

Linee guida per la dissalazione a scopi irrigui
Sintesi

Desalination in irrigation guidelines
Brief abstract

c.l.i.m.a.

cambiamento - lungimiranza - impatto - mentalità - ambiente



Alta Scuola

La dissalazione

La maggiore incidenza di siccità e problemi di scarsità idrica legati ai cambiamenti climatici, nonché l'avvicinarsi del termine del ciclo di vita di importanti infrastrutture di approvvigionamento, ha portato a un crescente interesse verso l'uso di risorse idriche non convenzionali e in particolare di acqua marina o di acqua salmastra (disponibile da pozzi). La dissalazione o desalinizzazione, ovvero il trattamento utile per sfruttare l'acqua ad alto grado di salinità, può rappresentare un importante contributo in caso di limitata disponibilità di risorsa. Tuttavia, la sostenibilità ambientale ed economica della dissalazione non è scontata e richiede un'oculata analisi dei costi e dei benefici, legata sia alla necessità di opportuno smaltimento degli scarti iperconcentrati di sali a valle della dissalazione, nonché ai costi energetici, che possono essere molto elevati.

Nelle sezioni successive si fa un quadro sintetico degli aspetti principali da tenere in considerazione per la realizzazione di un impianto di dissalazione di acque salmastre da destinare all'irrigazione.

Requisiti di qualità dell'acqua per l'irrigazione

L'acqua da utilizzare ai fini irrigui deve rispettare specifici requisiti di qualità. Nel seguito sono elencati i principali parametri qualitativi da tenere in considerazione e i range accettati per l'irrigazione, compatibili con le esigenze delle piante:

- *pH*: valori tra 5 e 8 sono da considerarsi nella norma;
- *Alcalinità*: è determinata dalla presenza di carbonati disciolti. Valori compresi tra 0 e 400 mg/l sono da considerarsi nella norma, tuttavia l'irrigazione frequente con acqua oltre i 140 mg/l può alzare il pH del terreno, danneggiando le coltivazioni;
- *Conducibilità elettrica*: la presenza di sostanze ionizzate o dissociate determina un aumento della conducibilità elettrica proporzionale alla loro concentrazione. Questo parametro, misurato in microsiemens per cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), fornisce informazioni sulla mineralizzazione dell'acqua. Ai fini irrigui, un valore compreso tra 300 e 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ è da considerarsi ideale.
- *Sodium Adsorption Ratio (SAR)*: misura la concentrazione relativa di sodio rispetto a calcio e magnesio. Valori pari o superiori a 9 possono causare danni significativi specialmente in presenza di terreni argillosi. Di norma, un valore SAR inferiore a 3 è considerato ottimale.

La tabella seguente riassume i limiti di accettabilità per la salinità delle acque in ambito irriguo.

Limiti di salinità e corrispondente impiego accettabile per le acque destinate all'irrigazione*

Parametro	Unità di misura	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Conducibilità elettrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<750	750 – 2500	2500 - 4000	>4000
SAR	(-)	<6	6 – 20	20 - 28	>28
Valutazione delle acque e criterio d'impiego		Esercizio irriguo continuo senza limiti	Esercizio irriguo continuo con eventuali limitazioni dei volumi stagionali. Evitare accumulo di sali nel terreno con accorgimenti	Esercizio irriguo saltuario (es. 1 irrigazione ogni 2 - 3 anni) e solo di soccorso	Da non usare ai fini irrigui se non in casi eccezionali

*Giardini L., Borin M., Grigolo U., 1993. La qualità delle acque per l'irrigazione, Speciale L'informatore agrario, 20:29-77

Desalination

The increasing incidence of droughts and water scarcity issues, linked to climate change and ageing of water supply infrastructures, has led to a growing interest in the use of unconventional water resources, particularly seawater or brackish water (available from wells). Desalination, i.e., the process used to exploit high-salinity water, can provide a significant contribution in coping with limited water availability. However, the environmental and economic sustainability of desalination is not guaranteed and requires careful cost-benefit analysis, taking into account the need for proper disposal of hyper-concentrated salt residues from the desalination treatment, as well as the potentially high energy costs involved.

Water quality requirements for irrigation

Water used for irrigation purposes must adhere to specific quality standards. Below, the main qualitative parameters to consider are described, along with the accepted ranges for irrigation:

- *pH*: values between 5 and 8 are acceptable.
- *Alkalinity*: determined by the presence of dissolved carbonates. Values between 0 and 400 mg/l are considered acceptable. However, frequent irrigation with water exceeding 140 mg/l can raise the soil's pH, damaging crops.
- *Electrical Conductivity*: the presence of ionized or dissociated substances increases electrical conductivity proportionally to their concentration. This parameter, measured in micro-Siemens per centimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$), provides information about water mineralization. For irrigation purposes, a value between 300 and 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is considered ideal.
- *Sodium Adsorption Ratio (SAR)*: measures the relative concentration of sodium compared to calcium and magnesium. Values equal to or greater than 9 can cause significant damage to plants, especially in clayey soils. Typically, a SAR value below 3 is considered optimal.

The following summarizes the acceptability limits for water salinity in irrigation.

*Salinity limits and corresponding acceptable use for waters intended for irrigation**

Parameters	Unit of measure	Class I	Class II	Class III	Class IV
Electrical Conductivity	ms/cm	<750	750 - 2500	2,500 – 4,000	>4,000
SAR	(pure number)	<6	6 - 20	20 - 28	>28
Water assessment and criteria	utilization	Continuous irrigation operation without limits	Continuous irrigation operation with possible seasonal volume limitations. Prevent accumulation of salts in the soil with precautions.	Occasional irrigation operation (e.g., 1 irrigation every 2 - 3 years) and only for emergency purposes	Not to be used for irrigation purposes except in exceptional cases

*Giardini L., Borin M., Grigolo U., 1993. *La qualità delle acque per l'irrigazione, Speciale L'informatore agrario*, 20:29-77

Tecnologie di dissalazione

Le due classi principali di tecnologie attualmente utilizzate nella desalinizzazione dell'acqua sono:

- *Processi termici di distillazione* (a cambiamento di fase): includono la distillazione flash multistadio (MSF), la distillazione multi-effetto (MED) e la compressione di vapore (VC), quest'ultimo processo può essere sviluppato meccanicamente (MVC) e termicamente (TVC).
- *Processi a membrana*: includono l'osmosi inversa (RO) e l'elettrodialisi (ED).

Nella tabella seguente sono sintetizzati i costi di produzione per le diverse tecnologie. Tali costi sono da riferirsi a una produzione di acqua desalinizzata pari a 2000 m³/giorno e a una vita nominale dell'impianto pari a circa 20 anni. Inoltre, si precisa che per gli impianti che sfruttano energia termica, la produzione di vapore è considerata come costo operativo.

Costi (%) delle diverse tecnologie di dissalazione per una stessa quantità di acqua trattata (2000 m³/giorno)

Tecnologia	Costo (%)			
	Capitale	Energia	Sostanze chimiche	Altri
MSF	15	37	3	45
MED	18	29	13	40
RO	12	3	34	51
VC	21	7	4	68

I costi di produzione relativi alle diverse tecnologie, per una fissata quantità di acqua prodotta, mostrano come l'osmosi inversa (RO) sia l'opzione preferibile in termini di costi capitali e energetici.

I sistemi MED e MSF, come detto nei paragrafi precedenti, permettono di ottenere una maggiore purezza dell'acqua, con costi energetici elevati; tuttavia, per scopi irrigui questo non è necessario e potrebbe anzi creare in certi casi risposte negative in termini di raccolto. Confrontando infine i sistemi VC e RO, i costi operativi sono maggiori per VC, in quanto il sistema a osmosi inversa utilizza energia elettrica per la pressurizzazione, mentre il sistema VC richiede energia per la movimentazione dell'acqua e per la compressione del vapore: ciò è penalizzante nel consumo complessivo dell'impianto VC.

In conclusione, gli impianti di osmosi inversa si presentano, dunque, come la scelta più adeguata per la sua flessibilità operativa, costi di investimento contenuti e consumi energetici.

Più in dettaglio, l'osmosi inversa è il processo in cui si forza il passaggio delle molecole di acqua dalla soluzione più concentrata a quella meno concentrata, applicando una pressione maggiore della pressione osmotica. Questo processo produce acqua purificata con una concentrazione di circa 500 ppm da un lato della membrana e una soluzione concentrata dall'altro lato. Un impianto RO è composto da quattro parti principali: pretrattamento, pompa ad alta pressione, membrana e post-trattamento. La pressione necessaria varia a seconda del tipo di acqua da trattare, con valori che vanno da 17 a 27 bar per l'acqua salmastra e da 55 a 82 bar per l'acqua di mare. L'osmosi inversa è ampiamente utilizzata nella desalinizzazione, con capacità che variano da 0.1 m³/giorno per applicazioni domestiche a 395.000 m³/giorno per applicazioni commerciali o a larga scala.

Desalination technologies

The two main classes of technologies currently used in water desalination are:

- *Thermal distillation processes*: these include Multi-Stage Flash Distillation (MSF), Multi-Effect Distillation (MED), and Vapor Compression (VC). The vapor compression process can be developed mechanically (MVC) or thermally (TVC).
- *Membrane-based processes*: these include Reverse Osmosis (RO), and Electrodialysis (ED).

The following table summarizes the production costs for different desalination technologies. These costs are related to a permeate productivity of 2000 m³/day and a nominal desalination plant life of about 20 years. Moreover, it should be noted that for desalination plants utilizing thermal energy, steam production is considered as an operational cost.

Costs (%) of different desalination technologies for a given treated water quantity (2000 m³/day)

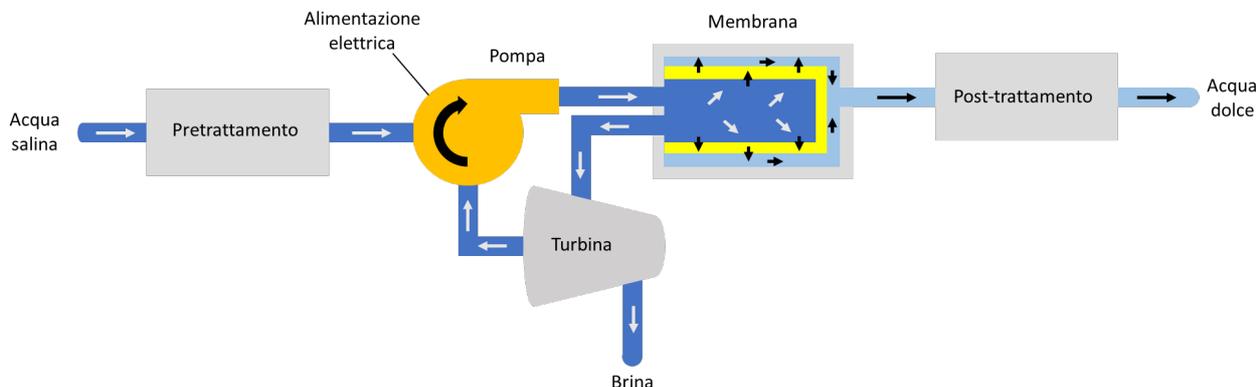
Technologies	Costs (%)			
	Capital	Energy	Chemical reagents	Others
MSF	15	37	3	45
MED	18	29	13	40
RO	12	3	34	51
VC	21	7	4	68

The production costs related to different technologies, for a fixed quantity of produced water, show that reverse osmosis (RO) is the preferable option at the farm level in terms of capital and energy costs.

MED and MSF systems, as mentioned in the previous paragraphs, allow for higher water purity but come with high energy costs. However, this high purity is not necessary for irrigation purposes and could, in certain cases, lead to negative impacts on crop yields. Comparing VC and RO systems, operational costs are higher for VC, as the reverse osmosis system uses electricity for pressurization, while the VC system requires energy for water movement and steam compression. This results in a higher overall energy consumption for VC systems.

In conclusion, RO systems appear to be the most suitable choice due to their operational flexibility, relatively low investment costs, and energy consumption.

More in detail, reverse osmosis is a water purification process that uses a semi-permeable membrane to separate water molecules from other substances; this is achieved by applying to water a pressure greater than the osmotic. This process produces purified water with a concentration of approximately 500 ppm on one side of the membrane and a concentrated solution on the other side. An RO plant consists of four main parts: pre-treatment, high-pressure pump, membrane, and post-treatment. The required pressure varies depending on the type of water to be treated, ranging from 17 to 27 bar for brackish water and from 55 to 82 bar for seawater. Reverse osmosis is widely used in desalination, with capacities ranging from 0.1 m³/day for domestic applications to 395,000 m³/day for commercial or large-scale applications.



Schematizzazione di un'unità di desalinizzazione a osmosi inversa (reverse osmosis, RO)

Costi orientativi di un impianto e smaltimento salamoia

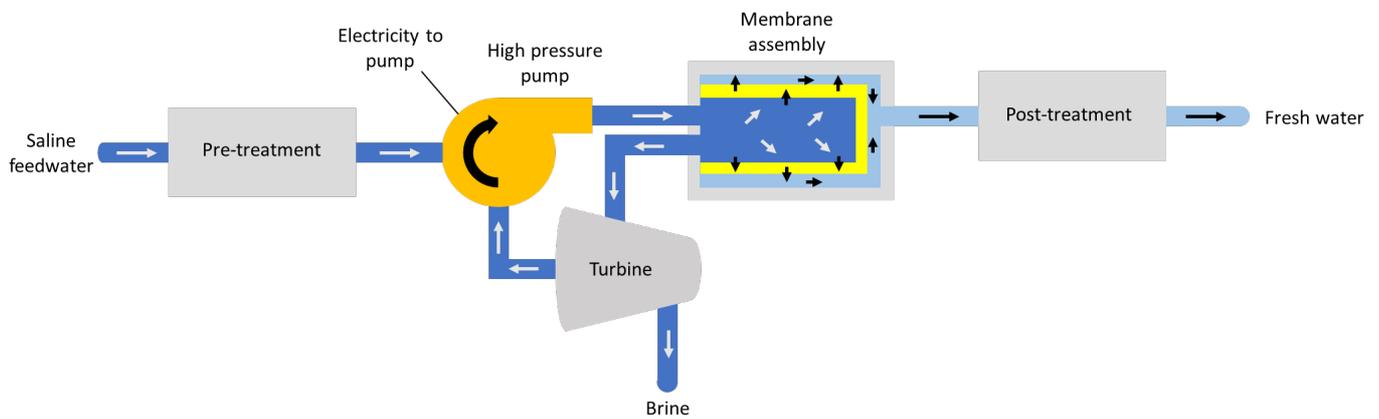
Da un'indagine di mercato condotta sia in Italia che all'estero, e assumendo le seguenti ipotesi tecnico-costruttive:

- Portata di permeato compresa tra 5 e 10 m³/h
- Nessun tipo di pretrattamento
- Disponibilità area ingombro impianto pari a circa 30 m²
- Energia elettrica disponibile nel sito d'installazione
- Acqua da trattare mediamente salmastra, ovvero appartenente alla classe II

è emerso che i costi complessivi oscillano tra i 40000 e i 70000 euro, IVA esclusa. Nella stima non si tiene conto dei costi per l'installazione e l'avviamento dell'impianto, i quali variano tra 750 e 1500 euro. In particolare, l'azienda DBimpianti (<https://www.dbimpianti.it/>) propone un piccolo impianto di dissalazione con una portata di permeato pari a 1 m³/h al costo di 20000 euro (IVA inclusa, senza costi di installazione). Trattandosi di un impianto con una produzione limitata di acqua desalinizzata, esso può essere utile prevalentemente nel caso in cui si intenda integrare una risorsa direttamente utilizzabile per l'irrigazione (miscelazione dell'acqua trattata con essa). La wtec Plants, altra azienda operante in Italia (<http://www.wtecplants.com/it/>), propone una più vasta gamma di impianti di dissalazione, per diversi intervalli di portata, potenza, diametro tubazioni, peso e dimensione (Tabella III). I modelli proposti hanno capacità produttive che vanno da 3,4 a 40 m³/h di permeato e i costi oscillano tra 38000 euro (Modello 5L) a un 120000 euro (Modello 40 H), IVA esclusa. Tutti i modelli di impianto possono inoltre essere personalizzati e potenziati con una serie di accessori in funzione delle diverse esigenze (filtrazione, flushing system, etc.)

Caratteristiche tecniche impianti a osmosi inversa proposte dall'azienda wtec Plants

Modello	Portata (m ³ /h)		Potenza (kW)	Connessioni (DN)			Peso (kg)		Dimensioni (mm)		
	Feed	Permeato	Installata	Feed	Permeato	Scarico	A vuoto	In esercizio	L	P	H
5L	4,5	3,4	4,5	32	32	20	1000	1800	1200	1950	
5H	6,7	5	6,0								
8L	9,3	7	8,0	50	40	25	1050	2000			
8H	12,0	9	11,5								
12L	13,3	10	11,5	65	50	32	1100	2200			
12H	16,0	12	15,5								
16H	20,0	15	15,5	80	55	22	1340	3300			
24H	29,3	22	30,5								
32L	35,6	26,7	22,5	100	100	50	1580	4100	6850		
32H	42,7	32	30,5								
40H	53,3	40	37,5				1700	4500			



Schematic of a reverse osmosis desalination unit (RO)

Estimated costs of a reverse osmosis plant and brine disposal

From a survey of the market in Italy and abroad, considering the the following technical and construction assumptions:

- Permeate flow rate ranging from 5 to 10 m³/h
- No pre-treatment required
- Available plant footprint area of approximately 30 m²
- Adequate electrical power supply available on-site
- Brackish water to be treated, falling into Class II

it has been found that the total costs range from €40,000 to €70,000, excluding VAT and without considering installation and commissioning costs, which vary from €750 to €1,500. Specifically, the company DBimpianti (<https://www.dbimpianti.it/>) offers a small desalination plant with a permeate flow rate of 1 m³/h at a cost of about € 20,000 (including Italian VAT, yet excluding installation costs). even that it is a plant with a limited production of desalinated water, it can be particularly useful in cases where there is an intention to integrate a resource directly usable for irrigation (mixing the treated water with it). Another Italian company, wtec Plants (<http://www.wtecplants.com/it/>), offers a wider range of BWRO desalination plants with varying flow rates, power, pipe diameter, weight, and size (see Table). The proposed models have production capacities ranging from 3.4 to 40 m³/h of permeate, with costs ranging from €38,000 (Model 5L) to €120,000 (Model 40 H), excluding VAT. All desalination plant models can be customized and enhanced with a variety of accessories based on different requirements (filtration, flushing system, etc.).

Technical characteristics of reverse osmosis plants offered by the company wtec Plants

Model	Flow (m ³ /h)		Power (kW)	Connections (DN)			Weight (kg)		Size (mm)		
	Feed	Permeated	Installed	Feed	Permeated	Discharge	Empty	In operation	L	P	H
5L	4.5	3.4	4.5								
5H	6.7	5	6.0	32	32	20	1,000	1,800			
8L	9.3	7	8.0								
8H	12.0	9	11.5	50	40	25	1,050	2,000	3,850		
12L	13.3	10	11.5								
12H	16.0	12	15.5	65	50	32	1,100	2,200		1,200	1,950
16H	20.0	15	15.5								
24H	29.3	22	30.5	80	55	22	1,340	3,300			
32L	35.6	26.7	22.5								
32H	42.7	32	30.5	100	80	40	1,460	3,700			
40H	53.3	40	37.5								
							1,580	4,100	6,850		
							1,700	4,500			

Un'altra opzione è costituita dagli impianti preconfigurati aventi una capacità di produzione di 20 m³/h e caratteristiche standard per quanto riguarda il pretrattamento e i filtri. Questi impianti standardizzati, che hanno un costo pari a 37000 euro (+ IVA), sono progettati considerando uno specifico valore di salinità dell'acqua e, pertanto, possono essere installati solo se l'acqua da trattare possiede le caratteristiche adatte per questo tipo di impianto. Tali soluzioni sono offerte, ad esempio, dall'azienda Chunke (<https://chunke.en.made-in-china.com/product-list-1.html>). La tabella seguente riporta una sintesi dei costi degli impianti di dissalazione fornite dalle tre aziende contattate.

Sintesi delle caratteristiche e dei costi degli impianti ad osmosi inversa proposti

Azienda	Capacità di produzione (m ³ /h)	Costo complessivo (€) senza IVA
DB impianti (Bergamo, Italia)	1	16000
wtec Plants (Barletta, Italia)	3 - 40	38000 – 120000
Chunke (Guangzhou, Cina)	20	37000

Per quanto concerne i costi annui di gestione degli impianti di dissalazione a osmosi inversa, questi possono variare ampiamente in base a diversi fattori, tra cui la dimensione dell'impianto, la qualità dell'acqua di ingresso, la tecnologia utilizzata e la fonte di energia. In particolare, il consumo energetico e la sostituzione delle membrane osmotiche determinano i costi maggiori (v. schema a seguire).

Energia	Sostituzione membrane
<p>Si può assumere che mediamente, un impianto di osmosi inversa richieda tra 3 e 5 kWh/m³ di energia.</p> <p>Considerando:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 4 kWh/m³ di energia richiesta ✓ un permeato prodotto pari a 5 m³/h ✓ un utilizzo giornaliero di 2 ore ✓ un costo medio dell'energia elettrica di 0,20 euro per kWh <p>il consumo energetico annuale ammonterebbe a 2920 euro, che potrebbe scendere anche a 1500 euro tenendo conto che la stagione irrigua dura per 6-8 mesi l'anno.</p>	<p>Mediamente, il ricambio delle membrane osmotiche va effettuato una volta ogni 4 anni.</p> <p>Considerando:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ un impianto a 10 membrane ✓ costo di una singola membrana pari a 370 euro ✓ una vita utile dell'impianto RO pari a 20 anni <p>il costo annuale ammonterebbe a 925 euro.</p>

La tabella seguente riassume in maniera orientativa, i costi medi annui di esercizio di un impianto "tipo", sulla base delle considerazioni fin qui esposte.

Costi medi annui orientativi per l'esercizio di impianto di dissalazione a osmosi inversa, assumendo una vita utile dell'impianto pari a 20 anni

	Costo	Unità	Caratteristiche	Costo medio (€/anno)
Filtri RO	370	€/pz	1 volta / 4 anni	925
Consumo energetico	0,20	€/kWh	Funzionamento 2 h/giorno Consumo 4 kWh per m ³ acqua Permeato prodotto 5 m ³ /h	1500 ÷ 2920
Filtro a cartuccia	25	€/pz	4 volte / anno	100
Manutenzione	0.1	€/m ³ h	-	730*
Sostanze chimiche	600	€/m ³	0,1 m ³ /anno	60
			Totale (€)	3315 ÷ 4735

*Valore orientativo sulla base delle ipotesi esplicitate, può variare in funzione degli accordi presi con i diversi fornitori

Another option is represented by preconfigured plants with a production capacity of 20 m³/h and standard features regarding pretreatment and filters. These plants have a fixed cost of 37,000 euro (+ VAT) and are predominantly available in the Eastern market (China) and the United States. These standardized plants are designed considering a specific salinity value of the water and can only be installed if the water to be treated possesses the suitable characteristics for this type of plant. Such solutions are offered, for example, by the Chunke company (<https://chunke.en.made-in-china.com/product-list-1.html>).

Summary of the features and costs of the reverse osmosis plants proposed

Company	Production capacity (m ³ /h)	Overall cost (€) - VAT excluded
DB impianti (Bergamo, Italia)	1	16,000
wtec Plants (Barletta, Italia)	3 - 40	38,000 - 120,000
Chunke (Guangzhou, Cina)	20	37,000

When it comes to the annual operating costs of reverse osmosis desalination plants, these can vary widely based on several factors, including the plant size, the quality of the incoming water, the technology used, and the energy source. In particular, energy consumption and the replacement of RO membranes account for the major costs (see the following schematic).

Energy	Membrane replacement
<p>It can be assumed that, on average, an RO plant requires between 3 and 5 kWh/m³ of energy.</p> <p>Considering:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 4 kWh/m³ of required energy ✓ Permeate production of 5 m³/h ✓ Daily usage of 2 hours ✓ Average electricity cost of 0.20 euro for kWh <p>the annual energy consumption would amount to 2,920 euros, which could decrease to 1,500 euro, taking into account that the irrigation season lasts for 6-8 months for year.</p>	<p>On average, the replacement of RO membranes needs to be done once every 4 years.</p> <p>Considering:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A plant with 10 membranes ✓ Cost of a single membrane being 370 euros ✓ RO plant's lifespan of 20 years. <p>The annual cost would amount to 925 euro.</p>

The following table summarizes in a schematic manner the average annual operating costs of a "typical" plant based on the considerations made herein so far.

Average annual indicative costs for operating a reverse osmosis desalination plant, assuming a plant lifespan of 20 years

	Cost	Unit	Characteristics	Average cost (€/year)
RO filters	370	€/pz	Once in 4 years	925
Energy consumption	0,20	kWh	Operating 2 h/day Consuming 4 kWh for m ³ of water Permeate product 5 m ³ /h	1,500 - 2,920
Cartridge filter	25	€/pz	4 times/year	100
Maintenance	0.1	€/m ³ h		730*
Chemical reagents	600	€/m ³	0.1 m ³ /year	60
Total (€) 3,316 ÷ 4,735				

**The indicative values, based on the explicit assumptions, may vary depending on the agreements made with different suppliers*

In sintesi, emerge chiaramente che i costi per l'installazione e la manutenzione di un impianto di dissalazione a osmosi inversa per acqua salmastra sono notevolmente influenzati dalle dimensioni dell'impianto, ma soprattutto dalle particolari caratteristiche qualitative dell'acqua da trattare e dalla disponibilità correlata di energia.

Un altro aspetto fondamentale è la necessità di smaltire opportunamente le acque iper-concentrate risultanti dal trattamento di un impianto distante dal mare. Tradizionalmente, tali impianti terrestri gestiscono la salamoia attraverso *evaporation pond* (stagni di evaporazione). Questo metodo prevede l'inserimento della soluzione concentrata in stagni poco profondi, dove l'acqua evapora naturalmente. Successivamente, il sale residuo viene separato dagli stagni e smaltito dalle autorità competenti. Questo aspetto richiede degli accorgimenti operativi e gestionali che vanno tenuti debitamente in conto.

Considerazioni finali

La desalinizzazione attraverso il processo di osmosi inversa rappresenta una tecnologia avanzata in grado di trattare l'acqua salmastra per portarla alla qualità idonea per l'utilizzo irriguo. L'installazione di tali impianti richiede, orientativamente, un investimento iniziale compreso tra 20000 euro e 70000 euro, per portate di permeato comprese tra 1 e 10 m³/h, nonché costi di esercizio annui tra 3000 e 5000 euro. La desalinizzazione, oltre ad ampliare la disponibilità delle risorse idriche tradizionali, può contribuire in modo significativo a mitigare gli impatti dei cambiamenti climatici (maggiore frequenza e severità di eventi di siccità). Tuttavia, la necessità di importanti quantitativi di energia elettrica per l'esercizio, nonché la necessità di smaltimento opportuno della salamoia prodotta durante il processo, richiedono un'attenta valutazione, caso per caso, della reale convenienza di installazione di un impianto di dissalazione.

In summary, it is clear that the costs for the installation and maintenance of a reverse osmosis desalination plant for brackish water are significantly influenced by the plant's size, but especially by the specific qualitative characteristics of the water to be treated and the related availability of energy.

Another fundamental aspect is the need of proper disposal of the hyper-concentrated brine resulting from the treatment, when the plant is located away from the sea. Traditionally, evaporation ponds are required to manage brine. This method involves introducing the concentrated solution into shallow ponds, where water naturally evaporates. Subsequently, the residual salt is separated from the ponds and disposed of by the relevant authorities. This aspect requires operational and management considerations that need to be duly taken into account.

Conclusions

Desalination through the reverse osmosis process represents an advanced technology capable of treating brackish water to meet the quality standards required for irrigation purposes. The installation of such plants typically requires an initial investment ranging from 20,000 euro to 70,000 euro, with permeate flow rates ranging from 1 to 10 m³/h. Additionally, annual operating costs are estimated to be between 3,000 and 5,000 euro. Desalination, apart from expanding the availability of traditional water resources, can significantly contribute to mitigating the impacts of climate, such as the increased frequency and severity of drought events. However, the substantial energy requirements for operation and the proper disposal of the brine produced during the process necessitate a careful case-by-case evaluation of the convenience of installing a desalination plant.

Comitato di pilotaggio/ Steering committees

Distretto Produttivo Agrumi di Sicilia/Citrus Production District of Sicily

Dott.ssa Agr. Federica Argentati

Dott.ssa Vera Leotta

ARCES

Dott. Giuseppe Rallo

Dott. Dario Costanzo

Stesura del dossier/Dossier authorship



CSEI Catania

Prof. Ing. Salvatore Barbagallo - *Università di Catania, Dipartimento di Agricoltura, Alimentazione e Ambiente, Presidente CSEI – Centro Studi di Economia Applicata all’Ingegneria*



**Università
di Catania**



Prof. Ing. Antonino Cancelliere - *Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria civile e Architettura*

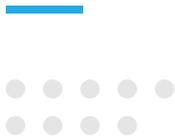
Prof. Ing. David J. Peres - *Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria civile e Architettura*

Dott. Ing. Giuseppe Longo - *Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria civile e Architettura*

Dott. Ing. Nunziarita Palazzolo - *Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria civile e Architettura*

Collaborazioni/Collaborations

Dott. Ing. Gaetano Buonacera



ARCES

Vicolo Niscemi, 5
90133 - Palermo
info@arces.it
www.arces.it



Distretto Produttivo Agrumi di Sicilia

Sede legale: Via G.A. Costanzo 41 - Catania
Sede Operativa: Via G. Galilei 18
San Giovanni la Punta, Catania

www.distrettoagrumidiscilia.it - info@distrettoagrumidiscilia.it

