

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

## CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

**Sviluppo di un modello di simulazione dinamica di un impianto di  
desalinizzazione ad energia solare**

**RELATORI:**

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING. MASSIMO DENTICE D'ACCADIA

**CORRELATORE:**

ING. MARIA VICIDOMINI

**CANDIDATO**

ANDREA SILVERIO

M67/126

ANNO ACCADEMICO 2017/2018

## Scopo della Tesi

Al giorno d'oggi, la desalinizzazione è diventata una soluzione conveniente per far fronte alla carenza di acqua dolce tipica di aree isolate. In determinate condizioni, quali piccole comunità come le isole del Mediterraneo, caratterizzate da un elevato livello di radiazione solare, ed una limitata disponibilità di acqua di pozzo o di acque superficiali, la desalinizzazione solare (PV-RO), può essere una tecnologia estremamente vantaggiosa sotto l'aspetto ambientale, economico ed energetico. In particolare, utilizzando la fonte solare per la produzione di acqua dissalata, si è fatto riferimento alla tecnica della dissalazione solare con osmosi inversa che ad oggi rimane fondamentale per colmare la carenza di acqua potabile in molti paesi del mondo che hanno saputo sfruttare la contemporanea presenza di un intenso livello di radiazione solare e la disponibilità dell'acqua di mare per superare questo problema. Grazie a tale tecnologia, si possono affrontare tre problemi principali: carenza di acqua dolce, impoverimento energetico fossile e degrado ambientale per le emissioni di gas a effetto serra e inquinamento da idrocarburi. In Italia, e in particolare in Sicilia, la desalinizzazione è in uso dagli anni settanta e per questo sul tema sono cresciute anche le competenze di Università e imprese. Questi impianti di desalinizzazione consentono di avere acqua ad un basso costo e, soprattutto, per 365 giorni all'anno senza incorrere in problematiche di attracco dettate dal mare poco favorevole (qualora l'approvvigionamento di acqua dolce avvenga con navi cisterna).

In questo lavoro di tesi si è analizzato un impianto di desalinizzazione ad osmosi inversa, alimentato da un campo fotovoltaico, munito di un serbatoio di accumulo a volume variabile. L'impianto è stato progettato per l'isola di Pantelleria (Sicilia) ed è stato valutato dal punto di vista economico. Nella figura 1.1 è riportato lo schema generale dell'impianto

L'acqua di mare viene prelevata da un imbocco posizionato sul fondale marino e attraversa una griglia che serve a tenere i corpi solidi macroscopici fuori dal condotto; quindi raggiunge le pompe di sollevamento e viene spinta fino al dissalatore, dove sarà soggetto a tre stadi di depurazione. Nel primo, la sabbia e i fanghi eventualmente mescolati all'acqua vengono rimossi da un apposito prefiltro o filtro autopulente, secondariamente il fluido viene indirizzato nei filtri a cartuccia, che ne catturano le polveri. A questo punto, il circuito idraulico prosegue con una pompa ad alta potenza, che aumenta drasticamente la pressione dell'acqua e la proietta verso il terzo e ultimo filtro, vero responsabile della dissalazione: il filtro a membrana. La presenza dei pannelli fotovoltaici assicura il funzionamento (in totale autonomia dalla rete elettrica) dei gruppi di pompaggio che alimentano tutte le fasi del ciclo. L'acqua pura all'uscita dal modulo di desalinizzazione verrà inviata al serbatoio di accumulo, che garantirà la richiesta di acqua quando il pannello non fornirà corrente e quindi il modulo non produrrà acqua dissalata. Il permeato viene allora trasferito dal serbatoio di accumulo

alle cisterne di miscelazione, dove vengono aggiunti ipoclorito di sodio, bicarbonato di sodio, cloruro di calcio e una piccola dose di acqua di mare proveniente dal secondo stadio di filtrazione. A questo punto l'acqua resa potabile potrà essere distribuita a tutti gli edifici di Pantelleria.

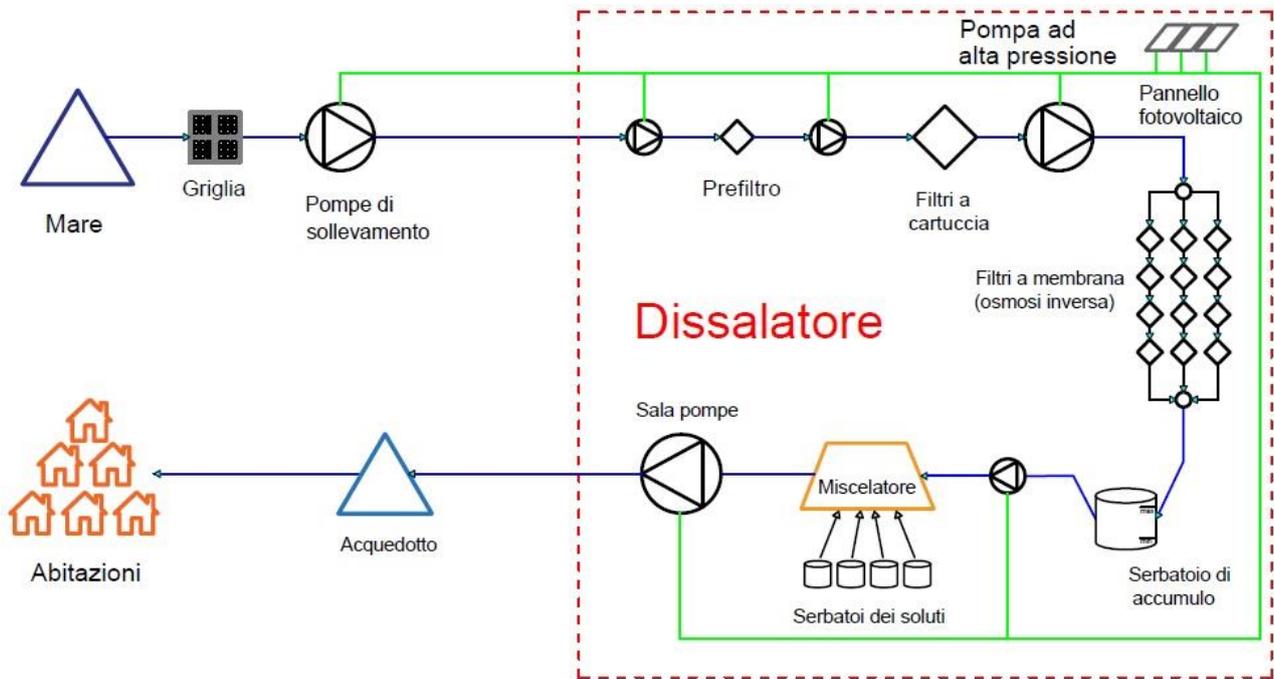


Figura 1.1: Schema generale dell'impianto (layout)

Tra i metodi a membrana il processo a osmosi inversa è applicabile nel caso di grandi impianti di dissalazione per acqua ad elevata salinità quale l'acqua di mare. In tale processo, l'acqua viene separata dalle sostanze in essa disciolte attraverso una membrana semi-permeabile (permeabile all'acqua pura, ma non alle sostanze disciolte o alle particelle colloidali), interposta tra due compartimenti: uno ad elevata salinità, l'altro a bassa salinità. Sotto l'effetto dell'alta pressione (con una pressione sufficiente a vincere la pressione osmotica) il flusso di acqua fluisce dal comparto ad elevata salinità al comparto a bassa salinità, invertendo la tendenza naturale a fluire per osmosi dal comparto a bassa salinità al comparto ad alta salinità.

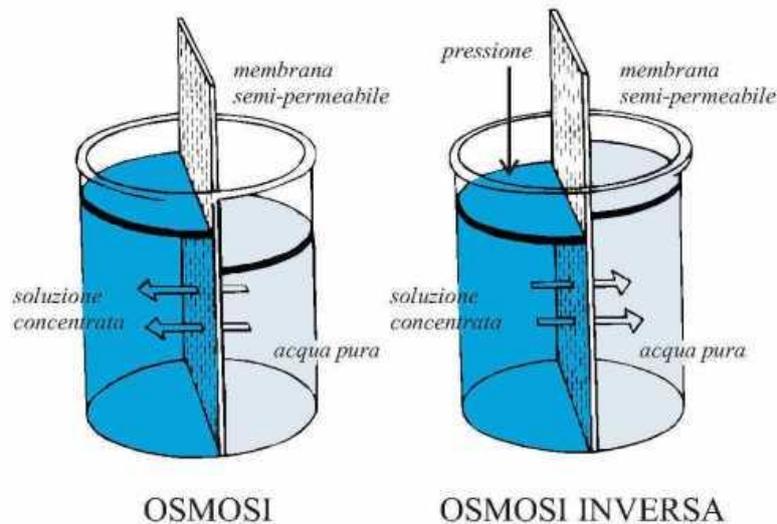


Figura 1.2: Schema del processo ad osmosi inversa (RO)

Questo schema di impianto è stato modellato e simulato in ambiente TRNSYS, per poter avere risposte in tempo reale sulle performance dell'impianto. Si tratta di un programma di simulazione dinamica pensato per l'analisi delle prestazioni di sistemi energetici. L'impianto così modellato è costituito da una serie di componenti i cui modelli matematici di base derivano sia dalla libreria standard del software TRNSYS sia da modelli elaborati esternamente e poi implementati. I componenti vengono collegati tra loro in modo opportuno, al fine di poter simulare le prestazioni e il funzionamento dell'impianto, e sono definiti tutti i parametri di input/costanti e mediante i modelli alla base di ogni componente è possibile ottenere e visualizzare in modo dinamico i parametri di output oggetto di interesse.

Il modello è costituito dai seguenti Types:

- Type 109 che legge i dati meteo da un file di input e li invia al pannello fotovoltaico
- Type 94 modella le performance elettriche di un campo fotovoltaico
- Type 39 modella il funzionamento di un serbatoio di accumulo a volume variabile

Componenti aggiuntivi (calcolatrici) sono stati implementati per modellare il funzionamento del serbatoio, ossia, l'acqua in ingresso o uscita da esso, e per eseguire un'analisi economica.

	PARAMETRO	DESCRIZIONE	VALORE	UNITA'
PV	N° STRINGHE	Pannelli piani	2000	-
	N° SERIE		2	
	AREA MODULO		1,609	m <sup>2</sup>
	INCLINAZIONE		33	gradi
	TENSIONE		30,1	Volt
	CORRENTE		6,64	Ampere
	POT PICCO		575	kW
SERBATOIO DI ACCUMULO (cls)	LUNGHEZZA	Serbatoio a sezione obbligata in cls	17,2	m
	LARGHEZZA		10	m
	ALTEZZA		3,50	m
	VOLUME		602	m <sup>3</sup>
RO	CAPACITA'	Membrane a fibre cave	766308	m <sup>3</sup> /anno
	CONSUMO SPECIFICO		3,30	kWh/m <sup>3</sup>

Figura 1.3: Parametri utilizzati nella nostra simulazione

Il modello consente di prevedere l'andamento dei principali parametri di progetto in qualsiasi momento dell'anno. A titolo di esempio prendiamo 1 giorno tipo (gennaio-luglio). Abbiamo effettuato diverse simulazioni con il software Trnsys facendo variare N\_string ovvero l'area del campo fotovoltaico e andando a diagramma la produzione dei pannelli fotovoltaici in kW con la produzione di acqua desalinizzata attraverso l'RO. Con N\_string1000 non si riesce a coprire la domanda di acqua desalinizzata, con N\_string2000 la situazione migliora e per diverse ore della giornata dalle ore 9 alle ore 17 circa, la produzione di acqua desalinizzata da RO copre la domanda e l'eccesso di acqua prodotto verrà inviata al serbatoio di accumulo e verrà sfruttata nelle ore in cui il pannello (in assenza di radiazione solare) non produrrà acqua desalinizzata. Aumentando l'estensione del campo fotovoltaico migliora la prestazione dal punto di vista del soddisfacimento della domanda ma con un costo di investimento maggiore. La situazione migliora all'aumentare di N\_string come è possibile vedere dal grafico che segue.

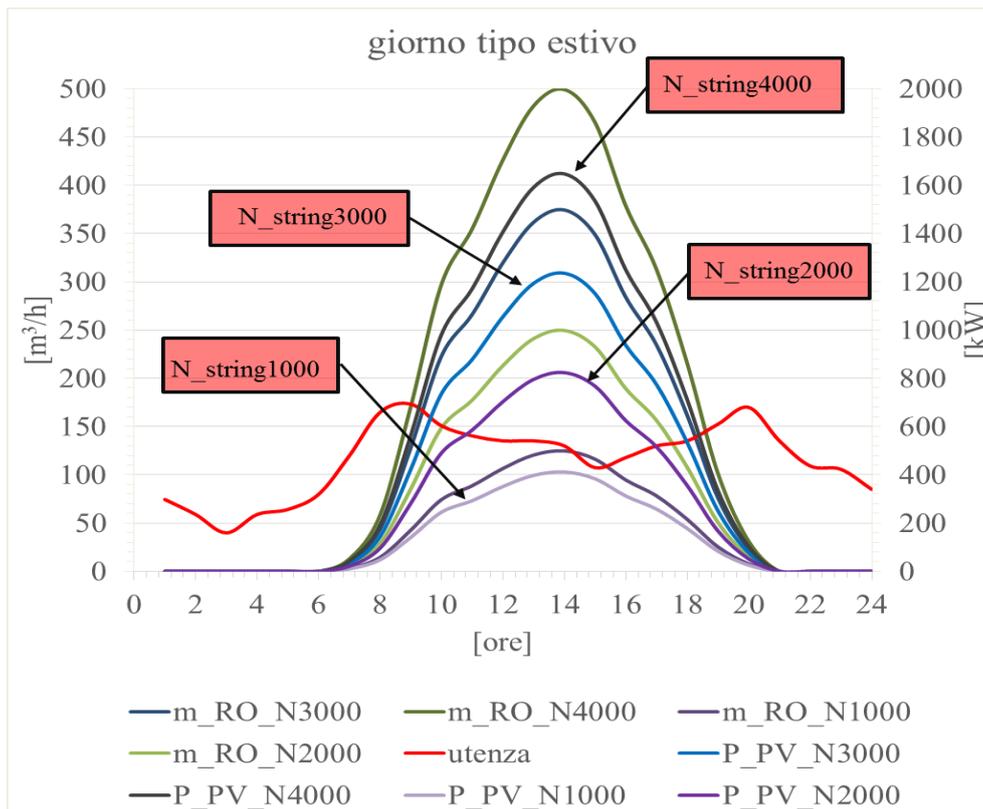


Figura 1.4: giorno tipo estivo, potenza pannello, produzione da RO

Sempre nell'ambito delle analisi dinamiche abbiamo simulato i m<sup>3</sup> di acqua desalinizzata in ingresso e in uscita dal serbatoio di accumulo, in relazione alla domanda dell'utenza sempre nella configurazione di riferimento, ovvero N\_string2000 (area del campo fotovoltaico pari a 5327 m<sup>2</sup>) e volume del serbatoio di accumulo pari a 600 m<sup>3</sup> per un giorno tipo estivo e invernale. Di seguito è riportato il grafico della configurazione di riferimento con N\_string2000 e V\_tank600. E' nota la domanda di acqua desalinizzata da parte dell'utenza, la produzione di acqua desalinizzata attraverso RO è in grado di soddisfare la domanda in una fascia oraria compresa fra le ore 9 e le ore 16 circa della giornata, ore in cui abbiamo la massima produzione del PV dovuto alla radiazione solare. Di contro nelle prime ore del mattino e dopo le 18, a causa dell'assenza della radiazione solare, la domanda di acqua desalinizzata sarà soddisfatta dal serbatoio di accumulo. Lo stesso serbatoio fungerà da accumulo quando ci sarà un eccesso di produzione di acqua desalinizzata specie nelle ore 9 e 16 circa.

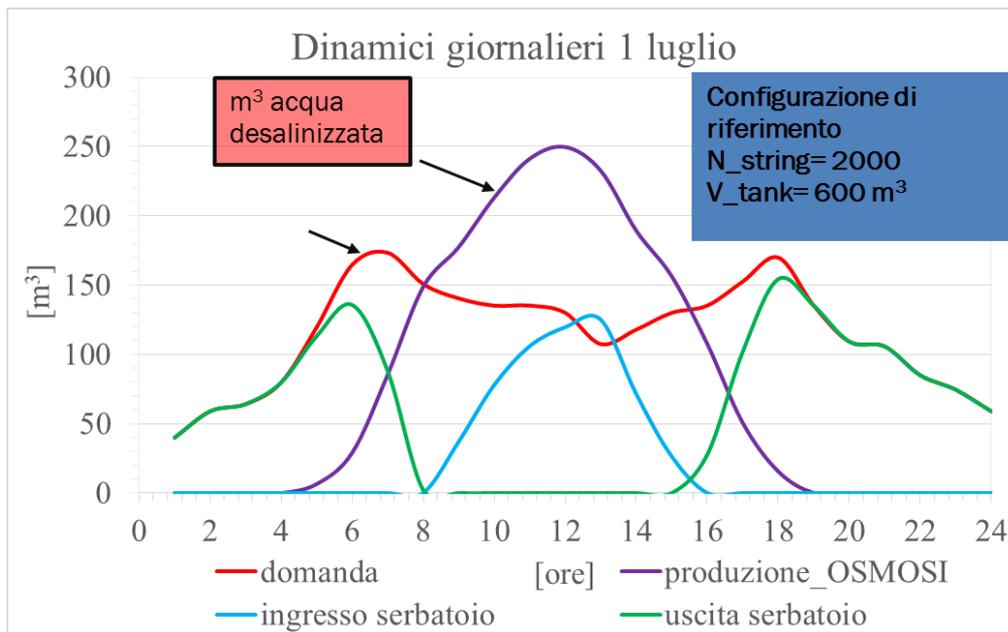
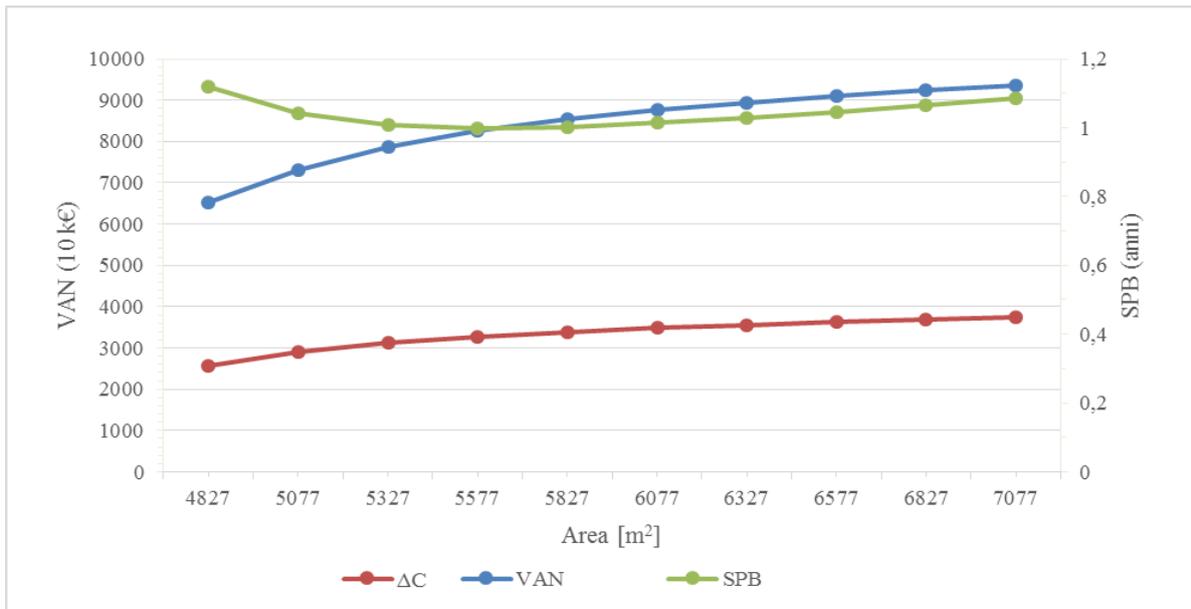


Figura 1.5: giorno tipo estivo, m<sup>3</sup> in ingresso e uscita dal serbatoio di accumulo

Una delle maggiori aleatorietà di questa analisi è il costo dell'acqua, perché se ci riferisce a zone dove sono servite dall'acquedotto benchè questo in alcuni periodi dell'anno non sia in grado di far fronte alla richiesta, il costo dell'acqua è di circa 1 €/m<sup>3</sup>, invece se ci riferisce a comunità isolate come l'isola di Pantelleria il costo arriva a 14 €/m<sup>3</sup>. Tuttavia il modello consente di sviluppare ottimizzazioni parametriche, in cui variando i dati di progetto si può osservare la corrispondente variazione della prestazione energetica e economica dell'impianto e quindi consente di scegliere la taglia ottimale di alcuni componenti. Ci siamo focalizzati sulla variazione di due parametri, il volume del serbatoio di accumulo e l'estensione del campo fotovoltaico. In figura 1.6 il SPB decrescente e si attesta intorno ad 1 anno infatti ci sono delle considerazioni da fare: se aumenta l'area del campo fotovoltaico aumenta la produzione e quindi ho un maggior risparmio economico legato al fatto che la produzione di acqua da PV-RO è più basso di 7 €/m<sup>3</sup> (condizione di riferimento); maggiore sarà l'estensione del pannello fotovoltaico maggiore sarà il costo di investimento. Il SPB poi risale, in quanto ci sarà eccedenza, perché non tutta l'energia prodotta dai pannelli viene effettivamente utilizzata, in quanto va a saturare il consumo di acqua.



In figura 1.6: andamento del SPB e del VAN al variare dell'area dei pannelli fotovoltaici.

In figura 1.7 che segue, notiamo che il SPB decresce all'aumentare del costo di acquisto dell'acqua  $\text{€}/\text{m}^3$ , con un SPB che varia tra 8 anni circa per  $1 \text{ €}/\text{m}^3$  (scenario non isolano) fino a meno di 1 anno per  $14 \text{ €}/\text{m}^3$  (scenario isolano).

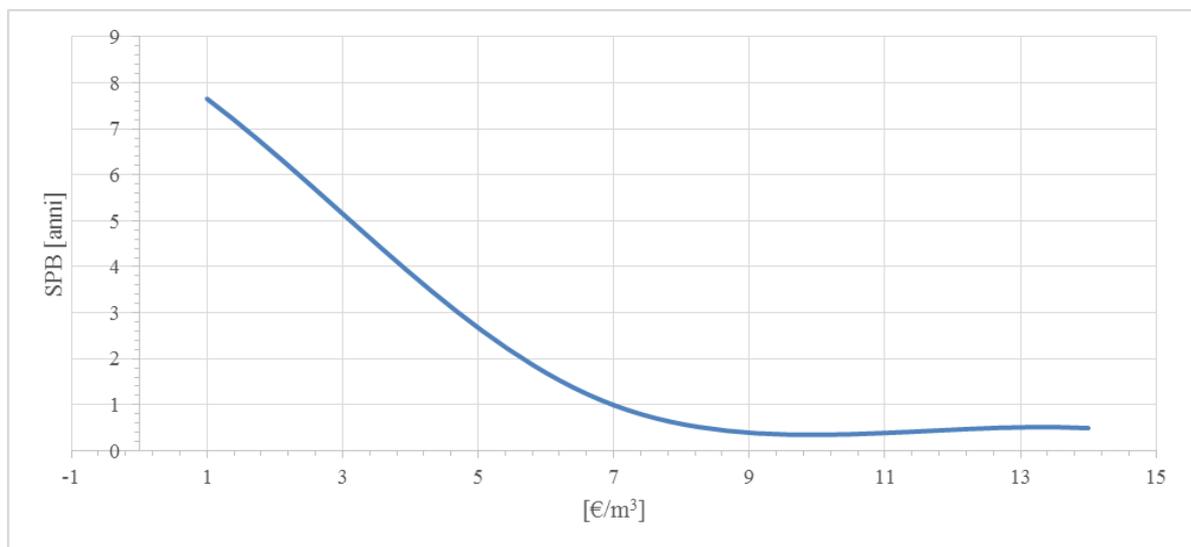


Figura 1.7: andamento del SPB in funzione del prezzo di acquisto di acqua da navi cisterna

Con la realizzazione di questo impianto di desalinizzazione ad osmosi inversa, la presenza di un campo fotovoltaico e di un serbatoio di accumulo a volume variabile, è possibile quindi coprire la domanda dell'utenza e avere acqua desalinizzata per tutto l'arco dell'anno, con un ritorno economico SPB estremamente favorevole.