



Piano di adattamento per il sito Natura 2000 Val Stagnon

Rapporto sull'attività 10 del pacchetto di lavoro 3.2

Versione italiana/num. 2/agosto 2021

Autori: Danijel Ivajnsič, Daša Donša, Veno Jaša Grujić,
Bojana Lipej, Borut Mozetič, Nataša Pipenbaher



Piano di adattamento per il sito Natura 2000 Val Stagnon

Rapporto sull'attività 10 del pacchetto di lavoro 3.2 del progetto ECO-SMART

Autori: Danijel IVAJNŠIČ¹, Daša DONŠA¹, Veno Jaša GRUJIĆ¹, Bojana LIPEJ², Borut MOZETIČ², Nataša PIPENBAHER¹

1 Università di Maribor (affidatario esterno); 2 DOPPS

Il rapporto è stato redatto in collaborazione con il partner del progetto: Centro di ricerche scientifiche Capodistria, Slovenia (Znanstveno-raziskovalno središče ZRS Koper)

Caporedattore e direttore responsabile della casa editrice: Tilen Glavina

Redattore per le scienze della vita: Boštjan Šimunič

Redattrici tecniche: Liliana Vižintin, Alenka Obid

Revisione: Polona Šergon

Traduzioni: MultiLingual pro, d. o. o.

Le fotografie sono state fornite dai partner del progetto e dagli autori della pubblicazione.

Editore: Centro di ricerche scientifiche Capodistria, Slovenia

Rappresentato da: Rado Pišot

L'edizione online è disponibile su <https://www.ita-slo.eu/sl/eco-smart> e <https://www.zrs-kp.si/index.php/research-2/zalozba/monografije/>

Prima edizione: Capodistria, 2021

Il progetto Mercato dei servizi ecosistemici per una politica avanzata di protezione delle aree NATURA 2000 (acronimo ECO-SMART) è cofinanziato nell'ambito del Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia 2014–2020 dal Fondo europeo di sviluppo Regionale e dai fondi nazionali. L'obiettivo del progetto ECO-SMART è valutare, testare e promuovere i modelli di pagamento per i servizi ecosistemici (PES) come strumento atto a migliorare la capacità di monitoraggio del cambiamento climatico. L'obiettivo del progetto è plasmare delle misure di adattamento idonee, rafforzando nel contempo la resilienza del territorio e migliorando il tasso di conservazione degli habitat nei siti Natura 2000.

Partner del progetto:

LP: Regione del Veneto (Italia)

PP2: Comune di Monfalcone (Italia)

PP3: Università degli studi di Padova (Italia)

PP4: Centro regionale di sviluppo Capodistria (Slovenia)

PP5: Centro di ricerche scientifiche Capodistria (Slovenia)

La pubblicazione è cofinanziata nell'ambito del Programma di cooperazione Italia-Slovenia 2014–2020 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.

© Centro di ricerche scientifiche Capodistria 2021

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.

INDICE

SOMMARIO	2
ELENCO DELLE ABBREVIAZIONI E DEGLI ACRONIMI	3
1. REVISIONE DELLE CONOSCENZE ESISTENTI E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI PARTENZA	5
1.1 NOVITÀ DEL SESTO RAPPORTO DI VALUTAZIONE DEL GRUPPO INTERGOVERNATIVO SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO	5
1.2 ZONE UMIDE COSTIERE E CAMBIAMENTO CLIMATICO	11
1.2.1 ANALISI DEI FATTORI DI RISCHIO PER IL SITO RISERVA NATURALE VAL STAGNON	14
1.2.2 VULNERABILITÀ CLIMATICA DEGLI HABITAT DI VAL STAGNON	19
1.2.3 IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUI SERVIZI ECOSISTEMICI DEL SITO NATURA 2000 VAL STAGNON	22
1.2.4 ECOLOGIA DEL RIPRISTINO DELLE ZONE UMIDE COSTIERE	22
2. METODI DI LAVORO	24
3. PIANO DI ADATTAMENTO PER IL SITO NATURA 2000 VAL STAGNON	24
4. FONTI E LETTERATURA	32

Sommario

Le conseguenze del cambiamento climatico, accelerato dai fattori antropici, stanno diventando sempre più evidenti. Visto che il tempo per prevenire gli effetti del cambiamento climatico ormai scarseggia, la recente ricerca ambientale si concentra principalmente sulle strategie di adattamento ai modelli modificati delle caratteristiche climatiche o sulle singole misure di mitigazione a livello locale o regionale. Le aree protette, come la Riserva naturale Val Stagnon, sono praticamente un luogo di ricerca ideale per tali studi, visto che l'impatto dell'uomo in queste aree è piuttosto limitato o addirittura minimo. Queste aree, naturalmente, sono ugualmente soggette alle tendenze del cambiamento climatico. Gli esperti stimano che entro la fine del secolo, in Europa il 63% delle specie importanti sarà a rischio per via dei cambiamenti climatici. In Slovenia, le più esposte alle caratteristiche climatiche mutate saranno probabilmente le aree protette con clima submediterraneo e subpannonico. Saranno soggette a un maggior cambiamento le condizioni di umidità rispetto alla temperatura. Dal punto di vista delle zone umide costiere, occorre tener conto anche del crescente rischio dell'innalzamento del livello del mare, accelerato dal cambiamento climatico, e dell'aumento della pressione antropica sulle aree costiere – la conseguenza di tutto ciò è un processo chiamato in inglese *"coastal squeeze"*. A causa dei rischi e delle pressioni menzionate, la vegetazione alofita del litorale sedimentario è già adesso piuttosto limitata alle aree protette esistenti, che sono però circondate da numerose strade, argini, canali, aree agricole intensive e zone urbane. In questo modo, non è facile sostituire la migrazione terrestre degli habitat alofiti bersaglio delle coste europee, conservando delle aree prive di barriere fisiche e che consentono a questi ecosistemi di spostarsi. Tuttavia, la rinaturazione di Val Stagnon è la prova che con una preparazione accurata delle superfici artificiali ad una micro altitudine idonea, soggetta regolarmente alle maree, è possibile raggiungere un graduale sviluppo degli habitat bersaglio a rischio, con un percorso di successione prevalentemente deterministico.

Le previsioni per la Riserva naturale Val Stagnon mostrano che il cambiamento climatico potrebbe ridurre drasticamente la superficie delle piante alofite perenni entro la metà del XXI secolo. Di conseguenza, lo studio propone una serie di contromisure di adattamento e di mitigazione con l'obiettivo di conservare i tipi di habitat bersaglio e i servizi ecosistemici che essi forniscono. La misura di adattamento più sostenibile (in verità non fattibile per Val Stagnon) è lo spostamento degli habitat costieri servendosi delle zone cuscinetto, dove possibile. Un'altra soluzione fattibile è la costruzione di ulteriori isole artificiali utilizzando il materiale di scavo locale (13 ettari di terreno a due diverse micro altitudini potrebbero compensare la perdita di superficie prevista entro il 2060 per tre diversi habitat di Val Stagnon). Una regolazione artificiale più sistematica del mare e degli afflussi di acqua dolce potrebbe inoltre fornire un'area adeguata agli habitat bersaglio di Natura 2000. Si può dedurre che i piani strategici idonei nelle zone umide costiere, i quali possono includere le misure di adattamento elencate, devono essere preparati con cura e, soprattutto, tempestivamente. Nel piano di adattamento ai cambiamenti climatici nel sito Natura 2000 di Val Stagnon abbiamo quindi analizzato le varie misure di adattamento e selezionato quelle più rilevanti per il sito in questione, che non sono ancora completamente implementate.

Elenco delle abbreviazioni e degli acronimi

ARSO = Agenzia per l'ambiente della Repubblica di Slovenia (Agencija RS za Okolje)

BIO = variabili bioclimatiche del database WorldClim

CC = ingl. *Climate Change*; cambiamento climatico

CCAM = ingl. *Climate Change Adaptation Modeler*; modellatore dell'adattabilità climatica

CVA = ingl. *Change Vector Analysis*; analisi vettoriale dei cambiamenti

DEM = ingl. *Digital Elevation Model*; modello digitale di elevazione

GCM = ingl. *Global Climate Models*; modello climatico globale

GNSS = ingl. *Global Navigation Satellite Systems*; sistemi satellitari globali di navigazione

HadGEM2-ES = ingl. *Hadley Global Environment Model 2 - Earth System*; modello climatico globale di Hadley - 2 sistema terrestre

HT = tipo di habitat

HAT = ingl. *Highest Astronomical Tide*; la più alta marea astronomica - quando la Luna è al perigeo

IPCC = ingl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*; Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico

IPCC AR5 = Quinto rapporto di valutazione del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico

IPCC AR6 = Sesto rapporto di valutazione del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico

MHWN = ingl. *Mean High Water Neaps*; altezza media delle alte maree quadrature

MHWS = ingl. *Mean High Water Springs*; altezza media delle alte maree sizigie

MLW=MSL = ingl. *Mean Sea Level*; livello medio del mare

MPI-ESM-LR= ingl. *The Max Planck Institute Earth System Model*; modello climatico globale di Max Planck

MWHA = ingl. *Modified Ward Habitat Aggregate*; aggregati di habitat adattati secondo Ward

P50 = scenario climatico medio della serie SRES (ingl. *Special Report on Emissions Scenarios*)

PCA = ingl. *Principal Component Analysis*; analisi delle componenti principali

PCLASS = ingl. *Probability Classification tool*; strumento di calcolo della distribuzione di probabilità

RCP = ingl. *Representative Concentration Pathway*; percorsi rappresentativi di concentrazione futura dei gas serra nell'atmosfera

RMSE = ingl. *Root Mean Square Error*; radice dell'errore quadratico medio

SD = deviazione standard

SSP = ingl. *Shared Socioeconomic Pathways*; scenari socio-economici per il Sesto rapporto sul clima

T/P = satellite Topex/Poseidon

1. REVISIONE DELLE CONOSCENZE ESISTENTI E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI DI PARTENZA

La revisione delle conoscenze esistenti si basa sulle ricerche già condotte sull'argomento (ad esempio Ivajnšič, 2015; Ivajnšič e Donša, 2018). Abbiamo riassunto anche le principali innovazioni del Sesto rapporto IPCC (2021). Inoltre, nel rivedere le conoscenze esistenti, sono stati presi in considerazione i risultati delle attività WP 3.1 del progetto ECO-SMART. Di seguito presenteremo alcuni importanti risultati che sono stati essenziali per la formazione delle posizioni su cui si basa il piano di adattamento ai cambiamenti climatici nel sito Natura 2000 Val Stagnon.

1.1 Novità del Sesto Rapporto di Valutazione del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico

I miglioramenti delle stime basate sull'osservazione e delle informazioni provenienti dagli archivi paleoclimatici forniscono una visione completa di ogni componente del sistema climatico e dei relativi cambiamenti avvenuti fino ad oggi. Le nuove simulazioni dei modelli climatici, le nuove analisi e i metodi che combinano più prove, portano a una migliore comprensione dell'impatto dell'uomo in uno spettro più ampio di variabili climatiche, comprese le condizioni meteorologiche e gli estremi climatici (IPCC, 2021).

Di seguito, abbiamo riassunto più in dettaglio i nuovi risultati del Sesto rapporto IPCC (2021).

La Figura 1 (grafico) a) mostra i cambiamenti della temperatura superficiale globale ricostruita mediante gli archivi paleoclimatici (1–2000) e le osservazioni dirette (1850–2020), considerato il periodo di riferimento 1850–1900 (a sinistra) o la media decennale (a destra). La colonna a sinistra del grafico mostra (con alta probabilità) la temperatura stimata nel periodo più caldo di diversi secoli negli ultimi 100.000 anni, circa 6500 anni fa nell'attuale periodo interglaciale (Olocene). L'ultimo interglaciale di circa 125.000 anni fa è il prossimo candidato più recente a essere considerato come il periodo dalle temperature superficiali più elevate. I periodi caldi del passato (prima della comparsa dell'uomo) erano il risultato di variazioni orbitali millenari lente (cause astronomiche del cambiamento climatico).

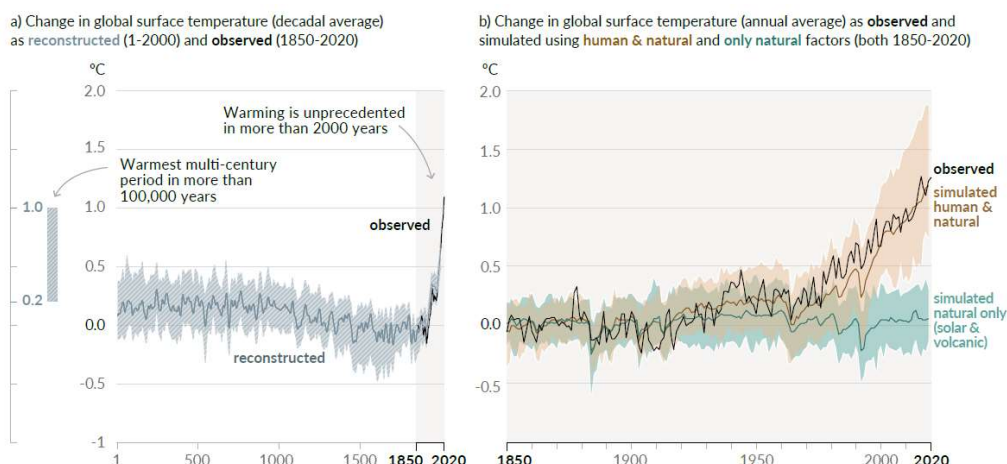


Figura 1: La storia delle temperature superficiali globali (a sinistra, grafico A) e le variazioni osservate e modellate della temperatura superficiale rispetto all'era preindustriale (IPCC, 2021)

La Figura 1 (grafico) b) mostra le variazioni della temperatura superficiale globale nei decenni degli ultimi 170 anni, considerato il periodo di riferimento 1850–1900 e tenuto conto delle simulazioni del modello climatico CMIP6. È possibile identificare la risposta della temperatura alle cause dovute ai processi naturali e all'impatto dell'uomo. Le linee in grassetto mostrano il valore medio di diversi modelli, mentre le sfumature di colore rappresentano una gamma molto probabile di simulazioni. Gli indicatori quantitativi dimostrano quindi in maniera diretta che l'uomo ha accelerato intensamente il riscaldamento della superficie terrestre.

Secondo i nuovi scenari di emissione dei gas serra, le temperature superficiali globali continueranno ad aumentare fino alla metà del secolo. Se non riduciamo le emissioni di CO₂ e di altri gas serra, supereremo presto il riscaldamento globale di 1,5–2,0 °C (Figura 2).

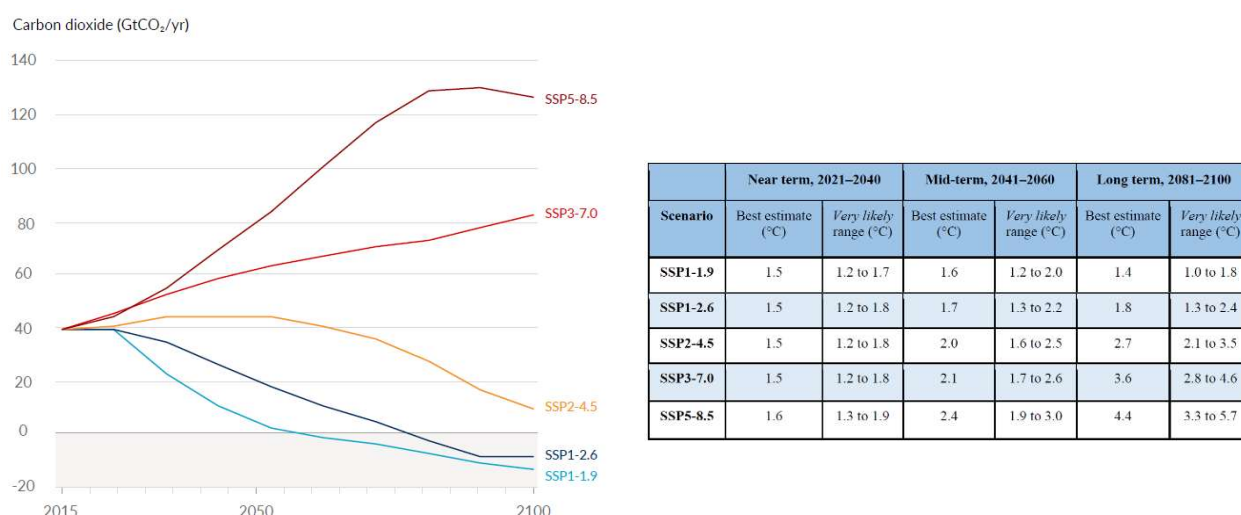


Figura 2: Le emissioni annuali di CO₂ in futuro, secondo i cinque diversi scenari (a sinistra) e le variazioni della temperatura superficiale globale in periodi ventennali selezionati sulla base dei cinque scenari di emissione considerati (a destra) (IPCC 2021)

Sulla base delle evidenze quantitative multilivello e secondo gli scenari considerati con elevate emissioni di CO₂ (SSP3-7.0 e SSP5-8.5), il riscaldamento globale nel XXI secolo sarà superiore a

2 °C rispetto al 1850–1900. È *molto probabile* che il valore limite di 2 °C venga superato anche in caso di emissioni moderate (scenario SSP2-4.5). Le previsioni più ottimistiche sono offerte da scenari di emissioni di gas serra molto basse (SSP1-1.9) o basse (SSP1-2.6), che prevedono un improbabile salto di 2 °C. Tuttavia, il superamento del riscaldamento globale di 2 °C nel medio termine (2041–2060) è *molto probabile* nello scenario SSP5-8.5, *probabile* in SSP3-7.0 e *meno probabile* nello scenario con emissioni moderate di gas serra (SSP2-4.5).

Ogni regione del mondo è già colpita dal cambiamento climatico. L'impatto dell'uomo è tipicamente percepibile nei cambiamenti osservati nei modelli meteorologici con numeri crescenti ed estremi meteorologici più intensi. Gli esagoni nelle figure 3 e 5 mostrano le regioni popolate del mondo secondo la categorizzazione IPCC AR6 WGI. Tutte le stime degli indicatori sono calcolate per regione dal 1950 ad oggi. Le stime basate su diverse serie temporali e su scale locali possono differire da quelle mostrate. I cambiamenti degli indicatori trattati per regioni (esagoni) sono illustrati con una caratteristica varietà di colori. Gli esagoni bianchi vengono utilizzati se c'è incertezza nel determinare il tipo di cambiamento per l'intera regione, gli esagoni grigi vengono utilizzati in caso di dati e/o letteratura limitati che impediscono la valutazione dell'intera regione. Altri colori mostrano almeno una *confidenza media* nel cambiamento osservato. Il grado di confidenza nell'impatto umano sui cambiamenti osservati è indicato dal numero di punti: tre punti per *confidenza alta*, due punti per *confidenza media* e un punto per *confidenza bassa* (Figura 3).

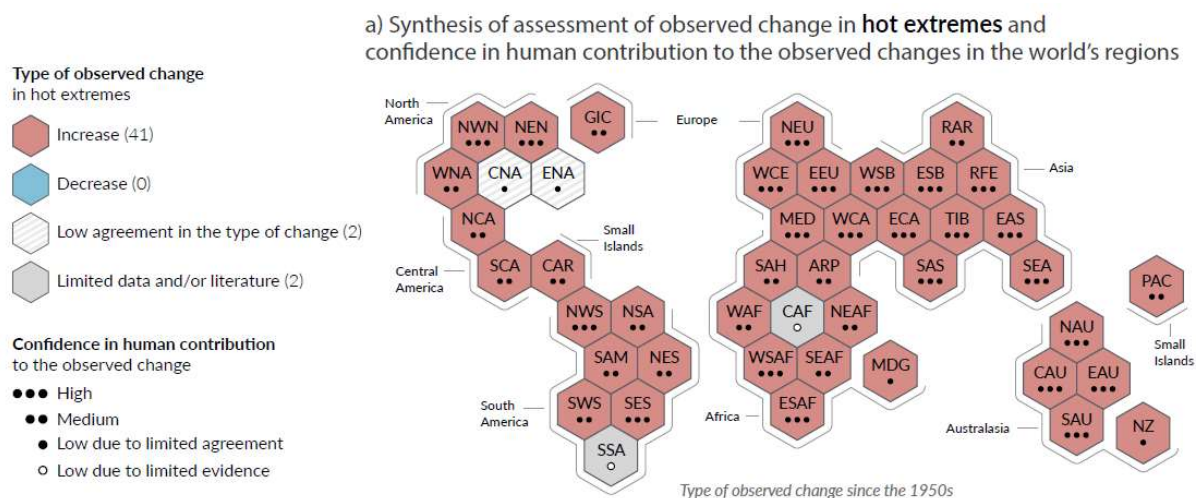


Figura 3: Stima dei cambiamenti osservati nelle temperature estreme per regione, mostrata secondo la categorizzazione IPCC AR6 WGI (IPCC 2021)

La previsione delle temperature estreme si basa principalmente sull'andamento delle temperature giornaliere più elevate dell'aria. Vengono inoltre aggiunte informazioni regionali sulla durata delle ondate di calore, sulla loro frequenza e intensità. Tutti gli esagoni rossi indicano le regioni in cui c'è almeno una *confidenza moderata* nell'aumento osservato degli estremi di calore.

La Figura 4 prevede i cambiamenti nelle ondate di calore (rispetto al periodo 1850–1900 = clima senza influenza antropica), mostrati a tassi di riscaldamento globale di 1 °C, 1,5 °C, 2 °C e 4 °C. Viene considerata la loro incidenza e aumento di intensità in un tempo di ritorno di

10 o 50 anni. Con un aumento molto probabile della temperatura globale dell'aria di 2 °C (rispetto all'era preindustriale), saremo 5,6 volte più esposti a ondate di calore decennali, che saranno anche più intense (fino a +2,6 °C). Ancora più preoccupante è la previsione delle ondate di calore in 50 anni, che in un'atmosfera più calda di 2 °C potranno verificarsi 13,9 volte più spesso.

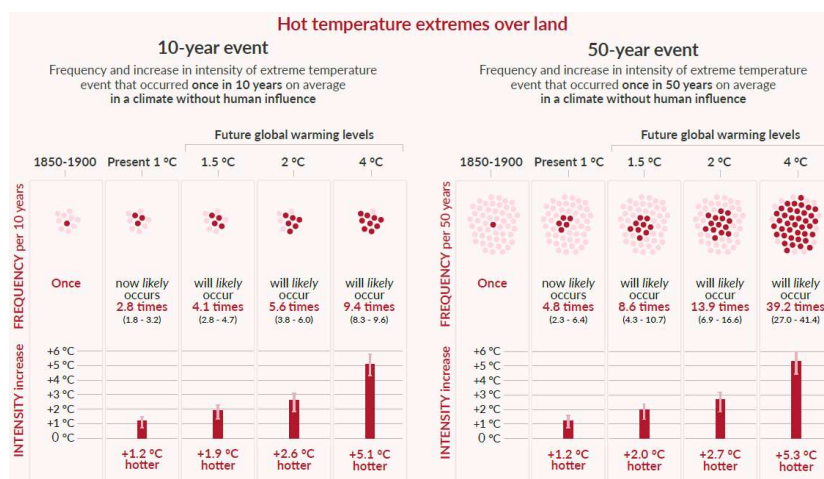


Figura 4: Variazioni previste nell'intensità e nella frequenza delle ondate di calore rispetto ai tempi di ritorno di 10 anni (sinistra) e 50 anni (destra) (IPCC 2021)

Nei climi più caldi, il contrasto tra clima molto umido e molto secco, le condizioni climatiche e le stagioni estreme si intensificherà. Ciò si tradurrà in inondazioni e siccità più frequenti (*alta confidenza*), ma la posizione e la frequenza di questi eventi dipenderanno dai cambiamenti previsti nella circolazione atmosferica regionale, compresi i monsoni e i sistemi di tempeste a media latitudine. È *molto probabile* che entro la seconda metà del XXI secolo, nel caso in cui si realizzassero gli scenari SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5, la variabilità delle precipitazioni associata al fenomeno dell'oscillazione meridionale (ENSO) aumenterà.

Dalla pubblicazione del Sesto rapporto IPCC sul clima abbiamo prove più solide che il ciclo globale dell'acqua continuerà ad incrementare con l'aumento delle temperature globali (*alta confidenza*), con precipitazioni e flussi di acque superficiali che nelle stagioni (*alta confidenza*) e di anno in anno (*confidenza media*) dovrebbero diventare più variabili nella maggior parte delle regioni terrestri (Figura 5). Secondo le previsioni, le precipitazioni annue medie nel periodo 2081–2100 (rispetto al periodo 1995–2014) aumenteranno dello 0-5%, tenendo conto dello scenario ottimistico GSP1-1,9, dell'1,5-8% rispetto allo scenario di emissioni moderate di gas serra SSP2-4.5) e dell'1-13% nello scenario di emissioni di gas serra molto elevate (SSP5-8.5). Si prevede che le precipitazioni aumenteranno alle latitudini più elevate, nell'Oceano Pacifico equatoriale e in alcune parti delle regioni monsoniche. La loro quantità diminuirà (*molto probabilmente*) nelle aree subtropicali e in alcune aree tropicali, tenendo conto degli scenari SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5.

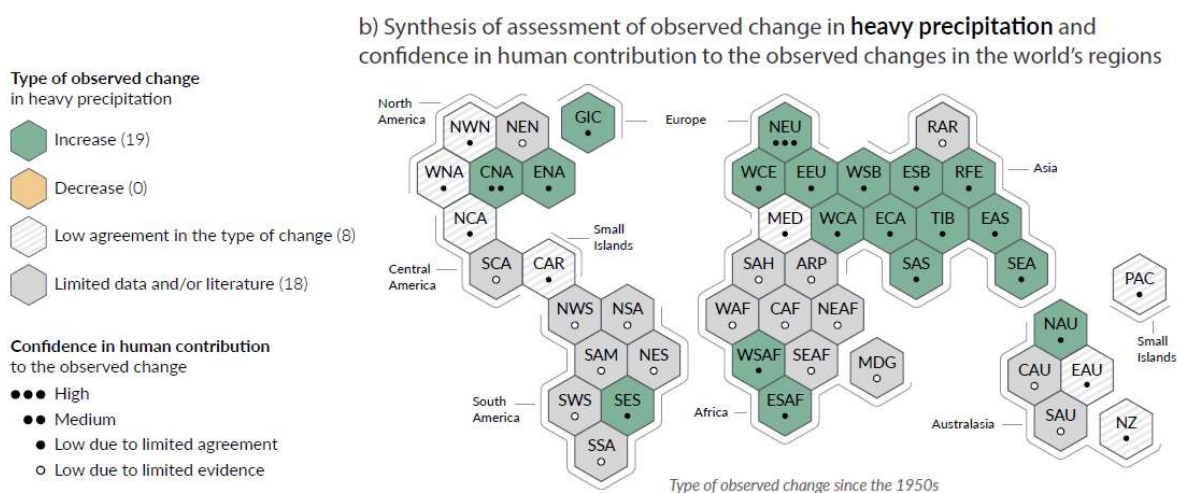


Figura 5: Stima dei cambiamenti osservati nelle precipitazioni abbondanti, mostrati per regione secondo la categorizzazione IPCC AR6 WGI (IPCC, 2021)

Nella Figura 6 si possono vedere i cambiamenti previsti nelle precipitazioni estreme e nella siccità (rispetto al periodo 1850–1900 = clima senza influenza antropica), mostrati a tassi di riscaldamento globale di 1 °C, 1,5 °C, 2 °C e 4 °C. Viene considerata la loro incidenza e aumento di intensità in un periodo di ritorno di 10 anni. Con un aumento molto probabile della temperatura globale dell'aria di 2 °C (rispetto all'era preindustriale), saremo 1,7 volte più esposti a piogge abbondanti, che saranno anche più intense (fino a +14 % di acqua in più). Ancora più preoccupante è la previsione delle siccità decennali, che in un'atmosfera più calda di 2 °C potranno verificarsi 2,4 volte più spesso.

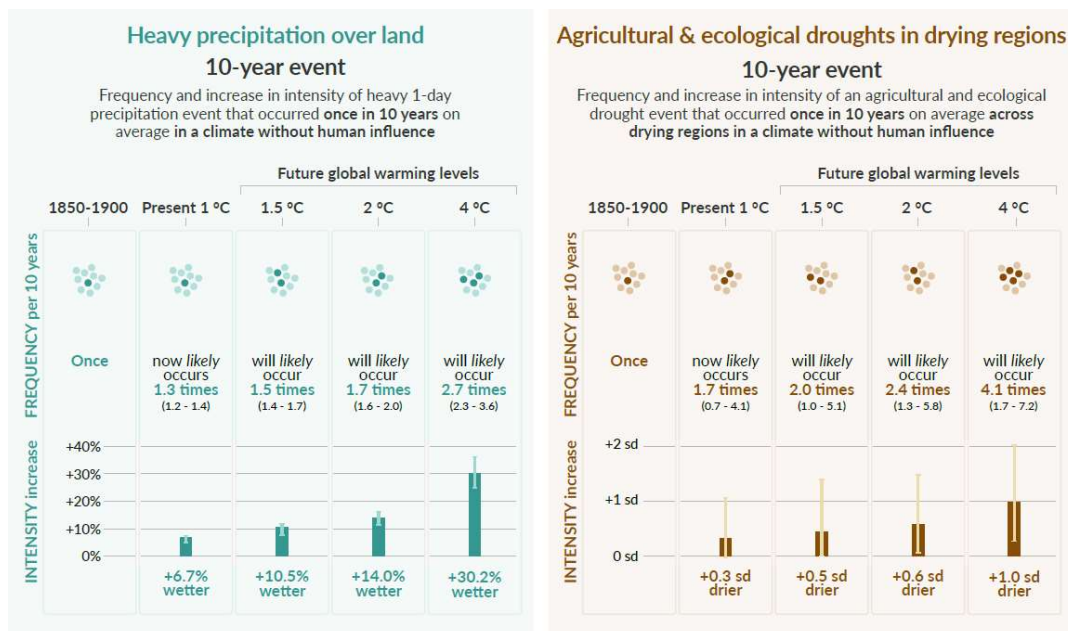


Figura 6: Cambiamenti previsti nelle piogge intense decennali (a sinistra) e nelle siccità (a destra) (IPCC, 2021)

Una delle conseguenze più percettibili del cambiamento climatico è l'innalzamento del livello del mare. A causa dell'aumento della temperatura degli oceani, essi si stanno espandendo. Dovuto allo scioglimento dei ghiacci continentali (Groenlandia, Antartide) e dei ghiacciai montani, il volume degli oceani aumenta. Fattori regionali stanno causando l'innalzamento del livello del mare in alcune aree, la diminuzione o il mantenimento della stabilità in altre. Un'armata di strumenti di misura sempre più sofisticati distribuiti negli oceani, nei ghiacci polari e nell'orbita terrestre rivela cambiamenti significativi dei fattori che causano l'innalzamento del livello del mare.

Lo strumento di proiezione del livello del mare (ingl. *NASA Sea Level Projection Tool*) sviluppato dalla NASA, consente agli utenti di visualizzare e trasferire i dati utilizzati nel Sesto rapporto IPCC (AR6) (Figura 7).

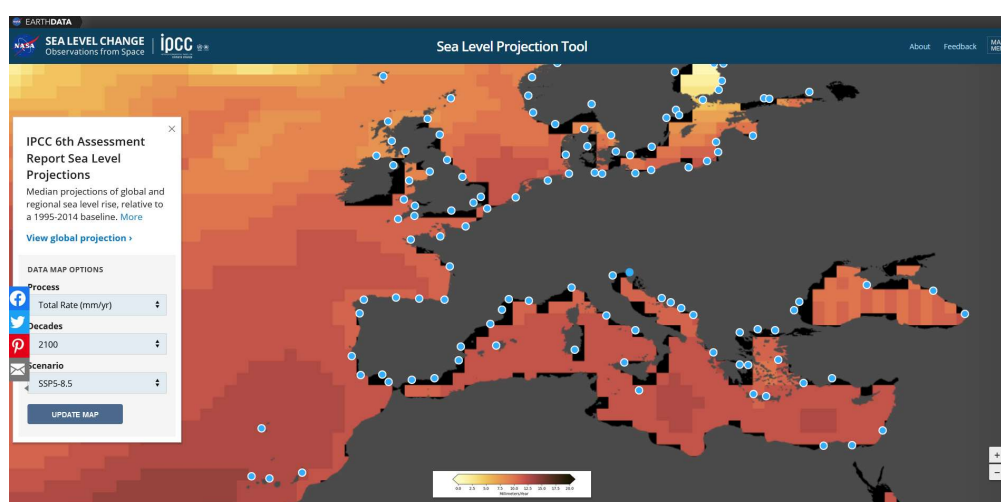


Figura 7: Strumento di proiezione dell'innalzamento del livello del mare; zona del Mar Mediterraneo (NASA, 2021)

La Figura 8 mostra i valori di innalzamento del livello del mare nella stazione mareografica di Trieste secondo gli scenari di emissione dei GES (SSP). I livelli medi della variazione totale del livello del mare sono mostrati in mm all'anno. La colonna SSP5-8.5 *Low Confidence* include i possibili, seppur poco probabili, forti effetti dell'intenso scioglimento dei ghiacci continentali. In Slovenia possiamo aspettarci entro la fine di questo secolo un aumento del livello medio del mare fino a 0,95 m. Se a questo aggiungiamo la tendenza della subsidenza superficiale, possiamo grosso modo parlare di un metro. Con la marea astronomica più alta, possiamo aspettarci un livello del mare fino a 2 m più alto.

	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP5-8.5 Low Confidence
Total (2030)	0.09 (0.03, 0.15)	0.09 (0.03, 0.15)	0.09 (0.05, 0.14)	0.08 (0.03, 0.15)	0.09 (0.05, 0.14)	0.09 (0.05, 0.15)
Total (2050)	0.15 (0.06, 0.25)	0.17 (0.09, 0.26)	0.18 (0.11, 0.27)	0.19 (0.12, 0.28)	0.21 (0.13, 0.30)	0.21 (0.13, 0.34)
Total (2090)	0.30 (0.16, 0.48)	0.35 (0.21, 0.53)	0.42 (0.28, 0.62)	0.48 (0.33, 0.69)	0.54 (0.38, 0.78)	0.60 (0.38, 1.03)
Total (2100)	0.31 (0.14, 0.52)	0.39 (0.22, 0.60)	0.48 (0.32, 0.71)	0.58 (0.40, 0.84)	0.67 (0.46, 0.95)	0.77 (0.46, 1.27)
Total (2150)	0.45 (0.16, 0.80)	0.58 (0.28, 0.96)	0.77 (0.45, 1.21)	1.00 (0.62, 1.50)	1.13 (0.70, 1.73)	1.77 (0.70, 4.70)
Rate (2040-2060)	3.6 (1.5, 6.2)	4.4 (2.8, 6.8)	5.1 (3.1, 7.6)	5.4 (3.6, 8.1)	6.1 (4.0, 9.0)	6.5 (4.0, 12.9)
Rate (2080-2100)	2.0 (-0.2, 4.8)	4.2 (1.5, 7.4)	5.8 (3.3, 9.6)	8.6 (5.0, 13.4)	10.6 (6.8, 16.4)	14.3 (6.8, 29.3)

Figura 8: L'innalzamento del livello del mare nella stazione mareografica di Trieste in base ai diversi scenari di emissione dei gas serra (NASA, 2021)

1.2 Zone umide costiere e cambiamento climatico

Boorman (1995) definisce le zone umide costiere come aree, dove nelle zone intertidali, i sedimenti fini vengono trasportati dall'acqua e stabilizzati dalla vegetazione. Una volta assestata la copertura vegetale, la velocità di sedimentazione spesso aumenta per via della maggiore quantità di sedimenti intercettati e intrappolati, che aumenta la rugosità della superficie (Stumpf, 1983; Stevenson et al., 1988). Allo stesso tempo, la vegetazione riduce la risospensione del materiale depositato, lasciando la materia organica sulla superficie della zona umida (Allen e Pye, 1992). Avvengono così nel contempo l'accumulo e la crescita delle radici sotto la superficie. Naturalmente si verifica anche la sedimentazione del materiale depositato, e tutti questi processi portano di solito ad un lento e graduale accumulo e stabilità del sedimento (accrescimento della zona umida; ingl. *accretion*). Sono necessari quattro elementi per lo sviluppo e la crescita delle zone umide costiere: un'area di sedimenti relativamente stabile ed esposta alle maree per un breve periodo; delle riserve disponibili di sedimenti idonei durante l'alta marea; una velocità dell'acqua sufficientemente bassa per consentire il deposito dei sedimenti e lo stoccaggio di semi e altre unità riproduttive che possano costituire la copertura vegetale.

Boorman (2003) ha identificato tre tipi principali di zone umide costiere:

- *Zone umide costiere dietro una barriera naturale.* Queste zone umide si sviluppano al riparo di promontori o isole divisorie, dove l'angolo di inclinazione della superficie che subisce l'impatto delle maree è piccolo (ad es. Norfolk settentrionale). Le zone umide si sviluppano

vicino alle dune di sabbia o lungo le coste ghiaiose, mentre le zone di transizione possono essere ricche di specie vegetali.

- *Zone umide costiere al riparo del rilievo.* Questo tipo di zona umida si sviluppa solitamente su una pianura costiera alluvionale a ridosso di un alto rilievo adiacente (ad es. aree protette nelle insenature o dietro argini naturali o artificiali). In questo tipo di zone umide si verificano di solito dei sedimenti più profondi (ad es. Wash e Dengie nella contea di Essex, Regno Unito).
- *Zone umide costiere negli estuari.* Si trovano nelle aree in cui i fiumi sfociano in mare aperto. Solitamente si verifica l'influenza dell'acqua dolce nella parte alta del sistema, ma può presentarsi anche in aree dove la zona umida si estende a quote più elevate, dove possono comparire dei singoli corsi d'acqua o sorgenti d'acqua dolce. Questo tipo di zona umida veniva spesso trasformata in terreno agricolo. Le parti superiori delle zone umide negli estuari hanno spesso un'interessante zona di transizione dove si mescolano alofiti e comunità di acqua dolce non soggette alle maree. Questo tipo di zona umida si trova alle foci dei grandi fiumi sulla costa orientale della Gran Bretagna e lungo la costa occidentale elevata, intersecata in alcuni punti da molte valli fluviali, e in molte rias.

Nelle zone umide costiere ci sono quattro fasce principali e una zona di transizione superiore, tra cui una o più fasce possono non verificarsi in nessuna area (Figura 9). Queste fasce si basano sul regime delle maree e possono coincidere con la distribuzione delle specie vegetali. Raramente si possono distinguere anche le distese fangose con scarsa o nessuna vegetazione e le zone umide pioniere. Le significative fluttuazioni annuali nella densità della vegetazione pioniera in queste aree confermano l'inutilità di questa divisione. In generale, si possono identificare le seguenti fasce nelle zone umide costiere (Boorman, 2003):

- *Comunità pioniera aperte con una o più specie dominanti* – *Spartina spp.*, *Salicornia spp.*, *Aster tripolium*. La fascia è allagata durante tutte le maree, ad eccezione della più bassa (al primo e all'ultimo quarto).
- *Zona umida bassa con comunità chiuse* formate da *Puccinellia maritima*, *Atriplex portulacoides* e le sopra menzionate piante annuali. La fascia è prevalentemente allagata durante tutte le maree.
- *Zona umida media con comunità chiuse* formate dalle specie *Limonium spp.* e/o *Plantago* e le specie summenzionate. La fascia è allagata solo durante le maree che si verificano al novilunio e al plenilunio.
- *Zona umida alta con comunità chiuse* formate dalle specie *Festuca rubra*, *Armeria maritima*, *Elytrigia spp.* oltre alle specie citate in precedenza. La fascia è allagata solo durante le più alte maree al novilunio e al plenilunio (quando la Luna è al perigeo).
- *Zona di transizione superiore.* Si tratta di un mosaico vegetazionale formato da specie provenienti dalla fascia superiore della zona umida e dall'area adiacente. La zona è inondata solo occasionalmente, quando si verifica un'ondata di marea durante le tempeste estreme.

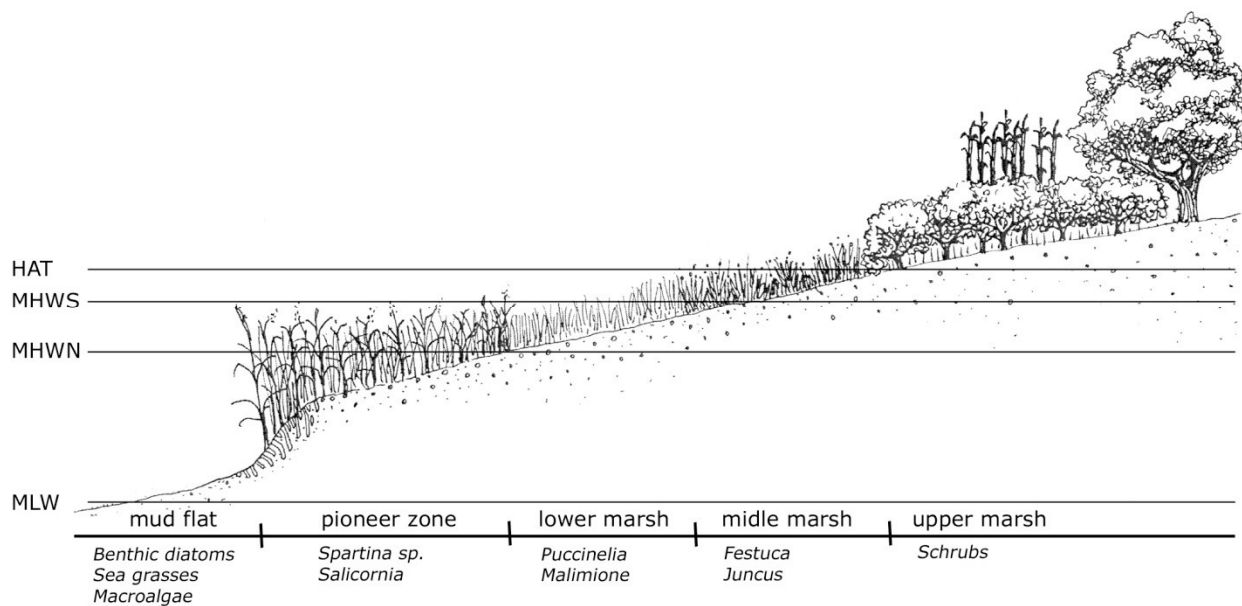


Figura 9: Fasce (zone) tipiche nelle zone umide costiere (adattato da Bertness et al., 1991). La distribuzione delle specie dipende dal gradiente di micro altitudine, dalla frequenza delle inondazioni di marea e dalla frequenza degli eventi meteorologici estremi. MLW = MSL = mean sea level (livello medio del mare); MHWN = mean high water neaps (altezza media delle alte maree quadrature); MHWS = mean high water springs (altezza media delle alte maree sizigie); HAT = highest astronomical tide (la più alta marea astronomica – quando la Luna è al perigeo).

L'importanza delle zone umide costiere per animali e piante è nota da molti anni. La diversità della flora e della fauna è il risultato dell'interazione di due habitat, quello marino e quello terrestre (Daiber, 1986). Numerose insenature nelle zone umide costiere forniscono un sito adatto per la riproduzione o l'allevamento di varie specie ittiche (Daiber, 1977; Costa et al.; 1994, 1995). Allo stesso tempo, le zone umide costiere sono un luogo in cui molte specie di uccelli si nutrono, riposano e nidificano (Cadwalladr et al., 1972; Greenhalgh, 1975; Burger, 1977). Il ruolo delle zone umide costiere in qualità di habitat idoneo per gli uccelli è particolarmente importante nelle aree in cui i prati estensivi sono stati quasi completamente sostituiti da aree agricole coltivate in modo intensivo. Così, oggi possiamo trovare negli habitat delle zone umide costiere anche specie di uccelli solitamente legate ai prati [ad es. la beccaccia di mare, la pavoncella (Allport et al., 1986), la pettgola (Green et al., 1984)]. Le zone umide sono particolarmente importanti per lo svernamento dei gruppi di uccelli anseriformi, come l'oca colombaccio e il fischione (Boorman e Ranwell, 1977). In inverno, un gran numero di questi ultimi pascola sulla vegetazione delle zone umide costiere sia come svernanti che come migratori. Le zone umide costiere sono anche l'habitat di alcune specie di uccelli canori, ad es. il fanello nordico (Davies, 1987), che in inverno si nutre di semi delle alofite. Oltre a tutte le piante e agli animali che sono legati alle zone umide costiere, alcune specie ne traggono solo un beneficio indiretto. Le zone umide costiere sono aree ad alta produttività; forniscono anche una fonte di materia organica e nutrienti per i pesci e per molti invertebrati degli habitat marini vicini (Odum, 1961; Teal, 1962; Mitsch e Gosselink, 1986; Lefeuvre e Dame, 1994).

Su scala globale, le zone umide costiere sono soggette a pressioni bilaterali. Dal lato terrestre vengono invase dall'uomo, che sta espandendo la sua attività economica e le sue infrastrutture

nella zona costiera. Dal lato marino, invece, questi ecosistemi stanno perdendo superficie e identità a causa dell'innalzamento accelerato del livello del mare. Date le attuali tendenze di cambiamento ambientale dovuto all'uomo e ai cambiamenti climatici, il destino delle zone umide costiere a latitudini temperate (compreso il Nord Adriatico) si trova nelle mani degli esperti, che con piani e azioni opportuni di adattamento possono ancora limitare lo scenario negativo della seconda metà del XXI secolo, al quale altrimenti andiamo certamente incontro.

L'impatto dell'innalzamento del livello del mare sulle zone umide costiere è molto complesso. Diversi fattori devono essere considerati per poter fare una buona valutazione. In primo luogo si deve partire dalla tettonica della superficie. L'Adriatico settentrionale è soggetto alla subsidenza superficiale, che accelera ulteriormente l'innalzamento del livello del mare. La sedimentazione del materiale portato dai fiumi, invece, favorisce l'accrescimento delle zone umide. Oltre ai processi naturali, il sistema delle zone umide costiere è sottoposto a una grande pressione antropica, essendo la zona costiera anche la più popolata. La costruzione di infrastrutture impedisce il ritiro delle zone umide costiere per eludere l'innalzamento del livello del mare (Figura 10).

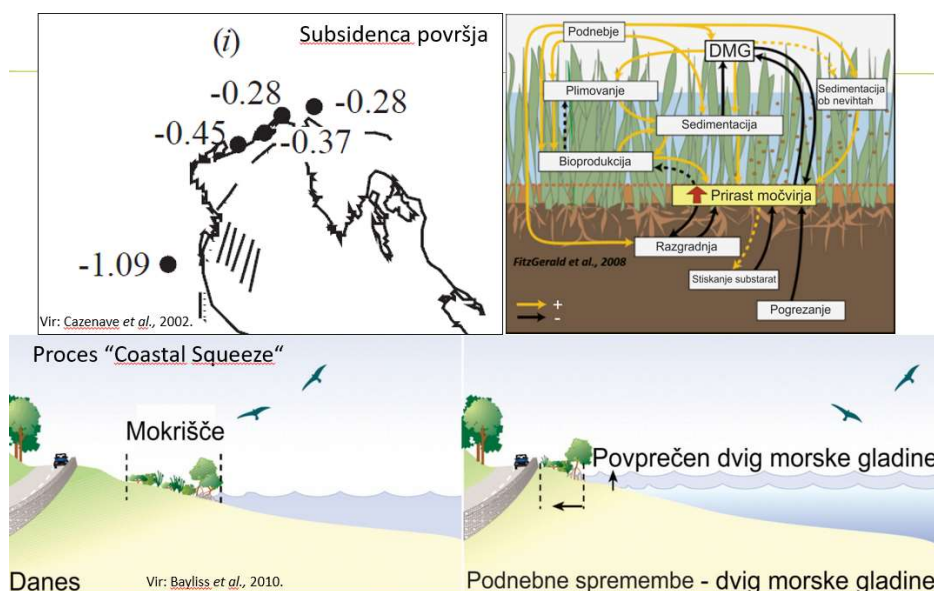


Figura 10: L'impatto dell'innalzamento del livello del mare sulle zone umide costiere è correlato a diversi fattori. FONTE: Cazenave et al., 2002; Fitzgerald et al., 2008; Bayliss et al., 2010.

1.2.1 Analisi dei fattori di rischio per il sito Riserva naturale Val Stagnon

Il monitoraggio del livello del mare in Slovenia avviene sotto l'egida dell'Agenzia per l'ambiente della Repubblica di Slovenia (ARSO) presso la stazione mareografica di Capodistria e la boa oceanografica di Pirano, di proprietà dell'Istituto nazionale di biologia (NIB – Stazione di biologia marina). Tramite la sua stazione di Capodistria, ARSO collabora anche con il Servizio europeo di monitoraggio del livello del mare (ESEAS), che comprende circa 200 mareografi all'avanguardia in ventitré Paesi europei, al fine di fornire ai ricercatori e al pubblico

internazionale i dati sul cambiamento del livello del mare. Così, alla fine del 2005, la stazione mareografica di Capodistria è stata rinnovata e potenziata per soddisfare gli standard e i requisiti internazionali per la registrazione e il monitoraggio a lungo termine del livello del mare (Stopar et al., 2006). È situata in Piazza Ukmar a Capodistria, dove dal 1958 si trovava il vecchio mareografo. Oltre a registrare il livello medio del mare e la temperatura del mare, la moderna stazione mareografica ora ottiene dati meteorologici accurati (velocità e direzione del vento, pressione atmosferica, temperatura e umidità dell'aria, ecc.) ed esegue un monitoraggio continuo da una stazione GPS fissa (Savšek Safic et al., 2007). Per quanto riguarda i rapporti, abbiamo riassunto i dati liberamente disponibili sul livello medio annuo del mare degli ultimi 30 anni (1962–2012), disponibili sul sito web (ARSO).¹ La tendenza dell'innalzamento del livello del mare è stata corretta dalla velocità di sedimentazione media nel Golfo di Trieste (0,053 cm anno⁻¹) secondo i risultati di Ogorelec et al. (1991) e dalla velocità media di subsidenza nel Golfo di Trieste (0,0015 cm anno⁻¹) secondo i calcoli di Lambeck et al. (2004). Con la tendenza ottenuta e aggiustata abbiamo quindi previsto lo scenario del livello del mare nell'area di ricerca di Val Stagnon per gli anni 2025, 2050, 2075 e 2100 rispetto all'anno di riferimento 2010.

Le misurazioni locali e le conseguenti previsioni del livello medio del mare rispetto al 2010 sono state ulteriormente confrontate con la valutazione del cambiamento globale del livello del mare (Church et al., 2011) del Quinto rapporto del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC AR5, 2014), che comprende le variazioni delle capacità termiche degli oceani ovvero la loro espansione termica, i cambiamenti nella massa dei ghiacciai, i cambiamenti nel bilancio di massa della superficie glaciale e i cambiamenti nel flusso dei ghiacciai. La valutazione dell'innalzamento del livello del mare si basa sulle simulazioni del modello climatico globale, che fa parte di una simulazione climatica organizzata a livello internazionale denominata CMIP-5 (ingl. *Coupled Model Intercomparison Project*).² Per il XX secolo, il modello utilizza i cambiamenti effettivamente osservati nelle concentrazioni di gas serra e in altri parametri climatici, mentre per il XXI secolo utilizza le previsioni sulle emissioni di gas serra secondo uno speciale rapporto IPCC sugli scenari delle emissioni RCP (ingl. *Representative Concentration Pathways*). Pertanto, nel nostro modello dei cambiamenti nei tipi di habitat (HT) a Val Stagnon, oltre alla tendenza modificata locale dell'innalzamento del livello del mare, abbiamo preso in considerazione anche gli scenari RCP4.5 e RCP8.5 fino al 2100 rispetto all'anno di riferimento 2010.

Per valutare l'entità dell'impatto dell'innalzamento del livello del mare secondo gli scenari selezionati di cambiamento climatico (ingl. *Climate Change* [CC]) e per valutare quali aree terrestri saranno più a rischio, abbiamo utilizzato lo strumento CCAM (ingl. *The Climate Change Adaptation Modeler*) e il modello "Sea Level Rise Impact" nel programma TerrSet (Eastman, 2016). L'algoritmo PCLASS include nella proiezione le incertezze delle previsioni (CC RMSE; DEM RMSE) e rappresenta quindi uno strumento che consente una migliore previsione dell'innalzamento del livello del mare. Il risultato del modello "Sea Level Rise Impact" è una mappa raster che rappresenta la probabilità che un'area venga sommersa o allagata in una determinata finestra temporale (Eastman, 2016). Il modello funziona calcolando la superficie sotto la normale curva a campana, determinata dal valore limite, definito dal valore di

¹http://kazalci.arso.gov.si/xml_Preglednica?data=graph_Preglednica&graph_id=12120&ind_id=612

²http://www.cmar.csiro.au/sealevel/sl_proj_21st.html

deviazione standard RMSE. Pertanto, abbiamo prodotto delle mappe del rischio di alluvione basate su quattro scenari di cambiamento climatico e in quattro finestre temporali (2025, 2050, 2075 e 2100). Lo scenario 1 è stato creato utilizzando il modulo MAGICC/SCENGEN nel programma TerrSet (Eastman, 2015). Tra i diversi scenari di emissione, abbiamo scelto l'opzione P50 (la media di tutti gli scenari SRES [Nakicenovic e Swart, 2000]), con alcuni dati di ingresso aggiuntivi (Joos et al., 2001; Sutterlay et al., 2014). Gli scenari 2 e 3 si basavano invece su stime dell'innalzamento del livello del mare IPCC AR5 modellate. Abbiamo selezionato gli scenari rappresentativi RCP4.5 e RCP8.5, che differiscono per intensità e tendenza delle emissioni di gas serra. Le stime dell'IPCC AR5 dell'innalzamento del livello del mare per la parte settentrionale del Mare Adriatico (Church et al., 2013) (44,5 N, 13,5 E) sono state ottenute dal sito web del Centro per il clima integrato dell'Università di Amburgo.³ Lo scenario 4 (innalzamento lineare locale del livello del mare) si basava sulla tendenza dell'innalzamento del livello del mare registrata dalle misurazioni effettuate nell'area di ricerca tra il 1984 e il 2014 (tendenza corretta in base ai dati del mareografo di Capodistria).

Le mappe probabilistiche continue che mostrano il rischio di inondazione negli scenari climatici selezionati hanno consentito una determinazione più obiettiva del livello del mare nella Riserva naturale Val Stagnon nel futuro, convertendo queste mappe probabilistiche in base al livello di rischio che siamo disposti a correre. Abbiamo quindi scelto come valore limite una probabilità di errore del 10-% ($\alpha = 0,10$; $p < 0,1$). Su questa base, abbiamo prodotto diverse mappe che mostrano lo stato del livello del mare nell'area delle zone umide salmastre della Riserva naturale Val Stagnon secondo gli scenari climatici selezionati. Di conseguenza, il modello di altitudine digitale di base è stato calibrato per ogni scenario climatico di innalzamento del livello del mare e per ogni finestra temporale in futuro. Questo ci ha dato una nuova altitudine relativa, che comprende anche il grado di subsidenza e sedimentazione. Riclassificando il modello digitale relativo delle altitudini, abbiamo determinato la futura distribuzione spaziale e le potenziali aree per ciascun aggregato di habitat nell'area della Riserva naturale Val Stagnon. Quest'ultimo rappresenta i modelli climatici o gli scenari lineari locali di innalzamento del livello del mare, con intervalli di altitudine noti dei singoli aggregati di habitat (misurazioni GNSS) (media ± 2 SD) rispetto all'anno di riferimento 2014. Una rappresentazione schematica del modello è mostrata nella Figura 11.

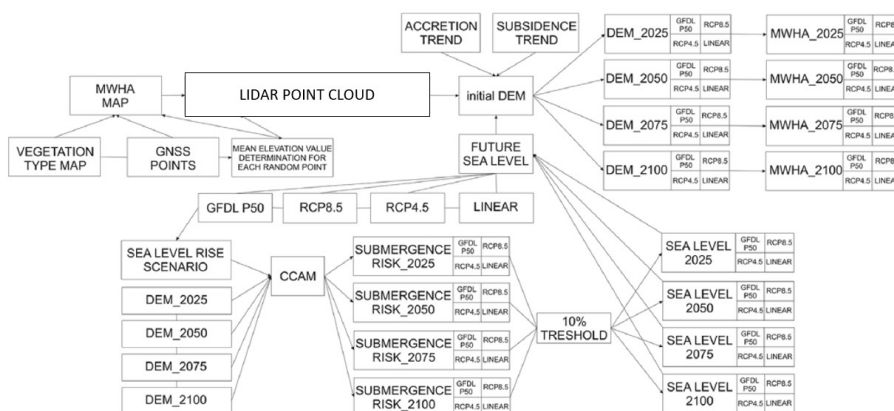


Figura 11: Rappresentazione schematica del modello

³<http://icdc.cen.uni-hamburg.de/las/getUI.do>

Per le esigenze del progetto ECO-SMART, abbiamo incluso nel modello anche le previsioni del futuro regime delle temperature e delle precipitazioni nell'area bersaglio sulla base dei dati del prossimo Sesto rapporto IPCC. Abbiamo considerato tutte le finestre temporali e tutti i dati disponibili dei modelli climatici globali (ingl. *Global Climate Models* [GCM]) (Figura 12). Ci siamo concentrati sugli scenari di gas serra ssp245 e ssp585, paragonabili ai predecessori RCP4.5 e RCP8.5. In questo modo, il modello finale ha fornito un indicatore composito oggettivo della vulnerabilità climatica (innalzamento del livello del mare + regime di temperatura + regime di precipitazioni) degli habitat di Val Stagnon.



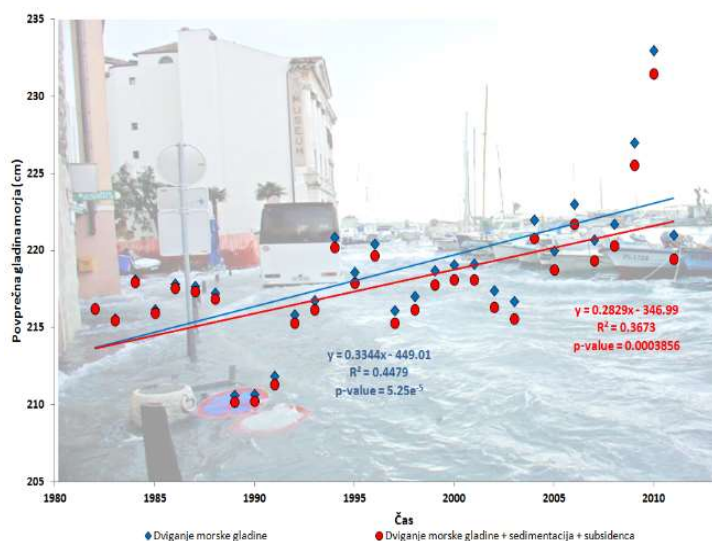
2021-2040

GCM	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
BCC-CSM2-MR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-CM6-1	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CNRM-ESM2-1	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
CanESM5	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
GFDL-ESM4	tn, tx, pr, bc	--, --, --, --	tn, tx, pr, bc	-, -, pr, -
IPSL-CM6A-LR	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
MIROC-ES2L	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
MIROC6	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc
MRI-ESM2-0	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc	tn, tx, pr, bc

Figura 12: Modelli climatici globali e scenari GES considerati ssp245 e ssp585

I dati della stazione mareografica di Capodistria per il periodo degli ultimi 30 anni, calibrati con l'andamento medio della sedimentazione e della subsidenza della superficie, indicano un tasso di innalzamento del livello del mare di 0,28 cm all'anno (Figura 13, grafico A). Possiamo quindi prevedere che rispetto agli ultimi dati sul livello medio del mare (2011), il livello del mare nel Golfo di Trieste aumenterà di 5 cm entro il 2020, di 11 cm entro il 2040, di 16 cm entro il 2060, di 22 cm entro il 2080 e di 28 cm entro il 2100. Le previsioni globali aggiornate (IPCC AR5), basate sugli scenari RCP (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5), prevedono nello scenario peggiore (RCP8.5; 95° percentile) un innalzamento relativo del livello del mare di ben 95 cm entro il 2100 rispetto al 2010 (Figura 13, grafico B).

A



B

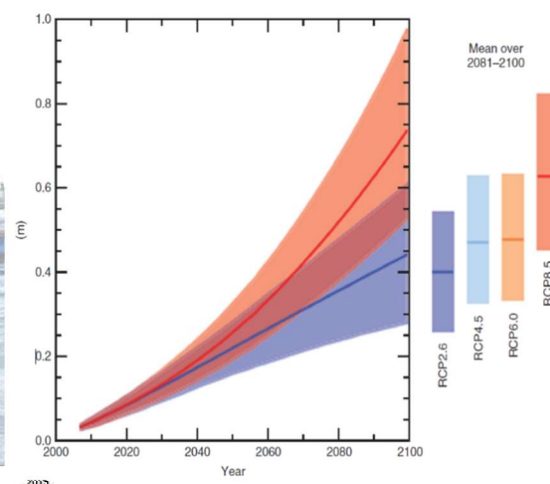


Figura 13: Innalzamento del livello del mare dal 1982 al 2011 (0,33 cm/anno; linea blu) a Capodistria (ARSO, 2011) e tendenza aggiustata (a) con sedimentazione (0,053 cm/anno) e subsidenza (0,0015 cm/anno) e previsioni di innalzamento del livello del mare secondo il Quinto rapporto IPCC (b)

La tendenza lineare locale prevede cambiamenti più drastici nell'innalzamento del livello del mare nella prima metà del XXI secolo. L'anno 2050 rappresenta un'inversione, poiché gli scenari RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 iniziano a superare le previsioni locali e seguono l'accelerazione prevista entro la fine del secolo. Come previsto, entro il 2100 la previsione degli scenari globali è più drastica di quanto mostrato dalla tendenza secondo le misurazioni locali, ma va sottolineato che le curve di colore nella Figura 8 (Grafico A) mostrano i valori medi del modello. Le deviazioni sono previste nelle previsioni del modello globale e sono mostrate nella Figura 8 (grafico B) con sfumature di colore più tenui (dal 5° al 95° percentile). L'incertezza delle previsioni è funzione del tempo, quindi anche l'area tra le due curve è in aumento verso la fine del secolo. Di conseguenza, constatiamo che l'andamento lineare modificato locale, basato sull'ultimo periodo di 30 anni, nonostante una possibile sottostima dell'innalzamento del livello del mare verso la fine del secolo, prevede in modo soddisfacente l'innalzamento del livello del mare rispetto alle previsioni del modello globale.

Le tendenze dell'innalzamento del livello del mare variano ampiamente a livello regionale. Le cause sono da ricercarsi nella morfologia e nella dinamica della superficie (epirogenesi) e nel contributo dell'espansione termica degli oceani (mari), nella quantità di acqua sciolta nei ghiacciai montani e nelle variazioni dei modelli delle precipitazioni. I dati del telerilevamento mostrano differenze regionali nella tendenza dell'innalzamento del livello del mare nel Mediterraneo e nell'Adriatico settentrionale. In Slovenia si assiste così ad un graduale innalzamento del livello del mare, paragonabile alla media mondiale (3,4 mm/anno). L'innalzamento più intenso del livello del mare si registra principalmente nel Mar Nero (Figura 14).

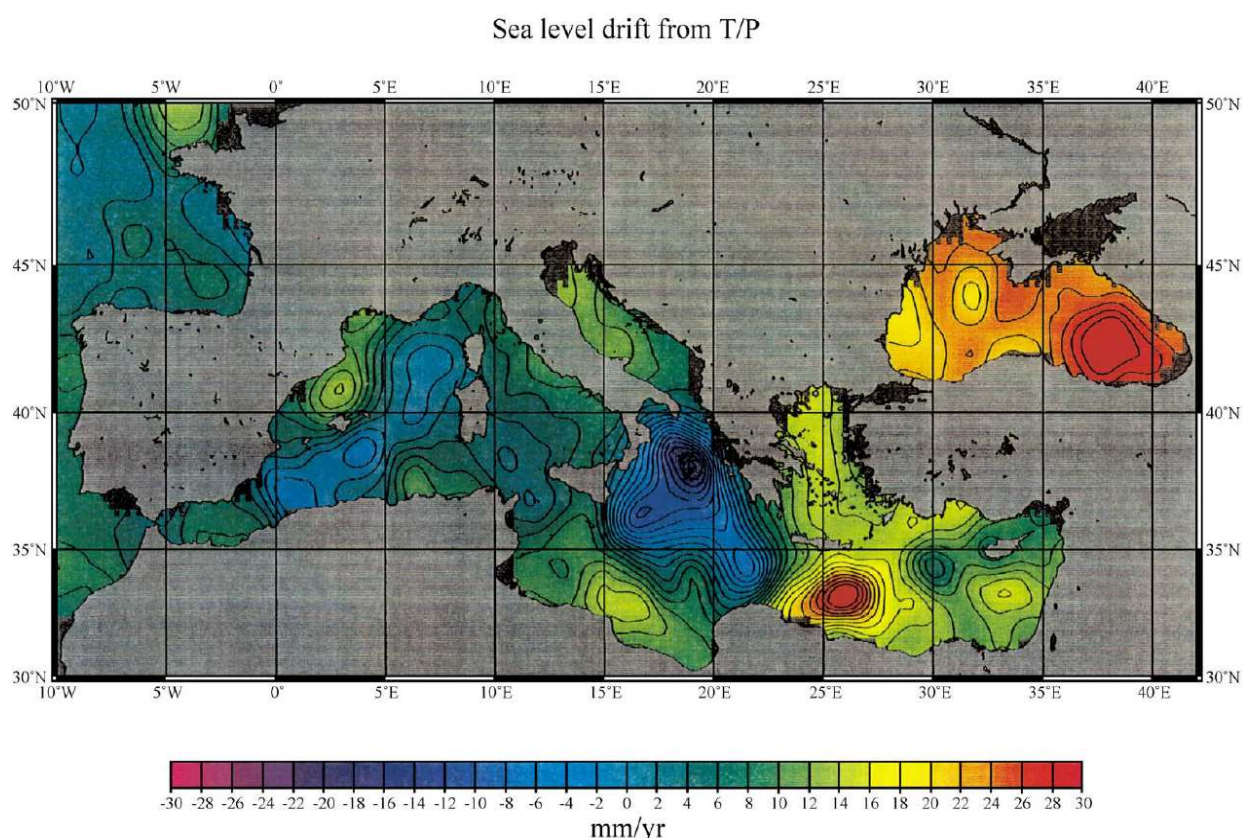


Figura 14: Tendenza spaziale dell'innalzamento del livello del mare, determinata sulla base dei dati del satellite Topex/Poseidon (riassunto da Cazenave et al., 2008)

1.2.2 Vulnerabilità climatica degli habitat di Val Stagnon

Il modello elaborato ci ha permesso di dare una valutazione obiettiva del livello di vulnerabilità climatica degli habitat sia della parte salmastra che di quella d'acqua dolce della Riserva naturale Val Stagnon. Nel modello sono stati inclusi tre fattori climatici, ovvero l'innalzamento del livello del mare e le condizioni future della temperatura e delle precipitazioni. La simulazione della vulnerabilità climatica è stata predisposta per quattro finestre temporali (2030, 2050, 2070 e 2090) alla luce dello scenario delle emissioni di carbonio ottimistico (RCP4.5/SSP245) e pessimistico (RCP8.5/SSP585), sulla base dei dati già disponibili per il prossimo Sesto rapporto del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC AR6) (Figura 15).

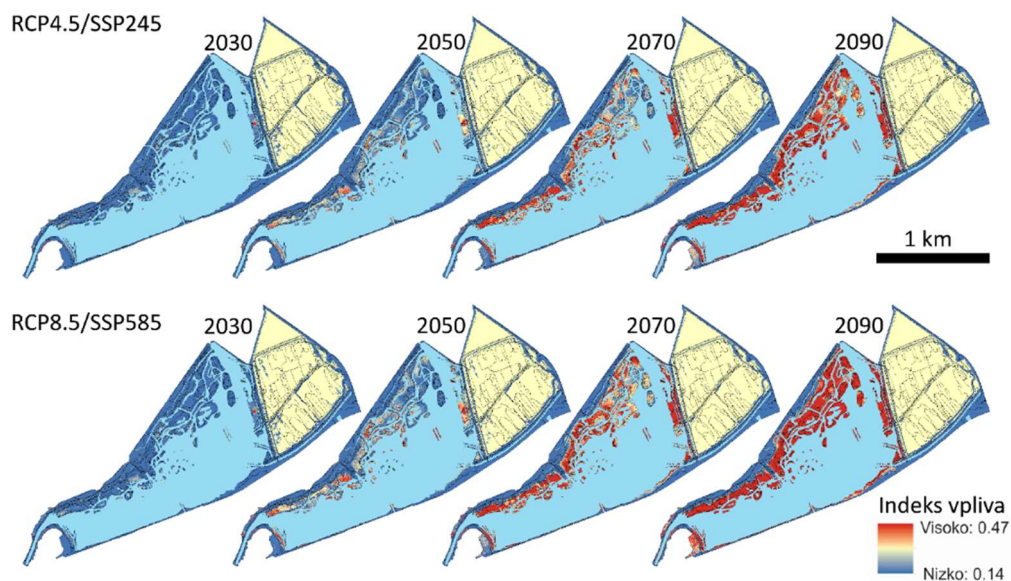


Figura 15: *Futura vulnerabilità climatica degli habitat di Val Stagnon in base a uno scenario dell'impronta di carbonio ottimista (RCP4.5/SSP245) e pessimista (RCP8.5/SSP585).*

I risultati mostrano un aumento esponenziale della vulnerabilità degli habitat nella parte salmastra dell'area di studio. La parte di acqua dolce della Riserva naturale Val Stagnon sarà esposta a pressioni più costanti a causa dei cambiamenti climatici in futuro. Questa parte della riserva sarà molto più influenzata dai cambiamenti del regime della temperatura e delle precipitazioni. Senza provvedimenti, in futuro gli habitat della parte salmastra della riserva N2000 perderanno superficie. Di conseguenza, ne risentirà la fauna legata a questi habitat. Le lagune stanno diventando sempre più simili all'ambiente marino. Sono soprattutto i cambiamenti nella composizione delle specie e nell'abbondanza degli uccelli costieri in questi ambienti il primo buon indicatore della gravità della situazione.

Le Figure 16 e 17 riassumono l'esposizione degli habitat di Val Stagnon agli effetti del cambiamento climatico. La Figura 13 mostra quindi il movimento previsto della vulnerabilità dell'habitat nello scenario dell'impronta di carbonio RCP4.5/SSP245. Gli habitat più a rischio saranno le distese fangose senza vegetazione (N2000 codice 1140) o con alofite annuali (N2000 codice 1310), seguiti dalle lagune costiere (N2000 codice 1150) e dagli habitat di alofite perenni (N2000 codice 1420).

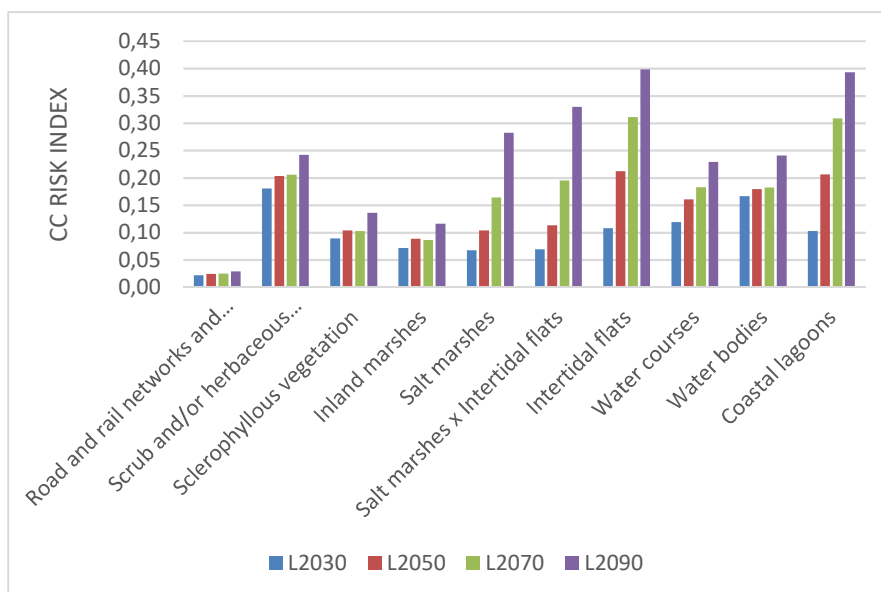


Figura 16: Vulnerabilità climatica degli habitat di Val Stagnon secondo lo scenario dell'impronta di carbonio RCP4.5/SSP245

Lo scenario pessimistico dell'impronta di carbonio (RCP8.5/SSP585) offre prospettive ancora peggiori per gli habitat N2000 della Riserva naturale Val Stagnon (Figura 17). La vulnerabilità climatica degli habitat protetti aumenta in maniera ancora più esponenziale nel tempo. Tali risultati sono un'ulteriore prova che in futuro sarà necessaria una buona strategia di gestione per mitigare gli effetti del cambiamento climatico nelle zone umide costiere in Slovenia e in altre parti del mondo.

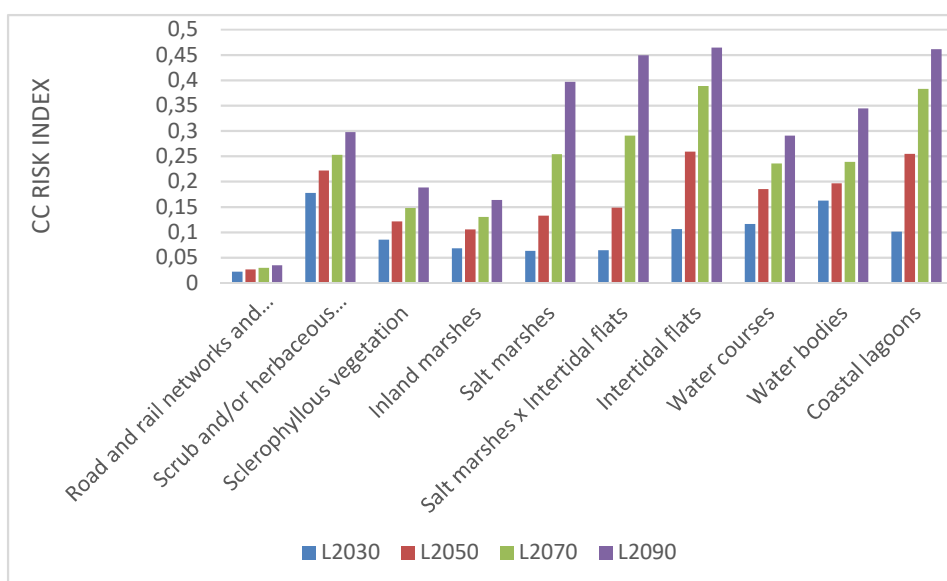


Figura 17: Vulnerabilità climatica degli habitat di Val Stagnon secondo lo scenario dell'impronta di carbonio RCP8.5 / SSP585

1.2.3 Impatto del cambiamento climatico sui servizi ecosistemici del sito Natura 2000 Val Stagnon

L'impatto del cambiamento climatico sui servizi ecosistemici del sito Natura 2000 Val Stagnon è descritto in modo più dettagliato nei rapporti del pacchetto di lavoro 3.1 del progetto ECO-SMART. Sono stati individuati 31 servizi ecosistemici, di cui 15 di grande importanza per le parti interessate (classificazione CICES dei servizi ecosistemici). I servizi ecosistemici più rilevanti appartengono al gruppo dei servizi culturali finali, che comprendono l'istruzione, la ricerca, l'osservazione della natura e le attività ricreative che migliorano, conservano e mantengono la condizione psicofisica dei visitatori di quest'area. Il secondo gruppo più grande dei servizi importanti sono i servizi di regolamentazione e di supporto, come la mitigazione dei cambiamenti climatici, la regolazione del microclima, la protezione dalle inondazioni mediante il contenimento e l'accumulo di acqua alta in caso di eventi meteorologici estremi. Le analisi hanno mostrato che le mutate condizioni climatiche influenzeranno tutti i servizi ecosistemici descritti e le parti interessate ne vedranno le conseguenze soprattutto nei servizi ecosistemici culturali forniti dalla grande biodiversità di quest'area. Senza la conservazione della biodiversità, si verifica il degrado dell'ecosistema e della dinamica dei servizi ecosistemici, e, di conseguenza, ciò si riflette anche nei servizi ecosistemici stessi e nel flusso dei benefici per le parti interessate. Gli interventi per conservare questa zona umida costiera e proteggerla con misure di adattamento ai cambiamenti climatici basate su un approccio ecosistemico saranno quindi in grado di prevenire in gran parte gli effetti attesi del cambiamento climatico e i potenziali rischi sia per l'ecosistema che per la comunità. L'obiettivo finale è aumentare la resilienza del territorio e della comunità locale.

1.2.4 Ecologia del ripristino delle zone umide costiere

Secoli di sfruttamento eccessivo, modifica degli habitat e inquinamento hanno portato al degrado degli estuari e delle aree costiere, alla perdita della biodiversità e al declino della resilienza ecologica di questi ecosistemi (Lotze et al., 2006). Gli habitat costieri, in particolare quelli delle coste europee densamente popolate (il piccolo litorale sloveno ne è un tipico esempio), sono già altamente minacciati a causa dei rapidi cambiamenti del paesaggio dovuti all'attività dell'uomo (Ivajnsiĉ e Kaligariĉ, 2014). Pertanto, il rinnovo o il ripristino degli habitat perduti, distrutti o completamente alterati, è diventata una pratica per molte agenzie ambientali, parchi, amministrazioni regionali o statali e organizzazioni non governative. La creazione e il ripristino delle zone umide in particolare si sta rivelando una scienza e una tecnologia in evoluzione (Mitsch e Wilson, 1996); il fattore di ripristino più importante in questi casi è un regime idrico idoneo che consente l'insediamento della vegetazione nelle zone umide e la ricolonizzazione di altri organismi e l'istituzione delle funzioni delle zone umide (Onaindia et al., 2001). Le comunità vegetali autosufficienti, spesso definite come ecosistemi climatici maturi o stabili (Odum, 1971), sono l'obiettivo primario del ripristino poiché svolgono molte funzioni biologiche nelle zone umide e rappresentano lo standard più comune delle capacità di ripristino (Garbutt e Wolters, 2008). In generale, il successo del ripristino delle comunità vegetali dipende dalla disponibilità di specie bersaglio e dalle condizioni abiotiche adeguate. Tali condizioni nelle zone umide possono essere raggiunte stabilendo delle condizioni idrologiche idonee; nelle zone umide costiere con il regime delle maree e quindi con la salinità del substrato. La disponibilità e la dispersione delle specie bersaglio possono essere un collo di bottiglia per il successo del ripristino della vegetazione nell'area bersaglio, ma nonostante il

Piano di adattamento per il sito Natura 2000 Val Stagnon
Versione num.: 2/agosto 2021

grande potenziale di dispersione dei semi a lunga distanza con le maree negli ambienti costieri, predomina la dispersione locale delle specie vegetali (Wolters et al., 2005a; Garbutt e Wolers, 2008). L'insediamento delle comunità vegetali bersaglio nelle aree ripristinate dipende dalla presenza dei semi o della banca di semi nel substrato utilizzato o dalla dispersione delle specie nelle vicinanze (Dausse et al., 2008). La presenza di comunità vegetali bersaglio in prossimità dell'area ripristinata si è rivelata un importante acceleratore del processo di ripristino in vari ecosistemi; anche nelle zone umide costiere (Brown, 1998; Bischoff, 2002; Donath et al., 2003; Wolters et al., 2005b; Dausse et al., 2008). Quando i semi sono sparsi nell'area bersaglio, la germinazione, l'attecchimento, l'insediamento e la sopravvivenza delle specie dipendono dai filtri ambientali, che nelle zone umide costiere sono rappresentati principalmente dall'umidità e dalla salinità del substrato. Le aree ripristinate sono particolarmente vulnerabili alla colonizzazione da parte di specie vegetali invasive, che spesso formano popolamenti monodominanti e sostituiscono le specie autoctone. Nelle zone umide costiere, l'elevata salinità di solito elimina la maggior parte delle piante aliene, ma non tutte: i risultati mostrano che sulla costa slovena l'*Aster squamatus* può penetrare in terreni moderatamente salini soprattutto a causa dell'enorme produzione di semi (Šajna et al., 2014).

Numerosi autori (Rodwell, 2000; Silvestri, 2005) che hanno studiato la zonazione delle zone umide costiere hanno riscontrato che la distribuzione delle alofite è influenzata da una varietà di fattori ambientali. La maggior parte degli studi dimostra che la zonazione spaziale della vegetazione nelle zone umide costiere dipende dalla micro altitudine al di sopra del livello medio del mare, che si riflette nel gradiente di umidità (allagamento) e nella salinità del substrato. Sebbene oggi si stiano già simulando varie forme naturali di superficie e i processi idrogeomorfologici, l'inclusione di componenti biologiche prolunga notevolmente la risposta e i risultati finali del ripristino. Inoltre, la complessità delle comunità vegetali naturali o seminaturali che sono oggetto delle intenzioni di ripristino può portare a uno sviluppo della vegetazione imprevedibile a causa di fattori imprevedibili o di eventi casuali. Tuttavia, la vegetazione alofita sulle coste poco profonde è una comunità vegetale relativamente semplice basata sulla presenza/dominanza di poche specie altamente specializzate che si oppongono ai forti filtri ambientali. Questo fatto semplifica il monitoraggio di tali comunità dopo il periodo di ripristino.

Nicholls e colleghi (1999) hanno sottolineato la necessità di iniziare immediatamente con la pianificazione strategica delle contromisure idonee per prevenire ulteriori perdite di zone umide. Queste misure potrebbero essere orientate in tre direzioni, a seconda delle caratteristiche naturali di ciascuna area: (1) costruzione di isole artificiali a una micro altitudine idonea e quindi l'aumento della superficie degli habitat bersaglio, (2) fornitura di zone cuscinetto o zone sostitutive in cui le zone umide costiere non sono fisicamente limitate (infrastrutture, aree urbane, limitazioni del rilievo, ecc.), (3) regolazione dell'innalzamento del livello del mare (possibile solo in sistemi chiusi - lagune e saline).

2. METODI DI LAVORO

La metodologia è in linea con il modello congiunto dei piani di adattamento definito dai partner del progetto ECO-SMART e descritto in dettaglio nel rapporto “Modello congiunto dei progetti di adattamento ai cambiamenti climatici nei siti Natura 2000, Rapporto sull’attività 10 WP 3.2”.

3. PIANO DI ADATTAMENTO PER IL SITO NATURA 2000 VAL STAGNON

La Riserva naturale Val Stagnon è una zona umida salmastra o semi-salmastra grande 122,7 ettari, situata in un contesto fortemente urbanizzato nei pressi della città di Capodistria. Con i suoi dintorni rappresenta una caratteristica speciale tra gli ecosistemi sloveni, condizionata dall’immediata vicinanza del mare, dal clima mediterraneo e dalla vegetazione submediterranea, nonché dalla disposizione e dalle dimensioni dell’insenatura. Le diverse profondità della laguna salmastra e la grande diversità di habitat che va da prati paludosi, secche e distese, zone intertidali, coste e stagni semi-salmastri a canneti e paludi d’acqua dolce, consentono una grande diversità di specie vegetali e animali.

La formazione di Val Stagnon è strettamente legata allo sviluppo urbanistico di Capodistria e dei suoi dintorni. Negli anni ’50 del secolo scorso, la città iniziò ad espandersi gradualmente nell’area della baia di San Canziano e della bonifica di Semedella. Il destino della baia di San Canziano è stato segnato in via definitiva dal progetto dello sbarramento della baia di San Canziano da Capodistria alla foce del Risano nel 1957, che avrebbe dovuto consentire il drenaggio di una superficie 230 ettari di bassofondo marino alle soglie della città di Capodistria. Sul lato nord della città, in direzione di Ancarano, iniziarono a costruire un terrapieno lungo quasi 900 metri, sul quale ha trovato posto il nuovo porto di Capodistria. La città insulare andava così perdendo sempre più la sua originalità e la baia di San Canziano si chiudeva sempre più, diventando un’insenatura.

Seguirono molti anni di colmatatura e drenaggio pianificato per scopi urbanistici e industriali, che portarono l’area a rischio di una completa distruzione. Nel 1993, l’Associazione per l’osservazione e lo studio degli uccelli della Slovenia (DOPPS) mise in moto una grande impresa di conservazione della natura al fine di preservare e rivitalizzare la più grande zona umida semi-salina della Slovenia. La partecipazione coordinata di tutte le parti interessate, l’assistenza di organizzazioni non governative nazionali e straniere e individui, il supporto dei media e, non da ultimo, 7.000 firme di sostegno da parte del grande pubblico, portarono nel 1998 a una tutela giuridica permanente dell’area.

Lo scopo della ricerca è creare un piano di adattamento del sito Natura 2000 Val Stagnon in questione. La metodologia di ricerca è stata determinata dai partner del progetto. La metodologia enfatizza in particolare la cooperazione delle parti interessate che sono già state identificate nella prima fase del progetto. In qualità di esecutore esterno dell’attività del progetto, ci siamo collegati con le parti interessate identificate e con l’aiuto di metodologie per l’analisi delle parti interessate abbiamo selezionato i soggetti chiave, con l’aiuto dei quali abbiamo elaborato lo studio. Abbiamo collaborato in particolare con l’Associazione per

l'osservazione e lo studio degli uccelli della Slovenia (DOPPS), titolare di una concessione per la gestione del sito Natura 2000 in questione.

La gestione della riserva naturale si svolge in base alla concessione rilasciata nell'ambito del servizio pubblico, mentre il controllo diretto e la gestione delle banche dati relativi alla riserva naturale avvengono sulla base di un mandato pubblico. La concessione per la gestione della riserva naturale è stata assegnata all'Associazione per l'osservazione e lo studio degli uccelli della Slovenia (DOPPS), la quale gestiva la riserva naturale il giorno dell'entrata in vigore del decreto, sulla base del Decreto sulla concessione per la gestione della Riserva naturale Val Stagnon (Gazzetta Ufficiale della RS, n. 31/99) con la Decisione sulla scelta del concessionario per la gestione della Riserva naturale Val Stagnon n. 636-06/99-4 del 30 settembre 1999. Essa è in vigore fino alla risoluzione del Contratto di concessione per la gestione della Riserva naturale Val Stagnon n. 252100-50-85/00. La concessione è stata prorogata per dieci anni, ovvero fino al 6 novembre 2019, con l'Integrazione n. 1 al Contratto di concessione per la gestione della Riserva naturale Val Stagnon n. 252100-50-85/00 del 1° settembre 2009. Nel 2019 la concessione è stata prorogata ulteriormente per 10 anni (Integrazione n. 2 al Contratto di concessione per la gestione della Riserva naturale Val Stagnon).

Gli esperti di varie discipline (coautori del rapporto) ed esperti del DOPPS, che gestiscono la Riserva naturale Val Stagnon, hanno partecipato alla stesura di un elenco sensato delle possibili misure. Abbiamo preso in considerazione varie opzioni, per concentrarci poi su quelle che erano maggiormente rafforzate in termini di prove scientifiche sulla loro efficacia nell'adattare le zone umide costiere ai cambiamenti climatici. Secondo le previsioni, si può concludere che il relativo innalzamento del livello del mare costituisce una seria minaccia per le zone umide costiere dell'Adriatico settentrionale. Di conseguenza, le zone umide costiere avranno bisogno di nuove contromisure o di una gestione adeguata, che potrebbe andare in tre direzioni (zone cuscinetto, isole artificiali, regolazione del livello del mare), a seconda delle caratteristiche naturali di ciascuna area. La contromisura più appropriata è il semplice utilizzo delle zone cuscinetto (ingl. *buffer zone*) nelle immediate vicinanze delle zone umide. Le zone cuscinetto non sono disponibili ovunque, nonostante alcune aree protette già dispongono di un piano per realizzarle. Le zone cuscinetto devono essere anticipatamente predisposte per la colonizzazione di nuovi habitat; i preparativi comprendono la rimozione di specie legnose o ruderali e la preparazione del livello della superficie alla micro altitudine dell'habitat bersaglio. La costruzione di piccole isole artificiali o distese è una misura semplice e comune nelle coste sedimentarie poco profonde. Le isole devono essere livellate ad un'altezza idonea per l'habitat bersaglio e fortificate ai bordi con dei pali di legno. Ha senso adattare in modo che appaiano il più naturali possibile, specialmente quando vengono collocate nelle insenature naturali delle lagune. La regolazione del livello del mare è un'opzione meno comune, utilizzata solo nei casi in cui sono disponibili delle condizioni adatte per costruire uno sbarramento artificiale nelle aree con habitat costieri bersaglio. Questo approccio, simile alla costruzione dei polder, si è dimostrato molto utile nel Parco paesaggistico delle saline di Sicciole; alcune aree sotto il livello del mare nelle aree abbandonate delle saline (Fontanigge) sono state chiuse artificialmente e successivamente colonizzate spontaneamente con vegetazione alofita perenne. L'idea è quella di bloccare l'afflusso di acqua di mare nelle aree bersaglio che si trovano ad una micro altitudine adatta utilizzando gli argini. Nella riserva naturale di Val

Stagnon, tutte e tre le contromisure descritte sono possibili, ma solo in determinate combinazioni quando sono adattate alle condizioni naturali.

Nella Tabella 2, le misure sono disposte secondo le categorie e le tipologie delle misure proposte (EC, 2013). Alcune misure possono contribuire efficacemente alla mitigazione di molti effetti del cambiamento climatico, come ad es. ridurre le pressioni esistenti e garantire le condizioni biotiche e abiotiche idonee, pertanto sono state raggruppate in diverse categorie.

Tabella 2: *Analisi delle possibili misure di adattamento in base allo stato di attuazione e alla rilevanza per l'area pilota*

Categoria	Tipo di misura di adattamento ai cambiamenti climatici del sito pilota Natura 2000	Esempi di misure concrete	La misura è rilevante per il sito pilota Natura 2000?	Qual è lo stato attuale di attuazione di questa misura?
Ridurre le pressioni esistenti	Attività di ripristino dell'ecosistema	Garantire l'accrescimento delle zone umide, la protezione dall'erosione, la rimozione delle specie invasive.	X	2
	Sviluppo della zona di mitigazione	Le barriere infrastrutturali impediscono lo sviluppo della zona di mitigazione	0	0
	Aumentare le dimensioni dell'area naturale	Costruzione di nuove isole e penisole artificiali e distese fangose ad una micro altitudine idonea	X	1
Aumentare l'eterogeneità dell'ecosistema	Abilitazione dei processi naturali	Regolazione idonea e strategica del livello del mare e dell'afflusso di acqua dolce	X	2
	Qualità dell'acqua	Monitoraggio della qualità dell'acqua dolce e marina, controllo delle acque meteoriche e reflue	X	2
Garantire condizioni	Quantità dell'acqua	Regolazione idonea e strategica del livello del mare e	X	2

abiotiche idonee		regolazione idonea e strategica dell'afflusso di acqua dolce		
	Equilibrio nutritivo	Regolazione idonea e strategica del livello del mare e regolazione idonea e strategica dell'afflusso di acqua dolce, garantire l'accrescimento naturale delle zone umide, protezione dall'erosione	X	2
	Ridurre il rischio di alluvioni nelle aree	Regolazione idonea e strategica del livello del mare e dell'afflusso di acqua dolce	X	2
Gestire le conseguenze di eventi (meteorologici) estremi	Ridurre il rischio dovuto a fenomeni meteorologici come forti temporali, acquazzoni, grandine ...	Regolazione idonea e strategica dell'afflusso di acqua dolce	X	2
	Gestione più ampia del paesaggio	Mantenimento della qualità degli habitat e della superficie degli habitat Natura 2000	X	2
	Creazione di nuove aree protette	Manutenzione delle isole esistenti e costruzione di nuove isole e penisole artificiali e distese fangose ad una micro altitudine idonea	X	1
Aumentare la connettività degli ecosistemi	Pianificazione territoriale	Manutenzione delle isole esistenti e costruzione di nuove isole e penisole artificiali e distese fangose ad una micro altitudine idonea	X	1
	Controllo delle specie aliene invasive	Eliminazione delle specie invasive	X	2

Legenda: 0 = non implementato, 1 = in fase di implementazione iniziale, 2 = in fase di implementazione avanzata, 3 = completamente implementato, X = misura rilevante e idonea

Argomentazione delle misure concrete proposte:

- Al fine di fornire spazio sufficiente per i tipi di habitat alofiti bersaglio, si dovrebbe costruire artificialmente o innalzare la superficie terrestre esistente di diverse piccole isole e penisole. Al fine di mantenere le aree HT che potrebbero scomparire entro il 2060, si dovrebbero livellare 11 ha di nuove aree ad un intervallo di altitudine di 33 ± 15 cm, adatto per l'aggregato di habitat MWAH2. Due ettari di terreno dovrebbero essere adattati ad un'altitudine di 42 ± 16 cm sul livello del mare (rispetto al 2010), che corrisponderebbe all'aggregato di habitat MWAH3, per il quale il modello prevede un graduale ritiro da Val Stagnon. La superficie totale disponibile, necessaria per lo sviluppo della vegetazione alofita (isole e penisole) a Val Stagnon, dovrebbe quindi ammontare a 13 ettari entro il 2060.
- La misura della regolazione del livello del mare è già parzialmente attuata nell'area bersaglio (DOPPS, 2015; Mozetič et al., 2021). Viene regolata soprattutto la marea durante la stagione della nidificazione degli uccelli costieri. In futuro sarà necessaria un'attenta pianificazione dell'utilizzo dello sbarramento a beneficio sia della flora che della fauna. La massa d'acqua sarà molto più grande nella seconda metà del XXI secolo, il che potrebbe influire sull'erosione degli isolotti esistenti. Fino alla fine del 2020, nell'ambito delle misure per il clima finanziate dal Fondo per il cambiamento climatico, Val Stagnon ha continuato a svolgere le attività relative alla sicurezza dalle inondazioni e alla garanzia di regimi idrici idonei della parte salmastra della riserva naturale, compresa la sopraelevazione di 1 m del sistema di sbarramento nel canale marittimo. La sopraelevazione dello sbarramento scorrevole nel canale marittimo consente una gestione efficiente del livello dell'acqua dalla parte salmastra della riserva e, nel lungo periodo, contribuisce anche a garantire la sicurezza dalle inondazioni dell'intera area della riserva naturale Val Stagnon e dei suoi dintorni e a proteggere l'area in caso del potenziale pericolo di dispersione di sostanze tossiche nel mare (Mozetič et al., 2021).
- La regolazione dell'acqua dolce è già parzialmente in atto nell'area bersaglio (DOPPS, 2015; Mozetič et al., 2021). Si tratta di un sistema di protezione contro le inondazioni. Secondo le previsioni dei modelli climatici globali, l'afflusso di acqua dolce sarà ridotto su base annua, mentre la distribuzione e la quantità di precipitazioni saranno meno costanti durante l'anno. In questo modo si dovrà contrastare il processo di marinizzazione degli ecosistemi lagunari. Da questo punto di vista, a Val Stagnon sono stati realizzati il risanamento della soglia dell'acqua deteriorata sull'Ara e la sopraelevazione della soglia con un sistema di sbarramento automatico per la regolazione del livello dell'acqua e la sicurezza contro le inondazioni. Il nuovo sistema di sbarramento, oltre ad aumentare la sicurezza contro le inondazioni, consente anche la fornitura di un livello costante dell'acqua nell'Ara e quindi l'approvvigionamento della parte di acqua dolce della riserva, e, allo stesso tempo, impedisce l'intrusione di acqua salata nell'Ara superiore. Come parte dell'implementazione, è stato allestito un corridoio ittico che consentirà il passaggio di organismi acquatici attraverso lo sbarramento (Mozetič et al., 2021).

Le misure più rilevanti descritte sono contrassegnate con una X nella colonna 4 della Tabella 2. Nell'ambito dell'analisi dei piani operativi e degli studi di fattibilità, verranno di seguito

analizzate solo tre misure selezionate (presentate nella Tabella 3), individuate in collaborazione con il DOPPS che gestisce il sito Riserva naturale Val Stagnon.

Tabella 3: Misure selezionate per un'analisi più dettagliata nel contesto dei piani operativi e degli studi di fattibilità

Misure concrete proposte	Obiettivi e finalità della misura proposta, breve descrizione e risultati attesi
MISURA 1: Regolazione delle masse d'acqua	La misura affronta il problema dell'innalzamento del livello del mare in conseguenza del cambiamento climatico. Gli obiettivi di questa misura sono: fornire e accumulare acqua sufficiente per la parte di acqua dolce della zona umida, prevenire l'infiltrazione di acqua salata nella parte di acqua dolce della zona umida, prevenire l'infiltrazione di acqua salata nella parte superiore del corso d'acqua dell'Ara, prevenire che l'acqua in eccesso si riversi nella laguna salmastra, garantire la sicurezza dalle inondazioni, regolare il livello del mare e le inondazioni eccessive della parte salmastra della zona umida, garantire le condizioni per l'accrescimento delle zone umide, garantire le condizioni per la nidificazione degli uccelli costieri, proteggere le isole artificiali dall'erosione dovuta all'aumento delle masse d'acqua, proteggere dagli sversamenti di sostanze pericolose nel mare, ecc. L'attuazione di questa misura consentirebbe quindi di proteggere e conservare il mosaico degli habitat protetti nelle zone umide costiere e quindi di mantenere tutti i servizi ecosistemici identificati che vengono forniti da questo sito Natura 2000 (ad esempio i servizi ecosistemici identificati come i più commerciabili, ovvero il mosaico di habitat per specie vegetali e animali, mitigazione degli estremi climatici ed educazione naturalistica). A causa dell'impatto del cambiamento climatico (l'innalzamento del livello del mare e il bilancio idrico alterato), entro la fine del secolo potremmo perdere il 70% degli habitat terrestri di Natura 2000 nella fascia altimetrica più bassa ($0,24 \pm 0,10$ m; distese fangose e alofite annuali), l'80% nella seconda fascia altimetrica ($0,33 \pm 0,15$ m; alofite annuali e alofite perenni) e il 68% nella terza fascia ($0,42 \pm 0,16$; alofite perenni). Certamente ci guadagnerebbe sulla superficie la laguna, che potrebbe aumentare di 13,23 ettari. L'infrastruttura del sistema di sbarramento è già stata realizzata, quindi la misura è già stata parzialmente attuata. Oltre ad aumentare la sicurezza contro le inondazioni, il nuovo sistema di sbarramento consente anche di fornire un livello di acqua costante nell'Ara e quindi di approvvigionare la parte di acqua dolce della riserva, impedendo l'intrusione di acqua salata nel corso

	superiore dell'Ara. Nell'ambito della realizzazione è stato creato un corridoio ittico, che consentirà il passaggio di organismi acquatici attraverso lo sbarramento. Tuttavia, bisogna ancora implementare il potenziamento di questo sistema con il monitoraggio delle masse d'acqua, della salinità della parte salmastra della riserva, dell'afflusso di nutrienti, della biodiversità e delle misure generali per ottimizzare il funzionamento di questo sistema sulla base delle misurazioni ovvero del monitoraggio.
MISURA 2: Innalzare e aumentare la superficie esistente di vegetazione alofita, stabilizzare le isole esistenti (protezione contro l'erosione) e garantire l'accrescimento delle zone umide.	Lo scopo di questa misura è: aumentare la superficie per la crescita della vegetazione alofita bersaglio (annuali e perenni) e preservare così i tipi di habitat di Natura 2000, aumentare le potenziali aree di nidificazione per cinque specie di uccelli costieri (fraticello, sterna comune, corriere piccolo, fraterno e pettegola), migliorare il flusso con l'approfondimento dei canali secondari, proteggere contro l'erosione dovuta al movimento delle masse d'acqua. In base ai cambiamenti individuati negli habitat della parte salmastra di Val Stagnon, i gestori della RN VS hanno predisposto nel 2021 la documentazione relativa al progetto per l'attuazione della misura dell'aumento e della stabilizzazione delle esistenti isole artificiali esposte, aumentando l'area di nidificazione grazie a delle isole artificiali aggiuntive. Gli obiettivi potrebbero essere raggiunti approfondendo i canali secondari, garantendo così anche un migliore flusso. La misura è quindi ancora in fase di progettazione iniziale e non è stata ancora attuata. La piena attuazione della misura richiederà: il completamento della fase preparatoria e l'ottenimento di fonti di cofinanziamento per l'attuazione della misura, la realizzazione di opere di costruzione per la sopraelevazione dei terreni fangosi salmastri esistenti e la formazione di nuove isole su una superficie totale di 6,5 ettari con l'approfondimento simultaneo dei canali lagunari e la stabilizzazione delle isole fangose e il relativo monitoraggio. L'attuazione di quest'ultimo richiederebbe la collaborazione di vari esperti. La misura affronta efficacemente il problema dell'innalzamento del livello del mare come conseguenza del cambiamento climatico e il problema di eventi meteorologici estremi sempre più frequenti che sono la conseguenza del cambiamento climatico. Allo stesso tempo, la misura consente di proteggere e conservare il mosaico degli habitat delle zone umide costiere, in particolare gli habitat Natura 2000 della parte salmastra della zona umida, e quindi di mantenere tutti i servizi ecosistemici individuati forniti da tali ambienti (compreso il mosaico degli habitat di specie animali e vegetali, la mitigazione degli estremi climatici e l'educazione naturalistica). La misura ha quindi grandi potenzialità di attuazione anche con l'ausilio dei modelli

	innovativi individuati di pagamento dei servizi ecosistemici.
MISURA 3: Eliminazione delle specie invasive	Lo scopo della misura è preservare la biodiversità nel sito Natura 2000 Val Stagnon e dei processi ecosistemici più dinamici, che garantirebbero anche la conservazione dei servizi ecosistemici in quest'area. La conservazione della biodiversità fornisce un importante contributo alle misure di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici. L'obiettivo specifico della misura è eliminare e limitare la diffusione di specie animali e vegetali aliene invasive. Tra le specie più problematiche c'è l'indaco falso (<i>Amorpha fruticosa</i>), che si diffonde relativamente lentamente, ma forma popolamenti dominanti che possono essere efficacemente rimossi solo mediante l'escavazione meccanica delle parti vegetali sotterranee. Lo stesso vale per l'acacia falsa (<i>Robinia pseudoacacia</i>), che è limitata solo in alcuni punti nella Riserva naturale Val Stagnon. Sono presenti anche le specie di ligustro lucido (<i>Ligustrum lucidum</i>) e di caprifoglio giapponese (<i>Lonicera japonica</i>), che si diffonde lentamente e, in combinazione con l'ombreggiatura, risulta più facile da rimuovere. Le specie meno problematiche nell'area della riserva sono l'assenzio dei fratelli Verlot (<i>Artemisia verlotiorum</i>) e il lauroceraso (<i>Prunus laurocerasus</i>) (Mozetič et al., 2021). È da molti anni che si realizzano diverse misure per rimuovere e limitare la diffusione delle specie invasive. Le misure per preservare e mantenere regolarmente delle condizioni ecologiche favorevoli nell'area della RNVS includono, ad esempio, anche le misure per migliorare lo stato di conservazione della testuggine palustre europea (<i>Emys orbicularis</i>). In questo caso, le misure mirano a catturare il maggior numero possibile di esemplari dell'invasiva tartaruga palustre americana (<i>Trachemys scripta</i>) e ad impedirne la riproduzione (Mozetič et al., 2021). In futuro, le misure per eliminare e limitare la diffusione delle specie invasive dovrebbero essere ulteriormente migliorate e realizzate per le specie invasive aliene che finora non rientrano ancora nelle misure. Il potenziamento di questa misura, che è già in fase avanzata di attuazione, significherebbe quindi: continuare a rimuovere le specie vegetali terrestri invasive, continuare a monitorare le specie invasive delle zone umide di acqua dolce, monitorare le specie invasive nella parte salmastra (laguna), identificare altre specie aliene potenzialmente problematiche, preparare una strategia integrata per la gestione delle specie aliene invasive e potenzialmente problematiche nella prospettiva del cambiamento climatico e dell'impatto che ci aspettiamo in futuro (aumento della temperatura dell'aria e dell'acqua, sviluppo fenologico accelerato,

	aumento della produzione primaria, ecc.) Alcune specie invasive stanno espandendo i loro territori con successo a causa dei cambiamenti climatici e del riscaldamento globale.
--	--

4. FONTI E LETTERATURA

Allen, J.R.L. in Pye, K. (1992). Coastal saltmarshes: their nature and importance. In Saltmarshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering Significance (eds J R L Allen and K Pye), str.1-18. Cambridge University Press.

Allport, G., O'Brien, M. in Cadbury, C.J. (1986). Survey of redshank and other breeding birds on saltmarshes in Britain. CSD Report No. 649. Nature Conservancy Council, Peterborough.

Baker, J. (1979). Responses of saltmarsh vegetation to oil spills and refinery effluents. In Ecological Processes in Coastal Environments (eds R L Jefferies and A J Davy), Blackwell Scientific Publications, Oxford, str. 529-542.

Baker, J. (1983). Impact of oil production on living resources. The Environmentalist 3: 1-48.

Bayliss, B., Brenman, K., Elliot, I., Finlayson, M., Hall, R., House, T., Pidgeon, B., Walden, D. Waterman, P. (1997). Vulnerability assessment of predicted climate change and sea level rise in the Alligator Rivers region, Northern Territory, Australia, Supervising Scientist Report 123. Supervising Scientist, Canberra.

Bayliss, B., Brenman, K., Elliot, I., Finlayson, M., Hall, R., House, T., Pidgeon, B., Walden, D., Waterman, P. (2010) Vulnerability assessment of predicted climate change and sea level rise in the Alligator Rivers region, Northern Territory, Australia, Supervising Scientist Report 123. Supervising Scientist, Canberra.

Bertness, M.D. (1991). Interspecific interactions among high marsh perennials in a New England salt marsh. Ecology 72: 125-137.

Bischoff, A. (2002) Dispersal and establishment of floodplain grassland species as limiting factors in restoration. Biological Conservation, 104: 25-33.

Boorman, L.A. (1995). Sea level rise and the future of the British coast. Coastal Zone Topics. Process, Ecology and Management 1: 10-13.

Boorman, L.A. (2003). Saltmarsh Review. An overview of coastal saltmarshes, their dynamic and sensitivity characteristics for conservation and management. JNCC Report, No. 334. Peterborough.

Boorman, L.A., Ranwell, D.S. (1977). Ecology of Maplin Sands and the coastal zones of Suffolk, Essex and North Kent. Cambridge: Institute of Terrestrial Ecology.

Brown, S.L. (1998). Sedimentation on a Humber saltmarsh. In: Black, K.S., Patterson, D.M., Cramp A. (Eds.), Sedimentary Processes in the Intertidal Zone. Special Publication 139, Geological Society, London, str. 69-83.

Burger, J., Shisler, J., Lesser, F.H. (1977). Avian utilisation on six saltmarshes in New Jersey. Biological Conservation 18: 187-211.

- Cadwalladr, D.A., Owen, M., Morley, J.V. in Cook, R.S. (1972). Widgeon (*Anas penelope* L.) conservation and salting pasture management at Bridgwater Bay National Nature Reserve, Somerset. *Journal of Applied Ecology* 9: 417-425.
- Cazenave, A., Bonnefond, P., Mercier, F., Dominh, K. in Toumazou, V. (2002). Sea level variations in the Mediterranean Sea and Black Sea from satellite altimetry and tide gauges. *Glob Planet Chang* 34: 59-86.
- Church JA, Monselesan D, Gregory JM, Marzeion B (2013) Evaluating the ability of process based models to project sea-level change. *Environ Res Lett* 8:014051
- Church, J.A., White, N.J., Aarup, T. in Wilson, W.S. (2008). Understanding global sea levels: past, present and future. *Sustain Sci* 3: 9-22.
- Costa, M.J., Costa, J.L., Almeida, P.R. in Assis, C. (1994). Do eel grass beds and salt marshes act as preferential nurseries and spawning grounds for fish? An example of the Mira estuary, Portugal. *Ecological Engineering* 3: 187-195.
- Costa, M.J., Lopes, M.T., Domingos, I.M., Almeida, P.R., Costa, J.L. (1995). Portuguese Fauna Working Group - Tagus and Mira sites. In *The Effects of Environmental Change on European Saltmarshes: Structure, Functioning and Exchange Potentialities with Marine Coastal Waters*. Volume 3 (ed. J C Lefeuvre), str. 95-174. University of Rennes.
- Daiber, F.C. (1977). Saltmarsh animals: distributions relating to tidal flooding salinity and vegetation. In *Wet Coastal Ecosystems* (ed. V J Chapman), str. 79-108. Elsevier, Amsterdam.
- Daiber, F.C. (1986). Conservation of tidal marshes. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York: 341.
- Dausse, A., Bonis, A., Bouzille, J.B., Lefeuvre J.C. (2008). Seed dispersal in a polder after partial tidal restoration: Implications for salt-marsh restoration. *Applied Vegetation Science* 11: 3-12.
- Davies, M. (1987). Twite and other wintering passerines on the Wash salt marshes. In: Doody, P. and Barnett, B. (eds), *The Wash and its Environment*. Nature Conservancy Council, Peterborough.
- Donath, T., Hölzl, N. in Otte, A. (2003). The impact of site conditions and seed dispersal on restoration success in alluvial meadows. *Applied Vegetation Science* 6: 13-22.
- DOPPS (2015). Načrt upravljanja Naravnega rezervata Škocjanski zatok za obdobje 2015-2024.
- Eastman, J.R. 2016. TerrSet, Clark Labs-Clark University, Worcester, 45.
- EC (2013) Guidelines on Climate Change and Natura 2000. Dealing with the impact of climate change On the management of the Natura 2000 Network of areas of high biodiversity value, Technical Report - 2013 - 068. [https://ec.europa.eu/environment/nature/climatechange/...](https://ec.europa.eu/environment/nature/climatechange/)
- FitzGerald, D.M., Fenster, M.S., Argow, B.A., Buynecich, I. (2008). Coastal Impacts Due to Sea-Level Rise. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 16:601-47.
- Garbutt, A., Wolters, M. (2008). The natural regeneration of salt marsh on formerly reclaimed land. *Appl. Veg. Sci.* 11: 335-344.
- Green, R.E., Johnson, T.H., Collins, D. (1984). An intensive survey of breeding redshank on the Wash, 1982. Unpublished report, Royal Society for the Protection of Birds, Sandy.
- Greenhalgh, M.E. (1975). The breeding birds in the Ribble estuary saltmarshes. *Nature in Lancashire* 5:11-19.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press

Ivajnsič, D. (2015). Prostorsko-časovne premene habitatov obmorskih mokrišč kot posledica primarne sukcesije in dvigovanja morske gladine. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko.

Ivajnsič, D., Donša, D. (2018). Intenzivnost podnebnih sprememb na območjih Natura 2000 v Sloveniji. Revija za geografijo, letnik 13, številka 2, str. 59-71. URN:NBN:SI:COL-7I78E7GR from <http://www.dlib.si>

Ivajnsič, D., Kaligarič, M. (2014). How to Preserve Coastal Wetlands, Threatened by Climate Change-Driven Rises in Sea Level. Environmental Management 1-14.

Joos, F., Prentice, C., Sitch, S., Meyer, R., Hooss, G., Plattner, G. K., et al. (2001). Global warming feedbacks on terrestrial carbon uptake under the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emission scenarios. Global Biogeochemical Cycles, 15(4): 891-907.

Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A., Silenzi, S. (2004). Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 year. Quat Sci Rev 23: 1567-1598.

Lefeuvre, J.C. in Dame, R.F. (1994). Comparative studies of saltmarsh processes on the New and Old Worlds: an introduction. In Global Wetlands: Old World and New (ed W.J. Mitsch), str. 169-179. Elsevier, Amsterdam.

Lotze, L.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., Jackson, J.B.C. (2006). Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. Science, 312: 1806-1809.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. (1986). Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York.

Mitsch, W.J., Wilson, R.F. (1996). Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time, and self-design. Ecol. Appl. 6: 7-83.

Mozetič, B., Otopal, J., Leban, K., Kocjančič, T. (2021). Vsebinsko in finančno poročilo o realizaciji zaključenih ukrepov v Naravnem rezervatu Škocjanski zatok v okviru program sklada za podnebne spremembe v letu 2020. DOPPS, 2021.

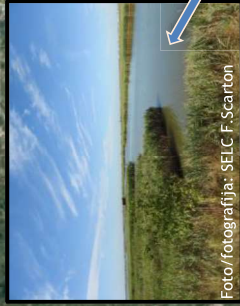
NASA. (2021). EarthData. Sea Level Projection Tool. <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J, Marchand, M. (1999). Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. Glob Environ Chang 9: 69-87.

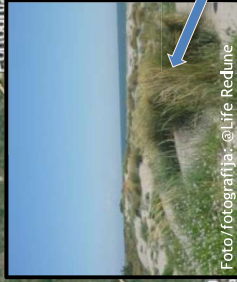
Odum, E.P. (1961). The role of tidal marshes in estuarine production. New York State Conservation 16: 12-15.

Odum, E.P. (1971). Fundamentals of ecology. W. B. Saunders Company, Philadelphia. Str. 574.

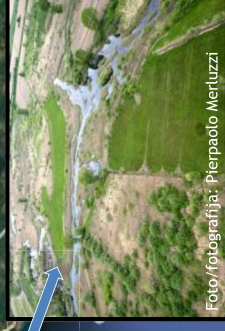
- Ogorelec, B., Mišič, M., Faganeli, J. (1991). Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): sedimentological aspects. *Mar Geol* 99: 79-92.
- Onaindia, M., Albizu, I., Amezcua, I. (2001). Effect of time on the natural regeneration of saltmarsh. *Applied Vegetation Science* 4: 247-256.
- Rodwell, J.S. (2000). *British Plant Communities Volume 5: Maritime Communities and Vegetation of Open Habitats*. Cambridge University Press.
- Savšek-Safić, S., Ambrožič, T., Kogoj, D. (2007). Terestrična izmera mikromreže pri vzpostavitvi mareografske postaje Koper. *Geodetski vesnik* 51: 48-58.
- Silvestri, S., Defina, A., Marani, M. (2005). Tidal regime, salinity and salt-marsh plant zonation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 62: 119-130.
- Stopar, B., Koler, B., Kogoj, D., Sterle, O., Ambrožič, T., Savšek-Safić, S., Kuhar, M., Radovan, D. (2006). Geodetska dela na novi mareografski postaji Koper. *Geodetski vesnik* 50: 609-619.
- Stumpf, R.J. (1983). The process of sedimentation on the surface of a saltmarsh. *Estuarine. Coastal and Shelf Science* 17: 495-508.
- Sutterlay, C. T., Valicogna, I., Rignot, E., Mouginot, J., Flament, T., van den Broeke, M. R., (2014). Mass loss of the Amundsen sea embayment of West Antarctica from four independent techniques. *Geophysical Research Letters*, 41(23): 8421-8428.
- Šajna, N., Kaligarič, M., Ivajnšič, D. (2014). Reproduction Biology of an Alien Invasive Plant: A Case of Drought-Tolerant *Aster squamatus* on the Northern Adriatic Seacoast, Slovenia, v S. Rannow and M. Neubert (eds.), *Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change*, *Advances in Global Change Research* 58.
- Teal, J.M. (1962). Energy flow in the saltmarsh ecosystem in Georgia. *Ecology* 43: 614-624.
- Wolters, M., Garbutt, A., Bakker, J.P. (2005a). Plant colonization after managed realignment: the relative importance of diaspore dispersal. *Journal of Applied Ecology*, 42:770-777.
- Wolters, M., Garbutt, R.A., Bakker, J.P. (2005b). Salt-marsh restoration: evaluating the success of de-embankments in north-west Europe. *Biological Conservation*, 123: 249-268.



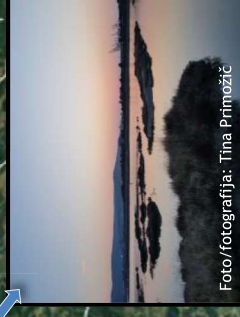
Foto/fotografia: SELC F. Scarton



Foto/fotografia: @Life Redune



Foto/fotografia: Pierpaolo Merluzzi



Foto/fotografia: Tina Primožič

