

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE**

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

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**ELABORATO DI LAUREA**

**SIMULAZIONE DINAMICA DI IMPIANTI DI DESALINIZZAZIONE  
AD ENERGIA SOLARE**

**RELATORE**

CH.MO. PROF. ING. FRANCESCO CALISE

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

**CANDIDATO**

ALESSIA CARDAROPOLI

MATR. M67/238

**CORRELATORE**

ING. EDOARDO QUIRITI

ANNO ACCADEMICO 2016/2017

# Scopo della Tesi

Soddisfare il fabbisogno energetico mondiale attraverso l'utilizzo dei tradizionali combustibili fossili (gas, petrolio, carbone) diviene sempre più difficile, considerando il loro effetto inquinante sull'atmosfera e la loro scarsa disponibilità nel prossimo futuro. In questo quadro, l'energia prodotta da fonti rinnovabili è fondamentale. Porgendo particolare attenzione ai dispositivi di conversione dell'energia solare si è analizzato il comportamento di due diverse tecnologie (collettori lineari Fresnel e collettori a tubi evacuati) nell'ambito di un sistema destinato alla produzione di riscaldamento/raffreddamento ambientale e alla desalinizzazione dell'acqua di mare.

L'impianto oggetto di studio presenta i seguenti principali componenti:

- ✓ collettori solari termici in grado di produrre energia termica (Fresnel e ETC) ;
- ✓ un sistema di Solar Heating and Cooling, ossia di riscaldamento invernale e di raffrescamento estivo degli ambienti, mediante la conversione dell'energia solare in energia termica per alimentare rispettivamente uno scambiatore di calore e un assorbitore;
- ✓ un sistema di desalinizzazione Multiple Effect Distillation (MED) alimentato dall'energia termica prodotta dai collettori, per la produzione di acqua dissalata;
- ✓ una caldaia ausiliaria a cippato di legno che fornisce calore a sostegno del desalinizzatore MED;
- ✓ serbatoi di accumulo termico stratificati.

In seguito viene riportato lo schema generale dell'impianto:

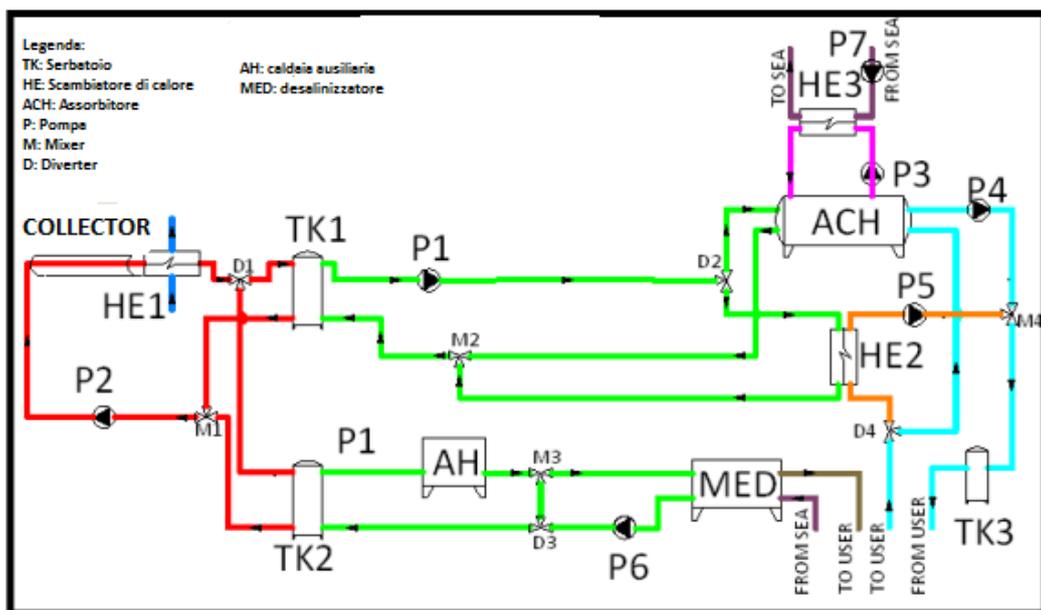


Figura 1.1: Schema generale dell'impianto

Il processo di dissalazione MED consta di otto evaporatori (effetti), nei quali l'acqua di mare evapora (fase in cui l'acqua dolce si libera dai sali) senza fornire calore supplementare dopo il primo effetto, seguendo il principio di riduzione della pressione e della temperatura da un effetto all'altro. Inoltre, il vapore prodotto all'ultimo effetto è diretto ad un condensatore che raffreddato dall'acqua di mare in ingresso contribuisce alla produzione di acqua fresca e recupera parte del calore latente rilasciato dalla condensazione del vapore, preriscaldando l'acqua di alimentazione immessa nel primo effetto.

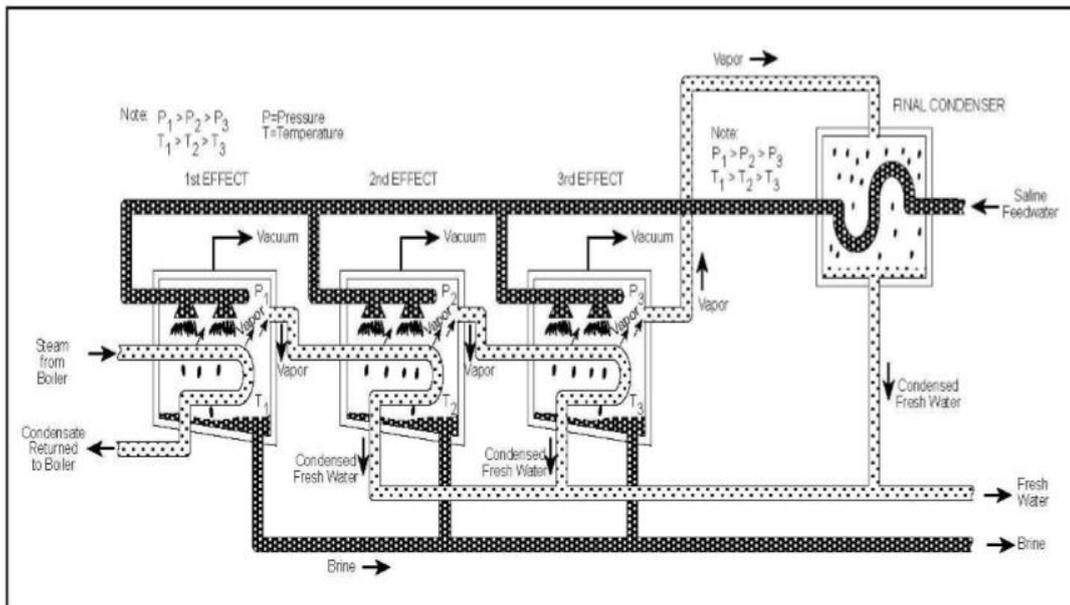


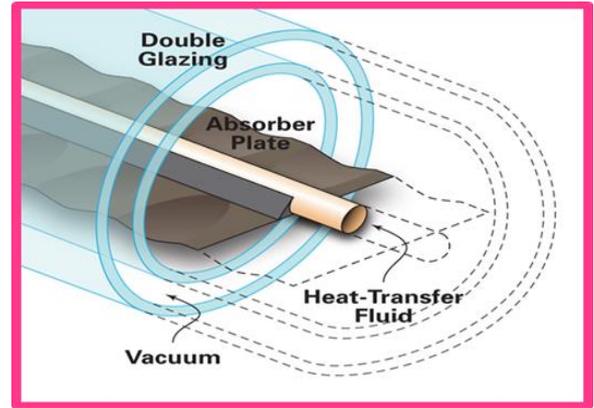
Figura 1.2: Schema del processo MED

Nell'impianto oggetto di studio si sono confrontate le prestazioni di collettori lineari Fresnel e collettori a tubi evacuati.

La prima tipologia rientra tra le tecnologie a concentrazione e permette di raggiungere temperature elevate del fluido termovettore (fino a 200 °C per acqua pressurizzata). In particolare, un campo di specchi piani riflette la radiazione diretta su un tubo ricevitore che si sviluppa linearmente, permettendo di concentrare una notevole energia su una superficie piccola.

La seconda tipologia rientra tra le tecnologie non a concentrazione. La temperatura del fluido operativo generalmente non supera i 90 °C. La caratteristica principale è la presenza di un'intercapedine sottovuoto, che riducendo le perdite termiche per convezione, assicura rendimenti elevati tutto l'anno.

Nelle due configurazioni proposte la macchina ad assorbimento è nel primo caso bistadio (COP nominale: 1.2) e nel secondo caso monostadio (COP nominale: 0.7)



**Figura 1.3: Collettori solari termici Fresnel e ETC (Evacuated tube collector).**

Per poter avere risposte in tempo reale sulle performance dell'impianto si è utilizzato il software TRNSYS, 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.

Si fa riferimento ai dati meteorologici di Napoli, scelta come località oggetto della simulazione.

Considerando la configurazione con collettori lineari Fresnel, il sistema ha dimostrato un potenziale risparmio energetico soprattutto nel periodo di funzionamento estivo. Infatti, in tale periodo il campo solare riesce sia ad alimentare l'assorbitore, producendo energia frigorifera, che il desalinizzatore (anche se solo parzialmente). Facendo un confronto tra il risparmio di energia frigorifera e quello di energia termica prodotta dallo scambiatore di calore invernale (HE2), il primo è nettamente maggiore del secondo. Tale risultato dipende dal fatto che nel periodo invernale il sistema risulta essere attivo per un numero di ore di funzionamento minore. Questa circostanza insieme al fatto che l'alimentazione del desalinizzatore durante il periodo invernale avviene mediante la sola energia termica fornita dalla caldaia ausiliaria, fa capire che questo tipo di configurazione risulta poco conveniente in questo periodo dell'anno. I collettori lineari Fresnel hanno un rendimento termico che è migliore durante il periodo estivo, giacché maggiore è la radiazione solare diretta. Utilizzando dei collettori a tubi evacuati, che hanno un rendimento termico più costante nell'arco dell'anno, le prestazioni nel periodo invernale risultano essere migliori, con una maggiore produzione di energia termica destinata al riscaldamento ambientale.

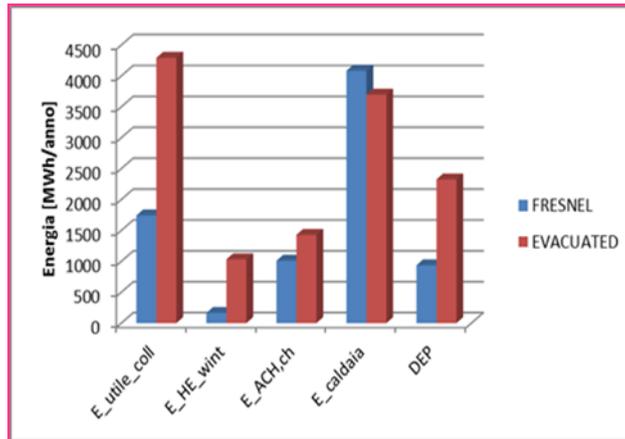


Figura 1.4: Fresnel vs ETC- Confronto energetico.

Da un punto di vista economico, il tempo di ritorno dell'investimento è molto alto in assenza di incentivi, circa 43 anni nel caso dei collettori Fresnel e 22 anni nel caso dei collettori a tubi evacuati; che rispettivamente scendono a 5 e 4 anni in presenza di incentivi sulla produzione di energia termica, frigorifera e acqua desalinizzata. Questi valori di SPB sono relativi al confronto con un sistema di riferimento, in cui l'acqua desalinizzata viene acquistata dalla rete di distribuzione idrica al costo di 1.2 euro/m<sup>3</sup>. Per località isolate, in cui non è possibile usufruire di acqua potabile tramite acquedotto, l'utilizzo di un impianto siffatto induce benefici economici ancora maggiori grazie al risparmio di combustibile fossile, che verrebbe utilizzato per alimentare l'impianto MED. In quest' ultimo scenario, con i collettori lineari Fresnel, il SPB senza incentivi si ridurrebbe a circa 3 anni.

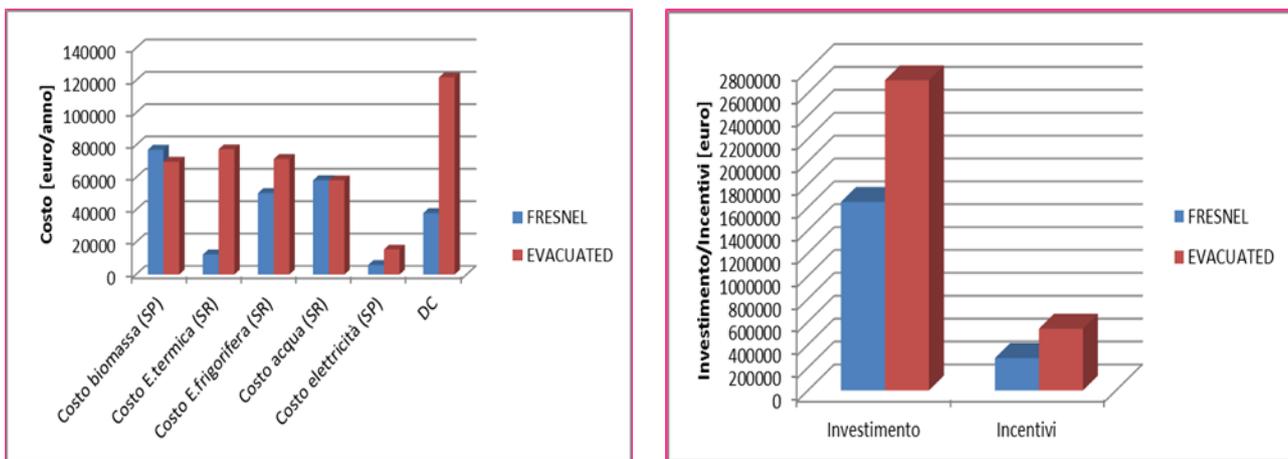


Figura 1.5: Fresnel vs ETC- Confronto economico.