

# D.5.1.2

## Report on specific vulnerability and feasibility analysis for the Municipality of Cervia

*Coordination group:*  
Università Iuav di Venezia

*Main authors*  
Francesco Musco, Denis Maragno, Gianfranco Pozzer,  
Filippo Magni, Giovanni Carraretto

*Contributors*  
Matelda Reho, Giuseppe Piperata, Micol Roversi Monaco, Greta Masut

## Indice

<b>SUMMARY .....</b>	<b>3</b>
<b>1 STUDIO DEGLI IMPATTI E VALUTAZIONI DI VULNERABILITÀ .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Caso studio del Comune di Cervia.....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Fonti e costruzione del quadro conoscitivo .....	10
1.1.2 Analisi della vulnerabilità per ondate di calore .....	12
1.1.2.1 Mappe tematiche di sintesi.....	14
1.1.2.2 Discussione dei risultati.....	20
1.1.3 Analisi della vulnerabilità da allagamento urbano .....	21
1.1.3.1 Mappe tematiche di sintesi.....	23
1.1.3.2 Discussione dei risultati.....	26
1.1.4 Analisi della vulnerabilità da innalzamento del livello del mare .....	27
1.1.4.1 Mappe tematiche di sintesi.....	28
1.1.4.2 Discussione dei risultati.....	29
1.1.5 Analisi della vulnerabilità da risalita del cuneo salino .....	30
1.1.5.1 Mappe tematiche di sintesi.....	33
1.1.5.2 Discussione dei risultati.....	34
<b>2 CONCLUSIONI .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1 Limiti, opportunità e prospettive della ricerca.....</b>	<b>36</b>
2.1.1 Urban Heat Islands .....	36
2.1.2 Urban flooding/runoff.....	38
2.1.3 Sea-level rise.....	39
2.1.4 Salt in .....	39
<b>3 BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>41</b>

## Summary

*This document reports on the final results and conclusions of the Adriadapt project. This project is directly related to building a resilience information spatial platform for the city of Cervia. The methodology adopted by the research supports the development of the knowledge base containing the data required to identify suitable climate adaptation and planning options. This approach can allow the local authority to respond to policy needs related to climate change. The knowledge base was jointly implemented by GIS applications with the participation of the Municipality. The objective of the document is to describe the results of the Luav methodology to assess the vulnerability of spatial morphologies and urban functions regarding the following impacts: heat waves; urban flooding; sea-level rise; salt in. The combination of GIS tools allows to spatialize the impacts with a set of geographical maps. Using ad hoc statistical models, it was possible to correlate the analysis of the impacts to geomorphological features by a variety of land use patterns and satellite indexes. The vulnerability assessment is activated through use of an integrated approach for spatial analysis the variables 'sensitivity' and 'adaptive capacity'.*

*The dataset used in this study includes:*

- *DTM (Digital Terrain Model) (raster).*
- *Landsat 8 satellite images (raster/geotif).*
- *Land Cover (SHP).*
- *Land Use (SHP).*
- *Administrative unit boundaries (SHP).*
- *Buildings and infrastructures (street and railway, rivers, green infrastructures, etc.) (SHP).*
- *Hydrology map (SHP).*
- *Statistical information.*

*The use of geo-databases built on hexagon matrices is the base of the vulnerability study. The hexagons represent a shape of the vulnerability with a specific size of 80 m. The vulnerability is counted through the evaluation of following parameters:*

*(for) Urban Heat Islands*

*Land surface temperature (LST).*

*mq building/mq hexagon.*

*Normalized difference vegetation Index (NDVI).*

*Normalized difference water index (NDMI).*

*(for) Urban flooding/runoff*

*Correlation between run-off and soil sealing.*

*(for) Sea-level rise/coast erosion*

*The level of sensitivity is provided by the percent of land  $\leq 1$  meter elevation. The surfaces percent  $\leq 1$  meter has been drawn from a DTM analysis.*

*(for) Salt in*

*Analysis of soilborne salinity and the distribution of species.*

*The parameters allow showing how the impact topologies are potentially adverse to the dynamics of vulnerability.*

*The method can be used to evaluate the effects of the impacts and steers the procedures for the design of climate adaptation.*

*Urban heat Island*

*The study conducted in Cervia shows a negative correlation between NDVI and LST. The correlation is also confirmed in the city center. In summary:*

- average LST: 22 ° C.*
- Average built density: 10 percent of the total area.*
- Average NDVI: 0.4.*

*The study indicates that in correspondence of green areas, the mitigation action of the UHI phenomenon is absolutely present. However, from a careful reading of the bivariant distributions of the pilot transept, it is possible to detect good vulnerability values also in densely urbanized areas, or low levels of vulnerability in areas with low population density. This spatial phenomenon indicates that the mitigating action of the UHI phenomenon is not only linked to the thermoregulatory process of green (or humid) surfaces, but also to the structural design of the city and its morphological-typological contents.*

*Urban flooding/runoff*

*The increasing flood vulnerability derives from the growing waterproofing of soils. The analysis conducted in the pilot area confirms that specific types of land use generate negative effects on the performance of urban drainage, with a consequent increase in surface runoff.*

*The study allows to quantify the runoff coefficients at the basin scale and to understand which uses contribute to modify more the hydraulic health of the territory with effects on exposure and vulnerability.*

*Sea-level rise/coast erosion*

*The modelling of the DTM allows to identify the areas of the coast more exposed to sea-level rise. The study allows to plan the development of assessments and analyzes relating to the flooding scenarios of specific coastal areas.*

*The processing produces a first simulation restricted to the static nature of the digital terrain model.*

*Salt in*

*The study produces a first step of analysis on urban trees and their tolerance to salinity. The analysis shows that some arboreal species have extraordinary adaptive potential, while others are more sensitive to saline contexts.*

*The study was developed with three main objectives:*

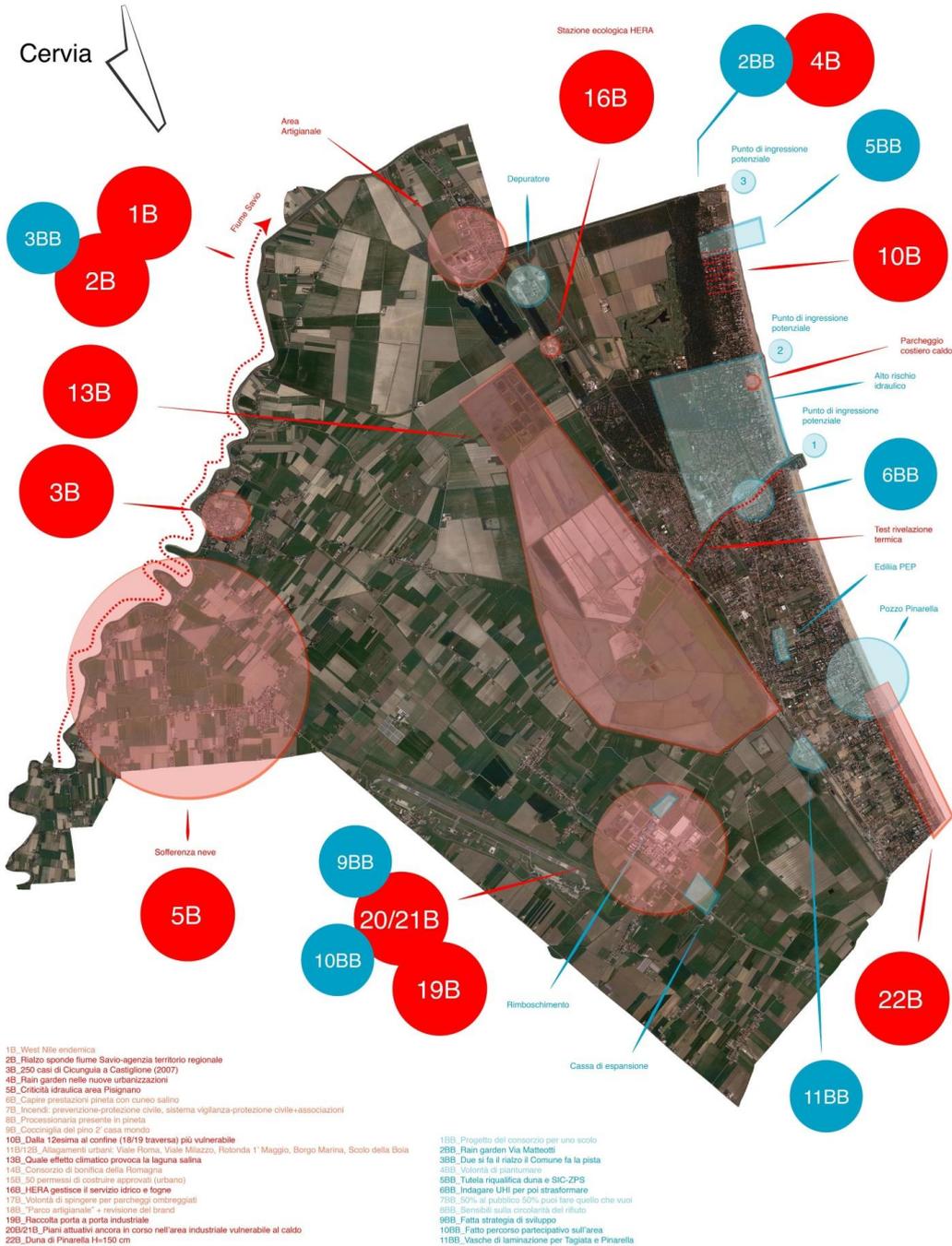
- 1) identify arboreal aggregates more sensitive to the phenomenon of the salt in;*
- 2) map the points of possible propagation of saline water in the subsoil.*
- 3) build a first knowledge base to support the new censuses of the arboreal heritage and the planning of the urban forestation plans.*

*The study does not use a direct investigation of the dynamics of saline ingression, but proposes to acquire and analyze the cartographic information useful for spatializing a "probabilistic" scenario based on the possible tolerance limits of some plants to the salinity of the soil.*

## 1 Studio degli impatti e valutazioni di vulnerabilità

## 1.1 Caso studio del Comune di Cervia

Descrizione Filippo su base cartografica di Giovanni C.



**Figura 1 – Mappa delle percezioni e delle situazioni di criticità locale**

Lo studio condotto per il comune di Cervia considera quattro tipologie di impatto:

- *urban heat islands* (isole di calore);
- *urban flooding/runoff* (inondazioni urbane).
- *sea-level rise* (innalzamento del livello del mare)
- *salt in* (risalita del cuneo salino).

L'obiettivo dello studio è triplice:

- 1) rilevare le aree maggiormente esposte ad ondate di calore intense e a coefficienti di deflusso elevati;
- 2) simulare un possibile scenario di allagamento da parte del mare;
- 3) produrre una mappatura delle specie arboree *tendenzialmente* poco tolleranti ad alti livelli di salinità nei suoli.

L'analisi è condotta a vari livelli per l'interno comune di Cervia con affondi di studio in un transetto pilota (Cervia-Milano Marittima).

#### *Transetto pilota Cervia-Milano Marittima*

Il transetto pilota è stato scelto in accordo con il Servizio Urbanistica del comune di Cervia. Si tratta di un'area in grado di tenere insieme lo studio delle quattro criticità in oggetto.

L'area comprende:

- centro storico di Cervia (zona piazza Costa e piazza Garibaldi con tema: isole di calore);
- Milano Marittima (tema: cuneo salino);
- zona colonia Varese (tema: allagamenti).

Con questo scenario si intende dimostrare come gli effetti indotti dai cambiamenti climatici nelle zone costiere necessitino sempre più di metodologie di analisi multi-obiettivo. Il presente contributo illustra le quattro linee di impatto proponendo una *baseline* per la valutazione della vulnerabilità urbana frutto di una combinazione di stress multipli<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Tra gli stress più rilevanti va considerata la combinazione tra eventi estremi e risalita delle acque saline, la quale può rendere più difficoltoso il deflusso delle acque verso il mare.

### 1.1.1 Fonti e costruzione del quadro conoscitivo

Tabella 1 – Cervia: fonti, dati e materiali		
Categoria	Uri	
Temi cartografici di base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download">http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download</a></li> <li>• <a href="https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/fe1878e8-7541-4c66-8453-afdae7469221">https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/fe1878e8-7541-4c66-8453-afdae7469221</a></li> </ul>	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Carta tecnica regionale	Free download	Tif
Edifici con destinazioni d'uso	Servizio Urbanistica del Comune di Cervia	SHP
Quadro conoscitivo della regione Emilia Romagna	Free download	SHP
Limiti amministrativi	Free download	SHP
Bacini idrografici del Savio, dei Fiumi uniti e del Rubicone.	Free download	SHP
DTM 5 x 5	Free download	geo-Tif
Categoria	Uri	
Cartografia tematica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/downloadstandard">http://geoportale.regione.emilia-romagna.it/it/download/downloadstandard</a></li> <li>• <a href="https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/cartografia">https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/cartografia</a></li> <li>• <a href="https://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/">https://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo/</a></li> </ul>	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Uso del suolo di dettaglio 2014 (Edizione 2018)	Free download	SHP e GeoTif

Mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvione 2013 (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE)	Free download	SHP
Carta della salinità nei suoli di pianura tra 50 e 100 cm. Prime approssimazioni	Free download	SHP
<b>Categoria</b>	<b>Url</b>	
Immagini satellitari	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Immagini satellitari Landsat 8	Free download	GeoTif
<b>Categoria</b>	<b>Url</b>	
Dati meteorologici	<a href="https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo">https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo</a> <a href="https://www.3bmeteo.com/">https://www.3bmeteo.com/</a>	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Dati giornalieri termopluviometrici	Free download	CSV

### 1.1.2 Analisi della vulnerabilità per ondate di calore

Per lo studio delle ondate del calore il processo di elaborazione è il seguente:

#### 1. Dati utilizzati

- Quadro conoscitivo della Regione Emilia –Romagna.
- Edifici e destinazioni d’uso.
- Immagini satellitari Landsat 8 in formato geo-tif.
- Uso del suolo di dettaglio al 2014 - Edizione 2018.

#### 2. Elaborazioni raster

- Land surface temperature (LST) con precisione 15 cm.
- Normalized Difference Vegetation Index medio (NDVI) con precisione 15 cm.
- Normalized Difference Moisture Index (NDMI) con precisione 15 cm.

#### 3. Elaborazioni vettoriali.

- Mappa degli edifici.
- Uso del suolo 2014 al secondo livello di classificazione.

#### 4. Costruzione del geo-database di unione delle informazioni spaziali forzate su un reticolo esagonale di lato 80 metri<sup>2</sup>.

La gestione dei dati avviene tramite un database relazionale con una unica matrice di valori su base esagonale per l’interno comune, con riferimento a 5 principali descrittori (o variabili).

**Tabella 2 – Descrittori della matrice**

Unità statistica	LST	Densità edificato	NDVI	NDMI
Esagono	Valore medio	Rapporto tra la somma delle superfici degli edifici e la superficie dell’esagono	Valore medio	Valore medio

<sup>2</sup> Vedi Maragno (2018).

Tutti gli indicatori calcolati sono rappresentabili su una scala di valori compresa tra 0 e 1<sup>3</sup>.

La vulnerabilità è misurata in termini di un indice sintetico, ottenuto come differenza tra i parametri di *sensitivity* e quelli di *adaptive capacity*.

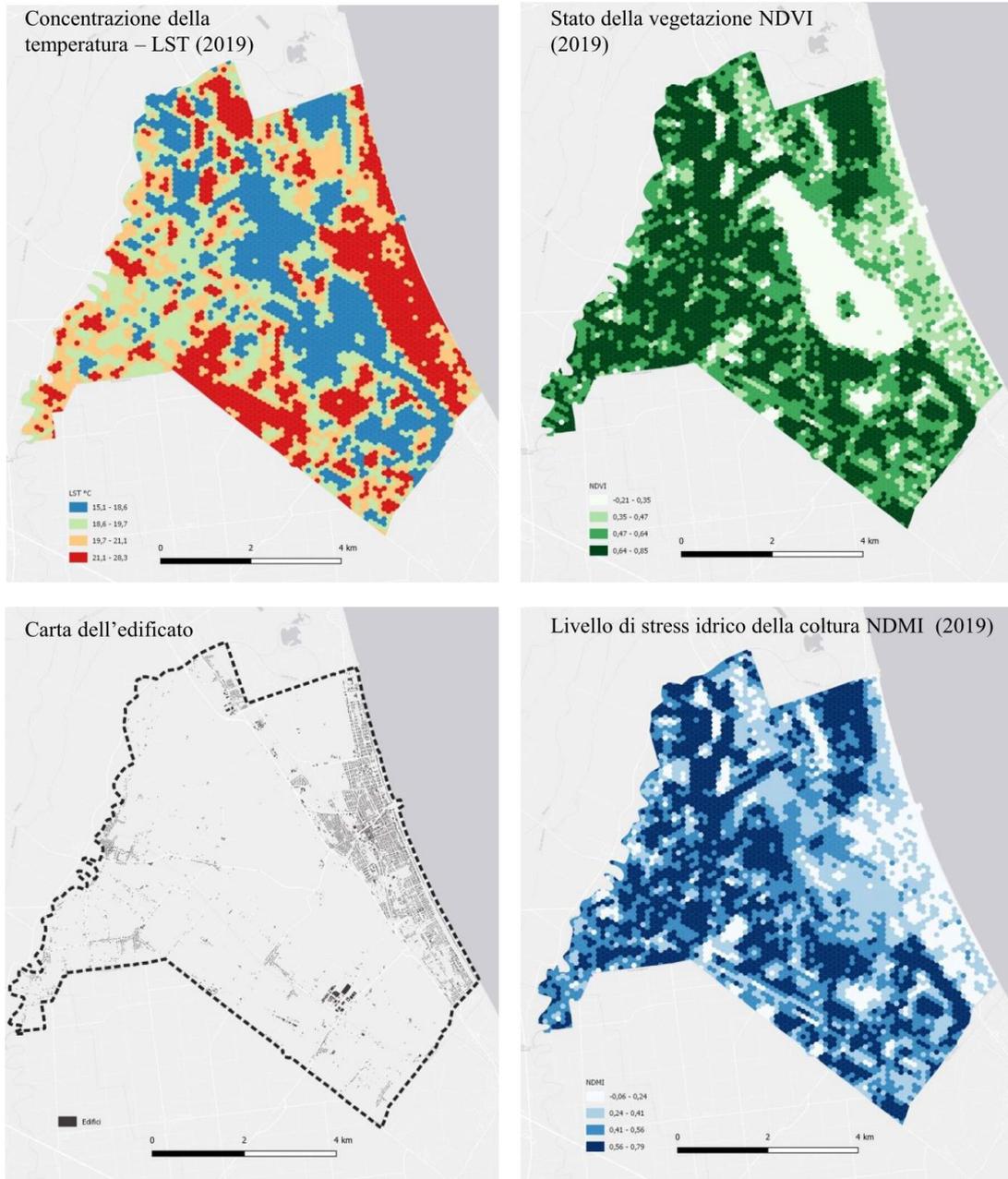
**Tabella 3 – Componenti della vulnerabilità**

Unità statistica	Land surface temperature (LST)	Densità edificato	Normalized Difference Vegetation Index medio (NDVI)	Normalized Difference Moisture Index (NDMI)
Esagono	Sensitivity	Sensitivity	Adaptive capacity	Adaptive capacity

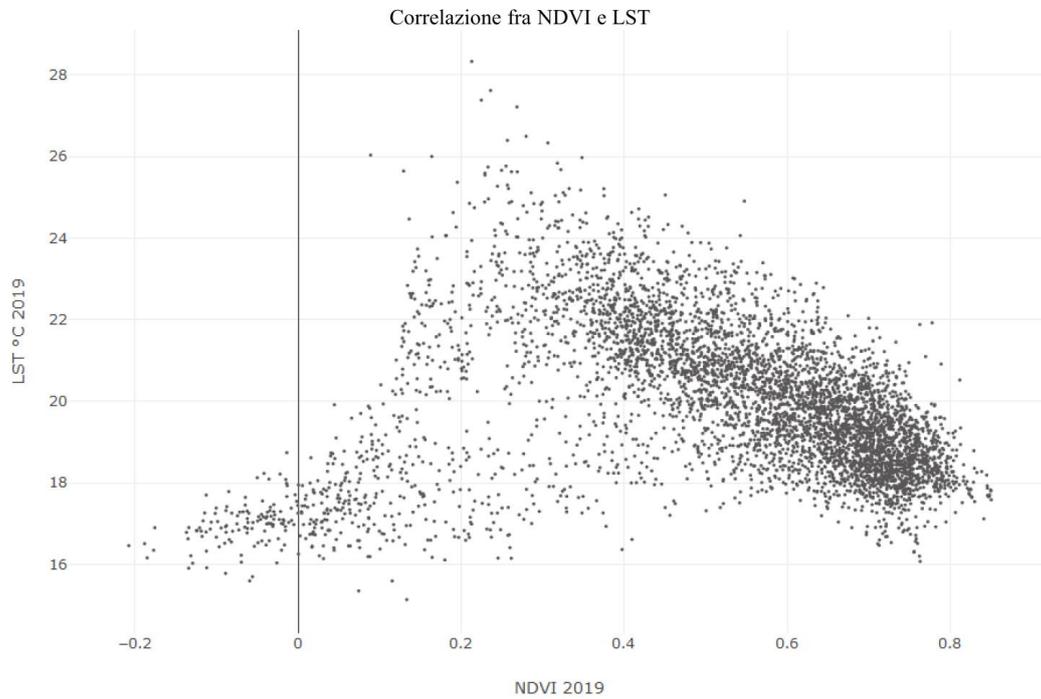
---

<sup>3</sup> Questa operazione consente di aggregare valori di diversa natura dotati di un rango di variabilità non confrontabili.

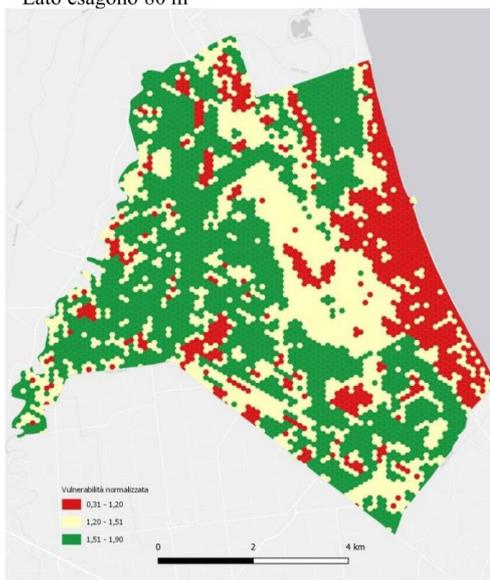
### 1.1.2.1 Mappe tematiche di sintesi



**Figura 2 – Strati informativi di sensitivity (LST e edificato) e adaptive capacity (NDVI e NDMI)**



Mappa della vulnerabilità  
Lato esagono 80 m



Usi del suolo 2014 al secondo livello di  
classificazione (Regione Emilia-Romagna)

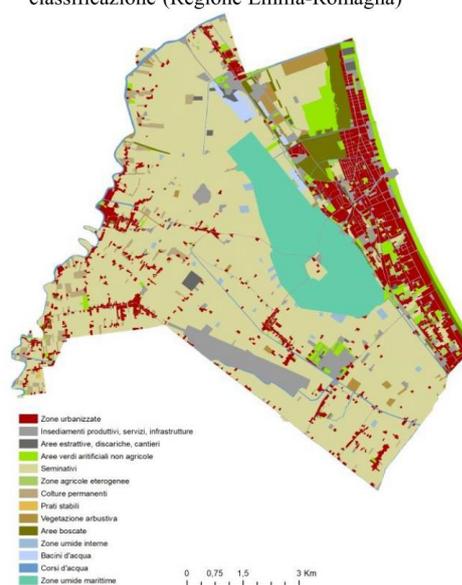
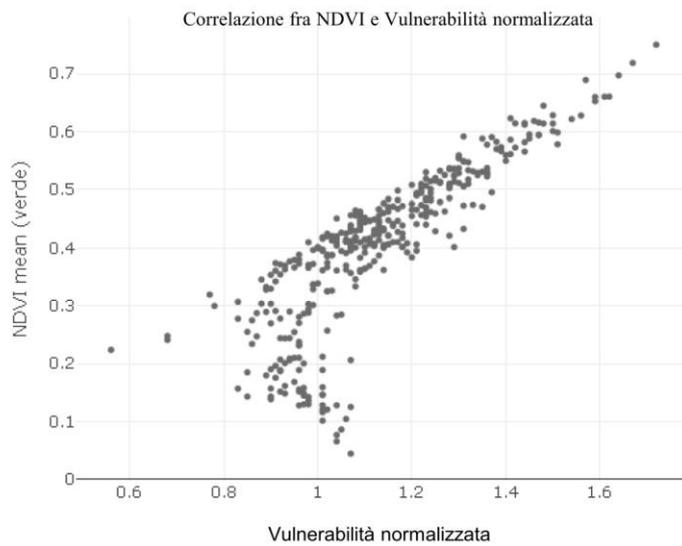
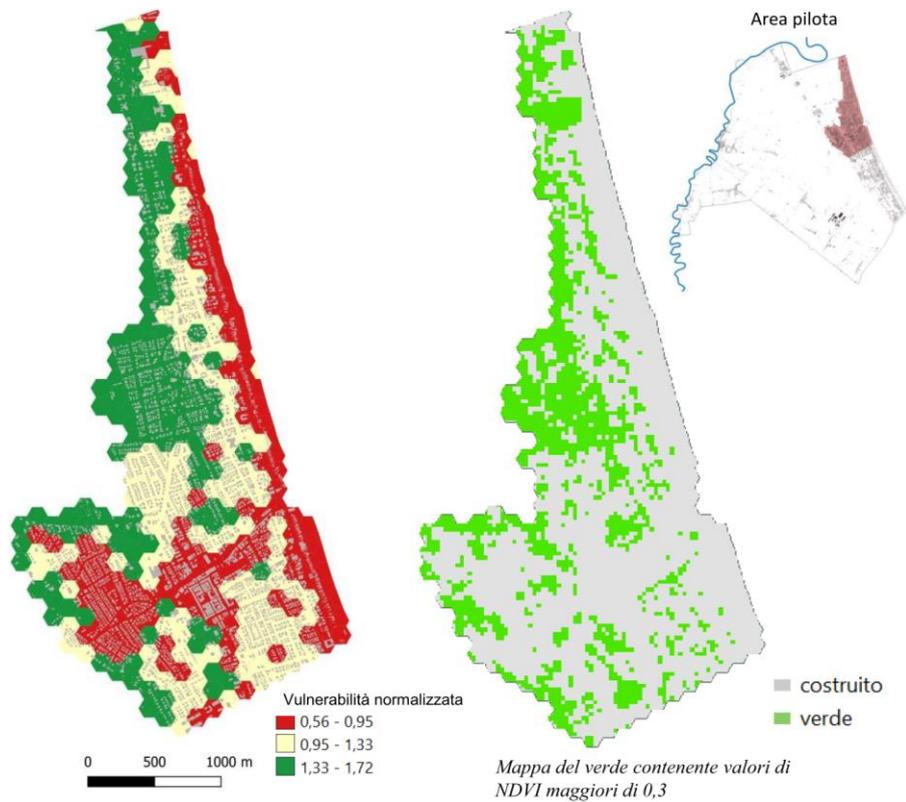


Figura 3 – Vulnerabilità normalizzata all'UHI e distribuzione bivariata NDVI/LST al 2019



**Figura 4 – Analisi del transetto pilota (Cervia-Milano Marittima)**

Lo strato informativo della vulnerabilità è stato confrontato con la mappa delle destinazioni d'uso degli edifici, al fine di ottenere un'esposizione ad ondate di calore in relazione alla varietà delle funzioni urbane. I risultati sono stati elaborati per la classe di vulnerabilità più estrema (0,31-1,20).

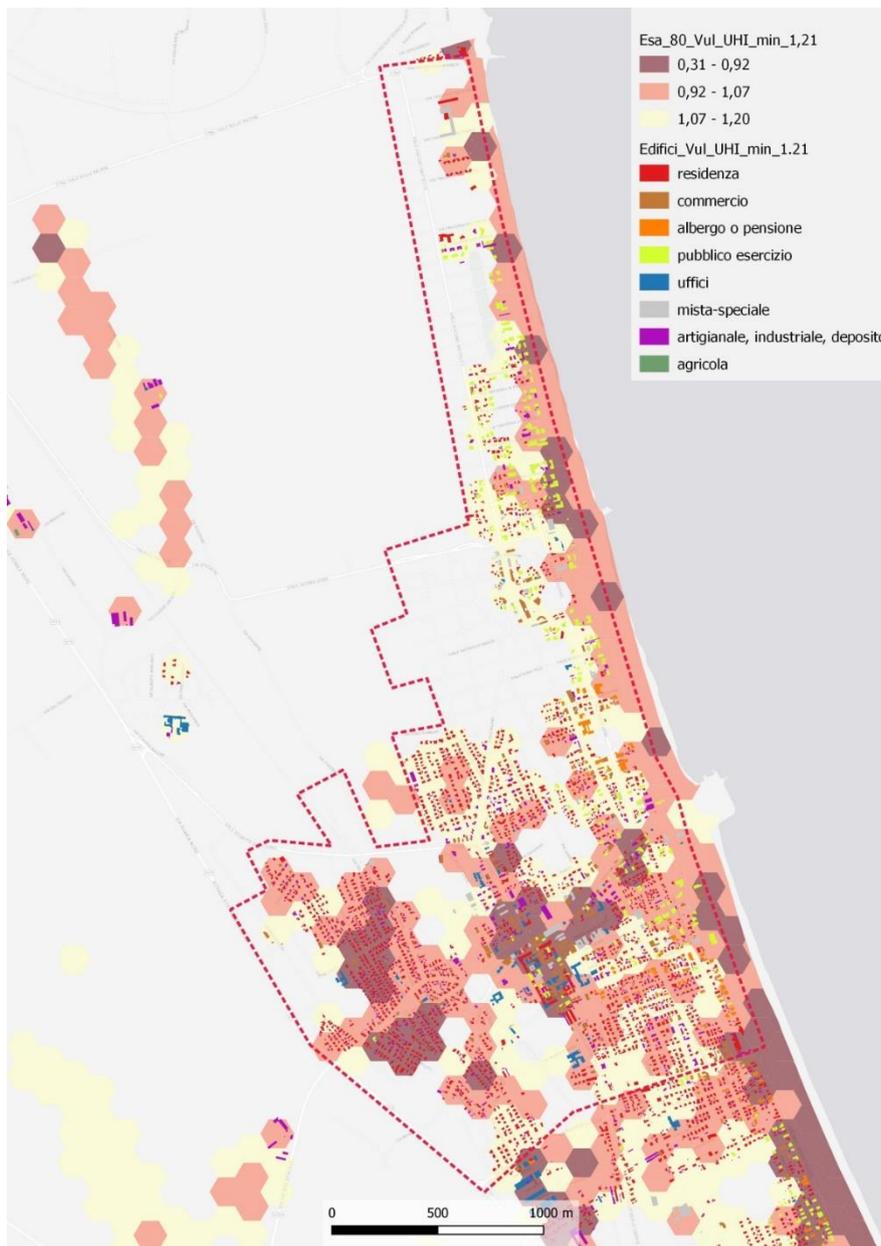


Figura 5 – Classi di vulnerabilità estrema e destinazioni d'uso (transetto pilota)

**Tabella 4 – Destinazioni d'uso e totale degli edifici presenti nel comune di Cervia**

<b>Destinazione d'uso</b>	<b>totale edifici presenti nel Comune di Cervia</b>	<b>percentuale edifici su totale edifici</b>
agricola	66	0,40%
albergo o pensione	238	1,44%
artigianale, industriale, magazzino	5687	34,37%
commercio	793	4,79%
mista o speciale	647	3,91%
pubblico esercizio	803	4,85%
residenza	8001	48,36%
ufficio	310	1,87%
Totale/valore medio	16545	100,00%

**Tabella 5 – Articolazione delle destinazioni d'uso e valori medi di vulnerabilità**

<b>Destinazione d'uso</b>	<b>Numero edifici soggetti ad alta vulnerabilità</b>	<b>Vulnerabilità UHI valore minimo medio</b>	<b>Vulnerabilità UHI valore massimo medio</b>	<b>Vulnerabilità UHI valore medio</b>
agricola	13	0,88	1,16	1,08
albergo o pensione	205	0,83	1,20	1,04
artigianale, industriale, magazzino	3663	0,56	1,20	1,02
commercio	644	0,56	1,20	0,97
mista o speciale	393	0,56	1,20	1,03
pubblico esercizio	593	0,56	1,20	1,02

residenza	5201	0,56	1,20	1,02
ufficio	234	0,56	1,20	0,94
Totale/valore medio	10946	0,63	1,20	1,02

### 1.1.2.2 Discussione dei risultati

L'analisi generale evidenzia una importante correlazione negativa fra NDVI e LST. La correlazione viene confermata anche nel transetto pilota, dove a temperature medie elevate corrispondono valori di NDVI medio-bassi. In sintesi:

- LST media: 22 °C.
- Densità edificato media: 15% dell'area totale.
- NDVI media: 0,4.

Si può dunque affermare che in corrispondenza di areali verdi elevati l'azione mitigatrice al fenomeno UHI risulta assolutamente presente. Tuttavia, da un'attenta lettura delle distribuzioni bivariate presenti nel transetto pilota è possibile identificare dei buoni valori di vulnerabilità normalizzata anche in aree densamente urbanizzate, o al contrario dei livelli di vulnerabilità normalizzata minimi in zone a bassa densità abitativa. Ciò sta a indicare che l'azione mitigatrice al fenomeno UHI non è solamente legata al processo termoregolatore delle superfici verdi (o umide), ma anche al disegno strutturale della città e ai suoi contenuti morfo-tipologici.

In ultima analisi, lo studio delle isole di calore può risultare particolarmente utile nel classificare le funzioni urbane sulla base dei livelli di esposizione e vulnerabilità.

### 1.1.3 Analisi della vulnerabilità da allagamento urbano

Per lo studio dell'*urban flooding* (o *run-off*) il processo di elaborazione è il seguente:

1. Dati utilizzati
  - DTM (5 m cell size)
  - Uso del suolo di dettaglio al 2014 - Edizione 2018.
  - Immagini satellitari Landsat 8 in formato geo-tif.
  - Bacini idrografici del Savio, dei Fiumi uniti e del Rubicone.
2. Elaborazioni vettoriali.
  - Assegnazione dei coefficienti di deflusso per tipo di uso del suolo;
3. Elaborazioni raster
  - correlazione dei coefficienti di deflusso al modello di uso del suolo e alle funzioni di direzione e di accumulo (*flow direction* e *flow accumulation*);
  - Normalized Difference Vegetation Index medio (NDVI) con precisione 15 cm.
4. Costruzione del geo-database di unione delle informazioni spaziali forzate su un reticolo esagonale di lato 80 metri.

La gestione dei dati avviene tramite un database relazionale con un'unica matrice di valori su base esagonale per l'interno comune, con riferimento a 3 principali descrittori (o variabili).

**Tabella 6 – Descrittori della matrice**

Unità statistica	NDVI	Runoff
Esagono	Valore medio	Valore medio

La vulnerabilità è misurata in termini di runoff, ossia in coefficienti di deflusso delle acque superficiali.

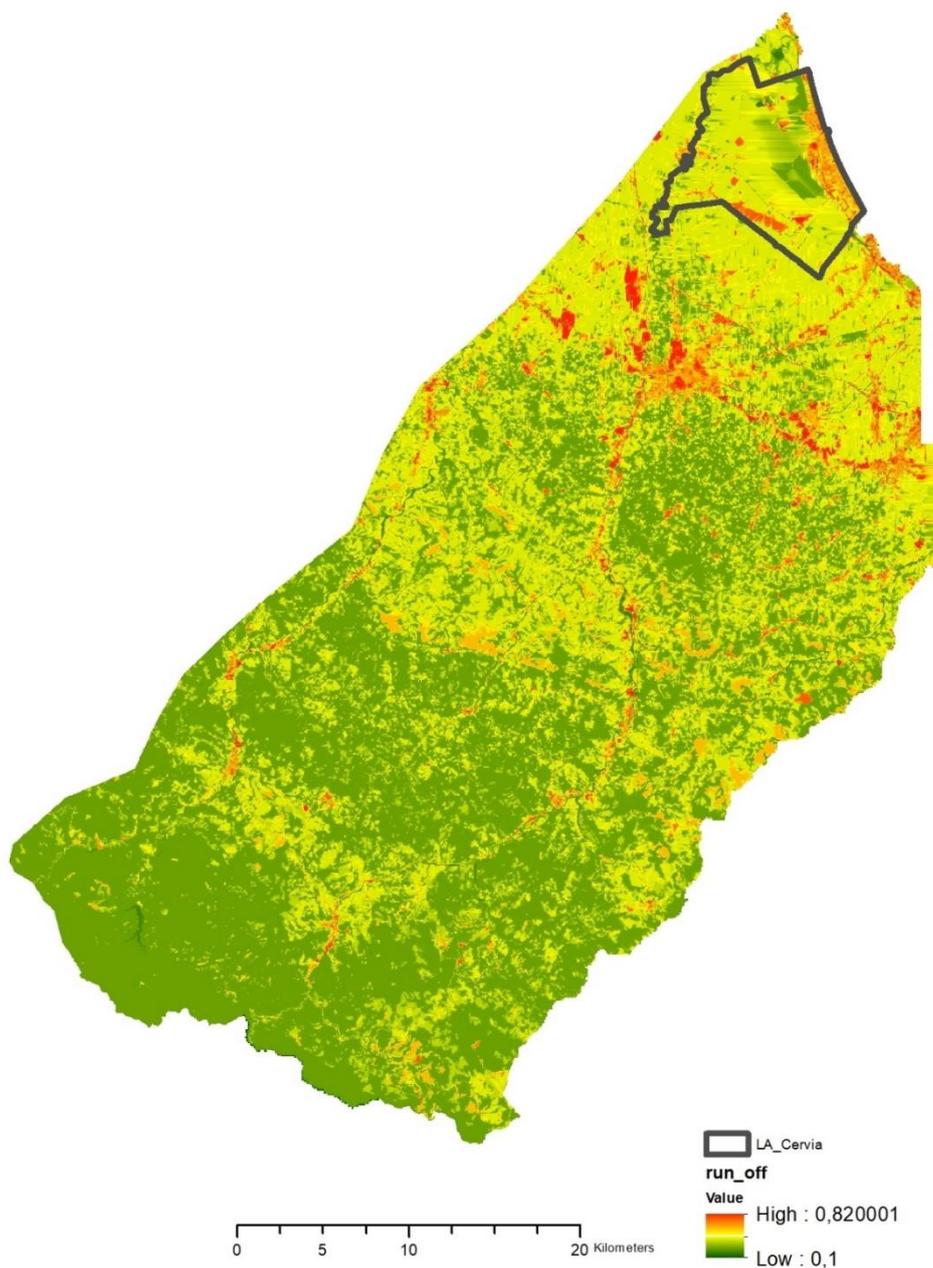
Gli indicatori di *sensitivity* e *adaptive capacity* vengono considerati dal modello nel seguente modo:

**Tabella 7 – Componenti della vulnerabilità**

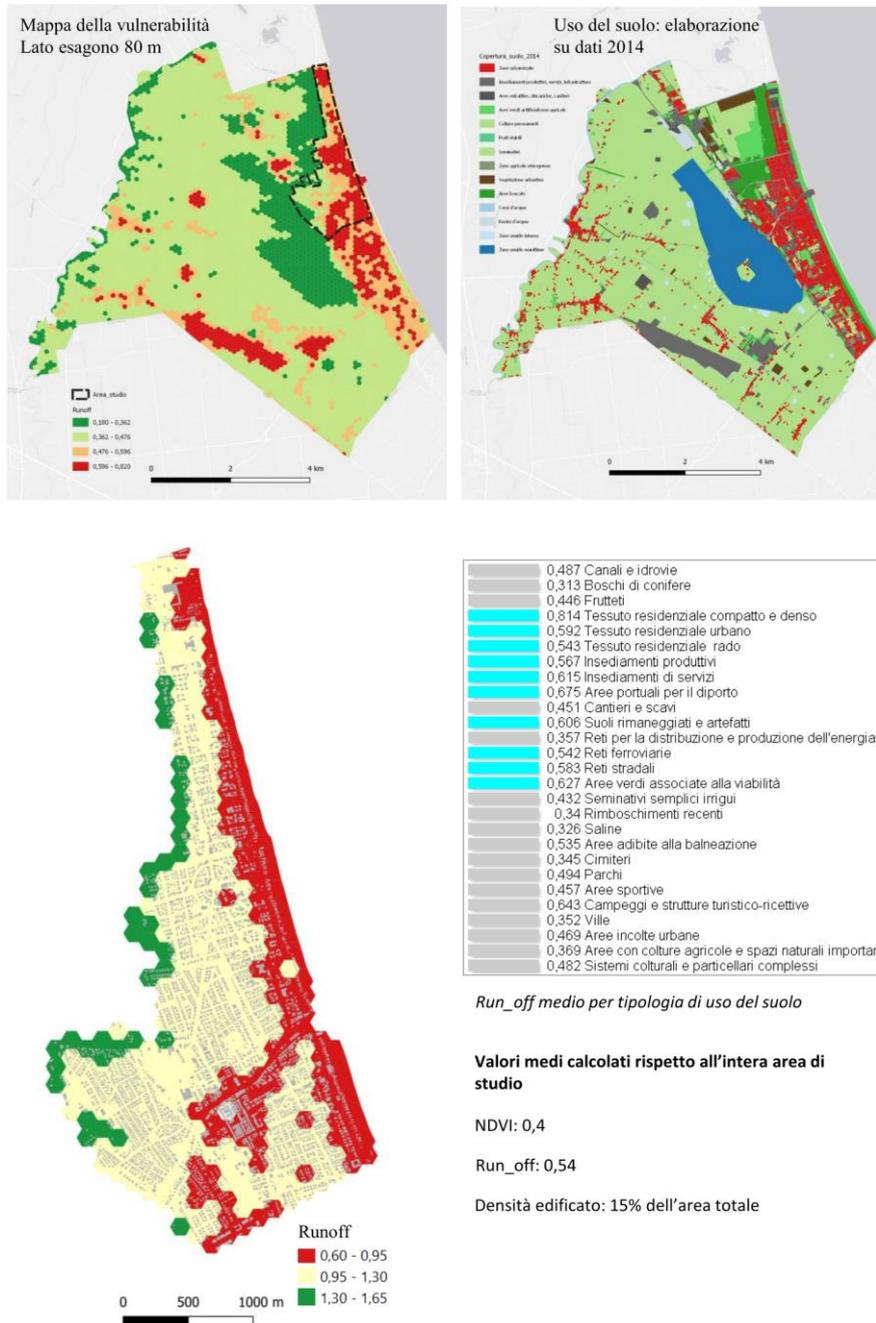
Unità statistica	Modello digitale del terreno	Usi del suolo	Coefficienti di deflusso	
			0,9 aree impermeabili	0,1 aree permeabili
Esagono	Sensitivity	Sensitivity	Adaptive capacity	Adaptive capacity



### 1.1.3.1 Mappe tematiche di sintesi

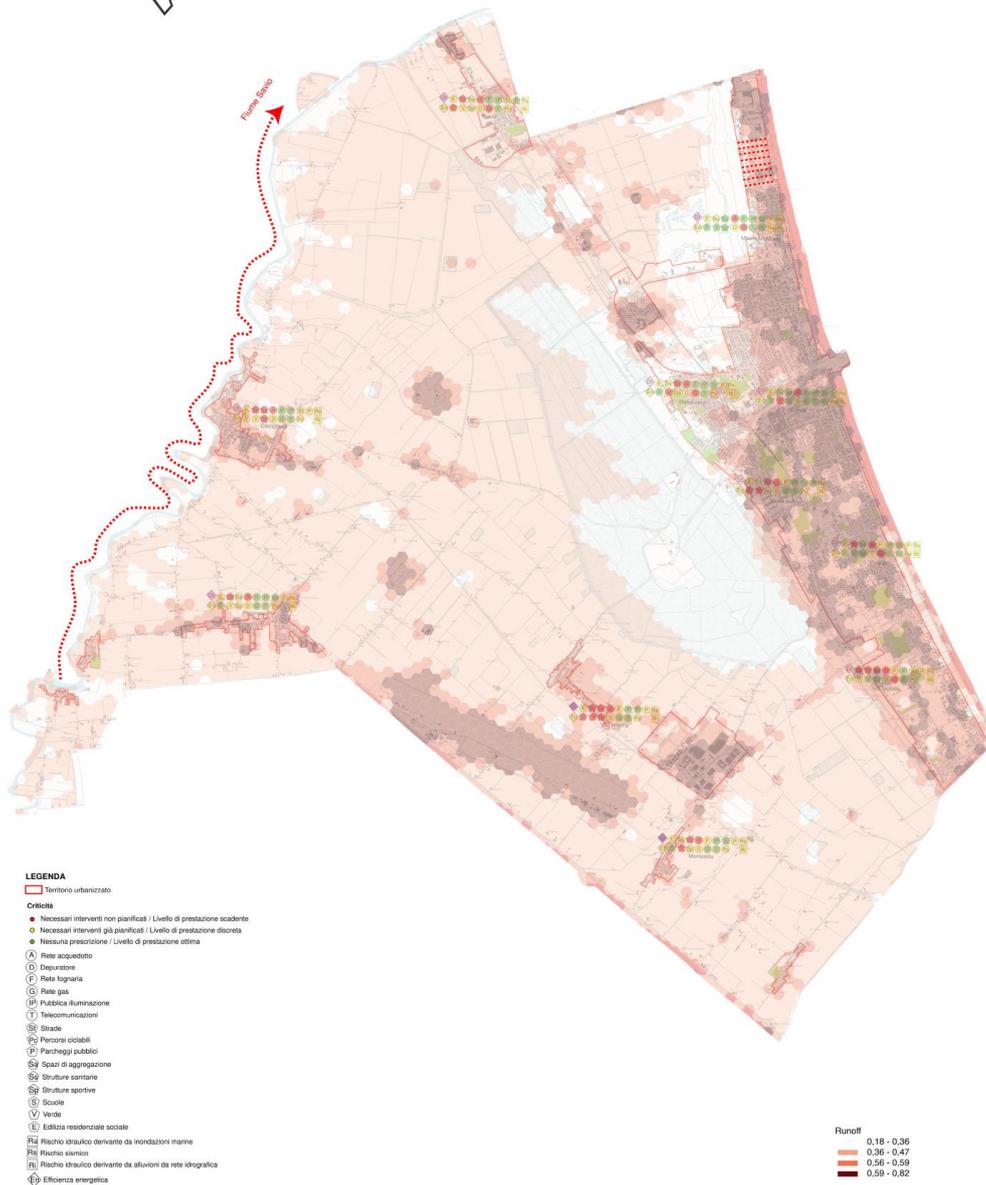


**Figura 6 – Stima del comportamento idraulico di una parte del bacino imbrifero del Savio, del Rubicone e parte dei Fiumi Uniti relativo all'uso del suolo all'anno 2014.**



**Figura 7 – In alto: mappa di vulnerabilità relativa al runoff calcolato sul modello di uso del suolo al 2014 e confronto con le tipologie d'uso; in basso: analisi del transetto pilota e runoff medio per tipologia di uso del suolo**

Cervia  
Run-off

**Figura 8 –Relazione spaziale tra runoff e stato delle criticità rispetto ai livelli di prestazione della rete di drenaggio (tavola D2 – Quadro sinottico delle criticità)**

### 1.1.3.2 Discussione dei risultati

La vulnerabilità da allagamento urbano deriva dalla crescente impermeabilizzazione dei suoli. Il quadro di analisi condotto nel transetto pilota conferma come specifiche tipologie d'uso del suolo sottraggano in modo significativo via di fuga all'acqua meteorica, con conseguente incremento del deflusso superficiale.

Lo studio, pertanto, consente non solo di quantificare i coefficienti di deflusso a scala di bacino, ma anche di capire quali usi contribuiscano a modificare maggiormente la salute idraulica del territorio con effetti su esposizione e vulnerabilità.

#### 1.1.4 Analisi della vulnerabilità da innalzamento del livello del mare

Per lo studio degli impatti da *sea-level rise* il processo di elaborazione è il seguente:

1. Dati utilizzati

- DTM (5 m cell size).

2. Elaborazioni raster/grafiche

- Identificazione delle aree di costa più esposte ad impatti da mareggiata (erosione di costa/dunale, allagamenti, ristagni).

1.1.4.1 Mappe tematiche di sintesi



**Figura 9 – High water (quote critiche) e zone litorali soggette ad erosione (Carta delle criticità idrauliche e di costa, Elaborato I6 – QC del Piano Urbanistico Generale, PUG di Cervia)**

#### 1.1.4.2 Discussione dei risultati

L'applicazione grafica consente di identificare le aree del litorale più esposte in modo da poter favorire valutazioni e analisi sugli scenari di allagamento e ristagni per specifiche zone costiere.

Attraverso la sovrapposizione con la carta delle criticità idrauliche e di costa (Elaborato I6 – QC del Piano Urbanistico Generale, PUG di Cervia), il metodo di valutazione adottato considera gli scenari di inondazione marina per una gestione più consapevole dell'erosione del piede dunale, in funzione di una regressione del territorio costiero dovuta ad un innalzamento del livello del mare.

**Si precisa che il risultato dell'elaborazione restituisce una prima simulazione vincolata alla staticità del modello digitale del terreno. A fianco di questo lavoro si consiglia di effettuare (nell'ambito di un eventuale secondo progetto) delle indagini morfo-dinamiche specifiche per la previsione dell'erosione costiera.**

### 1.1.5 Analisi della vulnerabilità da risalita del cuneo salino

Questo tipo di studio vede un approccio di analisi volto alla ricognizione delle soglie di tolleranza alla salinità delle specie arboree con conseguente ricalibratura della loro resistenza rispetto alla salinità dei suoli (per profondità variabile da 50 a 100 cm)<sup>4</sup>.

Per lo studio del cuneo salino il processo di elaborazione è il seguente:

1. Dati utilizzati
  - Carta della salinità dei suoli per lo strato 50-100 cm.
  - Mappa delle alberature (fonte: Servizio Urbanistica, Comune di Cervia).
  - Bibliografia sui livelli di tolleranza delle specie arboree alla salinità dei suoli (Maas, 1986 e 1996; Munns, 1999; Shannon 1997).
2. Elaborazioni vettoriali-raster condotti sul transetto pilota.
  - Assegnazione dei valori di tolleranza alla salinità in base alla tipologia di specie arborea.
  - Definizione delle nuove soglie di tolleranza alla salinità per tipologia di specie arborea e grado di salinità del terreno nel transetto pilota.
  - Perimetrazione delle aree 'urbano-vegetate' maggiormente interessate dagli effetti indotti dal fenomeno dell'ingressione marina.
3. Costruzione del geo-database  
 La gestione delle informazioni spaziali avviene tramite un database relazionale di una matrice di valori e giudizi costruita su 4 principali descrittori (o variabili).

**Tabella 8 – Descrittori della matrice**

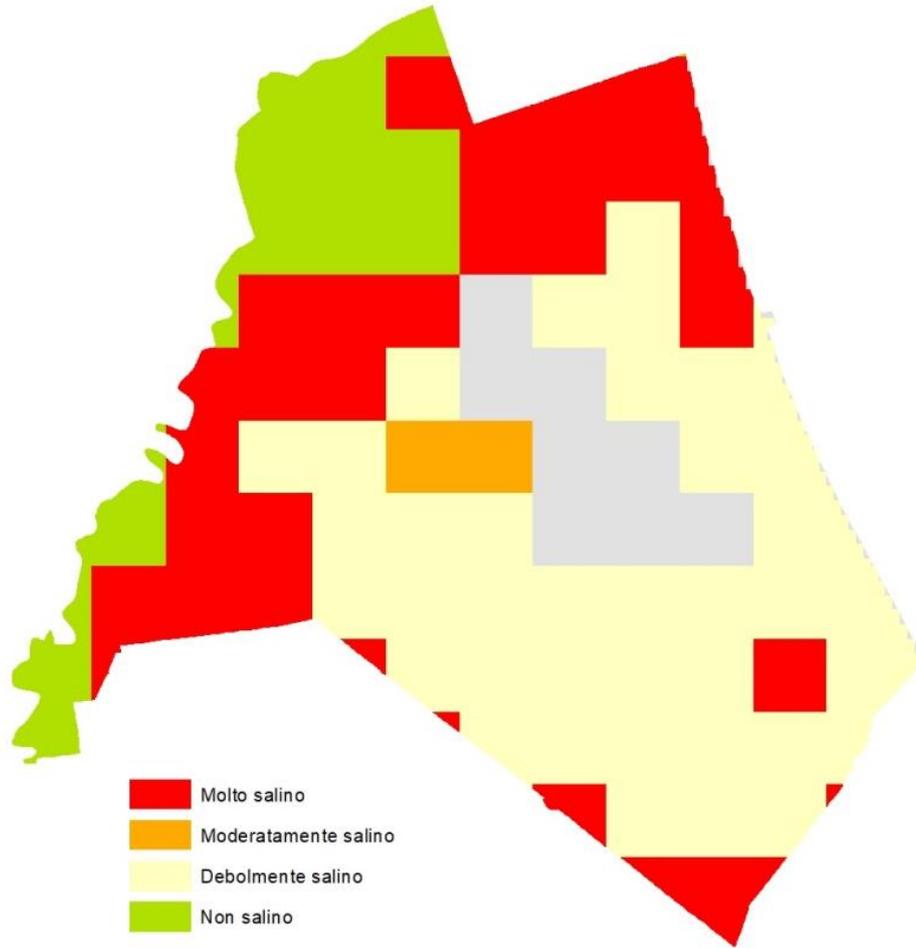
Statistical unit (albero)	Specie arborea	Grado di tolleranza alla salinità	Classe di salinità del terreno

La vulnerabilità viene considerata dal modello nel seguente modo:

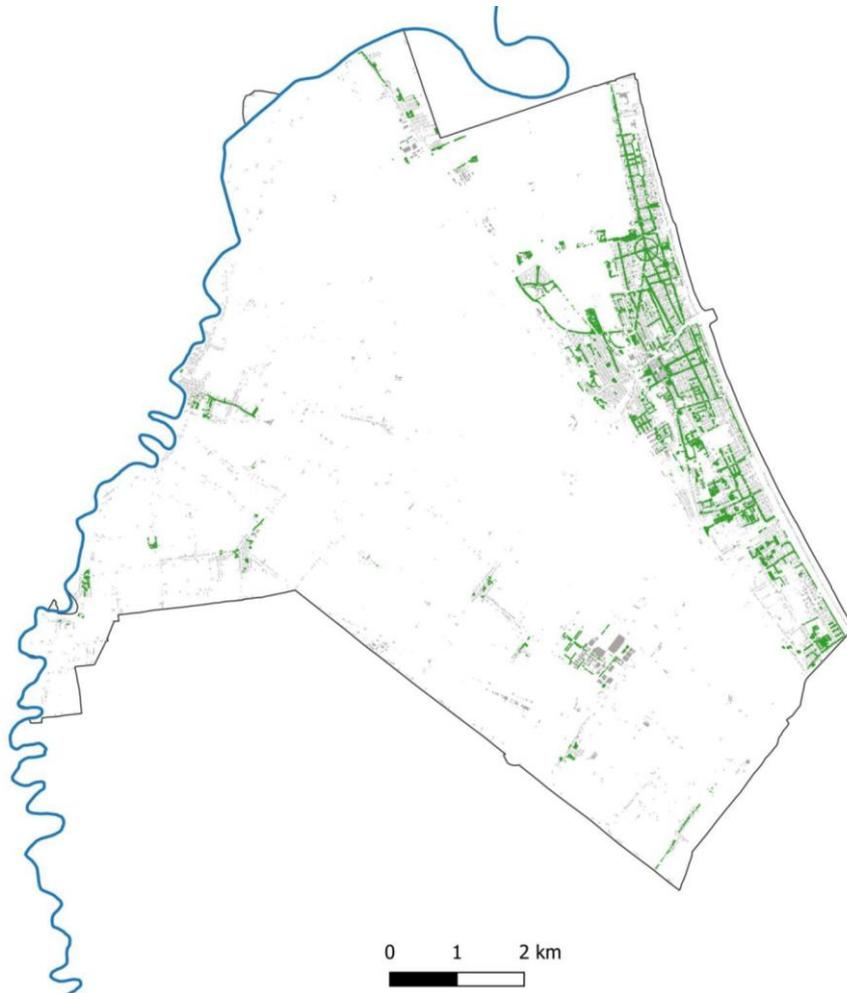
**Tabella 9 – Componenti della vulnerabilità**

Unità statistica	Grado di salinità del terreno	Grado di tolleranza alla salinità
albero	Sensitivity	Adaptive capacity

<sup>4</sup> Regione Emilia-Romagna – Servizio geologico sismico e dei suoli (2011).



**Figura 10 –Carta della salinità dei suoli del comune di Cervia di prima approssimazione per lo strato 50-100 cm**



**Figura 11 – Mappa delle alberature**

### 1.1.5.1 Mappe tematiche di sintesi



**Figura 12 – Propensione alla vulnerabilità salina<sup>5</sup> delle alberatura presenti nell’area del transetto pilota (Cervia-Milano Marittima)**

<sup>5</sup> I punti di ingresso salina fanno riferimento alla *Carta delle criticità idrauliche e di costa* (Elaborato I6 – QC del Piano Urbanistico Generale, PUG di Cervia).

### 1.1.5.2 Discussione dei risultati

Per valutare l'estensione, le modalità, le cause e la quantità dell'intrusione salina risulta necessario attivare una serie di indagini multidisciplinari integrate: geologiche, idrogeologiche, geochimiche, geofisiche e ambientali. Nell'ambito di questo progetto l'uso delle nuove tecnologie GIS ha comunque permesso di condurre un primo step di analisi sugli alberi urbani e sulla loro tolleranza alla salinità in funzione della loro varietà culturale. Si rileva che alcune piante possiedono straordinarie potenzialità adattative, mentre altre risultano sensibili ai contesti salini.

Lo studio sul processo di intrusione salina è stato sviluppato con tre obiettivi principali:

- 1) identificare areali arborei urbani maggiormente sensibili al fenomeno del cuneo salino.
- 2) mappare punti di possibile propagazione di acqua salina nel sottosuolo.
- 3) fornire una prima base conoscitiva di supporto alla stesura dei nuovi censimenti del patrimonio arboreo e alla progettazione di piani di forestazione urbana<sup>6</sup>.

**Si precisa che questo studio non si avvale di un'indagine diretta della dinamica di ingressione salina, ma si propone di acquisire ed analizzare le informazioni cartografiche utili per spazializzare uno scenario "probabilistico" basato sui possibili limiti di tolleranza di alcune piante ai sali del sottosuolo.**

---

<sup>6</sup> In fase di progettazione di una eventuale forestazione urbana le informazioni ricavate dal presente studio potranno essere utili per calibrare la distribuzione spaziale delle piante in relazione alla loro diversa resistenza alla salinità.

## 2 Conclusioni

*The results provide useful information for reading and interpreting the territory in terms of vulnerability to climate change. The study of the impacts indicates the need to activate governance models that are more coordinated with spatial planning and with the tools for monitoring and evaluating the effects generated by climate change. The aim of the study is to promote the construction of strategic scenarios for the assessment of vulnerability through the use of an interdisciplinary reading of the different systems that define the urban environment. The results obtained guide the improvement margins of the analytical-methodological and of the methodological-instrumental apparatus. These improvements concern the possibility of building research policies to investigate the construction of the best territorial performances in response to climate change. In conclusion, the studies conducted in the various territorial realities introduce innovative aspects. These aspects suggest new research opportunities and new job prospects based on reading the conceptual relationship between the multi-objective analysis model of impacts and the spatial representation of territorial vulnerability.*

## 2.1 Limiti, opportunità e prospettive della ricerca

### 2.1.1 Urban Heat Islands

La metodologia sviluppata da Luav in ottica *Urban Heat Islands* (UHI) consente di valutare le performance del territorio rispetto all'impatto considerato, ossia: le ondate di calore.

Lo studio si fonda su due indicatori: a) sensitività all'impatto; b) capacità di adattamento. La restituzione semaforica (ad esagoni) dell'impatto, e quindi della sua azione vulnerate, risulta fortemente dipendente dalla ricchezza dei tessuti della città e dalle sue caratteristiche morfologiche.

Per ipotizzare le condizioni di vulnerabilità e adattamento si considerano le seguenti componenti fisico-ambientali: temperature elevate (derivate da immagini multispettrali provenienti da sensori satellitari), superfici edificate, presenza di vegetazione e umidità del suolo. Ne deriva uno scenario che identifica aree a diversa vulnerabilità territoriale in presenza di una eventuale ondata di calore superiore alla media.

Partendo da un presupposto di adeguata veridicità del modello, in condizioni di aumento costante delle temperature estive è plausibile pensare che queste aree vadano incontro ad una amplificazione (o massimizzazione) della propria 'criticità comportamentale'. La potenzialità del metodo Luav è riconducibile al fatto di poter identificare in anticipo queste aree e di renderle resilienti ancor prima che queste condizioni climatiche avvengano.

#### *Risultati*

Lo studio consente di contestualizzare spazialmente la vulnerabilità alle ondate di calore in relazione a diverse tipologie di aggregazione (sia naturali che antropiche): morfologie del costruito, tipo-morfologie, aree verdi urbane, aree umide, spazi rurali e così via. I primi risultati dimostrano che la presenza di vegetazione in città assume un ruolo rilevante nella mitigazione dell'isola di calore. Ciò suggerisce di considerare l'aspetto multifunzionale dello spazio verde avvalendosi di un progetto urbano eco-sistemico di connessione tra areali verdi urbani e areali verdi extra-urbani.

#### *Limiti e opportunità*

Tra le principali opportunità di miglioramento dell'indagine emerge la necessità di arricchire la valutazione dell'impatto con indicatori relativi al micro-clima locale e con analisi di trend climatici opportunamente modellizzati<sup>7</sup>. Ciò può consentire di definire in modo più dettagliato le performance di adattamento dei sistemi urbani e i livelli di vulnerabilità del territorio.

### *Prospettive*

L'aspetto innovativo dello studio è duplice:

- a) critico-esplorativo a carattere multidisciplinare e multiscalare;
- b) tecnologico-sperimentale.

Le nuove analisi e prospettive per la gestione sostenibile del fenomeno UHI sono le seguenti:

- uso dello studio di vulnerabilità in ottica di integrazione dei quadri conoscitivi territoriali legati alla valutazione del rischio;
- uso dei dati di vulnerabilità a supporto delle pratiche di governo del territorio e della progettazione di strategie di *urban design* per l'adattamento della città ai cambiamenti climatici;
- sviluppo di pratiche di rigenerazione e di ri-funzionalizzazione degli assetti insediativi opportunamente correlato al rafforzamento dell'efficienza energetica ed ecosistemica urbana;
- riprogettazione del territorio per topologie di aggregazione interpretate secondo diversi gradienti climatici e di densità urbana in una dimensione transcalare e multiscalare;

---

<sup>7</sup> Si vedano, ad esempio, le simulazioni climatiche ad alta risoluzione sviluppate dal CMCC o dal progetto MERIDA (*MEteorological Reanalysis Italian DATaset*).

### 2.1.2 Urban flooding/runoff

#### *Risultati*

Lo studio del runoff consente di modellizzare, e quindi simulare, il comportamento delle acque superficiali con conseguente determinazione delle aree di afflusso e deflusso. Si tratta della restituzione di un indice cartografico che fissa delle soglie di criticità idraulica calcolate e ponderate sulla morfologia del territorio e sulla risposta idraulica degli usi del suolo in termini di capacità di assorbimento delle acque meteoriche. È opportuno considerare queste aree solo come delle partizioni geografico-territoriali dotate di una certa vulnerabilità all'allagamento, la quale varierà a seconda dell'intensità dell'evento pluviometrico e in base alla sua distribuzione spaziale.

I risultati ottenuti possono essere assunti come base per procedere ad una tipizzazione dei PAI anche a scala urbana, favorendo la connessione fra pianificazione strutturale, operativa e gestione dei cambiamenti climatici.

#### *Limiti e opportunità*

Tra le principali opportunità di miglioramento dell'indagine emerge la necessità di ricalibrare i risultati di runoff in un intervallo di accettazione sulla base di approfondimenti anche di natura geologica e climatica (indicatori del micro-clima locale e simulazioni). Ciò può consentire di definire in modo più dettagliato le performance idrauliche del territorio in combinazione con altri elementi di stressor e tipi di rischio.

#### *Prospettive*

La mappa interpretata dei coefficienti di deflusso può essere "standardizzata" consentendo la generazione di una zonizzazione utile a riconoscere gradienti di criticità locale. La zonizzazione può essere di supporto alle politiche di riqualificazione, tutela e sviluppo, sensibili al concetto di invarianza idraulica e alle strategie complementari mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici.

Riflessioni operative possono maturare dal confronto con il piano regolatore comunale nelle tre componenti costitutive: quadro conoscitivo, strategie e normative.

Questa tipologia di studio potrebbe consentire di sviluppare proposte operative per quanto concerne le dimensioni analitiche, la considerazione del progresso e degli eventuali impatti

cumulativi, favorendo così un naturale processo di aggiornamento delle mappe del rischio (PAI) sia in aree centrali che di margine, cogliendone gli elementi dinamici.

### 2.1.3 Sea-level rise

L'analisi della vulnerabilità da innalzamento del livello del mare dovrà essere integrata con indagini empiriche strutturate sulla base di modelli digitali del terreno e analisi idrodinamiche in grado di simulare l'iterazione con l'evento estremo rispetto alla caratterizzazione morfologica data dall'altimetria su tutta l'area costiera e retro-costiera.

### 2.1.4 Salt in

#### *Risultati*

Lo studio consente di contestualizzare spazialmente la vulnerabilità alla propensione salina delle diverse specie arboree presenti nel comune di Cervia. L'indagine può essere assunta come base per procedere ad indagini più dettagliate sulla qualità del patrimonio arboreo e sul suo livello di resilienza in una ottica di adattamento ai cambiamenti climatici.

#### *Limiti e opportunità*

Tra le principali opportunità di miglioramento dell'indagine risulta di fondamentale importanza attivare delle adeguate perizie fitostatiche integrate con operazioni di carotaggio per lo studio dell'intrusione salina nell'acquifero costiero. Ciò consentirebbe di integrare gli studi sui componenti salini del terreno interagenti negativamente con i sistemi degli alberi e con le condizioni degli stati fitosanitari.

#### *Prospettive*

La mappa interpretata della vulnerabilità salina può essere un valido strumento di supporto alle politiche di costruzione del piano urbano per la gestione delle alberature, traducibili nei seguenti obiettivi:

- valorizzazione integrata per gli alberi;
- aumento della biodiversità urbana e dei benefici ambientali, economici e sociali derivanti dalla gestione degli *ecosystem services*;

- aumento della resilienza delle specie arboree e del territorio in un'ottica di adattamento ai cambiamenti climatici.

### 3 Bibliografia

- Arnbjerg-Nielsen K., Willems P., Olsson J., Beecham S., Pathirana A., Bülow Gregersen I., Nguyen V. T. V. (2013), "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review", *Water Science and Technology*, 68(1), 16-28.
- Autorità di bacino del fiume Po (Adbpo) (2006), *Caratteristiche del bacino del fiume Po e primo esame delle attività umane sulle risorse idriche*, Parma.
- CMCC (2017), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici – PNACC. Allegato tecnico-scientifico impatti, vulnerabilità e azioni di adattamento settoriali*, Venezia (versione luglio 2017).
- Comune di Cervia – Settore Programmazione e Gestione del Territorio (2016), *Relazione geologica Fascia costiera*.
- Girardi S. (2014), "Cuneo salino: fattore limitante per il delta del Po", *Agriregionieuropa*, 10(37), disponibile su: <https://agrireionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/37/cuneo-salino-fattore-limitante-il-delta-del-po>
- IPCC (2014), *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Maas E. V. (1986), "Salt tolerance of plants", *Applied Agricultural Research*, 1(1), pp. 12-26.
- Maas E. V. (1996), "Plant response to salinity". 4th National Conference and workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Lands, Published by Promaco Conventions PTY LTD, Albany Western Australia.
- Maragno, D. (2018), *Ict, resilienza e pianificazione urbanistica. Per adattare la città al clima*, Milano: Franco Angeli.
- Marsico A., et al. (2017), "Flooding scenario for four Italian coastal plains using three relative sea level rise models", *Journal of Maps*, 13(2), 961-967.
- Munns R. (1999), "The impact of salinity stress", *The Foundation for Sustainable Agriculture – Coping with Plant Environment Stress*.
- Oke T.R. (1982), "The energetic basis of the urban heat island", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24.
- Oude Essink G. H. P. (2001), Improving fresh groundwater supply – problems and solutions, *Elsevier, Ocean & coastal management* 44, pp.429-449
- Pileri P. (2007), *Compensazione ecologica preventiva. Principi, strumenti e casi*, Roma: Carocci Editore.

Pileri P. (2015), *Che cosa c'è sotto. Il suolo, i suoi segreti, le ragioni per difenderlo*, Milano: Altreconomia Edizioni.

Pozzer G. (2015), "Consumo di suolo e gestione del rischio idraulico: test per l'invarianza idraulica nella pianificazione territoriale", in Munafò M., Marchetti M., a cura di, *Recuperiamo terreno. Analisi e prospettive per la gestione sostenibile della risorsa suolo*, Milano: Franco Angeli, pp. 168-180, ISBN 9788891713858.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (2011), *Carta della salinità dei suoli della Pianura emiliano-romagnola. Strato 50-100 cm*. Prima approssimazione scala 1:250.000.

Savenije H. H. G. (2005), *Salinity and tides in alluvial estuaries*, Delft University of Technology, Elsevier, Delft, The Netherlands.

Shannon M. (1997), "Adaptation of plants to salinity", *Advances of Agronomy*, 60, pp. 5-120.

Lerer S. M., Arnbjerg-Nielsen K., & Mikkelsen P. S. (2015), "A mapping of tools for informing water sensitive urban design planning decisions-questions, aspects and context sensitivity", *Water*, 7(3), 993-1012.

Tosi L., Di Sipio E., Carbognin L., Zuppi G. M., Galgaro, A. Teatini P., Bassan V., Vitturi A. (2011), "Intrusione Salina", *Atlante Geologico della Provincia di Venezia. Note Illustrative*, Provincia di Venezia.