

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

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

ELABORATO DI LAUREA

**SIMULAZIONE DINAMICA DI UN PROTOTIPO DI
IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO
AD ENERGIA SOLARE**

RELATORE

CH.MO PROF. ING FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING MASSIMO DENTICE D'ACCADIA

CORRELATORE

ING GABRIELE FERRUZZI

CANDIDATO

FEDERICA SAVIANO

MATRICOLA M67/130

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 solar cooling basato principalmente sull'integrazione di:

- 4 stringhe di collettori solari piani con piastra selettiva in grado di produrre energia termica;
- due serbatoi per l'accumulo dell'acqua calda;
- una macchina frigorifera ad assorbimento a singolo effetto che lavora con la coppia di fluidi H₂O-LiBr;
- una torre evaporativa collegata con un circuito chiuso all'assorbitore.

In figura 1 è riportato lo schema dell'impianto simulato.

I collettori utilizzati nell'impianto oggetto di studio sono collettori solari termici piani dotati di piastra selettiva. Si tratta di collettori che riescono a captare sia la radiazione diffusa che quella diretta. Per motivi legati alla disponibilità di spazio si è scelta una inclinazione di 5° rispetto all'orizzontale ed un'esposizione verso Sud-Ovest.

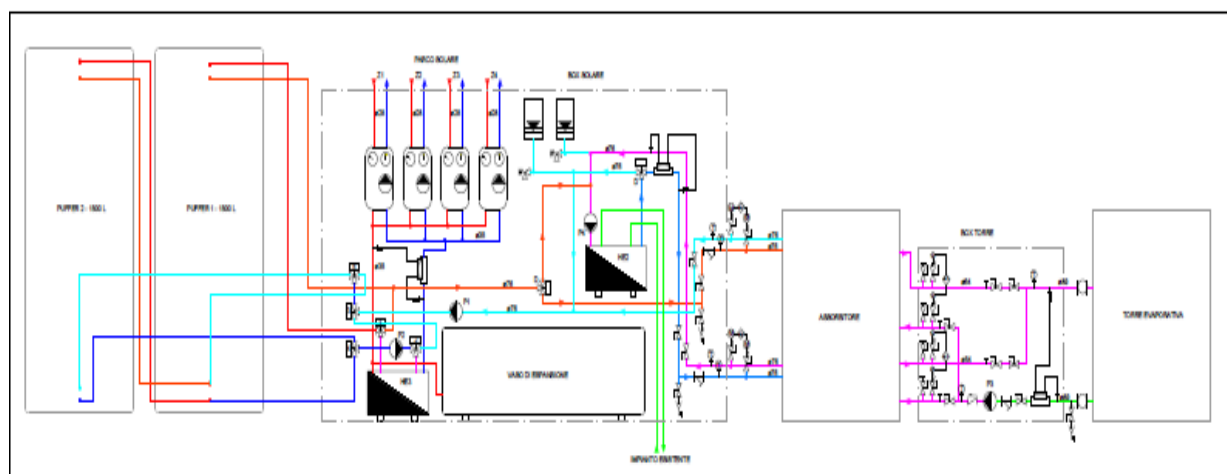


Figura 1- Schema dell'impianto simulato

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' necessario definire tutti i parametri di input/costanti successivamente, mediante i modelli alla base di ogni componente, è possibile ottenere e visualizzare in maniera dinamica i parametri di output oggetto di interesse.

La schematizzazione del modello in TRNSYS è riportata nelle figure 2 e 3. In riferimento alla figura 2 il funzionamento dell'impianto può essere così riassunto: le 4 stringhe di pannelli solari (SC) riscaldano il fluido solare (H₂O-glicole) posto all'interno dei pannelli, I quattro flussi sono poi riuniti in una valvola miscelatrice, che invierà il flusso risultante allo scambiatore di calore posto nel circuito secondario. Nello scambiatore di calore il fluido solare cede calore all'acqua che continuerà il suo percorso all'interno dell'impianto.

L'impianto può funzionare secondo diverse configurazioni (figura 3): la prima configurazione prevede che l'acqua calda in uscita dallo scambiatore venga inviata ed accumulata nel 1° serbatoio (configurazione a singolo serbatoio) che, nel periodo estivo, fornirà l'input termico necessario al funzionamento dell'assorbitore. Nel periodo invernale, invece, l'acqua calda sarà deviata da un apposita valvola (DV6) direttamente verso l'utenza. E' possibile poi una seconda configurazione in cui, l'acqua proveniente dallo scambiatore è inviata al 1° serbatoio che a sua volta caricherà un secondo serbatoio (configurazione a doppio serbatoio). Tuttavia anche in questa configurazione sarà il primo serbatoio, che trovandosi ad una temperatura più elevata, sarà responsabile dell'alimentazione dell'assorbitore. L'ultima configurazione, invece, prevede che l'acqua proveniente dallo scambiatore, venga inviata direttamente all'assorbitore, bypassando i serbatoi. L'assorbitore, quindi, grazie all'input termico prodotto dai collettori produrrà acqua refrigerata che sarà poi inviata all'utenza per provvedere al condizionamento degli ambienti.

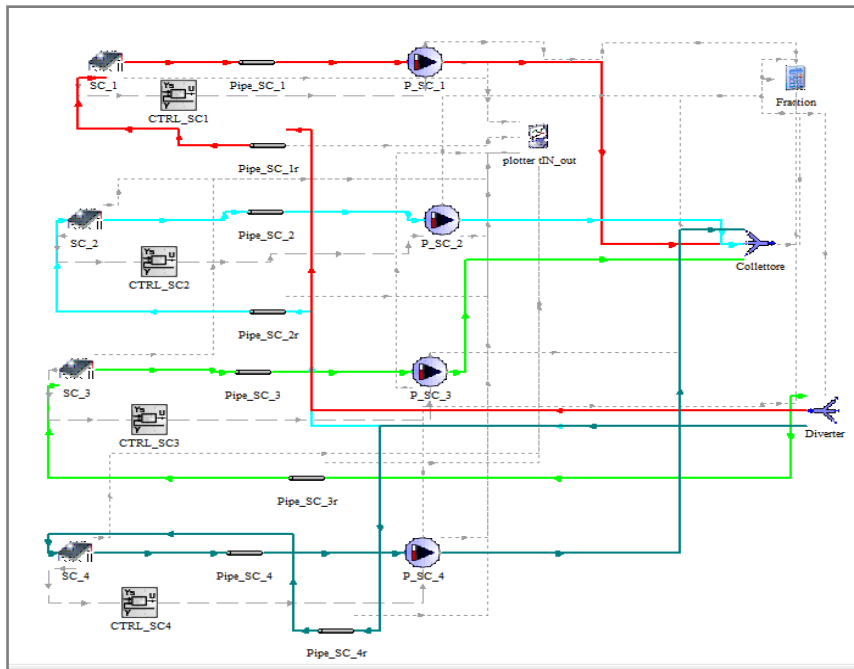


Figura 2- Schematizzazione i TRNSYS del circuito solare

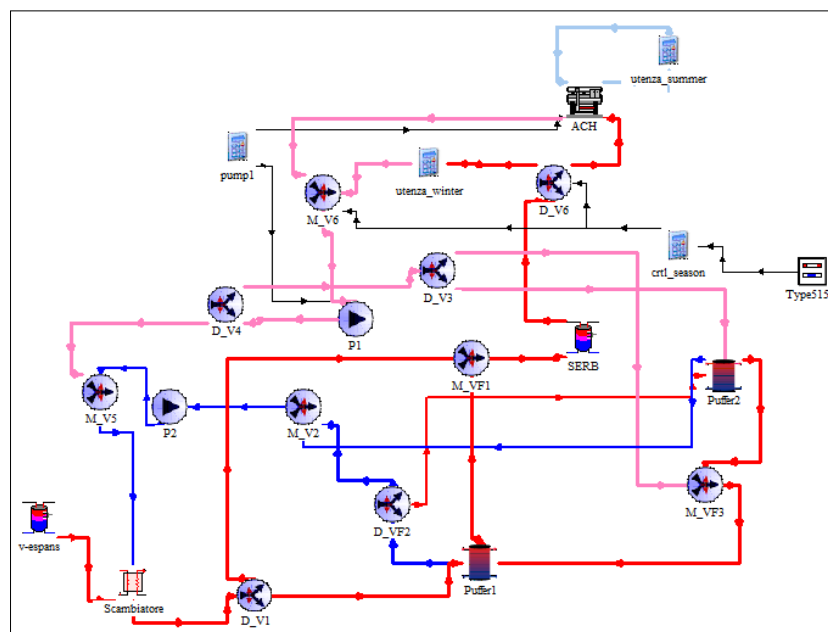


Figura 3-Schematizzazione in TRNSYS del circuito secondario

Le analisi svolte (figure 4 e 5) hanno mostrato che la temperatura ottenuta dal circuito solare oscilla tra 80 e 95°C alimentando il serbatoio 1 (Tank) fino ad un massimo di 85°C, temperatura alla quale viene attivato l'assorbitore. L'andamento a dente di sega che si osserva per tutte le temperature diagrammate (figura 4), è dovuto all'assenza di un sistema di back-up che fornisca l'energia termica ausiliaria in assenza di radiazione solare e di compensazione dei picchi di energia richiesti dall'assorbitore.

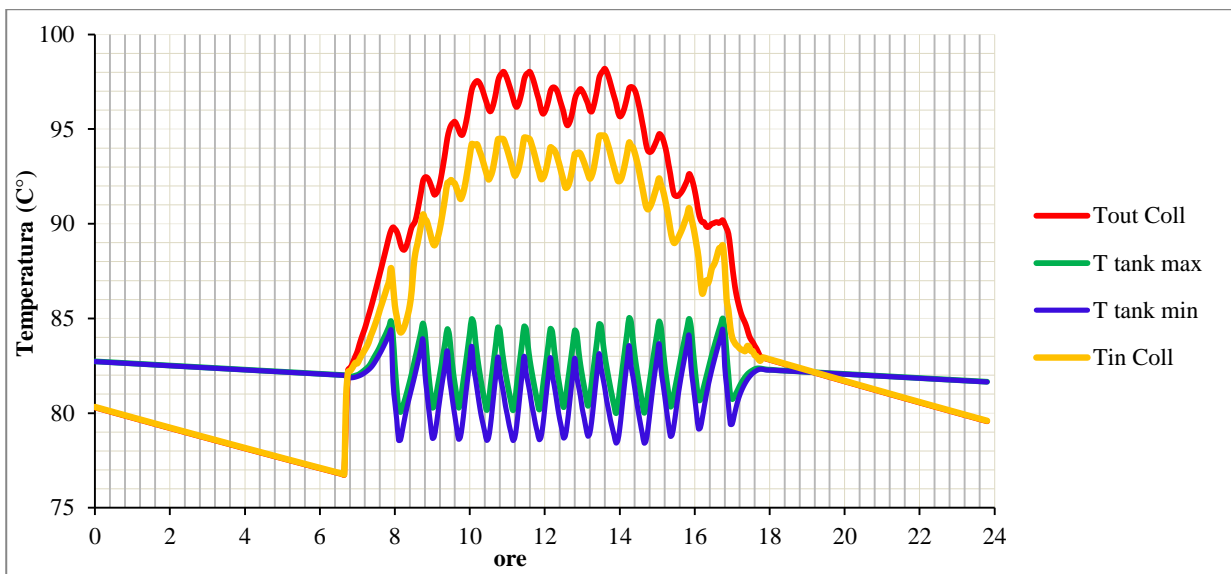


Figura 4- Temperature superficiale e di fondo del serbatoio, temperatura in ingresso e uscita dal circuito solare (giorno estivo)

Le analisi hanno rilevato che i collettori solari pur avendo un'efficienza media annua non molto elevata (circa il 30%), sono in grado di fornire l'input termico per il funzionamento della macchina frigorifera. Durante una tipica giornata estiva, infatti, l'assorbitore è in grado di funzionare dalle 8:00 alle 17:00, attivandosi per 10 minuti ogni ora (figura 5). Tale risultato ha evidenziato che il campo solare risulta, quindi, sottodimensionato rispetto alla richiesta termica dell'assorbitore.

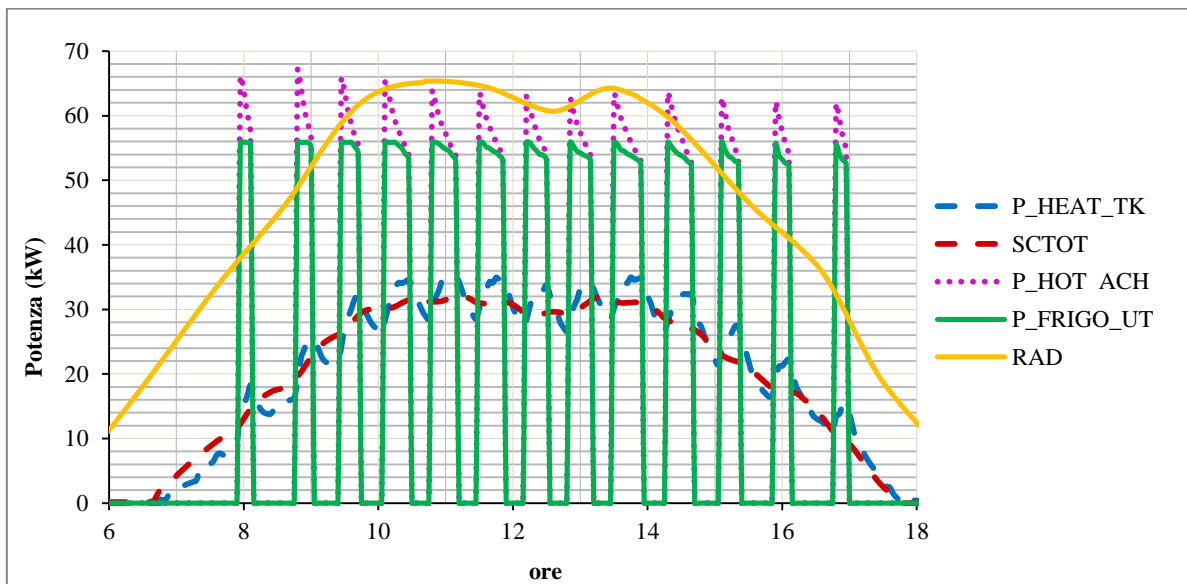


Figura 5- Radiazione, potenza termica del circuito solare, in ingresso al serbatoio, in ingresso all'assorbitore e potenza frigorifera prodotta (giorno estivo)

Dall'analisi parametrica è emerso che l'impianto è sensibile alla variazione di area del campo solare. In figura 6, si osserva che il COP si mantiene pressoché costante e pari al valore nominale di

0.8, l'efficienza dei collettori, invece, segue una curva decrescente all'aumentare dell'area, perché aumenta la temperatura media del pannello. Per quanto riguarda l'energia termica prodotta dal circuito solare ($En_{SC\ TOT}$), ci si sarebbe aspettato un aumento proporzionale a quello dell'area. Tale aumento non è stato però riscontrato, poiché per averlo si sarebbe dovuto adottare un serbatoio di maggiore volume. L'analisi parametrica ha anche evidenziato che un serbatoio più grande tende più difficilmente a riscaldarsi e raggiungere gli $85^{\circ}C$, necessari per alimentare l'assorbitore, che tenderà a funzionare ad intervalli di tempo maggiori, producendo una minore energia frigorifera per l'utenza (figura 7). L'energia frigorifera diminuisce anche aumentando la temperatura di set-point (che attiva l'assorbitore), poiché diminuisce il tempo di funzionamento dell'assorbitore (figura 8).

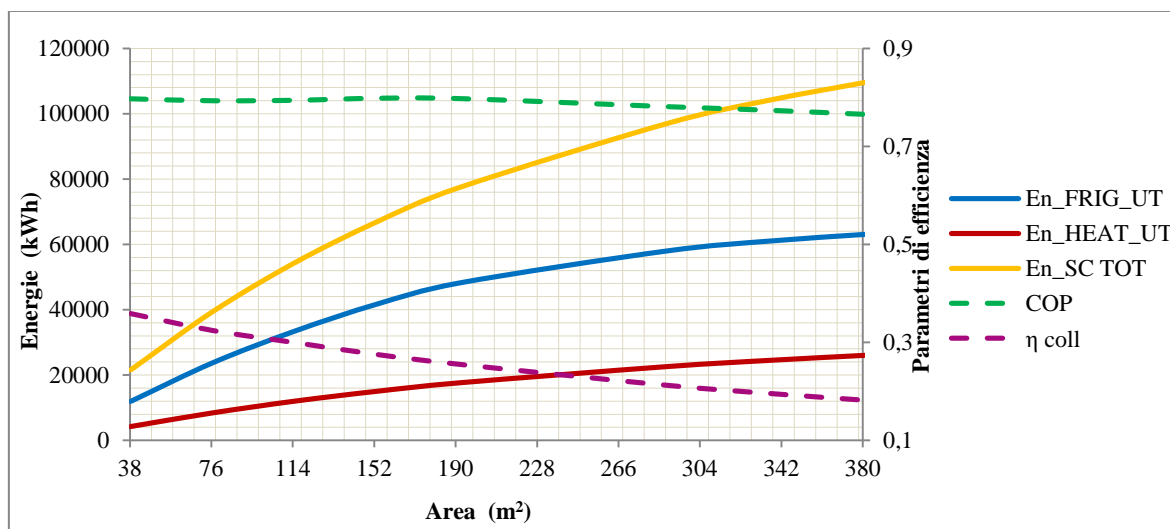


Figura 6-Energia termica del circuito solare, energia termica e frigorifera fornite all'utenza, parametri di efficienza, al variare dell'area

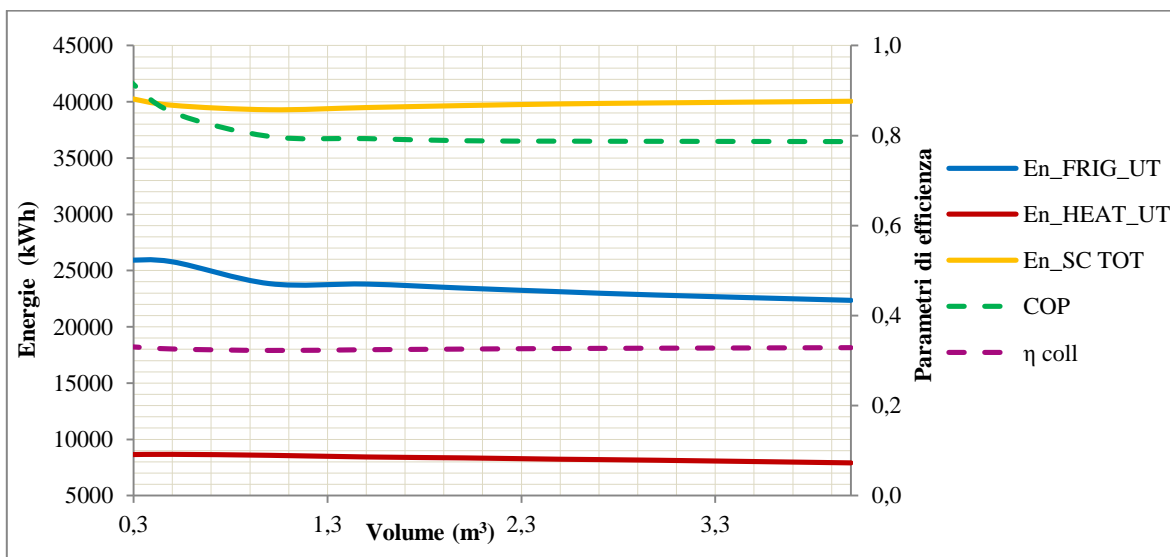


Figura7-Energia termica prodotta dal circuito solare, energia frigorifera e termica inviate all'utenza, parametri di efficienza, al variare del volume

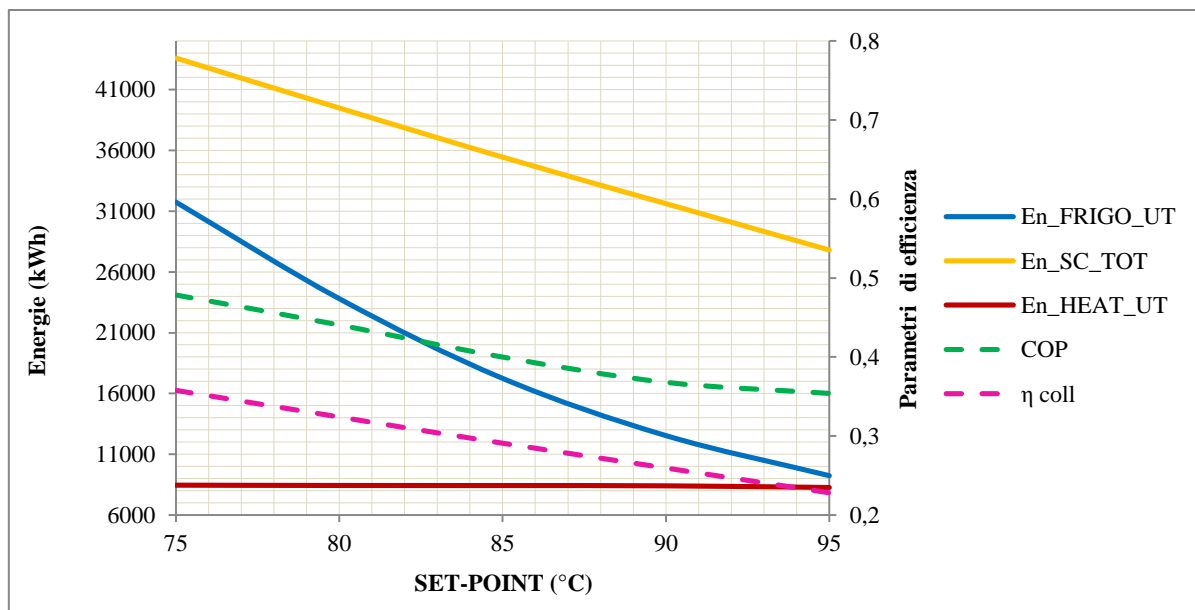


Figura 8-Energia frigorifera e termica fornite all'utenza,energia termica del circuito solare, parametri di efficienza al variare della temperatura di set-point

Nonostante l'impianto sia stato finanziato al 100% si è svolta una breve analisi economica che ha mostrato che tale impianto produce un utile per l'azienda che lo gestisce solo quando la percentuale di finanziamento supera il 75%. Al di sotto di tale percentuale, infatti, la produzione di energia non risulta competitiva rispetto ad un tradizionale sistema alimentato elettricamente (pompa di calore). Dall'analisi economica è anche emerso che con un elevata percentuale di finanziamento (circa l'80%) l'unico parametro che restituisce un andamento del VAN sempre crescente è la superficie del campo solare.