



Linea 5.2

Impatti vulnerabilità e rischi indotti dal cambiamento del clima

- [Canu \(OGS\)](#)
- [Critto \(UNIVE\)](#)
- [Maragno \(IUAV\)](#)
- [Mysiak, Torresan \(CMCC\)](#)
- [Pastres \(UNIVE\)](#)

1. EXECUTIVE SUMMARY

PRINCIPALE OBIETTIVO LINEA 5.2:

Fornire un quadro conoscitivo degli impatti, vulnerabilità e rischi indotti dai cambiamenti climatici sulla laguna di Venezia e la sua città metropolitana.

ATTIVITA':

Una serie di attività differenti e concatenate è stata svolta per raggiungere l'obiettivo:

- Sviluppo del modello digitale in 3D del sistema terra-acqua della gronda lagunare e della città metropolitana di Venezia; [Task 5.2.1.1. IUAV - Maragno](#)
- Modelli specie-specifici per la valutazione dei rischi di impatti acuti sulla funzionalità ecosistemica e sulle risorse alieutiche; [Task 5.2.1.2 UNIVE - Pastres](#)
- Applicazione di modelli integrati trasporto-biogeochimica semplificati e modelli di nicchia per la stima degli effetti di possibili scenari di cambiamento climatico; [Task 5.2.1.3 OGS - Canu](#)
- Sviluppo ed applicazione di una metodologia di analisi di vulnerabilità e rischio ai cambiamenti climatici; [Tasks 5.2.2.1, 5.2.2.2, 5.2.2.3 UNIVE - Critto](#)
- Stima degli impatti economici legati ai fenomeni indotti dai cambiamenti climatici; [Task 5.2.2.4 CMCC – Mysiak, Torresan](#)

2. Attività e Risultati

Task 5.2.1.1. IUAV - Maragno

Sviluppo del modello digitale in 3D del sistema terra-acqua della gronda lagunare e della città metropolitana di Venezia

ATTIVITA':

Complessivamente l'attività ha riguardato tre fasi principali:

- la costruzione del modello digitale in 3D del sistema lagunare;
- la sperimentazione sul modello integrando gli scenari relativi agli impatti climatici;
- il supporto fornito alle altre Linee di ricerca del progetto.

L'uso combinato del modello 3D con informazioni spaziali prodotte tramite tecniche di *remote sensing* ha consentito lo sviluppo di specifiche metodologie di analisi di supporto alla valutazione della vulnerabilità territoriale e del rischio come esito di impatti generati dall'aumento di frequenza degli eventi estremi: ondate di calore, precipitazioni e mareggiate intense.

Gli impatti considerati hanno riguardato: **isole di calore urbane** (UHI), **inondazioni urbane** (Urban runoff) e **acqua alta** (High Tide).

RISULTATO:

Es. Valutazione della vulnerabilità territoriale che evidenzia la correlazione spaziale fra lo stato termico della superficie terrestre e le caratteristiche di uso del suolo.

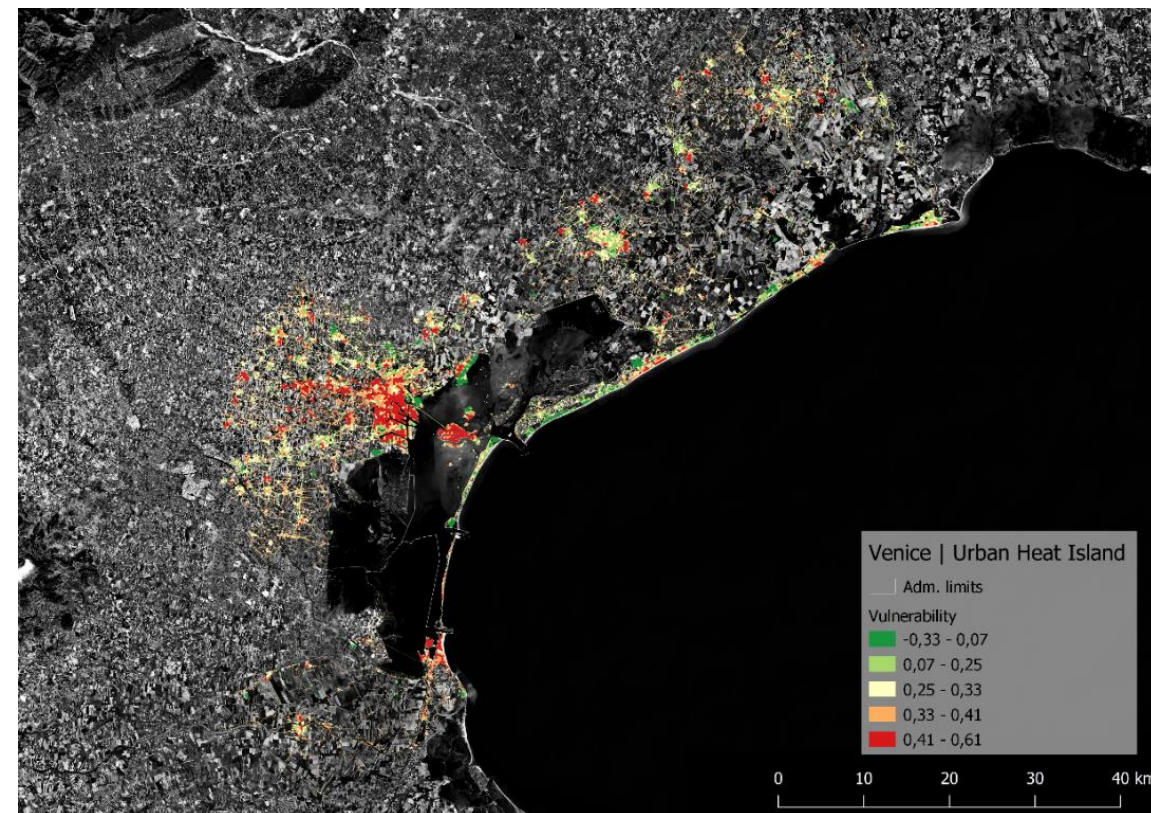


Figura 1. Città Metropolitana di Venezia: vulnerabilità urbana a ondate di calore.

2. Attività e Risultati

Task 5.2.1.2 UNIVE - Pastres

Modelli specie-specifici per la valutazione dei rischi di impatti acuti sulla funzionalità ecosistemica e sulle risorse alieutiche

ATTIVITA':

Attività focalizzata sulla molluschicoltura. In particolare sono stati elaborati:

- modelli di **"tolerance landscape"**, per la **previsione della probabilità che le ondate di calore causino mortalità massicce**, uguali o superiori al 50% della biomassa allevata di vongola verace (*Ruditapes philippinarum*), e mitilo (*Mytilus galloprovincialis*);
- nuovi **modelli bioenergetici**, per **prevedere l'accrescimento individuale di vongola verace (*Ruditapes philippinarum*), e mitilo (*Mytilus galloprovincialis*)** in funzione della temperatura del sedimento superficiale o dell'acqua lagunare, e della concentrazione di clorofilla e di POC (Particulate Organic Carbon);
- Inoltre sono stati messi appunto un **modello statistico** per la **stima della temperatura del sedimento superficiale in funzione di quella dell'acqua**, una metodologia per la selezione di **modelli sito-specifici di previsione a breve termine** della temperatura dell'acqua e della concentrazione di ossigeno disciolto ed una metodologia per costruire **scenari di valori orari di temperatura dell'acqua e giornalieri della temperatura del sedimento, partendo da previsione dei valori medi mensili.**

RISULTATO:

Le proiezioni, basate sugli attuali scenari evolutivi della temperatura delle acque lagunari, indicano una elevata probabilità che le ondate di calore provochino massicce mortalità di molluschi a partire dalla decade 2060/2070.

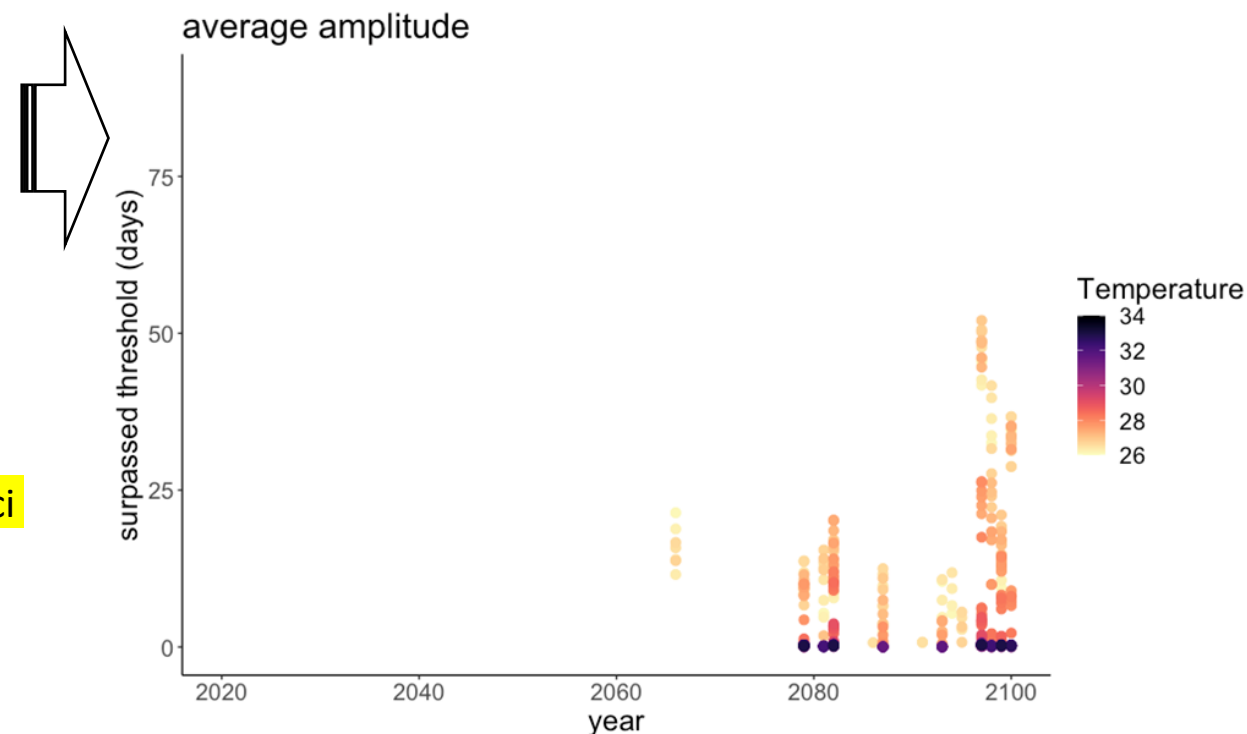


Figura 2. Numero di giorni in cui viene previsto il superamento della soglia di mortalità critica del 50% per *Mytilus galloprovincialis*.

2. Attività e Risultati

Task 5.2.1.3 OGS - Canu

Applicazione di modelli integrati trasporto-biogeochimica semplificati e modelli di nicchia per la stima degli effetti di possibili scenari di cambiamento climatico

ATTIVITA':

Simulazioni di scenario climatico fisico e biogeochimico della laguna di Venezia.

1. Setup delle **simulazioni di scenario RCP 4.5 e RCP 8.5** elaborando i dati climatici, acquisendone di ulteriori (al di fuori del progetto) e producendo delle analisi statistiche per definire le condizioni forzanti meteo e le condizioni chimico-fisiche e biogeochimiche al contorno.
2. Simulazioni di scenario (RCP 4.5 e RCP 8.5) **idrodinamico, chimico-fisico e biogeochimico** fino al **2100**, con MOSE operativo, ad alta risoluzione spaziale e temporale con il modello SHYFEM Venlag_BIO20.

Outputs: livello dell'acqua, temperatura, salinità, nutrienti, clorofilla e ossigeno disciolto.

3. Simulazioni di scenario RCP 8.5 con modello di **accrescimento di *Ruditapes philippinarum*** integrato al **modello biogeochimico** per stimare l'effetto potenziale delle alterazioni fisiche e biogeochimiche sulla biomassa di questi bivalvi nelle aree di concessione lagunari nel 'mid-future' (2049) e 'far-future' (2090).

RISULTATO:

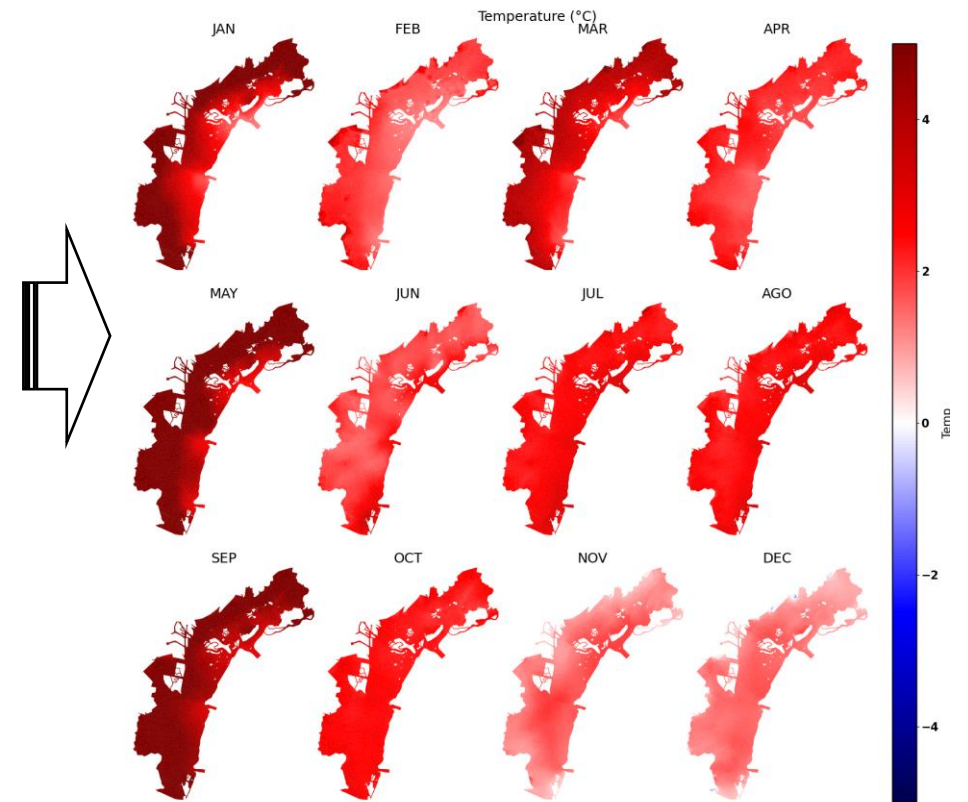


Figura 3. Evoluzione spaziale e temporale dell'anomalia della temperatura media mensile delle acque lagunari per lo scenario futuro RCP 8.5 di medio termine (2049-50). L'anomalia è stata calcolata sulla media mensile degli anni 2019 e 2049.

2. Attività e Risultati

Tasks 5.2.2.1, 5.2.2.2, 5.2.2.3 UNIVE - Critto

Sviluppo ed applicazione di una metodologia di analisi di vulnerabilità e rischio ai cambiamenti climatici

METODOLOGIA: Machine Learning per l'analisi del rischio

MODULO TERRESTRE

Rischio allagamento pluviale per la Città Metropolitana di Venezia

MODULO COSTIERO

Rischio di erosione e di variazione qualità dell'acqua nell'area costiera della Città Metropolitana di Venezia

MODULO LAGUNARE

Rischio legato ai processi di eutrofizzazione nella Laguna di Venezia

1.

- **Impariamo dal passato:** creiamo il dataset con tutti i dati di input che servono per allenare il nostro modello

! Il modello necessita di una **grande quantità di dati**, ad alta frequenza temporale e/o spaziale per essere allenato accuratamente

2.

Creiamo il modello e valutiamo la sua accuratezza nel **periodo baseline** (dati passati)

3.

Facciamo **scenari per il futuro** inserendo dati di input per il futuro derivati da modelli climatici

2. Attività e Risultati

Sviluppo ed applicazione di una metodologia di analisi di vulnerabilità e rischio ai cambiamenti climatici (UNIVE – Critto)

MODULO LAGUNARE

ATTIVITA':

Validazione e configurazione dei modelli di Intelligenza Artificiale (Machine Learning) per gli scenari futuri di classificazione della clorofilla nella laguna di Venezia.

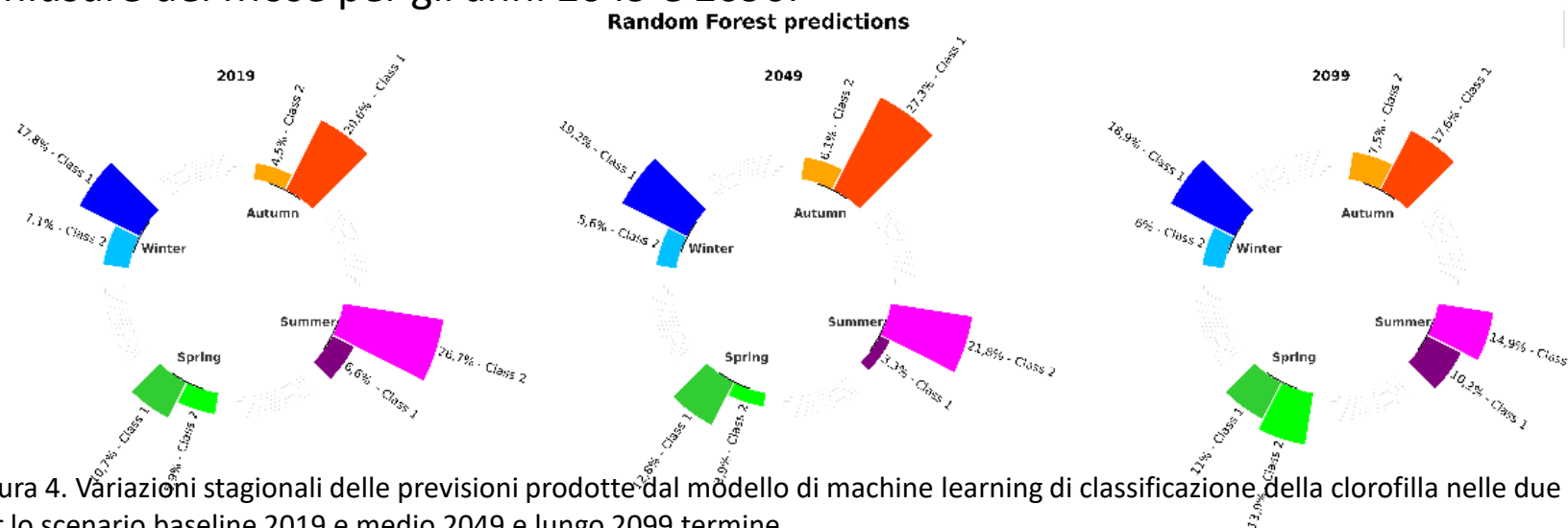
Gli scenari validati per le condizioni storiche (2008-2019 grazie ai dati di qualità dell'acqua monitorati dalla rete SAMANET).

Stima clorofilla per condizioni climatiche future:

- scenario RCP 8.5 per gli anni 2049 e 2099,
- e stimate chiusure del Mose per gli anni 2049 e 2090.

RISULTATO:

Si evidenzia un trend decrescente per i valori di clorofilla più bassi, mentre si nota un **trend crescente per i valori di clorofilla più alti**. A livello stagionale l'estate resta la stagione con i più alti valori di clorofilla in tutti gli scenari, sebbene nel 2099 ci si aspetta anche un **incremento dei valori di clorofilla durante la stagione primaverile**.



Class 1: under median
Class 2: over median

Tali scenari sono stati possibili grazie agli output prodotti dal modello biogeochimico Shyfer-BFM nel contesto della Task5.2.1.3 (Canu-OGS).

Figura 4. Variazioni stagionali delle previsioni prodotte dal modello di machine learning di classificazione della clorofilla nelle due classi "sopra" e "sotto" la mediana per lo scenario baseline 2019 e medio 2049 e lungo 2099 termine.

2. Attività e Risultati

Sviluppo ed applicazione di una metodologia di analisi di vulnerabilità e rischio ai cambiamenti climatici (UNIVE – Critto)

MODULO COSTIERO

ATTIVITA':

Rischio di erosione e di variazione qualità dell'acqua

Sviluppo di un modello a catena multipla “**multi-model chain**” per l'analisi degli scenari di cambiamento climatico a supporto della gestione del **rischio di erosione costiera e della qualità dell'acqua.**

- Analisi nei diversi scenari futuri per tre indicatori: **movimento linea di costa (NSM)**, **coefficiente di attenuazione diffusa della luce (KD)** e **materiale particolato sospeso (SPM)**.

Integrazione dei dati e delle simulazioni della Linea 5.1 (Zanchettin-UNIVE e CNR): simulazione di onde, livelli del mare e mareggiate per la regione del Nord Adriatico.

RISULTATO:

Predominanza della condizione di **stabilità della linea di costa fino al 2030** e di **erosione nella decade 2031 e 2040**; mentre si prospetta un **incremento della deposizione di sedimenti lungo la costa nella decade tra il 2041 e 2050**, la quale è anche associata ad un peggioramento delle condizioni della qualità dell'acqua, in termini di materiale particolato sospeso.

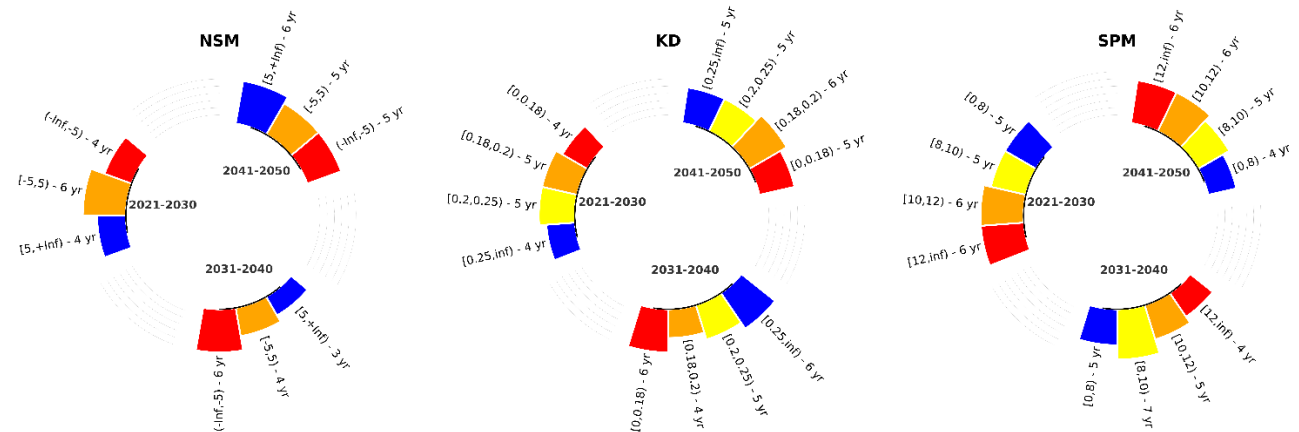


Figura 5: probabilità distribuita per classi nei diversi scenari futuri per i tre indicatori: movimento linea di costa (NSM), coefficiente di attenuazione diffusa della luce (KD) e materiale particolato sospeso (SPM).

2. Attività e Risultati

Sviluppo ed applicazione di una metodologia di analisi di vulnerabilità e rischio ai cambiamenti climatici (UNIVE – Critto)

MODULO TERRESTRE

ATTIVITA':

Mappatura del rischio allagamento da piogge intense per gli scenari futuri (fino al 2050) per la città Metropolitana di Venezia.

Sviluppo di un modello di Machine Learning che considera gli scenari futuri di cambiamento climatico (RCPs 4.5 e 8.5) partendo dai dati storici di piogge intense e da 9 caratteristiche territoriali (es. distanza dai fiumi e dalle strade, permeabilità) che possono contribuire al rischio allagamento da piogge intense.

→ Individuazione delle aree a maggiore rischio di alluvione da piogge intense

I dati delle precipitazioni future sono stati ottenuti dal modello regionale COSMO-CLM.

RISULTATO:

Stima per gli scenari futuri con **RCP 4.5** di un rischio maggiore di inondazioni pluviali nel primo e quarto trimestre per i tre decenni futuri. Il quarto trimestre del periodo 2041-2050 risulta il più critico.

Nello scenario peggiore **RCP 8.5**, i modelli evidenziano un **aumento consistente di eventi estremi** per i decenni futuri rispetto allo scenario di baseline.

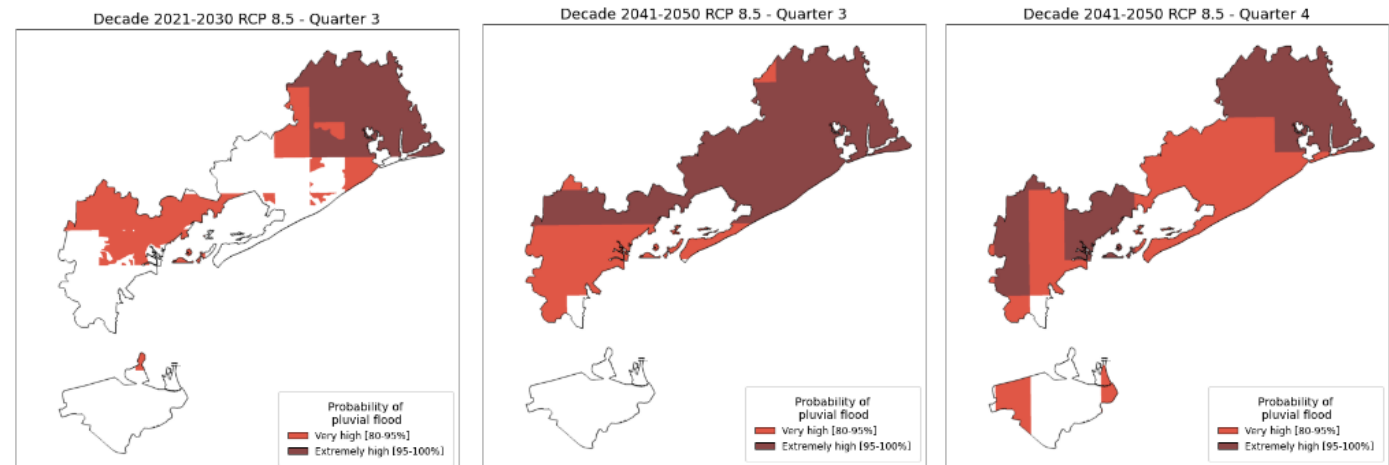


Figura 6: Aree a maggiore rischio allagamento da pioggia intensa per i periodi 2021-2030 e 2041-2050 per lo scenario RCP8.5

2. Attività e Risultati

Task 5.2.2.4 CMCC – Mysiak, Torresan

Stima degli impatti economici legati ai fenomeni indotti dai cambiamenti climatici

ATTIVITA':

Stima degli impatti economici associati agli eventi alluvionali a Venezia Centro Storico in base a:

- clima storico (2000-2019),
- proiezione del clima che prevede un'elevata concentrazione di gas a effetto serra (2040-2050; RCP 8.5).

Metodo: **modello di danno da alluvione** calibrato ad hoc per la stima dei danni diretti (materiali) e indiretti (interruzione attività produttiva).

RISULTATO:

Il danno annuale stimato totale diretto e indiretto dovuto alle inondazioni **aumenterà di oltre tre volte** rispetto ai livelli attuali nello scenario RCP 8.5 entro la metà del secolo se il MOSE non viene attivato. Quando il MOSE viene attivato a livelli d'acqua superiori a 130 cm, il danno annuale **si riduce di oltre il 90%**.

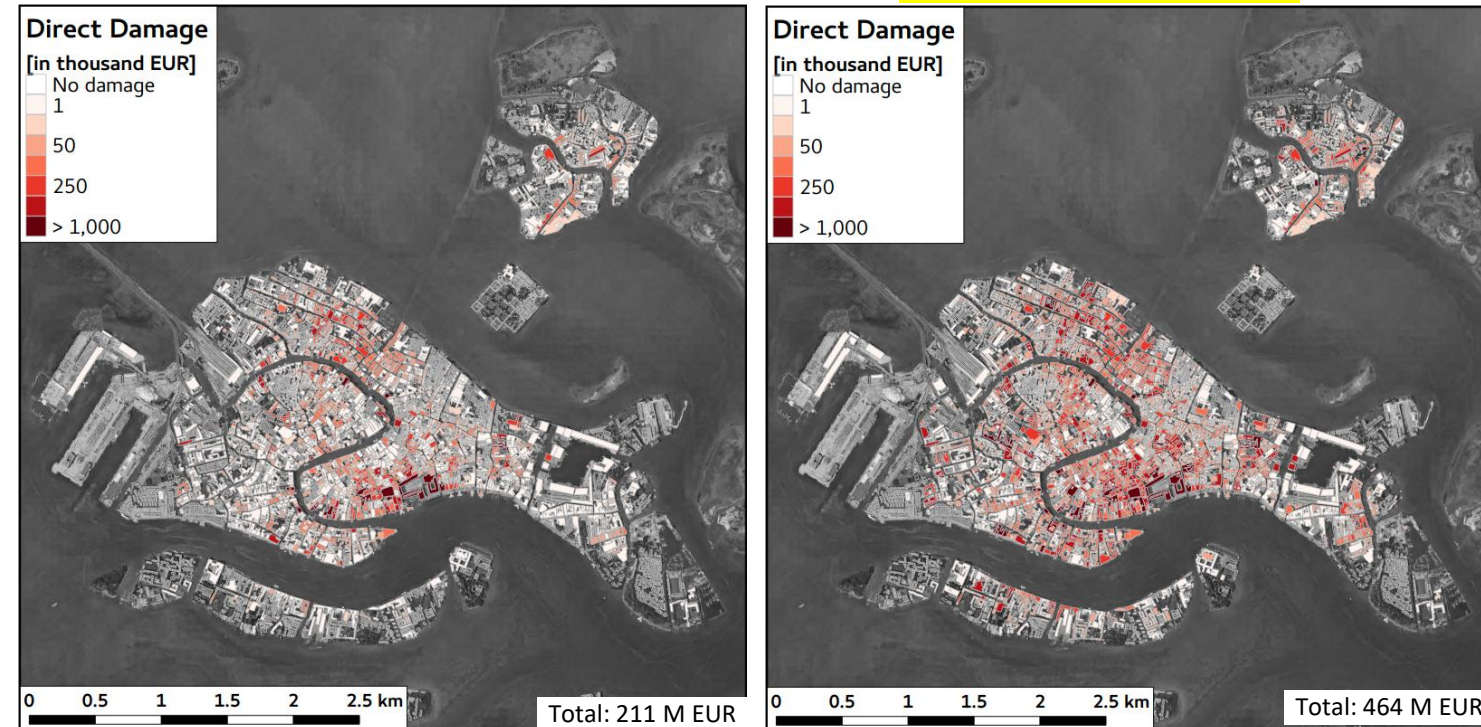


Figura 5. Danni diretti totali agli edifici in migliaia di EUR per eventi con periodo di ritorno pari a 100 anni per il periodo storico (2000-2019) (sinistra) e proiezione delle alte emissioni per il 2040 (destra).

3. Pubblicazioni

- ✓ Aslan, S., Zennaro, F., Furlan, E., & Critto, A. (2022). Recurrent neural networks for water quality assessment in complex coastal lagoon environments: A case study on the Venice Lagoon. *Environmental Modelling and Software*, 154 (May), 105403. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105403>
- ✓ Bertolini, C., J. Capelle, E. Royer, M. Milan, R. Witbaard, T.J. Bouma, R. Pastres. Using a clustering algorithm to identify patterns of valve-gaping behaviour in mussels reared under different environmental conditions. *Ecological Informatics* 69 (2022) 101659. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101659>
- ✓ Bertolini C. Royer E., Pastres R. (2021) Multiple evidence for climate patterns influencing ecosystem productivity across spatial gradients in the Venice lagoon. *J. Mar. Sci. Eng.* 9(4), 363
- ✓ Bertolini, C., Bernardini, I., Brigolin, D., Matozzo, V., Milan, M., & Pastres, R. (2021). A bioenergetic model to address carbon sequestration potential of shellfish farming: example from *Ruditapes philippinarum* in the Venice lagoon. *ICES Journal of Marine Science*. fsab099
- ✓ Bertolini C., Brigolin D., Porporato E., Hattab J., Pastres R., & Tisca, P. G. (2021) Testing a model of pacific oysters' (*Crassostrea gigas*) growth in the Adriatic Sea: implications for aquaculture spatial planning. *Sustainability*, 13(6), 3309.
- ✓ Fogarin S., Zanetti M., Dal Barco M.K., Zennaro F., Furlan E., Torresan S., Critto A.. (2022). Combining remote sensing analysis with machine learning to evaluate short-term coastal evolution trend in the shoreline of Venice. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160293>
- ✓ Zanetti M., Allegri E., Sperotto A., Torresan S., and Critto A., (2022). Spatio-temporal cross-validation to predict pluvial flood events in the Metropolitan City of Venice. *Journal of Hydrology*, 128150. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128150>
- ✓ Pham H.V., Dal Barco M.K., Cadau M., Harris R., Furlan E., Torresan S., Critto A., Rubinetti S., Zanchettin D., Rubino A., Barbariol F., Benetazzo A., (2022). "Multi-model chain for climate change scenario analysis to support coastal erosion and water quality risk management" (In preparation for STOTEN)



Linea 5.2

Impatti vulnerabilità e rischi indotti dal cambiamento del clima

- [Canu \(OGS\)](#)
- [Critto \(UNIVE\)](#)
- [Maragno \(IUAV\)](#)
- [Mysiak, Torresan \(CMCC\)](#)
- [Pastres \(UNIVE\)](#)

4. Spunti per il futuro

Task 5.2.1.1. IUAV - Maragno

“Sviluppo del modello digitale in 3D del sistema terra-acqua della gronda lagunare e della città metropolitana di Venezia”

Gestione della vulnerabilità e del rischio urbano considerando l’impatto del cambiamento climatico attraverso la formulazione di **scenari integrando il comportamento morfologico del territorio con gli scenari climatici globali (RCPs)**.

Per sviluppare questa nuova dorsale di ricerca è necessario che il **trend climatico** venga opportunamente incrociato con i fattori morfologici locali. Il riconoscimento di una convergenza climatica tra variabili morfologie e fenomeni climatici può risultare utile per capire in che modo le caratterizzazioni di uso del suolo siano effettivamente predisposte ad acutizzare gli effetti generati da uno o più impatti climatici. Questo processo può favorire la restituzione di condizioni di vulnerabilità in grado di differenziare e orientare gli interventi di adattamento urbano in funzione ai diversi settori di pericolosità climatica (o hazard).

Task 5.2.1.2 UNIVE - Pastres

“Sviluppo di modelli specie-specifici per la valutazione dei rischi di impatti acuti sulla funzionalità ecosistemica e sulle risorse alieutiche”

- 1) **sviluppo di modelli di “tolerance landscape” anche per altre specie** di interesse per la pesca lagunare e, in generale, importanti per il funzionamento dell’ecosistema lagunare: ciò richiederebbe, attività sperimentali specifiche in condizioni controllate di laboratorio;
- 2) **estensione dei modelli di “tolerance landscape”, includendovi altri potenziali co-stressori**, quali, ad es., bassi livelli di ossigeno disciolto, scarsa disponibilità di alimento, presenza di patogeni;
- 3) sviluppo di **scenari di produttività della molluschicoltura** lagunare, basati **sull’accoppiamento dei modelli di accrescimento e di sopravvivenza**: questo obiettivo si potrebbe raggiungere con uno sforzo limitato, utilizzando come dati di ingresso gli scenari di evoluzione della temperatura e della densità fitoplanctonica prodotti dal progetto;
- 4) approfondimento del **ruolo della molluschicoltura nel ciclo del carbonio lagunare**, in relazione anche alla prospettiva di ingresso di questo settore nel mercato dei crediti di carbonio;

4. Spunti per il futuro

Task 5.2.1.3 OGS - Canu

“Applicazione di modelli integrati trasporto-biogeochimica semplificati e modelli di nicchia per la stima degli effetti di possibili scenari di cambiamento climatico”

- 1) miglioramento delle **capacità descrittive** dei processi,
- 2) raffinamento della **struttura del modello numerico**,
- 3) miglioramento della rappresentazione delle condizioni esterne al sistema aumentando la **frequenza di acquisizione dei dati** (forzanti esterne, carichi, scambio con il mare),
- 4) applicazione sistemi di assimilazione dei dati nel modello,
- 5) esplorazione ulteriore **dell'incertezza relativa al carico del bacino scolante** per gli scenari futuri.
- 6) **il modello di accrescimento della vongola verace (*R. philippinarum*)** potrebbe essere ulteriormente **integrato con il modello SHYFEM-BFM** passando da un accoppiamento off-line ad un accoppiamento on-line, e quindi ad **una rappresentazione spazialmente esplicita delle dinamiche del bivalve**. Inoltre, se in prima battuta sono state considerate solo le dinamiche di crescita individuale, in futuro il modello potrebbe essere sviluppato per rappresentare le **dinamiche di popolazione**.

4. Spunti per il futuro

Tasks 5.2.2.1, 5.2.2.2, 5.2.2.3 UNIVE – Critto

«Sviluppo ed applicazione di una metodologia di analisi di vulnerabilità e rischio ai cambiamenti climatici»

- 1) avanzamento dell'aspetto modellistico di **Intelligenza Artificiale** con algoritmi e tecniche (es. deep learning, transfer learning, graph neural networks e physics-informed machine learning) che possano **aumentare l'accuratezza** dei modelli e quindi diminuire l'incertezza degli scenari di rischio;
- 2) inclusione dei **cinque scenari futuri aggiornati all'ultimo report IPCC – AR6**, dal più ottimistico a quello da evitare a tutti i costi, rispettivamente: l'SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5. Tali scenari di emissioni darebbero agli scenari di rischio il valore di dipendere sia dalla velocità con cui l'uomo ridurrà le emissioni di gas serra, che dai cambiamenti socioeconomici in aspetti quali la popolazione, la densità urbana, l'istruzione e la ricchezza;
- 3) nuovi scenari di rischio elaborati non solo in accordo con i diversi SSPs ma anche con gli **scenari futuri di uso del suolo** (es. LUISA (Land Use-based Integrated Sustainability Assessment) e LUC@CMCC (land use change model) al fine di includere le problematiche connesse allo sviluppo antropico inserito in un contesto di crescita territoriale.

Task 5.2.2.4 CMCC – Mysiak, Torresan

“Stima degli impatti economici legati ai fenomeni indotti dai cambiamenti climatici”

- 1) **simulazioni che ottimizzino l'attivazione del MOSE a diversi livelli d'acqua** e con alcuni ingressi lasciati aperti e/o attivati a diversi livelli d'acqua, al fine di comprendere i **costi/benefici economici di ciascuno scenario**;
- 2) per le stime dei costi indiretti, sarebbe vantaggioso **includere i costi del turismo venuto a mancare durante i grandi eventi di acqua alta**, ad esempio, le perdite generate a causa dell'annullamento di viaggi (hotel, pasti, trasporti, ecc.) anche in luoghi che non hanno vissuto danni significativi come quelli avvenuti nel novembre 2019;
- 3) considerazione di ulteriori **scenari di cambiamenti climatici** per diverse concentrazioni di gas serra (es. mitigazione) e **periodi temporali diversi e di più lungo termine** (es. 2041-2060 e 2081-2100).



Linea 5.2

Impatti vulnerabilità e rischi indotti dal cambiamento del clima

- [Canu \(OGS\)](#)
- [Critto \(UNIVE\)](#)
- [Maragno \(IUAV\)](#)
- [Mysiak, Torresan \(CMCC\)](#)
- [Pastres \(UNIVE\)](#)