

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

SECONDA FACOLTA' DI INGEGNERIA  
con sede a Cesena

**CORSO DI LAUREA**

in INGEGNERIA MECCANICA

Classe: Ingegneria industriale

Sede di Forlì

**ELABORATO FINALE DI LAUREA**

in Strumentazione e automazione industriale L

Studio comparativo tra un orientamento Est-Ovest e uno a Sud per  
un sistema solare termico applicato ad una struttura alberghiera

CANDIDATO

Farabegoli Davide

RELATORE

Prof. Ing. Bianchini Augusto

Anno Accademico 2011/2012

Sessione I<sup>a</sup>



Dedico questa tesi a Elena  
e a tutta la mia famiglia.



# **INDICE**

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITOLO 1 – Le utenze alberghiere .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPITOLO 2 – Gli impianti esaminati .....</b>	<b>14</b>
2.1 Hotel Splendid .....	16
2.2 Hotel Tiffany's .....	20
<b>CAPITOLO 3 – Simulazioni .....</b>	<b>26</b>
3.1 Hotel Splendid .....	27
3.2 Hotel Tiffany's .....	29
<b>CAPITOLO 4 – Misurazioni .....</b>	<b>32</b>
4.1 Strumentazione e metodo di misura .....	32
4.2 Raccolta ed elaborazione dati .....	33
4.3 Copertura energetica reale degli impianti .....	36
<b>CAPITOLO 5 – Conclusioni .....</b>	<b>40</b>
5.1 Sviluppi futuri .....	42
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>43</b>
<b>SOFTWARE UTILIZZATI .....</b>	<b>43</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>45</b>



## **INTRODUZIONE**

Con questo lavoro si intende affrontare il tema riguardante l'applicazione di un sistema solare termico ad una struttura alberghiera per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) e per il riscaldamento della piscina. In particolare, si valuteranno le prestazioni e la convenienza dello stesso in due differenti configurazioni: campo solare completamente rivolto a Sud e campo solare ad orientamento Est-Ovest.

La prima soluzione è quella più comunemente utilizzata dagli installatori di questo tipo di impianti, poiché con tale configurazione il campo solare si trova teoricamente nella sua condizione di captazione ottimale proprio quando il sole è al suo culmine (massima radiazione solare globale): è per questo quasi l'unica adottata nel campo dei sistemi fotovoltaici ed è ampiamente "consigliata" in letteratura tecnica anche per impianti solari termici. La soluzione con orientamento Est-Ovest, dunque, è sempre stata considerata finora come un "ripiego", nel caso per vari motivi (vincoli architettonici, ombreggiamenti o altro) non fosse possibile installare l'impianto con pannelli rivolti a Sud.

Il fine ultimo di questo lavoro è dimostrare che invece, nel particolare caso di utenza alberghiera, **una configurazione Est-Ovest potrebbe essere più vantaggiosa rispetto ad una più classica configurazione Sud.**

Nella prima parte della trattazione verrà impostata una panoramica sulle caratteristiche di questo tipo di utenze, puntando anche l'attenzione sulle principali problematiche che si incontrano durante la progettazione di un sistema solare termico per tali applicazioni.

Successivamente, passeremo a presentare dettagliatamente i due impianti solari presi a modello per lo svolgimento del seguente studio comparativo (ognuno rappresentativo di una delle due configurazioni sopra citate). Come vedremo, le due installazioni scelte ben si prestano ad un'analisi di questo tipo, essendo simili tra loro per moltissimi aspetti.

Una terza fase riguarderà la modellazione e simulazione dei due sistemi tramite un software specifico (Tolomeo) molto utilizzato dalle aziende del settore per dimensionare accuratamente gli impianti solari termici.

La quarta parte ed ultima parte dello studio sarà invece dedicata alle misurazioni effettuate direttamente sugli impianti considerati. I dati raccolti da quest'indagine ci porteranno, dopo la loro elaborazione, a valutare l'effettiva resa energetica delle due installazioni; in questa sede sarà anche interessante raffrontare tali risultati con quelli precedentemente forniti dal simulatore.

Una ricerca ed uno studio affinato condurrebbero sicuramente a dati più precisi, ma a mio parere anche una trattazione sommaria come la seguente può fornire una serie di indicazioni utili per muoversi nel settore dell'impiantistica solare termica, un campo ancora non del tutto "esplorato" e privo quindi di regole universalmente riconosciute per la corretta progettazione.



## **CAPITOLO 1: Le utenze alberghiere**

Come già accennato nell'introduzione a questa trattazione, ci occuperemo esclusivamente del caso particolare di sistema solare termico applicato ad una struttura alberghiera. L'applicazione per utenze domestiche segue ovviamente gli stessi principi tecnici di base, ma si differenzia notevolmente in fase di dimensionamento e progettazione: le strutture ricettive, quali gli alberghi, hanno infatti caratteristiche ed esigenze proprie che vanno ben oltre la prevedibile maggior dimensione dell'impianto termico (derivante dai maggiori consumi generali); in poche parole, un grande impianto non è semplicemente un piccolo impianto in grande scala.

In particolare, ho deciso di analizzare il caso di alberghi situati in prossimità del mare, quali sono quelli situati nella nostra riviera romagnola; principalmente perché, essendo io stesso residente in questa zona, ne ho sicuramente una conoscenza più diretta. Questo non dovrebbe inficiare però la generalità del mio lavoro, in quanto le esigenze "termiche" di strutture ricettive poste al mare, in montagna, all'interno di grandi città o altrove sono pressoché simili.

Si intende inoltre che il sistema solare in questione venga sfruttato solo per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) e per il riscaldamento di un'eventuale piscina: è questa infatti l'applicazione alla quale si riferiscono al momento le migliori prestazioni del solare termico.

Premesso che ovviamente ogni caso deve essere affrontato nello specifico, si possono notare alcune caratteristiche comuni a tutte queste utenze alberghiere o quantomeno molto ricorrenti. Andiamo ora ad illustrarle brevemente.

### **Fabbisogno di ACS elevato**

Come è facile intuire, il fabbisogno di acqua calda sanitaria in questa tipologia di utenza è notevole. Primo perché, essendo una struttura ricettiva, deve garantire un certo benessere ai propri ospiti; in secondo luogo, fattore di certo non trascurabile, le persone quando sono in vacanza raramente si preoccupano di sprechi e consumi. Per un albergatore l'esborso economico derivante dal consumo di gas è quindi una voce di costo alquanto rilevante: analizzandola nel caso di impianto termico

tradizionale si scopre che, tolto circa un 30% dovuto all'utilizzo delle cucine e di eventuali essiccatoi per biancheria, la quota rimanente è dovuta proprio alla produzione di ACS.

Da quanto detto si evince che lo sfruttamento della fonte solare (o altra fonte rinnovabile) finalizzato al riscaldamento dell'acqua non può che essere una scelta vincente in questo contesto. Inoltre, gli elevati consumi di acqua calda, che rappresentano un grosso problema economico nel caso di impianto alimentato esclusivamente a gas, diventano una sorta di vantaggio per un sistema solare termico ben progettato. Questi infatti garantiscono un'alta efficienza dell'intero sistema, facendolo lavorare sempre a basse temperature e mantenendo quindi ottimi rendimenti di captazione (nei pannelli solari) e di rimozione del calore (negli scambiatori). Oltretutto, le basse temperature operative preservano al meglio l'integrità della miscela acqua-glicole, dei collettori e dell'intero gruppo di pompaggio.

### **Piano di carico definito**

Per "piano di carico" si intende la distribuzione dei consumi totali all'interno dell'arco temporale considerato (giorno e/o anno).

Per quanto riguarda le utenze alberghiere, i consumi di ACS si concentrano, come è noto, in poche ore della giornata. Nello specifico, per quelle situate in località marittima, avremo una leggera richiesta durante le prime ore del mattino, un'altra intorno all'ora di pranzo (derivante soprattutto dall'uso delle cucine) ed infine un picco notevole dalle 18 alle 21. In quest'ultima fascia oraria si ha infatti il rientro degli ospiti dagli stabilimenti balneari ed una conseguente richiesta massiccia di acqua calda per le docce, sovrapposta ovviamente a quella proveniente dalle cucine.

Conoscere in modo abbastanza dettagliato il piano di carico giornaliero aiuta non poco nel dimensionamento e nel posizionamento dei collettori per un sistema solare termico: si può infatti cercare di accumulare la massima quantità di calore per le ore di massimo carico, agendo sull'orientamento dei pannelli solari (azimut). Allo stesso modo, la conoscenza del piano di carico annuale può permetterci di ottimizzare il sistema per un dato periodo dell'anno, modificando l'inclinazione dei pannelli solari (angolo di tilt): è facile intuire come quest'ultima opportunità sia quanto mai da sfruttare nel caso di strutture ad apertura solo stagionale (la maggior parte degli alberghi presenti lungo la riviera romagnola).

## Problema dell'accumulo

All'interno di un impianto solare termico l'accumulo ha una funzione primaria, perché dalle sue dimensioni e dalla sua forma dipendono le prestazioni e l'efficienza dell'intero sistema; in particolare, uno dei suoi compiti principali è quello di permettere un efficace smaltimento del calore nei collettori, evitandone al massimo il surriscaldamento (stagnazione termica) che farebbe crollare il rendimento generale dell'impianto. Purtroppo questa diventa, in fase progettuale, anche la condizione più impegnativa da rispettare, soprattutto nel caso di impianti operanti durante la stagione estiva o in località molto calde, perché si renderebbero spesso necessari volumi di accumulo esagerati e difficilmente posizionabili.

Una delle difficoltà più frequenti che si incontrano nell'applicazione di un sistema solare termico a questo tipo di utenze consiste infatti nel trovare lo spazio necessario al posizionamento dell'accumulo: solitamente ci si trova davanti a centrali termiche molto ridotte, il più delle volte ricavate in posti inaccessibili a bollitori di dimensioni significative. Molto spesso poi si è anche costretti a riutilizzare serbatoi già presenti, che nella maggior parte dei casi mal si adattano all'utilizzo del solare, ma che difficilmente il committente sarà disposto a sostituire integralmente. Pertanto, si presenta la necessità di "pensare" l'impianto più che sulla base di regole teoriche, adattandolo e adeguandolo il più possibile all'impianto di produzione di ACS già esistente. Appare da subito evidente quindi che una situazione in cui il progettista non possa liberamente decidere quale tipo di bollitore utilizzare complicherebbe e vincolerebbe il dimensionamento in maniera determinante; in generale, lo scenario appena descritto porterà quasi sempre ad una notevole riduzione del volume totale di accumulo rispetto al suo valore ottimale. Tenuto conto di questa premessa, si rivelerà assai utile qualsiasi accorgimento che punti a sfruttare al massimo l'accumulo installato, malgrado il prevedibile sottodimensionamento dello stesso.

Il primo aspetto su cui possiamo agire in questo senso è sicuramente l'aumento del "fattore di contemporaneità solare", termine con il quale viene indicato il grado di contemporaneità tra la produzione di ACS ed il suo effettivo utilizzo; per la precisione, esso rappresenta il rapporto tra l'energia consumata nel momento della sua produzione e quella prodotta nell'arco dell'intera giornata (si esprime con un numero compreso tra 0 e 1): valori alti del fattore di contemporaneità solare porteranno ovviamente a serbatoi più contenuti.

In secondo luogo, ogni espediente volto a far funzionare l'impianto a basse temperature porterà, tra i tanti vantaggi, anche una riduzione degli accumuli, dal momento che questi dovranno fronteggiare un rischio di stagnazione termica certamente minore. Nel caso di accumulo formato da due o più serbatoi separati, un accorgimento che va esattamente in questa direzione è quello di installare delle pompe di trasferimento tra di essi, le quali provvedano ad un travaso periodico dell'acqua calda da un bollitore all'altro: in questo modo otterremo una distribuzione uniforme della temperatura sull'intero accumulo e si eviterà di incorrere nel surriscaldamento di una singola parte di esso.

### **Elevata distanza tra campo solare e bollitori**

Le strutture alberghiere di cui trattiamo si sviluppano mediamente per 4/5 piani in altezza e raramente le loro centrali termiche sono collocate nei pressi del campo solare: spesso queste si trovano in locali seminterrati, mentre i pannelli solari, per ovvie ragioni, saranno posizionati sul tetto dell'edificio. Questa situazione comporta svariate conseguenze negative da un punto di vista impiantistico.

Per prima cosa si richiede un dimensionamento adeguato delle tubature di collegamento tra scambiatori e collettori, onde evitare perdite di carico eccessive che causerebbero portate troppo basse del fluido termovettore (quindi una lenta rimozione del calore nei pannelli solari) o addirittura un mal funzionamento della pompa del gruppo solare, la quale non riuscirebbe a vincere la prevalenza. Non è banale perciò, in fase di dimensionamento, valutare la convenienza derivante dalla scelta di un diametro di tubatura maggiore o di una pompa con maggiore prevalenza; in entrambi i casi comunque aumenteranno certamente i costi impiantistici e di esercizio.

Inoltre, non sono certo da trascurare le dispersioni di calore utile che avvengono lungo i vari rami dell'impianto, le quali sono direttamente proporzionali alla lunghezza dei rami stessi. Sarà opportuno pertanto provvedere ad un'adeguata coibentazione delle varie tratte di tubatura, al fine di limitare al massimo questo "spreco" di energia; tuttavia anche questa operazione porterà ad un aumento generale dei costi impiantistici. Infine, va fatto notare che, a parità di coibentazione e lunghezza di tubatura, le dispersioni termiche crescono all'aumentare della temperatura del fluido termovettore (poiché aumenta il gradiente di temperatura sulla parete del tubo, il quale condiziona pesantemente lo scambio termico);

avere quindi un impianto che lavora a basse temperature comporterà ancora una volta dei benefici.

### **Difficoltà nel posizionamento e ancoraggio dei collettori**

Come già anticipato, il campo solare deve essere posizionato nel punto dell'edificio maggiormente esposto al sole, che risulterà essere per il 99% dei casi il tetto. La copertura di questo può essere talvolta a falda, ma per gli alberghi della riviera romagnola la tipologia più comune è sicuramente quella piana.

Dai sopralluoghi effettuati si è constatato che, specialmente sulle coperture piane, sono spesso presenti numerosi ostacoli all'installazione delle strutture di sostegno dei collettori (condizionatori, camini, antenne, tubature ecc...); questi purtroppo sono fonti di possibili ombreggiamenti, oltre ad essere di impedimento ad un'installazione facile e veloce. Nella maggior parte dei casi è quindi richiesto uno studio dedicato al posizionamento ed all'ancoraggio dei cavalletti che andranno a sostenere i pannelli solari, anche per evitare di caricare troppo il solaio o di rovinarne la guaina impermeabile.

Inoltre, va ribadito che le strutture alberghiere considerate sono poste in prossimità del mare e hanno altezze mediamente intorno ai 20 metri; pertanto non è possibile trascurare l'effetto del vento sulla tenuta dei componenti che assicurano l'ancoraggio dei collettori e neppure i problemi connessi al carico neve che si potrebbero verificare nel periodo invernale: è necessario dunque un accurato calcolo strutturale al fine di evitare cedimenti meccanici della struttura di sostegno.

## **CAPITOLO 2: Gli impianti esaminati**

Per questo studio comparativo sono stati analizzati e monitorati due impianti solari termici reali, ognuno rappresentativo di una delle configurazioni di campo solare prese in esame: Sud e Est-Ovest. Gli impianti in questione sono stati opportunamente scelti in modo da essere il più possibile simili tra loro, sia per caratteristiche tecniche (componenti utilizzati e parametri di funzionamento) che per condizioni al contorno (radiazione solare, piano di carico, consumi totali ecc...); questo per rendere il problema dipendente, in prima approssimazione, solo dall'orientamento dei pannelli solari, riducendo al minimo il peso di altre variabili. Le installazioni considerate sono situate nella medesima località e presentano la stessa superficie complessiva del campo solare, lo stesso modello di collettore e analogo accumulo dedicato. Inoltre, anche le utenze sono perfettamente paragonabili, poiché i due sistemi solari sono installati presso alberghi con piani di carico molto simili e un numero equivalente di presenze durante la stagione estiva; infine entrambe le strutture sono dotate di piscina esterna (scoperta) collegata al sistema solare.

I due alberghi citati sono per la precisione:

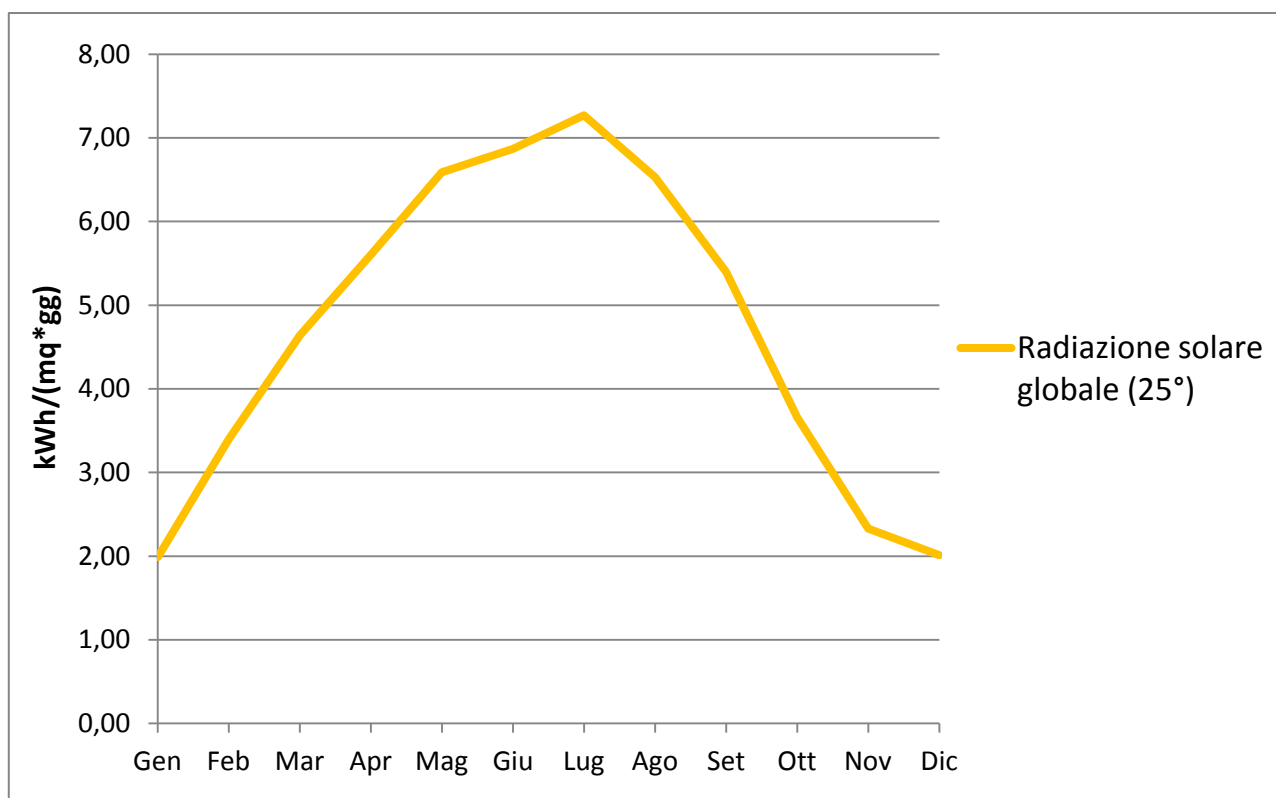
1. **Hotel Splendid** (campo solare completamente orientato a Sud)
2. **Hotel Tiffany's** (campo solare con orientamento Est-Ovest)

Da adesso in poi ogni sistema solare termico verrà indicato, per semplicità espositiva, con il nome dell'albergo a cui è associato.

Come è già stato accennato, il livello di radiazione solare globale a cui sono soggette le due installazioni può essere considerato pressoché identico, siccome entrambi gli alberghi sono situati nella località di Cattolica (RN); precisamente, essi sono distanti solo poche centinaia di metri, in linea d'aria, l'uno dall'altro (vedi Figura 1). La Figura 2 mostra la variazione annuale dell'intensità della radiazione solare globale in questa zona geografica (i dati sono calcolati per un'inclinazione dei collettori di 25° rispetto al suolo): le ordinate del grafico rappresentano sostanzialmente il massimo quantitativo energetico ricavabile, in un giorno, da un impianto solare con rendimento unitario.



**Figura 1** - Vista dal satellite dei due alberghi (Sud↑)



**Figura 2** – Andamento annuale della radiazione solare globale a Cattolica (RN)

Passiamo ora a presentare nel dettaglio i due impianti oggetto dello studio.

## 2.1 Hotel Splendid



**Figura 3** - Hotel Splendid (facciata Sud)



**Figura 4** - Hotel Splendid (vista collettori)

Il sistema installato presso Hotel Splendid presenta un campo solare completamente rivolto verso Sud; nello studio seguente esso funge da punto di riferimento per qualsiasi confronto, dal momento che rappresenta la configurazione di gran lunga più adottata per impianti solari termici.

I dati principali dell'impianto sono stati riassunti nella seguente tabella:

LOCALITA'	Cattolica (RN)
TIPO DI UTENZA	Hotel
<b>ORIENTAMENTO CAMPO SOLARE</b>	<b>Sud</b>
MODELLO COLLETTORE SOLARE	Schüco SchücoSol S2 (vetrato piano)
N° COLLETTORI	24
SUPERFICIE DI CAPTAZIONE TOTALE	61 mq
ACCUMULO DEDICATO AL SOLARE	3200 litri
CENTRALINA DI GESTIONE SOLARE	Schüco VARIO
PISCINA COLLEGATA AL SOLARE	Sì (esterna e scoperta)
ANNO DI INSTALLAZIONE	2008

**Tabella 1** - Dati generali dell'impianto (Hotel Splendid)



Di seguito è invece presentato il layout (semplificato) del suddetto impianto.

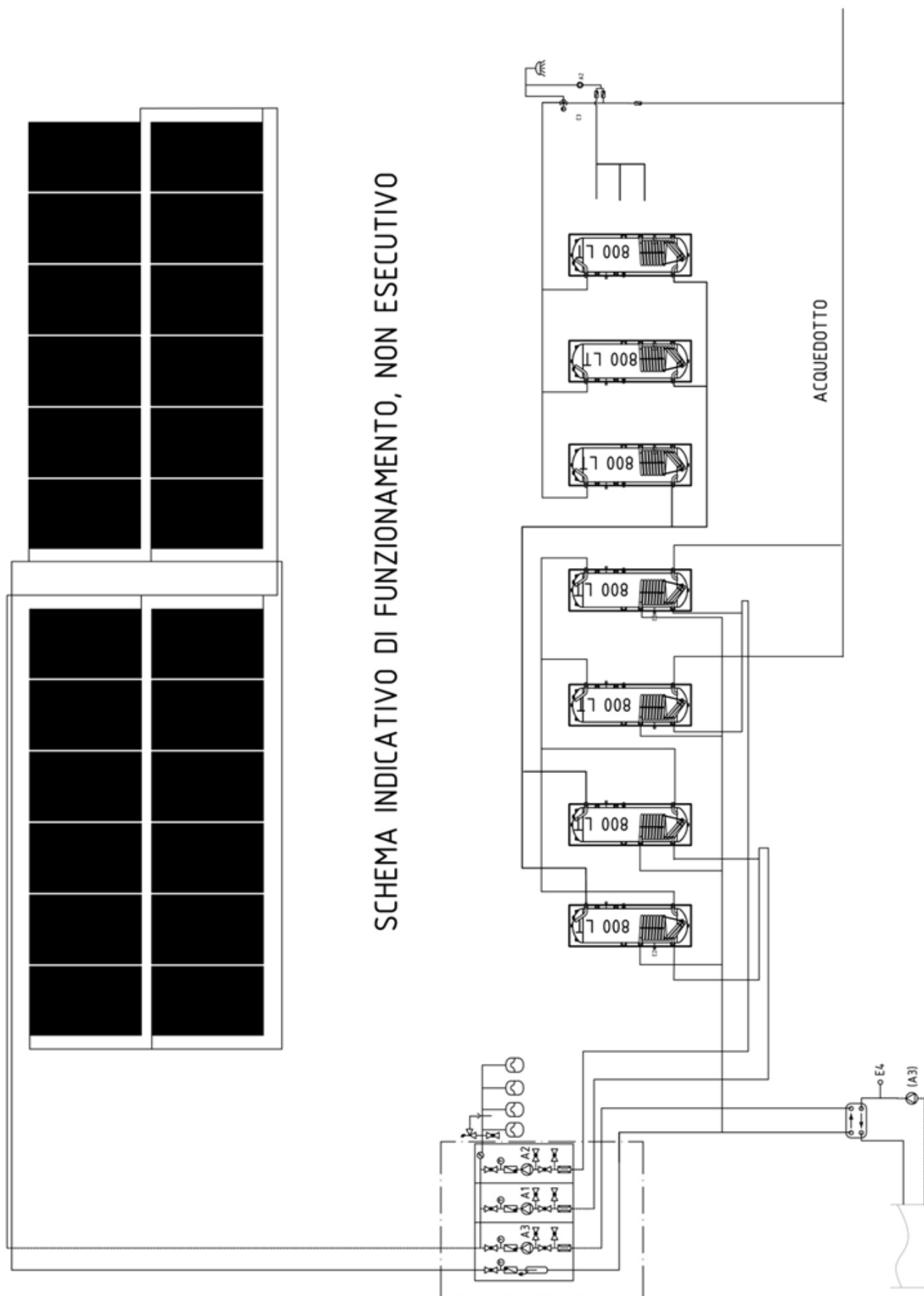
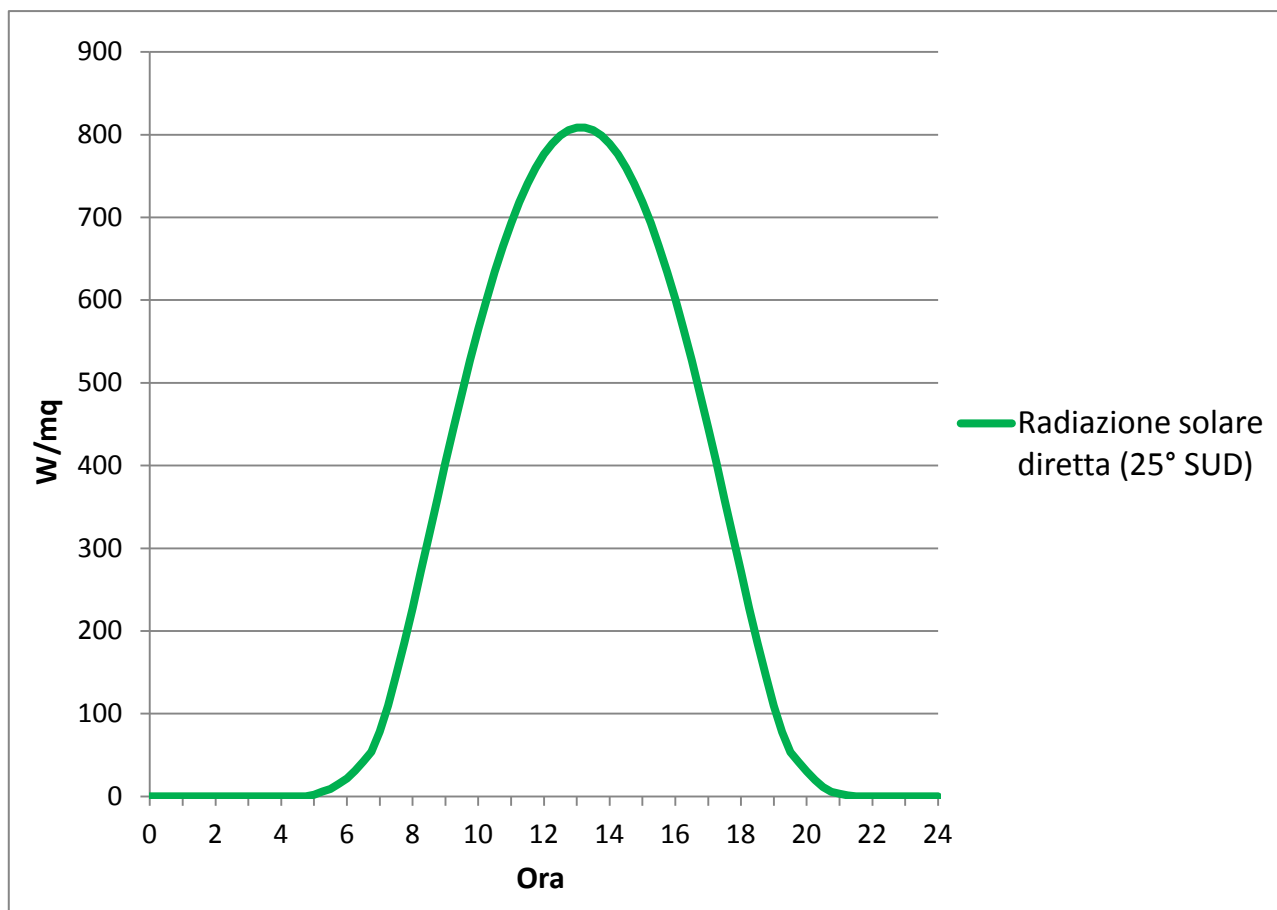


Figura 5 - Layout dell'impianto (Hotel Splendid)

Come è ben visibile dal layout (Figura 5) e dalle foto precedenti (Figura 3 e 4), il campo solare è diviso in 4 batterie di collettori (tutte rivolte verso Sud); queste sono collegate in parallelo tra loro e composte da 6 collettori ciascuna.

Per quanto riguarda invece l'accumulo, notiamo la presenza di un totale di 7 bollitori adibiti alla produzione di ACS; bisogna però precisare che solo 4 di questi (3200 litri) sono dedicati al sistema solare, mentre i restanti sono collegati ad una tradizionale caldaia a gas: questi ultimi ricevono in ingresso l'acqua riscaldata dal sistema solare, la caldaia poi interviene (se necessario) per portare l'acqua alla temperatura finale impostata (60°C). Tutti i bollitori sono di tipo verticale ed operano il riscaldamento dell'acqua al loro interno tramite scambiatori a serpentino immerso.

Anche l'impianto di riscaldamento della piscina è collegato al sistema solare, sebbene il suo funzionamento sia subordinato alla produzione di ACS. Il sistema di controllo utilizzato ha infatti come priorità il riscaldamento dell'acqua sanitaria, fino al raggiungimento di una temperatura massima di 85°C dentro all'accumulo dedicato; nel caso in cui i bollitori abbiano raggiunto questa temperatura oppure l'acqua all'interno di essi sia più calda del fluido in uscita dal campo solare, il sistema commuta sulla piscina: concretamente questa situazione può verificarsi durante giornate particolarmente soleggiate oppure in momenti di scarsi consumi di ACS (periodi di bassa stagione, ore centrali della giornata ecc...). Per completezza, occorre dire che la centralina effettua il suddetto controllo delle temperature ogni 30 minuti, verificando quindi con regolarità se ci sono le condizioni per far lavorare il sistema solare sui bollitori o sulla piscina. Benché questo non sia certo il metodo più efficace per il riscaldamento di una piscina, è stato scelto dal progettista più che altro a salvaguardia dell'integrità dell'impianto solare termico: la piscina funge infatti da "pozzo freddo" nell'eventualità di surriscaldamento del sistema solare, prevenendo la stagnazione termica e le relative problematiche. Non è comunque da trascurare il contributo termico che la piscina riceve direttamente dal sole per irraggiamento, trattandosi di uno specchio d'acqua scoperto e di superficie considerevole; anche se difficilmente quantificabile, questo contributo è solitamente in grado da solo di mantenere l'acqua della piscina ad una temperatura confortevole durante l'estate. Pertanto, il suddetto schema di funzionamento ben si addice ad una struttura alberghiera ad apertura solo estiva (come nel nostro caso): difatti tale sistema non permetterebbe di riscaldare opportunamente la piscina durante il periodo invernale.



**Figura 6** – Andamento giornaliero della radiazione solare diretta (orientamento Sud)

La Figura 6 mostra come varia, durante il giorno, l'intensità dei raggi solari che incidono direttamente su un collettore orientato a Sud e inclinato di  $25^\circ$  rispetto al suolo (i dati sono frutto di una media sul periodo che va da inizio Maggio a fine Settembre). Come è noto, la radiazione solare diretta costituisce solo una frazione della radiazione solare globale (somma di radiazione diretta e diffusa) e rappresenta sicuramente il fattore di maggior importanza per le prestazioni di un generico impianto solare; osservando questo grafico, è facile quindi prevedere che l'installazione di Hotel Splendid avrà il suo picco di produzione energetica durante le ore centrali della giornata.

## 2.2 Hotel Tiffany's



**Figura 7** - Hotel Tiffany's (facciata Ovest)



**Figura 8** - Hotel Tiffany's (vista collettori lato Ovest)

Il sistema solare installato presso Hotel Tiffany's presenta un campo solare con orientamento Est-Ovest, diviso cioè in due parti uguali, le quali si affacciano rispettivamente verso Est e verso Ovest. Questa particolare configurazione è stata dettata principalmente dalla conformazione del tetto dell'edificio, che avrebbe complicato notevolmente un'installazione "classica" (con pannelli rivolti a Sud). Infatti, come è possibile notare dalla Figura 7, la copertura del tetto è a falda con orientamento Est-Ovest; per orientare quindi il campo solare verso Sud sarebbe stato necessario installare delle complicate strutture di sostegno per i collettori (sul tetto o sulla facciata Sud dell'edificio).



**Figura 9** - Hotel Tiffany's (vista complessiva del tetto)

I dati principali dell'impianto sono stati riassunti nella seguente tabella:

LOCALITA'	Cattolica (RN)
TIPO DI UTENZA	Hotel
<b>ORIENTAMENTO CAMPO SOLARE</b>	<b>Est - Ovest</b>
MODELLO COLLETTORE SOLARE	Schüco SchücoSol S2 (vetrato piano)
N° COLLETTORI	24
SUPERFICIE DI CAPTAZIONE TOTALE	61 mq
ACCUMULO DEDICATO AL SOLARE	3000 litri
CENTRALINA DI GESTIONE SOLARE	Schüco VARIO
PISCINA COLLEGATA AL SOLARE	Sì (esterna e scoperta)
ANNO DI INSTALLAZIONE	2011

**Tabella 2** - Dati generali dell'impianto (Hotel Tiffany's)

L'accumulo dedicato al solare è formato da due grossi bollitori (per una capacità totale di 3000 litri) che operano il riscaldamento dell'acqua al loro interno tramite scambiatori a serpentino immerso. Come per il precedente impianto, il sistema solare funge da pre-riscaldamento dell'acqua per uso sanitario; questa viene poi trasferita in un terzo bollitore sul quale agisce una tradizionale caldaia a gas (per un'eventuale integrazione di calore).

A differenza dell'impianto di Hotel Splendid, in questo caso sono stati utilizzati bollitori di tipo orizzontale (vedi Figura 10); è stata questa una scelta obbligata, poiché il locale seminterrato in cui è situata la centrale termica ha un'altezza molto ridotta, che non permette l'alloggiamento di serbatoi verticali adeguati alla dimensione dell'impianto.



**Figura 10** - Hotel Tiffany's (centrale termica)

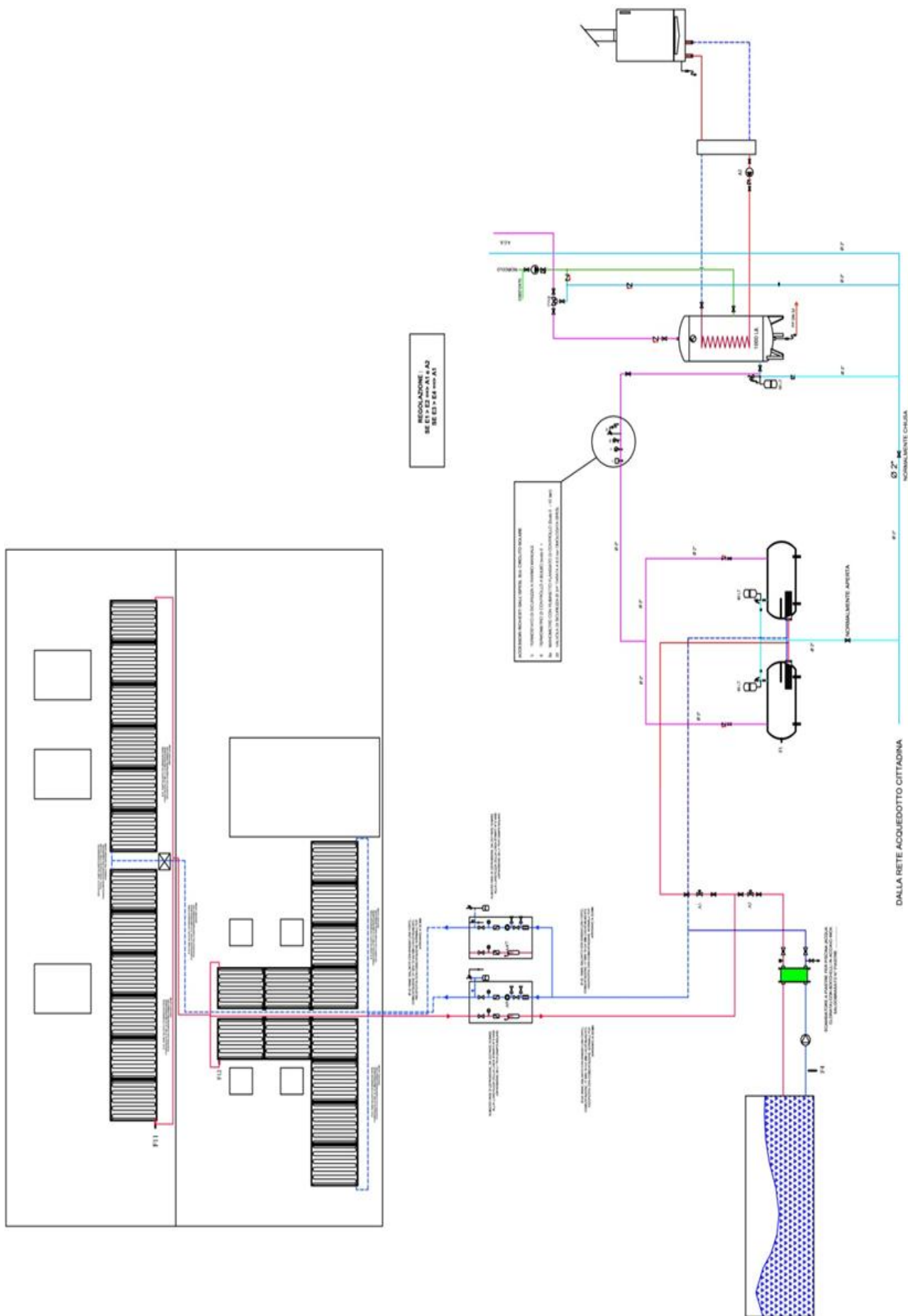


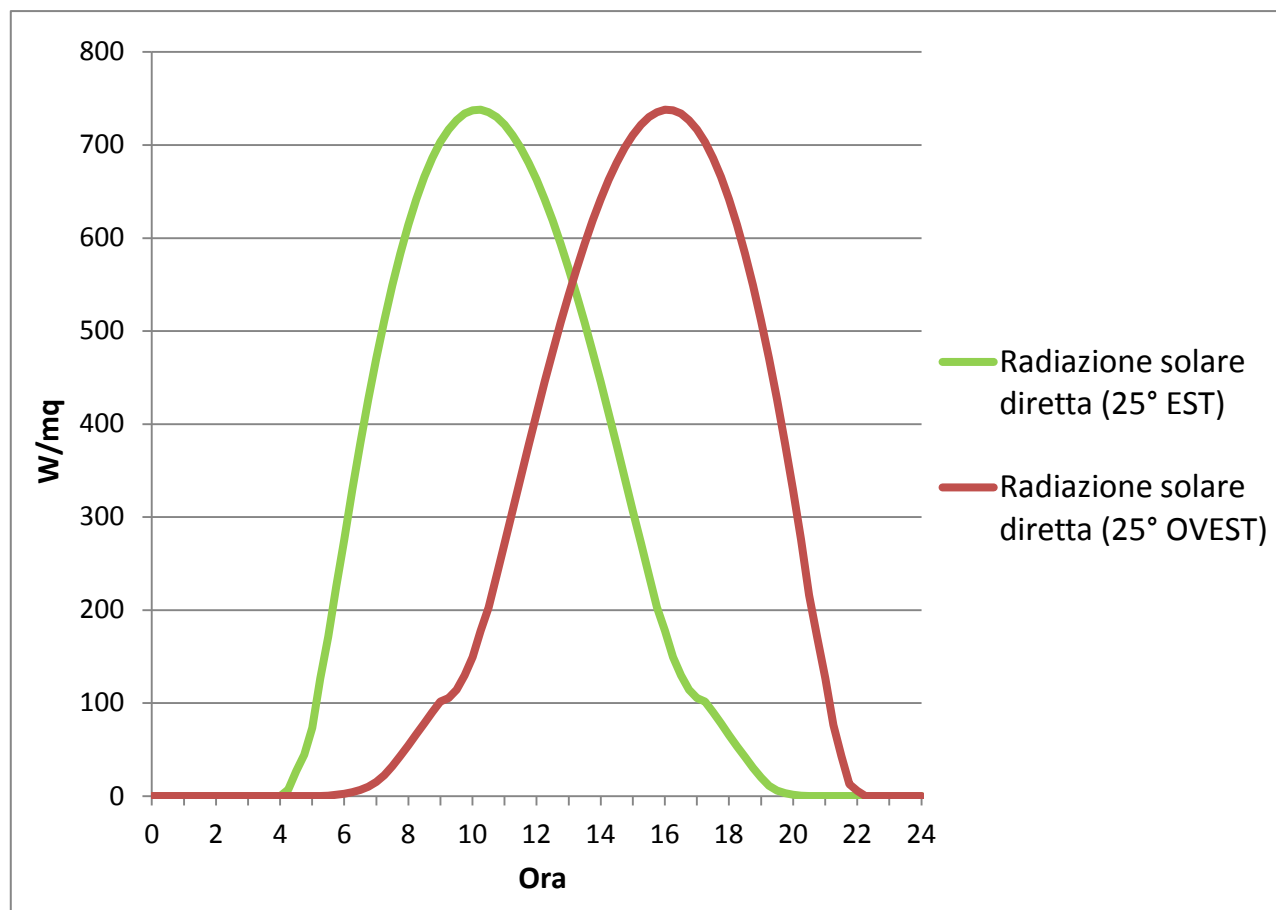
Figura 11 - Layout dell'impianto (Hotel Tiffany's)

I bollitori orizzontali presentano però l'inconveniente di non creare al loro interno una sensibile stratificazione termica, cioè una sistemazione dell'acqua per strati sovrapposti a temperature via via crescenti dal basso verso l'alto. Questo fenomeno fisico, causato dalla variazione della densità dell'acqua in funzione della sua temperatura, è molto evidente all'interno di accumuli verticali (nei quali si possono raggiungere differenze anche di 20°C tra il fluido nella parte bassa e quello nella parte alta dello stesso bollitore); in serbatoi orizzontali invece il fenomeno è quasi trascurabile. Siccome gli scambiatori del circuito solare lavorano solitamente nella parte bassa dei bollitori, una buona stratificazione termica è alquanto desiderabile, poiché consente di avere proprio in questa zona una temperatura inferiore a quella media dell'accumulo, garantendo quindi una maggior efficienza dell'intero sistema solare (come è stato detto in precedenza, quest'ultimo trae beneficio in generale da qualsiasi espediente volto a farlo lavorare a basse temperature). Su questo aspetto, dunque, l'impianto in questione si trova teoricamente svantaggiato rispetto a quello di Hotel Splendid; non potendo però quantificare con sicurezza tale svantaggio non ne terremo conto nei nostri calcoli.

Dal layout (Figura 11) notiamo che anche questa installazione presenta un campo solare diviso in 4 batterie di collettori (collegate tra loro in parallelo e composte da 6 collettori ciascuna); la differenza con quella di Hotel Splendid sta, come già detto, nell'orientamento di queste batterie: due si affacciano verso Est e due verso Ovest. La presenza sul tetto dell'edificio di numerosi ostacoli e fonti di ombreggiamento non ha permesso una sistemazione simmetrica delle due metà del campo solare; tuttavia, è utile precisare che ciò non condiziona minimamente il rendimento dell'impianto.

Per quanto riguarda invece l'impianto di riscaldamento della piscina, anche in questo caso esso è collegato al sistema solare e la sua attivazione è sempre subordinata alla produzione di ACS. Nello specifico, la logica di funzionamento della centralina è identica a quella utilizzata per l'impianto di Hotel Splendid; in proposito valgono pertanto le stesse considerazioni fatte precedentemente.

Vediamo ora come cambiano le condizioni di captazione per un campo solare con orientamento Est-Ovest, rispetto a quanto visto per l'impianto di Hotel Splendid. Il grafico di Figura 12 mostra appunto l'andamento, durante il giorno, dell'intensità dei raggi solari che incidono direttamente sulle due metà del campo solare di Hotel Tiffany's (i dati sono calcolati per un'inclinazione dei collettori di 25° rispetto al suolo e sono frutto di una media sul periodo che va da inizio Maggio a fine Settembre).



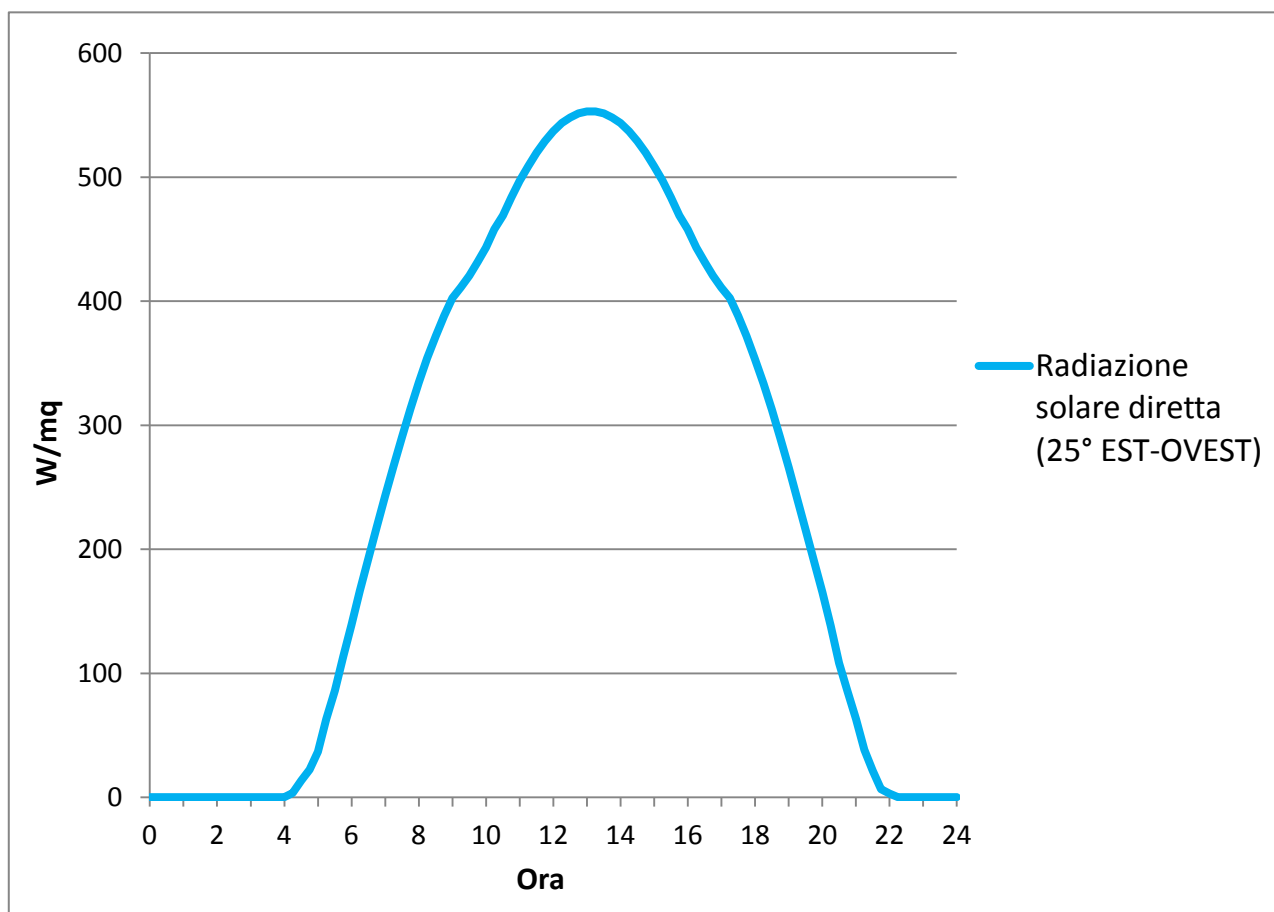
**Figura 12** – Andamento giornaliero della radiazione solare diretta (orientamento Est e Ovest)

Come era lecito aspettarsi, i collettori orientati ad Est si trovano nelle condizioni di captazione ottimali durante la prima parte della giornata, poiché in questa fascia oraria vengono raggiunti dalla maggior parte dei raggi solari; la situazione si ribalta poi nel pomeriggio, con il lato Ovest del campo solare che diventa decisamente avvantaggiato dopo le 14 circa.

Dal grafico precedente non è però immediata la differenza, in termini di radiazione solare incidente, tra il campo solare di Hotel Splendid e quello di Hotel Tiffany's; infatti, il duplice orientamento di quest'ultimo richiede un passaggio ulteriore per poter essere raffrontato con il concorrente. In Figura 13 è rappresentato l'andamento giornaliero della radiazione solare diretta per un campo solare "equivalente" a quello dell'impianto in questione: il grafico è stato ottenuto sommando, punto per punto, le ordinate delle curve di Figura 12, ciascuna moltiplicata per un coefficiente pari a 0,5 (corrispondente al peso di ogni lato del campo solare sulle prestazioni dell'intero sistema). Confrontando ora questa curva con quella di Figura 6, notiamo subito che un campo solare con orientamento Est-Ovest sfrutta una radiazione solare (diretta) molto più debole durante le ore



centrali della giornata; tuttavia, rispetto ad un orientamento Sud, “copre” molto meglio le fasce orarie più “esterne”, che come abbiamo visto sono di grande interesse per un’utenza di tipo alberghiero. Nei capitoli successivi di questa trattazione vedremo se la situazione appena descritta si tradurrà effettivamente in un vantaggio prestativo (maggior copertura del fabbisogno energetico) per il sistema solare termico ad orientamento Est-Ovest.



**Figura 13** – Andamento giornaliero della radiazione solare diretta (“equivalente” ad orientamento Est-Ovest)

## **CAPITOLO 3: Simulazioni**

Per il corretto dimensionamento di un sistema solare termico si rivela particolarmente utile l'ausilio di un programma di simulazione specifico, al quale si chiede principalmente di valutare quale copertura del fabbisogno energetico attendersi da una data soluzione impiantistica; tra i software di questo tipo più utilizzati troviamo T-Sol (leader del mercato) e Tolomeo. Per questo studio mi sono avvalso del secondo perché, anche se meno popolare, dimostra una capacità di calcolo superiore e permette inoltre di personalizzare in maniera completa le scelte progettuali. Nel nostro caso però tale programma verrà sfruttato a posteriori, cioè ad impianto già installato e funzionante, per poter operare un confronto tra i dati "virtuali" e quelli raccolti tramite misurazioni dirette sul sistema solare.

In questa fase è stato creato un modello per ognuno dei due impianti presentati in precedenza (Hotel Splendid e Hotel Tiffany's): compito di ogni modello era essenzialmente quello di rappresentare il più fedelmente possibile l'impianto solare al quale era associato, risultando però nello stesso tempo "comprensibile" al software di simulazione. Altrettanto è stato fatto per quanto riguarda l'insieme delle condizioni al contorno (comune alle due installazioni): latitudine, temperatura dell'acqua all'uscita dall'acquedotto, piano di carico, numero di presenze, consumi giornalieri pro-capite ecc...

Una volta immessi tutti i dati necessari, il simulatore ha poi studiato il comportamento dei due modelli in condizioni operative e ha fornito una previsione sul quantitativo di energia che questi sarebbero in grado di garantire. In particolare, sono state analizzate le prestazioni del periodo che va dal 1° Maggio al 30 Settembre (inclusi), dal momento che le strutture alberghiere di cui stiamo trattando sono ad apertura solo estiva.

Andiamo ora a presentare i risultati di questa simulazione.

### 3.1 Hotel Splendid

	Energia richiesta dall'utenza				
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	6,08	9,41	12,15	12,15	8,23
<b>kWh/mese</b>	7066	10941	14132	14132	9573

	Energia fornita dal sistema solare				
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	4,32	4,79	5,66	5,32	4,11
<b>kWh/mese</b>	5029	5575	6588	6191	4775
<b>Copertura fabbisogno</b>	71,2%	51,0%	46,6%	43,8%	49,9%

Tabella 3 - Risultati della simulazione (Hotel Splendid)

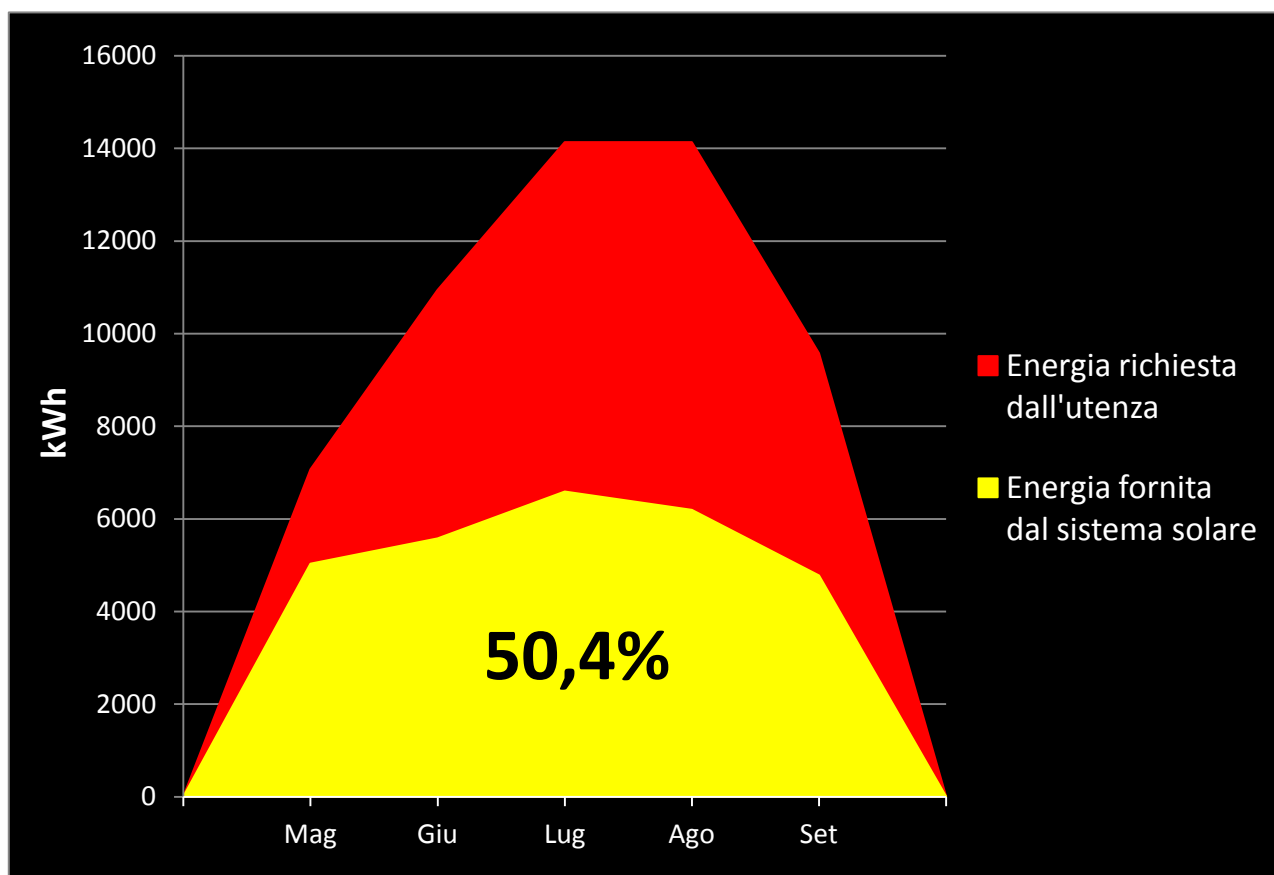


Figura 14 - Grafico dei risultati della simulazione (Hotel Splendid)

Prima di addentrarci nell'analisi dei risultati delle simulazioni, è opportuno precisare che in fase di progettazione entrambi i sistemi solari furono dimensionati affinché coprissero approssimativamente il 50% del fabbisogno giornaliero di ACS (ricordiamo che in generale è buona norma mantenersi tra il 50% e il 70%).

Alla luce di ciò, un primo commento potrebbe essere che il simulatore prevede, per l'impianto in questione, una copertura energetica media pressoché uguale a quella ipotizzata dal progettista (vedi Figura 14). Analizzando però i dati mensili, notiamo che nei mesi di Luglio e Agosto il sistema solare non riesce a coprire la quota desiderata del fabbisogno energetico (vedi Tabella 3); la causa di ciò risiede essenzialmente nel grande carico termico richiesto in questo periodo, durante il quale si ha notoriamente il numero massimo di presenze nelle strutture alberghiere della zona. Allo stesso modo si spiega l'eccellente risultato (in termini di copertura energetica) del mese di Maggio: l'energia richiesta dall'utenza in questo mese è molto ridotta per via del basso numero di presenze (periodo di bassa stagione).

Osserviamo infine una copertura energetica minore ad Agosto rispetto a Luglio (a parità di carico richiesto). Volendo comprenderne il motivo, è sufficiente tornare al grafico di Figura 2 (Capitolo 2): da questo emerge una netta diminuzione dell'intensità della radiazione solare da Luglio ad Agosto (-10% circa), la quale si riflette ovviamente in negativo sulla produzione energetica dell'impianto solare. Inoltre, si ha contemporaneamente una riduzione della durata del dì (ore di luce giornaliera): come è noto, quest'ultima ha il suo massimo annuale durante il solstizio d'estate (20/21 giugno) e decresce poi gradualmente fino al successivo solstizio d'inverno (21/22 dicembre); anche questo fattore condiziona senza dubbio le prestazioni del sistema solare termico.

### 3.2 Hotel Tiffany's

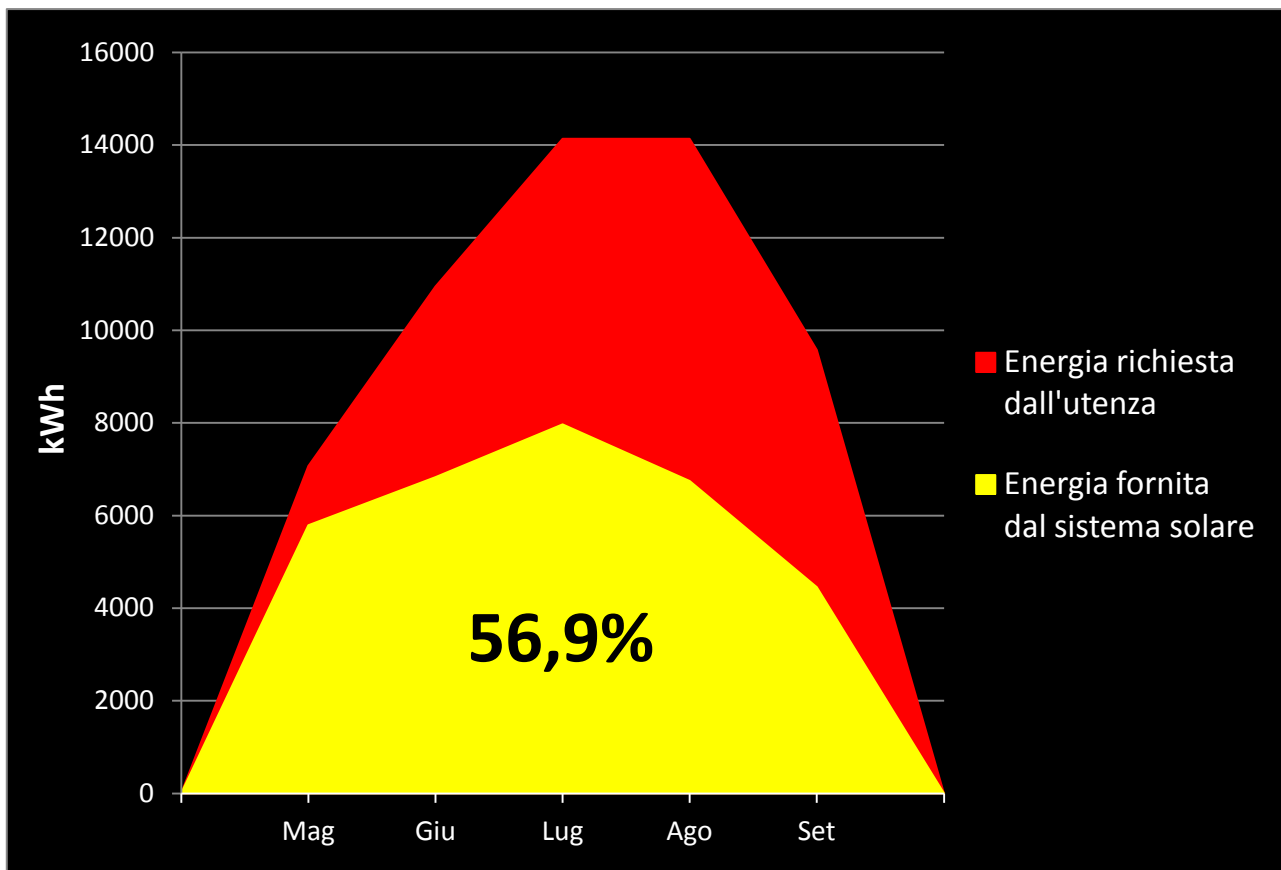
Come prevedibile, le maggiori difficoltà si sono incontrate durante la modellazione del sistema solare ad orientamento Est-Ovest (Hotel Tiffany's); questo perché Tolomeo, per quanto personalizzabile, non prevede la possibilità di due diversi orientamenti per il medesimo campo solare. Si è deciso dunque di suddividere idealmente l'impianto in due sotto-impianti: uno collegato al lato Est e l'altro al lato Ovest del campo solare reale. La copertura energetica prevista per l'intero impianto è stata calcolata in un secondo momento sommando le coperture dei due sotto-impianti.

Il suddetto procedimento non è certamente molto rigoroso, ma dopo varie simulazioni con differenti configurazioni si è rivelato quello più aderente alla realtà. Ad una prima analisi, credo però che tale impostazione porti a sottostimare le potenzialità di questo impianto, poiché si ipotizza che il lato Ovest inizi a lavorare su un fluido che si trova ancora alla temperatura di uscita dall'acquedotto (circa 15°C), ignorando così il contributo termico fornito dal lato Est durante le prime ore della giornata. Tuttavia, così come altri fattori di cui non possiamo quantificarne precisamente il "peso", anche questo non verrà considerato nei nostri calcoli.

	Energia richiesta dall'utenza				
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	6,08	9,41	12,15	12,15	8,23
<b>kWh/mese</b>	7066	10941	14132	14132	9573

	Energia fornita dal sistema solare				
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	4,98	5,87	6,85	5,80	3,83
<b>kWh/mese</b>	5787	6825	7965	6743	4450
<b>Copertura fabbisogno</b>	81,9%	62,4%	56,4%	47,7%	46,5%

Tabella 4 - Risultati della simulazione (Hotel Tiffany's)



**Figura 15** - Grafico dei risultati della simulazione (Hotel Tiffany's)

A differenza di quanto osservato per Hotel Splendid, in questo caso il software di simulazione si attende una copertura energetica media decisamente al di sopra delle ipotesi di progetto (vedi Figura 15). Tale aspetto evidenzia già di per sé un vantaggio del sistema solare ad orientamento Est-Ovest, siccome i dati relativi all'energia richiesta dall'utenza sono stati mantenuti volutamente identici nei due casi. Nello specifico, Tolomeo prevede per l'installazione di Hotel Tiffany's una copertura del fabbisogno di ACS maggiore del 6,5% rispetto al concorrente (sull'intera stagione estiva).

Analizzando nel dettaglio i dati mensili (vedi Tabella 4), ritroviamo ancora una volta una prestazione eccellente dell'impianto durante il mese di Maggio (per le stesse ragioni già discusse in precedenza) e una riduzione nella produzione energetica tra Luglio ed Agosto (a parità di carico richiesto). Quest'ultima si fa però molto più marcata in questo caso e, unitamente allo scarso risultato del mese di Settembre, ci lascia supporre che una configurazione Est-Ovest "soffra" maggiormente la diminuzione della durata del dì (ore di luce giornaliere). Per rendere tutto più chiaro abbiamo riportato nella tabella seguente (Tabella 5) i valori relativi alla produzione mensile dei due impianti solari, evidenziandone le differenze percentuali.

Energia fornita dal sistema solare (kWh)						
	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	TOTALE
Hotel SPLENDID	5029	5575	6588	6191	4775	28158
Hotel TIFFANY'S	5787	6825	7965	6743	4450	31769
Differenza	15,1%	22,4%	20,9%	8,9%	-6,8%	12,8%

**Tabella 5** - Confronto tra le produzioni energetiche mensili (virtuali)

Notiamo subito che il sistema solare di Hotel Tiffany's ottiene un grosso vantaggio prestativo rispetto al concorrente nei primi tre mesi della stagione. Questo scarto in un primo momento cresce (da Maggio a Giugno), poi si va pian piano assottigliando con il passare del tempo, seguendo appunto l'andamento delle ore di luce giornaliere; arrivati al mese di Settembre si assiste addirittura al ribaltamento della situazione, con la produzione energetica di Hotel Tiffany's che scende al di sotto di quella di Hotel Splendid. Nonostante ciò, sull'intero periodo la configurazione Est-Ovest garantisce una produzione nettamente superiore (che come abbiamo visto si traduce in una copertura energetica maggiore del 6,5%).

Da queste considerazioni emerge quindi il "punto di forza" di un campo solare ad orientamento Est-Ovest: esso rende al massimo da inizio Maggio a fine Agosto, facendosi indubbiamente preferire ad un orientamento "classico" in tale periodo; di conseguenza, i dati di questa simulazione ci portano a pensare che questa configurazione impiantistica ben si adatti a strutture alberghiere ad apertura solo estiva (o prevalentemente estiva). Ad ogni modo, sarà interessante vedere se ritroveremo la stessa situazione anche nei dati derivanti dalle misurazioni dirette sugli impianti (che saranno oggetto del Capitolo 4).

## **CAPITOLO 4: Misurazioni**

Siamo giunti alla parte centrale di questo studio, vale a dire quella riguardante la valutazione dell'effettiva resa energetica delle installazioni considerate. A tal fine, i due impianti solari sono stati attentamente monitorati durante il loro funzionamento, tramite la misurazione in continuo di alcuni parametri significativi; il periodo di osservazione, come vedremo, è stato di oltre 2 mesi. L'elaborazione dei dati raccolti da queste misurazioni ci condurrà appunto al calcolo della reale copertura energetica garantita da ciascun sistema solare termico.

### **4.1 Strumentazione e metodo di misura**

Come è stato detto in precedenza, si è cercato di considerare il problema come dipendente, in prima approssimazione, dal solo orientamento dei pannelli solari. Considerata questa premessa, il nostro obiettivo in questo frangente era quello di misurare la quantità di energia raccolta dal "generico" sistema solare termico nelle due configurazioni del campo solare (Sud oppure Est-Ovest), assumendo identico tutto il resto dell'impianto così come l'insieme delle condizioni al contorno (le differenze sono trascurabili come abbiamo visto). Nonostante questa notevole semplificazione concettuale, la fase di progettazione dell'apparato di misurazione ha richiesto comunque uno studio attento dei due impianti, dovendo conciliare l'esigenza di dati affidabili con quella di una facile installazione.

Il primo passo è stato quello di misurare, per mezzo di un flussimetro, le portate volumetriche circolanti (a regime) nei due circuiti solari per una data velocità delle pompe: come era prevedibile, da questa misurazione sono emersi valori uguali per le due installazioni (circa 21 litri/min); infatti i due campi solari, essendo costituiti dallo stesso numero totale di batterie di collettori, richiedono la medesima portata. A questo punto, supposte identiche anche le dispersioni termiche dei due impianti, per calcolare l'energia ceduta dal sistema solare all'acqua sanitaria era sufficiente conoscere, istante per istante, la differenza di temperatura del fluido termovettore tra l'ingresso e l'uscita degli scambiatori (interni ai bollitori); a tal fine si è deciso quindi di posizionare due sonde termometriche sul circuito collettori-bollitori: una subito a monte ed una subito a valle dell'accumulo.



Una volta collegate le sonde alla centralina di gestione dell'impianto, quest'ultima avrebbe calcolato in continuo la quantità di energia ricavata dal sistema solare (**E**) mediante la formula:

$$E = \rho c_p Q \Delta T t$$

dove  $\rho$  rappresenta la densità di una miscela acqua-glicole al 30% (circa  $1030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ );

$c_p$  il suo calore specifico a pressione costante (circa  $3830 \frac{\text{J}}{\text{Kg}\cdot\text{K}}$ );

$Q$  la portata volumetrica circolante nel circuito solare ( $21 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 0,00035 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ );

$\Delta T$  la differenza di temperatura misurata dalle sonde termiche;

$t$  il tempo che intercorre tra due misure successive (1 s).

Da ultimo, la centralina è stata impostata affinché tenesse memoria di questa quantità di energia (espressa in kWh) su due contatori distinti: uno giornaliero (aggiornato ad ogni secondo e con reset automatico alla mezzanotte di ogni giorno) ed uno storico (decorrente dal momento di attivazione del contatore fino alla mezzanotte precedente la lettura). Segnaliamo infine che i due impianti solari si avvalgono dello stesso modello di centralina elettronica (Schüco VARIO).

## 4.2 Raccolta ed elaborazione dati

Dopo aver installato e collaudato entrambi gli apparati di misurazione, la nostra raccolta dati consisteva semplicemente nella lettura periodica dei contatori energetici (storici) dei due impianti; i valori indicati da questi sono stati quindi annotati settimanalmente, a partire da lunedì 11 Luglio 2011 fino alla chiusura degli alberghi (18 Settembre 2011). Purtroppo, a causa di problemi tecnici, non è stato possibile anticipare l'inizio delle misurazioni (inizialmente previsto per il 1° Giugno).

Nella tabella seguente (Tabella 6) sono riassunte le letture effettuate durante il suddetto periodo di osservazione. I dati qui esposti però non riescono ad evidenziare al meglio la differenza tra la quantità di energia raccolta dai due sistemi solari, poiché i due contatori storici non erano stati avviati nello stesso istante (notare il diverso valore di partenza alla data della prima lettura). Per rendere il tutto più chiaro è sufficiente "normalizzare" questi valori, sottraendo ad ogni colonna la relativa quota di energia precedente alla prima lettura; in Tabella 7 sono riportati i dati manipolati come appena descritto.

Data	Energia raccolta (MWh)	
	Hotel SPLENDID	Hotel TIFFANY'S
11/07/2011	3,22	4,61
18/07/2011	5,30	6,61
25/07/2011	6,71	8,30
01/08/2011	8,43	10,08
08/08/2011	10,15	11,87
15/08/2011	12,16	13,89
22/08/2011	13,88	15,99
29/08/2011	15,64	18,21
05/09/2011	16,86	20,00
12/09/2011	18,23	21,33
19/09/2011	19,98	22,28

**Tabella 6** - Dati raccolti (letture del contatore storico)

Data	Energia raccolta (MWh)	
	Hotel SPLENDID	Hotel TIFFANY'S
11/07/2011	0,00	0,00
18/07/2011	2,08	2,00
25/07/2011	3,49	3,69
01/08/2011	5,21	5,47
08/08/2011	6,93	7,26
15/08/2011	8,94	9,28
22/08/2011	10,66	11,38
29/08/2011	12,42	13,60
05/09/2011	13,64	15,39
12/09/2011	15,01	16,72
19/09/2011	16,76	17,67

**Tabella 7** - Dati normalizzati

Da questa seconda tabella (Tabella 7) appare subito un piccolo vantaggio del sistema solare termico ad orientamento Est-Ovest (Hotel Tiffany's) rispetto a quello con campo solare completamente rivolto a Sud (Hotel Splendid).

Quanto appena affermato vale ovviamente ragionando sull'intero periodo di osservazione. Ai fini della nostra analisi, è però interessante valutare anche le prestazioni settimanali ed evidenziarne gli scarti percentuali (vedi Tabella 8).

Periodo	Energia raccolta (MWh)		Differenza
	Hotel SPLENDID	Hotel TIFFANY'S	
11 - 17 Luglio	2,08	2,00	-3,9%
18 - 24 Luglio	1,41	1,69	19,9%
25 - 31 Luglio	1,72	1,78	3,5%
01 - 07 Agosto	1,72	1,79	4,1%
08 - 14 Agosto	2,01	2,02	0,5%
15 - 21 Agosto	1,72	2,10	22,1%
22 - 28 Agosto	1,76	2,22	26,1%
29 Agosto - 4 Settembre	1,22	1,79	46,7%
5 - 11 Settembre	1,37	1,33	-2,9%
12 - 18 Settembre	1,75	0,95	-45,7%
11 Luglio - 18 Settembre	16,76	17,67	<b>5,4%</b>

**Tabella 8** - Confronto tra le produzioni energetiche settimanali (reali)

Analizzando settimana per settimana le produzioni energetiche delle due installazioni, notiamo immediatamente che le differenze sono alquanto variabili. Nonostante ciò, il sistema solare di Hotel Tiffany's dimostra prestazioni mediamente superiori al concorrente, riportando un vantaggio finale, in termini di energia raccolta, pari al 5,4% (sull'intero periodo). Inoltre, sono da evidenziare gli ottimi risultati che la configurazione Est-Ovest ottiene tra il 15 Agosto e il 4 Settembre, periodo in cui "surclassa" letteralmente la configurazione Sud di Hotel Splendid; questo "exploit" viene però quasi vanificato da un inspiegabile crollo prestazionale durante l'ultima settimana di indagine. In proposito, ci tengo a segnalare che ho osservato personalmente un forte calo delle presenze nell'Hotel Tiffany's dal 5 al 18 Settembre, calo che invece non ho riscontrato presso l'altro albergo (ne è un indizio il fatto che Hotel Splendid abbia ritardato la chiusura stagionale fino agli ultimissimi giorni di settembre). Si tratta chiaramente di osservazioni non oggettive, poiché non fondate su dati numerici (non sono riuscito ad avere dagli albergatori una documentazione precisa sulle presenze); tuttavia, non sarebbe da trascurare

completamente questo fatto: sappiamo infatti quanto una diminuzione dei consumi incida in negativo sul rendimento di captazione dei collettori, favorendo addirittura nei casi più estremi la stagnazione termica del sistema solare.

In Tabella 9 sono stati riportati su base mensile i dati appena presentati, affinché si possa individuare (se esiste) un “trend” nella variazione delle prestazioni dei due impianti solari; come ricorderete, questa stessa operazione era stata fatta in precedenza con i risultati forniti dal simulatore (vedi Capitolo 3 - Tabella 5). A causa però del ridotto periodo di osservazione, i nostri dati sperimentali sono incompleti rispetto a quelli della simulazione. Pertanto, saremo ora costretti ad ignorare interamente i mesi di Maggio e Giugno; inoltre, per quanto riguarda Luglio e Settembre, non saranno da prendere in esame i valori assoluti dell’energia raccolta, poiché questi contengono solamente i relativi giorni di osservazione (21 giorni a Luglio e 18 a Settembre).

	<b>Energia fornita dal sistema solare (kWh)</b>			
	<b>Luglio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Settembre</b>	<b>TOTALE</b>
<b>Hotel SPLENDID</b>	5210	7733	3817	16760
<b>Hotel TIFFANY'S</b>	5470	8897	3303	17670
<b>Differenza</b>	5,0%	15,1%	-13,5%	5,4%

**Tabella 9** - Confronto tra le produzioni energetiche mensili (reali)

Dall’analisi dei valori di Tabella 9, non appare un trend definito nella variazione delle differenze percentuali all’interno del periodo di indagine (a differenza di quanto visto per i risultati della simulazione). Si riscontra però, ancora una volta, un vantaggio della configurazione Est-Ovest durante i mesi di Luglio e Agosto, cioè quelli caratterizzati dal maggior carico termico richiesto (e per questo di maggior interesse per un albergatore).

### 4.3 Copertura energetica reale degli impianti

Andiamo ora a calcolare la copertura del fabbisogno di ACS che ognuna delle due installazioni è realmente in grado di garantire. Per far ciò sfruttiamo gli strumenti di calcolo già utilizzati nel Capitolo 3, inserendo stavolta, nei campi riguardanti l’energia fornita dal sistema solare, i dati derivanti dalle nostre misurazioni; i valori relativi all’energia richiesta dalle utenze rimarranno invece invariati.

In Tabella 10 e Figura 16 sono illustrati i risultati corrispondenti all'installazione di Hotel Splendid.

	Energia richiesta dall'utenza		
	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	8,23	12,15	4,94
<b>kWh/mese</b>	9573	14132	5744

	Energia fornita dal sistema solare		
	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	4,48	6,65	3,28
<b>kWh/mese</b>	5210	7733	3817
<b>Copertura fabbisogno</b>	54,4%	54,7%	66,5%

Tabella 10 - Risultati delle misurazioni (Hotel Splendid)

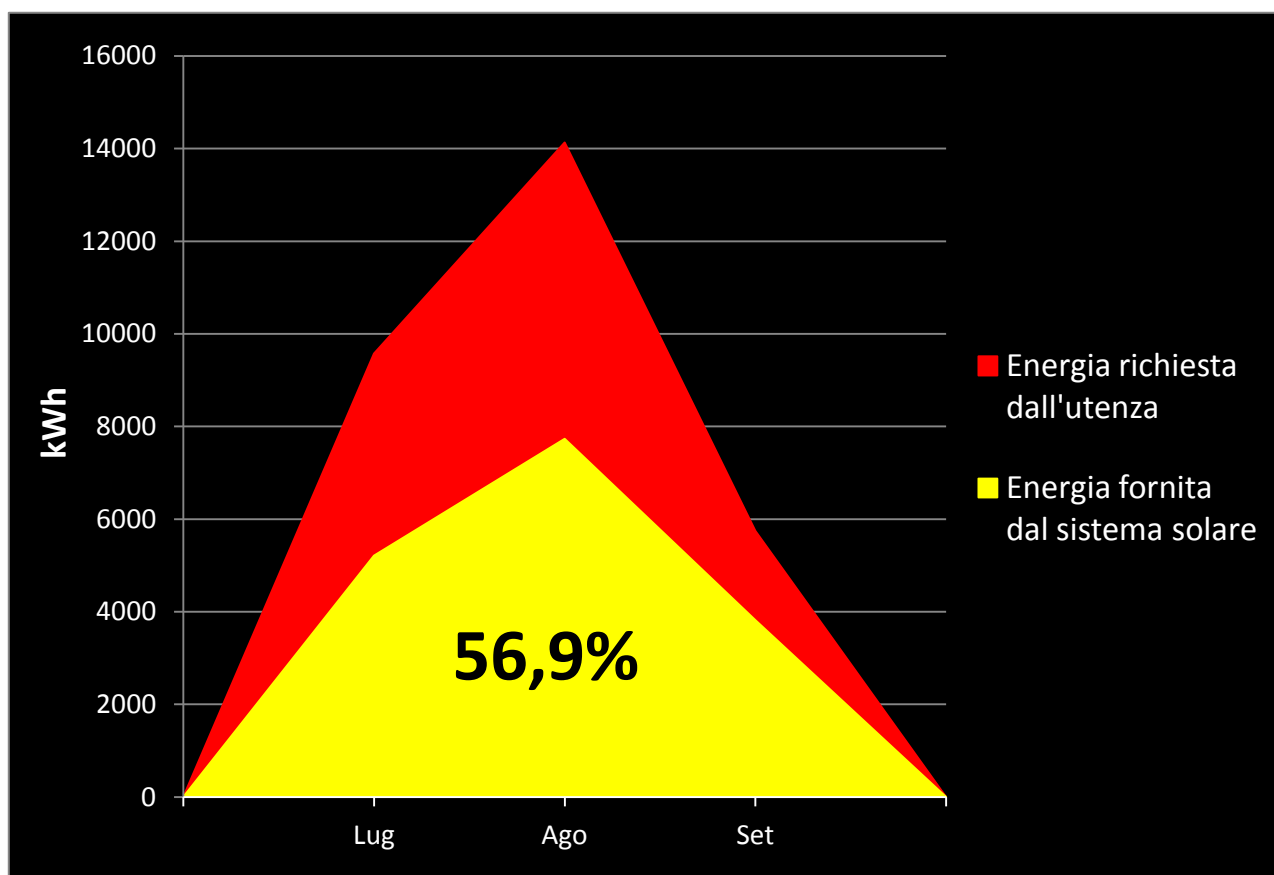


Figura 16 - Grafico dei risultati delle misurazioni (Hotel Splendid)

Osserviamo subito che i dati sperimentali dimostrano, per l'impianto in questione, una copertura energetica superiore a quella prevista dal software di simulazione, sia mensilmente che sull'intero periodo d'indagine (vedere a confronto Tabella 3 e Figura 14). In particolare, le prestazioni reali del sistema solare si attestano sempre al di sopra di quanto ipotizzato dal progettista in fase di dimensionamento (copertura del 50% del fabbisogno di ACS).

In Tabella 11 e Figura 17 sono presentati invece i risultati corrispondenti all'installazione di Hotel Tiffany's. Anche per questo impianto i dati sperimentali dichiarano una copertura del fabbisogno energetico abbondantemente superiore rispetto alle ipotesi di progetto. Inoltre, rileviamo nuovamente delle prestazioni decisamente migliori rispetto a quelle previste dal simulatore, sia a livello mensile che sull'intero periodo di osservazione (vedere a confronto Tabella 4 e Figura 15): questo ci porta a pensare che i dati forniti da Tolomeo siano piuttosto cautelativi. Infine, confrontando i risultati delle due installazioni, notiamo che la maggior produzione energetica ottenuta dalla configurazione Est-Ovest (di cui abbiamo parlato nel paragrafo precedente) si traduce in una copertura del fabbisogno di ACS superiore di circa il 3%.

	Energia richiesta dall'utenza		
	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	8,23	12,15	4,94
<b>kWh/mese</b>	9573	14132	5744

	Energia fornita dal sistema solare		
	Luglio	Agosto	Settembre
<b>Gcal/mese</b>	4,70	7,65	2,84
<b>kWh/mese</b>	5470	8897	3303
<b>Copertura fabbisogno</b>	57,1%	63,0%	57,5%

Tabella 11 - Risultati delle misurazioni (Hotel Tiffany's)

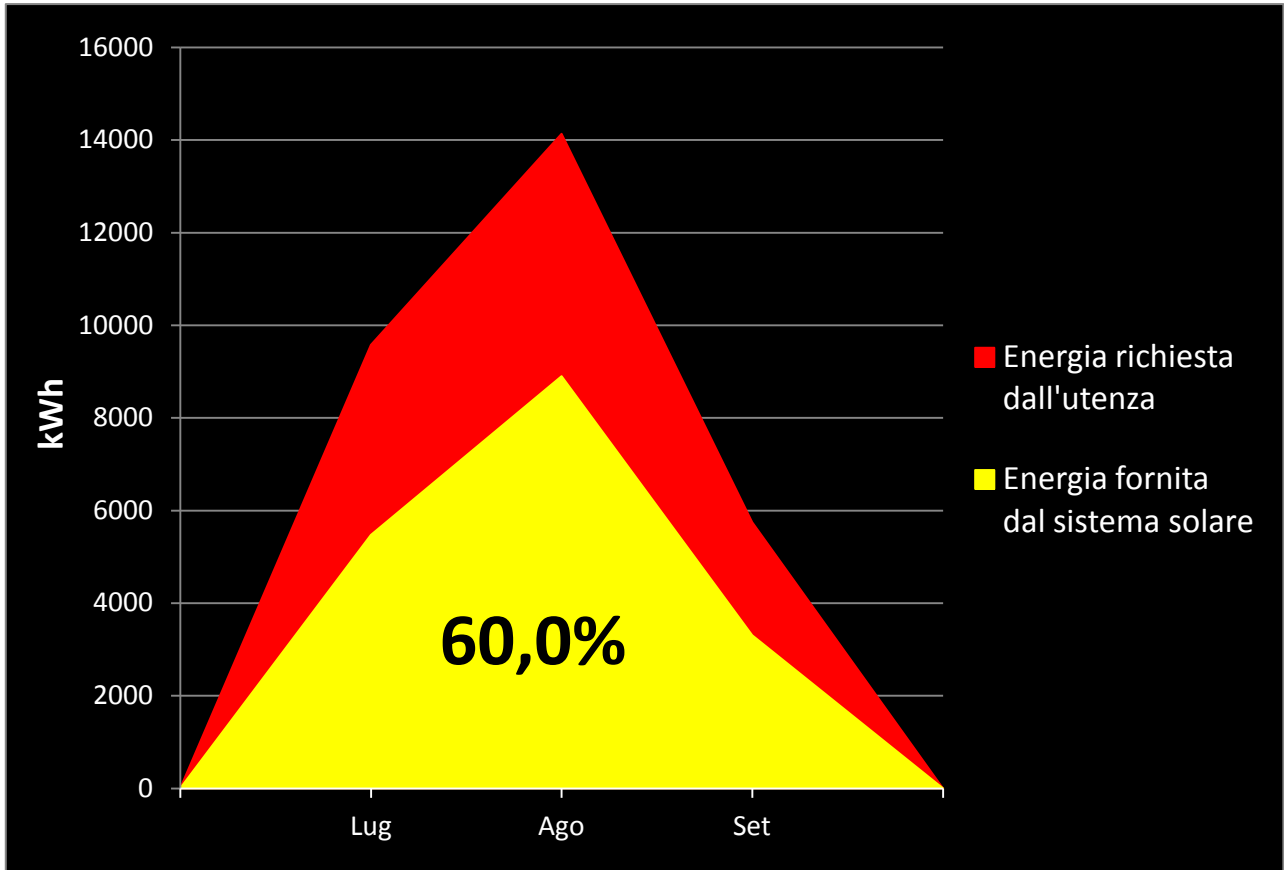


Figura 17 - Grafico dei risultati delle misurazioni (Hotel Tiffany's)

## **CAPITOLO 5: Conclusioni**

In conclusione di questa trattazione, andiamo ora a riassumere e analizzare ciò che è emerso dallo studio comparativo effettuato.

In primo luogo, confrontando i risultati delle simulazioni (Capitolo 3) con quelli derivanti dalle nostre misurazioni sugli impianti (Capitolo 4), notiamo in entrambi i casi un discreto vantaggio prestazionale del sistema solare ad orientamento Est-Ovest rispetto a quello con campo solare completamente rivolto a Sud: il simulatore quantifica tale vantaggio in una copertura energetica (media) maggiore del 6,5%, contro il 3,1% dell'indagine sperimentale (vedi Tabella 12).

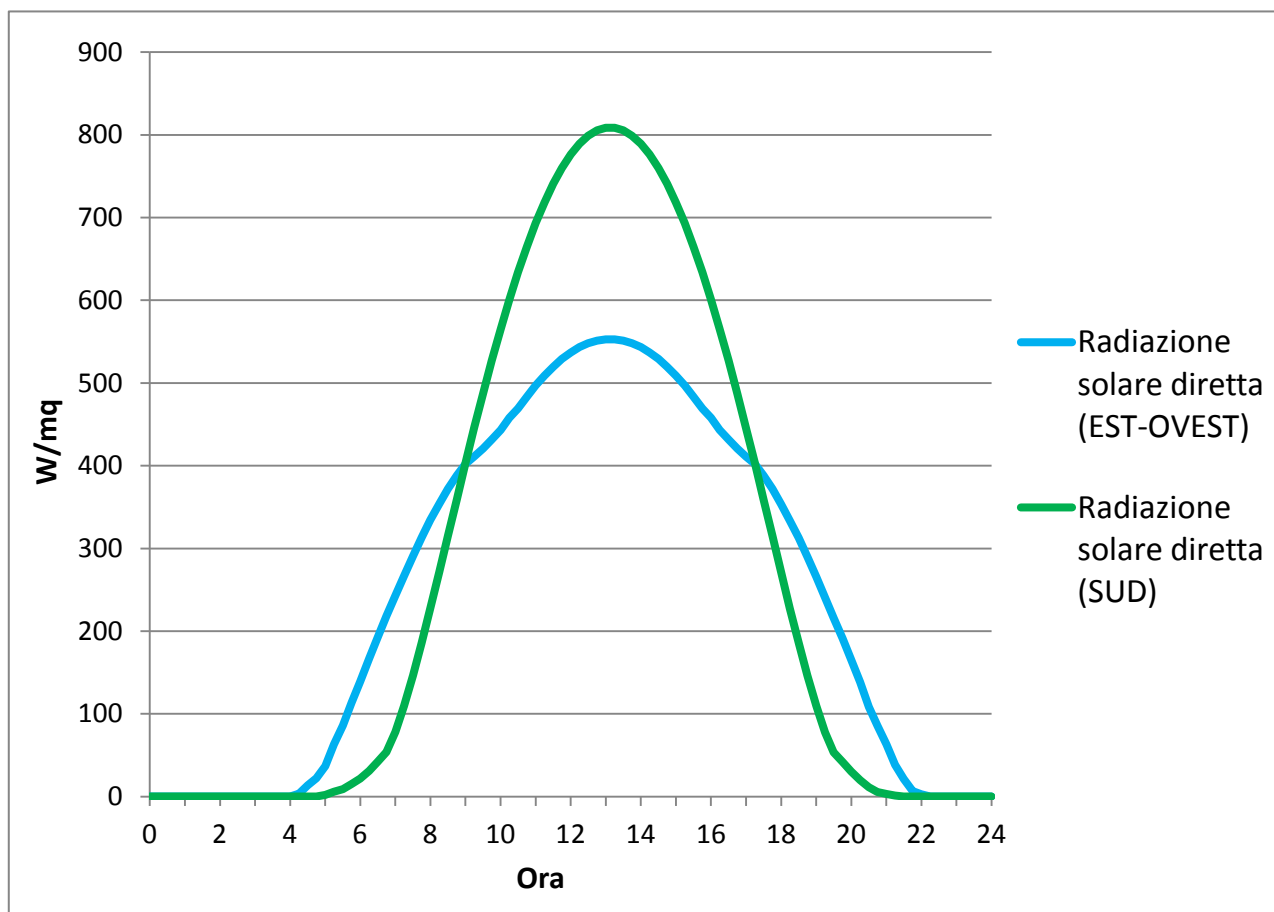
<b>Copertura del fabbisogno di ACS</b>			
<b>Fonte dei dati</b>	<b>Hotel SPLENDID</b>	<b>Hotel TIFFANY'S</b>	<b>Differenza</b>
Simulazioni	50,4%	56,9%	6,5%
Misurazioni	56,9%	60,0%	3,1%

**Tabella 12** - Riassunto dei risultati delle simulazioni e delle misurazioni

Le ragioni che fanno preferire una configurazione Est-Ovest per un'utenza alberghiera, risiedono essenzialmente nel particolare piano di carico di quest'ultima, che richiede il maggior quantitativo di ACS nelle prime ore del mattino e alla sera (vedi Capitolo 1). Infatti, come già avevamo accennato, confrontando gli andamenti giornalieri della radiazione solare diretta per i due tipi di campo solare in esame, è immediato notare come un orientamento Est-Ovest permetta di "coprire" molto meglio le fasce orarie di maggior richiesta energetica dell'utenza (vedi Figura 18). In altre parole, sfruttando la terminologia tecnica, possiamo dire che per queste applicazioni un sistema solare termico ad orientamento Est-Ovest ottiene un fattore di contemporaneità solare decisamente più elevato, cioè buona parte dell'energia da esso ricavata viene consumata nel momento stesso della sua produzione. Per giunta, il fatto di sfruttare un'intensità di radiazione solare mediamente più bassa rispetto ad un orientamento Sud, che potrebbe sembrare uno svantaggio, si riflette in positivo sulle prestazioni dell'impianto solare: questa situazione fa in modo che il sistema lavori sempre a temperature piuttosto basse, mantenendo dunque un'alta efficienza generale.

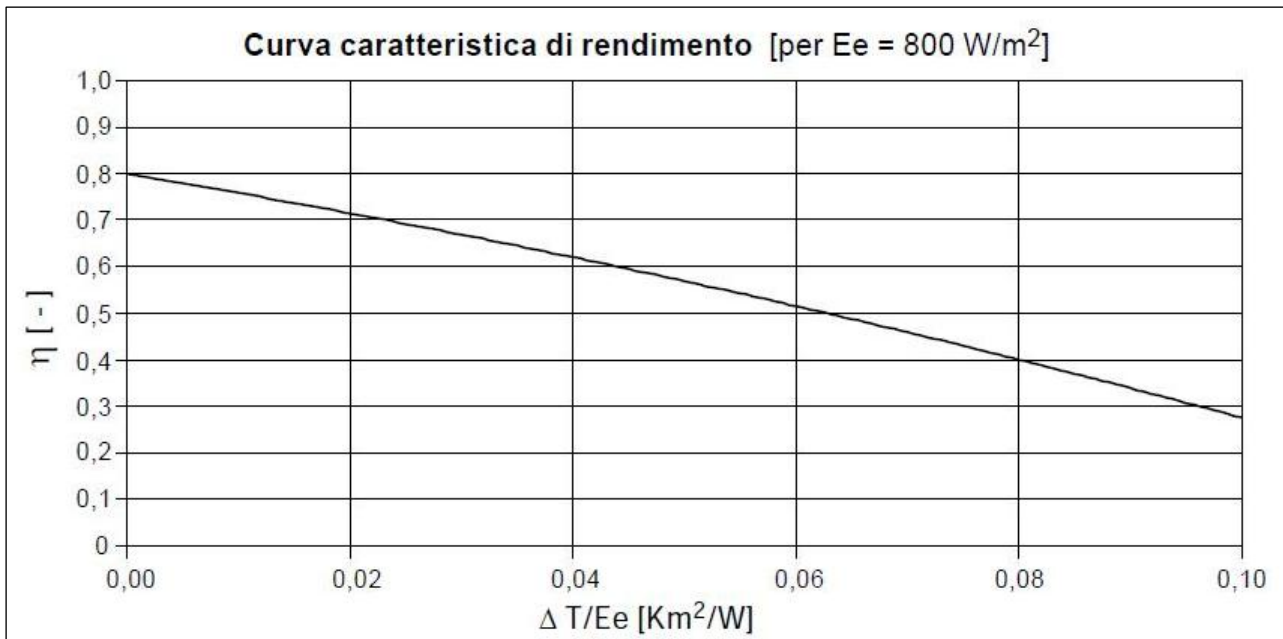


Ricordo infatti, che anche nel caso in cui non venga raggiunta la condizione di stagnazione, si hanno comunque cali significativi dell'efficienza lavorando ad alte temperature, siccome il rendimento di captazione dei pannelli solari è inversamente proporzionale alla temperatura del fluido termovettore (vedi Figura 19).



**Figura 18** - Andamento giornaliero della radiazione solare diretta per i due campi solari considerati

Quanto è stato appena detto basterebbe, di per sé, per verificare la nostra tesi iniziale, cioè quella di una **maggior convenienza della configurazione Est-Ovest per sistemi solari termici applicati a strutture alberghiere**. L'analisi dei dati rivela però un ulteriore aspetto a favore di tale soluzione impiantistica: un'installazione di questo tipo esprime il massimo del suo "potenziale" nel periodo che va da inizio Maggio a fine Agosto, in concomitanza con i valori più elevati della durata del dì. Questa situazione ci spinge quindi a consigliare, a maggior ragione, la configurazione Est-Ovest nel caso di alberghi ad apertura solo estiva (o prevalentemente estiva), quali sono ad esempio quelli situati lungo la nostra riviera romagnola; questi infatti hanno l'opportunità di sfruttarne appieno le potenzialità, essendo il periodo di attività della struttura pressoché coincidente con quello di massima resa energetica dell'impianto solare termico.



**Figura 19** - Rendimento di un collettore vetrato piano in funzione di  $\Delta T = T_m - T_a$   
(dove  $T_m$  è la temperatura media del fluido all'interno del collettore e  $T_a$  la temperatura ambiente esterna)

## 5.1 Sviluppi futuri

Volendo ottenere risultati più completi ed affidabili, sarebbe sicuramente utile ripetere le misurazioni sugli impianti considerati, adottando però un periodo di osservazione più ampio (dal 1° Maggio al 30 Settembre o addirittura un intero anno). Una serie di dati più lunga permetterebbe, tra l'altro, di ridurre il peso di eventuali errori di misura o di temporanei scostamenti dal piano di carico tradizionale (per esempio giorni con pochissime presenze): questi verrebbero infatti "spalmati" su un arco temporale più lungo. A tal fine sarebbe anche da considerare l'utilizzo di una maggior frequenza nella rilevazione dei dati (quotidiana invece che settimanale).

Da ultimo, sarebbe interessante valutare anche economicamente la convenienza di una configurazione impiantistica rispetto all'altra tramite la stesura di un business plan (VAN) comparativo: in questo modo si potrebbe visualizzare con immediatezza quanto il "semplice" orientamento dei pannelli solari incida sul tempo di ritorno dell'investimento.

## **Bibliografia:**

- Bigini Omar, “L’applicazione del solare termico nell’industria alberghiera della riviera romagnola”
- Bigini Omar, “Impianto solare termico per un piccolo albergo”
- Cocchi Alessandro, “Elementi di termofisica generale e applicata”, Società Editrice Esculapio, Bologna, 1998
- Grillo Nicola Giovanni, “Impianti termici alimentati ad energia solare”, Geva Edizioni, 2003

## **Software utilizzati:**

- Tolomeo (Janus Energy)
- Climate-SAF PVGIS
- Microsoft Office 2007



## **Ringraziamenti**

Al termine di questo percorso formativo desidero ringraziare in primis la mia famiglia per il sostegno incondizionato e la pazienza. Ringrazio poi Elena per il supporto morale costante e per avermi spronato, soprattutto nell'ultimo anno, a dare il massimo per raggiungere questo importante traguardo.

Inoltre, vorrei esprimere un sentito ringraziamento al professor Augusto Bianchini e all'ingegner Omar Bigini per avermi seguito con gentilezza e disponibilità nella redazione della tesi di laurea.

Non dimentico infine tutti i miei amici, i quali, anche se a volte mi hanno portato fuori dalla "retta via", mi sono sempre rimasti vicini. In particolare, ringrazio Marco per un aiuto "grafico" prezioso.

