

Università degli Studi di Napoli “Federico II”  
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio  
Tesi di Laurea in Strumenti di Governo del Territorio

**A GIS tool to assess the vulnerability to sea level rise in urban areas**  
A GIS application in the city of Naples

RELATORE

prof.ssa arch.  
Rosaria Battarra

CORRELATORE

prof. ing.  
Gerardo Carpentieri

CANDIDATO

Salvatore Giacobbe  
Matricola: M67/376

# FINALITÀ

- ▶ Lo studio del fenomeno del '*sea level rise*' legato ai cambiamenti climatici e degli impatti sulle **aree urbane costiere**, al fine di definire una serie di strategie di adattamento in chiave **urbanistica**.

# OBIETTIVO

- ▶ Definire una metodologia in ambiente **GIS** per la classificazione delle aree urbane costiere attraverso un indice di vulnerabilità che tenga conto delle caratteristiche fisiche, funzionali, socio-economiche e geomorfologiche.

# STRUTTURA

1

• Stato dell'arte

2

• Metodologia

3

• Caso studio

4

• Risultati ottenuti

5

• Considerazioni finali



1

**STATO DELL'ARTE**

## 1.1 Climate Change

Il tema del ***cambiamento climatico*** è diventato oggetto di una vasta serie di ricerche scientifiche, condotti a livello globale e locale. E' stato ampiamente riconosciuto come uno dei problemi globali più urgenti che l'umanità deve affrontare.

IPCC, 2007

*«A change in the state of the climate that can be identified (e.g. using statistical tests) by changes in the mean and/or the variability of its properties, and that persists for an extended period, typically decades or longer. It refers to any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity».*

UNFCCC,  
1992

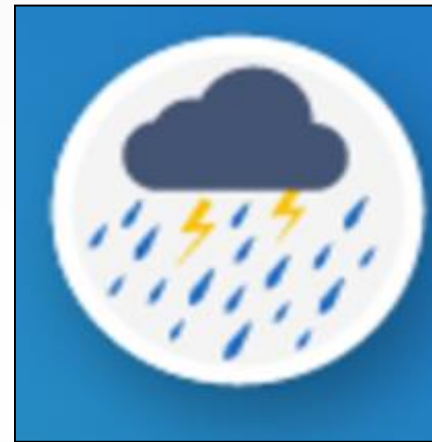
*«Change of climate which is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and which is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods».*

## 1.2 Cause e conseguenze

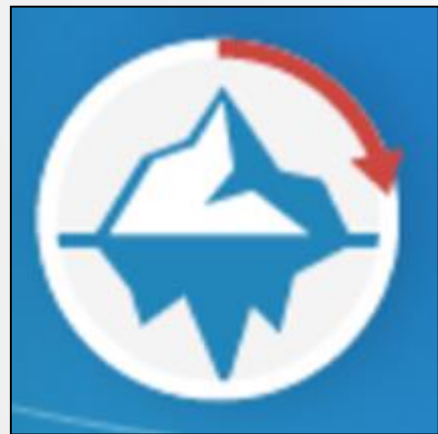
Secondo le proiezioni future, sono previsti (IPCC, 2007):



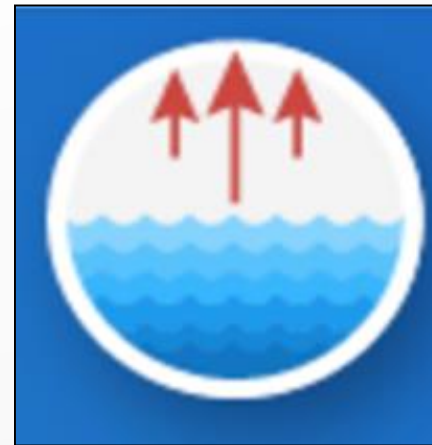
**Ondate di calore**



**Fenomeni  
temporaleschi**



**Scioglimento dei  
ghiacciai**



**Innalzamento  
del livello dei  
mari**

# Stato dell'arte

1

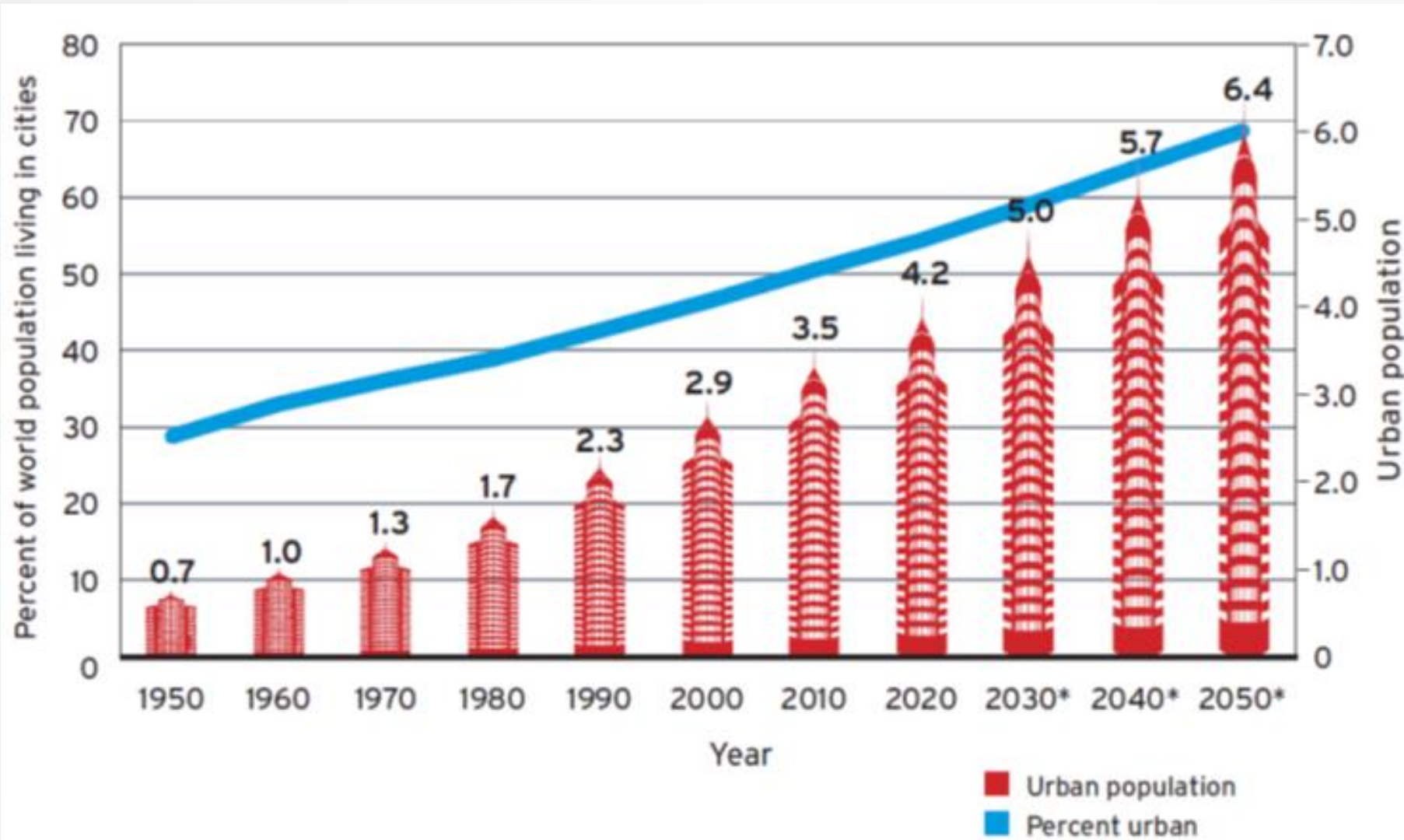
2

3

4

5

## 1.2 Cause e conseguenze



**Il 70% della  
popolazione  
mondiale  
entro il 2050  
(UNEP –  
DTIE, 2013)**



# Introduzione al problema

1

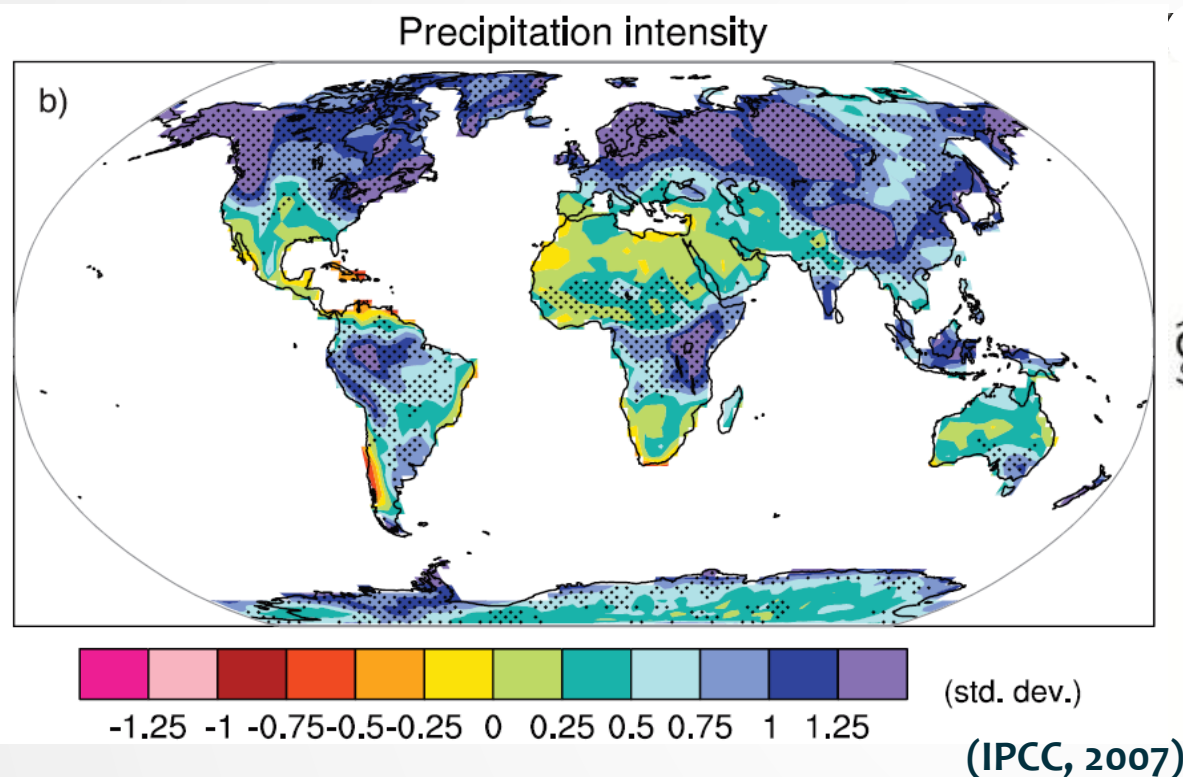
2

3

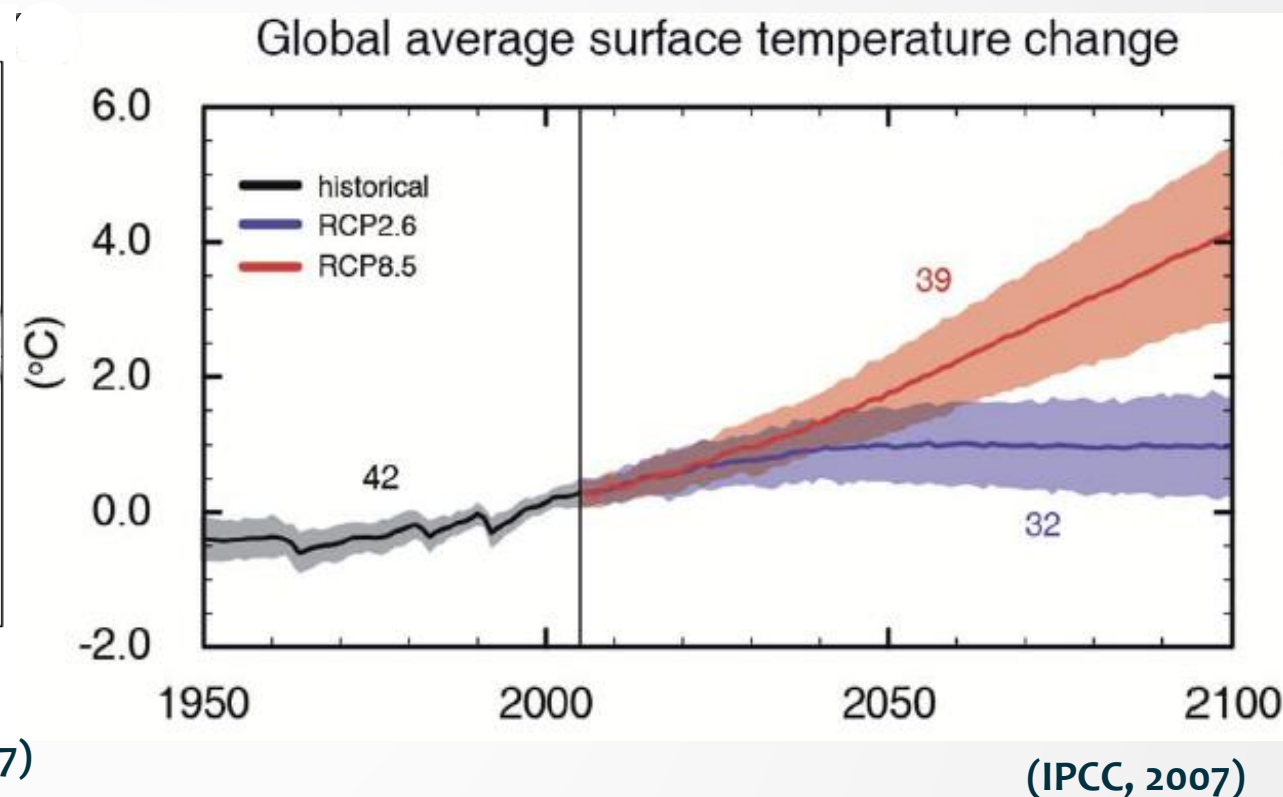
4

5

## 1.2 Cause e conseguenze



- Aumento di inondazioni urbane, siccità e tempeste
- Impatti ambientali sugli ecosistemi



- Aumento delle temperature: tra  $1,1^{\circ}\text{C}$  e  $6,4^{\circ}\text{C}$
- Scarsa disponibilità delle risorse idriche potabili



# Stato dell'arte

1

2

3

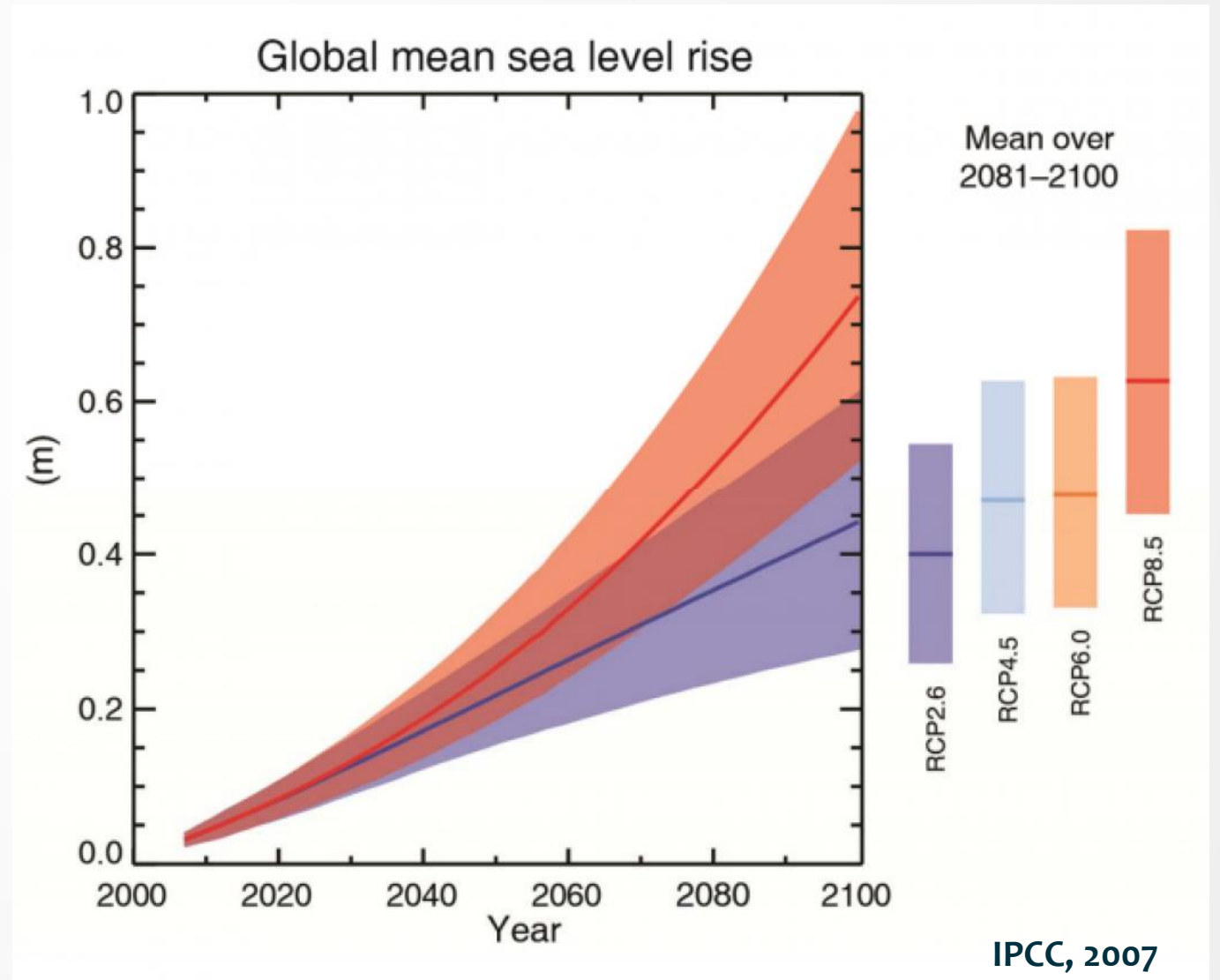
4

5

## 1.2 Cause e conseguenze

### ➤ Aumento del livello del mare

Secondo le ultime stime dell'IPCC, considerando lo scenario di massime emissioni RCP8.5, il livello del mare potrebbe aumentare tra **[0.52–0.98] m** rispetto al 2005.



## 1.2 Cause e conseguenze

### ➤ Aumento del livello del mare

| Source                 | Aumento del livello del mare per lo scenario RCP8.5 |      |
|------------------------|-----------------------------------------------------|------|
|                        | 5%                                                  | 95%  |
| Stocker et al., 2013   | 0.45                                                | 0.82 |
| Goodwin et al, 2018    | 0.50                                                | 1.20 |
| Jevrejeva et al., 2016 | 0.53                                                | 1.78 |
| Kopp et al., 2014      | 0.52                                                | 1.21 |
| Nicholls et al., 2018  | 0.54                                                | 0.91 |

## 1.3 Vulnerabilità e Resilienza

«La **vulnerabilità** è il grado in cui una persona, un sistema o un'unità è suscettibile a subire dei danni a causa dell'esposizione a perturbazioni o stress» (Kasperson, et al., 2002).

«La **resilienza** è la capacità di un sistema socio-ecologico di assorbire o resistere a perturbazioni e altri fattori di stress in modo tale che il sistema rimanga nello stesso regime, mantenendo essenzialmente la sua struttura e le sue funzioni». (Holling 1973, Gunderson & Holling 2002, Walker et al., 2002).

## 1.4 Mitigazione ed Adattamento

**RIDURRE  
GLI  
IMPATTI**



**MITIGAZIONE**

**RIDURRE LA  
VULNERABILITA'**



**ADATTAMENTO**

**AUMENTARE  
LA RESILIENZA**



### Waterfront

«Il **waterfront** non è una linea semplice, ma una rete di luoghi, funzioni, innesti e riconnessioni tra la costa e la città, tra il porto e le attività urbane» (Carta M., 2006).

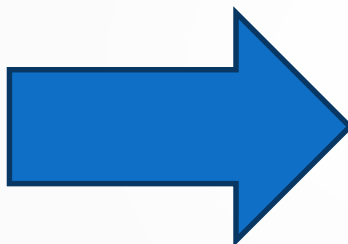


## 1.5 Sea Level Rise

L'innalzamento del livello del mare sui waterfront urbani:

### Impatti:

- inondazioni
- alluvioni
- processi erosivi



### Problematiche:

- perdita di suolo
- sicurezza per i cittadini
- la cessazione delle attività



## 1.5 Sea Level Rise

Soluzioni per attuare l'adattamento delle aree costiere:



**Accommodation**

(IPCC, 2007)

**Defend**

(IPCC, 2007)



**Retreat**

(IPCC, 2007)

**Attack**

(Rivercity Gothenburg  
Vision, 2012)





2

**METODOLOGIA**

## 2.1 Struttura



Lo sviluppo di una **metodologia di analisi spaziale** che consenta di individuare le azioni in **campo urbanistico** più idonee, per aumentare la capacità delle città costiere di affrontare il futuro innalzamento del livello del mare e gli eventi alluvionali ad esso connessi.

## 2.2 Letteratura scientifica

Per capire quali fattori urbani possono influenzare la vulnerabilità e, quindi, la capacità di risposta dei sistemi costieri urbani in caso di inondazioni costiere, è necessario tener conto della loro complessità (Papa, 2009).

- **Sottosistema socio-economico**
  - **Sottosistema fisico**
  - **Sottosistema funzionale**
  - **Sottosistema geomorfologico**

# Metodologia

1

2

3

4

5

## 2.2 Letteratura scientifica

| Index Name                                          | Authors                      | Scale    |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|----------|
| Coastal Vulnerability Index (CVI)                   | Gornitz et al., 1991         | Regional |
| Coastal Vulnerability Index (CVI)                   | Thieler & Hammar-Klose, 1999 | Regional |
| Social Vulnerability Index (SoVI)                   | Cutter et al., 2003          | Regional |
| Coastal Sensitivity Index (CSI)                     | Abuodha & Woodroffe, 2010    | Regional |
| Coastal Vulnerability Index (CVI)                   | McLaughlin & Cooper, 2010    | Regional |
| Coastal Vulnerability Index (CVI)                   | Li & Li, 2011                | Regional |
| Coastal City Flood Vulnerability Index (CFFVI)      | Balica et al., 2012          | Urban    |
| Vulnerability Index for a Coastal Areas<br>(SEVICA) | Zanetti et al., 2016         | Local    |

## 2.3 Definizione

Il **Waterfront Vulnerability Index (WUI)** è definito come la misura della vulnerabilità rispetto all'innalzamento del livello del mare ed alle inondazioni del sistema costiero urbano (**waterfront**), in relazione alle sue caratteristiche socio-economiche, fisiche, funzionali e geomorfologiche.





# Metodologia

1

2

3

4

5

## 2.4 Indicatori selezionati

| Category         | Characteristic                 | Description                                                                                            |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Socio-economic   | SE1. Education level           | Number of inhabitants with a Degree                                                                    |
|                  | SE2. Age of population         | Number of inhabitants younger than 5 years old and more than 65 years old                              |
|                  | SE3. Employment                | Number of employees                                                                                    |
| Physical         | PH1. Urban permeable surface   | Permeability Index                                                                                     |
|                  | PH2. Raised building           | Number of buildings raised above the ground floor                                                      |
|                  | PH3. Conservation of buildings | Number of buildings with poor level of maintenance                                                     |
| Functional       | FU1. Transport network         | Number of stations, stops and service stations                                                         |
|                  | FU2. Ground floor activities   | Number of buildings with activities (residential, commercial, etc.) on the ground floor                |
|                  | FU3. Public facilities         | Number of public utility units (hospitals, pharmacies, municipal offices, touristic info-points, etc.) |
| Geomorphological | GE1. Slope of coastal area     | Average slope                                                                                          |
|                  | GE2. Elevation                 | Average elevation above sea level                                                                      |
|                  | GE3. Distance from coastline   | Average distance from the coastline                                                                    |

## 2.5 Normalizzazione e Ponderazione

**NORMALIZZAZIONE**



$[0, 1]$

**PONDERAZIONE**



**PESI**

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

| Characteristic                 | Weight |
|--------------------------------|--------|
| SE1. Education level           | 0.074  |
| SE2. Age of population         | 0.055  |
| SE3. Employment                | 0.051  |
| PH1. Urban permeable surface   | 0.081  |
| PH2. Raised building           | 0.086  |
| PH3. Conservation of buildings | 0.076  |
| FU1. Transport network         | 0.081  |
| FU2. Ground floor activities   | 0.074  |
| FU3. Public facilities         | 0.085  |
| GE1. Slope of coastal area     | 0.128  |
| GE2. Elevation                 | 0.088  |
| GE3. Distance from coastline   | 0.121  |

## 2.6 Aggregazione

### Waterfront Vulnerability Index (WUI)

$$WUI = \sum_{i=1}^n w_{se_i} se_i + \sum_{i=1}^n w_{ph_i} ph_i + \sum_{i=1}^n w_{fu_i} fu_i + \sum_{i=1}^n w_{ge_i} ge_i$$

$n$

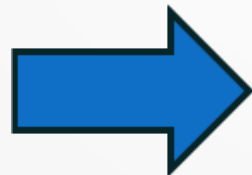
numero degli indicatori

$se_i, ph_i, fu_i$  e  $ge_i$

rappresentano gli indicatori

$w_{se_i}, w_{ph_i}, w_{fu_i}$  e  $w_{ge_i}$

rappresentano i pesi



**0 → Vulnerabilità Bassa**

**1 → Vulnerabilità Alta**

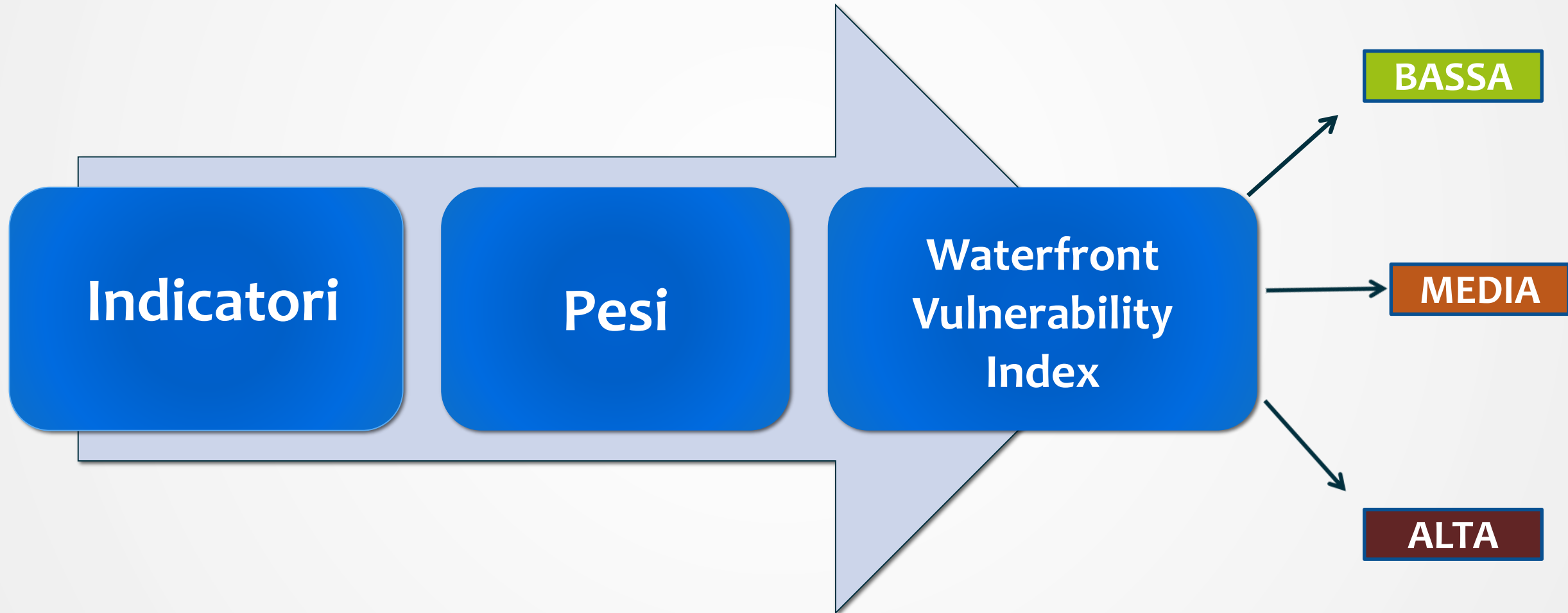
## 2.7 Unità urbane

Identificazione delle caratteristiche fisiche e funzionali dei tessuti urbani costieri



### Waterfront Units (WU)

- *Class 1.* **Continuous urban areas**
- *Class 2.* **Discontinuous urban areas**
- *Class 3.* **Mono-functional urban areas**
- *Class 4.* **Strategic Infrastructure areas**
- *Class 5.* **Unedited areas: tourist and leisure facilities**



# Metodologia

1

2

3

4

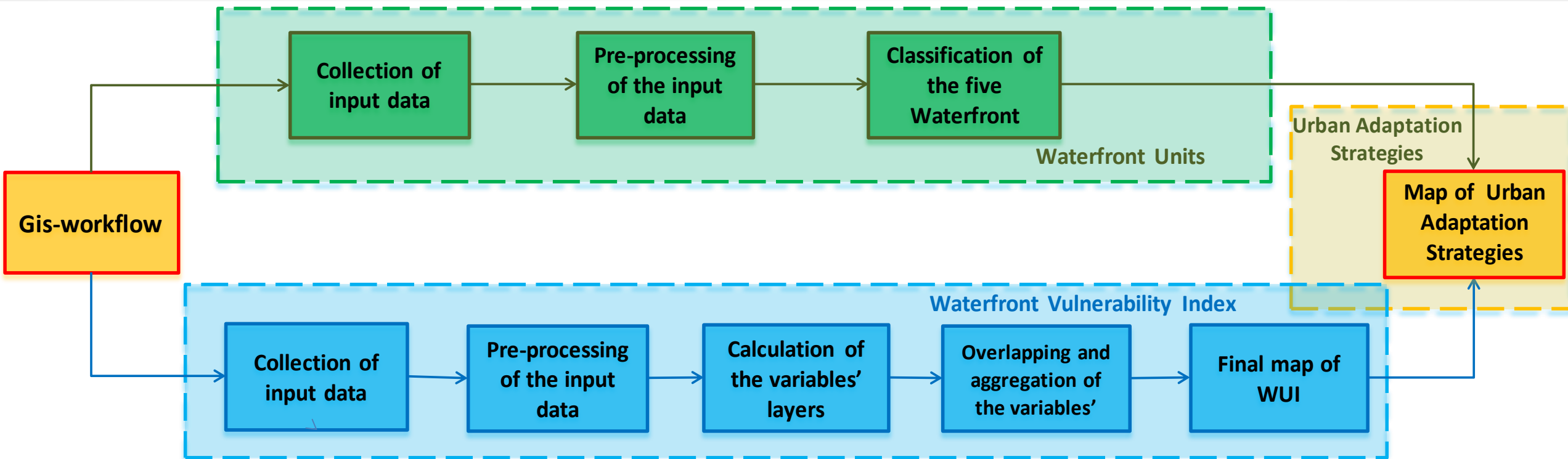
5

## 2.9 Abaco delle Azioni

| Adaptation Strategies | Waterfront Adaptation Actions (WAA)                                                           | Waterfront Units |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
|                       |                                                                                               | WU-C1            | WU-C2 | WU-C3 | WU-C4 | WU-C5 |
| Retreat               | Relocate infrastructure, productive activities and public facilities from the coastline       |                  |       | •     | •     | •     |
|                       | Relocate the communities from the coastline                                                   |                  | •     |       | •     | •     |
|                       | Avoid land-use changes along the coastline                                                    |                  | •     | •     | •     | •     |
| Defend                | Realization of coastal protection infrastructure (floodwalls, dikes, storm barriers, etc.)    | •                | •     | •     | •     | •     |
|                       | Conservation and improvement of the natural coastal ecosystem                                 | •                | •     |       | •     | •     |
|                       | Creation of urban wetlands, waterways and floodable spaces                                    | •                | •     | •     | •     | •     |
|                       | Reinforcement of existing coastal protection systems                                          | •                | •     | •     | •     | •     |
| Accommodation         | Avoid the localization of high-crowding urban activities                                      | •                |       | •     | •     | •     |
|                       | Protect vulnerable public facilities and infrastructure                                       | •                | •     | •     | •     | •     |
|                       | Alternative uses for ground floors and basements of existing buildings                        | •                |       | •     |       | •     |
|                       | Elevating of critical infrastructure localized in proximity of coastline                      | •                | •     | •     | •     | •     |
|                       | Renovation of existing buildings (i.e. wet flood-proofing buildings, elevated on piles, etc.) | •                | •     |       | •     | •     |
| Attack                | Preventive remediation of potentially flooding areas                                          |                  | •     |       |       |       |
|                       | Development of floating communities                                                           | •                | •     |       | •     |       |
|                       | Construction of new resilient building                                                        | •                | •     | •     | •     | •     |



Flusso di lavoro effettuato con lo strumento GIS





3

**CASO STUDIO**

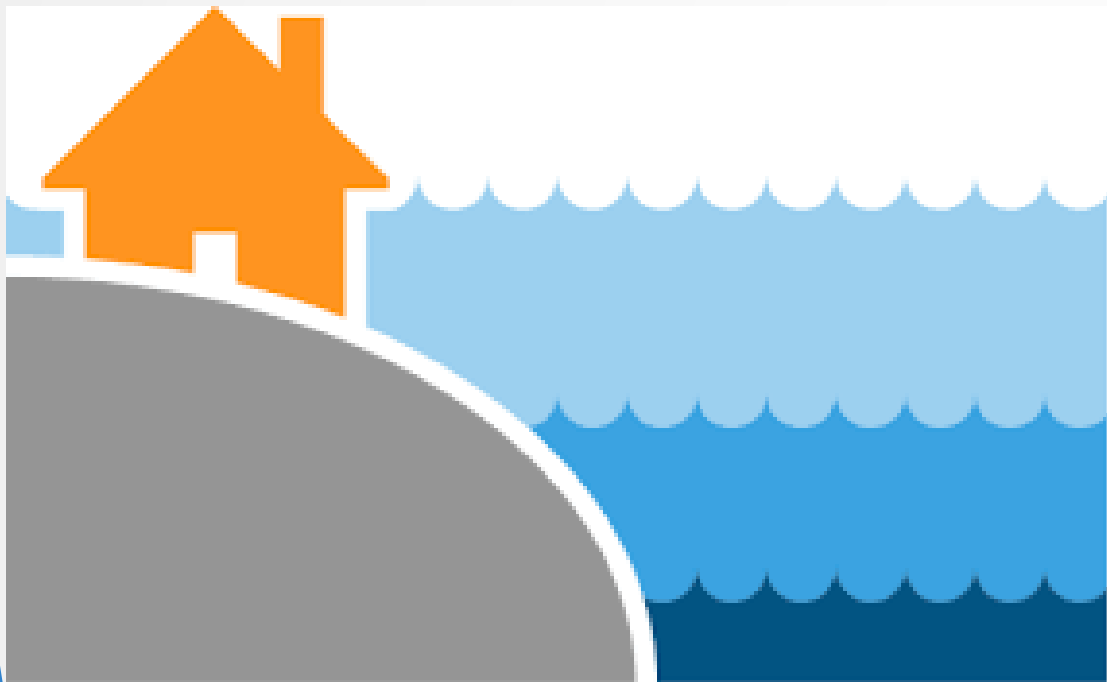
## 3.1 Selezione dell'area

### NAPOLI

- 962.003 abitanti (ISTAT, 2011)
- 119 kmq
- Circa 8.000 abitanti / kmq
- 63 km di linea di costa



## 3.2 Proiezioni al 2100



The ECoAS Project, 2018

Mar Mediterraneo

- **[0,44 – 1,02] Marcos et al. (2016)**

Napoli

- **[0,30 – 1,04] Kopp et al. (2014)**

Aree del Volturno e del Sele

- **[0,23 – 1,44] Lambeck et al. (2011)**



## 3.3 LECZs

### Low Elevation Coastal Zones (LE CZs)

Sono aree contigue alla costa a meno di 10 metri sopra il livello del mare (McGranahan et al., 2007).



- ✓ 15% circa dell'area comunale
- ✓ 200.000 abitanti stimati

# Caso studio

1

2

3

4

5

## 3.3 LECZs

| Naples' zone | Neighbourhood           | Land Area [sq.km] | LECZ Area [%] |
|--------------|-------------------------|-------------------|---------------|
| Central zone | Chiaia                  | 2.80              | 28.6%         |
|              | Mercato                 | 0.57              | 93.8%         |
|              | Pendino                 | 0.77              | 73.6%         |
|              | Porto                   | 0.44              | 78.1%         |
|              | San Ferdinando          | 1.18              | 46.4%         |
|              | San Giuseppe            | 0.43              | 0.5%          |
|              | San Lorenzo             | 1.42              | 0.2%          |
| Western zone | Bagnoli                 | 7.96              | 27.1%         |
|              | Fuorigrotta             | 6.20              | 1.5%          |
|              | Posillipo               | 5.17              | 3.3%          |
| Eastern zone | Barra                   | 7.82              | 47.5%         |
|              | Ponticelli              | 9.11              | 10.8%         |
|              | Poggioreale             | 4.45              | 41.2%         |
|              | San Giovanni a Teduccio | 2.35              | 95.3%         |
|              | Industrial Zone         | 2.68              | 83.0%         |



# Caso studio

1

2

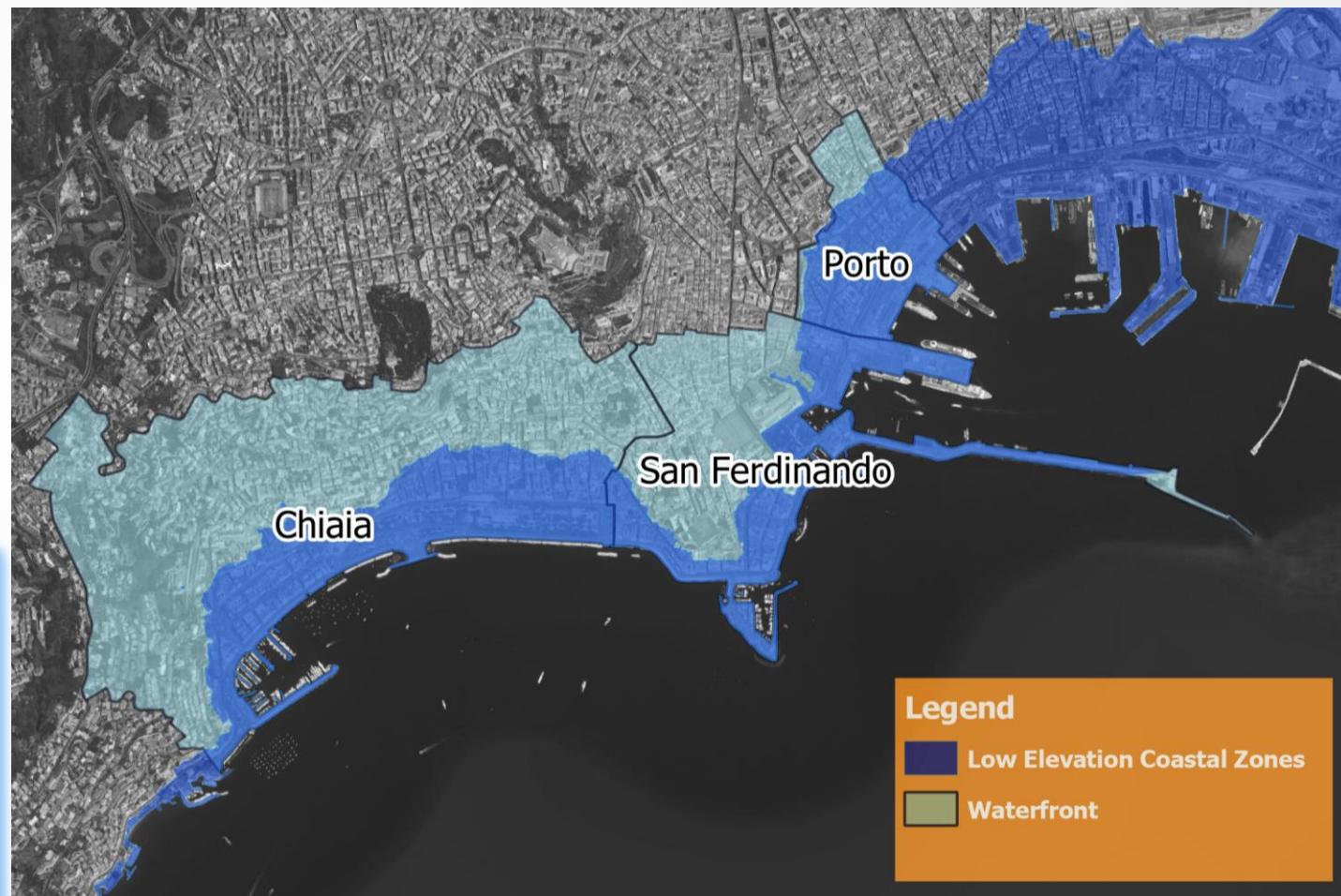
3

4

5

## 3.4 Area studio

- L'area di studio comprende i quartieri di Chiaia, San Ferdinando e Porto
- circa 4,42 kmq
- 61.590 abitanti (ISTAT, 2011)
- > 13.000 abitanti / kmq



Circa il 40% dell'area si trova all'interno delle LECZs





4

**RISULTATI OTTENUTI**

# Risultati ottenuti

1

2

3

4

5

## 4.1 Fonti dei dati



- ✓ 373 sezioni censuarie
- ✓ Alfanumerico
- ✓ Vettoriale
- ✓ Raster

| Parameters                      | Data format    | Source                                 |
|---------------------------------|----------------|----------------------------------------|
| Population                      | Alphanumeric   | Italian Institute of Statistic (ISTAT) |
| Education level                 | Alphanumeric   | Italian Institute of Statistic (ISTAT) |
| Employees                       | Alphanumeric   | Italian Institute of Statistic (ISTAT) |
| Population Age                  | Alphanumeric   | Italian Institute of Statistic (ISTAT) |
| Imperviousness Degree           | Raster dataset | Copernicus                             |
| Buildings (1)                   | Shape file     | National Geoportal                     |
| Buildings (2)                   | Shape file     | Metropolitan City of Naples            |
| Conservation State of Buildings | Shape file     | Italian Institute of Statistic (ISTAT) |
| Total Number of Buildings       | Alphanumeric   | Italian Institute of Statistic (ISTAT) |
| Main Roads                      | Shape file     | National Geoportal                     |
| Railways Network                | Shape file     | National Geoportal                     |
| Digital Terrain Model (DTM)     | Raster dataset | National Geoportal                     |
| Coastline                       | Shape file     | National Geoportal                     |

# Risultati ottenuti

1

2

3

4

5

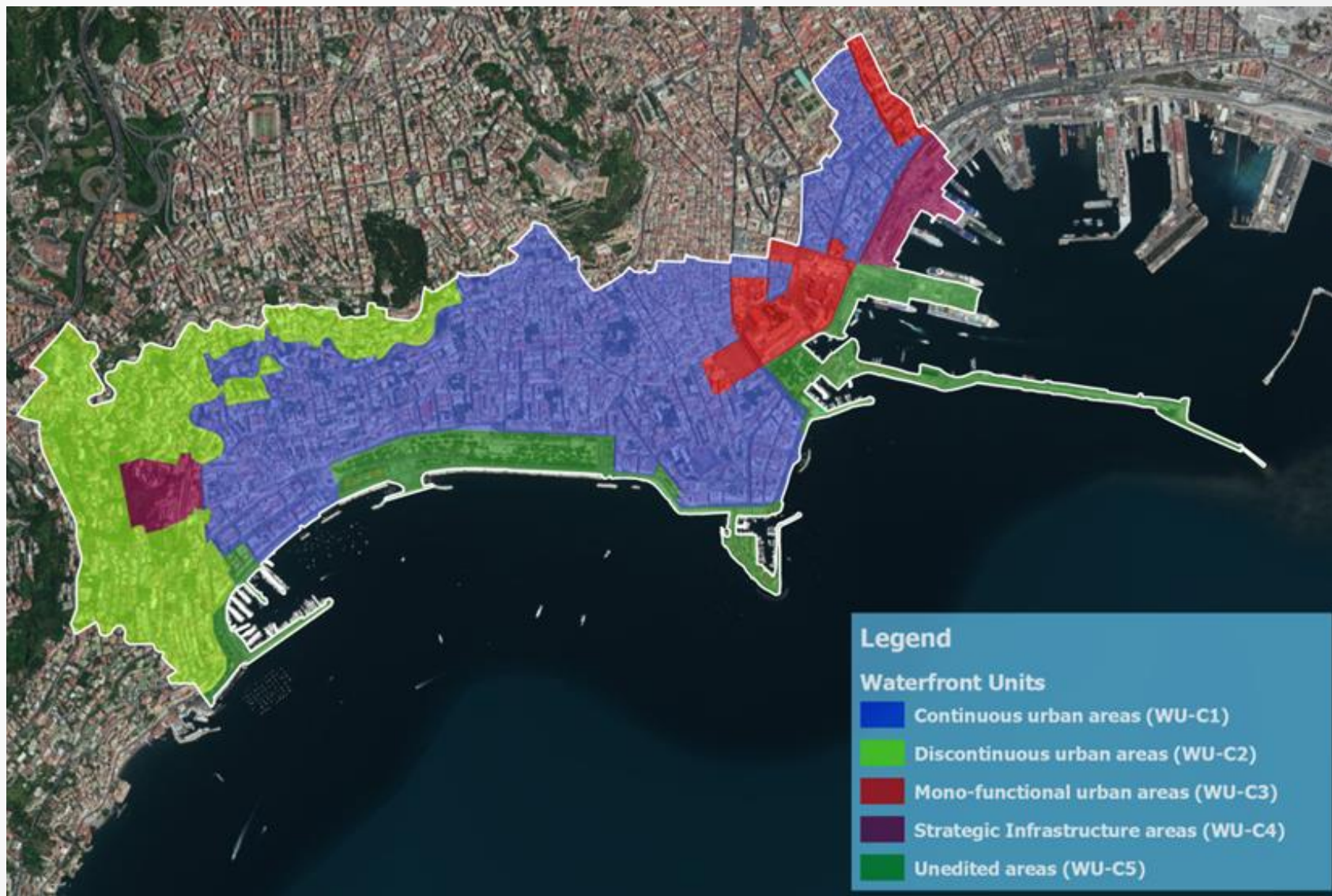
## 4.2 Unità urbane

Classificazione delle sezioni censuare secondo le caratteristiche fisiche e funzionali:

### Waterfront Units



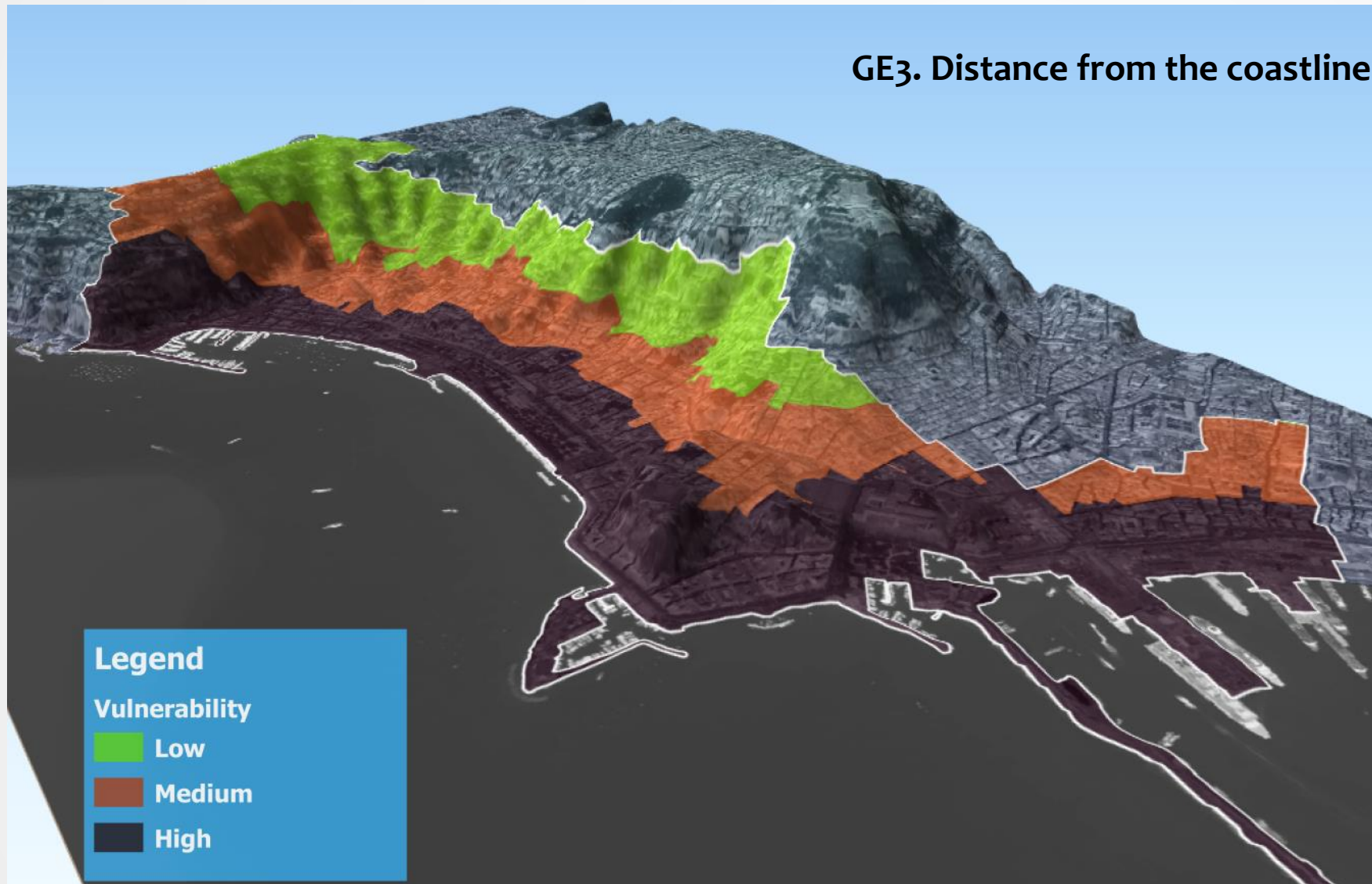
*5 Classi*





## 4.3 Vulnerabilità

GE3. Distance from the coastline

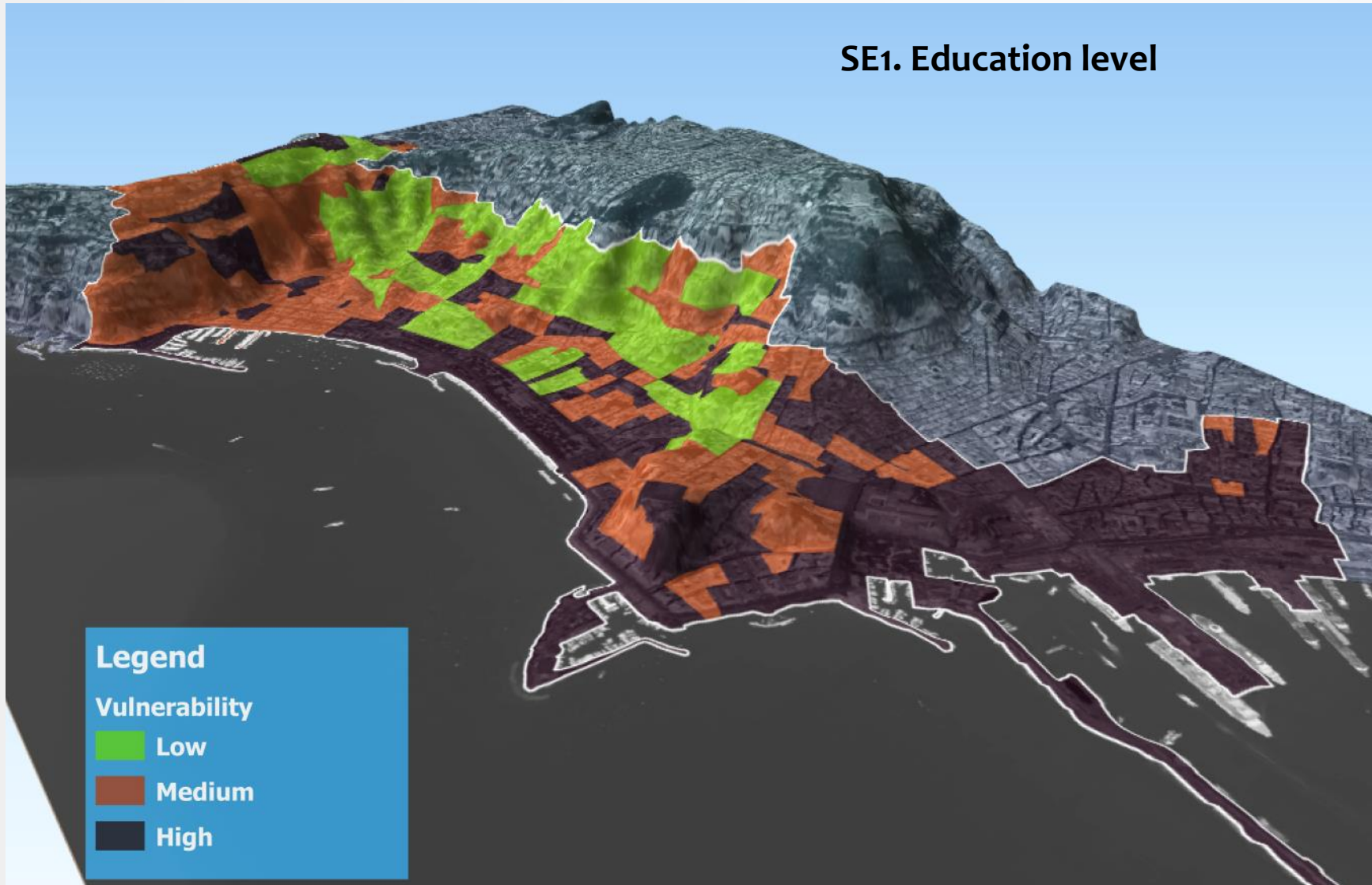


*Caratteristiche  
geomorfologiche*

- ✓ Pendenza Bassa
- ✓ 40% dell'area al di sotto dei 10 metri
- ✓ Aree prossime alla costa maggiormente esposte

## 4.3 Vulnerabilità

SE1. Education level



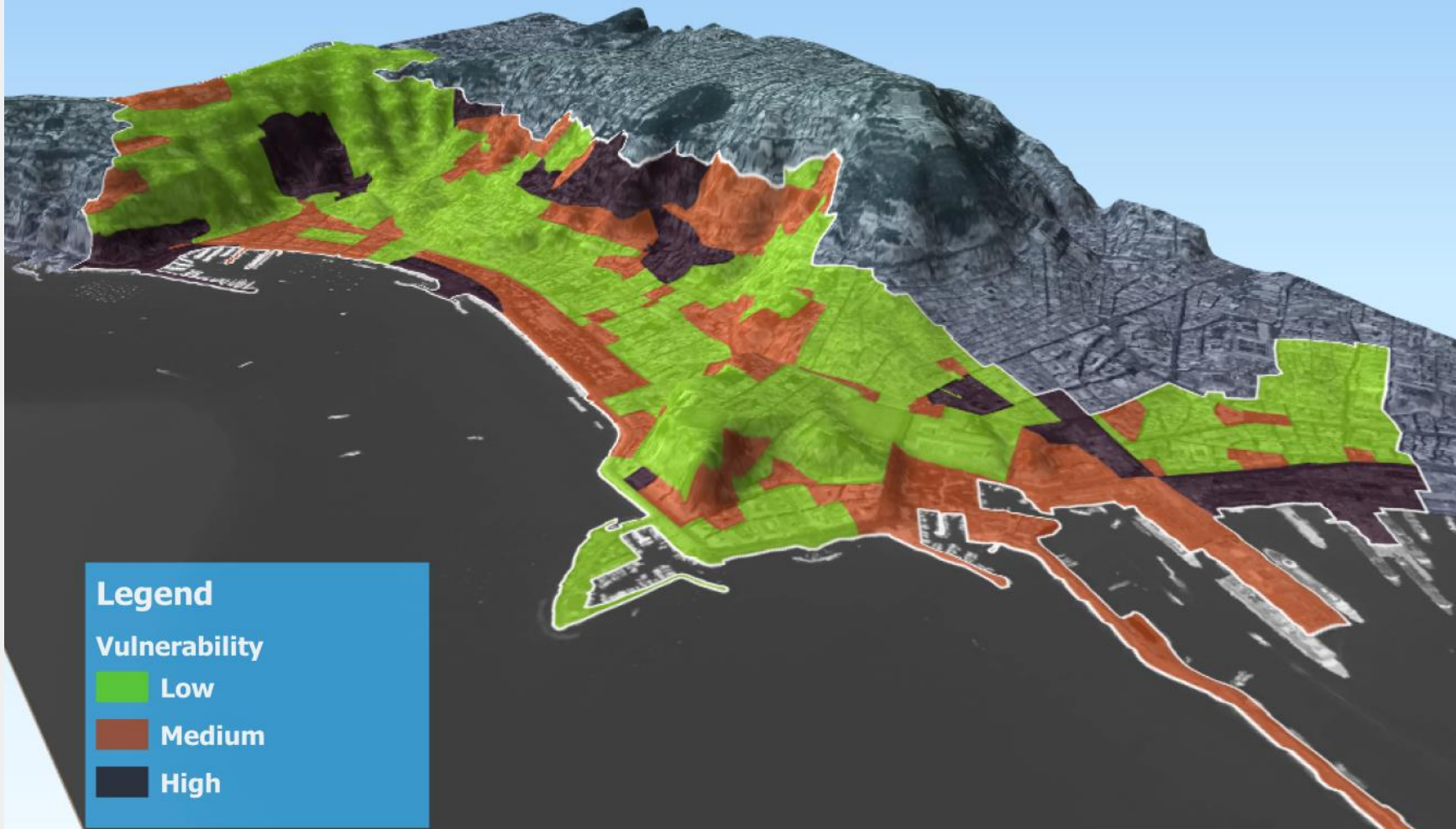
### *Caratteristiche socio-economiche*

- ✓ Basso numero di laureati
- ✓ 20% dell'area con elevata presenza di bambini ed anziani
- ✓ Pochi dipendenti



## 4.3 Vulnerabilità

FU1. Transport network



### *Caratteristiche funzionali*

- ✓ Presenza di stazioni e aree portuali
- ✓ Elevata presenza di attività a piano terra
- ✓ 15% dell'area sono presenti strutture pubbliche



## 4.3 Vulnerabilità

### PH3. Conservation of buildings

#### *Caratteristiche fisiche*

- ✓ 85% dell'area è caratterizzata da un alto grado di urbanizzazione
- ✓ Presenza di edifici al piano terra
- ✓ Buono stato conservativo degli edifici

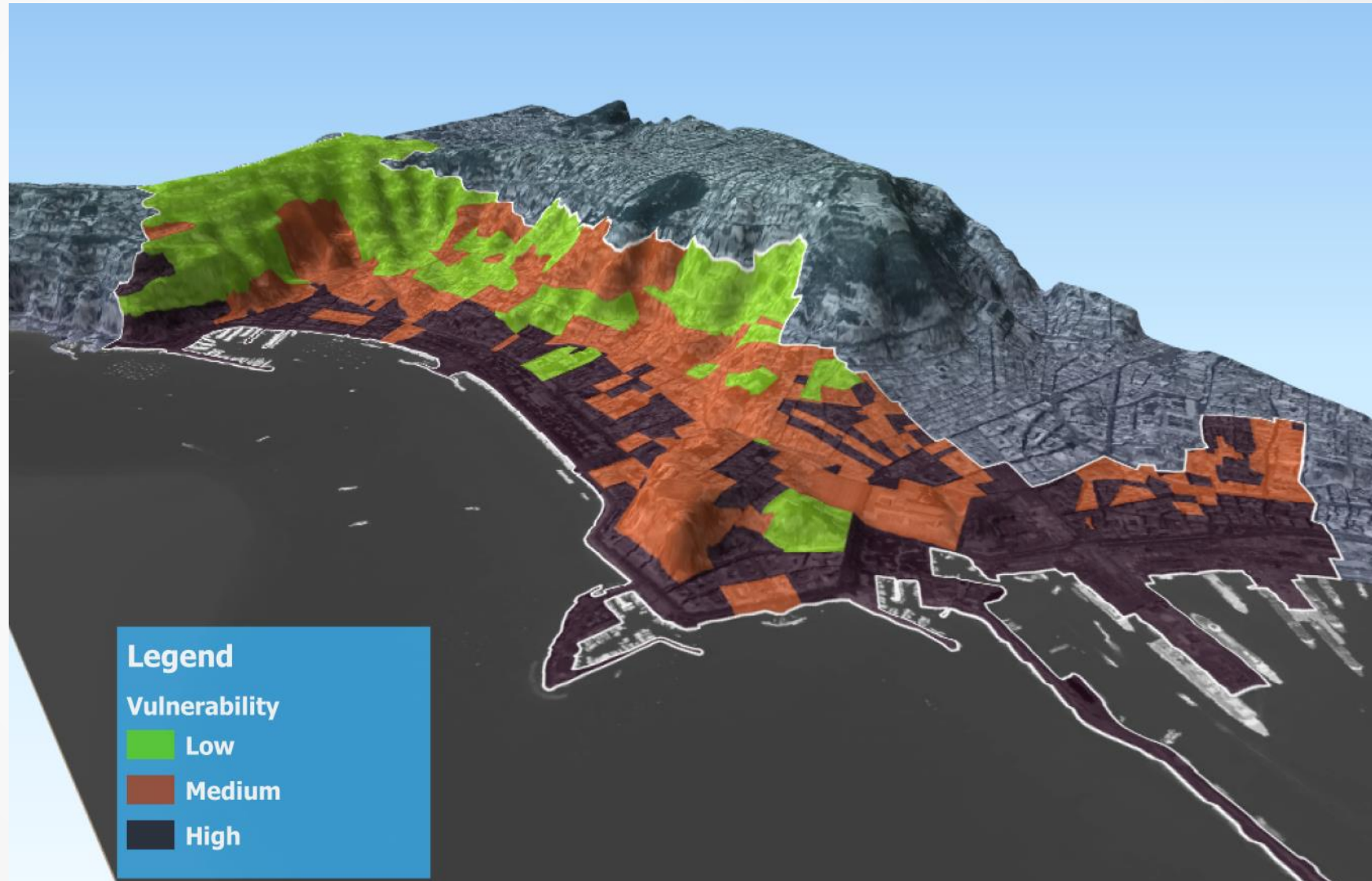
#### Legend

##### Vulnerability

- Low
- Medium
- High

## 4.3 Vulnerabilità

- 65% dell'area è caratterizzata da livello medio-alto di vulnerabilità
  - Parte del Centro Storico
  - Aree portuali
  - Aree di interesse turistico
  - Spazi aperti
- Bassa Vulnerabilità: aree più elevate, lontane dalla costa, con densità abitativa e di edifici minore



# Risultati ottenuti

1

2

3

4

5

## 4.4 Azioni urbanistiche

### 8 AZIONI DI ADATTAMENTO di tipo urbanistico

- ✓ 3 Azioni di Accommodation
- ✓ 3 Azioni di Defend
- ✓ 1 Azione di Attack
- ✓ 1 Azione di Retreat



Gerarchizzazione differenziata di azioni di adattamento, per ogni tipo di tessuto urbano (WU)

| Adaptation Strategies | WAA in order of importance for Continuous urban areas (WU-C1)                              | class | WUI |     |      |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----|-----|------|
|                       |                                                                                            |       | low | med | high |
| Accommodation         | Avoid the localization of high-crowding urban activities                                   | A1    | ●   | ●   | ●    |
|                       | Protect vulnerable public facilities and infrastructure                                    | A2    |     | ●   | ●    |
|                       | Alternative uses for ground floors and basements of existing buildings                     | A3    |     |     | ●    |
| Defend                | Reinforcement of existing coastal protection systems                                       | D1    | ●   | ●   | ●    |
|                       | Conservation and improvement of the natural coastal ecosystem                              | D2    |     | ●   | ●    |
|                       | Realization of coastal protection infrastructure (floodwalls, dikes, storm barriers, etc.) | D3    |     |     | ●    |
| Attack                | Make buildings resilient                                                                   | K1    |     | ●   | ●    |
| Retreat               | Avoid land-use changes along the coastline                                                 | R1    |     |     |      |

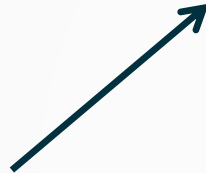
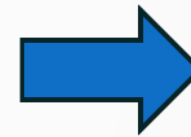
(Abaco delle azioni per l'unità urbana WU-C1 – Continuous urban areas)

**SEZIONE CENSUARIA**

**Waterfront Units**

**Waterfront  
Vulnerability Index**

**Urban Adaptation  
Actions**





# Risultati ottenuti

1

2

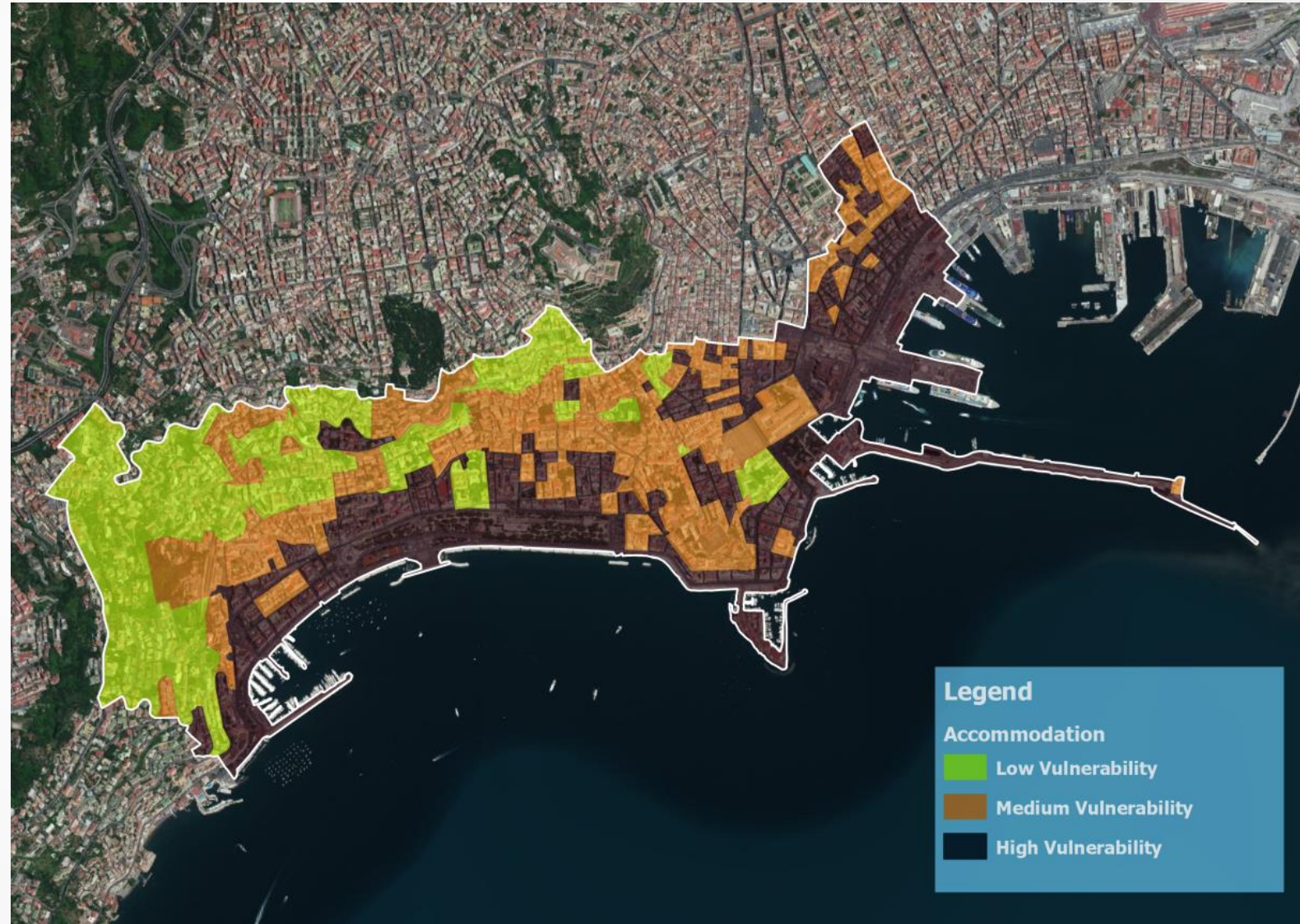
3

4

5

## 4.5 Accommodation

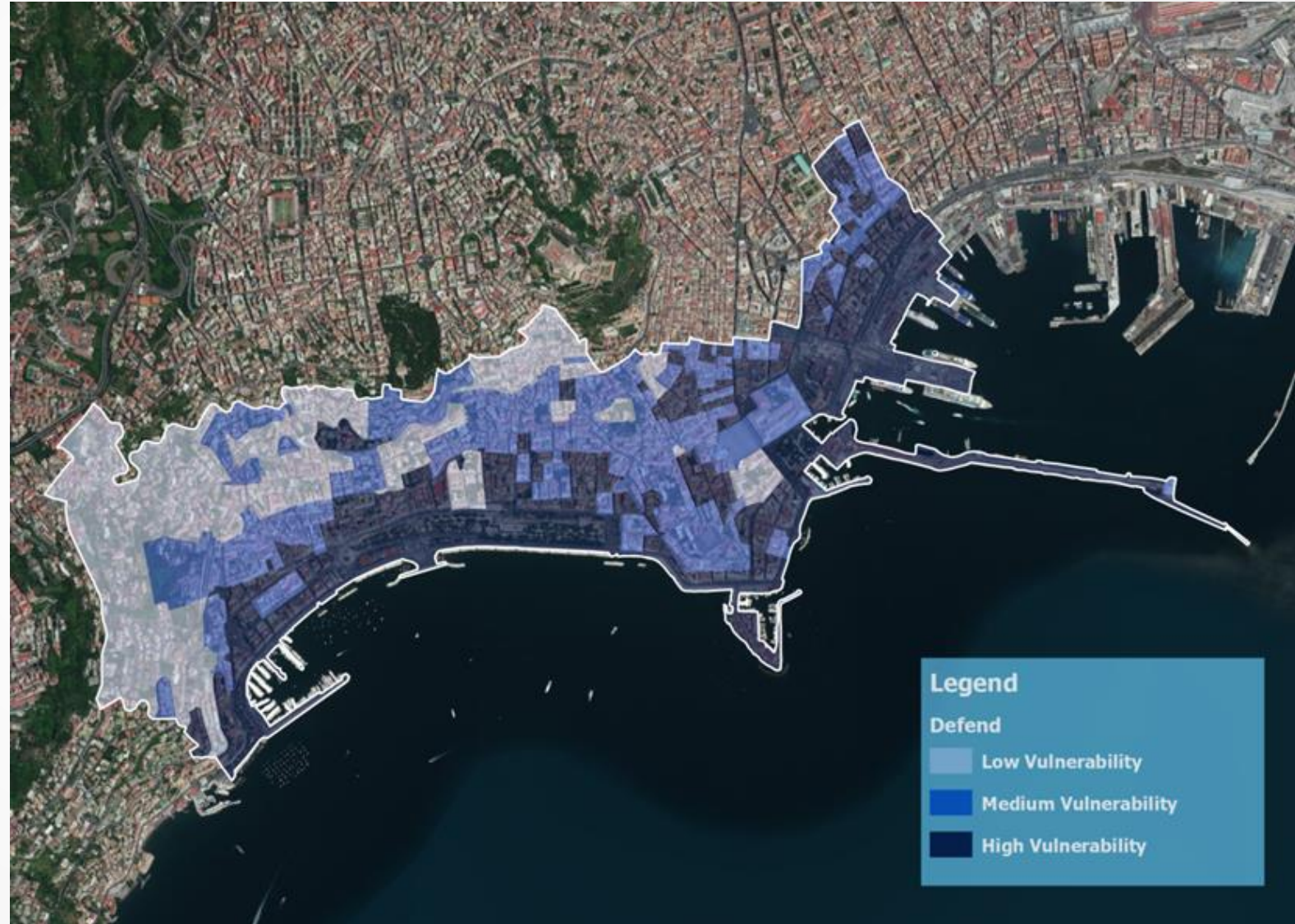
- ✓ Le azioni di Accommodation possono essere implementate per tutta l'area
- ✓ Aree lungo la costa con media-alta vulnerabilità: più azioni insieme
- ✓ Evitare la localizzazione di attività urbane ad alta densità





## 4.6 Defend

- ✓ Le azioni di Defend possono essere implementate per tutta l'area
- ✓ Aree lungo la costa con media-alta vulnerabilità: più azioni insieme
- ✓ Rafforzamento dei sistemi di protezione costiera esistenti





## 4.7 Attack

- ✓ Le azioni di Attack possono essere implementate solo in alcune aree
- ✓ Adeguamento degli edifici per renderli resilienti
- ✓ In aree in cui il tessuto urbano è discontinuo o in aree monofunzionali





## 4.8 Retreat

- ✓ Le azioni di Retreat possono essere in poche zone dell'area di studio
- ✓ Evitare i cambiamenti d'uso del territorio lungo la costa all'interno dei piani urbani o dei regolamenti di uso del suolo



# 5

## CONSIDERAZIONI FINALI

## 5.1 Conclusioni

- ✓ Attraverso lo studio approfondito dello stato dell'arte sono riuscito ad apprendere gli strumenti per la conoscenza delle principali **problematiche** dell'innalzamento del livello del mare.
- ✓ Sviluppo di una **metodologia di analisi spaziale** in ambiente GIS, finalizzata alla costruzione di un **indice di vulnerabilità** delle aree urbane costiere.
- ✓ Applicando la metodologia al **caso studio di Napoli**, ho individuato le azioni di adattamento di **natura urbanistica** più adatte da implementare per la singola sezione censuaria.
- ✓ Lo studio condotto si pone come strumento per il **supporto decisionale nell'ambito della pianificazione urbana**, per affrontare le future trasformazioni, in un'ottica di adattamento delle aree urbane costiere rispetto all'innalzamento del livello del mare ed i fenomeni di inondazione.