

Data4Resilience

MEMOREC Project Staff
28 February 2025



Introduction

During this workshop, we will provide useful insights, R scripts, and ideas for analyzing the data contained in the EcoPop_ER database.

Data Structure

Variabili principali

Variabile	Tipo	Descrizione
Anno	int	Anno dell'osservazione (2000-2023)
Mese	int	Mese dell'osservazione (1-12, con 13 per il totale annuale)
Nome_Unità_Territoriale	chr	Nome del comune o unità territoriale
Codice_Unità_Territoriale	int	Codice identificativo dell'unità territoriale
Valore	num	Valore dell'indicatore (es. numero di decessi)
Indicatore	chr	Nome dell'indicatore (es. "Decessi maschi")
Unità_Territoriale	int	Codice numerico della suddivisione territoriale
Codice_Indicatore	int	Codice identificativo dell'indicatore
Periodicità_Indicatore	int	Frequenza della rilevazione (1 = mensile, 2 = annuale)
Provincia	chr	Nome della provincia di appartenenza

- **Number of observations:** 3,741,338
- **Number of variables:** 10
- **Long form**

Key Features

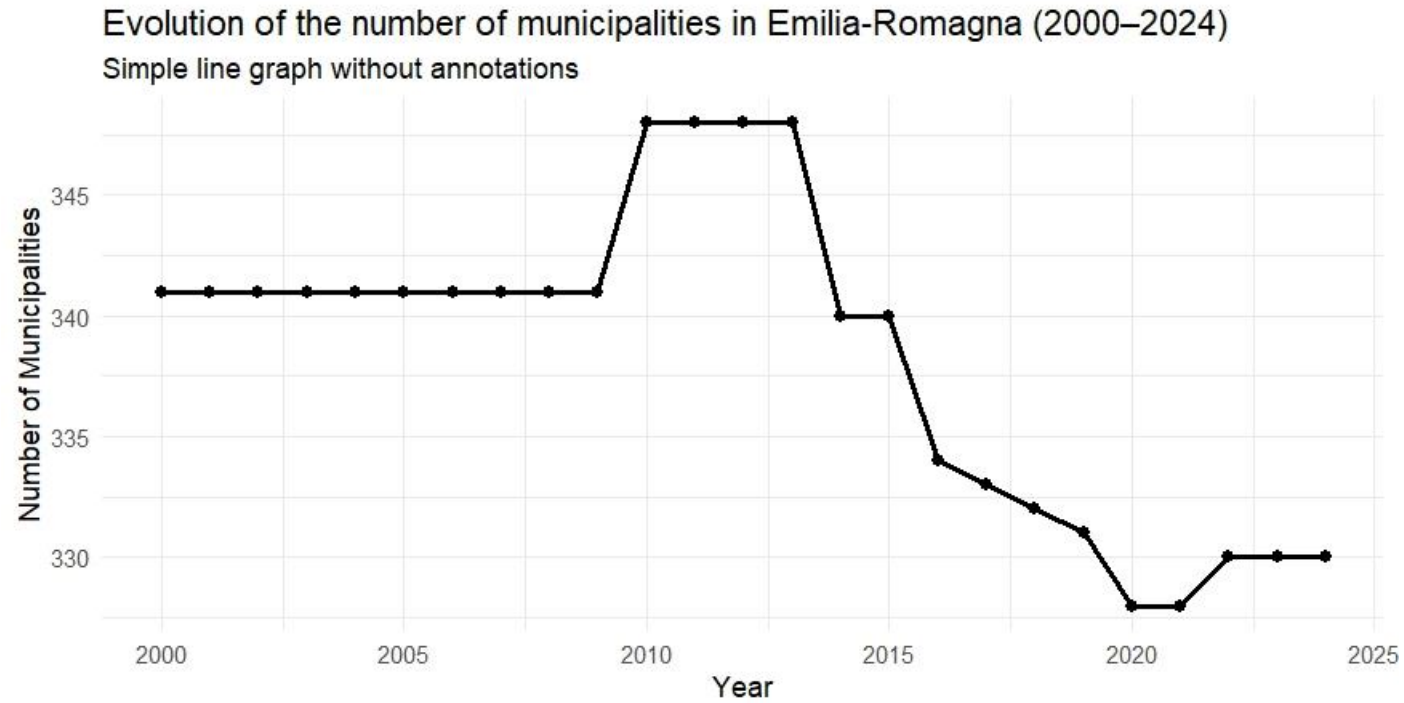
- The dataset is structured by year and month, with data available at the municipal and provincial levels.
- The indicators include demographic data such as mortality (e.g., "Male deaths aged 65-74").
- Some values are missing for month 13, which represents the annual total.
- The dataset covers the Emilia-Romagna region, with territorial details down to individual municipalities.

Challenges in EcoPop_ER Database

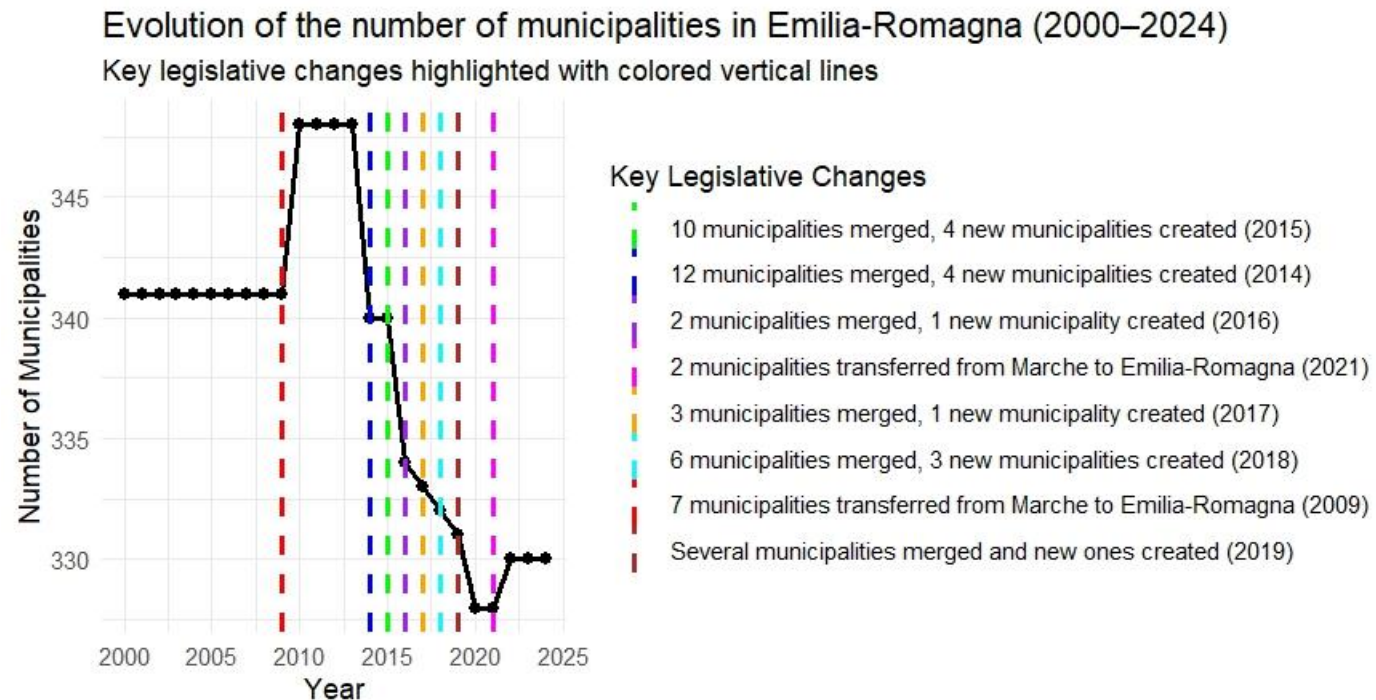
The main challenge in using the EcoPop_ER database is the legislative changes that occurred between 2000 and 2024, modifying municipal boundaries.

- Some indicators refer to different time periods, leading to inconsistencies.
- The temporal references of indicators are not homogeneous.
- Before starting the analysis, it is necessary to align all indicators to a single, consistent territorial reference.

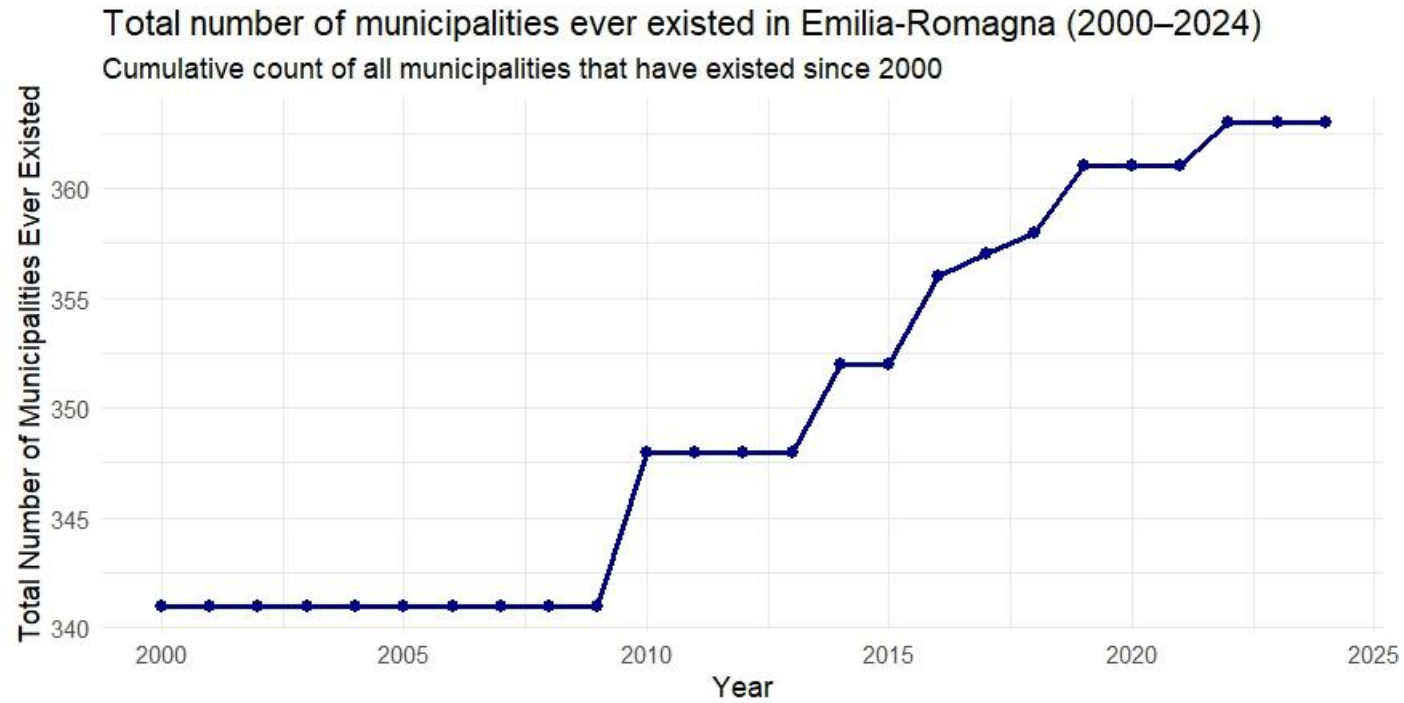
Evolution of Municipalities in Emilia-Romagna (2000-2024)



Legislative Changes and Municipal Mergers



Total Number of Municipalities Ever Existed



Metadata Document: Version 1.1 (25/10/2024)

New (only for workshop participants)

- The document "**metadati_versione1.1_25102024_new.doc**" is a revised version of the metadata available on **Zenodo**.
- We have highlighted **indicator names in different colors** to distinguish them based on their **temporal coverage**.
- This color coding reflects the **number of municipalities** each indicator refers to, ensuring clarity in data interpretation.

This version provides a clearer structure for understanding the dataset's evolution over time.

EcoPop_ER - Dataset demografico, territoriale, climatico dell'Emilia Romagna

Versione 1.1 - Ottobre 2024

Il dataset comprende 3.741.338 osservazioni e 10 variabili, relative alle Unità Territoriali dell'Emilia-Romagna.

Lista delle variabili:

- **Indicatore:** nome dell'indicatore di riferimento.
- **Codice Indicatore:** codice di riferimento dell'indicatore.
- **Anno:** anno di riferimento
- **Mese:** mese di riferimento (1=gennaio, 2=febbraio, 3=marzo, 4=aprile, 5=maggio, 6=giugno, 7=luglio, 8=agosto, 9=settembre, 10=ottobre, 11=novembre, 12=dicembre, 13=intero anno (per gli indicatori mensili), NA=il dato a cui si fa riferimento è annuale)
- **Periodicità Indicatore:** periodicità a cui il dato si riferisce (mensile=1, annuale=2).
- **Nome Unità Territoriale:** nome del comune o della provincia di riferimento.
- **Codice Unità Territoriale:** codice Istat del comune o della provincia di riferimento.
- **Unità Territoriale:** tipologia dell'unità territoriale di riferimento (comune=1, provincia=2; nota: in questa versione del dataset sono presenti solo dati comunali).
- **Valore:** valore dell'indicatore di riferimento.
- **Provincia:** la provincia di riferimento, nel caso in cui il dato si riferisca a un comune.

Il dataset contiene 507 indicatori.

Lista degli indicatori per fonte:

- **Demo Istat:** <https://demo.istat.it/> (ultimo accesso 11/07/2024)
318 indicatori demografici
 - **Decessi maschi/femmine/totale (codici da 10001 a 10003)**
I dati sono mensili e vanno dal 2004 al 2018. I comuni interessati sono 358, ovvero tutti i comuni che sono esistiti in Emilia-Romagna dal 2004 al 2018 in qualsiasi anno. Pertanto, il numero di comuni per cui sono disponibili i dati varia a seconda dell'anno: i comuni accorpatisi in un dato anno sono presenti fino all'anno di accorpamento per poi riunirsi sotto il nome del nuovo comune; i comuni passati dalla Regione Marche alla Regione Emilia-Romagna sono presenti a partire dall'anno di passaggio.
 - **Decessi maschi/femmine tra i 65 e i 74 anni/tra i 75 e gli 84 anni/con 85 anni e più (codici da 10004 a 10009)**
I dati sono mensili e vanno dal 2011 al 2023, ma sono mancanti i dati relativi all'anno 2013. I comuni interessati sono 330 per tutti gli anni, ovvero il numero di comuni che attualmente fanno parte dell'Emilia-Romagna (nel 2024). Pertanto, i comuni che sono stati accorpatisi insieme e i comuni che sono stati trasferiti dalla Regione Marche alla regione Emilia-Romagna in un dato anno sono presenti anche per gli anni precedenti all'anno di accorpamento/trasferimento con il loro nome attuale.
 - **Nati maschi/femmine/totale (codici da 10010 a 10012)**
I dati sono mensili e vanno dal 2004 al 2018. I comuni interessati sono 358, ovvero tutti i comuni che sono esistiti in Emilia-Romagna dal 2004 al 2018 in qualsiasi anno. Pertanto, il numero di comuni per cui sono disponibili i dati varia a seconda dell'anno: i comuni accorpatisi in un dato anno sono presenti fino all'anno di accorpamento per poi riunirsi sotto il nome del nuovo comune; i comuni passati dalla Regione Marche alla Regione Emilia-Romagna sono presenti a partire dall'anno di passaggio.

◦ **Popolazione residente maschi/femmine/totale di x anni di età (codici da 10013 a 10318)**

I dati vanno dal 2000 al 2023. Per il 2000 e il 2001 i comuni interessati sono 341, ovvero quei comuni che nel 2000 e nel 2001 facevano parte dell'Emilia-Romagna. Dal 2002 al 2019 i comuni interessati sono 330, ovvero quei comuni che attualmente fanno parte dell'Emilia-Romagna. Per il 2020 e 2021 i comuni interessati sono 328, ovvero i comuni che nel 2020 e nel 2021 facevano parte dell'Emilia-Romagna. Per il 2022 e il 2023 i comuni interessati sono 330, ovvero quei comuni che dal 2022 ad oggi fanno parte dell'Emilia-Romagna.

Le età interessate vanno da 0 a 100 e oltre, più un indicatore per tutte le età raggruppate.

Nota che per i 2 comuni Sassofeltrio e Montecopiolo, traferitisi dalle Marche all'Emilia Romagna nel 2021, è presente un doppio codice per gli indicatori della popolazione residente a x anni di età; quello vecchio della regione Marche per gli anni precedenti al 2021 e quello nuovo della regione ER per gli anni successivi (2022, 2023). Perciò per gli anni precedenti al 2022 la provincia che compare nel dataset è Pesaro e Urbino.

• **Arpa:** (ultimo accesso 02/05/2024) 4 indicatori climatici

- **Temperatura media mensile (codice 30001)**
- **Temperatura massima media mensile (codice 30002)**
- **Temperatura minima media mensile (codice 30003)**
- **Precipitazioni medie mensili (codice 30004)**

I dati sono mensili e vanno dal 2001 al 2023. I comuni interessati sono 330 per tutti gli anni, ovvero il numero di comuni che attualmente fanno parte dell'Emilia-Romagna (nel 2024). Pertanto, i comuni che sono stati accorpatisi insieme e i comuni che sono stati trasferiti dalla Regione Marche alla regione Emilia-Romagna in un dato anno sono presenti anche per gli anni precedenti all'anno di accorpamento/trasferimento con il loro nome attuale.

I dati mensili sono stati ricavati facendo un media dei dati giornalieri originari.

• **ISTAT:** <https://www.istat.it/classificazione/principali-statistiche-geografiche-sui-comuni/> (ultimo accesso 31/05/2024)

27 indicatori territoriali e demografici (codici da 40010 a 40027)

- **Superficie territoriale (kmq) al 01/01/2023 / al 01/01/2022 / al 01/01/2021 / al 01/01/2020 / al 01/01/2019 / al 01/01/2018 / al 01/01/2017 / al 01/01/2016 / al 01/01/2015 / al 01/01/2014 / al 01/01/2013 / al 01/01/2012**
- **Zona altimetrica**
- **Altitudine del centro (metri)**
- **Comune litoraneo (1=si, 0=no)**
- **Comune isolano (1=si, 0=no)**
- **Zona costiera (1=si, 0=no)**
- **Grado di urbanizzazione**

I dati sono annuali e sono disponibili dal 2008 al 2023 (tranne per l'indicatore "Grado di urbanizzazione" che è presente dal 2012). I comuni interessati sono 363, ovvero tutti i comuni che sono esistiti in Emilia-Romagna dal 2008 al 2023 in qualsiasi anno. Pertanto, il numero di comuni per cui sono disponibili i dati varia a seconda dell'anno: i comuni accorpatisi in un dato anno sono presenti fino all'anno di accorpamento per poi riunirsi sotto

Source	Indicator group	Period and number of municipality
Demo Istat	Decessi maschi/femmine/totale	This group provides monthly data from 2004 to 2018, covering all 358 municipalities that existed in Emilia-Romagna at any point during this period.
Demo Istat	Nati maschi/femmine/totale	
Demo Istat	Popolazione residente maschi/femmine/totale di x anni di età	This group covers 2000–2023 with a variable reference period: 2000–2001: 341 municipalities (those in Emilia-Romagna at the time). 2002–2019: 330 municipalities (current Emilia-Romagna boundaries). 2020–2021: 328 municipalities (boundaries as of those years). 2022–2023: 330 municipalities (current boundaries). Municipal coverage changes over time based on administrative adjustments.
Demo Istat	Decessi maschi/femmine tra i 65 e i 74 anni/tra i 75 e gli 84 anni/con 85 anni e più	This group provides monthly data from 2011 to 2023. It covers 330 municipalities, corresponding to Emilia-Romagna's current (2024) administrative boundaries.
Arpae	4 indicatori climatici	
IstatData	1 indicatore composito di fragilità e 12 indicatori semplici (per costruirlo)	
ISTAT	27 indicatori territoriali e demografici	This group includes 363 municipalities, covering all that existed in Emilia-Romagna at any point from 2008 to 2023.
Regione Emilia-Romagna	15 indicatori demografici	
Regione Emilia-Romagna	9 indicatori relativi alla famiglia	
ISTAT	15 indicatori demografici	The data refers to 2018 and the 331 municipalities existing in Emilia-Romagna that year.

Note: The simplest analytical approach is to use the **green indicators**, as they are already constructed with boundaries consistent with the latest available year.

Pre-analysis Steps: Running Essential Scripts

Before starting any analysis, it is crucial to run the three scripts introduced in the first workshop to ensure data consistency:

1. Select Relevant Indicators (script_1)

Choose the specific indicators needed for the analysis to focus only on relevant data.

2. Adjust Indicators to Current Boundaries (script_2)

Align the selected indicators with the present-day municipal boundaries to maintain consistency over time.

3. Exclude Municipalities Transferred from Marche to Emilia-Romagna (script_3)

Remove these municipalities from the analysis since the database does not contain their data when they were part of Marche. This simplifies the analysis and avoids inconsistencies.

By following these steps, we ensure reliable and comparable results.

Data Preparation Phase

ZENODO

<https://zenodo.org/records/13951348>

zenodo Search records... Communities My dashboard

Published October 18, 2024 | Version 1.1

EcoPop_ER (Beta Version)

Barbieri, Nadia (Data curator) ; Scalone, Francesco (Supervisor)

The EcoPop_ER database aims to provide new informational tools to understand and mitigate the impact of rapid climate change on the population of Emilia-Romagna by developing and disseminating a database containing demographic, environmental, and climatic data for all municipalities in the region. The database implementation is promoted as part of the project 'Memorec - Resilience and Climate Memory in Emilia-Romagna', funded by the University of Bologna through Alma CaReS funds.

Version: Version 1.1. Provisional version of the dataset.

License: CC-BY 4.0 International

DOI: 10.5281/zenodo.13885777

Files

dataset_version1_25102024.csv

Anno	Mese	Nome_Unità_Territoriale	Codice_Unità_Territoriale	Valore	Indicatore	Unità_Territoriale	Codice_Indicatore	Periodicità_Indicatore
2004	1	AGAZZANO	33001	1	Decessi maschi	1	10001	1
2004	2	AGAZZANO	33001	2	Decessi maschi	1	10001	1
2004	3	AGAZZANO	33001	3	Decessi maschi	1	10001	1

script3_comuni_marche.R

```
#gestione dati per comuni che facevano parte della regione marche ####
#elimino dati relativi ai comuni che sono stati nelle marche ####
comuni_marche<-toupper(c("Castel delci",
                          "Maiolo",
                          "Novafeltria",
                          "Pennabilli",
                          "San Leo",
                          "Sant'Agata Feltria",
                          "Talamello",
                          "Montecopiolo",
                          "Sassofeltrio"))
dati2<-ecopop%>%filter(!Nome_Unità_Territoriale%in%comuni_marche)
unique(dati2$Nome_Unità_Territoriale) #ora sono 330-9=321
```



script1_selezione_indicatori.R

```
# Caricare i pacchetti necessari
library(dplyr)
library(ggplot2)

# Filtrare i dati per la provincia di Rimini e l'indicatore della popolazione residente totale
dati_rimini <- dati %>%
  filter(Provincia == "RIMINI", Indicatore == "Popolazione residente totale di tutte le età") %>%
  group_by(Anno) %>%
  summarise(Popolazione_Totale = sum(Valore, na.rm = TRUE)) %>%
  arrange(Anno)

# Creare il grafico a linee
ggplot(dati_rimini, aes(x = Anno, y = Popolazione_Totale)) +
  geom_line(color = "blue", size = 1) +
  geom_point(color = "red", size = 2) +
  labs(title = "Popolazione Residente Totale - Provincia di Rimini",
       x = "Anno",
       y = "Popolazione Totale") +
  theme_minimal()
```



script2_ricondurre_ai_comuni_attuali.R

```
#ricondurre i comuni a quelli attuali ####
#to run after script1 (advised)
#now the only indicator that gives us trouble is the population
library(tidyverse)

result <- dati %>%
  group_by(Nome_Unità_Territoriale) %>%
  summarise(number_of_codes = n_distinct(Codice_Unità_Territoriale)) %>%
  filter(number_of_codes > 1)

#montecopiolo e sassofeltrio
montecopiolo<-dati[dati$Nome_Unità_Territoriale=="MONTECOPIOLO",]
unique(montecopiolo$Codice_Unità_Territoriale)
check<-dati[dati$Codice_Unità_Territoriale==41033,]
dati$Codice_Unità_Territoriale<-ifelse(dati$Nome_Unità_Territoriale=="MONTECOPIOLO",
                                     99030,dati$Codice_Unità_Territoriale)

sassofeltrio<-dati[dati$Nome_Unità_Territoriale=="SASSOFELTRIO",]
unique(sassofeltrio$Codice_Unità_Territoriale)
check<-dati[dati$Codice_Unità_Territoriale==41060,]
dati$Codice_Unità_Territoriale<-ifelse(dati$Nome_Unità_Territoriale=="SASSOFELTRIO",
                                     99031,dati$Codice_Unità_Territoriale)
```



Main Analysis

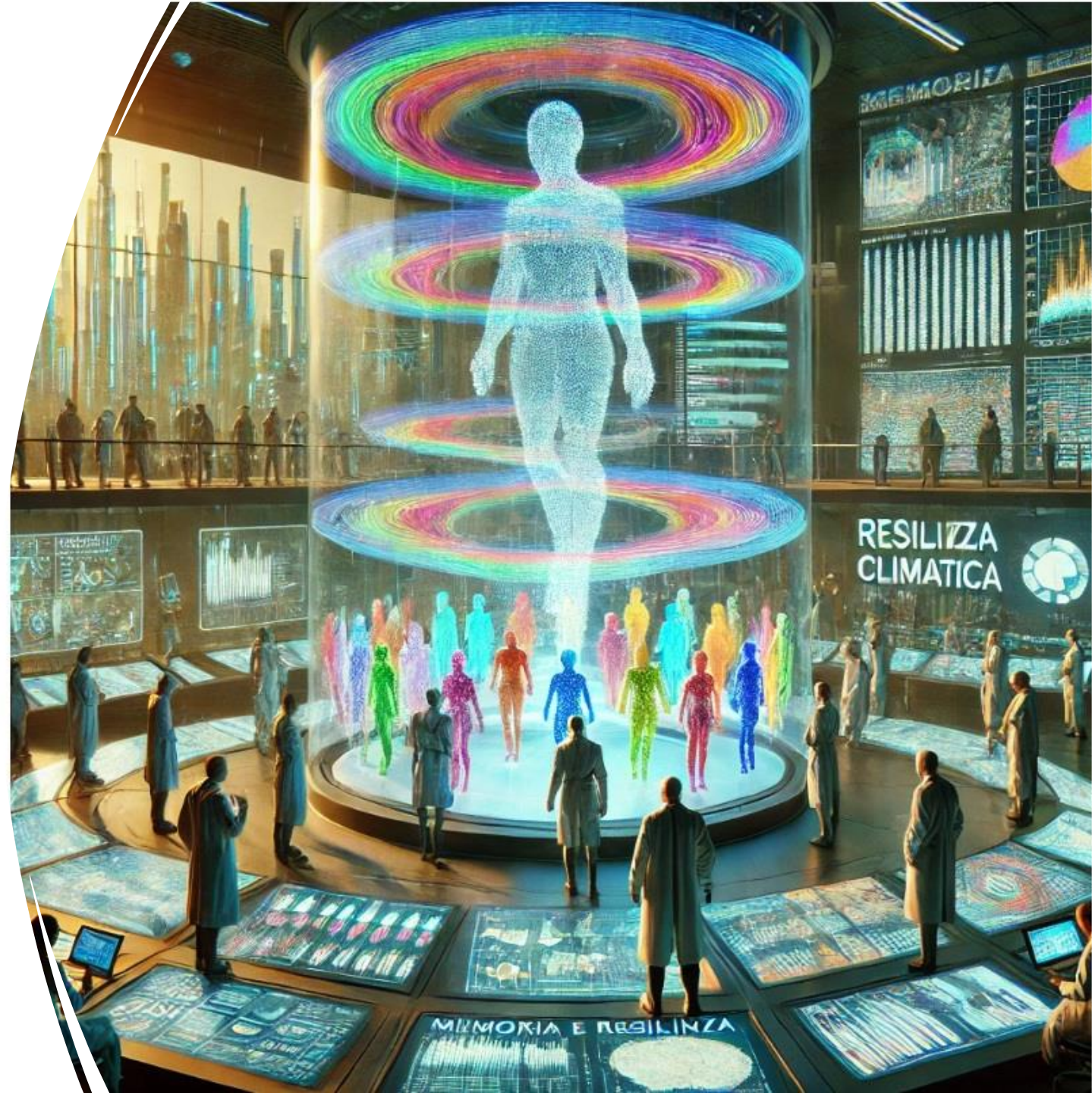
Script_2: Applicability and Considerations

- **Script_2** is designed to work with indicators based on **count variables**, such as **population, deaths, births**, etc.
- If you need to process **average indicators** (e.g., **monthly average temperatures**), you can also refer to **Script_1**.
- Just remember that instructions for handling **average indicators** are included in **Script_1** within the comments (marked with #).

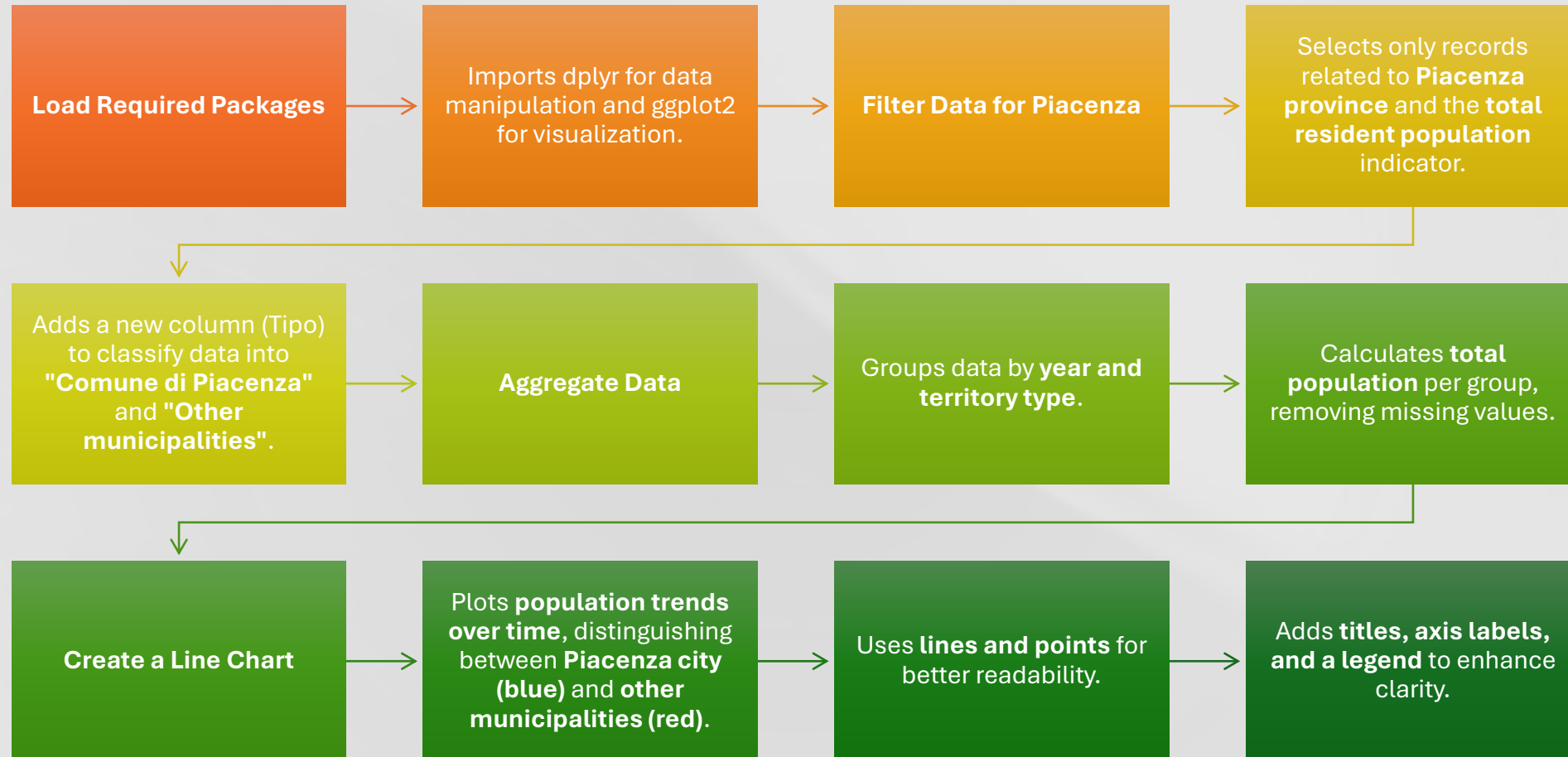
Always ensure you are using the correct approach for your dataset to maintain consistency in the analysis.

Population Description

Let's now look at some simple R scripts to visualize **population trends** in a **single municipality**, a **provincial capital**, or the **remaining provincial area** of the area you are studying.



script_Population_Trend_28022025.R



```

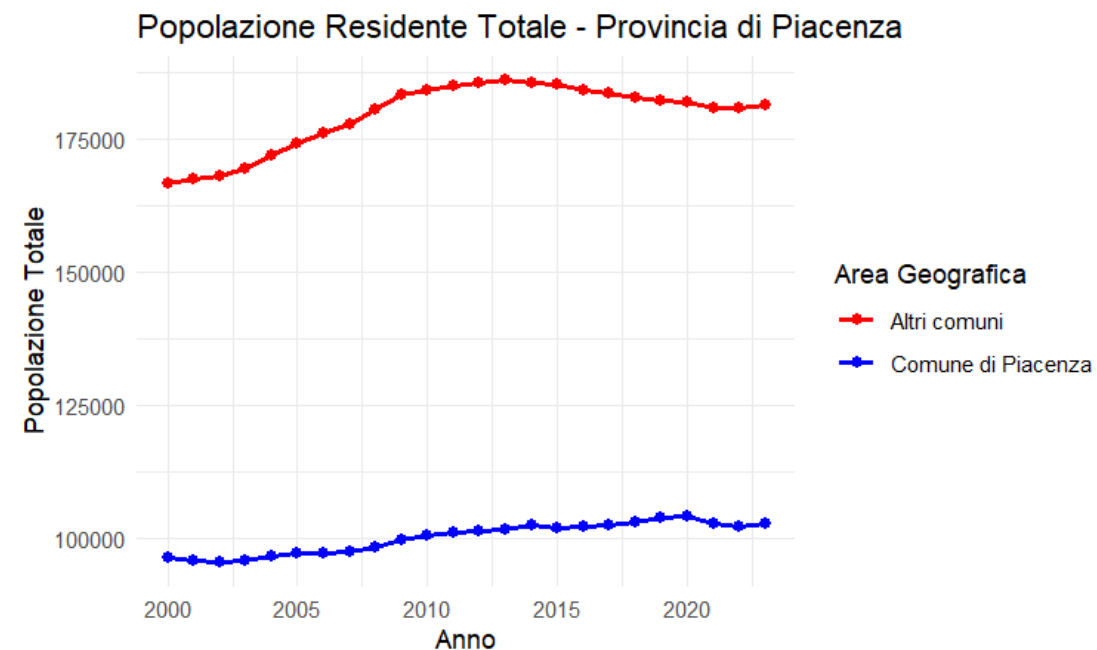
# Caricare i pacchetti necessari
library(dplyr)
library(ggplot2)

# Filtrare i dati per la provincia di Rimini e l'indicatore della popolazione residente totale
dati_piacerza <- dati %>%
  filter(Provincia == "PIACENZA", Indicatore == "Popolazione residente totale di tutte le età") %>%
  mutate(Tipo = ifelse(Nome_Unità_Territoriale == "PIACENZA", "Comune di Piacenza", "Altri comuni"))

# Aggregare i dati per anno e tipo di territorio
dati_aggregatip <- dati_piacerza %>%
  group_by(Anno, Tipo) %>%
  summarise(Popolazione_Totale = sum(Valore, na.rm = TRUE)) %>%
  arrange(Anno, Tipo)

# Creare il grafico a linee
ggplot(dati_aggregatip, aes(x = Anno, y = Popolazione_Totale, color = Tipo, group = Tipo)) +
  geom_line(size = 1) +
  geom_point(size = 2) +
  labs(title = "Popolazione Residente Totale - Provincia di Piacenza",
       x = "Anno",
       y = "Popolazione Totale",
       color = "Area Geografica") +
  theme_minimal() +
  scale_color_manual(values = c("Comune di Piacenza" = "blue", "Altri comuni" = "red"))

```



Annual Mortality Rates Calculation

Expanding the Analysis

In addition to monthly death distributions, the script can be extended to compute **annual mortality rates** by:

✓ Retrieving Total Deaths

- Modify the data selection step to include the **annual total (Mese = 13)**.
- Sum the total deaths for each year.

✓ Incorporating Population Data

- Use available population figures for each territorial unit.

✓ Computing Mortality Rates

- Calculate the annual mortality rate as:
- $\text{Mortality Rate} = \text{Total Deaths in Year} / \text{Total Population} \times 1,000$

✓ Comparing Trends

- Analyze mortality rate variations across years and geographic areas.

Seasonal mortality patterns



Script_1_Mortality by Season_28022025



Script_1_Mortality by Season_28022025.R

```
setwd("~/Didattica/Data Science for Population Analytics")

library(tidyverse)

# Carica il dataset
dati <- read.table("dataset_versione1_25102024.txt",
                  header = TRUE)

# Mostra la struttura del dataset
str(dati)
summary(dati)
glimpse(dati)

# Filtra i dati per la Provincia di RIMINI, il Comune di RIMINI, gli anni 2011, 2015 e 2020, e le fasce d'età richieste
dati_rimini <- dati %>%
  filter(Provincia == "RIMINI",
         Nome_Unità_Territoriale == "RIMINI",
         Anno %in% c(2011, 2015, 2020),
         Mese != 13, # Escludi il totale annuale
         Indicatore %in% c("Decessi maschi tra i 65 e i 74 anni",
                           "Decessi maschi con 85 e più anni"))

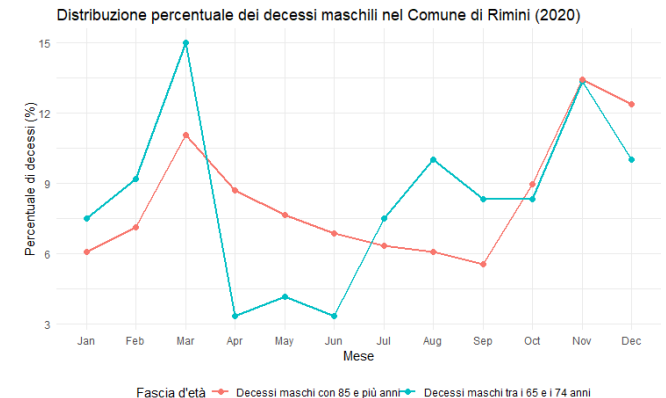
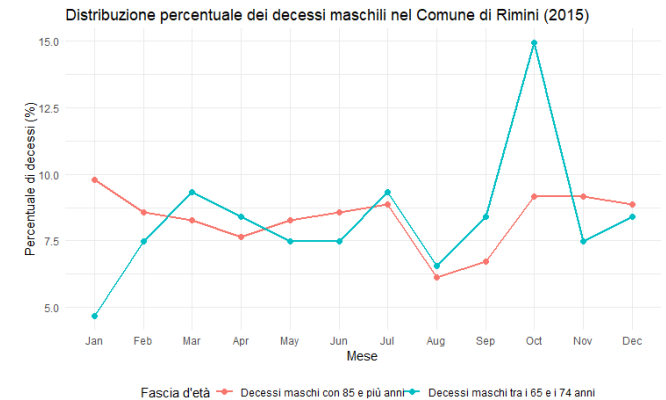
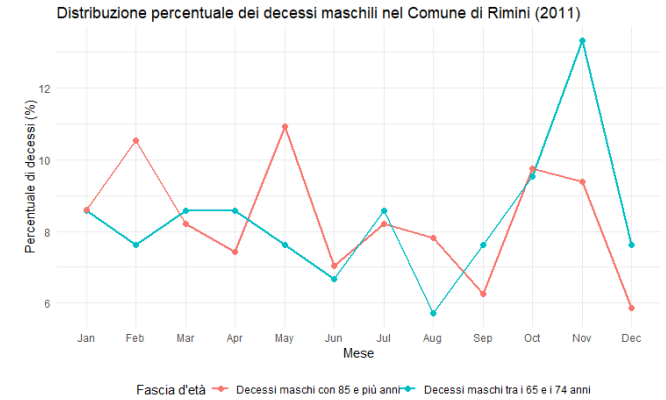
# Calcola la percentuale dei decessi per ciascuna fascia di età e anno
dati_percentuali <- dati_rimini %>%
  group_by(Anno, Indicatore) %>%
  mutate(Totale_Fascia = sum(Valore)) %>%
  ungroup() %>%
  mutate(Percentuale = (Valore / Totale_Fascia) * 100)

# Crea tre grafici separati con linee per ciascun anno
anni <- c(2011, 2015, 2020)

for (anno in anni) {
  dati_annuali <- dati_percentuali %>% filter(Anno == anno)

  p <- ggplot(dati_annuali, aes(x = factor(Mese), y = Percentuale, color = Indicatore, group = Indicatore)) +
    geom_line(size = 1) + # Linee per il confronto
    geom_point(size = 2) + # Punti per evidenziare i dati
    labs(title = paste("Distribuzione percentuale dei decessi maschili nel Comune di Rimini (", anno, ")", sep = ""),
         x = "Mese",
         y = "Percentuale di decessi (%)",
         color = "Fascia d'età") +
    scale_x_discrete(labels = month.abb) + # Abbreviazioni dei mesi
    theme_minimal() +
    theme(legend.position = "bottom")

  print(p)
}
```



Results

- Identification of possible seasonal mortality peaks -> winter mortality excess, COVID effect in March 2020 (?)
- Comparison between age groups and variations over the three years



Script_2_Mortality by Season_28022025.R

This R script analyzes the monthly distribution of deaths among elderly men in Piacenza and the rest of its province for the years 2011, 2015, and 2020.

1. Setup & Data Loading

- Sets the working directory and loads the tidyverse package.
- Reads the dataset from a .txt file and explores its structure (str(), summary(), glimpse()).

2. Data Filtering

- **Province of Piacenza (excluding the city):** Selects data for the province, excluding Piacenza.
- **City of Piacenza:** Selects data only for Piacenza.
- Both subsets include only the years 2011, 2015, and 2020, exclude annual totals (Mese != 13), and focus on two indicators:
 - Male deaths aged 65-74
 - Male deaths aged 85+

3. Percentage Calculation

- Defines a function to compute the monthly percentage of deaths relative to the annual total.
- Applies this function separately to the two subsets (province vs. city).

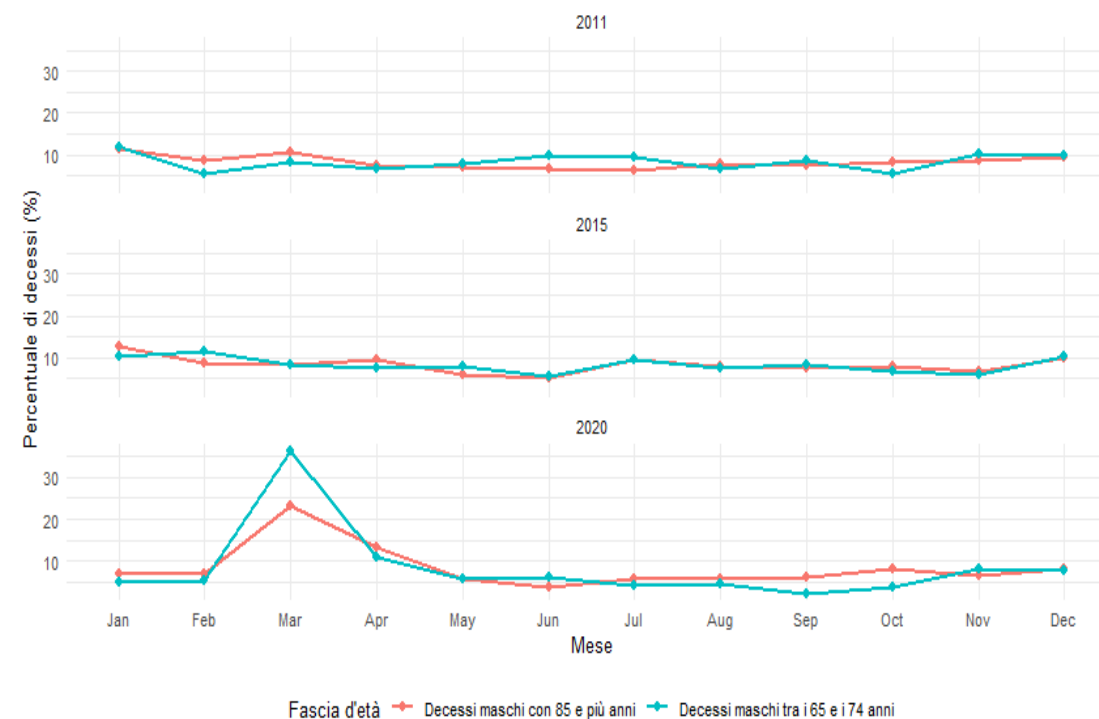
4. Visualization

- Generates **two line charts**:
 - One for the province (excluding Piacenza).
 - One for the city of Piacenza.
- Each chart shows the monthly percentage of deaths per indicator, with separate panels for each year.

Distribuzione percentuale dei decessi nel Comune di PIACENZA

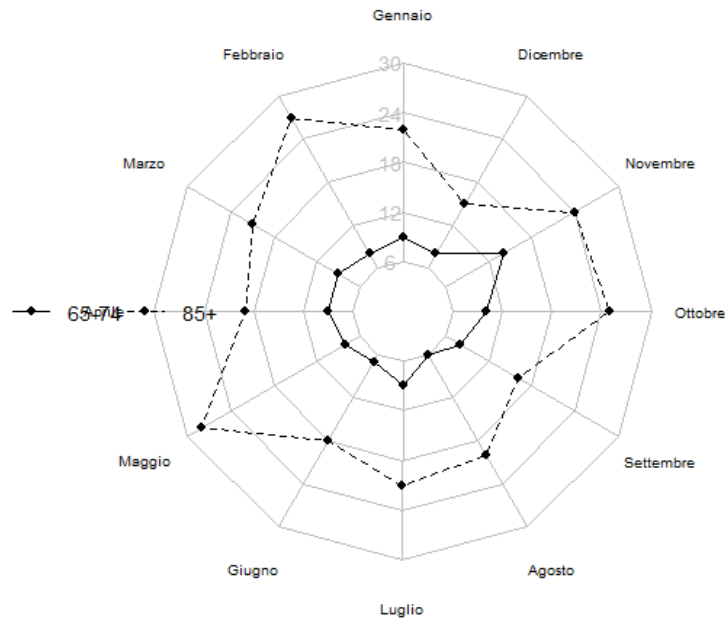


Distribuzione percentuale dei decessi nella provincia di PIACENZA (escluso PIACENZA)

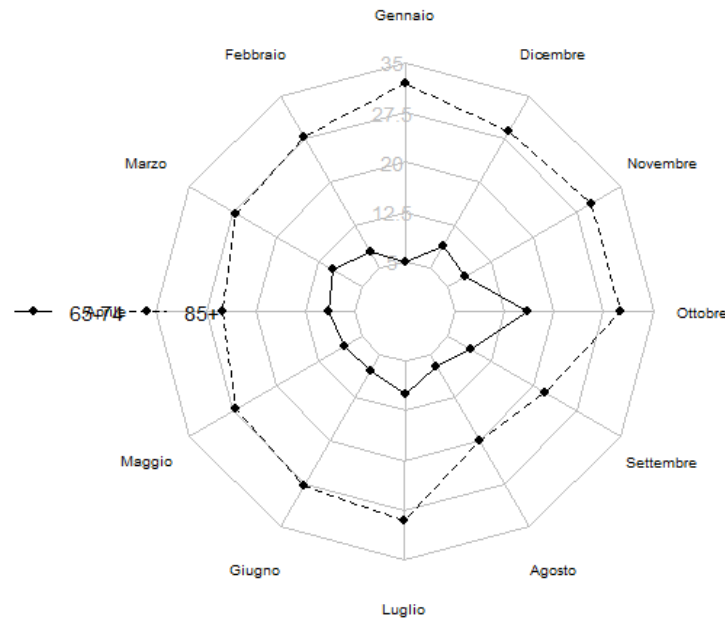


Script_Spider_Graph_28022025.R

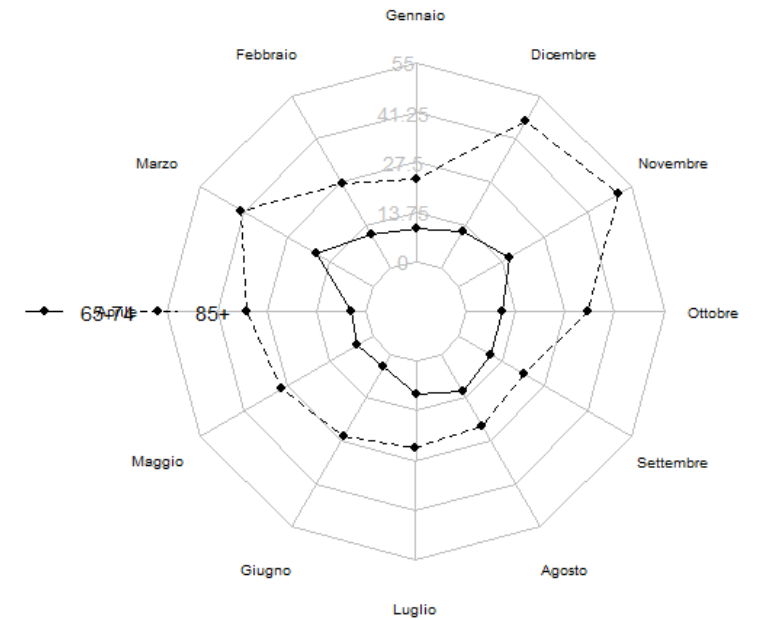
% Decessi maschi - Rimini 2011



% Decessi maschi - Rimini 2015




% Decessi maschi - Rimini 2020



Refining the Analysis with Poisson Regression for Count Data

Monthly death counts are **count data**, making them suitable for **Poisson regression modeling**.



The Poisson model assumes the **monthly death counts** as the response variable.



Explanatory variables (regressors) can include:

Month and Year

Municipality

**Average, Minimum,
and Maximum
Temperatures**

Precipitation Levels

Poisson Model in GLM Framework

- Poisson regression falls under the **Generalized Linear Models (GLM)** framework.
- Further refinement of the analysis can be achieved by evaluating alternative models:
 - **Negative Binomial Model** (if overdispersion is detected)
 - **Quasi-Poisson Model** (to adjust for overdispersion)
 - **Hurdle Model** or **Zero-Inflated Model** (if excess zeros are present)

Script_Poisson_Modelling_28022025.R

Data Preparation & Filtering

- **Dataset Loading:**

Read the CSV data and inspect its structure.

- **Filtering:**

Select records for Bologna (years 2011–2023, excluding 2013).

- **Indicator Selection:**

Choose relevant variables such as:

- Monthly precipitation
- Maximum, mean, and minimum monthly temperatures
- Female deaths (ages 75–84)

- **Data Merging:**

Extract and merge the subsets for deaths and climate indicators using common keys (year, month, and territorial unit).

Script_Poisson_Modelling_28022025.R

Modeling & Visualization

- **Poisson Regression:**

Fit a model to predict the number of female deaths using time and climate variables.

- **Results Extraction:**

Calculate rate ratios (exponentiated coefficients), confidence intervals, and p-values.

- **Visualization:**

Use ggplot2 to create:

- A plot of rate ratios for the "Year" factor.
- A plot of rate ratios for the "Month" factor.
- A plot of rate ratios for the climate variables.

```
> summary(mod_poisson_refined)
```

```
Call:
```

```
glm(formula = Decessi ~ Anno + Mese + Nome_Unità_Territoriale +  
Temp_Minima + Precipitazioni + Temp_Massima, family = poisson(link = "log"),  
data = df_model)
```

```
Coefficients:
```

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0.444297	0.098275	4.521	6.16e-06 ***
Anno2012	-0.043526	0.035296	-1.233	0.217515
Anno2014	-0.096733	0.037140	-2.605	0.009199 **
Anno2015	-0.020072	0.035431	-0.567	0.571048
Anno2016	-0.112702	0.036457	-3.091	0.001992 **
Anno2017	-0.059342	0.035569	-1.668	0.095243 .
Anno2018	-0.079949	0.036509	-2.190	0.028537 *
Anno2019	-0.113903	0.036490	-3.121	0.001799 **
Anno2020	0.011674	0.035003	0.334	0.738736
Anno2021	-0.015941	0.035101	-0.454	0.649722
Anno2022	-0.071695	0.036133	-1.984	0.047232 *
Anno2023	-0.102363	0.037193	-2.752	0.005920 **
Mese2	-0.143426	0.039277	-3.652	0.000261 ***
Mese3	-0.085468	0.050964	-1.677	0.093537 .
Mese4	-0.207596	0.066734	-3.111	0.001866 **
Mese5	-0.316865	0.088181	-3.593	0.000326 ***
Mese6	-0.388451	0.112679	-3.447	0.000566 ***
Mese7	-0.299124	0.123438	-2.423	0.015381 *
Mese8	-0.290542	0.122461	-2.373	0.017667 *
Mese9	-0.386757	0.099632	-3.882	0.000104 ***
Mese10	-0.269565	0.072732	-3.706	0.000210 ***
Mese11	-0.211194	0.049581	-4.260	2.05e-05 ***
Mese12	-0.060225	0.034514	-1.745	0.081000 .
Nome_Unità_TerritorialeANZOLA DELL'EMILIA	-0.009136	0.106133	-0.086	0.931400
Nome_Unità_TerritorialeARGELATO	-0.495645	0.121084	-4.093	4.25e-05 ***
Nome_Unità_TerritorialeBARICELLA	-0.273949	0.113754	-2.408	0.016028 *
Nome_Unità_TerritorialeBENTIVOGLIO	-0.930964	0.139384	-6.679	2.40e-11 ***
Nome_Unità_TerritorialeBOLOGNA	3.712668	0.076994	48.220	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeBORGO TOSSIGNANO	-1.237080	0.155435	-7.959	1.74e-15 ***
Nome_Unità_TerritorialeBUDRIO	0.623158	0.093748	6.647	2.99e-11 ***
Nome_Unità_TerritorialeCALDERARA DI RENO	0.043167	0.104517	0.413	0.679595
Nome_Unità_TerritorialeCAMUGNANO	-1.018441	0.142583	-7.143	9.15e-13 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASALECCHIO DI RENO	1.394917	0.084225	16.562	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASALFIUMANESE	-1.439950	0.168244	-8.559	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTEL D'AIANO	-1.633634	0.182321	-8.960	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTEL DEL RIO	-1.439872	0.168055	-8.568	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTEL DI CASIO	-1.082188	0.146013	-7.412	1.25e-13 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTEL GUELFO DI BOLOGNA	-1.181162	0.152951	-7.722	1.14e-14 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTEL MAGGIORE	0.424535	0.096201	4.413	1.02e-05 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTEL SAN PIETRO TERME	0.769626	0.090537	8.501	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTELLO D'ARGILE	-0.756671	0.131597	-5.750	8.93e-09 ***
Nome_Unità_TerritorialeCASTENASO	0.288002	0.098839	2.914	0.003570 **
Nome_Unità_TerritorialeCASTIGLIONE DEI PEPOLI	-0.267064	0.111645	-2.392	0.016753 *
Nome_Unità_TerritorialeCREVALCORE	0.519775	0.095177	5.461	4.73e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialeDOZZA	-0.724974	0.129880	-5.582	2.38e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialeFONTANELICE	-1.669046	0.184763	-9.033	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeGAGGIO MONTANO	-0.732112	0.129225	-5.665	1.47e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialeGALLIERA	-0.395011	0.117541	-3.361	0.000778 ***
Nome_Unità_TerritorialeGRANAROLO DELL'EMILIA	-0.186760	0.110598	-1.689	0.091289 .
Nome_Unità_TerritorialeGRIZZANA MORANDI	-1.078746	0.146235	-7.377	1.62e-13 ***
Nome_Unità_TerritorialeIMOLA	1.944965	0.080842	24.059	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeLIZZANO IN REVERERE	-1.065013	0.145084	-7.341	2.13e-13 ***

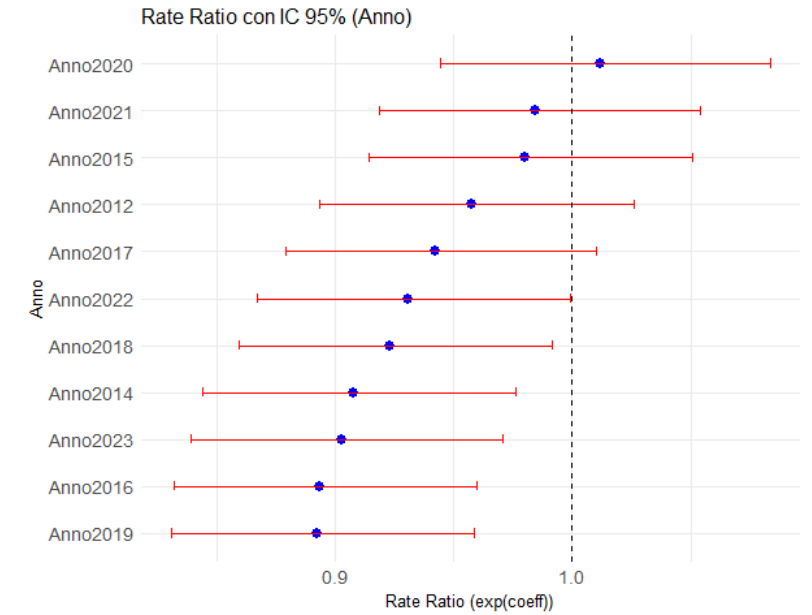
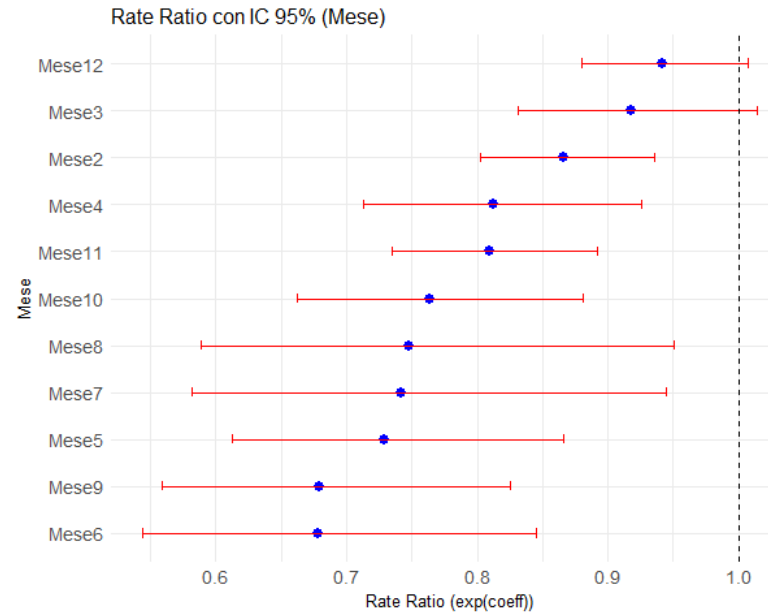
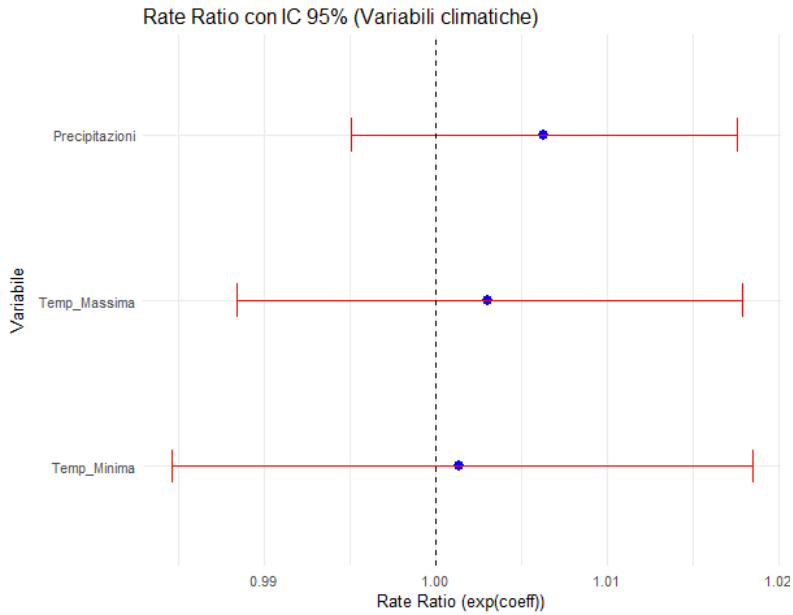
Nome_Unità_TerritorialeLOIANO	-0.930477	0.138713	-6.708	1.97e-11 ***
Nome_Unità_TerritorialeMALALBERGO	-0.266803	0.113281	-2.355	0.018511 *
Nome_Unità_TerritorialeMARZABOTTO	-0.579864	0.123300	-4.703	2.57e-06 ***
Nome_Unità_TerritorialeMEDICINA	0.522371	0.095358	5.478	4.30e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialeMINERBIO	-0.092069	0.108314	-0.850	0.395316
Nome_Unità_TerritorialeMOLINELLA	0.516336	0.095352	5.415	6.13e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialeMONGHIDORO	-0.774410	0.131452	-5.891	3.83e-09 ***
Nome_Unità_TerritorialeMONTE SAN PIETRO	-0.261172	0.112363	-2.324	0.020107 *
Nome_Unità_TerritorialeMONTERENZIO	-0.558178	0.122483	-4.557	5.18e-06 ***
Nome_Unità_TerritorialeMONZUNO	-0.540429	0.121590	-4.445	8.80e-06 ***
Nome_Unità_TerritorialeMORDANO	-0.893566	0.137973	-6.476	9.40e-11 ***
Nome_Unità_TerritorialeOZZANO DELL'EMILIA	0.131542	0.102005	1.290	0.197205
Nome_Unità_TerritorialePIANORO	0.533840	0.093982	5.680	1.35e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialePIEVE DI CENTO	-0.363205	0.116404	-3.120	0.001807 **
Nome_Unità_TerritorialeSALA BOLOGNESE	-0.395118	0.117732	-3.356	0.000791 ***
Nome_Unità_TerritorialeSAN BENEDETTO VAL DI SAMBRO	-0.740658	0.129739	-5.709	1.14e-08 ***
Nome_Unità_TerritorialeSAN GIORGIO DI PIANO	-0.165701	0.110237	-1.503	0.132803
Nome_Unità_TerritorialeSAN GIOVANNI IN PERSICETO	0.975557	0.088986	10.963	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeSAN LAZZARO DI SAVENA	1.158598	0.086273	13.429	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeSAN PIETRO IN CASALE	0.060767	0.104220	0.583	0.559851
Nome_Unità_TerritorialeSANT'AGATA BOLOGNESE	-0.451847	0.120159	-3.760	0.000170 ***
Nome_Unità_TerritorialeSASSO MARCONI	0.460950	0.095736	4.815	1.47e-06 ***
Nome_Unità_TerritorialeVALSAMOGGIA	1.057809	0.086424	12.240	< 2e-16 ***
Nome_Unità_TerritorialeVERGATO	0.005331	0.104279	0.051	0.959230
Nome_Unità_TerritorialeZOLA PREDOSA	0.426765	0.096033	4.444	8.83e-06 ***
Temp_Minima	0.001416	0.008610	0.164	0.869367
Precipitazioni	0.006300	0.005702	1.105	0.269292
Temp_Massima	0.003045	0.007476	0.407	0.683761

```
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
```

```
Null deviance: 52761 on 7919 degrees of freedom  
Residual deviance: 8336 on 7840 degrees of freedom  
(660 osservazioni eliminate a causa di valori mancanti)  
AIC: 21650
```


```
Number of Fisher Scoring iterations: 5
```



Rate Ratios ($\exp(\beta)$) with 95% Confidence Intervals from the Poisson Model: Comparison by Year, Month, and Climatic Variables

Improving Seasonal Mortality Analysis

Enhancing the Study of Seasonality and Climate Impact

-  **Expanding Age Categories**
- The current analysis focuses on two age groups: **65-74** and **85+**.
- Including **deaths in the 75-84 age group** provides a more complete picture of mortality trends.

⚖️ **Gender Comparisons**

- The script currently analyzes **male mortality**.
- Extending the analysis to **female mortality** allows for meaningful **gender comparisons**.

Rate Ratios (RR)

- A **Rate Ratio (RR)** in a Poisson regression is the exponentiated coefficient ($\exp(\beta)$). It shows how the outcome (in this case, the number of deaths) changes for each unit increase in a predictor variable, or relative to a reference category (for factors like year or month).
- **RR > 1** indicates a positive association: as the predictor increases (or compared to the reference category), the rate of deaths is higher.
- **RR < 1** indicates a negative association: the rate of deaths is lower compared to the reference.
- **Confidence intervals (CI)** give a range of plausible values for the RR. If the interval crosses 1, it suggests that we cannot rule out no effect (i.e., the rate might not differ significantly from the reference or baseline).



Cluster Analysis for Identifying Population Vulnerabilities

Why Use Cluster Analysis?

- Identifies areas where the population is more exposed to climate risks
- Detects municipalities with high vulnerability factors (e.g., heatwaves, floods)
- Helps policymakers focus on the most at-risk communities
- Groups municipalities based on demographic, climatic, and environmental factors

Example: Heatwave Vulnerability Clusters

- Areas with **higher elderly population**
- Municipalities recording **higher summer maximum temperatures**
- Higher percentage of **elderly residents**
- **Lower altitude** municipalities (more prone to heat accumulation)

Example: Flood Risk Clusters

- Municipalities with **higher hydrogeological risk**
- Areas with **high annual rainfall**
- **Socially fragile households** (e.g., higher social fragility index, elderly residents)
- High proportion of **elderly population** in flood-prone areas

Why a Cross- Sectional Approach?

- Avoids complexity of dynamic trends
- Focus on a **specific year** rather than a full time series
- Allows a clearer interpretation of **spatial patterns**
- Recommended to select indicators **from nearby years** (e.g., around 2018)
- Accepts minor approximations when indicators do not match exactly the same year

Cluster Analysis with PCA

- **Combining PCA with clustering** improves interpretability
- PCA reduces dimensionality and removes redundancy
- Clustering groups municipalities based on **key vulnerability indicators**
- Useful for identifying **policy-relevant territorial patterns**

R Implementation: Key Packages

- **Clustering Analysis:** ``cluster``, ``factoextra``, ``kmeans``, ``hclust``
- **PCA Analysis:** ``prcomp()``, ``FactoMineR``

Policy Implications of Cluster Analysis

- Identifies **high-risk areas for climate and social vulnerability**
- Provides **evidence-based recommendations** for territorial planning
- Helps allocate **resources efficiently** to at-risk populations
- Supports the development of **adaptive climate policies**