggere i valori nella classifica. Bisogna sempre ricordare, infatti, come i punteggi siano sempre ottenuti da indicatori multidimensionali e il valore che vediamo nella classifica è solo una sintesi; per esempio due profili, potrebbero anche essere poco confrontabili sul piano logico, perchè si trovano in situazioni molto diverse sul piano multidimensionale ed il punteggio di incomparabilità tiene conto proprio di questo. Se il punteggio di incomparabilità è alto significa che un profilo è stato molto distorto, inoltre il valore che ha ottenuto nel ranking è "meno sensato" rispetto a quegli elementi che hanno ottenuto un valore basso di incomparabilità. A causa della grande rilevanza logica che il punteggio di incomparabilità ha, è spesso consigliato calcolarlo, ma soprattutto di tenerne conto quando si legge la classifica finale.

Per calcolare il punteggio di incomparabilità si parte dalla matrice di Mutual Raking Probabilities e si costruisce un'ulteriore matrice, chiamata LIM (*Lexicographic Incomparability Matrix*), ossia Matrice di Incomparabilità Lessicografica.

I valori all'interno di quest'ultima matrice si ricavano prendendo per ogni coppia riga-colonna  $ij$  e per ogni coppia colonna-riga  $ji$  della matrice di MRP il valore minimo e lo si pone nella posizione  $ij$  e  $ji$  della matrice LIM. Formalmente;  $LIM_{ij} \leq \min(MRP_{ij}, MRP_{ji})$ . La matrice LIM, perciò risulta essere una matrice simmetrica e per definizione presenta tutti valori nulli sulla diagonale. Nel seguente esempio si propone la matrice LIM ricavata dalla matrice di MRP in 2.2.

$$LIM = \begin{pmatrix} 0 & 0,4 & 0 & 0 & 0 \\ 0,4 & 0 & 0,2 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Come si può notare la matrice è simmetrica e presenta valori nulli sulla diagonale. L'elemento  $LIM_{2,1}$  coincide con  $LIM_{1,2}$  ed è pari a 0,4, questo perchè nella matrice di MRP  $M$  presentata al punto 2.2, il valore di  $M_{2,1}$  è pari a 0,60, mentre  $M_{1,2}$  è pari a 0,40, di conseguenza dato che per costruire la matrice LIM prendiamo il più piccolo dei due valori e la matrice è simmetrica, gli elementi  $LIM_{2,1}$  e  $LIM_{1,2}$  sono uguali e pari a 0,40. Con il medesimo criterio vengono calcolati gli altri elementi della matrice LIM.

Una volta ottenuta la matrice LIM, si prosegue poi ad effettuare una riduzione della dimensionalità, per lo scopo di queste analisi è sempre stata utilizzata la SVD, per poi ottenere come risultato finale un punteggio di incomparabilità.

In questo capitolo ho descritto le principali nozioni teoriche della teoria degli ordinamenti parziali, nel prossimo capitolo descriverò le mie analisi statistiche.



# Capitolo 3

## Analisi

Lo scopo della mia analisi è quello di sviluppare il concetto di «competitività» tra diversi stati a partire dal dataset del European Innovation Scoreboard(EIS) dell’Unione Europea; i dati dell’EIS vengono raccolti e rilasciati ogni anno ed hanno lo scopo di valutare le performance dei vari stati europei sotto diversi aspetti.

Utilizzando gli indicatori presenti nel dataset si è cercato di costruire il concetto di «competitività» scomponendolo nelle sue dimensioni caratterizzanti, successivamente dopo aver calcolato una classifica degli stati più competitivi per ogni dimensione, verrà anche calcolato un punteggio di «incomparabilità» per ogni stato, il quale ha il duplice scopo di fornire informazioni su quanto sia distorto il valore ottenuto nella classifica e di permettere una più chiara interpretazione ed un più cristallino confronto tra gli stati, come già spiegato nel secondo capitolo di questa tesi.

Per le analisi è stato utilizzato il software open source R, version 4.1.1 (2021-08-10). In particolare sono state utilizzate le librerie `dplyr`, `funModeling`, `parsec` e `netrankr`.

La libreria `dplyr` è stata creata da Hadley Wickham<sup>3</sup> e Romain Francois<sup>4</sup> con lo scopo di fornire una serie di strumenti molto ampi per lavorare e manipolare dataframe, la libreria `funModeling` è una delle librerie più utilizzate per analisi esplorative e la preparazione dei dati alle analisi creata da Pablo Casas<sup>5</sup>, mentre la libreria `parsec` comprende strumenti per l’analisi degli Insiemi Parzialmente Ordinati, con una particolare attenzione ai sistemi di indicatori multidimensionali, realizzata da Alberto Arcagni <sup>6</sup>. Infine, la libreria `netrankr` che permette di utilizzare metodi legati all’analisi di ranking parziali nelle reti, è stata ideata da David Schoch<sup>7</sup>.

---

<sup>3</sup>Hadley Alexander Wickham è uno statistico neozelandese direttore scientifico di RStudio Inc. e professore aggiunto in diversi atenei, tra cui la Stanford University[6].

<sup>4</sup>Romain Francois lavora attivamente nella R community ed è l’autore e cooperatore di diverse altre librerie su R come `Rcpp` e `plyr`[7]

<sup>5</sup>Pablo Casas è data scientist e professore di AI all’Università di Buenos Aires[8].

<sup>6</sup>Alberto Arcagni è prefessore associato di statistica all’Università Sapienza di Roma[9].

<sup>7</sup>David Schoch è uno studente post-doc all’Università di Konstanz in Germania[10].

### 3.1 Descrizione dei dati

Sono stati scaricati i dati dell'EIS, dal 2014 al 2021, dal sito dell'Unione Europea<sup>8</sup>[11]. I dati dell'EIS vengono raccolti e pubblicati dal 2001 e, durante il corso degli anni gli indicatori utilizzati hanno subito delle variazioni. Queste modifiche sono state effettuate per migliorare attivamente la qualità delle analisi ed assicurarsi che i risultati riflettano i cambiamenti economici, politici, demografici e sociali degli stati.

Il dataset si presenta composto da otto variabili e 71514 osservazioni. La variabile *Perf* esprime il voto finale ottenuto da ciascuno stato nei diversi indicatori; ha quattro possibili valori «Leader», «Strong», «Moderate» e «Emerging». «Leader» viene assegnato a tutti quei paesi che hanno ottenuto una performance relativa maggiore del 125% rispetto alla media europea. «Strong» viene, invece, assegnato ai paesi che hanno avuto una performance relativa tra il 100% ed il 125% rispetto alla media europea. Mentre «Moderate» viene applicato a tutti quegli stati che hanno ottenuto una performance tra il 70% ed il 100%, sempre rispetto alla media europea. Infine «Emerging» viene assegnato ai paesi che hanno ottenuto una performance al di sotto del 70% rispetto alla media europea<sup>9</sup>[12].

La variabile *Year* assume tutti i valori dal 2014 al 2021, ed appunto, indica l'anno a cui si riferisce ogni indicatore.

Vi sono quattro diverse variabili che forniscono indicazioni geografiche, esse sono le variabili *Country*, *CountryName*, *Region* e *Zone*. Le variabili *Country* e *Region* riportano la stessa informazione, ossia il nome del paese in formato ISO 3166-1 alpha 2<sup>10</sup>, mentre *CountryName* invece indica il nome del paese in inglese. La variabile *Zone* indica se il paese appartiene o meno all'Unione Europea, infatti oltre i ventisette paesi che compongono l'Unione Europea (Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Croazia, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Ungheria) sono presenti anche undici paesi che non ne fanno parte, questi sono: Islanda, Israele, Norvegia, Regno Unito, Bosnia ed Erzegovina, Montenegro, Nord Macedonia, Serbia, Svizzera, Turchia ed Ucraina. Data la rindondanza di informazione di tipo geografico si è provveduto a tenere in analisi solo la variabile *CountryName*.

Infine la variabile *Indicator* ha come possibili valori i settantasei diversi indicatori presenti nel dataset, questo perchè in forma originaria gli indicatori raccolti non sono stati presentati come variabili, quindi come colonne, ma come osservazioni, quindi come righe. Ai fini di consentire una migliore comprensione dei dati e per agevolare le analisi, i dati sono stati posti nel classico formato «indicatori × per unità statistiche» dove le colonne sono gli indicatori e le righe i diversi stati.

Infine la variabile *Value* esprime, per ogni indicatore il suo valore numerico. Può assumere sia valori positivi che negativi ed ha un minimo pari a -19,862 ed un massimo pari a 1620,017

Di seguito viene riportata una tabella dove vengono evidenziate le principali informazioni

---

<sup>8</sup><https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard/eis>

<sup>9</sup>[https://www.eurostat.eu/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111\\_c.pdf](https://www.eurostat.eu/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111_c.pdf)

<sup>10</sup>ISO 3166-1 alpha 2 è un sistema di codificazione dei paesi del mondo a due cifre.

per ogni variabile qualitativa;

Nome variabile	Tipo	Numero livelli
Indicator	qualitativa	76
Perf	qualitativa	4
Year	qualitativa	7
Zone	qualitativa	2
Country	qualitativa	38
CountryName	qualitativa	38
Region	qualitativa	279
RegionName	qualitativa	279

Tabella 3.1: Tabella delle variabili

Solo l'1,89% delle osservazioni presentano dati mancanti, perciò ai fini dell'analisi si è deciso di porre queste osservazioni pari a zero. Questo perché l'eliminazione di queste righe avrebbe portato ad una perdita di informazione, inoltre dato lo scarso numero di osservazioni che presentano questo problema, la sostituzione effettuata non avrà grandi ripercussioni sulle analisi.

Come già accennato precedentemente la variabile **Indicator** presenta come valori i 76 indicatori che formano l'EIS, cosicché per agevolare le analisi si è proceduto a porre gli indicatori nella più usuale forma di colonna.

Da un'attenta analisi ed osservazione emergono quattro grandi dimensioni in cui ricadono tutti gli indicatori utilizzati; Economia, Demografia, Istruzione ed Innovazione.

L'economia viene definita come *«il sistema e l'organizzazione dei mercati, risorse, della produttività e del complesso di scambi, produzioni e commerci di beni e servizi, dei sistemi di finanziamenti, investimenti e di fondazione di attività economiche in ogni settore, di ogni dimensioni e ad ogni scopo»*<sup>11</sup>[13]. In questa categoria perciò rientrano tutti quegli indicatori che hanno un legame, diretto o indiretto con il commercio, la circolazione di beni, servizi e materie prime, oltre che i più conosciuti indicatori come il GDP(Gross Domestic Product).

La demografia invece viene definita come *«lo studio quantitativo, fondato sull'indagine statistica, dei fenomeni concernenti la popolazione»*<sup>12</sup>[14], appartengono a questa dimensione alcuni tra i più semplici indicatori demografici, come il tasso di crescita annuale della popolazione e la sua densità.

Nella dimensione dell'istruzione rientrano principalmente tutti quegli indicatori che misurano, direttamente o indirettamente, il grado di scolarità della popolazione di uno stato, ma fanno sempre parte di questa categoria anche gli indicatori che valutano quanto è attivo ed attrattivo il sistema educativo nazionale.

L'innovazione è forse la dimensione più difficilmente definibile e inquadrabile, cionondimeno ho cercato di fornire, in modo molto intuitivo, una definizione che potesse aiutarmi a meglio definire questa categoria. In questa analisi la dimensione dell'innovazione è stata intesa come quei settori, all'interno della politica e delle istituzioni di uno stato, che hanno lo scopo di migliorare servizi o beni esistenti, con una particolare attenzione alle tecnologie dell'informazione e alle tematiche ambientali.

<sup>11</sup><https://it.wikipedia.org/wiki/Economia>

<sup>12</sup>Britannica Dictionary

Di seguito vengono riportare quattro differenti tabelle che mostrano, per ogni dimensione, quali indicatori la compongono.

<b>Economia</b>	
2.1	Finance and support
2.2	Firm investments
4.1	Employment impacts
4.2	Sales impacts
5.2.1	Enterprise births
5.4.1	Ease of starting a business
2.1.2	Venture capital expenditures
2.1.3	Direct and indirect government support of business R&D
2.2.1	R&D expenditure in the business sector
2.2.2	Non-R&D innovation expenditures
2.3.2	Employed ICT specialists
4.3.1	Resource productivity
5.1.2	Average annual GDP growth
5.1.3	Employment share Manufacturing
5.1.4	Employment share High and Medium high-tech
5.1.5	Employment share Services
5.1.7	Turnover share SMEs
5.1.8	Turnover share large enterprises
5.1.9	Foreign-controlled enterprises – share of value added
5.2.2	Total Entrepreneurial Activity
5.2.3	FDI net inflows
5.2.4	Top R&D spending enterprises
5.4.2	Basic-school entrepreneurial education and training
5.2.5	Buyer sophistication
5.1.1	GDP per capita (thousands)

Tabella 3.2: Tabella delle variabili che formano la dimensione dell'Economia

Come si può notare dai nomi delle variabili che compongono questa dimensione, siamo di fronte ad una variegato insieme di indicatori, i quali spaziano da ambiti prettamente economici, come la crescita annuale del prodotto interno lordo(5.1.2-Average annual GDP growth), ad ambiti più complessi, che però hanno sempre un impatto sull'economia come, ad esempio l'impatto sulle vendite(4.2-Sales impacts). Esso, viene infatti definito come *la misura dell'impatto economico delle innovazioni che include tre diversi indicatori; la misura dell'export di tecnologie medio-alte, l'export di servizi knowledge-intensive e le vendite dovute ad attività di innovazione*<sup>1</sup>, per questa e tutte le altre definizioni degli indicatori si rimanda al report sulla metodologia pubblicato sul sito dell'Unione Europea<sup>2</sup>[12]. Difatti in questa dimensione

<sup>1</sup>[https://www.eurostat.eu/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111\\_c.pdf](https://www.eurostat.eu/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111_c.pdf)

<sup>2</sup>[https://www.eurostat.eu/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111\\_c.pdf](https://www.eurostat.eu/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111_c.pdf)

rientrano anche tutti quegli indicatori che hanno un impatto indiretto sull'economia, come ad esempio il numero di nuove imprese nate in un determinato periodo(5.2.1-Enterprise births), questo perchè le imprese possiedono un ruolo determinante all'interno del sistema economico capitalistico, in quanto producono beni e servizi. Per questi motivi è importante ed essenziale tenere in considerazione anche questi aspetti all'interno della dimensione economica.

Successivamente vengono riportare in tabella le variabili che compongono la dimensione «Demografia»;

<b>Demografia</b>	
5.6.1	Population size
5.6.2	Average annual population growth
5.6.3	Population density
5.4.4	Rule of law

Tabella 3.3: Tabella delle variabili che formano la dimensione della Demografia

La dimensione demografica è quella che contiene il minor numero di indicatori, questo perchè lo studio statistico della popolazione non era tra gli obiettivi della analisi per cui questi dati sono stati raccolti. Tuttavia, avere anche solo una minima parte di informazione demografica, soprattutto quando si fa un'analisi con lo scopo di comparare stati diversi tra di loro, è sempre utile, anche per avere una migliore e più completa comprensione dei risultati. Di questa dimensione fanno parte indicatori strettamente legati alla misura della quantità della popolazione come la dimensione della popolazione(5.6.1-Population size), la crescita media annuale della popolazione(5.6.2-Average annual population growth) e la densità di popolazione(5.4.4-Rule of law). La norma di legge(5.4.4-Rule of law), invece esprime un concetto differente rispetto agli altri indicatori; si riferisce infatti, a quanto i cittadini abbiano fiducia nelle forze di polizia e nelle istituzioni di uno stato. Questa variabile è stata posta in questa dimensione perchè, seppur in un modo non tradizionale, esprime dell'informazione sulla popolazione che compone uno stato.

Di seguito viene mostrata la tabella contenente gli indicatori che appartengono alla dimensione «Istruzione»;

<b>Istruzione</b>	
1.1	Human resources
1.2	Attractive research systems
1.1.1	New doctorate graduates
1.1.2	Population with tertiary education
1.1.3	Population involved in lifelong learning
1.2.1	International scientific co-publications
1.2.2	Scientific publications among the top 10% most cited
1.2.3	Foreign doctorate students as a % of all doctorate students
3.2.2	Public-private co-publications

Tabella 3.4: Tabella delle variabili che formano la dimensione dell'Istruzione

La dimensione dell'istruzione contiene al suo interno tutti quegli indicatori che esprimono dell'informazione non solo sul sistema educativo di un paese, come la percentuale di popolazione che possiede un'educazione terziaria(1.1.2-Population with tertiary education) ed il numero di nuovi dottori di ricerca(1.1.1-New doctorate graduates), ma anche sull'attrattività del sistema di ricerca(1.2-Attractive research systems, 1.2.3-Foreign doctorate students as a % of all doctorate students) e la disponibilità di personale altamente qualificato(1.1-Human resources). L'istruzione risulta molto importante quando si parla di «competitività» di un paese; questo perchè, se uno stato è in grado non solo di formare delle persone istruite e competenti, ma anche di attrarre con il suo sistema scolastico ed accademico studenti dall'estero esso si presenta come un paese «attraente» dal punto di vista accademico e perciò competitivo nel campo.

Succesivamente viene riportata la tabella con le variabili che compongono la dimensione «Innovazione»;

<b>Innovazione</b>	
1.3	Digitalisation
2.3	Use of information technologies
3.1	Innovators
3.2	Linkages
3.3	Intellectual assets
4.3	Environmental sustainability
5.3.1	In-house product innovators with market novelties
1.3.2	Individuals with above basic overall digital skills
2.3.1	Enterprises providing ICT training
3.1.1	SMEs introducing product innovations
3.1.2	SMEs introducing business process innovations
3.2.1	Innovative SMEs collaborating with others
4.1.1	Employment in knowledge-intensive activities
3.2.2	Public-private co-publications
3.3.1	PCT patent applications
3.3.2	Trademark applications
3.3.3	Design applications
4.2.1	Exports of medium and high technology products
4.2.2	Knowledge-intensive services exports
4.2.3	Sales of new-to-market and new-to-firm innovations
5.3.2	In-house product innovators without market novelties
5.3.3	In-house business process innovators
5.3.4	Innovators that do not develop innovations themselves
5.3.5	Innovation active non-innovators
5.3.6	Non-innovators with potential to innovate
5.3.7	Non-innovators without disposition to innovate
5.4.3	Government procurement of advanced technology products
5.5.2	Greenhouse gas emissions intensity of energy consumption
5.5.3	Eco-Innovation Index
4.3.3	Environment-related technologies
5.5.2	Greenhouse gas emissions intensity of energy consumption
4.3.2	Air emissions by fine particulates
5.5.1	Circular material use rate
2.2.3	Innovation expenditures per person employed
4.1.2	Employment in innovative enterprises
5.1.6	Employment share Knowledge-intensive services
2.1.1	R&D expenditure in the public sector

Tabella 3.5: Tabella delle variabili che formano la dimensione dell’Innovazione

La dimensione dell’innovazione è la più numerosa tra le diverse dimensioni, inoltre sempre questa dimensione, come già accennato precedentemente, è stata anche la più complessa e meno lineare da definire e come conseguenza, il ventaglio di indicatori che la compongono è

molto vario e differente. Al suo interno, infatti, spaziamo da indicatori prettamente incentrati sulla digitalizzazione(1.3-Digitalisation, 2.3.1-Enterprises providing ICT training), a indicatori incentrati sulla sostenibilità ambientale(4.3-Environmental sustainability, 5.5.3-Eco-Innovation Index, 4.3.3-Environment-related technologies), passando infine ad indicatori sugli investimenti di enti pubblici e privati in ricerca e sviluppo(R&D expenditure in the public sector).

In questa sezione sono stati presentati i dati ed è stata fatta una breve panoramica sugli indicatori che compongono il dataset, mentre nella prossima sezione si presenteranno le tecniche di analisi utilizzate.



## 3.2 Analisi statistiche

Una volta individuate le quattro dimensioni che compongono il concetto di competitività, si è proceduto a creare quattro differenti dataset, uno per ogni dimensione, ciascuno dei quali contenente le variabili che lo compongono. Ogni dataset presenta osservazioni dal 2014 al 2021, ad eccezione per la dimensione «Demografia», la quale presenta dati, per ogni indicatore, solo del 2021.

Tramite le librerie `parsec` e `netrankr` si è calcolata la matrice  $M$  di Mutual Ranking Probabilities(MRP) per ogni dimensione, prima di fare questo però, si è associato, per ogni dimensione, una riga all'anno e allo stato corrispondente tramite la funzione di R `rownames`. Così facendo, ogni punteggio ottenuto nel ranking finale è associato allo stato e all'anno corrispondente. Successivamente, per effettuare la riduzione della dimensionalità, si è applicata la Singular Value Decomposition(SVD) su ogni matrice  $M$ . Infine, ordinando in ordine decrescente il risultato unidimensionale ottenuto con la SVD, si è ottenuto come risultato il ranking finale. I grafici dei ranking sono stati creati utilizzando la funzione `plot` di R con l'asse delle ordinate che rappresenta i punteggi dei ranking e l'asse delle ascisse presenta un indice di numeri a partire dal valore nullo.

Infine per creare i punteggi di incomparabilità si è calcolata la matrice di Incomparabilità Lessicografica(LIM)<sup>15</sup>, per ogni dimensione. Per fare ciò si è utilizzato il seguente codice.

```
LIM <- matrix(NA_real_, NCOL(M), NCOL(M))
for (i in seq_len(NCOL(LIM)))
  for (j in seq_len(NCOL(LIM)))
    LIM[i,j] <- min(min(M[i,j], M[j, i]))
```

La prima riga crea la matrice di Incomparabilità Lessicografica(LIM) utilizzando le colonne della matrice di Mutual Ranking Probabilities  $M$ , con il primo `for` cicla su tutte le righe della matrice LIM, mentre il secondo `for` invece cicla su tutte le sue colonne. Infine l'ultima riga seleziona l'elemento minimo per ogni coppia di riga e colonna di  $M$  e li pone come il  $j$ -esimo e l' $i$ -esimo elemento della matrice LIM.

Infine, si effettua la Singular Value Decomposition sulla matrice LIM e si ordina il risultato in modo da ottenere la classifica di incomparabilità tra paesi. Per ottenere i grafici dell'incomparabilità, si sono prima normalizzati i risultati ottenuti nel ranking tramite l'average height<sup>16</sup>, dopodichè tramite la funzione `plot` di R, si sono creati i grafici con i punteggi di incomparabilità sull'asse delle ascisse e il rispettivo ranking sull'asse delle ordinate.

---

<sup>15</sup>Per la teoria sul calcolo della matrice di Incomparabilità Lessicografica si rimanda alla sezione 2.7 di questa tesi

<sup>16</sup>L'average height di un elemento  $x$  appartenente ad un poset finito  $P$  è il numero di elementi attesi sotto ad  $x$  in un'estensione casuale di  $P[15]$

# Capitolo 4

## Conclusioni

In questo capitolo analizzerò i risultati raggiunti tramite le analisi illustrate nella sezione 3.2 del capitolo precedente. Queste conclusioni non voglio essere una descrizione precisa e puntuale riguardante la Demografia, l'Economia, l'Istruzione e l'Innovazione degli stati analizzati, ma sono invece da interpretare come uno spunto iniziale, per introdurre una riflessione sulle condizioni di questi settori nei diversi stati europei e non. Queste conclusioni non vogliono neanche essere un giudizio di alcun modo sui differenti paesi, ma sono solo l'interpretazione, alla luce di conoscenze personali e ricerche più approfondite, dei risultati ottenuti dall'analisi oggetto di studio di questa tesi.

Per ogni dimensione verranno prima presentati i risultati riguardanti il ranking e successivamente verranno discussi i risultati ottenuti tramite i punteggi di incomparabilità.

## 4.1 Economia

Per aiutare nella comprensione dei risultati viene riportato di seguito il grafico della distribuzione della classifica della dimensione dell'Economia.

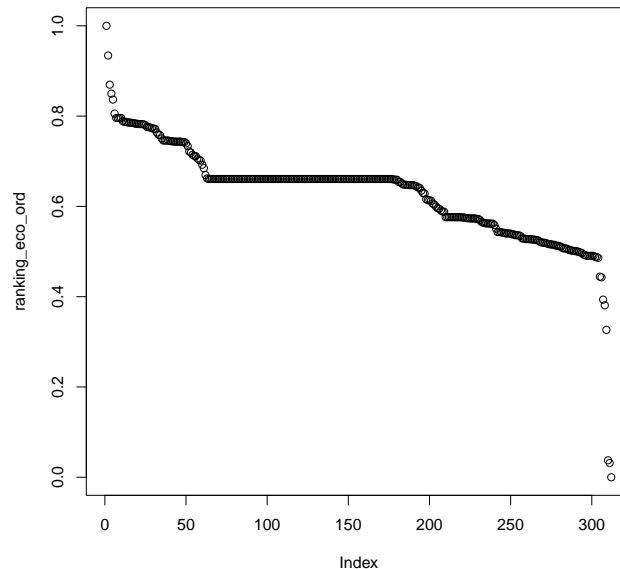


Figura 4.1: Grafico della classifica della dimensione dell'Economia

Il grafico rappresenta la classifica finale dei diversi paesi oggetto di analisi, dal 2014 al 2021. Sull'asse delle ordinate è presente il punteggio ottenuto da ogni stato normalizzato in un intervallo  $[0-1]$ , mentre sull'asse delle ascisse è invece presente una sequenza di numeri che parte dal valore nullo. I punti sul grafico rappresentano i trecentododici paesi presenti nella classifica; in questo ranking, infatti, sono presenti tutti e ventisette i paesi che compongono l'Unione Europea, a cui si aggiungono gli undici paesi elencati nella sezione 3.1. Infine ai trentotto paesi si aggiunge anche la media europea, calcolata ogni anno, per tutti gli otto anni presi in considerazione. In totale, perciò, vi sono trentanove osservazioni per ciascuno degli otto anni, le quali in totale fanno trecentododici osservazioni.

Come possiamo vedere dal grafico, sono solo cinque i paesi che raggiungono un punteggio non inferiore a 0.80, con un valore massimo pari a 1, mentre tutti gli altri paesi sono compresi tra un valore di  $[0.80; 0.50]$ . Vi sono solo unicamente otto paesi con un valore inferiore a 0.50, con il valore più basso pari a 0.00. Inoltre, dalla distribuzione dei punti si può vedere come la maggior parte dei paesi assuma un valore pari a 0.66, al di sotto di questo valore vi è una tendenza discendente, fino ad un valore di 0.48, allo stesso modo oltre il valore di 0.66 i punti assumono sempre un valore maggiore, fino al valore di massimo di 1.

Di seguito viene riportata la tabella che mostra tutti i punteggi normalizzati in un intervallo  $[0-1]$  ottenuti dai vari stati nei diversi anni;

<b>Posizione</b>	<b>Paese</b>	<b>Punteggio</b>	<b>Posizione</b>	<b>Paese</b>	<b>Punteggio</b>
1°	UK-2020	1.0000	36°	Finland-2017	0.7433
2°	UK-2019	0.9342	36°	Finland-2018	0.7433
3°	UK-2017	0.8696	37°	Latvia-2014	0.7425
4°	UK-2018	0.8496	37°	Latvia-2015	0.7425
5°	UK-2021	0.8365	38°	Germany-2020	0.7394
6°	Norway-2020	0.8055	39°	Germany-2019	0.7336
7°	Portugal-2014	0.7958	40°	Montenegro-2017	0.7217
7°	Ukraine-2014	0.7958	41°	Montenegro-2020	0.7189
7°	Ukraine-2015	0.7958	42°	Norway-2014	0.7144
7°	Ukraine-2016	0.7958	43°	Turkey-2015	0.7119
8°	Turkey-2014	0.7889	44°	Cyprus-2016	0.7113
9°	Israel-2014	0.7873	45°	Switzerland-2014	0.7061
10°	Serbia-2014	0.7872	46°	Croatia-2014	0.7029
11°	Montenegro-2019	0.7860	47°	Montenegro-2016	0.7015
12°	Latvia-2017	0.7856	48°	Romania-2018	0.6922
13°	France-2015	0.7855	49°	Croatia-2015	0.6847
14°	Croatia-2018	0.7847	50°	Norway-2015	0.6694
15°	Turkey-2016	0.7844	51°	UK-2015	0.6619
16°	Croatia-2016	0.7831	52°	Austria-2014	0.6606
16°	Croatia-2017	0.7831	52°	Austria-2015	0.6606
17°	Poland-2014	0.7823	52°	Austria-2016	0.6606
17°	Poland-2015	0.7823	52°	Austria-2017	0.6606
17°	Poland-2016	0.7823	52°	Austria-2018	0.6606
18°	Romania-2020	0.7816	52°	Austria-2019	0.6606
19°	North Macedonia-2015	0.7797	52°	Austria-2020	0.6606
20°	Cyprus-2019	0.7758	52°	Austria-2021	0.6606
21°	Czechia-2019	0.7757	52°	Belgium-2014	0.6606
22°	Lithuania-2014	0.7745	52°	Belgium-2017	0.6606
23°	Greece-2016	0.7736	52°	Belgium-2018	0.6606
24°	Italy-2014	0.7720	52°	Belgium-2019	0.6606
25°	France-2014	0.7717	52°	Belgium-2020	0.6606
26°	Bosnia&Herzegovina-2020	0.7638	52°	Belgium-2021	0.6606
27°	Cyprus-2015	0.7589	52°	Bosnia&Herzegovina-2021	0.6606
28°	Montenegro-2018	0.7578	52°	Bulgaria-2021	0.6606
29°	Romania-2019	0.7504	52°	Croatia-2019	0.6606
30°	Belgium-2015	0.7459	52°	Croatia-2020	0.6606
30°	Luxembourg-2015	0.7459	52°	Croatia-2021	0.6606
30°	Netherlands-2018	0.7459	52°	Cyprus-2020	0.6606
30°	Ukraine-2019	0.7459	52°	Cyprus-2021	0.6606
31°	Norway-2019	0.7448	52°	Czechia-2014	0.6606
32°	Serbia-2015	0.7443	52°	Czechia-2015	0.6606
33°	Greece-2014	0.7439	52°	Czechia-2016	0.6606
34°	Greece-2015	0.7435	52°	Czechia-2017	0.6606
35°	Greece-2017	0.7434	52°	Czechia-2018	0.6606
35°	Finland-2014	0.7434	52°	Denmark-2014	0.6606

52°	Denmark-2015	0.6606	52°	Netherlands-2019	0.6606
52°	Denmark-2016	0.6606	52°	Netherlands-2021	0.6606
52°	Denmark-2017	0.6606	52°	North Macedonia-2014	0.6606
52°	Denmark-2018	0.6606	52°	North Macedonia-2018	0.6606
52°	Denmark-2019	0.6606	52°	North Macedonia-2019	0.6606
52°	Denmark-2020	0.6606	52°	North Macedonia-2020	0.6606
52°	Denmark-2021	0.6606	52°	North Macedonia-2021	0.6606
52°	EU-2021	0.6606	52°	Norway-2021	0.6606
52°	Finland-2015	0.6606	52°	Poland-2017	0.6606
52°	Finland-2016	0.6606	52°	Poland-2018	0.6606
52°	Finland-2021	0.6606	52°	Poland-2019	0.6606
52°	France-2021	0.6606	52°	Poland-2021	0.6606
52°	Germany-2021	0.6606	52°	Portugal-2021	0.6606
52°	Greece-2018	0.6606	52°	Romania-2021	0.6606
52°	Greece-2021	0.6606	52°	Serbia-2016	0.6606
52°	Hungary-2014	0.6606	52°	Serbia-2017	0.6606
52°	Hungary-2015	0.6606	52°	Serbia-2018	0.6606
52°	Hungary-2021	0.6606	52°	Slovakia-2014	0.6606
52°	Iceland-2021	0.6606	52°	Slovakia-2015	0.6606
52°	Ireland-2014	0.6606	52°	Slovakia-2016	0.6606
52°	Ireland-2015	0.6606	52°	Slovakia-2017	0.6606
52°	Ireland-2016	0.6606	52°	Slovakia-2018	0.6606
52°	Israel-2015	0.6606	52°	Slovakia-2019	0.6606
52°	Israel-2016	0.6606	52°	Slovakia-2020	0.6606
52°	Israel-2021	0.6606	52°	Slovakia-2021	0.6606
52°	Italy-2021	0.6606	52°	Slovenia-2014	0.6606
52°	Latvia-2016	0.6606	52°	Slovenia-2015	0.6606
52°	Latvia-2018	0.6606	52°	Slovenia-2016	0.6606
52°	Latvia-2019	0.6606	52°	Slovenia-2017	0.6606
52°	Latvia-2020	0.6606	52°	Slovenia-2018	0.6606
52°	Latvia-2021	0.6606	52°	Slovenia-2019	0.6606
52°	Lithuania-2015	0.6606	52°	Slovenia-2020	0.6606
52°	Lithuania-2016	0.6606	52°	Slovenia-2021	0.6606
52°	Luxembourg-2014	0.6606	52°	Spain-2021	0.6606
52°	Luxembourg-2017	0.6606	52°	Sweden-2021	0.6606
52°	Luxembourg-2018	0.6606	52°	Turkey-2019	0.6606
52°	Luxembourg-2021	0.6606	52°	Turkey-2021	0.6606
52°	Malta-2016	0.6606	52°	Ukraine-2017	0.6606
52°	Malta-2017	0.6606	52°	Ukraine-2018	0.6606
52°	Malta-2018	0.6606	52°	Ukraine-2021	0.6606
52°	Malta-2021	0.6606	53°	North Macedonia-2016	0.6605
52°	Montenegro-2021	0.6606	54°	Cyprus-2014	0.6594
52°	Netherlands-2014	0.6606	55°	Germany-2018	0.6592
52°	Netherlands-2015	0.6606	56°	France-2016	0.6590
52°	Netherlands-2016	0.6606	57°	Sweden-2018	0.6541
52°	Netherlands-2017	0.6606	57°	Iceland-2014	0.6541

58°	Portugal-2015	0.6504	91°	EU-2019	0.5723
59°	Norway-2018	0.6484	92°	Spain-2014	0.5722
60°	Sweden-2020	0.6480	93°	France-2019	0.5701
61°	Sweden-2019	0.6477	94°	Portugal-2019	0.5658
62°	EU-2014	0.6473	95°	EU-2018	0.5642
63°	Italy-2016	0.6471	96°	Portugal-2018	0.5631
63°	Italy-2018	0.6471	97°	Romania-2016	0.5624
64°	Bosnia&Herzegovina-2019	0.6470	98°	Estonia-2019	0.5620
65°	Montenegro-2015	0.6457	98°	Estonia-2020	0.5620
66°	UK-2016	0.6444	99°	Estonia-2014	0.5618
67°	Norway-2016	0.6419	99°	Estonia-2015	0.5618
68°	Norway-2017	0.6408	100°	Switzerland-2018	0.5586
69°	Cyprus-2018	0.6348	101°	EU-2020	0.5507
70°	Montenegro-2014	0.6295	102°	Switzerland-2020	0.5432
71°	Romania-2017	0.6286	102°	Switzerland-2021	0.5432
72°	Bulgaria-2020	0.6159	102°	Iceland-2020	0.5432
73°	Iceland-2015	0.6138	103°	Switzerland-2019	0.5416
74°	Germany-2017	0.6136	104°	Germany-2014	0.5414
75°	Sweden-2017	0.6124	105°	Ireland-2018	0.5400
76°	Turkey-2017	0.6062	105°	Luxembourg-2019	0.5400
77°	Bosnia&Herzegovina-2018	0.6040	105°	Luxembourg-2020	0.5400
78°	EU-2017	0.5995	106°	Serbia-2019	0.5395
79°	Switzerland-2015	0.5959	107°	Spain-2019	0.5379
80°	Czechia-2020	0.5947	107°	Spain-2020	0.5379
81°	Cyprus-2017	0.5909	108°	Estonia-2021	0.5361
82°	Switzerland-2017	0.5886	109°	North Macedonia-2017	0.5359
83°	Switzerland-2016	0.5883	110°	Spain-2015	0.5358
84°	Greece-2019	0.5761	111°	France-2018	0.5346
84°	Malta-2014	0.5761	112°	Germany-2015	0.5291
84°	Malta-2015	0.5761	113°	Poland-2020	0.5287
85°	Lithuania-2017	0.5760	114°	Iceland-2019	0.5282
85°	Lithuania-2018	0.5760	115°	Italy-2020	0.5275
85°	Lithuania-2019	0.5760	116°	Bulgaria-2017	0.5275
86°	Israel-2017	0.5759	117°	Turkey-2018	0.5271
86°	Israel-2018	0.5759	118°	Greece-2020	0.5269
86°	Israel-2019	0.5759	119°	Spain-2018	0.5264
86°	Israel-2020	0.5759	120°	France-2020	0.5262
87°	Serbia-2020	0.5755	121°	Bulgaria-2018	0.5253
87°	Serbia-2021	0.5755	122°	Sweden-2014	0.5245
88°	Ireland-2017	0.5746	123°	Spain-2016	0.5218
89°	Portugal-2016	0.5738	124°	Spain-2017	0.5202
89°	Portugal-2017	0.5738	125°	UK-2014	0.5197
90°	Belgium -2016	0.5733	126°	Turkey-2020	0.5193
90°	Luxembourg-2016	0.5733	127°	Iceland-2018	0.5184
90°	Netherlands-2020	0.5733	128°	Ireland-2020	0.5168
90°	Ukraine-2020	0.5733	129°	Germany-2016	0.5160

<b>Posizione</b>	<b>Paese</b>	<b>Punteggio</b>
130°	Malta-2019	0.5157
131°	Italy-2015	0.5151
132°	Hungary-2020	0.5147
133°	Iceland-2017	0.5130
134°	Malta-2020	0.5128
135°	Iceland-2016	0.5118
136°	Portugal-2020	0.5106
137°	Czechia-2021	0.5074
138°	France-2017	0.5068
139°	Bosnia&Herzegovina-2017	0.5066
140°	Lithuania-2020	0.5060
141°	Lithuania-2021	0.5032
142°	Ireland-2019	0.5027
143°	Romania-2015	0.5018
144°	Sweden-2016	0.5012
145°	Hungary-2019	0.5006
146°	Ireland-2021	0.5005
147°	Italy-2019	0.4989
148°	EU-2015	0.4980
149°	Sweden-2015	0.4966
150°	Hungary-2018	0.4929
151°	Finland-2020	0.4919
152°	Estonia-2016	0.4903
152°	Estonia-2017	0.4903
152°	EU-2016	0.4903
152°	Hungary-2016	0.4903
152°	Italy-2017	0.4903
153°	Hungary-2017	0.4880
154°	Estonia-2018	0.4879
155°	Finland-2019	0.4859
156°	Bosnia&Herzegovina-2016	0.4443
157°	Romania-2014	0.4428
158°	Bulgaria-2019	0.3934
159°	Bosnia&Herzegovina-2015	0.3808
160°	Bosnia&Herzegovina-2014	0.3264
161°	Bulgaria-2016	0.0375
162°	Bulgaria-2015	0.0315
163°	Bulgaria-2014	0.0000

Tabella 4.2: Classifica della dimensione Economia

Come si può vedere il paese che raggiunge il punteggio più alto nel settore dell'economia è il Regno Unito nel 2020. Questo significa che, considerando ogni anno dal 2014 al 2021, ed ogni paese, la miglior performance per l'Economia l'ha ottenuta il Regno Unito nel 2020. In realtà, il Regno Unito, occupa anche il secondo, terzo, quarto e quinto posto nella classifica, rispettivamente negli anni 2019, 2017, 2018 e 2021. Subito dopo il Regno Unito, al sesto posto

vi è la Norvegia nel 2020, seguita poi dal Portogallo nel 2014 e successivamente al settimo posto troviamo sempre l'Ucraina, rispettivamente nel 2014, 2015 e 2016. Da questi dati possiamo vedere come vi è una chiara egemonia da parte del Regno Unito in questo settore, il quale domina le prime posizioni, ma una volta usciti da queste prime posizioni, vi è una variegata distribuzione degli stati. Infatti troviamo, per diversi anni Norvegia, Portogallo e Ucraina, seguiti poi da Turchia, Israele, Serbia e Montenegro. Questo indica che nel settore dell'economia il Regno Unito è il paese con un maggior punteggio, ma subito dopo di esso, nelle altre posizioni della classifica non vi è una chiara preponderanza di nessuno stato, se non l'Ucraina per i primi anni di analisi.

L'Italia si trova al ventiquattresimo posto di questa classifica nel 2014, per poi occupare delle posizioni più basse in tutti gli altri anni, successivamente infatti si trova al cinquantaduesimo posto nel 2021 con un punteggio pari a quello della maggioranza degli stati, ossia 0.6606. Nel 2016 e nel 2018 l'Italia occupa il sessantatreesimo posto con un punteggio di poco inferiore a quello del 2021, mentre nel 2020 l'Italia si trova al centoquindicesimo posto con un punteggio pari a 0.5275. Le peggiori performance invece si hanno nel 2015, 2019 e 2017, dove il paese si colloca nelle ultime posizioni della classifica.

La media europea oscilla molto, occupa la sessantaduesima posizione nel 2014, per poi raggiungere la posizione più bassa (0.4903) nel 2016 ed infine risalire fino a raggiungere la sua posizione più alta nel 2021, la cinquantaduesima, con un punteggio pari 0.6606.

Il valore di 0.6606 è il più diffuso; molti paesi assumono sempre questo valore, per tutti gli anni di studio, come Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Danimarca, Finlandia, Nord Macedonia, Polonia, Slovacchia, Slovenia e Paesi Bassi. Ciò significa che questi paesi non sono né migliorati né peggiorati nel settore economico nei diversi anni di osservazione.

Le peggiori performance sono date dalla Bulgaria, la quale occupa le ultime tre posizioni e la Bosnia ed Erzegovina.

Successivamente viene mostrato il grafico che mostra sull'asse delle ordinate il punteggio ottenuto nel ranking, normalizzato in un intervallo  $[0-1]$  e sull'asse delle ascisse mostra il punteggio di incomparabilità, anche questo compreso in un intervallo  $[0-1]$ .



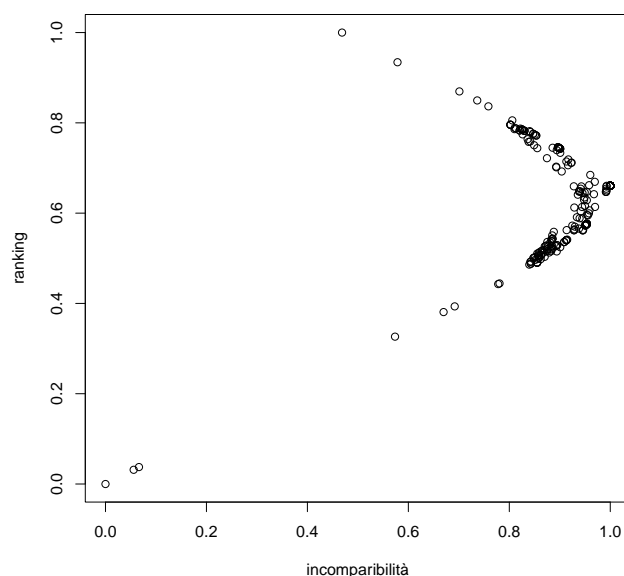


Figura 4.2: Grafico dell'incomparabilità della dimensione dell'Economia

Dal grafico possiamo vedere come la maggior parte dei punti si distribuisce nella fascia medio alta del ranking, indicando che la maggior parte dei paesi ha ottenuto dei valori alti nella dimensione economica. Allo stesso modo, è da sottolineare il fatto che la quasi totalità degli stati ha anche alti valori di incomparabilità; solo tre paesi infatti hanno un punteggio di incomparabilità minore di 0.4. Questo significa che i valori che vediamo nel ranking finale presentano molta distorsione rispetto all'informazione originaria. Di conseguenza, osservando il grafico, possiamo affermare che nella dimensione economica la maggior parte degli stati ottiene un alto punteggio, ma è anche presente molta distorsione dell'informazione originale. Questo rende molto difficile perciò fare un paragone tra la maggior parte degli stati; alti punteggi di incomparabilità indicano che i paesi presentano diversi pattern e sfumature in questo settore, che vengono in parte perse nella riduzione ad un ranking. Inoltre, anche se due paesi presentano due punteggi di incomparabilità simili non significa che essi siano strutturalmente simili<sup>17</sup>; ciò significa che due paesi che hanno ottenuto lo stesso punteggio non sono così facilmente comparabili tra loro.

<sup>17</sup>Rimoldi Stefania M.L., Arcagni Alberto, Fattore Marco, Terzera Laura, «Social and Material Vulnerability of the Italian Municipalities: Comparing Alternative Approaches», 2022[15]

## 4.2 Demografia

Per la sezione della demografia sono presenti solo i dati del 2021, perciò questa si presenta come la dimensione con il minor numero di osservazioni. In aggiunta, i dati della Svizzera, al contrario di ciò che accade nelle altre dimensioni, non sono disponibili; di seguito viene presentato il grafico della classifica.

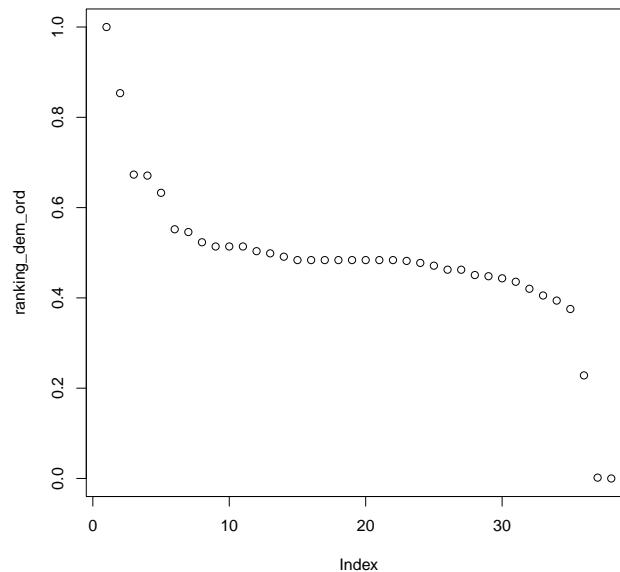


Figura 4.3: Grafico della classifica della dimensione demografica

Dal grafico possiamo vedere come la maggioranza degli stati hanno un punteggio che varia nell'intervallo  $[0.40; 0.55]$ , con solo cinque paesi che superano questa soglia e solo tre paesi assumono un valore minore di 0.35.

Di seguito viene riportata la tabella con tutti i punteggi per questa dimensione;

<b>Posizione</b>	<b>Paese</b>	<b>Punteggio</b>
1°	UK	1.0000
2°	Netherlands	0.8535
3°	Spain	0.6731
4°	Portugal	0.6709
5°	Israel	0.6327
6°	Germany	0.5520
7°	Serbia	0.5459
8°	Ireland	0.5232
9°	Montenegro	0.5139
9°	North Macedonia	0.5139
9°	Ukraine	0.5139
10°	Slovenia	0.5035
11°	Poland	0.4986
12°	Slovakia	0.4912
13°	Austria	0.4837
13°	Finland	0.4837
13°	Iceland	0.4837
13°	Luxembourg	0.4837
13°	Malta	0.4837
13°	Norway	0.4837
13°	Sweden	0.4837
13°	Turkey	0.4837
14°	Belgium	0.4819
15°	EU	0.4774
16°	Czechia	0.4713
17°	Italy	0.4624
18°	Denmark	0.4623
19°	Cyprus	0.4506
20°	Romania	0.4480
21°	Lithuania	0.4433
22°	France	0.4357
23°	Hungary	0.4202
24°	Greece	0.4053
25°	Estonia	0.3940
26°	Bosnia&Herzegovina	0.3753
27°	Latvia	0.2283
28°	Croatia	0.0018
29°	Bulgaria	0.0000

Tabella 4.3: Classifica della dimensione demografica

Anche in questa classifica il paese con un punteggio maggiore appare essere il Regno Unito, subito seguito dai Paesi Bassi e la Spagna. Al settimo posto di questa classifica vi sono Montenegro, Nord Macedonia e Ucraina tutti a pari merito. Sempre a pari merito, all'undicesimo posto vi sono otto paesi; Austria, Finlandia, Islanda, Lussemburgo, Malta, Norvegia, Svezia e Turchia. L'Italia occupa il quindicesimo posto con un valore poco inferiore a quello della media

europea. Agli ultimi due posti, con un punteggio nettamente inferiore rispetto a quello degli altri paesi, troviamo la Croazia e la Bulgaria.

Come per la dimensione dell'Economia, anche qui viene riportato il grafico che mostra sull'asse delle ascisse il punteggio di incomparabilità e sull'asse delle ordinate il punteggio ottenuto nella classifica;

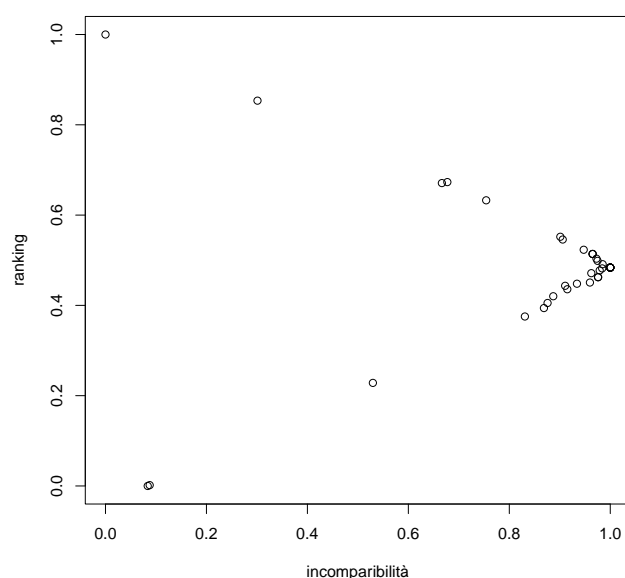


Figura 4.4: Grafico dell'incomparabilità della dimensione Demografia

Come possiamo osservare dal grafico la maggior parte dei paesi ottiene un punteggio medio in questa dimensione, intorno al valore di 0.5. Inoltre, come succedeva anche nel caso della dimensione economica, anche nella dimensione demografica, la quasi totalità degli stati ottiene punteggio molto elevati di incomparabilità, solo otto paesi infatti, presentano un valore minore di 0.8. Perciò, in questo caso le conclusioni sono simili a quelle della dimensione precedente; vi è molta perdita di informazione dal sistema di indicatori multidimensionale originario alla classifica finale che otteniamo, inoltre non la comparazione tra paesi deve essere effettuata con molta cautela perchè, molti di essi presentano valori molto distorti.

## 4.3 Istruzione

Per la dimensione dell'istruzione sono presenti tutti gli stati per gli otto anni di osservazione; di seguito si riporta il grafico.

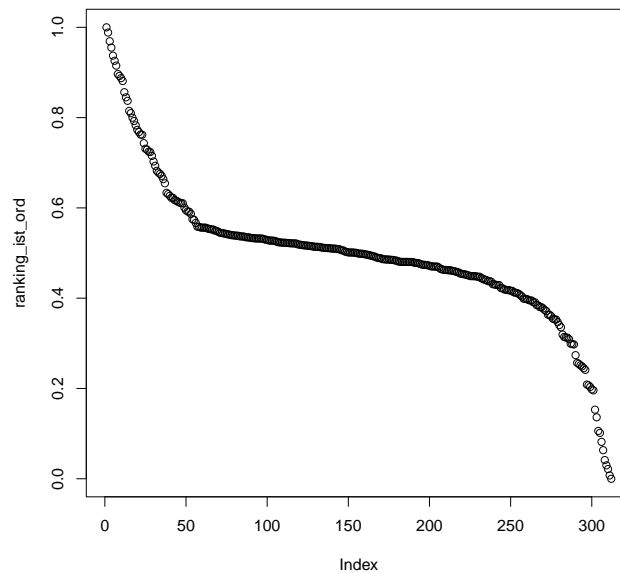


Figura 4.5: Grafico della classifica della dimensione Istruzione

Come si può osservare dal grafico, la maggior parte degli stati è compresa nell'intervallo [0.30;0.60], con solo pochi paesi che assumono valori al di fuori di questo intervallo. Vi è una tendenza crescente per i valori superiori a 0.60, fino ad arrivare ad un massimo di 1; allo stesso modo, vi è una tendenza decrescente, oltre il valore di 0.40, con solo undici paesi che presentano un valore inferiore a 0.20.

Di seguito viene riportata la tabella con tutti i trecentododici elementi della dimensione Istruzione;

Posizione	Paese	Punteggio	Posizione	Paese	Punteggio
1°	UK-2021	1.0000	13°	Norway-2019	0.8449
2°	UK-2020	0.9884	14°	Spain-2021	0.8372
3°	UK-2019	0.9691	15°	UK-2016	0.8148
4°	Switzerland-2021	0.9550	16°	Luxembourg-2020	0.8049
5°	UK-2018	0.9372	17°	Netherlands-2021	0.7997
6°	Switzerland-2020	0.9258	18°	Norway-2018	0.7922
7°	Norway-2021	0.9151	19°	Sweden-2021	0.7828
8°	UK-2017	0.8965	20°	Switzerland-2017	0.7728
9°	Switzerland-2019	0.8923	21°	Sweden-2020	0.7678
10°	Luxembourg-2021	0.8874	22°	Netherlands-2020	0.7624
11°	Norway-2020	0.8810	23°	Spain-2020	0.7619
12°	Switzerland-2018	0.8562	24°	Norway-2017	0.7433

25°	Sweden-2019	0.7310	69°	Serbia-2020	0.5448
26°	Slovenia-2021	0.7290	70°	Latvia-2021	0.5444
27°	Ireland-2021	0.7245	71°	Italy-2021	0.5435
28°	UK-2015	0.7236	72°	Ukraine-2015	0.5431
29°	Netherlands-2019	0.7151	73°	Poland-2021	0.5420
30°	Slovenia-2019	0.7028	74°	Montenegro-2018	0.5411
31°	Spain-2019	0.6932	75°	Malta-2019	0.5407
32°	Ireland-2020	0.6822	76°	Portugal-2019	0.5396
33°	Sweden-2018	0.6782	77°	Serbia-2021	0.5392
34°	Luxembourg-2019	0.6752	78°	Belgium-2019	0.5388
35°	Switzerland-2016	0.6710	79°	Belgium-2020	0.5384
36°	Netherlands-2018	0.6636	80°	Portugal-2020	0.5383
37°	Norway-2016	0.6545	81°	Bosnia&Herzegovina-2021	0.5370
38°	Sweden-2017	0.6334	82°	Greece-2021	0.5369
39°	Slovenia-2018	0.6304	83°	Romania-2021	0.5366
40°	Luxembourg-2018	0.6266	84°	Turkey-2017	0.5363
41°	Slovenia-2020	0.6222	85°	Ukraine-2020	0.5347
42°	Spain-2018	0.6221	85°	Luxembourg-2017	0.5347
43°	Iceland-2020	0.6172	86°	Ukraine-2014	0.5346
44°	Iceland-2021	0.6160	87°	Turkey-2015	0.5333
45°	Portugal-2021	0.6137	88°	North Macedonia-2021	0.5331
46°	Netherlands-2017	0.6118	89°	Serbia-2018	0.5326
47°	Ireland-2019	0.6105	90°	Lithuania-2015	0.5323
48°	Slovenia-2017	0.6102	90°	Lithuania-2016	0.5323
49°	Iceland-2019	0.6007	91°	North Macedonia-2018	0.5321
50°	Sweden-2016	0.5947	91°	Spain-2016	0.5321
51°	Iceland-2018	0.5919	92°	Turkey-2016	0.5320
52°	Switzerland-2015	0.5916	93°	Ireland-2017	0.5309
53°	UK-2014	0.5866	94°	Greece-2020	0.5296
54°	Norway-2015	0.5749	95°	Lithuania-2014	0.5289
55°	Ireland-2018	0.5734	96°	Estonia-2021	0.5279
56°	Spain-2017	0.5667	97°	Germany-2018	0.5276
57°	Serbia-2019	0.5584	98°	Slovakia-2020	0.5275
58°	North Macedonia-2019	0.5581	99°	Cyprus-2017	0.5273
59°	Netherlands-2016	0.5564	100°	Hungary-2021	0.5266
60°	Ukraine-2017	0.5563	101°	Denmark-2021	0.5248
60°	Germany-2014	0.5563	102°	Austria- 2015	0.5238
60°	Germany-2015	0.5563	103°	Turkey-2014	0.5237
61°	Germany-2016	0.5549	104°	Bosnia&Herzegovina-2020	0.5229
62°	Ukraine-2018	0.5535	105°	Montenegro-2017	0.5228
63°	Montenegro-2019	0.5531	106°	Cyprus-2016	0.5227
64°	North Macedonia-2020	0.5519	107°	France-2021	0.5224
65°	Germany-2017	0.5518	108°	Ukraine-2016	163.83
66°	Slovakia-2021	0.5493	109°	Montenegro-2020	163.64
67°	Sweden-2015	0.5489	110°	France-2020	0.5222
68°	Ukraine-2019	0.5466	111°	France-2019	0.5216

112°	Austria-2014	0.5215	158°	Portugal-2017	0.4967
113°	Serbia-2017	0.5213	159°	Denmark-2020	0.4960
114°	Austria- 2018	0.5213	160°	Sweden-2014	0.4950
115°	Finland-2019	0.5210	161°	Poland-2019	0.4944
116°	Belgium -2017	0.5191	162°	Switzerland-2014	0.4930
117°	Latvia-2020	0.5186	163°	Malta-2018	0.4925
118°	Turkey-2020	0.5181	164°	Czechia-2020	0.4910
119°	Israel-2020	0.5173	165°	Montenegro-2016	0.4893
120°	Montenegro-2021	0.5171	166°	Austria-2017	0.4887
121°	Estonia-2020	0.5164	167°	Slovakia-2019	0.4886
122°	Ukraine-2021	0.5163	168°	Portugal-2016	0.4865
123°	Spain-2015	0.5157	169°	Norway-2014	0.4862
124°	Iceland-2017	0.5154	170°	Lithuania-2018	0.4858
125°	North Macedonia-2017	0.5147	171°	Denmark-2019	0.4857
126°	Turkey-2019	0.5140	172°	Italy-2019	0.4855
127°	Belgium -2021	0.5139	173°	Turkey-2021	0.4851
128°	Israel-2017	0.5138	174°	Israel-2018	0.4848
129°	Turkey-2018	0.5133	175°	Ireland-2016	0.4845
130°	Lithuania-2019	0.5128	176°	France-2018	0.4832
131°	Israel-2019	0.5119	177°	France-2017	0.4831
132°	Romania-2020	0.5114	178°	Austria-2021	0.4803
133°	Malta-2020	0.5112	178°	Cyprus-2018	0.4803
134°	Italy-2020	0.5109	178°	Cyprus-2019	0.4803
135°	Finland-2021	0.5107	178°	Cyprus-2020	0.4803
136°	Belgium-2016	0.5103	178°	Cyprus-2021	0.4803
137°	Belgium-2018	0.5099	179°	Poland-2018	0.4802
138°	Portugal-2014	0.5098	180°	Austria- 2019	0.4801
139°	Cyprus-2014	0.5097	181°	Finland-2018	0.4799
140°	Estonia-2019	0.5090	182°	Spain-2014	0.4780
141°	Poland-2020	0.5089	183°	Serbia-2015	0.4780
142°	Israel-2021	0.5075	184°	Germany-2019	0.4778
143°	Israel-2016	0.5059	185°	Iceland-2016	0.4763
144°	Belgium-2014	0.5056	186°	Greece-2019	0.4748
145°	Austria-2016	0.5032	187°	Latvia-2019	0.4740
146°	Malta-2021	0.5023	188°	Luxembourg-2016	0.4739
147°	Portugal-2018	0.5013	189°	Luxembourg-2015	0.4733
148°	Belgium-2015	0.5012	190°	Italy-2018	0.4730
149°	Cyprus-2015	0.5011	191°	Denmark-2018	0.4717
150°	Netherlands-2015	0.5010	192°	Slovakia-2018	0.4704
151°	Finland-2020	0.5006	193°	Slovenia-2015	0.4703
152°	Czechia-2019	0.5004	194°	Denmark-2014	0.4700
153°	Serbia-2016	0.4989	195°	Ireland-2015	0.4699
154°	Portugal-2015	0.4988	196°	Montenegro-2015	0.4698
155°	Israel-2014	0.4984	197°	Slovenia-2014	0.4672
156°	Israel-2015	0.4982	198°	Luxembourg-2014	0.4645
157°	Lithuania-2017	0.4975	199°	Czechia-2021	0.4637

200°	Bosnia&Herzegovina-2019	0.4626	245°	Poland-2016	0.4095
201°	Hungary-2020	0.4626	246°	Finland-2014	0.4066
202°	Germany-2020	0.4621	247°	Bosnia&Herzegovina-2017	0.4036
203°	Lithuania-2020	0.4617	248°	Bulgaria-2021	0.3988
204°	Slovenia-2016	0.4616	249°	Czechia-2016	0.3985
205°	Lithuania-2021	0.4608	250°	Czechia-2018	0.3982
206°	Denmark-2016	0.4600	251°	Hungary-2019	0.3959
207°	Austria-2020	0.4591	252°	Czechia-2017	0.3948
208°	Denmark-2017	0.4578	253°	Romania-2018	0.3947
209°	Serbia-2014	0.4569	254°	Latvia-2018	0.3909
210°	Iceland-2015	0.4545	255°	Poland-2014	0.3908
211°	Romania-2019	0.4539	256°	Slovakia-2015	0.3850
212°	Ireland-2014	0.4530	257°	North Macedonia-2014	0.3839
212°	EU-2014	0.4529	258°	Czechia-2015	0.3802
213°	Slovakia-2017	0.4512	259°	Italy-2015	0.3800
214°	Finland-2017	0.4507	260°	Croatia-2020	0.3773
215°	Finland-2016	0.4489	261°	Estonia-2017	0.3737
216°	North Macedonia-2016	0.4488	262°	Malta-2015	0.3713
217°	Netherlands-2014	0.4487	263°	Greece-2017	0.3635
218°	Iceland-2014	0.4485	264°	Slovakia-2014	0.3632
219°	EU-2021	0.4481	265°	Estonia-2016	0.3599
220°	Malta-2017	0.4474	266°	Romania-2017	0.3546
221°	Germany-2021	0.4473	267°	Czechia-2014	0.3532
222°	Poland-2017	0.4439	268°	Italy-2014	0.3526
223°	Croatia-2021	0.4431	269°	Estonia-2015	0.3469
224°	EU-2018	0.4406	270°	Bosnia&Herzegovina-2016	0.3404
225°	France-2016	0.4404	271°	Romania-2016	0.3355
226°	EU-2020	0.4377	272°	Malta-2014	0.3194
227°	Bosnia&Herzegovina-2018	0.4376	273°	Latvia-2017	0.3139
228°	EU-2017	0.4366	274°	Estonia-2014	0.3129
229°	Italy-2017	0.4309	275°	Bulgaria-2020	0.3125
230°	France-2014	0.4309	276°	Hungary-2018	0.3090
231°	Montenegro-2014	0.4292	277°	Bosnia&Herzegovina-2015	0.3085
232°	EU-2019	0.4291	278°	Romania-2015	0.2993
233°	France-2015	0.4289	279°	Greece-2016	0.2983
234°	North Macedonia-2015	0.4225	280°	Latvia-2016	0.2975
235°	Denmark-2015	0.4220	281°	Romania-2014	0.2737
236°	Finland-2015	0.4195	282°	Bosnia&Herzegovina-2014	0.2567
237°	Poland-2015	0.4187	283°	Croatia-2019	0.2543
238°	Estonia-2018	0.4179	284°	Hungary-2017	0.2512
239°	Italy-2016	0.4178	285°	Greece-2015	0.2489
240°	Slovakia-2016	0.4164	286°	Latvia-2015	0.2448
241°	EU-2015	0.4161	287°	Croatia-2018	0.2411
242°	EU-2016	0.4129	288°	Latvia-2014	0.2086
243°	Malta-2016	0.4123	289°	Greece-2014	0.2069
244°	Greece-2018	0.4112	290°	Bulgaria-2019	0.2032



<b>Posizione</b>	<b>Paese</b>	<b>Punteggio</b>
291°	Hungary-2016	0.1980
292°	Hungary-2015	0.1958
293°	Bulgaria-2018	0.1750
294°	Croatia-2017	0.1530
295°	Hungary-2014	0.1361
296°	Bulgaria-2017	0.1059
297°	Croatia-2016	0.0817
298°	Croatia-2015	0.0633
299°	Bulgaria-2016	0.0414
300°	Croatia-2014	0.0297
301°	Bulgaria-2015	0.0007
302°	Bulgaria-2014	0.0000

Tabella 4.5: Classifica della dimensione Istruzione

Anche nella dimensione Istruzione il paese che ottiene il punteggio maggiore e che domina le prime posizioni è il Regno Unito, il quale raggiunge il primo posto nel 2021, il secondo nel 2020 ed il terzo nel 2019. Le prime dieci posizioni sono occupate da Regno Unito, Svizzera, Norvegia e Lussemburgo in diversi anni, successivamente fino alla quarantesima posizione sono sempre i paesi sopracitati ad occupare queste posizioni, con l'aggiunta di Spagna, Slovenia, Svezia ed Irlanda. Come già accenato, la maggior parte dei paesi si colloca tra valori di  $[0.40;0.60]$ , con una media europa molto altalenante nei diversi anni, essa infatti raggiunge un massimo nel 2014 con un valore pari a 0.4529 ed un minimo nel 2016 con un valore pari a 0.4129. L'Italia raggiunge un punteggio massimo nel 2021 con un valore pari a 0.5435, aggiudicandosi la 71° posizione, mentre il valore minimo viene raggiunto nel 2014 con un valore pari a 0.3526. Perciò diversi anni l'Italia ha sempre migliorato aggiudicandosi posizioni sempre più alte. Nelle ultime tredici posizioni vi sono sempre Bulgaria, Croazia ed Ungheria per diversi anni, con il punteggio minimo ottenuto dalla Bulgaria nel 2014.

Infine viene mostrato il grafico che mostra l'incomparabilità ed il ranking dei paesi;

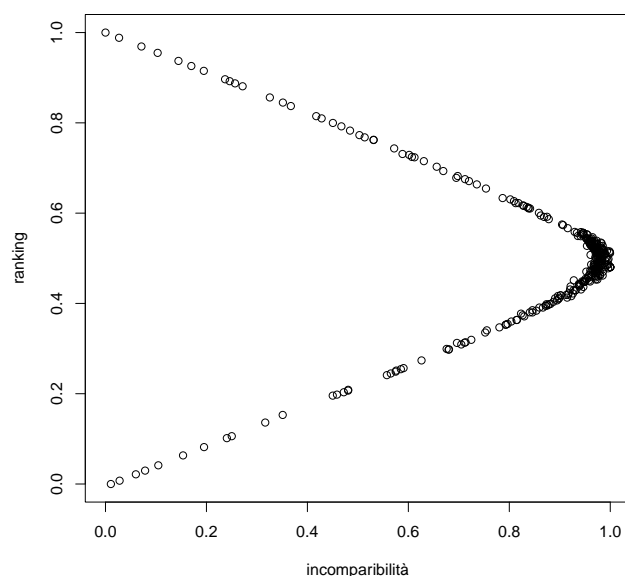


Figura 4.6: Grafico dell'incomparabilità della dimensione Istruzione

A differenza delle altre due dimensioni, la distribuzione dei paesi in questo caso è leggermente diversa; i paesi si dispongono in modo più variegato sul grafico. Molti paesi risultano ancora concentrati nei valori medi del ranking e valori alti di incomparabilità, ma molto punti occupano anche altre posizioni; più i punti occupano posizioni alte o basse nel ranking, minore è la loro distorsione. Ciò significa che per i paesi con punteggi medi la distorsione dell'informazione è maggiore, mentre per paesi con punteggi particolarmente alti o particolarmente bassi la distorsione è molto minore. Questo indica che i punteggi particolarmente alti e quelli particolarmente bassi rappresentano in modo più veritiero il fenomeno in studio, rispetto a tutti quei paesi che hanno ottenuto valori medi nel ranking.

## 4.4 Innovazione

Di seguito viene presentato il grafico che mostra la distribuzione della classifica della dimensione dell'Innovazione;

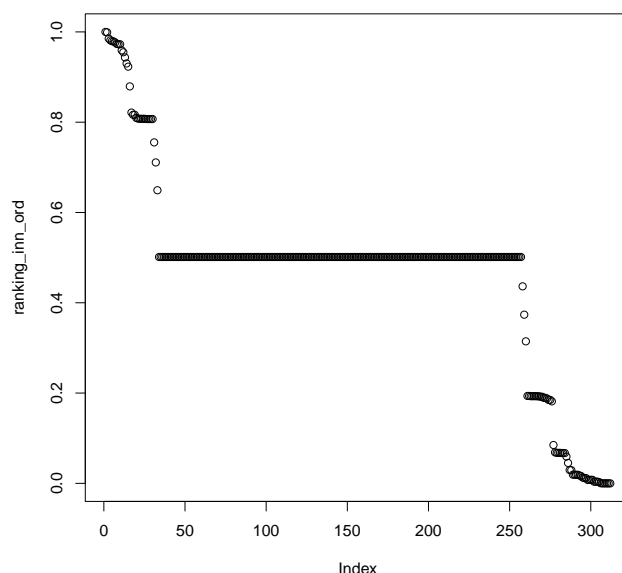


Figura 4.7: Grafico della classifica della dimensione Innovazione

Si possono facilmente identificare cinque cluster distinti, che raggruppano la quasi totalità dei paesi. Un primo cluster è composto da un insieme di paesi che superano il valore di 0.85. Successivamente, si denota un altro insieme di paesi che assume valori pari a 0.80, il cluster maggiore invece presenta dei valori quasi costanti pari a 0.50. Infine vi sono altri due cluster; uno dei quali contiene i paesi che assumono valori pari a 0.18, mentre l'altro è il più disomogeneo con il valore massimo di 0.15 ed il valore minimo di 0.

Di seguito viene presentata la tabella contenente la classifica della dimensione Innovazione;

Posizione	Paese	Punteggio	Posizione	Paese	Punteggio
1°	Bosnia&Herzegovina-2014	1.0000	12°	Switzerland-2014	0.9434
2°	Montenegro-2016	0.9991	13°	Ukraine-2020	0.9300
3°	Ukraine-2018	0.9852	14°	Bulgaria-2014	0.9230
4°	Croatia-2017	0.9814	15°	Croatia-2018	0.8793
5°	Croatia-2020	0.9795	16°	Croatia-2015	0.8213
6°	Bulgaria-2017	0.9788	17°	Luxembourg-2014	0.8164
7°	Ukraine-2019	0.9766	18°	Cyprus-2014	0.8163
8°	Bulgaria-2018	0.9734	19°	Czechia-2018	0.8094
9°	Montenegro-2014	0.9726	20°	Ukraine-2021	0.8080
9°	Montenegro-2015	0.9726	21°	Romania-2014	0.8075
10°	Croatia-2019	0.9591	21°	Romania-2015	0.8075
11°	Croatia-2016	0.9549	21°	Romania-2016	0.8075
21°	Latvia-2018	0.8075	27°	Bosnia&Herzegovina-2019	0.5014

22°	Latvia-2020	0.8071	27°	Bosnia&Herzegovina-2020	0.5014
23°	EU-2014	0.8070	27°	Bosnia&Herzegovina-2021	0.5014
23°	EU-2015	0.8070	27°	Bulgaria-2015	0.5014
23°	EU-2016	0.8070	27°	Bulgaria-2016	0.5014
23°	EU-2017	0.8070	27°	Bulgaria-2019	0.5014
24°	Latvia-2017	0.7552	27°	Bulgaria-2020	0.5014
25°	Montenegro-2017	0.7109	27°	Bulgaria-2021	0.5014
26°	Croatia-2014	0.6492	27°	Croatia-2021	0.5014
27°	Switzerland-2017	0.5014	27°	Cyprus-2016	0.5014
27°	Switzerland-2018	0.5014	27°	Cyprus-2017	0.5014
27°	Switzerland-2019	0.5014	27°	Cyprus-2018	0.5014
27°	Switzerland-2020	0.5014	27°	Cyprus-2019	0.5014
27°	Switzerland-2021	0.5014	27°	Cyprus-2020	0.5014
27°	Turkey-2014	0.5014	27°	Cyprus-2021	0.5014
27°	Turkey-2015	0.5014	27°	Czechia-2014	0.5014
27°	Turkey-2016	0.5014	27°	Czechia-2015	0.5014
27°	Turkey-2017	0.5014	27°	Czechia-2016	0.5014
27°	Turkey-2018	0.5014	27°	Czechia-2017	0.5014
27°	Turkey-2019	0.5014	27°	Czechia-2019	0.5014
27°	Turkey-2020	0.5014	27°	Czechia-2020	0.5014
27°	Turkey-2021	0.5014	27°	Czechia-2021	0.5014
27°	Ukraine-2014	0.5014	27°	Denmark-2021	0.5014
27°	Ukraine-2015	0.5014	27°	Estonia-2014	0.5014
27°	Ukraine-2016	0.5014	27°	Estonia-2015	0.5014
27°	Ukraine-2017	0.5014	27°	Estonia-2016	0.5014
27°	UK-2014	0.5014	27°	Estonia-2017	0.5014
27°	UK-2015	0.5014	27°	Estonia-2018	0.5014
27°	UK-2016	0.5014	27°	Estonia-2019	0.5014
27°	UK-2017	0.5014	27°	Estonia-2020	0.5014
27°	Austria-2014	0.5014	27°	Estonia-2021	0.5014
27°	Austria-2015	0.5014	27°	EU-2018	0.5014
27°	Austria-2016	0.5014	27°	EU-2019	0.5014
27°	Austria-2017	0.5014	27°	EU-2020	0.5014
27°	Austria-2018	0.5014	27°	EU-2021	0.5014
27°	Austria-2019	0.5014	27°	France-2014	0.5014
27°	Austria-2020	0.5014	27°	France-2015	0.5014
27°	Austria-2021	0.5014	27°	France-2016	0.5014
27°	Belgium-2014	0.5014	27°	France-2017	0.5014
27°	Belgium-2015	0.5014	27°	France-2018	0.5014
27°	Belgium-2016	0.5014	27°	France-2019	0.5014
27°	Belgium-2017	0.5014	27°	France-2020	0.5014
27°	Belgium-2018	0.5014	27°	France-2021	0.5014
27°	Belgium-2019	0.5014	27°	Germany-2019	0.5014
27°	Belgium-2020	0.5014	27°	Germany-2020	0.5014
27°	Belgium-2021	0.5014	27°	Greece-2014	0.5014
27°	Greece-2015	0.5014	27°	Latvia-2019	0.5014

27°	Greece-2016	0.5014	27°	Latvia-2021	0.5014
27°	Greece-2017	0.5014	27°	Lithuania-2014	0.5014
27°	Greece-2018	0.5014	27°	Lithuania-2015	0.5014
27°	Greece-2019	0.5014	27°	Lithuania-2016	0.5014
27°	Greece-2020	0.5014	27°	Lithuania-2017	0.5014
27°	Greece-2021	0.5014	27°	Lithuania-2018	0.5014
27°	Hungary-2014	0.5014	27°	Lithuania-2019	0.5014
27°	Hungary-2015	0.5014	27°	Lithuania-2020	0.5014
27°	Hungary-2016	0.5014	27°	Lithuania-2021	0.5014
27°	Hungary-2017	0.5014	27°	Luxembourg-2015	0.5014
27°	Hungary-2018	0.5014	27°	Luxembourg-2019	0.5014
27°	Hungary-2019	0.5014	27°	Luxembourg-2020	0.5014
27°	Hungary-2020	0.5014	27°	Malta-2014	0.5014
27°	Iceland-2014	0.5014	27°	Malta-2015	0.5014
27°	Iceland-2015	0.5014	27°	Malta-2016	0.5014
27°	Iceland-2016	0.5014	27°	Malta-2017	0.5014
27°	Iceland-2017	0.5014	27°	Malta-2018	0.5014
27°	Iceland-2018	0.5014	27°	Malta-2019	0.5014
27°	Iceland-2019	0.5014	27°	Malta-2020	0.5014
27°	Iceland-2020	0.5014	27°	Malta-2021	0.5014
27°	Iceland-2021	0.5014	27°	Montenegro-2018	0.5014
27°	Ireland-2014	0.5014	27°	Montenegro-2019	0.5014
27°	Ireland-2015	0.5014	27°	Montenegro-2020	0.5014
27°	Ireland-2016	0.5014	27°	Montenegro-2021	0.5014
27°	Ireland-2017	0.5014	27°	Netherlands-2014	0.5014
27°	Ireland-2018	0.5014	27°	Netherlands-2015	0.5014
27°	Ireland-2019	0.5014	27°	Netherlands-2016	0.5014
27°	Ireland-2020	0.5014	27°	North Macedonia-2014	0.5014
27°	Ireland-2021	0.5014	27°	North Macedonia-2015	0.5014
27°	Israel-2014	0.5014	27°	North Macedonia-2016	0.5014
27°	Israel-2015	0.5014	27°	North Macedonia-2017	0.5014
27°	Israel-2016	0.5014	27°	North Macedonia-2018	0.5014
27°	Israel-2017	0.5014	27°	North Macedonia-2019	0.5014
27°	Israel-2018	0.5014	27°	North Macedonia-2020	0.5014
27°	Israel-2019	0.5014	27°	North Macedonia-2021	0.5014
27°	Israel-2020	0.5014	27°	Norway-2014	0.5014
27°	Israel-2021	0.5014	27°	Norway-2015	0.5014
27°	Italy-2014	0.5014	27°	Norway-2016	0.5014
27°	Italy-2015	0.5014	27°	Norway-2017	0.5014
27°	Italy-2016	0.5014	27°	Norway-2018	0.5014
27°	Italy-2017	0.5014	27°	Poland-2014	0.5014
27°	Italy-2018	0.5014	27°	Poland-2015	0.5014
27°	Italy-2019	0.5014	27°	Poland-2016	0.5014
27°	Italy-2020	0.5014	27°	Poland-2017	0.5014
27°	Italy-2021	0.5014	27°	Poland-2018	0.5014
27°	Poland-2019	0.5014	27°	Spain-2020	0.5014

27°	Poland-2020	0.5014	27°	Spain-2021	0.5014
27°	Poland-2021	0.5014	28°	Latvia-2016	0.4364
27°	Portugal-2014	0.5014	29°	Latvia-2015	0.3736
27°	Portugal-2015	0.5014	30°	Latvia-2014	0.3146
27°	Portugal-2016	0.5014	31°	Finland-2018	0.1936
27°	Portugal-2017	0.5014	31°	Germany-2018	0.1936
27°	Portugal-2018	0.5014	32°	Bosnia&Herzegovina-2015	0.1931
27°	Portugal-2019	0.5014	32°	Bosnia&Herzegovina-2016	0.1931
27°	Portugal-2020	0.5014	32°	Bosnia&Herzegovina-2017	0.1931
27°	Portugal-2021	0.5014	32°	Bosnia&Herzegovina-2018	0.1931
27°	Romania-2017	0.5014	33°	UK-2018	0.1929
27°	Romania-2018	0.5014	33°	Finland-2017	0.1929
27°	Romania-2019	0.5014	34°	Finland-2014	0.1919
27°	Romania-2020	0.5014	34°	Germany-2014	0.1919
27°	Romania-2021	0.5014	35°	Switzerland-2015	0.1894
27°	Serbia-2014	0.5014	35°	Switzerland-2016	0.1894
27°	Serbia-2015	0.5014	36°	Sweden-2014	0.1879
27°	Serbia-2016	0.5014	37°	Cyprus-2015	0.1848
27°	Serbia-2017	0.5014	37°	Luxembourg-2016	0.1848
27°	Serbia-2018	0.5014	38°	Sweden-2019	0.1816
27°	Serbia-2019	0.5014	39°	Germany-2017	0.0849
27°	Serbia-2020	0.5014	40°	Denmark-2017	0.0687
27°	Serbia-2021	0.5014	41°	Denmark-2014	0.0676
27°	Slovakia-2014	0.5014	42°	Finland-2020	0.0675
27°	Slovakia-2015	0.5014	42°	Finland-2021	0.0675
27°	Slovakia-2016	0.5014	43°	Finland-2015	0.0672
27°	Slovakia-2017	0.5014	43°	Germany-2015	0.0672
27°	Slovakia-2018	0.5014	44°	UK-2019	0.0671
27°	Slovakia-2019	0.5014	45°	Sweden-2015	0.0593
27°	Slovakia-2020	0.5014	46°	Sweden-2020	0.0452
27°	Slovakia-2021	0.5014	47°	Denmark-2020	0.0295
27°	Slovenia-2014	0.5014	48°	Finland-2019	0.0294
27°	Slovenia-2015	0.5014	49°	Denmark-2018	0.0292
27°	Slovenia-2016	0.5014	49°	Denmark-2015	0.0292
27°	Slovenia-2017	0.5014	50°	Finland-2016	0.0192
27°	Slovenia-2018	0.5014	50°	Germany-2016	0.0192
27°	Slovenia-2019	0.5014	51°	Sweden-2021	0.0191
27°	Slovenia-2020	0.5014	52°	UK-2020	0.0190
27°	Slovenia-2021	0.5014	53°	Germany-2021	0.0188
27°	Spain-2014	0.5014	54°	Denmark-2016	0.0175
27°	Spain-2015	0.5014	55°	Denmark-2019	0.0161
27°	Spain-2016	0.5014	56°	Netherlands-2019	0.0129
27°	Spain-2017	0.5014	56°	Netherlands-2020	0.0129
27°	Spain-2018	0.5014	56°	Netherlands-2021	0.0129
27°	Spain-2019	0.5014	56°	Sweden-2016	0.0129

<b>Posizione</b>	<b>Paese</b>	<b>Punteggio</b>
57°	Norway-2019	0.0037
57°	Norway-2020	0.0037
57°	Norway-2021	0.0037
58°	UK-2021	0.0031
59°	Luxembourg-2017	0.0004
60°	Netherlands-2017	0.0000
60°	Netherlands-2018	0.0000
60°	Sweden-2017	0.0000
60°	Sweden-2018	0.0000
60°	Luxembourg-2018	0.0000
60°	Luxembourg-2021	0.0000

Tabella 4.7: Classifica della dimensione Innovazione

In questa classifica possiamo vedere come i paesi che occupano le prime posizioni sono quelli che, in tutte le altre dimensioni, occupano gli ultimi posti come Bosnia ed Erzegovina, Montenegro, Croazia e Bulgaria, ad eccezione però dell'Ucraina, la quale occupava anche le prime posizioni delle dimensioni Economia e Demografia. Si nota come la media europea negli anni 2014, 2015, 2016 e 2017 sia sempre uguale e pari a 0.8070, mentre negli altri anni occupa, come la maggior parte dei paesi, la ventisettesima posizione con un valore pari a 0.5014. Come si evidenziava anche dal grafico infatti, quasi tutti i paesi occupano la ventisettesima posizione con un punteggio pari a 0.5014. In particolare, si denota anche come, in questa posizione spesso si trovano gli stessi paesi per molti anni consecutivi; questo significa che per diversi stati non vi è nè un peggioramento, nè un miglioramento. Questo fa della dimensione Innovazione, la più statistica tra tutte le dimensioni; significa che i paesi non migliorano nè peggiorano, semplicemente hanno la stessa performance per tutti gli anni. Da questo deduciamo come la dimensione dell'innovazione sia quella in cui sono necessari maggiori incentivi per promuovere la crescita nei vari paesi europei in questo settore.

Possiamo anche notare come stati che tradizionalmente hanno alte performance, si trovino invece tra le ultime posizioni di questa classifica. Infatti, paesi come Norvegia, Regno Unito, Lussemburgo, Paesi Bassi e Svezia sono gli ultimi paesi di questa classifica classificandosi al sessantesimo posto con un punteggio quasi pari a zero.

L'Italia, come la maggior parte dei paesi si trova nella ventisettesima posizione con un punteggio pari a 0.5014 per tutti e otto gli anni.

Succesivamente, viene presentato il grafico che mostra punteggio di incomparabilità e ranking;

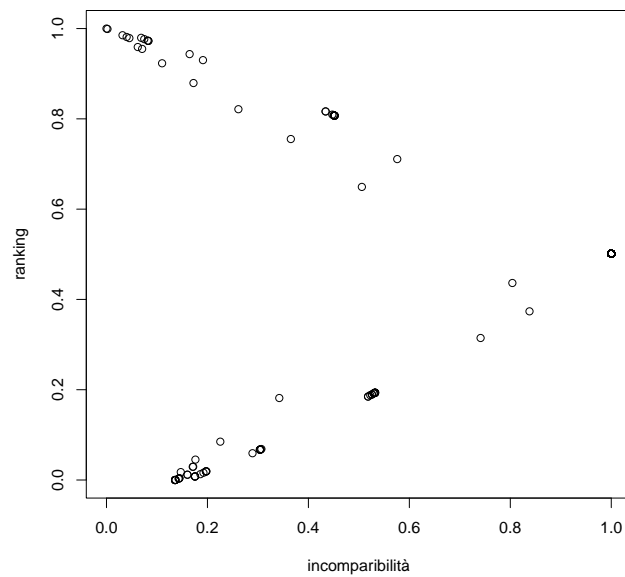


Figura 4.8: Grafico dell'incomparabilità della dimensione Innovazione

Anche per questa dimensione la distribuzione dei punti è differente da quella delle altre dimensioni; sono pochissimi i paesi che ottengono un valore medio nel ranking, in particolare solo un paese raggiunge il valore 0.5 e corrisponde anche al paese con massima distorsione. Come sottolineato per la dimensione dell'Istruzione, anche in questo caso i paesi con valori del ranking particolarmente alti o bassi presentano minore distorsione, mentre più il valore ottenuto nel punteggio si avvicina al valore di 0.5, maggiormente cresce la distorsione.



## 4.5 Considerazioni finali

Alla luce dei risultati presentati precedentemente possiamo affermare che la dimensione dell'Innovazione è quella in cui i paesi emergenti, e che solitamente si trovano nelle ultime posizioni nelle altre dimensioni, come Bosnia ed Erzegovina, Croazia, Bulgaria e Montenegro, hanno le migliori performance, mentre i paesi che tradizionalmente sono conosciuti come i paesi più benestanti, come Regno Unito, Norvegia, Svezia e Svizzera, e che si trovano quasi sempre in alte posizioni delle classifiche, sono quelli che stanno presentando un minor sforzo nella dimensione dell'Innovazione. Questo può essere dovuto al fatto che questi paesi, performando molto bene in molti settori abbiano meno incentivi, rispetto ad altri, di innovarsi e presentarsi come più competitivi a livello europeo mentre i paesi emergenti hanno un maggior incentivo all'innovazione. Inoltre nella dimensione dell'Innovazione, come in quella dell'Istruzione i paesi che ottengono valori particolarmente bassi o particolarmente alti nel ranking presentano una minor perdita di informazione rispetto a quei paesi che ottengono punteggi medi. Al contrario, invece delle dimensioni di Economia e Demografia, dove nonostante molti paesi raggiungano punteggi molto simili, le comparazioni hanno una minor ragione d'essere, alla luce dei punteggi di incomparabilità ottenuti dagli stati e questo porta comparazioni tra stati più difficili e meno intuitive, con risultati che vanno letti ed analizzati tramite un'ottica più attenta e che va oltre un semplice confronto delle posizioni ottenute nella classifica.

In conclusione possiamo affermare che, ad eccezione della dimensione Innovazione, sono i paesi del nord Europa ad occupare quasi sempre le posizioni più alte nelle classifiche, con una particolare menzione al Regno Unito che domina sia la dimensione economica che quella dell'istruzione. Inoltre sia la dimensione economica che quella dell'innovazione sono le dimensioni maggiormente statiche, con molti stati che per diversi anni consecutivi ottengono lo stesso punteggio. Questo può suggerire, come in queste due dimensioni ci sia bisogno di particolari politiche in modo da incentivare maggiormente gli stati a migliorare in questi campi. La dimensione demografica, inoltre, sottolinea come Croazia e Bulgaria siano i paesi che necessitano di politiche a favore della natalità, con la Bulgaria che sta vivendo un vero e proprio crollo demografico; risulta che dal 1989 abbia perso il 10% della sua popolazione<sup>18</sup>.

L'Italia non presenta delle performance particolarmente alte in nessuna categoria; solitamente si trova nella media insieme alla maggioranza dei paesi. Nella dimensione Innovazione occupa, per tutti gli anni, il ventisettesimo posto insieme alla maggioranza dei paesi; il nostro paese come molti altri sembra molto statico in questa dimensione. Nella dimensione demografica l'Italia si colloca poco al di sotto della media europea, mentre nell'istruzione vi è stato un progressivo miglioramento, con la miglior performance ottenuta nel 2021. Nella dimensione economica l'Italia ha un andamento molto altalenante e poco stabile; ottiene il punteggio migliore nel 2014 per poi raggiungere sempre posizione più basse negli anni successivi, con un minimo nel 2017.

Questi risultati, che sono in linea con quelli di più autorevoli istituzioni come l'Eurostat, si presentano come uno strumento per poter comprendere in modo più approfondito e completo la competitività in Europa, con un'attenzione posta anche alle differenze dei diversi stati.

---

<sup>18</sup>National Statistical Institute of Bulgaria <https://www.nsi.bg/en/content/2920/population-demography-migration-and-projections>[16]



## Elenco delle figure

2.1	Diagramma di Hasse del poset $P$ . . . . .	11
2.2	Diagramma di Hasse del poset $P$ . . . . .	12
2.3	Evidenziata una catena . . . . .	12
2.4	Evidenziata una anticatena . . . . .	13
2.5	Tutte le sole ed uniche estensioni lineari del poset $P_1$ . . . . .	14
4.1	Grafico della classifica della dimensione dell'Economia . . . . .	31
4.2	Grafico dell'incomparabilità della dimensione dell'Economia . . . . .	37
4.3	Grafico della classifica della dimensione demografica . . . . .	38
4.4	Grafico dell'incomparabilità della dimensione Demografia . . . . .	40
4.5	Grafico della classifica della dimensione Istruzione . . . . .	41
4.6	Grafico dell'incomparabilità della dimensione Istruzione . . . . .	46
4.7	Grafico della classifica della dimensione Innovazione . . . . .	47
4.8	Grafico dell'incomparabilità della dimensione Innovazione . . . . .	52

# Bibliografia

- [1] Word Economic Forum <https://www.weforum.org/agenda/2016/09/what-is-competitiveness/>
- [2] Hanna Shvindina, *Economic Competitiveness: An Overview of Multilevel Concept*, 2022 [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-95726-5\\_63](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-95726-5_63)
- [3] Biografia di Helmut Hasse, <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hasse/>
- [4] Tim Roughgarden, Gregory Valiant, *The Singular Value Decomposition (SVD) and Low-Rank Matrix Approximations*, 2022 <https://web.stanford.edu/class/cs168/l/19.pdf>
- [5] Alberto Arcagni, Marco Fattore *Posetic Tools in the Social Sciences: A Tutorial Exposition*, 2021 [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59683-5\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-59683-5_15)
- [6] Sito personale di Hadley Alexander Wickham <https://hadley.nz/>
- [7] GitHub di Romain Fracois <https://github.com/romainfrancois>
- [8] GitHub di Pablo Casas <https://github.com/pablo14>
- [9] Sito personale di Alberto Arcagni <https://albertoarcagni.github.io/>
- [10] Sito personale di David Schoch <https://mr.schochastics.net/>
- [11] Dati EIS <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard/eis>
- [12] European Innovation Scoreboard Methodology Report 2021 [https://www.eustat.eus/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111\\_c.pdf](https://www.eustat.eus/elementos/European-Innovation-Scoreboard-2021-Methodology-Report/inf0019111_c.pdf)
- [13] Definizione di economia <https://it.wikipedia.org/wiki/Economia>
- [14] Definizione di demografia <https://www.britannica.com/dictionary/demography>
- [15] Stefania M.L. Rimoldi, Alberto Arcagni, Marco Fattore, Laura Terzera *Social and Material Vulnerability of the Italian Municipalities: Comparing Alternative Approaches*, 2022 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-020-02330-x>

[16] National Statistical Institute of Bulgaria <https://www.nsi.bg/en/content/2920/population-demography-migration-and-projections>