Biologia Ambientale, **39**: ca 6-9 (2025)
doi.org//10.30463/ca251.002

BERE IL MARE

L'acqua copre più dei due terzi del pianeta, ma quella dolce facilmente accessibile rappresenta meno dell'1 % delle risorse idriche totali.

Con la sua capacità di fornire alla popolazione mondiale in crescita una nuova fonte d'acqua destinata al consumo umano, agricolo e industriale, la dissalazione dell'acqua del mare è diventata un elemento fondamentale delle strategie di gestione delle risorse idriche. I miglioramenti tecnologici hanno notevolmente ridotto il costo di produzione mentre si stanno attivando soluzioni per ridurre il consumo di energia dei processi, ponendo nel contempo grande attenzione agli impatti ambientali della produzione (idrawater).

La distribuzione geografica

Il primo impianto di dissalazione è stato aperto nel 1965 in California e da allora il progresso è stato esponenziale: si stima che attualmente vengano riciclati (cioè trasformati e utilizzati) più di 200 milioni di metri cubi di acqua al giorno grazie a più di 20.000 impianti di dissalazione attivi nel mondo.

I principali utilizzatori di acqua dissalata sono i Paesi mediorientali come Arabia Saudita, Kuwait, Emirati Arabi Uniti, Qatar e Bahrein, che rappresentano il 70 % della capacità totale globale. Anche gli Stati Uniti – in particolare California e Florida – fanno ampio uso di questa tecnologia.

La maggior parte degli impianti di dissalazione si trova nel Golfo Persico, ove l'abbondanza di combustibili fossili consente la diffusione di sistemi energivori: per questo è stata coniata l'espressione "acqua dei ricchi" perché solo i Paesi economicamente più solidi potevano inizialmente permettersi gli investimenti richiesti per gli impianti di dissalazione.

In Europa sono presenti circa 2.400 impianti ma solamente l'8 % di essi rappresenta impianti di grandi dimensioni, che però realizzano il 69 % del volume totale di acqua desalinizzata prodotta nel continente. La Spagna è il principale produttore europeo (68 % della produzione) cui seguono Italia (9 %), Cipro (8 %), Malta (5 %) e Grecia (3 %). Esistono poi strutture minori nei paesi del Nord Europa, la cui produzione serve soprattutto applicazioni industriali.

Nel bacino del Mediterraneo utilizzano la dissalazione dell'acqua su ampia scala anche i Paesi nordafricani come la Libia e l'Algeria (modofluido, geopop).

I primi dissalatori italiani – alcuni dei quali attualmente dismessi – risalgono agli anni '90 dello scorso secolo. Al 2024 in Italia erano attivi 340 dissalatori, la maggior parte dei quali di dimensioni ridotte o medie, per una produzione di acqua dissalata pari allo 0,1 % dell'acqua dolce prelevata.

Il più grande impianto di dissalazione presente in Italia si trova a Sarroch (Cagliari) e produce l'acqua demineralizzata che alimenta le turbine energetiche dell'impianto Sarlux, uno dei principali operatori europei nella raffinazione del petrolio (moveo).

In Sicilia si annoverano gli impianti di Ustica, quelli di Pantelleria, Lampedusa e Linosa e quello di Vulcano; essi risolvono il problema della mancanza d'acqua sulle isole minori – che d'estate si affollano di turisti – e consentono di non utilizzare il costoso trasporto di acqua potabile con le navi cisterna (modofluido).

In Toscana gli impianti di Giannutri, Capraia e Giglio forniscono acqua agli abitanti mentre è ancora in fase di realizzazione quello dell'Isola d'Elba, che garantirà l'autonomia idrica dell'isola e ridurrà la dipendenza dalla condotta sottomarina che attualmente trasporta acqua dal continente (elbapress).

Entrerà in funzione entro il 2026 il dissalatore di Taranto, che sarà il più grande d'Italia producendo quotidianamente l'equivalente del fabbisogno idrico di 385.000 persone, cioè di un quarto della popolazione dell'area del Salento (ilsole24ore).

Le tecniche di dissalazione

La dissalazione è il processo di rimozione della frazione salina da acque marine o salmastre per ottenere acqua a basso contenuto salino.

Esistono diverse tecniche di dissalazione, che si avvalgono di tipologie di impianto differenti.

La dissalazione evaporativa viene ottenuta mediante evaporazione dell'acqua, recuperata poi per condensazione. Gli impianti operano a temperature relativamente elevate e devono essere costruiti con materiali che resistano alla corrosione dovuta al cloruro di sodio.

Questi impianti presentano un consumo energetico elevato, sostenuto spesso da combustibili fossili; un'opzione per migliorarne l'efficienza energetica è rappresen-

tata dall'integrazione di fonti di energia rinnovabili.

La dissalazione per permeazione viene ottenuta mediante separazione su membrane semipermeabili. L'osmosi inversa è attualmente la più utilizzata e viene impiegata per produzioni di acqua di qualità comparabile alla potabile (Fig. 1). Il processo trova l'applicazione ideale per la dissalazione delle acque salmastre ed è caratterizzato da un consumo energetico molto inferiore rispetto a quello richiesto dai processi evaporativi. L'acqua non dissalata che residua dal processo di osmosi inversa è chiamata "salamoia" e rappresenta uno dei principali problemi di questa tecnica in quanto non dovrebbe essere scaricata in mare perché disturba localmente la biodiversità marina. L'altro grande problema è il costo delle membrane utilizzate, che non solo sono costose all'origine ma che inoltre si deteriorano nel tempo a causa delle pressioni elevate da utilizzare nel processo (pressioni che dipendono dalla salinità dell'acqua).

Altre tecniche si avvalgono di processi per congelamento, di processi per elettrodialisi e di processi a scambio ionico.

Qualunque sia la tecnica di dissalazione utilizzata, se l'uso finale è quello civile l'impianto richiede infrastrutture accessorie quali l'impianto di potabilizzazione, i serbatoi di stoccaggio e l'impianto di pompaggio nella rete di distribuzione.

Poiché l'acqua per uso alimentare deve contenere macro- e microelementi, indispensabili per i processi metabolici dell'organismo umano, l'acqua prodotta per questo uso deve essere corretta per ottenere il giusto bilanciamento degli elementi. Il permeato di un impianto a osmosi inversa contiene infatti 200-400 ppm di sali mentre l'acqua prodotta da un impianto evaporativo contiene solo alcuni ppm di sali (wikipedia, Treccani).

La resa di dissalazione viene calcolata confrontando la quantità di acqua dolce prodotta con la quantità di acqua di mare trattata e il risultato dipende dalla tecnologia utilizzata e dalle condizioni operative: nell'osmosi inversa, ad esempio si aggira intorno al 40-60%[1].

Il costo dell'acqua desalinizzata si aggira intorno a 2-3 euro al metro cubo (QNeconomia).

Il problema della salamoia

La salamoia è un concentrato ipersalino, sottoprodotto della dissalazione dell'acqua di mare. Per ogni litro di acqua dolce ottenuta si generano circa 1,5 litri di salamoia ma questo rapporto varia in base alla salinità dell'acqua di alimentazione dell'impianto e alla tecnologia utilizzata. Oltre a elevate quantità di sali, la salamoia può contenere tracce di altre sostanze: appare quindi evidente la necessità di migliorare la gestione di questo sottoprodotto e convertire un problema ambientale in un'opportunità economica (regionieambiente).

La salamoia ovviamente contiene elevate quantità di Cl^- e di Na^+ ma – in misura minore – anche di altri ioni come Ca^{2+}, Mg^{2+} e $SO4^{2-}$; molti studi segnalano inoltre la presenza in tracce di rame, ferro, nickel, cromo e molibdeno nonché di biocidi, tensioattivi, additivi anticalcare e residui solidi derivati dal lavaggio dei filtri.

Più del 90% degli impianti di dissalazione elimina la salamoia nelle acque aperte; lo scarico può essere superficiale e quindi ne consegue l'aumento graduale della salinità dell'acqua di mare circostante, oppure può essere sommerso a distanza dalla costa e in profondità con diffusori orientati perpendicolarmente al verso della corrente in modo da garantire un'adeguata diluizione: profondità di scarico e diluizione dovrebbero minimizzare l'impatto sull'ecosistema marino.

(1) Microsoft Copilot (2025). Risultati generati tramite assistente AI alla domanda "Quale è la resa di dissalazione con osmosi inversa?"

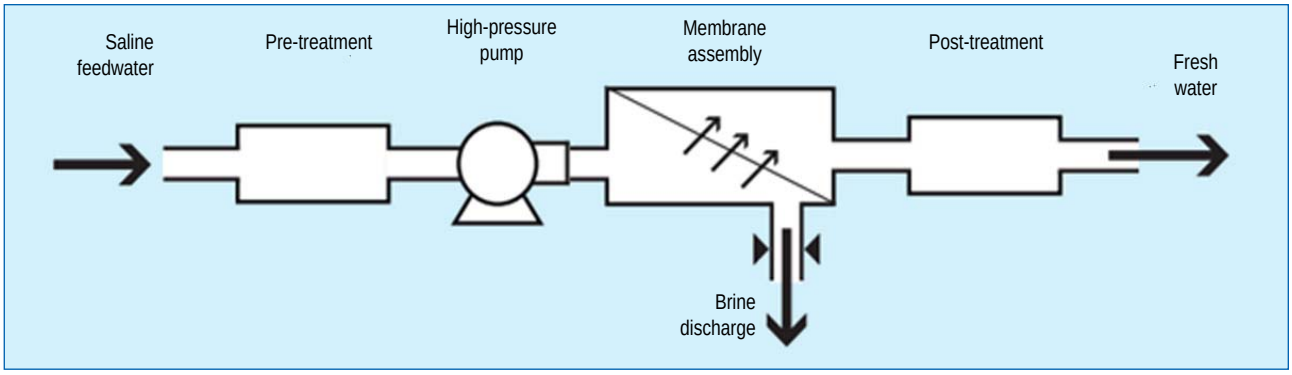

Fig. 1. Osmosi inversa nella configurazione più semplice. Da: Desalination at a glance, International Desalination Association, 2011.

I due principali aspetti che regolano la vulnerabilità degli organismi marini ai cambiamenti di salinità sono la pressione osmotica e la mobilità. Gli organismi marini mobili possono allontanarsi dalla massa d'acqua con salinità inidonea; quelli dotati di meccanismi osmoregolatori (come buona parte dei pesci) possono espellere il sale in eccesso dall'interno delle cellule. Gli organismi sessili come i coralli e i vegetali, invece, non hanno queste possibilità e quindi sono molto più suscettibili all'aumento di salinità; l'aumento della salinità inoltre riduce proporzionalmente la solubilità dell'ossigeno nell'acqua, fino al suo esaurimento nei casi estremi.

In assenza di corretta diluizione la salamoia discende sul fondo a causa della maggiore densità e forma un sistema stratificato che può raggiungere centinaia di metri, compromettendo la sopravvivenza degli organismi bentonici.

La tolleranza a elevati tenori di salinità è specie-specifica: policheti e granchi sono i più tolleranti (possono sopravvivere per un lungo periodo a salinità di 60 g di sale per kg di soluzione), gasteropodi e bivalvi hanno tolleranza intermedia mentre gamberi, copepodi e anfipodi sono i meno tolleranti.

Per quanto concerne i vegetali, *Posidonia oceanica* è sensibile all'aumento di salinità e ne viene particolarmente colpita, così come le macroalghe (Omerspahic M. *et al.*, 2022).

Recuperare materia dalla salamoia

In linea di massima, le principali strategie per ovviare agli effetti dello scarico diretto in mare della salamoia sono tre: smaltimento alternativo, concentrazione della salamoia e tecniche di recupero (che possono essere applicate indipendentemente o in sequenza).

Lo smaltimento alternativo della salamoia – come l'iniezione in pozzo o lo scarico sul terreno – mitiga l'impatto diretto sugli organismi acquatici ma crea altri problemi ambientali nei nuovi siti di scarico, come la contaminazione della falda freatica in caso di danni al sistema di contenimento o il deflusso negli ecosistemi locali. Questo approccio, inoltre, considera la salamoia un rifiuto da eliminare invece di considerarla una miniera minerale da cui si possono recuperare risorse di valore.

La concentrazione della salamoia, realizzata attraverso procedimenti fisici o meccanici, consiste nel ridurre il volume da scaricare aumentandone nel contempo la salinità. Questa tecnica è solitamente accoppiata con il recupero di materia in quanto la riduzione di volume aumenta il rendimento dei processi successivi: il concentrato può essere utilizzato in altre industrie come nel settore tessile, nel processo Solvay o nel processo cloro-soda. Quest'ultimo consente – attraverso l'elettrolisi – di produrre cloro gassoso, idrossido di sodio e idrogeno partendo da cloruro di sodio in soluzione; il processo industriale presenta però bassa tolleranza alla presenza di magnesio e calcio, fatto che rappresenta la sfida maggiore nell'utilizzo della salamoia proveniente dai dissalatori come materia prima (Wei Han Tu *et al.*, 2024).

Alcuni ricercatori del MIT (Massachusetts Institute of Technology) hanno proposto di produrre idrossido di sodio e acido cloridrico dalla salamoia. Entrambi i prodotti sono ampiamente utilizzati negli impianti di dissalazione, il primo per pretrattare l'acqua di mare da dissalare e il secondo per pulire numerose parti dell'impianto. La proposta consiste in un processo di elettrosintesi diretta in cui la reazione di scissione dell'acqua viene utilizzata per produrre H^+ e OH^-, che si combinano con il flusso di salamoia per produrre NaOH e HCl. L'aspetto più interessante di questa proposta è la possibilità di installare l'impianto di produzione dei "derivati" della salamoia là dove essi verranno utilizzati, consentendo risparmi in termini di energia e di trasporto (Kumar A. *et al.*, 2019; MIT).

I ricercatori ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile) sono invece impegnati sul fronte del recupero del magnesio: nelle salamoie provenienti dai dissalatori la concentrazione di questo metallo è infatti elevata. Il magnesio è ampiamente impiegato a livello industriale (rilevante è l'applicazione come materia prima per le batterie, anche come possibile alternativa al litio) ma è anche un materiale il cui approvvigionamento è ritenuto critico dalla Commissione Europea (Fontana D. *et al.*, 2022).

Un gruppo di ricerca turco ha invece proposto uno studio finalizzato a valutare il potenziale commerciale della produzione di β-carotene sostenuta da microalghe cresciute nella salamoia generata dal processo di osmosi inversa. L'organismo utilizzato è *Dunaliella salina*, una specie alofila estrema che può produrre β-carotene per più del 14% del suo peso secco, e questa produzione aumenta all'aumentare della salinità. Il riutilizzo della salamoia per la produzione algale di β-carotene è un buon esempio di bioeconomia circolare (Yildirim O. *et al.*, 2022).

La coltivazione di microalghe su salamoia è una tendenza diffusa in molti Paesi perché offre numerosi benefici. Secondo una review del 2023, le specie che possono essere coltivate nella salamoia da dissalazione sono cinque:

Chlorella vulgaris, *Scenedesmus quadricauda*, *S. platensis*, *Nannochloropsis oculata* e *Dunaliella tertiolecta*. Esse possono tollerare salinità che vanno da 6000 fino a 80000 mg/L. Gli usi delle microalghe così prodotte sono numerosi: nell'industria cosmetica e farmaceutica, come biofertilizzante in agricoltura, come biomassa per produrre biocarburante, come mangime per gli animali (Al Bazedi G. *et al.*, 2023).

Conclusioni

Una delle soluzioni per risolvere il problema della scarsità di acqua dolce è la dissalazione dell'acqua salmastra e salata, ma il processo presenta dei risvolti economici e ambientali rilevanti.

Sebbene le tecnologie di dissalazione si siano molto evolute nel corso degli anni, soprattutto grazie all'altissima domanda proveniente dai Paesi mediorientali e africani, solo i Paesi con le disponibilità economiche sufficienti possono permettersi di utilizzare queste tecnologie.

Al Kaluf desalination plant in Oman. Photo Credit: Starsend at English Wikipedia.

Oltre al consumo energetico, il problema ambientale principale è rappresentato dal residuo di produzione – la salamoia – che contiene forti concentrazioni di sali. Anche su questo fronte ci sono miglioramenti: in un'ottica di economia circolare, infatti, la salamoia oggi è vista come una risorsa e non più come uno scarto.

Informazioni sull'Autrice

Socio fondatore ed ex Presidente CISBA, dirigente biologo in quiescenza di ARPA Lombardia.
e-mail: ross.azzoni@yahoo.com