

*Uso di acque salmastre  
per l'irrigazione degli agrumi*

clima.

cambiamento - lungimiranza - impatto - mentalità - ambiente



Alta Scuola



## Indice

1. Generalità.....	2
2. Utilizzo di acque salmastre a livello globale.....	3
3. Requisiti di qualità dell'acqua per l'irrigazione.....	5
4. Tecnologie di dissalazione.....	8
4.1 Processi termici di distillazione .....	9
4.1.1 Distillazione flash multistadio (MSF) .....	9
4.1.2 Distillazione multi-effetto (MED).....	10
4.1.3 Compressione di vapore (VC).....	11
4.2 Tecnologie di dissalazione a membrana .....	12
4.2.1 Osmosi inversa (RO).....	12
4.2.2 Elettrodialisi (ED).....	13
4.3 Confronto tecnologie .....	13
5. Costi di investimento e di esercizio .....	15
6. Gestione della salamoia .....	17
7. Costi orientativi di un impianto .....	17
8. Conclusioni.....	21
BIBLIOGRAFIA.....	23

## 1. Generalità

La maggiore incidenza di siccità e problemi di scarsità idrica legati ai cambiamenti climatici, nonché i limiti di capacità indotti dalla più che cinquantennale età degli invasi in molte regioni del mondo, tra cui la Sicilia, ha portato a un crescente interesse verso l'uso di risorse idriche non convenzionali e in particolare di acqua marina o di acqua salmastra proveniente da pozzi. A tal proposito occorre ricordare che a livello mondiale, circa il 70% dell'acqua dolce prelevata da fonti di superficie o falde acquifere è impiegata nel settore agricolo. Ciò rivela quanto sia fondamentale rivolgere particolare attenzione al tema della gestione sostenibile della risorsa idrica in ambito irriguo. La cruciale importanza dell'acqua è sottolineata dal fatto che l'accesso alla risorsa idrica è uno dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile dell'Organizzazione delle Nazioni Unite.

La dissalazione o desalinizzazione, ovvero il trattamento utile per sfruttare l'acqua ad alto grado di salinità, può rappresentare una opzione per utilizzare una risorsa, quella salmastra, che altrimenti potrebbe risultare dannosa per le colture e contribuire al progressivo aumento del contenuto salino dei suoli innescando processi di desertificazione. 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 iper-concentrati di sali a valle della dissalazione, nonché ai costi energetici, che possono essere molto elevati.

Nelle sezioni successive viene riportato 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, con specifico riferimento all'uso di acque salmastre provenienti da pozzi. Secondo diverse indagini e in particolare quelle condotte all'interno del progetto A.C.Q.U.A. – Agrumicoltura Consapevole della Qualità ed Uso dell'Acqua (<https://www.distrettoagrumidiscilia.it/distretto-agrumi-sicilia-progetti/progetto-acqua/>), sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (DICAR dell'Università di Catania e dal Distretto Agrumi di Sicilia, con il supporto di The Coca-Cola Foundation, è emerso infatti che diverse aziende agrumicole in Sicilia hanno a disposizione pozzi di acqua salmastra, il cui utilizzo, previo opportuno trattamento, potrebbe contribuire a ridurre gli impatti dei sempre più gravi eventi siccitosi.

Nel seguito, dopo un breve inquadramento di carattere generale riguardanti l'uso delle acque dissalate a livello globale, saranno descritti, i seguenti punti:

1. Requisiti di qualità dell'acqua ai fini irrigui;
2. Principali soluzioni disponibili per la messa a punto di un impianto di dissalazione;
3. Principi di funzionamento dei componenti di un impianto di dissalazione;
4. Criteri tecnici ed economici per la scelta della soluzione più idonea;
5. Costi complessivi di installazione e manutenzione;
6. Gestione degli scarti risultati dalla dissalazione.

## 2. Utilizzo di acque salmastre a livello globale

La disponibilità di cibo e acqua è universalmente riconosciuta di vitale importanza per la sopravvivenza dell'umanità, ma ha anche un ruolo fondamentale per lo sviluppo sociale ed economico. L'aumento della popolazione, gli impatti dei cambiamenti climatici in atto e il crescente processo di industrializzazione stanno gradualmente esercitando una notevole pressione sulla disponibilità delle risorse idriche esistenti. Dei diversi settori agricolo, civile e industriale, quello agricolo, come precedentemente menzionato, necessita del 70% della quantità totale di acqua prelevata. Come mostrato in Fig. 1 e in Fig. 2, l'irrigazione con acque sotterranee non è una pratica comune a scala globale. La tendenza, infatti, è quella di utilizzare acque superficiali come si evince dalla Fig. 3 (Siebert et al., 2013).

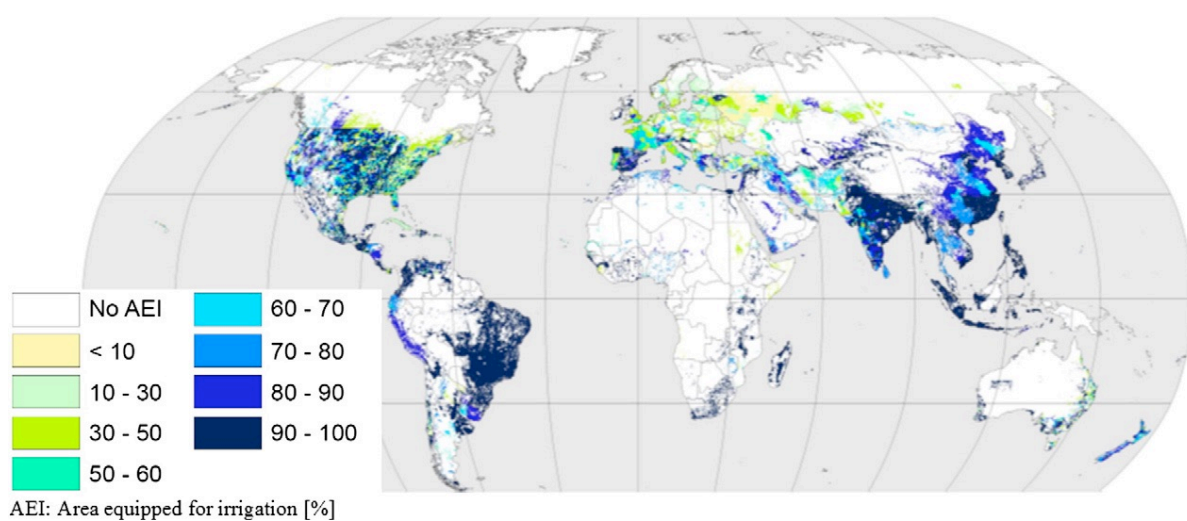


Figura 1 - Superficie irrigata in tutto il mondo (Siebert et al., 2013)

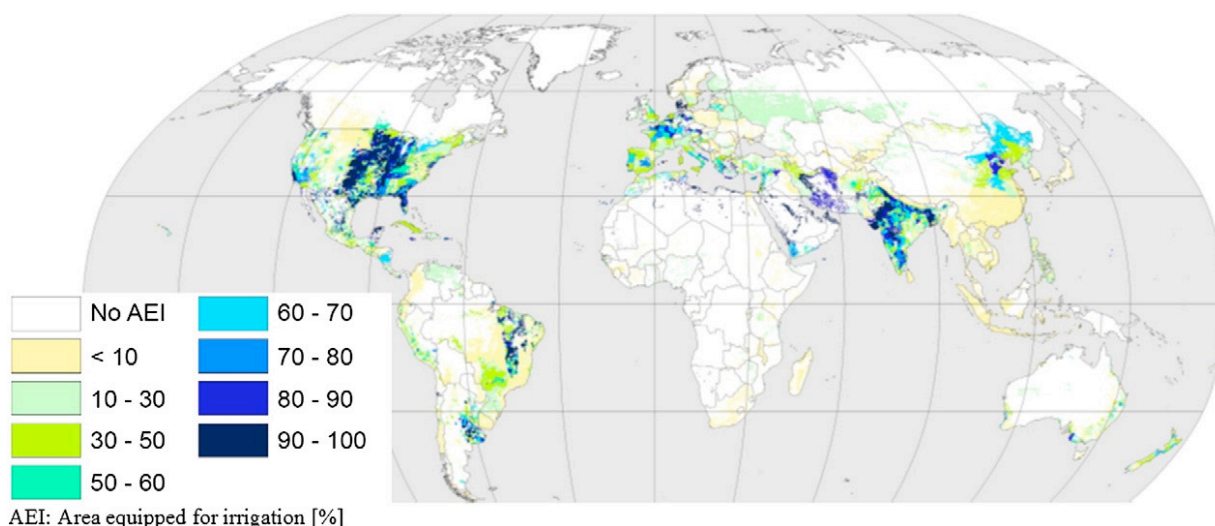


Figura 2 - Superficie irrigata con acque sotterranee (Siebert et al., 2013)

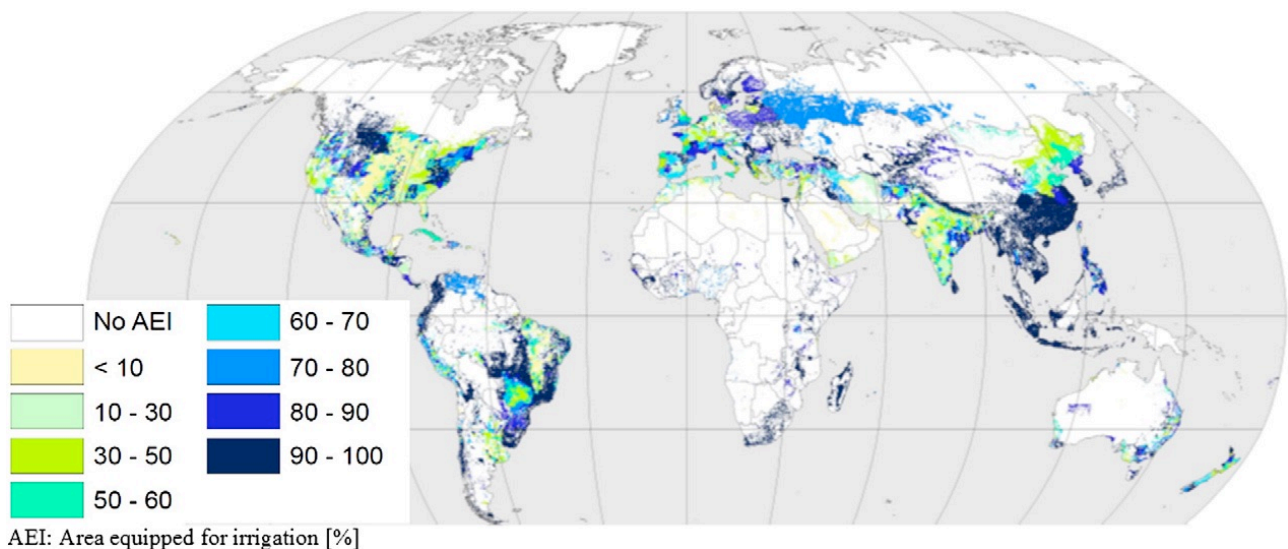


Figura 3 - Superficie irrigata con acque superficiali (Siebert et al., 2013)

Dato lo sfruttamento eccessivo delle risorse idriche convenzionali a scala globale, vi è stato negli ultimi decenni un crescente interesse verso l'utilizzo di fonti alternative di tipo non convenzionale. In questa ottica, le tecnologie di dissalazione possono giocare un ruolo significativo. In particolare, l'irrigazione delle colture con acqua di salmastra, in seguito a opportuno trattamento, può garantire una migliore gestione della risorsa per le diverse destinazioni d'uso (Quist-Jensen et al., 2015).

Come mostrato in Fig. 4 la dissalazione viene di gran lunga impiegata per il trattamento dell'acqua di mare. Considerati i costi elevati, il trattamento è maggiormente impiegato per la domanda civile, in quanto prioritaria. Solo una piccola percentuale è destinata ai fini irrigui (Fig. 5). Tuttavia, negli ultimi anni, gli impianti di dissalazione per l'uso irriguo sono in aumento, con una maggiore attenzione sulla realizzazione di tecnologie di desalinizzazione economicamente vantaggiose al fine di fornire acqua quantitativamente e qualitativamente adeguata alle diverse applicazioni agricole.

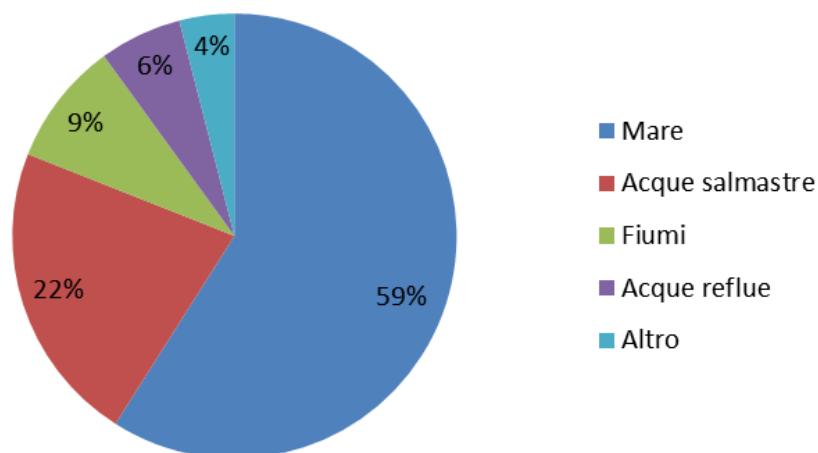


Figura 4 - Distribuzione impianti di dissalazione per tipologia di acqua in ingresso (Burn et al., 2015)

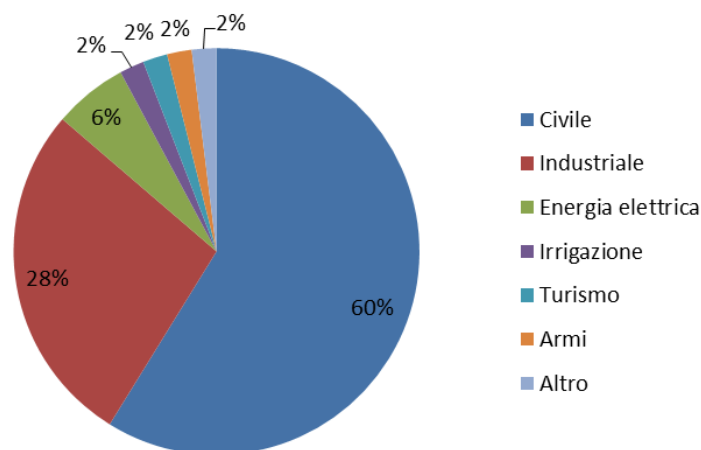


Figura 5 – Distribuzione delle destinazioni d'uso delle acque dissalate (Burn et al., 2015)

Secondo stime aggiornate al decennio scorso, la quantità di acqua desalinizzata prodotta nel mondo ammonta a quasi l'1% del consumo totale di acqua a livello mondiale (77.4 milioni di m<sup>3</sup>/giorno (Burn et al., 2015)), con solo il 2% della produzione totale di acqua desalinizzata destinata all'utilizzo agricolo (Fig. 5). Se si aggiunge la considerazione che la domanda irrigua è più di 3 volte maggiore di quella civile, si capisce comunque come la dissalazione possa trovare impiego prevalentemente in situazioni di emergenza idrica, ovvero quando la disponibilità di acqua da fonti convenzionali è fortemente compromessa da situazioni di siccità.

### 3. Requisiti di qualità dell'acqua per l'irrigazione

Per comprendere al meglio quali possono essere le potenzialità di utilizzo di un'acqua salmastra, ovvero le possibili soluzioni tecniche da poter implementare nonché i relativi costi d'installazione e di esercizio, è utile ricordare i requisiti minimi di qualità che un'acqua deve avere al fine di poter essere utilizzata per l'irrigazione. Al fine di comprendere l'effettiva necessità e convenienza a trattare tramite la dissalazione una data acqua, è importante richiamare i requisiti di qualità dell'acqua per l'irrigazione. Tali requisiti di qualità dipendono anche da diversi fattori, come la tipologia delle colture e le specifiche proprietà del suolo (permeabilità, porosità, tessitura, etc.); tuttavia sono disponibili dei valori orientativi per i diversi parametri qualitativi validi nella maggior parte delle situazioni. L'Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO) ha stabilito i limiti di qualità per l'acqua di irrigazione come riportato nella Tabella I.

Tabella I - Standard di qualità per l'acqua di irrigazione a diversi livelli di restrizione

	Restrizione		
	Nessuna	Da lieve a moderata	Severa
pH	6,5 – 8,4		
Na (irrigazione superficiale) [SAR]	<3	3 - 9	>9
Na (irrigazione a pioggia) [me/l]	<3	>3	
Cl (irrigazione superficiale) [me/l]	<4	4 - 10	>10
Cl (irrigazione a pioggia) [me/l]	<3	>3	
B [mg/l]	<0,7	0,7 - 3	>3
NO <sub>3</sub> - N [mg/l]	<5	5 - 30	>30

I sali di sodio e cloruro sono gli indicatori del livello di salinità; tuttavia per verificare l' idoneità dell'acqua di irrigazione viene utilizzato un indicatore denominato "Sodium Adsorption Ratio" (SAR), dato dalla seguente espressione:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

dove la concentrazione di  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  è espressa in milliequivalenti al litro (meq/l). In letteratura si fa riferimento a delle classificazioni dell'acqua di irrigazione basate sul valore dell'indice SAR e della conduttività elettrica, per tenere conto della possibile riduzione della velocità di infiltrazione nel terreno (Tabella II). I valori di SAR, come si evince dalla formula, sono influenzati dal contenuto di calcio e magnesio. Il calcio non è da considerarsi nocivo per le piante; tuttavia, può portare alla formazione di incrostazioni negli impianti, per la produzione di carbonato e solfato di calcio, implicando problemi al sistema di irrigazione, con conseguenze per la produzione agricola.

Tabella II - Classi di acqua rispetto al livello di salinità e al rapporto di adsorbimento del sodio (SAR) (Quist-Jensen et al., 2015)

Classe acqua	Conduttività elettrica [dS/m]	Classe di rischio	SAR
C1 - Bassa	0 – 0,25	S1 - Bassa	0 - 10
C2 - Media	0,25 – 0,75	S2 – Media	10 - 18
C3 - Alta	0,75 – 2,25	S3 – Alta	18 - 26
C4 - Molto alta	2,25 – 5,00	S4 - Molto alta	>26

Anche il magnesio costituisce un elemento essenziale in agricoltura, motivo per cui quando la sua concentrazione è troppo bassa, dovrebbero essere aggiunte piccole quantità all'acqua di irrigazione (anche se in realtà ciò non avviene a causa dell'elevato costo). Tuttavia, anche il magnesio può avere lo stesso effetto negativo del calcio se applicato in grandi quantità, in particolare se il rapporto magnesio/calcio è superiore a 1 (Qadir et al. 2014). Infatti, elevate concentrazioni di magnesio e calcio riducono il rapporto SAR ma, allo stesso tempo, aumentano la conduttività elettrica dando così origine ad un'acqua dalla qualità non del tutto adeguata all'irrigazione.

Si precisa che, ad oggi, non esistono ancora delle linee guida specifiche per le concentrazioni di calcio e magnesio rispetto alla quantità già presente nel terreno; tuttavia la FAO fornisce valori indicativi compresi tra 0 - 400 mg/l e 0 - 61 mg/l rispettivamente per calcio e magnesio (Ayers et al. 1994).

SAR, salinità, oligoelementi, etc., sono i parametri che solitamente vengono valutati per identificare se l'acqua proveniente da una fonte può essere utilizzata o meno per l'irrigazione. Tuttavia, questi parametri non tengono conto di tutte le ulteriori componenti che dovrebbero essere presenti (come nutrienti, etc.) per poter ottimizzare la produzione agricola. Le concentrazioni di nutrienti e i limiti massimi ammissibili per gli oligoelementi nell'acqua di irrigazione sono sintetizzati nelle Tabelle III e IV, rispettivamente.

Si noti come le concentrazioni di alcuni nutrienti (Tabella III) siano espressi in termini di valori a breve e a lungo termine, in quanto si deve garantire un'adeguata resa del raccolto a breve termine senza al contempo contaminare l'ambiente circostante su un più ampio arco temporale (Ayers et al. 1994).



Tabella III - Concentrazioni di nutrienti appropriati per l'acqua d'irrigazione (Quist-Jensen et al., 2015)

		Irrigazione a lungo termine (100 anni) [mg/l]	Irrigazione a breve termine (20 anni) [mg/l]	FAO - Quantità comune nell'acqua di irrigazione [mg/l]
Azoto	NO <sub>3</sub> - N	5	25 - 125	0 - 10
	NH <sub>4</sub> - N			0 - 5
Fosforo		0,05	0,8 - 12	0 - 2
Potassio				0 - 2

Tabella IV - Massimi limiti ammissibili per gli oligoelementi nell'acqua di irrigazione (Ayers et al., 1994)

Oligoelemento	Limite Ammissibile [mg/l]
Al	5,0
As	0,10
Be	0,10
Cd	0,01
Co	0,05
Cr	0,10
Cu	0,20
F	1,0
Fe	5,0
Li	2,5
Mn	0,20
Mo	0,01
Ni	0,20
Pd	5,0
Se	0,02
V	0,10
Zn	2,0

La qualità dell'acqua è, come visto, di fondamentale importanza per il rendimento delle coltivazioni, la produttività del suolo e la salvaguardia dell'ambiente. Le analisi chimiche di laboratorio permettono di verificare l'idoneità dell'acqua per utilizzo agricolo. 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*: l'acqua da fonti naturali ha un valore tendenzialmente alcalino, a causa dei carbonati disciolti. Un valore tra 0 e 400 mg/l è considerato normale, tuttavia irrigando regolarmente con acqua sopra a 140 mg/l si rischia di alzare il pH del terreno influenzando negativamente lo sviluppo della coltura.
- *Conducibilità elettrica*: l'acqua caratterizzata da un'elevata purezza ha una conducibilità estremamente bassa. In presenza di sostanze ionizzate o dissociate si verifica un aumento della conducibilità elettrica proporzionale alla loro concentrazione. La misura di questo parametro dell'acqua, pertanto, permette di ottenere un'informazione circa il suo grado di mineralizzazione. L'unità di misura della "conducibilità elettrica specifica" è il Siemens per centimetro (S/cm). Tuttavia viene spesso utilizzato un sottomultiplo: il microsiemens per cm ( $\mu\text{S/cm}$ ) che per l'irrigazione deve avere un valore compreso tra 300 e 800  $\mu\text{S/cm}$ .

- *SAR*: come visto, valori pari o superiori 10 possono causare danni significativi specialmente in presenza di terreni argillosi. Di norma un valore SAR inferiore a 3 è considerato ottimale.
- *Ferro*: alte concentrazioni possono causare diversi tipi di problemi. Una concentrazione tra 0,01 mg/l e 0,2 mg/l è considerata nella norma.

In conclusione, le acque di irrigazione possono essere classificate secondo il loro grado di salinità. Da acque che permettono l'esercizio irriguo continuo senza limiti di volume stagionale, si passa a una serie di classe intermedie fino alle acque da non utilizzare ai fini irrigui. In Tabella V sono riportati i limiti di accettabilità per la salinità delle acque in ambito irriguo secondo la classificazione proposta da Giardini et al. (1993), dove i parametri analizzati sono la conducibilità elettrica e il SAR.

Tabella V - Limiti di accettabilità per la salinità delle acque, secondo la classificazione proposta da Giardini et al. 1993 (adattata)

Parametri	Unità di misura	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Conducibilità elettrica	μS/cm	<750	750 - 2500	2500 - 4000	>4000
SAR	(numero puro)	<6	6 - 20	20 - 28	>28
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

#### 4. 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).

I costi energetici, i costi operativi e di manutenzione sono i principali fattori che contribuiscono al costo di produzione finale dell'acqua di ciascuno di questi processi. Il costo energetico è responsabile di circa il 50% del costo complessivo dell'acqua prodotta. Per i processi di distillazione termica (MSF, MED e TVC), sono necessarie due forme di energia: il calore a bassa temperatura, che rappresenta la porzione principale dell'energia di input e solitamente viene fornito al sistema da una serie di fonti esterne (ad esempio, combustibili fossili e energia solare) e l'elettricità, utilizzata per azionare le pompe del sistema e altri componenti elettrici. Per i processi a membrana (RO e ED), l'elettricità è l'unico input energetico necessario.

In Tabella VI sono sintetizzate le caratteristiche principali in termini di costi medi, impiego e qualità dell'acqua delle diverse tecnologie di dissalazione qui descritte.

Tabella VI - Caratteristiche generali delle tecnologie di dissalazione (Karaghoulis 2013)

Tecnologia	Classificazione	Processo	Qualità acqua prodotta [ppm TDS]	Costo medio [€/m <sup>3</sup> ]	Impiego
MSF	distillazione	Termico	2 - 50	1,07	Acqua salata e salmastra
MED	distillazione	Termico	2 - 50	1,21	Acqua salata e salmastra
VC	distillazione	Termico/Meccanico	2 - 50	0,80	Acqua salata e salmastra
RO	a membrana	Meccanico	100 - 500	0,48	Acqua salata e salmastra
ED	a membrana	Elettrico	300 - 500	1,24	Acqua salmastra

Come si evince dalla Fig. 6, tra quelle elencate, la tecnologia di desalinizzazione maggiormente utilizzata è rappresentata dall'osmosi inversa (RO – Reverse Osmosis) (Burn et al., 2015).

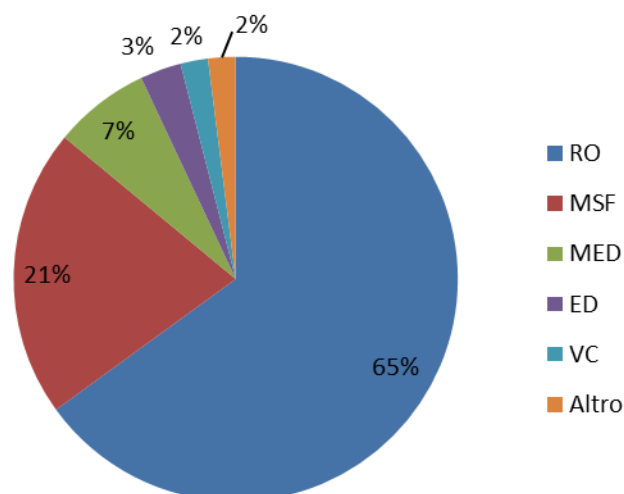


Figura 6 - Capacità totale installata per tipologia di tecnologia di dissalazione (Burn et al., 2015)

Nel seguito vengono descritte più in dettaglio le diverse tecnologie di dissalazione elencate.

## 4.1 Processi termici di distillazione

### 4.1.1 Distillazione flash multistadio (MSF)

Il metodo MSF, Multi-Stage Flash, è un processo che richiede elevata energia termica (necessaria per l'evaporazione) ed elettrica (necessaria per spostare i fluidi). Le unità MSF hanno tipicamente un range di produzione che va da 10000 a 35000 m<sup>3</sup>/giorno e sono composti da una serie di stadi (da 4 a 40) con temperatura e pressione progressivamente inferiori che provocano l'evaporazione e la condensazione dell'acqua.

Quando l'impianto funziona a regime, l'acqua di alimentazione alla temperatura fredda d'ingresso scorre, o viene pompata, attraverso gli scambiatori di calore negli stadi e si riscalda; mentre fluisce attraverso le fasi, l'acqua prende il nome di salamoia per distinguerla dall'acqua di ingresso. In ogni fase, quando la salamoia entra, la sua temperatura è superiore al punto di ebollizione alla pressione dello stadio e una piccola frazione bolle trasformandosi in vapore, riducendo così la temperatura fino a raggiungere un equilibrio. Il vapore proveniente da ogni stadio viene condensato e raccolto come acqua "dolce". La Fig. 7 mostra uno schema del processo MSF che è attualmente il secondo più utilizzato a livello globale dopo il processo a osmosi inversa.

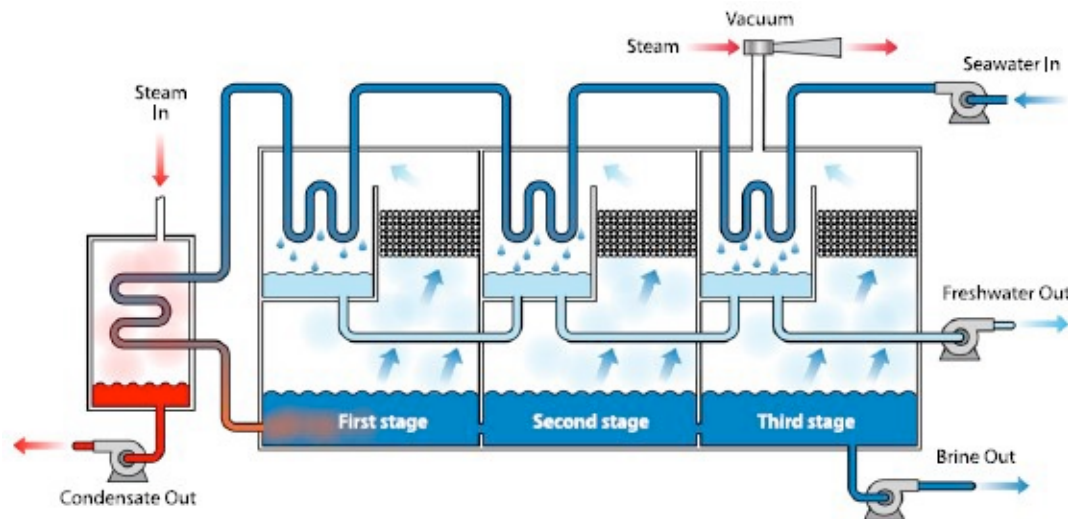


Figura 7 - Schematizzazione di un'unità MSF (Karaghoulis 2013)

#### 4.1.2 Distillazione multi-effetto (MED)

Il metodo MED, Multi-Effect Distillation, è costituito da una serie di stadi (solitamente da 2 a 16) che vengono mantenuti a livelli di pressione decrescenti. Le unità MED hanno tipicamente una capacità di produzione che varia tra i 600 e i 30000 m<sup>3</sup>/giorno. Per far evaporare l'acqua di input questa tecnologia utilizza due fonti termiche: la prima esterna che permette di cedere calore nei diversi stadi, la seconda è il flusso termico ottenuto dall'acqua evaporata che condensando preriscalda l'acqua da trattare. La Fig. 8 mostra uno schema del processo MED. I primi impianti di dissalazione utilizzavano prevalentemente questo tipo di tecnologia, ma MSF l'ha sostituito a causa del suo costo inferiore, anche se negli ultimi anni l'interesse per il metodo MED è stato rinnovato e sembra iniziare a guadagnare quota nel mercato internazionale.

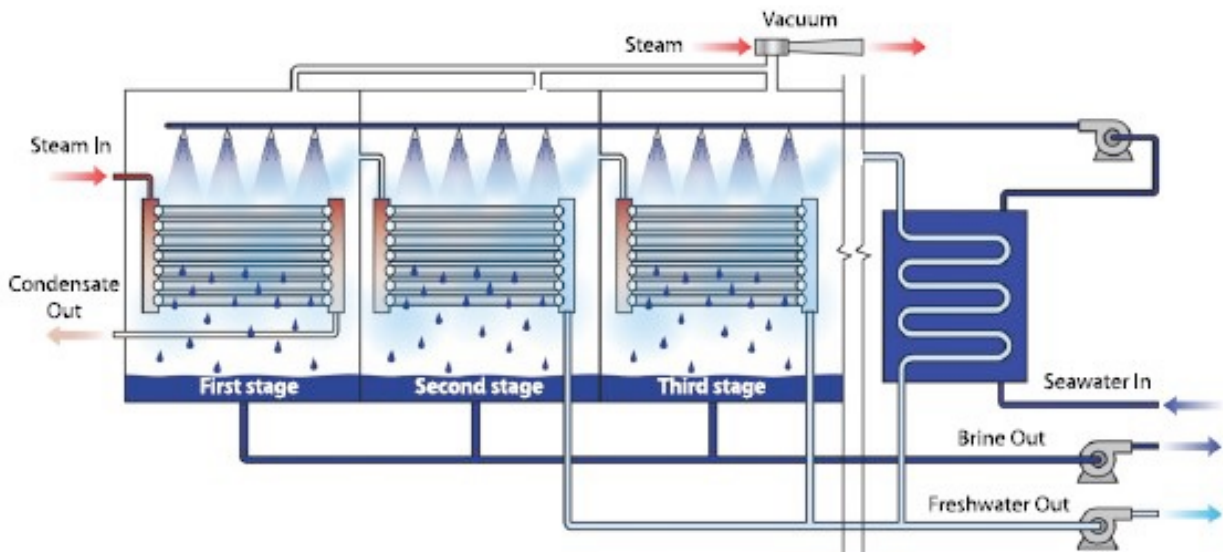


Figura 8 - Schematizzazione di un'unità MED (Karaghoulis 2013)

### 4.1.3 Compressione di vapore (VC)

Un altro metodo di distillazione è il Vapor Compression (VC). La produttività varia tra i 100 e i 3000 m<sup>3</sup>/giorno per i sistemi meccanici e tra i 10000 e i 30000 m<sup>3</sup>/giorno per i sistemi termici. Il vapore è prodotto facendo passare l'acqua da trattare in uno scambiatore di calore, per poi essere compresso per via meccanica (MVC) o termica (TCV). Il calore prodotto in questa fase è sufficiente come fonte di riscaldamento. Questa tecnologia può essere configurata in uno o più stadi ed è presente un compressore nel caso MVC oppure un eiettore di vapore per creare alta pressione nel sistema TVC (la Fig. 9 mostra entrambe le tipologie). Questo tipo di tecnologia è solitamente utilizzata in applicazioni di dimensioni medio/piccole.

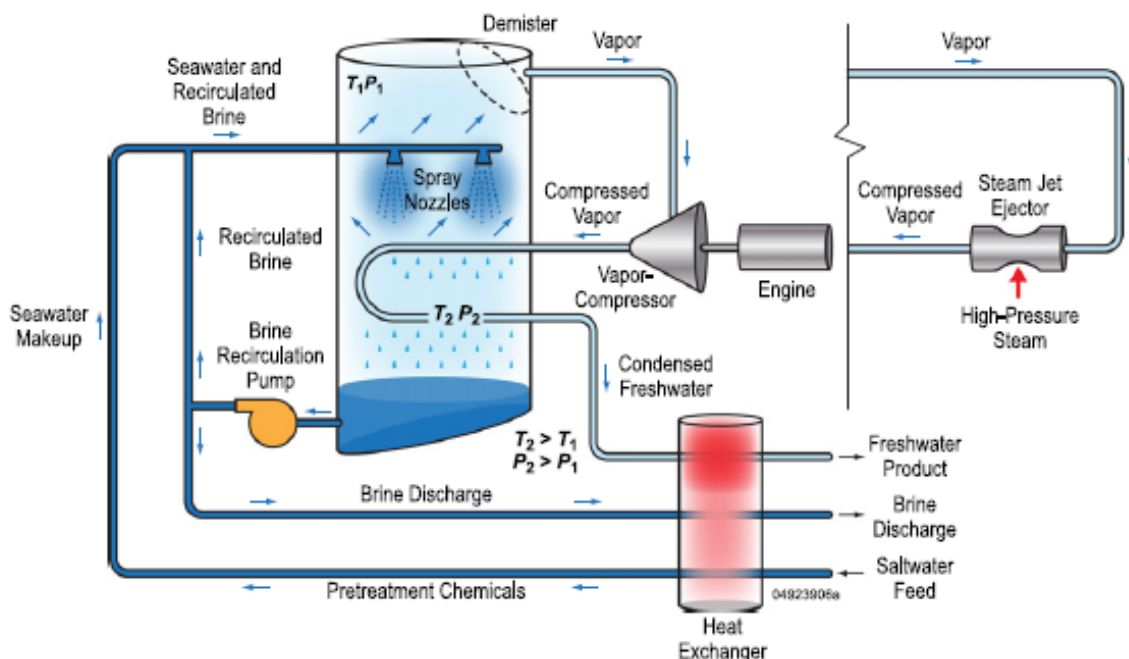


Figura 9 - Schematizzazione di un'unità VC (MVC e TVC) (Karaghoulis 2013)

## 4.2 Tecnologie di dissalazione a membrana

### 4.2.1 Osmosi inversa (RO)

L'osmosi inversa (Reverse Osmosis, RO) 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. Nella pratica, l'osmosi inversa viene realizzata con una membrana che trattiene i sali da una parte della membrana, impedendone, quindi, il passaggio alla parte opposta, al fine di ottenere acqua pura o con minore salinità. Da un lato si ha la produzione di acqua permeata e dall'altro (quello ad alta pressione) di una soluzione concentrata.

Un impianto di osmosi inversa è costituito da quattro sottosistemi:

1. Unità di pretrattamento
2. Pompa ad alta pressione
3. Membrana
4. Unità di post-trattamento

Il pretrattamento dell'acqua di alimentazione, comprende filtrazione, sterilizzazione e aggiunta di sostanze chimiche per prevenire la formazione di incrostazioni. La pompa ad alta pressione genera la forza necessaria a far passare l'acqua attraverso la membrana; pertanto, l'energia necessaria è l'elettricità per attivare le pompe. La pressione necessaria per la dissalazione varia da 17 a 27 bar per l'acqua salmastra e da 55 a 82 bar per l'acqua di mare.

Le membrane sono progettate per produrre un'acqua permeata di circa 500 ppm e sono realizzate con diverse configurazioni a seconda della destinazione d'uso finale richiesta. Sul mercato sono disponibili diversi tipi di membrana; tuttavia, le due più comunemente utilizzate sono quelle a *spirale* e a *fibra cava fine*.

Il post-trattamento, infine, ha principalmente due funzioni:

- Rimozione di alcuni gas prodotti durante il processo, come ad esempio l'idrogeno solforato ( $H_2S$ );
- Regolazione del pH.

In Fig. 10 è mostrata la schematizzazione di un'unità RO che, come precedentemente evidenziato, costituisce la tecnologia più ampiamente utilizzata nell'ambito della desalinizzazione. La sua capacità varia tra  $0,1 \text{ m}^3/\text{giorno}$  (applicazioni domestiche) e  $395000 \text{ m}^3/\text{giorno}$  (applicazioni commerciali o a larga scala) (El Dessouky et al. 2002).

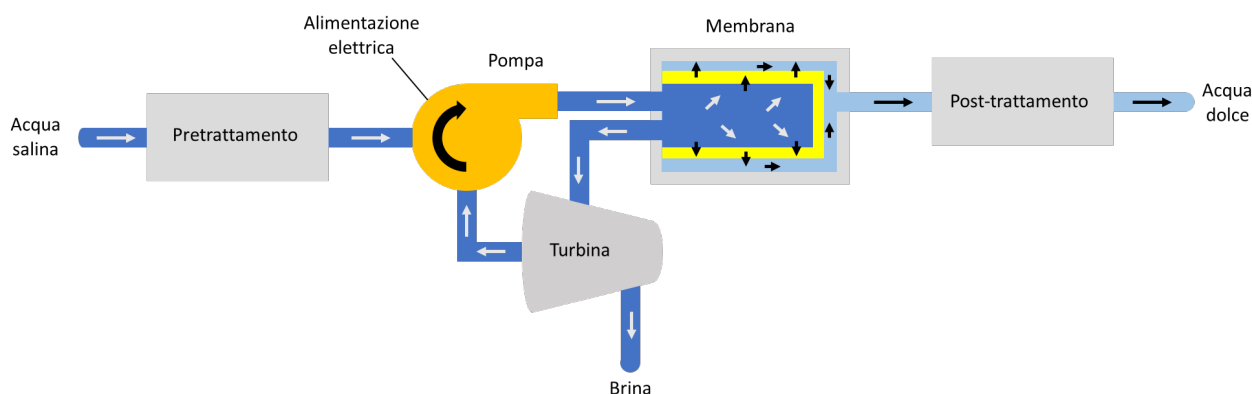


Figura 10 - Schematizzazione di un'unità di osmosi inversa (adattato da Karaghoulis 2013)

### 4.2.2 Elettrodialisi (ED)

L'elettrodialisi (Electrodialysis, ED) è una tecnologia di dissalazione nella quale gli ioni sono trasportati a pressione atmosferica da una corrente elettrica che si instaura tra le celle separate da membrane selettive alternativamente applicate agli elettrodi: i cationi andranno verso il polo negativo e gli anioni verso quello positivo. In base alla tipologia di membrana gli ioni saranno respinti o potranno passare attraverso di essa. Il principale problema di questo sistema è l'elevato consumo energetico e i relativi costi di esercizio. La capacità produttiva per i sistemi ED varia tra i 2 e i 145000 m<sup>3</sup>/giorno. In Fig. 11 è riportato uno schema di una unità di ED.

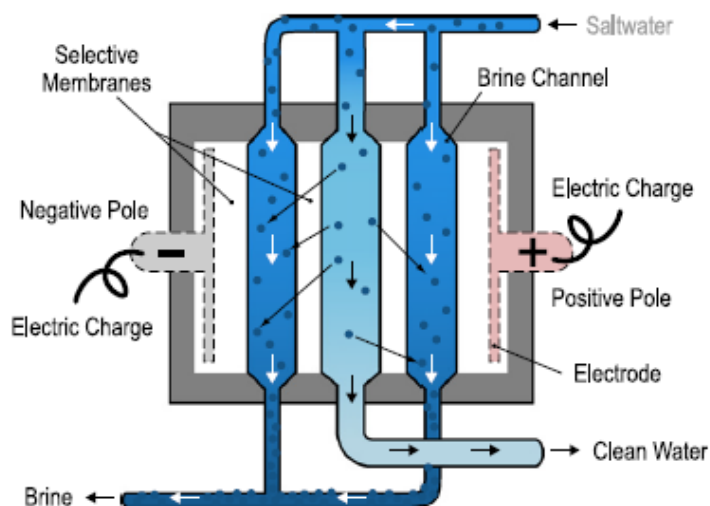


Figura 11 - Schematizzazione di un'unità di elettrodialisi (Karaghoulis 2013)

### 4.3 Confronto tecnologie

I processi di desalinizzazione fin qui elencati presentano alcuni fattori che ne limitano l'utilizzo per applicazioni relative al trattamento delle acque salmastre, come il consumo energetico, la formazione di incrostazioni e la corrosione. In ogni caso, nella scelta della migliore tecnologia da utilizzare in ambito irriguo occorre valutare diversi aspetti, tra cui:

- Quantità e qualità dell'acqua prodotta;
- Portate d'alimentazione;
- Disponibilità energetica;
- Quantità reflui concentrati rilasciati;
- Sito d'installazione;
- Costi iniziali e d'esercizio.

La sintesi delle informazioni sui diversi processi di dissalazione, con vantaggi e svantaggi di ciascuna tecnologia sono elencati in Tab VII.

Tabella VII - Peculiarità delle diverse tecnologie di dissalazione (Mohsen et al., 1999)

Tecnologia	Vantaggi	Svantaggi
<b>Distillazione flash multistadio (MSF)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta capacità produttiva</li> <li>- Flessibilità sulla salinità</li> <li>- Alta qualità del prodotto (&lt;30 ppm)</li> <li>- Basso input energetico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Richiede pretrattamento dell'acqua di feed</li> <li>- Alti costi operativi</li> <li>- Basso rapporto acqua dissalata/acqua in ingresso (30% - 40%)</li> <li>- Alti costi d'installazione</li> </ul>
<b>Distillazione multi effetto (MED)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta capacità produttiva</li> <li>- Alta qualità del prodotto (&lt;30 ppm)</li> <li>- Basso costo d'investimento</li> <li>- Facile manutenzione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tempistiche per l'installazione</li> <li>- Basso rapporto acqua dissalata/acqua in ingresso (30% - 40%)</li> <li>- Difficile controllo della qualità dell'acqua</li> <li>- La produzione dipende dalla disponibilità di energia</li> </ul>
<b>Compressione di vapore (VC)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta qualità del prodotto (20 ppm)</li> <li>- Poco ingombrante</li> <li>- Possibilità di lavorare con alti carichi</li> <li>- Produzione flessibile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alti costi operativi</li> <li>- Alto consumo energetico</li> <li>- Mancanza controllo del prodotto</li> </ul>
<b>Osmosi inversa (RO)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flessibilità nella produzione</li> <li>- Basso consumo</li> <li>- Flessibilità dimensioni impianto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassa qualità del prodotto</li> <li>- Costi d'investimento e manutenzione relativamente elevati</li> <li>- Elevate pressioni d'esercizio</li> </ul>
<b>Elettrodialisi (ED)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bassi costi di investimento</li> <li>- Bassi costi operativi</li> <li>- Alto rapporto acqua dissalata/acqua in ingresso e (80%)</li> <li>- Poco ingombrante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Richiede pretrattamento dell'acqua di feed</li> <li>- Capacità produttiva limitata</li> <li>- Purezza del prodotto dipendente dal feed</li> <li>- Capacità di lavoro fino a 3000 ppm TDS</li> </ul>

Al fine di poter scegliere la migliore tecnologia di dissalazione a scopo irriguo e per poter stimare i costi di produzione bisogna assumere alcune ipotesi di base:

- I parametri di progettazione per i vari impianti sono basati su una produttività pari a 2000 m<sup>3</sup>/giorno di dissalazione. Nel caso di impianti più piccoli il costo di produzione dipenderà principalmente dal costo dell'energia e dal costo capitali, in quanto gli altri costi sono legati alla taglia dell'impianto e ai costi di manutenzione;
- Per gli impianti che sfruttano energia termica, la produzione di vapore è considerata come costo operativo;
- Il costo stimato per la dissalazione è basato sulla vita nominale dell'impianto (circa 20 anni).



Si considera che il costo totale capitalizzato dell'impianto è la somma del costo capitale, di costruzione e di altri costi operativi (produzione vapore, energia elettrica, etc.). I risultati derivanti da queste ipotesi sono riportati in Tabella VIII (Frioui & Oumeddour, 2008).

Tabella VIII - Costi di produzione (%) delle diverse tecnologie di dissalazione per una stessa quantità di acqua trattata (2000 m<sup>3</sup>/giorno) (Frioui & Oumeddour, 2008)

Tecnologia	Costi di produzione (%)			
	Capitale	Energia	Sostanze chimiche	Altri
<b>MSF</b>	15	37	3	45
<b>MED</b>	18	29	13	40
<b>RO</b>	12	3	34	51
<b>VC</b>	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. Questi, infatti, sono gli aspetti da tenere maggiormente in considerazione nella scelta di un impianto ai fini irrigui poiché il singolo imprenditore non ha, nella maggior parte dei casi, elevate possibilità di investimento, né è in grado di sostenere elevate spese energetiche di alimentazione. Fattore che però con la diffusione e l'incentivazione del fotovoltaico possono avere un impatto inferiore.

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.

I sistemi MED e MSF, che hanno i costi energetici più elevati, sono più indicati qualora si voglia ottenere una maggiore purezza dell'acqua: per scopi irrigui questo non è necessario e potrebbe anzi essere controproducente in termini di resa delle colture. Confrontando infine i sistemi VC e RO, i costi operativi maggiori della prima tipologia sono legati alla richiesta di energia per la movimentazione dell'acqua e per la compressione del vapore. Nel caso degli impianti RO invece l'energia è principalmente necessaria alla pressurizzazione dell'acqua per il passaggio attraverso le membrane osmotiche.

Dal quadro delineato si evince che il sistema generalmente più adatto ai fini irrigui, dal punto di vista tecnico-economico, nonché da quello energetico, è quello a osmosi inversa, in quanto esso garantisce flessibilità delle operazioni e costi di investimento relativamente contenuti.

Nel paragrafo a seguire verranno mostrati nel dettaglio i costi d'investimento e i costi di esercizio di un impianto ad Osmosi Inversa per Acque Salmastre, BWRO (Brackish Water Reverse Osmosis), e alcune delle soluzioni disponibili nel mercato.

## 5. Costi di investimento e di esercizio

Per dimensionare un impianto BWRO e conseguentemente valutarne i costi d'installazione e manutenzione bisogna considerare molteplici fattori:

- Parametri qualitativi dell'acqua: alcalinità, conducibilità elettrica, SAR, ferro, sodio etc.
- Fabbisogno irriguo: può essere stimato a partire da equazioni per la stima dell'evapotraspirazione effettiva in cui entrano in gioco diverse variabili agronomiche e idrometeorologiche (coefficiente colturale, precipitazioni, coefficiente di evapotraspirazione, temperatura media, radiazione globale media, etc.).
- Aliquota del fabbisogno irriguo che si desidera soddisfare con l'acqua trattata: in molti casi infatti, non si intende soddisfare l'intero fabbisogno idrico con la risorsa non convenzionale, ma solo una parte.

Il dimensionamento dell'impianto sarà funzione dei diversi parametri elencati, in particolare nella configurazione bisognerà valutare diversi elementi costruttivi, tra cui:

- Numero di membrane (filtri RO): si differenziano in base alla propria area attiva, al flusso d'acqua, alla concentrazione dell'acqua d'ingresso e alla presenza di sistemi per il recupero di energia (ad esempio ERT *Energy recovery turbines*);
- Numero di stage (stadi): in funzione delle membrane scelte si configurano le diverse linee pressurizzate. Il numero di stage è direttamente proporzionale al fabbisogno energetico dell'impianto;
- Recipiente in pressione (pressure vessel per ogni stage);
- Condotte in pressione;
- Pompe: di estrazione, di circolazione e di pressurizzazione;
- Gruppo elettrogeno;
- Serbatoio.

I costi complessivi di un impianto di dissalazione ad osmosi inversa sono sintetizzati in Fig. 12, dalla quale emerge come il costo di realizzazione dell'impianto costituisca quasi la metà dell'investimento complessivo (che comprende tutti gli elementi costruttivi descritti in precedenza), mentre la restante parte è legata ai costi d'esercizio quali soprattutto costi energetici e di manutenzione.

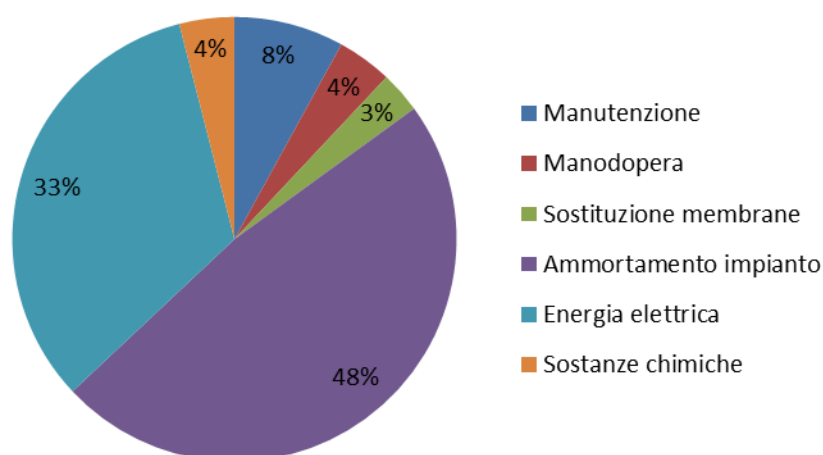


Figura 12 - Costi complessivi associati ad un impianto di dissalazione a osmosi inversa (Ncube & Inambao, 2019)

Da tali considerazioni emerge chiaramente che diversi fattori influenzano il dimensionamento e, di conseguenza, il costo totale di un impianto di dissalazione ad osmosi inversa per acqua salmastra.

A parità di produzione richiesta, il parametro che ha la maggiore influenza sul costo è il livello di salinità dell'acqua da trattare. In generale, considerando un valore di SAR compreso tra 6 e 20 (Classe II, secondo la classificazione proposta da Giardini et al. 1993) e una portata d'estrazione variabile da 1 m<sup>3</sup>/h a 10 m<sup>3</sup>/h, il costo totale dell'impianto può oscillare tra 20000 e 70000 euro.

Per quanto riguarda i costi operativi, considerando una vita utile dell'impianto di 20 anni e i range di salinità e portata menzionati in precedenza, i costi annuali possono variare tra 4000 e 7000 euro. Da qui deriva che il costo totale dipenda principalmente dalla qualità dell'acqua di alimentazione: all'aumentare della salinità complessiva, aumentano il numero di membrane necessarie e, di conseguenza, tutti gli elementi costruttivi e il costo totale, compresi quelli di manutenzione e smaltimento delle salamoie.

## 6. Gestione della salamoia

Gli impianti di dissalazione devono prevedere l'opportuno smaltimento delle acque iper-concentrate risultanti dal trattamento. Tradizionalmente, per tali impianti terrestri, la salamoia viene gestita attraverso stagni di evaporazione (*evaporation ponds*). 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 metodo richiede la disponibilità dello spazio opportuno, che potrebbe essere altrimenti destinato alla produzione. Tuttavia, dati gli impatti avversi di questo metodo di smaltimento, stanno emergendo nuove soluzioni innovative che mirano a ridurre l'impatto ambientale della salamoia prodotta tramite osmosi inversa, sia in termini di volume che di inquinamento.

Tra le tecnologie emergenti, si può annoverare la Vacuum Membrane Distillation (VMD). La VMD è un metodo evaporativo che utilizza membrane per facilitare l'interazione tra liquido e vapore. Studi condotti in questo settore hanno dimostrato una significativa riduzione del volume di acqua iper-concentrata, fino a 5,5 volte, quando si combinano i sistemi RO (Osmosi Inversa) e VMD. Tuttavia questi sistemi vengono applicati per lo più in ambito farmaceutico per la produzione di acque pure.

In linea di principio, si potrebbe seguire un approccio di Zero Liquid Discharge (ZLD): tutti i liquidi residui, inclusi quelli altamente salini o concentrati, vengono trattati e riciclati, riducendo al minimo gli sprechi e l'impatto ambientale associati alla produzione di acqua dolce da fonti salmastre o marine. Ciò però comporta maggiori costi di impianto e di esercizio.

In conclusione, il riciclo per ottenere sottoprodotti commerciali dai concentrati sarebbe l'opzione di trattamento ottimale, risolvendo così il problema ambientale legato allo smaltimento della salamoia. È evidente come la gestione della salamoia prodotta dai moderni impianti di dissalazione sia un aspetto a cui dedicare la dovuta attenzione, soprattutto quando si mira a implementare queste tecnologie su larga scala.

## 7. Costi orientativi di un impianto

I costi effettivi di un impianto possono essere stimati solo attraverso un'indagine di mercato approfondita. Se si considerano le condizioni operative seguenti:

- Portata di permeato (acqua in uscita a valle del trattamento) richiesta compresa tra 5 e 10 m<sup>3</sup>/h;
- Nessun tipo di pretrattamento, come filtrazione con filtri a sabbia e autopulenti. Questi sono necessari laddove vi sia un'acqua torbida, come però spesso avviene nel caso di acqua da

pozzi. In questo caso, si deve prevedere un pretrattamento opportuno che incrementerà leggermente il costo complessivo.

- Disponibilità di uno spazio di circa 30 m<sup>2</sup> per l'impianto
- Disponibilità di energia elettrica nel sito di installazione: in caso contrario è necessaria l'installazione di gruppi elettrogeni adatti ad alimentare l'impianto.
- Acqua da trattare mediamente salmastra (6<SAR<20): tale è infatti il range di salinità d'interesse per le acque salmastre presenti in alcune realtà imprenditoriali agrumicole, secondo i campioni di acqua raccolti ed analizzati nel pregresso progetto A.C.Q.U.A. (Agrumicoltura Consapevole della Qualità ed Uso dell'Acqua), sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania e il Distretto Agrumi di Sicilia, con il contributo incondizionato della Fondazione Coca-Cola. Nel caso di SAR minore a 5 non è richiesto un trattamento di dissalazione; viceversa, per un'acqua molto salmastra sarà richiesto un impianto con molte membrane e conseguentemente un costo decisamente più elevato.

Se si assumono tali ipotesi tecnico-operative, i costi complessivi possono oscillare tra i 40000 e i 70000 euro, IVA esclusa e senza tenere conto dei costi per l'installazione e l'avviamento dell'impianto, i quali possono variare tra 750 e 1500 euro a seconda dei fornitori.

Nel caso in cui si opti per un approccio meno impegnativo in termini di spazio necessario per l'installazione e di costi totali, un'opzione potrebbe essere quella di valutare l'utilizzo di un piccolo impianto di dissalazione con una portata di permeato pari a 1 m<sup>3</sup>/h. Sebbene tale impianto non sia in grado di coprire completamente il fabbisogno irriguo aziendale, potrebbe offrire comunque l'opportunità di migliorare notevolmente le caratteristiche qualitative dell'acqua d'irrigazione. Miscelando il permeato direttamente all'acqua d'irrigazione, si può ottenere una soluzione efficace. Un impianto di questa tipologia specifico ha un costo orientativo di 20000 euro (esclusi i costi di installazione), comportando un notevole risparmio rispetto agli impianti analizzati in precedenza.

Le aziende generalmente offrono una gamma di impianti, per diversi intervalli di portata, potenza, diametro tubazioni, peso e dimensione (Tabella IX). I modelli proposti hanno capacità produttive che vanno da 3,4 a 40 m<sup>3</sup>/h di permeato, con costi che oscillano tra 38000 euro a un 120000 euro, 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.). Tali modelli BWRO hanno capacità produttive che vanno da 3,4 a 40 m<sup>3</sup>/h di permeato prodotto e i componenti utilizzati per la realizzazione di questi impianti includono:

- Filtro a cartuccia in Poliammide (5 µm);
- Pompa alta pressione centrifuga in acciaio INOX AISI con motore in classe di efficienza 1;
- Membrane osmotiche ad alta portata e bassa pressione;
- Tubazioni, raccordi e valvole PVC-U per linee a bassa pressione;
- Tubazioni, raccordi e valvole INOX AISI per linee alta pressione;
- Membrane housing in vetroresina;
- Basamento e strutture di supporto in acciaio zincato;
- Strumentazione varia (termometri, manometri, pressostati e flussimetri ad area variabile).

Tabella IX - Caratteristiche tecniche di diversi impianti a osmosi inversa

Modello	Portata (m <sup>3</sup> /h)		Potenza (kW)	Conessioni (DN)			Peso (kg)		Dimensioni (mm)		
	Feed	Permeato	Installata	Feed	Permeato	Scarico	A vuoto	In esercizio	L	P	H
<b>A</b>	4,5	3,4	4,5	32	32	20	1000	1800	3850	1200	1950
<b>B</b>	6,7	5	6,0								
<b>C</b>	9,3	7	8,0	50	40	25	1050	2000			
<b>D</b>	12,0	9	11,5								
<b>E</b>	13,3	10	11,5	65	50	32	1100	2200			
<b>F</b>	16,0	12	15,5								
<b>G</b>	20,0	15	15,5	80	55	22	1340	3300			
<b>H</b>	29,3	22	30,5		80	40	1460	3700			
<b>I</b>	35,6	26,7	22,5	100	100	50	1580	4100	6850		
<b>J</b>	42,7	32	30,5				1700	4500			
<b>K</b>	53,3	40	37,5								

Per rispondere alle molteplici esigenze delle diverse applicazioni, tutti i modelli BWRO possono inoltre essere personalizzati e potenziati con una serie di accessori:

- Quadro di controllo e potenza;
- Filtrazione e unità dosaggio;
- Flushing system con serbatoio PEHD e valvola automatico di riempimento;
- Strumentazione di controllo su alimentazione: analizzatore potenziale redox acqua grezza, conducibilità elettrica e pH.
- Strumentazione permeato: analizzatore pH permeato e conducibilità.

Un'altra opzione è costituita da impianti preconfigurati aventi caratteristiche standard per quanto riguarda il pretrattamento e i filtri. Per una capacità di produzione di 20 m<sup>3</sup>/h, questi impianti possono avere un costo pari a 37000 euro (+ IVA).

Per quanto concerne i costi annui di gestione degli impianti di dissalazione a osmosi inversa, essi variano 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. Tuttavia è possibile fornire un'idea generale dei costi annui di gestione in base a dati stimati e medie rilevate in diversi studi. Come visto in precedenza, i costi d'esercizio sono influenzati principalmente da due fattori, ovvero dal consumo energetico e dalla sostituzione delle membrane a osmosi inversa.

1. Consumo energetico: in media, un impianto ad osmosi inversa richiede tra 3 e 5 kWh di energia per ogni metro cubo di acqua prodotta. Considerando una media di 4 kWh/m<sup>3</sup> e un permeato prodotto di 5 m<sup>3</sup>/h, il consumo energetico dell'impianto può essere stimato come segue:

$$\text{Consumo energetico} = 4 \text{ kWh/m}^3 \times 5 \text{ m}^3/\text{h} = 20 \text{ kWh/h}$$

Supponendo un utilizzo di 2 ore al giorno, il consumo energetico giornaliero può essere calcolato come segue:

Consumo energetico giornaliero =  $20 \text{ kWh/h} \times 2 \text{ ore} = 40 \text{ kWh}$  al giorno

Ter calcolare i costi energetici annuali, si può utilizzare la seguente formula:

Consumo energetico annuale =  $40 \text{ kWh/giorno} \times 365 \text{ giorni} = 14600 \text{ kWh}$  all'anno

Supponendo un costo medio dell'energia elettrica di 0,20 euro per kWh, i costi energetici annuali per l'impianto di dissalazione a osmosi inversa ammonterebbero a:

Costo annuale energetico =  $14600 \text{ kWh/anno} \times 0,20 \text{ euro/kWh} = 2920 \text{ euro}$  all'anno

Quindi, con un utilizzo di 2 ore al giorno e una portata prodotta di  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , i costi energetici annuali per l'impianto di dissalazione ammonterebbero a circa 2920 euro. Questa stima si basa su parametri standard e sul costo medio dell'energia elettrica. Occorre comunque tenere conto che, sebbene l'impianto va mantenuto attivo tutto l'anno, esso è utile solo durante la stagione irrigua (ovvero, circa 6 mesi l'anno), quindi il costo energetico, potrebbe scendere anche al di sotto dei 1500 euro. I costi reali potrebbero infine variare in base alle tariffe energetiche locali e ad altri fattori specifici dell'impianto come le perdite di pressione, l'efficienza del sistema e altri fattori.

2. Filtri RO: il ricambio dei filtri RO è previsto mediamente una volta ogni quattro anni. Anche in questo caso, la stima del costo medio annuale relativo alle membrane è fornita sulla base delle seguenti ipotesi: i) impianto a 10 membrane (costo medio cadauno di 370 euro) e ii) una vita utile dell'impianto di 20 anni. Il costo medio annuale sarà dato da:

Costo medio annuale delle membrane =  $\text{Costo totale delle membrane per 4 anni} / \text{Durata di sostituzione delle membrane}$

Costo medio annuale delle membrane =  $3700 \text{ euro} / 4 \text{ anni} = 925 \text{ euro/anno}$

Quindi, se le 10 membrane a osmosi inversa devono essere sostituite ogni 4 anni, il costo medio annuale per le membrane sarebbe di 925 euro all'anno. Questo calcolo tiene conto del fatto che tutte le membrane vengano sostituite contemporaneamente ogni 4 anni, distribuendo il costo totale su questo periodo. Anche questa stima si basa su diverse ipotesi: il prezzo potrà variare, ad esempio, in funzione del numero di membrane e dalla qualità della stessa.

I costi di esercizio, assumendo una vita utile dell'impianto pari a 20 anni, sono riassunti nella tabella X.

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

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

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

In definitiva, considerando tutti gli elementi di un impianto di dissalazione a osmosi inversa e con le ipotesi fatte, il costo medio annuale d'esercizio è pari 4735 euro, che potrebbero scendere a circa 3000 euro per l'uso non continuativo durante l'anno dell'impianto. I costi reali potrebbero inoltre tuttavia variare in base alle tariffe energetiche, alla taglia dell'impianto e ad altri fattori specifici come le perdite di pressione e il rendimento complessivo dell'opera.

## 8. Conclusioni

L'aumento delle siccità e della scarsità d'acqua dovuti ai cambiamenti climatici, insieme alle limitazioni di capacità causate di quasi degli invasi costruiti diversi decenni fa, ha suscitato un crescente interesse nell'utilizzo di risorse idriche non convenzionali. La disponibilità in diverse aziende agrumicole nel territorio siciliano di acque salmastre da pozzi e l'attuale siccità hanno incrementato ulteriormente l'interesse verso la tematica. Dalla breve analisi esposta, la desalinizzazione attraverso impianti ad osmosi inversa rappresenta una tecnologia avanzata generalmente 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 m<sup>3</sup>/h, nonché costi di esercizio annui tra 3000 e 5000 euro. La desalinizzazione, oltre ad ampliare la disponibilità delle risorse idriche tradizionali, può quindi 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.





### ***Comitato di pilotaggio***

*Distretto Produttivo Agrumi di Sicilia*

Dott.ssa Agr. Federica Argentati

Dott.ssa Vera Leotta

### ***ARCES***

Dott. Giuseppe Rallo

Dott. Dario Costanzo

### ***Stesura del dossier***



**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**



Dipartimento Ingegneria Civile e Architettura

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*

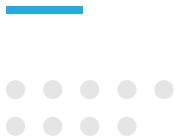
Dott. Ing. Giuseppe Longo - *Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria civile e Architettura*

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

## BIBLIOGRAFIA

- Al-Karaghoul, A.A., & Kazmerski, L.L. (2013). Energy Consumption and Water Production Cost of Conventional and Renewable-Energy-Powered Desalination Processes. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 343-356.
- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. (1994). *Water Quality for Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Revision 1, FAO, Rome, 174 pp.
- Burn, S., Hoang, M., Zarzo, D., Olewniak, F., Campos, E., Bolto, B., & Barron, O. (2015). Desalination techniques - A review of the opportunities for desalination in agriculture. *Desalination*, 364, 2–16. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.041>.
- El-Dessouky, H. T., & Ettouney, H. M. (2002). *Fundamentals of salt water desalination*. Elsevier, Amsterdam, 690pp., ISBN: 0-444-50810-4.
- FAO. 2019. *Transforming Food and Agriculture to Achieve the SDGs: 20 interconnected actions to guide decision-makers*. Rome. 74 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- Frioui, S., & Oumeddour, R. (2008). Investment and production costs of desalination plants by semi-empirical method. 223, 457–463. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.180>
- Giardini L., Borin M., Gigolo U. (1993). *La qualità delle acque per l'irrigazione*; Ed. L'informatore agrario.
- Mohsen, M.S., & Al-Jayyousi, O. (1999). Brackish water desalination: an alternative for water supply enhancement in Jordan. *Desalination*, 124, 163-174.
- Ncube, R., & Inambao, F. L. (2019). Sea Water Reverse Osmosis Desalination: Energy and Economic Analysis. *Int. J. Mech. Eng. Technol*, 10, 716-731.
- Qadir, M., Vyshpolsky, F., Mukhamedjanov, K., Bekbaev, U., Ibatullin, S., Yuldashev, T., ... & Aw-Hassan, A. (2014). Enhancing the productivity of high-magnesium soil and water resources in Central Asia. Novel measurement and assessment tools for monitoring and management of land and water resources in agricultural landscapes of Central Asia, 465-474.
- Quist-Jensen, C. A., Macedonio, F., & Drioli, E. (2015). Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse. *Desalination*, 364, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.001>
- Siebert, S., Henrich, V., Frenken, K., & Burke, J. (2013). *Update of the digital global map of irrigation areas to version 5*. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, August 2014, 171.





**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.distrettoagruidisicilia.it](http://www.distrettoagruidisicilia.it) - [info@distrettoagruidisicilia.it](mailto:info@distrettoagruidisicilia.it)

