

## D.5.1.2

# Report on specific vulnerability and feasibility analysis for the Municipality of Cesena and Union of Municipality of Savio Valley

*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>5</b>
<b>1.1 Caso studio del Comune di Cesena (Unione Valle del Savio).....</b>	<b>6</b>
1.1.1 Fonti e costruzione del quadro conoscitivo .....	7
1.1.2 Analisi della vulnerabilità per ondate di calore .....	9
1.1.2.1 Mappe tematiche di sintesi.....	11
1.1.2.2 Discussione dei risultati.....	14
1.1.3 Analisi della vulnerabilità da allagamento urbano .....	15
1.1.3.1 Mappe tematiche di sintesi.....	17
1.1.3.2 Discussione dei risultati.....	19
<b>1.2 Caso studio dell'Unione valle del Savio .....</b>	<b>20</b>
1.2.1 Fonti e costruzione del quadro conoscitivo .....	21
1.2.2 Analisi della vulnerabilità per siccità e propensione agli incendi .....	23
1.2.2.1 Mappe tematiche di sintesi.....	25
1.2.2.2 Discussione dei risultati.....	29
1.2.3 Analisi della vulnerabilità per runoff e frane .....	30
1.2.3.1 Mappe tematiche di sintesi.....	32
1.2.3.2 Discussione dei risultati.....	35
<b>2 CONCLUSIONI .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1 Limiti, opportunità e prospettive della ricerca .....</b>	<b>37</b>
2.1.1 Urban Heat Islands .....	37
2.1.2 Runoff e landslides.....	39
2.1.3 Wildfire e drought .....	40
<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 territories of Unione Valle Savio<sup>1</sup>. 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 authorities to respond to policy needs related to climate change. The knowledge base was jointly implemented by GIS applications with the participation of the Municipalities. 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 (and landslides); wildfire (and drought). 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).*
- *Landslides maps.*
- *Wild-fires map.*

*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 and 30 m. The vulnerability is count 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 and Landslides*

*Correlation between run-off and soil sealing.*

---

<sup>1</sup> Municipalities of Bagno di Romagna, Cesena, Mercato Saraceno, Montiano, Sarsina, Verghereto.

*(for) Wildfire and Drought  
Vegetation Health Index (VHI).*

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

- average LST: 23 ° C.*
- Average built density: 15 percent of the total area.*
- Average NDVI: 0.5.*

*The study indicates that in correspondence of green areas, the mitigation action of the UHI phenomenon is absolutely present. However, 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/Landslides*

*The analysis shows that critical surface runoff levels are contextualized in areas of intensive and complex urbanization. This condition is due (in part) to a reduction in permeable surfaces. This typology of land-use guarantees (in fact) a good infiltration of rainwater.*

*In urban areas and industrial areas of Cesena there are average outflow values of 0.6 and 0.7 (see pilot area). The connection of these values to a hydraulic criticality from extreme weather phenomena could increase (over time) the levels of vulnerability to flooding.*

*The study conducted in the mountainous areas of the Valley allows to demonstrate the existence of a spatial correlation between landslide and surface run-off. In these areas, the types of land use and the geomorphological characteristics generate negative effects on the overall dynamics of the hydraulic regime of the Municipalities. In many areas, there is a significant spatial connection between runoff, landslides and soil degradation.*

#### *Wildfire and Drought*

*The dynamics drought and wildfire are analyzed through the estimate of the VHI. This procedure allows to build a large information framework on vegetative stress. The VHI spatialization can help to identify different drought stress gradients. The correlation of this index to specific context information can express the potential propensity for a forest to fire. The study considers the forest and the built environment as factors maximizing the drought phenomenon. Builds and forests are here considered as elements of exposure. The use of these elements supports the construction of a map of the wildfire potential damage for natural or man-made environments.*

## 1 Studio degli impatti e valutazioni di vulnerabilità

## 1.1 Caso studio del Comune di Cesena (Unione Valle del Savio)

Lo studio condotto per il comune di Cesena considera due tipologie di impatto:

- *urban heat islands* (isole di calore);
- *urban flooding/runoff* (inondazioni urbane).

Lo studio si pone l'obiettivo di rilevare le aree più vulnerabili e maggiormente esposte ad ondate di calore intense e a coefficienti di deflusso elevati.

Lo studio è condotto per l'interno ambito comunale, con affondi di analisi in un transetto pilota (centro e periferia nord della città):

### *Centro e periferia nord della città*

L'analisi del transetto pilota è dedicato a rilevare ed analizzare sia il fenomeno dell'isola di calore sia l'impatto generato del runoff urbano.

L'area del transetto è situata tra il centro città e la zona nord del centro cittadino, e comprende: il centro storico; l'area commerciale Montefiore; l'area urbana polifunzionale a nord della Stazione FS.

Il tessuto urbanistico è caratterizzato dalla presenza di funzioni diverse, tra cui:

- aree ad alta densità abitativa;
- ampie superfici impermeabilizzate;
- aree verdi pubbliche e private;
- aree sportive, ricreative e polifunzionali.

Gli obiettivi su cui l'affondo intende lavorare sono:

- a) rilevare le aree più vulnerabili e maggiormente esposte alle ondate di calore;
- b) dimostrare come la presenza di infrastrutture verdi possa diventare un volano per adattare il sistema urbano agli effetti generati dal fenomeno UHI.

### 1.1.1 Fonti e costruzione del quadro conoscitivo

Tabella 1 – Cesena: fonti, dati e materiali		
Categoria	Url	
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
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	Url	
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> </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

Categoria		Url	
Immagini satellitari		<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	
Descrizione	Disponibilità	Formati	
Immagini satellitari Landsat 8	Free download	GeoTif	
Categoria		Url	
Dati meteorologici		<ul style="list-style-type: none"> <li><a href="https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo">https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo</a></li> <li><a href="https://www.3bmeteo.com/">https://www.3bmeteo.com/</a></li> </ul>	
Descrizione	Disponibilità	Formati	
Dati giornalieri termopluiometrici	Free download	Csv	



### 1.1.2 Analisi della vulnerabilità per ondate di calore

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

#### 1. Dati utilizzati

- Quadro conoscitivo della Regione Emilia –Romagna.
- 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.

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 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

Tutti gli indicatori calcolati sono rappresentabili su una scala di valori compresa tra 0 e 1<sup>2</sup>.

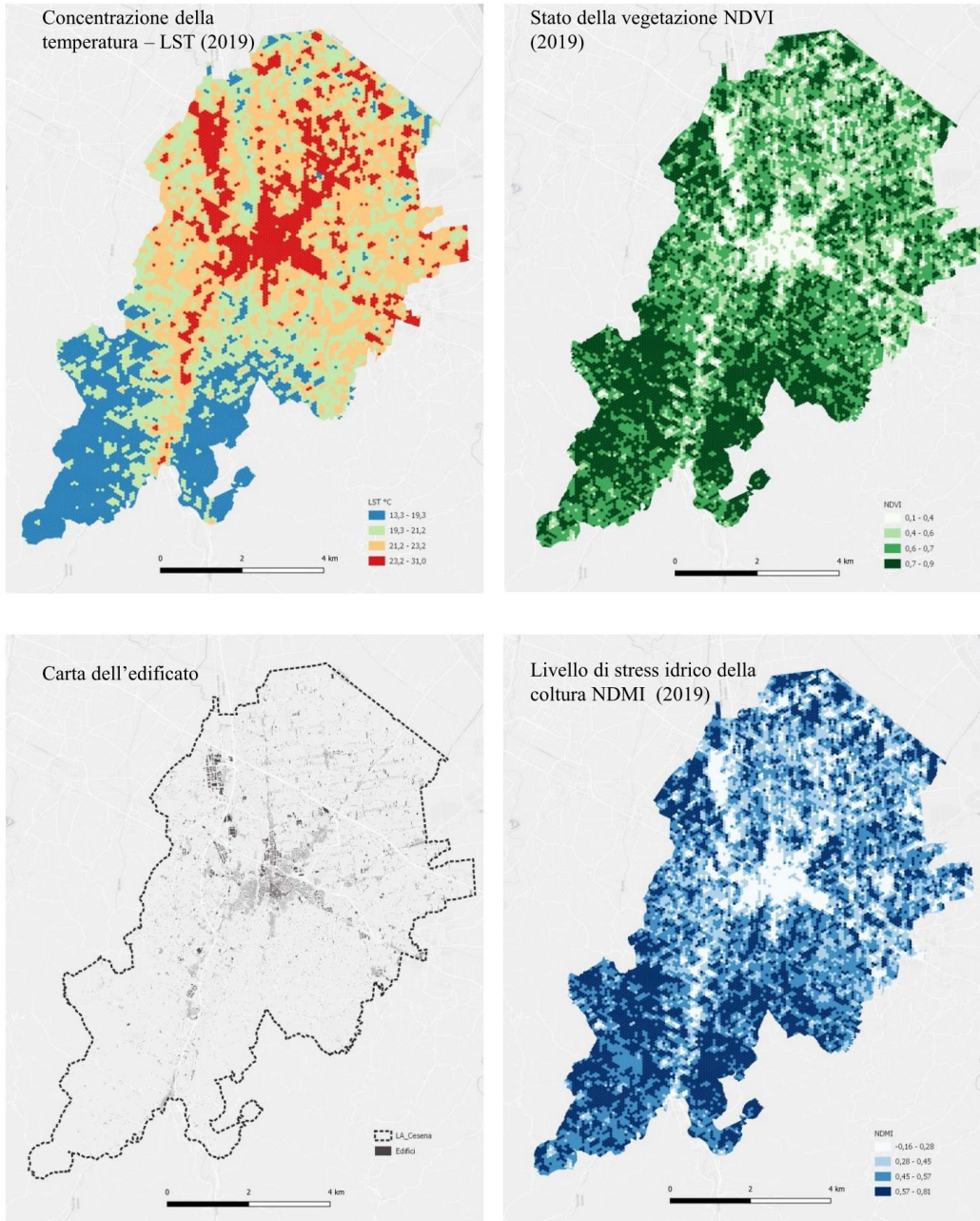
<sup>2</sup> Questa operazione consente di aggregare valori di diversa natura dotati di un rango di variabilità non confrontabili.

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

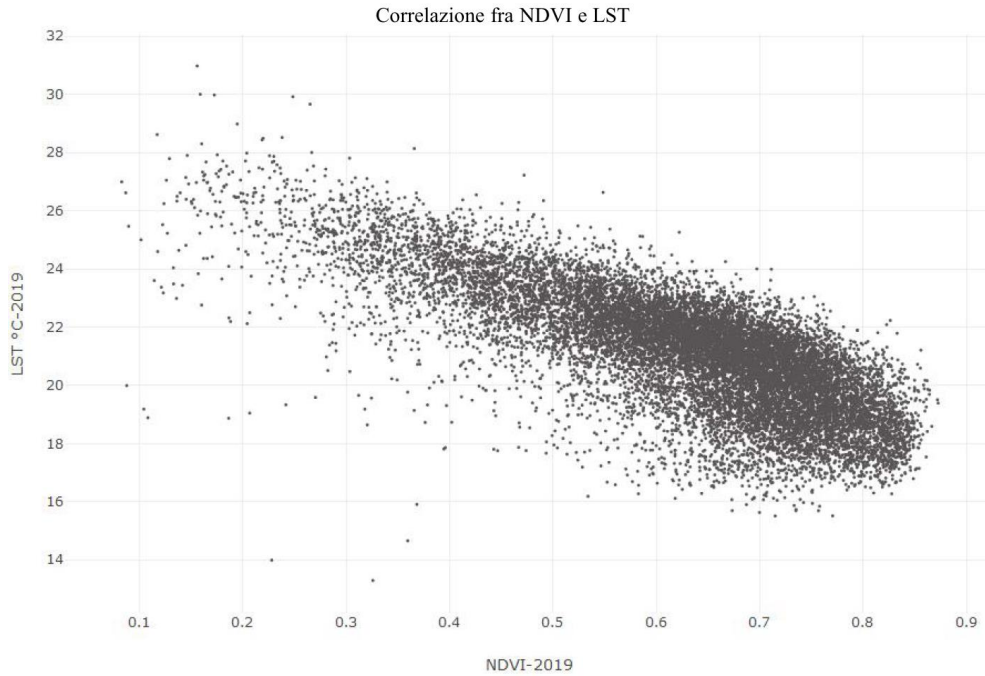
**Tabella 3 – Componenti della vulnerabilità**

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

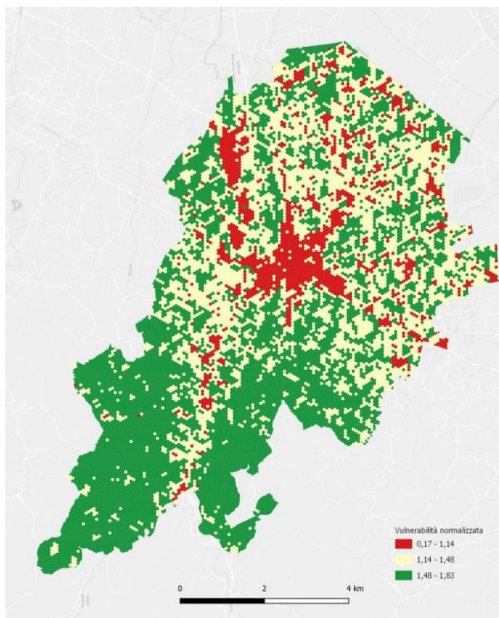
### 1.1.2.1 Mappe tematiche di sintesi



**Figura 1 – 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)

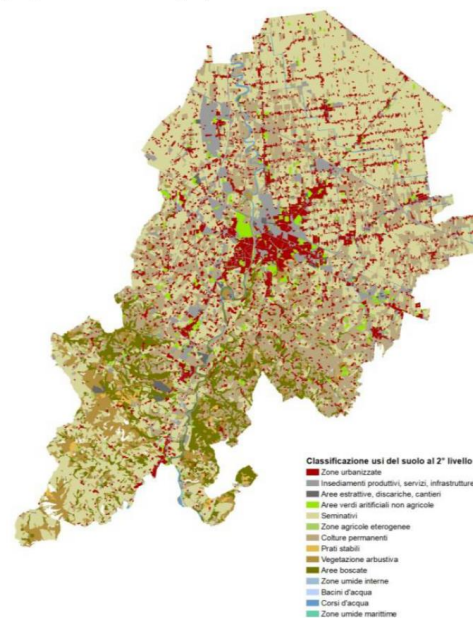


Figura 2 – Vulnerabilità normalizzata all’UHI e distribuzione bivariata NDVI/LST al 2019

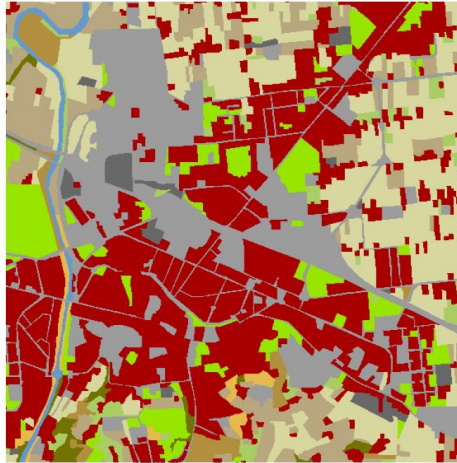




Vulnerabilità normalizzata all'UHI

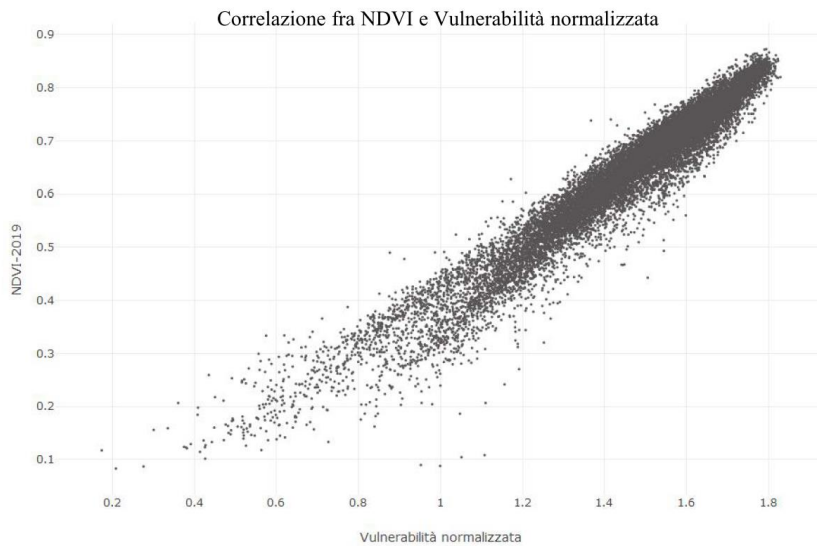
- 0,36 - 0,83
- 0,83 - 1,30
- 1,30 - 1,76

0 1 2 km



Secondo li	MEAN
Corsi d'acqua	1,389732
Aree boscate	1,501206
Culture permanenti	1,419872
Zone urbanizzate	0,983596
Insedimenti produttivi, servizi, infrastrutture	0,926369
Prati stabili	1,2781
Aree estrattive, discariche, cantieri	1,132868
Seminativi	1,473191
Vegetazione arbustiva	1,476905
Aree verdi artificiali non agricole	1,141509
Zone agricole eterogenee	1,41906

Statistica zonale tra usi del suolo al 2014 e valori medi di vulnerabilità normalizzata



**Figura 3 – Analisi del transetto pilota (centro e periferia nord della città)**

### 1.1.2.2 Discussione dei risultati

Dall'analisi dei risultati generali si evince una relazione positiva fra vulnerabilità e NDVI. Appare invece evidente come la temperatura diminuisca proporzionalmente all'aumentare dell'NDVI.

Analizzando il fenomeno nel transetto pilota si registrano i seguenti valori:

- LST media: 23 °C.
- Densità edificato media: 15% dell'area totale.
- NDVI media: 0,5.

In conclusione, si può dunque affermare che in corrispondenza di areali verdi elevati l'azione mitigatrice al fenomeno UHI risulta assolutamente presente.

### 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.
  - Bacini idrografici del Savio, dei Fiumi uniti e del Rubicone.
  - Immagini satellitari Landsat 8 in formato geo-tif.
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 4 – 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:

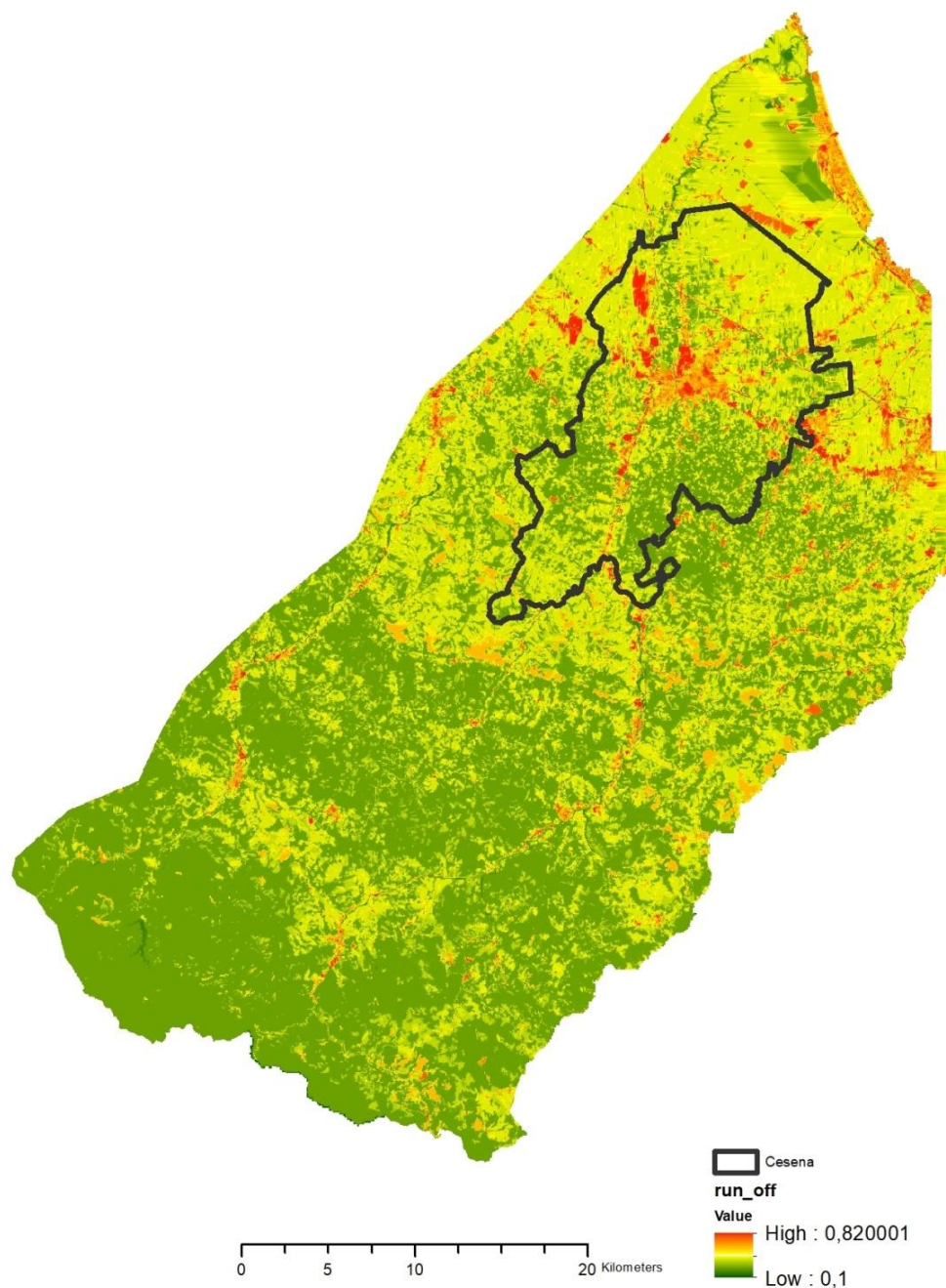
**Tabella 5 – Componenti della vulnerabilità**

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



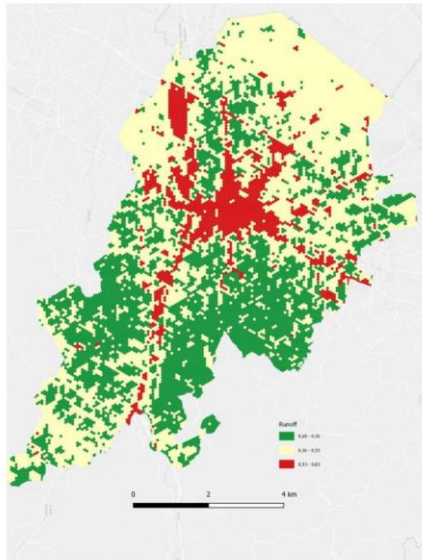


### 1.1.3.1 Mappe tematiche di sintesi

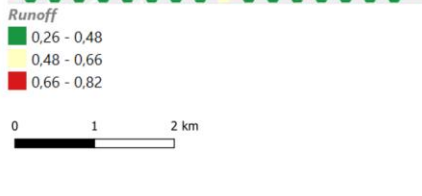
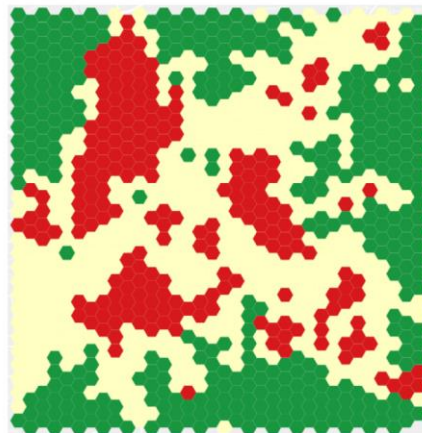
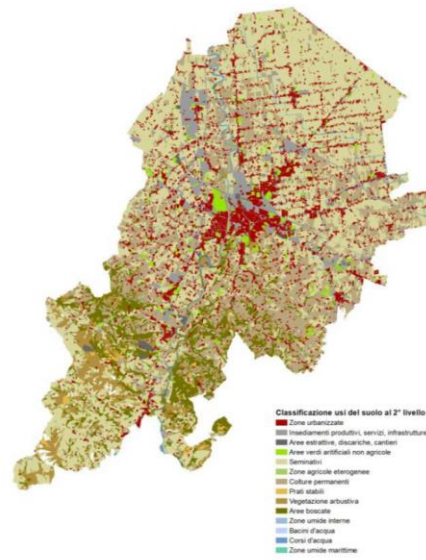


**Figura 4 – Stima del comportamento idraulico di una parte del bacino imbrifero del Savio, del Rubicone e parte dei Fiumi Uniti relativo all'uso del suolo all'anno 2014.**

Mappa della vulnerabilità  
 Lato esagono 80 m



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



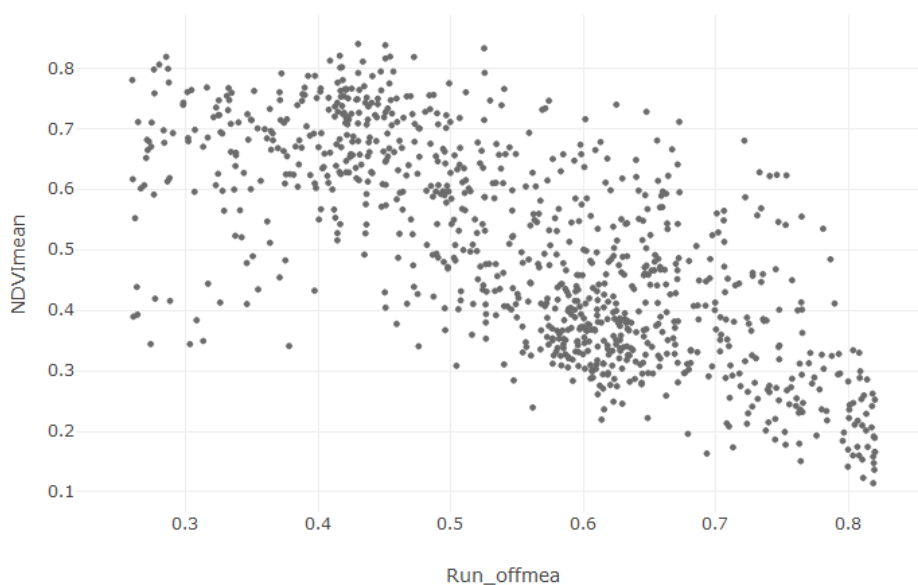
*Zonal statistic degli usi del suolo al 2014 sui valori medi di run-off*

**Figura 5 – 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**

### 1.1.3.2 Discussione dei risultati

L'analisi del runoff dimostra come il rapporto tra i volumi idrici generati dalla modellizzazione idrologica del DTM subiscano un significativo aumento del coefficiente di deflusso in aree ad urbanizzazione intensiva e complessa. Ciò è dovuto (in parte) ad una riduzione delle superfici permeabili, le quali garantirebbero una adeguata infiltrazione delle acque meteoriche.

Nelle aree urbanizzate e nelle zone industriali si registrano valori medi di deflusso di 0,6 e 0,7 (vedi transetto pilota). Se connessi a criticità idrauliche derivanti da fenomeni meteorologici estremi questi valori potrebbero aumentare nel tempo i livelli di vulnerabilità da allagamento.



**Figura 6 – Grafico Runoff vs. NDVI all'anno 2019**

## 1.2 Caso studio dell'Unione valle del Savio

Lo studio, condotto per gli ambiti territoriali di Bagno di Romagna, Mercato Saraceno, Montiano, Sarsina e Verghereto, considera quattro tipologie di impatto:

- Urban flooding/runoff (inondazioni urbane/deflussi superficiali);
- Wildfire (incendi);
- Drought (siccità).
- Landslides (frane).

L'obiettivo dello studio è duplice:

1) considerare l'esistenza di correlazioni spaziali tra fenomeno siccitoso e incendi, e tra dinamiche di frana e run-off superficiale;

2) identificare le aree naturali ed antropiche maggiormente vulnerate dalla siccità e da una eventuale propensione all'incendio.

Lo studio è condotto su tutta l'area, ma con affondi relativi a due transetti pilota:

1. località Bagno di Romagna-Verghereto per siccità e incendi.
2. località Bagno di Romagna per runoff e frane.

### *Località Bagno di Romagna-Verghereto*

L'analisi di Bagno di Romagna-Verghereto è dedicata a rilevare ed analizzare sia il fenomeno della siccità che quello legato all'incendio boschivo di interfaccia. L'area studio presenta al suo interno le morfologie naturali e le caratteristiche antropiche necessarie per indagare e dimostrare la correlazione esistente tra dinamiche siccitose e superfici territoriali con maggior propensione all'incendio.



### 1.2.1 Fonti e costruzione del quadro conoscitivo

Tabella 6 – Unione Valle Savio: fonti, dati e materiali		
Categoria	Url	
Temî 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 5k	Free download	Tif
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	Url	
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://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia/inventario-frane-psr">https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia/inventario-frane-psr</a></li> <li>• <a href="https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/parchi-natura2000/foreste/gli-incendi-boschivi/il-catasto-regionale-delle-aree-percorse-dal-fuoco/shape-incendi">https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/parchi-natura2000/foreste/gli-incendi-boschivi/il-catasto-regionale-delle-aree-percorse-dal-fuoco/shape-incendi</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 inventario delle frane (edizione 2018)	Free download	SHP
Cartografia regionale delle aree percorse dal fuoco dal 2011 al 2018.	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 metereologici	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo">https://www.ilmeteo.it/portale/archivio-meteo</a></li> <li>• <a href="https://www.3bmeteo.com/">https://www.3bmeteo.com/</a></li> </ul>	
Descrizione	Disponibilità	Formati
Dati giornalieri termopluviometrici	Free download	Csv

### 1.2.2 Analisi della vulnerabilità per siccità e propensione agli incendi

Per lo studio del fenomeno siccitoso e della propensione agli incendi il processo di elaborazione è il seguente:

#### 1. Dati utilizzati

- Uso del suolo di dettaglio al 2014 - Edizione 2018.
- Quadro conoscitivo della Regione Emilia Romagna.
- Immagini satellitari Landsat 8 in formato geo-tif.
- Cartografia vettoriale delle aree percorse dal fuoco dal 2011 al 2018.

#### 2. Elaborazioni vettoriali.

- Mappa delle aree urbanizzate.
- Mappa dei boschi.
- Mappa degli incendi 2011-2018.

#### 3. Elaborazioni raster

- Land surface temperature (LST 2015-2019) con precisione 15 cm.
- Normalized Difference Vegetation Index medio (NDVI 2015-2019) con precisione 15 cm.
- Normalized Difference Moisture Index (NDMI 2015-2019) con precisione 15 cm.
- Temperature Condition Index (TCI 2015-2019) con precisione 15 cm.
- Vegetation Condition Index (VCI 2015-2019) con precisione 15 cm.
- Vegetation Health Index (VHI 2015-2019) con precisione 15 cm.

#### 4. Costruzione del geo-database di unione delle informazioni spaziali forzate su un reticolo esagonale di lato 30 metri.

La gestione dei dati avviene tramite un database relazionale dotato di una matrice di valori di base esagonale, strutturata a sua volta su 5 principali descrittori (o variabili).

**Tabella 7 – Descrittori della matrice**

Unità statistica	VHI	Densità aree urbane ad alta sensibilità di incendio	Densità boschiva	Potenziale danno
Esagono	Valore medio	Rapporto tra la somma delle superfici degli insediamenti e la superficie dell'esagono	Rapporto tra la somma delle superfici dell'area boscata e la superficie dell'esagono	Operazione aritmetica tra vulnerabilità ed esposizione. L'esposizione è qui considerata come un insieme di superfici edificate e boscate

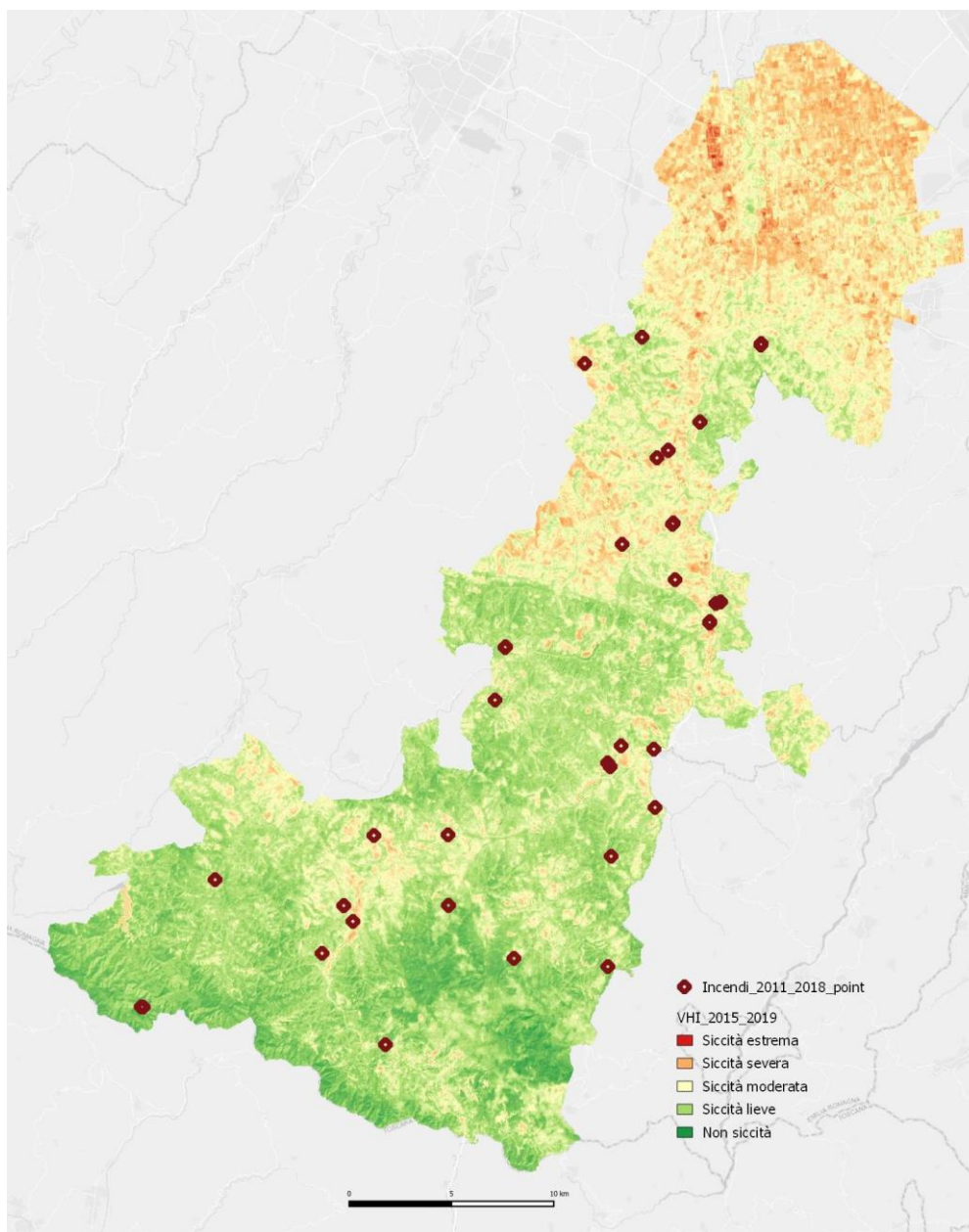
La vulnerabilità viene considerata dal modello nel seguente modo:

**Tabella 8 - Componenti della vulnerabilità**

Unità statistica	Temperature Condition Index TCI	Vegetation Condition Index VCI	→	Vegetation Health Index VHI
Esagono	<i>Sensitivity</i>	<i>Adaptive capacity</i>		<i>Vulnerability</i>



### 1.2.2.1 Mappe tematiche di sintesi



**Figura 7 – Unione Valle Savio: tavola siccità e propensione agli incendi (Zonizzazione del VHI basata sulla media aritmetica dei VHI 2015-2019)**

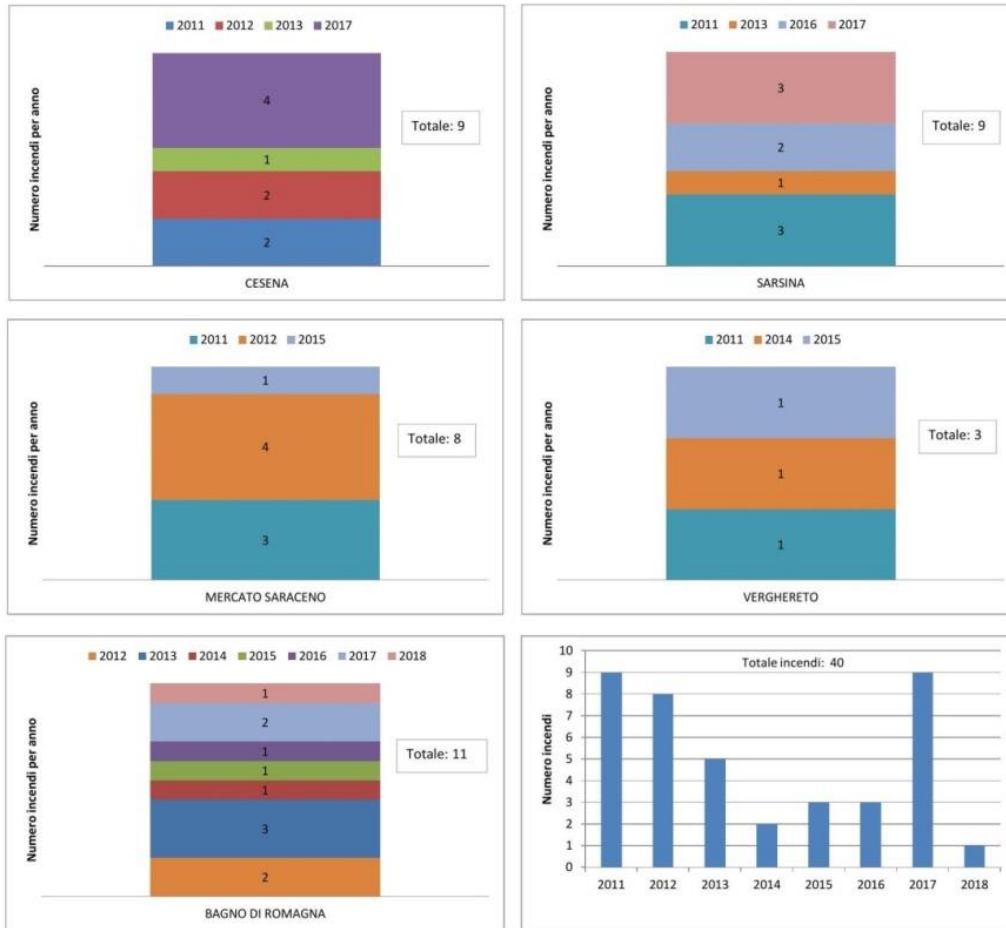
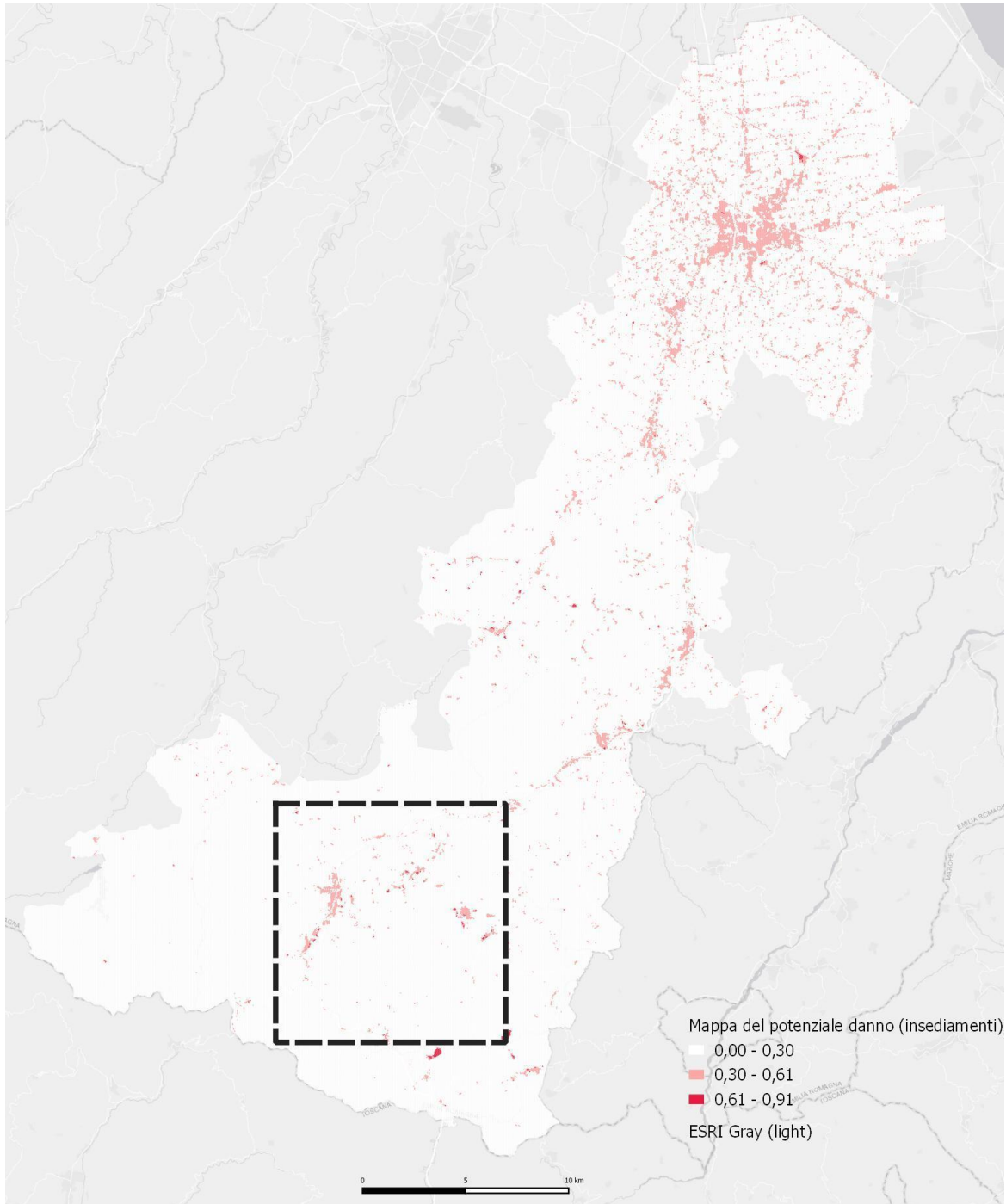
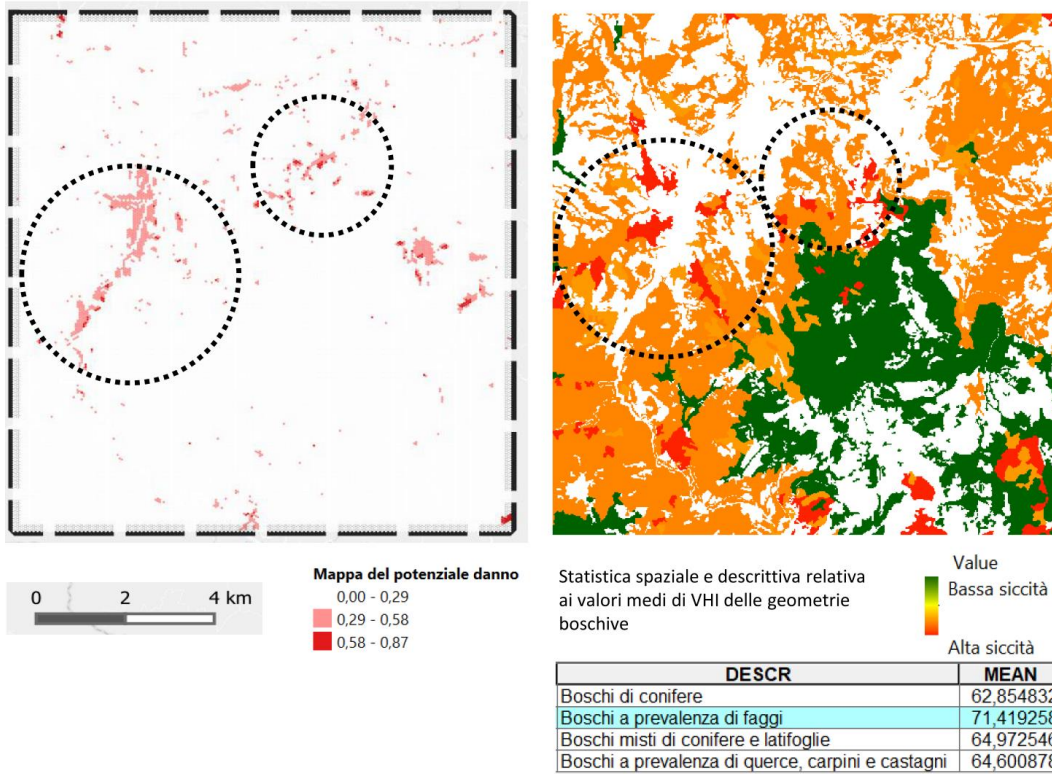


Figura 8 –Grafici relativi agli incendi 2011-2018 per comune



**Figura 9 – Mappa del danno per aree urbanizzate ad alta sensibilità all'incendio**



**Figura 10 – Analisi del transetto pilota (località Bagno di Romagna-Verghereto)**  
**Mappa del danno per aree urbanizzate ad alta sensibilità all’incendio**  
**e confronto con le aree boscate relative alle geometrie dell’uso del suolo al 2014**



### 1.2.2.2 Discussione dei risultati

L'analisi sul VHI 2015-2019 è stata integrata con le informazioni spaziali relative alla copertura boschiva proveniente dal Database uso del suolo di dettaglio 2014 della Regione Emilia-Romagna (Edizione 2018). Le due mappe sono state confrontate utilizzando operatori di map-algebra (zonal statistic) sui valori medi di VHI. I dati di output sono stati nuovamente caratterizzati morfometricamente e quindi ne è stata individuata una nuova distribuzione spaziale. Questa riclassificazione ha facilitato il riconoscimento automatico di cluster di VHI per classi di tipologie boschive. Ciò consente di poter attribuire a ciascuna specie boschiva valori differenti in termini di resistenza all'impatto siccitoso.

Lo studio consente una lettura integrata in merito alla distribuzione delle variabili fisiche rilevate e rappresentate all'interno della matrice VHI: urbanizzazione e bosco. Attraverso una normalizzazione dei valori (da 0 a 1) è stato possibile procedere con la valutazione di una mappa del danno in grado di riconoscere una relazione spaziale tra fenomeno VHI, tipologia boschiva e densità abitativa. Specie boschiva e costruito sono considerati dei fattori che massimizzati danno un feedback negativo sull'impatto del fenomeno siccitoso e sulla relativa propensione all'incendio.

La mappa del danno consente di identificare le aree d'interfaccia urbano-forestale più sensibili al fenomeno siccitoso. Queste aree possono essere definite come dei contesti geografici da sottoporre a specifici sistemi di prevenzione antincendio.

### 1.2.3 Analisi della vulnerabilità per runoff e frane

Per lo studio del runoff in relazione al fenomeno franoso il processo di elaborazione è il seguente:

#### 1. Dati utilizzati

- DTM (5 m cell size)
- Uso del suolo di dettaglio al 2014 - Edizione 2018.
- Bacini idrografici del Savio, dei Fiumi uniti e del Rubicone.
- Carta inventario delle frane (edizione 2018).
- Mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvione 2013 (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE).

#### 2. Elaborazioni vettoriali.

- Assegnazione dei coefficienti di deflusso per tipo di uso del suolo;
- Mappatura delle frane attive;
- Mappa della pericolosità idraulica e del rischio di alluvione.

#### 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*);

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

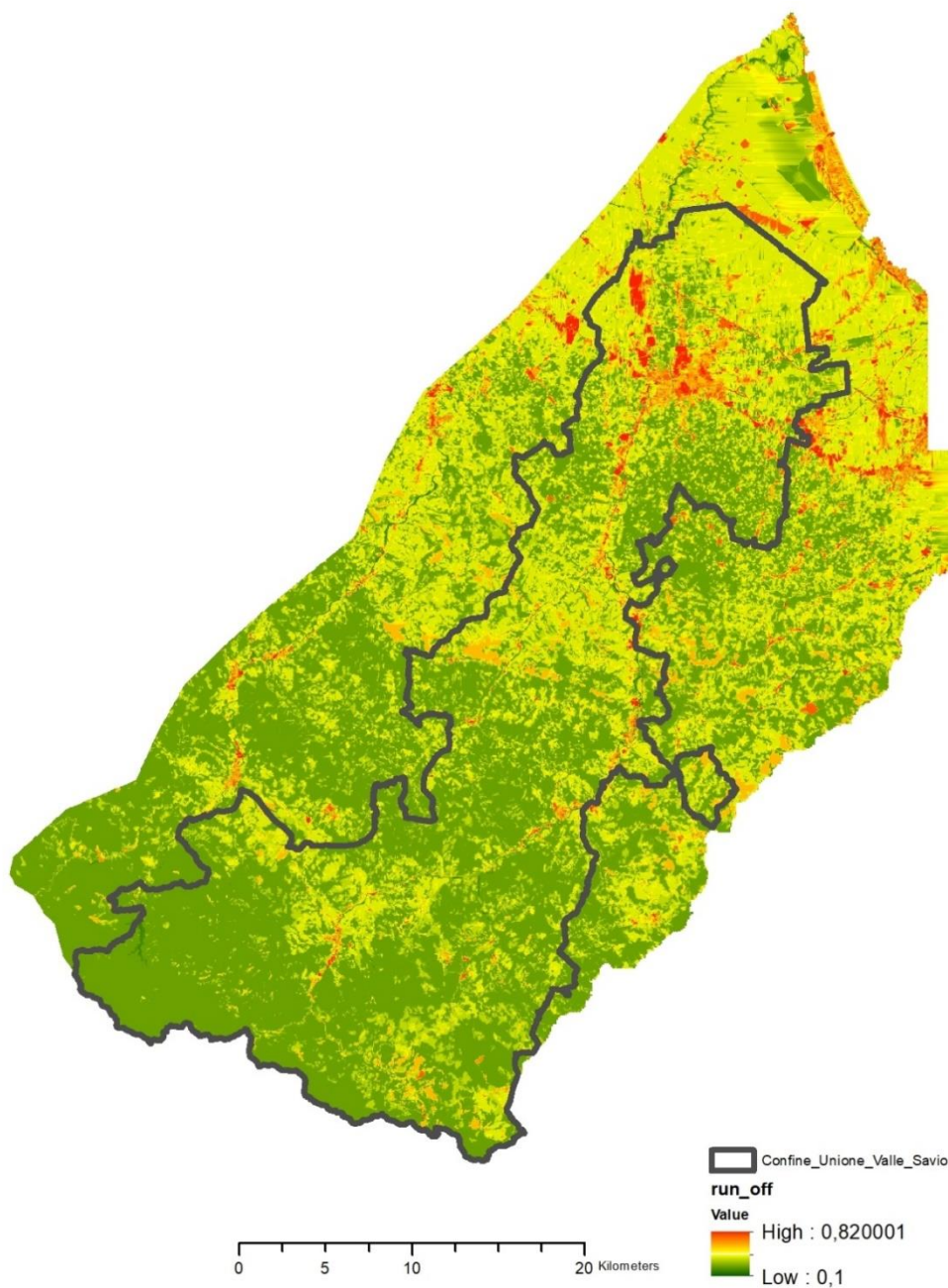
Gli indicatori di *sensitivity* e *adaptive capacity* vengono considerati dal modello nel seguente modo:

**Tabella 9 – 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

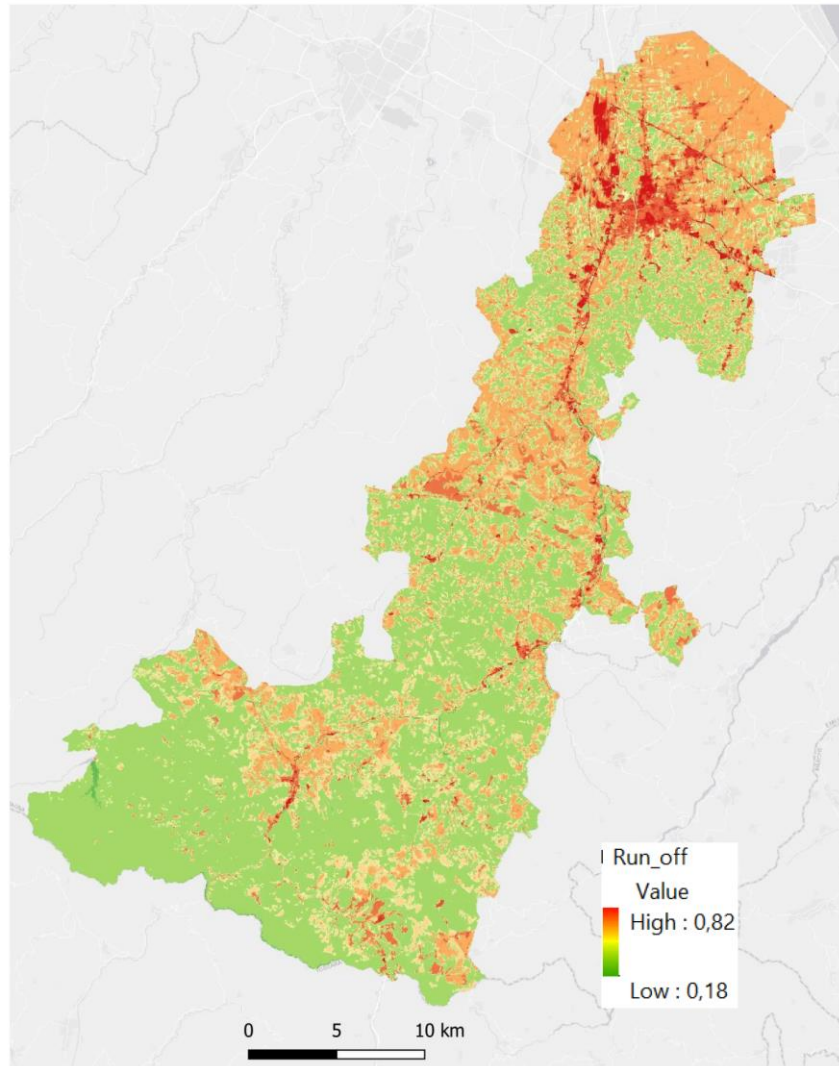


### 1.2.3.1 Mappe tematiche di sintesi

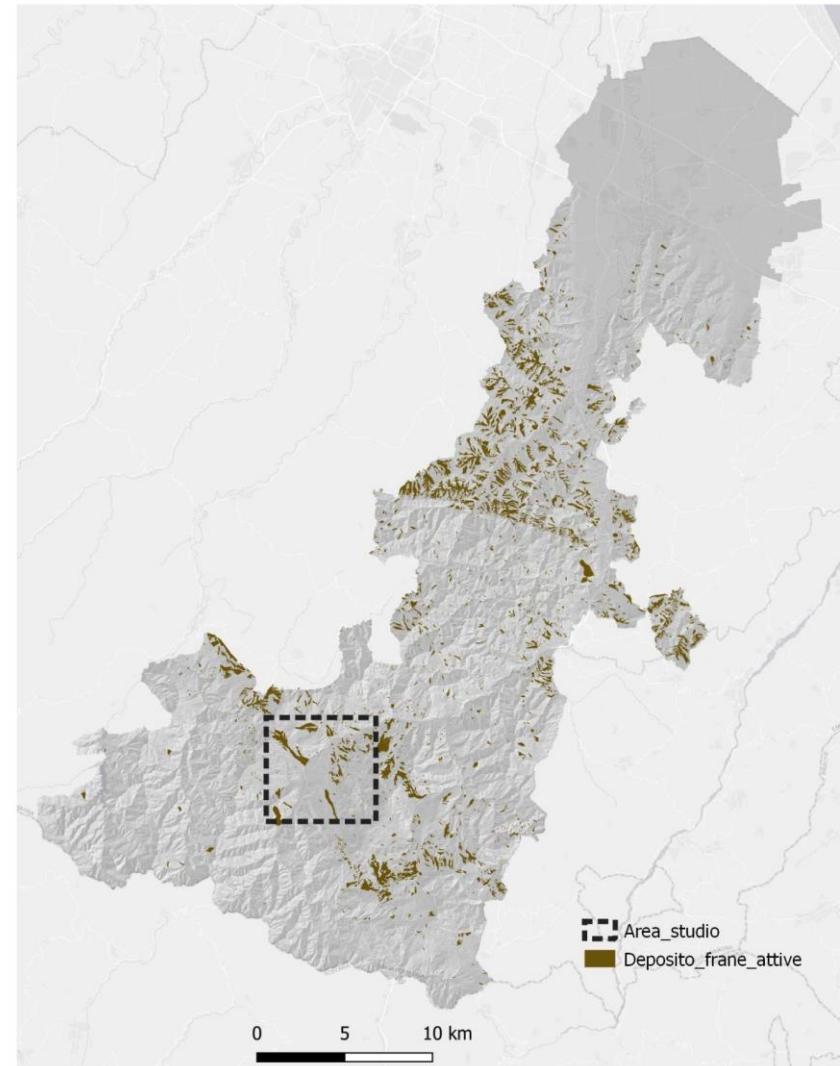


**Figura 11 – Stima del comportamento idraulico di una parte del bacino imbrifero del Savio, del Rubicone e parte dei Fiumi Uniti relativo all'uso del suolo all'anno 2014.**





Run\_off espresso come impatti degli usi del suolo al 2014 sul regime idraulico del territorio



Fonte: *Inventario delle frane dell'Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna*

Definizione dello stato di attività

Deposito di frana attiva: si intende un deposito che ha manifestato evidenze di movimento nell'ultimo ciclo stagionale, indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi

**Figura 12 – A sinistra mappa di vulnerabilità relativa al runoff calcolato sul modello di uso del suolo al 2014; a destra mappatura delle frane attive**

Area studio: localizzata nel Comune di - Bagno di Romagna

Aree urbanizzate e depositi di rane attive

Mappa della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvione 2013 (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE).

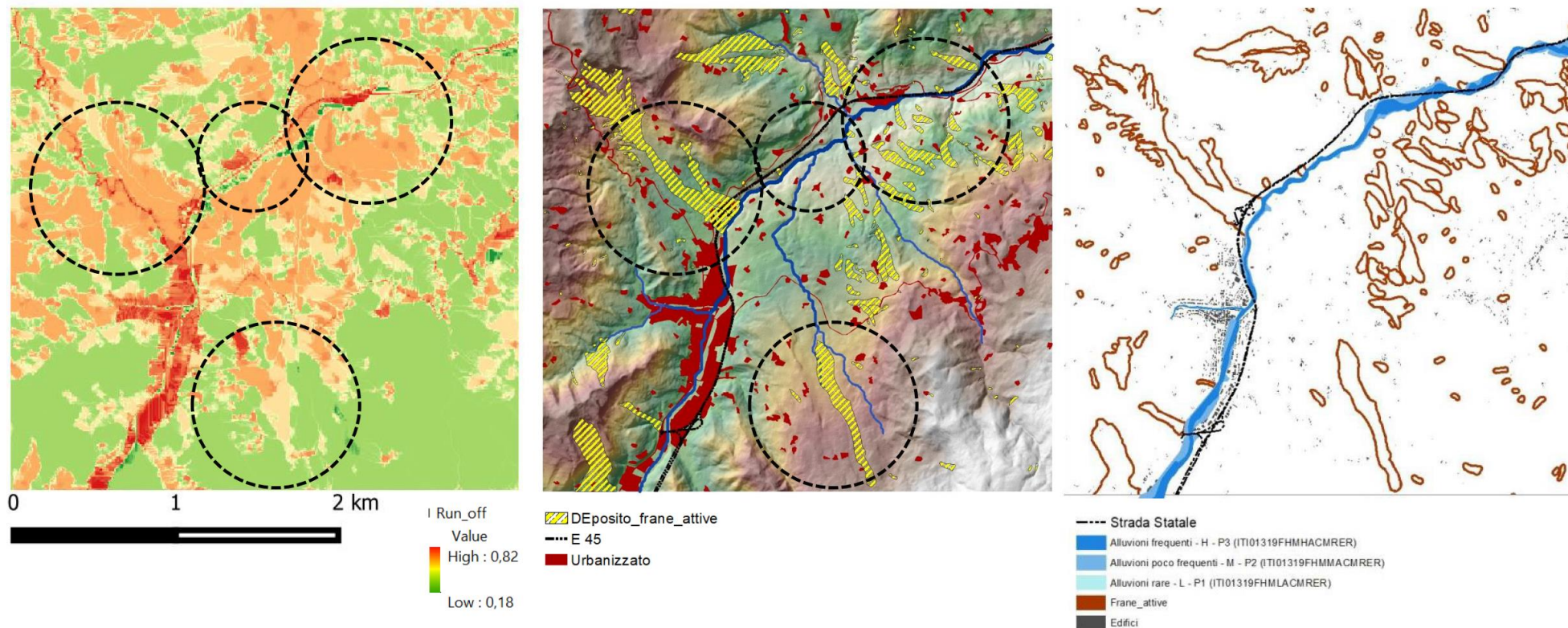
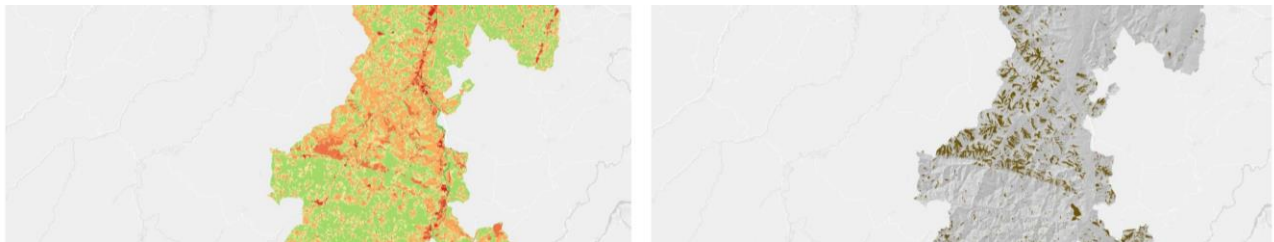


Figura 13 – Transetto pilota nel comune di Bagno di Romagna: analisi di associazione spaziale tra runoff e deposito di rane attive

### 1.2.3.2 Discussione dei risultati

Questa prima indagine consente di dimostrare l'esistenza di una correlazione spaziale tra fenomeno franoso e *run-off* superficiale. Qui tipologie d'uso del suolo e geomorfologie condizionano in modo significativo il rischio idrogeologico, con conseguente regressione della dinamica globale del regime idraulico e della qualità dei suoli verso performance di resilienza meno efficienti. L'istituto del piano di assetto idrogeologico (PAI) fornisce solamente delle indicazioni di massima per la gestione della pericolosità e del rischio a scala urbana. Con la mappa del runoff e la lettura incrociata dei dati è possibile proporre una tipizzazione del PAI su scala comunale.

A nord dell'area di studio si rileva una significativa connessione spaziale tra runoff, frane e degradazione dei suoli (figura seguente).



**Figura 14 – Associazione spaziale fra runoff e landslides**

Litologia del terreno, usi del suolo e pendenze possono inoltre influenzare in modo significativo la propensione di incendio per stress vegetativo, sia in termini di propagazione che di diffusione.

Si dimostra, pertanto, che caratteristiche geomorfologiche e cambiamenti climatici possono condizionare il rischio di stress idrico della vegetazione, con conseguente regressione della dinamica globale del regime idraulico e della qualità dei suoli verso performance meno efficienti.



## 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>3</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>3</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 Runoff e landslides

#### *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.

La metodologia consente di contestualizzare spazialmente la vulnerabilità idraulica evidenziando come e quanto l'impermeabilizzazione dei suoli influisca sul sistema idraulico dei territori e nel processo di consolidamento del terreno franoso. La vulnerabilità di un territorio alle frane va attribuita all'azione erosiva del deflusso delle acque superficiali, oltre che ad una riduzione della azione aggregante delle radici e della capacità evapotraspirativa della vegetazione. Per quanto riguarda movimenti franosi profondi il fenomeno richiede adeguati affondi di natura scientifico-tecnologica.

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 pregresso 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 Wildfire e drought**

Lo studio condotto nel territorio dell'Unione Valle del Savio rivela un'importante connessione tra siccità e incendi; a un minor contenuto d'acqua della vegetazione corrisponde una maggior propensione alle fiamme. L'analisi è integrabile con ulteriori indagini empiriche relative alla modellizzazione delle variabili climatiche (per esempio: precipitazioni, temperature, *pattern* di umidità ed eventi estremi) in relazione alla plausibilità di scenari di pericolosità in un contesto di cambiamento globale.



### 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.
- Bayasgalan M., Bayarjargal Y., Agam N., Khudulmur S., Tucker C.J., (2006), "Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia", *Int. J. Remote Sens.*, 27, 2017–2024.
- Bento V.A., Trigo I.F., Gouveia C.M., DaCamara C.C., (2018), "Contribution of land surface temperature (TCI) to vegetation health index: A comparative study using clear sky and all-weather climate data records", *Remote Sens*, 10, 1324.
- CMCC (2017), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici – PNACC. Allegato tecnico-scientifico impatti, vulnerabilità e azioni di adattamento settoriali*, Venezia (versione luglio 2017).
- IPCC (2014), *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Maragno, D. (2018), *Ict, resilienza e pianificazione urbanistica. Per adattare la città al clima*, Milano: Franco Angeli.
- 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.
- 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.

Tripathi R., Sahoo R. N., Gupta V. K., Sehgal V. K., Sahoo P. M., (2013), “Developing vegetation health index from biophysical variables derived using MODIS satellite data”, in the *Trans Gangetic plains of India*, *Emirates J. Food Agric*, 2013, 25(5), 376–384.