

Follow up del modello comune dei piani di adattamento utilizzando approcci ecosistemici

Spremljanje skupnega modela prilagoditvenih načrtov z uporabo ekosistemskih pristopov

Report D 1.2.4

Poročilo D 1.2.4

DATA /DATUM: 10/03/2025

Partner di progetto: PP4

Projetkni partner: PP4



Colophon:

*TITOLO Criteri per l'analisi qualitativa di EbA/ECO-DRR e
identificazione delle buone pratiche*

Autori Alessandro Rosa, Rachele Dandolo, Alessandro Manzardo, Alberto Barause, Suzana Škof, Liliana Vižintin, Eleonora Camastra.

Il rapporto è stato redatto in collaborazione con il partner del progetto: PP2, PP5

L'edizione online è disponibile al sito www.ita-slo.eu/eco2smart

Il progetto ECO2SMART promuove la consapevolezza attiva dei cittadini riguardo alla riduzione dell'impatto dei cambiamenti climatici e dei rischi di catastrofi attraverso l'utilizzo di soluzioni ecosistemiche. Sulla base di ciò si mira a rafforzare la resilienza delle aree costiere incluse nel progetto.

Partner del progetto:

LP/VP: Mestna občina Koper – Comune città di Capodistria
PP2: Znanstveno-raziskovalno središče Koper
PP3: Comune di Monfalcone
PP4: Università degli Studi di Padova
PP5: Shoreline Società Cooperativa
PP6: Consorzio di Bonifica Veneto Orientale

La pubblicazione è cofinanziata nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia 2021-2027 dal Fondo europeo di sviluppo Regionale e dai fondi nazionali.

Il contenuto della presente pubblicazione non riflette necessariamente le posizioni ufficiali dell'Unione Europea. La responsabilità del contenuto della presente pubblicazione è dell'autore indicato nella testata della pubblicazione.

©

La presente pubblicazione è protetta dal diritto d'autore, ma può essere riprodotta in qualsiasi modo senza pagamento o previa autorizzazione per scopi didattici e di ricerca, ma non per la rivendita.

Kolofon:

NASLOV Kriteriji za kvalitativno analizo EbA/Eco-DRR in določitev dobrih praks

Avtorji Alessandro Rosa, Rachele Dandolo, Alessandro Manzardo, Alberto Barause, Suzana Škof, Liliana Vižintin, Eleonora Camastra.

Poročilo je bilo pripravljeno v sodelovanju s projektnim partnerjem: PP2, PP5

Spletna izdaja, dostopna na www.ita-slo.eu/eco2smart

Projekt ECO2SMART spodbuja aktivno ozaveščenost državljanov glede zmanjševanja vpliva podnebnih sprememb in tveganj naravnih nesreč z uporabo ekosistemskih rešitev. Na osnovi tega ima cilj krepiti odpornost obalnih območij vključenih v projekt.

Partnerji projekta:

LP/VP: Mestna občina Koper – Comune città di Capodistria
PP2: Znanstveno-raziskovalno središče Koper
PP3: Comune di Monfalcone
PP4: Università degli Studi di Padova
PP5: Shoreline Società Cooperativa
PP6: Consorzio di Bonifica Veneto Orientale

Objava je sofinancirana v okviru Programa Interreg VI-A Italia-Slovenia 2021-2027 iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj in nacionalnih sredstev.

Vsebina te publikacije ne odraža nujno uradnih stališč Evropske unije. Odgovornost za vsebino te publikacije pripada avtorju, ki je naveden v kolofonu publikacije.

©

Ta publikacija je zaščitena z avtorskimi pravicami, vendar jo je mogoče reproducirati na kakršen koli način brez plačila ali predhodnega dovoljenja za namene poučevanja in raziskovanja, ne pa tudi za nadaljnjo prodajo.

INDICE / KAZALO

1. INTRODUZIONE	4
1. UVOD	4
2. METODOLOGIA	6
2. METODOLOGIJA	6
3. RISULTATI	7
3.1 RISULTATI DELLA RICERCA BIBLIOGRAFICA	7
3.2 RISCHI AFFRONTATI NEGLI ARTICOLI	9
3.3 RISCHIO DI ALLAGAMENTO	11
3.4 INONDAZIONE MARINA, EROSIONE COSTIERA, MAREGGIATE	17
3.5 SICCITA'	24
3.6 ONDATE DI CALORE	26
3.7 INTRUSIONE SALINA	27
3. REZULTATI	7
3.1 REZULTATI BIBLIOGRAFSKE RAZISKAVE	7
3.2 TVEGANJA, OBRAVNAVANA V ČLANKIH	9
3.3 TVEGANJE POPLAV	11
3.4 MORSKE POPLAVE, OBALNA EROZIJA, VALOVANJE	17
3.5 SUŠA	24
3.6 VROČINSKI VALOVI	26
3.7 VDOR SLANE VODE	27
4. PIANO COMUNE DI ADATTAMENTO	28
4. SKUPNI NAČRT PRILAGAJANJA	28
5. CONCLUSIONI	36
5. ZAKLJUČKI	36
6. BIBLIOGRAFIA/BIBLIOGRAFIJA	38

1. Introduzione

Il cambiamento climatico rappresenta una problematica via via più pressante per le popolazioni umane, con un mutamento delle condizioni ambientali ancora non totalmente prevedibile ma alle quali le comunità dovranno adattarsi. In particolare le popolazioni costiere saranno fra quelle più a rischio con il cambiare delle condizioni climatiche, in particolare a causa delle conseguenze dell'aumento delle temperature, come l'innalzamento del livello del mare che porterà ad una maggiore erosione delle coste e danni alle attività umane dovute alle mareggiate e alla risalita del cuneo salino nei terreni agricoli. Le alte temperature porteranno anche una maggiore instabilità climatica, con periodi di siccità e calore alternati a grandi quantità di precipitazioni.

L'area costiera del Nord Adriatico è particolarmente vulnerabile agli effetti del cambiamento climatico in quanto sul versante italiano in passato sono stati effettuati imponenti interventi di bonifica e vaste aree si trovano ora sotto il livello del medio mare, con un conseguente importante vulnerabilità all'innalzamento del livello del mare. La conformazione più rocciosa e arida del versante orientale (all'incirca da Duino fino alla Grecia) ha invece portato allo sviluppo di centri abitati estremamente concentrati e molto soggetti ad episodi di siccità, ondate di calore e difficoltà di gestione dell'acqua meteorica, in quanto l'esiguità dello spazio edificabile ha lasciato poca possibilità alle aree verdi con le loro funzioni di drenaggio e mitigazione della temperatura.

Finora queste realtà hanno adottato una politica volta più alla resistenza ai rischi ambientali, con la costruzione di muraglioni marini, frangiflutti artificiali, dighe fisse e mobili, arginature o l'utilizzo di idrovore. Queste misure vengono comunemente definite "infrastrutture grigie", e, sebbene

1. Uvod

Podnebne spremembe postajajo vse bolj pereč problem za človeško populacijo, saj se okoljske razmere spreminjajo na načine, ki jih še ni mogoče v celoti predvideti, zato se bodo morale skupnosti na njih prilagoditi. Obalna območja so med najbolj izpostavljena območja podnebnih sprememb, zlasti zaradi posledic dviga temperatur, kot so dvig morske gladine, večja erozija obale ter škoda na človeških dejavnostih zaradi neurij in vdora slane vode na kmetijska zemljišča. Visoke temperature bodo prav tako povzročile večjo podnebno nestabilnost, z obdobji suše in vročine, ki se bodo izmenjevala z obdobji obilnih padavin.

Severno jadranska obala je posebej ranljiva na vplive podnebnih sprememb. Na italijanski strani so bile v preteklosti izvedene obsežne melioracije, zaradi česar so zdaj velika območja pod srednjo morsko gladino, kar pomeni povečano ranljivost za dvig morske gladine. Na vzhodni strani (od Devina do Grčije) ki je bolj kamnito in sušno območje je vodilo v razvoj zelo zgoščenih naselij, ki so še posebej izpostavljena suši, vročinskim valovom in težavam z upravljanjem meteornih voda, saj je zaradi pomanjkanja prostora za gradnjo ostalo zelo malo zelenih površin, ki bi lahko prispevale k odtekanju voda in uravnavanju temperature.

Do zdaj so ta območja sprejela predvsem politike odpornosti na okoljska tveganja, kot so gradnja morskih zidov, umetnih valobranov, fiksnih in premičnih jezov ter uporaba črpališč. Te ukrepe običajno imenujemo "siva infrastruktura". Čeprav zagotavljajo kratkoročne rezultate, jih je težko prilagoditi spreminjajočim podnebnih

garantiscano risultati nel breve periodo, sono difficilmente modificabili e adattabili al mutamento delle condizioni per le quali sono state progettate.

In un momento caratterizzato da rapidi cambiamenti il paradigma si è dunque spostato verso interventi di protezione meno invasivi, ma anche di più facile rettifica e che dovrebbero garantire resilienza, plasticità e adattabilità a condizioni mutevoli nel tempo; un esempio sono le cosiddette “infrastrutture verdi e blu”, le quali più in generale sono parte delle “soluzioni basate sulla natura” (Nature-based Solutions o NbS), sotto il cui cappello cadono gli approcci dell’adattamento basato sugli ecosistemi (Ecosystem-based Adaptation o EbA) e la riduzione del rischio di catastrofi basata sugli ecosistemi (Ecosystem Disaster Risk Reduction o Eco-DRR).

Allo scopo di tutelare l’area del Nord Adriatico nei confronti degli effetti del cambiamento climatico è stato redatto, durante il progetto Interreg ITA-SLO ECOSMART il “Modello congiunto dei progetti di adattamento ai cambiamenti climatici nei siti Natura 2000”. Il litorale del Nord Adriatico non è però totalmente costituito da aree protette Natura 2000, anzi, in esso sono presenti molte aree urbane e rurali, da qui la necessità di espandere il modello per includere anche le aree non Natura 2000, che se da un lato presentano meno problemi riguardanti l’eventuale invasività degli interventi, dall’altro sono fortemente e inevitabilmente legate alla vita delle persone la cui percezione va considerata nella pianificazione di interventi. Per definire quali fossero gli approcci più adatti da seguire per il Nord Adriatico è stato analizzato lo stato dell’arte degli interventi di “Nature-based Solutions” oggetto di ricerca negli ultimi anni, facendo una revisione di letteratura scientifica sull’argomento.

razmeram, za katere so bile prvotno zasnovane.

V obdobju hitrih sprememb se zato pristopa z uporabljanjem manj invazivnim zaščitnim ukrepom, ki jih je lažje prilagajati in ki zagotavljajo večjo odpornost, prilagodljivost ter sposobnost odzivanja na spremenljive pogoje. Primer tega so tako imenovane “zelene in modre infrastrukture”, ki na splošno spadajo v del “na naravi temelječih rešitev” (Nature-based Solutions ali NbS). V to kategorijo sodita tudi ekosistemsko prilagajanje (Ecosystem-based Adaptation ali EbA) in ekosistemsko zmanjševanje tveganja nesreč (Ecosystem Disaster Risk Reduction ali Eco-DRR).

Da bi zaščitili območje Severnega Jadrana pred vplivi podnebnih sprememb, je bil v okviru projekta Interreg ITA-SLO ECOSMART pripravljen “Skupni model prilagoditvenih načrtov na podnebne spremembe za območja Natura 2000”. Ker pa celotna jadranska obala ne sodi v območja Natura 2000, temveč vključuje številna urbana in podeželska območja, je treba model razširiti tudi nanje. Ta območja sicer ne predstavljajo težav v smislu potencialne invazivnosti posegov, so pa močno povezana z življenjem lokalnega prebivalstva, zato je treba pri načrtovanju ukrepov upoštevati njihovo percepcijo.

Da bi določili najustreznejše pristope za Severno Jadransko obalo, smo analizirali obstoječe raziskave na področju “na naravi temelječih rešitev” ter izvedli pregled znanstvene literature na to temo.

2. Metodologia

Al fine di raccogliere il materiale per la revisione di letteratura, prima di tutto sono stati identificati i rischi legati al cambiamento climatico ai quali sono maggiormente esposte le aree marine costiere del Nord Adriatico: "Erosione costiera", "Mareggiata", "Allagamento", "Ondate di calore", "Siccità" e "Intrusione salina". Si è in seguito andati ad effettuare una ricerca nel database Scopus, all'interno di titoli, abstract e parole chiave degli articoli, la seguente stringa, comprendente i termini "Nature-based Solution" e "adattamento", seguiti dai rischi sopra elencati.

`TITLE-ABS-KEY("nature based solution" AND "adaptation" AND ("coastal erosion" OR "storm surge" OR "flooding" OR "heatwaves" OR "drought" OR "salinity intrusion"))`

La ricerca ha dato come risultato un ingente numero di articoli dei quali è stato letto l'abstract e quelli ritenuti rilevanti per lo scopo della review sono stati letti interamente.

Un articolo è stato considerato rilevante se:

- menziona esplicitamente la valutazione di efficacia delle misure di adattamento basate sulla natura;
- fa riferimento ad analisi di casi studio effettivamente implementati o la cui implementazione è auspicabile;
- risponde effettivamente alle stesse tipologie di rischio identificate per le aree costiere del Nord Adriatico;
- analizza soluzioni effettivamente implementabili nel Nord Adriatico (ad esempio il ripristino di barriere coralline e mangrovie non è stato preso in considerazione).

2. Metodologija

Za zbiranje gradiva za pregled literature smo najprej identificirali podnebna tveganja, ki najbolj ogrožajo obalna morska območja Severnega Jadrana: "erozija obale", "neurja", "poplave", "vročinski valovi", "suša" in "vdor slane vode".

Nato smo izvedli iskanje v bazi podatkov Scopus, pri čemer smo v naslovih, povzetkih in ključnih besedah člankov uporabili naslednji iskalni niz, ki vključuje izraza "Nature-based Solution" in "adaptation", skupaj z zgoraj navedenimi tveganji.

`TITLE-ABS-KEY("nature based solution" AND "adaptation" AND ("coastal erosion" OR "storm surge" OR "flooding" OR "heatwaves" OR "drought" OR "salinity intrusion"))`

Iskanje je dalo velik nabor člankov, katerih povzetke smo pregledali, nato pa smo v celoti prebrali tiste, ki so se izkazali za relevantne za namen pregleda literature.

Članek je bil ocenjen kot relevanten, če:

- je eksplicitno omenjal oceno učinkovitosti ukrepov prilagajanja, ki temeljijo na naravi;
- se je nanašal na analizo študij primerov, ki so bili dejansko izvedeni ali katerih je bila izvedba zaželen;
- je obravnaval enake vrste tveganj, kot so bila dejansko zaznana za obalna območja Severnega Jadrana;
- je analiziral rešitve, ki jih je bilo mogoče dejansko udejanjati na območju Severnega Jadrana (na primer: obnova koralnih grebenov in mangrov niso bile upoštevane).

Gli articoli selezionati sono stati poi letti interamente dagli autori del presente report i quali hanno estrapolato le seguenti informazioni:

- anno di pubblicazione
- area geografica interessata dallo studio
- quale problematica relativa al cambiamento climatico è affrontata nell'articolo
- la tipologia di azioni progettate
- il risultato atteso delle azioni progettate
- la tipologia di azioni implementate
- il risultato atteso delle azioni implementate
- il risultato reale delle azioni implementate
- la tipologia dell'area per la quale le azioni sono state implementate o progettate
- la tipologia di area che è beneficiaria delle azioni che sono state implementate o progettate

3. Risultati

3.1 Risultati della ricerca bibliografica

Dalla ricerca di pubblicazioni sul database Scopus, utilizzando la stringa di ricerca specificata nella sezione "Metodologia di raccolta dati", sono stati trovati 194 articoli scientifici. Dopo la lettura degli abstract sono stati selezionati 64 articoli (33.2 %), i quali sono stati letti interamente e le informazioni di interesse sono state riassunte utilizzando un lavoro condiviso fra i partner di progetto.

Analizzando inizialmente le informazioni generali tratte dagli articoli notare come l'interesse per le soluzioni basate sulla natura è di molto cresciuto negli ultimi anni, passando dai 2 articoli del 2016 ai 67 del 2024 (Fig. 1).

Per quanto riguarda le aree geografiche prese in considerazione negli articoli

Izbrani članki so bili v celoti prebrani s strani avtorjev tega poročila, ki so iz njih izluščili naslednje informacije:

- leto objave
- geografsko območje raziskave
- katera problematika, povezana s podnebnimi spremembami, je obravnavana v članku
- vrsta načrtovanih ukrepov
- pričakovani rezultati načrtovanih ukrepov
- vrsta izvedenih ukrepov
- pričakovani rezultati izvedenih ukrepov
- dejanski rezultati izvedenih ukrepov
- vrsta območja, na katerem so bili ukrepi izvedeni ali načrtovani
- vrsta območja, ki je imelo koristi od izvedenih ali načrtovanih ukrepov

3. Rezultati

3.1 Rezultati bibliografske raziskave

Pri iskanju znanstvenih publikacij v bazi podatkov Scopus, z uporabo iskalnega niza, opisanega v poglavju "Metodologija zbiranja podatkov", smo našli 194 znanstvenih člankov. Po pregledu povzetkov smo jih 64 (33,2 %) ocenili kot ustrezne in jih prebrali v celoti. Relevantne informacije smo nato povzeli v skupnem delu med projektnimi partnerji.

Analiza splošnih informacij iz člankov kaže, da se je zanimanje za naravi temelječih rešitev v zadnjih letih močno povečalo – število znanstvenih objav je naraslo z 2 člankov v letu 2016 na 67 v letu 2024 (Slika 1).

Glede na geografska območja, ki jih obravnavajo izbrani članki, je najpogostejše

selezionati si vede una preponderanza dell'Europa con 22 risultati (34.4 %), seguita da articoli di carattere generale o review di casi studio provenienti da tutto il mondo con 19 risultati (29.7 %). A seguire Nord America con 9 (14.1 %), Asia con 6 (9.4 %), Africa e Oceania con 3 (4.7 %) e infine Sud America con 2 (3 %). Per quanto riguarda i singoli paesi Italia e Stati Uniti sono le nazioni più rappresentate con 8 articoli ciascuna. Al secondo posto il Regno Unito con 5 e a seguire Portogallo e Vietnam con 3. Poi Germania, Francia, Paesi Bassi e Spagna con 2 e vari paesi sono oggetto di un solo articolo: Argentina, Australia, Bangladesh, Brasile, Bulgaria, Cina, Ghana, India, Moldavia, Romania, Slovenia, Spagna, Sudafrica, Svezia, Turchia, Ucraina e Ungheria. Altri paesi sono invece stati nominati indirettamente come parte di macroaree per le quali è stato prodotto un lavoro a più ampio respiro: Europa, Africa dell'Est, piccole isole dell'Indo-Pacifico e Sud-est asiatico (Fig. 2).

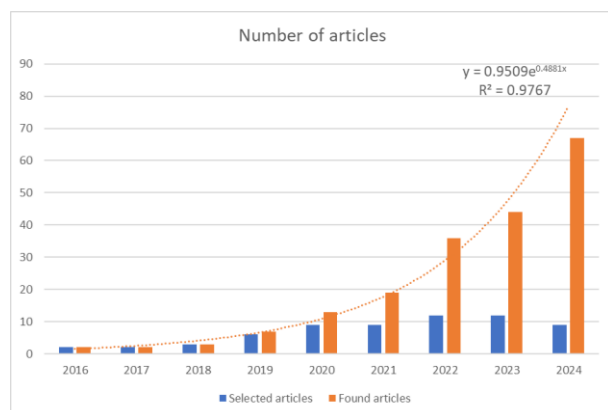
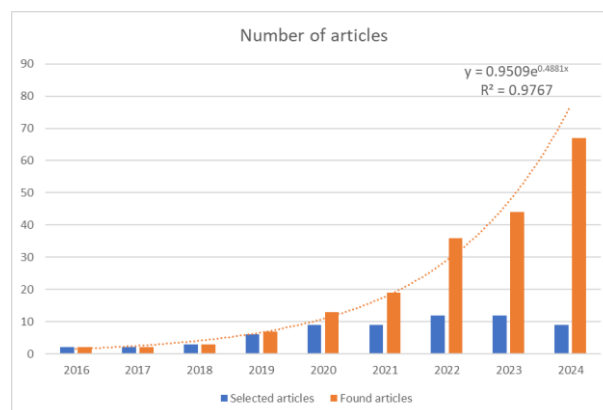


Figura 1. Numero di articoli risultanti dalla ricerca su Scopus suddiviso per anno, in blu gli articoli selezionati, mentre in arancione il totale dei risultati. La linea tratteggiata è una linea di tendenza esponenziale, con relativa equazione e R^2 , relativa al numero totale di risultati della ricerca.

zastopana Europa s 22 članki (34,4 %), sledile so splošno usmerjene študije in pregledi primerov iz različnih regij s 19 članki (29,7 %). Nato sledijo Severna Amerika z 9 članki (14,1 %), Azija s 6 (9,4 %), Afrika in Oceania s 3 (4,7 %) ter Južna Amerika z 2 (3 %).

Med posameznimi državami so najpogostejše zastopane Italija in Združene države Amerike, vsaka z 8 članki, sledi Združeno kraljestvo s 5, nato Portugalska in Vietnam s 3, ter Nemčija, Francija, Nizozemska in Španija z 2 člankoma. Države, ki jih obravnava samo en članek, so: Argentina, Avstralija, Bangladeš, Brazilija, Bolgarija, Kitajska, Gana, Indija, Moldavija, Romunija, Slovenija, Španija, Južna Afrika, Švedska, Turčija, Ukrajina in Madžarska.

Nekatere druge države so bile posredno omenjene kot del širših geografskih območij, za katera so bile opravljene analize: Evropa, Vzhodna Afrika, male otoške države v Indo-Pacifiku in Jugovzhodna Azija (Slika 2).



Slika 1. Število člankov, ki izhajajo iz iskanja v Scopusu, razdeljeno po letih, v modri barvi so izbrani članki, v oranžni pa skupno število rezultatov. Črtkana črta je eksponentna trendna črta s pripadajočo enačbo in R^2 , ki se nanaša na skupno število rezultatov iskanja.

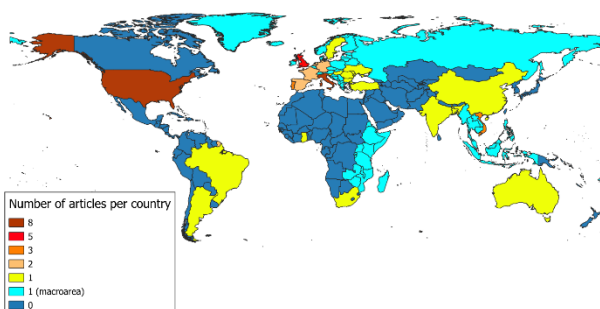
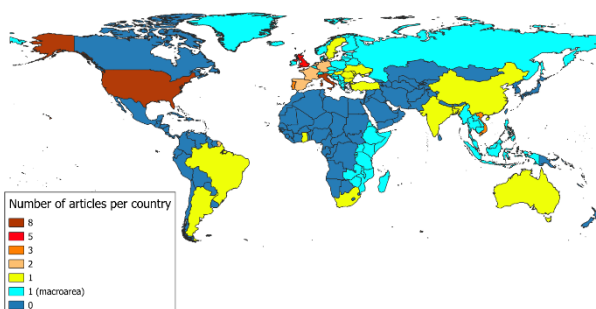


Figura 2. Ripartizione geografica degli articoli selezionati. In azzurro paesi che sono stati nominati in una review che interessava soltanto una macroarea geografica (in particolare Europa, Sud-est asiatico, piccole isole dell'Indo-Pacifico e Africa dell'est).



Slika 2. Geografska porazdelitev izbranih člankov. V svetlo modri barvi so države, ki so bile omenjene v pregledu, ki je zajemal samo eno geografsko makroregijo (zlasti Evropo, jugovzhodno Azijo, majhne otoke v Indo-Pacifiku in vzhodno Afriko).

3.2 Rischi affrontati negli articoli

Per quanto riguarda i rischi relativi al cambiamento climatico identificati per le aree costiere del Nord Adriatico, quelli più affrontati negli articoli selezionati sono di gran lunga gli allagamenti ("flooding"), siano essi causati da acque meteoriche o dall'innalzamento del livello del mare, con 44 articoli su 64 (68.8 %), seguiti dall'erosione costiera ("coastal erosion") con 17 (26.6 %) e dalla siccità ("drought") con 16 (25 %). Leggermente meno rappresentate le ondate di calore ("heatwaves") con 13 (20.3 %) e le mareggiate ("storm surges") con 10 (15.6 %). Infine solo due articoli (3.1 %) presentano soluzioni al problema della risalita del cuneo salino ("salinity intrusion") (Fig. 3).

Altri rischi evidenziati negli articoli analizzati, sono stati venti eccezionalmente forti (6.3 %), inquinamento, perdita di biodiversità, degradazione ambientale e flussi di fango, detriti e frane (4.7 % ognuno) e infine incendi boschivi e acidificazione degli oceani indicati ognuno in un singolo articolo (1.6 %) (Fig. 4). Questi rischi però non sono stati valutati come rilevanti per le aree marine del Nord Adriatico e/o non sono stati valutati come conseguenze

3.2 Tveganja, obravnavana v člankih

Med tveganji, povezanimi s podnebnimi spremembami, ki smo jih zaznali kot pomembna za obalna območja Severnega Jadrana, so bila v izbranih člankih najpogostejše obravnavana: poplave (flooding), bodisi zaradi obilnega deževja ali dviga morske gladine, s 44 članki od 64 (68,8 %), erozija obale (coastal erosion) s 17 članki (26,6 %), suša (drought) s 16 članki (25 %). Manj pogosto so bili obravnavani: vročinski valovi (heatwaves) v 13 člankih (20,3 %), neurja in ekstremni valovi (storm surges) v 10 člankih (15,6 %), vdor slane vode v podtalnico (salinity intrusion), ki ga obravnavata samo 2 članka (3,1 %) (Slika 3).

Poleg tega so članki še obravnavali druga tveganja, ki jih sicer nismo ocenili kot ključna za Severni Jadran, saj niso neposredno povezana s podnebnimi spremembami na tem območju: izjemno močni vetrovi (6,3 %), onesnaženje, izguba biotske raznovrstnosti, degradacija okolja ter blatni tokovi, plazovi in erozijo (vsako 4,7 %), gozdni požari in zakisanje oceanov, omenjeni v enem članku (1,6 %) (Slika 4).

dirette degli effetti del cambiamento climatico. Da notare che le percentuali riportate non sommano a 100 dato che ogni articolo pubblicato poteva discutere più di un rischio conseguente al cambiamento climatico.

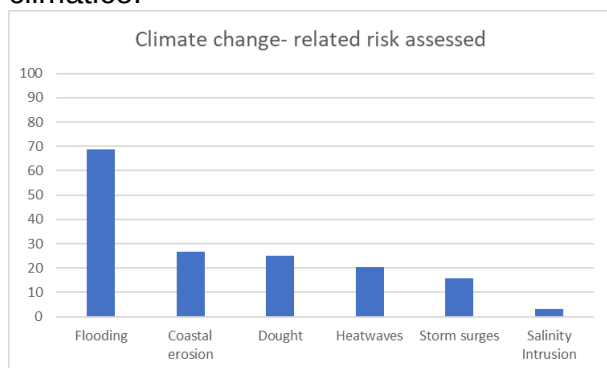
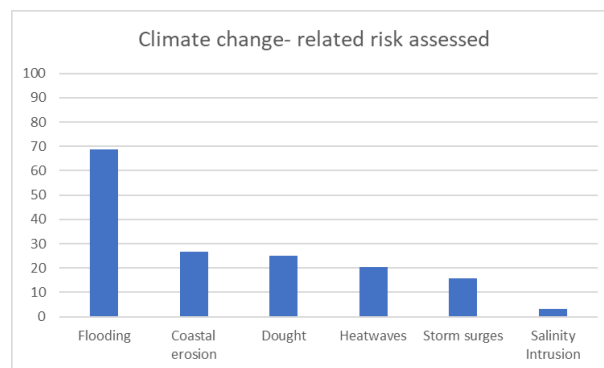


Figura 3. Percentuale di risultati che rispondono ad ognuno dei rischi associati al cambiamento climatico evidenziati per il Nord Adriatico oggetto della ricerca (da notare che le percentuali non sommano a 100 in quanto ogni articolo poteva trattare più di un rischio associato al cambiamento climatico).

Treba je poudariti, da seštevek odstotkov ne znaša 100, saj lahko posamezen članek obravnava več različnih tveganj, povezanih s podnebnimi spremembami.



Slika 3. Odstotek rezultatov, ki se odzivajo na vsako tveganje, povezano na podnebne spremembe, s poudarkom za območje severnega Jadrana, ki je predmet raziskave (opomba: odstotki se ne seštejejo v 100, saj je lahko vsak članek obravnaval več kot eno tveganje, povezano s podnebnimi spremembami).

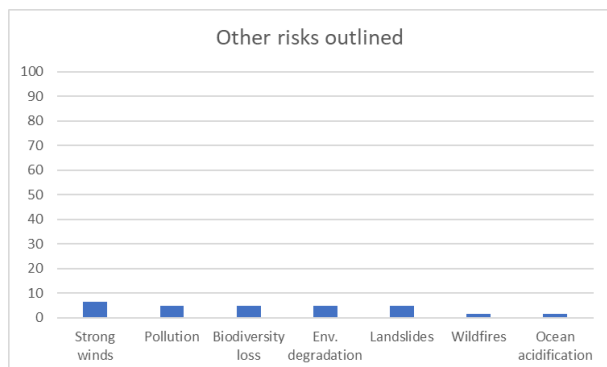
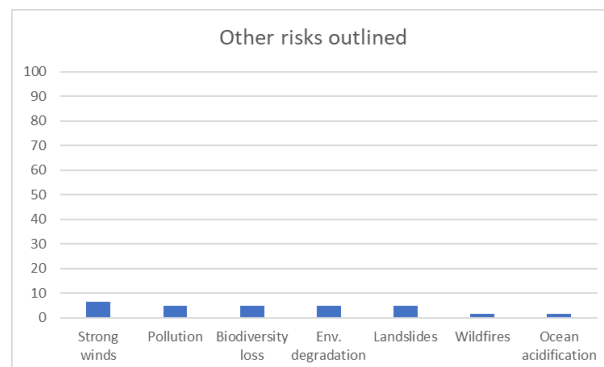


Figura 4. Percentuale di risultati che rispondono ad altri rischi associati al cambiamento climatico ritenuti non prioritari per il Nord Adriatico (da notare che le percentuali non sommano a 100 in quanto ogni articolo poteva trattare più di un rischio associato al cambiamento climatico).



Slika 4. Odstotek rezultatov, ki se odzivajo na druga tveganja, povezana s podnebnimi spremembami, ki niso bila ocenjena kot prednostna za severni Jadran (opomba: odstotki se ne seštejejo v 100, saj je lahko vsak članek obravnaval več kot eno tveganje, povezano s podnebnimi spremembami).

3.3 Rischio di allagamento

Più di due terzi degli articoli individuati nella ricerca bibliografica trattano il problema dell'allagamento, ma non tutti si focalizzano sulla stessa tipologia di rischio. Più della metà (61.4 %) affronta il problema legato all'esondazione dei corpi idrici superficiali come laghi e fiumi, e la gestione delle acque meteoriche, sia in ambito urbano, che peri-urbano e rurale, compito reso sempre più difficoltoso, nell'ottica del cambiamento climatico globale, dal fatto che i pattern di precipitazioni stanno diventando meno prevedibili e con un aumento degli eventi eccezionali. I restanti articoli affrontano invece il problema dell'allagamento costiero, dovuto all'innalzamento del livello del mare, conseguenza diretta del riscaldamento globale e dello scioglimento delle calotte polari e verranno trattati nel prossimo paragrafo.

La gestione delle acque meteoriche e delle esondazioni dei fiumi deve avvenire in modi differenti a seconda dell'area che vuole essere tutelata, con alcune soluzioni più adatte di altre a seconda del contesto di applicazione (Jessup et al. 2021). Per quanto riguarda il contesto rurale e periurbano, le principali soluzioni in tal senso possono essere raccolte sotto la classificazione di Runoff Attenuation Features (RAF) (Fennel et al. 2023; Ymer et al. 2024). Queste, più nello specifico consistono nella costruzione o nel ripristino delle aree umide (Fennel et al. 2023; Faivre et al. 2018; Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Capgras et al. 2023; Ramirez-Agudelo et al. 2020;), il rimboschimento di aree attigue ai corsi d'acqua, come accade in progetti di agroforestazione (Fennel et al. 2023), la manutenzione delle sponde dei fiumi (Sanchez & Govinbarajulu 2023), la predisposizione di aree pronte ad essere allagate in caso di eventi eccezionali, come

3.3 Tveganje poplav

Več kot dve tretjini člankov, zaznanih v bibliografski raziskavi, obravnava problem poplav, vendar se vsi ne osredotočajo na isto vrsto tveganja. Več kot polovica (61,4 %) se ukvarja s problemom, povezanim s poplavljanjem površinskih vodnih teles, kot so jezera in reke, ter upravljanjem meteornih voda, tako v mestnem kot primestnem in podeželskem okolju. Ta naloga postaja vse težja z vidika globalnih podnebnih sprememb, saj padavinski vzorci postajajo manj predvidljivi, saj se povečuje število izjemnih dogodkov. Preostali članki obravnavajo problematiko obalnih poplav zaradi dviga morske gladine, ki je neposredna posledica globalnega segrevanja in taljenja polarnih ledenih pokrovov, in bodo obravnavani v naslednjem odstavku.

Upravljanje meteornih voda in rečnih poplav mora potekati na različne načine glede na območje, ki ga želimo zaščititi, pri čemer so nekatere rešitve primernejše od drugih glede na kontekst uporabe (Jessup et al. 2021). Kar zadeva podeželje in primestno okolje, se lahko glavne rešitve v tem smislu uvrstijo v klasifikacijo značilnosti za blaženje odtoka (RAF) (Fennel et al. 2023; Ymer et al. 2024). Te bolj specifično vključujejo gradnjo ali obnovo mokrišč (Fennel et al. 2023; Faivre et al. 2018; Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Capgras et al. 2023; Ramirez-Agudelo et al. 2020), pogozdovanje območij ob vodotokih, kot se dogaja v projektih agrogozdarske dejavnosti (Fennel et al. 2023), vzdrževanje rečnih bregov (Sanchez & Govinbarajulu 2023), pripravo območij, pripravljenih na poplavljanje v primeru izjemnih dogodkov, kot so neobdelana polja in travniki (Ymer et al. 2024, Ferreira et al. 2020), ali prisotnost naravnih struktur, ki zagotavljajo

campi incolti e prati (Ymer et al. 2024, Ferreira et al. 2020), o la presenza di strutture naturali che garantiscono un rallentamento del flusso d'acqua e una parziale esondazione nel terreno circostante, alcuni esempi sono grossi tronchi d'albero, ammassi di grosse pietre o dighe naturali, come quelle dei castori (Gooden & Pritzlaff 2021; Norman et al. 2022).

In generale il paradigma principale è quello di rallentare il flusso dell'acqua. In tal modo si garantisce il rilascio graduale dell'energia potenziale accumulata nei volumi d'acqua, evitando conseguenze catastrofiche a valle e allo stesso tempo favorendo l'infiltrazione della stessa nelle falde acquifere, andando a ricaricarla e mantenendo mediamente una maggiore umidità del suolo, utile anche, negli ambienti più aridi, alla prevenzione di incendi e dell'erosione eolica col sollevamento di polveri e sabbia (Norman et al. 2022). Inoltre, nelle aree in cui viene aumentato il tempo di residenza dell'acqua, come paludi e stagni, avviene anche un processo di fitodepurazione dell'acqua e accumulo di carbonio ad opera della comunità vegetale (Hamel & Tan 2022). Infine le aree umide rappresentano anche un hotspot di biodiversità, attirando diverse specie, oltre a fornire anche benefici dal punto di vista paesaggistico e della fruibilità da parte delle persone.

Dagli articoli analizzati sembra che le aree umide siano migliori nel limitare le portate, nell'accumulo d'acqua e nel garantire una portata costante, anche in periodi di scarsità d'acqua rispetto agli interventi di riforestazione, i quali hanno principalmente un effetto di assorbimento, che è però limitato a grandi portate d'acqua (Fennel et al. 2023). Da uno studio effettuato in un bacino idrografico in Portogallo sembra che destinare alcuni campi incolti a raccolte temporanee d'acqua possa ridurre l'altezza dell'ondata di piena da un minimo di 2 fino a 23 centimetri nei centri abitati sottostanti

upočasnitev vodnega toka in delno poplavljanje okoliške zemlje, nekateri primeri so velika drevesna debla, kupi velikih kamnov ali naravni jezovi, kot so bobrovi jezovi (Gooden & Pritzlaff 2021; Norman et al. 2022).

Na splošno je glavna paradigma upočasnitev vodnega toka. Na ta način se zagotovi postopno sproščanje potencialne energije, nakopičene v vodnih volumnih, s čimer se preprečijo katastrofalne posledice v dolinah, hkrati pa se spodbuja infiltracijo v vodonosnike, s čimer se ti polnijo in ohranjajo povprečno večjo vlažnost tal, kar je koristno tudi v bolj sušnih okoljih. Na teh območjih se tako preprečuje požare in vetrne erozije, ki nastanejo z dviganjem prahu in peska (Norman et al. 2022). Poleg tega na območjih, kjer se poveča zadrževalni čas vode, kot so močvirja in ribniki, poteka tudi proces fitodepuracije vode in kopičenja ogljika s strani rastlinske skupnosti (Hamel & Tan 2022). Nazadnje, mokrišča predstavljajo tudi žarišče biodiverzitete, ki privablja različne vrste, poleg tega pa zagotavljajo tudi koristi z vidika krajine in uporabnosti za ljudi.

Iz analiziranih člankov se zdi, da so mokrišča učinkovitejša pri omejevanju pretokov, akumulaciji vode in zagotavljanju stalnega pretoka, tudi v obdobjih pomanjkanja vode, v primerjavi s pogozdovanjem, ki ima predvsem učinek absorpcije, ki pa je omejen na velike količine vode (Fennel et al. 2023). Študija, izvedena v porečju na Portugalskem, kaže, da lahko namenitev nekaterih neobdelanih polj za začasno zbiranje vode zmanjša višino poplavnega vala od najmanj 2 do 23 centimetrov v spodnjih naseljenih območjih (Ferreira et al. 2020), medtem ko je pregled

(Ferreira et al. 2020), mentre da una review sulle infrastrutture verdi e blu per il controllo delle inondazioni e la qualità dell'acqua nel sud-est asiatico è emerso che le strutture di bioritenzione naturali sono in grado di ridurre l'altezza del deflusso massimo fino al 94 % e il volume di deflusso fino al 75 % (anche se gli autori riportano che questi valori possono essere soggetti a grande variazione in assenza di adeguata manutenzione e di interventi progettati in modo non ottimale). Per quanto riguarda la qualità dell'acqua, queste strutture sono in grado di ridurre l'azoto totale fino al 82 % e il fosforo totale fino al 83 %, sottraendo tra il 53 % e il 92 % dei nutrienti e circa il 100 % del particolato sospeso (Hamel & Tan 2022).

La situazione è differente per quanto riguarda le aree urbane, dove il principale paradigma emerso dalla ricerca di articoli è stata quella dell'assorbimento dell'eccesso di deflusso in strutture permeabili, così da farlo defluire in modo controllato sottoterra e allo stesso tempo fornire un servizio di depurazione dell'acqua (concetto della Sponge City) (Dabrowska et al. 2023; Gearey 2018). A questo scopo le più svariate applicazioni sono state trovate nei risultati della ricerca. Le più adottate sono state i tetti verdi (green roofs) (Kalantari et al. 2018; Ferrario et al. 2024; Quagliolo et al. 2023; Zolch et al. 2017; Gearey 2018; Capgras et al. 2023; Ramirez-Agudelo et al. 2020), ma sono stati menzionati anche i muri verdi (green walls) (Kalantari et al. 2018; Gearey 2018), le biostuoie (bioswales) (Ferrario et al. 2024; Quagliolo et al. 2023; Lu et al. 2024), barili per la raccolta d'acqua con fondo permeabile (Alves et al. 2020) e costruzione di aree verdi in città (Faivre et al. 2018; Gearey 2018; Ramirez-Agudelo et al. 2020; Rigolon et al. 2024). Più complesso, ma comunque una soluzione che ha trovato riscontro è la creazione di aree umide in ambiente urbano (Oral et al. 2020; Gearey 2018; Capgras et al. 2023; Ramirez-

zelene in modre infrastrutture za nadzor poplav in kakovost vode v jugovzhodni Aziji pokazal, da so naravne strukture za bioretencijo sposobne zmanjšati višino največjega odtoka do 94 % ter volumen odtoka do 75 % (čeprav avtorji poročajo, da so te vrednosti lahko predmet velikih odstopanj v odsotnosti ustreznega vzdrževanja in neoptimalno zasnovanih posegov). Kar zadeva kakovost vode, so te strukture sposobne zmanjšati skupni dušik do 82 % in skupni fosfor do 83 %, pri čemer odstranijo med 53 % in 92 % hranil ter približno 100 % suspendiranih delcev (Hamel & Tan 2022).

Drugačno je stanje v urbanih območjih, kjer je glavna težava, ki izhaja iz raziskave člankov, absorpcija presežka odtoka v prepustne strukture, tako da se ta kontrolirano odvaja pod zemljo in hkrati zagotavlja storitev čiščenja vode (koncept mesta spužve) (Dabrowska et al. 2023; Gearey 2018). V ta namen so bile v rezultatih raziskave najdene najrazličnejše rešitve. Najbolj uporabljene so bile zelene strehe (Kalantari et al. 2018; Ferrario et al. 2024; Quagliolo et al. 2023; Zolch et al. 2017; Gearey 2018; Capgras et al. 2023; Ramirez-Agudelo et al. 2020), omenjene pa so bile tudi zelene stene (Kalantari et al. 2018; Gearey 2018), biokanali (Ferrario et al. 2024; Quagliolo et al. 2023; Lu et al. 2024), sodi za zbiranje vode s prepustnim dnom (Alves et al. 2020) in gradnja zelenih površin v mestih (Faivre et al. 2018; Gearey 2018; Ramirez-Agudelo et al. 2020; Rigolon et al. 2024). Bolj zapletena rešitev, vendar še vedno tista, ki je dobila odziv, je ustvarjanje mokrišč v urbanem okolju (Oral et al. 2020; Gearey 2018; Capgras et al. 2023; Ramirez-Agudelo et al. 2020), saj lahko v gosto poseljenih območjih ustvarjanje velikega mokrišča naleti na malo podpore ali celo nasprotovanje prebivalstva in povzroči

Agudelo et al. 2020), dato che in aree densamente popolate la creazione di un'area umida di grandi dimensioni può trovare poco supporto o anche l'avversione da parte della popolazione e generare disagi, oltre che benefici (come la proliferazione di zanzare), quindi in questi casi sembrano essere favorite soluzioni di dimensioni più esigue o aree che vengono inondate solo occasionalmente (Sanchez-Almodovar et al. 2023). Inoltre un'altro accorgimento può essere quello di raccogliere le acque reflue in sistemi chiusi (Sustainable Urban Drainage Systems) al doppio scopo di non sovraccaricare il sistema idrico superficiale e di migliorare la qualità dell'acqua dello stesso, sia in tempo di siccità che in tempo di pioggia tramite il trattamento separato delle acque reflue e la loro reimmissione graduale nel terreno, allo scopo di migliorare l'infiltrazione dell'acqua (Faivre et al. 2018; Ramirez-Agudelo et al. 2020; Sanchez-Almodovar et al. 2023). I tetti verdi sembrano essere l'opzione maggiormente accettata dalle popolazioni urbane e in generale sembrano avere un grande effetto nella riduzione del deflusso e i danni derivanti dalle forti piogge, fino al 32% ogni anno (Quagliolo et al. 2023) e sembrano essere più efficaci delle biostuoie a parità di superficie coperta (con il vantaggio di coprire superfici che avrebbero pochi possibili altri utilizzi) (Quagliolo et al. 2023; Ferrario et al. 2024), anche se alcuni studi sembrano essere in parziale disaccordo, dicendo che l'effetto di assorbimento dei tetti verdi è in realtà limitato e che comunque la soluzione migliore sarebbe quella di una sinergia tra tetti verdi e biostuoie, con una vegetazione densa, resistente alla siccità e di piccole dimensioni, che garantisce le maggiori performance di assorbimento nei tetti verdi (Zolch et al. 2017). Secondo un altro studio la superficie urbana che dovrebbe essere coperta di biostuoie per garantire un'efficace riduzione dell'acqua di deflusso

nevšečnosti poleg koristi (kot je razmnoževanje komarjev), zato se v teh primerih zdi, da imajo prednost manjše rešitve ali območja, ki so poplavljeni le občasno (Sanchez-Almodovar et al. 2023).

Poleg tega je lahko še un ukrep zbiranje odpadnih voda v zaprtih sistemih (trajnostni urbani drenažni sistemi) z dvojn timer namenom, da se ne preobremeni površinski vodni sistem in da se izboljša kakovost vode v njem, tako v sušnem kot deževnem obdobju preko ločene obdelave odpadnih voda z postopno drenažo vode v tla z namenom izboljšanja infiltracije vode (Faivre et al. 2018; Ramirez-Agudelo et al. 2020; Sanchez-Almodovar et al. 2023).

Zelene strehe se zdijo najbolj sprejemljiva možnost za mestno prebivalstvo in na splošno se zdi, da imajo velik učinek pri zmanjševanju odtoka vode ter škode, ki lahko nastane zaradi močnega deževja in sicer do 32 % na leto (Quagliolo et al. 2023) in predstavljajo učinkovitejšo rešitev od biomaterialov pri enaki pokritosti površine (s prednostjo pokrivanja površin, ki bi imele malo koristi v druge namene uporabe) (Quagliolo et al. 2023; Ferrario et al. 2024). Čeprav nekatere študije se delno ne strinjajo in pravijo, da je absorpcijski učinek zelenih streh dejansko omejen in da bi bila najboljša rešitev sinergija med zelenimi strehami in biomateriali, z gosto vegetacijo, odporno na sušo z majhno dimenzijo, ki bi zagotavljala največjo absorpcijsko zmogljivost na zelenih strehah (Zolch et al. 2017). Po drugi študiji bi moralo biti 4 % mestne površine pokrite z biomateriali, da bi zagotovili učinkovito zmanjšanje meteorne ga odtoka (Lu et al. 2024). Na enak način sodi s prepustnim dn timer niso zadostni kot prilagoditveni ukrep za boj proti izjemnimi padavinskimi dogodki, temveč bi jih morali dopolnjevati z naravni

meteorica è del 4% (Lu et al. 2024). Allo stesso modo i barili con fondo permeabile non sembrano essere sufficienti come misura di adattamento per contrastare eventi di pioggia eccezionale, ma andrebbero affiancati da bacini naturali di raccolta dell'acqua per massimizzare i benefici totali (Alves et al. 2020). Le infrastrutture verdi e blu in ambito urbano hanno anche altri benefici oltre alla prevenzione degli allagamenti, cioè quello di aumentare la biodiversità urbana, purificare l'aria e aumentare le zone d'ombra in città inducendo le persone ad adottare maggiormente il trasporto attivo, con conseguenti effetti benefici sulla salute (Rigolon et al. 2024).

Considerando gli adattamenti basati sugli ecosistemi per prevenire il rischio di allagamenti dovuto al cambiamento climatico, quello che emerge come considerazione generale è che c'è ancora molto spazio per la ricerca su questi temi, in quanto molto si può ancora fare riguardo alla quantificazione degli effetti positivi delle soluzioni basate sulla natura, non basandosi solo sulla prevenzione di rischi materiali, ma anche a tutti gli altri servizi ecosistemici forniti: di regolazione, approvvigionamento e culturali (Ferrario et al. 2024). Inoltre un altro modello che sembra star prendendo piede per quanto riguarda la gestione degli allagamenti dovuti a esondazioni e acque meteoriche è quello del controllo delle inondazioni a livello di bacino idrografico (Catchment Scale Flood Management), per il quale non è necessario effettuare pesanti interventi in aree urbane per prevenire il rischio nelle stesse, ma le misure possono essere prese a monte, in zone rurali, che presentano meno problemi per quanto riguarda la fattibilità e l'accettabilità delle misure intraprese. Allo stesso modo, misure come la conterminazione e fitodepurazione delle acque reflue delle città è una misura che avviene nelle stesse, ma a beneficiarne sono anche le aree rurali a valle (Ferreira

zbiralniki vode za povečanje skupnih koristi (Alves et al. 2020).

Zelena in modra infrastruttura v urbanem okolju ima poleg preprečevanja poplav tudi druge koristi, in sicer povečanje urbane biotske raznovrstnosti, čiščenje zraka in povečanje senčnih območij v mestih. Poleg tega spodbuja ljudi k večji fizični aktivnosti, s posledičnimi koristnimi učinki na zdravje (Rigolon et al. 2024).

Ob upoštevanju ekosistemskih prilagoditev za preprečevanje tveganja poplav zaradi podnebnih sprememb je splošna ugotovitev, da je še veliko prostora za raziskave na teh področjih, saj je možno še veliko storiti glede kvantifikacije pozitivnih učinkov rešitev, ki temeljijo na naravi, ne le na podlagi preprečevanja materialnih tveganj, temveč tudi vseh drugih zagotovljenih ekosistemskih storitev: regulacijskih, oskrbovalnih in kulturnih (Ferrario et al. 2024). Poleg tega se zdi, da se za upravljanja poplav v primeru hudourniških poplav uveljavlja še en model, in sicer obvladovanje poplav na ravni povodja, za katerega ni treba izvajati težkih posegov na urbanih območjih za preprečevanje tveganj na njih, ampak se lahko ukrepi izvajajo na podeželskih območjih, saj predstavljajo manj težav glede izvedljivosti in sprejemljivosti sprejetih ukrepov. Podobno so ukrepi, kot sta zadrževanje in fitodepuracija odpadnih voda iz mest, ukrep, ki se izvaja v njih, vendar imajo od njega koristi prav ruralna območja (Ferreira et al. 2020; Carter et al. 2024). V tem smislu so ključna primestna območja, ki delujejo kot povezava med gosteje poseljenimi območji in podeželskimi območji (Ramirez-Agudelo et al. 2020).

et al. 2020; Carter et al. 2024). Cruciali in tal senso sono le aree peri-urbane, che fungono da raccordo tra le zone più densamente popolate e le zone rurali (Ramirez-Agudelo et al. 2020).

Una collaborazione capillare e la consapevolezza tra tutte le parti interessate al fine di sviluppare una strategia unica per un certa area è essenziale, dato che l'accettabilità sociale è fondamentale per l'attuazione e il mantenimento di soluzioni basate sulla natura e sembra che allo stato attuale sia i tecnici che il pubblico non abbiano una buona percezione dei rischi del cambiamento climatico e le potenzialità delle infrastrutture verdi (Piazza & Ursino 2024; Sanchez & Govinbarajulu 2023). Una corretta allocazione delle misure di adattamento al cambiamento climatico basate sulla natura e la scelta della tipologia più adatta a seconda delle caratteristiche del luogo è essenziale per massimizzare gli effetti positivi (Jessup et al. 2021). Vari strumenti di modellistica sono disponibili a tale scopo come MIKE-SHE, SWAT, HEC-RAS, MUDFLOW, che vanno a stimare l'efficacia di strutture come tetti verdi, aree umide e stagni nella prevenzione delle alluvioni (Zimmermann et al. 2016; Kumar et al. 2021).

Una struttura di riferimento generale che è emersa dal materiale analizzato è la Flood Adaptation Hierarchy secondo la quale anzitutto va ridotto il rischio, tramite il ripristino di pianure alluvionali più naturali. In seguito il rischio va eliminato, riallocando le comunità lontano dalle aree pericolose, poi la causa del rischio va accomodata, con l'implementazione di misure attive e passive per la ritenzione idrica, per finire con un'ulteriore difesa di infrastrutture e persone tramite soluzioni di adattamento basate sugli ecosistemi e infrastrutture verdi (Peck et al. 2022).

Sodelovanje in ozaveščenost med vsemi zainteresiranimi stranmi za razvoj enotne strategije za določeno območje sta bistvena, saj je družbeni konsenz ključen za izvajanje in vzdrževanje rešitev, ki temeljijo na naravi, in zdi se, da trenutno niti strokovnjaki niti javnost nimajo dobrega dojemanja tveganj podnebnih sprememb in potenciala zelene infrastrukture (Piazza & Ursino 2024; Sanchez & Govinbarajulu 2023). Pravilna razporeditev ukrepov za prilagajanje podnebnim spremembam, ki temeljijo na naravi in izbira najprimernejše vrste glede na značilnosti kraja sta bistveni za povečanje pozitivnih učinkov (Jessup et al. 2021). V ta namen so na voljo različna orodja za modeliranje, kot so MIKE-SHE, SWAT, HEC-RAS, MUDFLOW, ki ocenjujejo učinkovitost struktur, kot so zelene strehe, mokrišča in zadrževalnikov pri preprečevanju poplav (Zimmermann et al. 2016; Kumar et al. 2021).

Splošna referenčna struktura, ki je izšla iz analiziranega gradiva, je hierarhija prilagajanja poplavam, po kateri je treba najprej zmanjšati tveganje z obnovo bolj naravnih poplavnih ravníc. Nato je treba tveganje odpraviti s prerazporeditvijo skupnosti stran od nevarnih območij, nato pa je treba vzrok tveganja prilagoditi z izvajanjem aktivnih in pasivnih ukrepov za zadrževanje vode ter končno z dodatno obrambo infrastrukture in ljudi z rešitvami za prilagajanje, ki temeljijo na ekosistemih in zeleni infrastrukturi (Peck et al. 2022).

3.4 Inondazioni marine, Erosione costiera, Mareggiate

In questa sezione si vanno ad analizzare le soluzioni basate sulla natura volte alla protezione delle linee di costa, dato che le azioni intraprese solitamente vanno a rispondere ai rischi di innalzamento del livello del mare, erosione costiera e forti mareggiate contemporaneamente. Per quanto riguarda le aree rurali o periurbane, ma anche le aree Natura 2000 ciò che è emerso dall'analisi del materiale selezionato è principalmente concentrato su interventi di conservazione o ingegneria gentile di habitat costieri come le dune costiere (Morris et al. 2019; Unguendoli et al. 2023; Castelle et al. 2019), le barene (Morris et al. 2019; Raw et al. 2021; Taylor-Burns et al. 2024), i banchi di ostriche (Jordan & Frohle 2022; Ysebaert et al. 2019) e le praterie di fanerogame e le foreste di macroalghe (Unguendoli et al. 2023; Van Well et al. 2023; Angus & Hansom 2021, Maiolo et al. 2020; Kindeberg et al. 2022). Per quanto riguarda i sistemi dunali, essi sono in grado di proteggere l'area retrodunale dall'ingressione di acqua marina, e in condizioni naturali dovrebbero essere in grado di migrare verso l'entroterra in caso di eccesso di erosione in modo tale che il loro effetto di protezione perduri anche al mutare delle condizioni, ma la loro capacità di farlo può essere ridotta nel caso in cui si tratti di dune costruite artificialmente in forme e posizioni innaturali rispetto alle normali dinamiche di deposizione di sedimento, tendendo all'erosione senza adattamento, dimostrando scarsa resilienza, oppure nel caso in cui l'area retrodunale sia molto cementificata e costituisca una barriera fisica alla migrazione delle dune, un processo noto come "coastal squeeze" (Castelle et al. 2019). Un intervento comunemente adottato è quello del ripascimento del litorale (Kindeberg et al. 2022; Maiolo et al.

3.4 Morske poplave, obalna erozija, neurja

V tem razdelku analiziramo rešitve, ki temeljijo na naravi in so namenjene zaščititi priobalnih območij, saj ukrepi običajno hkrati obravnavajo tveganja dviga morske gladine, obalne erozije in neurij. Kar zadeva podeželska ali primestna območja, pa tudi območja Natura 2000, se analiza izbranega gradiva osredotoča predvsem na ohranjanje ali blago inženirstvo obalnih habitatov, kot so obalne sipine (Morris et al. 2019; Unguendoli et al. 2023; Castelle et al. 2019), muljasti otočki (Morris et al. 2019; Raw et al. 2021; Taylor-Burns et al. 2024), ostrige (Jordan & Frohle 2022; Ysebaert et al. 2019) ter morske trave in rastišča makroalg (Unguendoli et al. 2023; Van Well et al. 2023; Angus & Hansom 2021, Maiolo et al. 2020; Kindeberg et al. 2022).

Kar zadeva sipinske sisteme, ti lahko ščitijo zaledje pred vdorom morske vode in v naravnih razmerah bi morale biti sposobne se seliti v notranjost v primeru prekomerne erozije, tako da bi se njihov zaščitni učinek ohranil tudi ob spremenjenih razmerah. Vendar je lahko njihova sposobnost tega zmanjšana, če gre za umetno zgrajene sipine v nenaravnih oblikah in položajih glede na običajno dinamiko usedanja sedimentov, kar vodi k eroziji brez prilagajanja in kaže slabo odpornost, ali če je zaledje močno betonirano in predstavlja fizično oviro za selitev sipin je proces znan kot "obalno stiskanje" (Castelle et al. 2019).

Pogosto sprejet ukrep je obnavljanje obale (Kindeberg et al. 2022; Maiolo et al. 2020; Van Well et al. 2023), vendar ta ukrep sam po sebi ni trajnosten, saj ga je treba

2020; Van Well et al. 2023), ma questo intervento da solo non è sostenibile, dovendo essere rinnovato periodicamente, con tempistiche dipendenti dalle caratteristiche di ogni sito preso in esame (Kindeberg et al. 2022), meglio se accompagnato da un ripristino della vegetazione dunale, che garantisca maggiore stabilità al sistema, sia direttamente tramite piantumazione che con azioni a favorirne l'insediamento: come fertilizzazione utilizzando piante e alghe marine spiaggiate o l'allontanamento del bestiame dall'area (nel caso si trattasse di un'area attigua a pascoli) (Angus & Hansom 2021).

Anche se da altri studi sembra che un'eccessiva copertura vegetale possa avere effetti controproducenti sulla biodiversità in quanto le dune essendo un habitat per sua essenza dinamico, ospitano una serie di specie, animali e vegetali, adattate a trarre vantaggio da questo dinamismo (Kindeberg et al. 2022). Alcune tecniche sperimentali per ripristinare una naturale evoluzione di sistemi dunali creati artificialmente o gestiti in maniera scorretta è quello di scavare incisioni perpendicolari alla linea di costa, così da favorire lo spostamento di materiale da e verso l'entroterra, garantendo una certa plasticità e adattabilità (Castelle et al. 2019). In particolare le dune sembrano essere migliori delle spiagge sabbiose nel proteggere da tempeste e innalzamento del livello del mare, riducendo l'area inondata tra il 50 % e il 75 % e riducendo l'altezza del fronte d'acqua dal 75 % fino al 99 % (Jordan & Frohle 2022; Unguendoli et al. 2023). Un'altra soluzione di adattamento al cambiamento climatico basata sugli ecosistemi consiste nella creazione o ripristino delle barene. Le barene sono ecosistemi costieri che vengono normalmente sommersi dalle escursioni di marea e per questo ricoperti da una vegetazione caratteristica la quale

periodicamente obnavljati, časovni okvir pa je odvisen od značilnosti vsakega obravnavanega območja (Kindeberg et al. 2022). Bolje je, če ga še spremlja obnova sipinske vegetacije, ki zagotavlja večjo stabilnost sistema, bodisi neposredno s sajenjem bodisi z ukrepi za spodbujanje naselitve: kot je gnojenje z naplavljenimi morskimi rastlinami in algami ali odstranjevanje živine z območja (v primeru, da gre za območje, ki meji na pašnike) (Angus & Hansom 2021).

Čeprav se zdi iz drugih študij, da ima lahko prekomerna vegetacijska pokritost neproduktivne učinke na biotsko raznovrstnost, saj so sipine po svoji naravi dinamičen habitat in gostijo vrsto živalskih in rastlinskih vrst, prilagojenih izkoriščanju te dinamike (Kindeberg et al. 2022).

Nekatere eksperimentalne tehnike za obnovev naravnega razvoja umetno ustvarjenih ali nepravilno upravljanjih sipinskih sistemov vključujejo kopanje zarez pravokotno na obalno črto, da se spodbudi premikanje materiala v notranjost in iz nje, kar zagotavlja določeno plastičnost in prilagodljivost (Castelle et al. 2019). Zlasti sipine se zdijo boljše od peščenih plaž pri zaščiti pred nevihtnim valovanjem in dvigom morske gladine, saj zmanjšujejo poplavljenno območje za 50 % do 75 % in zmanjšujejo višino vodne fronte od 75 % do 99 % (Jordan & Frohle 2022; Unguendoli et al. 2023).

Druga rešitev za prilagajanje podnebnim spremembam, ki temelji na ekosistemi, je ustvarjanje ali obnavljanje muljastih otočkov v brakičnih močvirjih. To so obalni ekosistemi, ki jih običajno poplavlja

smorza il moto ondoso favorendo la sedimentazione e riducendo l'erosione delle coste retrostanti. Si tratta quindi di una struttura plastica, in grado di aggiustare la propria quota in risposta all'innalzamento del livello del mare, sono per questo prese in grande considerazione in quanto esempio perfetto di adattamento basato sugli ecosistemi (le mangrovie svolgono un ruolo simile, ma essendo limitate alle fasce tropicali non sono state prese in considerazione nella seguente analisi) (Morris et al. 2019; Raw et al. 2021; Jordan & Frohle 2022).

La formazione di biotopi tipici di barena può essere favorito con la creazione di isolotti alla quota corretta, che saranno colonizzati spontaneamente in breve tempo, oppure allagando aree fino a quel momento separate dall'ingressione marina tramite arginature o sistemi dunali, che possono essere ad esempio vecchie saline in disuso (Raw et al. 2021), tramite un metodo noto come riallineamento guidato della linea di costa (managed realignment) che consiste appunto nello spostamento più verso l'entroterra della linea di difese litoranee, in modo tale che l'area nuovamente a disposizione dei movimenti di marea riesca a dissipare su una superficie maggiore l'energia del moto mareale e che sviluppi naturalmente un ambiente di barena, il quale è in grado di fornire maggiore protezione all'area retrostante, dato che le onde che si infrangono lungo un tratto di barena di 40 metri riducono in media la loro altezza del 20% (Schuerch et al. 2022; Morris et al. 2019). Inoltre sembra che i benefici in danni evitati da queste strutture aumentino con l'aumentare dell'innalzamento del livello del mare, con un aumento di 5 volte con un aumento di 0.5 metri e fino a 20 volte tanto con previsioni di 1.0 metro di innalzamento del livello del mare, rispetto alla situazione attuale (Taylor-Burns et al. 2024). Uno dei maggiori problemi riscontrati utilizzando questo approccio è

plimovanja in so zato coperti z značilno vegetacijo, ki blaži valovanje in spodbuja usedanje ter zmanjšuje erozijo obale v zaledju. Gre torej za prilagodljivo strukturo, ki lahko prilagodi svojo višino kot odziv na dvig morske gladine, zato se jih zelo upošteva kot popoln primer prilagajanja, ki temelji na ekosistemi (mangrove imajo podobno vlogo, vendar so omejene na tropska območja in zato niso bile upoštevane v tej analizi) (Morris et al. 2019; Raw et al. 2021; Jordan & Frohle 2022).

Nastanek tipičnih biotopov muljastih otočkov se lahko spodbudi z ustvarjanjem otočkov na pravi višini, ki bodo v kratkem času spontano kolonizirani ali pa s poplavljanjem območij, ki so bila do tedaj ločena od morskega vdora z nasipi ali sipinskimi sistemi, kot so na primer stare opuščene soline (Raw et al. 2021), z metodo, znano kot vodeno prerazporejanje obalne črte (managed realignment), ki vključuje premik zaščitne črte obal bolj v notranjost, tako da lahko na novo razpoložljivo območje za plimovanje razprši energijo gibanja morja na večji površini in naravno razvije muljaste otočke, ki lahko zagotovijo večjo zaščito zaledju, saj valovi, ki se lomijo vzdolž 40-metrskega odseka muljastih otočkov v povprečju zmanjšajo svojo višino za 20 % (Schuerch et al. 2022; Morris et al. 2019).

Poleg koristi, ki jih prinašajo te strukture v obliki preprečene škode se povečujejo z naraščanjem dviga morske gladine, s 5-kratnim povečanjem pri dvigu za 0,5 metra in do 20-kratnim povečanjem pri napovedih dviga morske gladine za 1,0 meter v primerjavi s trenutnim stanjem (Taylor-Burns et al. 2024). Eden glavnih problemov, s katerimi se srečujemo pri uporabi tega pristopa, je, da ga

che non sempre viene considerata accettabile dalle popolazioni, specialmente in ambienti storicamente di bonifica o dai proprietari terrieri, per i quali non è semplice trarre lo stesso beneficio da terreni inondati e campi coltivati o pascoli, anche se le opportunità ci sarebbero, ad esempio con attività di ecoturismo, andando a diversificare le fonti di reddito e quindi la resilienza delle popolazioni costiere (Liski et al. 2019). Per questo un coinvolgimento dei portatori di interesse è cruciale, anche se si tratta di un processo lungo e graduale che parte da informare i decisori locali, a coinvolgere la popolazione in modo attivo, fino ad ascoltarne i pareri e potenzialmente adottare soluzioni derivanti dalla conoscenza tradizionale locale (Vasseur et al. 2021). Altra considerazione importante è che sembra che pochi grandi interventi di riallineamento guidato abbiano un effetto maggiore di tanti piccoli, a parità di superficie e che è estremamente importante conoscere l'idrodinamica dell'area prima di effettuare gli interventi in quanto interventi mal progettati possono portare a conseguenza non volute e un aggravarsi della situazione erosiva (Schuerch et al. 2022; Morris et al. 2019).

Per quanto riguarda soluzioni basate sulla natura per prevenire i rischi dell'innalzamento del livello del mare, erosione e tempeste in area urbana, nella letteratura non c'è molto, dato che la maggior parte delle soluzioni viste finora prevede la costruzione o il ripristino di habitat costieri, cosa difficilmente applicabile in ambito urbano, ma alcune soluzioni sono state trovate, come la costruzione di pavimenti permeabili in corrispondenza dell'area a rischio di sommersione da parte delle mareggiate e che sembrano poter prevenire danni quasi del 50% (Clemente et al. 2024). Ma per il resto per la maggior parte sono nominate infrastrutture grigie o soluzioni ibride come ad esempio la costruzione di argini con

prebivalstvo ne sprejema vedno, zlasti v okoljih, ki so bila zgodovinsko izsušena, ali lastniki zemljišč, za katere ni enostavno doseči enake koristi od poplavljenih zemljišč in obdelanih polj ali pašnikov, čeprav bi priložnosti obstajale, na primer z ekoturističnimi dejavnostmi, z diverzifikacijo virov dohodka in s tem odpornosti obalnega prebivalstva (Liski et al. 2019). Zato je ključno vključevanje deležnikov, čeprav gre za dolg in postopen proces, ki se začne z obveščanjem lokalnih odločevalcev, aktivnim vključevanjem prebivalstva in končno s poslušanjem njihovih mnenj ter morebitnim sprejemanjem rešitev, ki izhajajo iz lokalnega tradicionalnega znanja (Vasseur et al. 2021).

Še ena pomembna ugotovitev je, da se zdi, da ima nekaj velikih posegov vodenega prerazporejanja večji učinek kot veliko majhnih, pri enaki površini, in da je izjemno pomembno poznati hidrodinamiko območja pred izvedbo posegov, saj lahko slabo načrtovani posegi privedejo do neželenih posledic in povečanje erozije (Schuerch et al. 2022; Morris et al. 2019).

Kar zadeva rešitve, ki temeljijo na naravi za preprečevanje tveganj dviga morske gladine, erozije in valovanja na urbanih območjih, v literaturi ni veliko, saj večina doslej obravnavanih rešitev vključuje gradnjo ali obnovo obalnih habitatov, kar je težko izvedljivo v urbanem okolju, vendar so bile najdene nekatere rešitve, kot je gradnja prepustnih tal na območjih, ogroženih zaradi poplavljanja morja, ki naj bi preprečila skoraj 50 % škode (Clemente et al. 2024). Vendar pa so večinoma omenjene sive infrastrukture ali hibridne rešitve, kot je gradnja nasipov (v kombinaciji s sipinsko vegetacijo, slanimi močvirji ali mangrovami) (Rana et al. 2022) ali uporaba sivih infrastruktur kot začasne blažilne rešitve, ki naj bi jo nato nadomestili

burghe (accoppiati a vegetazione dunale, di barena o mangrovie) (Rana et al. 2022) o l'utilizzo di infrastrutture grigie come soluzione tampone temporanea, da essere poi sostituita da interventi basati sugli ecosistemi con un'aspettativa di durata molto maggiore e minor bisogno di manutenzione (Maiolo et al. 2020). In generale però le infrastrutture grigie non sembrano risolvere bene il problema, come ad esempio i muraglioni marini, che si possono fornire una soluzione per aree densamente popolate, ma non sono assolutamente plastici e necessitano di importante manutenzione, oltre ad aggravare i problemi di erosione nelle aree antistanti non protette (Nunn et al. 2021). Un altro esempio sono le successioni di pennelli, che si dimostrano meno efficaci dei ripascimenti del litorale per limitare l'erosione (Hagedoorn et al. 2021), oppure interventi su più larga scala come la chiusura al movimento di marea di ampie aree (similmente a quanto avviene in laguna di Venezia con il MOSE), queste soluzioni si dimostrano spesso non buone in quanto se è vero che possono ridurre i danni alle comunità costiere per limitati innalzamenti del livello del mare d'altro canto riduce la qualità dell'acqua e dell'habitat. Al suo posto possono essere impiegate difese costiere basate sulla natura, come ad esempio i banchi di ostriche, i quali richiedono meno manutenzione e forniscono più benefici accessori (Kirshen et al. 2020).

In ogni caso, la soluzione definitiva per le comunità costiere nell'ottica di adattamento al cambiamento climatico sarebbe quella del trasferimento in aree a quota maggiore, come già è stato auspicato per alcune realtà più piccole e rurali, ma si scontra con grandi interessi economici e problemi logistico-gestionali e politici se si parla di centri più grandi (Duvat et al. 2022).

Andando ora ad analizzare soluzioni applicabili al largo, e quindi adatte a

z ecosistemskimi posegi z veliko daljšo pričakovano življenjsko dobo in manjšo potrebo po vzdrževanju (Maiolo et al. 2020).

Na splošno pa se zdi, da sive infrastrutture ne rešujejo dobro problema, kot na primer morski zidovi, ki sicer lahko zagotovijo rešitev za gosto poseljena območja, vendar sploh niso plastični in zahtevajo veliko vzdrževanja, poleg tega pa poslabšujejo problem erozije na nezaščitene območjih pred njimi (Nunn et al. 2021). Še en primer so zaporedja pomolov, ki so se izkazala za manj učinkovita od obnavljanja obale pri omejevanju erozije (Hagedoorn et al. 2021), ali posegi v večjem obsegu, kot je zapiranje velikih območij pred plimovanjem morja (podobno kot se dogaja v Beneški laguni z MOSE), te rešitve se pogosto izkažejo za neustrezne, saj če res lahko zmanjšajo škodo obalnim skupnostim pri omejenem dvigu morske gladine, po drugi strani zmanjšujejo kakovost vode in habitata. Namesto tega se lahko uporabijo obalne obrambe, ki temeljijo na naravi, kot so na primer grebeni ostrig, ki zahtevajo manj vzdrževanja in zagotavljajo več dodatnih koristi (Kirshen et al. 2020).

V vsakem primeru bi bila dokončna rešitev za obalne skupnosti v smislu prilagajanja podnebnim spremembam selitev na območja z višjo nadmorsko višino, kot je že bilo predlagano za nekatere manjša poseljena območja, vendar s tem se spopademo tudi z velikimi ekonomskimi interesi ter logistično-upravnimi in političnimi problemi, ko govorimo o večjih središčih (Duvat et al. 2022).

Če zdaj analiziramo rešitve, ki jih je mogoče uporabiti v širšem in so zato

proteggere sia aree urbane che aree rurali abbiamo anzitutto le praterie di fanerogame marine, le quali, grazie ai loro rizomi sotterranei, svolgono una funzione stabilizzatrice del substrato. Esse possono essere considerate complementari ai sistemi dunali in quanto stabilizzano il piede della duna e riducono l'erosione della stessa sia smorzando direttamente la forza delle onde che formando un accumulo di materiale sulla battigia che intrappolando il sedimento prima che venga trasportato al largo e che fornisce materiale organico che va a sostenere una maggiore biodiversità litoranea (Kindeberg et al. 2022; Maiolo et al. 2020). Esse sono in grado di ridurre l'intensità delle onde dal 32 % all' 89%, l'arretramento costiero fino al 55% e il volume eroso fino al 50% (Unguendoli et al. 2023). Gli interventi di ripristino di queste praterie però vanno progettati accuratamente, dato che se non sono ben note le condizioni di sedimentazione delle aree in oggetto si può rischiare che i ripristini falliscano col seppellimento delle piantine sotto la sabbia (Van Well et al. 2023). Quando effettuati correttamente però forniscono un enorme contributo dal punto di vista di altri servizi ecosistemici, di fitodepurazione, supporto alla biodiversità e approvvigionamento, dato che molte specie utilizzano questi ambienti per nutrirsi e come aree di accrescimento degli stadi giovanili. Altre strutture che garantiscono una protezione dall'erosione costiera sono i banchi di ostriche che agiscono come frangiflutti sommersi naturali (le barriere coralline agiscono in modo simile, ma essendo ristrette alle acque tropicali non sono state oggetto di questa analisi). La presenza di un banco di ostriche garantisce oltre ad un'attenuazione dell'energia delle onde, anche una stabilizzazione del substrato e la creazione di un habitat per vari organismi, andando ad aumentare la biodiversità dell'area (Jordan & Frohle 2022). Queste scogliere naturali vanno a

primerne za zaščito tako urbanih kot podeželskih območij, imamo najprej travnike morskih trav, ki zaradi svojih podzemnih rizomov delujejo kot stabilizator substrata. Lahko jih štejeemo za dopolnilo sipinskim sistemom, saj stabilizirajo vznožje sipine in zmanjšujejo njeno erozijo tako, da neposredno blažijo silo valov kot tudi z oblikovanjem kopičenja materiala na obali, ki ujame sediment, preden se prenese na odprto morje, in zagotavlja organski material, ki podpira večjo obalno biotsko raznovrstnost (Kindeberg et al. 2022; Maiolo et al. 2020). Zmožni so zmanjšati intenzivnost valov od 32 % do 89 %, obalno umikanje do 55 % in erozijski volumen do 50 % (Unguendoli et al. 2023). Vendar je treba posege za obnovo teh travnikov skrbno načrtovati, saj če sedimentacijski pogoji na zainteresiranih območjih niso dobro znani, obstaja tveganje, da obnova ne uspe zaradi zasutja sadik s peskom (Van Well et al. 2023). Ko pa se pravilno izvedejo, zagotavljajo ogromen prispevek z vidika drugih ekosistemskih storitev, fitodepuracija, podpore biotski raznovrstnosti in oskrbe, saj številne vrste uporabljajo ta okolja za prehranjevanje in kot območja za rast mladostnih stadijev.

Druge strukture, ki zagotavljajo zaščito pred obalno erozijo, so grebeni ostrig, ki delujejo kot naravni podvodni valobrani (koralnimi grebeni delujejo podobno, vendar so omejeni na tropske vode in zato niso bili predmet te analize). Prisotnost grebena ostrig poleg blaženja energije valov zagotavlja tudi stabilizacijo substrata in ustvarjanje habitata za različne organizme, s čimer se povečuje biotska raznovrstnost območja (Jordan & Frohle 2022). Ti naravni grebeni pomembno spreminjajo hidrodinamiko območja, kjer so prisotni s pozitivnimi učinki, ki lahko

modificare in modo importante l'idrodinamica dell'area in cui sono presenti, con gli effetti positivi che possono arrivare anche a centinaia di metri da dove viene effettuata l'azione (Ysebaert et al. 2019).

Da una review di casi studio è emerso che in ambito costiero circa la metà degli interventi riguarda ripristini ambientali, il 20% riallineamento costiero guidato e il 19% creazione di nuovi habitat. Circa due terzi impiegano soluzioni ibride, mentre il restante soluzioni interamente naturali. Tre quarti menzionano interventi di monitoraggio dopo la fine del progetto, il che è essenziale in ottica di adattamento, però meno della metà ha fornito dati quantitativi a supporto dell'efficacia delle misure adottate, il che è un dato che si può assolutamente migliorare, definendo in maniera più rigorosa i parametri da analizzare (Morales et al. 2021). Nonostante ci siano vari modelli matematici disponibili per quantificare l'effetto teorico di protezione offerta dagli ecosistemi costieri sulla linea di costa: ad es. SWAN, TELEMAC, Xbeach e ADCIRC (Kumar et al. 2021), questo dato deve essere ancora del tutto confermato da dati empirici. Un modo per aumentare la protezione e il ripristino di queste aree è di sicuro quello di istituire più aree marine protette (MPA) e di sviluppare sistemi di governance e politiche che favoriscano questo tipo di habitat (Morris et al. 2019). Questo però non può essere sufficiente, dato che se è vero che gli habitat naturali in generale possono ridurre di due volte e mezzo il rischio per le aree costiere, perdere tutti quelli situati in aree non protette annulla i benefici di quelli situati in aree protette, come emerge da uno studio effettuato sulle coste brasiliane, delle quali solo il 10% è sotto qualche forma di protezione (Mares et al. 2023).

segajo tudi do več sto metrov od mesta, kjer se izvaja ukrep (Ysebaert et al. 2019).

Iz pregleda študij primerov je razvidno, da se na obalnem območju približno polovica posegov nanaša na okoljske obnove, 20 % na vodeno obalno prerazporejanje in 19 % na ustvarjanje novih habitatov. Približno dve tretjini uporabljata hibridne rešitve, preostali del pa popolnoma naravne rešitve. Tri četrtine omenjajo ukrepe spremljanja po koncu projekta, kar je bistveno z vidika prilagajanja, vendar je manj kot polovica zagotovila kvantitativne podatke v podporo učinkovitosti sprejetih ukrepov. Ta podatek ga je mogoče absolutno izboljšati z bolj strogo opredelitvijo parametrov, ki jih je treba analizirati (Morales et al. 2021).

Čeprav so na voljo različni matematični modeli za kvantificiranje teoretičnega zaščitnega učinka, ki ga obalni ekosistemi nudijo obalni črti: npr. SWAN, TELEMAC, Xbeach in ADCIRC (Kumar et al. 2021), je treba ta podatek še v celoti potrditi z empiričnimi podatki. Eden od načinov za povečanje zaščite in obnove teh območij je zagotovo ustanovitev več zavarovanih morskih območij (MPA) in razvoj sistemov upravljanja in politik, ki spodbujajo tovrstne habitate (Morris et al. 2019). Vendar to ne more biti dovolj, saj če drži, da lahko naravni habitat na splošno zmanjšajo tveganje za obalna območja za dvakrat in pol, izguba vseh tistih, ki se nahajajo na nezaščitenih območjih, izniči koristi tistih, ki se nahajajo na zaščitenih območjih, kot izhaja iz študije, izvedene na brazilskih obalah, od katerih je le 10 % pod neko obliko zaščite (Mares et al. 2023).

3.5 Siccità

Per quanto riguarda le soluzioni basate sulla natura per contrastare il rischio di siccità, esse sono in buona parte sovrapponibili con quanto già visto per il rischio di allagamento, in quanto in linea generale si tende ad adottare il medesimo paradigma, cioè quello di rallentare il flusso d'acqua, per garantire una miglior infiltrazione e imbibizione del suolo. Molte di queste soluzioni sono state già discusse ampiamente e qui ci limiteremo a parlarne brevemente. Fuori dagli ambienti urbani la migliore soluzione sembra essere quella di costruire o ripristinare ambienti umidi come paludi, stagni o laghi, i quali possono servire sia come riserva d'acqua per momenti di grave emergenza, un ricaricamento delle falde acquifere e offrono anche un importante servizio di supporto alla biodiversità (Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020), in modo simile possono agire estensioni di terreno predisposte per essere allagate alla bisogna, se una parte di esse è progettata per mantenere costantemente una zona umida (Ymer et al. 2024). Questo può essere ottenuto mediante lavori ingegneristici ad hoc, con lo scavo di strutture di detenzione di acqua lasciate poi ad evolvere naturalmente, o creando sbarramenti lungo i corsi d'acqua utilizzando materiali naturali come legname e pietre (Fennel et al. 2023; Norman et al. 2022; Gooden & Pritzlaff 2021). Alle misure adottate per aumentare la disponibilità di acqua nei momenti di bisogno si affiancano metodi per ridurre il consumo, specialmente in ambito agricolo, come ad esempio l'agroforestazione, che oltre ad aumentare la ritenzione d'acqua nel terreno, favorisce una diversificazione dell'habitat a supporto della biodiversità rurale (Ramirez-Agudelo et al. 2020; Nassary et al. 2022), un altro esempio è la diversificazione delle colture, con un sistema misto tra piante annuali e perenni

3.5 Suša

Kar zadeva rešitve, ki temeljijo na naravi za boj proti tveganju suše, se te v veliki meri prekrivajo s tistimi, ki smo jih že videli v prejšnjem poglavju tveganje poplav, saj se na splošno težijo k uporabi iste metodologije, to je upočasnjevanje vodnega toka, da se zagotovi boljšo infiltracijo in namočenost tal. Mnoge od teh rešitev so bile že obširno obravnavane in tukaj se bomo omejili zgolj na kratko razpravo.

Zunaj urbanih okolij se zdi, da je najboljša rešitev gradnja ali obnova mokrišč, kot so močvirja, ribniki ali jezera, ki lahko služijo kot vodna rezerva za trenutke izjemne suše, polnijo podtalnico in nudijo tudi pomembno storitev podpore biotski raznovrstnosti (Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020). Podobno lahko delujejo razširitve zemljišč, pripravljene za poplavljanje po potrebi, če je del njih zasnovan tako, da stalno ohranja mokrišče (Ymer et al. 2024). To se lahko doseže s posebnimi inženirskimi deli, z izkopom struktur za zadrževanje vode, ki se nato prepustijo naravnemu razvoju, ali z ustvarjanjem pregrad vzdolž vodotokov z uporabo naravnih materialov, kot sta les in kamenje (Fennel et al. 2023; Norman et al. 2022; Gooden & Pritzlaff 2021).

Poleg ukrepov za povečanje razpoložljivosti vode v času potrebe obstajajo tudi metode za zmanjšanje njene porabe, zlasti v kmetijstvu, kot je na primer agrozgledarska dejavnost, ki poleg povečanja zadrževanja vode v tleh spodbuja tudi diverzifikacijo habitata v podporo podeželski biotski raznovrstnosti (Ramirez-Agudelo et al. 2020; Nassary et al. 2022). Še en primer je diverzifikacija pridelkov z mešanim sistemom enoletnih in trajnih rastlin, ki se je izkazal na dolgi rok

che si è dimostrato più efficiente nel lungo periodo per far fronte ad una disponibilità d'acqua imprevedibile: in caso di siccità il danno economico nell'abbandonare una coltura perenne è molto maggiore di quello che si avrebbe con una coltura annuale, quindi la soluzione più resiliente sarebbe quella di adottare una quantità di colture perenni che siano sostenibili anche in caso di scarsa disponibilità d'acqua e coltivare il restante a piante annuali, le quali possono essere abbandonate in una misura basata sulla possibilità di irrigare di anno in anno (Adamson et al. 2017).

In ambito urbano alcune soluzioni basate sulla natura per ridurre il deflusso e promuovere l'infiltrazione nel suolo dell'acqua meteorica sono aree verdi urbane (Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020; Ferreira et al. 2021; Nassary et al. 2022), tetti e muri verdi (Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020), biostuoie (Quagliolo et al. 2023) e sistemi di trattamento sostenibile delle acque reflue (Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020). Tutte queste soluzioni si inseriscono, come sopra riportato, nel più ampio concetto di Sponge City, con maggiore umidità trattenuta nel suolo, sistemi di infiltrazione dell'acqua nelle falde acquifere e contemporanea fitodepurazione, aumento della biodiversità urbana e salute della popolazione (Dabrowska et al. 2023).

Importante è capire tramite modelli di rischio quali siano le zone potenzialmente più soggette ad eventi siccitosi e sulle quali agire prioritariamente (Villani et al. 2022), ma nonostante siano disponibili vari modelli per quantificare gli effetti delle infrastrutture verdi nel mitigare la mancanza d'acqua come ParFlow-TREES, ACRU e SIMGRO (Kumar et al. 2021), pochi dati empirici al riguardo sono disponibili sull'effettiva efficacia di queste misure (Sahani et al. 2019). In generale comunque il metodo migliore per far fronte

za učinkovitejšega pri soočanju z nepredvidljivo razpoložljivostjo vode: v primeru suše je gospodarska škoda pri opustitvi trajnega posevka veliko večja od tiste, ki bi jo imeli z enoletnim posevkom, zato bi bila najbolj odporna rešitev sprejeti količino trajnih posevkov, ki bi bili vzdržni tudi v primeru pomanjkanja vode, in preostanek gojiti z enoletnimi rastlinami, ki jih je mogoče opustiti v obsegu, ki temelji na možnosti namakanja iz leta v leto (Adamson et al. 2017).

V urbanem okolju so nekatere rešitve, ki temeljijo na naravi za zmanjšanje odtoka in spodbujanje infiltracije meteorne vode v tla urbane zelene površine (Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020; Ferreira et al. 2021; Nassary et al. 2022), zelene strehe in stene (Kalantari et al. 2018; Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020), biokanali (Quagliolo et al. 2023) in sistemi trajnostnega čiščenja odpadnih voda (Oral et al. 2020; Ramirez-Agudelo et al. 2020). Vse te rešitve se, kot je navedeno zgoraj, umeščajo v širši koncept mesta spužve, z večjo vlažnostjo, zadržano v tleh, sistemi infiltracije vode v vodonosnike in hkratnim fitodepuracije, povečanjem urbane biotske raznovrstnosti in zdravjem prebivalstva (Dabrowska et al. 2023).

Pomembno je razumeti z modeli tveganja, katera območja so potencialno bolj izpostavljena sušnim dogodkom in na katerih je treba prednostno ukrepati (Villani et al. 2022), vendar kljub temu, da so na voljo različni modeli za kvantificiranje učinkov zelene infrastrukture pri blaženju pomanjkanja vode, kot so ParFlow-TREES, ACRU in SIMGRO (Kumar et al. 2021), je na voljo malo empiričnih podatkov o dejanski učinkovitosti teh ukrepov (Sahani et al. 2019). Na splošno pa je najboljši način za obvladovanje ekstremnih

ad eventi di siccità estrema è un fine coordinamento a livello di intero bacino idrografico, coinvolgendo e mettendo in comunicazione tutti i portatori di interesse dalla sorgente alla foce, così da avere un gran numero di informazioni, che unitamente ai dati idrometeorologici, possano garantire una buona gestione globale della risorsa; rilasciando acqua dalle riserve montani alla bisogna, controllando prelievi illegali e allo stesso tempo migliorando i sistemi di irrigazione e di conservazione dell'acqua (Musolino et al. 2019).

3.6 Ondate di calore

Le ondate di calore sono condizioni meteorologiche estreme che si verificano quando si registrano temperature molto elevate per più giorni consecutivi, spesso associati a tassi elevati di umidità, forte irraggiamento solare e assenza di ventilazione; tali condizioni rappresentano un rischio per la salute della popolazione (Ministero della Salute, 2024) e per la biodiversità. In ambito urbano, il calore è assorbito dai materiali da costruzione, come asfalto e cemento e viene riemesso continuamente, creando una cosiddetta isola di calore urbana (Urban heat island) (Pappalardo et al. 2023). Per limitare questo fenomeno le soluzioni più impiegate sono infrastrutture verdi urbane. Le piante infatti sono in grado di abbassare sensibilmente la temperatura nei loro paraggi: assorbono energia solare per la fotosintesi, rilasciando vapore acqueo contribuiscono a rinfrescare l'aria e le foglie non ostacolano la ventilazione (Elliot et al. 2020). Le tipologie di aree verdi nominate sono parchi, aiuole e argini alberati (Rigolon et al. 2024; Clemente et al. 2024; Brink et al. 2016), tetti verdi (Ferrario et al. 2024; Zulch et al. 2017; Marvuglia et al. 2020) e biocaditoie (bioswales) (Ferrario et al. 2024). Da evidenze empiriche sembra che le aree alberate garantiscano un

sušnih dogodkov usklajeno delovanje na ravni celotnega hidrološkega porečja, ki vključuje in povezuje vse zainteresirane vnosnike od izvira do izliva, tako da omogoči zbiranje številnih informacij, ki bodo skupaj z hidrološkimi in meteorološkimi podatki zagotovile dobro globalno upravljanje z vodo. V primeru potrebe sproščanje vode iz gorskih rezerv, nadzorovanje nezakonitega črpanja in hkrati izboljšanje sistemov za namakanje ter varčevanja z vodo (Musolino et al. 2019).

3.6 Vročinski valovi

Vročinski valovi so ekstremni vremenski pojavi, ki se pojavijo, ko več zaporednih dni beležimo zelo visoke temperature. Pogosto so povezani z visoko stopnjo vlažnosti, močnim sončnim sevanjem in odsotnostjo vetra. Takšni pogoji predstavljajo tveganje za zdravje prebivalstva (Ministrstvo za zdravje, 2024) in za biotsko raznovrstnost. V urbanem okolju gradbeni materiali, kot sta asfalt in beton, absorbirajo toploto in jo neprestano oddajajo, s čimer ustvarjajo tako imenovani urbani toplotni otok (Urban heat island) (Pappalardo et al. 2023). Za omejevanje tega pojava se najpogosteje uporabljajo urbane zelene infrastrukture. Rastline lahko namreč občutno znižajo temperaturo v svoji okolici: absorbirajo sončno energijo za fotosintezo, s sproščanjem vodne pare prispevajo k hlajenju zraka, listi pa ne ovirajo prezračevanja (Elliot et al. 2020). Omenjene vrste zelenih površin so parki, cvetlične grede in nasipi z drevesi (Rigolon et al. 2024; Clemente et al. 2024; Brink et al. 2016), zelene strehe (Ferrario et al. 2024; Zulch et al. 2017; Marvuglia et al. 2020) in biokanali (bioswales) (Ferrario et al. 2024).

Empirični dokazi kažejo, da drevesna območja zagotavljajo večji učinek znižanja temperature v primerjavi z drugimi, in da na

maggior effetto di riduzione della temperatura rispetto alle altre, e che in generale le soluzioni basate sulla natura riducano la temperatura in modo maggiore in estate e nelle ore più calde e che il maggior raffreddamento si raggiunge in caso di soluzioni ibride verdi e blu, come ad esempio parchi fluviali, argini alberati o laghetti urbani (Sahani et al. 2023). Varie conferme arrivano anche dal punto di vista modellistico circa la funzionalità di queste soluzioni nel ridurre la temperatura, utilizzando ad esempio i modelli ENVI-met e WRF che vanno ad analizzare l'efficacia delle infrastrutture verdi (Kumar et al. 2021). Questa riduzione nella temperatura ha effetti positivi sulla vivibilità delle città e sulla salute delle persone: sia diretti come la riduzione della mortalità, specialmente nelle fasce a rischio come neonati e anziani (Marvuglia et al. 2021), sia indiretti, rendendo più sostenibili spostamenti attivi come camminata e bicicletta, rispetto ai mezzi a motore (Rigolon et al. 2024).

3.7 Intrusione salina

Poco riscontro c'è stato nei risultati della ricerca per quanto riguarda soluzioni basate sugli ecosistemi per l'adattamento al rischio di risalita del cuneo salino. Il motivo probabile è che esso rappresenta un problema esteso in poche aree geografiche (gli articoli analizzati fanno riferimento a Bangladesh e Vietnam), dato che solitamente è concentrato nelle aree della foce dei fiumi e nell'ultimo tratto di grandi pianure alluvionali che non ricevono sufficienti precipitazioni. I paper analizzati suggeriscono di adattarsi alle nuove condizioni invece di tentare di arginarle, a parte qualche timida proposta in un articolo relativo alla gestione idrica del fiume Po, che suggerisce la costruzione di barriere, ma senza approfondire l'argomento (Musolino et al. 2019).

La problematica in ogni caso è molto impattante, con il 27% delle persone che è

splošno rešitve, ki temeljijo na naravi, bolj učinkovito znižujejo temperaturo poleti, v najtoplejših urah ter da se največje hlajenje doseže v primeru hibridnih zelenih in modrih rešitev, kot so rečni parki, nasipi z drevesi ali mestna jezera (Sahani et al. 2023).

Številne potrditve prihajajo tudi z vidika modeliranja glede funkcionalnosti teh rešitev pri zniževanju temperature, na primer z uporabo modelov ENVI-met in WRF, ki analizirajo učinkovitost zelene infrastrukture (Kumar et al. 2021). To znižanje temperature ima pozitivne učinke na bivalno kakovost mest in zdravje ljudi: tako neposredne, kot je zmanjšanje smrtnosti, zlasti v rizičnih skupinah, kot so novorojenčki in starejši (Marvuglia et al. 2021), kot posredne, saj postanejo aktivni načini premikanja, kot sta hoja in kolesarjenje, bolj trajnostni v primerjavi z motornimi vozili (Rigolon et al. 2024).

3.7 Vdor slane vode

V rezultatih raziskave je bilo malo odziva glede rešitev, ki temeljijo na ekosistemi za prilagajanje tveganju povišanja slanosti. Verjetni razlog je, da to predstavlja razširjen problem le na nekaj geografskih območjih (analizirani članki se nanašajo na Bangladeš in Vietnam), saj je običajno osredotočen na območjih rečnih ustij in v zadnjem delu velikih aluvialnih ravnin, ki ne prejemajo zadostnih padavin. Analizirani članki predlagajo prilagajanje novim razmeram namesto poskusov njihovega omejevanja. V članku lahko zasledimo lahko le nekaj skromnih predlogov o upravljanju z vodo reke Pad, ki predlaga gradnjo pregrad, vendar brez poglobljanja v temo (Musolino et al. 2019).

Problem je v vsakem primeru zelo velik, saj je 27 % ljudi bilo prisiljenih spremeniti svoje

stata costretta a modificare i propri mezzi di sostentamento in seguito alla salinizzazione dei suoli (Fahim et al. 2023). La soluzione migliore è stata quella di sostituire le colture tradizionali con altre più resistenti alla salinità (Fahim et al. 2023), mentre sostituire i campi coltivati con allevamenti d'acqua salmastra di pesce o gamberi non ha sortito lo stesso effetto (Fahim et al. 2023; Trang & Loc 2022). Un'altra soluzione individuata, complementare a quelle già citate, è quella di diversificare le fonti di reddito delle famiglie, in modo tale da aumentare la resilienza economica, specie in realtà in cui le condizioni economiche non sono così rosee. Si può quindi affiancare all'allevamento di pesci o gamberi anche iniziative di ecoturismo nelle stesse aree, con una soluzione ibrida di allevamenti e ripristino di un ambiente a mangrovie (nel caso degli articoli presi in analisi, mentre negli ambienti caratteristici del nord Adriatico una soluzione analoga sarebbero le barene) (Trang & Loc 2022).

4. Piano Comune di Adattamento

Alla luce di quanto emerso nella revisione della letteratura scientifica e scritto nel precedente deliverable del progetto ECO-SMART "Modello congiunto dei progetti di adattamento ai cambiamenti climatici nei siti Natura 2000" verrà ora presentata una proposta di adattamento al cambiamento climatico e alla prevenzione dei disastri naturali per i siti al di fuori dalla protezione dei siti Natura 2000, con particolare attenzione all'area di programma, cioè la costa Nord Adriatica.

Anzitutto secondo le nostre valutazioni, il framework generale proposto in ECO-SMART per le aree Natura 2000 è valido anche fuori da esse e in ambito urbano e si basa su tre fasi principali:

- Fase iniziale di progettazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici: in questa fase vanno definiti obiettivi e i

vire preživiljanja zaradi slanosti tal (Fahim et al. 2023). Najboljša rešitev je bila zamenjava tradicionalnih pridelkov z drugimi, bolj odpornimi na slanost (Fahim et al. 2023), medtem ko zamenjava obdelovalnih polj z gojenjem rib ali rakcev v brakični vodi ni imela enakega učinka (Fahim et al. 2023; Trang & Loc 2022).

Še ena zasledena rešitev, ki dopolnjuje že omenjene, je diverzifikacija virov dohodka družin, da bi povečali ekonomsko odpornost, zlasti v okoljih, kjer ekonomske razmere niso tako rožnate. Tako se lahko poleg gojenja rib ali rakcev uvedejo tudi pobude za ekoturizem na istih območjih, s hibridno rešitvijo gojenja in obnove mangrovega okolja (v primeru analiziranih člankov, medtem ko bi v značilnih okoljih severnega Jadrana podobna rešitev bila izgradnja muljastih otočkov) (Trang & Loc 2022).

4. Skupni načrt prilagajanja

Glede na ugotovitve pregleda znanstvene literature ter zapisano v prejšnjem izdelku projekta ECO-SMART "Skupni model projektov prilagajanja podnebnim spremembam na območjih Natura 2000" bo zdaj predstavljen predlog prilagajanja podnebnim spremembam in preprečevanju naravnih nesreč za območja zunaj zaščite območij Natura 2000, s posebnim poudarkom na programskem območju, tj. obali severnega Jadrana.

Najprej, po naših ocenah, je splošni okvir, predlagan v ECO-SMART za območja Natura 2000, veljaven tudi zunaj njih in v urbanem okolju ter temelji na treh glavnih fazah:

- V prvi fazi načrtovanja prilagajanja podnebnim spremembam je potrebno opredeliti cilje in vodilna načela, ki jih je

principi guida da seguire (in particolare coerenti con le linee guida dell'UE), istituito un gruppo di lavoro interdisciplinare e i soggetti e parti interessate chiave per l'implementazione delle azioni.

- Revisione delle conoscenze esistenti e formazione dei punti di partenza: a questo punto si va a rivedere le politiche di gestione, le soluzioni già attuate a livello locale, nazionale e estero per risolvere simili problematiche, si determinano i rischi e minacce legate al cambiamento climatico nel contesto socio-ecologico in esame, con particolare attenzione a quanto riportato nel portale europeo Climate-ADAPT, creato per supportare la pianificazione nell'area UE di misure contro il cambiamento climatico.

- Selezione di misure idonee per l'adattamento ai cambiamenti climatici: nell'ultima fase verranno esplorate le varie possibilità di adattamento e selezionate quelle più idonee a rispondere alle esigenze del sito oggetto di studio, andando ad evitare le soluzioni che portano a benefici economici immediati, ma possono risultare in un adattamento inadeguato sul lungo periodo, oppure quelle che reindirizzano l'impatto verso un'altra area.

La principale differenza tra le aree nella rete Natura 2000 e le altre è che nelle prime sono presenti dei vincoli molto maggiori alla gestione, orientati alla protezione della biodiversità, ma allo stesso tempo possono accedere a fondi dedicati da parte dell'Unione Europea per azioni di conservazione, sviluppo sostenibile e monitoraggio periodico dello stato di salute ambientale. Al contrario le aree al di fuori della rete sono soggette solo a normali piani di gestione locale o nazionale ma con una limitata possibilità di accesso a finanziamenti e spesso senza l'obbligo di eseguire Valutazioni di Incidenza Ambientale.

treba slediti (zlasti skladne s smernicami EU), ustanoviti interdisciplinarno delovno skupino ter ključne subjekte in zainteresirane strani za izvajanje ukrepov.

- Pregled obstoječega znanja in oblikovanje izhodišč: na tej točki se pregledajo politike upravljanja, rešitve, ki so že izvedene na lokalni, nacionalni in tuji ravni za reševanje podobnih problemov, določijo se tveganja in grožnje, povezane s podnebnimi spremembami v obravnavanem družbenoekološkem kontekstu, s posebnim poudarkom na tem, kar je navedeno na evropskem portalu Climate-ADAPT, ustvarjenem za podporo načrtovanju ukrepov proti podnebnim spremembam na območju EU.

- Izbira ustreznih ukrepov za prilagajanje podnebnim spremembam: v zadnji fazi bodo raziskane različne možnosti prilagajanja in izbrane tiste, ki so najprimernejše za odzivanje na potrebe preučevanega območja, pri čemer se je treba izogibati rešitvam, ki prinašajo takojšnje ekonomske koristi, vendar lahko dolgoročno privedejo do neustreznega prilagajanja, ali tistim, ki preusmerijo vpliv na drugo območje.

Glavna razlika med območji v omrežju Natura 2000 in drugimi je, da imajo prva veliko večje omejitve pri upravljanju, usmerjene v varstvo biotske raznovrstnosti, hkrati pa lahko dostopajo do namenskih sredstev Evropske unije za ukrepe ohranjanja, trajnostnega razvoja in rednega spremljanja stanja okolja. Nasprotno so območja zunaj omrežja podvržena le rutinskim lokalnim ali nacionalnim načrtom upravljanja, vendar z omejeno možnostjo dostopa do financiranja in pogosto brez obveznosti izvajanja presoje vplivov na okolje.

A questo proposito un punto importante che va preso in maggiore considerazione, rispetto a quanto scritto nel precedente deliverable, è la fase di identificazione degli stakeholder più influenti e rilevanti nelle decisioni nell'area, in quanto l'interesse, e in molti casi anche la sola conoscenza, verso gli approcci ecosistemici come misura di adattamento al cambiamento climatico, è insufficiente nella pratica per giustificare l'allocazione dei pochi fondi presenti verso questo tipo di soluzioni, dato che non danno benefici immediati, ma prolungati nel tempo. Inoltre molto spesso le aree non Natura 2000 sono meno adatte all'implementazione di soluzioni basate sugli ecosistemi, in quanto anche l'ordine di grandezza degli interventi richiesti solitamente è maggiore, con ecosistemi completamente da ricostruire da zero e non solo da ripristinare ad uno stato più naturale.

Si ritiene quindi necessario operare su due fronti: in primis per una maggior informazione circa l'utilità delle soluzioni basate sulla natura, a tutti i livelli e utilizzando i metodi più appropriati. Allo stesso tempo è necessaria la creazione di nuove linee guida di gestione da parte delle amministrazioni locali, nazionali e transnazionali a favore di soluzioni basate sugli ecosistemi anche nelle aree anche al di fuori della rete Natura 2000, senza doversi affidare solamente alla sensibilità di decisori locali, i quali con tutta la probabilità manterranno la carica per un tempo inferiore a quello necessario per effettuare opere di monitoraggio e vedere i benefici delle soluzioni ad approccio ecosistemico, e che quindi saranno giocoforza meno interessati ad allocarvi risorse.

Per quanto riguarda la revisione della letteratura esistente si è notato che nella letteratura scientifica, con la stringa di ricerca utilizzata, sono presenti pochissimi dati dall'area di programma del Nord Adriatico, in quanto solo 2 sono relativi ad

V zvezi s tem je pomembna točka, ki jo je treba bolj upoštevati v primerjavi s tistim, kar je zapisano v prejšnjem izročku je faza identifikacije najbolj vplivnih in relevantnih deležnikov pri odločitvah na območju, saj je interes in v mnogih primerih tudi samo poznavanje ekosistemskih pristopov prilagajanja podnebnim spremembam v praksi nezadostno za utemeljitev dodeljevanja redkih razpoložljivih sredstev za tovrstne rešitve, glede na to, da ne prinašajo takojšnjih, temveč le dolgotrajne koristi. Poleg tega so območja, ki niso del Natura 2000 so pogosto manj primerna za izvajanje rešitev, ki temeljijo na ekosistemi, saj je tudi velikostni red potrebnih posegov običajno večji. To vključuje velikost ekosistemov, ki jih je treba v celoti obnoviti in ne zgolj povrniti v bolj naravno stanje.

Zato menimo, da je treba delovati na dveh ravneh: za boljše obveščanje o uporabnosti rešitev, ki temeljijo na naravi, na vseh ravneh in z uporabo najprimernejših metod. Hkrati je potrebno oblikovanje novih smernic upravljanja s strani lokalnih, nacionalnih in transnacionalnih uprav v prid rešitvam, ki temeljijo na ekosistemi, tudi na območjih zunaj omrežja Natura 2000. Pri tem se je potrebno zanašati na občutljivost lokalnih odločevalcev, ki pa bodo z vso verjetnostjo ostali na položaju krajši čas, kot je potrebno za izvajanje in spremljanje koristi rešitev z ekosistemskim pristopom, in ki bodo zato nujno manj zainteresirani za dodeljevanje virov za te projekte.

Kar zadeva pregled obstoječe literature, je bilo opaženo, da je v znanstveni literaturi z uporabljenim iskalnim nizom zelo malo podatkov iz programskega območja severnega Jadrana, saj se le 2 članka nanašata na obalna območja Benečije in 9

aree costiere del Veneto, e 9 nel Mediterraneo. Ovviamente quelli trattati qui non sono gli unici interventi effettuati nelle aree costiere di Veneto, Friuli e Slovenia, ma questo risultato può essere inteso come invito alla pubblicazione in riviste scientifiche dei dati a disposizione da altri interventi per renderli più facilmente fruibili agli esperti del settore. Questo potrebbe avere anche il vantaggio collegato di un approccio più rigoroso nella valutazione di fattibilità, della definizione di indicatori quantificabili per valutare l'efficacia di un intervento e di una migliore programmazione nei monitoraggi periodici dei siti nei quali queste misure di adattamento e prevenzione di disastri sono state effettuate. Una migliore conoscenza degli effettivi benefici delle soluzioni basate sulla natura potrebbe anche aiutare a preferirli rispetto alle infrastrutture grigie, andando a migliorare le valutazioni di costi e benefici quantificando dal punto di vista economico anche i servizi ecosistemici forniti, ad esempio creando le basi per la creazione di schemi PES (Payment for Ecosystem Services), già ampiamente analizzati durante il progetto ECO-SMART, sul quale ECO2SMART poggia le sue basi. Tornando all'area di programma, come già anticipato nell'introduzione, sono presenti due aree socio-ecologiche distinte, con il litorale dal delta del Po alla Laguna di Marano che si presenta come basso e sabbioso, con vaste estensioni di lagune e habitat di transizione e ampie aree ora bonificate e che si trovano attualmente sotto al livello del mare, quest'area ha conosciuto un importante sviluppo agricolo e demografico e presenta città di dimensioni maggiori, mentre circa da Duino alla penisola istriana in Slovenia il litorale si presenta più roccioso, con cittadine di dimensioni mediamente più modeste e concentrate nei pochi punti edificabili.

Andando ora ad analizzare punto per punto i vari rischi associati al cambiamento

v Sredozemlju. Seveda to niso edini posegi, izvedeni na obalnih območjih Benečije, Furlanije in Slovenije, vendar se ta rezultat lahko razume kot povabilo k objavi razpoložljivih podatkov iz drugih posegov v znanstvenih revijah, da bi bili lažje dostopni strokovnjakom s tega področja.

To bi lahko imelo tudi dodatno prednost bolj strogega pristopa pri ocenjevanju izvedljivosti, opredelitvi merljivih kazalnikov za oceno učinkovitosti posega in boljšem načrtovanju rednega spremljanja območij, kjer so bili ti ukrepi prilagajanja in preprečevanja nesreč izvedeni. Boljše poznavanje dejanskih koristi rešitev, ki temeljijo na naravi, bi lahko tudi pripomoglo pri njihovem prednostnem izboru pred ukrepi, ki temeljijo na sivi infrastrukturi, z izboljšanjem ocen stroškov in koristi in s kvantificiranjem ekosistemskih storitev z ekonomskega vidika, na primer z ustvarjanjem osnov za oblikovanje shem PES (Payment for Ecosystem Services), ki so že bile obsežno analizirane med projektom ECO-SMART, na katerem ECO2SMART gradi svoje temelje.

Če se vrnemo na programsko območje, kot je bilo že omenjeno v uvodu, sta prisotni dve različni družbenoekološki območji, z obalo od delte reke Pad do Maranske lagune, ki je nizka in peščena, z obsežnimi območji lagun in prehodnih habitatov ter velikimi območji, ki so zdaj izsušena in se trenutno nahajajo pod morsko gladino. To območje je doživelo pomemben kmetijski in demografski razvoj in ima večja mesta, medtem ko je od Devina do istrskega polotoka v Sloveniji obala bolj skalnata, z mesteci povprečno manjših dimenzij in skoncentriranimi na redkih gradbenih točkah.

Če zdaj analiziramo različna tveganja, povezana s podnebnimi spremembami,

climatico possiamo vedere quali possono essere gli approcci migliori per entrambe le aree.

Per quanto riguarda il rischio di allagamento e siccità, il lato occidentale del Nord Adriatico è caratterizzato dalla presenza della foce di molti grandi fiumi alimentati dai ghiacciai e precipitazioni alpine (Po, Adige, Brenta, Piave, Tagliamento e Isonzo tra i principali), in condizioni normali la loro portata è già ridotta dai prelievi effettuati per motivi agricoli, ma dato il loro ampio bacino idrografico delle inondazioni possono avere effetti devastanti, come anche testimoniato da alcuni eventi degli ultimi anni ad esempio nella regione Emilia Romagna.

Date le ampie portate d'acqua gli interventi più efficaci potrebbe essere quello di predisporre canali preferenziali per il deflusso verso aree come campi coltivati o aree umide, proteggendo così i centri abitati, anche se la soluzione migliore sarebbe una gestione integrata a livello di intero bacino idrografico, che permetterebbe di gestire in modo coordinato le portate, tramite una moltitudine di piccoli interventi lungo il corso principale e gli affluenti. Questo approccio permetterebbe di gestire in modo migliore sia eventi di penuria di acqua, con l'apertura controllata di riserve alpine, sia le alluvioni, tramite la presenza di una rete di aree predisposte al rallentamento del flusso e la penetrazione dell'acqua nel terreno.

Al contrario i corsi d'acqua dal lato orientale (dopo la foce dell'Isonzo) sono solitamente più brevi e di carattere più torrentizio, più soggetti a piene improvvise e alla siccità, se non addirittura sotterranei, dato l'ambiente carsico della zona. In questo caso l'approccio migliore sembra essere quello di predisporre lungo il loro corso varie strutture per l'attenuazione del flusso e stoccaggio temporaneo dei volumi

lavoro possiamo vedere quali possono essere gli approcci migliori per entrambe le aree.

Kar zadeva tveganje poplav in suše, je zahodna stran severnega Jadrana zaznamovana s prisotnostjo izliva mnogih velikih rek, ki jih napajajo ledeniki in taljenje snega v Alpah (Pad, Adiža, Brenta, Piava, Tilment in Soča med glavnimi). V normalnih razmerah je njihov pretok že zmanjšan zaradi odvzemov za kmetijske namene, vendar lahko zaradi njihovega širokega porečja poplave povzročijo uničujoče učinke, kot pričajo tudi nekateri dogodki zadnjih let, na primer v regiji Emilia-Romagna.

Glede na velike količine vode bi lahko bili najučinkovitejši posegi priprava prednostnih kanalov za odtok v območja, kot so obdelovalna polja ali mokrišča, s čimer bi zaščitili naseljena središča, čeprav bi bila najboljša rešitev celostno upravljanje na ravni celotnega porečja, ki bi omogočilo usklajeno upravljanje pretokov prek množice majhnih posegov vzdolž glavnega toka in pritokov. Tak pristop bi omogočil boljše upravljanje tako dogodkov pomanjkanja vode, z nadzorovanim odpiranjem alpskih rezerv, kot poplav, s prisotnostjo mreže območij, namenjenih upočasnjevanju toka in pronicanju vode v tla.

Nasprotno so vodni tokovi na vzhodni strani (po izlivu Soče) običajno krajši in bolj hudourniškega značaja bolj podvrženi nenadnim poplavam in suši, če ne celo podzemni, glede na kraško okolje območja. V tem primeru se zdi najboljši pristop priprava različnih struktur vzdolž njihovega toka za umiritev toka in začasno shranjevanje vodnih količin med deževnimi dogodki, kot je obnova mokrišč ali gradnja

d'acqua durante gli eventi piovosi come il ripristino di aree umide o la costruzione di dighe con materiali naturali in grado di creare pozze o stagni che possono rallentare il deflusso o di reindirizzarlo verso aree lontane dai centri abitati. Come visto precedentemente, il rallentamento del flusso d'acqua è anche d'aiuto contro i periodi di siccità aumentando la ricarica delle falde acquifere o creando bacini da cui l'acqua può essere attinta alla bisogna, andando inoltre ad avere un effetto benefico sulla biodiversità.

Per quanto riguarda l'ambito urbano, anche qui le possibilità delle due aree sono differenti, ma il paradigma centrale da seguire è quello della città spugna (Sponge City). I centri abitati del lato occidentale sono solitamente percorsi da una rete di canali, un tempo usati per fini pratici come la ad es. produzione di energia o la navigazione. Questa caratteristica fornisce la possibilità di ripristinare aree verdi sugli argini degli stessi trasformandole in veri e propri parchi fluviali, che possono fungere sia per assorbire l'acqua meteorica, che per raffreddare l'aria durante le ondate di calore, oltre che offrire supporto alla biodiversità e bellezza paesaggistica. Inoltre dato che essi sono ubicati in pianura c'è molta più possibilità di ripristinare o costruire aree umide e parchi anche a monte, vicino o nel mezzo dei centri abitati. Al contrario lungo la costa orientale i centri abitati sono solitamente molto densi e di dimensioni più modeste perché concentrati nelle poche aree edificabili lungo la costa, in questo caso una soluzione più applicabile è quella delle infrastrutture verdi urbane come tetti e muri verdi e biostuoie, data la scarsità di spazio da dedicare a parchi e aree verdi vere e proprie, ma che comunque garantiscono un effetto di assorbimento della pioggia e raffreddamento dell'aria rilevante. Queste soluzioni possono essere implementate in ogni caso anche lungo l'altro versante

jezov z naravnimi materiali, ki lahko ustvarijo tolmane ali ribnike. Ti lahko upočasnijo odtok ali ga preusmerijo stran od naseljenih središč. Kot smo videli prej, upočasnjevanje vodnega toka pomaga tudi proti obdobjem suse s povečanjem polnjenja vodonosnikov ali ustvarjanjem rezervoarjev, iz katerih se lahko voda črpa po potrebi, hkrati pa ima koristen učinek na biotsko raznovrstnost.

Kar zadeva urbano okolje, so tudi tukaj možnosti obeh območij različne, vendar je osrednja paradigma, ki ji je treba slediti, paradigma spužvastih mest (Sponge City). Naseljena središča na zahodni strani (glede na izliv Soče v morje) običajno prečka mreža kanalov, ki so se nekoč uporabljali za praktične namene, kot sta npr. proizvodnja energije ali plovba. Ta značilnost omogoča možnost obnove zelenih površin na njihovih bregovih in njihovo preoblikovanje v prave rečne parke, ki lahko služijo tako za absorpcijo meteorne vode kot za hlajenje zraka med vročinskimi valovi, poleg tega pa nudijo podporo biotski raznovrstnosti in krajinski lepoti. Poleg tega, ker se nahajajo v ravnini, obstaja veliko več možnosti za obnovo ali gradnjo mokrišč in parkov tudi blizu ali sredi naseljenih središč.

Nasprotno so vzdolž vzhodne obale naseljena središča običajno zelo gosta in manjših dimenzij, ker so strnjena na redkih gradbenih območjih vzdolž obale. V tem primeru je bolj uporabna rešitev urbana zelena infrastruktura, kot so zelene strehe in stene ter biomateriali, glede na pomanjkanje prostora za prave parke in zelene površine, ki pa vseeno zagotavljajo pomemben učinek absorpcije dežja in hlajenja zraka. Te rešitve se lahko brez težav izvajajo tudi vzdolž druge strani, vendar študije kažejo, da se največji učinek hlajenja doseže z drevesnimi območji.

senza problemi, ma gli studi indicano che il maggior effetto di raffreddamento lo si ottiene con le aree alberate.

Per quanto riguarda i rischi legati più propriamente alle aree costiere, come le forti mareggiate, l'innalzamento del livello del mare, l'erosione costiera e la risalita del cuneo salino, lungo la costa occidentale questo potrebbe essere affrontato per gradi con interventi in zone lontane dai centri abitati volti al ripristino degli ecosistemi costieri naturali come le dune, le barene e le paludi costiere, unite a frangiflutti naturali come le scogliere di ostriche e le praterie di fanerogame per andare a proteggere il litorale. In secondo luogo si potrebbe aumentare l'area accessibile all'espansione di marea per ridurre sia la forza delle mareggiate che mitigare l'altezza di maree eccezionali, questo può essere ottenuto tramite un processo di riallineamento guidato della linea di costa, con l'allagamento con acqua salata di aree rurali.

Infine l'ipotesi più auspicabile nel lungo termine è quella di un ricollocamento delle persone, servizi e infrastrutture produttive in aree meno a rischio, dato che molte aree si trovano già ora sotto al livello del mare e mantenerle, utilizzando molte risorse per impianti idrovori, costruzione e mantenimento di sistemi di argini. Un innalzamento di questi ultimi, sebbene fattibile in tempi brevi, sarebbe sul lungo termine svantaggioso rispetto al ricollocamento.

Ovviamente non si parla di una soluzione a breve termine, ma di progetti sul lungo termine da prendere in considerazione, anche perché quelle stesse aree sono già afflitte dal fenomeno della risalita del cuneo salino, problema che si aggraverà nel tempo e probabilmente renderà difficile o impossibile proseguire l'agricoltura, se non col passaggio a colture più resistenti al sale, ma probabilmente la soluzione che porta più benefici ecosistemici è quella di restituire le aree all'espansione di marea e

Kar zadeva tveganja, bolj povezana z obalnimi območji, kot so močno valovanje, dvig morske gladine, obalna erozija in dvig slanega klina, bi se to lahko na zahodni obali reševalo postopoma s posegi v območjih, oddaljenih od naseljenih središč, namenjenih obnovi naravnih obalnih ekosistemov, kot so sipine, muljasti otočki in obalna močvirja, v kombinaciji z naravnimi valobrani, kot so morski grebeni (poseljenimi z ostrigami) in rastišči morskih trav za zaščito obale. Drugič, bi lahko povečali območje, dostopno za širjenje plime, da bi zmanjšali tako moč neviht kot omilili višino izjemnih plim. To se lahko doseže s procesom vodenega prerazporejanja priobalnih območij, s poplavljanjem podeželskih območij s slano vodo.

Nazadnje je dolgoročno najbolj zaželena hipoteza temelji na preselitvi ljudi, storitvene in proizvodne infrastrukture na manj ogrožena območja, glede na to, da se mnoga območja že zdaj nahajajo pod morsko gladino in njihovo vzdrževanje zahteva veliko sredstev za črpalne naprave, gradnjo in vzdrževanje sistemov nasipov. Povišanje slednjih, čeprav izvedljivo v kratkem času, bi bilo dolgoročno manj ugodno kot preselitev.

Seveda ne govorimo o kratkoročni rešitvi, temveč o dolgoročnih projektih, ki jih je treba upoštevati, tudi zato, ker ta ista območja že pestijo pojavi dviga slanega klina, problem, ki se bo sčasoma poslabšal in verjetno otežil ali onemogočil nadaljevanje kmetijstva, razen s prehodom na bolj odporne kulture na sol, vendar je verjetno rešitev, ki prinaša več ekosistemskih koristi, vrnitev območij, ki so poplavljeni ob širjenju plime in njihova

di convertirle all'orticoltura o altre attività produttive.

Altre soluzioni sperimentate nell'area contro il problema della risalita del cuneo salino, che sebbene non rientrassero nei parametri della ricerca hanno già dimostrato qualche successo, sono quelle di ricaricare le falde acquifere sotterranee con acqua dolce, in modo tale da mantenere basso il livello della falda di acqua salata. Questo può essere ottenuto con due metodi principali: tramite le infrastrutture grigie, con il pompaggio artificiale di acqua dolce nel sottosuolo in aree ad elevata permeabilità (Zancanaro et al. 2024), oppure quella di costruire una rete capillare di aree umide di acqua dolce, che possono essere anche alimentate con acqua piovana, dalle quali l'acqua può essere anche prelevata a scopi irrigui e che forniscono ulteriori benefici riguardanti il supporto alla biodiversità, la fitodepurazione delle acque e di regolazione dei processi ecosistemici (Carrer et al. 2011).

La costa orientale alta e rocciosa al contrario non subisce molto la pressione della risalita del cuneo salino, però non presenta la possibilità di interventi come il riallineamento guidato, e il ricollocamento delle comunità costiere in aree lontano dal mare è molto più difficoltoso data la topografia del territorio. Dovrebbe quindi affidarsi a misure offshore come le scogliere di ostriche o il ripristino di praterie di fanerogame, che avrebbero anche effetti positivi sulle attività di pesca, sulle quali le popolazioni costiere si basano molto. Queste soluzioni aiutano anche a proteggere le aree urbane, con un effetto di smorzamento del moto ondoso, sebbene in caso di eventi eccezionali o di infrastrutture di poco sopra il livello del mare questi potrebbero non rappresentare una difesa sufficiente, in quanto non sono in grado di bloccare fisicamente l'innalzamento del livello del mare come i sistemi di dune o i muraglioni marini.

preusmeritev v ribogojstvo ali druge produttive dejavnosti.

Druge rešitve, preizkušene na območju za reševanje dviga slanega klina, ki sicer niso spadale v parametre raziskave, so že pokazale nekaj uspeha, kot so polnjenje podzemnih vodonosnikov s sladko vodo, tako da se ohranja nizka raven slane vode v vodonosniku. To se lahko doseže z dvema glavnima metodama: s sivo infrastrukturo, z umetnim črpanjem sladke vode v podtalje na območjih z visoko prepustnostjo (Zancanaro et al. 2024), ali z gradnjo kapilarnega omrežja sladkovodnih mokrišč, ki se lahko napajajo tudi z deževnico, iz katerih se lahko voda črpa tudi za namakalne namene in ki zagotavljajo dodatne koristi glede podpore biotski raznovrstnosti, fitodepuracije voda in uravnavanja ekosistemskih procesov (Carrer et al. 2011).

Visoka in skalnata vzhodna obala nasprotno ne doživlja velikega pritiska zaradi dviga slanega klina, vendar ne ponuja možnosti posegov, kot je vodena preusmeritev. Preselitev obalnih skupnosti na območja stran od morja pa je veliko težja zaradi topografije ozemlja. Zato bi se morali zanašati na ukrepe na morju, kot so morski grebeni ali obnova rastišč morskih trav, ki bi imeli tudi pozitivne učinke na ribolovne dejavnosti, na katerih obalne populacije zelo računajo. Te rešitve pomagajo tudi pri zaščiti urbanih območij z učinkom omiljenja moči valovanja, čeprav v primeru izjemnih dogodkov ali infrastruktur malo nad morsko gladino te morda ne bi predstavljale zadostne obrambe, saj niso sposobne fizično blokirati dviga morske gladine kot sistemi sipin ali zidov na morju.

5. Conclusioni

Per concludere possiamo affermare che sebbene la ricerca di letteratura abbia fornito molti risultati in merito agli approcci ecosistemici per l'adattamento al cambiamento climatico e la riduzione del rischio dovuto a eventi climatici estremi, essi sono ancora principalmente concentrati nelle aree più sviluppate come l'Europa e il Nord America, con vaste zone dell'Africa (specialmente al nord) e del Sud America senza copertura, sebbene questo genere di approcci sia pensato principalmente per difendere gli interessi e migliorare le condizioni di vita delle comunità più rurali.

Per quanto riguarda i rischi legati al cambiamento climatico affrontati negli articoli essi sono abbastanza equamente ripartiti (se separiamo il termine cappello di "allagamento" tra origine fluviale e marina), con l'eccezione dell'intrusione salina, probabilmente perché, come già spiegato precedentemente, è una problematica geograficamente più circoscritta. Ancora scarsa è la presenza in letteratura scientifica di risultati quantitativi circa l'efficacia delle azioni intraprese, forse a causa di una non sempre oculata campagna di monitoraggio degli interventi eseguiti.

Per quanto riguarda le soluzioni principali abbiamo visto che per quanto riguarda le esondazioni fluviali e la siccità il principale paradigma è quello di ridurre la velocità del flusso dell'acqua, tramite una gestione integrata a livello di bacino idrografico, mentre per quanto riguarda l'ambito urbano è importante il concetto di città spugna, con una massiccia presenza di aree verdi volte a limitare il deflusso superficiale in caso di piogge intense e in grado di aiutare l'infiltrazione dell'acqua meteorica nel suolo per mitigare l'impatto di eventi siccitosi. Le infrastrutture verdi sono molto utili in ambito urbano anche per ridurre i rischi delle ondate di calore, unite

5. Zaključki

Za zaključek lahko ugotovimo, da čeprav je pregled literature dal številne rezultate glede ekosistemskih pristopov k prilagajanju podnebnim spremembam in zmanjševanju tveganja zaradi ekstremnih vremenskih dogodkov, so ti še vedno predvsem osredotočeni na bolj razvita območja, kot sta Evropa in Severna Amerika, z obsežnimi območji Afrike (zlasti na severu) in Južne Amerike brez pokritosti, čeprav so tovrstni pristopi zasnovani predvsem za zaščito interesov in izboljšanje življenjskih pogojev bolj podeželskih skupnosti.

Kar zadeva tveganja, povezana s podnebnimi spremembami, obravnavana v člankih, so ta precej enakomerno porazdeljena (če ločimo krovni izraz "poplavljanje" med rečnim in morskim izvorom), z izjemo vdora slane vode, verjetno zato, ker je, kot je bilo že prej pojasnjeno, geografsko bolj omejen problem. V znanstveni literaturi je še vedno malo kvantitativnih rezultatov o učinkovitosti sprejetih ukrepov, morda zaradi ne ravno učinkovitega spremljanja izvedenih posegov.

Kar zadeva glavne rešitve, smo videli, da je glede rečnih poplav in suše glavni cilj zmanjšanje hitrosti vodnega toka z integriranim upravljanjem na ravni porečja, medtem ko je v urbanem okolju pomemben koncept spužvastega mesta, z masivno prisotnostjo zelenih površin, namenjenih omejevanju površinskega odtoka v primeru močnih padavin ter sposobnosti izboljšanja infiltracije meteorne vode v tla za omilitev vpliva sušnih dogodkov. Zelena infrastruktura je zelo koristna v urbanem okolju tudi za zmanjšanje tveganj vročinskih valov, v kombinaciji z obnovo območij, kot so parki ali nasipi z drevesno vegetacijo.

alla riqualificazione di aree come parchi o argini alberati.

Per quanto riguarda le minacce più propriamente legate alle comunità costiere come erosione costiera, ingressione marina e forti mareggiate, le soluzioni basate sulla natura sono principalmente concentrate sul ripristino degli ambienti costieri come barene, paludi salmastre, praterie di fanerogame, scogliere di ostriche e dune. Sebbene solo queste ultime forniscano parzialmente un'efficace protezione contro l'innalzamento del livello del mare, tutte contribuiscono a smorzare l'energia del moto ondoso proteggendo i centri urbani e le aree rurali costiere. Per quanto riguarda l'innalzamento del livello del mare, per quanto riguarda gli approcci ecosistemici, il poco che si può fare sono interventi di riallineamento guidato, restituendo una maggior area al movimento di marea, lasciandolo alla sua evoluzione naturale in ambiente salmastro, ma la soluzione definitiva probabilmente è solo il ricollocamento di persone e attività produttive in aree più interne ad elevazione maggiore.

Importantissimo in tal senso è il coinvolgimento delle parti interessate, specialmente al di fuori delle aree Natura 2000, dato che queste aree non godono degli stessi vincoli gestionali e finanziamenti delle loro controparti, al fine di sviluppare delle soluzioni in armonia col sistema socio-ecologico preso in esame che vadano a generare i maggiori benefici possibili per uomo e ecosistema con i minori costi di implementazione e gestione e che generino benefici duraturi nel tempo in un modo socialmente accettato.

Kar zadeva grožnje, bolj povezane z obalnimi skupnostmi, kot so obalna erozija, vdor morske vode in neurja, so rešitve, ki temeljijo na naravi, predvsem osredotočene na obnovo obalnih okolij, kot so muljasti otočki v obalnih lagunah, brakična mokrišča, rastišča morskih trav, morski grebeni in obalne sipine. Čeprav le slednje delno zagotavljajo učinkovito zaščito pred dvigom morske gladine, vsi navedeni ekosistemi prispevajo k omiljenju moči valovanja in zaščiti obalnih urbanih središč in ruralnih območji. Kar zadeva dvig morske gladine, je malo primernih ukrepov, ki temeljijo na ekosistemskih pristopih, npr. to so posegi vodene preusmeritve, ki v primeru plimovanja morja vračajo večje območje njegovemu naravnemu razvoju v brakičnem okolju. Vendar je dokončna rešitev verjetno le preselitev ljudi in proizvodnih dejavnosti na bolj notranja območja z višjo nadmorsko višino.

V tem smislu je izjemno pomembno vključevanje zainteresiranih strani, zlasti zunaj območij Natura 2000, glede na to, da ta območja ne uživajo enakih upravljavskih omejitev in financiranja kot zavarovana, z namenom razvoja rešitev v harmoniji s preučevanim družbenoekološkim sistemom, ki bodo ustvarile največje možne koristi za človeka in ekosistem z najmanjšimi stroški izvajanja in upravljanja ter da bodo ustvarile trajne koristi na družbeno sprejemljiv način.

6. Bibliografia / Bibliografija

Adamson, D., Loch, A., & Schwabe, K. (2017). Adaptation responses to increasing drought frequency. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 61(3), 385-403.

Alves, A., Vojinovic, Z., Kapelan, Z., Sanchez, A., & Gersonius, B. (2020). Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. *Science of the Total Environment*, 703, 134980.

Angus, S., & Hansom, J. D. (2021). Enhancing the resilience of high-vulnerability, low-elevation coastal zones. *Ocean & Coastal Management*, 200, 105414.

Barausse, A., Meulenberg, C., Occhipinti, I., Abordi, M., Endrizzi, L., Guadagnin, G., Piron, M., Visintin, F., Vižintin, L., & Manzardo, A. (2022). A Methodological Proposal for the Climate Change Risk Assessment of Coastal Habitats Based on the Evaluation of Ecosystem Services: Lessons Learnt from the INTERREG Project ECO-SMART. *Sustainability*, 14(13), 7567.

Brink, E., Aalders, T., Ádám, D., Feller, R., Henselek, Y., Hoffmann, A., ... & Wamsler, C. (2016). Cascades of green: A review of ecosystem-based adaptation in urban areas. *Global environmental change*, 36, 111-123.

Capgras, J., Barhebwa Mushamuka, F., & Feuilleaubeis, L. (2023). Optimisation of selection and placement of nature-based solutions for climate adaptation: a literature review on the modelling and resolution approaches. *Environment Systems and Decisions*, 43(4), 577-598.

Carrer, G. M., Bonato, M., Smania, D., Barausse, A., Comis, C., & Palmeri, L. (2011). Beneficial effects on water management of simple hydraulic structures in wetland systems: The Vallevecchia case study, Italy. *Water Science and Technology*, 64(1), 220-227.

Carter, J. G., Karvonen, A., & Winter, A. (2024). Towards Catchment Scale Natural Flood Management: Developing evidence, funding and governance approaches. *Environmental Policy and Governance*, 34(6), 553-567.

Castelle, B., Laporte-Fauret, Q., Marieu, V., Michalet, R., Rosebery, D., Bujan, S., ... & Narteau, C. (2019). Nature-based solution along high-energy eroding sandy coasts: preliminary tests on the reinstatement of natural dynamics in reprofiled coastal dunes. *Water*, 11(12), 2518.

Clemente, M. F., D'Ambrosio, V., Di Martino, F., & Miraglia, V. (2023). Quantify the Contribution of Nature-Based Solutions in Reducing the Impacts of Hydro-Meteorological Hazards in the Urban Environment: A Case Study in Naples, Italy. *Land*, 12(3), 569.

Dąbrowska, J., Orellana, A. E. M., Kilian, W., Moryl, A., Cielecka, N., Michałowska, K., ... & Włóka, A. (2023). Between flood and drought: How cities are facing water surplus and scarcity. *Journal of Environmental Management*, 345, 118557.

Dario, C., Molina, R., & Kelly, D. L. (2024). Public preferences for coastal adaptation: economic evidence from a discrete choice experiment for hard structures and nature-based solutions in Miami, Florida. *Marine policy*, 165, 106217.

Dube, K. (2024). A comprehensive review of climatic threats and adaptation of marine biodiversity. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(2), 344.

Duvat, V. K., Magnan, A. K., Goeldner-Gianella, L., Grancher, D., Costa, S., Maquaire, O., ... & Pignon-Mussaud, C. (2022). Internal relocation as a relevant and feasible adaptation strategy in Rangiroa Atoll, French Polynesia. *Scientific Reports*, 12(1), 14183.

- Elliott, H., Eon, C., & Breadsell, J. K. (2020). Improving City vitality through urban heat reduction with green infrastructure and design solutions: A systematic literature review. *Buildings*, 10(12), 219.
- Fahim, T. C., & Arefin, S. (2024). Climate change-induced salinity intrusion and livelihood nexus: A study in Southwest Satkhira District of Bangladesh. *International Journal of Rural Management*, 20(1), 106-123.
- Faivre, N., Sgobbi, A., Happaerts, S., Raynal, J., & Schmidt, L. (2018). Translating the Sendai Framework into action: The EU approach to ecosystem-based disaster risk reduction. *International journal of disaster risk reduction*, 32, 4-10.
- Fennell, J., Soulsby, C., Wilkinson, M. E., Daalmans, R., & Geris, J. (2023). Time variable effectiveness and cost-benefits of different nature-based solution types and design for drought and flood management. *Nature-Based Solutions*, 3, 100050.
- Ferrario, F., Mourato, J. M., Rodrigues, M. S., & Dias, L. F. (2024). Evaluating Nature-based Solutions as urban resilience and climate adaptation tools: A meta-analysis of their benefits on heatwaves and floods. *Science of the Total Environment*, 175179.
- Ferreira, C. S., Mourato, S., Kasanin-Grubin, M., Ferreira, A. J., Destouni, G., & Kalantari, Z. (2020). Effectiveness of nature-based solutions in mitigating flood hazard in a mediterranean peri-urban catchment. *Water*, 12(10), 2893.
- Ferreira, V., Barreira, A. P., Loures, L., Antunes, D., & Panagopoulos, T. (2021). Stakeholders' perceptions of appropriate nature-based solutions in the urban context. *Journal of Environmental Management*, 298, 113502.
- Gearey, M. (2018). Re-naturing cities: Reducing flood risk through nature-based solutions. *Geography*, 103(2), 105-109.
- Gooden, J., & Pritzlaff, R. (2021). Dryland watershed restoration with rock detention structures: a nature-based solution to mitigate drought, erosion, flooding, and atmospheric carbon. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 679189.
- Hagedoorn, L. C., Addo, K. A., Koetse, M. J., Kinney, K., & van Beukering, P. J. (2021). Angry waves that eat the coast: An economic analysis of nature-based and engineering solutions to coastal erosion. *Ocean & Coastal Management*, 214, 105945.
- Hamel, P., & Tan, L. (2022). Blue–green infrastructure for flood and water quality management in Southeast Asia: evidence and knowledge gaps. *Environmental management*, 69(4), 699-718.
- Jessup, K., Parker, S. S., Randall, J. M., Cohen, B. S., Roderick-Jones, R., Ganguly, S., & Sourial, J. (2021). Planting Stormwater Solutions: A methodology for siting nature-based solutions for pollution capture, habitat enhancement, and multiple health benefits. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127300.
- Jordan, P., & Fröhle, P. (2022). Bridging the gap between coastal engineering and nature conservation? A review of coastal ecosystems as nature-based solutions for coastal protection. *Journal of Coastal Conservation*, 26(2), 4.
- Kalantari, Z., Ferreira, C. S. S., Keesstra, S., & Destouni, G. (2018). Nature-based solutions for flood-drought risk mitigation in vulnerable urbanizing parts of East-Africa. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 73-78.
- Kindeberg, T., Almström, B., Skoog, M., Olsson, P. A., & Hollander, J. (2023). Toward a multifunctional nature-based coastal defense: a review of the interaction between beach nourishment and ecological restoration. *Nordic Journal of Botany*, 2023(1), e03751.

- Kirshen, P., Borrelli, M., Byrnes, J., Chen, R., Lockwood, L., Watson, C., ... & Herst, R. (2020). Integrated assessment of storm surge barrier systems under present and future climates and comparison to alternatives: A case study of Boston, USA. *Climatic Change*, 162, 445-464.
- Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Rawat, N., Marti-Cardona, B., Alfieri, S. M., ... & Zieher, T. (2021). Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: Modelling methods, advantages and limitations. *Science of the Total Environment*, 784, 147058.
- Liski, A. H., Ambros, P., Metzger, M. J., Nicholas, K. A., Wilson, A. M. W., & Krause, T. (2019). Governance and stakeholder perspectives of managed re-alignment: adapting to sea level rise in the Inner Forth estuary, Scotland. *Regional Environmental Change*, 19, 2231-2243.
- Lu, L., Johnson, M., Zhu, F., Xu, Y., Ruan, T., & Chan, F. K. S. (2024). Harnessing the runoff reduction potential of urban bioswales as an adaptation response to climate change. *Scientific Reports*, 14(1), 12207.
- Maiolo, M., Mel, R. A., & Sinopoli, S. (2020). A stepwise approach to beach restoration at Calabaia beach. *Water*, 12(10), 2677.
- Manes, S., Gama-Maia, D., Vaz, S., Pires, A. P., Tardin, R. H., Maricato, G., ... & Vale, M. M. (2023). Nature as a solution for shoreline protection against coastal risks associated with ongoing sea-level rise. *Ocean & Coastal Management*, 235, 106487.
- Marvuglia, A., Koppelaar, R., & Rugani, B. (2020). The effect of green roofs on the reduction of mortality due to heatwaves: Results from the application of a spatial microsimulation model to four European cities. *Ecological Modelling*, 438, 109351.
- Moraes, R. P., Reguero, B. G., Mazarrasa, I., Ricker, M., & Juanes, J. A. (2022). Nature-based solutions in coastal and estuarine areas of Europe. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 829526.
- Morris, R., Strain, E. M., Konlechner, T. M., Fest, B. J., Kennedy, D. M., Arndt, S. K., & Swearer, S. E. (2019). Developing a nature-based coastal defence strategy for Australia. *Australian Journal of Civil Engineering*, 17(2), 167-176.
- Musolino, D., Vezzani, C., & Massarutto, A. (2018). Drought management in the Po river basin, Italy. *Drought: science and policy*, 201-215.
- Nassary, E. K., Msomba, B. H., Masele, W. E., Ndaki, P. M., & Kahangwa, C. A. (2022). Exploring urban green packages as part of Nature-based Solutions for climate change adaptation measures in rapidly growing cities of the Global South. *Journal of Environmental Management*, 310, 114786.
- Norman, L. M., Lal, R., Wohl, E., Fairfax, E., Gellis, A. C., & Pollock, M. M. (2022). Natural infrastructure in dryland streams (NIDS) can establish regenerative wetland sinks that reverse desertification and strengthen climate resilience. *Science of the Total Environment*, 849, 157738.
- Nunn, P. D., Klöck, C., & Duvat, V. (2021). Seawalls as maladaptations along island coasts. *Ocean & Coastal Management*, 205, 105554.
- Oral, H. V., Carvalho, P., Gajewska, M., Ursino, N., Masi, F., Hullebusch, E. D. V., ... & Zimmermann, M. (2020). A review of nature-based solutions for urban water management in European circular cities: a critical assessment based on case studies and literature. *Blue-Green Systems*, 2(1), 112-136.
- Pappalardo, S. E., Zanetti, C., & Todeschi, V. (2023). Mapping urban heat islands and heat-related risk during heat waves from a climate justice perspective: A case study in the municipality of Padua (Italy) for inclusive adaptation policies. *Landscape and Urban Planning*, 238, 104831.

- Peck, A. J., Adams, S. L., Armstrong, A., Bartlett, A. K., Bortman, M. L., Branco, A. B., ... & Smith, E. (2022). A new framework for flood adaptation: introducing the Flood Adaptation Hierarchy. *Ecology and Society*, 27(4).
- Piazza, P., & Ursino, N. (2024). Cooperative expert-commoners action to mitigate hydraulic risk may be undermined by incomplete knowledge about nature-based solution. Results of two parallel surveys in Veneto region (Italy). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101.
- Quagliolo, C., Roebeling, P., Matos, F., Pezzoli, A., & Comino, E. (2023). Pluvial flood adaptation using nature-based solutions: An integrated biophysical-economic assessment. *Science of The Total Environment*, 902, 166202.
- Ramírez-Agudelo, N. A., Porcar Anento, R., Villares, M., & Roca, E. (2020). Nature-based solutions for water management in peri-urban areas: Barriers and lessons learned from implementation experiences. *Sustainability*, 12(23), 9799.
- Rana, A., Zhu, Q., Detken, A., Whalley, K., & Castet, C. (2022). Strengthening climate-resilient development and transformation in Viet Nam. *Climatic Change*, 170(1), 4.
- Raw, J. L., Adams, J. B., Bornman, T. G., Riddin, T., & Vanderklift, M. A. (2021). Vulnerability to sea-level rise and the potential for restoration to enhance blue carbon storage in salt marshes of an urban estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 260, 107495.
- Rigolon, A., Tabassum, N., & Ewing, R. (2024). Climate adaptation strategies for active transportation: Barriers and facilitators in US cities. *Sustainable Cities and Society*, 117, 105956.
- Sahani, J., Kumar, P., Debele, S., Spyrou, C., Loupis, M., Aragão, L., ... & Di Sabatino, S. (2019). Hydro-meteorological risk assessment methods and management by nature-based solutions. *Science of the Total Environment*, 696, 133936.
- Sahani, J., Kumar, P., & Debele, S. E. (2023). Efficacy assessment of green-blue nature-based solutions against environmental heat mitigation. *Environment International*, 179, 108187.
- Sanchez, F. G., & Govindarajulu, D. (2023). Integrating blue-green infrastructure in urban planning for climate adaptation: Lessons from Chennai and Kochi, India. *Land use policy*, 124, 106455.
- Sánchez-Almodóvar, E., Olcina-Cantos, J., Martí-Talavera, J., Prieto-Cerdán, A., & Padilla-Blanco, A. (2023). Floods and adaptation to climate change in tourist areas: management experiences on the coast of the province of Alicante (Spain). *Water*, 15(4), 807.
- Schuerch, M., Mossman, H. L., Moore, H. E., Christie, E., & Kiesel, J. (2022). Invited perspectives: Managed realignment as a solution to mitigate coastal flood risks—optimizing success through knowledge co-production. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(9), 2879-2890.
- Taylor-Burns, R., Lowrie, C., Tehranirad, B., Lowe, J., Erikson, L., Barnard, P. L., ... & Beck, M. W. (2024). The value of marsh restoration for flood risk reduction in an urban estuary. *Scientific Reports*, 14(1), 6856.
- Trang, N. T. T., & Loc, H. H. (2022, May). Eco-agritourism as an Ecosystem-based adaptation (EBA) against climate change impacts for the Vietnamese Mekong Delta: a viewpoint. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1028, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.
- Turconi, L., Faccini, F., Marchese, A., Paliaga, G., Casazza, M., Vojinovic, Z., & Luino, F. (2020). Implementation of nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction in small mediterranean catchments: The case of Portofino Natural Regional Park, Italy. *Sustainability*, 12(3), 1240.

- Unguendoli, S., Biolchi, L. G., Aguzzi, M., Pillai, U. P. A., Alessandri, J., & Valentini, A. (2023). A modeling application of integrated nature based solutions (NBS) for coastal erosion and flooding mitigation in the Emilia-Romagna coastline (Northeast Italy). *Science of The Total Environment*, 867, 161357.
- Van Well, L., Isayeva, A., Axel Olsson, P., & Hollander, J. (2023). Public perceptions of cultural ecosystem services provided by beach nourishment and eelgrass restoration in southern Sweden. *Nordic Journal of Botany*, 2023(1), e03654.
- Vasseur, L. (2021). How ecosystem-based adaptation to climate change can help coastal communities through a participatory approach. *Sustainability*, 13(4), 2344.
- Villani, L., Castelli, G., Piemontese, L., Penna, D., & Bresci, E. (2022). Drought risk assessment in Mediterranean agricultural watersheds: A case study in Central Italy. *Agricultural Water Management*, 271, 107748.
- Yimer, E. A., De Trift, L., Lobkowicz, I., Villani, L., Nossent, J., & van Griensven, A. (2024). The underexposed nature-based solutions: A critical state-of-art review on drought mitigation. *Journal of Environmental Management*, 352, 119903.
- Ysebaert, T., Walles, B., Haner, J., & Hancock, B. (2019). Habitat modification and coastal protection by ecosystem-engineering reef-building bivalves. *Goods and services of marine bivalves*, 253-273.
- Zancanaro, E., Morari, F., Piccoli, I., Carrera, A., Zoccarato, C., & Teatini, P. (2024). A Novel Technique to Mitigate Saltwater Intrusion: Freshwater Recharge via Drainpipe in Permeable Paleochannels. *Hydrological Processes*, 38(10), e15299.
- Zimmermann, E., Bracalenti, L., Piacentini, R., & Inostroza, L. (2016). Urban flood risk reduction by increasing green areas for adaptation to climate change. *Procedia engineering*, 161, 2241-2246.
- Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P., & Pauleit, S. (2017). Regulating urban surface runoff through nature-based solutions—an assessment at the micro-scale. *Environmental research*, 157, 135-144.