

## **1. Importanza della dissalazione.**

Con il passare degli anni la richiesta di acqua dolce totale continua a crescere con un ritmo maggiore rispetto alla capacità di sfruttare l'acqua dolce disponibile in natura. Risulta quindi necessario trovare dei sistemi e dei processi efficienti e vantaggiosi che permettano di produrre acqua potabile, e quindi far fronte all'eventuale mancanza.

La disponibilità di acqua dolce nel pianeta è complessivamente scarsa. Il 97% dell'acqua totale è salata e il rimanente 3% circa è sotto forma di ghiacciai. Soltanto lo 0,4% è disponibile come acqua superficiale dolce o di falda (facilmente potabilizzabile). E' stato calcolato che l'11% della popolazione mondiale consuma l'88% dell'acqua dolce disponibile. Da questi dati si può chiaramente capire come il mare rappresenti una fonte inesauribile di acqua dissalabile e facilmente disponibile in ogni parte del pianeta. La dissalazione dell'acqua di mare, pur essendo un processo difficile e costoso, risulta essere quello più vantaggioso.

Inoltre, c'è da considerare il fatto che la popolazione mondiale è in aumento, soprattutto nelle zone geografiche più aride e con un fabbisogno di acqua più accentuato. In particolar modo la popolazione che si affaccia sul Mediterraneo è oggi di circa 170 milioni e ha già gravi problemi di carenza d'acqua. Si prevede che tale popolazione supererà i 250 milioni tra soli 10 anni, ed essendo le fonti attuali di acqua già sfruttate al massimo, gli 80 milioni di persone in più non avranno fonti di acqua da sfruttare.

Il fabbisogno di acqua pro capite è in costante aumento con la crescita del tenore medio di vita degli abitanti del pianeta. Il limite di sopravvivenza è di circa 10 litri al giorno pro capite. Tuttavia per trascorrere una vita dignitosa e confortevole, l'ONU ha dichiarato la disponibilità di 40 litri al giorno pro capite come diritto minimo dell'uomo. L'UNESCO ha invece verificato che questo quantitativo di acqua è disponibile solo per metà della popolazione mondiale. Un altro problema a cui far fronte è il fatto che in molti paesi in via di sviluppo viene consumata acqua di qualità inaccettabile, con contenuti di sale di oltre 3000 ppm, misura molto maggiore rispetto ai limiti imposti dalle organizzazioni internazionali e dalle leggi nazionali. La necessità di risolvere il problema qualitativo si va dunque a sommare al problema già presente della scarsità di acqua.

Nei paesi industrializzati il consumo individuale è di gran lunga superiore a quello medio. Per esempio nel nord dell'America si ha un consumo di 400 litri pro capite al giorno, negli USA, includendo la quota parte del consumo agricolo e industriale, si ha un consumo 6500 litri pro capite al giorno. In Italia il fabbisogno pro capite giornaliero è aumentato negli ultimi venti anni da 200 a quasi 300 litri al giorno, ma supera i 1500 litri al giorno quando si attribuisce a ogni abitante anche il consumo agricolo e industriale. La qualità dell'acqua potabile in Italia risulta essere molto buona e spesso eccellente.

La situazione italiana nel dettaglio è la seguente:

- il 48% dell'acqua dolce è utilizzato in agricoltura;
- il 19% dell'acqua dolce è utilizzato nell'industria di vario genere;
- il 14% dell'acqua dolce è demineralizzata e utilizzata nella generazione di energia;
- il 19% dell'acqua dolce è distribuita alle famiglie come acqua potabile.

Le famiglie in Italia consumano anche acque minerali imbottigliate per ulteriori 10,2 milioni di m<sup>3</sup> all'anno, pari a quasi mezzo litro a testa al giorno. Complessivamente la situazione italiana non è fra le più preoccupanti, infatti a fronte di un fabbisogno giornaliero di 1500 litri pro capite al giorno, la disponibilità attuale è di 2700 litri. Tuttavia tale disponibilità è in diminuzione e si prevede una sua discesa fino a 2000 litri nei prossimi anni; inoltre la disponibilità di acqua nel paese non geograficamente omogenea, si hanno infatti delle zone aride (circa il 30%) in cui sono già presenti problemi di scarsità d'acqua. La piovosità annua è un indice significativo di disponibilità di acqua dolce naturale. Mentre nelle regioni del nord si ha una piovosità media annua di oltre 900 mm, in alcune regioni del sud non si arriva a 600 mm.

Secondo un'opinione abbastanza diffusa fra gli esperti di meteorologia, in molte aree del pianeta si sta assistendo a dei cambiamenti climatici, che molto spesso portano ad un inaridimento delle regioni. In particolar modo queste variazioni climatiche stanno avvenendo anche nelle regioni africane affacciate sul mediterraneo (dove si perdono 3000 km<sup>2</sup> di terreno coltivabile l'anno) e si ritiene in un prossimo futuro potranno interessare anche le regioni del sud Italia. In questo ultimo caso un maggior sfruttamento delle risorse naturali non risulterebbe sufficiente per far fronte al problema, e quindi il ricorso alla dissalazione dell'acqua di mare diventerà ben presto indispensabile.

L'industria è uno dei principali consumatori di acqua sia per il processo produttivo sia per il raffreddamento dei macchinari. Spesso l'industria compete con gli utilizzi civili e potabili dell'acqua di falda e contribuisce a impoverire le fonti di approvvigionamento. La soluzione alla quale si cerca di arrivare è che l'industria si renda autonoma nei consumi di acqua, dotandosi di dissalatori propri, almeno quando l'ubicazione industriale è in prossimità del mare. L'industria è comunque più attrezzata economicamente per ammortizzare il costo degli impianti di dissalazione e in ogni caso alcuni trattamenti sono comunque necessari per portare l'acqua alle condizioni richieste per l'utilizzo. L'acqua industriale deve infatti rispondere a caratteristiche di purezza chimica superiori a quelle dell'acqua potabile.

Nei secoli passati l'agricoltura era specializzata in quelle produzioni compatibili con la piovosità e la disponibilità di acqua superficiale. Le esigenze attuali hanno reso conveniente la produzione di ortaggi che richiedono quantitativi di acqua non compatibili con le condizioni climatiche. Anche l'agricoltura entra quindi in competizione con il fabbisogno individuale e industriale per quanto riguarda l'approvvigionamento di acqua dolce dalle falde. In questi casi si possono creare delle situazioni difficili che richiedono anche interventi amministrativi. Un esempio è il caso italiano di Simeri Cricchi in Calabria, dove la nuova centrale termoelettrica della Edison è entrata in esercizio nel 2003 sottraendo 500 tonnellate l'ora di acqua dalla falda per far condensare il vapore in uscita dalla turbina, sottraendola quindi alla disponibilità agricola. Queste 500 tonnellate orarie di acqua non possono essere neanche recuperate perché disperse nelle torri di raffreddamento. La realizzazione della centrale è stata comunque autorizzata dalla regione a fronte dell'impegno della Edison a costruire e gestire a proprie spese un impianto di dissalazione dell'acqua che fornisce all'agricoltura lo stesso quantitativo di acqua consumato dalla centrale.

Un altro problema derivante dall'agricoltura è l'inquinamento delle falde provocato dall'utilizzo di fertilizzanti azotati e in particolar modo nitrati. L'acqua potabile diventa sempre più scarsa e i pozzi sempre più profondi per intercettare falde non inquinate. Attualmente in Italia si consumano circa 5700 m<sup>3</sup> l'anno per ettaro coltivato, cioè molto di più della media europea. Qualora si risparmiasse il 20% di tale consumo, l'acqua dolce risparmiata potrebbe coprire il 50% del fabbisogno totale delle famiglie.

In conclusione si può dire che dove è possibile, il processo di dissalazione può contribuire ad aumentare le risorse idriche totali e quindi diminuire i danni provocati dalla competizione triangolare fra uso potabile, industriale e agricolo. La realizzazione dell'acqua distillata è infatti molto costosa e la dove sia possibile, è preferibile integrare il suo utilizzo con altri tipi di fonti, come per esempio pozzi o invasi per la raccolta dell'acqua piovana e superficiale. L'industria dovrebbe rendersi autonoma, evitando il prelievo e realizzando sistemi di dissalatori. L'agricoltura dovrebbe attingere acqua anche dai sistemi di depurazione degli scarichi civili e quindi limitare il prelievo delle acque di falda e superficiali.

## 2. Termodinamica della dissalazione e Stato dell'Arte.

Per passare da un sistema a più elevato contenuto di entropia, che nel nostro caso corrisponde alla soluzione di acqua e sale, ad un sistema con un contenuto di entropia minore, ovvero acqua distillata e sale, richiede del lavoro il cui valore è indipendente dal particolare processo utilizzato ma dipende esclusivamente dallo stato iniziale e finale del sistema secondo la seguente trasformazione:

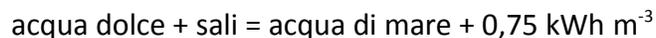


dove E corrisponde a:

- calore di dissoluzione;
- pressione osmotica;
- gradiente ebullioscopico.

Questa formula rappresenta quindi l'energia primaria necessaria alla trasformazione ed è indipendente dal particolare processo utilizzato.

La dissoluzione di sali in acqua dolce è un processo esotermico e il calore liberato può essere misurato come aumento della temperatura della soluzione. Supponendo di voler realizzare in laboratorio un campione di acqua di mare a temperatura ambiente partendo da acqua dolce e da una miscela di sali, si rileva un aumento di temperatura del campione di circa 0,64 °C, corrispondenti a circa 0,75 kWh m<sup>-3</sup>. L'equazione chimica si può quindi scrivere come segue:



Per acqua di mare a temperatura ambiente e salinità pari a 40.000 ppm, l'energia totale necessaria per dissalare sarà quindi:

$$E + E_c$$

dove

$E = 0,75 \text{ kWh/m}^3$  (differenza entropica)

$E_c =$  energia spesa per inefficienza tecnologica.

La dissalazione di  $1 \text{ m}^3$  di acqua non può quindi essere ottenuta se non spendendo almeno 0,75 kWh oltre l'energia ausiliaria richiesta dalla specifica tecnologia e quindi realizzare il processo con velocità industriale accettabile.

A livello di dissalazione industriale è possibile distinguere due tipi di processi, quello evaporativo e quello a osmosi inversa.

Il primo è storicamente quello più antico. Esso si è sviluppato a fine dell'ottocento dalla necessità della Reale Marina Britannica di dotare le proprie navi di sistemi di generazione di acqua potabile e quindi di allungare i tempi di navigazione ben oltre quei limiti che erano prima dettati dalla necessità di rinnovare le riserve di acqua potabile. Questo permetteva un vantaggio strategico non indifferente alla flotta britannica e non a caso i primi impianti di dissalazione evaporativi sono stati realizzati in a Glasgow dove operavano i principali cantieri navali britannici. In quel periodo nacque così la tecnologia flash che col tempo si è raffinata e diffusa in tutto il mondo.

L'osmosi inversa è nata intorno agli anni '50 quando gli impianti evaporativi già si stavano diffondendo con successo nel mondo. I primi studi iniziarono negli USA grazie ad una collaborazione tra le Università della Florida e della California del Sud. La sua diffusione è stata piuttosto lenta perché penalizzata dagli alti consumi dell'elettricità, dalla scarsa affidabilità degli impianti e dalla vita molto breve delle membrane. Il vero impulso all'osmosi inversa si è avuto negli anni '90 con l'invenzione dei sistemi di recupero energetico della salamoia in pressione attraverso l'applicazione di turbine sullo scarico. Successivamente sono stati introdotti sistemi più efficienti di recupero energetico ed è migliorata la qualità delle membrane. Oggi generalmente è normale prevedere consumi di  $3 \text{ kWh m}^{-3}$  anche per l'acqua di mare.

Si cerca ora di illustrare e catalogare le tecnologie e i processi utilizzati nell'ambito della dissalazione, passando da quelle più tradizionali a evaporazione e a membrana a quelle più moderne che comprendono anche processi alimentati da energia solare o da altre fonti rinnovabili. Proprio questi ultimi sono oggetto di numerosi studi da parte dei ricercatori, questo perché la coincidenza vuole che in molte aree dove si ha scarsità di acqua potabile, come per esempio Nord Africa e i paesi Arabi, ci sia un irraggiamento solare molto elevato. Inoltre c'è da considerare il fatto che i tradizionali processi di dissalazione necessitano il consumo di circa 10.000 tonnellate di petrolio l'anno per produrre  $1000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  di acqua dissalata, ciò va a incrementare il fenomeno dell'effetto serra. In aggiunta secondo le stime dell'United Nations

Organization entro il 2025 circa 1800 milioni di persone al mondo si troveranno a vivere con problemi di scarsità d'acqua, e di conseguenza la necessità di installare impianti di dissalazione tradizionali andrebbe ad aggravare ancora di più il fenomeno dell'effetto serra.

Per concludere questa prima parte, è necessario dire che le tecnologie e i processi usati nella dissalazione sono molto numerosi, ognuno dei quali è capace di adattarsi al meglio alle esigenze specifiche della zona di installazione. Nelle regioni povere e isolate, nelle quali risulterebbe difficile reperire personale qualificato, sono utilizzati processi semplici che utilizzano solamente l'energia solare come fonte di calore. Questi impianti richiedono una manutenzione molto scarsa, presentano un'affidabilità elevata e in caso di guasto possono essere riparati dalla popolazione locale senza la necessità di avere strumenti, pezzi di ricambio o conoscenze particolari. Nelle regioni più ricche e più sviluppate, dove si hanno più risorse sia a livello economico ma anche a livello di persone qualificate, vengono solitamente installati impianti tradizionali MSF e/o MED oppure impianti a osmosi inversa. I primi consentono di ottenere acqua distillata, che può essere utilizzata nelle applicazioni industriali, oppure può essere remineralizzata ottenendo così in acqua potabile di elevata qualità ma molto costosa. Gli impianti a osmosi inversa vengono invece utilizzati per produrre acqua potabile.

## 2.1 Evaporazione.

Questi impianti di dissalazione si basano principalmente sulla semplice evaporazione dell'acqua salata e sulla condensazione dell'aria umida che si viene quindi a creare. Naturalmente col passare degli anni i vari processi si sono sempre rinnovati per aumentare al massimo l'efficienza dei vari impianti. I processi più utilizzati sono il *multistage flash* (MSF) e il *multiple effect distillation* (MED). I più recenti impianti che fanno uso di queste tecnologie sono spesso costituiti da un sistema ibrido che permette di sfruttare in parte l'energia solare che viene quindi integrata con quella tradizionale elettrica o a combustibili fossili.

### 2.1.1 *Multistage Flash*.

Un impianto MSF ha una serie di stage, in ognuno dei quali è presente uno scambiatore di calore e un condensatore. In ogni stage è presente una pressione diversa in maniera tale da garantire l'ebollizione dell'acqua salata alla temperatura corrispondente.

L'acqua salata in ingresso viene fatta passare attraverso i condensatori presenti in ogni stage. In questo modo essa viene preriscaldata in quanto essa assorbe il calore dal vapore presente facendolo condensare. Dopo aver attraversato tutti gli stage ed essere stata opportunamente preriscaldata, l'acqua marina passa attraverso uno scambiatore di calore esterno, alimentato da un flusso di vapore, dove raggiunge la temperatura di saturazione, solitamente intorno ai 100 – 110 °C. Quando l'acqua marina entra nel primo stage, si trova improvvisamente in un ambiente con una pressione inferiore. La sua temperatura risulta quindi essere superiore a quella di saturazione corrispondente a quella pressione, di conseguenza una parte di acqua salata in ingresso subisce un'ebollizione molto veloce (“flashes”) e si trasforma in vapore. Il vapore che si è così formato condensa quando entra a contatto con i tubi freddi nei quali circola l'acqua marina che sta venendo preriscaldata. In questo modo viene recuperato il calore latente di condensazione. Nel frattempo l'acqua salata si ritroverà ad una temperatura leggermente inferiore e la sua salinità sarà invece aumentata. Essa passa quindi allo stage successivo il quale si trova ad una pressione inferiore e di conseguenza la sua temperatura risulta essere nuovamente superiore a quella di saturazione. Il ciclo così si ripete per ogni stage. In figura 1 viene illustrato il disegno schematico di un impianto MSF. In questo caso la fonte di calore esterna proviene da un impianto di pannelli solari.

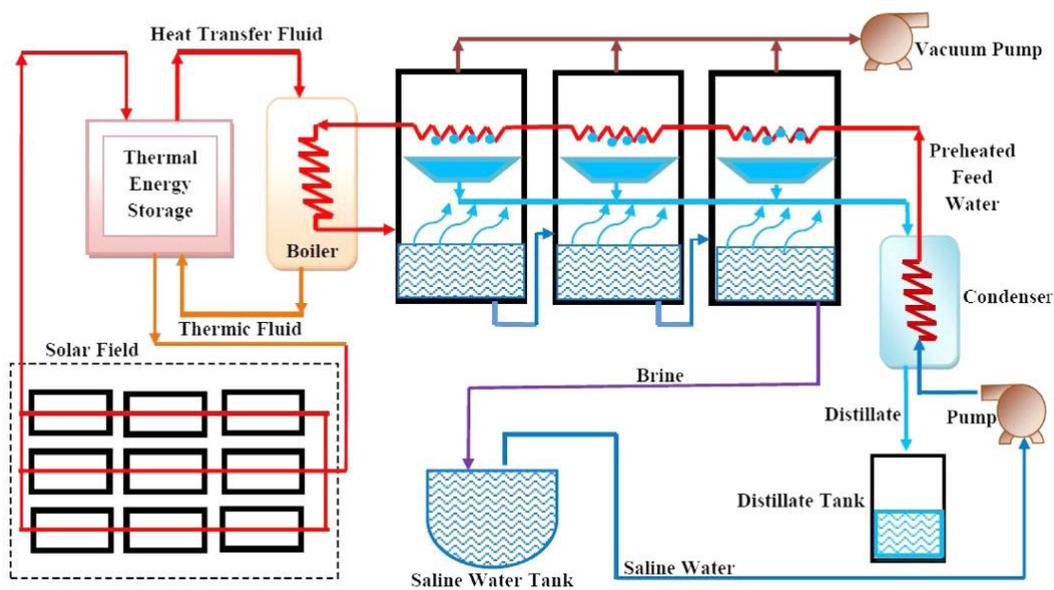


Fig. 1 Schema impianto di dissalazione MSF.

Gli impianti di dissalazione MSF integrati con pannelli solari e parzialmente alimentati dall'energia elettrica fornita dalla rete commerciale, risultano essere quelli economicamente più vantaggiosi rispetto a tutte le altre tecnologie che fanno uso dell'energia solare.

Di seguito un elenco dei principali impianti MSF:

- El Paso, Texas: Costituito dalla combinazione di un campo solare di 3355 m<sup>2</sup> e un sistema di cogenerazione, capace di produrre elettricità tramite un ciclo Rankie e acqua potabile tramite un impianto MSF di 24 stage con una produttività di 19 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>;
- San Luiz de la Paz, Mexico: Impianto MSF a 10 stage commissionato nel 1980. E' costituito da 194 m<sup>2</sup> di pannelli solari e 160 m<sup>2</sup> di pannelli solari a concentrazione, la sua produttività è di 10 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> ;
- Lampedusa: Commissionato nel 1983, costituito da 408 m<sup>2</sup> di pannelli solari, la sua produttività è di 7.2 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> ;
- Safat, Kuwait: Impianto MSF a 12 stage installato nel 1981. Esso è costituito da 220 m<sup>2</sup> di pannelli solari parabolici, la sua produttività è di 10 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>;

### 2.1.2 Multi Effect Distillation.

Gli impianti MED sono costituiti da una serie di recipienti, che vengono appunto denominati effetti, ognuno dei quali presenta una pressione inferiore rispetto a quello che lo precede. In maniera analoga agli impianti MSF è possibile fare in modo che l'acqua marina continui a bollire senza la necessità di somministrare ulteriore calore al di là del primo effetto. Nella figura 2 è illustrato lo schema di funzionamento di un tipico impianto MED in questo caso integrato da un sistema di pannelli solari. L'acqua marina viene inizialmente fatta passare attraverso un preriscaldatore, alimentato dal vapore in uscita dall'ultimo effetto. L'acqua salata viene così spruzzata all'interno dei vari contenitori dalla sommità degli stessi. In ogni contenitore è presente uno scambiatore di calore che fornisce calore all'acqua salata in ingresso nei vari effetti. Solamente il primo è alimentato da una fonte di calore esterna, negli altri passa il vapore formatosi nell'effetto precedente il quale cede calore e quindi condensa.

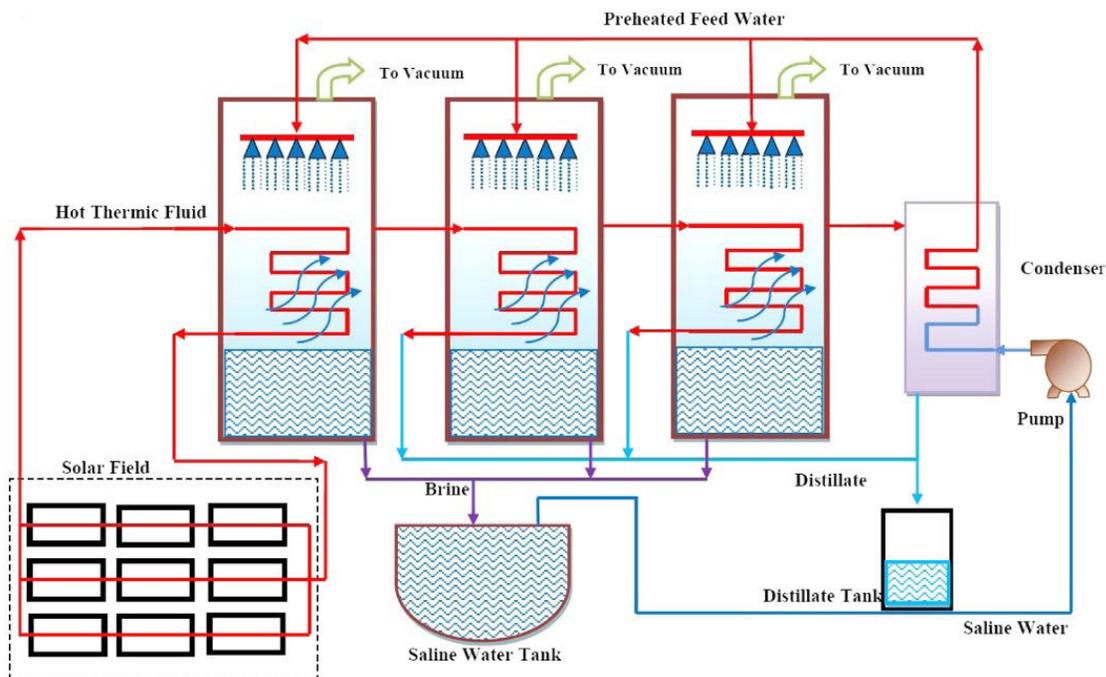


Fig. 2 Schema impianto MED.

Di seguito un elenco dei principali impianti MED:

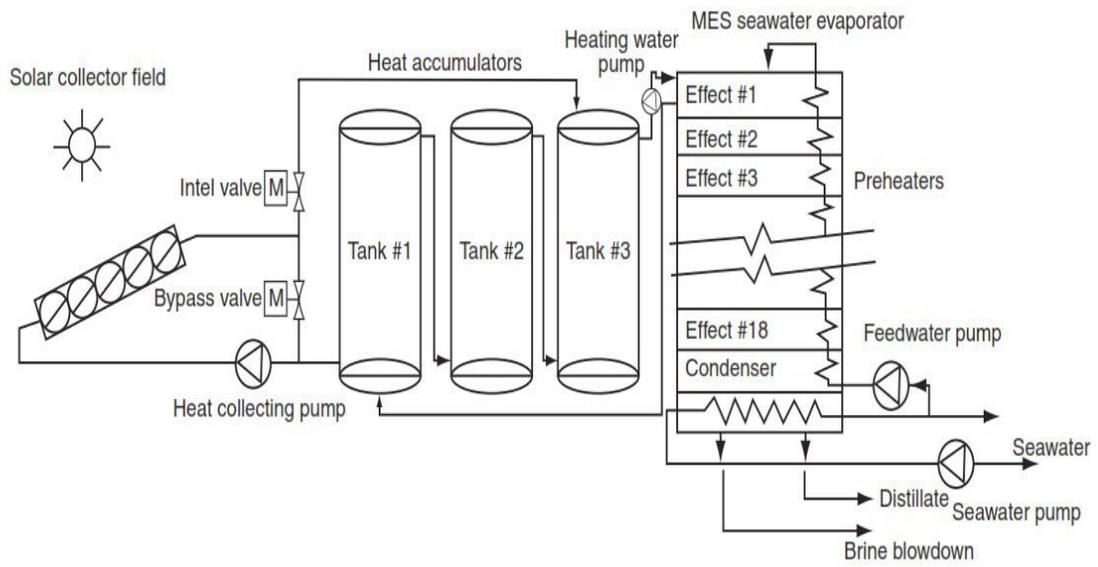
- Isola Takeshima, Japan: installato nel 1981 ha una produzione di  $10 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ ;
- Abu Dhabi, Emirati Arabi Uniti: E' probabilmente l'impianto MED più conosciuto. È

costituito da 1862 m<sup>2</sup> di evacuated-tube collectors. La sua produzione è di 80 - 120 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>;

- Plataforma Solar de Almeria, Spagna: Costituito da 500 m<sup>2</sup> di compound parabolic collectors. La sua produzione è di 3 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;
- Muscat, Sultanate of Oman: Impianto MED a 12 effetti installato nel 2002. La sua produzione è di 1 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> con nove ore di produttività giornaliera. Risulta essere un impianto piccolo ma che presenta numerose innovazioni tecniche (high temperature tubular solar collector, scale-preventing coating, device for water softening). Il consumo di energia termica è di 64 kWh m<sup>-3</sup> mentre il consumo di energia è di circa 1.4 kWh m<sup>-3</sup>.

#### *2.1.2.1 Impianto di Abu Dhabi, breve analisi.*

Questo tipo di impianto è stato commissionato nel 1984, con lo scopo di dimostrare la fattibilità tecnica ed economica di questa nuova tecnologia e garantire alle remote comunità costale in UAE l'acqua potabile necessaria. La salinità dell'acqua di mare è di 55000 ppm. Una serie di pannelli solari a tubo sottovuoto (evacuated-tube solar collector) e pannelli solari piani (plate-plate collector) con una superficie totale di 1862 m<sup>2</sup> vengono utilizzati per fornire l'energia termica richiesta dal processo MED, capace di produrre fino 120 m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup> nei mesi di febbraio, marzo, aprile, maggio, giugno, agosto, settembre e ottobre. Per assicurare la produzione di acqua per tutte le 24 ore del giorno, è stato progettato un accumulatore termico capace di soddisfare il fabbisogno energetico dell'impianto anche durante le ore della notte. L'accumulatore termico è costituito da tre serbatoi di 300 m<sup>3</sup> in acciaio al carbonio e termicamente isolati, riempiti con acqua calda. In figura 3 è presente una rappresentazione schematica dell'impianto e in figura 4 le sue caratteristiche tecniche.



Solar thermal multistack evaporator plant in Abu Dhabi [23].

Fig.3 Rappresentazione schematica dell'impianto di Abu Dhabi.

<i>Site characteristics</i>	
Annual mean solar radiation	5000 kcal (m <sup>2</sup> day)
Annual mean ambient temperature	30 °C
Average wind speed	5 m s <sup>-1</sup>
<i>MED plant</i>	
Product water capacity	80–120 m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>
Design raw water salinity	55 000 ppm TDS
Product water salinity	50 ppm TDS
Performance ratio	12.4
Number of effects	18
Number of preheaters	17
Evaporator	Horizontal tube, thin-film type
Design seawater temperature	35 °C
Heating water temperature	95–99 °C
Brine blowdown temperature	43 °C
Brine blowdown salinity	1.4 Times the raw water salinity
Specific heat consumption	43.8 kcal kg <sup>-1</sup> distillate
Hours of operation	24 h day <sup>-1</sup>
<i>Solar collector field</i>	
Solar collector type	Evacuated tube, flat plate
Total absorber area	1862 m <sup>2</sup>
Absorber area per single panel	1.75 m <sup>2</sup>
Number of collector panels	1064
System type (stand-alone grid)	Stand-alone + diesel generator
Selective coating	Absorptivity $\alpha \geq 0.91$ , Emissivity $\varepsilon \leq 0.12$
Absorber area	1.75 m <sup>2</sup>
Circulation flow rate	700–1800 l h <sup>-1</sup>
Maximum operating pressure	6 bar
<i>Heat accumulator</i>	
Type	Thermally stratified, sensible heat
Total capacity	300 m <sup>3</sup>
Number of tanks	Three cylindrical tanks in series
Accumulator fluid	Water
Tank pressure	Atmospheric pressure
Insulation type	10 cm fiber glass
Diesel generator set	50 KVA

Fig.4 Caratteristiche tecniche impianto Abu Dhabi.

Per quanto riguarda i costi di produzione dell'acqua ci si è basati sulle seguenti assunzioni economiche:

- vita degli evaporatori: 20 anni;
- vita degli accumulatori di calore: 20 anni;
- vita dei pannelli solari: 20 anni;
- tasso di interesse: 8%;
- disponibilità dell'impianto: 85% (7446 ore l'anno).

I costi di investimento sono i seguenti:

- accumulatore termico: 91 304 \$
- pannelli solari: 1 098 580 \$
- evaporatore: 299 180 \$

I costi di fabbricazione locale e i costi di installazione sono stati stimati al 30% della somma totale e quindi di \$ 446 719. I costi del trasporto marino ammontano a \$ 102 000. Per concludere il costo di investimento finale dell'impianto risulta essere di \$ 2 037 783. I costi di manutenzione e di esercizio (operation and maintenance costs) sono costituiti dalle seguenti voci:

- costi dei materiali chimici;
- costi del personale;
- costi dell'energia elettrica.

Su queste assunzioni di tipo tecnico ed economico il costo di produzione dell'acqua è di circa \$ 7 m<sup>-3</sup>.

## 2.2 Processi a membrana

Le due principali tecnologie che fanno uso di membrane per la dissalazione dell'acqua sono quella basata sul principio dell'osmosi inversa e quella basata sull'elettro-dialisi. Nel primo caso l'acqua potabile è ottenuta tramite delle particolari membrane che permettono il passaggio del solvente quando la soluzione salata è sottoposta ad una pressione superiore a quella osmotica, nel secondo caso viene applicata una differenza di potenziale che permette invece il passaggio dei soli ioni.

### 2.2.1 *Osmosi inversa (Reverse Osmosis RO).*

Gli impianti a osmosi inversa sono costituiti essenzialmente da pompe che portano l'acqua salata ad una pressione superiore a quella osmotica, e la costringono a passare attraverso una particolare membrana che consente il passaggio dell'acqua e nello stesso tempo trattiene le molecole di sale. Con un impianto RO il recupero di acqua si aggira intorno al 25-45% per l'acqua di mare e circa il 90% per l'acqua salmastra. L'energia necessaria per far funzionare il processo dipende essenzialmente dal tipo di membrane utilizzate e dalla salinità dell'acqua. Per l'acqua di mare è necessario raggiungere pressioni di 55 – 80 bar mentre per l'acqua salmastra sono sufficienti 14 – 25 bar. I principali componenti di un impianto RO sono le membrane, le pompe, le fonti di energia e i sistemi di recupero dell'acqua. In figura 5 viene illustrato il disegno schematico di un impianto a osmosi inversa, le cui celle possono essere connesse in serie o in parallelo.

Come già accennato nel capitolo introduttivo, questa tecnologia si è diffusa abbastanza lentamente a causa dei costi elevati delle membrane e per il fatto che gli impianti stessi richiedevano una manutenzione troppo frequente e quindi costosa. Solo quando il costo delle membrane si è abbassato e la loro affidabilità aumentata, questi tipi di impianto iniziarono a diffondersi fino a diventare realmente competitivi con gli impianti tradizionali quando si trovò il modo di sfruttare l'elevata pressione della salamoia di scarico, consentendo quindi un buon recupero energetico.

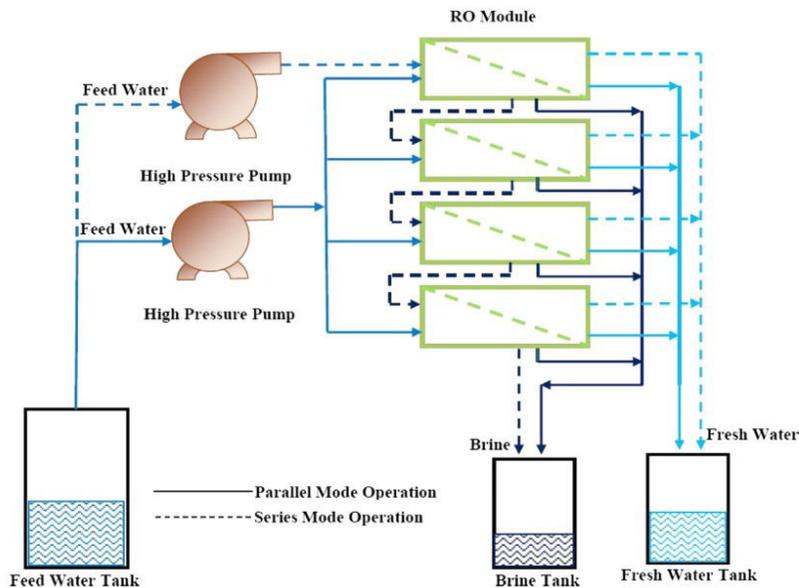


Fig. 17. Series and parallel arrangement of RO modules [137].

Fig.5 Schema impianto RO.

#### 2.2.1.1 Solar PV powered RO desalination.

In questi particolari impianti a osmosi inversa, l'energia elettrica necessaria per alimentare le pompe, viene ricavata da dei pannelli fotovoltaici. Generalmente sono costituiti anche da sistemi di immagazzinamento dell'energia elettrica in modo tale da rendere l'impianto meno sensibile ai cambiamenti climatici, e cercare quindi di mantenere una produzione il più possibile omogenea, sia dal punto di vista quantitativo che da quello qualitativo. Questa tipologia di impianto presenta numerose applicazioni grazie alla modularità, semplicità ed efficienza che lo caratterizzano.

Il più grande e famoso impianto che rientra in questa categoria è stato installato nel 1990 a Lampedusa. Il sistema è in grado di fornire acqua potabile a costi ragionevoli. Il modulo RO è costituito da due unità con una capacità produttiva totale di  $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Il sistema per l'approvvigionamento di energia è costituito da pannelli fotovoltaici di  $100 \text{ kW}_{\text{nom}}$ ,  $2 * 2000 \text{ Ah}$  a  $220 \text{ V} - 880 \text{ kWh}$  di batterie e invertitori, questi ultimi utilizzati per trasformare la corrente continua proveniente dalle batterie in corrente alternata usata dalle pompe.

Il sistema era stato originariamente progettato per produrre  $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  di acqua dissalata utilizzando come unica fonte di energia quella proveniente dai pannelli fotovoltaici. Nel 1995, dopo aver dimostrato la fattibilità e la buona riuscita dell'impianto, si decise di incorporare il sistema alla rete elettrica dell'isola in maniera tale da garantire l'output massimo indipendentemente dalle condizioni climatiche e dall'alternanza del giorno e della notte e

andare così incontro alle esigenze dell'isola.

L'acqua salata in ingresso viene pre-trattata con delle sostanze chimiche per prevenire fenomeni di incrostazione e corrosione e viene anche filtrata prima di entrare nelle pompe ad alta pressione.

La pompa ad alta pressione è una pompa a stantuffo, che include un sistema di recupero dell'energia che permette di recuperare il 15 – 20 % dell'energia consumata. L'energia richiesta dall'impianto è dell'ordine di 5.5 kWh m<sup>-3</sup> di acqua prodotta.

Il contenuto di sale nell'acqua ottenuta è inferiore a 500 ppm, in accordo con le specifiche della World Health Organization per quanto riguarda l'acqua potabile. In figura 6 sono presentate le caratteristiche tecniche dell'impianto, in figura 7 un breve schema sui costi.

---

<i>RO unit technical data</i>	
Product water capacity	3 + 2 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Feedwater type	Seawater
Product water concentration	<500 ppm
Recovery ratio	~30%
Nominal pressure	55 bar (actual)
Membranes type	Spiral wound
Number of membranes	2 membranes / vessel
Number of permeators / vessels	3 + 2 vessels
Energy consumption	5.5–6 kWh m <sup>-3</sup>
Installed power	22 + 15 kW
Hours of operation	8
Operation	Automatic
Module arrangement	One stage
<i>PSS technical data</i>	
Nominal / installed power	100 kW <sub>p</sub> PV
PV global efficiency	81%
Average wind speed	6 m s <sup>-1</sup>
System type (stand-alone/grid)	Stand-alone with network back-up
<i>Power supply system</i>	
Number of modules	2272 36 MS/C
Number of cells/module	36–5" mono square
Encapsulant	Double glass
Array voltage at maximum power	264 V
V <sub>oc</sub>	336 V
Strings	142 of 16 modules each
Subfields	2 × 15 strings, 8 × 14 strings
<i>Battery characteristics</i>	
Type of battery	Lead–acid
Capacity	2 × 2000 Ah at 220 V (DC) – 880 kWh
Maximum battery discharge	50%
Battery efficiency	80%
Type of connection	In parallel
Sizing	Capable to assure 3 days of consecutive backup of 8 h each
Nominal voltage	220 V
Inverter character	One inverter for each plant
Inlet voltage	22 V DC (20.0 minimum–27.0 maximum)
Outlet voltage	380 / 220 V AC
Wave shape	Sinusoidal
Capability	To allow easy starting of 22 kW motors

---

Fig. 6 Caratteristiche tecniche impianto PV -RO Lampedusa.

<i>Equipment</i>	<i>Cost</i>	
PV array	10 000	ECU (kW <sub>p</sub> )
Batteries	125	ECU (kWh)
RO unit	19 000	ECU (m <sup>3</sup> h)
<i>O&amp;M cost</i>		
Staff (one employee)	20 000	ECU (year)
Energy	0.7	ECU (m <sup>3</sup> )
Chemicals	0.1	ECU (m <sup>3</sup> )
Membrane replacement	0.25	ECU (m <sup>3</sup> )
Spares	0.05	ECU (m <sup>3</sup> )
<i>Electricity production cost</i>	0.7	ECU (kWh)
Total water cost	6.5	ECU (m <sup>3</sup> )

Fig.7 Costi.

Per finire in figura 8 è presente una tabella con elencati I principali impianti PV – RO per acqua salata (SW) e acqua salmastra (BW).

<i>Plant location</i>	<i>Water type</i>	<i>RO capacity</i>	<i>PV installed (Power)</i>	<i>Commissioning year</i>
El Hamrawein, Egypt	BW	10 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	~20 kW <sub>p</sub>	1986
Hassi-Khebi, Algeria	BW	0.95 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	2.6 kW <sub>p</sub>	1988
University of Almeria, Spain	BW	2.5 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	23.5 kW <sub>p</sub>	1988
Lampedusa Island, Italy	SW	3 + 2 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	100 kW <sub>p</sub>	1990
Lipari Island, Italy	SW	2 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	63 kW <sub>p</sub>	1991
Sadous Riyadh Region, Saudi Arabia	BW	600 l h <sup>-1</sup>	10.89 kW <sub>p</sub>	1994
St. Lucie, Florida	SW	0.6 m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>	2.7 kW <sub>p</sub>	1995
Gillen Bore, Australia	BW	1.2 m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>	4.16 kW <sub>p</sub>	1996
Maagan Michael, Israel	BW	0.4 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	3.5 kW <sub>p</sub> PV, 0.6 kW W/T +3 kW diesel	1997
Pozo Izquierdo, Gran Canaria Island, DESSOL	SW	3–4 m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>	4.8 kW <sub>p</sub>	1998–2000
Sadous Village, Saudi Arabia	BW	600 l h <sup>-1</sup>	10.08 kW <sub>p</sub>	2001
CREST, UK	SW	3 m <sup>3</sup> day <sup>-1</sup>	2.4 kW <sub>p</sub>	2001–02
CRES, Greece	SW	130 l h <sup>-1</sup>	4 kW <sub>p</sub> PV, 1 kW W/T	2002
White Cliffs, New South Wales, Australia	BW	500 l day <sup>-1</sup>	150 W <sub>p</sub>	2003
Aqaba, Jordan	BW	3.4 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	16.8 kW <sub>p</sub>	2004
Ksar Ghilane, Tunisia	BW	2.1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	10.5 kW <sub>p</sub>	2006
ADIRA project				
Benhssaine Morocco, ADIRA Project (Figure 15) [10]	BW	1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	4.8 kW <sub>p</sub>	2006–07
Msaim, Morocco, ADIRA project (Figures 16 and 17) [10]	BW	1 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	3.9 kW <sub>p</sub>	2006–07

Fig. 8 Elenco dei principali impianti PV – RO.

### 2.2.2 Elettrodialisi (ED).

L'elettrodialisi è un processo elettrochimico e un metodo economico per la dissalazione dell'acqua salmastra. Dato che il consumo energetico dipende dalla concentrazione di sale dell'acqua, il processo ED risulta conveniente per basse concentrazioni di sale, ovvero fino a 3500 ppm.

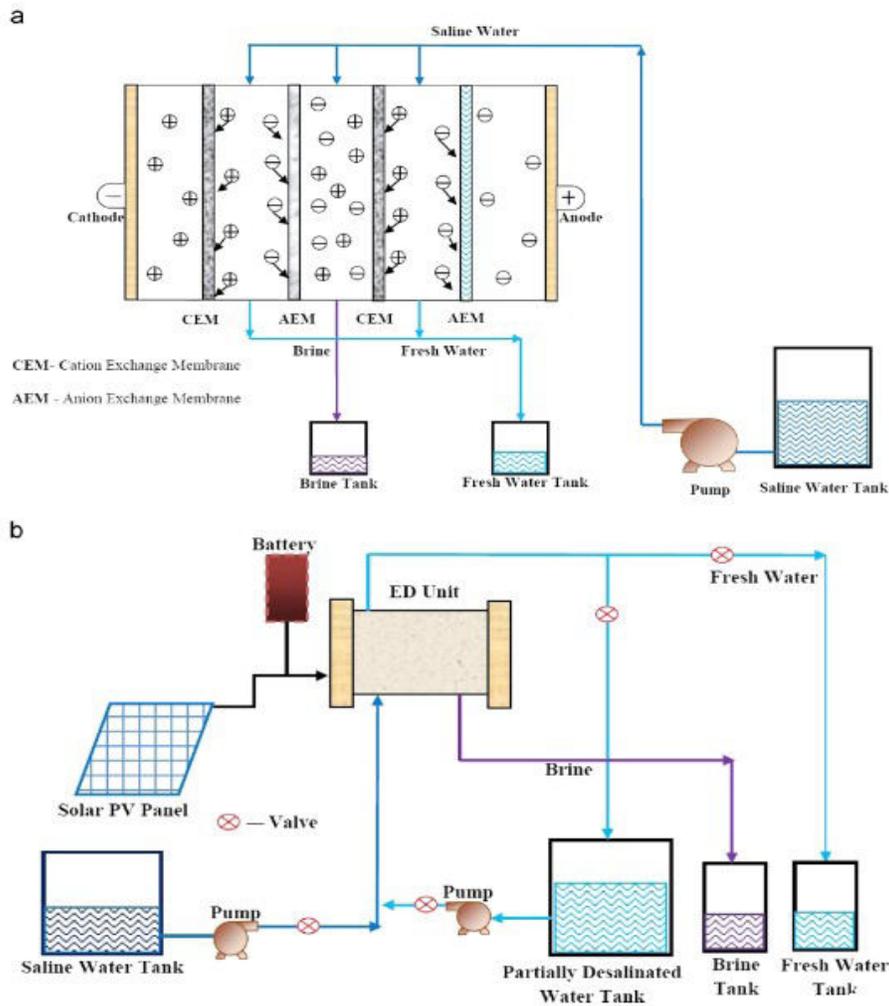


Fig.9 Schema impianto ED.

Un impianto ED è costituito essenzialmente da un gran numero di celle riempite di acqua salata e separate da membrane cationiche e anioniche. Nell'acqua salata sono disciolti i sali separati in ioni sodio positivi e in ioni cloro negativi. Quando all'estremità della cella è applicata una

corrente continua, gli ioni negativi (anioni) passano attraverso la membrana anionica e quelli positivi (cationi) attraverso la membrana cationica, entrambi attratti dall'elettrodo di carica opposta. Gli ioni vengono quindi accumulati in particolari comparti per poi essere scartati come salamoia. Circa ogni 20 minuti la polarità viene invertita per evitare che si verifichino fenomeni di decadimento di sale nelle membrane. In figura 9 una rappresentazione schematica di un impianto ED.

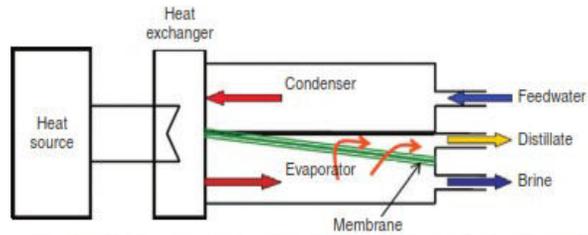
Come si può vedere dall'immagine b della figura 9 esistono impianti ED integrati da un sistema di pannelli fotovoltaici (impianti PV – ED). Di seguito un elenco dei principali impianti:

- Tanot, India: commissionato nel 1986 presenta un impianto fotovoltaico di  $450 W_p$ , l'unità ED include 3 stages, la produzione del processo si aggira attorno a  $1 m^3 day^{-1}$  partendo da acqua salmastra. Il consumo energetico è di  $1 kWh kg^{-1}$  di sale rimosso.
- Fukue City, Japan: l'impianto ED tratta un'acqua salmastra con una salinità molto bassa di circa 700 ppm, per cui il consumo energetico richiesto è piuttosto basso. Un impianto fotovoltaico di  $65 kW_p$  è sufficiente per soddisfare la richiesta energetica dell'impianto, la cui produzione media è di  $200 m^3 day^{-1}$  di acqua potabile.

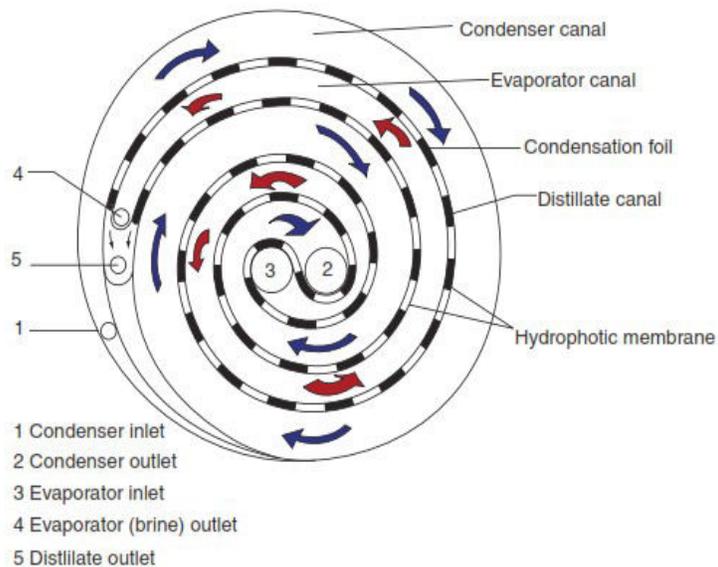
### 2.2.3 Membrane Distillation.

La distillazione a membrana (MD) rappresenta il processo a membrana che si è sviluppato più recentemente per distillare l'acqua, iniziò a diffondersi commercialmente su bassa scala solo nel 1980.

In questa tecnologia sono utilizzate particolari membrane che permettono il passaggio del vapore ma non dell'acqua. L'acqua salata in ingresso viene scaldata e fatta evaporare, questo vapore entra quindi a contatto con la membrana idrofobica che riesce quindi ad attraversarla. Dopo aver attraversato la membrana il vapore condensa perché entra in contatto con una superficie fredda. L'acqua distillata che si è così formata in seguito alla condensazione, non può tornare indietro grazie alla membrana idrofobica. In figura 10 è presente il disegno schematico che rappresenta il funzionamento del processo.



**Figure 22** Membrane distillation principle. Adapted from Fath H, Elsherbiny SM, Alaa A, *et al.* (2008) PV and thermally driven small-scale, stand-alone solar desalination systems with very low maintenance needs. *Desalination* 225: 58–69.



**Figure 23** Spiral wound MD module. Adapted from Fath H, Elsherbiny SM, Alaa A, *et al.* (2008) PV and thermally driven small-scale, stand-alone solar desalination systems with very low maintenance needs. *Desalination* 225: 58–69.

Fig. 10 Rappresentazione modulo di distillazione a membrana.

I principali vantaggi del processo MD sono la sua semplicità e la possibilità di poter operare con piccole differenze di temperatura. Come tutti i processi di distillazione, la sua richiesta di energia e la qualità dell'acqua prodotta sono indipendenti dalla qualità dell'acqua di alimento. Dato che il processo lavora a basse temperature (50 – 80 °C), l'acqua salata in ingresso può essere scaldata da pannelli solari, mentre l'energia richiesta per il funzionamento delle pompe può essere ricavato da un impianto di pannelli fotovoltaici.

Ecco le principali caratteristiche del processo MD:

- Moduli MD avvolti a spirale efficienti e compatti;
- Recupero del calore latente di condensazione integrato nel modulo;
- L'acqua di ingresso non richiede pretrattamenti chimici;
- Sistema che funziona a bassa pressione;
- Funziona bene a temperature basse di 50-80 °C, il che permette di trascurare i problemi di precipitazione;
- Produzione di acqua distillata;
- Design modulare;

Nel corso degli anni sono stati costruiti molti impianti sperimentali che stanno dando risultati incoraggianti. Uno dei più importanti è quello sviluppato dal Fraunhofer Institute, di seguito le principali caratteristiche:

- output: 10 – 30 l h<sup>-1</sup> (80 °C ingresso evaporatore, 300 l h<sup>-1</sup> portata di acqua di alimento);
- range temperature durante l'esercizio: 50 – 85 °C
- richiesta energia termica: 90 – 200 kWh m<sup>-3</sup>
- qualità dell'acqua prodotta elevata: 5 – 50 μ S cm<sup>-1</sup>
- non c'è necessità di effettuare un pre-trattamento dell'acqua.

## 2.3 Dissalazione mediante fonti di energia rinnovabile.

In questa categoria rientrano tutti quei processi che utilizzano le fonti di energia rinnovabile per dissalare l'acqua. Le energie rinnovabili più usate in questo ambito sono quella eolica, geotermica e in particolar modo quella solare, che ricopre il 57% della produzione da fonti rinnovabili.

Gli impianti e i processi tradizionali di dissalazione dell'acqua fanno utilizzo dei combustibili fossili per ricavare l'energia di cui hanno bisogno per funzionare, andando così ad incrementare il fenomeno dell'effetto serra. Basti pensare che nel mondo vengono utilizzate circa 10,000 tonnellate di petrolio l'anno per produrre  $1000 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  di acqua dolce. Ecco spiegato il motivo per il quale la dissalazione mediante fonti di energia rinnovabile è oggi oggetto di studio da parte di numerosi ricercatori. Tuttavia, questi tipi di impianti non permettono di avere una produzione elevata come quella dei processi tradizionali, ma diventano comunque competitivi nelle zone aride ed isolate dove le fonti di energia rinnovabili risultano essere davvero l'unica soluzione per attingere energia.

### 2.3.1 *Solar Still*

L'energia termica del sole viene direttamente utilizzata per far evaporare l'acqua salata o salmastra. Essi sono costituiti da un bacino in cui è presente l'acqua che si vuole dissalare. Questo bacino è coperto da una lastra di vetro in maniera tale che l'irraggiamento solare possa entrare all'interno del bacino e riscaldare l'acqua. Quest'ultima tende quindi ad evaporare e a contatto con il vetro condensa. Il vetro a una pendenza tale da permettere all'acqua di scivolare verso il basso ed essere prelevata da appositi canali. Nella figura 11 sottostante è presente un disegno schematico di un tipico solar still.

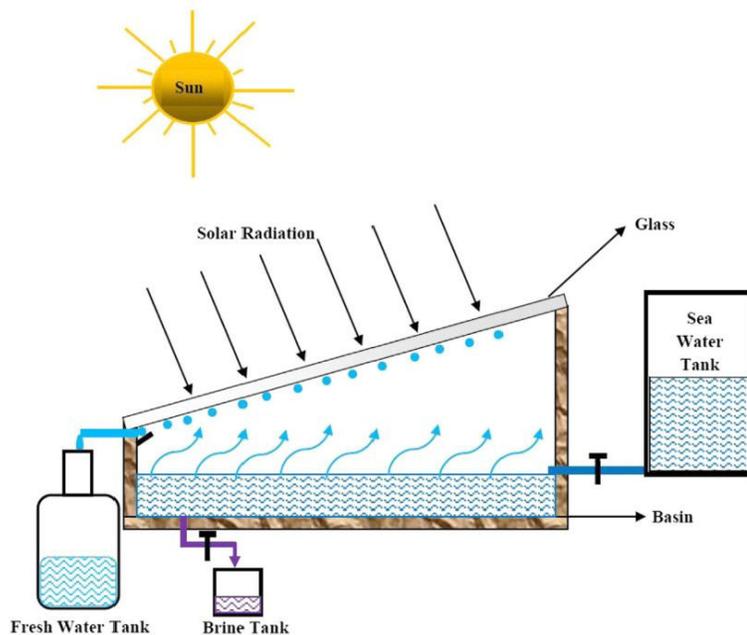


Fig. 2. Simple solar still [31].

Fig. 11 Rappresentazione schematica Solar Still.

Un impianto ben progettato può arrivare a produrre fino a  $2,5 \text{ l m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  con un'efficienza termica del 50%. I parametri che influenzano l'efficienza termica dei solar still e il loro livello di produzione sono la temperatura ambiente, l'irraggiamento termico del sito, la temperatura dell'acqua di alimento, la profondità del bacino e l'inclinazione della copertura.

Il principale vantaggio dei solar still risiede soprattutto nella sua semplicità di costruzione e nell'utilizzo di materiali a basso costo. Pure la manutenzione risulta essere molto scarsa, si limita infatti alla semplice pulizia della copertura in vetro. Tutte queste caratteristiche li rendono ideali per essere installati in zone aride ed isolate, dove l'installazione di impianti tradizionali risulterebbe svantaggiosa a causa della difficoltà di reperire personale qualificato (manutenzione, controllo di esercizio ecc.) ma anche di attingere a fonti di energia (elettricità).

Questi tipi di dissalatori sono stati installati in molte parti del mondo. Uno dei più importanti e grandi è quello installato nel 1967 nell'isola di Patmos in Grecia. Il bacino presenta una superficie di  $8640 \text{ m}^2$  e una produzione di  $26 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$  partendo da acqua di mare.

Uno dei principali svantaggi dei solar still risulta essere la bassa efficienza che assume valori in un range compreso fra il 30 – 45% con una produzione di acqua dolce inferiore a  $5 \text{ l m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ . Il motivo per cui l'efficienza risulta essere così bassa risiede proprio nell'impossibilità di recuperare il calore latente di condensazione. È stato riscontrato che la situazione che garantisce la maggiore efficienza si ha quando la copertura presenta una sola inclinazione e

quest'ultima risulta essere uguale all'inclinazione della latitudine a cui ci si trova.

### 2.3.2 Solar humidification-dehumidification-desalination (HD)

Questo tipo di processo nasce come evoluzione dei solar stills. In pratica un flusso di aria viene fatto passare attraverso un evaporatore, all'interno del quale viene spruzzata acqua salata calda. In questo modo l'umidità dell'aria aumenta notevolmente in seguito all'evaporazione dell'acqua. Il flusso d'aria passa poi a un condensatore, all'interno del quale l'umidità presente nell'aria condensa e si ottiene così l'acqua distillata.

Sono presenti quattro tipi di impianto ad umidificazione deumidificazione:

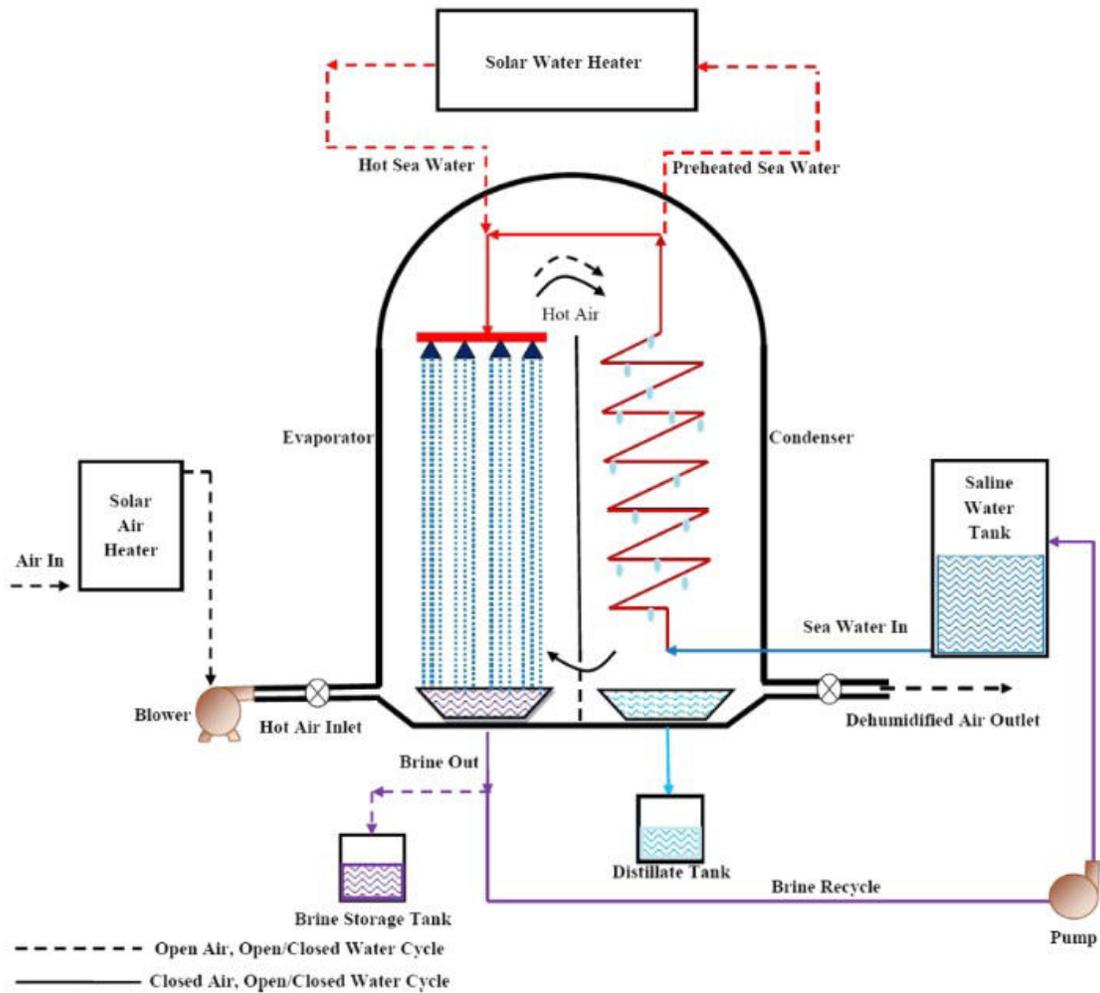
- closed air, open water cycle;
- closed air, closed water cycle (l'acqua salata di scarico viene mescolata con quella nuova);
- open air, open water cycle;
- open air, closed water cycle (l'acqua salata di scarico viene completamente espulsa).

In figura 12 è presente una rappresentazione schematica di un impianti HD closed air e open air.

Come si può vedere dalla figura, i componenti utilizzati sono un riscaldatore, un umidificatore e un deumidificatore. La tipologia HD closed air open air risulta essere la più efficiente, il costo di produzione dell'acqua si aggira attorno ai 3 – 7 USD m<sup>-3</sup>. Per garantire il massimo recupero di energia termica, esiste sempre un rapporto ottimale tra il flusso d'aria e la quantità d'acqua in ingresso all'umidificatore, in relazione alla temperatura dell'acqua in ingresso all'umidificatore e in relazione alla temperatura del condensatore. Il recupero di energia termica può essere migliorato aumentando il numero degli stage.

Il livello produttivo del processo dipende in misura maggiore dal flusso di aria e dalla temperatura dell'acqua di alimento, e può essere aumentato preriscaldando sia l'acqua che l'aria. Analisi economiche hanno mostrato che il sistema risulta essere competitivo quando viene utilizzato per un livello di produzione basso.

Fig. 12 Rappresentazione impianto HD.



### 2.3.3 Solar chimney

I solar chimney convertono l'energia termica del sole in energia cinetica dell'aria che viene a sua volta convertita in energia elettrica tramite dei turbo-generatori. Un tipico solar chimney è rappresentato in figura 13. Esso è costituito da un bacino di di forma circolare, presenta un fondo scuro ed è riempito di acqua salata. Esso è ricoperto da pannelli di vetro. L'irraggiamento solare passa attraverso la copertura trasparente, creando all'interno il fenomeno dell'effetto serra. La temperatura dell'acqua all'interno del bacino aumenta, così come la temperatura dell'aria, la quale tende quindi a risalire lungo la ciminiera, mettendo quindi in rotazione la turbina eolica presente alla base della ciminiera e che è collegata al generatore. Nello stesso momento, l'aria che tende a risalire lungo la ciminiera è a contatto con l'acqua calda del bacino che tende quindi a evaporare. L'umidità dell'aria così aumenta. L'aria umida, a contatto con una seconda lastra di vetro condensa e viene quindi prelevata acqua

distillata. Nella figura 13 sottostante è rappresentato un disegno schematico del sistema. Questo sistema sopra descritto è stato studiato tramite modelli matematici da Zuo et al. Se l'impianto opera per 8 ore al giorno, il costo di produzione dell'acqua risulta essere di 2.23 USD  $m^{-3}$ .

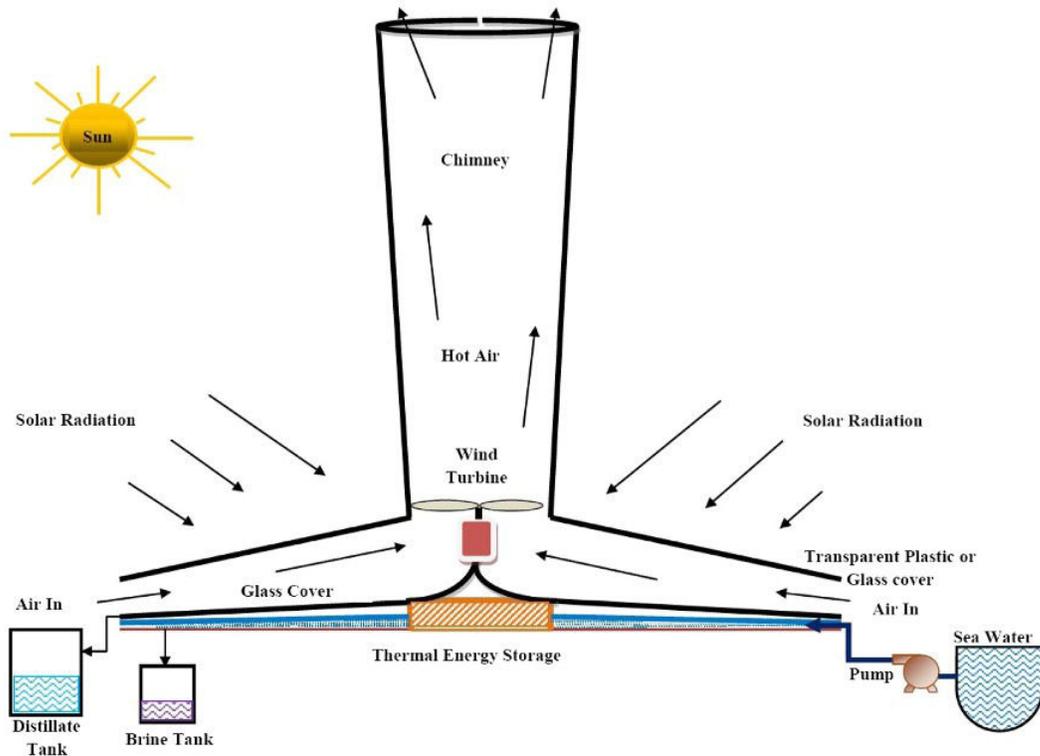


Fig. 13 Schema Solar Chimney.

Un'altra interessante variante è stata studiata da Zhou et al., la quale risulta essere molto simile a quella precedente a differenza dell'utilizzo di un condensatore ad alta efficienza posto nella sommità della ciminiera. Il suo funzionamento è facilmente intuibile dalla figura 14. In base alle varie analisi è stato riscontrato che il sistema risulta essere conveniente quando il bacino presenta un diametro di 6000 m e l'altezza della ciminiera risulta essere di 445 m.

Fig. 14

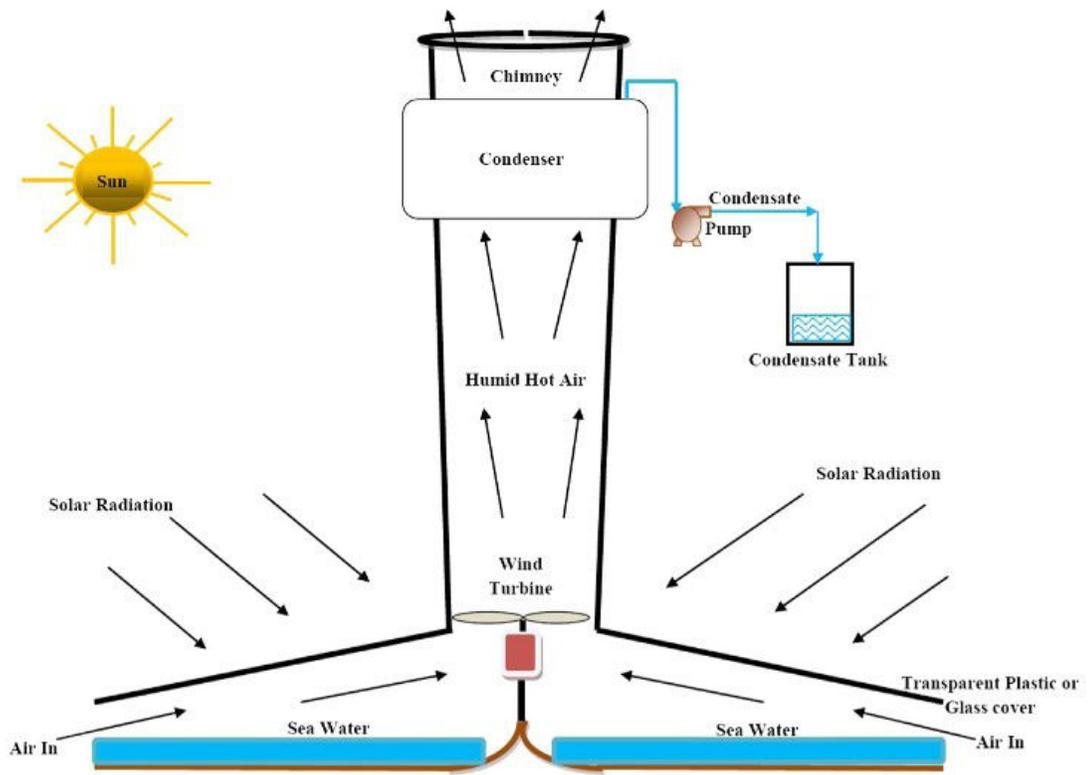


Fig. 15

### 3. Processo SDGC – Solar Desalination Geoassisted Continuous.

Questo tipo di processo si basa fundamentalmente su una fase di umidificazione e de-umidificazione dell'aria. Il sistema è capace di autoalimentarsi, sfruttando unicamente l'energia termica del sole.

#### 3.1 Descrizione dell'impianto.

L'impianto è costituito da un contenitore a forma di parallelepipedo con pareti in calcestruzzo di circa 10 cm di spessore. La superficie esterna di queste ultime è ricoperta con pannelli di poliuretano espanso per conferire una maggiore coibentazione. In questo modo gli scambi di calore con l'esterno vengono minimizzati, e almeno in prima approssimazione, il contenitore può essere considerato adiabatico. Esso viene riempito di acqua salata per circa i due terzi del proprio volume.

Nella parte inferiore, superiore e in prossimità del pelo libero, l'impianto è attraversato da tubi di alluminio corrugato (o comunque un materiale che sia un buon conduttore termico) che, come si vedrà meglio in seguito, svolgono la funzione di scambiatori di calore. In particolar modo quelli in prossimità della superficie dell'acqua sono collegati con un impianto di pannelli solari, in modo tale da poterla riscaldare. Degli ulteriori scambiatori di calore, che svolgono la funzione di assorbire calore, sono immersi ai lati dell'impianto. Anche in questo caso la loro funzione verrà vista meglio in seguito.

Tutto il contenitore è attraversato nella direzione longitudinale da un insieme di lamiere di alluminio stirato (o materiale che sia sempre un buon conduttore termico), che nella parte centrale dell'impianto sono disposte in maniera verticale, mentre si aprono a fisarmonica nella parte inferiore e superiore. L'inclinazione di queste lamiere deve essere scelta in maniera opportuna, per evitare che le gocce di distillato ricadano nell'acqua salata. Le lamiere nella parte centrale risultano essere termicamente isolate dall'acqua calda in prossimità del pelo libero. Questo che può essere quindi definito come "tunnel termico", in quanto permette al calore di passare attraverso una zona calda, svolge la particolare funzione di permettere il passaggio del calore dalla parte superiore a quella inferiore dell'impianto. Per favorire questo aspetto, ma anche per isolare l'acqua distillata sopra da quella salata sotto, e quindi evitare il mescolamento, all'interno del tunnel può essere iniettata dell'alluminio liquido. Come si vedrà meglio in seguito il tunnel termico rappresenta una zona molto critica per il buon funzionamento del processo. In figura 16-17-18 rappresentazioni schematiche dell'impianto. I pannelli di poliuretano del tunnel termico, essendo a contatto con l'acqua di mare, che presenta una discreta aggressività, necessitano di essere trattati tramite delle opportune vernici. La loro forma è anche realizzata per raccogliere al meglio l'acqua dolce proveniente dalle lamiere e convogliarla nel canale di raccolta. Questo ultimo è collegato a delle tubazioni presenti ai capi dell'impianto che permettono il prelievo del distillato.

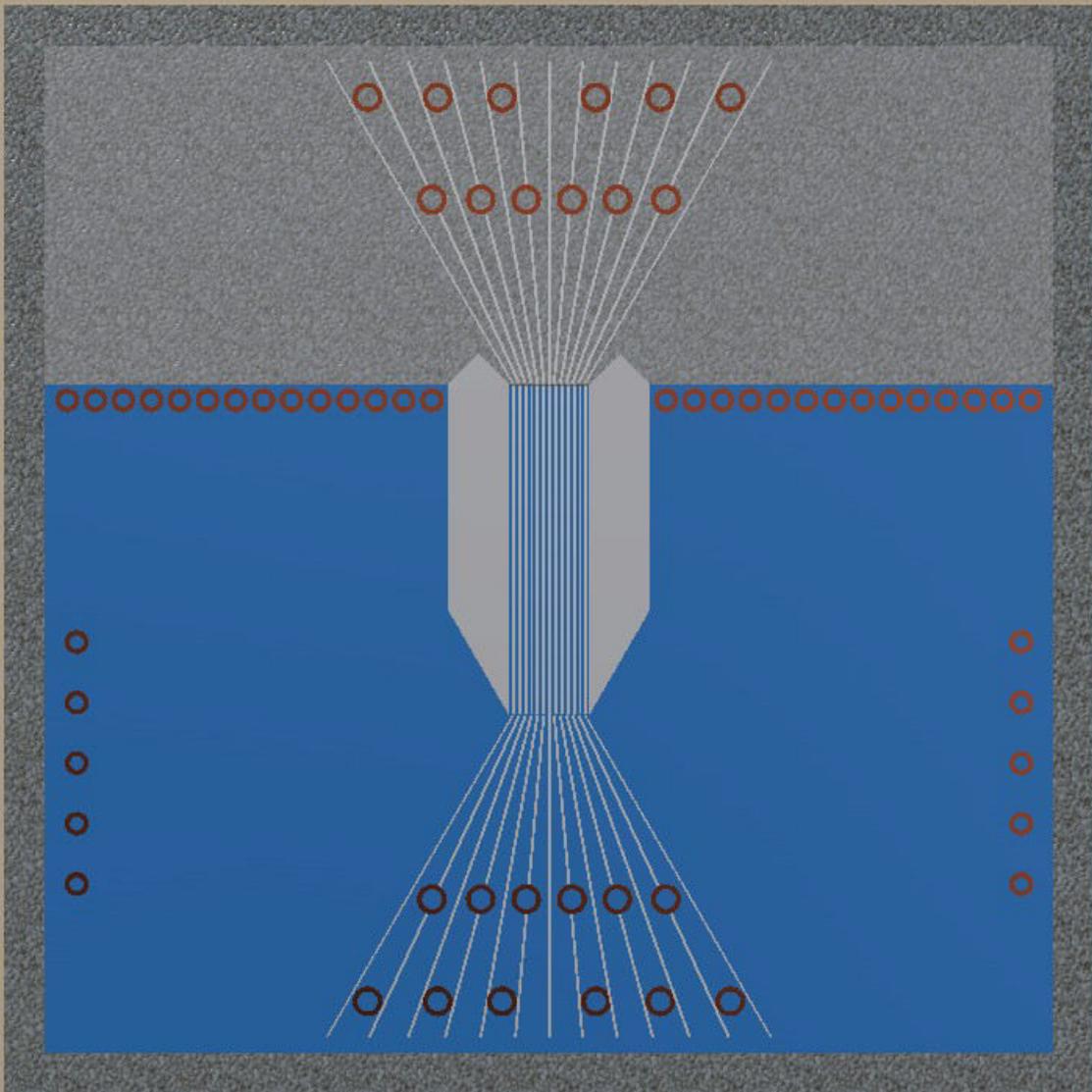


Fig. 16 Sezione impianto.

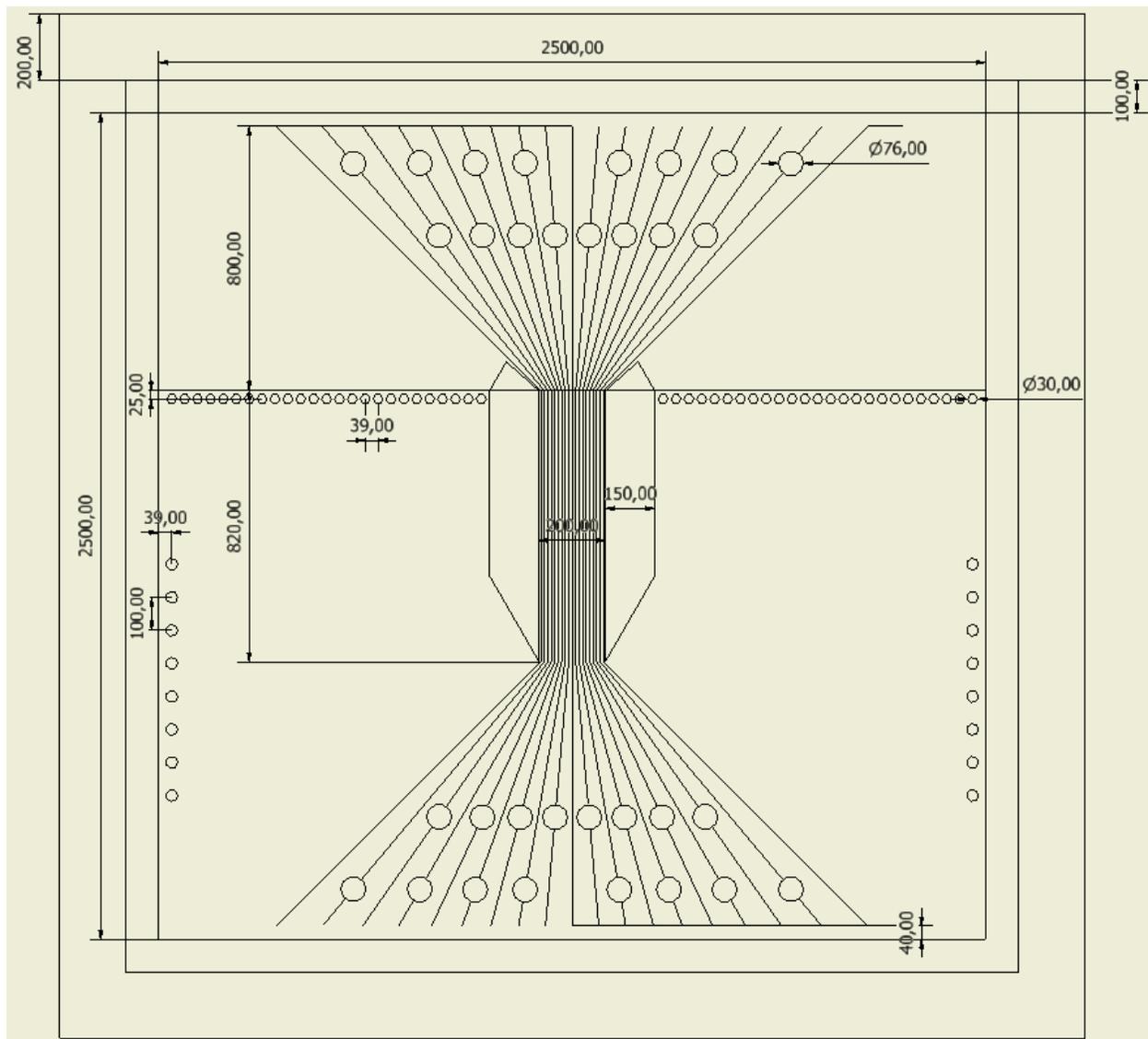


Fig.17 Sezione impianto con quote.

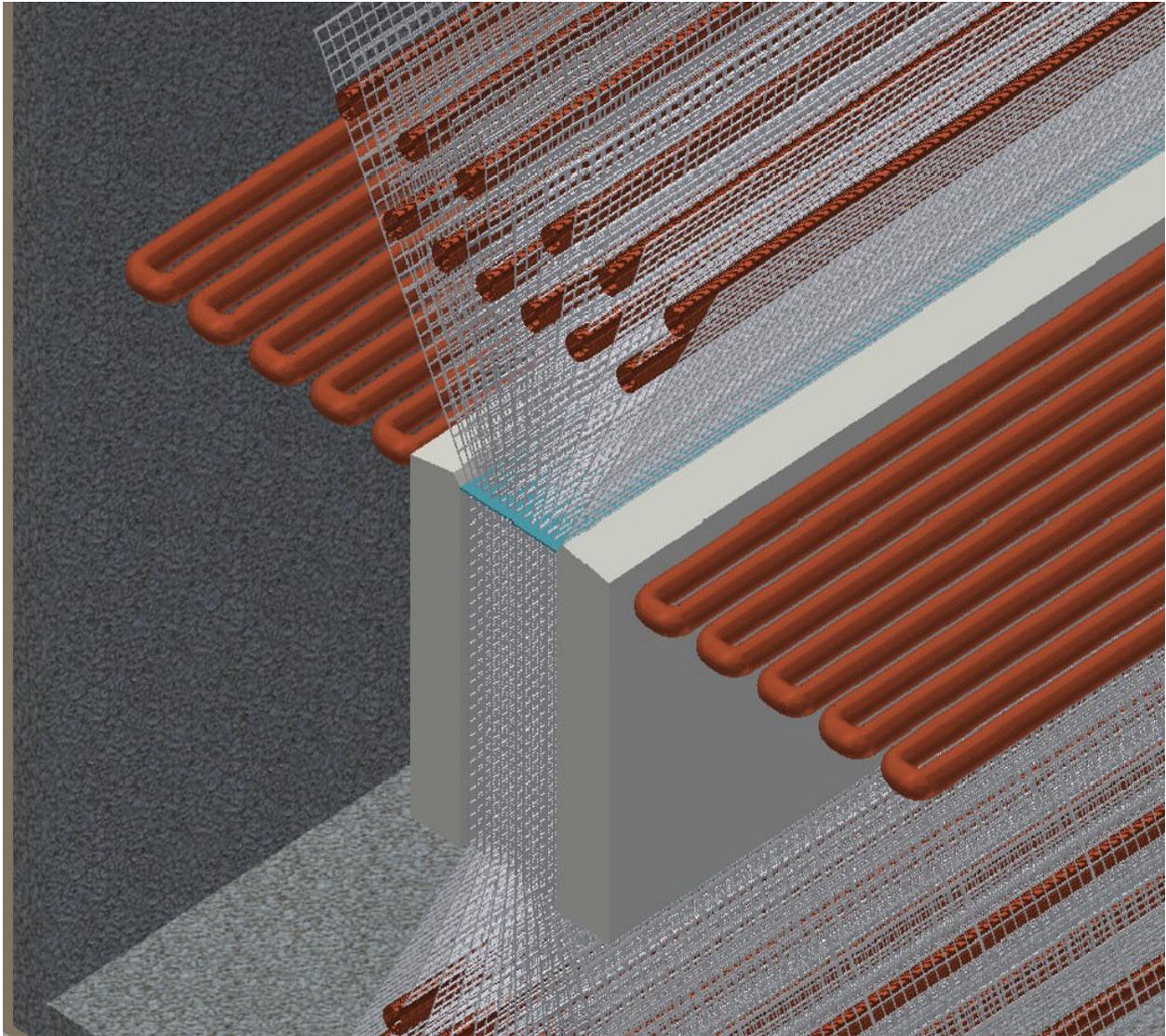


Fig. 18 Assonometria vista interna.

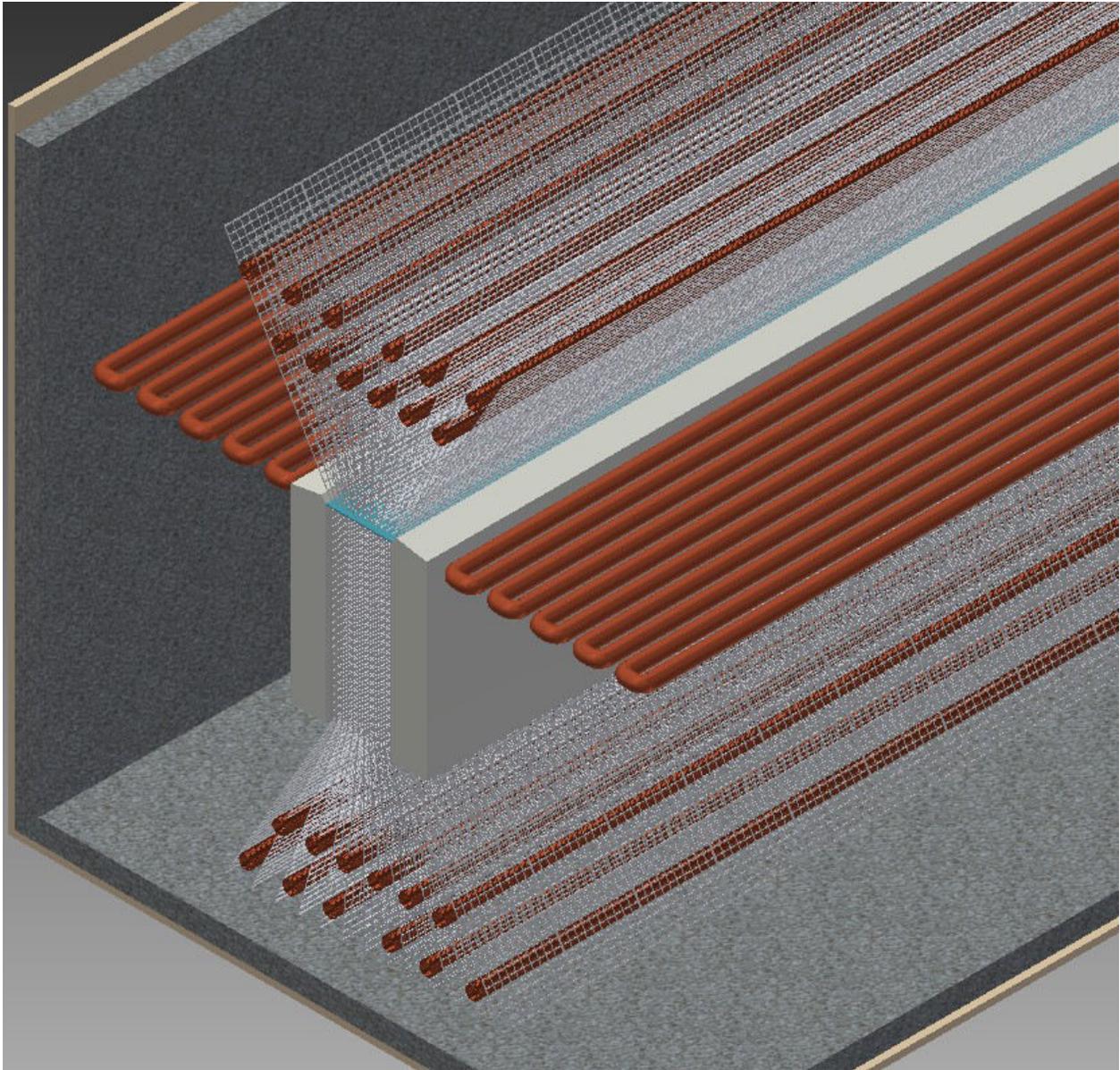


Fig. 19 Assonometria vista interna.

## 3.2 Descrizione del funzionamento

### 3.2.1 Funzionamento normale in condizione di regime.

Il radiatore in prossimità della superficie dell'acqua è direttamente collegato con i pannelli solari, riceve quindi il calore proveniente dall'irraggiamento termico solare e lo cede all'acqua salata contenuta nell'impianto. L'aspetto fondamentale è che viene riscaldata solamente la superficie dell'acqua, mentre quella sul fondo rimane ad una temperatura inferiore. È possibile considerare che in condizioni di funzionamento normale, l'acqua in superficie abbia una temperatura di circa 45 °C mentre quella sul fondo di circa 15 °C. Il gradiente termico che si viene così a creare è di fondamentale importanza, in quanto come si vedrà meglio in seguito, rappresenta il “motore” vero e proprio del processo.

La superficie di acqua calda innesca nell'aria sovrastante dei moti convettivi, di senso orario sul lato destro e antiorario sul lato sinistro. L'aria che circola secondo questi moti convettivi, nel momento in cui entra a contatto con l'acqua, ne favorisce il processo di evaporazione. In questo momento si verifica la fase di umidificazione dell'aria.

La maggior parte del calore proveniente dall'irraggiamento termico viene fornito alla parte centrale del sistema. È proprio qui che si può assistere ad una maggiore evaporazione e al movimento ascendente dei moti convettivi. L'aria umida entra ora a diretto contatto con le lamiere stirate della struttura a fisarmonica, le quali essendo a contatto con l'acqua fredda presente sul fondo, presentano una temperatura inferiore a quella dell'aria umida. Durante questa fase ascendente, si assiste quindi al processo di deumidificazione, durante il quale il vapore a contatto con le lamiere condensa sotto forma di goccioline, le quali guidate dalle lamiere stesse e spinte dalla forza di gravità arrivano fino al canale di raccolta. L'aria umida cede quindi calore alle lamiere, il quale comprende anche il calore latente di condensazione. Il calore ceduto, spinto dal gradiente termico presente fra la parte superiore delle lamiere nell'aria e quella inferiore immersa nell'acqua fredda, si dirige tramite il tunnel termico verso la parte sottostante dell'impianto. A questo punto il calore viene nuovamente ceduto all'acqua salata, e quindi completamente recuperato. Tornando all'aria umida, via via che essa cede calore alle lamiere la sua temperatura continua a diminuire, fino al punto in cui avrà raggiunto una temperatura tale che la porterà a discendere.

Se si considera invece la parte sommersa, anche qui si assiste alla formazione di moti convettivi, di senso orario sul lato destro e antiorario in quello sinistro. Nel momento in cui parte dell'acqua evapora, quella restante diminuisce di temperatura e di conseguenza tende a scendere sul fondo. Nel momento in cui entra a contatto con le lamiere, più calde rispetto all'acqua poiché ricevono il calore proveniente dalla parte superiore dell'impianto, si riscalda e tende quindi a risalire. In figura 19 è presente una rappresentazione schematica del funzionamento.

È da sottolineare l'importanza della differenza di temperatura che caratterizza le lamiere fra la parte superiore e quella inferiore. Questo aspetto è fondamentale per il funzionamento corretto del dissalatore, in quanto, determina la formazione del flusso termico (direttamente proporzionale alla differenza di temperatura stessa), il quale permette il passaggio del calore

dalla parte superiore delle lamiere alla parte inferiore. In questo modo la parte superiore delle lamiere viene mantenuta fredda (o per lo meno a temperatura inferiore rispetto all'aria) così da garantire il processo di de-umidificazione. Risulta quindi evidente come, il calore che il vapore cede alle lamiere per condensare, fluisce verso il fondo della vasca per poi essere nuovamente ceduto all'acqua. Questo fatto è di particolare importanza, poiché in questo modo, il calore latente di condensazione viene completamente riutilizzato per riscaldare l'acqua salata.

Per fare in modo che il flusso termico avvenga in maniera efficiente, è fondamentale che il gradiente termico fra parte superiore e inferiore delle lamiere sia il più elevato possibile. Per questo motivo la strato di lamiere è termicamente isolato in prossimità della superficie dell'acqua. Questa parte rappresenta infatti una zona critica: il calore tende a fluire dalla superficie dell'acqua verso le lamiere, aumentandone la temperatura. Se questa parte non fosse termicamente isolata, il gradiente termico in prossimità di questa altezza presenterebbe delle "distorsioni" che rallenterebbero il flusso termico, o nella peggiore delle ipotesi (rottura della coibentazione) il flusso termico verrebbe del tutto impedito. È evidente che in quest'ultimo caso, con l'interruzione del flusso termico attraverso il "tunnel" di lamiere, il dissalatore smetterebbe di funzionare in quanto la parte superiore delle lamiere non verrebbe più mantenuta fredda e il processo di de-umidificazione sarebbe impedito.

Nella figura 19 sotto viene presentato in via schematica il funzionamento del processo. In celeste è raffigurato il moto convettivo dell'aria umida, in marroncino il moto convettivo dell'acqua e le frecce con i contorni rossi rappresentano il percorso che effettua il calore. Come si può notare, l'utilizzo e il recupero del calore, avviene in maniera molto efficiente. Se si osserva il percorso del calore, si può capire come la quantità necessaria per il funzionamento dell'impianto sia sempre la stessa. Una determinata quantità di calore, necessaria per l'evaporazione e per l'innalzamento della temperatura, viene fornita all'aria. La stessa quantità viene ceduta alle lamiere di acciaio zincato, che torna quindi all'acqua tramite il tunnel termico, e permette al ciclo di ricominciare. Si capisce quindi come nel caso ideale in cui non ci fossero scambi con l'esterno (sia termici che di massa), il ciclo una volta avviato sarebbe in grado di sostenersi da solo senza l'apporto di ulteriore calore. È questo un aspetto fondamentale, nel senso che anche nelle ore notturne quando l'irraggiamento termico solare non è più presente, l'impianto continua a produrre proprio perché il processo è in grado di autosostenersi. Naturalmente l'energia all'interno dell'impianto col tempo diminuirà, ma si può comunque scegliere di reintrodurre una quantità necessaria tramite una pompa di calore (alimentata da batterie, caricate da pannelli fotovoltaici), o attraverso dei sistemi di immagazzinamento termico. Questa considerazione ci permette di affermare che l'impianto possa lavorare per 24 h al giorno. È chiaro quindi che l'apporto termico utilizzato nel caso reale, serve solo per compensare eventuali perdite di energia, dovute allo scambio termico con l'esterno o al fatto che il distillato prelevato non presenti una temperatura uguale alla temperatura di ingresso dell'acqua salata. In questo ultimo caso si potrebbe comunque decidere di inserire un ulteriore scambiatore di calore, costituito semplicemente da due tubi corrugati uno dentro l'altro, dove in quello esterno circola l'acqua fredda in ingresso e in quello interno l'acqua calda in uscita.

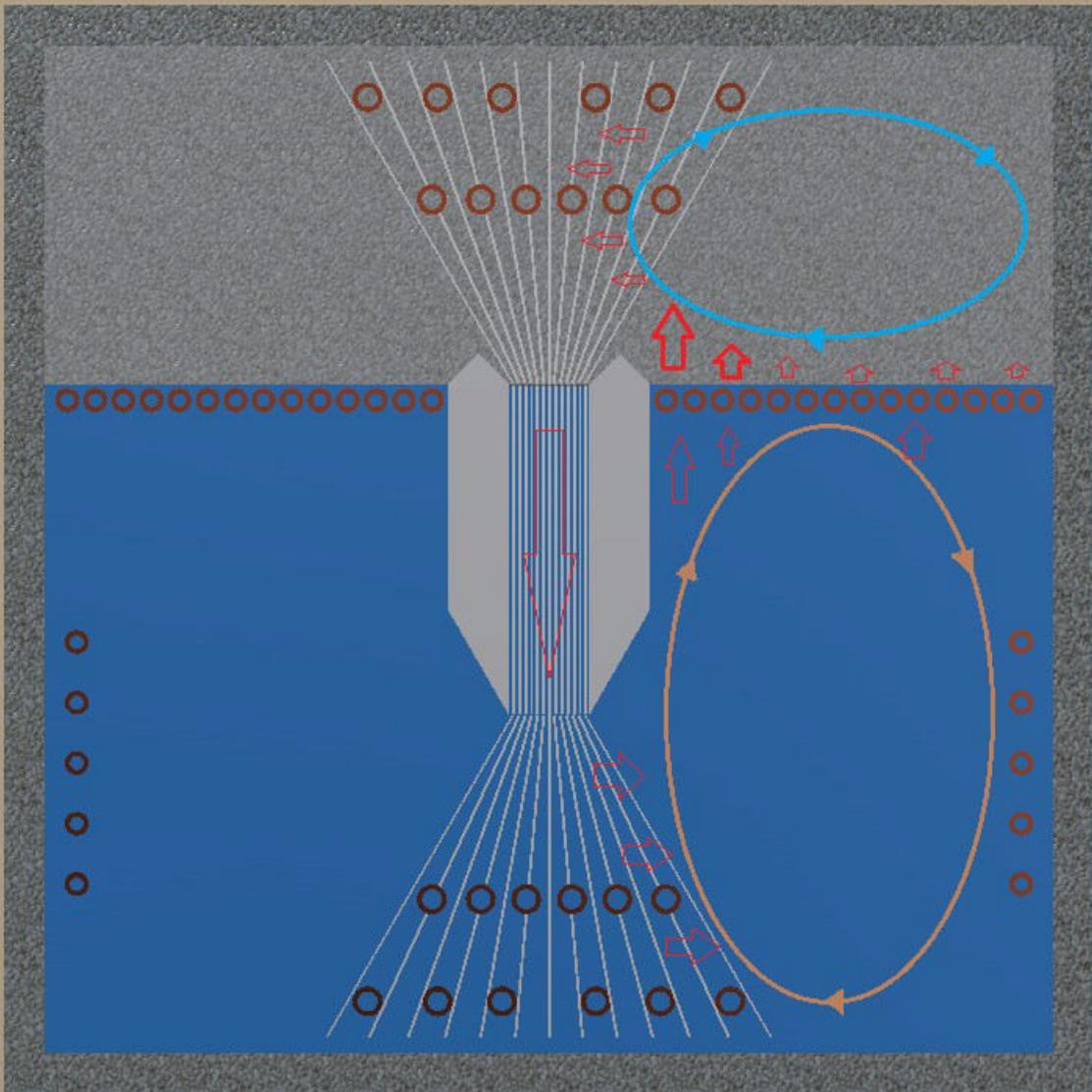


Fig. 20 Rappresentazione schematica funzionamento.

### 3.2.2 Possibili casi di funzionamento anomalo.

In questo paragrafo vengono presentati i casi di funzionamento anomalo, che si manifestano come una diminuzione dell'efficienza dell'impianto e quindi una produzione di distillato inferiore. Oltre a questo aspetto, per far fronte e quindi risolvere questi casi di malfunzionamento, si va incontro ad uno spreco di energia.

#### 3.2.2.1 Lamiere superiori con temperatura prossima a quella dell'aria umida.

In questa particolare condizione, pur essendo presente il gradiente termico fra la parte superiore e inferiore dell'impianto, le lamiere superiori presentano una temperatura prossima a quella dell'aria umida. In questo modo il processo di deumidificazione risulterebbe poco efficace. Questa situazione si viene a creare nel momento in cui il tunnel termico non risultasse sufficiente per permettere il passaggio di calore fra la parte superiore e inferiore della struttura. Se dovesse verificarsi questa situazione, verrebbe attivata una pompa (eventualmente alimentata da pannelli fotovoltaici) che permetterebbe il passaggio dell'acqua all'interno dei tubi corrugati posti sulla parte superiore e inferiore del contenitore: il calore viene assorbito nella parte superiore (a temperatura maggiore) e ceduto alla parte inferiore (a temperatura inferiore). Viene in questo modo raffreddata la parte superiore delle lamiere e il processo di deumidificazione ricomincia a funzionare in maniera efficace.

#### 3.2.2.2 Gradiente termico troppo basso.

È sicuramente questo il problema più grave che si potrebbe venire a creare. Questo caso si verifica nel momento in cui le temperature all'interno dell'impianto risultano molto simili tra di loro, se non uguali, e il gradiente termico necessario per mantenere vivo il processo risulterebbe nullo. In questo modo l'impianto smetterebbe di produrre. La differenza di temperatura fra le parti estreme della lamiera risulta essere meno marcata, e il flusso termico (direttamente proporzionale alla differenza di temperatura) risulterebbe minore.

Questa situazione di gradiente termico nullo si può avere sia a temperature elevate, ma anche a temperature basse.

Nel primo caso nel sistema è stata introdotta troppa energia termica, situazione che potrebbe verificarsi durante le stagioni calde. Si può far fronte a questo inconveniente attivando una pompa e facendo passare l'acqua presente nelle tubazioni superiori, ed in casi estremamente gravi anche nelle tubazioni laterali, in appositi scambiatori di calore, dei comuni termopozzi, capaci di disperdere il calore nel terreno. In questo modo risulta possibile disperdere il calore in eccesso e ravvivare così i gradienti termici e i moti convettivi, in modo tale che l'impianto ricominci a produrre. In alternativa il calore in eccesso può essere convogliato in appositi sistemi di immagazzinamento termico, ed essere riutilizzato quando ce ne sia bisogno.

Nel secondo caso nel sistema non si riesce a introdurre sufficiente energia termica, situazione che potrebbe verificarsi durante le stagioni fredde. Per far fronte a questo inconveniente si inserisce nell'impianto ulteriore energia termica tramite delle pompe di calore, capaci quindi di apportare l'ulteriore calore di cui l'impianto necessita e far sì che il processo ricominci a funzionare.

### 3.3 Modellizzazione matematica del processo.

Si cerca ora di trovare e analizzare le relazioni che legano i valori di ingresso con i valori di uscita. I valori di ingresso sono la quantità di calore assorbita dai pannelli solari e la quantità di acqua marina in ingresso nell'impianto. I valori di uscita sono, sicuramente la quantità di acqua distillata prodotta e, eventualmente, la quantità di salamoia scaricata.

Ipotizziamo di disporre di circa 100 kWh day<sup>-1</sup> di energia termica, sufficiente per mantenere la temperatura della superficie dell'acqua intorno ai 45 °C . Si è visto che, dato l'irraggiamento termico medio annuale a Milano (tabella 1 e 2), calcolato su base ventennale, è sufficiente un impianto di pannelli solari di circa 25 m<sup>2</sup> per disporre dell'energia termica necessaria.

Lat 45.583 Lon 9.267	Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
Media su 22 anni	1,48	2,43	3,68	4,28	5,05	5,79	5,98	5,2	3,83	2,37	1,56	1,21

Tab. 1 Irraggiamento medio mensile su superficie orizzontale espressa in kWh m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>

Lat 45.583 Lon 9.267	Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
Media su 22 anni	2,9	3,72	4,41	3,92	4,08	5,19	5,79	5,06	3,85	2,75	2,56	2,14

Tab. 2 Irraggiamento medio mensile su superficie verticale espressa in kWh m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>

Per procedere con la modellizzazione matematica ipotizziamo un funzionamento a regime, con la temperatura dell'acqua a 45 °C e quella delle lamiera a 35 °C .

All'interno del contenitore si viene a formare la pressione di saturazione, data dalla seguente formula:

$$ps = 610,5 * e^{(17,269 * t / (237,3 + t))}$$

con:

ps: pressione di saturazione;

t: temperatura.

Prima di procedere con la descrizione, è importante ricordare che lo stato dell'aria umida può essere individuato sul diagramma psicometrico (raffigurato in figura 16) quando sono note:

- l'entalpia:  $h = 1.005 * t + x * (2500 + 1,87 * t)$  ;
- umidità specifica o titolo:  $x = 0,622 * ips / (patm - ips)$  ;
- la temperatura;
- l'umidità relativa "i".

Consideriamo ora il ciclo convettivo dell'aria. Nel momento in cui si trova a contatto con la superficie dell'acqua subisce un processo di umidificazione e di riscaldamento, al termine del quale si può ipotizzare che abbia raggiunto un'umidità relativa del 100% e che la temperatura sia pressoché uguale a quella dell'acqua. Tramite le relazioni precedenti è possibile trovare lo stato dell'aria umida.

A questo punto l'aria nel suo movimento di ciclo convettivo entra a contatto con la struttura a fisarmonica. Avviene così il processo di raffreddamento e quindi di de-umidificazione. Si può ipotizzare che alla fine di tale fase la temperatura dell'aria sia prossima a quella dei pannelli di alluminio.

L'aria umida esce dal processo di umidificazione con i seguenti valori:

- umidità relativa  $i = 100\%$  per ipotesi;
- temperatura  $t = 45\text{ °C}$  per ipotesi;
- pressione di saturazione  $p_s = 9576\text{ Pa}$ ;
- titolo  $x = 64,92\text{ g kg}^{-1}$  di aria secca;
- 

L'aria umida esce poi dal processo di de-umidificazione con i seguenti valori:

- temperatura  $t = 35\text{ °C}$  per ipotesi;
- umidità relativa  $i = 100\%$  per ipotesi;
- pressione di saturazione  $p_s = 5619\text{ Pa}$ ;
- titolo  $x = 36,5\text{ g kg}^{-1}$  di aria secca.

In questo modo la produzione di acqua distillata è data dalla differenza di titolo, ovvero vengono prodotte circa 28,42 g di acqua distillata per ogni kg di aria secca.

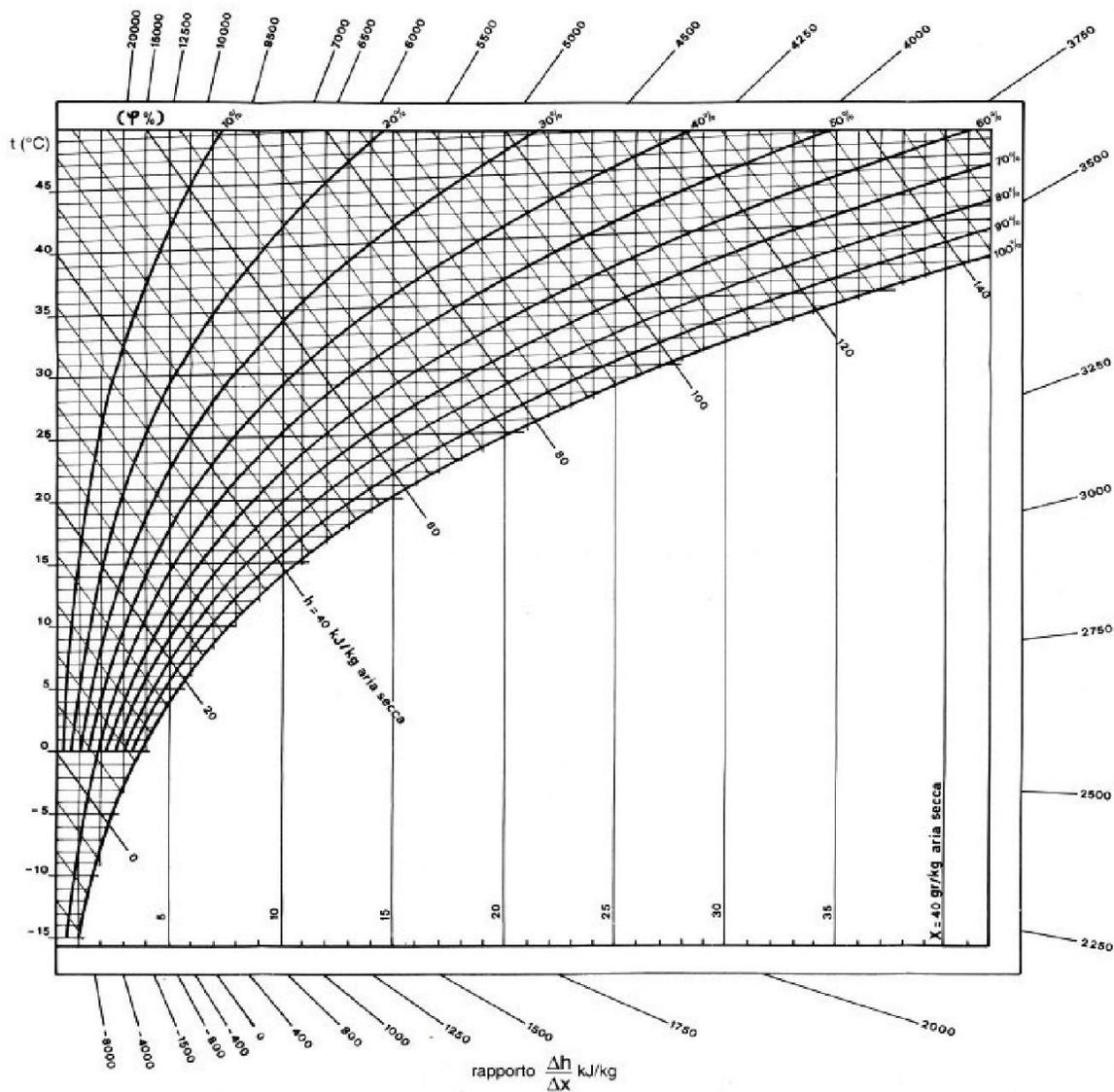


Fig. 21 Diagramma psicometrico.

Lo scopo è ora quello di calcolare la portata massica di aria secca che circola all'interno dell'impianto secondo i moti convettivi, e risalire quindi alla produzione giornaliera del processo. La portata massica dell'aria secca si può calcolare tramite la seguente formula:

$$Q_{as} = (Q_{au} * p_{as}) / (R_a * T)$$

con:

$Q_{as}$  : portata massica di aria secca espressa in  $\text{kg s}^{-1}$ ;

$Q_{au}$  : portata volumetrica di aria umida espressa in  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ;

$p_{as}$  : pressione parziale dell'aria secca;

Ra : costante dell'aria secca di valore uguale a  $287.05 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;  
T : temperatura assoluta della miscela.

Come è evidente dalla formula, per calcolare la portata di aria secca è necessario conoscere la portata di aria umida. Come ipotesi semplificativa, si può considerare che il moto ascendente dei moti convettivi attraversi una sezione rettangolare di 30 cm di altezza e 994 cm di larghezza con una velocità di  $0.3 \text{ m s}^{-1}$ . Questa condizione può comunque essere soddisfatta mediante l'installazione di ventole. Di conseguenza, la portata volumetrica di aria umida che passa attraverso le lamiere è data dal prodotto di questi valori ed è quindi di  $0.8946 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Calcoliamo ora la pressione parziale di aria secca. In base alla legge di Dalton si ha che la pressione di aria secca è data dalla differenza tra la pressione totale (p) all'interno dell'impianto e la pressione di vapore (pvap).

$$p_{as} = p - p_{vap}$$

La pressione di vapore pvap si ottiene moltiplicando l'umidità relativa con la pressione di saturazione. Nel caso in esame l'umidità relativa è pari al 100% e di conseguenza la pressione di vapore coincide con la pressione di saturazione. Anche qui viene introdotta un'ulteriore ipotesi semplificativa, si considera infatti che la pressione totale p all'interno dell'impianto sia uguale a quella atmosferica. Tutti i valori da inserire nell'equazione, sono riferiti allo stato dell'aria nel momento in cui esce dalla fase di umidificazione. Svolgendo tutte le relazioni presentate, si trova che la portata massica di aria secca è di  $0.9 \text{ kg s}^{-1}$ .

Moltiplicando ora la portata massica di aria secca per la differenza di titolo troviamo la produzione di acqua distillata espressa in grammi al secondo. Il valore che si ottiene è  $25.578 \text{ g s}^{-1}$ .

Potrebbe essere più comodo esprimere la produzione con altre unità di misura:

- Produzione oraria =  $920 \text{ kg h}^{-1}$ ;
- produzione giornaliera =  $22080 \text{ kg day}^{-1}$ , considerando che l'impianto rimane in funzione per 24 h al giorno.

C'è da precisare il fatto che nel caso in esame, si è valutata una condizione di funzionamento media, in relazione all'irraggiamento termico di Milano. Occorre quindi considerare il fatto che questo livello di produzione varia in funzione delle temperature presenti all'interno dell'impianto, e quindi in funzione delle stagioni e delle particolari condizioni climatiche, non che delle particolari ore del giorno. Per compensare le variazioni di irraggiamento termico presenti durante la giornata, possono comunque essere installati dei sistemi di immagazzinamento termico, in modo tale da assorbire il calore in eccesso durante le ore troppo calde e rilasciarlo nelle ore più fredde. In questo modo il livello di produzione risulta essere più regolare e meglio distribuito lungo la giornata.

### 3.4 Prodotti utilizzati.

Almeno per i primi prototipi si è scelto di utilizzare materiali disponibili nel mercato. Numerosi prodotti sono stati ritrovati nel mercato dell'edilizia. Il costo di questi materiali è quindi discretamente basso. Ci si riferisce unicamente ai componenti del sistema specifico, non vengono considerate quindi eventuali pompe, circolatori, elettrovalvole, strumenti di misura processori e così via.

#### 3.4.1 Contenitore in calcestruzzo.

Questo tipo di contenitore viene prodotto dalle aziende e venduto come prefabbricato. Il materiale di cui è costituita la vasca deve essere di un calcestruzzo capace di resistere all'azione corrosiva dell'acqua salata. A tale scopo è stato individuato un prodotto della società Gazebo. Il contenitore in questione ha dimensioni di 250 cm \* 250 cm \* 950 cm, è realizzato con un particolare cemento armato, denominato calcestruzzo autocompattante, molto resistente, conforme alla classe di esposizione XS2/XD2 (norma UNI EN 206-1) e quindi capace di resistere ai cloruri. Queste vasche presentano anche delle botole che permettono di entrare all'interno dell'impianto per operazioni di manutenzione ordinaria, e presentano anche la possibilità di rimuovere completamente il coperchio, utile in casi di guasto più gravi.

#### 3.4.2 Lamiera stirate.

Anche in questo caso ci si è adatti ai prodotti già presenti sul mercato. La rete di acciaio zincato utilizzata come porta intonaco nell'ambito dell'edilizia, si presta bene ad essere utilizzata per questo scopo. La conducibilità termica dell'acciaio è comunque buona (circa  $50 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ), ed essendo zincata riesce a resistere alla salinità dell'acqua. È facile da manipolare, può essere piegata a mano e tagliata con delle semplici cesoie. Presenta delle canaline nelle quali viene convogliato il distillato e diretto verso il canale di raccolta. Sono numerosi i fabbricanti e i rivenditori di questo tipo di prodotto, il prezzo è quindi davvero molto basso si aggira intorno ai  $3 \text{ € m}^2$ . In figura 21 un immagine che rappresenta questa rete.

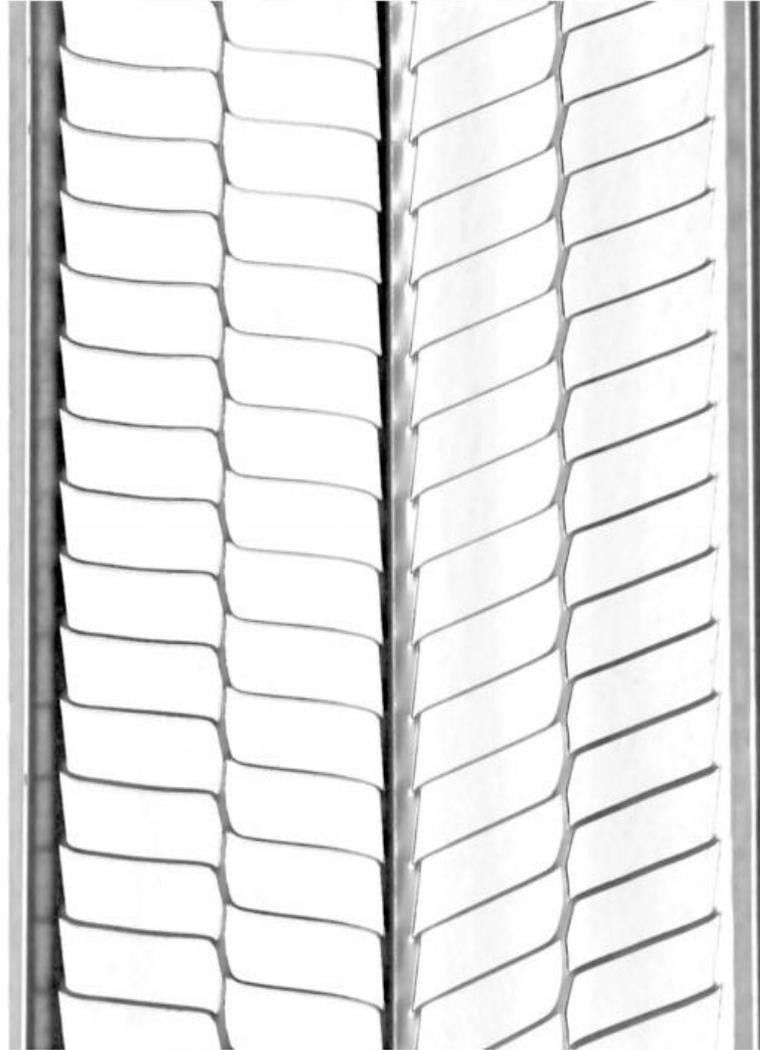


Fig. 22 Rete porta intonaco.

#### 3.4.3 Pannelli di poliuretano espanso.

I pannelli di poliuretano servono per conferire isolamento termico. Quelli esterni non devono presentare particolari caratteristiche, mentre quelli interni dovrebbero essere più resistenti per il fatto che si trovano a contatto con l'acqua salata.

Sono stati scelti due tipi di pannelli prodotti dalla società "Stiferite". Entrambi presentano una conducibilità termica molto bassa intorno a  $0.0023 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , quelli esterni sono i Class SK indicati per l'isolamento dall'esterno e rivestiti su entrambe le facce con vetro velo saturato, quelli interni sono gli Al 4 che sono rivestiti in entrambe le facce con un piccola lamiera di alluminio goffrato, aspetto che dovrebbe permettere di proteggerli dalla salinità dell'acqua.

#### 3.4.4 Tubazione di alluminio corrugato.

Questa tubazione svolge il ruolo di scambiatore di calore, a tale scopo sono stati scelti tubi in alluminio che è un buon conduttore termico e corrugati in maniera tale che si venga a creare un effetto di alettatura che permetta di aumentare la superficie di scambio termico. Inoltre, il profilo irregolare della tubazione, conferisce al fluido un regime di moto turbolento, fatto che agevola ancora di più lo scambio termico. I tubi in corrispondenza della struttura a fisarmonica presentano una sezione di 76 – 100 mm mentre quelli in prossimità del pelo libero e delle pareti laterali una sezione di circa 25 mm .

### 3.5 Ultime considerazioni.

#### 3.4.1 Sistema di monitoraggio.

Il principio di funzionamento risulta essere molto semplice, ecco perché l'impianto non richiede la sorveglianza di un operatore specializzato.

Il monitoraggio, essenziale per valutare alcuni parametri critici, può essere effettuato tramite strumenti digitali collegati ad un regolatore automatico, capace di intervenire su eventuali elettrovalvole e quindi correggere, o meglio prevenire, i casi di malfunzionamento precedentemente citati. Parametri da misurare sono sicuramente le temperature all'interno dell'impianto, così da valutare il gradiente termico tra superficie dell'acqua e fondo della vasca, tra parte superiore delle lamiere e la parte inferiore delle stesse. Un altro parametro fondamentale è la salinità dell'acqua, che deve essere mantenuta superiore alla soglia di precipitazione, in maniera tale da evitare fenomeni corrosivi.

È inoltre necessario un sistema che per ogni litro di distillato che fuoriesce dall'impianto, entri un litro di acqua salata. Può essere in questo caso realizzato un dispositivo meccanico, costituito da un galleggiante collegato a un sistema di leverismi capace di chiudere e a aprire in modo opportuno delle determinate valvole.

#### 3.4.2 Ulteriori costi.

Come si è già accennato nel paragrafo specifico, i costi valutati in questa relazione, non tengono conto di voci essenziali affinché l'impianto diventi operativo, quali ad esempio costo della tubazione, costo delle pompe e delle valvole, costo del sistema di monitoraggio automatico e soprattutto quello più importante, il costo dell'impianto solare ed eventualmente fotovoltaico.

### 3.6 Conclusioni.

Lo scopo principale di questa relazione, è stato quello di presentare il processo Solar Desaliantion Geoassisted Continuous, confrontarlo con lo stato dell'arte per valutarne l'eventuale fattibilità tecnica ed economica. In visione di ciò, nella prima parte vengono presentate le principali tecnologie utilizzate nella dissalazione, valutandone ovviamente i costi di produzione, l'impatto ambientale e il livello di produzione. Viene quindi presentato il processo SDGC e opportunamente analizzato.

Si conclude che il processo è basato su un principio di funzionamento particolarmente efficace. Tramite il tunnel termico, una volta che il processo è portato a regime, è in grado di funzionare praticamente da solo. Di conseguenza non necessita della sorveglianza di operatori specializzati e l'eventuale monitoraggio del processo può essere effettuato tramite dei regolatori automatici, collegati a strumento di misura digitali per le temperature e la salinità.

Il costo dell'impianto è basso ed il costo di produzione di acqua distillata è nullo, in quanto il sistema è completamente alimentato da energia rinnovabile. La produzione giornaliera si aggira intorno ai 22 m<sup>3</sup>, richiedendo per il funzionamento solamente 100 kWh day<sup>-1</sup> di energia termica. Il consumo specifico di energia termica risulta essere quindi molto basso, ovvero di neanche 5 kWh day<sup>-1</sup> per metro cubo di acqua distillata prodotta. L'impianto riesce quindi a raggiungere gli stessi livelli produttivi dei tradizionali impianti evaporativi a tecnologia MED e MSF, facendo tutta via un uso più razionale dell'energia richiede un fabbisogno energetico molto basso, motivo per cui l'impianto può essere completamente alimentato da energia rinnovabile. Questo ultimo aspetto è alquanto positivo poiché la dissalazione alimentata da energia fossile contribuisce al fenomeno dell'effetto serra.

Tutte queste caratteristiche di semplicità, efficienza, basso costo e produttività rendono il processo estremamente competitivo, sia in relazione agli impianti tradizionali, ma anche rispetto a quelli più innovativi che fanno uso di energie rinnovabili.