

# SALINIZZAZIONE E MINACCE PER L'AGRICOLTURA

L'UNIVERSITÀ DI PADOVA HA AVVIATO NEL 2022 UNA RICERCA, FINANZIATA CON IL PNRR, PER MONITORARE L'IMPATTO DI SICCIÀ E RISALITA DEL CUNEO SALINO SULLE COLTURE DEL DELTA. IL PROGETTO, IN COLLABORAZIONE CON IL CONSORZIO DI BONIFICA DELTA DEL PO, PROPONE PER LA PRIMA VOLTA UN APPROCCIO INTEGRATO DI RACCOLTA ED ELABORAZIONE DEI DATI.

L'area del comprensorio del Consorzio di bonifica Delta del Po, delimitata da un reticolo di canali e isole, si estende per 62.780 ettari e rappresenta una delle aree a maggiore vocazione agricola della pianura Padana. Secondo le stime più recenti, circa il 70% del territorio del delta è costituito da superfici agricole, prevalentemente rappresentate da seminativi. A questi si aggiungono le valli da pesca, che trovano un ambiente ideale nelle acque salmastre marginali, dove il mare si mescola all'acqua dolce del Po. Proprio la vocazione agricola di questo territorio costituisce anche un elemento di enorme vulnerabilità nell'attuale contesto dei cambiamenti climatici e del verificarsi di fenomeni di intrusione del cuneo salino fino a 40 km nell'entroterra.

## Gli effetti della risalita del cuneo salino nel comparto agricolo

La conseguenza primaria dell'intrusione del cuneo salino nelle aree agricole costiere è la salinizzazione dei suoli, che si manifesta con un accumulo di sali nella soluzione circolante. Tale processo può avvenire sia a causa della diretta irrigazione con acqua salmastra, sia a causa di fenomeni di risalita capillare e infiltrazione laterale che, nel caso del delta del Po, è facilitata da un piano campagna al di sotto del livello del mare e da una tessitura con elevate percentuali di argilla e limo.

La salinizzazione ha un notevole impatto negativo sulla produzione agricola, in quanto la maggioranza delle specie coltivate risulta sensibile allo stress salino, che può danneggiare irreversibilmente i processi metabolici e compromettere lo sviluppo vegetativo. In aggiunta, la salinizzazione può alterare la struttura dei suoli e l'attività dei microorganismi che li popolano, portando nei casi più estremi



FOTO: A. GHIRARDELLI

1 a una drastica riduzione del contenuto di sostanza organica e a veri e propri fenomeni di micro-desertificazione (foto 1). Inoltre, lo stress salino, che spesso si presenta in concomitanza con le temperature elevate e i periodi prolungati di siccità estivi, può indebolire le colture anche in modo indiretto, favorendo la proliferazione di microorganismi e insetti nocivi e di piante infestanti, più adattabili agli stress abiotici e più competitive rispetto alle specie vegetali coltivate [1].

Malgrado i fenomeni di intrusione del cuneo salino in periodi estivi siano noti e testimoniati nell'area del delta almeno dai primi anni Duemila, grazie alle campagne di monitoraggio effettuate dalle Agenzie regionali per la protezione ambientale del Veneto e dell'Emilia-Romagna, nonché a quelle del Consorzio di bonifica Delta del Po, lo studio metodico si è concentrato sulle acque, e non direttamente sul comparto agricolo, nonostante esso sia il principale settore produttivo danneggiato [2]. Tuttavia, l'intensificazione dei fenomeni di siccità estiva, culminata con l'episodio estremo della primavera-estate 2022, ha gettato luce sulla necessità di indagare in maniera più approfondita l'impatto del cuneo salino sull'agricoltura del delta [3,4].

## Monitoraggio dell'impatto, la ricerca dell'Università di Padova

In questo contesto, nascono le ricerche del dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali (Tesaf) dell'Università degli studi di Padova. Nel 2022 è stato avviato un progetto di ricerca finanziato dai fondi del Piano nazionale di ripresa e resilienza Agritech (*spoke 4, work package 4.2, task 4.2.2*), con l'obiettivo di monitorare l'impatto della siccità e dell'intrusione del cuneo salino sulle colture del delta, in collaborazione con il Consorzio di bonifica Delta del Po. Il progetto, di durata quadriennale, si propone per la prima volta un approccio integrato di raccolta ed elaborazione di dati su più livelli: l'impiego di tecniche di *remote sensing* per stimare lo stato generale di salute della vegetazione, sia a scala regionale sia aziendale, la ricostruzione storica dei cambiamenti d'uso suolo e dell'ordinamento culturale, il prelievo e l'analisi periodica di campioni di suolo, con la contestuale

1 Superficie coltivata a mais nella località di Scardovari (Porto Tolle, RO), dove sono evidenti tracce di micro-desertificazione in prossimità del canale irriguo.

misura in situ della conducibilità elettrica (Ec) e dell'umidità tramite la tecnica della *time domain reflectometry* (Tdr) e, infine, l'installazione di sensori a terra per il monitoraggio in continuo della Ec, della temperatura e dell'umidità dei suoli a profondità multiple. Mentre le indagini su scala regionale sono riferite all'intero comprensorio del Consorzio di bonifica Delta del Po, per i campionamenti e le misure puntuali sono state individuate otto aree studio nel comune di Porto Tolle (figura 1), il più esteso del delta e fortemente colpito dalle problematiche di intrusione del cuneo salino. Nel 2023 è iniziata la prima raccolta di campioni, effettuata da giugno a settembre ogni due settimane, che sarà ripetuta nei prossimi anni. I suoli raccolti saranno analizzati per determinare la tessitura, la Ec degli estratti acquosi, il contenuto di ioni sodio e cloruro, e il rapporto di adsorbimento del sodio (Sar).

Una delle principali tecniche di monitoraggio a larga scala dello stress salino sulla vegetazione si avvale di immagini satellitari ad alta risoluzione

acquisite tramite sensori multispettrali, dalle quali è possibile calcolare il *Normalized difference vegetation index* (Ndvi), un indice di vigoria della vegetazione che permette di identificare le aree maggiormente impattate dal cuneo salino. Una recente pubblicazione [5] ha messo in relazione i valori interpolati di salinità nell'acqua del delta, ricavati dalle misure puntuali effettuate nell'estate 2006 dal Consorzio di bonifica Delta del Po, con i valori di Ndvi calcolati a partire dalle immagini multispettrali relative allo stesso periodo. I risultati, filtrati selezionando i valori di Ndvi solo nei campi coltivati, hanno dimostrato che la vigoria vegetale nelle aree prossime ai tratti fluviali è statisticamente inferiore (Ndvi più basso) rispetto alle aree lontane, meno affette dalla salinità dell'acqua (figura 2). Analogamente, le indagini condotte nella stagione primaverile-estiva 2022 e 2023 hanno mostrato una tendenza delle colture a presentare valori bassi di Ndvi, corrispondenti a una scarsa vigoria vegetale, in prossimità dei tratti fluviali (figura 3). È da notare che questo gradiente risulta più facilmente

osservabile nei periodi in cui a parità di salinità non c'è eccessiva carenza idrica, mentre è meno apprezzabile nei periodi con temperature elevate e prolungata siccità. Questo perché la carenza idrica e le alte temperature sono ulteriori elementi di stress per le colture, e possono tradursi in valori più bassi di Ndvi anche lontano dalle sponde del fiume. L'elaborazione di dati in serie temporali ampie è quindi fondamentale per l'individuazione delle aree più critiche, la cui vegetazione presenterà un minore vigore anche in periodi non siccitosi.

Le colture primaverili-estive, il cui apice vegetativo coincide generalmente con l'avanzata del cuneo salino, sono le più esposte alle problematiche di salinità e di carenza di acqua irrigua. Ciò ha almeno in parte influito sulle scelte colturali delle aziende del Consorzio, che dal 2015 hanno visto un incremento delle superfici a grano, la coltura autunno-vernina più diffusa nel comprensorio e una netta riduzione delle superfici a riso, una coltura estiva distintiva della zona ma con un fabbisogno idrico estremamente

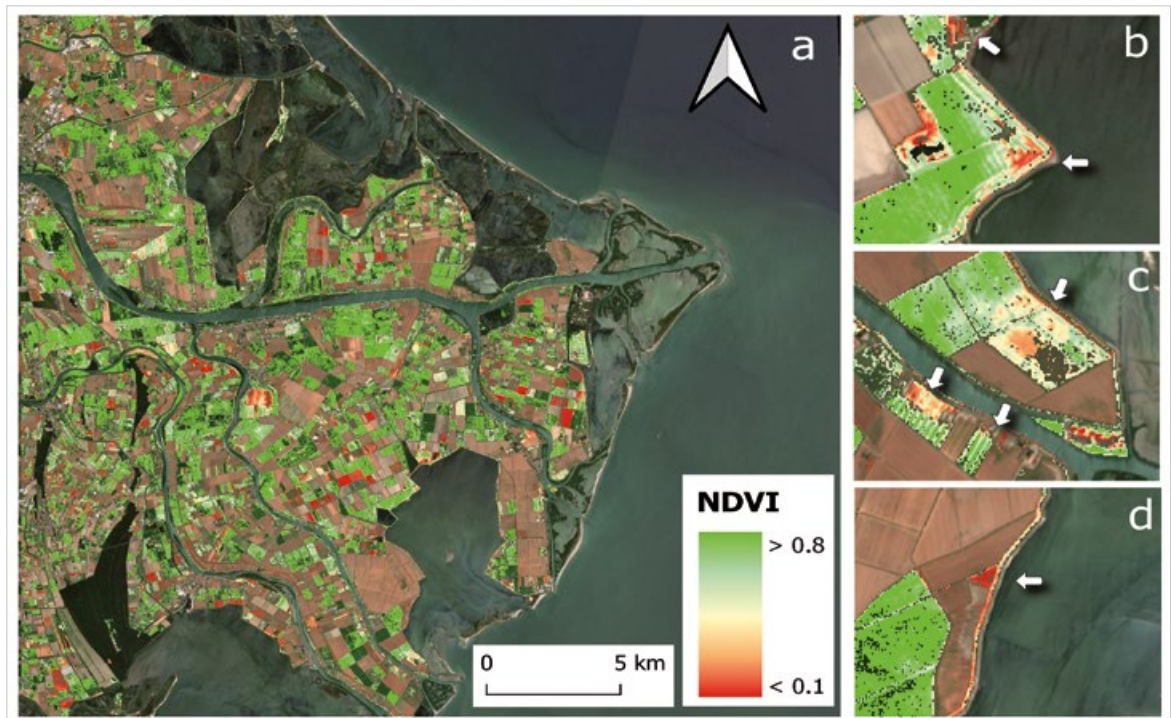


FIG. 1 MONITORAGGIO IMPATTO SALINIZZAZIONE  
 (a) Posizione geografica dei siti di campionamento all'interno del territorio del Consorzio di bonifica Delta del Po.  
 (b) (c) Campagna di rilievi dell'estate 2023.

FOTO: V. BALDANI, E. GHIRARDELLI

FIG. 2  
INDICE NDVI

Luglio 2023, aree coltivate dell'intero comprensorio del delta del Po (a) e in aree ingrandite (b), (c), (d), dove è possibile osservare un gradiente di Ndvi (Normalized difference vegetation index) in funzione della distanza dall'acqua.



elevato [6]. Il futuro del settore agricolo del delta è quindi strettamente vincolato all'evoluzione dei cambiamenti climatici.

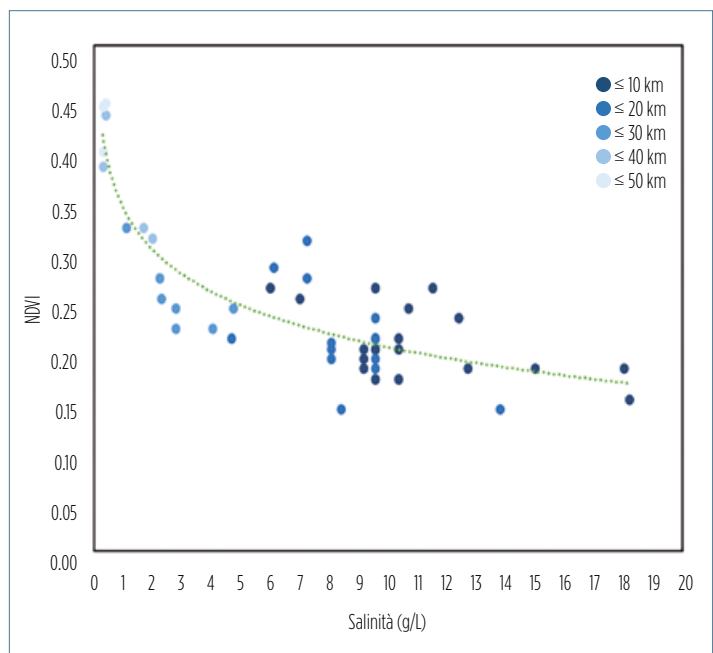
L'elaborazione dei dati relativi alle campagne di rilievi 2023, 2024 e 2025 punta quindi a raggiungere tre principali obiettivi: l'individuazione degli *hotspot* di salinizzazione nelle aree agricole del delta con l'elaborazione di mappe di rischio; la pubblicazione di indicazioni operative di supporto agli agricoltori per la gestione e mitigazione del rischio anche con soluzioni basate sulla natura (*nature-based solutions*) [7]; la raccolta di linee-guida per i decisori politici responsabili della gestione territoriale.

**Paolo Tarolli, Aurora Ghirardelli**

Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali, Università degli studi di Padova

FIG. 3  
NDVI E SALINITÀ

Relazione tra Ndvi medio e salinità dell'acqua del Po nell'estate 2006. All'aumentare della salinità, l'Ndv risulta inferiore, mostrando un peggioramento delle condizioni vegetative. I valori di Ndv sono anche raggruppati in funzione della distanza dall'acqua, come mostrato dal gradiente di colori dei cerchi. La curva tratteggiata rappresenta una linea di tendenza logaritmica. Elaborazione da: Luo et al. 2023 [5].



## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Cirillo V., Masin R., Maggio A., Zanin G., "Crop-weed interactions in saline environments", *Eur. J. Agron.*, 2018, 99, 51-61, doi:10.1016/J.EJA.2018.06.009.

[2] Bellafiore D., Ferrarin C., Maicu F., Manfè G., Lorenzetti G., Umgiesser G., Zaggia L., Levinson A.V., "Saltwater intrusion in a Mediterranean Delta under a changing climate", *J. Geophys. Res. Ocean.*, 2021, 126, e2020JC016437, doi:10.1029/2020JC016437.

[3] Tarolli P., Luo J., Straffellini E., Liou Y.-A., Nguyen K.-A., Laurenti, R., Masin R., D'Agostino V., "Saltwater intrusion and climate change impact on coastal agriculture", *Plos Water.*, 2023, 2, e0000121, doi:10.1371/journal.pwat.0000121.

[4] Montanari A., Nguyen H., Rubineti S., Ceola S., Galelli S., Rubino A., Zanchettin D., "Why the 2022 Po river drought is

the worst in the past two centuries", *Sci. Adv.*, 2023, 9, 1-9, doi:10.1126/sciadv.adg8304.

[5] Luo J., Straffellini E., Bozzolan M., Zheng Z., Tarolli P., "Saltwater intrusion in the Po River Delta (Italy) during drought conditions: Analyzing its Spatio-temporal evolution and potential impact on agriculture", *Int. Soil Water Conserv. Res.*, 2023, In press, doi:10.1016/j.iswcr.2023.09.009.

[6] Avepa, "Piano d'azione per l'energia sostenibile ed il clima", [www.avepa.it/paesc](http://www.avepa.it/paesc).

[7] Tarolli P., Luo J., Park E., Barcaccia G., Masin R., "Soil salinization in agriculture: Mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering", *iScience*, 2024, 27, 108830, doi:10.1016/j.isci.2024.108830.