

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

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

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**ELABORATO DI LAUREA**

**SIMULAZIONE DINAMICA DI UN IMPIANTO DI  
POLIGENERAZIONE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA  
ELETTRICA, TERMICA, FRIGORIFERA E DI ACQUA  
DISSALATA**

**RELATORE**

CH.MO PROF. ING FRANCESCO CALISE

CORRELATORE PROF.ING. ANTONIO PIACENTINO

**CANDIDATO**

VICIDOMINI MARIA

MATR. M 67/69

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

## 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. Infatti, sono sempre più diffusi nel mondo impianti che riescono a convertire l'energia rinnovabile nell'energia utile richiesta, sia nei processi industriali sia semplicemente per lo svolgimento delle attività domestiche (riscaldamento/raffrescamento degli ambienti, produzione di acqua calda sanitaria, produzione di energia elettrica).

Porgendo particolare attenzione nei dispositivi di conversione dell'energia solare si è analizzato il comportamento di un impianto di poligenerazione basato principalmente sull'integrazione di:

- collettori solari fotovoltaici termici a concentrazione (CPVT) in grado di produrre energia termica ed elettrica;
- un sistema di Solar Heating and Cooling, ossia di riscaldamento invernale e di raffreddamento 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 figura lo schema generale dell'impianto:

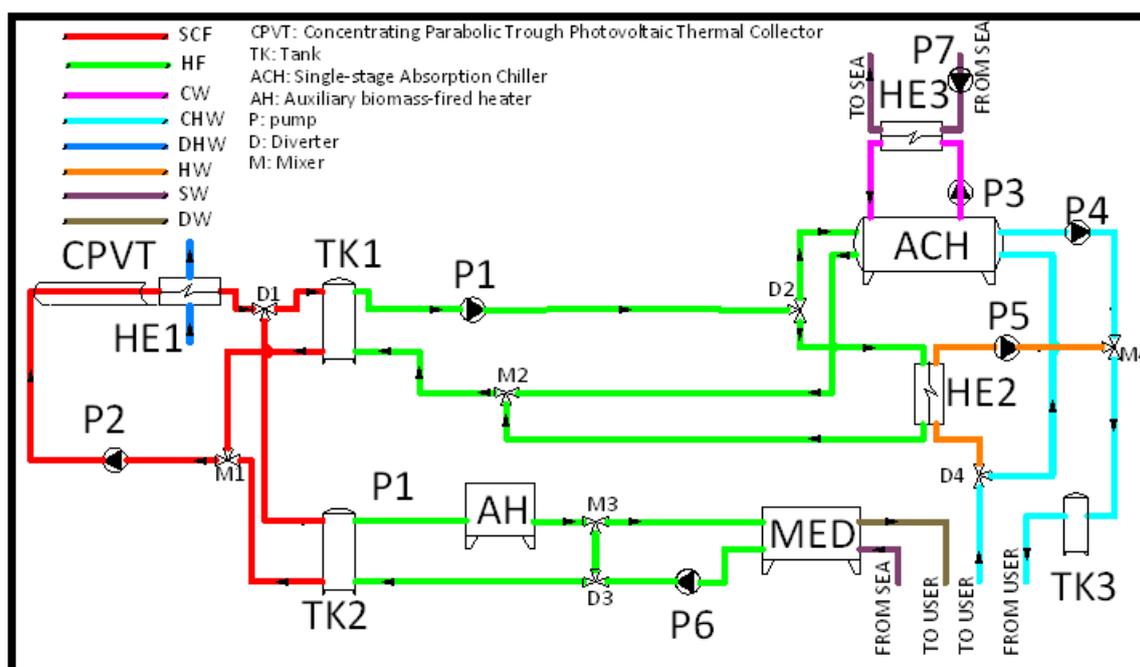


Figura 1.1: Schema generale dell'impianto.

In particolare, utilizzando la fonte solare per la produzione di acqua dissalata, si è fatto riferimento alla tecnica della *dissalazione solare* che ad oggi rimane fondamentale per colmare la carenza di acqua potabile in molti paesi del mondo (Nord Africa, Kuwait, Emirati Arabi Uniti, Arabia Saudita) 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.

Il processo di dissalazione MED integrato nell'impianto 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.

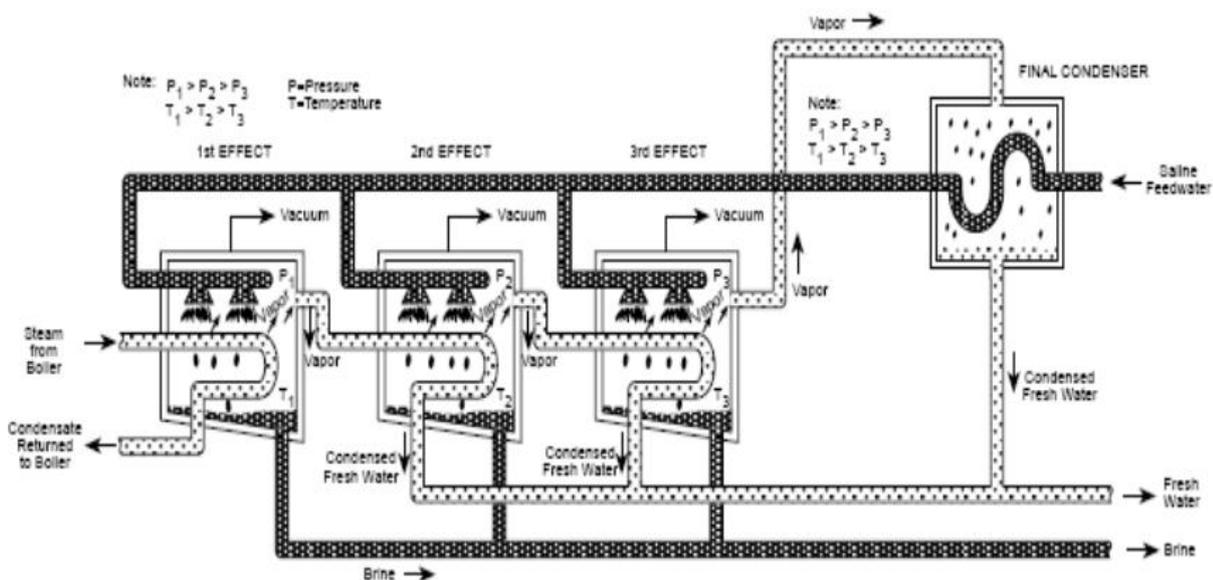


Figura 1.2: Schema del processo MED

I collettori utilizzati nell'impianto oggetto di studio sono fotovoltaici termici a concentrazione (CPVT).

Si tratta di collettori costituiti da un concentratore parabolico lineare con asse orientato in direzione Nord-Sud, un sistema di inseguimento solare che mantiene la radiazione solare concentrata sul ricevitore triangolare avente le facce laterali realizzate in celle a tripla giunzione e la parte superiore coperta da una superficie assorbente.

Per il trasferimento conduttivo di calore dall'assorbitore superiore e dai pannelli PV al mezzo fluido c'è un substrato metallico.

Profile of the absorber and reflector

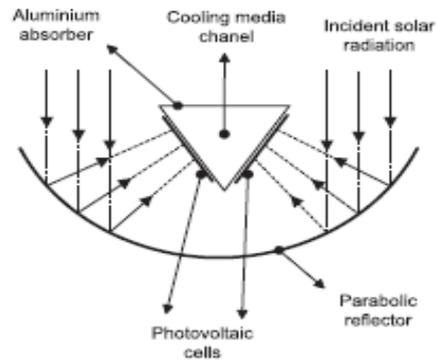


Figura 1.3: Profilo dell'assorbitore e del riflettore dei CPVT.

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. 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.

Le analisi svolte, dal punto di vista energetico, hanno mostrato un significativo e potenziale risparmio energetico.

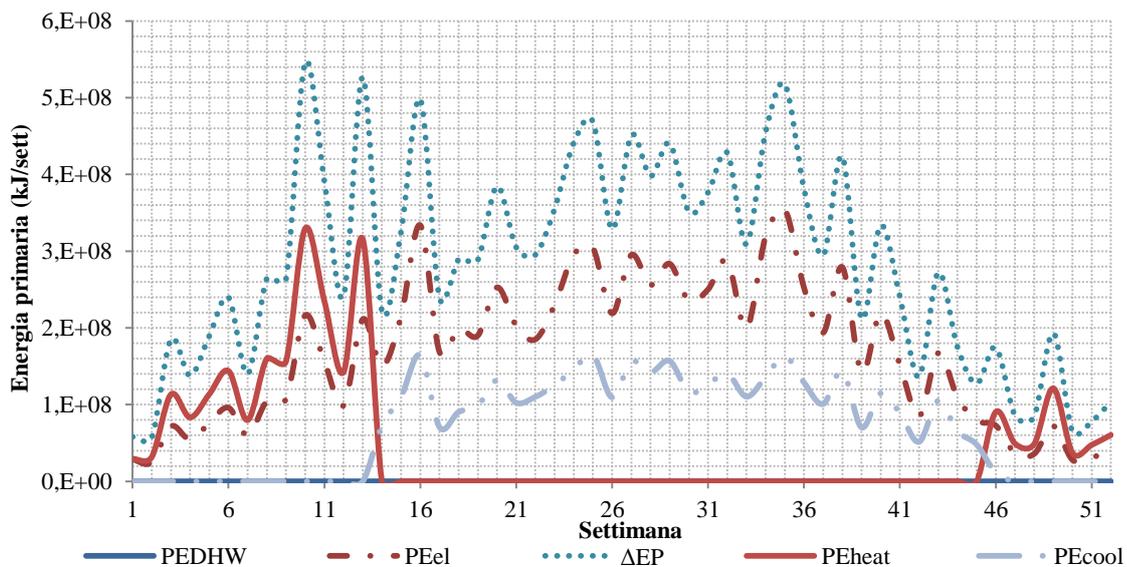


Figura 1.4: Andamento nel tempo del risparmio dell'energia primaria per ACS, energia primaria elettrica, energia primaria termica, energia primaria frigorifera, risparmio di energia primaria globale, (kJ/sett).

Il motivo principale di tale risparmio risiede nella possibilità di massimizzare il fattore di utilizzazione dell'energia termica prodotta dai CPVT, soprattutto durante l'estate, comportando notevoli risparmi di energia frigorifera prodotta mediante assorbitore.

Anche i risparmi di energia elettrica, utilizzata per alimentare i dispositivi elettrici dell'impianto, e i rispettivi ritorni economici quando tale energia è ceduta alla rete, comportano un soddisfacente risultato, derivante dall'uso di celle fotovoltaiche a tripla giunzione.

Di contro il funzionamento invernale è di gran lunga meno soddisfacente, poiché le produzioni termiche ed elettriche dei CPVT diminuiscono drasticamente. Ciò deriva dall'utilizzo di collettori a concentrazione, in grado di convertire solo la radiazione diretta che nel periodo invernale è decisamente inferiore rispetto il periodo estivo. Infatti in tale periodo la quantità di calore prodotta dai CPVT non è assolutamente necessaria per fornire la contemporanea produzione di riscaldamento ambientale e di acqua dissalata mediante l'unità MED, la cui attivazione avviene esclusivamente mediante l'energia termica fornita dalla caldaia ausiliaria a cippato di legno. In Figura 1.5 è mostrato l'andamento dinamico dell'energia della caldaia, QAH, coincidente con l'energia del desalinizzatore, QMED, in un giorno di funzionamento invernale.

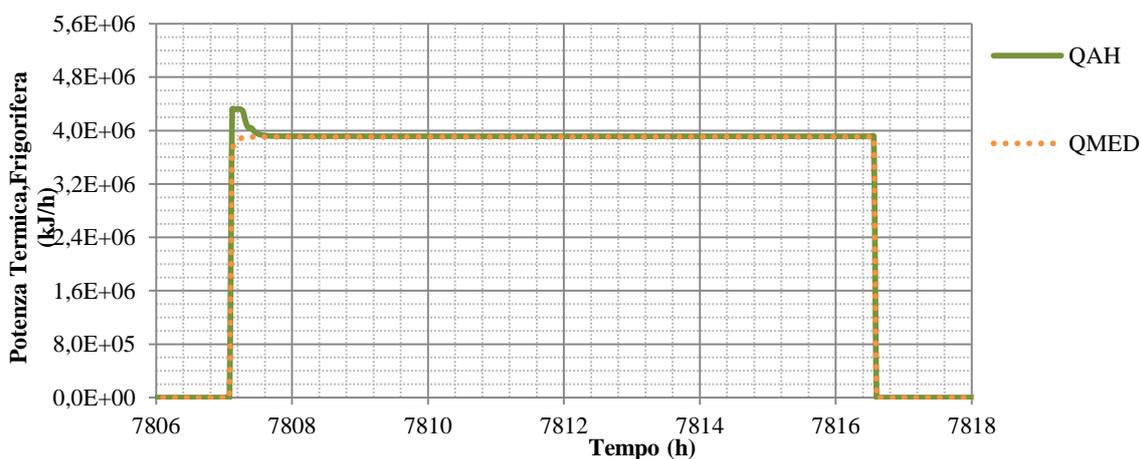


Figura 1.5: Energia Caldaia, Energia MED

Sebbene si tratti di una caldaia alimentata da biocombustibile, fonte rinnovabile, ne consegue un aumento dei costi della biomassa utilizzata con una riduzione del risparmio economico annuale. Tuttavia, se il sistema proposto, l'impianto MED, è confrontato con un sistema di riferimento, l'acquedotto, che potrebbe non essere presente se la produzione di acqua dissalata dovesse servire un'utenza appartenente a località isolate, quali le isole, la soluzione potrebbe essere, di certo, applicata, valutando anche la migliore resa che si otterrebbe in estate con una maggiore disponibilità solare e, quindi, minore energia termica richiesta alla caldaia.

Dell'analisi parametrica svolta sui parametri fondamentali dell'impianto, vengono mostrati i risultati relativi la variazione del numero di effetti dell'unità MED sulla portata di distillato prodotta e il consumo specifico del desalinizzatore (ossia l'energia termica necessaria da fornire al primo effetto affinché venga prodotto 1 m<sup>3</sup> di distillato).

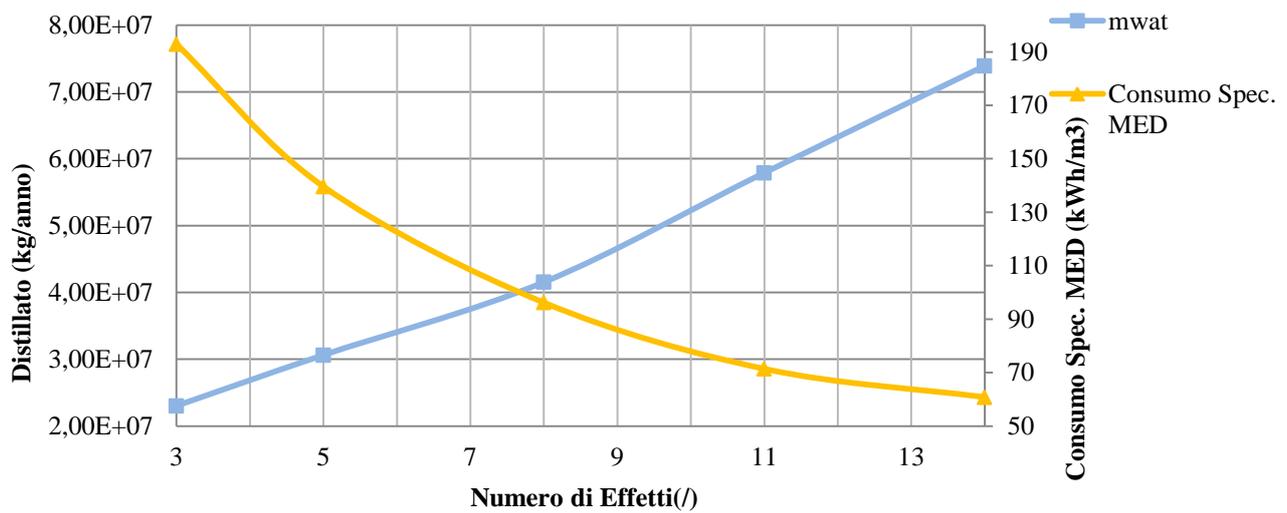


Figura 1.6 : Consumo Specifico MED e Portata di Distillato Prodotta al variare del Numero di Effetti.

L'analisi economica ha dimostrato che la redditività dell'impianto risulta paragonabile a quella di altri sistemi di riscaldamento e raffrescamento solare anche se il sistema non è risultato tanto redditizio per la produzione di acqua dolce, in assenza di politiche di finanziamento pubblico, essendo il tempo di ritorno di circa 12 anni.

Può divenire estremamente conveniente in caso di incentivazioni, con riduzione del tempo di ritorno a meno di 3 anni.