

# 5.1.1 Izvješće o zajedničkoj metodologiji za procjenu ranjivosti i izvedivosti za gradove, obalna i pomorska područja Jadrana

*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

## Sadržaj

<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>2</b>
<b>1 UVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>2 METODA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Izvori i podaci</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2 Metode i tehnike obrade podataka</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 Landsat-8 snimke: analiza i obrada podataka.....	8
2.2.1.1 Temperatura površine tla (LST).....	11
2.2.1.2 Indeks zdravlja vegetacije (VHI).....	15
2.2.2 Upotreba rasterskog DTM-a za morfodinamičku analizu.....	16
2.2.2.1 Modeliranje površinskog otjecanja.....	16
2.2.2.2 Područja podložna obalnim poplavama zbog SLR-a.....	18
2.2.3 Procesiranje geo-informacija za prostornu analizu.....	19
2.2.3.1 Procesiranje geo-informacija primijenjeno na procjenu suše i požara.....	20
2.2.3.2 Procesiranje geo-informacija primijenjeno na procjenu intruzije slane vode.....	22
<b>2.3 Baza geopodataka</b> .....	<b>23</b>
<b>2.4 Metodologije procjene ranjivosti: definicija pokazatelja procjene</b> .....	<b>24</b>
<b>3 BIBLIOGRAFIJA</b> .....	<b>30</b>

## 1 Uvod

Ovaj rad dio je europskog Adriadapt Interreg programa Italija - Hrvatska koji koordinira Euro-Mediterranski centar za klimatske promjene (CMCC) iz Venecije. Program ima za cilj poboljšati kapacitete urbanih i obalnih područja na Jadranu da bi se odgovorilo na učinke klimatskih promjena.

U istraživanju se analiziraju neke vrste učinaka koji bi mogli biti štetni za dinamiku ranjivosti sljedećih područja: Grad Udine; Grad Cervia; Udruženje gradova doline rijeke Savio<sup>1</sup> (regija Emilia-Romagna); Grad Vodice (Hrvatska); Šibensko-kninska županija (Hrvatska).

Analiza upotrebljava odabrane prostorne baze podataka koje su na odgovarajući način unakrsno provjerene, georeferencirane i obrađene u višeciljnom kontekstu: baza podataka kartografskog materijala i dokumentacijske građe (općinska, regionalna, nacionalna) o stanju infrastrukture, sustavima naseljavanja, morfologiji i ekosustavu.

Cilj ove aktivnosti je razviti metodologiju za promociju teritorijalne otpornosti i pružiti lokalnim zajednicama učinkovite i djelotvorne modele planiranja prilagodbe klimatskim promjenama. Ti modeli mogu osigurati odgovarajuću razinu ekonomske i društvene dobrobiti za lokalno urbano okruženje.

Rad je podijeljen u sljedeće faze:

- prikupljanje izvora, podataka i informacija o znanju, političkim okvirima i planiranju, kao i o postojećoj ranjivosti okoliša i ograničenjima;
- izrada općeg interpretativnog modela za potporu definiciji odabranih učinaka;
- ogledni opis područja intervencije, koji se poziva na dostupnu dokumentaciju;
- utvrđivanje glavnih posljedičnih odnosa između teritorijalnih obilježja i razmatranih sektora zaštite okoliša;
- utvrđivanje formulacije uvjeta ranjivosti okoliša;
- utvrđivanje strateških prioriteta za preventivnu prilagodbu klimatskim promjenama putem multidisciplinarnog i višestupanjskog pristupa otpornog na klimatske promjene i usmjerenog na lokalne posebnosti.

---

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

Radom će se pokušati analizirati i mapirati sljedeću dinamiku učinaka:

- Urbani toplinski otoci
- Urbane poplave / otjecanja
- Požari
- Suša
- Klizišta
- Porast razine mora
- Intruzija slane vode

Učinak	Udine	Cervia	Cesena (Udruženje gradova doline rijeke Savio)	Udruženje gradova doline rijeke Savio	Vodice	Šibensko- kninska županija
Urbani toplinski otoci	■	■	■		■	■
Urbane poplave / otjecanja	■	■	■		■	■
Požari				■		■
Suša				■		■
Klizišta				■		
Porast razine mora / erozija obale		■				■ <sup>2</sup>
Intruzija slane vode		■				

Tablica 1 – Grad / Županija i vrsta učinaka

<sup>2</sup> Za Šibensko-kninsku županiju vidjeti Obalni plan (Margeta J. et al., 2016.). Obalni plan predstavlja najbolju praksu za održivi obalni razvoj. Plan nudi niz preporuka i korisnih pitanja za definiranje prvih strategija prilagodbe klimatskim promjenama (na lokalnoj i regionalnoj razini).

## 2 Metoda

U istraživanju je predložena metodologija za procjenu ranjivosti prostornih morfologija i urbanih funkcija u pogledu sljedećih učinaka: visoka temperatura, poplave u gradskim područjima (i klizišta), požari (i suše), porast razine mora, intruzija slane vode. Analiza je provedena (uz posebna ispitivanja) na područjima sjevernog i srednjeg Jadrana: Udine, Cervia, Cesena i Udruženje gradova doline rijeke Savio (Italija); Vodice i Šibensko-kninska županija (Hrvatska).

Procjena ranjivosti provodi se u GIS okruženju u kojem su učinak i ranjivost geografski definirani i vidljivi u zbirci zemljovida. Koristeći se *ad hoc* statističkim modelima (Maragno, 2018.), bilo je moguće povezati analizu učinaka s geomorfološkim značajkama različitim obrascima upotrebe zemljišta i satelitskim snimkama.

Ovaj pristup koristi se nizom informacijskih i tehnoloških sadržaja koji mogu kvantificirati potencijalne učinke putem ponovnog očitavanja komponenti ranjivosti (slika 3, stavak 2.4).

Predloženom metodom omogućuje se primjena prvih analitičkih procjena koristeći se nizom pokazatelja koji se mogu klasificirati prema tematskoj orijentaciji.

Učinci klimatskih promjena uključuju višestruke međusobne okolišne utjecaje koji se, s druge strane, mogu povezati s ostalim učincima koje prouzročuju klimatske razlike: razlike uzrokovane egzogenim i endogenim pojavama. Vrsta učinka i njegov odnos prema osjetljivošću i sposobnošću prilagodbe imaju ključnu ulogu u određivanju modela ranjivosti, uz značajne razlike u odnosu na odnos između prirodnih i antropičnih područja (vidjeti stavak 2.4).

Metodologija uključuje četiri glavne faze:

1. Izvor podataka i prikupljanje podataka.
2. GIS tehnike za razvoj pokazatelja.
3. Izrada baza geopodataka.
4. Definicija oglednih modela za procjenu ranjivosti.

## 2.1 Izvori i podaci

Ova analiza koristi se heterogenom bazom podataka za različite scenarije primjene. Podaci se odnose na ove dvije skupine prostornih i alfanumeričkih podataka:

1. osnovnu kartografiju za urbanističko i regionalno planiranje;
2. podatke dobivene daljinskim istraživanjima.

Kategorija	Opis	Format	Izvor	Obrada
<b>osnovni kartografski prikazi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zgrade, cestovne mreže, drveće, rijeke</li> <li>• digitalni model terena (DTM)</li> <li>• Zbirka karata Obalnog plana Šibensko-kninske županije</li> </ul>	Vektor i raster	regionalne geografske informacije; otvoreni podaci	<ul style="list-style-type: none"> <li>• definicija osnovnih vrijednosti</li> <li>• omjeri gustoće</li> <li>• modeliranje</li> </ul>
<b>tematska kartografija</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• upotreba zemljišta</li> <li>• procjena rizika od poplava i kartiranje (Direktiva 2007/60/EZ o procjeni i upravljanju rizicima od poplava)</li> <li>• Obalni plan</li> <li>• karta saliniteta tla</li> <li>• karta klizišta</li> <li>• karta požara</li> </ul>	Vektor i raster	regionalni geografski informacijski sustavi; otvoreni podaci	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analiza upita i preklapanja</li> </ul>
<b>daljinsko istraživanje</b>	satelitske snimke	raster	Landsat 8 snimke (otvoreni podaci)	Pokazatelji: LST, NDVI, NDMI, TCI, VCI, VHI
<b>meteorološki podaci</b>	termopluviometrijski podaci	Excel tablice	mreža	<ul style="list-style-type: none"> <li>• statistička analiza</li> <li>• praćenje i evaluacija podataka</li> </ul>

Tablica 2 – Prikupljanje teritorijalnih podataka: obilježja i razrade

Za svako područje istraživanja razvijena je posebna baza podataka. Informacijski sadržaj svake baze podataka umjerava se na svojstva područja istraživanja i njegove vrste učinaka. Ti geopodaci koji se upotrebljavaju u multidisciplinarnoj metodi temeljenoj na GIS-u pružili su potrebne evaluacije za aktiviranje tehničko-znanstvene analize da bi se podržala definicija smjernica za prilagodbu klimatskim promjenama.

## 2.2 Metode i tehnike obrade podataka

Obrada podataka i GIS tehnike omogućuju izgradnju SIT-a (Sustava teritorijalnih informacija) za procjenu negativnih učinaka nastalih ekstremnim klimatskim promjenama. Analiza učinaka i ranjivosti upotrebljava temeljnu metodologiju provedenu koristeći se trima tehnikama obrade podataka:

1. obrada satelitskih snimaka (Landsat-8);
2. obrada digitalnih modela terena (DTM);
3. procesiranje geo-informacija i prostorna analiza.

Učinak	Obrada	Rezultat
Urbani toplinski otoci	Razrada sintetičkog indeksa dobivenog satelitskim snimkama	<i>Temperatura površine tla (LST)</i>
Urbane poplave / površinska otjecanja	Modeliranje površinskog otjecanja iz DTM-a	<i>Površinsko otjecanje</i>
Požari	Razrada sintetičkog indeksa dobivenog satelitskim snimkama; GIS analiza preklapanja za istraživanje prostorne povezanosti između suše i požara	<i>Indeks zdravlja vegetacije (VHI)</i>
Suša	Razrada sintetičkog indeksa dobivenog satelitskim snimkama; analiza preklapanja za istraživanje prostorne povezanosti između suše i požara	<i>Indeks zdravlja vegetacije (VHI)</i>
Klizišta	Analiza preklapanja za istraživanje prostorne povezanosti između otjecanja i klizišta	<i>Površinsko otjecanje u odnosu na klizišta</i>
Porast razine mora	Analiza porasta razine mora iz DTM-a	<i>Obalne poplave zbog porasta razine mora</i>
Intruzija slane vode	Procesiranje geo-informacija za istraživanje tolerancije vrsta drveća na salinitet tla	<i>Salinitet tla naspram arborealnih vrsta</i>

Tablica 3 – Tehnike obrade podataka koje se koriste za različite vrste učinaka

### 2.2.1 Landsat-8 snimke: analiza i obrada podataka

Metodologija analize koristi se digitalnom obradom snimke visoke rezolucije satelitskih podataka Landsat 8 za proučavanje triju vrsta učinaka: toplinskih valova, suše i požara.

Test razvijen za proučavanje toplinskih valova koristi se sljedećim parametrima: Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI), Indeks vlage normalizirane razlike (NDMI) i temperatura površine tla (LST). Povezanost između NDVI-ja i LST-a pokazuje da prisutnost vegetacije uzrokuje obrnuto proporcionalnu promjenu temperature prema vrlo značajnom linearnom trendu, dok se smatra da visoke vrijednosti NDMI-ja predstavljaju relativno visoku vlagu krošnji i manji stres zbog suše. NDMI je rezultat odnosa između razlike i zbroja reflektiranog zračenja u blisko infracrvenom području i SWIR-u<sup>3</sup>.

Suše i požari se procjenjuju proučavanjem Indeksa zdravlja vegetacije (VHI) VHI indeks omogućuje određivanje intenziteta suše i njezinog prostornog proširenja (Bayasgalan et al., 2006.; Bento et al., 2018.; Tripathi et al., 2013.;). VHI istraživanje pokazuje da povećanje temperature tla može negativno djelovati na vegetacijsku vitalnost i posljedično uzrokovati stres koji pogoduje požarima.

Odabir Landsat-8 sekvenci snimki temelji se na procjeni temperatura tijekom ljetnih mjeseci. Kriteriji odabira su sljedeći: i) godina snimanja; ii) mjesec snimanja; iii) srednja dnevna temperatura; iv) odsutnost naoblake<sup>4</sup>.

Odabrane snimke (podijeljene u zemljopisna područja djelovanja) prikazane su u nastavku.

---

<sup>3</sup> Kratkovalno infracrveno svjetlo.

<sup>4</sup> Odabir snimke procjenjuje orbitalne trenutke snimanja s niskom prisutnošću oblaka u atmosferi.



Općina	Datum snimanja	Satelit	Naziv datoteke	Kvaliteta snimke	T prosjek	T min.	T max.	Rezultat obrade
Udine	20. 8. 2019.	Landsat 8	LC08_L1TP_192028_20190820_20190903_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	27° C	20° C	34° C	NDVI, LST, NDMI
Cervia	1. 6. 2019.	Landsat 8	LC08_L1TP_192029_20190601_20190605_01_T1.tar	dobra, odsutnost naoblake	18,5° C	14° C	23° C	NDVI, LST, NDMI
Udruženje gradova doline rijeke Savio	20. 8. 2019.	Landsat 8	LC08_L1TP_192029_20190820_20190903_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	26,5	20° C	33° C	NDVI, LST, VHI
Udruženje gradova doline rijeke Savio	4. 10. 2018.	Landsat 8	LC08_L1TP_192029_20181004_20181010_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	16° C	11° C	21° C	NDVI, LST, VHI
Udruženje gradova doline rijeke Savio	29. 7. 2017.	Landsat 8	LC08_L1TP_192029_20170729_20170811_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	25,5° C	19° C	32° C	NDVI, LST, VHI
Udruženje gradova doline	27. 8. 2016.	Landsat 8	LC08_L1TP_192029_20160827_20170321_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	23,5° C	17° C	30° C	NDVI, LST, VHI

rijeke Savio								
Udruženje gradova doline rijeke Savio	8. 7. 2015.	Landsat 8	LC08_L1TP_192029_20150708_20170407_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	31° C	24° C	38° C	NDVI, LST, VHI
Vodice	31. 8. 2019.	Landsat 8	LC08_L1TP_189030_20190831_20190916_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	27° C	23° C	31° C	NDVI, LST, NDMI
ŠKŽ	31. 8. 2019.	Landsat 8	LC08_L1TP_189030_20190831_20190916_01_T1	dobra, odsutnost naoblake	27° C	23° C	31° C	NDVI

Tablica 4 – Odabir Landsat-8 snimki

### 2.2.1.1 Temperatura površine tla (LST)

Algoritam se implementira u GIS, a može se upotrijebiti za obradu NDVI i LST vrijednosti. NDVI parametar omogućuje nam kvantificiranje prisutnosti žive vegetacije na tlu, dok LST olakšava razumijevanje odnosa između temperature i vegetacije. Taj se odnos mora razmatrati u odnosu na podatke o pokrovu i upotrebi zemljišta.

Metoda se koristi Landsat 8 snimkama. Snimke su dostupne bez naknade na mrežnoj stranici Earth Explorer. LST se može izračunati prema sljedećim koracima.

#### 1. Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI)

NDVI indeks<sup>5</sup> izračunava se prema jednadžbi (1), s analizom refleksija u blisko infracrvenom (RNIR) i crvenom (RRED).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (1)$$

#### 2. Spektralna radijancija na vrhu atmosfere (TOA)

Drugi korak algoritma je unos Opsega 10 (10,60 ÷ 11,19 μm). Definicija LST-a ovisi o pretvaranju kodiranih digitalnih brojeva (DN) opsega 10 u radijanciju<sup>6</sup>. Vrijednost se izračunava na sljedeći način:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

gdje je

---

<sup>5</sup> Teorijske vrijednosti su između -1 i +1: obično prisutnost vegetacije pretpostavlja vrijednosti veće od 0,2, dok su objekti s vrijednošću blizu ili ispod nule (uglavnom) antropični elementi.

<sup>6</sup> Radijancija je varijabla mjerena alatima za daljinsko mjerenje. Radijancija se može smatrati količinom svjetlosti koju senzor može snimiti ovisno o promatranom objektu. Određena količina reflektirane svjetlosti raspršena je u atmosferi koja je djelomično apsorbira. To smanjuje promatrani sjaj, a instrument detektira dio sjaja koji emitira objekt i dio sjaja koji je prisutan u atmosferi.

$L_\lambda$  = TOA spektralna radijancija ( $W / (m^2 * sr * \mu m)$ )

$M_L$  = Multiplikativni faktor skaliranja specifičan za opseg iz metapodataka (0.0003342)

$A_L$  = Zbrojni faktor skaliranja poseban za opseg iz metapodataka (0.1)

$Q_{cal}$  = Kvantizirane i kalibrirane standardne vrijednosti piksela proizvoda (DN)

### 3. Temperatura sjaja

Nakon pretvaranja DN-a u radijanciju, podaci o toplinskom infracrvenom opsegu trebaju se pretvoriti iz spektralne radijancije u temperaturu sjaja (BT) pomoću<sup>7</sup> toplinskih konstanti iz datoteke s metapodacima. To se izračunava sljedećom formulom:

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

gdje je

BT = Temperatura sjaja na vrhu atmosfere (K)

$L_\lambda$  = TOA spektralna radijancija ( $W / (m^2 * sr * \mu m)$ )

$K_1$  = Konstanta toplinske konverzije specifična za opseg iz metapodataka (K1\_CONSTANT\_BAND\_774.8853)

$K_2$  = Konstanta toplinske konverzije specifična za opseg iz metapodataka (K2\_CONSTANT\_BAND\_1321.0789)

### 4. Udio vegetacije

Pv je udio vegetacije izračunat prema jednadžbi (4).

$$PV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

gdje je  $NDVI_{min}$  vrijednost  $NDVI_{tla}$ , a  $NDVI_{max}$  je vrijednost  $NDVI_{vegetacije}$  preuzet iz NDVI snimke.

---

<sup>7</sup> BT je parametar koji izražava stopu isijane energije u smislu temperature hipotetskog crnog tijela koji zrači istu količinu promatranog zračenja.

### 5. Emisivnost kopnene površine

U jednadžbi (5) akronim LSE označava vrijednost emisivnosti kopnene površine. Vrijednost LSE-a mora biti poznata da bi se procijenio LST.

$$LSE = 0.004 * PV + 0.986 \quad (5)$$

### 6. Temperatura zemljine površine

LST raster može se izračunati pomoću središnje vrijednosti iz toplinskog spektralnog opsega ( $w$ ), a parametar ( $p$ ), definiran prema Planckovoj konstanti ( $6.626 \times 10^{-34}$  Js, ( $h$ )), Boltzmannovoj konstanti ( $.38 \times 10^{-23}$  J/K, ( $S$ )) te brzini svjetlosti ( $2.998 \times 10^8$  m/s, ( $c$ )).

$$p = \frac{h * c}{s} \quad (6)$$

$$LST = \frac{BT}{1 + w * \left(\frac{BT}{p}\right) * \ln LSE} \quad (7)$$

gdje je

BT = temperatura sjaja

W = 10.895

$p = (h * c / \sigma) = 1.438 * 10^{-2}$  mK

LSE = procjena emisivnosti

Za dobivanje rezultata u Celzijevim stupnjevima, vrijednost LST-a revidira se dodavanjem apsolutne nule (8)

$$^{\circ}C = ^{\circ}K - 273,15 \quad (8)$$

Rezultat je raster karta (ključni ulazni parametar) za razumijevanje zemaljskog toplinskog ponašanja.

### 7. Indeks vlage normalizirane razlike

Ovo istraživanje također procjenjuje učinak NDMI indeksa na urbani toplinski otok. NDMI se upotrebljava za određivanje udjela vode u vegetaciji; metoda se koristi jednadžbom (9) preuzetom s mrežne stranice USGS-a za procjenu NDMI-ja.

$$(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \quad (9)$$

U Landsatu 8, NDMI = (Opseg 5 – Opseg 6) / (Opseg 5 + Opseg 6).

NDMI se upotrebljava za određivanje udjela vode u vegetaciji. Izračunava se kao omjer između NIR i SWIR vrijednosti na tradicionalan način. NDMI definira vrijednost od -1 do +1. (+1) ukazuje na stanje visoke vlažnosti, dok (-1) ukazuje na stanje niske vlažnosti (ili suhoću).

### 2.2.1.2 Indeks zdravlja vegetacije (VHI)

VHI indeks ovisi o stanju vegetacije i toplinskom stresu, koji se procjenjuju indeksom temperaturnog stanja (TCI) i indeksom vegetacijskog stanja (VCI). Izračunavaju se dva indeksa (TCI i VCI), jedan na temelju parametara temperature površine tla (LST), a drugi na temelju parametara vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (NDVI).

VCI indeks ukazuje na vrijednosti vegetacije koje odražavaju postotak vlažnosti tla.

$$VCI = (NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) * 100 \quad (10)$$

VCI indeks ukazuje na vrijednosti vegetacije koje odražavaju postotak povezan s vegetacijskim stresom povezanim s visokim temperaturama.

$$TCI = (LST_{max} - LST_j) / (LST_{max} - LST_{min}) * 100 \quad (11)$$

VHI indeks izražava procjenu prosjeka zdravstvenog stanja vegetacije kroz odnos između vrijednosti vlage i stresnijih toplinskih uvjeta.

$$VHI = a * VCI + b * TCI \quad (12)$$

gdje su "a" i "b" parametri koji se upotrebljavaju za kvantificiranje doprinosa pojedine komponente (TCI i VCI) cjelokupnom zdravlju vegetacije. ("a" i "b" određuju vrijednosti od 0 do 1). Niske vrijednosti VHI-ja identificiraju područja zahvaćena sušom.

VHI izračun, u uvjetima intenzivnih i dugotrajnih ekstremnih događaja, omogućuje identifikaciju područja u kojima je suša češća pojava. Koncept uzima u obzir i ekstremni nedostatak te višak oborina.

VHI prostorizacija može pomoći u identificiranju različitih gradijenata stresa izazvanog sušom koji, ako se pravilno povežu s određenim kontekstnim informacijama (endogenim i egzogenim), mogu ukazati na potencijalnu sklonost šume požarima.

## 2.2.2 Upotreba rasterskog DTM-a za morfo-dinamičku analizu

### 2.2.2.1 Modeliranje površinskog otjecanja

Koristeći se *ad hoc* statističkim modelom, bilo je moguće povezati koeficijente otjecanja s geomorfološkim značajkama (DTM) putem različitih obrazaca upotrebe zemljišta. Zahvaljujući primjeni funkcija smjera i akumulacije (hidrološko modeliranje koje se temelji na GIS-u) na hidrološke učinke (brtvljenjem tla), ovaj model omogućuje proučavanje dinamičkog ponašanja površinskog otjecanja i kvantificiranje vodnih učinaka povezanih s promjenom upotrebe zemljišta.

Istraživanje će se provesti upotrebom sljedećih materijala

- DTM 25/5 metara (GeoTIFF format).
- hidrografski retikulum (Shapefile format).
- pokrivenost i upotreba zemljišta (Shapefile format).
- hidrografski bazeni (Shapefile format).

Metoda pretvara opće i pojedinačne Shapefile datoteke u raster formatu na piksel od 25 ili 5 metara.

Indeks površinskog otjecanja izračunava se pomoću sljedeće jednadžbe (13)<sup>8</sup>:

$$\varphi_i = \left\{ \frac{[P \cdot F_U + P^\circ \cdot (F - F_U)]}{F} \right\}_i \quad (13)$$

gdje je

P= koeficijent otjecanja povezan s vodonepropusnim područjem,

P<sup>o</sup>= koeficijent otjecanja povezan s propusnim područjima,

F= akumulacija protoka izračunata iz DTM-a,

F<sub>U</sub>= akumulacija protoka uspoređena s uporabom zemljišta,

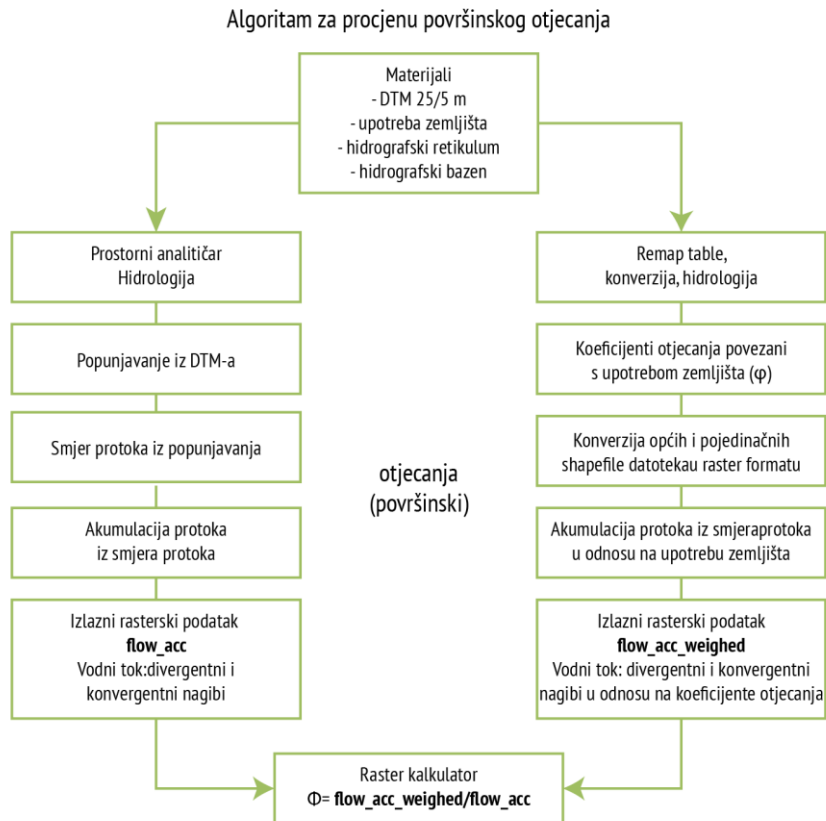
U= uporaba zemljišta u i.

---

<sup>8</sup> Vidjeti Pozzer, 2015.



Odnos dodjeljuje akumulaciju protoka vrijednosti P. Rezultat je kartiranje vodnih učinaka  $\Phi$  (u rasponu od 0,2 do 0,9)<sup>9</sup>. Rezultati pokazuju koje su upotrebe zemljišta imale najveći utjecaj na ukupnu učinkovitost vodnog režima i njegovu regresiju na manje učinkovitu izvedbu. Parametar omogućuje dobivanje ispravne vodne analize područja slijeva i podsljeva kojima naselja pripadaju<sup>10</sup>.



Slika 1 – Dijagram toka algoritma

9 Za odabir koeficijenata otjecanja prema vrsti upotrebe zemljišta, preporučuje se slijediti upute iz priručnika za niskogradnju i hidrogradnju.

10 Glavna prilika za poboljšanje istraživanja je sljedeća: potrebno je ponovno kalibrirati ove parametre u intervalu prihvatanja koji se temelji na dubinskoj analizi i geološke i klimatske prirode (analiza klime i mikroklimete modeli statističkog smanjivanja).

### 2.2.2.2 Područja podložna obalnim poplavama zbog SLR-a

Obalna altimetrija podijeljena je u tri razreda, upotrebom metode za obradu DTM-a u tri scenarija porasta razine mora (u usporedbi s obalom): 0,55 metara, 0,75 metara i 1 metar. Obradom se grafički detektiraju kritične visinske razine plaže povezane s određenom vjerojatnošću pojave fenomena porasta razine mora<sup>11</sup>.

Razrada je sljedeća<sup>12</sup>:

- velika vjerojatnost: DTM  $\leq$  0,55 m
- srednja vjerojatnost: DTM  $\leq$  0,75 m
- mala vjerojatnost: DTM  $\leq$  1 m

---

<sup>11</sup> Za informacije o predviđenom budućem porastu razine mora za sljedećih 80 godina, vidjeti [RITMARE projekt](#) ([www.ritmare.it](http://www.ritmare.it)) i Marsico et al, 2017.

<sup>12</sup> Ova analiza provodi se u GIS-u pomoću funkcije „raster kalkulator“.

### 2.2.3 Procesiranje geo-informacija za prostornu analizu

Uloga alata za geoprociranje (analiza preklapanja, statističko računalstvo, poboljšanje podataka i izrada upita) jest omogućiti izradu baza geopodataka koje mogu optimizirati izvedbu prostornih informacija. Ove tehnike, u kombinaciji s funkcijama zonske statistike, omogućuju održavanje dinamičke veze između izvornih podataka i obrađenih podataka. Ove metode obrade ne aktiviraju se pojedinačno, već su integrirane s informacijama iz aktivnosti analize daljinskog istraživanja ili povezane s DTM primjenama hidrologije ili analize tla. U tom kontekstu, informacije poprimaju višeskalnu i multidisciplinarnu vrijednost. Rezultat je geografski informacijski sustav kalibriran prema vrsti učinaka i kontekstu analize.

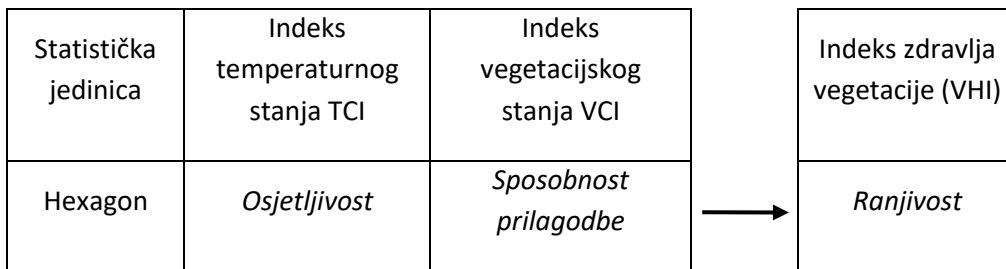
Procesiranje geo-informacija / prostorna analiza	Učinak	Napomena
<i>Dio izgrađene površine</i> omjer površine građevinskog plana u odnosu na ukupnu površinu tla Preklapanje između toplinskog stresa i baze podataka zgrada s definicijom pojedinih funkcija	<i>Urbani toplinski otoci</i>	Istraživanje podržava definiranje vrijednosti sljedećih varijabli: osjetljivosti i sposobnost prilagodbe (za informacije o osjetljivosti i sposobnosti prilagodbe, pogledati sljedeće odlomke).
Kartiranje klizišta: procjena povezanosti klizišta s rasterom površinskog otjecanja.	<i>Urbane poplave / površinska otjecanja / klizišta</i>	Za hidrogeološko kartiranje i kartiranje klizišta, vidjeti podatkovne listove koji se odnose na izgradnju geografskih informacija pojedinih područja istraživanja.
Zonske statistike provedene na VHI vrijednostima; kartografska usporedba s kartiranjem požara i upotrebe zemljišta (građevine i šume)	<i>Požari i suše</i>	Istraživanje nudi (eksperimentalno ispitivanje) svoj doprinos definiciji potencijalne štete od požara.
Aktivacija funkcija analize prostornih podataka za istraživanje tolerancije biljaka na sol	<i>Intruzija slane vode</i>	Postupak će biti opisan u poglavlju o procjeni ranjivosti Općine Cervia, odjeljku Intruzija slane vode

**Tablica 5 – Aktivnosti procesiranja geo-informacija i prostorne analiza kao podrška analizi učinaka**

Ove su aktivnosti ključne za procjenu sljedećih učinaka: požari + suša te intruzija slane vode. Postupci izračuna navedenih učinaka opisani su u sljedećim pododjeljcima.

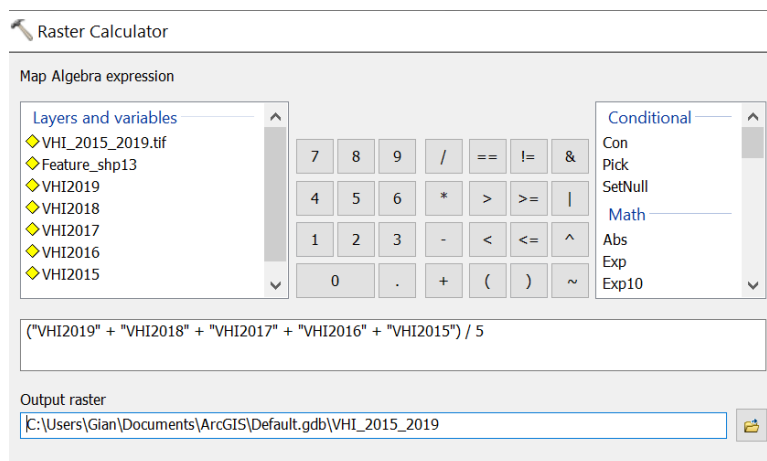
### 2.2.3.1 Procesiranje geo-informacija primijenjeno na procjenu suše i požara

Ranjivost se mjeri u smislu VHI-ja. Obrada Landsat 8 snimki omogućuje da se pokaže kako povećanje temperature ima negativne učinke na uvjete vegetacijskog stanja. Uočavamo veću sklonost požarima šumskih i poljoprivrednih površina.



Tablica 5 - Komponente ranjivosti

Dinamika suše dodatno se analizira kroz procjenu VHI-ja za pet različitih razdoblja: srpanj 2015., kolovoz 2016., srpanj 2017., listopad 2018. i kolovoz 2019. Ovaj postupak omogućuje izgradnju velikog informacijskog okvira o vegetacijskom stresu. Ovaj informacijski okvir razmatra vegetacijske stresove ljetnog i jesenskog razdoblja. Primjena aritmetičkog prosjeka provedenog u GIS-u između vrijednosti piksela 5 VHI rastera omogućuje izračunavanje teritorijalnih područja izloženijih suši, a time i osjetljivijih na požare.



Slika 2 – procjena prosječnog VHI-ja (2015. - 2019.)

Preklapanje aritmetičkih rezultata (prosječna vrijednost VHI-ja 2015. - 2019.) i karte požara (2011. - 2018.) pokazuje određenu prostornu povezanost između fenomena suše i područja koja su već obuhvaćena požarima.

Druga razina obrade provodi se radi procjene geografske kontekstualizacije mogućih šteta. Moguća šteta (D) ovdje se smatra kombinacijom vrijednosti ranjivosti i izloženosti. Postupak uzima u obzir urbanizirana i šumska područja kao faktore izloženosti s visokom osjetljivošću na požare<sup>13</sup>. Šteta se izračunava pomoću sljedeće jednadžbe:

$$D = V * E$$

gdje je

V = ranjivost (VHI)

E = izlaganje

Kartografski prikaz štete omogućuje identifikaciju urbanih područja koja su najizloženija potencijalnoj opasnosti od požara.

---

<sup>13</sup> Razmatrane namjene su: stambena, industrijska, trgovačka, lokacije za javnu upotrebu.

### 2.2.3.2 Procesiranje geo-informacija primijenjeno na procjenu intruzije slane vode

Procjena tolerancije saliniteta (a time i pojačana sklonost ranjivosti) dobiva se pomoću dva čimbenika: a) klase salinizacije tla; b) stupnja tolerancije arborealnih vrsta na salinitet. Novi dopušteni pragovi definirani su kako slijedi:

Stupanj tolerancije arborealnih vrsta	Salinitet tla		Stupanj tolerancije: novi zadatak		Sklonost ranjivosti	Vrijednost statističkog elementa
	Vrlo slano	→	Nepromijenjen	→	Nije značajna	1
Visok →	Slabo slano	→	Nepromijenjen	→	Nije značajna	1
	Nije slano	→	Nepromijenjen	→	Nije značajna	1
Stupanj tolerancije arborealnih vrsta	Salinitet tla		Stupanj tolerancije: novi zadatak		Sklonost ranjivosti	Vrijednost statističkog elementa
	Vrlo slano	→	Srednje nizak	→	Umjereno značajna	2
Srednji →	Slabo slano	→	Nizak	→	Nije značajna	1
	Nije slano	→	Nizak	→	Nije značajna	1
Stupanj tolerancije arborealnih vrsta	Salinitet tla		Stupanj tolerancije: novi zadatak		Sklonost ranjivosti	Vrijednost statističkog elementa
	Vrlo slano	→	Nizak	→	Značajna	3
Niska →	Slabo slano	→	Nizak	→	Umjereno značajna	2
	Nije slano	→	Nepromijenjen	→	Nije značajna	1

Tablica 6 – Procjena ranjivosti arborealnih vrsta

Ova metodologija omogućuje određivanje prve prostorne ranjivosti arborealnih vrsta. Ovaj se učinak može povezati s fenomenom intruzije slane vode. Obradom su utvrđena tri razreda:

- Nije značajno.
- Umjereno značajno.
- Značajno.

Svaki razred je povezan s vrijednošću od 1 do 3: nije značajno = 1; umjereno značajno = 2; značajno = 3.

## 2.3 Baza geopodataka

Informacije dobivene analizom daljinskog istraživanja i sadržaji razrađeni procesiranjem geo-informacija objedinjeni su u dvije različite vrste baza podataka:

1. Rezultati analize podataka dobivenih daljinskim istraživanjem objedinjeni su u Orchestrator bazu geopodataka. Te baze geopodataka osmišljene su uzimajući u obzir obilježja područja ispitivanja i vrste učinka.
2. Rasterske i vektorske baze podataka arhivirane su po predmetnom području te su uspoređene i prostorno procijenjene u GIS okruženju.

Prva vrsta baze podataka treba dodatne komentare u vezi s načinom prikupljanja i organiziranja informacija. Baza podataka organizirana je u jednoj tablici projiciranoj na heksagonalnoj matrici. Svaki heksagon (statistička jedinica) ima stranu od 80 (ili 30) metara. Svaka statistička jedinica odgovara redu tablice. Svaki red je povezan sa skupom varijabli. Varijable odgovaraju informacijama i svim pokazateljima za svaki heksagon. Pokazatelji su predstavljeni na ljestvici vrijednosti utvrđenoj od 0 do 1<sup>14</sup>. Hexagon baza podataka podržava analizu metodologije koja kombinira prostorne informacije visoke rezolucije i geoprostorne podatke za razvoj osjetljivosti, sposobnosti prilagodbe i ranjivosti. Ranjivost se smatra sintetičkim indeksom dobivenim kao razlika između parametara osjetljivosti i adaptivnog kapaciteta.

Učinci s heksagonalnom matricom su sljedeći: UHI, otjecanje, požari i suše.

---

<sup>14</sup> Ovaj postupak omogućuje objedinjavanje vrijednosti koje imaju neusporediv rang varijabilnosti.

## 2.4 Metodologije procjene ranjivosti: definicija pokazatelja procjene

Na kraju postupka obrade podataka očekuje se da će rad kvantificirati heterogenost i prostornu raspodjelu učinaka kroz dvije vrste istraživanja:

- proučavanje nelinearnih varijabli, koje nisu precizne i vanjske u odnosu na svojstva okoliša (ispitivanja putem satelitske obrade snimki; reference na klimatsku varijabilnost i promjene);
- ispitivanje linearnih varijabli kao što su morfološki elementi i okviri ekosustava, prirodni i umjetni. Ovi elementi pomažu definirati stupanj ranjivosti koji se razlikuje ovisno o njihovoj veličini i njihovom suživotu u svakom dijelu teritorija.

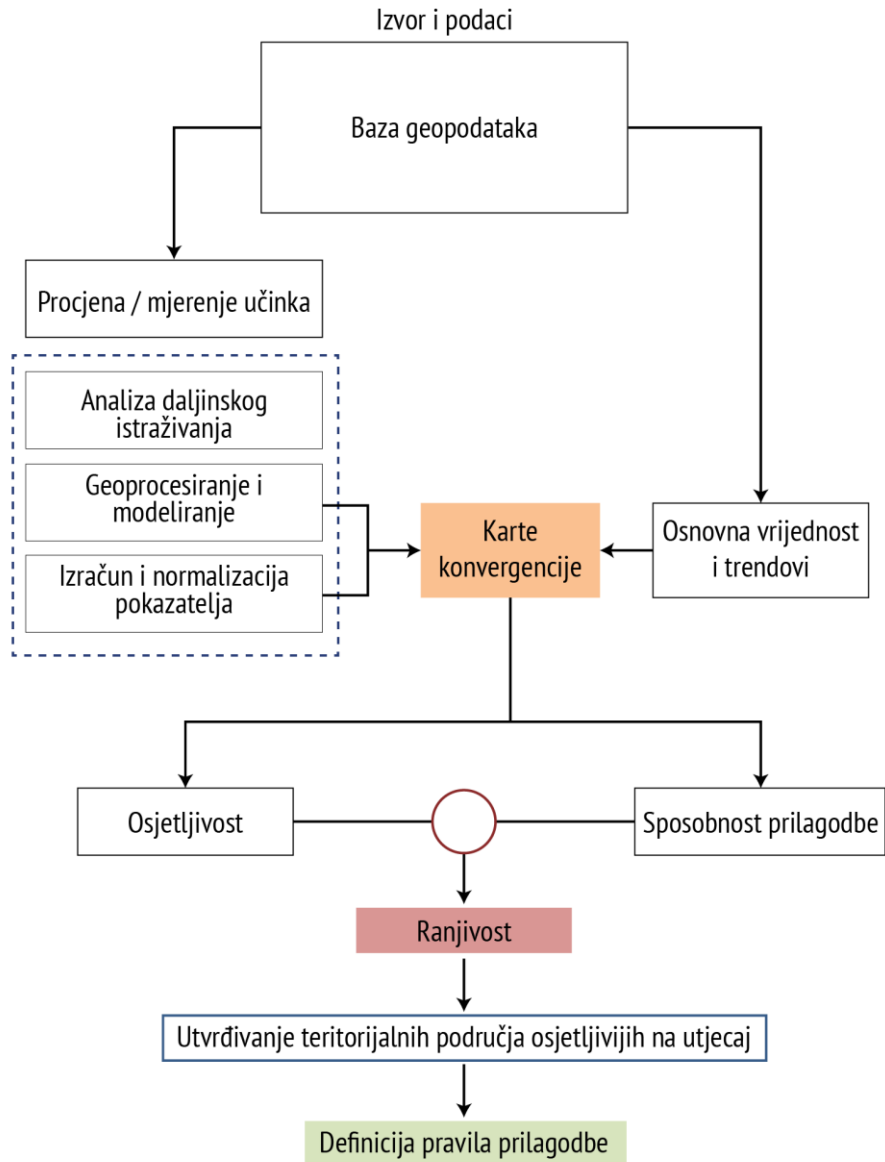
Opća metodologija (Slika 3) pruža model teritorijalne analize za upravljanje i urbanizam. Ovaj model temelji se na alatima koji mogu prepoznati različite razine dinamike učinaka:

- a) promjene u klimatološkom utjecaju (u smislu UHI-ja<sup>15</sup>);
- b) morfologije građevina i prirodnog okoliša;
- c) društvena infrastruktura;
- d) karakteristike i kvaliteta ekosustava.

---

15 Vidjeti Oke (1982.).





Slika 3 – Dijagram toka za morfološko proučavanje učinaka

Procjena ranjivosti urbanog okoliša (ili prirodnog sustava) zahtijeva odgovarajuće poznavanje morfološke strukture grada, njegovih materijala, odgovarajućeg znanja o varijaciji složenosti okoliša i njegovih usluga ekosustava. Za proučavanje ranjivosti teritorija, referentna znanstvena literatura razmatra četiri varijable analize: osjetljivost, izloženost, sposobnost prilagodbe i potencijalni učinak<sup>16</sup>. Ovaj rad upotrebljava samo dva pokazatelja, osjetljivost i sposobnost prilagodbe<sup>17</sup>. Njihovo usvajanje čini da se studija ranjivosti može replicirati na urbanoj i na teritorijalnoj razini (gradu ili teritoriju), na temelju sljedeće formulacije:

$$V = \text{sensitivity} - \text{adaptivecapacity} \quad (14)$$

gdje je

*osjetljivost* = „sklonost sustava da se na njega utječe“.

*sposobnost prilagodbe* = „sklonost sustava da ublaži učinke“.

Na mjerenje pokazatelja osjetljivosti i sposobnosti prilagodbe utječu tri glavna čimbenika:

- izloženost zemljišta i osjetljivost na klimatske promjene;
- ograničen broj razina informacija o kartama;
- stupanj potencijala istraživanja GIS-a u prepoznavanju novih prostornih poveznica između teritorijalnih elemenata koji maksimiziraju utjecaj na okoliš, vraćajući tipološke varijacije koje mogu ublažiti učinak.

Ti čimbenici utječu na sadržaj pokazatelja i njihovu interakciju u postupku evaluacije.

---

16 Vidjeti Maragno (2018.).

17 Razlog za razmatranje samo osjetljivosti i sposobnosti prilagodbe određuju precizni metodološki izbori koji su već testirani u području analize „novih ranjivosti“, objašnjenih za različite kombinacije varijabli okoliša (Maragno, 2018.). Osjetljivost „u IPCC pristupu određuje stupanj do kojeg se na određeni sustav negativno utječe“ (vidjeti Maragno, 2018.: 30). To ovisi o specifičnim svojstvima sustava koji se razmatra. Sposobnost prilagodbe može se smatrati sposobnošću prirodnog ili izgrađenog sustava da se prilagodi klimatskim promjenama da bi se ublažili potencijalni učinci i/ili šteta. U Maragnu (2018.) se smatra skupom pokretača za odabir kompenzacijskih mjera.

Jednadžba (14) se provjerava i revidira prema različitim analizama i mogućnostima istraživanja. Kalibracija se razlikuje ovisno o vrstama informacija i metodama za procjenu varijabli osjetljivosti i sposobnosti prilagodbe. Da bi se razvila vjerodostojna procjena svih učinaka, jednadžba (14) preoblikuje se u GIS okruženju na temelju osobina učinka i konteksta (tablica 8).

Učinak	Statistička jedinica	Izvor i podaci	Ranjivost		Procjena ranjivosti
			Osjetljivost	Sposobnost prilagodbe	
Urbani toplinski otoci	heksagon (strana od 80 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura zemljine površine (LST)</li> <li>• Vegetacijski indeks normalizirane razlike (NDVI)</li> <li>• indeks vlage normalizirane razlike (NDMI)</li> <li>• izgrađena površina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LST (prosječna vrijednost)</li> <li>• <i>gustoća zgrada</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NDVI (prosječna vrijednost)</li> <li>• NDMI (prosječna vrijednost)</li> </ul>	<p><math>V = \text{osjetljivost} - \text{sposobnost prilagodbe}</math></p> <p>Ranjivost leži u rasponu vrijednosti između -1 i 1. Negativne vrijednosti odgovaraju dobrim prilagodbama, dok pozitivne vrijednosti odgovaraju kritičnim uvjetima.</p> <p><b>U ovoj studiji ranjivost se normalizira od 0 do 2, gdje niske vrijednosti odgovaraju kritičnim uvjetima, dok pozitivne vrijednosti odgovaraju dobrim prilagodbama.</b></p>
Urbane poplave	Piksel; heksagon (strana od 80 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DTM</li> <li>• upotreba zemljišta</li> <li>• koeficijent otjecanja</li> </ul>	0,9 brtvljenje tla	0,1 propusna područja	<p>Jednadžba „<math>V = S - A</math>“ obrađuje se GIS-om primjenom funkcije Hidrologija. Funkcija Hidrologija omogućuje izračunavanje rastera koji je povezan s vodnim režimom područja.</p> <p>Jednadžba vam omogućuje da dodijelite koeficijente otjecanja akumulaciji protoka (Flow_Acc). Ovaj postupak stvara „vodne učinke“ <math>\phi_i</math> (raster ćelija). Ta se povezanost izražava kao postotak kiše koja se pretvara u površinsko otjecanje (u rasponu od 0,1 do 0,9). Ovaj postupak koji se kalibrira na razini slijevova je kumulativan.</p>

Požar Suša	Piksel; heksagon (strana od 30 m)	Indeks zdravlja vegetacije (VHI)	indeks temperaturnog stanja TCI	indeks vegetacijskog stanja VCI	Odnos 'V = S-A' mjeri se kao VHI. Istraživanje predlaže da se šuma i izgrađeni okoliš uzmu u obzir kao čimbenici koji maksimiziraju fenomen suše. Građevine i šume ovdje se smatraju elementima izloženosti. Upotreba tih elemenata podupire izradu karte potencijalne štete od požara za prirodna ili okruženja koje je stvorio čovjek.
Klizišta	Fenomen klizišta mapiran je i proučavan zajedno s proučavanjem urbanih poplava (površinsko otjecanje izračunato na razini slijevova).				
Porast razine mora	Porast razine mora proučava se procjenom relativnog porasta razine mora u obalnim područjima. Metoda obrađuje DTM s ćelijom od 5x5, a zatim ga uspoređuje s informacijama sadržanim u karti vodnih i obalnih kritičnih stanja.				
Intruzija slane vode	stablo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stupanj saliniteta tla</li> <li>• stupanj tolerancije na salinitet</li> </ul>	stupanj saliniteta tla	stupanj tolerancije na salinitet	Jednadžba „V = S - A“ obrađuje se GIS-om s funkcijama procesiranja geo-informacija. Ove funkcije omogućuju izračun vektora kvalitativno-kvalitativnog ponašanja otpornosti arborealnih vrsta kod saliniteta podzemlja.

Tablica 7 – Metodologije za potporu procjenama ranjivosti

### 3 Bibliografija

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 CJ., (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 (TCl) 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).

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://agrireregionieuropa.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.

Margeta J. et al., (2016). Integrated Coastal management Plan of Šibenik-knin county, in *PAP/RAC u suradnji s razvojnim agencijama: "Prema održivom razvoju obale"*.

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", u 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.
- Šibenik Knin County (2016), *Coastal Plan of the Šibenik Knin County*.
- 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.
- 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.