

CUNEO SALINO E SICCIÀ NELL'ACQUIFERO FERRARESE

IL MONITORAGGIO DELL'INGRESSIONE DEL CUNEO SALINO, SVOLTO DA ARPAE A PARTIRE DAL 2018 NELL'ACQUIFERO FREATICO COSTIERO DEL FERRARESE ATTRAVERSO MISURE STAGIONALI DEI LIVELLI DI FALDA, HA EVIDENZIATO CHE DURANTE LA SICCIÀ DEL 2022 IL FENOMENO HA INTERESSATO MAGGIORMENTE L'AREA PIÙ PROSSIMA AL DELTA DEL PO.

Uno dei principali aspetti che caratterizza gli acquiferi freatici costieri e i relativi ecosistemi acquatici e terrestri associati è l'equilibrio tra le acque dolci e quelle marine, dove queste ultime assumono con la profondità una geometria a forma di cuneo, che si approfondisce procedendo verso terra. La formazione del cuneo salino è pertanto un fenomeno naturale, dovuto alla diversa densità dell'acqua dolce continentale, più leggera, che sovrasta l'acqua salata marina, più pesante per il contenuto di sali disciolti. Si tratta dello stesso fenomeno che si osserva nei corsi d'acqua con sbocco sul mare e in generale nei corpi idrici superficiali di transizione. La profondità e l'inclinazione dell'interfaccia acqua dolce-salata all'interno dell'acquifero sono governati principalmente da fattori naturali, come ad esempio il regime delle precipitazioni e la ricarica degli acquiferi, che governano il livello delle falde rispetto al livello del mare e che tendono a impedire l'ingressione del cuneo salino, al contrario quando i livelli di falda sono bassi, non riescono a contrastare l'ingressione del cuneo salino verso terra. Anche alcuni fattori antropici possono influire sulle dinamiche di ingressione del cuneo salino, ad esempio i prelievi di acque negli acquiferi superficiali in grado di ridurre significativamente il livello delle falde, oppure attività di impermeabilizzazione del suolo che riducono la capacità di ricarica naturale degli acquiferi (Werner et al, 2013).

Per tale ragione, la valutazione dei potenziali effetti di ingressione del cuneo salino in falda determinato da cause antropiche è espressamente prevista dalla direttiva Acque (2000/60/CE) e dalla direttiva Acque sotterranee (2006/118/CE) nell'ambito della valutazione dello stato dei corpi idrici sotterranei. In Emilia-Romagna questo fenomeno è presente nel corpo idrico freatico di pianura costiero, che si sviluppa dal delta del Po per l'intera fascia



FOTO: ARCHIVIO FOTOGRAFICO REGIONE ER

costiera fino a Cattolica (Arpae, 2021; figura 1). Nella zona costiera ferrarese il corpo idrico sotterraneo ha la massima estensione terra-mare in corrispondenza delle valli di Comacchio, dove raggiunge 18 km circa dalla costa, e si assottiglia poco a sud di Ravenna fino al confine regionale, mantenendosi entro una fascia di ampiezza di 1 km circa. È costituito da sedimenti sabbiosi aventi spessori variabili che possono raggiungere anche i 20-25 m e che mediamente si attestano sui 10-15 m circa.

Monitoraggio del cuneo salino in falda

Il monitoraggio del cuneo salino in falda è stato avviato in modo strutturato da Arpae a partire dall'anno 2018, come integrazione del monitoraggio regionale delle acque sotterranee, al fine di quantificare la variabilità naturale dell'ingressione del cuneo salino in relazione alle condizioni climatiche e alla presenza di fattori antropici. I principali obiettivi del monitoraggio sono:

- caratterizzare le variazioni stagionali della profondità dell'interfaccia acqua dolce e acqua salata anche in relazione alle condizioni climatiche e ai prelievi che insistono nell'acquifero freatico, al fine di discriminare condizioni naturali

da situazioni potenzialmente alterate da impatti antropici

- caratterizzare nel medio-lungo periodo le variazioni di profondità dell'interfaccia acqua dolce e acqua salata evidenziando l'instaurarsi di tendenze statisticamente significative di riduzione della profondità dell'interfaccia stessa.

Il monitoraggio del cuneo salino viene svolto attraverso misure stagionali dei livelli di falda, del profilo della conducibilità elettrica e della temperatura dell'acqua alle diverse profondità della falda costiera e si affianca al monitoraggio quantitativo e chimico dei corpi idrici sotterranei che avviene su un numero più consistente di stazioni di monitoraggio, tramite misure e campionamenti semestrali di acque sotterranee e determinazione analitica di contaminanti. La misura della conducibilità elettrica dell'acqua – riferita a 25 °C ed espressa in mS/cm – e della temperatura viene rilevata generalmente ogni 0,50 m di profondità e anche alle profondità dove si osservano variazioni repentine dei valori di conducibilità.

Il monitoraggio del cuneo salino lungo la costa ferrarese viene svolto in 6 stazioni di monitoraggio, che sono state individuate tra quelle più significative, utilizzate nelle precedenti attività di caratterizzazione svolte dalla Regione Emilia-Romagna (v. articolo di Severi et al. a p. 22), che permettono

di ricostruire l'andamento nel tempo del cuneo salino in falda in 3 transetti perpendicolari alla linea di costa (figura 1):

- transetto A, Bosco della Mesola
- transetto B, Spiaggia Romea
- transetto C, S. Giuseppe-Comacchio.

I principali risultati ottenuti

I dati di monitoraggio del cuneo salino in falda possono essere rappresentati in diversi modi, in genere si riporta l'andamento della conducibilità elettrica con la profondità nei diversi periodi di monitoraggio, attraverso il quale è possibile confrontare la profondità alla quale si trova l'interfaccia acqua dolce-salata. In figura 2 si riporta un esempio della stazione di Bosco Mesola nella quale si può osservare il repentino incremento della conducibilità elettrica nel tratto di profondità da 7 a 9 m circa nei diversi periodi di monitoraggio, oltre questa profondità la conducibilità è tipica delle acque marine. Nel corso del 2022 e 2023 si osserva inoltre un incremento della conducibilità anche nella parte più superficiale della falda. Per verificare l'evoluzione nel tempo dell'interfaccia acqua dolce-salata, è preferibile rappresentare per ogni stazione la variazione nel tempo della profondità dell'interfaccia stessa in modo da caratterizzare l'ingressione stagionale del cuneo salino e valutare nel medio-lungo periodo se è presente una tendenza significativa all'ingressione del cuneo oppure se si tratta di un fenomeno ciclico stazionario.

Il monitoraggio svolto nelle stazioni del transetto A (Bosco della Mesola) evidenzia un'omogeneizzazione dei valori di conducibilità dalla superficie della falda fino a profondità variabili nel tempo da 7 a 11 metri con valori tendenzialmente crescenti di conducibilità elettrica dal 2018 al 2023 fino a raggiungere i

16 mS/cm (figura 3a). Nell'estate 2022 l'interfaccia acqua dolce-salmastra con l'acqua salata è stata individuata a 7,5 m di profondità vicino la costa (FE-F28-00), dove si assiste a una brusca variazione dei valori di conducibilità,

mentre nella stazione più interna rispetto alla costa (FE-F29-00) questa profondità si è ridotta a 4 m, in concomitanza con la registrazione del minimo storico del livello di falda. L'intrusione salina registrata in quest'area è derivante da

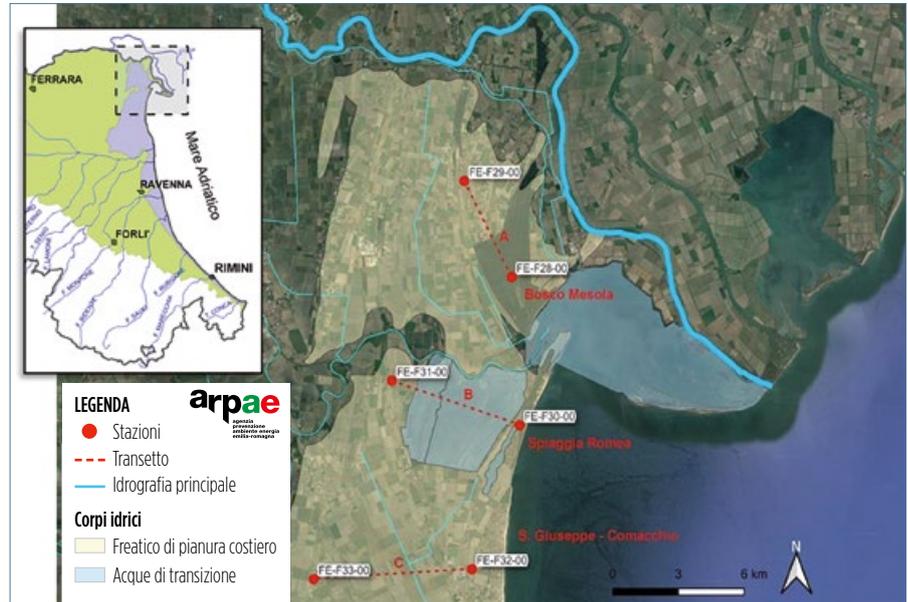


FIG. 1 MONITORAGGIO CUNEO SALINO
Corpo idrico freatico costiero lungo la costa ferrarese e i 6 punti del monitoraggio del cuneo salino in falda.

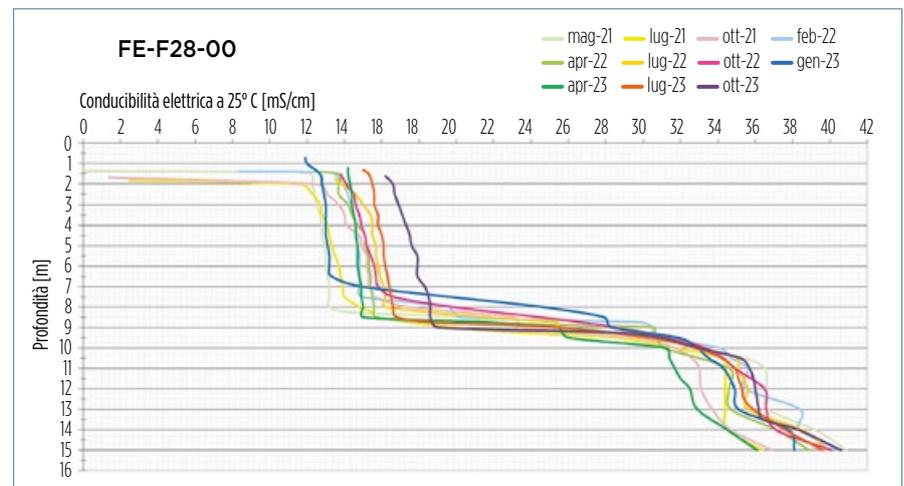


FIG. 2 STAZIONE DI BOSCO MESOLA
Esempio di variazione della conducibilità elettrica in falda con la profondità nel periodo 2021-2023 (Stazione FE-F28-00).

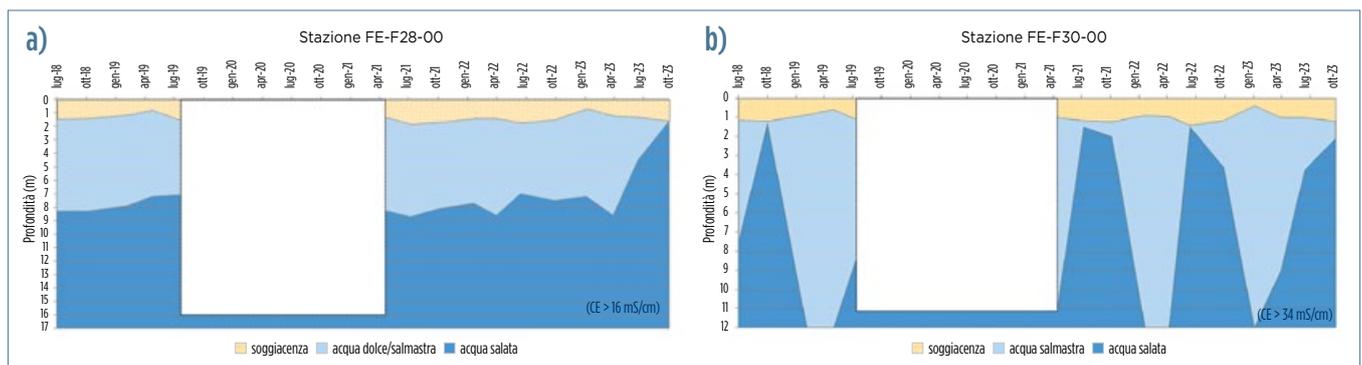


FIG. 3 TRANSETTI A E B
Andamento nel tempo della profondità della falda e dell'interfaccia acqua dolce, salmastra e salata nella stazione lato mare del transetto A a sinistra e del transetto B a destra (2018-2023).

una serie di fattori, tra cui l'avanzamento del cuneo salino riscontrato nel 2022 nelle acque del fiume Po che ricarica l'acquifero lateralmente, il minore apporto di acqua dolce dovuto alle scarse precipitazioni nel 2022 e lo sfruttamento locale della falda a scopi irrigui o per attività antropiche.

Nel 2023 il fenomeno di salinizzazione è rientrato per la stazione più interna, mentre ciò non è avvenuto per la stazione prossima alla costa, dove si registra un trend statisticamente significativo dell'interfaccia acqua salmastra e salata (16 mS/cm) in incremento di 0,44 m/anno dal 2018 al 2023 (0,21 m/anno escludendo il 2023).

Nel transetto B (Spiaggia Romea)

l'intrusione del cuneo salino proveniente dal mare è fortemente condizionato dalla presenza delle valli, e in parte dal regime dei canali di irrigazione (figura 3b). In corrispondenza della stazione interna rispetto alla costa (FE-F31-00) l'interfaccia acqua dolce e acqua salmastra è stata individuata a circa 8 m di profondità, dove si ha una brusca variazione di conducibilità elettrica rispetto ai 2,5 mS/cm, dopo la quale si osserva l'interferenza delle acque marine. In questo punto di monitoraggio i livelli di conducibilità elettrica sono influenzati dalle acque di transizione di valle Cantone e valle Nuova e dalle acque superficiali provenienti dal bacino del fiume Po di Volano che alimentano la falda, diluendo e attenuando i valori di conducibilità elettrica e contribuendo a rendere omogeneo il valore di tale parametro per i periodi estivi, così come avvenuto durante il periodo di siccità del 2022. In corrispondenza della stazione lungo costa (FE-F30-00), in cui risulta assente la colonna di acqua dolce, si assiste a un'omogeneizzazione ciclica dei valori di conducibilità elettrica pari a 34 mS/cm, valore in questo punto interpretato come l'interfaccia acqua salmastra-salata che, nel luglio 2022, ha raggiunto il minimo storico di profondità di 1,5 m da piano campagna. Si osserva pertanto che il volume di acqua salmastra qui disponibile viene fortemente ridotto durante l'estate, sia a causa dell'ingressione del cuneo salino proveniente da mare sia a causa di un probabile aumento, nei mesi estivi, dell'evaporazione delle acque di transizione del lago delle Nazioni, valle Cantone e valle Nuova che conseguentemente risultano più salate e concorrono, seppure in misura minore, all'aumento dei valori di conducibilità elettrica nel punto monitorato.

Nel transetto C (San Giuseppe – Comacchio) l'interfaccia acqua dolce/salmastra e acqua salata si colloca dove la conducibilità elettrica varia bruscamente rispetto i 2,5 mS/cm per entrambi i punti di monitoraggio, e ciò avviene a circa 6,5 m di profondità nel punto più distante dalla costa e tra la superficie della falda e i 7 m da piano campagna nel punto lungo la costa (figura 4). Tuttavia, per queste stazioni di monitoraggio, in particolare per la stazione prossima all'abitato di San Giuseppe (FE-F32-00), risulta difficile rilevare l'intrusione del cuneo salino nei mesi estivi, in quanto il carico idraulico dei canali di irrigazione vicini ne contrasta l'ingressione.

Le prospettive

Il monitoraggio del cuneo salino in falda, svolto a partire dal 2018 nell'acquifero freatico costiero ferrarese, risponde alle richieste delle direttive 2000/60/CE e 2006/118/CE in merito alla salinizzazione degli acquiferi e in particolare è funzionale a valutare la variabilità naturale dell'ingressione del cuneo salino marino in relazione alle condizioni climatiche. L'ingressione del cuneo salino marino interessa maggiormente l'area del Bosco della Mesola (transetto A), dove un aumento della conducibilità è determinato

periodicamente sia dal deflusso sotterraneo delle acque di ricarica provenienti dal fiume Po, esso stesso già interessato dalla risalita del cuneo salino marino, sia dall'ingressione del cuneo salino in falda proveniente direttamente dal mare. Nella stazione lato mare si osserva una tendenza persistente di medio periodo all'ingressione del cuneo salino in falda.

Situazione diversa si osserva più a sud, nella spiaggia Romea (transetto B), dove l'intrusione del cuneo salino proveniente dal mare è condizionato dalla presenza delle valli di Cantone-Nuova e del lago delle Nazioni, mentre in località San Giuseppe-Comacchio (transetto C) si riscontrano gli effetti legati alla presenza di acqua dolce all'interno dei canali di irrigazione, che contrasta efficacemente l'aumento della salinità nelle acque della falda superficiale.

Queste prime evidenze dell'ingressione del cuneo salino marino nella prima falda freatica costiera del ferrarese evidenziano che il fenomeno in generale è stagionale e non persistente nel tempo. Solo in una limitata zona del Bosco della Mesola il fenomeno è caratterizzato da una ingressione significativa e persistente del cuneo salino marino negli ultimi anni.

Marco Marcaccio, Manuela Mengoni

Arpae Emilia-Romagna

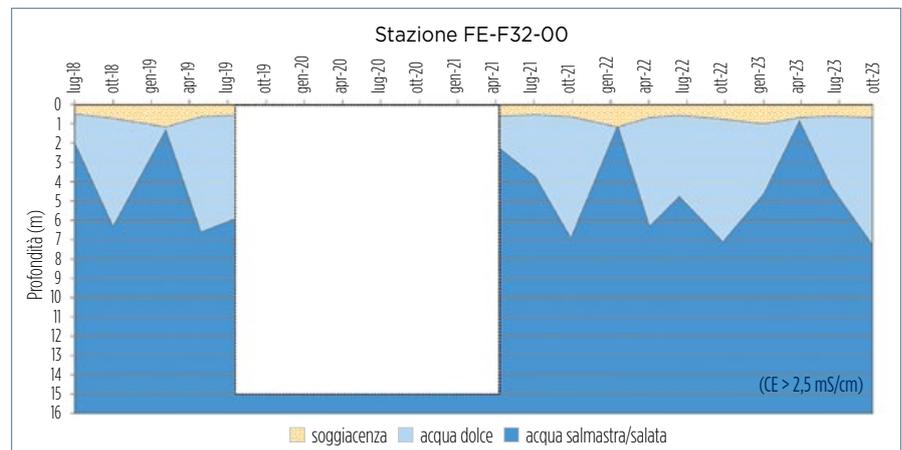


FIG. 4 TRANSETTO C

Andamento nel tempo della profondità della falda (soggiacenza) e dell'interfaccia acqua dolce/salmastra e salata nella stazione lato mare del transetto C (2018-2023).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Arpae Emilia-Romagna, 2021. "Valutazione dello stato delle acque sotterranee 2014-2019", a cura di M. Marcaccio e D. Lucchini, Bologna, 114 pp., <https://bit.ly/arpae-acque-sott-2014-2019>

Werner A.D., Bakker M., Post V.E., Vandenbohede A., Lu C., Ataie-Ashtiani B., Craig T.S., Barry D.A., 2013, "Seawater intrusion processes, investigation and management: recent advances and future challenges", *Adv Water Resour*, 51: 3-26.