

Giornata di studio online:

Cambiamento climatico e risalita  
del cuneo salino: casi studio nell'Alto Adriatico

15 ottobre 2024

*Relatori*

Giuliano Mosca (*coordinatore*), Sandro Prosdocimi (*coordinatore*), Luigi Tosi,  
Graziano Paulon, Stefano Bongiovanni, Rodolfo Laurenti, Paolo Tarolli

## Sintesi

Il suolo per sua natura non è impermeabile e l'acqua si infiltra nel terreno e nelle rocce. Nell'entroterra è presente acqua dolce, nel fondale marino quella salata. Quando le due acque sotterranee si incontrano, lungo le zone costiere, l'acqua marina si "incunea" al di sotto di quella dolce dato che l'acqua salata possiede una maggiore concentrazione di sali minerali che la rendono più densa rispetto a quella dolce. In questo modo l'acqua salata sotterranea assume la forma di un cuneo. È un fenomeno naturale che è sempre esistito ma diventa un problema quando il cuneo penetra verso l'entroterra. Questo può avvenire per diversi fattori, naturali o antropici. Tra le cause naturali si possono citare il livello del mare, le mareggiate e la siccità. Tra quelle antropiche il prelievo di acqua, la canalizzazione e l'urbanizzazione. In Italia la risalita del cuneo salino è un problema importante, una penisola con oltre 8 mila chilometri di coste. La siccità diventa un problema sempre più grave e le risorse idriche del sottosuolo talvolta sono sovrautilizzate per usi agricoli, specie in primavera e in estate. Questi due fattori comportano una importante risalita dell'acqua marina, in particolare lungo le foci dei fiumi. Nell'estate del 2022 il cuneo salino ad esempio è risalito per ben 30 chilometri lungo il corso del Po. Ma anche altri fiumi, soprattutto quelli che sfociano nell'Adriatico settentrionale, come il Piave e l'Adige, hanno presentato problemi simili. Una oculata scelta colturale e varietale, un'adeguata irrigazione e alcune tecniche specifiche rendono possibile una proficua coltivazione anche dei terreni a elevato contenuto salino e con acque salmastre. La salinità dei terreni può inoltre compromettere la funzionalità dei macchinari agricoli.

LUIGI TOSI<sup>1</sup>

*Intrusione salina negli acquiferi costieri: meccanismi di contaminazione e analisi di vulnerabilità*

<sup>1</sup> IGG-CNR

La pianura costiera italiana dell'Alto Adriatico si trova in gran parte al di sotto del livello medio del mare ed è drenata da un'estesa rete di canali artificiali e infrastrutture idrauliche. Nel corso degli anni, la morfologia pianeggiante, la subsidenza del terreno, lo sfruttamento delle acque sotterranee e la bonifica idraulica hanno favorito il processo di contaminazione salina negli acquiferi e lungo le foci fluviali. Gli effetti del cambiamento climatico, tra cui la siccità e l'innalzamento del livello del mare, stanno ulteriormente esacerbando il processo di salinizzazione e portando a una drastica riduzione del potenziale di approvvigionamento di acqua dolce, che si riflette in particolare sulla produttività agricola. Questa presentazione affronta il problema dell'intrusione salina nell'acquifero costiero tra i fiumi Brenta e Adige. In primo luogo, viene fornita una panoramica dell'estensione del processo e dei meccanismi che lo controllano. Viene poi presentato un nuovo metodo per analizzare la vulnerabilità all'intrusione salina, che prende in considerazione la parte più superficiale del sistema acquifero, cioè il sottosuolo più vicino alle colture. Infine, vengono discussi i vantaggi e i limiti di questo approccio.

Studio svolto nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Croazia 2021/2027, Progetto SWAMrisk "Subsurface WAter monitoring and Management to prevent drought risk in coastal systems" (ID ITHR0200479).

*The Italian coastal plain of the northern Adriatic lies largely below mean sea level and is drained by an extensive network of artificial canals and hydraulic infrastructures. Over the years, the low-lying morphology, land subsidence, groundwater exploitation and hydraulic reclamation have favored the process of saltwater contamination, which is spreading both in the aquifers and along the estuaries. The effects of climate change, including drought and sea level rise, exacerbate salinization and lead to a drastic reduction in the potential for freshwater supply, which is particularly reflected in agricultural productivity. This presentation addresses the problem of salt intrusion into the coastal aquifer between the Brenta and Adige rivers. First, an overview of the extent of saltwater contamination and its control mechanisms is given. A new method for analyzing vulnerability to saltwater intrusion is then presented, targeting the most superficial part of the aquifer*

*system, i.e. the subsoil closest to the crops. Finally, the advantages and limitations of this approach are discussed.*

Study carried out under the Interreg VI-A Italy-Croatia 2021/2027 Program, Project SWAMrisk “Subsurface WAter monitoring and Management to prevent drought risk in coastal systems” (ID ITHR0200479).

GRAZIANO PAULON<sup>1</sup>

*Intrusione salina e gestione della risorsa idrica nell'area del Veneto Orientale*

<sup>1</sup> Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (San Donà di Piave - Portogruaro - VE)

Il Comprensorio del Veneto Orientale si estende su di una superficie di circa 1.140 km<sup>2</sup>, per quasi 2/3 sotto il livello del mare, a ridosso del litorale Adriatico compreso fra la Laguna di Venezia e il fiume Tagliamento. Sin dalla realizzazione delle opere di inizio '900, il contrasto alla salinizzazione delle acque e dei suoli ha rappresentato uno degli obiettivi principali dell'opera di bonifica.

Gli effetti del cambiamento climatico correlati in particolare a periodi siccitosi sempre più frequenti e intensi oltre alla riduzione della portata dei principali fiumi, hanno progressivamente accentuato il fenomeno della intrusione salina, che nel 2022 ha assunto proporzioni sinora mai registrate con rischio incombente di pregiudizio oltre che dell'esercizio irriguo nelle aree agricole, anche dell'uso idropotabile nel distretto turistico litoraneo. La problematica è rilevante e l'intrusione salina interessa con crescente intensità, non solo le aste fluviali ma anche l'acquifero sotterraneo.

Nelle annate più critiche la risalita del cuneo salino interessa le principali aste fluviali con penetrazione fino a 25-30 km dalla linea di costa. Nella falda sottosuperficiale si registrano valori di conducibilità prossimi ai 10 mS/cm fino a 6 km dalla linea di costa.

Si rende quindi necessaria una strategia globale che attraverso la riorganizzazione delle reti, nuove opere di interclusione e moderne tecniche di gestione della risorsa, consenta di governare il fenomeno, per ridurre il rischio per le produzioni agricole, la salvaguardia dei sistemi naturali e della importante economia turistica.

*The Veneto Orientale is an area of about 1,140 km<sup>2</sup>, located almost 2/3 below the average sea level, next to the Adriatic coast in between the Venice Lagoon and the*

*river Tagliamento. Since the land reclamation works of the early '900, the hindering to the salinisation of water and lands has been one of the main goals.*

*The climate change effects resulting in increasingly frequent and intense drought periods as well as the reduction of the flowrate in the main rivers, have progressively increased the phenomenon of salt intrusion. This condition in 2022 has assumed unrecorded proportions with at real risk of damage as well as irrigation activity, also the human use of water in the coastal tourist district. The problem is tangible and salt intrusion concerns with increasing intensity, not only the river but also the groundwater.*

*The salt wedge affects the main rivers, in the most critical years, up to 25-30 km from the coastline and in the groundwater, conductivity values of about 10 mS/cm are recorded to 6 km from the coastline.*

*An overall strategy with reorganisation of the networks, new intercluding barriers and modern resource management techniques, is needed to manage the phenomenon, to reduce the risk for agricultural production, the preservation of natural systems and the important tourist economy.*

STEFANO BONGIOVANNI<sup>1</sup>

*L'intrusione del cuneo salino nella fascia perilagunare del Friuli Venezia Giulia: cause ed effetti*

<sup>1</sup> Consorzio di Bonifica Pianura Friulana (Udine)

La Laguna di Marano e Grado caratterizza il profilo costiero Alto Adriatico della Regione Friuli Venezia Giulia.

Essa è inserita nel complesso degli ambienti di transizione situato lungo il tratto più settentrionale del Mare Adriatico e dell'intero Mediterraneo, che si sviluppa dal delta del Fiume Po agli stagni costieri della Slovenia. Il profilo morfologico odierno è stato largamente influenzato dalle importanti attività di bonifica di inizio '900.

Delimitata dall'apparato deltizio del fiume Tagliamento a ovest, e da quello del fiume Isonzo a est, l'area lagunare in questione si sviluppa per circa 32 km in lunghezza, per una superficie totale di circa 160 km<sup>2</sup>. Grazie a queste dimensioni è la seconda laguna per estensione in Italia e una delle più estese tra le lagune mediterranee dell'Europa. Il cuneo salino penetra i corsi d'acqua che sfociano in laguna per almeno 4-5 km dalla foce.

La salinità presenta un gradiente positivo in direzione ovest-est oltre a un gradiente positivo dalla zona di "gronda" settentrionale, caratterizzata dagli apporti dei fiumi tributari in laguna, alle bocche lagunari dove si evidenziano masse d'acqua più prettamente marine.

Le condizioni “ordinarie” di salinità hanno pesantemente risentito della prolungata siccità del 2022, che ha comportato l'impossibilità di utilizzo a fini irrigui dell'acqua dei canali di bonifica per molti km nell'entroterra.

La situazione è parzialmente rientrata tra il 2023 e il 2024, ma ciò non deve far distogliere l'attenzione su una problematica che rischia di compromettere pesantemente le attività antropiche, non solo agricole, in tutta la fascia perilagunare.

*The Marano and Grado Lagoon characterizes the Upper Adriatic coastal profile of the Friuli Venezia Giulia Region.*

*It is part of the complex of transitional environments located along the northernmost stretch of the Adriatic Sea and the entire Mediterranean, which extends from the delta of the Po River to the coastal ponds of Slovenia. The current morphological profile has been largely influenced by the reclamation activities conducted at the beginning of the 1900s. Delimited by the Tagliamento River Delta to the West, and by the Isonzo River one to the East, the lagoon area in question extends for about 32 km in length, for a total surface area of about 160 km<sup>2</sup>. Thanks to these dimensions, it is the second largest lagoon in Italy and one of the largest among the Mediterranean lagoons in Europe. The salt wedge penetrates to 4-5 km from the mouth the watercourses that go into the lagoon. Salinity has a positive gradient in the west-east direction as well as a positive gradient from the northern “eaves” area, characterized by the contributions of the tributary rivers in the lagoon, to the lagoon mouths where more purely marine water masses are evident. The “ordinary” salinity conditions have been heavily affected by the prolonged drought of 2022, which led to the impossibility of using the water from the reclamation canals for irrigation purposes for many km inland.*

*The situation partially resolved between 2023 and 2024, but this should not divert attention from a problem that risks seriously compromising human activities, not only agricultural, in the entire perilagoon area.*

RODOLFO LAURENTI<sup>1</sup>

*L'intrusione del cuneo salino nel Delta del Po: effetti, soluzioni e progettazioni innovative*

<sup>1</sup> Consorzio di Bonifica Delta del Po (Taglio di Po - RO)

L'intrusione del cuneo salino lungo i rami terminali del Delta del Po e dell'Adige è aumentata in modo considerevole nel tempo passando dai 3-5 km degli anni '50-'60 ai 30 km degli anni 2000 fino a toccare i 40 km nel 2022.

I motivi dell'aggravarsi del fenomeno possono essere ricercati nella subsidenza (naturale e antropica), nei consistenti attingimenti di acqua per usi industriali, civili e irrigui a monte che hanno considerevolmente ridotto le portate di magra, nell'eustatismo marino e nei cambiamenti climatici in atto.

Per dare soluzione al problema negli anni '90 furono realizzate su due rami del Po e sull'Adige tre barriere antisale sperimentali dimensionate su una portata minima rispettivamente pari a 450 m<sup>3</sup>/s e a 80 m<sup>3</sup>/s.

Tuttavia negli anni le portate minime previste in progetto sono state superate in negativo sempre più spesso, rendendo così inefficaci le predette barriere e accentuando le problematiche legate al fenomeno quali: interruzione delle derivazioni irrigue, interruzione degli approvvigionamenti acquedottistici, salinizzazione delle falde, inaridimento delle zone litoranee e micro desertificazioni.

Il costante monitoraggio e studio della risalita del cuneo salino, ha portato il Consorzio a mettere in atto varie soluzioni per contrastarne gli effetti: progettazione di impianti per il riutilizzo dell'acqua di bonifica a fini irrigui, efficientamento della rete di distribuzione irrigua, realizzazione di invasi e bacini di accumulo di acqua dolce in condizioni di carenza idrica e progettazione di due nuove barriere antisale, sui fiumi Adige e Po che rappresentano le grandi sfide per il futuro prossimo per il territorio del Delta del Po.

*The intrusion of the salt wedge along the terminal branches of the Po Delta and Adige river has increased considerably over time, going from 3-5 km in the 50s and 60s to 30 km in the 2000s, reaching 40 km in 2022. The reasons for the worsening of the phenomenon can be found in land subsidence (both natural and anthropic), in the significant water withdrawals for industrial, civil and irrigation uses upstream which have considerably reduced the low flow rates, in marine eustaticism and climate change.*

*To solve the problem, in the 1990s, three experimental anti-salt barriers were built on two branches of the Po river and on the Adige river, with a minimum flow rate of 450 m<sup>3</sup>/s and 80 m<sup>3</sup>/s respectively. However, over the years, the minimum flow rates envisaged in the project have been increasingly frequently exceeded, thus making the anti-salt barriers built to counteract the ingress of the salt wedge ineffective and accentuating the problems associated with the phenomenon such as: interruption of irrigation diversions, interruption of aqueduct supplies, salinization of groundwater, drying up of coastal areas and micro-desertification. The constant monitoring and study of the rise of the salt wedge, has led the Consortium to implement various solutions to counteract its effects, such as projects for the reuse of reclaimed water for irrigation purposes, the efficiency of the irrigation*

*distribution network, the construction of reservoirs and accumulation basins of fresh water in conditions of water shortage and, to date, two projects of new anti-salt barriers, on the Adige and the Po River, which represent the great challenges for the near future for the Po Delta area. Achieving the goals set out by EUTR No. 995/2010 just regarding to one product, namely the wooden due diligence, has already been proven to be complex. Let alone seven.*

PAOLO TAROLLI<sup>1</sup>

*Agricoltura Costiera – monitoraggio e strategie di mitigazione della risalita del cuneo salino*

<sup>1</sup> Consorzio di Bonifica Delta del Po (Taglio di Po - RO)

L'intrusione del cuneo salino è il principale fattore responsabile della salinizzazione dei suoli in molte aree costiere, a livello nazionale e in tutto il bacino del Mediterraneo. È necessario monitorare i fenomeni di risalita del cuneo salino non solo direttamente nei corpi idrici, ma anche all'interno dei suoli coltivati, per comprendere meglio l'evoluzione dei processi di salinizzazione, modalità di accumulo e le oscillazioni stagionali, nell'ottica di valutare l'impatto sulle colture. In tal senso, se a scala regionale possono essere molto d'aiuto le tecniche di remote sensing con l'interpretazione di dati satellitari che danno un'indicazione della vigoria della vegetazione, evidenziando le aree più critiche dove il fenomeno impatta maggiormente, a scala locale è fondamentale validare e arricchire queste osservazioni con dati effettivi di salinità all'interno dei suoli, impiegando tecniche e strumenti in grado di restituire informazioni di dettaglio per meglio comprendere il processo. Nel contesto del Delta del Po, il dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali (TESAF) dell'Università degli Studi di Padova ha avviato un progetto di ricerca finanziato dai fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza Agritech e da un progetto Horizon in collaborazione con il Consorzio di Bonifica Delta del Po. Il progetto vede l'impiego di dati satellitari e sensori a terra in un'ottica di monitoraggio a lungo termine per lo studio dell'impatto della salinità sui suoli e sull'agricoltura con il fine di redigere delle linee guida per un'ottimale gestione del territorio del Delta. I risultati hanno dimostrato che la vigoria vegetale (stimata con indice NDVI) nelle aree prossime ai tratti fluviali è statisticamente inferiore rispetto alle aree lontane, meno affette dalla salinità dell'acqua, individuando in questo modo una relazione distanza dal mare (e dalle sponde dei canali) e severità del fenomeno che potrà essere impiegata in un'ottica di preallerta.



*Saltwater intrusion is the main factor responsible for soil salinization in many coastal areas, at the national level and throughout the Mediterranean basin. It is necessary to monitor such rising phenomenon not only directly in water bodies, but also within cultivated soils, to better understand the evolution of salinization processes, accumulation modes and seasonal oscillations, with a view to assessing the impact on crops. In this sense, if at a regional scale remote sensing techniques can be very helpful with the interpretation of satellite data that give an indication on vegetation health, highlighting the most critical areas where the phenomenon has the greatest impact, at the local scale it is essential to validate and enrich these observations with actual soil salinity data, using techniques and tools capable of providing detailed information to better understand the process. In the context of the Po Delta, the Department of Land Agriculture and Forestry (TESAF) of the University of Padua has launched a research project funded by the Agritech Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza and a Horizon project in collaboration with the Po Delta Land Reclamation Consortium. The project involves the use of satellite data and ground sensors for long-term monitoring to study the impact of salinity on soil and agriculture, with the aim of developing guidelines for the optimal management of the Delta territory. The results have shown that plant vigor (estimated with the NDVI index) in areas close to the river stretches is statistically lower than in distant areas, less affected by water salinity, thus identifying a relationship between distance from the sea (and from the banks of the canals) and severity of the phenomenon that can be used in an early warning perspective.*