

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
EDILE E AMBIENTALE**

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

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE (DII)

ELABORATO DI LAUREA

**PROGETTAZIONE E ANALISI DINAMICA DI UN
PROTOTIPO DI
UN IMPIANTO DI SOLAR COOLING
AD ALTA TEMPERATURA**

RELATORE:

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING. MASSIMO DENTICE

CORRELATORE:

ING. MARCO SCARPELLINO

CANDIDATO

SABRINA FRASCOGNA M67/121

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

Il continuo aumento del prezzo del petrolio, unitamente alla presa di coscienza dei rischi legati al progressivo esaurimento delle riserve di fonti fossili ed alla consapevolezza dei danni recati all'ambiente per effetto del loro utilizzo, primo fra tutti l'aumento dell'effetto serra, mantengono molto alto il livello di attenzione dell'opinione pubblica, degli operatori economici e dei decisori politici nei confronti delle tematiche connesse alla produzione di energia.

Negli ultimi tempi, infatti, i provvedimenti normativi e gli accordi a livello internazionale in materia di riduzione delle emissioni di gas serra, risparmio energetico e promozione delle fonti energetiche rinnovabili si susseguono a ritmi incalzanti.

Infatti sono sempre più diffusi 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 realizzato dall'azienda Tresol srl.

Questo impianto è collocato in uno stabilimento industriale ubicato in Avellino, atto a raccogliere dati sulle performance dei pannelli prodotti dalla Tresol srl (a marchio TVPsolar), i suoi componenti principali sono:

- 50 pannelli solari divisi in 10 stringhe;
- scambiatore di calore;
- serbatoio di accumulo termico;
- pompa;
- gruppo frigorifero ad assorbimento;
- sistema di depressurizzazione.

A questi si aggiungono:

- strumenti di misura;
- tubazioni;
- apparecchiature di sicurezza.

In primis è stata calcolata la distanza minima necessaria affinché le stringhe non si facessero ombra anche nelle ore in cui il sole è più basso, analizzando il diagramma solare di Avellino.

Per averne una riproduzione reale anche se in fase di progetto, è stato realizzato un modello 3D mediante il programma Autocad3D Plant.

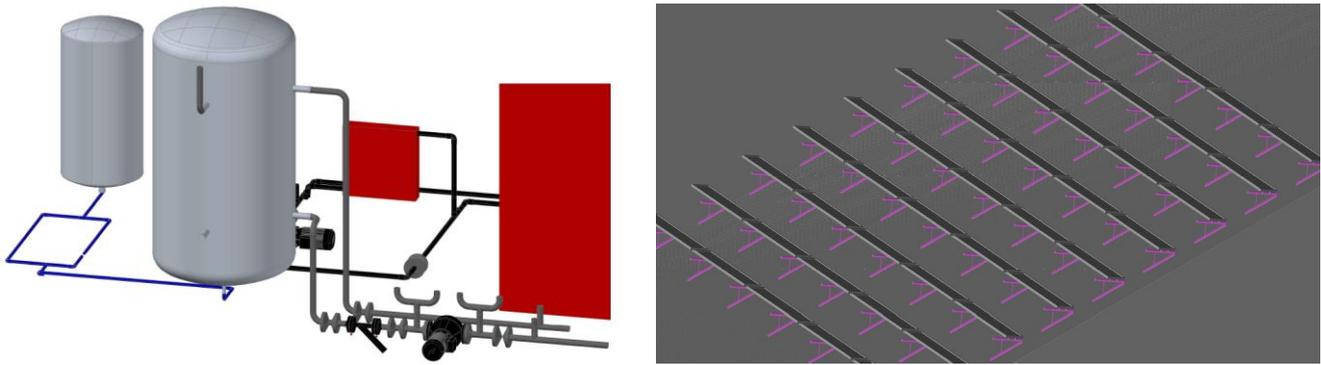


Figura 1- Impianto realizzato con Autocad3D Plant

I collettori, “TVP Solar”, utilizzati nell’impianto oggetto di studio sono solari termici piani evacuati. Si tratta di collettori che riescono a captare sia la radiazione diffusa che quella diretta. Si è scelta una inclinazione di 30° rispetto all’orizzontale ed un’esposizione verso Sud. Questi pannelli mantengono un’efficienza elevata anche ad alte temperature, senza avere bisogno di un sistema a concentrazione di conseguenza sono in grado di alimentare un assorbitore bistadio che necessita di un fluido in ingresso ad una temperatura di $160-180^\circ\text{C}$.

Ogni pannello è collegato all’altro mediante dei connettori, l’ultimo di ogni stringa è connesso tramite un flessibile ai tubi rigidi in acciaio inox di mandata e ritorno, che collegano il campo solare ad un serbatoio di accumulo. Le tubazioni saranno isolate con lana di vetro, spessore 50 mm e rivestiti di alluminio per contrastare le azioni degli agenti atmosferici. Nel progetto il gruppo frigorifero utilizzato è un macchina ad assorbimento a doppio effetto che utilizza come fluidi di lavoro acqua e bromuro di litio; la macchina è prodotta dalla ditta BROAD. Il gruppo frigorifero utilizzato è un modello BCT23; esso è alimentato dall’acqua calda prodotta dal campo solare, ed ha una potenza frigorifera di 23 KW ed un COP di 1.1. Si tratta di un gruppo monoblocco da esterno, comprendente oltre al gruppo ad assorbimento anche la torre di raffreddamento, le pompe per il circuito di riscaldamento/condizionamento e dell’acqua calda sanitaria.

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.

Per avere una simulazione più cospicua sono state apportate delle modifiche sull'impianto reale. Si è ipotizzato che l'impianto fornisca anche acqua calda sanitaria e garantisca il riscaldamento invernale ad un'utenza fittizia.

Il principio di funzionamento di impianto di climatizzazione ad energia solare è estremamente semplice: pannelli solari TVP producono un fluido termovettore ad alta temperatura che alimenta refrigeratori d'acqua ad assorbimento, i quali sono in grado di convertire l'energia termica prodotta dal collettore solare in energia frigorifera, da utilizzare per il raffrescamento estivo degli ambienti; in inverno, invece, l'energia termica prodotta dai pannelli viene utilizzata direttamente come integrazione nell'impianto di riscaldamento esistente.

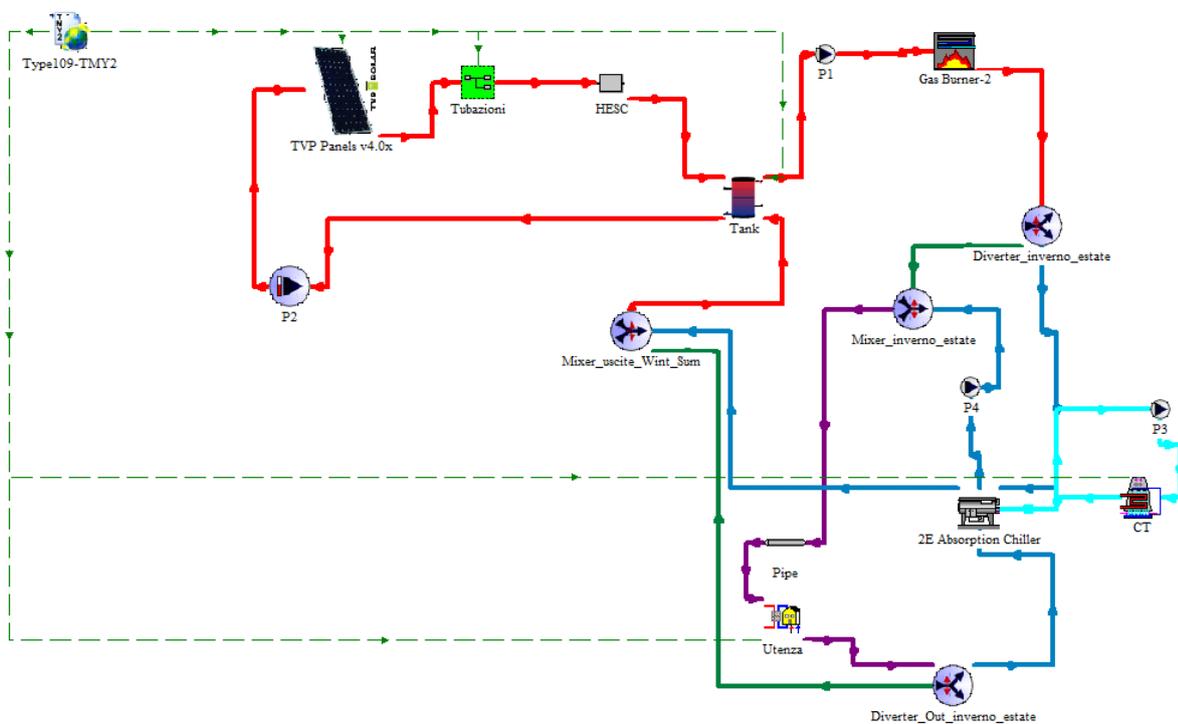


Figura 2- Modello in TRNSYS

Sono state effettuate analisi giornaliere, prendendo in considerazione un giorno significativo per la stagione invernale e uno per quella estiva, e un'analisi settimanale.

Risulta evidente che in estate si raggiungano temperature più alte rispetto all'inverno e che questo comporti a energia termica prodotta più alta.

Durante il giorno estivo si può osservare che il GasBurner non entra in gioco, questo è spiegabile col fatto che il campo solare riesca da solo ad alimentare l'assorbitore, che si accende quando l'utenza che ha necessità, ossia quando la temperatura interna supera i 26°C.

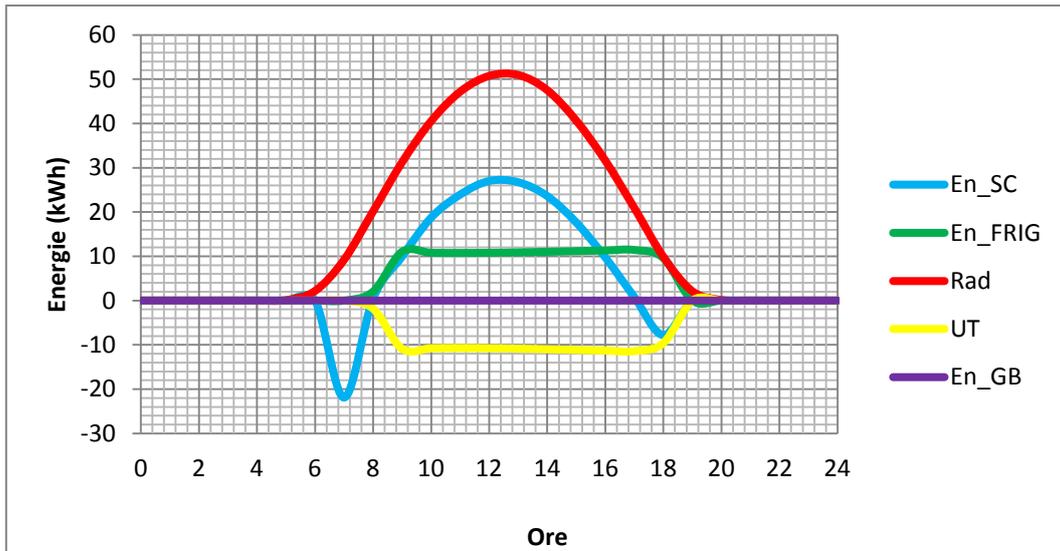


Figura 3-Giorno funzionamento estivo, andamento delle energie

In inverno, la radiazione risulta essere più scarsa, quindi una energia termica prodotta dai collettori minore che in estate; risulta evidente che in questo caso il GasBurner interviene nelle prime e nelle ultime ore di funzionamento, che coincidono con quelle con la radiazione più debole.

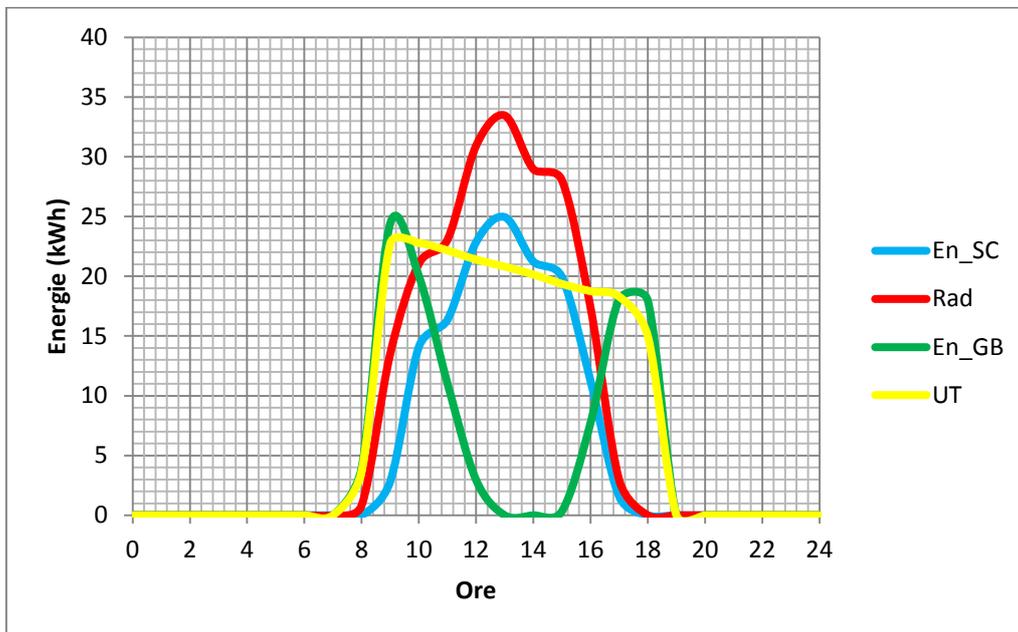


Figura 4 Giorno funzionamento invernale, andamento delle energie

E' stata effettuata l'analisi parametrica con lo scopo di osservare le diverse condizioni di funzionamento, diverse da quella di riferimento, al fine di comprendere gli effetti della variabilità di alcuni parametri di progetto più significativi su altri indicatori rappresentativi delle condizioni

energetiche, economiche e di efficienza del sistema proposto. I parametri scelti per le analisi sono: superficie di campo solare, setpoint dei collettori, volume del tank e i carichi interni all'utenza. Le variazioni significative sono relative alla variazione di superficie di campo solare.

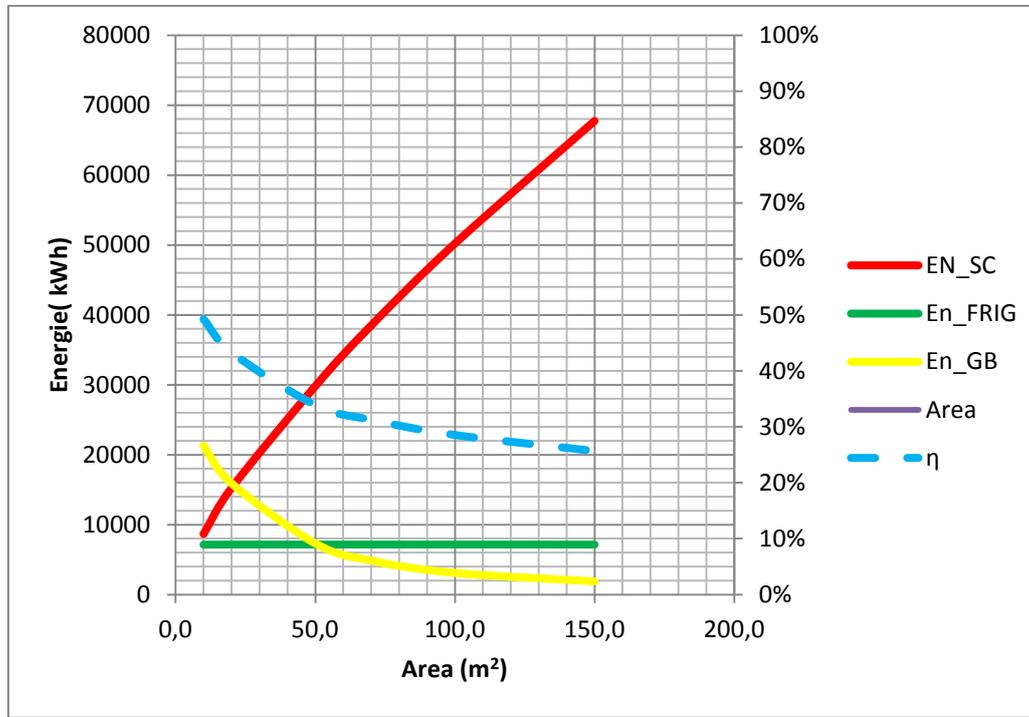


Figura 5- Andamento delle energie al variare della superficie di campo solare

L'energia frigorifera prodotta si mantiene costante, mentre l'energia termica in uscita dal campo solare cresce all'aumentare della superficie di campo solare.

Infine è stata effettuata l'analisi economica, al variare della superficie di campo solare

Il SPB tende a diminuire da un massimo di circa 19 anni ad un minimo circa di 6 anni, questo è facilmente deducibile dal fatto che all'aumentare della superficie dei collettori solari, aumenta la produzione di energia termica, di conseguenza il GasBurner riceve il segnale di accensione sempre più raramente e quindi la spesa di gas naturale è minore e un ΔC sempre maggiore quanto più grande ; viceversa il VAN cresce con l'aumentare dei m^2 , si riscontrano valori negativi dai $50 m^2$ ai $90 m^2$.

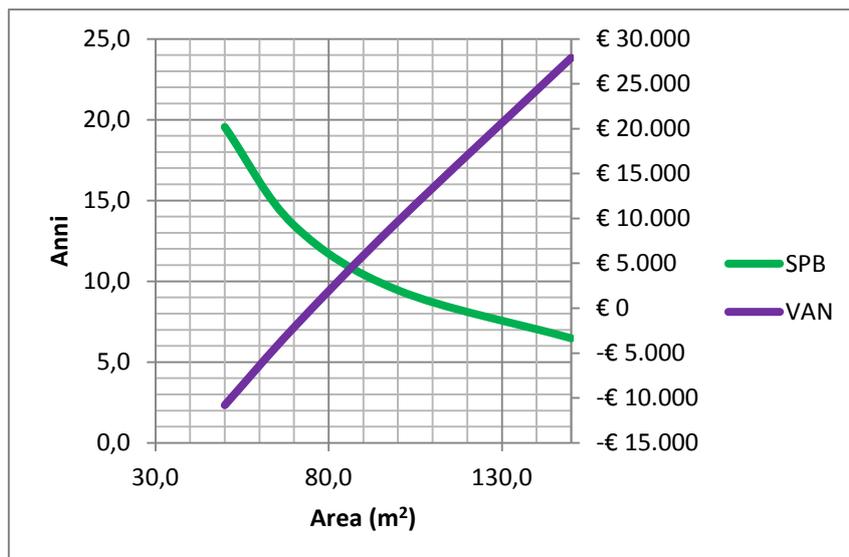


Figura 6- Andamento del SPB e del VAN al variare della superficie di campo solare

I risultati relativi alla configurazione in esame, 52.5 m² sono:

Tabella 1- Analisi economica

I₀	Investimento iniziale	51750	€
I_{inc}	Investimento incentivato	29962.5	€
ΔC	Ricavo-spesa	1077.48	€
SPB	Simple payback	27.8	anni

Infine, è stato studiato e simulato il modello così com'è nella realtà. Il modello funziona come il precedente salvo alcune differenze: prevede una produzione di energia frigorifera tutto l'anno e non ha un'utenza come destinazione.

Ovviamente la radiazione totale è la stessa del caso precedente, invece c'è produzione di energia frigorifera tutto l'anno, così come prevede la nuova configurazione. L'energia prodotta dal campo solare è maggiore laddove è maggiore la radiazione, viceversa la produzione di energia del GasBurner, che interviene quando il campo solare non riesce da solo ad alimentare l'assorbitore, cioè durante la stagione invernale.

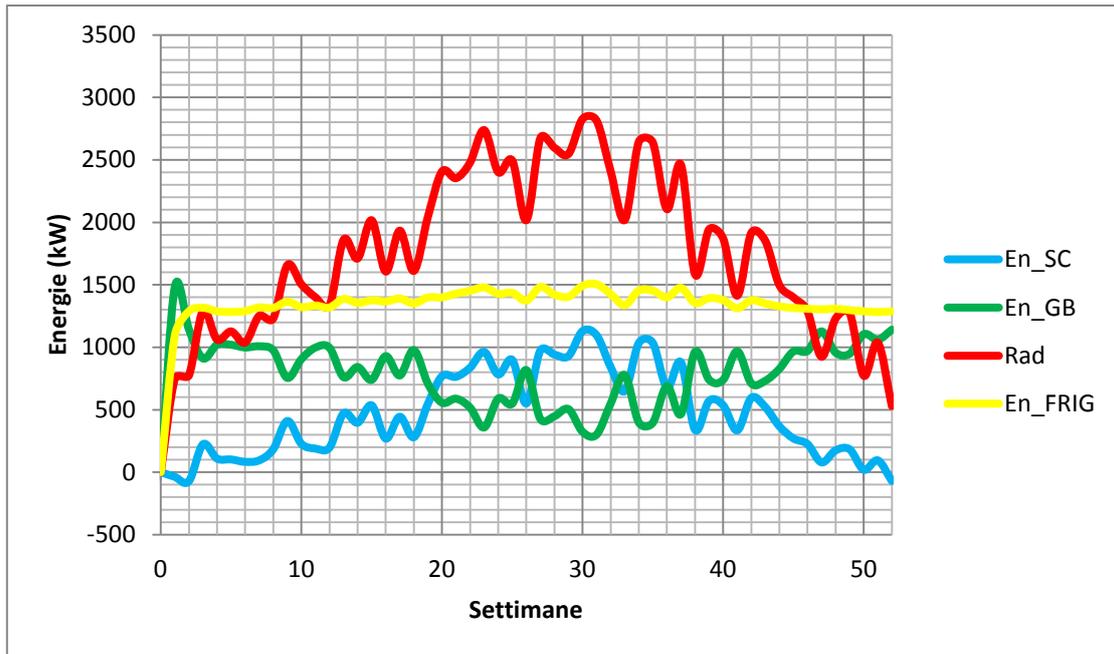


Figura 7- Analisi settimanale, caso reale

L'analisi economica, considerando gli stessi incentivi del Conto termico del DM del 28 dicembre 2012 ha portato i seguenti risultati:

Tabella 2 - Indici economici

ΔC [€]	SPB [anni]	VAN [€]
1507.86	19.87	-11114.22