



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

***Simulazione di un sistema solare termico per
produzione di acqua calda sanitaria e
riscaldamento di un'abitazione***

Relatore: Prof. Ing. Davide Del Col

Correlatore: Prof. Ing. Jordi Cadafalch

Laureando:

Gaspare Incandela

Matricola 1082251

Anno Accademico 2015/2016

SOMMARIO

Questo progetto mira a simulare il comportamento, durante l'anno, di un impianto solare termico, costituito principalmente da un campo di collettori e da un serbatoio di accumulo, quindi di un processo di riscaldamento dell'acqua ad uso sanitario e per il riscaldamento degli ambienti di un'abitazione. Così il trasferimento di calore è studiato e modellato in tutte le parti del sistema, simulando la producibilità energetica dell'impianto solare termico.

In particolare questo studio è stato da me svolto nell'ambito del progetto *Erasmus+* presso l'*Universitat Pòlitécnica de Catalunya (UPC)*.

Il funzionamento del sistema solare è stato inizialmente simulato su un'abitazione situata a Barcellona, in cui i calcoli che seguono si basano in parte sul software **Omnilus** sviluppato dal gruppo di ricerca *Greentech* dell'Università di Terrassa-UPC, programmato in Python e C++ . Le simulazioni, tenendo conto di tutti i parametri caratteristici del sistema per tutto il periodo di funzionamento, permettono di vedere le quantità di energia erogata dal sistema a seconda della superficie di collettori utilizzati.

Successivamente viene fatto un confronto dei risultati ottenuti con il software Omnilus con quelli ottenuti utilizzando il metodo della carta-f, usato per il dimensionamento di un impianto solare termico installato a Barcellona e poi considerato nelle città di Palermo e Milano.

Qui viene presa in considerazione la procedura di calcolo eseguita dal software e dal metodo della carta-f per eseguire le simulazioni.

Dalle simulazioni fatte, e dai calcoli effettuati, si vede come varia la producibilità, mensile ed annuale, dell'impianto solare-termico al variare della superficie e dell'inclinazione dei collettori, permettendo di individuare la soluzione impiantistica migliore nelle diverse località considerate.

Successivamente si effettuano i calcoli per il dimensionamento dell'impianto termico nel caso in cui questo soddisfi solamente le richieste di acqua calda sanitaria ACS dell'abitazione.

Infine si procede alla valutazione economica per ogni caso simulato per ogni città in modo da capire quale sia la soluzione più conveniente da adottare, in quanto a seconda dei casi considerati si avrà un diverso dimensionamento dell'impianto, una superficie del campo dei collettori diversa e quindi un diverso investimento iniziale .

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag 3
1.1 Obiettivi del progetto	
1.2 Software Omnilus	
1.3 Dati meteorologici - Radiazione solare	
2. IMPIANTO SOLARE TERMICO	pag 9
2.1 COLLETTORE SOLARE.....	pag 10
2.1.1 Efficienza	
2.1.2 Modellazione	
2.2. SERBATOIO DI ACCUMULO.....	pag 13
2.2.1 Modello Multinodo	
2.2.2 Accumulo d'energia	
3. METODI DI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO	pag 17
3.1 Metodo della Carta-f	pag 18
3.2 Software Omnilus.....	pag 24
4. PROGETTO	pag 27
4.1 Valutazione CARICO TERMICO.....	pag 30
4.1.1 Produzione di ACS	
4.1.2 Carico riscaldamento ambienti – gradi giorno (GG)	
4.2 Valutazione VOLUME SERBATOIO DI ACCUMULO.....	pag 31
5. NORMA UNI EN 15316-4-3	pag 33
6. Problema della STAGNAZIONE	pag 37
7. RISULTATI	pag 43
7.1 Impianto PALERMO	
7.1.1 SIMULAZIONE PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO + ACS	
a) Simulazione per variazione superficie collettori.....	pag 44
b) Simulazione per variazione inclinazione collettori.....	pag 48
7.1.2 SIMULAZIONE IMPIANTO SOLARE PER PRODUZIONE SOLO DI ACS	
a) Simulazione per variazione superficie collettori.....	pag 55
b) Simulazione per variazione inclinazione collettori.....	pag 57

7.2 Impianto MILANO

- 7.2.1 SIMULAZIONE PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO + ACS
 - a) Simulazione per variazione superficie collettori.....pag 63
 - b) Simulazione per variazione inclinazione collettori.....pag 66
- 7.2.2 SIMULAZIONE IMPIANTO SOLARE PER PRODUZIONE SOLO DI ACS
 - a) Simulazione per variazione superficie collettori.....pag 73
 - b) Simulazione per variazione inclinazione collettori.....pag 75

7.3 Impianto BARCELLONA

- 7.3.1 Omniluspag 80
- 7.3.2 Metodo della Carta-fpag 95
 - 1. SIMULAZIONE PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO + ACS
 - a) Simulazione per variazione superficie collettori.....pag 96
 - b) Simulazione per variazione inclinazione collettori.....pag 100
 - 2. SIMULAZIONE IMPIANTO SOLARE PER PRODUZIONE SOLO DI ACS
 - a) Simulazione per variazione superficie collettori.....pag 107
 - b) Simulazione per variazione inclinazione collettori.....pag 110
- 7.3.3 Risultati solo ACS-Barcellona secondo Norma **UNI EN 15316-4-3**.....pag114

7.4 CONFRONTO RISULTATI SIMULAZIONI IMPIANTO NELLE TRE CITTA'

- 7.4.1 Simulazione Impianto per Riscaldamento + ACS.....pag 115
- 7.4.2 Simulazione Impianto per produzione solo di ACS..... pag 116

7.5 VALUTAZIONE ECONOMICApag 117

- 7.5.1 Impianto PALERMOpag 120
- 7.5.1 Impianto MILANO.....pag 121
- 7.5.1 Impianto BARCELLONApag 122

8. CONCLUSIONIpag 125

9. BIBLIOGRAFIApag 129

10. APPENDICE.....pag 131

- 10.1 Omnilus:Spiegazione tecnica-MANUALE UTENTE
- 10.2 Caso esempio

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni si sono sviluppate e consolidate sempre più tecnologie altamente efficienti che permettono di risparmiare notevoli quantità di energia, soprattutto nel settore civile. L'impiego su larga scala delle energie rinnovabili può contribuire alla riduzione della dipendenza energetica dai combustibili fossili. In Europa si stima che il consumo di energia per impieghi civili sia il 35% dell'energia primaria totale utilizzata. L'Italia offre condizioni meteorologiche molto buone per l'uso dell'energia solare. Condizioni tanto favorevoli e la disponibilità di una tecnologia affidabile ed efficace conferiscono all'Italia un alto potenziale economico e tecnico per il solare termico.

Il solare termico è la tecnologia che, effettuando la conversione diretta dell'energia solare in energia termica (calore), permette di ridurre l'uso di combustibili dei sistemi convenzionali da cui è possibile ottenere gli stessi effetti utili. Il solare termico include sistemi di riscaldamento dell'acqua per usi sanitari e/o aria per il riscaldamento degli ambienti.

La conversione termica dell'energia solare ha caratteristiche tali che può essere ritenuta, insieme alla conversione fotovoltaica, la sorgente rinnovabile più rispettosa dell'ambiente.

Gli impianti termici infatti non sono fonte di emissioni, sono esenti da vibrazioni e, data la loro modularità, possono assecondare la morfologia dei siti di installazione. Di conseguenza l'impatto ambientale e l'efficienza di un impianto in esame si può ricondurre all'utilizzazione del territorio, all'impatto visivo e al ritorno economico ed è quest'ultimo punto difatti che ha incrementato l'utilizzo di questo tipo di fonti energetiche.

Gli impianti solari termici sono oggi una tecnologia affidabile e matura per il mercato ed assumono un ruolo di particolare importanza nel contesto di progetti energetici integrati, cioè nella totalità degli interventi per il risparmio energetico nel settore residenziale e nelle altre strutture dove è considerevole il fabbisogno energetico per l'acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti. Questo consente di risparmiare emissioni di CO₂ e denaro, conseguente a un risparmio di energia .

1.1 Obiettivi del progetto

Lo scopo principale di questo progetto è quello di fare simulazioni e modellare, con l'ausilio del metodo della carta-f e del software Omnilus, il sistema termico solare installato in un'abitazione.

Gli obiettivi specifici del progetto sono:

- Descrivere i fenomeni fisici, e modelli ed equazioni per la modellazione dei componenti e quindi del sistema.
- Spiegare il funzionamento del software e algoritmi che si verificano durante l'operazione per ottenere i risultati (il progetto serve anche come riferimento per la comprensione del software).
- Controllare l'energia solare disponibile per soddisfare la domanda di acqua calda sanitaria e riscaldamento dell'abitazione
- Dimensionare l'impianto solare-termico per :
 - produzione combinata : ACS + riscaldamento dell'abitazione
 - produzione solo di ACS
- Valutare come varia la producibilità del sistema solare, quindi la frazione solare annua, al variare dell'angolo di inclinazione del collettore termico e della superficie totale dei collettori.
- Fare anche una valutazione economica in modo da individuare quale sia la soluzione migliore da adottare, oltre che dal punto di vista energetico, a seconda dei casi considerati.

Nella trattazione del software, il sistema complessivo è suddiviso in tre moduli secondo le loro funzioni: il collettore solare, come modulo di cattura dell'energia solare, un serbatoio di accumulo, come modulo di stoccaggio dell'energia catturata, e lo scambiatore di calore.

Il modulo solare è composto da una serie di collettori solari responsabili del riscaldamento

dell'acqua. L'acqua riscaldata nei collettori esegue uno scambio di energia in un serbatoio di stoccaggio, che contiene un altro fluido ad una temperatura elevata.

Lo scambio di energia avviene dunque in un circuito chiuso e l'acqua viene fatta passare attraverso una serpentina posizionata nell'accumulatore.

La modellazione consiste nel dimensionare il sistema in modo che sia in grado di soddisfare la domanda di energia termica per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, dell'abitazione in questione, e poi scegliere che tipo di collettori utilizzare, come installarli, determinare l'area di superficie captante necessaria per far fronte alla richiesta, e quindi il volume del serbatoio .

Per fare questo la modellazione richiede numerose simulazioni, basate sulla posizione geografica in cui si trova l'impianto, e quindi le condizioni climatiche che si verificano nel corso dell'anno.

Le simulazioni sono effettuate in un anno, in cui, per le condizioni di lavoro, si prende un giorno rappresentante il mese in esame e lo si moltiplica per il numero totale di giorni.

Tuttavia, grazie all'uso del software, si eseguono, per ogni giorno, bilanci di energia prodotta in intervalli di un'ora.

Così, con l'ausilio di Omnilus, dai calcoli, alla fine dell'anno si può ottenere il risultato delle prestazioni di questa installazione ed estrarne i parametri caratteristici: il coefficiente di prestazione (COP) e del fattore di copertura solare (F).

1.2. Software OMNILUS

Per modellare il sistema si utilizza il software, su Linux, sviluppato dal gruppo di ricerca Greentech della UPC .

Il software è suddiviso in diversi moduli per consentire simulazioni transitorie nel campo della trasmissione del calore: fornisce le equazioni fondamentali che governano questi processi, nonché proprietà caratteristiche dei componenti utilizzati e consente operazioni di calcolo di fluidodinamica computazionale.

L'intero programma è suddiviso in diversi componenti che possono interagire uno con l'altro attraverso il sistema; questi componenti sono *serbatoi*, *collettori* e *scambiatori di calore* , che con un numero di file sono gestiti questi componenti insieme .

Per costruire il programma per calcolare in modo più chiaro e comprensibile possibile si deve fare uso di classi.

E' necessario differenziare le classi che definiscono il sistema .

Le *classi di sistema* sono quelli che permettono l'interazione tra i moduli scelti e sono responsabili di rendere i dati di input funzioni di chiamata di mappatura, le funzioni di calcolo o di estrazione dei dati per la lettura dei risultati .

Mentre le *classi dei componenti* dei collettori termici riguardano il serbatoio e la modellazione dello scarico attraverso uno scambiatore, che descrivono le equazioni fisiche descritte e fenomeni previsti che si verificano in essi.

Il sistema che riguarda la produzione di un componente con l'ingresso nell'altro sono i componenti fisici che esistono nella realtà.

La nomenclatura scelta per chiamare il processo di riscaldamento è *Process Heating*, dato che la modellazione che viene eseguita corrisponde a un tipico processo di riscaldamento solare; così viene utilizzato la sigla *PHeat*.

Per impostare il sistema questo si avvale di tre file principali:

- *rdTransisPHeat*
- *TransisPHeat*
- *TransisBase*

Quindi definiti i modelli fisici scelti per la rappresentazione di componenti si definisce il funzionamento del sistema.

Come risultato, gli esperimenti sono molto lunghi e richiedono tempo, oltre che è difficile da variare i parametri, anche per vedere il loro effetto sulle prestazioni del sistema.

In alternativa, le simulazioni al computer sono in grado di fornire analisi dell'impianto ad energia solare, quando fornito con i dati meteorologici necessari. I modelli matematici possono anche essere formulati per simulare le prestazioni transitorie di questi sistemi. Questo può fornire le stesse informazioni sulla prestazione termica di questi sistemi come quello dell'esperimento fisico con meno tempo .

1.3. Dati meteorologici - Radiazione solare

Le prestazioni di tutti i sistemi di energia solare dipendono dai fattori climatici (livello e la distribuzione della radiazione solare, temperatura ambiente), i parametri del sistema solare (tipo di raccolta, capacità di stoccaggio) e caratteristiche del carico (riscaldamento degli ambienti, riscaldamento dell'acqua, livello di temperatura).

L'energia solare è semplicemente una energia radiante diretta dal sole alla superficie terrestre, presente tra 0,3 e 1,2 micrometri nello spettro delle onde luminose. La Terra riceve dal Sole circa 1353 W/m² di energia misurata su una superficie mantenuta normale rispetto al Sole. Ma solo una frazione di questa energia arriva direttamente alla superficie terrestre. Una parte viene riflessa indietro nello spazio, un'altra parte è diffusa da goccioline d'acqua nelle nuvole e particelle di polvere. Così la radiazione solare media pervenuta alla superficie della Terra è di circa 630W / m². L'energia solare può essere utilizzata per una varietà di scopi come il riscaldamento della casa e gli spazi, processi industriali, la produzione di acqua calda e vapore per industrie, ecc. Inoltre è utilizzato nella generazione di energia elettrica da energia solare da sistemi di generazione elettrica termica.

Quindi, nelle simulazioni effettuate con Omnilus, i dati meteorologici (radiazioni, temperatura, ed eventualmente altre variabili come la velocità del vento e l'umidità) stanno alla base delle funzioni che vengono applicate ogni ora (o in altre fasi di tempo) per ottenere soluzioni numeriche attraverso il tempo.

Una volta che le temperature sono note, i flussi di energia possono essere determinati. È allora possibile integrare i quantitativi di energia nel tempo per elaborare informazioni per valutare le prestazioni termiche annuale di un sistema.

Ovviamente, il parametro più importante in tali sistemi è il Sole e la sua posizione. Per questo devono essere presi in considerazione alcuni angoli di inclinazione della radiazione solare incidente sul pannello, e quindi l'energia che viene catturata da questo.

Quanto detto fin ora permette di considerare i diversi tipi di radiazioni ,come:

- H_o: radiazione extraterrestre totale su una superficie orizzontale, misurata ai limiti dell'atmosfera;
- H: radiazione totale su una superficie orizzontale;
- H_d: radiazione diffusa che raggiunge una superficie orizzontale;
- H_b: radiazione diretta che raggiunge una superficie orizzontale;
- H_T: radiazione su una superficie inclinata, somma di quella diretta, diffusa e riflessa, a seconda l'indice corrispondente.

Tutte le unità sono espresse in J/m² e si riferiscono a valori giornalieri medi mensili.

Da qui l'irradianza extraterrestre media giornaliera solare su una superficie orizzontale definita come:

$$H_o = \frac{86400 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,033 \cos \frac{(2 \pi n)}{365} \right) \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s \quad (1.1)$$

dove

$$\delta = 23,45 \sin\left(2\pi \frac{(284+n)}{365}\right) \quad \text{è la declinazione solare} \quad (1.2)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \psi \cdot \tan \delta) \quad \text{è l'angolo solare} \quad (1.3)$$

G_{SC} è la costante solare, pari a 1367 W / m^2

Ψ è la latitudine del sito considerato

Il valore della totale mensile radiazione solare media giornaliera su una superficie orizzontale all'interno dell'atmosfera, H , può essere ottenuto da più database, poiché questa è una misura sperimentale con molte città e registrato nel corso degli anni.

Si può definire un *indice di chiarezza* (o di soleggiamento) $K_T = H / H_0$,

che rappresenta la quantità di energia che può passare attraverso l'atmosfera.

Con il valore di K_T e correlazioni empiriche si possono ottenere il valore della diffusa H_d radiazione solare giornaliera.

Una volta che si hanno questi valori è possibile calcolare l'energia incidente sul collettore inclinato attraverso la seguente relazione :

$$H_T = H_b R_b + H_d \cdot \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + H \rho_g \cdot \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (1.4)$$

dove :

H_b è il valore medio della radiazione solare diretta radiazioni mensile.

R_b è un fattore geometrico che dipende dall'orientamento del sensore $R_b = \cos(\theta) / \cos(\theta_z)$.

θ è l'angolo di incidenza tra la radiazione diretta e lo studio della normale alla superficie.

θ_z angolo di zenit, che è l'incidenza se la superficie è orizzontale.

H_d è la radiazione diffusa media mensile

β orientamento del collettore

ρ_g riflessione del terreno

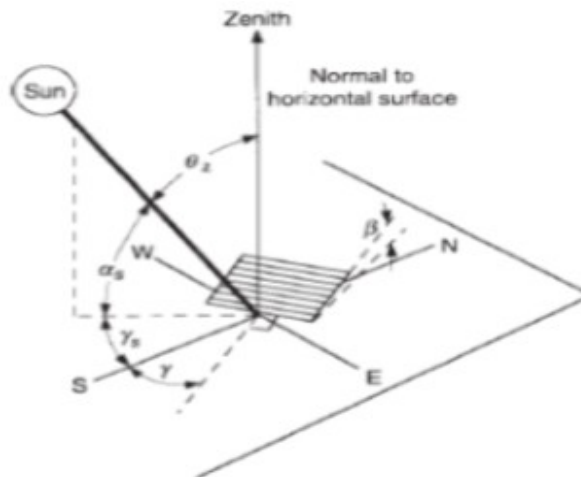


Figura 1.1: Posizione del Sole in coordinate terrestri [1]

Tutti questi dati sono relativamente facili da trovare, dato che sono reperibili nei database, o possono essere calcolati dalla posizione geografica della località presa in considerazione e dai valori di inclinazione. Da notare che questi valori sono corrispondenti ad una giornata tipo; infatti la radiazione solare utilizzata nei calcoli si riferisce a valori giornalieri medi mensili.

Pertanto, si possono effettuare simulazioni per ogni ora del giorno.

Tipicamente la prima cosa da fare è ottenere i valori dei dati di ingresso e quindi la metodologia oraria è utilizzata per garantire che nessun risultato trovato sia lontano dalla realtà.

Questo utilizza il rapporto di r_t

Il tempo tra la radiazione totale giornaliera in funzione della lunghezza del giorno e l'ora particolare:

$$r_t = I / H$$

Calcolando questo rapporto come:

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \frac{(\cos \omega - \cos \omega_s)}{\sin \omega_s - \frac{(\pi \omega_s)}{180} \cos \omega_s} \quad (1.5)$$

con

$$a = 0,409 + 0,5016 \sin(\omega_s - 60) \quad (1.6)$$

$$b = 0,6609 + 0,4767 \sin(\omega_s - 60) \quad (1.7)$$

dove ω è il valore dell'angolo con cui si sta lavorando, in gradi, mentre ω_s è angolo orario della posizione del sole.

Per calcolare la potenza ricevuta dai collettori solari il software Omnilus fa riferimento al parametro **modificatore angolo di incidenza (IAM)**: è un parametro per stabilire una relazione tra l'orientamento dei sensori e la posizione del sole, in particolare tiene conto di come la radiazione incide direttamente sull'installazione con un certo angolo rispetto all'incidenza normale sul piano del collettore.

Il valore di questo modificatore dell'angolo di incidenza può essere determinata come:

$$IAM = 1 - b_0 (\cos(\theta))^{-1} - 1 \quad (1.8)$$

dove

b_0 è il coefficiente del modificatore angolo di incidenza, e dipende dalle proprietà ottiche del vetro (assume il valore 0,10 per un collettore a singolo vetro)

θ è l'**angolo di incidenza**: rappresenta l'angolo tra la normale alla superficie del collettore e la direzione della radiazione diretta.

Può essere trovato dalla IAM 50, il valore corrispondente a un angolo di 50°, in radianti:

$$IAM_{50} = 1 - b_0 (\cos \text{rad}(50))^{-1} - 1 \quad (1.9)$$

Ma, data la semplificazione nel calcolo della caratteristica del collettore, questa è determinata da due IAM, uno con una inclinazione di 60° rispetto alla radiazione diffusa, e la vera inclinazione rispetto alla diretta.

Per trovare questi valori istantanei, il valore è calcolato da:

$$IAM = \frac{(IAM_B \cdot g_{bt} + IAM_{60} \cdot g_{drt})}{(g_t)} \cdot (factorIAM) \quad (1.10)$$

con

$$IAM_B = 1 - b_0 (\cos \text{rad}(\theta))^{-1} - 1 \quad (1.11)$$

$$IAM_{60} = 1 - b_0 (\cos \text{rad}(60))^{-1} - 1 \quad (1.12)$$

dove:

g_{bt} è il valore istantaneo della radiazione diretta sulla superficie inclinata.

g_{drt} è il valore istantaneo della radiazione solare diffusa sulla superficie inclinata.

g_t è il valore totale della radiazione istantanea sulla superficie inclinata

In questo caso si è usato un fattore IAM che consente valori mensili istantanei.

Questo fattore è calcolato in base ai dati mensili, che si hanno a disposizione, e contrasta con il valore totale della radiazione che è stato ottenuto per calcolare per l'intera giornata. Così i dati di ingresso necessari ad eseguire le simulazioni sono: IAM50, H (mensile), la posizione di montaggio, per il calcolo orario e mensile dei pannelli, angolo di incidenza θ e K_T .

Questo approccio di simulazione può essere utilizzato per stimare, per qualsiasi applicazione del processo, la quantità di energia erogata dal collettore solare per far fronte ad un carico e la quantità di energia ausiliaria necessaria. La simulazione può anche indicare se le variazioni di temperatura per una particolare progettazione del sistema siano ragionevoli. Comunque, perché i calcoli delle simulazioni siano possibili, è necessario che i dati meteorologici e le informazioni sui carichi di energia di un sistema vengano resi noti.

2. IMPIANTO SOLARE TERMICO

La tecnologia termica solare presenta diversi tipi di collettori solari, sistemi e applicazioni. I collettori solari termici permettono di convertire la radiazione solare in calore utile, in modo da diminuire l'utilizzo di combustibili in impianti convenzionali per produrre lo stesso effetto desiderato. Tecnologie adeguate dovrebbero essere scelte in funzione dell'applicazione, per ottimizzare l'efficienza di produzione di calore. Infatti, applicazioni termiche possono differire per il livello di temperatura e questo è un aspetto importante da considerare, perché l'efficienza dei collettori solari dipende dalla temperatura del calore prodotto, quindi dalla temperatura dell'aria esterna, oltre che naturalmente dipendere dal livello di radiazione incidente. Infatti, applicazioni termiche possono differire per il livello di temperatura della domanda di calore e questo richiede di utilizzare tecnologie adeguate per migliorare il rendimento energetico del sistema.

Applicazioni termiche di interesse per i sistemi di energia solare possono essere suddivisi in tre gruppi principali: edifici, raffreddamento solare e processi industriali. Qui si prende in considerazione l'uso dell'impianto solare-termico in edifici, in cui si richiede calore a temperature generalmente inferiori a 60 ° C. I collettori solari stazionari sono in grado di fornire una risposta soddisfacente. Il fabbisogno di calore in edifici comprende il riscaldamento di acqua per uso domestico, il riscaldamento di ambienti, ed eventualmente il riscaldamento di acqua per piscine. I collettori piani sono i tipi più utilizzati nella gamma di temperatura tipiche di utilizzo in edifici.

COMPONENTI DELL'IMPIANTO SOLARE TERMICO

Di seguito viene descritto il sistema solare termico per il riscaldamento dell'acqua sanitaria, di tipo a circolazione forzata come mostrato nella figura seguente.

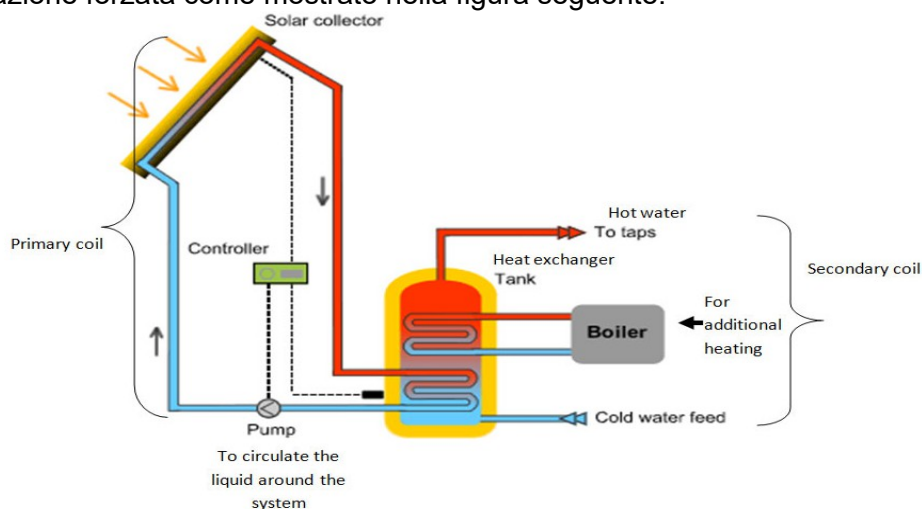


Figura 2.2: Rappresentazione dell'impianto solare termico [5]

Il sistema è composto da **collettori solari termici piani**, un **serbatoio di accumulo**, una pompa, un **controller**, tubazioni e valvole.

Il controller opera sulla base delle temperature misurate all'uscita dei collettori solari e nella zona inferiore del accumulo termico: a seconda delle temperature misurate si avvia la pompa del circuito solare, quando i collettori solari sono in grado di riscaldare l'accumulo termico.

Adesso si prendono in considerazione i vari modelli dei componenti con i quali lavora il software, quindi i componenti principali che costituiscono un impianto solare e che verranno modellati in seguito.

2.1 COLLETTORE SOLARE

2.1.1 Efficienza dei collettori solari termici

La scelta del collettore ottimale dipende dal livello di temperatura richiesta dalla specifica applicazione e dalle condizioni climatiche del sito di installazione.

La conoscenza delle prestazioni termiche di un collettore solare è essenziale per fare la scelta giusta. Il *collettore piano* è più sensibile alla differenza di temperatura rispetto al *collettore a tubi evacuati*. I collettori piani lavorano in modo più efficiente quando la temperatura del fluido in ingresso è vicino alla temperatura ambiente, mentre il collettore a tubi sottovuoto mostra maggiore efficienza quando la differenza di temperatura tra la temperatura media del fluido e l'aria circostante supera circa 30 K.

Efficienza in condizioni stazionarie:

Durante condizioni operative stazionarie, la potenza resa da un collettore solare, per angolo di incidenza normale della radiazione solare, può essere scritto come segue:

$$Q = F' A_a [(\tau\alpha)_{en} G - U(t_m - t_a)] \quad (2.1)$$

dove Q è la potenza utile trasmessa al liquido, F' è 'il fattore di efficienza del collettore, A_a è la superficie di apertura di collettore, (τ α) è il prodotto efficace trasmittanza-assorbimento ad incidenza normale, G è l'irraggiamento solare globale, U il coefficiente di perdita complessiva del collettore e (t_m - t_a) la differenza di temperatura media tra il fluido e l'aria ambiente.

L'efficienza è uguale a:

$$\frac{Q}{(G \cdot A_c)} = F' (\tau \alpha)_n - U \frac{(t_m - t_a)}{G} \quad (2.2)$$

Allora il *rendimento del collettore solare* può essere definito come segue :

$$\eta = F' [(\tau\alpha)_{en} - U T_m^*] \quad (2.3)$$

dove $T_m^* = \frac{(t_m - t_a)}{G}$ è la temperatura media ridotta

Se consideriamo il coefficiente di perdita di calore come somma di due termini, un fattore costante ed un secondo termine dipendente dalla differenza di temperatura tra l'aria e il fluido ambiente (t_m - t_a), l'equazione dell'efficienza può essere scritta come:

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* - a_2 G (T_m^*)^2 \quad (2.4)$$

Questa forma è in accordo con quanto previsto dalla norma EN 12975 per i test in condizioni stazionarie.

Prove in condizioni quasi-dinamiche:

Un metodo alternativo per la caratterizzazione prestazioni termiche dei collettori solari è il metodo quasi-dinamico; permette di ottenere gli stessi risultati del metodo SteadyState anche in condizioni meteorologiche e di funzionamento meno stabili.

2.1.2 Modellazione di collettori solari termici

Da come si può osservare dalla Figura 2.1 un *collettore vetrato piano* per il riscaldamento del liquido è costituito da quattro elementi principali: copertura in vetro, piastra assorbente in metallo, tubi di metallo e strato isolante. Tutti i componenti sono normalmente disposti in una casa di alluminio.

La radiazione solare entra nel collettore attraverso la *copertura di vetro* e incide sulla *piastra assorbente*. Una parte della radiazione solare è riflessa dalla copertura in vetro ed è persa. La piastra assorbe la radiazione solare, ma parte di essa non può essere trasferita al fluido operativo, perché è persa a causa di dissipazioni di calore per l'aria ambiente circostante.

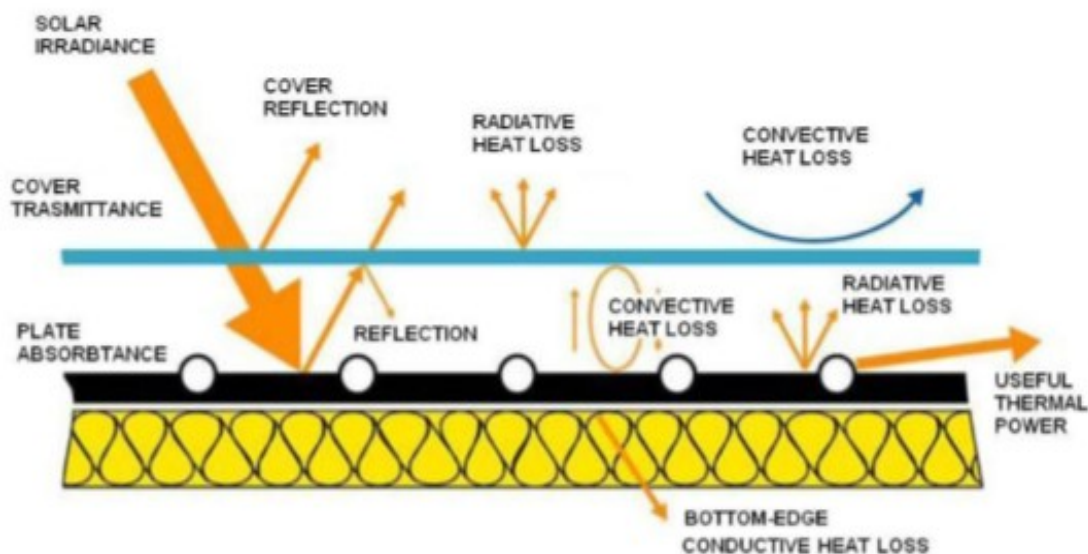


Figura 2.1. Collettore piano vetrato: componenti e flussi di energia [5]

Le perdite di calore si verificano verso la parte superiore, inferiore e il bordo del collettore: le perdite di calore sono dovute dalla differenza di temperatura tra la piastra assorbente e l'aria ambiente e possono essere modellati con una resistenza termica equivalente ($1 / U_L$).

Il flusso di calore utile, q_u , assorbita dal fluido termovettore che circola all'interno dei tubi posti sulla piastra assorbente, è la differenza tra la radiazione solare assorbita dalla piastra, S , e il flusso di calore perso verso l'aria circostante ambiente, q_L :

$$Q_u = q_u \cdot A_c = A_c \cdot (S - q_L) \quad (2.5)$$

Per la valutazione della radiazione solare assorbita, è necessario valutare il prodotto trasmittanza-assorbimento ($\tau\alpha$). Della radiazione che passa attraverso il sistema di copertura in vetro e incidente sulla piastra, una parte viene riflessa indietro dal sistema di copertura. Tuttavia, tutta questa radiazione non è persa poiché una parte di questa è, a sua volta, riflessa indietro alla piastra. La situazione è illustrata in figura 2.1., dove τ è la *trasmittanza* della copertura, secondo l'angolo desiderato, α è il *coefficiente di assorbimento* della piastra.

L'energia incidente ($\tau\alpha$) viene assorbita dalla piastra assorbente e $(1 - \alpha) \tau$ viene riflessa verso il sistema di copertura. La riflessione dalla piastra assorbente si presume essere diffusa così la frazione $(1 - \alpha) \tau$ che colpisce il sistema di copertura è radiazione diffusa e $(1 - \alpha) \tau \rho_d$ viene riflessa verso la piastra assorbente.

Il ρ_d si riferisce al *coefficiente di riflessione* della copertura .

Così la *radiazione solare assorbita* dalla piastra è:

$$S = G (\tau\alpha) \quad (2.6)$$

dove G è la radiazione solare globale sul piano del collettore.

Le perdite di calore

Il collettore può essere descritto come una rete termica, in cui quattro sono i nodi principali: aria

ambiente, copertura di vetro, piastra assorbente, isolamento. Nello spazio tra la piastra e il coperchio è presente aria. Le perdite di calore avvengono dalla piastra assorbente, che è il punto a temperatura più alta, alla circostante aria ambiente, che è il nodo a temperatura più bassa. Il flusso di calore perduto è la somma della perdite nella parte superiore ($q_{L, top}$), in quella posteriore ($q_{L, back}$) e contributi sul bordo del collettore ($q_{L, bordo}$):

$$q_L = q_{L, top} + q_{L, back} + q_{L, bordo} \quad (2.7)$$

Il flusso di calore perso l'aria ambiente può essere scritto come funzione della temperatura della piastra assorbente, T_p , e la temperatura dell'aria ambiente, T_a :

$$q_L = U_L (T_p - T_a) \quad (2.8)$$

dove U_L è il coefficiente globale di perdita di calore, che include i contributi di perdita verso l'alto ($U_{L, top}$), verso il retro ($U_{L, back}$) e il bordo ($U_{L, bordo}$) del collettore:

$$U_L = U_{L, top} + U_{L, back} + U_{L, bordo} \quad (2.9)$$

Flusso di calore utile

Il calore utile acquisita dal fluido è:

$$Q_u = c_p m_{f, f} (T_{out, f} - T_{in, f}) \quad (2.10)$$

dove

m_f è la portata di massa del fluido,

$c_{p, f}$ è il fluido calore specifico a pressione costante,

$T_{out, f}$ è la temperatura di uscita del fluido

$T_{in, f}$ è la temperatura di ingresso del fluido.

Può essere utile calcolare il flusso termico utile in funzione della differenza di temperatura tra fluido operativo e l'aria ambiente.

La modellazione di un campo di collettori si basa sulle equazioni di Bliss, in cui ciascun collettore viene analizzato come un unico volume di controllo, con un ingresso e un'uscita.

E' possibile applicare l'equazione d'energia con l'ipotesi di trasferimento di energia per conduzione tra l'ingresso e l'uscita assiale ed accumulo di collettori di energia, e di ottenere la temperatura di uscita del fluido al serbatoio.

$$q_{accum} + q_{useful} = q_{gain} + q_{loss} \quad (2.11)$$

$$m c_p (T_{out} - T_{in}) = [q_{gain} - (U_o + U_1 \Delta T_{av}) \Delta t_{av}] A_{ref} \quad (2.12)$$

con

- $\Delta T_{av} = 0.5 (T_{out} - T_{in}) + T_a$ (2.13)
- $m c_p$ prodotto portata per il calore specifico del fluido [J / K · s];
- A_{ref} è l'area di riferimento usata nei test dei collettori [K];
- U_o è il coefficiente di perdita [W / m²·K].
- In questo caso la temperatura del modello di riferimento è T_{av} , cioè la temperatura media tra ingresso ed uscita del fluido dal collettore, su cui si basa la metodologia di calcolo del rendimento del collettore, anche se altri metodi considerano la temperatura di ingresso o uscita del fluido dal collettore, come vedremo in seguito.

L'energia ottenuta viene modellata in funzione della radiazione incidente I_t che va moltiplicata per il modificatore dell'angolo di incidenza IAM e la η_0 prestazioni.
Pertanto, l'equazione che permette di ottenere l'energia dei collettori:

$$q_{\text{solar_gain}} = \eta_0 \text{ IAM } I_t \quad (2.14)$$

2.2 SERBATOIO D'ACCUMULO

Il modello fisico del serbatoio è costituito da uno scambiatore di calore a serpentina inserito all'interno del serbatoio. Per semplificare il modello si prende l'ipotesi che il serbatoio ha due ingressi e due uscite e lo scambio è completo, disprezzando scambiatore. Pertanto è utilizzato il seguente modello.

2.2.1 Modello Multinodo

I serbatoi di accumulo termico possono operare con il fenomeno della stratificazione, in cui la temperatura dell'acqua varia con l'altezza, cioè questa diminuisce progressivamente dall'alto, dove viene immessa acqua calda proveniente dal collettore, al basso, così che il serbatoio risulta con la parte superiore del serbatoio più caldo del fondo.

Sono stati sviluppati molti modelli di serbatoi stratificati; in un approccio a più nodi, un serbatoio è modellato suddividendolo in N nodi (sezioni), con bilanci energetici per ogni sezione dell'accumulo; il risultato è un insieme di N equazioni differenziali che può essere risolto per le temperature dei nodi N in funzione del tempo.

Quindi il serbatoio considerato è diviso in un numero di nodi N, ed in ogni nodo si può effettuare un bilancio dell'energia.

Singularità è che sia l'ingresso che il ritorno del collettore è configurato in base alla temperatura che avrà il fluido, che passa direttamente al nodo di temperatura uguale.

Per formulare le equazioni per un serbatoio a più nodi, è necessario formulare ipotesi su come l'acqua che entra nel serbatoio viene distribuito ai vari nodi.

Ad esempio, ipotizzando, come nella Fig.2.2, un serbatoio a 5 nodi, per ogni nodo, l'acqua dal collettore entra ad una temperatura T_{co} , tra $T_{s,2}$ e $T_{s,3}$. si può considerare che l'acqua entra nel nodo 3 o essere distribuita tra i nodi 1,2 e 3 ; si può presumere che l'acqua scenda nel lato del serbatoio per nodo 3, dove la densità quasi corrisponde a quella dell'acqua nel serbatoio.

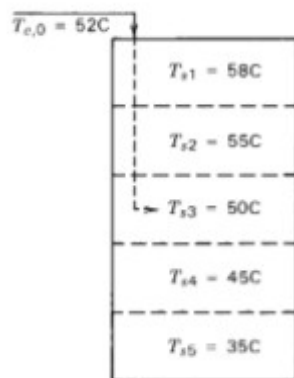


Figura 2.2: Ipotetico serbatoio a 5 nodi con $T_{s,2} > T_{co} > T_{s,3}$ [1]

Allora dividendo il serbatoio in N nodi, l'equazione per ogni nodo è calcolato come segue :

$$Q_n^{\text{accum}} + Q_n^{\text{loss}} + Q_n^{\text{mix}} = Q_n^{\text{col}} - Q_n^{\text{load}} \quad (2.15)$$

La potenza accumulata in ogni nodo è :

$$Q_n^{\text{accum}} = U A_n^{\text{loss}} (T_n - T_a) \quad (2.16)$$

Il coefficiente di trasmissione del calore di un nodo può essere approssimato dalla seguente relazione :

$$(U A)_u^{loss} = U A^{tnk} \cdot \frac{S_n^a}{A^{tnk}} \quad (2.17)$$

Gli effetti di miscelazione tra nodi adiacenti è calcolato in base alla

$$Q_n^{mix} = \frac{\Lambda}{\delta_{(n+1)}} \cdot S_n^{(n+1)} (T_n - T_{(n+1)}) + \frac{\Lambda}{\delta_{(n-1)}} S_n^{(n-1)} \cdot (T_n - T_{(n-1)}) \quad (2.18)$$

dove Λ è il coefficiente di conducibilità equivalente che rappresenta il livello della miscela del serbatoio in condizioni statiche e tiene conto della conducibilità termica del fluido . L'indice $n + 1$ ed $n - 1$ si riferiscono ai nodi della parte alta e bassa dell'accumulo; δ è la minore distanza tra i centri dei nodi e la superficie dei nodi S_n , a contatto superficiale con i nodi vicini.

La potenza fornita dai collettori viene calcolata come:

$$Q_n^{col} = m^{col} c_{pn} (T^{col} - T_n) \quad (2.19)$$

e l'energia di scarico prodotta :

$$Q_n^{load} = m^{load} c_{pn} (T_n - T^{load}) \quad (2.20)$$

2.2.2 Accumulo di energia

L'energia solare è una risorsa di energia dipendente dal tempo. I fabbisogni energetici per un'ampia varietà di applicazioni sono anche dipendenti dal tempo, ma in modo diverso rispetto alla fornitura di energia solare. Di conseguenza, l'immagazzinamento di energia o altro prodotto di un processo solare è necessario se l'energia solare deve soddisfare porzioni sostanziali di queste esigenze energetiche.

La capacità massima di un sistema di accumulo di energia dipende dal tempo di disponibilità della radiazione solare, la natura dei carichi sul processo, il modo in cui l'energia ausiliaria viene fornita (in genere è presente una caldaia integrata con l'accumulo che serve a sopperire al carico di punta richiesto in determinati periodi).

Le principali caratteristiche di un sistema di accumulo di energia termica sono (a) la capacità per unità di volume; (b) l'intervallo di temperatura nel quale opera, cioè, la temperatura alla quale viene aggiunto e rimosso dal sistema di calore; (c) i mezzi di aggiunta o rimozione del calore e le differenze di temperatura ad esso associati; (d) la temperatura di stratificazione nell'unità di accumulo; (e) i requisiti di alimentazione per l'aggiunta o la rimozione del calore; (f) i contenitori, serbatoi o altri elementi strutturali associati al sistema di stoccaggio; (g) i mezzi per controllare le perdite termiche del sistema di stoccaggio; e (h) il suo costo.

La convenienza di un collettore diminuisce all'aumentare della temperatura della piastra media.

Una relazione tra la temperatura media del collettore e la temperatura alla quale il calore viene fornito al carico può essere scritta come

$$\begin{aligned} T(\text{collettore}) - T(\text{distribuzione}) = & \Delta T (\text{trasporto dal collettore all'accumulo}) \\ & + \Delta T (\text{nell'accumulo}) \\ & + \Delta T (\text{perdite nell'accumulo}) \\ & + \Delta T (\text{dall'accumulo}) \\ & + \Delta T (\text{trasporto dall'accumulo all'applicazione}) \\ & + \Delta T (\text{nell'applicazione}) \end{aligned}$$

Un impianto solare può essere a circolazione forzata (con pompaggio) , ma potrebbe essere a circolazione naturale. L'erogazione di energia al carico potrebbe essere attraverso uno scambiatore di calore.

La capacità di accumulo dell'energia dell'acqua (o altro liquido) nell'unità di stoccaggio a temperatura uniforme (cioè, completamente miscelato, o non stratificato) che opera su una differenza di temperatura è dato da

$$Q_s = (mCp)_s \Delta T_s \quad (2.21)$$

dove Q_s è la capacità termica totale per un ciclo operativo attraverso il range di temperatura ΔT_s e m è la massa di acqua nell'unità.

L'intervallo di temperature nel quale tale unità può operare è limitata all'estremo inferiore per la maggior parte delle applicazioni dai requisiti del processo. Il limite superiore può essere determinato dal processo, la pressione di vapore del liquido, o la perdita di calore del collettore. Un bilancio energetico sul serbatoio non stratificato è

$$(mCp)_s dT_s / dt = Q_u - \dot{L}_s - (UA)_s(T_s - T'_a) \quad (2.22)$$

dove Q_u e \dot{L}_s sono tassi di aggiunta o rimozione di energia dal collettore e al carico e T_a è la temperatura ambiente per il serbatoio.

L'equazione deve essere integrata nel tempo per determinare la prestazione a lungo termine del contenitore e il processo solare.

Le soluzioni analitiche utili a lungo termine non sono possibili grazie alla complessa dipendenza temporale di alcuni termini. Ci sono molti possibili metodi di integrazione numerica. Utilizzando una semplice integrazione di Eulero è generalmente soddisfacente, cioè, riscrivendo le derivate della temperatura $(T'_s - T_s) / dt$ e risolvendo rispetto alla temperatura del serbatoio al termine di un incremento di tempo:

$$T'_s = T_s + \Delta t / (mCp)_s [Q_u - \dot{L}_s - (UA)_s(T_s - T'_a)] \quad (2.23)$$

Così la temperatura nell'arco di un'ora viene calcolato dall'inizio supponendo che Q_u , \dot{L}_s e le perdite del serbatoio non cambiano durante l'ora.

CALCOLI DEL SISTEMA TERMICO

Si sono sviluppati modelli matematici per due dei componenti chiave dei sistemi di energia solare: il collettore e il contenitore di accumulo.

Ora si mostra come gli altri componenti possono essere modellati, e come i modelli dei componenti possono essere combinati nel modello del sistema.

Con le informazioni sulla grandezza e distribuzione oraria dei carichi del sistema , è possibile risolvere contemporaneamente l'insieme di equazioni per stimare le prestazioni termiche di un processo solare su un qualsiasi periodo di tempo.

Queste stime (simulazioni) si realizzano numericamente e forniscono informazioni sul comportamento dinamico atteso del sistema e le prestazioni integrate a lungo termine.

La prestazione del collettore è funzione della temperatura del fluido entrante nel collettore stesso. Questa temperatura, trascurando le perdite di calore dai tubi di collegamento, è la stessa della temperatura nella porzione di uscita dell'accumulo. La temperatura di uscita dal collettore diventa la temperatura di ingresso all'unità di stoccaggio.

In queste equazioni, il tempo è la variabile indipendente e la soluzione è in forma di temperatura in funzione del tempo.

Questo approccio di simulazione può essere utilizzato per stimare, per qualsiasi applicazione del processo, la quantità di energia erogata dal collettore solare per fare fronte a un determinato carico e la quantità di energia ausiliaria necessaria.

I dati meteorologici necessari, oltre che alle informazioni sui carichi di energia di un sistema, sono noti.

• **MODELLI DEI COMPONENTI**

La quantità di energia che un collettore solare termico può fornire può essere scritta come

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)]^+ \quad (2.24)$$

dove il segno + implica la presenza di un controller-regolatore e che solo valori positivi del termine tra parentesi deve essere utilizzato.

Il funzionamento di un collettore a circolazione forzata non avverrà quando $Q_u < 0$ (o quando $Q_u < Q_{min}$, dove Q_{min} è un livello minimo di guadagno energetico per giustificare il pompaggio del fluido attraverso il sistema). Nei sistemi reali ciò è ottenuto confrontando la temperatura del fluido lasciando il collettore con la temperatura del fluido nella porzione di uscita del serbatoio e si fa funzionare la pompa solo quando la differenza di temperatura è positivo e l'energia possono essere raccolti .

La quantità di calore utile, cioè quella trasferita al fluido termovettore, è data anche dalla

$$Q_u = m C_p (T_o - T_i) \quad (2.25)$$

dove m è la quantità di fluido all'uscita della pompa di circolazione , attraverso il collettore.

Se l'unità di accumulo è un'unità di calore sensibile completamente miscelata, le sue prestazioni è data da :

$$(mC_p)_s dT_s / dt = Q_u - L_s - (UA)_s (T_s - T'_a) \quad (2.26)$$

Queste sono equazioni di base da risolvere nell'analisi dei sistemi come un semplice scaldacqua con collettore solare , pompa, controller e serbatoio. Il tasso di rimozione di energia per soddisfare tutto o parte di un carico è L_s e dipende dal tempo; Q_u e T'_a sono anche dipendenti dal tempo.

I modelli di performance discussi finora sono state basate sulle equazioni fondamentali che descrivono il comportamento dell'apparecchiatura.

I modelli possono anche essere espressi come rappresentazioni empiriche di dati operativi provenienti da particolari elementi di equipaggiamento.

I modelli formati devono rappresentare le prestazioni dei componenti tenendo conto delle condizioni operative che si incontrano nel funzionamento del solare. C'è molto spesso uno scambiatore di calore tra il collettore e il serbatoio quando l'antigelo è utilizzato nei collettori. Se tubazioni o condotti da e verso un collettore non sono ben isolati, le perdite da tubazioni o condotti devono essere presi in considerazione.

3. METODI DI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO

Adesso si considerano i metodi per stimare la producibilità del sistema quindi le prestazioni termiche a lungo termine dei processi di energia solare, un passo essenziale nella loro progettazione.

Queste simulazioni con Omnilus sono effettuate con calcoli transitori dettagliati delle prestazioni termiche.

In seguito verrà fornita una breve descrizione di un programma di simulazione di un processo transitorio TRNSYS ed esempi del suo uso sono inclusi.

Un programma di simulazione processo transitorio sviluppato per lo studio dei processi solari e le sue applicazioni può essere utilizzato. Sono riportati esempi, i tipi di informazioni che le simulazioni ed esperimenti possono fornire e illustrare l'uso di un programma di simulazione per determinare il comportamento del sistema dinamico e prestazioni integrato.

Come prima cosa bisogna determinare i dati meteorologici della località presa in considerazione, necessari per la determinazione dei carichi e per la valutazione dell'energia solare disponibile .

Le condizioni meteorologiche e i carichi possono essere considerati come funzioni operative sui set di equazioni che descrivono le prestazioni del sistema.

I carichi possono essere in funzione del tempo, per il riscaldamento e raffreddamento dell'edificio .

I dati meteorologici, tra cui la radiazione solare, la temperatura ambiente e velocità del vento, influenza le prestazioni , e quindi sono necessari per calcolare le prestazioni del sistema nel tempo.

Tutte le simulazioni sono fatte con dati meteorologici raccolti nei database, ed è necessario selezionare un set di dati da utilizzare nelle simulazioni. Per gli studi di dinamica del processo, i dati per un paio di giorni o settimane possono essere sufficienti se essi rappresentano la gamma di condizioni di interesse.

Per la progettazione è meglio utilizzare i dati di un intero anno o dati di una stagione completa, se il processo è su base stagionale .

Le procedure di progettazione sono disponibili per molti di questi sistemi che sono facili da usare e forniscono stime adeguate sulle prestazioni termiche a lungo termine.

Le prestazioni di tutti i sistemi ad energia solare dipendono dai fattori climatici (livello e la distribuzione di radiazione, temperatura ambiente), i parametri del sistema solare (tipo di raccolta, capacità di accumulo) e caratteristiche del carico (riscaldamento degli ambienti, riscaldamento dell'acqua, livello di temperatura).

I sistemi di energia solare mostrano la dipendenza non lineare del tempo e questo rende le prestazioni, osservando la loro risposta a breve termine o condizioni meteorologiche medie. A causa della dipendenza lineare di questi sistemi dalle condizioni climatiche, sia a breve termine (ad esempio ogni ora) che a lungo termine, richiedono un esame della loro prestazioni per un lungo periodo di tempo.

Come risultato, le simulazioni sono molto lunghe ed è possibile variare i parametri per vedere il loro effetto sulle prestazioni del sistema.

In alternativa, le simulazioni fatte al computer per mezzo di determinati software sono in grado di fornire analisi dei sistemi di energia solare, quando forniti con i dati meteorologici necessari. I modelli matematici possono anche essere formulati per simulare le prestazioni transitorie di questi sistemi. L'utilizzo di un software può fornire le stesse informazioni sulle prestazioni termiche di questi sistemi come quello dell'esperimento fisico ma con meno tempo; così in seguito verrà discusso come opera il software, sviluppato dal gruppo di ricerca GreenTech, della UPC, col fine di effettuare simulazioni su base oraria, giornaliera, mensile e annuale di un impianto solare termico. Ma diversi metodi di progettazione sono stati sviluppati per la progettazione di sistemi di energia solare, che spazia dalla simulazione dettagliata, con semplici metodi di progettazione, al metodo della carta-f .

Infatti in questo elaborato si analizza anche l'uso del metodo della carta-f nella progettazione di impianti solari grazie alla sua semplicità e la capacità di stimare il fattore di copertura totale fornita

dal sistema di riscaldamento solare. Questo metodo è ampiamente utilizzato nella progettazione di sistemi solari, soprattutto nella scelta delle dimensioni e del tipo di collettori solari, che forniscono l'acqua calda e fanno fronte al carico termico richiesto dall'edificio in esame.

3.1 Metodo della Carta-f

In questa sezione viene spiegato il metodo di calcolo utilizzato dalla carta-f, quindi le relazioni che stanno alla base della determinazione della frazione solare mensile ed annuale; così, con l'uso di tale metodo, si calcola l'energia termica che il sistema solare termico è in grado di servire all'abitazione in questione, che inizialmente si suppone essere a Barcellona, in Spagna.

I sistemi di energia solare convertono l'energia solare in energia utile da poter sfruttare in modo da diminuire la dipendenza dall'uso di combustibile per soddisfare la richiesta termica dell'abitazione; ma le prestazioni di questi sistemi dipendono dalle condizioni nel tempo. Questo rende difficile analizzare con precisione le loro prestazioni semplicemente osservando la loro risposta alle condizioni meteorologiche a medio- breve termine .

Così in questo elaborato si analizza anche l'uso del metodo della carta-f nel dimensionamento di impianti solari liquidi grazie alla sua semplicità e capacità di stimare la frazione di carico di riscaldamento totale fornita dal sistema solare.

Questo metodo viene utilizzato soprattutto in applicazioni residenziali nella scelta delle dimensioni e tipo di collettori solari che forniscono i carichi di riscaldamento e di acqua calda sanitaria.

Il metodo della carta- f è essenzialmente una correlazione dei risultati delle centinaia di simulazioni di impianti solari. Questo metodo produce stime di output utili annuali di processi solari, ma non fornisce informazioni sulle dinamiche di processo.

Le condizioni delle correlazioni risultanti danno F, la frazione di carico di riscaldamento mensile (per il riscaldamento e acqua calda) fornita da energia solare come una funzione di due caratteristiche adimensionali, X ed Y, i carichi termici L e le condizioni meteorologiche locali.

Il metodo f-chart fornisce un mezzo per stimare la frazione di un carico termico totale che sarà fornito da energia solare per un dato sistema di riscaldamento solare.

La variabile primaria di design è la superficie del collettore; variabili secondarie sono il tipo e la capacità di accumulo, le dimensioni dello scambiatore di calore.

Le condizioni delle simulazioni sono state variate nell'arco di opportuni intervalli di parametri di design pratici del sistema.

Il metodo f-Chart è stato sviluppato per configurazioni di sistemi liquidi e per la produzione combinata (riscaldamento degli ambienti e acqua calda sanitaria-ACS) e sistemi solo per acqua calda sanitaria.

Le simulazioni risultanti permettono di ottenere f, cioè la frazione di copertura solare di riscaldamento mensile (per il riscaldamento e acqua calda) fornita da energia solare in funzione di due parametri adimensionali, X e Y, riferiti al collettore, su base mensile, con

$$X = \frac{(\text{Dispersioni termiche collettore})}{(\text{Carico termico totale mensile})} \quad (3.1)$$

$$Y = \frac{(\text{Energia assorbita dal collettore})}{(\text{Carico termico totale mensile})} \quad (3.2)$$

Simulazioni dettagliate di questi sistemi sono stati utilizzati per sviluppare correlazioni tra variabili adimensionali ed f, la frazione mensile di carichi, da energia solare.

I due parametri adimensionali sono definiti nella seguente maniera :

$$X = \frac{(A_c F'_R U_L (T_{ref} - T_a) \Delta t)}{L} \quad (3.3)$$

$$Y = \frac{(A_c F'_R (\tau \alpha) H_T N)}{(L)} \quad (3.4)$$

con: A_c = area del collettore (m^2)
 F'_R = fattore d'efficienza dello scambiatore di calore
 U_L = coefficiente globale di perdite del collettore ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
 Δt = secondi nel mese conderato
 T_a = temperatura media mensile dell'ambiente ($^\circ C$)
 T_{ref} = temperatura di riferimento ($100^\circ C$)
 L = carico totale di riscaldamento mensile per il riscaldamento degli ambienti e per ACS (J)
 H_T = radiazione giornaliera media mensile incidente sulla superficie inclinata del collettore (J/m^2)
 N = giorni del mese considerato
 $(\tau\alpha)$ = prodotto trasmittanza-assorbanza media mensile: descrive la trasmissione attraverso la superficie vetrata e l'assorbimento della piastra

Queste equazioni possono essere riscritte come segue

$$X = \frac{(A_c F'_R U_L (T_{ref} - T_a) \Delta t)}{L} = (F_R U_L) \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t \cdot \frac{A_c}{L} \quad (3.5)$$

$$Y = \frac{(A_c F'_R (\tau \alpha) H_T N)}{(L)} = F_R (\tau \alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot \frac{(\tau \alpha)}{(\tau \alpha)_n} \cdot H_T N \cdot \frac{A_c}{L} \quad (3.6)$$

dove $F_R U_L$ e $F_R (\tau \alpha)_n$ sono ottenuti dai test effettuati su collettore: il primo termine, legato alle perdite del collettore, indica la pendenza della retta di efficienza, il secondo il valore di efficienza per temperatura media ridotta nulla.

Il rapporto F'_R / F_R è fattore che tiene conto della presenza dello scambiatore di calore e della sua efficienza, in particolare tiene conto del calo di temperatura tra il collettore e il serbatoio di accumulo.

La temperatura media dell'aria T_a è ottenuta da dati meteorologici per il mese e la posizione considerata, H_T è ottenuto da dati su radiazione giornaliera media mensile sulla superficie del collettore.

Per questo sistema il carico totale mensile fornito dal sistema di riscaldamento solare è dato come una funzione di X e Y; il rapporto di X, Y ed f in forma di equazione è data da:

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (3.7)$$

-Per quanto riguarda il prodotto $(\tau\alpha)$ descrivendo la trasmissione, attraverso la superficie vetrata, e l'assorbimento, della piastra, il rapporto $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ può essere visto come un indice per descrivere l'efficienza del collettore per diversi angoli di incidenza della radiazione solare; in particolare, rappresentando il rapporto tra efficienza ottica ottenuto con radiazione incidente con un certo angolo e quella ottenuta con radiazione incidente normalmente al piano del collettore, questo fattore permette di capire come varia il rendimento ottico del collettore nel corso dell'anno. Quindi,

considerando l'angolo di incidenza della radiazione, bisogna considerare l'angolo di inclinazione del collettore: nei calcoli effettuati in seguito questo rapporto $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ è mantenuto costante e pari a 0.96 per un collettore con una copertura : suggerisce di utilizzare questo valore costante per collettori inclinati, con angolo approssimativamente uguale alla latitudine della località in cui viene considerata l'installazione (fino a 15°) in analisi del sistema di riscaldamento; mentre negli altri casi, per valori di inclinazione diversi dalla latitudine, questo rapporto varia mese per mese, in funzione dell'angolo di incidenza, e quindi dell'inclinazione del collettore, ed è calcolato attraverso la seguente relazione :

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = \frac{(H_b R_b)}{H_T} * \left(\frac{(\tau\alpha)_b}{(\tau\alpha)_n} \right) + \frac{H_d}{H_T} \left(\frac{(\tau\alpha)_d}{(\tau\alpha)_n} \right) \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + \frac{(H\rho)}{H_T} \left(\frac{(\tau\alpha)_r}{(\tau\alpha)_n} \right) \frac{(1 - \cos\beta)}{2} \quad (3.8)$$

dove i pedici b, d, e r si riferiscono alla radiazione diretta, diffusa e riflessa; così si ha:

- **H_b** radiazione diretta incidente su collettore
- **H_d** radiazione diffusa incidente su collettore
- **ρ** coefficiente di riflessione del suolo (=0.2)
- **H_T** radiazione totale incidente sul collettore inclinato ; per calcolarla si può fare riferimento al *modello di cielo isotropo* , che è stato derivato da Liu e Jordan (1963): la radiazione sulla superficie inclinata è considerata includere tre componenti: diretta, diffusa isotropa e radiazione solare diffusa riflessa dal suolo. Una superficie inclinata β rispetto all'orizzontale ha un fattore di vista del cielo $F_{c-s} = (1 + \cos\beta) / 2$. (Se la radiazione diffusa è isotropa, questo è anche R_d, il rapporto tra la diffusa sulla superficie inclinata a quella sulla superficie orizzontale).

La superficie inclinata ha un fattore di vista a terra $F_{c-g} = (1 - \cos\beta) / 2$; se si considera il coefficiente di riflessione del suolo ρ per la radiazione solare totale, la parte di radiazione riflessa sarà $H\rho(1 - \cos\beta) / 2$. Così, per ottenere la radiazione solare totale sulla superficie inclinata, come somma di tre termini, si fa riferimento alla seguente equazione :

$$H_T = H_b R_b + H_d \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + H\rho \frac{(1 - \cos\beta)}{2} \quad (3.9)$$

- **R_b** è un fattore geometrico, dato dal rapporto tra radiazione diretta media giornaliera sulla superficie inclinata rispetto a quella incidente su piano orizzontale, per un determinato mese, e che è quindi uguale a H_{bT} / H_b. Per le superfici che sono inclinate verso l'equatore, nell'emisfero settentrionale, per superfici con γ = 0°, questo fattore può essere calcolato attraverso la seguente relazione 3,10.

$$R_b = \frac{(\cos(\Phi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin(\Phi - \beta) \sin \delta)}{(\cos \Phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \Phi \sin \delta)} \quad (3.10)$$

con:

Φ = latitudine della località considerata

β = inclinazione del collettore

δ = declinazione solare, che può essere determinata attraverso l'equazione di Cooper:

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{(284 + n)}{365} \right) \quad (3.11)$$

$$\omega = \cos^{-1} [-\tan(\text{Lat})\tan(\delta)]: \text{angolo orario} \quad (3.12)$$

Metodi per la valutazione delle prestazioni del sistema solare a lungo termine richiedono che la radiazione media assorbita da un collettore deve essere valutata mese per mese .

La trasmittanza del vetro e l'assorbimento della piastra del collettore sono entrambi funzioni

dell'angolo alla quale la radiazione solare è incidente sul collettore stessi; il calcolo del loro prodotto può essere ripetuto per ogni ora di ogni giorno del mese, da cui la radiazione solare media mensile assorbita può essere trovata. Klein (1979) ne ha calcolato la media mensile assorbita, definendo una media mensile del prodotto trasmittanza-coefficiente di assorbimento, che moltiplicato per la radiazione incidente media mensile su un collettore dà la media mensile della **radiazione assorbita S** :

$$S = H_T \cdot (\tau \alpha) = H_b R_b \cdot (\tau \alpha)_b + H_d \cdot (\tau \alpha)_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + H_r \cdot (\tau \alpha)_r \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (3.13)$$

Per una data inclinazione del collettore, la Figura 5. dà l'effettivo angolo di incidenza della diffusa e della riflessa.

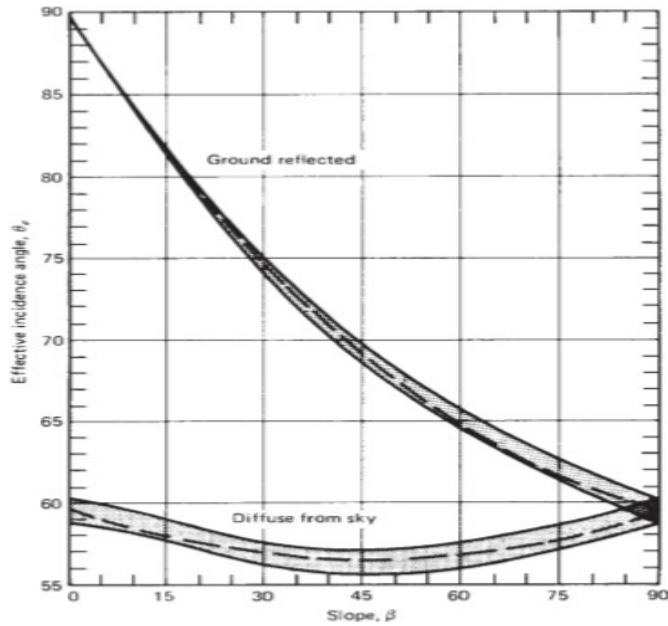


Figura 3.1: Angolo di incidenza effettiva della radiazione diffusa isotropa e riflessa isotropa, su superfici inclinate [1]

Per trovare l'angolo θ_b di incidenza per la radiazione diretta, che è necessaria nella valutazione R_b , viene utilizzata la seguente figura 6.

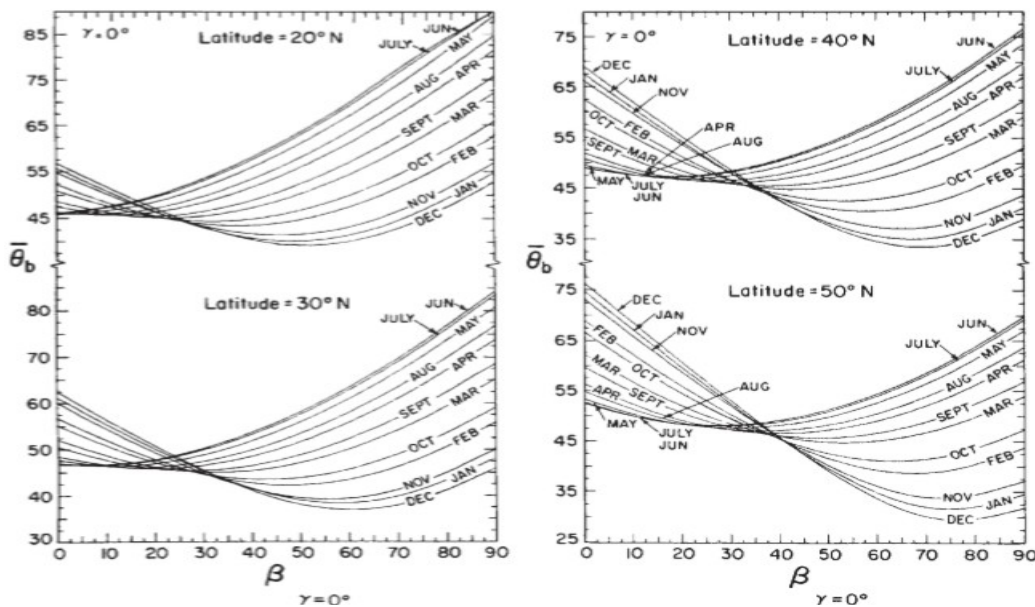


Figura 3.2: Angoli di incidenza della radiazione diffusa media mensile, per diverse latitudini [1]

Quindi, una volta trovati gli angoli di incidenza per la radiazione diretta, diffusa e riflessa, si possono trovare i relativi prodotti $(\tau\alpha)_b, (\tau\alpha)_d, (\tau\alpha)_r$, facendo riferimento al seguente grafico, in cui i valori sono relativi, rispetto ad incidenza normale:

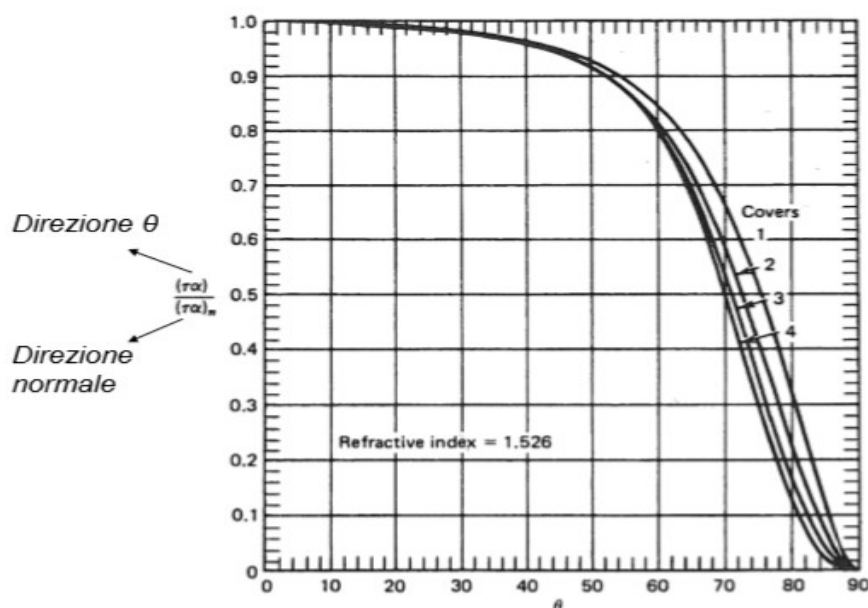


Figura 3.3: Variazione del fattore $(\tau\alpha)$ in funzione dell'angolo di incidenza [1]

In questo modo può essere trovato, mese per mese, il valore di

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = \frac{S}{(H_T(\tau\alpha)_n)}$$

- Il **calcolo del carico termico totale mensile** è anche necessario anche per questi calcoli. Consiste anche nel carico riscaldamento dell'acqua ed è calcolato con la seguente equazione:

$$L_w = c_p \rho (T_w - T_m) N \quad (3.14)$$

Nel metodo della carta-f, la prestazione del sistema è espressa in termini di f, che è la frazione del carico termico fornito da energia solare durante ogni mese.

Il metodo f-chart procede come segue:

- (i) variabili adimensionali X e Y sono calcolati per ogni mese
- (ii) dai valori di X e Y individua un valore di f, che è la frazione del carico termico fornito da energia solare per quel mese.

Così, **sceglie la superficie totale dei collettori che si desidera installare, è possibile calcolare i parametri X e Y e quindi le frazioni di copertura mensili ed annuale.**

La frazione del carico termico annuale fornito da energia solare è determinata ripetendo il calcolo di X, Y ed f per ogni mese. Allora la **frazione del carico termico annuale F** fornita da energia solare è data dal rapporto tra la somma della produzione mensile di energia dal sistema di riscaldamento solare (Q_{utile} - il prodotto della frazione solare mensile f_i per il carico termico mensile L_i) e il carico termico annuo L:

$$F = \frac{(\sum f_i L_i)}{(\sum L)} = \frac{Q_{utile}}{L} = 1 - \frac{Q_{aux}}{L} \quad (3.15)$$

Le curve ottenute dal metodo della carta-f sono generate utilizzando valori nominali fissi per la capacità di accumulo, per area collettore, portata del liquido, e la taglia dello scambiatore di calore relativa al carico di riscaldamento degli ambienti.

Così è molto importante prendere in considerazione la sensibilità di questi parametri di progettazione ed effettuare correzioni, se necessario, dei risultati a lungo termine del sistema.

Convalida

Per garantire che i calcoli effettuati con il metodo f-chart sono corretti, si segue, come nel resto dell'elaborato, passo dopo passo i calcoli di questi casi effettuati sul libro "Solar Engineering of Thermal Processes" -Duffie & Beckmann [1].

In particolare, si è fatto riferimento al caso esempio del metodo f-chart di un sistema di riscaldamento solare che deve essere realizzato in Madison, Wisconsin (latitudine 43° N), utilizzando collettori con una copertura con $F_R (\tau\alpha)_n = 0,74$ e $F_R U_L = 4,00 \text{ W / m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ come determinato dal test di collettori.

Il collettore è rivolto a sud, con una pendenza di 60° rispetto al piano orizzontale. La radiazione media giornaliera di gennaio in Madison sulla superficie inclinata è 13,7 MJ / m² e la temperatura ambiente media è -8°C. Il carico di riscaldamento è 36,0 GJ per il riscaldamento degli ambienti e l'acqua calda. Il fattore di correzione scambiatore $F'_R / F_R = 0,97$. Per tutti i mesi $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$, il rapporto tra la media mensile di normale incidenza rispetto a quello di incidenza con un certo angolo del prodotto trasmittanza-assorbanza, viene preso per 0.96; di seguito vengono resi noti i valori di X e Y per queste condizioni, con area totale di collettori di 50 m²:

Month	\bar{H}_T , MJ/m ²	\bar{T}_a	L, GJ	X	Y	f	fL, GJ
January	13.7	-8	36.0	1.56	0.41	0.28	10.1
February	18.8	-5	30.4	1.62	0.55	0.39	11.9
March	15.8	1	26.7	1.93	0.63	0.44	11.7
April	14.7	9	15.7	2.91	0.97	0.61	9.6
May	16.6	14	9.2	4.86	1.92	0.95	8.8
June	16.5	19	4.1	9.93	4.17	1.00 ^a	4.1
July	16.8	22	2.9	13.98	6.17	1.00 ^a	2.9
August	17.5	20	3.4	12.23	5.49	1.00 ^a	3.4
September	15.6	15	6.3	6.78	2.56	1.00	6.3
October	15.2	11	13.2	3.50	1.23	0.73	9.6
November	11.4	2	22.8	2.16	0.51	0.34	7.7
December	12.7	-5	32.5	1.68	0.42	0.28	9.3
Total			203.2				95.4

Tabella 3.1: Performance, mensile e annuale, del Sistema di Riscaldamento, in Madison [1]

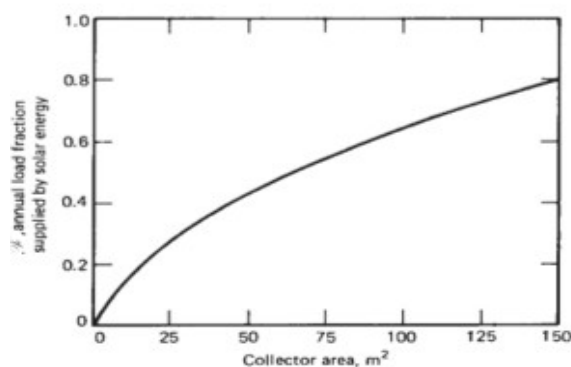


Figura 3.4: Andamento della frazione solare annua in funzione dell'area dei collettori [1]

Una volta che i calcoli sulla modellazione del sistema solare termico sono effettuati attraverso l'uso del metodo della carta-f, si prosegue utilizzando il software *Omnibus*, che permette una simulazione transitoria, a partire su base oraria, della produzione di energia termica prodotta dall'impianto in diversi mesi dell'anno; alla fine si farà un confronto tra i valori ottenuti con i due diversi metodi di calcolo.

In questo modo, per modellare un impianto solare termico, si può anche usare il software sviluppato dal gruppo di ricerca Greentech della UPC.

3.2 SOFTWARE Omnilus [2]

Il software è composto da diversi moduli che consentono **simulazioni transitorie nel campo della trasmissione del calore**. Il software fornisce le equazioni fondamentali che governano questi processi, nonché le proprietà caratteristiche dei componenti da utilizzare e consente operazioni di calcolo computazionale dei fluidi.

L'intero programma è suddiviso in diversi componenti che possono interagire uno con l'altro attraverso il sistema; questi componenti sono rappresentati i serbatoi, per il riscaldamento e l'ACS, i collettori e gli scambiatori di energia. Con un numero di file sono gestiti questi componenti insieme, permettendo lo studio di approssimazione, che potrebbe essere previsto nella realtà. Per costruire il programma per calcolare in maniera più chiara e comprensibile possibile si dovrebbe fare uso di classi.

Le **classi di sistema** sono quelle che permettono l'interazione tra i moduli scelti e sono responsabili di chiamata di funzioni per rendere i dati di input, le funzioni di calcolo o di estrazione dei dati per la lettura dei risultati.

Mentre le classi dei componenti inerenti ai collettori termici, il serbatoio e la modellazione dello scarico attraverso uno scambiatore, che da queste offrono equazioni fisiche descrittive dei fenomeni previsti che si verificano in essi.

Il sistema relaziona la produzione di un componente con l'ingresso degli altri, che sono i componenti fisici che esistono nella realtà.

La nomenclatura che è stata scelta per chiamare il processo come *Process Heating*, dato che la modellazione viene eseguita corrispondentemente a un tipico processo di riscaldamento solare. Per questo si è utilizzato la sigla *PHeat*. I file sono tutti quelli che formano il sistema e permettono il calcolo transitorio.

Per impostare il sistema proposto questo si avvale di tre file principali:

- *rdTransisPHeat*
- *TransisPHeat*
- *TransisBase*

Quindi definisce i modelli fisici scelti per la rappresentazione dei componenti, e definisce il funzionamento del sistema.

Sistema di Simulazione

Una volta che si ha tutto il sistema descritto e calcoli vengono accoppiati ai componenti del sistema per riprodurre le condizioni di lavoro della struttura, principalmente, *ciò che è richiesto dalle simulazioni, oltre a tutti i valori intermedi di temperature e bilanci di energia, è determinare il fattore di copertura solare F dell'installazione e il coefficiente di prestazione COP*. Il *fattore di copertura* rappresenta la domanda di energia che può essere coperto in questo caso dal Sole, cioè con l'ausilio del sistema solare. È questo fattore che viene utilizzato come parametro principale dalla normativa per determinare le caratteristiche degli impianti solari.

Fare riferimento al *coefficiente di prestazione* o di efficienza è utile per determinare qual'è il vantaggio che viene offerto dall'installazione, ed è calcolato dividendo l'energia che sta dando il processo di riscaldamento dall'energia disponibile dal sole.

Per delineare il processo di calcolo vengono rappresentati i processi più significativi condotti in tutta la simulazione. Ci sono diversi processi che si ripetono ogni giorno e mensilmente. Così quando viene condotto un calcolo di energia, con le equazioni in cui più di un parametro è sconosciuto, ma che si possono trovare in diversi moduli, è richiesta una iterazione sui calcoli delle varie parti del sistema. Questo farà sì che i risultati sono venuti a convergere e sono stabili, garantendo un sistema solido.

L' algoritmo di calcolo è presentato nella tabella seguente:

RICORSO		PROCESSI
		1. Impostazione dei dati di input: azione per il clima, collezionisti di configurazione, condizioni iniziali. 2. Sistema di calcolo nelle condizioni iniziali. 2.1. calcolo collettori. 2.2. calcolo serbatoio. 2.3. calcolo scambiatore .
	Mensile	3. Istituzione del tipico giorno del mese. 4. Calcolo dei parametri per trascorrere delle ore su un giorno tipo su collettore . 5. Calcolo dei valori giornalieri di parametri passati alla scheda richiesta
Mensile	Giornaliero	6. Risoluzione equazione dei collettori 7. Calcolo della domanda istantanea 8. Impostazioni e la domanda e le temperature del serbatoio del collettore. 9. Risoluzione giornaliera.
	Mensile	Calcolo della produzione mensile Calcolo del fattore di copertura Calcolo dell'efficienza

Tabella 3.2: Algoritmo di calcolo del software Omnilus

Per trovare un modello stabile applicato in vari processi di riscaldamento, durante il calcolo iterativo, innanzitutto avviene il calcolo della produzione mensile.

In seguito, nell'appendice, si vede nel dettaglio come è fatto il software e come esegue le simulazioni.

4. PROGETTO: IMPIANTO SOLARE TERMICO PER LA PRODUZIONE DI ACS ED INTEGRAZIONE AL RISCALDAMENTO IN UN'ABITAZIONE

Il *metodo della carta-f* può essere usato per *stimare* le prestazioni termiche annuali degli impianti di riscaldamento per edifici, utilizzando acqua come il fluido di lavoro.

Le configurazioni di sistema che possono essere valutati con tale metodo possono essere di comune impiego nelle applicazioni residenziali; in particolare il metodo f-chart costituisce un mezzo per stimare la frazione di un carico di riscaldamento che sarà fornito da energia solare per un dato sistema di riscaldamento solare.

Così, considerando un'abitazione per 4 persone, in questo progetto si effettuano simulazioni di un impianto solare termico, per produzione combinata (di acqua calda sanitaria ed integrazione al riscaldamento), situato prima a Barcellona, che trovandosi nella zona climatica 2 la frazione solare minima annuale dovrebbe essere $F > 0,4$; inoltre si considera il sistema essere installato nelle città di Palermo e Milano, in modo da potere confrontare i risultati ottenuti per diverse località di installazione.

La variabile di design primaria è la superficie del collettore; variabili secondarie sono il tipo di collettore, la capacità del serbatoio di accumulo, le dimensioni dello scambiatore di calore, oltre che bisogna tenere conto del carico termico dell'abitazione.

Le condizioni delle simulazioni sono state variate nell'arco di opportuni intervalli di parametri di design pratici sistema.

Le correlazioni risultanti danno *f*, ovvero la *frazione di carico di riscaldamento mensile* (per l' acqua calda sanitaria e il riscaldamento dell'abitazione) fornita da energia solare in funzione di due parametri adimensionali: uno è correlato al rapporto delle perdite del collettore e i carichi termici (X), l'altro è legato al rapporto della radiazione solare assorbita e i carichi termici (Y).

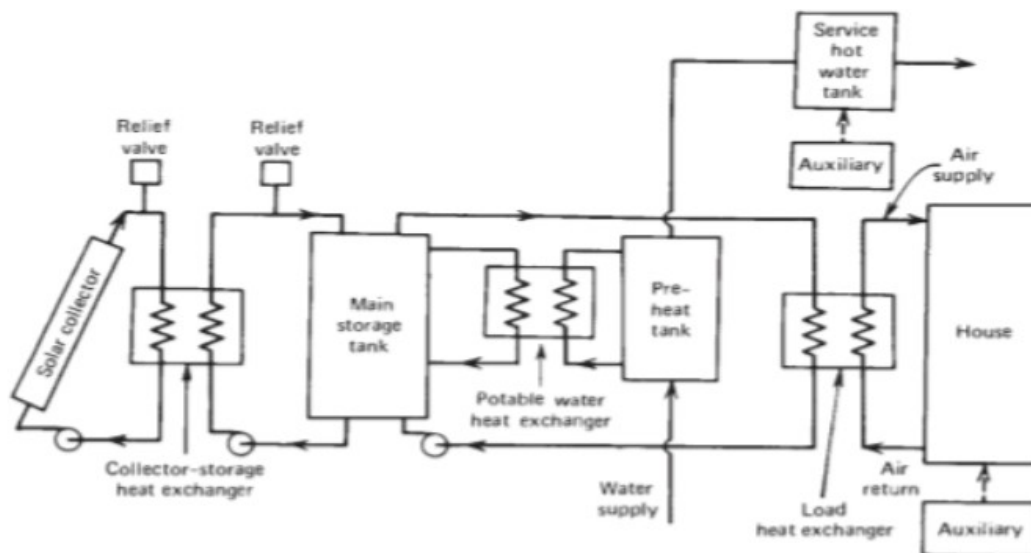


Figura 4.1: Schema standard di una configurazione di sistema solare utilizzando fluido termovettore e serbatoio di accumulo [1]

I valori dei parametri disponibili si riferiscono a:

- dati meteo disponibili (dai database) sui valori delle radiazioni su H orizzontale e inclinato H_T (in MJ / m^2) per ciascun mese;
- temperatura media mensile T_a ;
- temperatura di acqua di rete ($T_r = 12 \text{ } ^\circ C$) e quello a cui deve essere erogata l'acqua ($T_w = 40 \text{ } ^\circ C$).

Nella tabella 4.1 sono riportate le caratteristiche del collettore solare (piano-veltrato) usato nelle simulazioni del sistema condotte nella città di *Barcellona*:

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β	41°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	A_{ref}	2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0	0,79
<i>Coeff. Di perdita</i>	a1	4,04 W / (m ² K)
	a2	0,0182W / (m ² K)
<i>Modificatore Angolo di Incidenza</i>	$IAM = K_{\tau\alpha(50^\circ)}$	0,96
<i>Numero collettori</i>	N	6
<i>Area totale</i>	A_{ref}^{tot}	13,8 m²

Tabella 4.1: Esempio caratteristiche del collettore solare termico

Supponendo, dunque, che il collettore ad acqua operi con :

$$- F_r U_L = 4,04 \text{ W / m}^2$$

$$- F_r (\tau\alpha)_n = 0,79$$

$$- (T\alpha / \tau\alpha)_n = 0,96$$

$$- F'_r / F_r = 0,97$$

come determinato dai test standard dei collettori, è necessario farne una conversione.

CONVERSIONE DATI TEST TERMICI :

I dati ottenuti dai test del collettore, negli Stati Uniti, sono generalmente espressi in termini di η_i e $(T_i - T_a) / G_T$.

E' pratica in altri paesi di esprimere η_i in funzione di $(T_{av} - T_a) / G_T$.

Di seguito sono presentati i metodi per convertire i risultati dei test da un formato all'altro.

Se i dati di prova sono tracciati come η_i con $(T_{av} - T_a) / G_T$, dove T_{av} è la media aritmetica tra le temperatura di ingresso e di uscita del fluido, l'equazione della retta di efficienza del collettore è data da:

$$\eta_i = F_{av} (\tau\alpha)_n - F_{av} U_L \frac{(T_{av} - T_a)}{G_T} \quad (4.1)$$

Se è nota la portata del fluido (m), la intercetta $F_{av} (\tau\alpha)_n$ e la pendenza $(-F_{av} U_L)$ della curva, con equazione espressa in precedenza, sono legati alla $F_R U_L$ e $F_R (\tau\alpha)_n$.

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (4.2)$$

In questo modo si tiene conto della temperatura di ingresso del fluido termovettore (T_i) e di quella dell'aria esterna (T_a).

Così vengono definite le seguenti relazioni:

$$F_R (\tau\alpha)_n = F_{av} (\tau\alpha)_n \cdot \left[1 + A_c F_{av} \frac{U_L}{2mC_p} \right]^{-1} \quad (4.3)$$

$$F_R U_L = F_{av} U_L \cdot \left[1 + A_c F_{av} \frac{U_L}{2mC_p} \right]^{-1} \quad (4.4)$$

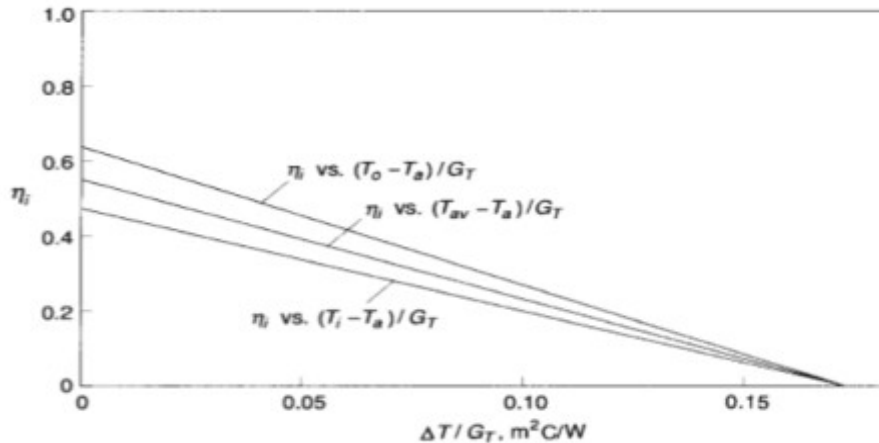


Figura 4.2: Curve d'efficienza per collettori piani vetrati, tracciate in funzione di T_i , T_{av} e T_a [1]

Quindi, se si conosce la portata del fluido nel collettore, durante il test ($m = 0,0138$ l/s) è possibile determinare dalle precedenti relazioni (4.3) e (4.4) i rispettivi valori di $F_R(\tau\alpha)_n$ e $F_R U_L$, partendo dalla pendenza e l'ordinata all'origine della curva di rendimento del collettore.

Le **caratteristiche del collettore**, con cui vengono effettuati i calcoli, sono :

- $F_R U_L = 3,4$ W / (m²K)

- $F_R(\tau\alpha)_n = 0,6$

Si può fare un bilancio di energia solare sul collettore utilizzando l'equazione di Bliss, che esprime il calore utile del collettore in funzione della temperatura di ingresso del fluido termovettore, nel collettore stesso, e di quella dell'aria esterna, ovvero quei valori che è possibile controllare; così si può esprimere il rendimento nella forma dell'equazione di Bliss:

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (4.5)$$

Allora, una volta determinati tutti i parametri, visti in precedenza, per la determinazione dei fattori adimensionali X e Y, la **richiesta termica di acqua calda**, il **fabbisogno di energia per il riscaldamento**, si può calcolare la **frazione solare mensile f_i** ; di conseguenza è possibile calcolare la **frazione annuale** come :

$$F = \frac{(\sum f_i \cdot L)}{(\sum L)} \quad (4.6)$$

I risultati ottenuti per l'installazione a Barcellona si riferiscono all'abitazione in esame, in cui si dimensiona l'impianto solare termico, con collettore di tipo piano-vevtrato, che, con una superficie di circa 14 m² - sei collettori da 2,3 m² ciascuno- con i dati disponibili, permette di ottenere un valore della **fattore di copertura annuale** intorno a **F = 40 %**, dato che si trova in fascia climatica 2. Successivamente, nel paragrafo 8 verranno presentati in dettaglio i risultati ottenuti.

4.1 VALUTAZIONE DEL CARICO TERMICO

4.1.1 Produzione di acqua calda sanitaria

In questo caso si considera una richiesta di 65 litri per persona per giorno.

I carichi che devono essere soddisfatti dai sistemi di riscaldamento possono essere considerati come requisiti di calore sensibile dell'acqua che devono essere soddisfatti. Se una portata m deve essere riscaldata da una temperatura di ritorno T_s ad una T_d temperatura di mandata, la quantità di calore sensibile richiesta sarà :

$$L_w = m C_p (T_d - T_s) \quad (4.7)$$

La valutazione del carico termico giornaliero sulla produzione di acqua calda sanitaria è legata al consumo di acqua per persona; così, considerando una famiglia di 4 persone, con ognuno che consuma $L = 65$ litri/giorno, con temperatura dell'acqua erogata di $t_m = 40$ °C, il carico termico per ACS, al giorno, è uguale a:

$$Q_{L, ACS} = n L \rho c_p (t_m - t_r) \quad [\text{J / giorno}] \quad (4.8)$$

con:

n : il numero delle persone

t_m : temperatura di mandata [°C]

t_r : temperatura dell'acqua di rete [°C]

c_p : calore specifico dell'acqua [$4186 \text{ J / (kg K)} \approx \text{J / (L K)}$]

Parametri per la Valutazione del Carico giornaliero per ACS	
n	4
L	65 L / (persona · giorno)
c_p	4186 J / (kg K)
t_m	40 °C
t_r	12 °C

Tabella 4.2: Valutazione parametri per determinazione del carico giornaliero di ACS

4.1.2 Carico per il Riscaldamento - Gradi-Giorno (DD)

Il metodo gradi-giorni di carichi si basa sul principio che la perdita di energia di un edificio è proporzionale alla differenza di temperatura tra interno ed esterno.

Se si aggiunge l'energia (da una sorgente quale un forno, stufa, o riscaldamento solare) all'edificio ad un tasso L , se la velocità di generazione di calore nella costruzione dovuto ad occupanti, luci, elettrodomestici, radiazione solare, e così via, è \dot{g} , e se il tasso di trasferimento di energia dalla costruzione è proporzionale alla differenza tra la temperatura di casa e la temperatura ambiente, è possibile fare un bilancio energetico, in stato stazionario:

$$L + \dot{g} = (UA)_h (T_h - T_a) = (UA)_h (T_b - T_a) \quad (4.9)$$

Così, il carico istantaneo sulla costruzione può essere espresso in termini di temperatura come:

$$\dot{L} = (UA)_h (T_b - T_a) \quad (4.10)$$

Il carico termico di un mese su un edificio si ottiene integrando questa equazione nel corso del mese:

$$L = \int (UA)_h (T_b - T_a) + dt \quad (4.11)$$

dove l'apice + indica che solo i valori positivi di $(T_b - T_a)$ contribuiscono al carico termico. Se l'integrale è approssimata da una sommatoria oraria rispetto al mese e $(UA)_h$ e T_b si presume essere costante, allora il **carico termico mensile, per il riscaldamento** dell'abitazione, è dato da:

$$L = (UA)_h \cdot DD \quad (4.12)$$

dove

DD è il numero di gradi giorno.

$(UA)_h = 730,26 \text{ W/}^\circ\text{C}$, tiene conto delle dispersioni dell'edificio in esame, in particolare delle perdite attraverso le pareti, finestre e tetto

Il numero di gradi giorno in un giorno è approssimato dalla differenza tra il bilancio di temperatura T_b e la temperatura media giornaliera T_{av} , definita come $(T_{max} + T_{min}) / 2$, con solo i valori positivi della differenza considerati.

I gradi giorno di un mese sono la somma dei valori giornalieri:

$$DD = \sum_{mo} (T_b - T_{av})^+ \quad (4.13)$$

La media gradi giorno mensili possono essere approssimate da :

$$DD = \sigma_m \cdot N^{3/2} [(h / 2) + (\ln [\cosh (1.698h)] / 3,396) 0,2041] \quad (4.14)$$

dove N è il numero di giorni del mese ed h è definita come:

$$h = (T_b - T_a) / (\sigma_m \sqrt{N}) \quad (4.15)$$

La deviazione standard della temperatura ambiente media mensile è σ_m , che non è generalmente disponibile da riassunti tempo, ma può essere approssimata dalla seguente essenzialmente senza perdita di precisione:

$$\sigma_m = 1.45 - 0.0290T_a + 0.0664\sigma_{yr} \quad (4.16)$$

dove σ_{yr} è la deviazione standard della temperatura ambiente media mensile dalla temperatura ambientale media annuale e T_a è la temperatura media mensile in gradi Celsius .

4.2 VALUTAZIONE VOLUME SERBATOIO DI ACCUMULO

Si calcola il volume utile totale del serbatoio di accumulo sulla base del numero di collettori solari: considerando 60 L/m^2 per m^2 di superficie esposta e che ci sono sei collettori, il volume del serbatoio di accumulo, per l'installazione di Barcellona, sarà di circa 830 L.

SERBATOIO DI ACCUMULO		
Area collettore - A_c	2,3 m^2	
Numero collettori - N	6	
V	=60 L./m² ($N_c A_c$)	828 L

Tabella 4.3: Esempio valutazione Capacità serbatoio di accumulo

Per i sistemi liquidi, i calcoli effettuati con il metodo della carta-f possono essere modificati per stimare le variazioni delle prestazioni a lungo termine dati dai cambiamenti nella capacità del serbatoio di accumulo e per le caratteristiche dello scambiatore di calore.

Allora di seguito vengono presi in considerazione i modi con cui correggere i valori dei fattori adimensionali con X_c ed Y_c per la determinazione della frazione solare mensile f del sistema, tenendo conto della capacità di accumulo e delle dimensioni dello scambiatore di calore.

Capacità di Accumulo

La prestazione annua del sistema è relativamente insensibile alla capacità di accumulo fintanto che la capacità è più di circa 60 litri di acqua per metro quadrato di collettore.

Il metodo della carta-f è stato sviluppato per una capacità di accumulo standard di 75 litri di acqua immagazzinata per metro quadrato di superficie del collettore. Le prestazioni dei sistemi con capacità di stoccaggio nella gamma di 37,5 a 300 L/m² può essere determinato moltiplicando il gruppo X adimensionale per un fattore di correzione X_c / X che tiene conto delle dimensioni dell'accumulo; così, per tenere conto delle variazioni della capacità di accumulo, il valore di X calcolato precedentemente deve essere modificato utilizzando questa equazione:

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{(\text{Capacità di Accumulo effettiva})}{(\text{Capacità di Accumulo standard})} \right)^{(-0,25)} \quad (4.17)$$

per $0,5 \ll \frac{(\text{Capacità di Accumulo effettiva})}{(\text{Capacità di Accumulo standard})} \ll 4,0$

Dimensioni Scambiatore di calore

Così come lo scambiatore di calore utilizzato per riscaldare l'aria dell'edificio viene ridotto di dimensione, la temperatura dell'accumulatore deve aumentare per fornire la stessa quantità di calore, con conseguente temperature superiore del collettore e ridotta dell'uscita del collettore. Una misura delle dimensioni dello scambiatore di calore necessaria per un edificio specifico è fornito dal parametro adimensionale $\epsilon_L C_{min} / (UA)_h$, dove ϵ_L è l'efficienza dello scambiatore di calore acqua-aria, C_{min} è la minima capacità di flusso del fluido (portata moltiplicata per il calore specifico del fluido) nello scambiatore di calore di carico, $(UA)_h$ è il prodotto dell'area per il coefficiente di perdita di energia complessiva per l'abitazione, utilizzato nella determinazione del carico di riscaldamento con il modello dei gradi-giorni.

$(UA)_h$	730,26 W/K
ϵ_L	0,69
C_{min}	630 W/K
$\epsilon_L C_{min}$	434 W/K
$\epsilon_L C_{min} / (UA)_h = 0,6$	

Tabella 4.4: Valutazione parametri per determinare dimensioni scambiatore di calore

Le prestazioni dei sistemi con altri valori di $\epsilon_L C_{min} / (UA)_h$ può essere stimata dalla carta-f modificando Y da un fattore di correzione Y_c / Y riguardante lo scambiatore, e definito dalla seguente relazione:

$$\frac{Y_c}{Y} = 0,39 + 0,65 \exp\left(-0,139 \frac{(UA)_h}{(\epsilon_L \cdot C_{min})}\right) \quad (4.18)$$

per $0,5 \leq \epsilon_L C_{min} / (UA)_h \leq 50$

Adesso si prende in considerazione la norma UNI EN 15316 [7], in modo da osservare le differenze con il metodo della Carta-f confrontando, successivamente, i risultati della frazione solare di un impianto solare-termico ottenuti per la produzione di sola ACS.

5. NORMA UNI EN 15316-4-3 (2008):

Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – *Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar systems*

Detta Norma riporta metodi di calcolo dell'apporto solare per impianti di applicazione negli edifici: impianti combinati per riscaldamento invernale e produzione di acqua calda sanitaria, impianti per solo riscaldamento invernale ed impianti per sola produzione di acqua calda sanitaria.

Per i diversi tipi di impianto, considera due distinte metodologie di calcolo, entrambe basate sul periodo temporale mensile:

-METODO A: applicabile agli impianti ad energia solare, utilizza i dati di sistema, i dati di input vale a dire dal test di sistema o valori di input di sistema di default fornite nel formato EN 12976-2 (indicatori di performance) ;

-METODO B: applicabile a tutti gli impianti ad energia solare, utilizza i dati dei componenti, dati di input cioè da prove di componenti (o valori di input dei componenti di default. In particolare il metodo B adatta ed estende la procedura di calcolo della Carta-f, utilizzando direttamente i parametri di caratterizzazione dei collettori solari previsti dalle prove secondo UNI EN 12975-2

Si riporta nel dettaglio il metodo B secondo UNI EN 15316-4-3 per il calcolo dell'apporto solare per un impianto dedicato alla sola produzione di acqua calda sanitaria.

IMPIANTO SOLARE PER PRODUZIONE SOLO DI ACS - Calcolo secondo UNI EN 15316-4-3

In questo caso, l'uscita dal sistema solare termico, $Q_{W, sol, out}$ è calcolato con il seguente metodo di calcolo generale, utilizzando solo l'applicata ACS usata e le relative caratteristiche del sistema di (superficie del collettore, il volume accumulatore solare, ecc.) .

Questo metodo di calcolo, basato comunque sul metodo della carta-f, utilizza direttamente il valore dei parametri della curva di efficienza del collettore, ricavata secondo UNI EN 12975-2, e riferita all'area di apertura:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \cdot \frac{(t_m - t_a)^2}{G} \quad (5.1)$$

con:

η_0 : efficienza del collettore a perdite nulle [-];

a_1 : coefficiente semplice di interpolazione dell'efficienza [W/(m²K)];

a_2 : coefficiente quadratico di interpolazione dell'efficienza [W/(m²K²)];

G: irradiazione solare emisferica sull'area del collettore [W/m²];

ed inoltre:

A: area totale di apertura dell'insieme di collettori [m²];

IAM: modificatore dell'angolo di incidenza a 50° [-].

La *frazione di copertura solare nell'intero anno* è definita come :

$$f_{sol, a} = \frac{(\sum Q_{sol, out, m})}{(\sum Q_{sol, us, m})} \quad (5.2)$$

Calcolo generale della produzione solare

L'energia prodotta dal sistema solare termico è calcolata, mese per mese, secondo la seguente equazione 5.3:

$$Q_{sol,out,m} = f_{sol,m} \cdot Q_{sol,us,m} = (1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3) \cdot Q_{sol,us,m} \quad [\text{kWh}]$$

dove :

$Q_{sol,us,m}$ è il fabbisogno termico globale mensile per la fornitura di acqua calda sanitaria e comprende anche le dispersioni della rete di distribuzione di ACS; questo viene definito come:

$$Q_{sol,us,m} = \frac{[m \cdot c_p \cdot (\theta_w - \theta_{c,w})]}{3600} \cdot FP \quad (5.4)$$

(con

m : fabbisogno di ACS [L] ;

$c_p = 4,186 \text{ KJ}/(\text{Kg K})$ - calore specifico dell'acqua ;

θ_w : temperatura desiderata per l'ACS ;

$\theta_{c,w}$ [°C] : temperatura acqua fredda da rete;

$FP = 1,05$ – fattore di perdita: tiene conto delle dispersioni della rete di distribuzione)

Come per il metodo classico della Carta-f, la frazione di copertura solare f dei fabbisogni termici mensili di energia termica per la fornitura di ACS si ricava in funzione del valore di due parametri adimensionali caratteristici X ed Y : X è il rapporto di similitudine tra perdite e fabbisogno termico; Y è il rapporto di similitudine tra recupero energetico solare e fabbisogno termico :

$$X = \frac{(A \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m)}{(Q_{sol,us,m} \cdot 1000)} \quad (5.5)$$

dove:

A è area di apertura della totalità dei collettori [m²]

U_{loop} è il coefficiente di dispersione termica del circuito collettori (anche tubi) [W/ m² K]:

$$U_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + (U_{loop,p} / A) \quad (5.6)$$

$U_{loop,p}$ [W/K] : coefficiente di dispersione globale di tutte le tubazioni del circuito collettori;

può essere : $U_{loop,p} = 5 + 0,5 A$

η_{loop} è il fattore di efficienza del circuito collettori, inclusa l'influenza dello scambiatore

(valore tipico $\eta_{loop} = 0.9$)

ΔT [°C] è la differenza di temperatura di riferimento, definita come:

$$\Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg} \quad (5.7)$$

con

θ_{ref} [°C] : temperatura di riferimento; per sistemi ACS : $\theta_{ref} = 11,6 + 1,18\theta_w + 3,86\theta_{c,w} - 1,32\theta_{e,avg}$

θ_w [°C] : temperatura desiderata per l'ACS (= 40°C)

$\theta_{c,w}$ [°C] : temperatura acqua fredda da rete

$\theta_{e,avg}$ [°C] : temperatura media aria esterna del mese preso in considerazione

f_{st} è il fattore correttivo del volume V_{sol} [L] del serbatoio di accumulo, definito come :

$$f_{st} = \left(\frac{V_{ref}}{V_{sol}} \right)^{0,25} \quad \text{con il valore standard del volume che è } V_{ref} = 75 \text{ A [L]}$$

t_m [h] : durata del periodo (mese) in considerazione

Per quanto riguarda l'altro fattore adimensionale per la determinazione della frazione solare mensile:

$$Y = \frac{(A \cdot IAM \cdot \eta_{loop} \cdot \eta_0 \cdot I_m \cdot t_m)}{(Q_{sol,us,m} \cdot 1000)} \quad (5.8)$$

con:

η_0 : fattore di efficienza del collettore a perdite nulle, riferito all'area di apertura

IAM : modificatore dell'angolo di incidenza del collettore, a 50° [$=K_{50}(\tau\alpha)$]

I_m [W/m²]: irradiazione solare media sul piano del collettore nel periodo (mese) considerato

Nei calcoli eseguiti usando la Norma UNI EN 15316, per la determinazione della frazione solare mensile ed annuale dell'impianto solare, per sola produzione di ACS, installato a BARCELONA si usa lo stesso collettore usato nei calcoli effettuati con il metodo della carta-f, con le seguenti caratteristiche:

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β	41°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	$A_{apertura}$	2,33 m²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0	0,79
<i>Coeff. di perdita</i>	a1	4,04 W / (m² K)
	a2	0,02 W / (m² K)
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Area totale</i>	A^{tot}	4,66 m²

Tabella 5.1: Caratteristiche del collettore solare termico

Per quanto riguarda, invece, le temperature in gioco, si prendono in considerazione i valori di temperatura di mandata e ritorno dell'acqua dall'impianto della tabella 5.2. Nella successiva tabella 5.3 invece è riportato il fabbisogno giornaliero di ACS richiesto dall'abitazione:

Temperatura acqua	mandata	Θ_w	40°C
	ritorno	$\Theta_{w,w}$	12°C

Tabella 5.2: Valori di temperatura usati per la produzione di ACS

FABBISOGNO GIORNALIERO DI ACS	
N° persone	4
Fabbisogno di ACS per persona	65 L / (p giorno)
260 L / giorno	

Tabella 5.3: Fabbisogno giornaliero di ACS dell'abitazione

6. PROBLEMA DELLA STAGNAZIONE

Nel dimensionamento dell'impianto solare-termico nelle diverse località si è visto come nei periodi dell'anno di forte radiazione su piano del collettore si può arrivare a captare più energia di quella che effettivamente il fluido termovettore riesce a cedere al bollitore, o scambiatore; in pratica, c'è un **eccesso di calore tra quello prodotto e quello che effettivamente serve all'utenza**, quindi si verifica un valore della frazione solare mensile $f > 1$.

Si viene così a verificare il così detto fenomeno della **"stagnazione"**.

Con il concetto di **"stagnazione"** si fa riferimento al fenomeno per cui il **fluido termovettore**, responsabile del trasporto dell'energia termica dai **pannelli solari termici** al serbatoio di accumulo, raggiunge una temperatura particolarmente elevata, dell'ordine di 200° C. Tale situazione si innesca come conseguenza del forte irraggiamento : durante il periodo estivo l'impianto solare-termico, soprattutto se dimensionato anche per il riscaldamento, può riscaldare l'accumulo a temperature eccessive, e ciò è spesso abbinato ad un calo della richiesta di consumo di acqua calda, oppure quando un impianto solare non viene utilizzato per un lungo periodo, per assenza dei fruitori .In questi casi la temperatura del fluido termovettore crescerà con continuità, portando ad un eccesso di temperatura dell'impianto fino a quando nei pannelli termici si avrà formazione di vapore ed in questo modo si verifica il fenomeno della stagnazione.

6.1 GESTIONE DELLA STAGNAZIONE:

Fase1

La stagnazione inizia con il disinserimento della pompa del circuito solare e la valvola di ritegno rimane chiusa.

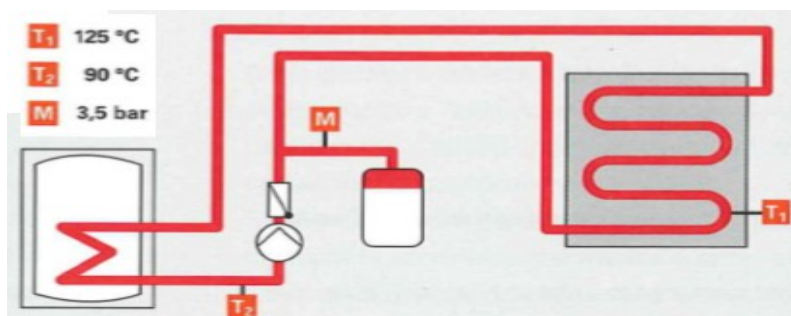


Figura 6.1 Esempio di gestione stagnazione [5]

Fase 2

Dopo circa 10 minuti il collettore raggiunge la temperatura di ebollizione e produce vapore; la pressione nel sistema aumenta, quindi entra in gioco il vaso di espansione, che compensa le oscillazioni di volume del fluido termovettore del circuito solare, dovute all'espansione termica e all'evaporazione del liquido contenuto nei collettori.

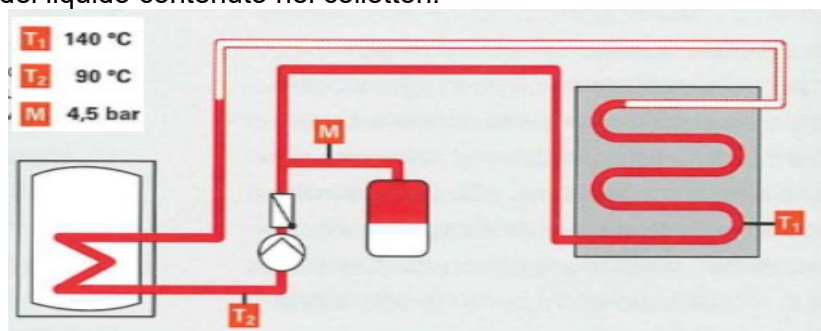


Figura 6.2 Esempio di gestione stagnazione [5]

Fase 3

Dopo altri 30 minuti il vapore si è abbondantemente esteso,

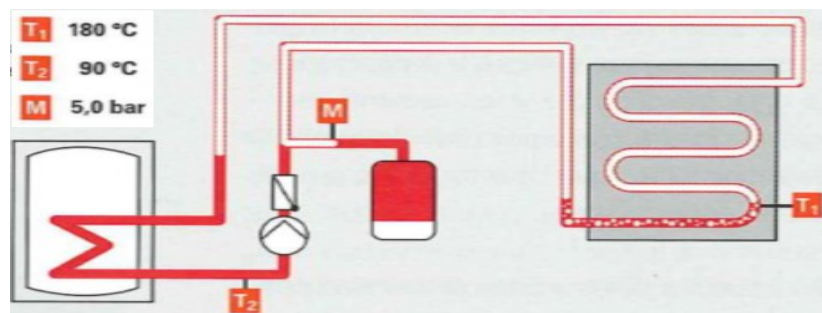


Figura 6.3 Esempio di gestione stagnazione [5]

Fase 4

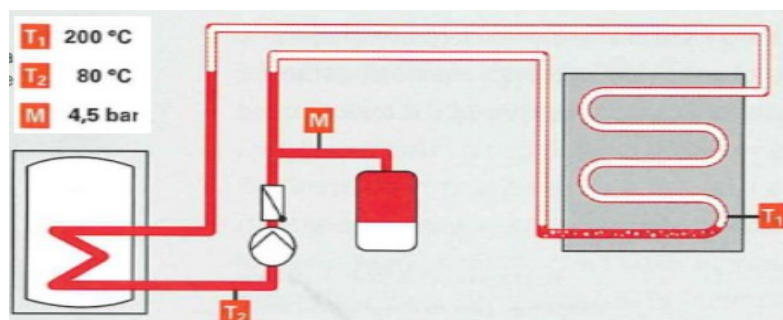


Figura 6.4 Esempio di gestione stagnazione [5]

Fino al protrarsi dell'irraggiamento il collettore ha la temperatura di stagnazione

Occorre ricordare che l'impianto solare non può essere spento e che il fluido termovettore (acqua e glicole, come antigelo), così come altri componenti dell'impianto, raggiungendo elevate temperature si possono degradare.

Quindi occorre prevedere un sistema di protezione che interviene per evitare che il liquido raggiunga la temperatura limite: si può collegare all'impianto un **dissipatore di calore** automatico, che entra in funzione solo quando è necessario, per dissipare nell'aria l'eccesso di potenza degli impianti solari, come può accadere in estate, raffreddando in questo modo i pannelli.

Ma questa non rappresenta una situazione energeticamente vantaggiosa ed è per questo motivo che si è deciso di dimensionare il sistema solare-termico, nei casi visti in precedenza, in modo che la frazione solare mensile sia inferiore a 1.

Il sistema di dissipazione del calore per impianti solari è costituito da uno *scambiatore di calore alettato* da utilizzarsi per il trasferimento all'aria esterna del calore in eccesso prodotto da un collettore solare, da una *valvola termostatica a due vie*, e dalle tubazioni di collegamento.

6.2 DISSIPATORE TERMICO

Il dissipatore termico è un dispositivo collegato in serie all'impianto solare termico che attraverso un sensore di temperatura si attiva automaticamente per garantire il corretto funzionamento dei pannelli. Una volta entrato in funzione il dispositivo termico scarica il calore in eccesso mantenendo la temperatura massima dei pannelli a temperatura impostata, una volta abbassata la temperatura il sistema si disattiva automaticamente.

Funzionamento del dissipatore:

Un sensore di temperatura regolabile, inserito nell'accumulatore, determina il punto di massima temperatura dell'accumulatore stesso. Esso attiva una **valvola deviatrice** che manda tutto il liquido termovettore surriscaldato al **dissipatore**, che può essere del tipo elettroventilato, come da esempio nella figura seguente, al fine di incrementare la portata d'aria nello scambiatore, oltre che questa soluzione offre il vantaggio della possibilità di ridurre la superficie di scambio termico.

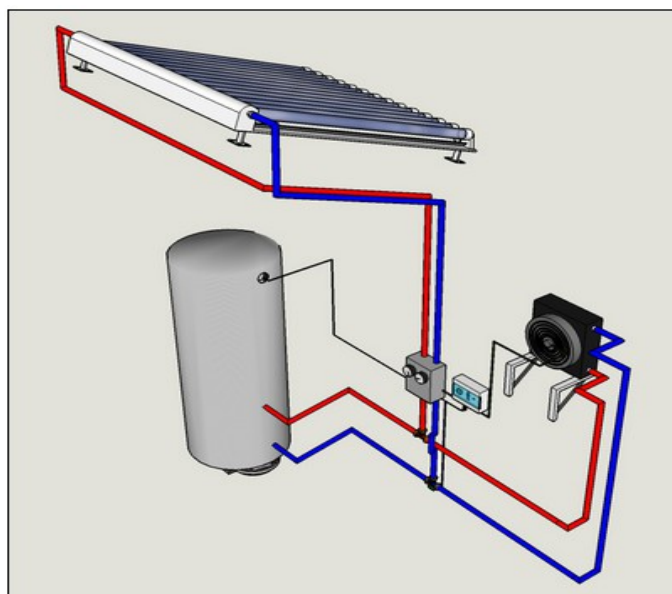


Figura 6.5 Esempio di installazione del dissipatore ventilato [5]

Il quadro di comando attiva la ventola del dissipatore solamente quando viene attivata la pompa di circolazione forzata. Il liquido termovettore viene raffreddato e ritorna ai pannelli. La sonda dei pannelli raffreddati blocca la pompa di circolazione forzata. Quando i pannelli si riscaldano nuovamente il ciclo riparte.

Se l'accumulo scende sotto la temperatura impostata, la **valvola deviatrice** farà circolare il liquido termovettore nuovamente verso l'accumulo.

6.3 VALVOLA DEVIATRICE TERMOSTATICA

Uno dei componenti principali del sistema di smaltimento del calore è la valvola termostatica. Nella figura 6.6 è stato ricavato uno schema di montaggio di questa valvola: si possono individuare le connessioni A e B, che sono sempre aperte indifferentemente dalla temperatura di lavoro (il fluido può scorrere nel verso bidirezionale), la connessione C si apre solo dopo che la temperatura, rilevata attraverso un sensore, ha superato un determinato valore, come per esempio i 90-95°C.

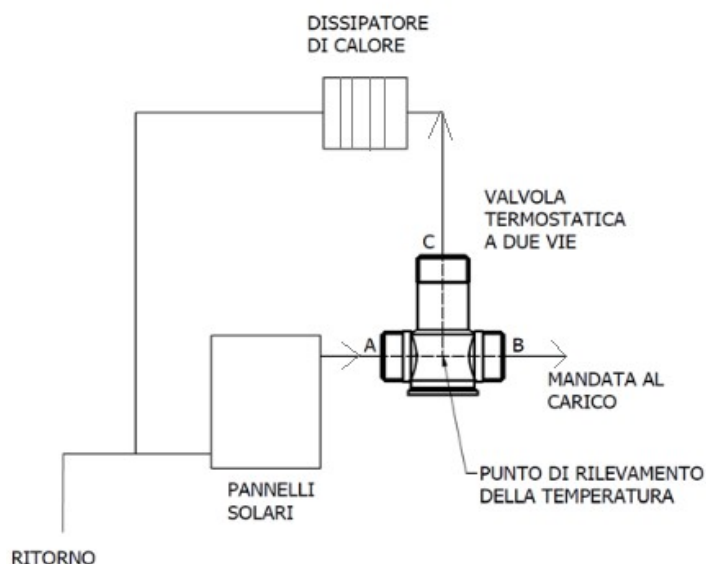


Figura 6.6 Schema di montaggio della valvola termostatica

- A volte può essere opportuno collegare il dissipatore di calore con il vaso di espansione, come mostrato nella seguente figura. Il dissipatore termico ha la funzione di **proteggere il vaso di espansione solare** da eventuale surriscaldamento, come nei casi in cui il vaso di espansione sia installato a breve distanza dal campo solare.

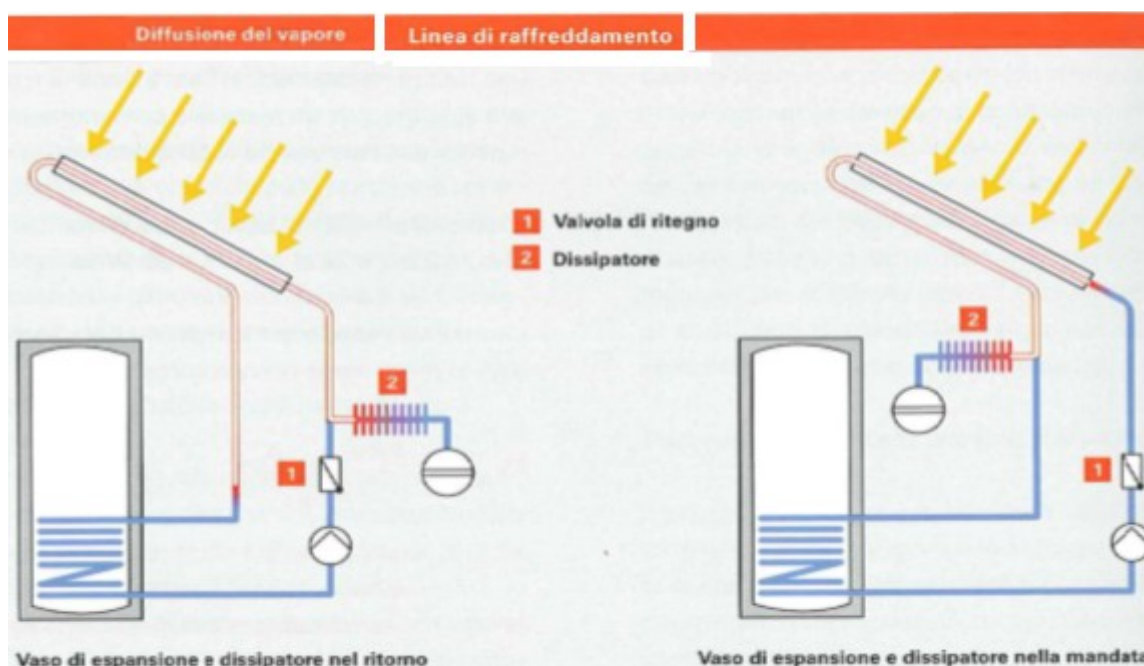


Figura 6.3 Diffusione di vapore e possibili configurazioni di installazione del dissipatore termico con vaso di espansione [5]

6.4 VASO DI ESPANSIONE

Il vaso di espansione è un contenitore metallico chiuso. Al centro del vaso una membrana espandibile separa i due mezzi flessibili: da un lato vi è l'azoto, che è sotto una pressione iniziale, e dall'altro lato vi è il liquido solare, che entra quando è surriscaldato e dopo un aumento della pressione.

Se il vaso di espansione è progettato per ulteriore assorbimento del contenuto collettore, il liquido solare può essere spostato nel recipiente in modo che la massima pressione di esercizio non viene raggiunta e la valvola di sicurezza non risponde (sistema di sicurezza intrinseca).

Vasi d'espansione sono disponibili nella dimensione standard di 10 l, 12 l, 18 l, 25 l, 35 l, 50 l

FUNZIONI:

- *Compensare le oscillazioni di volume del fluido termovettore del circuito solare, dovute all'espansione termica e all'eventuale evaporazione del liquido contenuto nei collettori.*
- Evitare che si verifichi fuoriuscita di fluido termovettore attraverso le valvole di sicurezza, agendo come accumulo, dal quale il liquido, una volta raffreddatosi, può ritornare nel circuito.

6.5 CENTRALINA SOLARE

La centralina solare è un regolatore elettronico utilizzato per la gestione dell'[impianto solare termico](#) e serve per garantirne il corretto funzionamento in modo sicuro e durevole nel tempo.

Negli [impianti solari termici a circolazione forzata](#) la centralina elettronica di controllo serve per gestire il funzionamento del sistema di trasferimento di energia dai [pannelli solari termici](#) al bollitore e al tempo stesso svolge una funzione di controllo e sicurezza.

La centralina permette di misurare l'energia prodotta dai pannelli solari e ceduta all'accumulo, di controllare la velocità della pompa, e la temperatura. Dispone inoltre di numerose funzioni come il limitatore della temperatura del bollitore o dei collettori solari.

CONTROLLER

Il controller di un impianto solare ha il compito di controllare la pompa di circolazione in modo da raccogliere l'energia solare in modo ottimale. Nella maggior parte dei casi questo comporta una regolazione nella semplice differenza di temperatura .

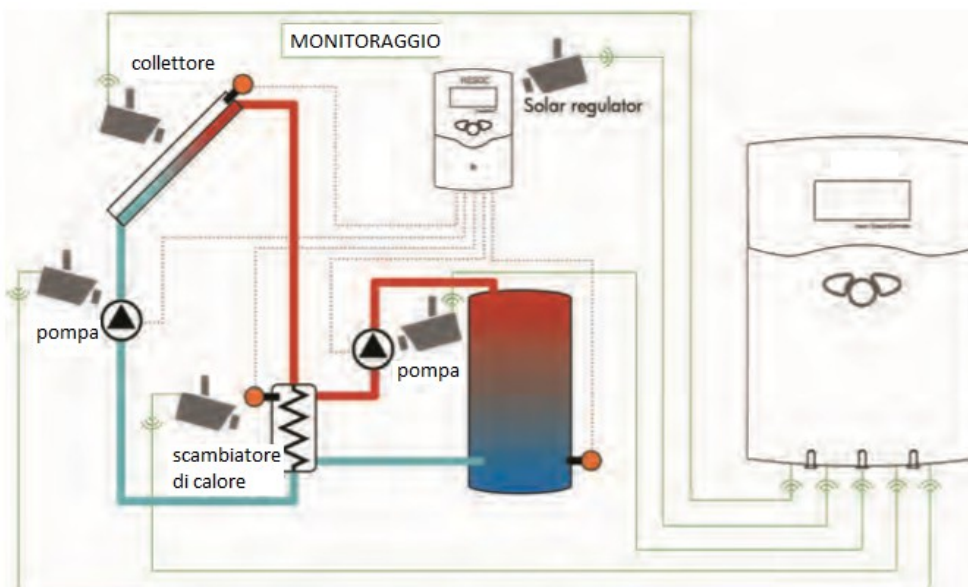


Figura 6.4 Rappresentazione posizionamento controller [5]

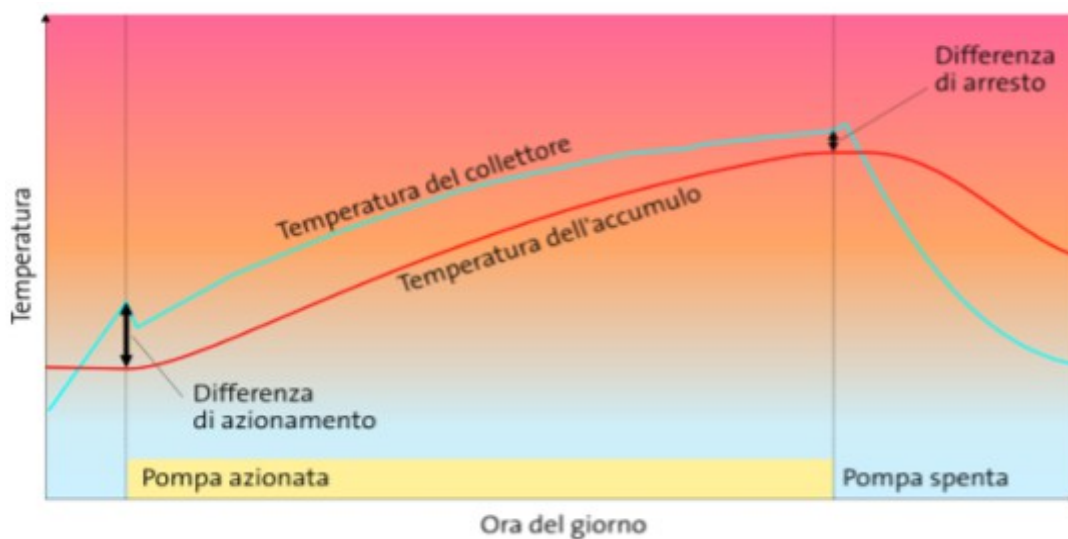


Figura 6.5 Funzionamento della pompa [5]

In pratica la pompa si aziona quando la differenza di temperatura tra la parte inferiore dell'accumulo e la parte più calda dei collettori supera un certo valore ($6 \div 10^{\circ} \text{C}$) e si spegne quando questa differenza di temperatura scende sotto un valore minimo ($3 \div 4^{\circ} \text{C}$).

7. RISULTATI

In questo capitolo si riportano e si analizzano i risultati ottenuti dalle simulazioni dell'impianto solare termico nelle città di Palermo, Milano e Barcellona. Quindi, utilizzando il metodo della carta-f, si prendono in considerazione diversi casi sul sistema solare termico: prima si effettua il dimensionamento dell'impianto installato sulle città di Palermo e Milano, infine Barcellona, quindi si procede con il considerare l'influenza di una variazione dell'angolo di inclinazione del collettore sulla producibilità dell'impianto stesso; successivamente si tratta il caso in cui l'impianto serva per la produzione di sola ACS. Infine viene fatta una valutazione economica in modo da potere esaminare, oltre che dal punto di vista energetico, quale soluzione sia più conveniente tra i casi valutati per ogni installazione.

All'inizio di ogni paragrafo, verranno presentate tabelle che riassumo le principali caratteristiche dell'impianto solare termico, le caratteristiche del collettore e serbatoio di accumulo, il fabbisogno dell'abitazione per il riscaldamento degli ambienti e l'acqua calda sanitaria ACS, i dati meteorologici della località di installazione che rappresentano i dati di ingresso del metodo di calcolo utilizzato.

7.1 Impianto PALERMO

7.1.1 SIMULAZIONE PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO + ACS

PALERMO – Lat. 38° - (Zona Climatica B)						
	<i>TEMPERATURA media mensile</i>	<i>RADIAZIONE SOLARE su piano</i>		ACS	RISCALDAMENTO	
	T_a [°C]	orizzontale	inclinato	Carico [kWh]	DD [°C]	Carico [kWh]
		H_h [MJ/m ²]	H_r [MJ/m ²]			
GENNAIO	11,1	7,85	12,92	262,66	134,76	2361,85
FEBBRAIO	11,6	10,7	15,3	237,25	108,31	1898,37
MARZO	13,1	16,96	20,92	262,42	85,55	1499,36
APRILE	15,5	20,66	21,96	253,95	0	0
MAGGIO	18,8	25,27	23,8	262,42	0	0
GIUGNO	22,7	28,58	25,2	253,95	0	0
LUGLIO	25,5	29,27	26,57	262,42	0	0
AGOSTO	25,4	25,67	26,03	262,42	0	0
SETTEMBRE	23,6	18,36	21,67	253,95	0	0
OTTOBRE	19,8	13,78	19,04	262,42	0	0
NOVEMBRE	16	9,47	15,37	253,95	0	0
DICEMBRE	12,8	7,02	12,17	262,42	92,37	1619,04
Totale	17,99	17,86	20,12	3090,21	421	7378,6

Tabella 7.1 Valori di temperatura [3] e radiazione solare [4] della località e carichi dell'abitazione

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β	38°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	A_{ref}	2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0	0,79
<i>Coeff. di perdita</i>	a1	4,04 W / (m ² K)
	a2	0,02 W / (m ² K)
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Area totale</i>	A_{ref}^{tot}	4,6 m²

Tabella 7.2 Caratteristiche collettore solare termico_PALERMO

SERBATOIO DI ACCUMULO		
<i>Area collettore</i>	A_c	2,3 m ²
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Capacità</i>	V	276 L

Tabella 7.3 Capacità serbatoio di accumulo

a) Simulazione per variazione della superficie collettori:

PALERMO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=38^\circ = Lat$								
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,0412	0,0813	0,1203	0,1582	0,1951	0,2309	0,425
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,0558	0,1096	0,1615	0,2116	0,2598	0,3063	0,549
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,1059	0,2052	0,2982	0,385	0,466	0,5412	0,885
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,6147	0,9724	1,1465	1,2106	1,238	1,3024	6,58
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6631	1	1,1944	1,2496	1,2891	1,4065	8,983
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,7003	1	1,2302	1,2821	1,3399	1,5147	11,24
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7345	1	1,2598	1,311	1,3946	1,6409	13,82
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,722	1	1,2509	1,3025	1,3753	1,5917	12,76
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,6151	0,9779	1,159	1,2292	1,2591	1,3192	6,272
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,543	0,8862	1,0776	1,1652	1,1968	1,2204	3,878
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,4371	0,7405	0,9355	1,0472	1,1009	1,1217	1,969
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,0534	0,1049	0,1545	0,2023	0,2484	0,2927	0,524
	F	0,173	0,283	0,337	0,381	0,422	0,461	0,66

Tabella 7.4 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori_PALERMO

Nc	A _c (m ²)	F
0	0	0
1	2,3	0,173
2	4,6	0,28
3	6,9	0,337
4	9,2	0,381
5	11,5	0,422
6	13,8	0,461
12	27,6	0,659

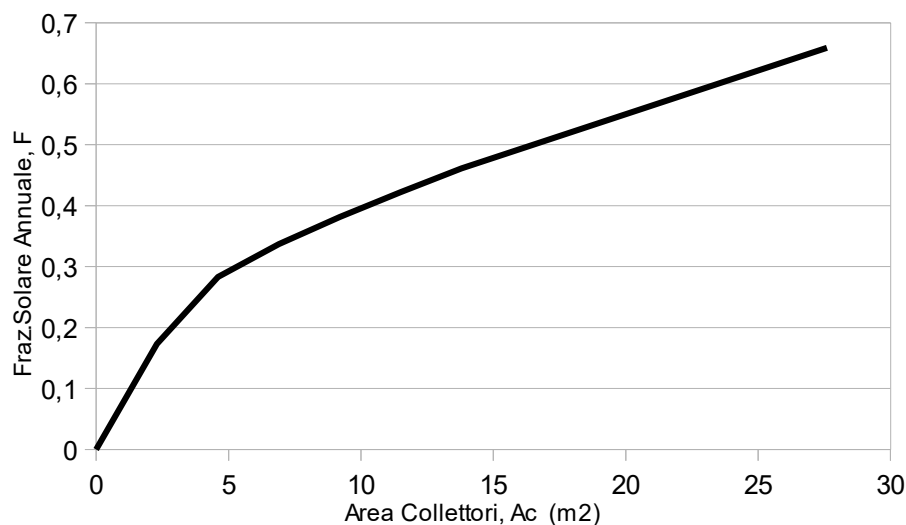


Figura 7.1. Frazione solare annua F in funzione dell'area dei collettori

Dalla figura 7.1 si può osservare come all'aumentare dell'area dei collettori solari aumenta di conseguenza anche il fattore di copertura da parte dell'impianto. Però bisogna considerare che aumentando l'area di captazione dell'energia solare, il valore della frazione solare mensile aumenta fino a superare il valore unitario nel periodo estivo, quello di maggiore irraggiamento, in cui così si ha una maggiore energia prodotta dal sistema rispetto a quella richiesta dall'abitazione per la produzione di ACS avendo di conseguenza problemi di stagnazione nell'impianto.

Per l'installazione a Palermo, si può installare una superficie totale dei collettori pari a **4,6 m²** in modo che la frazione solare mensile f non sia superiore a 1; così facendo però il sistema solare, come è possibile osservare dalla tabella 7.5, non è in grado di coprire molto il fabbisogno termico dell'abitazione ($F=28\%$): con 2 collettori si riesce a coprire il fabbisogno termico nei mesi da maggio ad agosto, periodo i cui è richiesta solo ACS.

Dalla tabella 7.4 però è possibile vedere come utilizzando superfici dei collettori maggiori può essere aumentato il fattore di copertura solare anche se questo comporta la necessità di dissipare calore nei mesi estivi e quindi nel periodo di maggiore irraggiamento. In particolare utilizzando 6 collettori si arriva a coprire quasi la metà del fabbisogno termico dell'abitazione: con un'area di **13,8 m²** si ottiene un fattore di copertura solare annuale pari a **$F=46\%$** , con valori della producibilità riportati nella tabella 7.6. Ma effettuando il dimensionamento del sistema con tale superficie in alcuni mesi si produce più energia di quanta richiesta, come mostrato in figura 7.4, dunque c'è la necessità di dissipare il calore in eccesso, mediante opportuno dissipatore termico, proprio nei mesi in cui il sistema deve provvedere alla sola ACS; dunque questa non rappresenta una soluzione vantaggiosa dal punto di vista energetico, soprattutto considerando che a Palermo il periodo di riscaldamento annuale non è molto lungo, come è possibile vedere nella tabella 7.1. Tuttavia è possibile osservare dalla figura 7.4 e 7.5 come in questo modo si riesce nel complesso a coprire abbastanza bene il fabbisogno di acqua calda sanitaria e riscaldamento dell'abitazione.

	CARICO TOTALE RICHiesto			Frazione Solare	ENERGIA (utile - dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	2624,52	0,28	0,1	0,08	213,33
FEBBRAIO	2135,61	0,3	0,13	0,11	234,1
MARZO	1761,78	0,4	0,24	0,21	361,51
APRILE	253,95	2,62	1,66	0,97	246,94
MAGGIO	262,42	2,52	1,8	1	262,42
GIUGNO	253,95	2,4	1,9	1	253,95
LUGLIO	262,42	2,31	2,01	1	262,42
AGOSTO	262,42	2,32	1,97	1	262,42
SETTEMBRE	253,95	2,37	1,64	0,98	248,33
OTTOBRE	262,42	2,49	1,44	0,87	232,56
NOVEMBRE	253,95	2,61	1,16	0,74	188,1
DICEMBRE	1881,45	0,38	0,13	0,1	197,33
Totale	10468,8			F= 28 %	2963

Tabella 7.5 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per $\beta = \text{Lat}_N = 2$ collettori_PALERMO

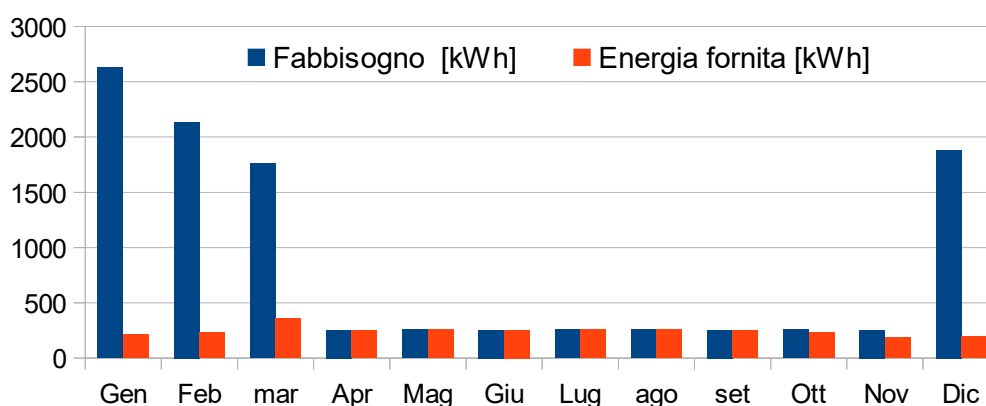


Figura 7.2 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare termico_N=2collettori

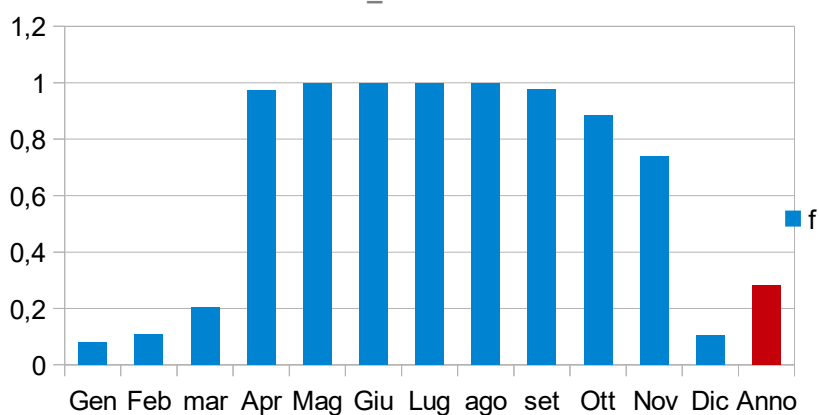


Figura 7.3 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_N=2collettori_PALERMO

	CARICO TOTALE RICHIESTO			Frazione Solare	ENERGIA (utile - dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	2624,52	0,83	0,3	0,23	605,94
FEBBRAIO	2135,61	0,91	0,39	0,31	654,1
MARZO	1761,78	1,21	0,71	0,54	953,95
APRILE	253,95	7,87	4,97	1,3	253,95
MAGGIO	262,42	7,56	5,39	1,41	262,42
GIUGNO	253,95	7,2	5,71	1,51	253,95
LUGLIO	262,42	6,94	6,02	1,64	262,42
AGOSTO	262,42	6,95	5,9	1,59	262,42
SETTEMBRE	253,95	7,12	4,91	1,32	253,95
OTTOBRE	262,42	7,47	4,31	1,22	262,42
NOVEMBRE	253,95	7,83	3,48	1,12	253,95
DICEMBRE	1881,45	1,13	0,39	0,29	550,64
Totale	10468,8			F= 46 %	4829,6

Tabella 7.6 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per $\beta = \text{Lat}_N = 6$ collettori_PALERMO

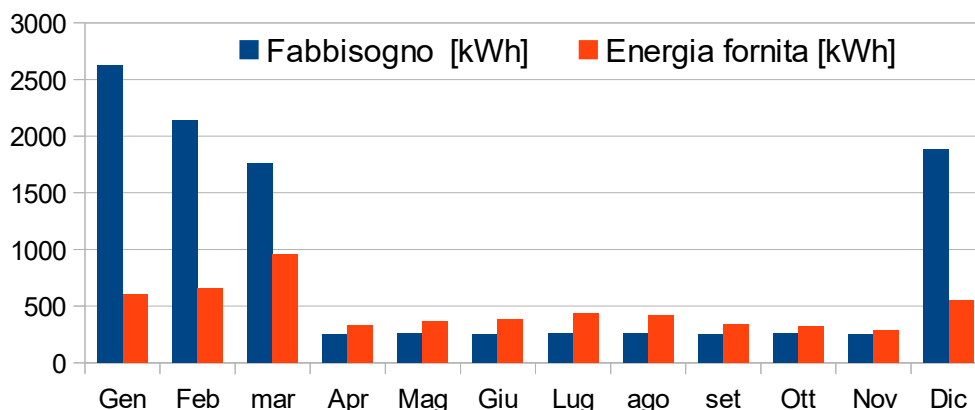


Figura 7.4 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solaretermico_N=6collettori

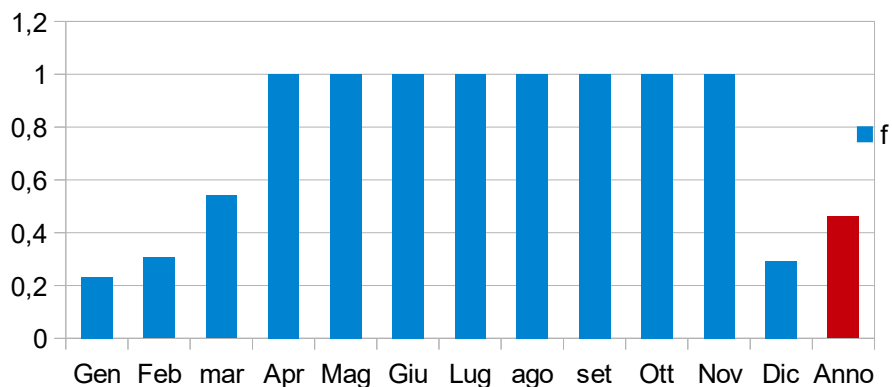


Figura 7.5 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_N=6collettori_PALERMO

b) Simulazione per variazione inclinazioni del collettore

Adesso si effettuano i calcoli utilizzando in questo caso diversi valori dell'angolo di inclinazione β del collettore solare termico, a partire da quelli pari a:

- 1) $\beta = Lat - 20^\circ$ 3) $\beta = 0^\circ$
 2) $\beta = Lat + 20^\circ$ 4) $\beta = 90^\circ$

Così è possibile confrontare i risultati ottenuti anche con quelli precedenti in modo da osservare il diverso funzionamento e come cambia la producibilità dell'impianto solare termico, quindi la frazione solare annua, per diversi valori dell'angolo d'inclinazione del collettore.

Così nella tabella 7.9 sono riportati i valori della radiazione solare incidente su collettore e del prodotto trasmissione-assorbimento per diversi angoli di inclinazione.

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO			
Inclinazione	$(Lat - 20^\circ)$	β_1	18°
	$(Lat + 20^\circ)$	β_2	58°
		β_3	0°
		β_4	90°
Azimut	γ		0°
Area	A_{ref}		2,3 m ²
Efficienza ottica	η_0		0,79
Coeff. di perdita	a_1		4,04 W / (m ² K)
	a_2		0,02 W / (m ² K)

Tabella 7.7 Caratteristiche del collettore solare termico

	TEMPERATURA media mensile	ACS	RISCALDAMENTO	
	T_a [°C]	Carico [kWh]	DD [°C]	Carico [kWh]
GENNAIO	11,1	262,66	134,7	2361,85
FEBBRAIO	11,6	237,25	108,3	1898,37
MARZO	13,1	262,42	85,55	1499,36
APRILE	15,5	253,95	0	0
MAGGIO	18,8	262,42	0	0
GIUGNO	22,7	253,95	0	0
LUGLIO	25,5	262,42	0	0
AGOSTO	25,4	262,42	0	0
SETTEMBRE	23,6	253,95	0	0
OTTOBRE	19,8	262,42	0	0
NOVEMBRE	16	253,95	0	0
DICEMBRE	12,8	262,42	92,37	1619,04
Totale	17,99	3090,21	421	7378,6

Tabella 7.8 Valori di temperatura [3] della località e carichi dell'abitazione

	RADIAZIONE SOLARE su collettore							
	$\beta_1 = 18^\circ$		$\beta_2 = 58^\circ$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,1}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,2}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,3}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,4}$ [MJ/m ²]
GENNAIO	0,9	10,69	0,97	13,82	0,72	7,85	0,96	12,27
FEBBRAIO	0,91	13,43	0,96	15,7	0,83	10,7	0,93	12,99
MARZO	0,92	19,66	0,93	20,2	0,86	16,96	0,86	14,9
APRILE	0,93	22,21	0,92	19,62	0,89	20,66	0,78	12,06
MAGGIO	0,93	25,6	0,9	19,76	0,9	25,27	0,74	9,94
GIUGNO	0,94	28,12	0,85	19,94	0,92	28,55	0,7	8,42
LUGLIO	0,94	29,27	0,86	21,31	0,92	29,27	0,72	9,28
AGOSTO	0,94	27,04	0,92	22,39	0,91	25,67	0,73	12,13
SETTEMBRE	0,93	20,8	0,93	20,34	0,89	18,36	0,84	14,08
OTTOBRE	0,92	16,99	0,95	19,18	0,85	13,8	0,9	15,37
NOVEMBRE	0,9	12,82	0,96	16,34	0,81	9,47	0,94	14,29
DICEMBRE	0,89	9,86	0,97	13,21	0,71	7,02	0,96	11,98
Media Annuale		19,76		18,5		17,86		12,31

Tabella 7.9 Valori di radiazione solare [4] per diversi angoli inclinazione collettore

RISULTATI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO SOLARE TERMICO - Palermo :

PALERMO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta = 0^\circ$								
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,014	0,0276	0,041	0,0545	0,068	0,0807	0,1554
febbraio	<i>f</i>	0,03	0,059	0,088	0,1155	0,143	0,1694	0,3168
marzo	<i>f</i>	0,074	0,1441	0,211	0,275	0,336	0,3932	0,6788
aprile	<i>f</i>	0,551	0,8936	1	1,1626	1,191	1,2172	4,1978
maggio	<i>f</i>	0,668	1	1,198	1,2526	1,294	1,4186	9,2809
giugno	<i>f</i>	0,755	1,1297	1,269	1,3191	1,427	1,7381	16,071
luglio	<i>f</i>	0,774	1,1502	1,286	1,3397	1,47	1,8337	17,796
agosto	<i>f</i>	0,685	1	1,223	1,279	1,328	1,4717	10
settembre	<i>f</i>	0,496	0,826	1	1,1286	1,172	1,1901	2,7521
ottobre	<i>f</i>	0,35	0,6125	0,8	0,9265	1	1	1,282
novembre	<i>f</i>	0,209	0,3822	0,524	0,637	0,726	0,7933	0,9604
dicembre	<i>f</i>	0,016	0,032	0,048	0,063	0,078	0,0931	0,1779
	F	0,14	0,215	0,25	0,281	0,31	0,33	0,446

Tabella 7.10 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _PALERMO

PALERMO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=18^\circ = (Lat - 20^\circ)$								
A_c (m²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,0299	0,0591	0,088	0,1157	0,143	0,1699	0,318
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,0449	0,0886	0,131	0,1719	0,212	0,2502	0,456
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,0948	0,1843	0,269	0,3478	0,422	0,4918	0,82
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,61	0,9668	1,142	1,2073	1,234	1,2946	6,368
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6955	1,0654	1,22	1,27	1,326	1,4974	11,15
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,7584	1,1325	1,271	1,3213	1,432	1,7527	16,37
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7872	1,1624	1,294	1,3502	1,5	1,9103	19,29
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,7396	1,1161	1,263	1,3142	1,403	1,6624	14,29
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,584	0,9401	1,128	1,2067	1,236	1,2753	5,049
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,4692	0,7874	0,985	1,0921	1,14	1,1579	2,356
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,3407	0,5969	0,781	0,9057	0,983	1,0258	1,25
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,0374	0,0738	0,109	0,1435	0,177	0,2093	0,385
	F	0,162	0,257	0,31	0,346	0,38	0,412	0,58

Tabella 7.11 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=18^\circ$ _PALERMO

PALERMO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=58^\circ = (Lat + 20^\circ)$								
A_c (m²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,04532	0,0893	0,13205	0,173497	0,2137	0,25267	0,46174
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,05764	0,1132	0,16681	0,218399	0,2681	0,3158	0,56449
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,09865	0,1915	0,27884	0,360743	0,4374	0,50906	0,84291
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,53851	0,8782	1	1,152384	1,1825	1,20503	3,85849
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,53166	0,871	1	1,15316	1,1861	1,20705	3,60573
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,51453	0,8504	1	1,145239	1,1837	1,20267	3,13211
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,55465	0,9043	1	1,187474	1,2205	1,24743	4,06669
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,61498	0,9789	1	1,233359	1,2638	1,32303	6,19962
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,56952	0,9221	1	1,195461	1,2258	1,2582	4,56357
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,54467	0,8884	1	1,16666	1,198	1,22209	3,9242
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,47164	0,7891	0,98392	1,087824	1,1324	1	1
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,05993	0,1176	0,1729	0,226025	0,277	0,32579	0,57659
	F	0,16	0,27	0,342	0,419	0,43	0,469	0,67

Tabella 7.12 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=58^\circ$ _PALERMO

PALERMO - RISCALDAMENTO + ACS								
($\beta = 90^\circ$)								
	A_c (m²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,039	0,076	0,113	0,149	0,1834	0,2172	0,401
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,044	0,087	0,128	0,169	0,2078	0,2457	0,449
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,063	0,124	0,183	0,238	0,2918	0,3428	0,602
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,27	0,484	0,65	0,773	0,8602	0,9191	1,051
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,202	0,371	0,51	0,623	0,7116	0,7804	0,953
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,154	0,287	0,401	0,499	0,5816	0,6505	0,874
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,184	0,34	0,472	0,58	0,6693	0,7404	0,932
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,26	0,471	0,636	0,762	0,8545	0,9193	1,041
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,358	0,626	0,817	0,945	1,0235	1,0654	1,312
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,417	0,713	0,91	1,028	1,0891	1,1151	1,731
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,401	0,688	0,881	0,999	1,0626	1,0905	1,613
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,052	0,103	0,152	0,199	0,2441	0,2877	0,516
	F	0,09	0,17	0,24	0,3	0,346	0,387	0,58

Tabella 7.13 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=90^\circ$ _PALERMO

Dalle tabelle precedenti si osserva che aumentando la superficie dei collettori a 6,9 m² e l'inclinazione di 20°, rispetto all'iniziale soluzione di installazione per $\beta=Lat$, il fattore di copertura annuale aumenta dal 28% al 34,2% senza generare più energia di quella richiesta: con questa soluzione si privilegia la producibilità nel periodo invernale, in particolare come mostrato in figura 7.8 nei mesi di Gennaio, Febbraio, Novembre e Dicembre, in cui il fabbisogno termico è maggiore. Inoltre in questo modo non c'è la necessità di dissipare il calore in eccesso energia come invece accade per $\beta=(Lat -20^\circ)$, o per $\beta=0^\circ$, in cui si favorisce la producibilità nel periodo estivo, di maggiore irraggiamento sul collettore, ma si ha un valore di fattore di copertura annuale inferiore a parità di area scelta, dovuta anche alla minore radiazione solare incidente sul piano del collettore, quindi non rappresentano soluzioni di installazione vantaggiose.

Per $\beta=90^\circ$ si ha un valore della frazione solare annua bassa a parità di area scelta, ma non si ha surplus d'energia aumentando la superficie dei collettori in quanto con questa soluzione si favorisce di molto la producibilità nel periodo invernale rispetto a quello estivo; allora si può pensare di aumentare la superficie totale ma il valore della frazione solare rimane inferiore a quella della soluzione iniziale $\beta=Lat$.

Nella tabella 7.12 si osserva che per $\beta=(Lat +20^\circ)$, con un'area di **13,8 m²**, usando 6 collettori come fatto nella precedente simulazione per $\beta=Lat$, si riesce ad aumentare il fattore di copertura solare annuo fino al valore **F=47%** circa, dato che si favorisce la producibilità dell'impianto nel periodo di maggiore carico termico, cioè nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre, come è possibile vedere nella tabella 7.14.a, considerando però che anche in questo caso si genera più energia di quanta richiesta dall'abitazione e quindi c'è la necessità di installare un dissipatore termico.

Così, pensando di volere dimensionare il sistema in modo che al massimo la frazione solare mensile sia $f=1$, i valori riportati nella tabella 7.14.b e nella figura 7.8 si riferiscono all'area di **6,9 m²**, in particolare nella figura 7.7 è rappresentato l'andamento del valore del fattore di copertura solare annuale del sistema al variare dell'angolo di inclinazione del collettore.

Nelle tabelle 7.14.a e 7.14.b vengono riportati i valori di produzione del sistema solare per angoli diversi da $\beta=Lat$, riferite rispettivamente alla superficie di collettori pari a 13,8 m² e 6,9 m², da tenere conto successivamente nella valutazione economica dell'impianto.

	CARICO TOTALE RICHiesto			Frazione Solare	ENERGIA (utile - dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	2624,52	0,83	0,32	0,25	663,13
FEBBRAIO	2135,61	0,91	0,4	0,32	674,43
MARZO	1761,78	1,21	0,67	0,51	896,85
APRILE	253,95	7,87	4,31	1,21	253,95
MAGGIO	262,42	7,56	4,23	1,21	262,42
GIUGNO	253,95	7,2	4,1	1,2	253,95
LUGLIO	262,42	6,94	4,37	1,25	262,42
AGOSTO	262,42	6,95	4,89	1,32	262,42
SETTEMBRE	253,95	7,12	4,51	1,26	253,95
OTTOBRE	262,42	7,47	4,33	1,22	262,42
NOVEMBRE	253,95	7,83	3,76	1,15	253,95
DICEMBRE	1881,45	1,13	0,43	0,33	612,96
Totale	10468,8			F= 47 %	4912,8

Tabella 7.14.a Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per $\beta=(\text{Lat}20^\circ)_N=6$ collettori_PALERMO

$A_c = 6,9 \text{ m}^2$	
β	F
0	0,256
18	0,31
38	0,337
58	0,342
90	0,24

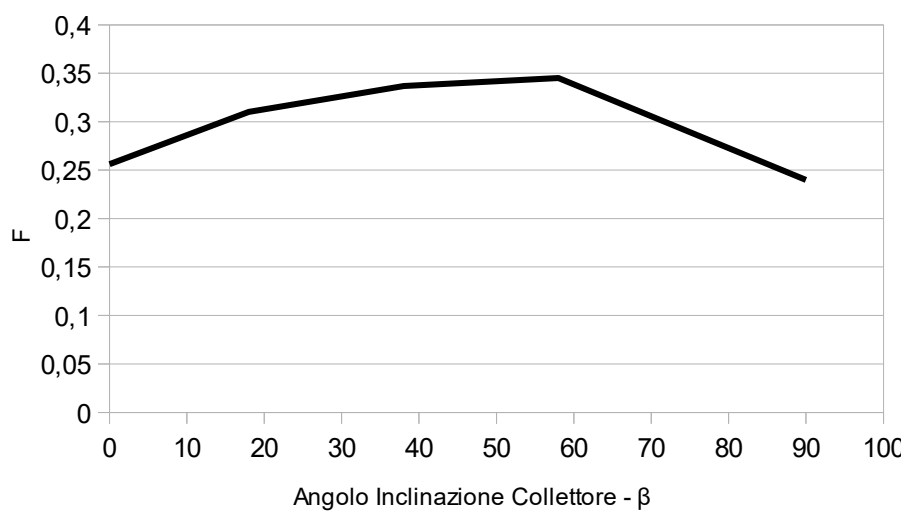


Figura 7.7 Frazione solare annua F in funzione dell'inclinazione β del collettore

PALERMO		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat = 38°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	2624,52	0,09	230,24	0,13	353,22	0,04	114,58	0,11	296,45
FEBBRAIO	2135,61	0,13	279,47	0,17	362,2	0,09	193,02	0,13	274,27
MARZO	1761,78	0,27	473,2	0,28	497,7	0,22	378,52	0,18	321,71
APRILE	253,95	1,14	253,95	1	253,95	1,1	253,95	0,65	164,97
MAGGIO	262,42	1,22	262,42	1	262,42	1,22	262,42	0,51	133,88
GIUGNO	253,95	1,27	253,95	1	253,95	1,28	253,95	0,4	101,94
LUGLIO	262,42	1,29	262,42	1	262,42	1,31	262,42	0,47	123,74
AGOSTO	262,42	1,26	262,42	1	262,42	1,24	262,42	0,64	166,83
SETTEMBRE	253,95	1,28	253,95	1	253,95	1,04	253,95	0,82	207,57
OTTOBRE	262,42	0,98	258,44	1	262,42	0,82	214,95	0,91	238,72
NOVEMBRE	253,95	0,78	198,35	0,98	248,87	0,54	137,93	0,88	223,77
DICEMBRE	1881,45	0,11	205,31	0,17	331,78	0,05	96,1	0,15	285,61
Totale	10468,8	F=31%	3194,1	F=34,2%	3605,3	F=25,6%	2684,2	F=24%	2539,4

Tabella 7.14.b Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diversi valori dell'angolo di inclinazione dei collettori_PALERMO

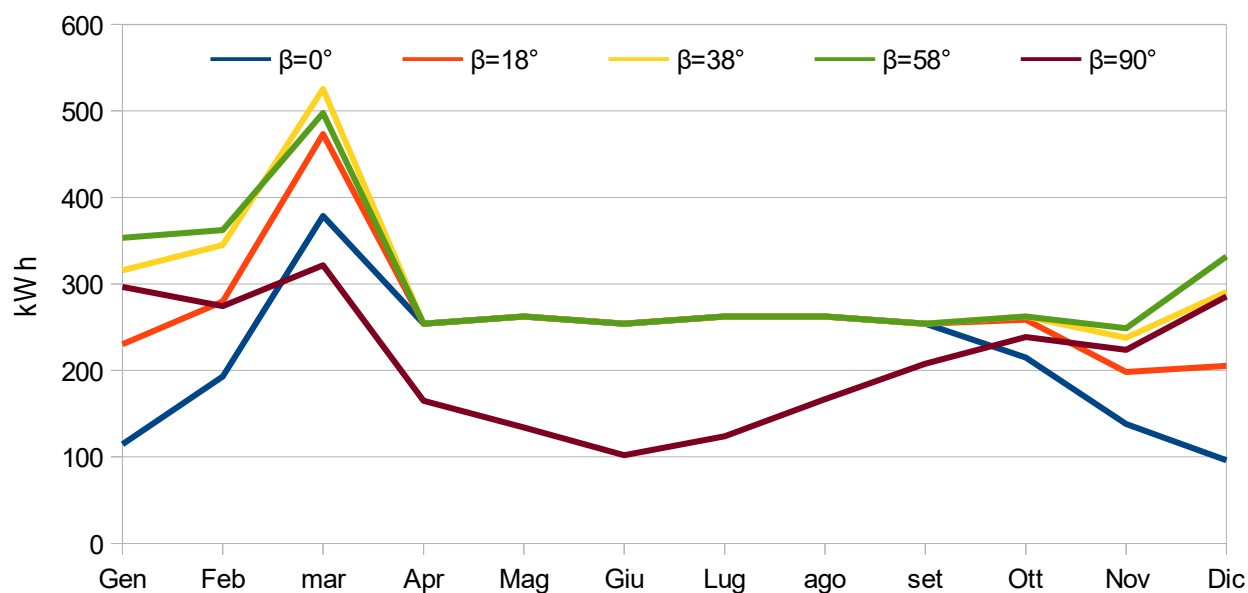


Fig.7.8. Andamento della producibilità dell'impianto nei mesi dell'anno, per diverse inclinazioni del collettore PALERMO

7.1.2 SIMULAZIONE IMPIANTO SOLARE PER PRODUZIONE DI SOLA ACS

Qui si analizza il caso in cui l'impianto solare termico provvede alla sola produzione di acqua calda sanitaria richiesta dall'abitazione. Nelle tabelle 7.15 e 7.16 vengono riportati i valori del fabbisogno di acqua calda sanitaria ACS giornaliero e della temperatura alla quale si desidera essere erogata l'acqua (di mandata); nelle tabelle 7.17, 7.18 e 7.19 invece sono riportate le caratteristiche degli ulteriori parametri da tenere in considerazione nel metodo di calcolo.

FABBISOGNO DI ACS	
N° persone	4
Fabbisogno di ACS per persona	65 L / (p giorno)
260 L / giorno	

Tabella 7.15 Parametri per la determinazione del fabbisogno di ACS

Temperatura acqua	mandata	t_m	40°C
	ritorno	t_r	12°C

Tabella 7.16 Valori temperatura acqua per ACS

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β_1	38°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	A_{ref}	2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0	0,79
<i>Coeff. di perdita</i>	a1	4,04 W / (m ² K)
	a2	0,02 W / (m ² K)
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Area totale</i>	A_{ref}^{tot}	4,6 m²

Tabella 7.17. Caratteristiche del collettore solare

SERBATOIO DI ACCUMULO		
Area collettore	A_c	2,3 m ²
Numero collettori	N	2
<i>Capacità</i>	V	276 L

Tabella 7.18 Capacità serbatoio di accumulo

	TEMPERATURA media mensile	RADIAZIONE SOLARE su piano		ACS
	T_a [°C]	orizzontale	inclinato	Carico [kWh]
		H_h [MJ/m ²]	H_T [MJ/m ²]	
GENNAIO	11,1	7,85	12,92	262,66
FEBBRAIO	11,6	10,7	15,3	237,25
MARZO	13,1	16,96	20,92	262,42
APRILE	15,5	20,66	21,96	253,95
MAGGIO	18,8	25,27	23,8	262,42
GIUGNO	22,7	28,58	25,2	253,95
LUGLIO	25,5	29,27	26,57	262,42
AGOSTO	25,4	25,67	26,03	262,42
SETTEMBRE	23,6	18,36	21,67	253,95
OTTOBRE	19,8	13,78	19,04	262,42
NOVEMBRE	16	9,47	15,37	253,95
DICEMBRE	12,8	7,02	12,17	262,42
Totale	17,99	17,86	20,12	3090,21

Tabella 7.19. Valori di temperatura [3] e radiazione solare [4] della località e carico per ACS

RISULTATI OTTENUTI DALL'IMPIANTO SOLARE TERMICO - Palermo - per:

a) VARIAZIONE DELLA FRAZIONE SOLARE AL VARIARE DELLA SUPERFICIE COLLETTORI

PALERMO – sola ACS					
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,3637	0,6309	0,8168	0,937
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,4352	0,7362	0,9285	1,0376
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,5915	0,9432	1,1206	1,1891
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,6147	0,9724	1,1465	1,2106
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6631	1	1,1944	1,2496
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,7003	1	1,2302	1,2821
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7345	1	1,2598	1,311
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,722	1	1,2509	1,3025
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,6151	0,9779	1,159	1,2292
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,543	0,8862	1,0776	1,1652
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,4371	0,7405	0,9355	1,0472
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,3423	0,5985	0,7816	0,9043
	F	0,564	0,874	0,955	0,987

Tabella 7.20 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=Lat_PALERMO$

Nc	Ac (m ²)	F
0	0	0
1	2,3	0,564
2	4,6	0,874
3	6,9	0,955
4	9,2	0,987

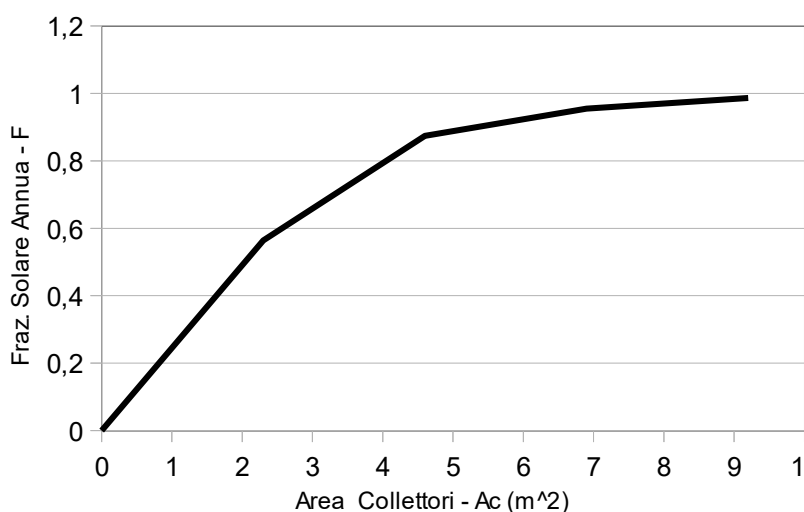


Figura 7.9. Fattore di copertura solare in funzione dell'area dei collettori

Per il dimensionamento dell'impianto solare-termico per la produzione di sola ACS, installato a Palermo, osservando anche i valori nella tabella 7.20, vengono scelti 2 collettori per una superficie totale pari a **4,6 m²**, in modo che la frazione solare mensile non superi il valore unitario e quindi non avere eccesso di energia generata rispetto a quella richiesta. Si è scelta questa superficie in quanto riesce a coprire abbastanza (F=87,4%) il fabbisogno termico per ACS dell'abitazione, come è possibile notare in figura 7.10, quindi non sarebbe molto vantaggioso usare una superficie maggiore dissipando calore.

Allora nella tabella 7.21 vengono riportati i parametri caratteristici del sistema solare scelto, la cui energia erogata mensilmente è rappresentata in figura 7.10.

	CARICO TOTALE RICHiesto		Frazione Solare		ENERGIA PRODOTTA (utile-dal solare)
	L [kWh]	X	Y	f	Q _u = f·L [kWh]
GENNAIO	262,66	2,76	0,99	0,63	165,7
FEBBRAIO	237,25	2,74	1,17	0,74	174,6
MARZO	262,42	2,7	1,6	0,94	247,5
APRILE	253,95	2,62	1,66	0,97	246,9
MAGGIO	262,42	2,52	1,8	1	262,4
GIUGNO	253,95	2,4	1,9	1	253,9
LUGLIO	262,42	2,31	2,01	1	262,4
AGOSTO	262,42	2,32	1,97	1	262,4
SETTEMBRE	253,95	2,37	1,64	0,98	248,3
OTTOBRE	262,42	2,49	1,44	0,88	232,5
NOVEMBRE	253,95	2,61	1,16	0,74	188,1
DICEMBRE	262,42	2,71	0,93	0,6	157,1
Totale	3090,21			F = 87,4 %	2702

Tabella 7.21 Valori parametri caratteristici del sistema solare per $\beta = \text{Lat}_{\text{PALERMO}}$

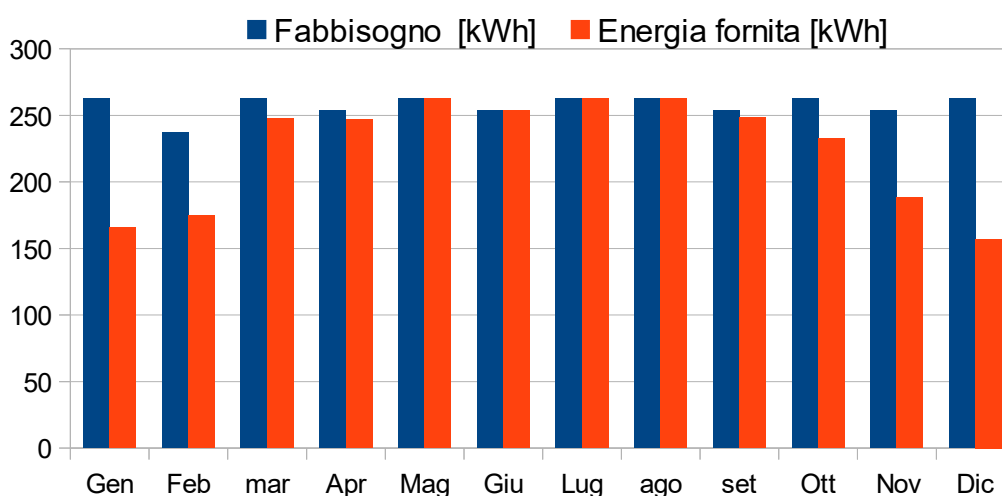


Figura 7.10 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare-termico

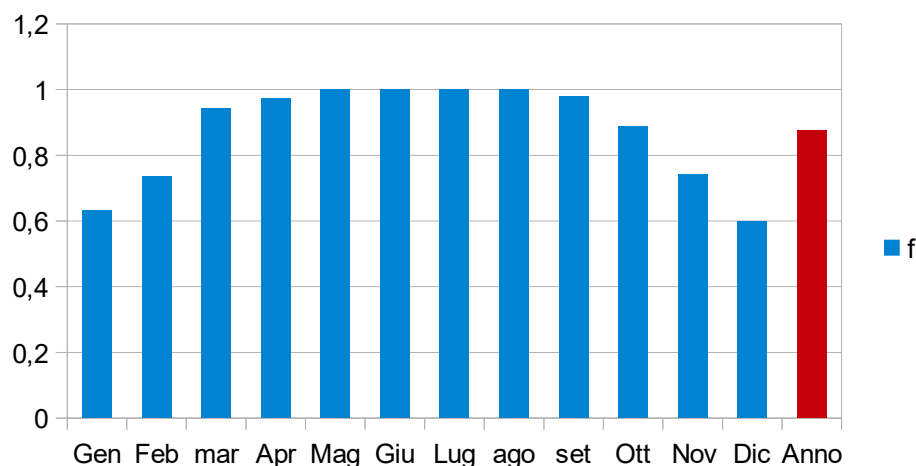


Figura 7.11 Andamento fattore di copertura solare Mensile e Annuale_solaACS_PALERMO

b) VARIAZIONE DELLA FRAZIONE SOLARE AL VARIARE DELL'INCLINAZIONE COLLETTORI

Adesso si prende in considerazione l'influenza che possono avere diversi valori dell'angolo di inclinazione del collettore solare sul sistema solare: viene valutato come varia la producibilità, quindi la frazione solare mensile ed annuale, al variare dell'inclinazione dei collettori. Allora nella tabella 7.22 sono riportati i valori di radiazione incidente sul piano del collettore e il prodotto di trasmissione-assorbimento per dato angolo di inclinazione.

In questo modo si possono eseguire le simulazioni del sistema solare al variare della superficie utilizzata e dell'angolo di inclinazione, i cui risultati sono riportati dalla tabella 7.23 alla 7.25.

	RADIAZIONE SOLARE su collettore							
	$\beta_1 = 18^\circ$		$\beta_2 = 58^\circ$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{\tau,1}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{\tau,2}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{\tau,3}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{\tau,4}$ [MJ/m ²]
<i>GENNAIO</i>	0,9	10,69	0,97	13,82	0,72	7,85	0,96	12,27
<i>FEBBRAIO</i>	0,91	13,43	0,96	15,7	0,83	10,7	0,93	12,99
<i>MARZO</i>	0,92	19,66	0,93	20,2	0,86	16,96	0,86	14,9
<i>APRILE</i>	0,93	22,21	0,92	19,62	0,89	20,66	0,78	12,06
<i>MAGGIO</i>	0,93	25,6	0,9	19,76	0,9	25,27	0,74	9,94
<i>GIUGNO</i>	0,94	28,12	0,85	19,94	0,92	28,55	0,7	8,42
<i>LUGLIO</i>	0,94	29,27	0,86	21,31	0,92	29,27	0,72	9,28
<i>AGOSTO</i>	0,94	27,04	0,92	22,39	0,91	25,67	0,73	12,13
<i>SETTEMBRE</i>	0,93	20,8	0,93	20,34	0,89	18,36	0,84	14,08
<i>OTTOBRE</i>	0,92	16,99	0,95	19,18	0,85	13,8	0,9	15,37
<i>NOVEMBRE</i>	0,9	12,82	0,96	16,34	0,81	9,47	0,94	14,29
<i>DICEMBRE</i>	0,89	9,86	0,97	13,21	0,71	7,02	0,96	11,98
Media Annuale		19,76		18,5		17,86		12,31

Tabella 7.22 Valori di radiazione solare [4] per diversi angoli inclinazione collettore – PALERMO

PALERMO – sola ACS							
$\beta=0^\circ$							
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,1309	0,2458	0,3461	0,43325	0,5087	0,57378
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,2458	0,4436	0,5992	0,71799	0,8056	0,86749
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,4326	0,733	0,9261	1	1	1,11043
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,5505	0,8936	1	1,16257	1,191	1,21716
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,668	1	1,1984	1,25264	1,2941	1,41859
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,7555	1,1297	1,2688	1,31914	1,4268	1,73813
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7742	1,1502	1,2859	1,33967	1,4696	1,83373
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,6849	1	1,223	1,27885	1,3277	1,47097
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,4961	0,826	1	1,12857	1,1718	1,19008
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,3501	0,6125	0,8003	0,92654	1	1
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,2087	0,3819	0,5233	0,63655	0,7252	0,79285
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,1101	0,2085	0,2963	0,37429	0,4436	0,50531
	F	0,452	0,697	0,81	0,841	0,873	0,895

Tabella 7.23 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _PALERMO

PALERMO - solo ACS						
$\beta = 18^\circ = (Lat - 20^\circ)$						
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5
gennaio	<i>f</i>	0,27085	0,4848	0,6489	0,7703	0,85599
febbraio	<i>f</i>	0,35859	0,6232	0,8086	0,9295	1
marzo	<i>f</i>	0,53876	0,8773	1,0641	1,1477	1,17662
aprile	<i>f</i>	0,61002	0,9668	1,1421	1,2073	1,23432
maggio	<i>f</i>	0,69553	1,0654	1,22	1,27	1,32559
giugno	<i>f</i>	0,75839	1,1325	1,2707	1,3213	1,43248
luglio	<i>f</i>	0,78721	1,1624	1,2939	1,3502	1,49951
agosto	<i>f</i>	0,73957	1,1161	1,2631	1,3142	1,40275
settembre	<i>f</i>	0,58397	0,9401	1,1279	1,2067	1,23604
ottobre	<i>f</i>	0,46922	0,7874	0,9849	1,0921	1,13967
novembre	<i>f</i>	0,34067	0,5969	0,7811	0,9057	0,98311
dicembre	<i>f</i>	0,24605	0,4443	0,6003	0,7195	0,80747
F		0,534	0,811	0,902	0,943	0,97

PALERMO - solo ACS					
$\beta = 58^\circ = (Lat + 20^\circ)$					
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2
gennaio	<i>f</i>	0,3964	0,67964	0,8695	0,985416
febbraio	<i>f</i>	0,4481	0,75441	0,9468	1,053227
marzo	<i>f</i>	0,5572	0,90077	1,0847	1,163004
aprile	<i>f</i>	0,5385	0,8782	1	1,152384
maggio	<i>f</i>	0,5317	0,87102	1	1,15316
giugno	<i>f</i>	0,5145	0,8504	1	1,145239
luglio	<i>f</i>	0,5546	0,90429	1	1,187474
agosto	<i>f</i>	0,615	0,97889	1	1,233359
settembre	<i>f</i>	0,5695	0,92209	1	1,195461
ottobre	<i>f</i>	0,5447	0,88839	1	1,16666
novembre	<i>f</i>	0,4716	0,78907	0,9839	1,087824
dicembre	<i>f</i>	0,3803	0,65625	0,8452	0,964422
F		0,511	0,84	0,97	0,9957

Tabella 7.24. Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=18^\circ$ e per $\beta=58^\circ$ _PALERMO

PALERMO - solo ACS							
$\beta=90^\circ$							
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
gennaio	<i>f</i>	0,3432	0,59944	0,7819	0,9038	0,9782	1
febbraio	<i>f</i>	0,3524	0,61372	0,7981	0,9195	0,9922	1,0301
marzo	<i>f</i>	0,3778	0,65261	0,8414	0,9611	1,0286	1,0607
aprile	<i>f</i>	0,2701	0,48434	0,6496	0,7726	0,8602	0,9191
maggio	<i>f</i>	0,2021	0,37111	0,5102	0,6226	0,7116	0,7804
giugno	<i>f</i>	0,1535	0,28677	0,4014	0,4991	0,5816	0,6505
luglio	<i>f</i>	0,1837	0,34009	0,4715	0,5805	0,6693	0,7404
agosto	<i>f</i>	0,2605	0,4705	0,6357	0,7618	0,8545	0,9193
settembre	<i>f</i>	0,3582	0,62617	0,8174	0,9453	1,0235	1,0654
ottobre	<i>f</i>	0,4173	0,71333	0,9097	1	1,0891	1,1151
novembre	<i>f</i>	0,4011	0,68823	0,8811	0,9994	1,0626	1,0905
dicembre	<i>f</i>	0,3366	0,58974	0,7717	0,8948	0,9713	1
F		0,304	0,536	0,705	0,821	0,884	0,917

Tabella 7.25 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=90^\circ$ _PALERMO

Ac = 4,6 m²	
β	F
0	0,7
18	0,81
38	0,874
58	0,84
90	0,54

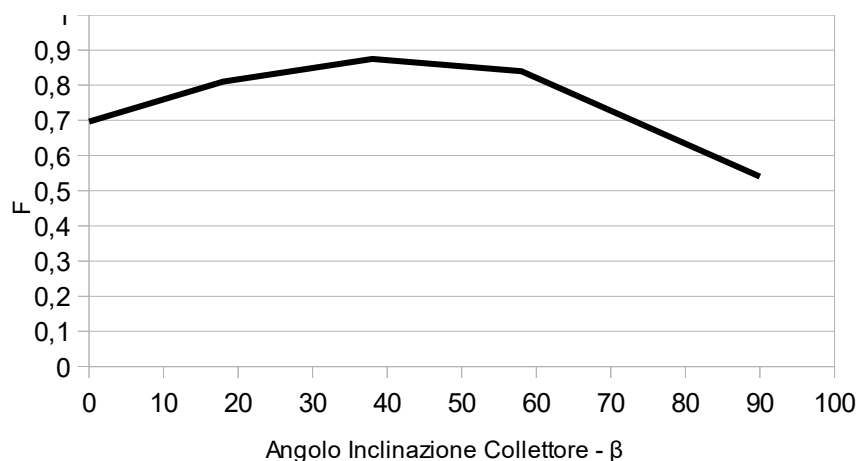


Figura 7.12 Andamento della frazione solare annua F in funzione dell'inclinazione del collettore

Dalle tabelle precedenti e dalla figura 7.12 si osserva come l'inclinazione del collettore che permette di ottenere il maggiore valore della frazione solare annua ($F= 87,4 \%$) è quella pari alla latitudine della località di installazione e dunque rappresenta la soluzione migliore nel caso in cui l'impianto serva solo alla produzione di ACS.

Per quanto riguarda le soluzioni di collettore disposto orizzontalmente e verticalmente per ottenere circa lo stesso valore della frazione solare è necessario aumentare la superficie dei collettori: bisogna usare circa il doppio dei collettori, ma aumentando ulteriormente la superficie si può arrivare ad avere un surplus di energia prodotta nel periodo estivo con $\beta = 0^\circ$ che quindi andrebbe dissipata. Inoltre, osservando anche la figura 7.13 si nota che la soluzione $\beta = 90^\circ$ non permette di avere una producibilità uniforme nei mesi dell'anno, oltre che a parità di area usata nelle altre soluzioni il valore della frazione solare annua è minore. Quindi queste due disposizioni del collettore appena viste non rappresentano le soluzioni di inclinazione migliori rispetto a quella analizzata inizialmente (per $\beta = \text{Lat}$), in quanto per ottenere dei valori elevati di fattore di copertura bisogna usare grandi superfici.

Da come è possibile osservare nella figura 7.13, nel caso in cui si vuole aumentare di 20° l'angolo di inclinazione del collettore rispetto alla latitudine del sito di installazione si favorisce la producibilità dell'impianto nel periodo invernale; al contrario, diminuendo di 20° l'inclinazione si favorisce la producibilità nel periodo estivo, ma quest'ultima rappresenta una soluzione sconsigliata in quanto così si avrà un surplus di energia termica prodotta dall'impianto, a parità di area scelta.

Essendo il fabbisogno di ACS circa costante durante l'anno non è molto conveniente favorire la producibilità dell'impianto nel periodo invernale o estivo utilizzando gli adeguati angoli. Tuttavia anche in questo caso vengono riportati, nella tabella 7.26, i valori della producibilità e della frazione solare mensile ed annuale dell'impianto al variare dell'angolo di inclinazione dei collettori, riferiti alla superficie totale dei collettori pari a $4,6 \text{ m}^2$.

PALERMO		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat.= 38°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)
	L [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	262,66	0,48	127,34	0,67	178,52	0,25	64,6	0,6	157,45
FEBBRAIO	237,25	0,62	147,85	0,75	178,98	0,44	105,25	0,61	145,6
MARZO	262,42	0,87	230,21	0,9	236,38	0,73	192,35	0,65	171,25
APRILE	253,95	0,97	245,53	0,88	223	0,89	226,94	0,48	123
MAGGIO	262,42	1,1	262,42	0,87	228,57	1	262,42	0,37	97,38
GIUGNO	253,95	1,13	253,95	0,85	215,96	1,13	253,95	0,29	72,82
LUGLIO	262,42	1,16	262,42	0,9	237,3	1,15	262,42	0,34	89,25
AGOSTO	262,42	1,12	262,42	0,98	256,88	1	262,42	0,47	123,47
SETTEMBRE	253,95	0,94	238,74	0,92	234,17	0,83	209,77	0,63	159
OTTOBRE	262,42	0,79	206,62	0,89	233,13	0,61	160,74	0,71	187,2
NOVEMBRE	253,95	0,6	151,58	0,79	200,38	0,38	96,98	0,69	174,78
DICEMBRE	262,42	0,44	116,59	0,65	172,2	0,2	54,73	0,59	154,76
Totale	3090,21	F=81%	2505,85	F=84%	2595,5	F=70 %	2152,5	F= 54%	1656

Tabella 7.26 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diversi valori dell'angolo di inclinazione dei collettori_PALERMO

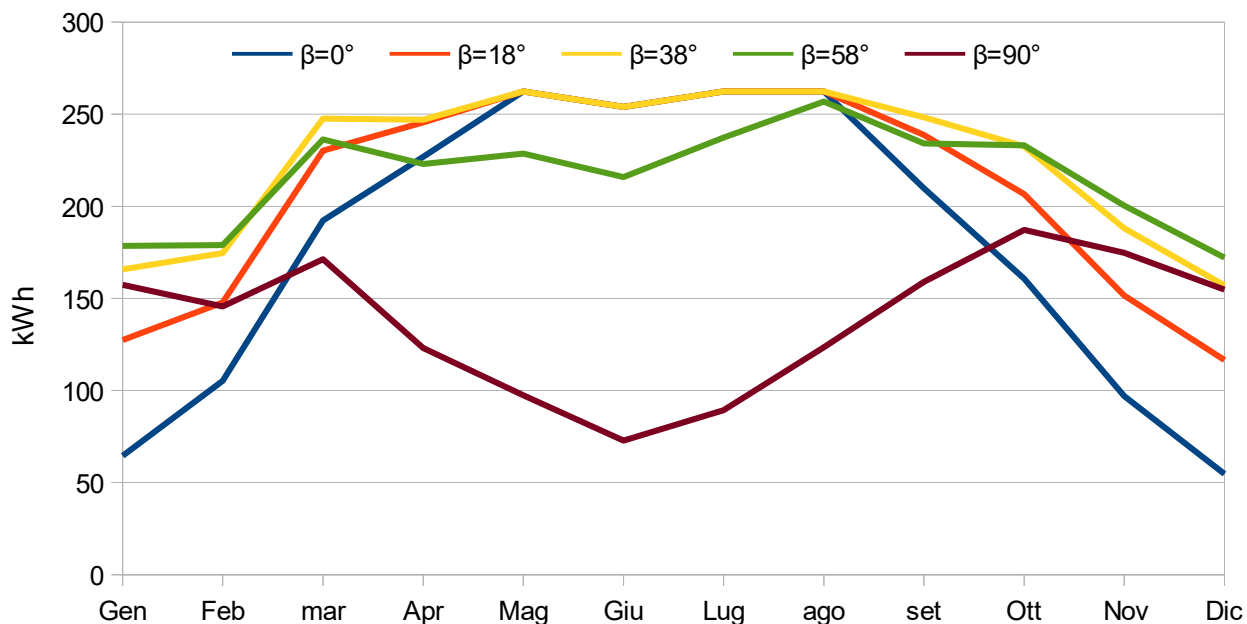


Figura 7.13 Producibilità dell'impianto, per produzione di sola ACS, per i vari mesi dell'anno, al variare dell'angolo di inclinazione del collettore_PALERMO

7.2 Impianto MILANO

7.2.1 SIMULAZIONE IMPIANTO PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO+ACS

MILANO – Lat.45° - (Zona Climatica E)						
	TEMPERATURA media mensile	RADIAZIONE SOLARE su piano		ACS	RISCALDAMENTO	
	T _a [°C]	orizzontale	inclinato	Carico [kWh]	DD [°C]	Carico [kWh]
		H _h [MJ/m ²]	H _T [MJ/m ²]			
GENNAIO	1,7	4,46	7,99	262,66	413,87	7253,65
FEBBRAIO	4,2	8,28	13,6	237,25	304,46	5336,12
MARZO	9,2	13,78	18,47	262,42	190,71	3342,51
APRILE	14	17,17	18,94	253,95	70,19	1230,2
MAGGIO	17,9	21,64	20,88	262,42	0	0
GIUGNO	22,5	24,23	21,96	253,95	0	0
LUGLIO	25,1	25,59	23,83	262,42	0	0
AGOSTO	24,1	21,1	22,21	262,42	0	0
SETTEMBRE	20,4	15,58	19,62	253,95	0	0
OTTOBRE	14	9,07	13,14	262,42	73,43	1286,87
NOVEMBRE	7,9	5,07	8,75	253,95	219,96	3855,18
DICEMBRE	3,1	3,88	7,66	262,42	371,09	6503,9
Totale	13,67	14,18	16,45	3090,21	1643,7	28808,5

Tabella 7.27. Valori di temperatura [3] e radiazione solare [4] della località e carichi dell'abitazione

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
Inclinazione	β	45°
Azimut	γ	0°
Area	A _{ref}	2,3 m ²
Efficienza ottica	η_0	0,79
Coeff. Di perdita	a1	4,04 W / (m ² K)
	a2	0,02 W / (m ² K)
Numero collettori	N	2
Area totale	A _{ref} ^{tot}	4,6 m ²

Tabella 7.28. Caratteristiche del collettore solare termico

SERBATOIO DI ACCUMULO		
Area collettore	A _c	2,3 m ²
Numero collettori	N	2
Capacità	V	276 L

Tabella 7.29 Capacità serbatoio di accumulo

a) Simulazione impianto per variazione di superficie collettore

MILANO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=45^\circ = Lat$								
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,0075	0,0149	0,0223	0,02959	0,03688	0,04412	0,0867
febbraio	<i>f</i>	0,0185	0,0368	0,0548	0,07264	0,09025	0,10764	0,2075
marzo	<i>f</i>	0,0455	0,0897	0,1327	0,17458	0,21523	0,25471	0,4682
aprile	<i>f</i>	0,1087	0,2104	0,3053	0,39355	0,47552	0,55141	0,8927
maggio	<i>f</i>	0,5895	0,9435	1,1253	1,19806	1,22491	1,26905	5,4346
giugno	<i>f</i>	0,6213	0,9846	1,1633	1,23094	1,26105	1,32709	6,5935
luglio	<i>f</i>	0,6699	1	1,2104	1,26874	1,31111	1,43141	9,0504
agosto	<i>f</i>	0,6291	0,9948	1,1731	1,23997	1,27156	1,34389	6,8924
settembre	<i>f</i>	0,5589	0,9069	1,0964	1,17985	1,20966	1,23824	4,3189
ottobre	<i>f</i>	0,0701	0,1371	0,2009	0,26163	0,31942	0,37432	0,6473
novembre	<i>f</i>	0,0154	0,0306	0,0456	0,06048	0,07516	0,08966	0,1731
dicembre	<i>f</i>	0,0079	0,0157	0,0234	0,03112	0,03877	0,04638	0,091
F		0,05	0,08	0,111	0,1254	0,145	0,164	0,26

Tabella 7.30 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori_MILANO

Nc	A_c (m ²)	F
0	0	0
1	2,3	0,047
2	4,6	0,08
3	6,9	0,111
4	9,2	0,125
5	11,5	0,145
6	13,8	0,164
12	27,6	0,265

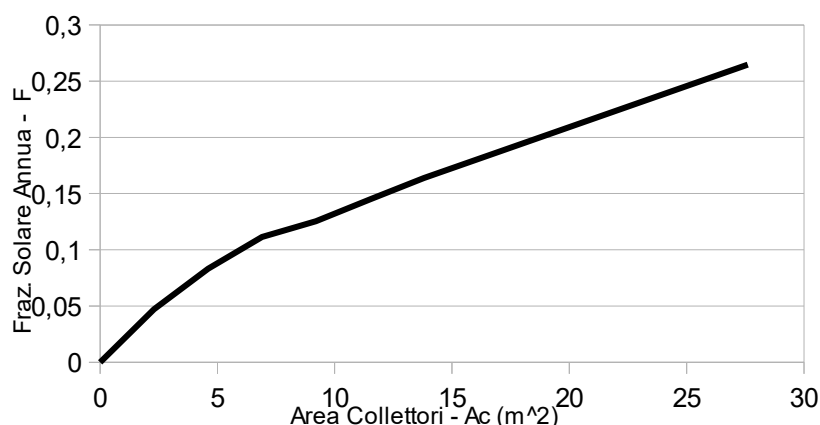


Figura 7.14 Andamento della frazione solare annua F in funzione dell'area dei collettori

Dalla tabella 7.30 si nota come i valori della frazione solare mensile non superiori ad 1 si ottengono utilizzando 2 collettori per una superficie totale pari a **4,6 m²**, anche se il fattore di copertura solare annuo è molto basso (**F=8%**). Si può pensare di usare superfici maggiori, anche il doppio dei collettori rispetto alle due installazioni considerate nelle altre due città, ottenendo tuttavia sempre dei valori bassi, dovuto alla non elevata intensità della radiazione solare incidente sul piano del collettore e al più lungo periodo di riscaldamento; ma così facendo nel periodo estivo si ha una produzione maggiore della richiesta, quindi necessitando di un sistema di dissipazione di calore non rappresenta una soluzione energeticamente vantaggiosa.

Dalla figura 7.14 si osserva come all'aumentare dell'area dei collettori solari aumenta anche il fattore di copertura da parte dell'impianto solare-termico. Però bisogna considerare che aumentando l'area di captazione dell'energia solare, nel periodo estivo, quello di maggiore irraggiamento, si ha sempre più un eccesso di energia prodotta dal sistema rispetto a quella richiesta dall'edificio per la produzione di ACS e il riscaldamento dell'abitazione.

Per inclinazione del collettore $\beta=Lat=45^\circ$, decidendo di installare 2 collettori per una superficie totale dei collettori pari a **4,6 m²**, si ottiene un valore della frazione solare annua molto basso,

dunque, come è possibile vedere nella tabella 7.31 e nella figura 7.15, l'energia erogata dal sistema solare non è in grado di coprire molto il fabbisogno termico dell'abitazione nei mesi invernali.

Se si usano invece 6 collettori, per una superficie totale di **13,8 m²**, è possibile raddoppiare il fattore di copertura solare dell'impianto (**F=16,4 %**) rispetto alla situazione precedente, anche se bisogna prevedere l'installazione di un dissipatore termico per smaltire il calore in eccesso in corrispondenza dei mesi estivi, in cui il fabbisogno dell'abitazione è solo quello relativo all'acqua calda sanitaria e, come è possibile vedere dalla tabella 7.32, il valore della frazione solare nei mesi maggio a settembre è maggiore di 1. Dalla figura 7.17 è possibile vedere come in questo modo si riesce a coprire maggiormente la richiesta di energia termica dell'abitazione, nel periodo di riscaldamento, rispetto al caso di installazione di due collettori. Considerando che a Milano il periodo di riscaldamento è lungo e quindi il relativo carico è elevato può essere utile adottare questa soluzione e quindi usare una maggiore superficie per coprire maggiormente il carico di riscaldamento dissipando energia.

	CARICO TOTALE RICHiesto			Frazione Solare	ENERGIA (utile - dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y		
GENNAIO	7516,32	0,11	0,02	0,01	111,9
FEBBRAIO	5573,37	0,13	0,04	0,04	204,89
MARZO	3604,93	0,2	0,1	0,09	323,44
APRILE	1484,15	0,46	0,25	0,21	312,26
MAGGIO	262,42	2,55	1,58	0,94	247,59
GIUGNO	253,95	2,41	1,66	0,98	250,03
LUGLIO	262,42	2,33	1,78	1	262,42
AGOSTO	262,42	2,36	1,68	0,99	261,05
SETTEMBRE	253,95	2,47	1,48	0,91	230,3
OTTOBRE	1549,29	0,45	0,17	0,14	212,34
NOVEMBRE	4109,14	0,18	0,04	0,03	125,72
DICEMBRE	6766,32	0,12	0,02	0,01	105,96
Totale	31898,67			F = 8%	2647,9

Tabella 7.31 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto_N=2 collettori_MILANO

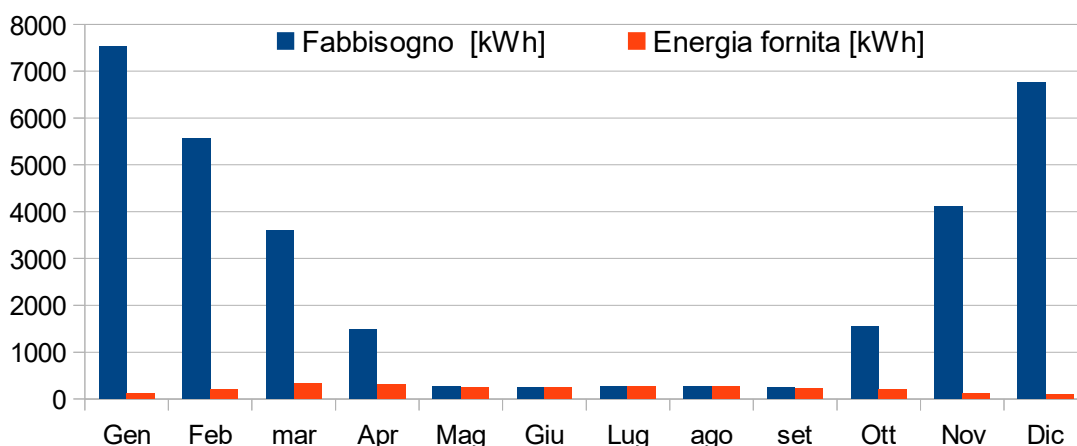


Figura 7.15 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare-termico_N=2collettori_MILANO

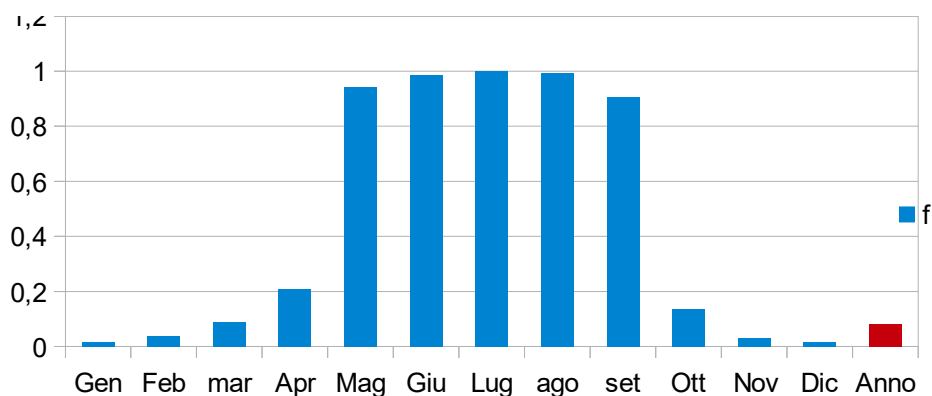


Figura 7.16 Andamento del fattore di copertura solare Mensile e Annuale_N=2collettori_MILANO

	CARICO TOTALE RICHiesto			Frazione Solare	ENERGIA (utile - dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	7516,32	0,32	0,06	0,04	331,65
FEBBRAIO	5573,37	0,38	0,13	0,11	599,91
MARZO	3604,93	0,62	0,31	0,26	918,22
APRILE	1484,15	1,37	0,74	0,55	818,38
MAGGIO	262,42	7,65	4,73	1,27	262,42
GIUGNO	253,95	7,22	4,97	1,33	253,95
LUGLIO	262,42	6,98	5,4	1,43	262,42
AGOSTO	262,42	7,1	5,03	1,34	262,42
SETTEMBRE	253,95	7,42	4,44	1,24	253,95
OTTOBRE	1549,29	1,36	0,5	0,37	579,94
NOVEMBRE	4109,14	0,53	0,12	0,1	368,42
DICEMBRE	6766,32	0,35	0,07	0,05	313,79
Totale	31898,67			F = 16,4%	5225,5

Tabella 7.32 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto_N=6 collettori_MILANO

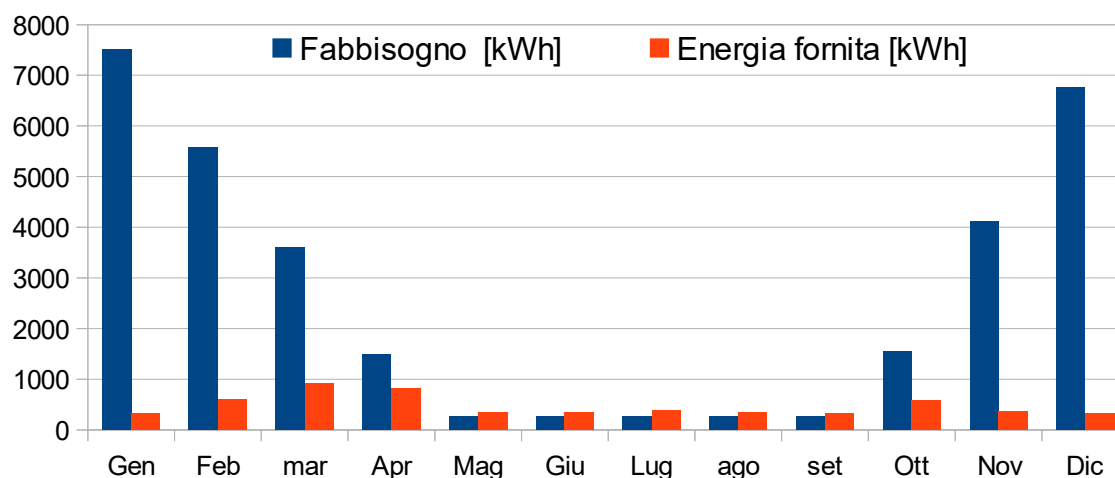


Figura 7.17 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare_N=6 collettori_MILANO

b) Simulazione impianto per variazione inclinazione collettore

Adesso si prende in considerazione l'influenza che possono avere i diversi valori dell'angolo di inclinazione del collettore solare, indicati nella tabella 7.33, sul sistema solare: viene valutato come varia la producibilità, quindi la frazione solare mensile ed annuale, al variare dell'inclinazione dei collettori. Allora nella tabella 7.35 sono riportati i valori di radiazione incidente sul piano del collettore e del prodotto di trasmissione-assorbimento per dato angolo di inclinazione. In questo modo si possono eseguire le simulazioni del sistema solare al variare della superficie utilizzata e dell'angolo di inclinazione, i cui risultati sono riportati dalla tabella 7.36 alla 7.39.

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO			
<i>Inclinazione</i>	$(Lat - 20^\circ)$	β_1	25°
	$(Lat + 20^\circ)$	β_2	65°
		β_3	0°
		β_4	90°
<i>Azimut</i>	γ		0°
<i>Area</i>	A_{ref}		2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0		0,79
<i>Coeff. di perdita</i>	a1		4,04 W / (m ² K)
	a2		0,02 W / (m ² K)

Tabella 7.33. Caratteristiche del collettore solare termico

	<i>TEMPERATURA media mensile</i>	<i>ACS</i>	<i>RISCALDAMENTO</i>	
	T_a [°C]	Carico [kWh]	DD [°C]	Carico [kWh]
GENNAIO	1,7	262,66	413,87	7253,65
FEBBRAIO	4,2	237,25	304,46	5336,12
MARZO	9,2	262,42	190,71	3342,51
APRILE	14	253,95	70,19	1230,2
MAGGIO	17,9	262,42	0	0
GIUGNO	22,5	253,95	0	0
LUGLIO	25,1	262,42	0	0
AGOSTO	24,1	262,42	0	0
SETTEMBRE	20,4	253,95	0	0
OTTOBRE	14	262,42	73,43	1286,87
NOVEMBRE	7,9	253,95	219,96	3855,18
DICEMBRE	3,1	262,42	371,09	6503,9
Totale	<i>13,67</i>	3090,21	1643,7	28808,5

Tabella 7.34 Valori di temperatura [3] della località e carichi dell'abitazione

	RADIAZIONE SOLARE su collettore							
	$\beta_1 = 25^\circ$		$\beta_2 = 65^\circ$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,1}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,2}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,3}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,4}$ [MJ/m ²]
GENNAIO	0,91	6,8	0,97	8,42	0,71	4,46	0,96	7,7
FEBBRAIO	0,92	11,92	0,95	13,93	0,83	8,28	0,93	12,27
MARZO	0,93	17,38	0,93	17,75	0,86	13,8	0,86	14,33
APRILE	0,94	19,22	0,91	16,85	0,89	17,17	0,78	11,99
MAGGIO	0,94	22,43	0,81	17,42	0,9	21,64	0,73	11,02
GIUGNO	0,94	24,26	0,84	17,71	0,91	24,22	0,65	10,4
LUGLIO	0,94	26,1	0,85	19,37	0,92	25,59	0,66	11,45
AGOSTO	0,94	23,04	0,89	19,18	0,9	21,1	0,73	12,85
SETTEMBRE	0,94	18,93	0,93	18,36	0,89	15,58	0,84	14,18
OTTOBRE	0,93	11,98	0,95	13,03	0,85	9,07	0,9	11,1
NOVEMBRE	0,92	7,52	0,97	9,1	0,81	5,08	0,94	8,24
DICEMBRE	0,91	6,33	0,98	8,2	0,71	3,88	0,96	7,67
Media Annuale		16,34		14,94		14,18		11,1

Tabella 7.35 Valori di radiazione solare [4] per diversi angoli inclinazione collettore

RISULTATI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO SOLARE TERMICO - Milano :

MILANO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=0^\circ$								
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,0011	0,0022	0,00326	0,00435	0,0054	0,0065	0,013
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,0077	0,0154	0,02306	0,03064	0,0382	0,0457	0,09
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,0283	0,056	0,08321	0,1099	0,1361	0,1617	0,305
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,0899	0,1749	0,25497	0,33035	0,4012	0,4676	0,782
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,5789	0,9306	1,11449	1,19021	1,2173	1,2554	5,049
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,652	1	1,19098	1,25116	1,2873	1,386	8,143
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,6896	1	1,22618	1,2811	1,3324	1,4841	10,33
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,5722	0,9257	1,11606	1,19868	1,229	1,2625	4,635
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,4187	0,7156	0,91244	1	1,092	1,118	1,74
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,0381	0,0752	0,11108	0,14592	0,1797	0,2124	0,388
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,0046	0,0092	0,01375	0,01829	0,0228	0,0273	0,054
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,0006	0,0012	0,00175	0,00234	0,0029	0,0035	0,007
	F	0,035	0,06	0,0769	0,085	0,096	0,105	0,16

Tabella 7.36 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _MILANO

MILANO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=25^\circ = (Lat - 20^\circ)$								
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,005	0,0107	0,016	0,02131	0,0266	0,0318	0,06271
febbraio	<i>f</i>	0,015	0,0297	0,0443	0,05875	0,0731	0,0872	0,16905
marzo	<i>f</i>	0,041	0,0813	0,1205	0,1586	0,1957	0,2319	0,42907
aprile	<i>f</i>	0,107	0,2081	0,302	0,38947	0,4707	0,5461	0,88591
maggio	<i>f</i>	0,622	0,9823	1,1568	1,22075	1,2497	1,3191	6,8088
giugno	<i>f</i>	0,673	1	1,2083	1,26428	1,3077	1,435	9,36684
luglio	<i>f</i>	0,72	1,096	1,249	1,3005	1,3718	1,5844	12,6202
agosto	<i>f</i>	0,645	1	1,1872	1,25029	1,2848	1,3736	7,67502
settembre	<i>f</i>	0,533	0,8741	1,0673	1,15806	1,1916	1,213	3,61553
ottobre	<i>f</i>	0,061	0,1198	0,176	0,22984	0,2813	0,3304	0,58005
novembre	<i>f</i>	0,012	0,0231	0,0345	0,04571	0,0569	0,0679	0,13193
dicembre	<i>f</i>	0,005	0,0108	0,0161	0,02142	0,0267	0,032	0,06299
	F	0,05	0,08	0,1	0,11	0,13	0,15	0,233

Tabella 7.37 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=25^\circ$ _MILANO

MILANO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=65^\circ = (Lat + 20^\circ)$								
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,00852	0,017	0,0254	0,0337	0,042	0,0503	0,0986
febbraio	<i>f</i>	0,01918	0,0381	0,0568	0,0753	0,0936	0,1116	0,2152
marzo	<i>f</i>	0,04241	0,0838	0,1241	0,1633	0,2015	0,2388	0,4417
aprile	<i>f</i>	0,09178	0,1785	0,2603	0,3373	0,4096	0,4775	0,7991
maggio	<i>f</i>	0,4323	0,7375	0,9385	1,0581	1,1194	1,1452	1,8372
giugno	<i>f</i>	0,45746	0,7752	0,9798	1,0976	1,155	1,1786	2,0901
luglio	<i>f</i>	0,50898	0,8477	1	1,1598	1,2059	1,227	2,8658
agosto	<i>f</i>	0,52635	0,8705	1	1,175	1,2166	1,2386	3,2357
settembre	<i>f</i>	0,52014	0,8606	1	1,1619	1,2026	1,2231	3,1584
ottobre	<i>f</i>	0,0706	0,138	0,2024	0,2637	0,3222	0,3777	0,6551
novembre	<i>f</i>	0,01694	0,0337	0,0502	0,0665	0,0827	0,0986	0,19
dicembre	<i>f</i>	0,00926	0,0185	0,0276	0,0367	0,0457	0,0546	0,107
	F	0,042	0,077	0,104	0,13	0,147	0,164	0,268

Tabella 7.38 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=65^\circ$ _MILANO

MILANO - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta=90^\circ$								
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,0071	0,0141	0,0211	0,028	0,0349	0,0418	0,082
febbraio	<i>f</i>	0,0157	0,0311	0,0465	0,0616	0,0766	0,0915	0,177
marzo	<i>f</i>	0,0296	0,0587	0,0872	0,1151	0,1424	0,1693	0,319
aprile	<i>f</i>	0,0495	0,0972	0,1433	0,1876	0,2303	0,2714	0,486
maggio	<i>f</i>	0,2238	0,4078	0,5563	0,6734	0,7633	0,8302	0,981
giugno	<i>f</i>	0,1837	0,3397	0,4705	0,5787	0,6667	0,737	0,928
luglio	<i>f</i>	0,2153	0,3945	0,5412	0,6587	0,7508	0,8209	0,977
agosto	<i>f</i>	0,2754	0,4949	0,6649	0,7922	0,8833	0,9448	1
settembre	<i>f</i>	0,358	0,6248	0,8144	0,9404	1	1	1,318
ottobre	<i>f</i>	0,0534	0,1049	0,1543	0,2019	0,2476	0,2915	0,518
novembre	<i>f</i>	0,0138	0,0274	0,0409	0,0542	0,0674	0,0804	0,156
dicembre	<i>f</i>	0,0079	0,0157	0,0235	0,0312	0,0389	0,0465	0,091
	F	0,026	0,05	0,072	0,092	0,111	0,128	0,21

Tabella 7.39 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=90^\circ$ _MILANO

Nel caso di impianto installato a Milano dalle tabelle precedenti, in particolare nella tabella 7.38, si osserva come per $\beta=(\text{Lat}+20^\circ)$ si può aumentare il valore del fattore di copertura solare nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre, ovvero nel periodo in cui il fabbisogno termico dell'abitazione è maggiore: scegliendo una superficie pari a 6,9 m², senza avere eccesso di energia termica prodotta dall'impianto solare rispetto a quella richiesta dall'abitazione, aumenta il valore del fattore di copertura solare annuale rispetto all'iniziale soluzione con $\beta=\text{Lat}$, raggiungendo un **F=10,4 %**, come mostrato in tabella 7.40.a.

Ma per $\beta=90^\circ$ aumentando la superficie dei collettori fino a 13,8 m² è possibile ottenere un **F=13%**, senza necessità di dissipare calore generato, come invece accade a parità di superficie per le altre soluzioni di inclinazione.

Allora una buona **soluzione**, dal punto di vista energetico, **per l'impianto solare-termico installato a Milano**, nel caso serva alla produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento, è **quella con 6 collettori, per una superficie totale di 13,8 m², con inclinazione $\beta=90^\circ$.**

Tuttavia con questa superficie del campo di collettori ed inclinazione $\beta=(\text{Lat}+20^\circ)$ si può aumentare il fattore di copertura fino ad arrivare a **F=16,4%**, favorendo la producibilità nel periodo invernale, anche se bisogna dissipare l'energia in eccesso nel periodo estivo, di maggiore irraggiamento.

Così i valori riportati nelle figure 7.18 e 7.19 e nella tabella 7.40 si riferiscono all'area di 13,8 m².

Inoltre dalla figura 7.19 si vede come per inclinazione dei collettori per $\beta=(\text{Lat}-20^\circ)$ e per $\beta=90^\circ$ la producibilità, quindi la frazione solare mensile ed annuale dell'impianto, è minore rispetto alle altre soluzioni di inclinazione, dovuto alla minore radiazione incidente sul piano del collettore, oltre che con tale disposizione dei collettori si favorisce la producibilità nel periodo in cui il carico termico è minore.

Nelle tabelle 7.40a e 7.40.b vengono riportati i valori di produzione del sistema solare per angoli diversi da $\beta=\text{Lat}$, riferite rispettivamente alla superficie di collettori pari a 6,9 m² e 13,8 m², da tenere conto successivamente nella valutazione economica dell'impianto.

	CARICO TOTALE RICHiesto			Frazione Solare	ENERGIA (utile - dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	7516,32	0,14	0,03	0,03	190,81
FEBBRAIO	5573,37	0,17	0,07	0,06	316,81
MARZO	3604,93	0,28	0,14	0,12	447,19
APRILE	1484,15	0,62	0,31	0,26	386,28
MAGGIO	262,42	3,46	1,69	0,94	246,26
GIUGNO	253,95	3,26	1,77	0,98	248,82
LUGLIO	262,42	3,15	1,97	1	262,42
AGOSTO	262,42	3,19	2,04	1	262,42
SETTEMBRE	253,95	3,35	2,03	1	253,95
OTTOBRE	1549,29	0,61	0,25	0,2	313,57
NOVEMBRE	4109,14	0,24	0,06	0,05	206,29
DICEMBRE	6766,32	0,16	0,04	0,03	186,74
Totale	31898,67			F = 10,4%	3321,6

Tabella 7.40.a Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per $\beta=(\text{Lat}20^\circ)_{-N=3}$ collettori_MILANO

Ac = 13,8 m²	
β	F
0	0,105
25	0,15
45	0,164
65	0,164
90	0,128

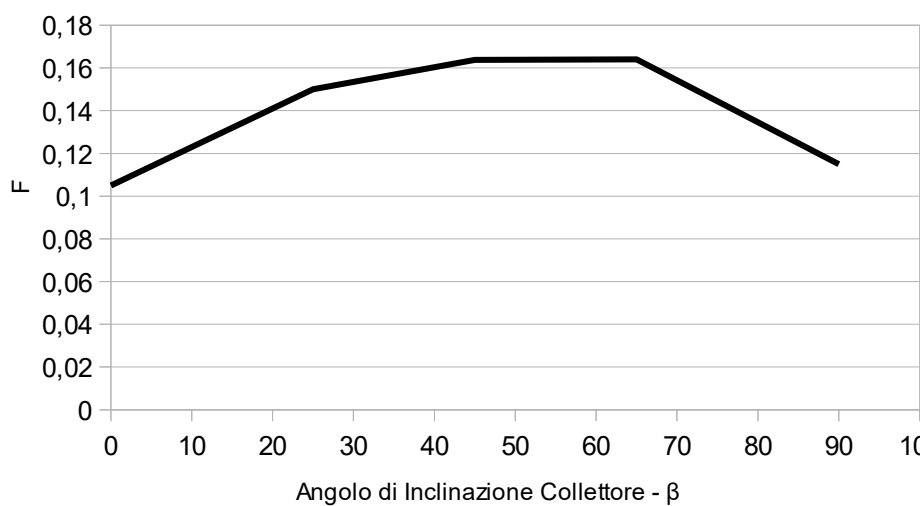


Figura 7.18 Frazione solare annua F in funzione dell'inclinazione del collettore

MILANO		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat.=45°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	7516,32	0,03	239,11	0,05	377,95	0,01	49,12	0,04	314,17
FEBBRAIO	5573,37	0,09	486,1	0,11	622,14	0,05	254,48	0,09	509,7
MARZO	3604,93	0,23	835,97	0,24	860,73	0,16	583,1	0,17	610,16
APRILE	1484,15	0,55	810,43	0,48	708,74	0,47	693,98	0,27	402,78
MAGGIO	262,42	1,32	262,42	1,15	262,42	1,26	262,42	0,83	217,85
GIUGNO	253,95	1,44	253,95	1,18	253,95	1,39	253,95	0,74	187,16
LUGLIO	262,42	1,58	262,42	1,23	262,42	1,48	262,42	0,82	215,41
AGOSTO	262,42	1,37	262,42	1,24	262,42	1,26	262,42	0,94	247,94
SETTEMBRE	253,95	1,21	253,95	1,22	253,95	1,12	253,95	1	253,95
OTTOBRE	1549,29	0,33	511,93	0,38	585,18	0,21	329,12	0,29	451,62
NOVEMBRE	4109,14	0,07	279,06	0,1	405,11	0,03	112,24	0,08	330,46
DICEMBRE	6766,32	0,03	216,34	0,05	369,56	0,01	23,91	0,05	314,83
Totale	31898,7	F=15%	4674,1	F=16,4%	5224,6	F=10%	3341,1	F=13 %	4056

Tabella 7.40.b Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diversi valori di inclinazione
_N=6 collettori_MILANO

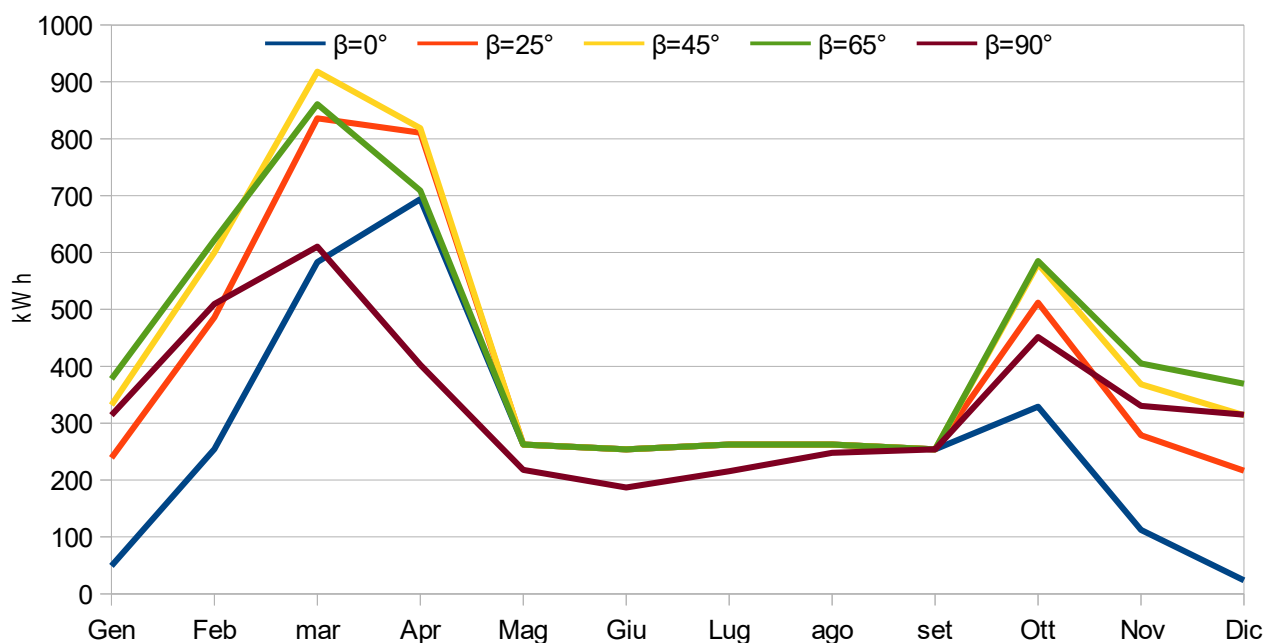


Figura 7.19 Andamento della producibilità dell'impianto nei vari mesi dell'anno al variare dell'angolo di inclinazione del collettore_MILANO

7.2.2 SIMULAZIONE IMPIANTO PER PRODUZIONE DI SOLA ACS

Qui si analizza il caso in cui l'impianto solare termico provvede alla sola produzione di acqua calda sanitaria richiesta dall'abitazione. Nelle tabelle 7.41, 7.42 e 7.43 sono riportati i parametri caratteristici del sistema solare e dei dati da prendere in considerazione nel metodo di calcolo.

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β	45°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	A_{ref}	2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0	0,79
<i>Coeff. Di perdita</i>	a1	4,04 W / (m ² K)
	a2	0,02 W / (m ² K)
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Area totale</i>	A_{ref}^{tot}	4,6 m²

Tabella 7.41 Caratteristiche del collettore solare termico

SERBATOIO DI ACCUMULO		
<i>Area collettore</i>	A_c	2,3 m ²
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Capacità</i>	V	276 L

Tabella 7.42 Valore capacità serbatoio di accumulo

	<i>TEMPERATURA media mensile</i>	<i>RADIAZIONE SOLARE su piano</i>		ACS
	T_a [°C]	orizzontale	inclinato	Carico [kWh]
		H_h [MJ/m ²]	H_T [MJ/m ²]	
GENNAIO	1,7	4,46	7,99	262,66
FEBBRAIO	4,2	8,28	13,6	237,25
MARZO	9,2	13,78	18,47	262,42
APRILE	14	17,17	18,94	253,95
MAGGIO	17,9	21,64	20,88	262,42
GIUGNO	22,5	24,23	21,96	253,95
LUGLIO	25,1	25,59	23,83	262,42
AGOSTO	24,1	21,1	22,21	262,42
SETTEMBRE	20,4	15,58	19,62	253,95
OTTOBRE	14	9,07	13,14	262,42
NOVEMBRE	7,9	5,07	8,75	253,95
DICEMBRE	3,1	3,88	7,66	262,42
		Totale		3090,21

Tabella 7.43 Valori di temperatura [3] e radiazione solare [4] della località MILANO e carico per ACS

RISULTATI OTTENUTI DALL'IMPIANTO SOLARE TERMICO - Milano :

a) VARIAZIONE DELLA FRAZIONE SOLARE AL VARIARE DELLA SUPERFICIE COLLETTORI

MILANO – sola ACS							
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
gennaio	<i>f</i>	0,1964	0,3593	0,4924	0,5994	0,6838	0,7495
febbraio	<i>f</i>	0,3781	0,6504	0,8349	0,9494	1	1,041
marzo	<i>f</i>	0,5228	0,8546	1	1,126	1,1556	1,1748
aprile	<i>f</i>	0,54	0,8793	1,0666	1,1506	1,1797	1,2028
maggio	<i>f</i>	0,5895	0,9435	1,1253	1,1981	1,2249	1,2691
giugno	<i>f</i>	0,6213	0,9846	1,1633	1,2309	1,261	1,3271
luglio	<i>f</i>	0,6699	1	1,2104	1,2687	1,3111	1,4314
agosto	<i>f</i>	0,6291	0,9948	1,1731	1,24	1,2716	1,3439
settembre	<i>f</i>	0,5589	0,9069	1,0964	1,1799	1,2097	1,2382
ottobre	<i>f</i>	0,3692	0,6399	0,8281	0,9493	1	1,0539
novembre	<i>f</i>	0,2276	0,4129	0,5605	0,6752	0,762	0,8255
dicembre	<i>f</i>	0,1868	0,3431	0,4721	0,577	0,661	0,7274
F		0,458	0,748	0,849	0,895	0,925	0,941

Tabella 7.44 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta = \text{Lat}_{\text{MILANO}}$

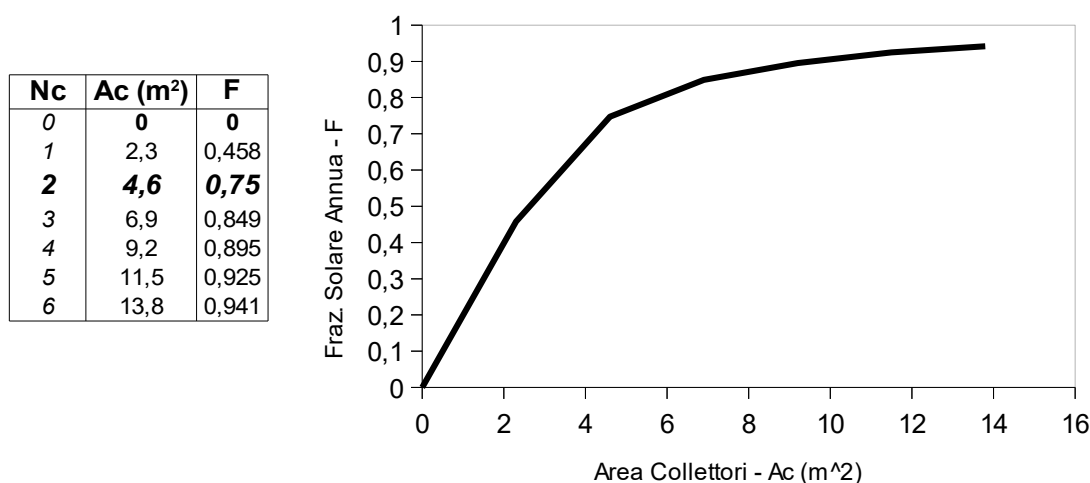


Figura 7.20 Fattore di copertura solare in funzione dell'area dei collettori

Così, per il dimensionamento dell'impianto solare-termico per la produzione di sola ACS, installato a Milano, osservando anche i valori della tabella 7.44, vengono scelti 2 collettori per una superficie totale pari a **4,6 m²**, in modo che la frazione solare mensile non superi il valore unitario e quindi non avere eccesso di energia generata rispetto a quella richiesta. Si è scelta questa superficie in quanto riesce a coprire abbastanza ($F=75\%$) il fabbisogno termico per ACS dell'abitazione, come è possibile notare in figura 7.21, quindi non sarebbe molto vantaggioso usare una superficie maggiore dissipando calore. Allora nella tabella 7.45 vengono riportati i parametri caratteristici del sistema solare scelto, la cui energia erogata mensilmente è rappresentata in figura 7.21, invece in figura 7.22 è rappresentato l'andamento della frazione solare mensile ed annuale.

	CARICO TOTALE RICHIESTO			Frazione Solare	ENERGIA PRODOTTA (utile dal solare)
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	262,66	3,05	0,61	0,36	94,37
FEBBRAIO	237,25	2,97	1,04	0,65	154,31
MARZO	262,42	2,82	1,41	0,85	224,3
APRILE	253,95	2,67	1,44	0,87	223,3
MAGGIO	262,42	2,55	1,58	0,94	247,6
GIUGNO	253,95	2,41	1,66	0,98	250
LUGLIO	262,42	2,33	1,8	1	262,42
AGOSTO	262,42	2,36	1,68	0,99	261,05
SETTEMBRE	253,95	2,47	1,48	0,9	230,3
OTTOBRE	262,42	2,67	0,99	0,64	167,9
NOVEMBRE	253,95	2,86	0,67	0,41	104,8
DICEMBRE	262,42	3,01	0,59	0,34	90,05
Totale	3090,21			F = 75 %	2310,47

Tabella 7.45 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per $\beta = \text{Lat}_{\text{sola ACS_MILANO}}$

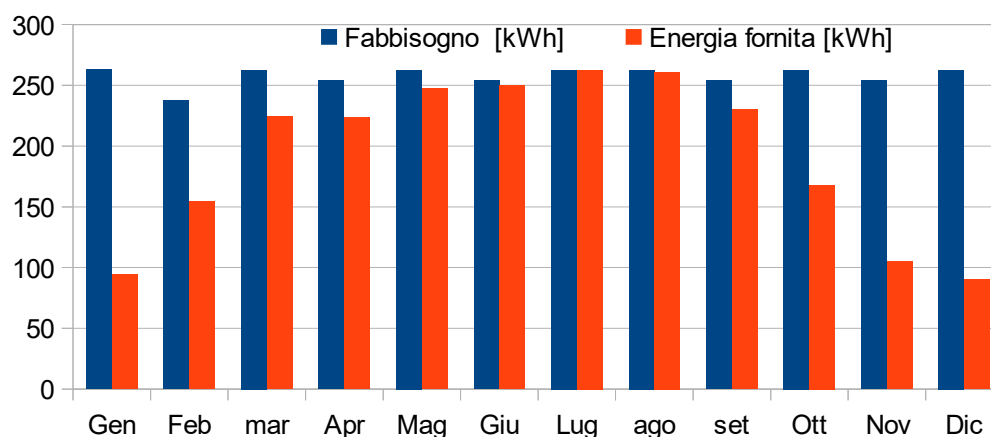


Figura 7.21 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare-termico

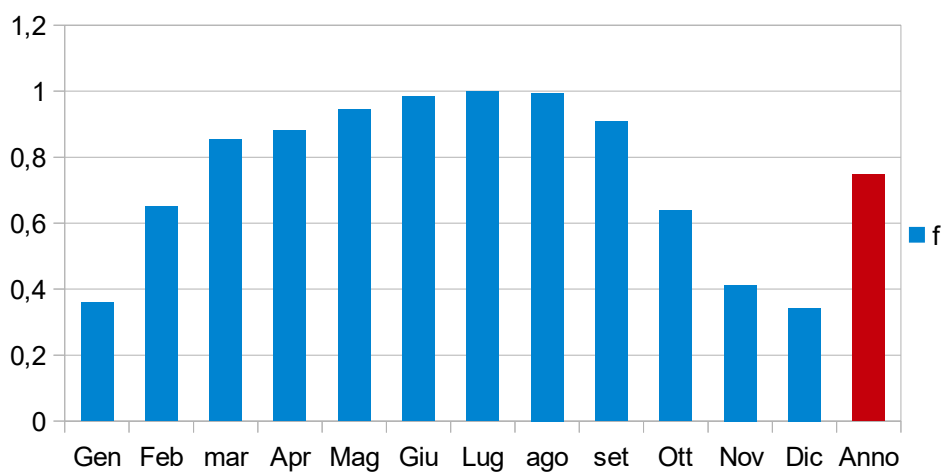


Figura 7.22 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_solaACS - MILANO

b) VARIAZIONE DELLA FRAZIONE SOLARE AL VARIARE DELL'ANGOLO INCLINAZIONE COLLETTORE

Adesso si prende in considerazione l'influenza che possono avere diversi valori dell'angolo di inclinazione del collettore solare sul sistema solare: viene valutato come varia la producibilità, quindi la frazione solare mensile ed annuale, al variare dell'inclinazione dei collettori. Allora nella tabella 7.46 sono riportati i valori di radiazione incidente sul piano del collettore e il prodotto di trasmissione-assorbimento per dato angolo di inclinazione. In questo modo si possono eseguire le simulazioni del sistema solare al variare della superficie utilizzata e dell'angolo di inclinazione, i cui risultati sono riportati dalla tabella 7.47 alla 7.50.

	RADIAZIONE SOLARE su collettore							
	$\beta_1 = 25^\circ$		$\beta_2 = 65^\circ$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,1}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,2}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,3}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,4}$ [MJ/m ²]
GENNAIO	0,91	6,8	0,97	8,42	0,71	4,46	0,96	7,7
FEBBRAIO	0,92	11,92	0,95	13,93	0,83	8,28	0,93	12,27
MARZO	0,93	17,38	0,93	17,75	0,86	13,8	0,86	14,33
APRILE	0,94	19,22	0,91	16,85	0,89	17,17	0,78	11,99
MAGGIO	0,94	22,43	0,81	17,42	0,9	21,64	0,73	11,02
GIUGNO	0,94	24,26	0,84	17,71	0,91	24,22	0,65	10,4
LUGLIO	0,94	26,1	0,85	19,37	0,92	25,59	0,66	11,45
AGOSTO	0,94	23,04	0,89	19,18	0,9	21,1	0,73	12,85
SETTEMBRE	0,94	18,93	0,93	18,36	0,89	15,58	0,84	14,18
OTTOBRE	0,93	11,98	0,95	13,03	0,85	9,07	0,9	11,1
NOVEMBRE	0,92	7,52	0,97	9,1	0,81	5,08	0,94	8,24
DICEMBRE	0,91	6,33	0,98	8,2	0,71	3,88	0,96	7,67
MediaAnnuale		16,34		14,94		14,18		11,1

Tabella 7.46 Valori di radiazione solare [4] per diversi angoli inclinazione collettore _ MILANO

MILANO – solo ACS							
$\beta = 0^\circ$							
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,0314	0,0636	0,0969	0,1314	0,1675	0,2055
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,1687	0,312	0,4323	0,5323	0,6145	0,6815
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,3437	0,5996	0,7813	0,9021	0,9754	1
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,4575	0,7686	0,9625	1	1,1153	1,1329
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,5789	0,9306	1,1145	1,1902	1,2173	1,2554
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,6525	1	1,1914	1,2515	1,2877	1,387
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,69	1	1,2265	1,2814	1,3329	1,4853
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,5725	0,9261	1,1164	1,1989	1,2292	1,2629
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,4187	0,7156	0,9124	1	1,092	1,118
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,2093	0,3828	0,5241	0,6369	0,725	0,7921
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,072	0,1389	0,2012	0,2596	0,3146	0,3667
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,0161	0,0346	0,0557	0,0797	0,1065	0,1365
	F	0,352	0,574	0,665	0,712	0,742	0,765

Tabella 7.47 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _ MILANO

MILANO – sola ACS							
$\beta = 25^\circ = (Lat - 20^\circ)$							
A_c (m²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,1436	0,2679	0,3748	0,4661	0,5439	0,60994
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,3114	0,5482	0,7212	0,841	0,9183	0,96389
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,4801	0,7977	0,9876	1,0845	1,1233	1,13848
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,5347	0,8725	1,0606	1,146	1,176	1,19762
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6218	0,9823	1,1568	1,2208	1,2497	1,31905
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,6727	1	1,2083	1,2643	1,3077	1,435
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7201	1,1	1,249	1,3005	1,3718	1,58438
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,6448	1	1,1872	1,2503	1,2848	1,37356
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,5334	0,8741	1,0673	1,1581	1,1916	1,21296
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,3258	0,5732	0,7533	0,8775	0,9567	1
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,1743	0,3219	0,4456	0,5478	0,6313	0,69873
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,1308	0,2452	0,345	0,4315	0,5065	0,5715
	F	0,442	0,708	0,802	0,847	0,879	0,903

Tabella 7.48 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=25^\circ$ _MILANO

MILANO – sola ACS							
$\beta = 65^\circ = (Lat + 20^\circ)$							
A_c (m²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,223	0,405	0,552	0,667	0,754	0,819
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,392	0,674	0,865	0,983	1	1,076
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,494	0,821	1	1,116	1,156	1,173
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,467	0,786	0,985	1,095	1,144	1,163
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,432	0,737	0,938	1,058	1,119	1,145
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,457	0,775	0,98	1,098	1,155	1,179
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,509	0,848	1	1,16	1,206	1,227
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,526	0,871	1	1,175	1,217	1,239
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,52	0,861	1	1,162	1,203	1,223
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,372	0,648	0,84	0,966	1,041	1,078
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,25	0,451	0,61	0,731	0,82	0,883
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,219	0,399	0,544	0,658	0,746	0,812
	F	0,41	0,69	0,86	0,92	0,95	0,96

7.49 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=65^\circ$ _MILANO

MILANO – solo ACS							
$\beta = 90^\circ$							
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
gennaio	<i>f</i>	0,1865	0,342	0,471	0,5756	0,6594	0,726
febbraio	<i>f</i>	0,3254	0,57	0,7462	0,8656	0,9403	0,982
marzo	<i>f</i>	0,3586	0,623	0,8068	0,9263	0,9962	1,032
aprile	<i>f</i>	0,2651	0,476	0,639	0,761	0,8483	0,908
maggio	<i>f</i>	0,2238	0,408	0,5563	0,6734	0,7633	0,83
giugno	<i>f</i>	0,1837	0,34	0,4705	0,5787	0,6667	0,737
luglio	<i>f</i>	0,2153	0,395	0,5412	0,6587	0,7508	0,821
agosto	<i>f</i>	0,2754	0,495	0,6649	0,7922	0,8833	0,945
settembre	<i>f</i>	0,358	0,625	0,8144	0,9404	1	1
ottobre	<i>f</i>	0,2874	0,512	0,6823	0,8059	0,8911	0,946
novembre	<i>f</i>	0,2051	0,375	0,513	0,6233	0,7096	0,776
dicembre	<i>f</i>	0,1874	0,344	0,4734	0,5785	0,6625	0,729
	<i>F</i>	0,255	0,46	0,614	0,731	0,813	0,87

Tabella 7.50 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=90^\circ$ _MILANO

Dalle tabelle precedenti e dalla figura 7.23, sulla simulazione dell'impianto si vede come l'inclinazione del collettore che permette di ottenere il maggiore valore della frazione solare annua ($F=75\%$), a parità di superficie di collettori scelta, è quella pari alla latitudine del sito di installazione; dunque per l'impianto a Milano per produzione di sola ACS la soluzione con superficie di **4,6 m²**, con inclinazione dei collettori pari alla latitudine della località, risulta essere la migliore.

Per quanto riguarda le soluzioni di collettore disposto orizzontalmente e verticalmente sono quelle da cui si ottengono i valori di frazione solare più bassi, dovuti alla minore intensità della radiazione solare incidente sul piano del collettore, infatti per ottenere più o meno lo stesso valore della frazione solare rispetto al caso precedente è necessario aumentare la superficie dei collettori: bisogna usare anche il doppio dei collettori. Ma aumentando la superficie si può arrivare ad avere un eccesso di energia prodotta nel periodo estivo con $\beta = 0^\circ$, invece con $\beta = 90^\circ$ si osserva come aumentando la superficie dei collettori si può aumentare il valore della frazione solare annuale, a discapito di un maggiore investimento iniziale; quindi queste non rappresentano le soluzioni di installazioni ideali.

La soluzione di installazione per $\beta = 65^\circ = (\text{Lat} + 20^\circ)$ permette di ottenere una maggiore producibilità dell'impianto nel periodo invernale (Gennaio, Febbraio, Novembre, Dicembre), come è possibile osservare anche in figura 7.24 e in tabella 7.51, ottenendo tuttavia un valore della frazione solare annua inferiore, a parità di superficie installata; invece per $\beta = 25^\circ = (\text{Lat} - 20^\circ)$ si aumenta la producibilità nel periodo estivo portando a un generare più energia termica di quella richiesta.

Essendo il fabbisogno di ACS abbastanza costante durante l'anno non è molto conveniente favorire la producibilità dell'impianto nel periodo invernale o estivo utilizzando gli adeguati angoli. Tuttavia anche in questo caso vengono riportati, nella tabella 7.51, i valori della producibilità, rappresentati in figura 7.24, e della frazione solare mensile ed annuale dell'impianto al variare dell'angolo di inclinazione dei collettori, che sono riferiti alla superficie totale dei collettori pari a 4,6 m².

Ac=4,6m²	
β	F
0	0,57
25	0,72
45	0,75
65	0,69
90	0,46

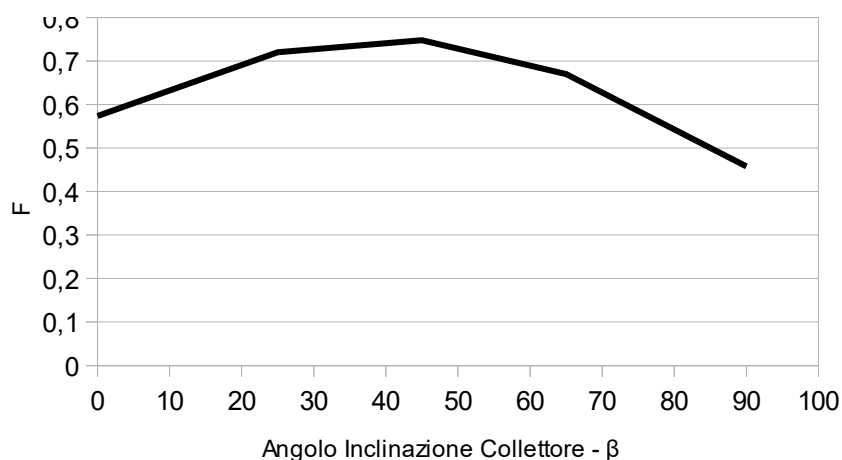


Figura 7.23 Frazione solare annua F in funzione dell'inclinazione del collettore

MILANO		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat. = 45°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)
	L [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	262,66	0,26	70,37	0,4	106,44	0,06	16,7	0,34	89,94
FEBBRAIO	237,25	0,55	130,1	0,67	159,91	0,31	74	0,57	135,37
MARZO	262,42	0,8	209,33	0,82	215,4	0,6	157,35	0,62	163,37
APRILE	253,95	0,87	221,58	0,79	199,53	0,77	195,19	0,48	120,86
MAGGIO	262,42	0,98	257,76	0,74	193,53	0,93	244,2	0,41	107
GIUGNO	253,95	1	253,95	0,78	196,53	1	253,95	0,34	86,26
LUGLIO	262,42	1,1	262,42	0,85	222,46	1	262,42	0,39	103,53
AGOSTO	262,42	1	262,42	0,87	228,45	0,93	243	0,49	129,86
SETTEMBRE	253,95	0,87	221,98	0,86	218,54	0,72	181,73	0,62	158,67
OTTOBRE	262,42	0,57	150,41	0,65	169,93	0,38	100,45	0,51	134,38
NOVEMBRE	253,95	0,32	81,76	0,45	114,55	0,14	35,26	0,37	95,19
DICEMBRE	262,42	0,25	64,35	0,39	104,62	0,03	9,1	0,34	90,3
Totale	3090,21	F= 71%	2186,4	F=69%	2130,2	F= 57%	1773,4	F= 46%	1414,7

Tabella 7.51 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diversi valori dell'angolo di inclinazione dei collettori_MILANO

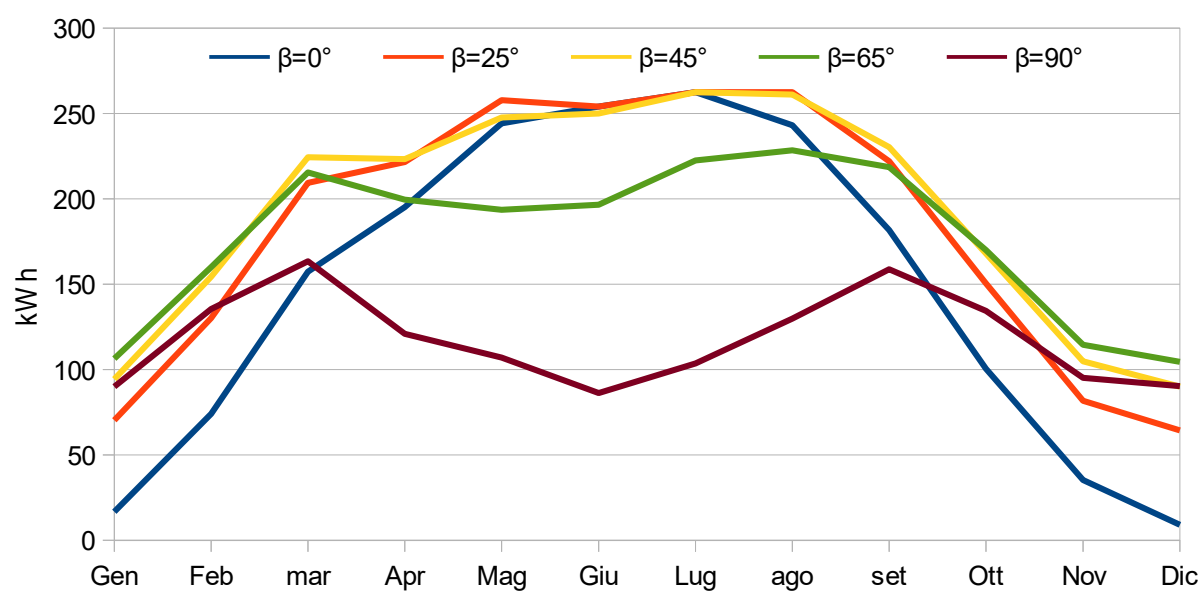


Figura 7.24 Producibilità dell'impianto, per produzione di sola ACS, per i vari mesi dell'anno, al variare dell'angolo di inclinazione del collettore_MILANO

7.3 Impianto BARCELLONA

Adesso si riportano i risultati ottenuti dalle simulazioni dell'impianto solare considerato essere installato nella città di Barcellona.

Inoltre in questo caso si fa un confronto tra i risultati ottenuti con il metodo della carta-f e il software Omnilus.

Nel caso di produzione combinata (acqua calda sanitaria ed integrazione al riscaldamento), l'impianto installato a Barcellona, trovandosi nella zona climatica 2, dovrebbe presentare un fattore di copertura solare annuale di circa il 40%.

7.3.1 Software OMNILUS [2]

Il sistema di modellazione del software Omnilus per lo studio dell'impianto solare è fatto a partire dai dati meteorologici di Barcellona riportati in tabella 8.51 e dalle caratteristiche del collettore, del serbatoio di accumulo e dello scambiatore di calore riportate in tabella 8.50.

Quindi viene determinata la quantità di energia che può essere estratta da questo processo di riscaldamento ed esamina se l'impianto solare è in grado di soddisfare la richiesta di energia della casa per la produzione di ACS e per il riscaldamento dell'edificio stesso.

Ricordando che Barcellona si trova nella zona climatica 2, sono stati usati N=6 collettori per ottenere il valore di fattore copertura solare annuale pari a F=40%, come richiesto da norma.

Configuration

Collector				Tanks: main dhw		
η_0	0.793	Slope	41.4 °	Volume	1000 l	500 l
U_0	4.044 W/m ² K	Azimuth	0.0 °	ϕ	1.14 m	0.92 m
U_1	0.018 W/m ² K ²	Albedo	0.2	Height	0.98 m	0.75 m
A_{ref}	2.30 m ²	N	6	U	5.00 W/K	2.50 W/K
A_{gross}	2.50 m ²	A_{ref}^{total}	13.80 m ²	Heating heat exchanger		
T_{ref}	Tav	Flow rate	50 l/hm ²	ϵC_{min}	479 W/K	
IAM ₅₀	0.945					

Tabella 7.52 Configurazione stabilita per "Combi system" [2]

Performance

	Meteo data				Solar irradiance			DHW load		Heating load		
	H	Hd	Ta	Tm	IAM	HT	IAM-HT	Usage	Load	Usage	DD	Load
	[MJ/m ²]		[°C]		[-]	[MJ/m ²]		[%]	[kWh]	[%]	[°]	[kWh]
Jan	7.20	2.81	8.8	9.0	0.95	12.58	11.98	100	478.4	100	192.2	3368.7
Feb	10.20	3.83	9.5	10.0	0.95	14.98	14.29	100	423.7	100	154.0	2699.2
Mar	13.70	5.73	11.1	11.0	0.95	16.39	15.57	100	459.7	100	120.9	2119.0
Apr	17.70	7.31	12.8	12.0	0.95	18.14	17.15	100	435.8	100	66.0	1156.8
May	21.20	8.39	16.0	14.0	0.94	19.54	18.38	100	431.5	100	0.0	0.0
Jun	23.00	8.79	19.7	17.0	0.94	20.19	18.94	100	390.4	100	0.0	0.0
Jul	24.30	8.26	22.9	19.0	0.94	21.75	20.49	100	384.6	100	0.0	0.0
Aug	20.90	7.50	23.0	19.0	0.95	20.56	19.46	100	384.6	100	0.0	0.0
Sep	15.90	6.23	21.0	17.0	0.95	17.99	17.09	100	390.4	100	0.0	0.0
Oct	11.60	4.62	17.1	15.0	0.95	15.75	15.00	100	422.1	100	0.0	0.0
Nov	8.00	3.04	12.5	12.0	0.95	13.38	12.75	100	435.8	100	75.0	1314.5
Des	6.60	2.51	9.6	10.0	0.95	12.36	11.76	100	469.0	100	167.4	2934.1
Avg	15.05	5.76	15.4	13.8	0.95	16.98	16.08					
Total									5106.0		775.5	13592.3

Barcelona, 41.4° N

260 l/d
at 60°C

UA: 730 W/K
 T_b^{DD} : 15.0 °C

Tabella 7.53 Dati Meteo e Domanda di Energia per "Combi system" [2]

Solar production					
	Available [kWh]	Heating [kWh]	DHW [kWh]	TOTAL [kWh]	F [%]
Jan	1495.1	627.4	172.5	799.9	20.8
Feb	1608.0	662.1	184.7	846.8	27.1
Mar	1947.3	760.4	260.5	1020.9	39.6
Apr	2086.2	745.7	289.8	1035.5	65.0
May	2321.8	0.0	422.4	422.4	97.9
Jun	2321.9	0.0	382.3	382.3	97.9
Jul	2585.0	0.0	373.4	373.4	97.1
Aug	2443.1	0.0	374.9	374.9	97.5
Sep	2068.3	0.0	414.5	414.5	106.2
Oct	1871.2	0.0	440.7	440.7	104.4
Nov	1539.1	529.6	219.7	749.3	42.8
Des	1468.3	583.3	180.7	764.0	22.4
Avg Total	23755.4	3908.4	3716.2	7624.6	40.8

COP: 32.1

Tabella 7.54 Produzione Impianto solare per "Combi system" [2]

Dalla tabella 7.54 si nota come in settembre e ottobre il valore della frazione solare mensile supera l'unità; dunque in questi due mesi si verifica un eccesso di energia generata dall'impianto rispetto al fabbisogno dell'abitazione, che sarà necessario dissipare per non avere problemi di stagnazione. Tuttavia in questo modo, utilizzando 6 collettori, si riesce a raggiungere il valore del fattore di copertura solare annuale pari a $F=40\%$ ($F=(\sum f_i L_i)/L_{tot}$), proprio come richiesto. Però bisogna considerare che nel calcolo della frazione solare mensile ($f_i=Q_{SYS,i}/L_{mese,i}$) il software tiene conto anche dell'energia prodotta in eccesso.

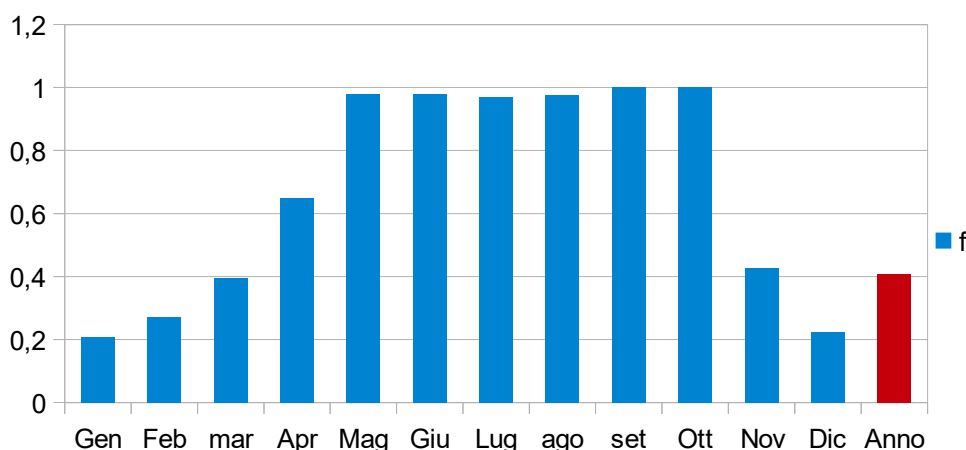


Figura 7.25 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_Software OMNILUS_BARCELLONA

Di seguito sono rappresentati graficamente i risultati della simulazione transitoria ottenuti con Omnilus, in modo da osservare come evolvono, nell'arco di un anno prima e nelle 24 ore di un giorno dopo, i valori di:

- T_{sav} : temperatura media del serbatoio di accumulo
- Q_{sol} inerente ai possibili massimi guadagni solari (sul piano del collettore)
- Q_{SYS} inerente all'energia erogata dal sistema
- $Q_{SYS,SH}$ inerente all'energia fornita riscaldamento degli ambienti
- Q_{dem} inerente alla domanda di energia termica
- $Q_{dem,ACS}$ inerente al Fabbisogno di acqua calda sanitaria
- $Q_{dem,SH}$ inerente alla domanda per riscaldamento degli ambienti

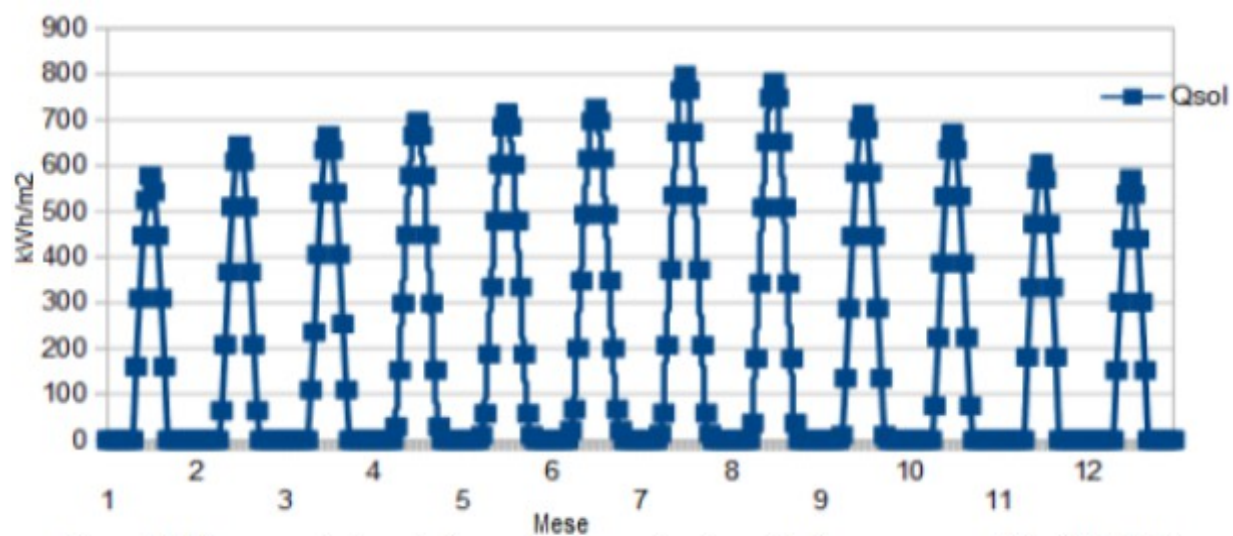


Figura 7.26 Rappresentazione dell'energia solare nei vari mesi dell'anno per area dei collettori [2]

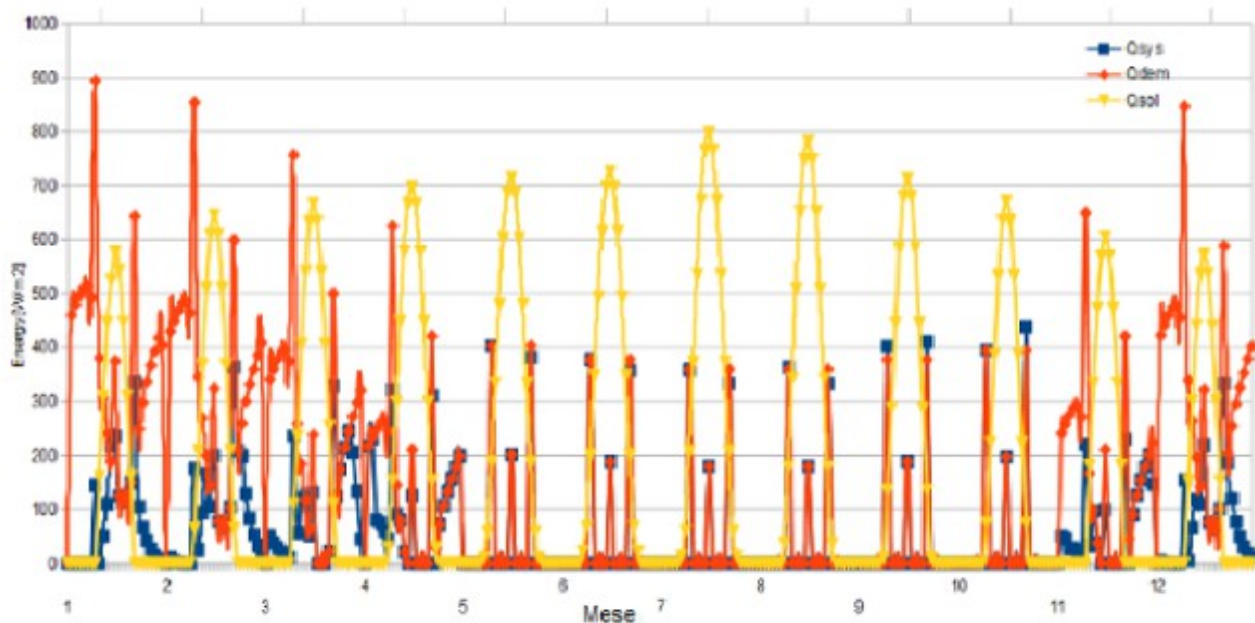


Figura 7.27 Rappresentazione dell'energia del sistema durante l'anno

Ora si inizia osservando l'**andamento della temperatura dell'accumulo**, per ogni mese, su base oraria giornaliera, come risultato delle simulazioni transitorie effettuate.

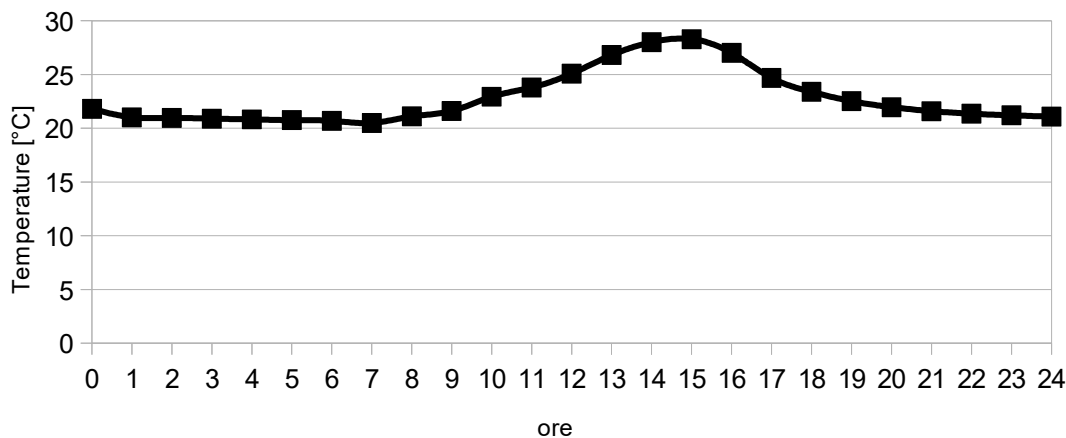


Figura 7.28 Temperatura media dell'accumulo in Gennaio

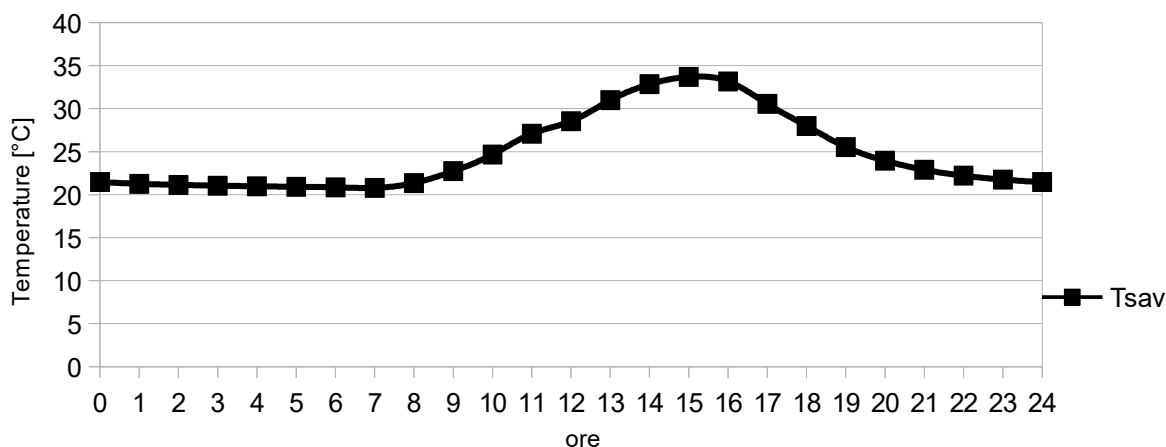


Figura 7.29 . Temperatura media dell'accumulo in Febbraio

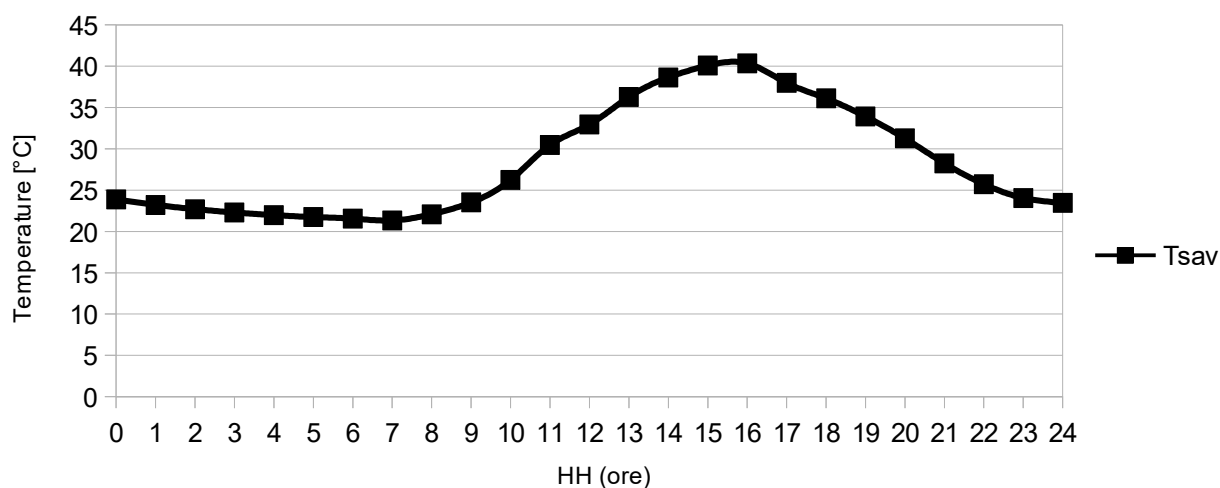


Figura 7.30 .Temperatura media dell'accumulo in Marzo

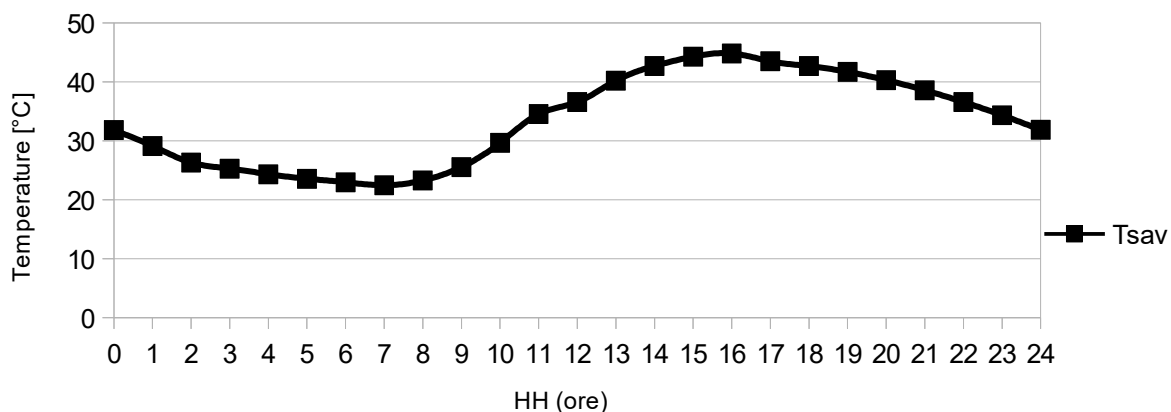


Figure 7.31 Temperatura media dell'accumulo in Aprile

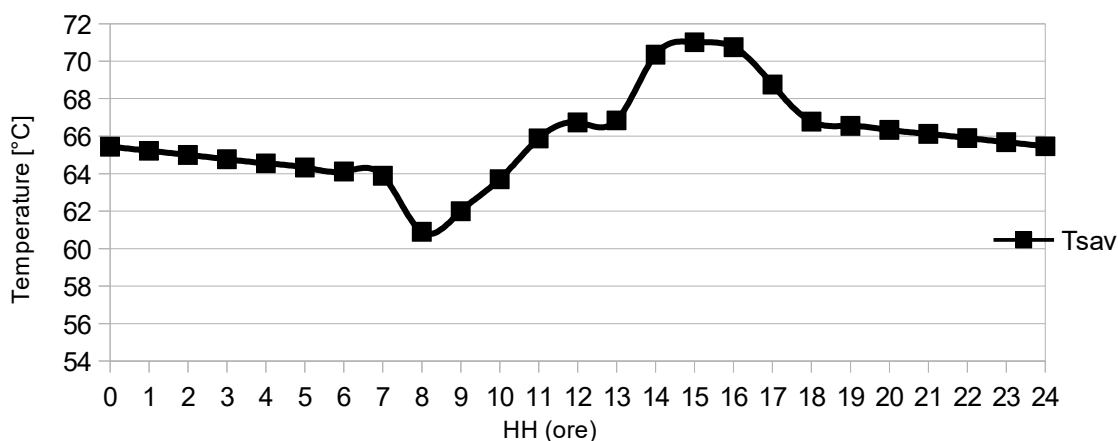


Figura 7.32 Temperatura media dell'accumulo a Maggio

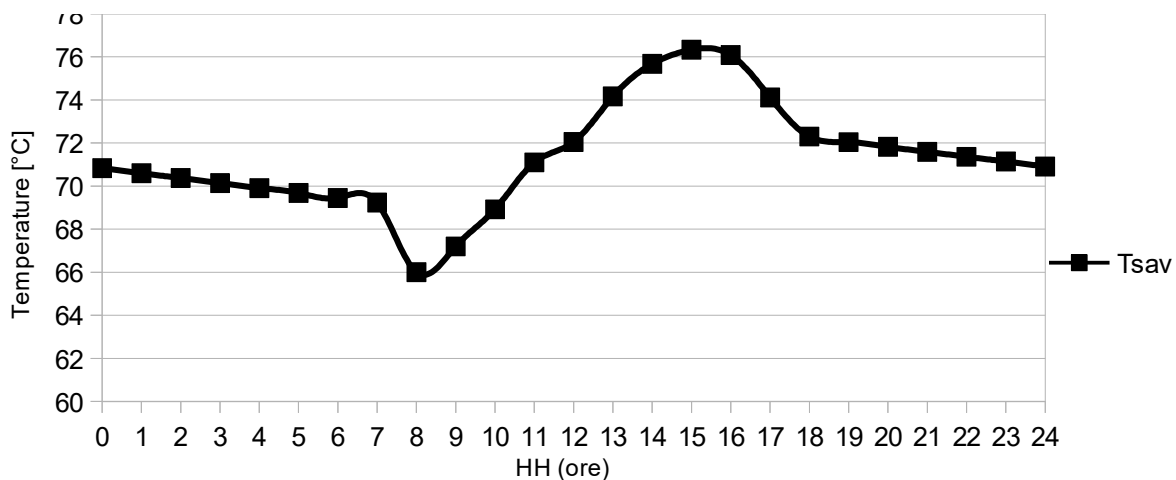


Figura 7.33 Temperatura media dell'accumulo a Giugno

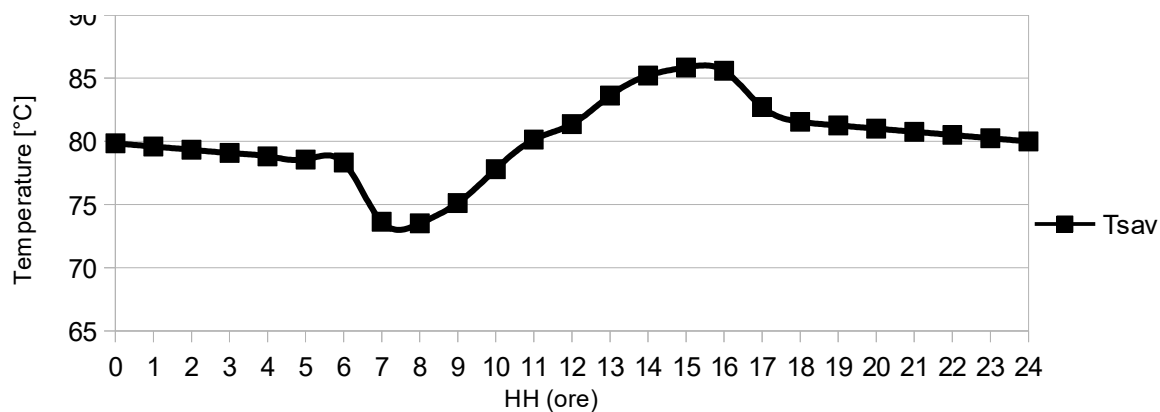


Figura 7.34 Temperatura media dell'accumulo a Luglio

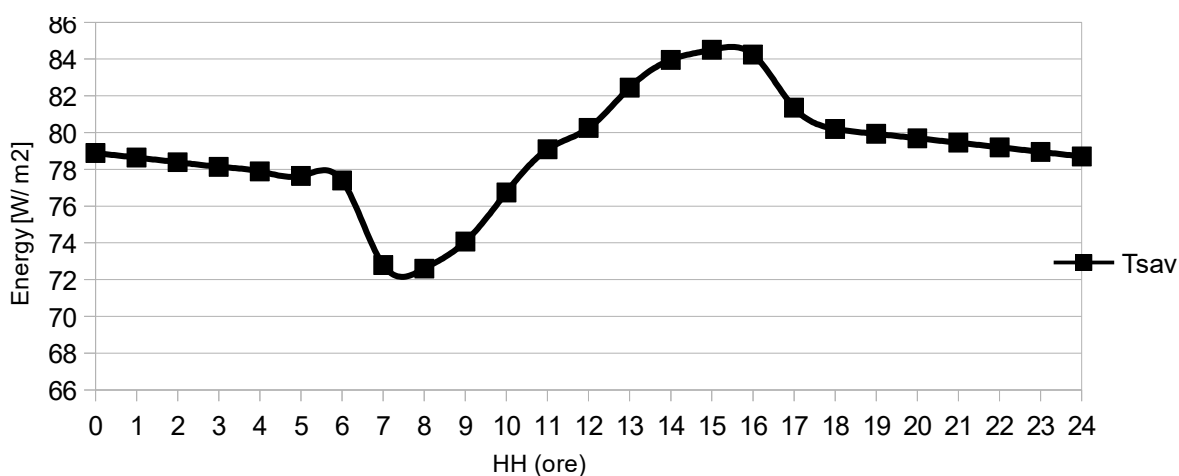


Figure 7.35 Temperatura media dell'accumulo in Agosto

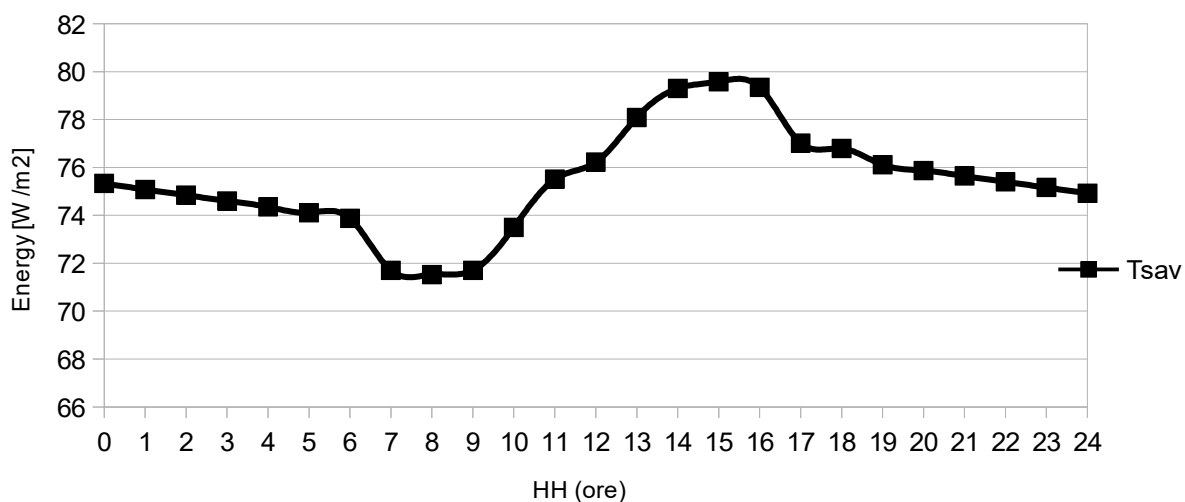


Figure 7.36 Temperatura media dell'accumulo a Settembre

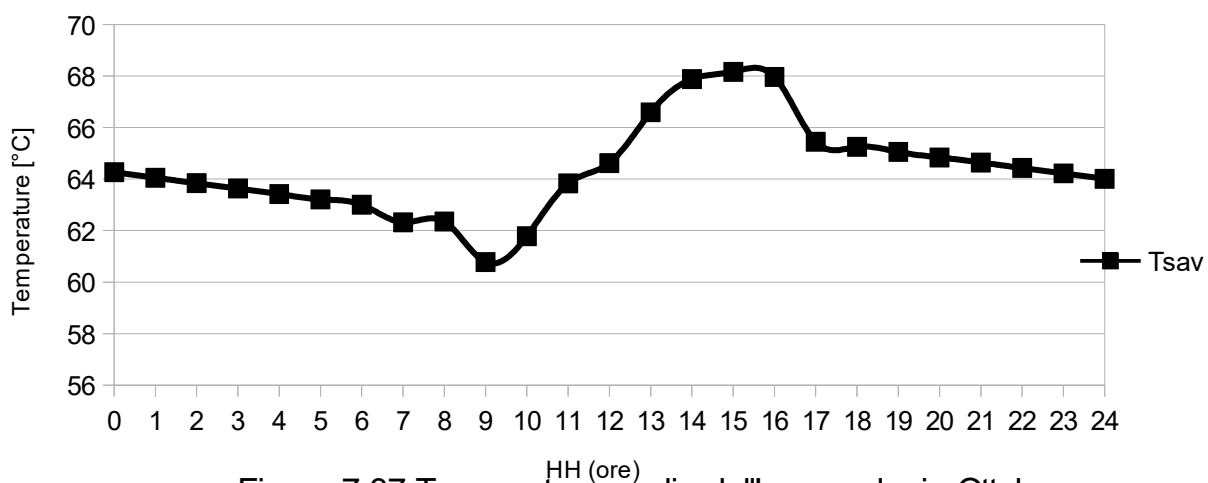


Figura 7.37 Temperatura media dell'accumulo in Ottobre

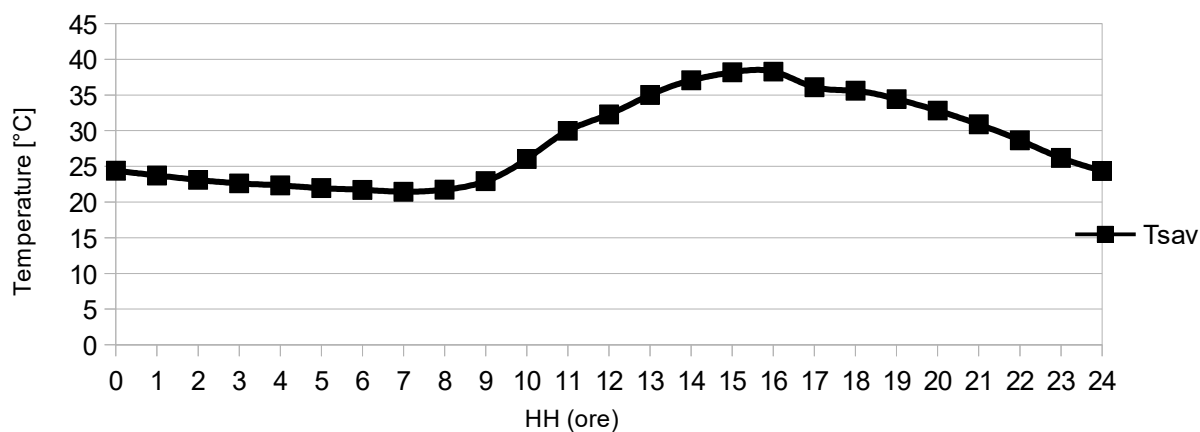


Figura 7.38 Temperatura media dell'accumulo a Novembre

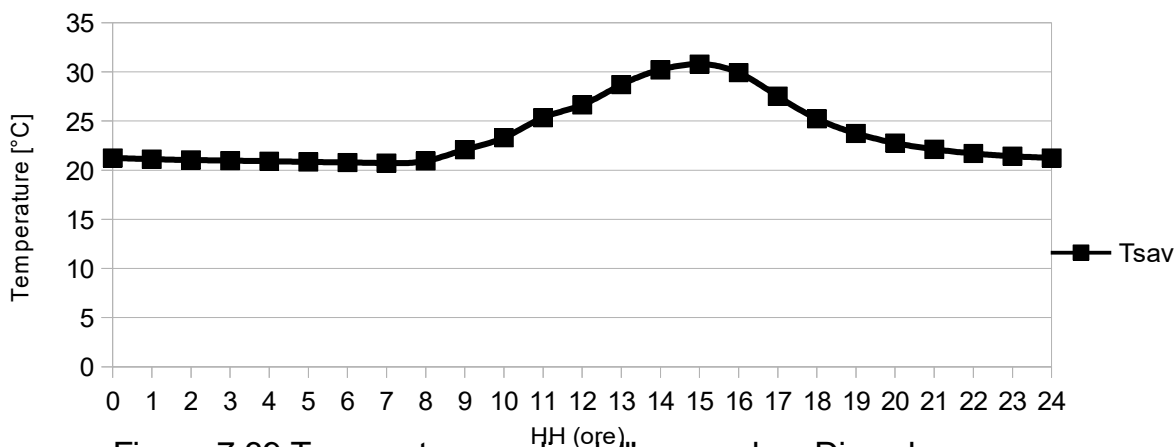


Figura 7.39 Temperatura media dell'accumulo a Dicembre

Di seguito invece si prendono in considerazione i risultati inerenti agli andamenti di Q_{dem} , cioè la domanda di energia termica dell'abitazione, di Q_{sol} , l'energia solare sul piano del collettore, e Q_{sys} , l'energia erogata dal sistema solare-termico.

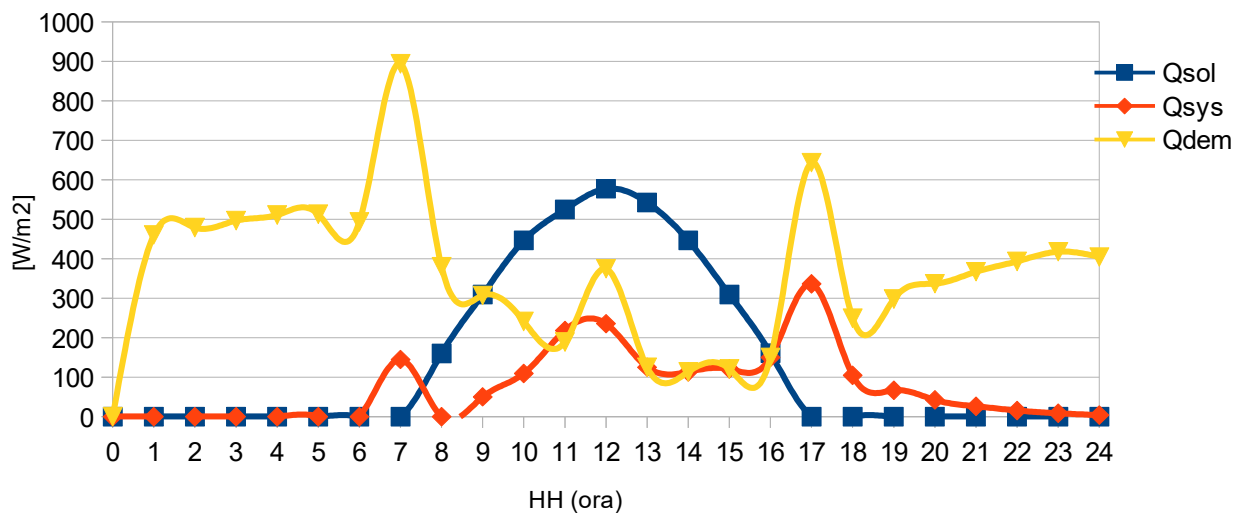


Figure 7.40 Rappresentazione dell'energia del sistema in Gennaio

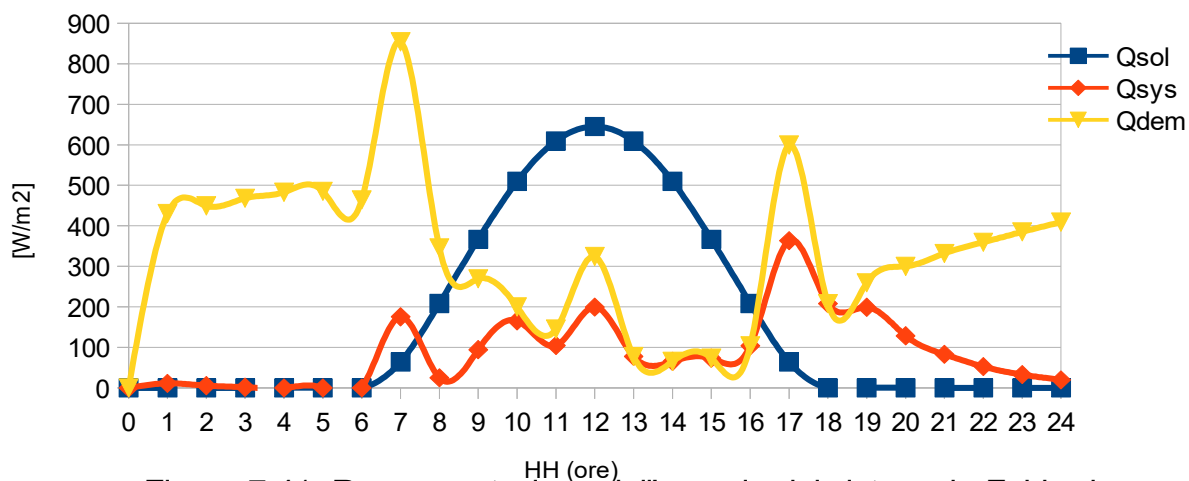


Figure 7.41. Rappresentazione dell'energia del sistema in Febbraio

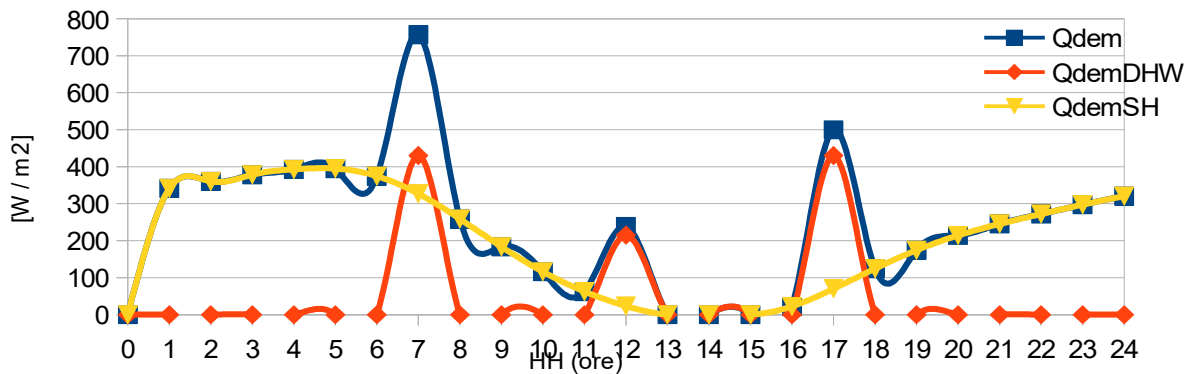


Figure 7.42 Rappresentazione dell'energia del sistema in Marzo

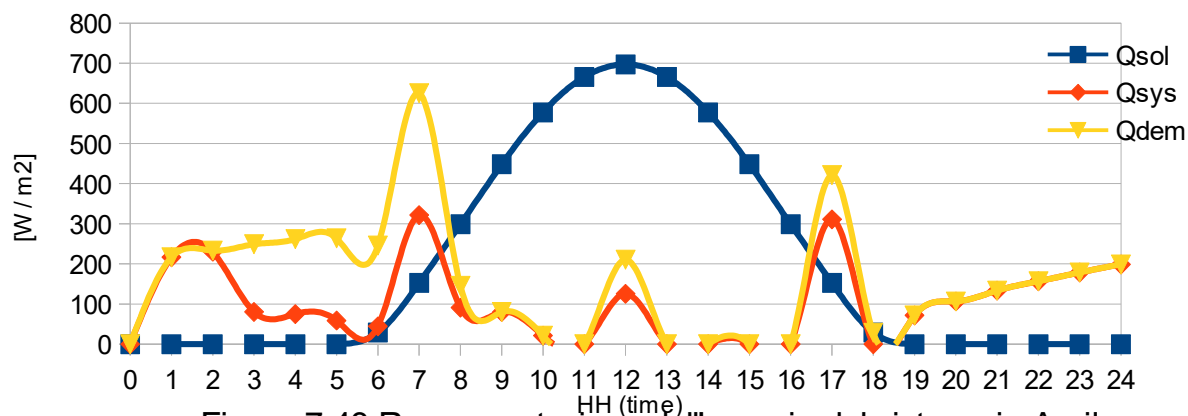


Figure 7.43 Rappresentazione dell'energia del sistema in Aprile

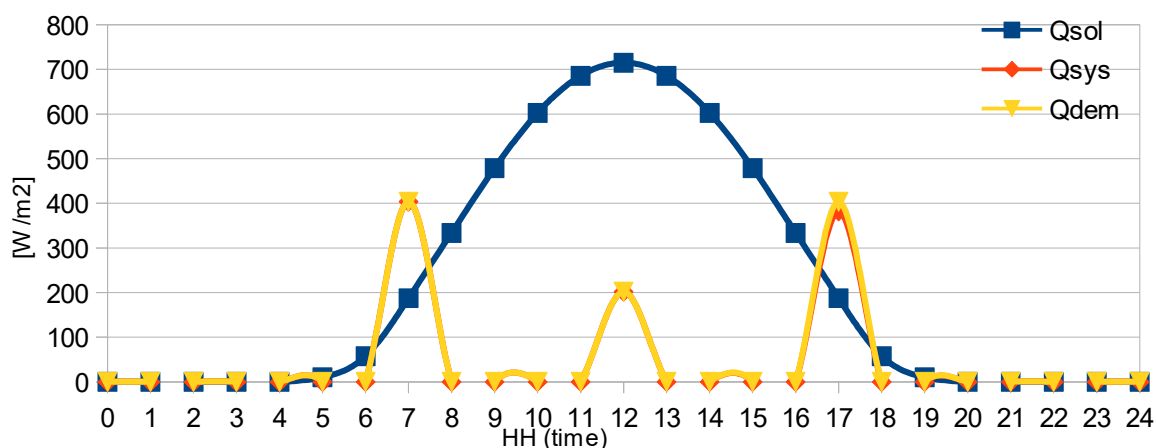


Figure 7.44 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Maggio

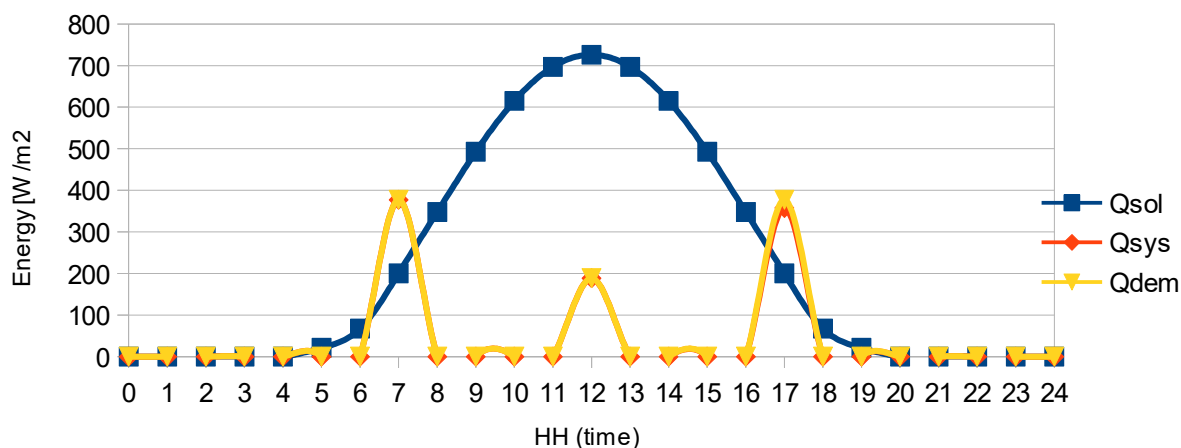


Figure 7.45 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Giugno

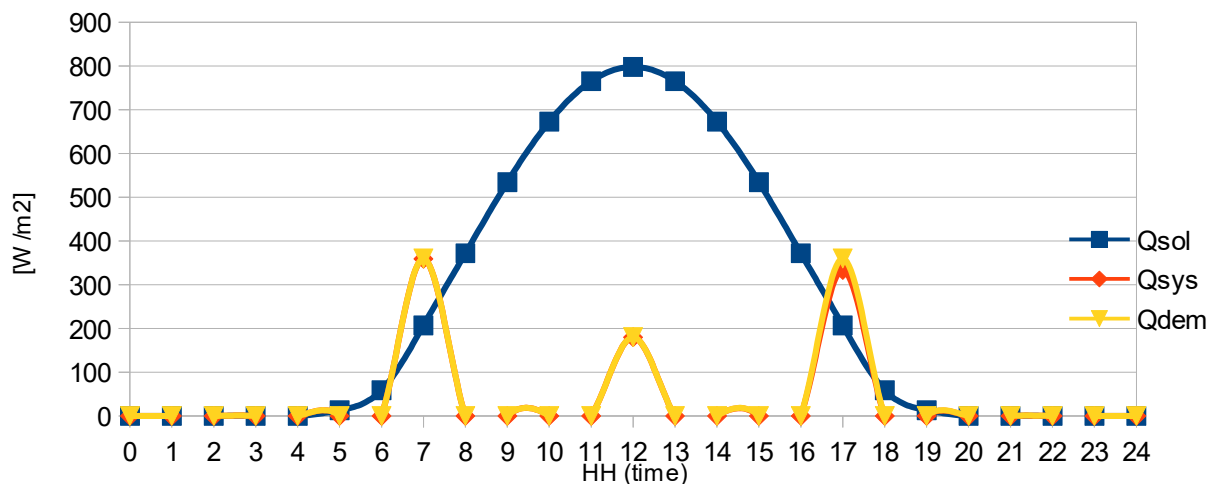


Figure 7.46 Rappresentazione dell'energia del sistema in Luglio

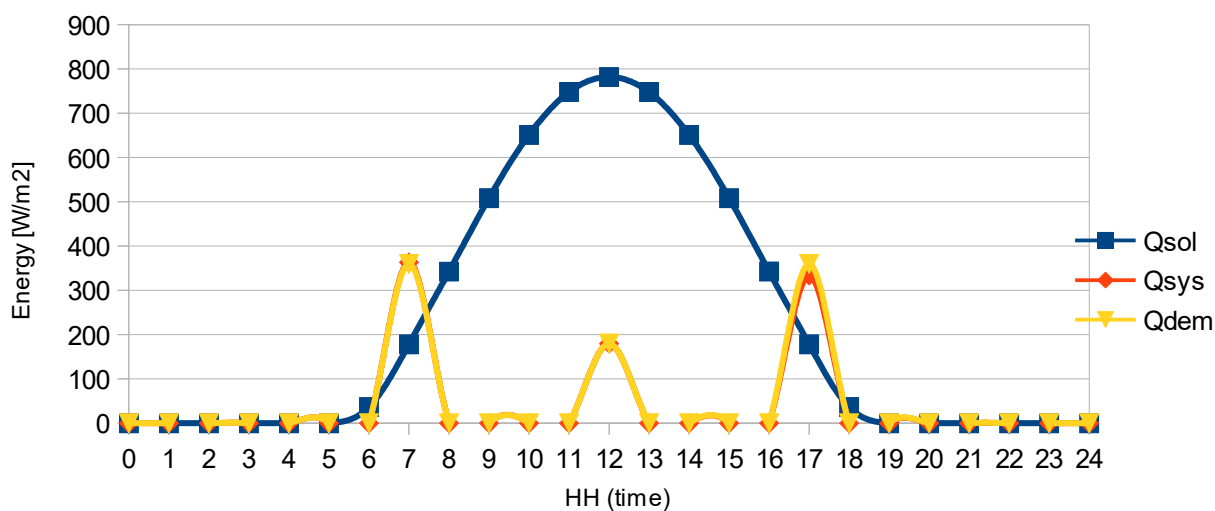


Figura 7.47 Rappresentazione dell'energia del sistema in Agosto

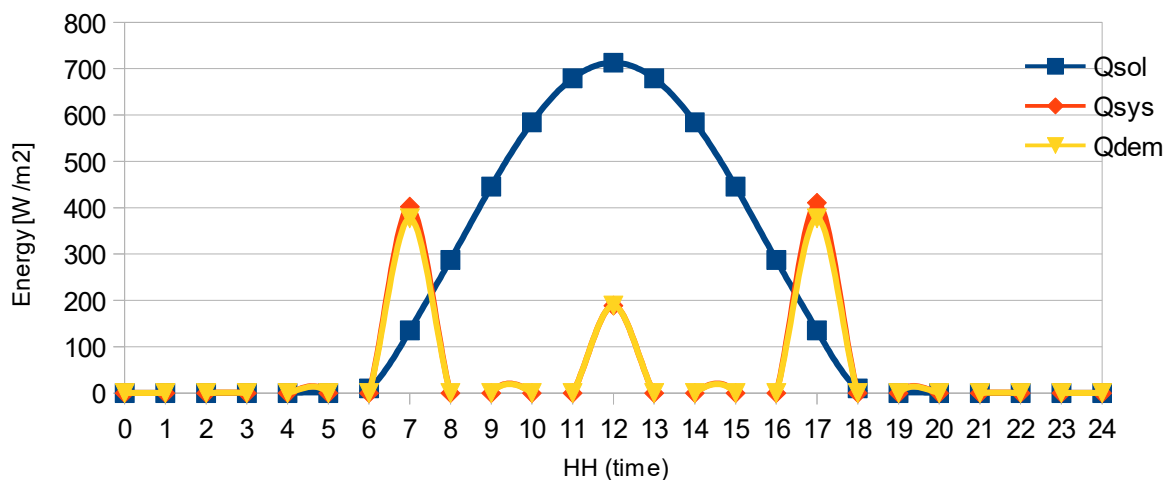


Figure 7.48 Rappresentazione dell'energia del sistema in Settembre

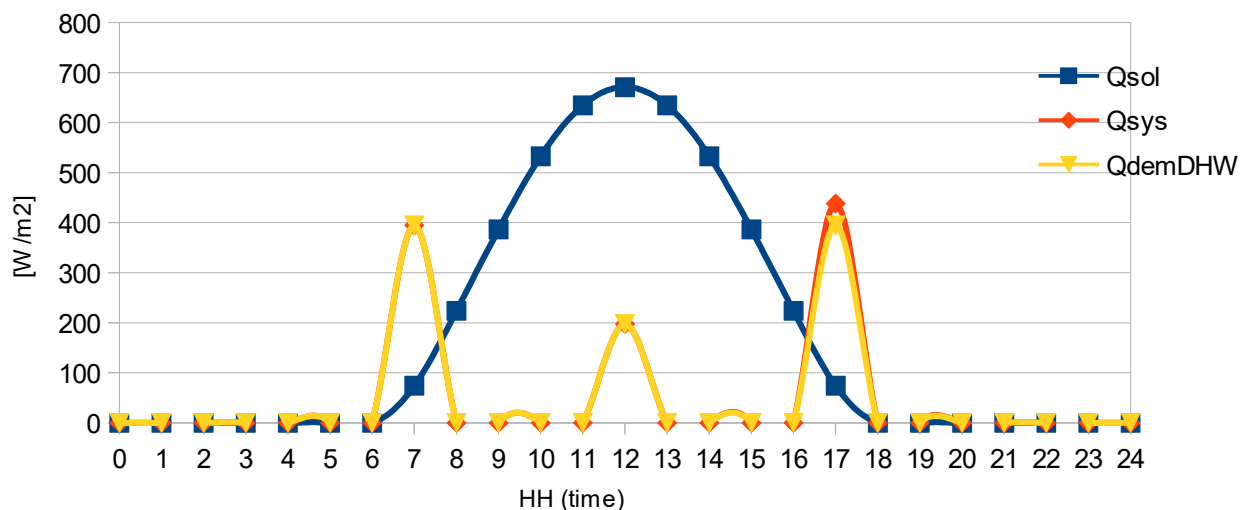


Figure 7.49 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Ottobre

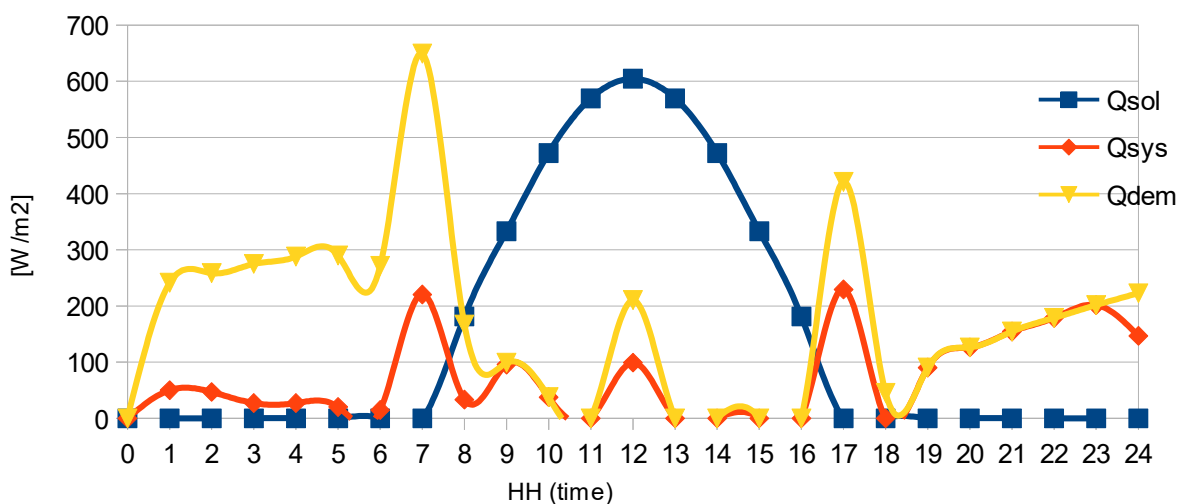


Figure 7.50 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Novembre

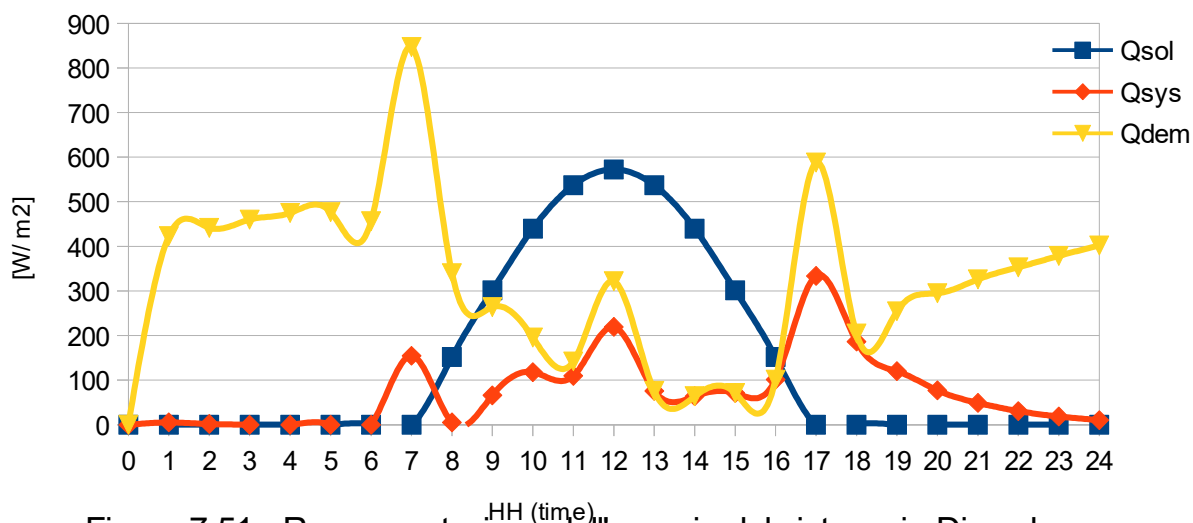


Figure 7.51 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Dicembre

Adesso si considerano anche gli andamenti riguardanti l' ACS

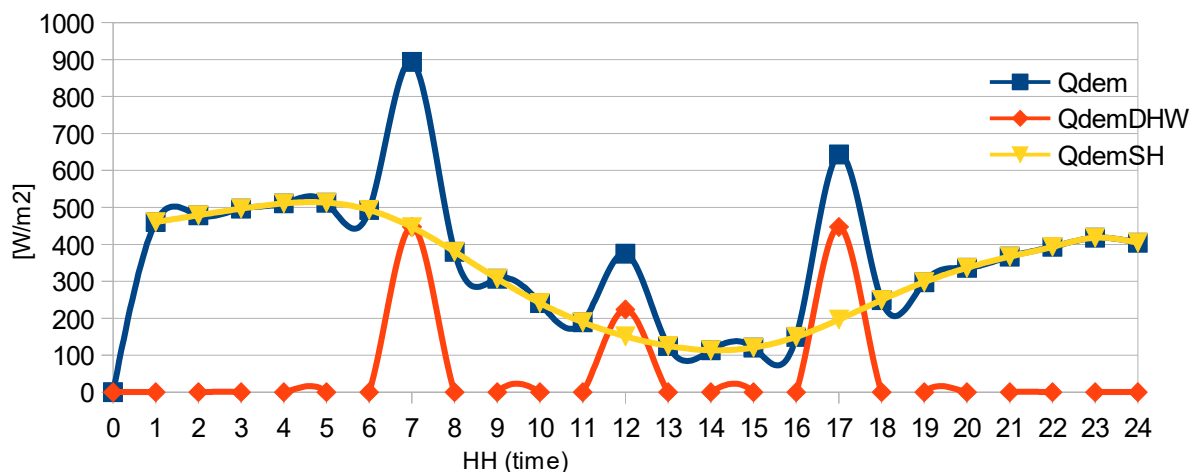


Figura 7.52 Rappresentazione dell'energia del sistema in Gennaio

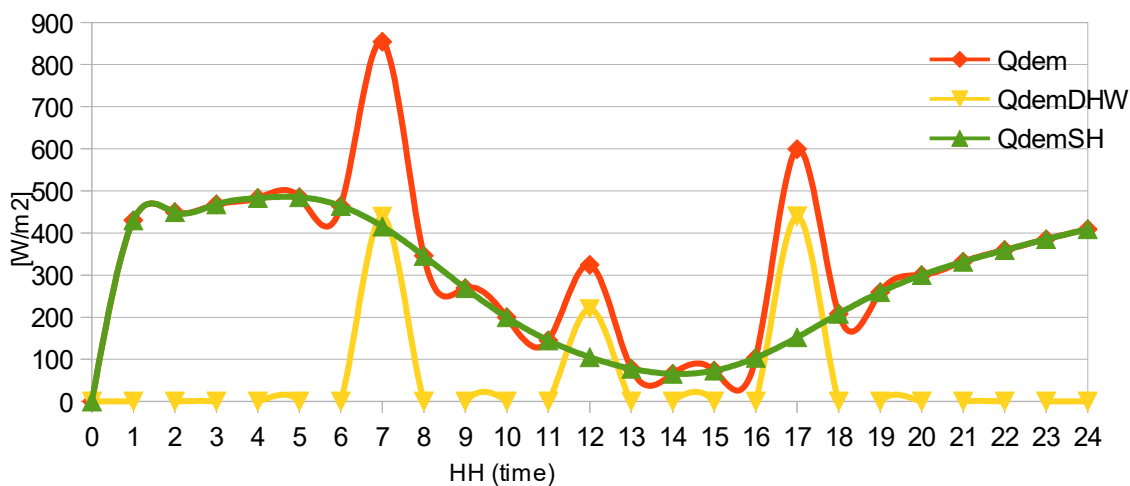


Figura 7.53 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Febbraio

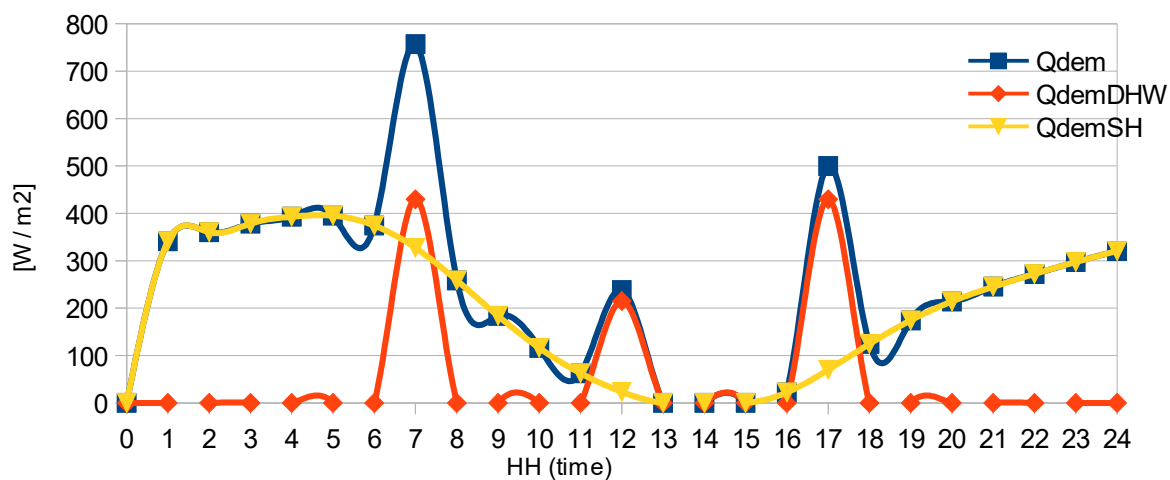


Figura 7.54 . Rappresentazione dell'energia del sistema a Marzo

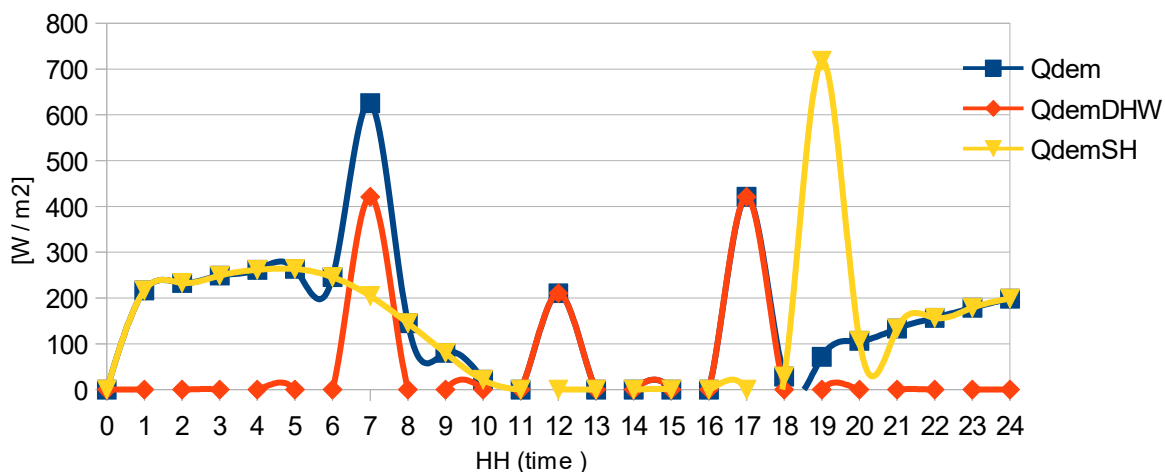


Figura 7.55 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Aprile

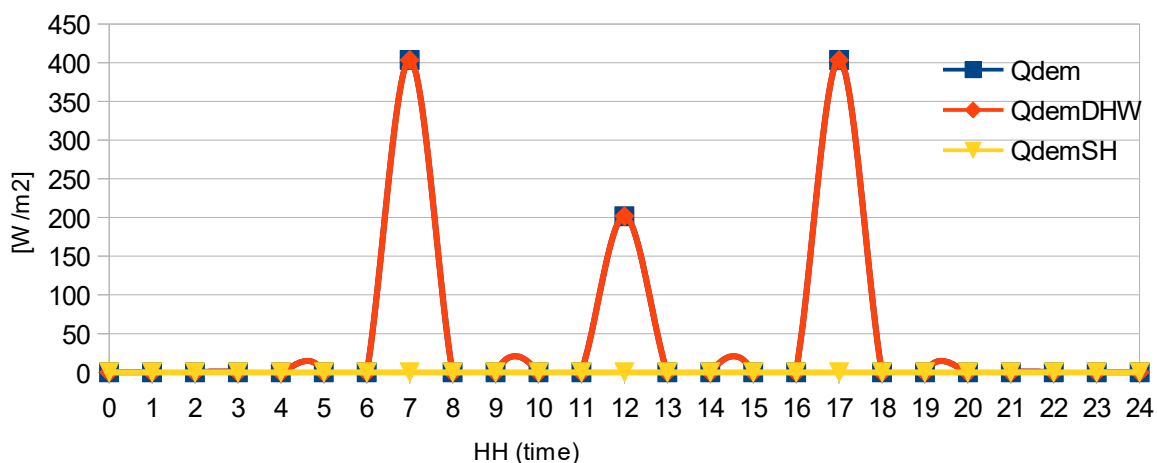


Figura 7.56 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Maggio

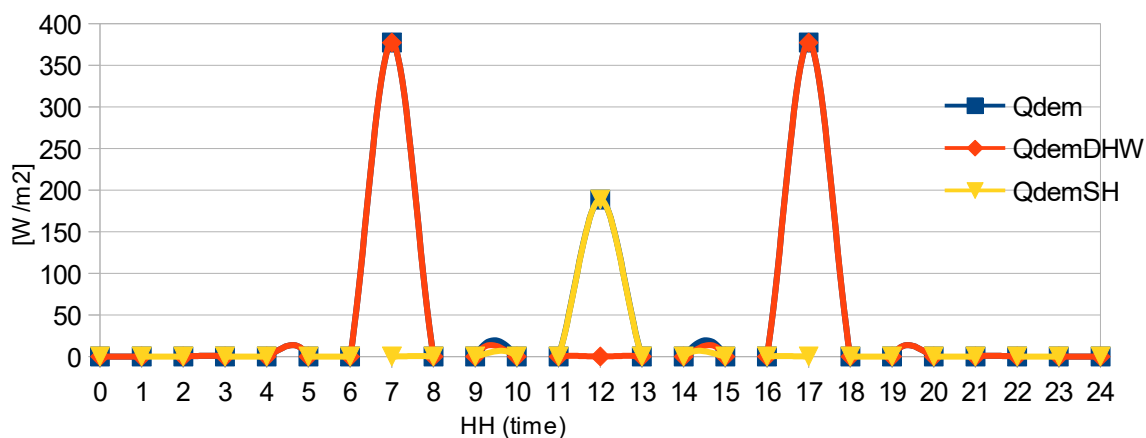


Figura 7.57 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Giugno

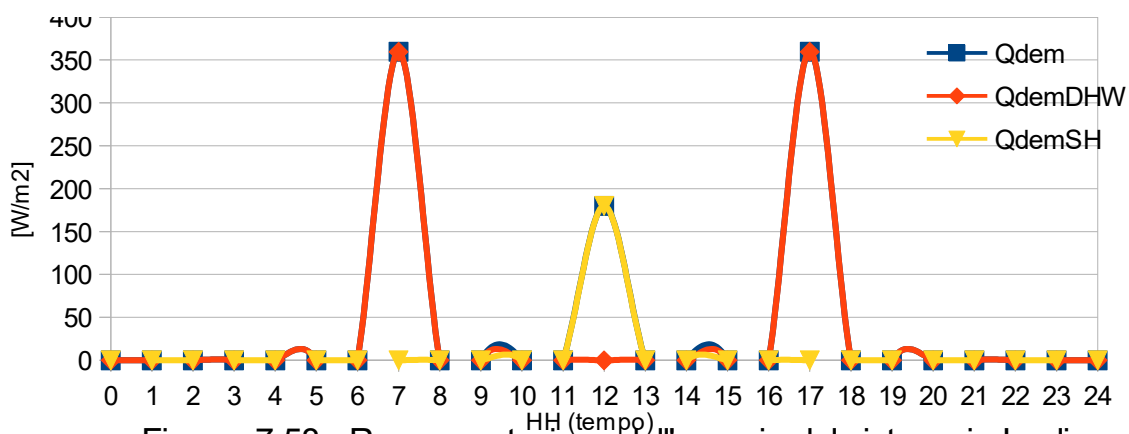


Figura 7.58 Rappresentazione dell'energia del sistema in Luglio

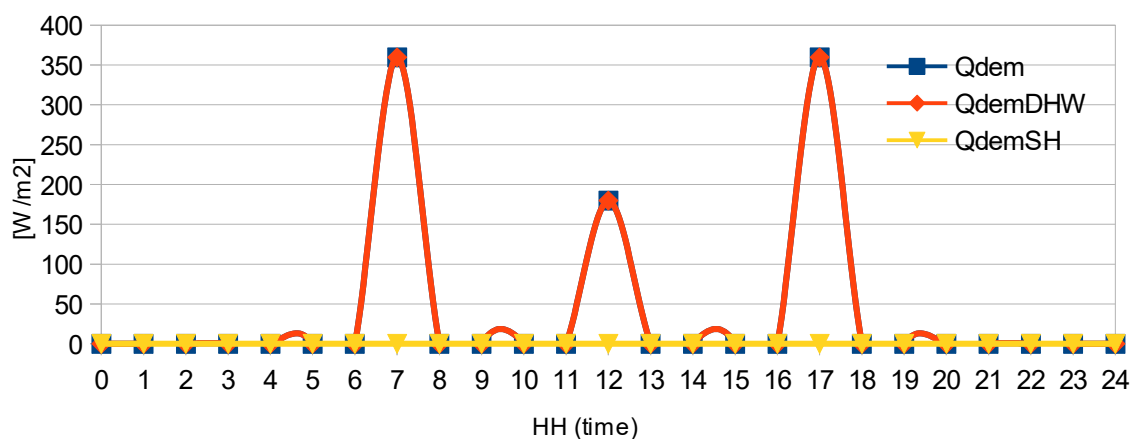


Figura 7.59 Rappresentazione dell'energia del sistema in Agosto

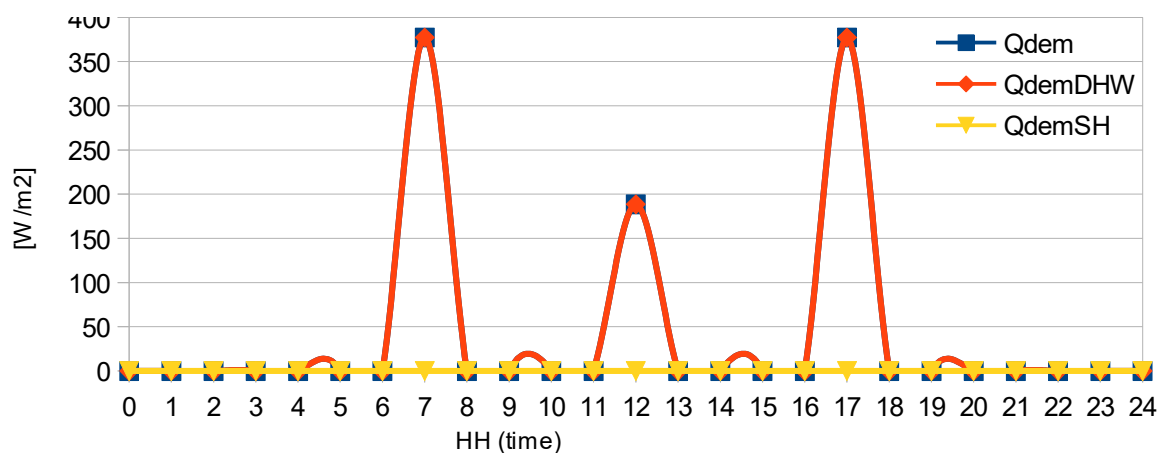


Figura 7.60 Rappresentazione dell'energia del sistema a Settembre

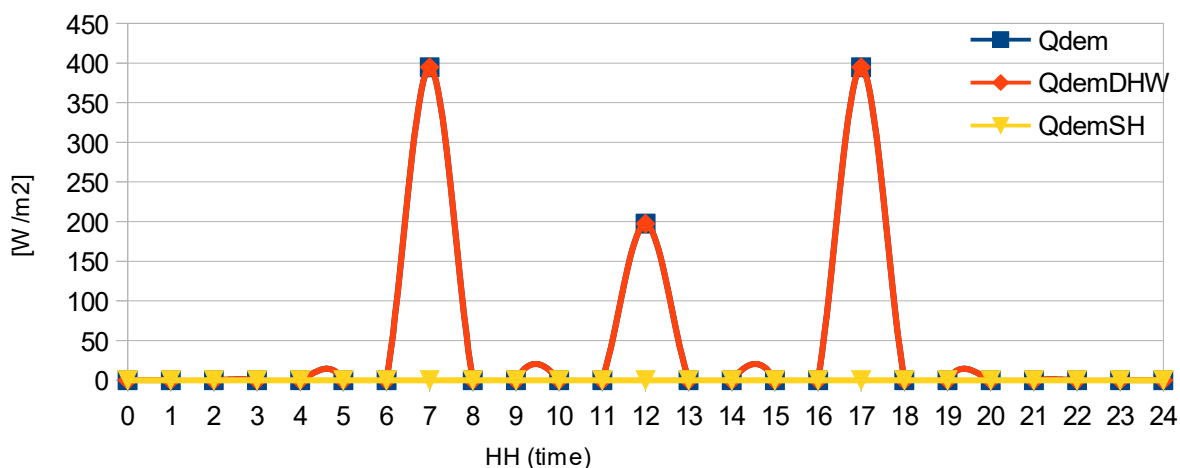


Figura 7.61 . Rappresentazione dell'energia del sistema in Ottobre

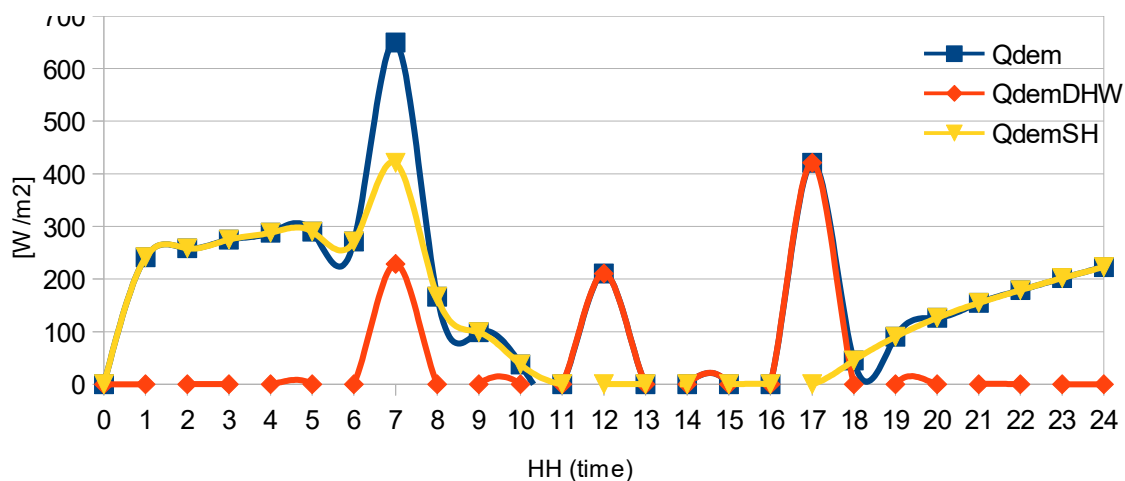


Figura 7.62 Rappresentazione dell'energia del sistema in Novembre

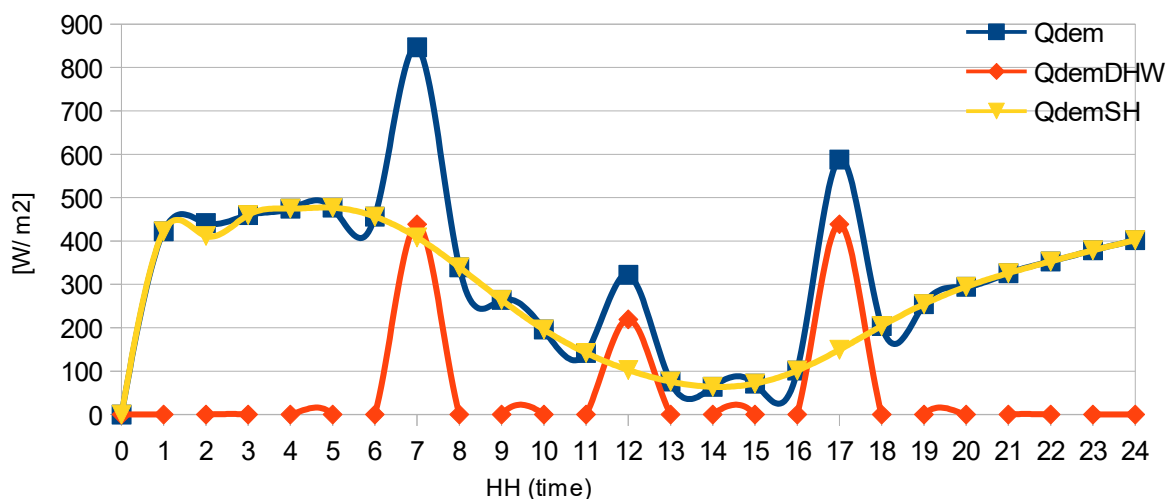


Figura 7.63 Rappresentazione dell'energia del sistema in Dicembre

7.3.2 Metodo della Carta-f

In questo paragrafo vengono mostrati e analizzati i risultati delle simulazioni dell'impianto solare termico installato a Barcellona, ottenuti con il metodo della Carta-f.

1. SIMULAZIONE PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO + ACS

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i dati di input utilizzati nel metodo di calcolo della Carta-f: la tabella 7.55 è inerente ai dati climatici della località e il carico termico per l'acqua calda sanitaria e il riscaldamento dell'abitazione, la tabella 7.56 è inerente alle caratteristiche del collettore

	TEMPERATURA media mensile	RADIAZIONE SOLARE su piano		ACS	RISCALDAMENTO	
	T _a [°C]	orizzontale	inclinato	Carico [kWh]	DD [°C]	Carico [kWh]
		H _h [MJ/m ²]	H _r [MJ/m ²]			
GENNAIO	8,8	7,63	14,44	262,66	198,76	3483,6
FEBBRAIO	9,5	11,05	17,86	237,25	160,3	2809,7
MARZO	11,1	16,67	21,24	262,42	134,7	2360,6
APRILE	12,8	19,58	21,78	253,95	88,6	1553,3
MAGGIO	16	23,97	22,68	262,42	0	0
GIUGNO	19,7	26,57	23,47	253,95	0	0
LUGLIO	22,9	26,38	24,05	262,42	0	0
AGOSTO	23	22,68	23,29	262,42	0	0
SETTEMBRE	21	17,39	21,28	253,95	0	0
OTTOBRE	17,1	12,71	18,68	262,42	0	0
NOVEMBRE	12,5	8,28	14,72	253,95	95,4	1673,3
DICEMBRE	9,6	6,73	13,68	262,42	175,8	3082,4
Totale	15,4	16,67	19,76	3090,21	853,7	14963

Tabella 7.55 Valori di temperatura[3], radiazione solare[4] e Domanda di Energia _ BARCELONA

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β	41°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	A_{ref}	2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η₀	0,79
<i>Coeff. Di perdita</i>	a1	4,04 W / (m ² K)
	a2	0,0182W / (m ² K)
<i>Modificatore Angolo di Incidenza</i>	IAM = K_{τ(50°)}	0,96
<i>Numero collettori</i>	N	6
<i>Area totale</i>	A_{ref}^{tot}	13,8 m²

Tabella 7.56 Caratteristiche del collettore solare termico

SERBATOIO DI ACCUMULO		
Area collettore - A_c	2,3 m ²	
Numero collettori - N	6	
V	=60 L./m ² ($N_c A_c$)	828 L

Tabella 7.57 Valutazione Capacità serbatoio di accumulo

a) Simulazione per variazione superficie collettori

Dalla simulazione fatta sull'impianto solare-termico installato a Barcellona è possibile osservare dalla figura 7.64 e dalla tabella 7.58 come all'aumentare dell'area dei collettori aumenta anche il fattore di copertura solare.

Come è stato fatto con il software Omnilus, dai calcoli sulla simulazione, scegliendo un'area totale dei collettori pari a **13,8 m²**, usando quindi 6 collettori, è possibile ottenere un fattore di copertura solare annuo pari al **36,3%**, valore abbastanza vicino al $F=40\%$ richiesto dalla norma. In questo modo l'impianto sarà in grado di ricoprire maggiormente la richiesta termica annuale dell'edificio rispetto alla scelta di superfici minori, anche se bisogna considerare che in questo modo, nel periodo estivo, quello di maggiore irraggiamento, si può avere un valore della frazione solare mensile maggiore di 1 in corrispondenza del quale è necessario dissipare l'energia prodotta in eccesso per non avere problemi di stagnazione.

BARCELLONA - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta = 41^\circ = (\text{Lat})$								
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,0317	0,065113	0,0985	0,13153	0,16415	0,196273	0,377557
febbraio	<i>f</i>	0,0454	0,092196	0,1384	0,18364	0,22791	0,271122	0,507542
marzo	<i>f</i>	0,0712	0,142659	0,212	0,27881	0,34309	0,404775	0,722096
aprile	<i>f</i>	0,1022	0,202711	0,2982	0,38844	0,47332	0,552949	0,928865
maggio	<i>f</i>	0,6184	0,994269	1,1837	1,26358	1,31317	1,412387	7,557299
giugno	<i>f</i>	0,6419	1	1,2088	1,28569	1,34157	1,465211	8,630867
luglio	<i>f</i>	0,6594	1	1,2275	1,30289	1,36496	1,509332	9,484952
agosto	<i>f</i>	0,6412	1	1,2124	1,29155	1,34708	1,465804	8,392399
settembre	<i>f</i>	0,5886	0,961227	1,1615	1,2525	1,29938	1,368044	5,955813
ottobre	<i>f</i>	0,5162	0,868967	1,0792	1,18812	1,23928	1,276933	3,728089
novembre	<i>f</i>	0,0611	0,123974	0,1855	0,24523	0,30297	0,358662	0,649869
dicembre	<i>f</i>	0,0332	0,068399	0,1035	0,13821	0,17245	0,206132	0,395366
	F	0,1	0,18	0,23	0,276	0,32	0,363	0,591

Tabella 7.58 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _BARCELLONA

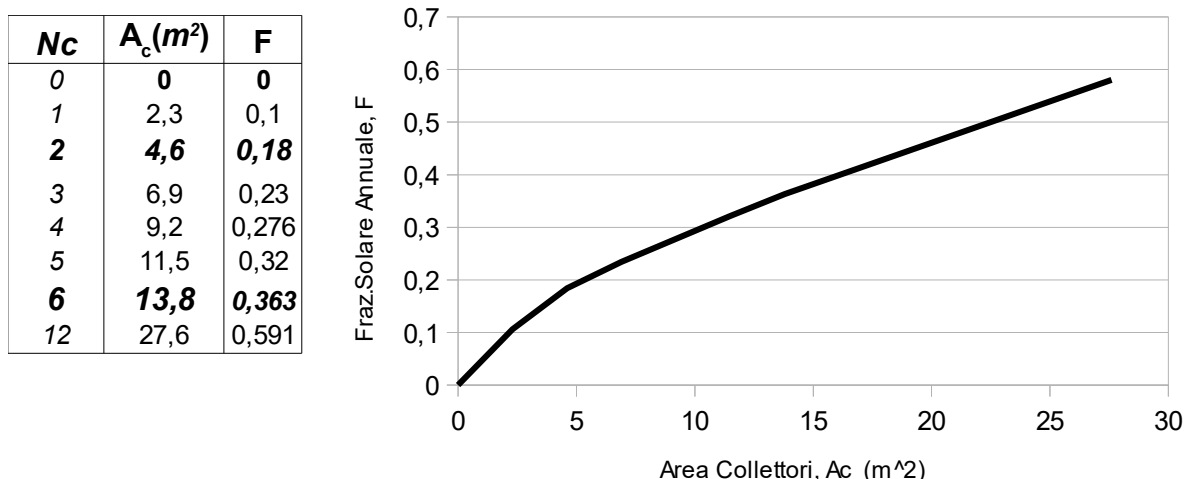


Figura 7.64 Fattore di copertura solare in funzione dell'area dei collettori_BARCELLONA

Se si dimensiona il sistema in modo che la frazione solare mensile del sistema non superi il valore unitario è necessario usare una superficie di **4,6 m²**. In questo modo, come è possibile vedere dalla tabella 7.59, si ottiene un valore del fattore di copertura solare **F=18%**, il cui andamento durante l'anno è rappresentato in figura 7.66.

Nella tabella 7.60 invece è possibile osservare i parametri caratteristici dell'impianto solare nel caso in cui vengano installati 6 collettori. Nella figura 7.67 si vede graficamente la differenza tra il fabbisogno dell'abitazione e l'energia erogata dal sistema solare utilizzando 6 collettori e si può notare come in questo modo si riesce a coprire maggiormente il carico rispetto al caso precedente, anche se nei mesi da maggio ad ottobre, proprio nel periodo in cui il carico termico è relativo solo alla ACS, si verifica un eccesso di energia prodotta rispetto a quella richiesta dall'abitazione e quindi bisogna prevedere l'installazione di un dissipatore termico.

	CARICO TOTALE RICHIESTO			Frazione Solare	ENERGIA utile (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	3746,33	0,2	0,08	0,07	243,94
FEBBRAIO	3046,98	0,22	0,11	0,09	280,92
MARZO	2623,03	0,28	0,16	0,14	374,2
APRILE	1807,27	0,38	0,23	0,21	366,35
MAGGIO	262,42	2,61	1,71	0,99	260,91
GIUGNO	253,95	2,49	1,77	1	253,95
LUGLIO	262,42	2,39	1,82	1	262,42
AGOSTO	262,42	2,39	1,76	1	262,42
SETTEMBRE	253,95	2,45	1,61	0,96	244,1
OTTOBRE	262,42	2,57	1,41	0,87	228
NOVEMBRE	1927,28	0,36	0,15	0,12	238,93
DICEMBRE	3344,79	0,22	0,08	0,07	228,78
Totale	18053,24			F= 18%	3245

Tabella 7.59 Valori caratteristici dell'impianto solare termico _N=2collettori_BARCELLONA

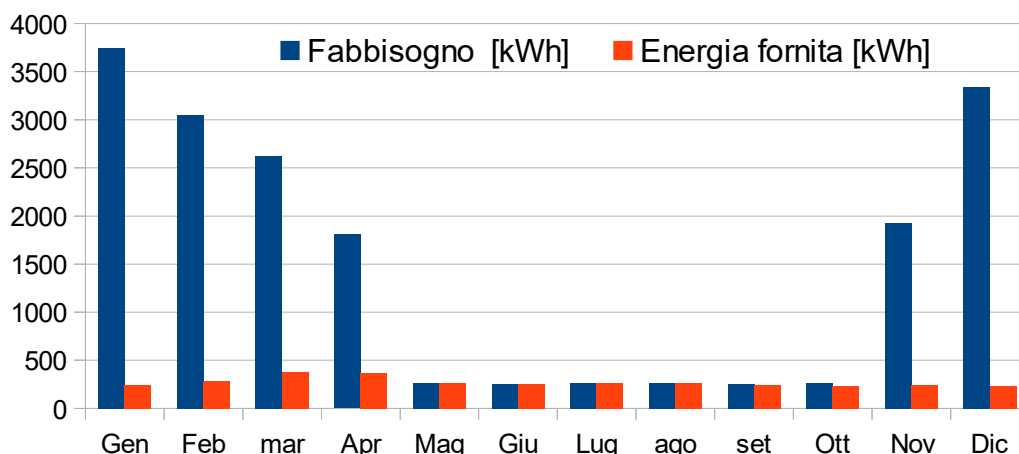


Figura 7.65 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare_ N=2 collettori_BARCELLONA

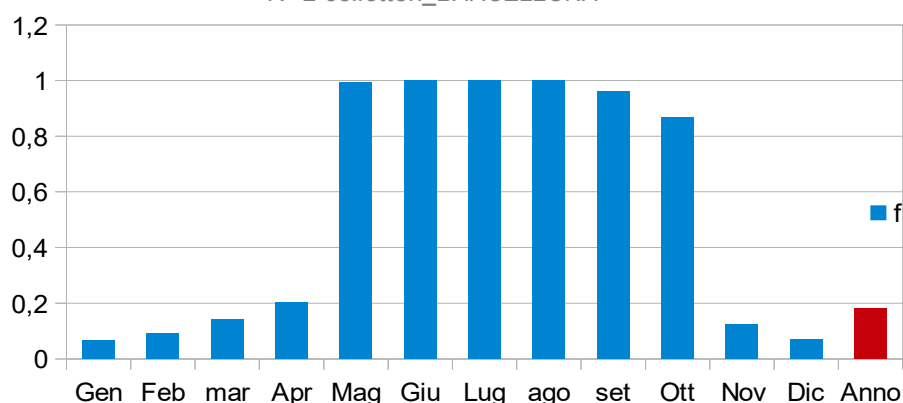


Figura 7.66 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_ N=2collettori_Metodo della Carta-f_BARCELLONA

	CARICO TOTALE RICHiesto		Frazione Solare		ENERGIA utile (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	Q _u = f·L [kWh]
GENNAIO	3746,33	0,45	0,23	0,2	735,3
FEBBRAIO	3046,98	0,49	0,32	0,27	826,1
MARZO	2623,03	0,63	0,49	0,4	1061,74
APRILE	1807,27	0,87	0,7	0,55	999,33
MAGGIO	262,42	5,95	5,14	1,41	262,42
GIUGNO	253,95	5,68	5,32	1,47	253,95
LUGLIO	262,42	5,46	5,45	1,51	262,42
AGOSTO	262,42	5,45	5,28	1,47	262,42
SETTEMBRE	253,95	5,59	4,82	1,37	253,95
OTTOBRE	262,42	5,87	4,23	1,28	262,42
NOVEMBRE	1927,28	0,82	0,44	0,36	691,24
DICEMBRE	3344,79	0,5	0,25	0,21	689,47
Totale	18053,24			F= 36,3%	6560,74

Tabella 7.60 Valori caratteristici dell'impianto solare termico_ N=6 collettori_BARCELLONA

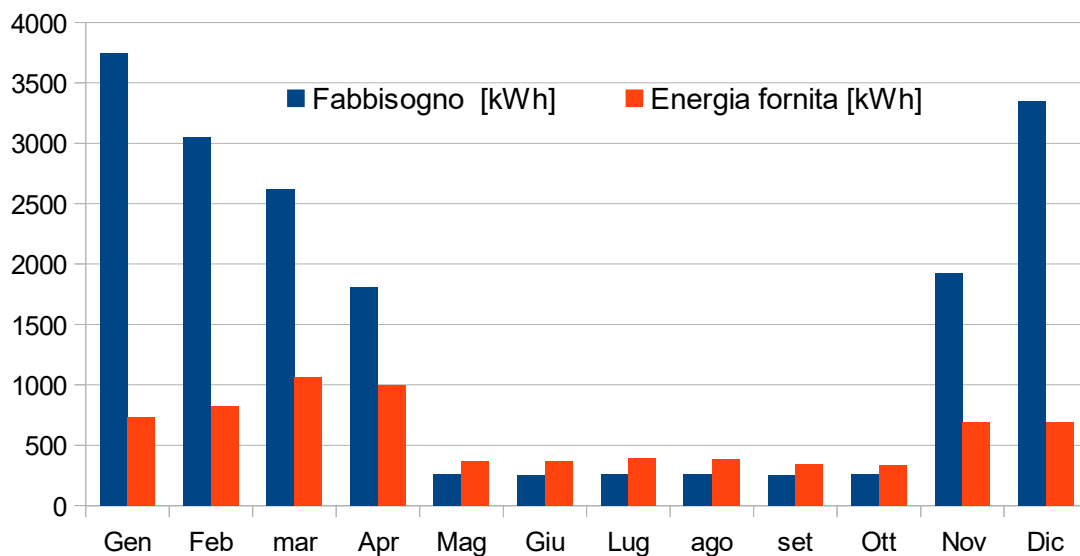


Figura 7.67 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare_ N=6 collettori_BARCELLONA

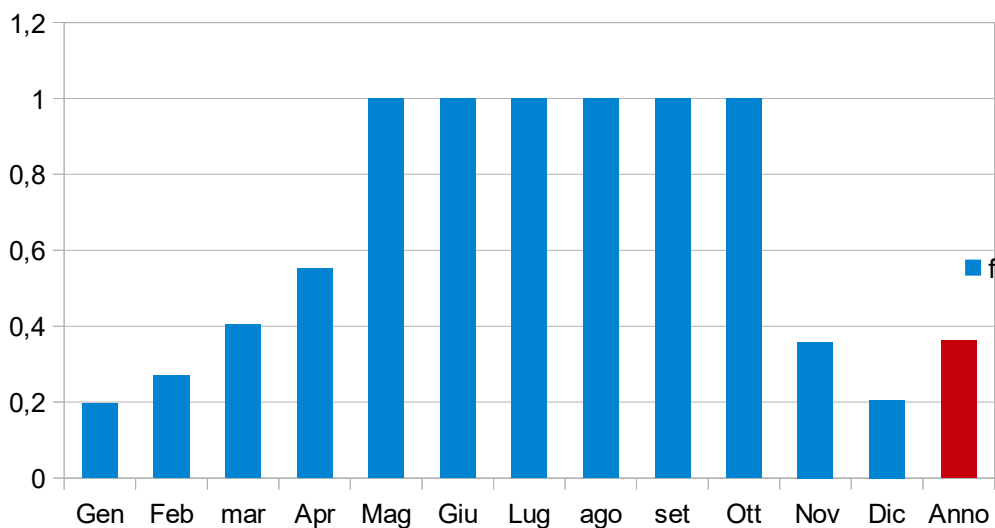


Figura 7.68 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_ N=2collettori_Metodo della Carta-f_BARCELLONA

b) Simulazione per variazione inclinazione collettori

Precedentemente la simulazione del sistema solare è fatta considerando un valore di inclinazione dei collettori pari alla latitudine della città di Barcellona ($Lat=41^\circ$); adesso si vede qual'è l'effetto di una variazione dell'inclinazione dei collettori considerando i collettori disposti orizzontalmente e verticalmente oltre che valori di angoli pari alla latitudine aumentata e diminuita di 20° .

Così nella tabella 7.63 viene mostrato come varia la radiazione solare incidente su collettore e il valore del prodotto trasmissione-assorbimento al variare dell'angolo di inclinazione.

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO			
<i>Inclinazione</i>	1) $Lat - 20^\circ$	β_1	21°
	2) $Lat + 20^\circ$	β_2	61°
		β_3	0°
		β_4	90°
<i>Azimut</i>	γ		0°
<i>Area</i>	A_{ref}		2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0		0,79
<i>Coeff. di perdita</i>	a1		4,04 W / (m ² K)
	a2		0,02 W / (m ² K)

Tabella 7.61 Caratteristiche del collettore solare termico

	TEMPERATURA media mensile	ACS	RISCALDAMENTO	
	T_a [°C]	Carico [kWh]	DD [°C]	Carico [kWh]
GENNAIO	8,8	450,3	198,76	3483,6
FEBBRAIO	9,5	406,7	160,3	2809,7
MARZO	11,1	449,8	134,7	2360,6
APRILE	12,8	435,4	88,6	1553,3
MAGGIO	16	449,8	0	0
GIUGNO	19,7	435,4	0	0
LUGLIO	22,9	449,8	0	0
AGOSTO	23	449,8	0	0
SETTEMBRE	21	435,4	0	0
OTTOBRE	17,1	449,8	0	0
NOVEMBRE	12,5	435,4	95,4	1673,3
DICEMBRE	9,6	449,85	175,8	3082,4
Totale	15,4	5297,5	853,7	14963

Tabella 7.62. Valori di temperatura [3] della località e carichi dell'abitazione

	RADIAZIONE SOLARE su collettore							
	$\beta_1 = 21^\circ$		$\beta_2 = 61^\circ$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,1}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,2}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,3}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,4}$ [MJ/m ²]
<i>GENNAIO</i>	0,9	11,7	0,97	15,58	0,71	7,63	0,95	14,33
<i>FEBBRAIO</i>	0,91	15,3	0,95	18,47	0,82	11,05	0,92	15,87
<i>MARZO</i>	0,92	20,27	0,93	21,06	0,86	16,67	0,86	16,24
<i>APRILE</i>	0,93	21,46	0,91	18,94	0,9	19,58	0,78	12,38
<i>MAGGIO</i>	0,94	24,48	0,88	18,86	0,91	23,97	0,71	10,4
<i>GIUGNO</i>	0,94	26,24	0,86	18,75	0,92	26,57	0,64	9,25
<i>LUGLIO</i>	0,94	26,49	0,85	19,47	0,92	26,38	0,67	9,94
<i>AGOSTO</i>	0,94	24,19	0,89	20,12	0,91	22,68	0,73	12,17
<i>SETTEMBRE</i>	0,93	20,41	0,93	19,98	0,89	17,39	0,84	14,5
<i>OTTOBRE</i>	0,91	16,56	0,94	18,83	0,85	12,71	0,9	15,59
<i>NOVEMBRE</i>	0,9	12,17	0,96	15,66	0,77	8,28	0,94	14,11
<i>DICEMBRE</i>	0,89	10,83	0,97	15,01	0,71	6,73	0,96	14,04
<i>Totale</i>		19,2		18,4		16,7		13,2

Tabella 7.63 Valori di radiazione solare [4] per diversi angoli inclinazione collettore

RISULTATI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO SOLARE TERMICO - Barcellona:

BARCELONA - RISCALDAMENTO + ACS							
$\beta = 0^\circ$							
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,0089	0,01776	0,0265	0,0438	0,052	0,102
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,0217	0,04301	0,064	0,105	0,125	0,238
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,0488	0,09607	0,1419	0,2292	0,271	0,492
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,0863	0,16814	0,2456	0,3881	0,453	0,768
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6409	1	1,1711	1,2613	1,352	7,857
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,71	1,08128	1,2323	1,3465	1,546	12,2
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7097	1,08347	1,2376	1,3528	1,547	11,95
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,614	0,97617	1,1571	1,2566	1,316	6,247
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,4664	0,78402	0,9824	1,1402	1,159	2,3
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,3176	0,56108	0,7406	0,9488	0,998	1,164
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,0225	0,04466	0,0664	0,1085	0,129	0,243
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,008	0,01599	0,0239	0,0395	0,047	0,092

 Tabella 7.64 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _BARCELONA

BARCELLONA - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta = (Lat - 20^\circ)$								
A_c (m²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,0234	0,046	0,0692	0,0915	0,11341	0,13498	0,2569
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,0367	0,073	0,1076	0,1418	0,17518	0,20774	0,3866
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,0659	0,129	0,19	0,2484	0,30434	0,35793	0,633
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,0997	0,194	0,2819	0,3647	0,44223	0,51468	0,8525
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6678	1	1,1937	1,2461	1,28753	1,41519	9,4306
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,7128	1,084	1,2343	1,2831	1,35056	1,55677	12,429
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7224	1,097	1,2468	1,2968	1,37082	1,59286	12,98
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,6673	1	1,2048	1,2621	1,30334	1,42216	9,0072
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,5674	0,918	1,1066	1,1881	1,2173	1,24918	4,5691
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,4534	0,764	0,9599	1	1,11892	1,13783	2,1612
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,0467	0,092	0,1357	0,178	0,21893	0,25849	0,4683
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,0235	0,047	0,0694	0,0917	0,11372	0,1353	0,257
	F	0,094	0,16	0,209	0,24	0,274	0,308	0,48

Tabella 7.65 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=25^\circ$ _BARCELLONA

BARCELLONA - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta = 61^\circ = (Lat + 20^\circ)$								
A_c (m²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,03512	0,0718	0,1084	0,1445	0,18002	0,2149	0,410516
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,04674	0,0948	0,1421	0,1885	0,23387	0,2781	0,519281
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,06828	0,1371	0,2039	0,2685	0,33069	0,3905	0,700246
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,08205	0,1644	0,2438	0,3198	0,39219	0,4611	0,802934
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,4845	0,8267	1	1,1565	1,21345	1,2471	3,039836
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,47346	0,8127	1	1,1505	1,21215	1,2464	2,769888
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,4906	0,8367	1	1,1729	1,23235	1,2676	3,035195
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,52911	0,8876	1	1,2092	1,26111	1,3016	3,916211
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,54297	0,9047	1	1,2176	1,26662	1,3114	4,359438
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,51581	0,8685	1	1,1878	1,23903	1,2766	3,719367
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,06589	0,1333	0,1989	0,2624	0,32364	0,3825	0,686825
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,03789	0,0775	0,1169	0,1557	0,19384	0,2312	0,439274

Tabella 7.66 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=65^\circ$ _BARCELLONA

BARCELONA - RISCALDAMENTO + ACS								
$\beta = 90^\circ$								
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	27,6
gennaio	<i>f</i>	0,0323	0,064	0,0949	0,1253	0,155	0,184	0,3454
febbraio	<i>f</i>	0,039	0,077	0,1141	0,1502	0,1855	0,22	0,4077
marzo	<i>f</i>	0,0473	0,0932	0,1377	0,1808	0,2226	0,263	0,4792
aprile	<i>f</i>	0,0422	0,0832	0,123	0,1615	0,1988	0,235	0,428
maggio	<i>f</i>	0,2012	0,3692	0,5072	0,6186	0,7068	0,775	0,95
giugno	<i>f</i>	0,1507	0,2815	0,3941	0,4902	0,5715	0,64	0,8668
luglio	<i>f</i>	0,1805	0,3341	0,4634	0,5706	0,6582	0,729	0,9235
agosto	<i>f</i>	0,2572	0,4646	0,6278	0,7524	0,8441	0,908	1,0328
settembre	<i>f</i>	0,3673	0,6392	0,8306	0,9562	1	1	1,3639
ottobre	<i>f</i>	0,4214	0,7184	0,9134	1	1	1	1,7901
novembre	<i>f</i>	0,0589	0,1155	0,17	0,2224	0,2726	0,321	0,5698
dicembre	<i>f</i>	0,0358	0,0708	0,105	0,1384	0,171	0,203	0,378
	F	0,06	0,114	0,163	0,206	0,245	0,28	0,466

 Tabella 7.67 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=90^\circ$ _BARCELONA

$A_c = 6,9 m^2$	
β	F
0	0,16
21	0,21
41	0,23
61	0,23
90	0,163

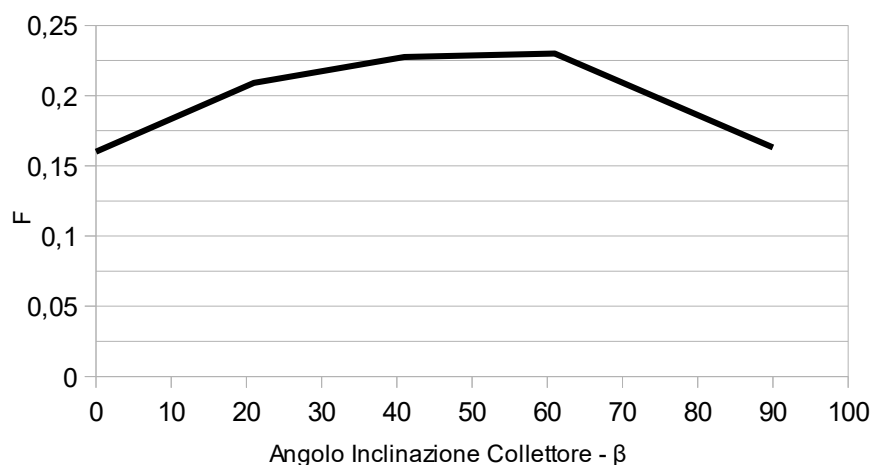


Figura 7.69 Andamento della frazione solare annua F in funzione dell'inclinazione del collettore

Dalla tabella 7.66 si vede come usando una superficie di **6,9 m²**, cioè utilizzando 3 collettori piuttosto che 2, con $\beta=(\text{Lat}+20^\circ)$ aumenta il valore della frazione solare annua: si ottiene **F=23 %** senza che la frazione solare mensile *f* sia maggiore di 1. In questo modo si favorisce la produzione nel periodo invernale, come è possibile osservare nella figura 7.70, in particolare nei mesi di Gennaio-febbraio-novembre-dicembre, in cui è maggiore il fabbisogno termico dell'edificio. Così nella tabella 7.68.b e nella figura 7.70 i valori riportati si riferiscono all'area di **6,9 m²**, in modo da vedere come varia la producibilità dell'impianto al variare dell'angolo di inclinazione. Invece nella figura 7.70 è riportato l'andamento del valore del fattore di copertura solare annuale al

variare dell'angolo di inclinazione del collettore, per $A_c=6,9 \text{ m}^2$, nel caso di produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento.

Se si considerano le altre soluzioni di diversa inclinazione del collettore rispetto a $\beta=(\text{Lat}+20^\circ)$ si ottengono più bassi valori della frazione solare. Anche se, come si può osservare dalla tabella 7.67 si può osservare, per $\beta=90^\circ$ usando una superficie di **13,8 m²** collettori si arriva a **F=28%** senza necessità di dissipare calore.

Anche qui volendo ottenere dei valori del fattore di copertura solare mensile ed annuale più alti si può usare una superficie di **13,8 m²**, anche se sarà necessario dissipare energia in corrispondenza del periodo estivo, in cui la richiesta di energia è relativa solo all'ACS, come mostrato in figura 7.68.a.

Nelle tabelle 7.68.a e 7.68.b vengono riportati i valori di produzione del sistema solare per angoli diversi da $\beta=\text{Lat}$, riferiti rispettivamente alla superficie di collettori pari a 13,8 m² e 6,9 m², da tenere conto successivamente nella valutazione economica dell'impianto.

BARCELONA		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat = 41°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	f	Q _u = f·L [kWh]	f	Q _u = f·L [kWh]	f	Q _u = f·L [kWh]	f	Q _u = f·L [kWh]
GENNAIO	3746,33	0,13	505,68	0,22	805,23	0,05	196,27	0,18	689,4
FEBBRAIO	3046,98	0,21	632,96	0,28	847,31	0,12	380,86	0,22	669,89
MARZO	2623,03	0,36	938,86	0,39	1024,3	0,27	710,27	0,26	689,97
APRILE	1807,27	0,51	930,16	0,46	833,24	0,45	819,25	0,24	424,62
MAGGIO	262,42	1,42	262,42	1,25	262,42	1,35	262,42	0,78	203,35
GIUGNO	253,95	1,56	253,95	1,25	253,95	1,55	253,95	0,64	162,44
LUGLIO	262,42	1,59	262,42	1,27	262,42	1,55	262,42	0,73	191,2
AGOSTO	262,42	1,42	262,42	1,3	262,42	1,32	262,42	0,91	238,37
SETTEMBRE	253,95	1,25	253,95	1,31	253,95	1,16	253,95	1	253,95
OTTOBRE	262,42	1,14	262,42	1,28	262,42	1	262,42	1	262,42
NOVEMBRE	1927,28	0,26	498,18	0,38	737,19	0,13	248,52	0,32	618,42
DICEMBRE	3344,79	0,14	452,56	0,23	773,48	0,05	157,92	0,2	678,47
Totale	18053,2	F=30,8%	5552,2	F=36,4%	6578,3	F=23 %	4070,1	F=28%	5082,5

Tabella 7.68.a Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diverse inclinazioni per N=6 collettori

BARCELONA		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat = 41°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA	Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	3746,33	0,07	259,14	0,11	406,1	0,03	99,37	0,1	355,67
FEBBRAIO	3046,98	0,11	327,89	0,14	433,1	0,06	195,05	0,11	347,61
MARZO	2623,03	0,2	498,46	0,2	534,84	0,14	372,19	0,14	361,14
APRILE	1807,27	0,28	509,44	0,24	440,65	0,25	443,94	0,12	222,25
MAGGIO	262,42	1,19	313,25	1	262,42	1,17	307,31	0,51	133,1
GIUGNO	253,95	1,23	253,95	1	253,95	1,23	253,95	0,39	100,1
LUGLIO	262,42	1,25	262,42	1	262,42	1,24	262,42	0,46	121,59
AGOSTO	262,42	1,2	316,15	1	262,42	1,16	303,63	0,63	164,74
SETTEMBRE	253,95	1,1	281	1	253,95	0,98	249,48	0,83	210,94
OTTOBRE	262,42	0,96	251,9	1	262,42	0,74	194,35	0,91	239,68
NOVEMBRE	1927,28	0,14	261,46	0,2	383,38	0,07	127,88	0,17	327,67
DICEMBRE	3344,79	0,07	232,11	0,12	390,94	0,02	79,89	0,11	351,25
Totale	18053,2	F=20,9%	3767,19	F=23%	4146,53	F= 16%	2889,45	F=16,3%	2935,74

Tabella 7.68.b Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diverse inclinazioni per N=3 collettori

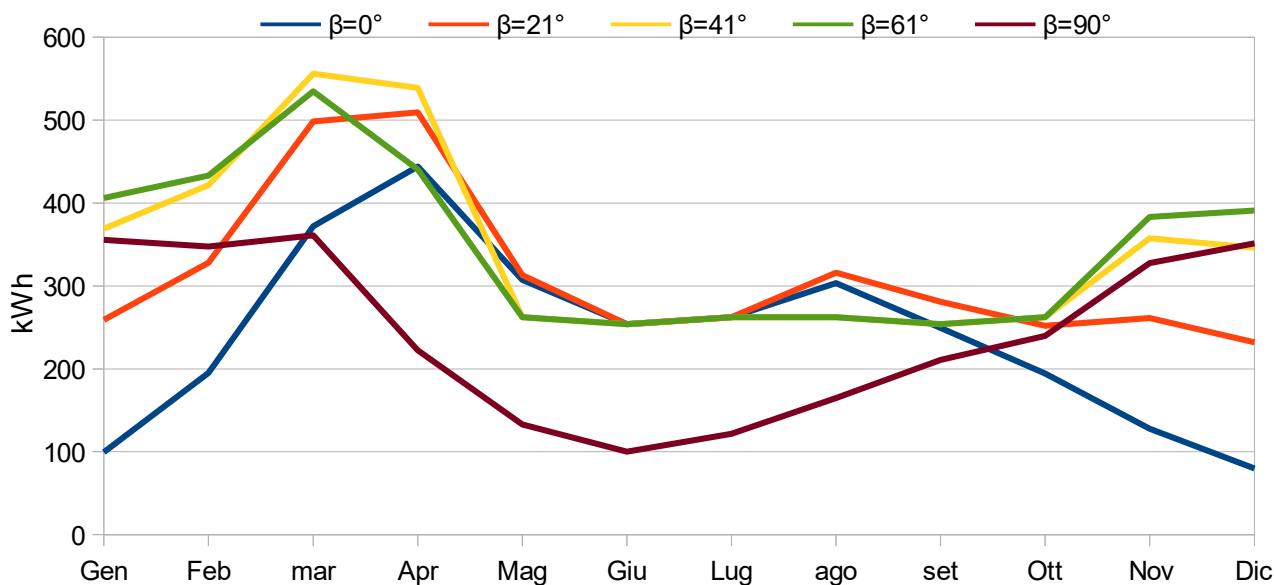


Figura 7.70 Producibilità dell'impianto nei vari mesi dell'anno al variare dell'angolo di inclinazione del collettore, per N=3 collettori _ BARCELONA

2. SIMULAZIONE IMPIANTO PER PRODUZIONE *solo* ACS

In questa parte si prende in considerazione solo il carico termico relativo all'acqua calda sanitaria ACS richiesta, tralasciando, rispetto a quanto fatto in precedenza, il carico di riscaldamento dell'abitazione.

Quindi di seguito vengono presi in considerazione i dati necessari al metodo di calcolo della frazione solare dell'impianto nel caso questo serva solo alla produzione di ACS.

COLLETTORE SOLARE PIANO - VETRATO		
<i>Inclinazione</i>	β	41°
<i>Azimut</i>	γ	0°
<i>Area</i>	A_{ref}	2,3 m ²
<i>Efficienza ottica</i>	η_0	0,79
<i>Coeff. Di perdita</i>	a_1	4,04 W / (m ² K)
	a_2	0,02 W / (m ² K)
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Area totale</i>	A_{ref}^{tot}	4,6 m²

Tabella 7.69 Caratteristiche del collettore solare termico

SERBATOIO DI ACCUMULO		
<i>Area collettore</i>	A_c	2,3 m ²
<i>Numero collettori</i>	N	2
<i>Capacità</i>	V	276 L

Tabella 7.70 Valore capacità serbatoio di accumulo

	<i>TEMPERATURA media mensile</i>	<i>RADIAZIONE SOLARE su piano</i>		ACS
	T_a [°C]	<i>inclinato</i>	<i>orizzontale</i>	Carico [kWh]
		H_T [MJ/m ²]	H_h [MJ/m ²]	
<i>GENNAIO</i>	8,8	14,44	7,63	262,66
<i>FEBBRAIO</i>	9,5	17,86	11,05	237,25
<i>MARZO</i>	11,1	21,24	16,67	262,42
<i>APRILE</i>	12,8	21,78	19,58	253,95
<i>MAGGIO</i>	16	22,68	23,97	262,42
<i>GIUGNO</i>	19,7	23,47	26,57	253,95
<i>LUGLIO</i>	22,9	24,05	26,38	262,42
<i>AGOSTO</i>	23	23,29	22,68	262,42
<i>SETTEMBRE</i>	21	21,28	17,39	253,95
<i>OTTOBRE</i>	17,1	18,68	12,71	262,42
<i>NOVEMBRE</i>	12,5	14,72	8,28	253,95
<i>DICEMBRE</i>	9,6	13,68	6,73	262,42
<i>Totale</i>	15,37	19,76	16,68	3090,21

Tabella 7.71 Valori di temperatura [3] e radiazione solare [4] per BARCELLONA e carico per ACS

RISULTATI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO SOLARE TERMICO - Barcellona:

a) VARIAZIONE DELLA FRAZIONE SOLARE AL VARIARE DELLA SUPERFICIE COLLETTORI:

BARCELONA – sola ACS					
$\beta = 41^\circ = (Lat)$					
	A_c (m²)	2,3	4,6	6,9	9,2
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,391	0,69475	0,9048	1,0386
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,49	0,83255	1,0413	1,1525
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,582	0,94988	1,1444	1,2304
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,598	0,96922	1,1613	1,2443
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,618	0,99427	1,1837	1,2636
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,642	1	1,2088	1,2857
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,659	1	1,2275	1,3029
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,641	1	1,2124	1,2915
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,589	0,96123	1,1615	1,2525
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,516	0,86897	1,0792	1,1881
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,404	0,71391	0,9262	1,0596
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,37	0,66325	0,8717	1,0092
	F	0,54	0,8875	0,97	1

Tabella 7.72 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=Lat$ _solo ACS_ BARCELONA

Nc	Ac	F
0	0	0
1	2,3	0,5569
2	4,6	0,888
3	6,9	0,9698
4	9,2	0,997

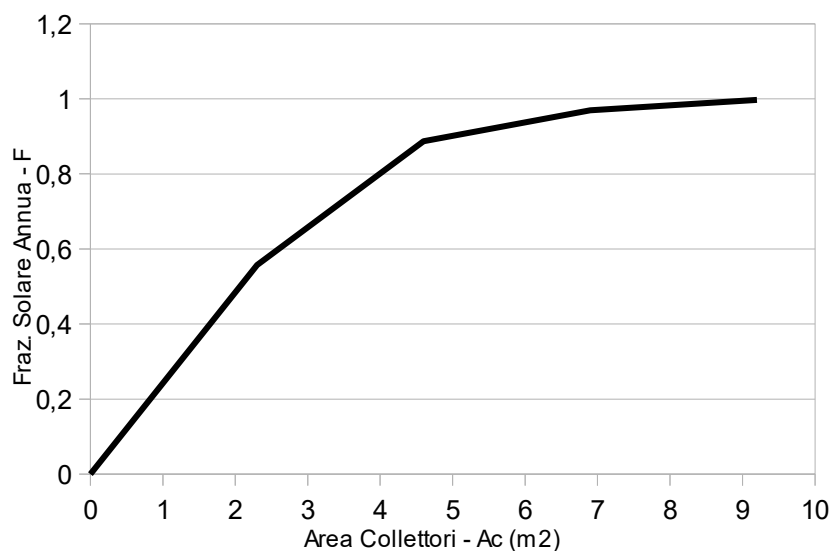


Figura 7.71. Fattore di copertura solare in funzione dell'area dei collettori

Per il dimensionamento dell'impianto solare-termico per la produzione di sola ACS, installato a Barcellona, osservando i valori della tabella 7.72, vengono scelti 2 collettori per una superficie totale pari a **4,6 m²**, in modo che la frazione solare mensile non superi il valore unitario e quindi per non avere surplus di energia generata. In questo caso ottenendo dei fattori di copertura abbastanza elevati non è conveniente usare superfici maggiori dissipando però il calore in eccesso. Infatti nella figura 7.72 si può osservare come usando 2 collettori l'impianto è in grado di coprire molto il fabbisogno termico dell'abitazione.

Così di seguito vengono riportati i parametri caratteristici del sistema solare scelto.

	CARICO TOTALE RICHiesto			Frazione Solare	ENERGIA (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]	X	Y	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	262,66	2,83	1,1	0,69	182,48
FEBBRAIO	237,25	2,81	1,36	0,83	197,52
MARZO	262,42	2,76	1,62	0,95	249,26
APRILE	253,95	2,71	1,66	0,97	246,13
MAGGIO	262,42	2,61	1,71	0,99	260,91
GIUGNO	253,95	2,49	1,77	1	253,95
LUGLIO	262,42	2,39	1,82	1	262,42
AGOSTO	262,42	2,39	1,76	1	262,42
SETTEMBRE	253,95	2,45	1,61	0,96	244,1
OTTOBRE	262,42	2,57	1,41	0,87	228,03
NOVEMBRE	253,95	2,72	1,12	0,71	181,29
DICEMBRE	262,42	2,81	1,04	0,66	174,05
Totale	3090,21			F = 88,8 %	2742

Tabella 7.73 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto_per sola ACS

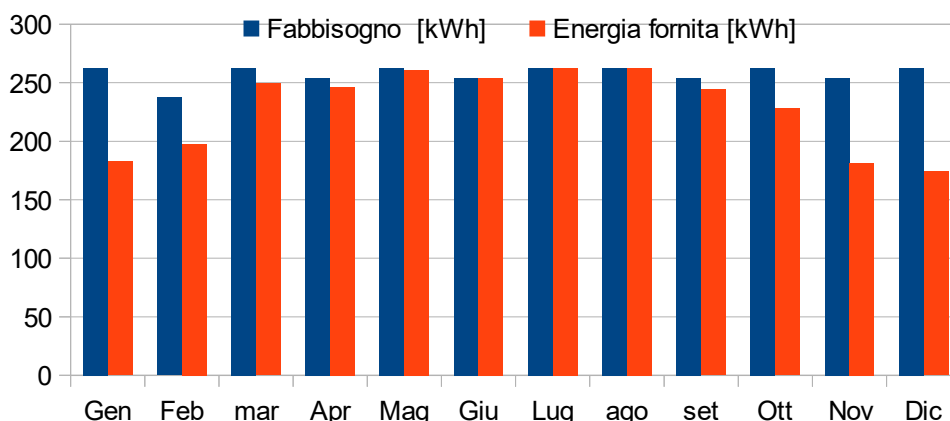


Figura 7.72 Andamento mensile del fabbisogno rispetto all'energia fornita dall'impianto solare-termico

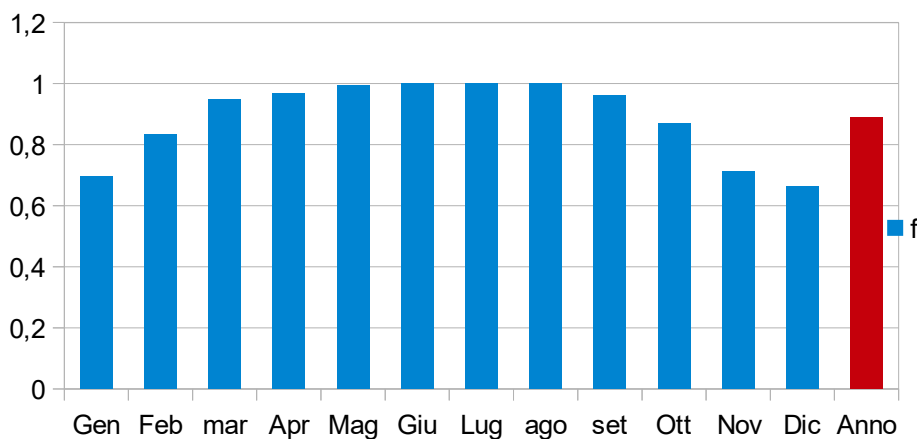


Figura 7.73 Andamento del Fattore di copertura solare Mensile e Annuale_soloACS – BARCELLONA

- I risultati sulla simulazione della producibilità dell'impianto solare-termico di Barcellona sono stati ottenuti considerando un valore di IAM = 0,96 costante per tutti i mesi (valore dato per angolo di incidenza a 50°); nel caso in cui si vuole considerare che il valore di questo fattore vari mese per mese e quindi effettuando il **calcolo del rapporto $(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$ a seconda dell'angolo di incidenza della radiazione solare sul collettore** nella tabella 7.74 si riportano i risultati ottenuti, anche per poter vedere come varia la producibilità e quindi la prestazione del sistema, riferiti sempre alla superficie di 4,6m².

	CARICO TOTALE RICHIESTO	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$			Frazione Solare	ENERGIA utile (dal solare) PRODOTTA
	L [kWh]		X	Y	f	Q _u = f·L [kWh]
GENNAIO	262,66	0,96	2,83	1,1	0,7	183,09
FEBBRAIO	237,25	0,95	2,81	1,35	0,83	196,38
MARZO	262,42	0,94	2,76	1,59	0,94	246,46
APRILE	253,95	0,93	2,71	1,61	0,95	241,65
MAGGIO	262,42	0,92	2,61	1,66	0,97	255,69
GIUGNO	253,95	0,91	2,49	1,7	0,99	253,39
LUGLIO	262,42	0,91	2,39	1,75	1	262,42
AGOSTO	262,42	0,93	2,39	1,72	1	262,42
SETTEMBRE	253,95	0,94	2,45	1,59	0,96	242,55
OTTOBRE	262,42	0,95	2,57	1,42	0,87	228,17
NOVEMBRE	253,95	0,95	2,72	1,12	0,71	180,23
DICEMBRE	262,42	0,97	2,81	1,05	0,67	174,8
Totale	3090,21				F = 88,3%	2727,25

Tabella 7.74 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per variazione di $(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$ per sola ACS

Quindi si può osservare come, rispetto ai risultati della simulazione precedente dell'impianto, per produzione di sola ACS, considerando un valore non costante di $(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$, il valore del fattore di copertura solare non varia molto: c'è una differenza del 0,05% .

b) VARIAZIONE DELLA FRAZIONE SOLARE AL VARIARE DELL'ANGOLO INCLINAZIONE COLLETTORE

Nel caso in cui si considerano diversi valori dell'angolo di inclinazione del collettore solare nella tabella 7.75 si vede come di conseguenza varia la radiazione solare e il prodotto trasmissione-assorbimento.

	RADIAZIONE SOLARE su collettore							
	$\beta_1 = 21^\circ$		$\beta_2 = 61^\circ$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,1}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,2}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,3}$ [MJ/m ²]	$(\tau\alpha/\tau\alpha)_n$	$H_{T,4}$ [MJ/m ²]
GENNAIO	0,9	11,7	0,97	15,58	0,71	7,63	0,95	14,33
FEBBRAIO	0,91	15,3	0,95	18,47	0,82	11,05	0,92	15,87
MARZO	0,92	20,27	0,93	21,06	0,86	16,67	0,86	16,24
APRILE	0,93	21,46	0,91	18,94	0,9	19,58	0,78	12,38
MAGGIO	0,94	24,48	0,88	18,86	0,91	23,97	0,71	10,4
GIUGNO	0,94	26,24	0,86	18,75	0,92	26,57	0,64	9,25
LUGLIO	0,94	26,49	0,85	19,47	0,92	26,38	0,67	9,94
AGOSTO	0,94	24,19	0,89	20,12	0,91	22,68	0,73	12,17
SETTEMBRE	0,93	20,41	0,93	19,98	0,89	17,39	0,84	14,5
OTTOBRE	0,91	16,56	0,94	18,83	0,85	12,71	0,9	15,59
NOVEMBRE	0,9	12,17	0,96	15,66	0,77	8,28	0,94	14,11
DICEMBRE	0,89	10,83	0,97	15,01	0,71	6,73	0,96	14,04
Totale		19,2		18,4		16,7		13,2

Tabella 7.75 Valori di radiazione solare [4] per diversi angoli inclinazione collettore – BARCELLONA

I risultati ottenuti dalla simulazione, nel caso di produzione di sola ACS, sono riportati di seguito:

BARCELLONA - solo ACS							
$\beta = 0^\circ$							
	A_c (m ²)	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
<i>gennaio</i>	<i>f</i>	0,1203	0,2268	0,3207	0,4032	0,4755	0,5391
<i>febbraio</i>	<i>f</i>	0,2532	0,4556	0,6132	0,7322	0,8187	0,8787
<i>marzo</i>	<i>f</i>	0,4234	0,719	0,9105	1	1	1
<i>aprile</i>	<i>f</i>	0,5216	0,8548	1	1,1319	1,1635	1,1824
<i>maggio</i>	<i>f</i>	0,6409	1	1,1711	1,229	1,2613	1,3524
<i>giugno</i>	<i>f</i>	0,71	1	1,2323	1,2813	1,3465	1,5464
<i>luglio</i>	<i>f</i>	0,7097	1	1,2376	1,2886	1,3528	1,5465
<i>agosto</i>	<i>f</i>	0,614	0,9762	1,1571	1,2271	1,2566	1,3161
<i>settembre</i>	<i>f</i>	0,4664	0,784	0,9824	1	1,1402	1,1591
<i>ottobre</i>	<i>f</i>	0,3176	0,5611	0,7406	0,8665	0,9488	0,9978
<i>novembre</i>	<i>f</i>	0,1606	0,2985	0,4156	0,5142	0,5964	0,6642
<i>dicembre</i>	<i>f</i>	0,0977	0,1859	0,2656	0,3375	0,4026	0,4617

Tabella 7.76 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=0^\circ$ _BARCELLONA

BARCELLONA – sola ACS						BARCELLONA – sola ACS					
$\beta = 21^\circ = (Lat - 20^\circ)$						$\beta = 61^\circ = (Lat + 20^\circ)$					
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2
gennaio	<i>f</i>	0,2995	0,53044	0,7021	0,824	gennaio	<i>f</i>	0,42859	0,7483	0,95959	1,08589
febbraio	<i>f</i>	0,40951	0,69837	0,8883	1	febbraio	<i>f</i>	0,50232	0,8487	1,05611	1,16392
marzo	<i>f</i>	0,54949	0,88995	1,0736	1,1526	marzo	<i>f</i>	0,56252	0,9256	1,12442	1,216
aprile	<i>f</i>	0,58974	0,94087	1,1183	1,1871	aprile	<i>f</i>	0,49613	0,8414	1,05137	1,16302
maggio	<i>f</i>	0,66787	1	1,1938	1,2461	maggio	<i>f</i>	0,4845	0,8267	1	1,15648
giugno	<i>f</i>	0,71304	1,0843	1,2345	1,2832	giugno	<i>f</i>	0,47346	0,8127	1	1,15053
luglio	<i>f</i>	0,72271	1,0967	1,247	1,297	luglio	<i>f</i>	0,4906	0,8367	1	1,17294
agosto	<i>f</i>	0,66752	1	1,2049	1,2622	agosto	<i>f</i>	0,52911	0,8876	1	1,20922
settembre	<i>f</i>	0,56745	0,91802	1,1066	1,1881	settembre	<i>f</i>	0,54297	0,9047	1	1,2176
ottobre	<i>f</i>	0,45326	0,76389	0,9598	1	ottobre	<i>f</i>	0,51581	0,8685	1	1,18781
novembre	<i>f</i>	0,31849	0,56133	0,7392	0,8627	novembre	<i>f</i>	0,43243	0,7543	0,96726	1,09486
dicembre	<i>f</i>	0,27122	0,48507	0,6488	0,7696	dicembre	<i>f</i>	0,41568	0,73	0,94151	1,07101
	F	0,52	0,816	0,911	0,954		F	0,489	0,832	0,989	1

Tabella 7.77 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=21^\circ$ e per $\beta=61^\circ$ _BARCELLONA

BARCELLONA - solo ACS							
$\beta = 90^\circ$							
A_c (m ²)		2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8
gennaio	<i>f</i>	0,4007	0,6852	0,8742	0,988	1,0473	1,0725
febbraio	<i>f</i>	0,4317	0,7304	0,9213	1	1,0812	1,1008
marzo	<i>f</i>	0,4119	0,7024	0,8934	1	1,0642	1,0879
aprile	<i>f</i>	0,2739	0,4901	0,6557	0,778	0,8641	0,9212
maggio	<i>f</i>	0,2012	0,3692	0,5072	0,6186	0,7068	0,7749
giugno	<i>f</i>	0,1507	0,2815	0,3941	0,4902	0,5715	0,6397
luglio	<i>f</i>	0,1805	0,3341	0,4634	0,5706	0,6582	0,7286
agosto	<i>f</i>	0,2572	0,4646	0,6278	0,7524	0,8441	0,9084
settembre	<i>f</i>	0,3673	0,6392	0,8306	0,9562	1	1,0691
ottobre	<i>f</i>	0,4214	0,7184	0,9134	1	1,0874	1,1115
novembre	<i>f</i>	0,3934	0,6758	0,866	0,9832	1,0464	1,0746
dicembre	<i>f</i>	0,3979	0,6814	0,8705	0,9853	1,0457	1,0717

Tabella 7.78 Valori della frazione solare mensile al variare dell'area dei collettori per $\beta=90^\circ$ _BARCELLONA

Dalle tabelle precedenti e dalla figura 7.74 si evince che, nel caso di produzione di sola ACS, l'inclinazione del collettore che permette di ottenere il maggiore valore della frazione solare annua ($F=89\%$) è quella pari alla latitudine del sito di installazione e dunque rappresenta la soluzione migliore con una superficie totale pari a **4,6 m²**.

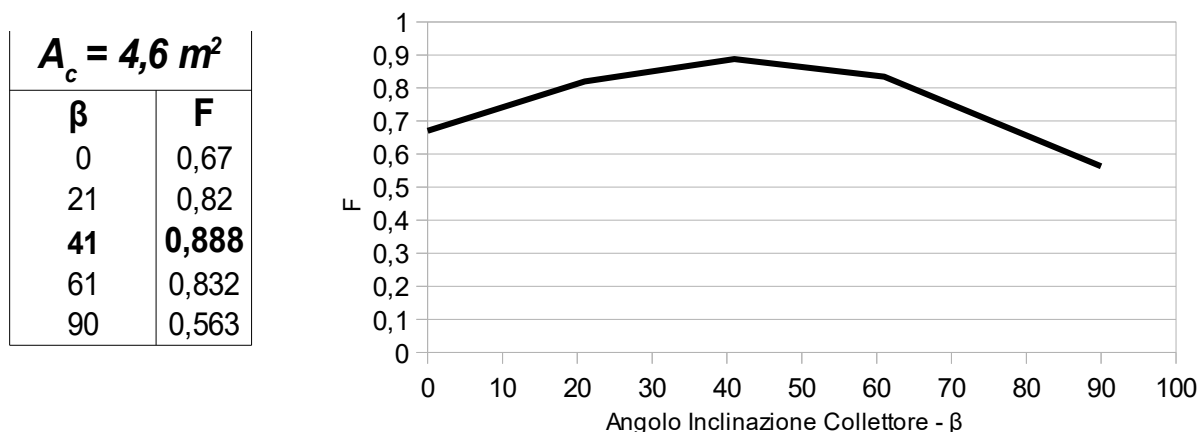


Figura 7.74 Andamento della frazione solare annua F in funzione dell'inclinazione del collettore

BARCELLONA		$\beta_1 = (\text{Lat.} - 20^\circ)$		$\beta_2 = (\text{Lat.} + 20^\circ)$		$\beta_3 = 0^\circ$		$\beta_4 = 90^\circ$	
Lat.41°	CARICO TOTALE RICHIESTO	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)	Frazione Solare	ENERGIA utile PRODOTTA (dal solare)
	L [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]	f	$Q_u = f \cdot L$ [kWh]
GENNAIO	262,66	0,53	139,33	0,75	196,54	0,23	59,57	0,67	179,98
FEBBRAIO	237,25	0,7	165,7	0,85	201,35	0,46	108,1	0,73	173,28
MARZO	262,42	0,89	233,54	0,93	242,91	0,72	188,67	0,7	184,32
APRILE	253,95	0,94	238,94	0,84	213,68	0,85	217,1	0,49	124,46
MAGGIO	262,42	1	262,42	0,83	216,95	1	262,42	0,37	96,88
GIUGNO	253,95	1,1	253,95	0,81	206,38	1,1	253,95	0,28	71,48
LUGLIO	262,42	1,1	262,42	0,84	219,57	1,1	262,42	0,33	87,68
AGOSTO	262,42	1	262,42	0,89	232,93	0,98	256,16	0,46	121,91
SETTEMBRE	253,95	0,92	233,13	0,91	229,76	0,78	199,1	0,64	162,33
OTTOBRE	262,42	0,76	200,45	0,87	227,91	0,56	147,24	0,72	188,51
NOVEMBRE	253,95	0,56	142,55	0,75	191,55	0,29	75,79	0,67	171,61
DICEMBRE	262,42	0,48	127,3	0,73	191,58	0,19	48,78	0,68	178,82
Totale	3090,2	F=82%	2522,1	F=83%	2571,1	F=67%	2080,1	F=56%	1741,3

Tabella 7.79 Valori della frazione solare e dell'energia prodotta dall'impianto per diversi valori dell'angolo di inclinazione dei collettori_BARCELLONA

Per quanto riguarda le soluzioni di piano orizzontale e verticale per ottenere più o meno lo stesso valore della frazione solare è necessario aumentare la superficie dei collettori: bisogna usare più del doppio dei collettori, ma aumentando la superficie si può arrivare ad avere un surplus di energia prodotta rispetto a quella richiesta nel periodo estivo con $\beta=0^\circ$ o nel periodo invernale con $\beta=90^\circ$; con questi due angoli i valori di F sono più bassi rispetto a quelli ottenibili utilizzando gli

altri angoli presi in considerazione, quindi queste non rappresentano delle situazioni di installazioni favorevoli dal punto di vista energetico. Ciò è possibile vederlo nella figura 7.74 in cui si riportano i risultati della simulazione dell'impianto solare-termico riferiti alla superficie dei collettori pari a **4,6 m²**.

Così la tabella 7.79 riassume i valori della frazione solare e della producibilità dell'impianto, ottenuti per diversi angoli di inclinazione del collettore, riferiti alla superficie di **4,6 m²**.

Nella seguente figura 7.75 si osserva come aumentando l'inclinazione del collettore di 20°, rispetto all'inclinazione iniziale pari alla latitudine della località in cui viene installato il sistema solare, si aumenta la producibilità nel periodo invernale, in particolar modo nei mesi di Gennaio, Febbraio, Novembre e Dicembre. Ma nel caso di produzione di sola ACS non è favorevole privilegiare la producibilità del sistema nel periodo invernale o estivo, in quanto il fabbisogno di ACS è circa costante nel corso dell'anno, non dipende tanto dalle condizioni climatiche esterne, piuttosto dal numero di persone che vivono in casa e dunque dal fabbisogno giornaliero di acqua calda richiesto da questi.

Dunque la soluzione di installazione con angolo di inclinazione del collettore pari alla latitudine della località - $\beta = \text{Lat}$ - rimane quella che permette di avere una producibilità più uniforme nel corso dell'anno rispetto alle altre, oltre che più alta.

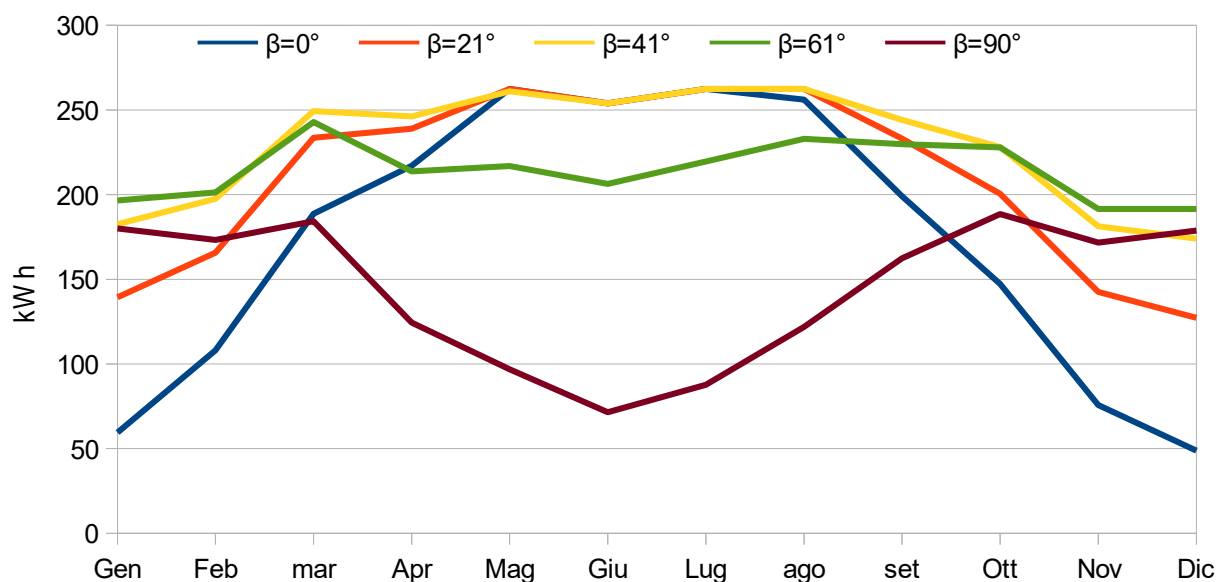


Figura 7.75 Producibilità dell'impianto, per produzione di sola ACS, per i vari mesi dell'anno, al variare dell'angolo di inclinazione del collettore, BARCELLONA

7.3.3 Risultati NORMA UNI EN 15316-4-3

Nella seguente tabella, invece, vengono riportati i risultati ottenuti con il metodo di calcolo della norma UNI EN 15316-4-3, per l'impianto solare di BARCELLONA, nel caso di produzione di sola ACS:

		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	ANNO
Fabbisogno ACS	[L]	8060	7280	8060	7800	8060	7800	8060	8060	7800	8060	7800	8060	94900
Temp.media mese	$\theta_{e,avg}$ [°C]	8,8	9,5	11,1	12,8	16	19,7	22,9	23	21	17,1	12,5	9,6	15,4
Diff. Temperatura riferimento	ΔT [°C]	84,7	83,1	79,4	75,4	68	59,4	52	51,76	56,4	65,5	76,1	82,8	
Fattore correttivo Vol.Acc	f_{st}	1,05												
Coeff.Dispersione Tubi	$U_{loop,p}$ [W/m²K]	7,33												
Coeff.Dispersione Circuito	U_{loop} [W/m²K]	6,34												
Fattore efficienza circuito	η_{loop}	0,9												
Modificatore Angolo d'Incidenza	IAM	0,96												
Lunghezza mese	t_m [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	
Irradiazione med. solare	I_m [W/m²]	167,1	206,7	245,8	252,1	262,5	271,7	278,3	269,6	246,3	216,3	170,4	159,3	
Fabbisogno di energia	$Q_{sol,us,m}$ [kWh]	275,5	248,9	275,5	266,6	275,5	266,6	275,5	275,5	266,6	275,5	266,6	275,5	3244
Parametro X		6,43	6,3	6,02	5,72	5,16	4,51	3,95	3,93	4,28	4,69	5,78	6,29	
Parametro Y		1,44	1,78	2,12	2,17	2,26	2,34	2,4	2,32	2,12	1,86	1,47	1,37	
Energia dal solare	$Q_{sol,out,m}$ [kWh]	191,4	208,8	264,2	263,1	275,5	266,6	275,5	275,5	266,6	255,6	196,1	183,3	2922
Fattore di copertura solare	f_{sol}	0,69	0,84	0,96	0,97	1	1	1	1	1	0,93	0,74	0,67	F=90%

Tabella 7.80 Valori caratteristici dell'impianto solare-termico, per produzione di ACS - calcolo secondo UNI EN15316-4-3 -

Come detto in precedenza, questo metodo di calcolo, che è comunque basato sul metodo della carta-f, utilizza direttamente i valori dei parametri della curva di efficienza del collettore, riferita alla temperatura media ridotta $T^* = (T_{av} - T_a) / G_T$, (dove T_{av} è la media aritmetica tra le temperature di ingresso e di uscita del fluido dal collettore), e quindi ricavati secondo la UNI EN 12975-2.

Invece nel metodo della carta-f i valori della curva di efficienza sono riferiti alla temperatura ridotta $T^* = (T_i - T_a) / G_T$ (con T_i temperatura d'ingresso del fluido termovettore nel collettore); inoltre i calcoli effettuati con il metodo della carta-f possono essere modificati per stimare le variazioni delle prestazioni a lungo termine date dai cambiamenti nella capacità del serbatoio di accumulo (X_c) e per le caratteristiche dello scambiatore di calore (Y_c). Invece nel metodo di calcolo della norma si usa un fattore correttivo f_{st} del volume del serbatoio di accumulo in funzione di un valore standard, inoltre si utilizzano dei coefficienti di dispersione U_{loop} del circuito solare e dei relativi tubi, in funzione dell'area dei collettori e dei coefficiente di perdita del collettore stesso. Oltre che questo metodo della norma il calcolo del fabbisogno termico mensile per la produzione di ACS tiene conto delle dispersioni della rete di distribuzione di ACS con il fattore FP.

Quindi cambia anche il calcolo dei parametri adimensionali X ed Y. Dunque la differenza dei risultati ottenuti con i metodi di calcolo secondo la carta-f (F=88,8%) e la norma UNI EN15316 (F=90%) per la determinazione del fattore di copertura solare dell'impianto è di un 2%.

7.4 CONFRONTO RISULTATI SIMULAZIONE DELL'IMPIANTO NELLE TRE DIVERSE CITTA'

Di seguito si fa un confronto dei risultati ottenuti dalle simulazioni dell'impianto solare-termico installato nelle tre diverse città considerate fin ora.

7.4.1 SIMULAZIONE IMPIANTO PER PRODUZIONE COMBINATA: RISCALDAMENTO + ACS

Nella figura 7.76 si fa un confronto dei valori del fattore di copertura annuali ottenuti variando il numero dei collettori N_c , e quindi variando la superficie dei collettori A_c , nel caso in cui il sistema viene dimensionato per il riscaldamento e la produzione di ACS per l'abitazione.

RISCALDAMENTO + ACS				
$\beta = Lat.$				
	<i>Lat.</i>	41°	38°	45°
N_c	$A_c (m^2)$	BARCELLONA	PALERMO	MILANO
0	0	0	0	0
1	2,3	0,1	0,173	0,047
2	4,6	0,18	0,283	0,08
3	6,9	0,23	0,337	0,111
4	9,2	0,276	0,381	0,125
5	11,5	0,32	0,422	0,145
6	13,8	0,363	0,461	0,164

Tabella 7.81 Valori della frazione solare ottenuti al variare dell'area dei collettori, per le tre diverse città_RISCALDAMENTO + ACS

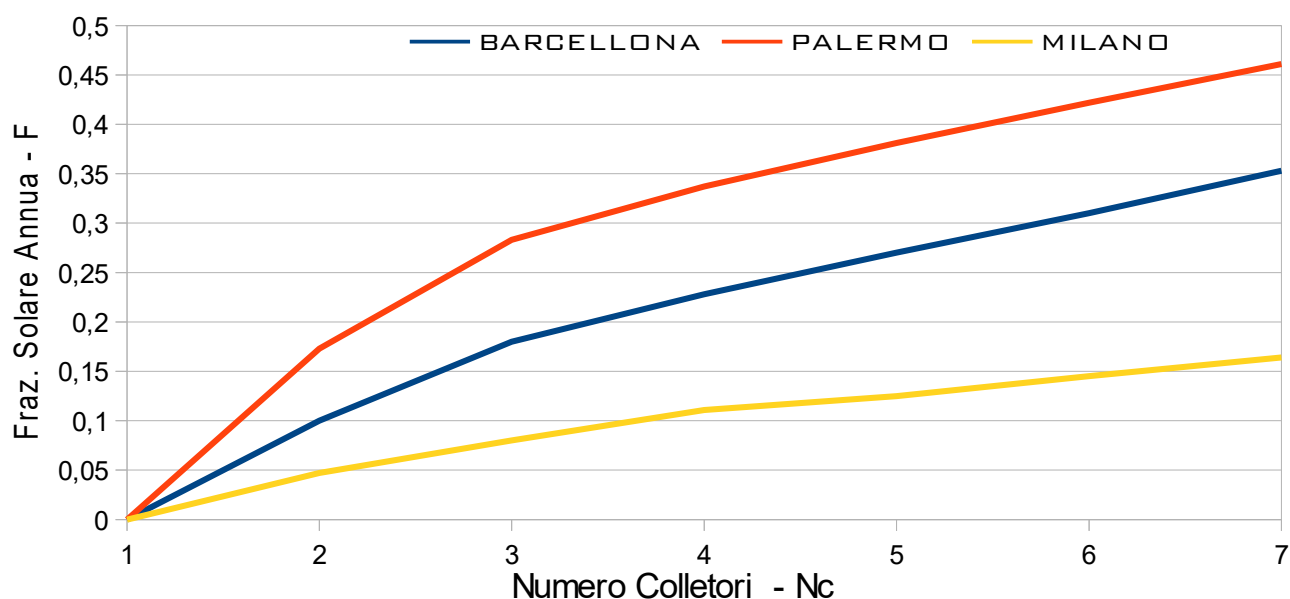


Figura 7.76 Fattore di copertura solare in funzione dell'area dei collettori per le tre diverse città_RISCALDAMENTO + ACS

Così si vede come con l'impianto installato nella città di Palermo si ottengono i valori maggiori del fattore di copertura annuale rispetto alle installazioni nelle città di Barcellona e Milano. Questo principalmente perchè, essendo più breve il periodo di riscaldamento, l'impianto a Palermo deve affrontare un carico minore rispetto alle installazioni nelle altre due città.

In particolar modo si è visto come con l'impianto di Palermo si può ottenere un valore di frazione solare annuale maggiore rispetto agli altri due usando un numero inferiori di collettori; dunque installare un tale tipo di sistema nel sud Italia risulta abbastanza vantaggioso, dal punto di vista energetico, dovuto anche alle condizioni meteorologiche e disponibilità della fonte solare favorevoli durante tutto l'anno.

7.4.2 SIMULAZIONE IMPIANTO PER PRODUZIONE DI sola ACS

Nella figura 7.77 vengono messi a confronto i valori del fattore di copertura annuali ottenuti variando il numero dei collettori N_c , e quindi variando la superficie A_c , nel caso in cui il sistema viene dimensionato per la produzione di ACS per l'abitazione.

solo ACS				
$\beta = Lat.$				
Lat.		41°	38°	45°
N_c	$A_c (m^2)$	BARCELLONA	PALERMO	MILANO
0	0	0	0	0
1	2,3	0,557	0,564	0,458
2	4,6	0,888	0,874	0,748
3	6,9	0,9698	0,955	0,849
4	9,2	0,997	0,987	0,895

Tabella 7.82 Valori della frazione solare ottenuti al variare dell'area dei collettori, per le tre diverse città_solo ACS

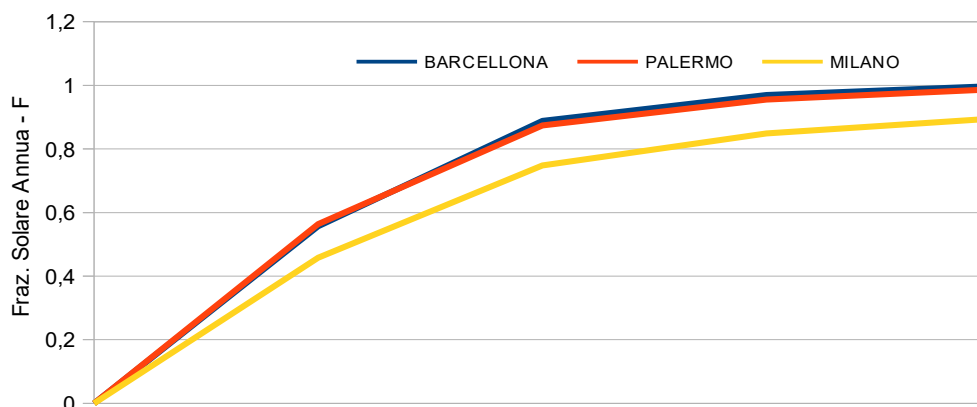


Figura 7.77 Fattore di copertura solare in funzione dell'area dei collettori per le tre diverse città_solo ACS

Dunque, nel caso di impianto solare-termico adibito alla produzione di sola ACS si può osservare dalla figura 7.77 come l'andamento del fattore di copertura annuale per installazione nella città di Barcellona sia abbastanza simile a quello di Palermo; invece con il sistema solare installato a Milano si ottengono i valori minori rispetto ai precedenti sistemi, a parità di fabbisogno di ACS dell'abitazione, dovuto alla minore intensità di radiazione incidente su collettore annualmente rispetto alle altre due installazioni considerate.

Solo ACS				
$A_c = 4,6 m^2$				
β	$A_c (m^2)$	BARCELLONA	PALERMO	MILANO
0	0	0,67	0,697	0,574
Lat - 20°	2,3	0,82	0,81	0,72
Lat	4,6	0,888	0,874	0,748
Lat + 20°	6,9	0,834	0,84	0,69
90°	9,2	0,563	0,54	0,458

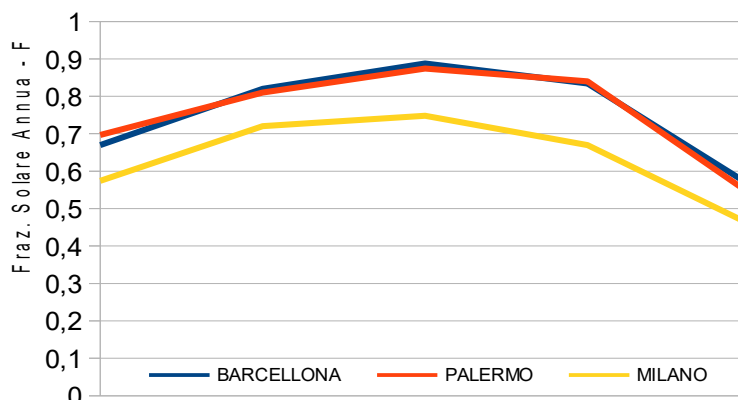


Figura 7.78 Fattore di copertura solare in funzione dell'inclinazione collettore

Nella figura 7.78 si sono messi a confronto i valori del fattore di copertura solare ottenuti per diversi angoli di inclinazione del collettore, per data area, nelle tre città considerate. Anche in questo caso l'impianto di Milano presenta i valori minori; l'andamento dei valori per l'installazione a Palermo e Barcellona sono simili, anche se il primo presenta un valore del fattore di copertura leggermente maggiore per $\beta=0^\circ$ e leggermente minore per $\beta=90^\circ$ rispetto al secondo.

7.5 VALUTAZIONE ECONOMICA IMPIANTO SOLARE

In precedenza si è fatta una valutazione dal punto di vista energetico del sistema e mostrato come la prestazione termica a lungo termine può essere stimata in termini di parametri di progettazione dei componenti. Inoltre con questo studio si vuole essere in grado di valutare il valore di un processo solare in termini economici.

Data la prestazione, abbiamo bisogno di metodi per fare le valutazioni economiche. I processi solari sono generalmente caratterizzati da costo elevato prima e bassi costi operativi. Così il problema economico di base è quello di confrontare un investimento iniziale noto con futuri costi operativi stimati.

La maggior parte dei processi di energia solare richiedono una ausiliaria fonte di energia (come la caldaia-sistema convenzionale) in modo che il sistema, che comprende sia impianti solari che quello convenzionale, possa soddisfare i carichi annuali dell'edificio. In sostanza, un impianto ad energia solare viene realizzato oggi per ridurre la bolletta del carburante di domani.

Si fanno valutazioni economiche, focalizzandoci sul **Metodo di risparmio del ciclo di vita**, in cui si tiene conto del valore temporale del denaro e dei costi del combustibile.

La combinazione di solare termico e caldaia a gas è la soluzione più diffusa per la produzione dell'acqua calda sanitaria nel settore residenziale. Per la singola utenza, infatti, l'impianto solare termico è tipicamente affiancato all'utilizzo di una caldaia individuale alimentata a gas metano. Per la valutazione di costi e risparmi che questa soluzione è in grado di generare per l'utente finale, il primo parametro da determinare è il **costo dell'impianto solare**, considerando il suo valore "chiavi in mano", dipendente da un insieme di variabili, tra cui: il tipo di collettori scelti, la complessità impiantistica, le dimensioni dell'impianto.

In linea di massima, il costo dei materiali (pannelli, serbatoio, ecc.) rappresenta la fetta più onerosa, incidendo per circa il 70% sul costo totale. Il restante è dovuto all'installazione dell'impianto (circa il 25%) e alle eventuali spese di trasporto e di progettazione (il rimanente 5%). La complessità dell'installazione è uno dei fattori che più influisce sul prezzo finale, e che avvantaggia i sistemi a circolazione naturale rispetto a quelli a circolazione forzata.

I prezzi unitari (per m² installato) dei pannelli solari diminuiscono all'aumentare della superficie installata. Questo perché anche il solare termico, alla pari delle altre tecnologie rinnovabili, beneficia dell'economia di scala; ***il risparmio economico è particolarmente evidente nel caso dei grandi impianti e delle installazioni condominiali di una certa dimensione.***

L'investimento - I - per l'acquisto e l'installazione di impianti di energia solare è un fattore importante per l'economia di processi solari. Questo include il prezzo alla consegna di attrezzature come collettori, serbatoio di accumulo, pompe, il controller, tubi e condotti, scambiatori di calore, e tutti le altre apparecchiature associate all'impianto solare.

Allora, come è possibile vedere nelle tabelle 7.83.a e 7.83.b, a seconda che il sistema venga dimensionato per produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento o solo per produrre ACS l'investimento iniziale da fare cambierà: a seconda dei due casi, come visto nei precedenti paragrafi, variano le superfici utilizzate quindi le dimensioni del serbatoio di accumulo; inoltre nel caso di produzione combinata bisogna prevedere un costo supplementare, che si stima intorno a € 800, dovuto alla differenza della complessità impiantistica tra i due casi, inerente principalmente al sistema di distribuzione e di regolazione.

Inoltre, come espresso nei paragrafi precedenti sull'analisi energetica dell'impianto, nel caso di dimensionamento per produzione combinata bisogna tenere conto di un possibile costo aggiuntivo, che si stima essere intorno a € 75, riguardante l'uso di un dissipatore termico qualora si dimensiona il sistema in modo da coprire maggiormente il carico di riscaldamento e si verifica un eccesso di calore prodotto rispetto a quello richiesto, da dovere smaltire.

I **costi di installazione** di impianti solari possono essere visualizzati come la somma di due termini, uno proporzionale alla superficie del collettore e l'altro indipendente superficie del collettore:

$$C_S = C_A A_C + C_E \quad (7.5.1)$$

dove C_S = costo totale di installazione dell'impianto ad energia solare (€)

C_A = spese dipendenti dalle aree totali dei collettori (€/ m²)

A_C = superficie collettori (m²)

C_E = costo totale degli accessori che è indipendente dalla superficie del collettore (€)

I costi dipendenti dall'area del collettore C_A comprendono elementi quali l'acquisto e l'installazione del collettore e una parte dei costi di stoccaggio.

I **costi operativi** associati a un processo solare, che sono continui, comprendono il costo di energia ausiliaria, i costi energetici per il funzionamento delle pompe, le imposte immobiliari in più imposte sulla base del valore aggiunto stimato di un edificio o di un impianto, spese per interessi su capitali a prestito per l'acquisto di attrezzature.

Intuitivamente, il risparmio energetico, quindi economico, è tanto maggiore quanto più obsoleta è la fonte energetica che viene sostituita. Ad esempio, se l'impianto solare sostituisce parte dei consumi (elevati) di uno scaldabagno elettrico o di una caldaia a metano, il risparmio economico rispetto allo scenario base (cioè senza impianto solare) risulterà molto consistente.

D'altra parte, la quota di fabbisogno che viene coperta dall'impianto convenzionale continuerà negli anni a pesare in bolletta; per questo motivo, la soluzione più economica consiste nell'integrazione tra l'impianto solare e una caldaia a gas .

Così bisogna tenere conto del valore del combustibile risparmiato con l'uso di impianti solari rispetto all'uso degli impianti convenzionali per la produzione degli stessi beni.

Il **tempo di ritorno (TR)** è il parametro economico più semplice che possiamo utilizzare per valutare la bontà di un investimento. Calcolando il tempo di ritorno di un investimento possiamo stimare in quanti anni il costo del nostro impianto si ripagherà grazie ai risparmi di combustibili ottenuti. Quindi può essere visto come *il tempo necessario che l'investimento totale iniziale, per realizzare l'impianto solare-termico, eguagli i risparmi di carburante cumulativi*, nell'arco dell'intero ciclo di vita dell'impianto, che si suppone essere di 20 anni.

Il modo comune per calcolare questo tempo di ritorno è senza scontare il risparmio di carburante. Così, considerando il caso in cui il risparmio di carburante non sia scontato, il **combustibile risparmiato nell'anno j** è dato da :

$$(F L) \cdot C_{FI} \cdot (1+i_F)^{(j-1)}$$

dove :

- **(F L)** è l'energia risparmiata;
- **C_{FI}** è il costo dell'energia unitaria fornita dal combustibile, nel primo anno (si considerano valori medi del mercato italiano, per Palermo e Milano, e di quello spagnolo, per Barcellona, legati al consumo al m³ di metano): è il prodotto del PCI del metano per l'efficienza di una caldaia convenzionale a gas (valore medio $\eta=85\%$);
- **i_F** è il tasso di inflazione del costo del combustibile.

Sommando questi contributi per il tempo di ammortamento TR e comparandolo C_S all'investimento iniziale I ,secondo la 61 , si ottiene che il risparmio di energia può essere quantificata tenendo conto della seguente relazione :

$$\sum_{(j-1)}^{(TR)} (F L) \cdot C_{FI} \cdot (1+i_F)^{(j-1)} = C_S = I \quad (7.5.2)$$

Sommando la serie geometrica:

$$C_S = (FL) \cdot C_{FI} \cdot \frac{[(1+i_F)^{TR} + 1]}{i_F} \quad (7.5.3)$$

Così che può essere calcolato il **Tempo di Ritorno** dell'investimento come:

$$TR = \frac{(\ln[\frac{(I \cdot i_F)}{(FL \cdot C_{FI})} + 1])}{(\ln(1+i_F))} \quad (7.5.4)$$

Adesso, facendo riferimento ai costi forniti dalla *Daikin* [6] sul sistema solare (i valori sono riferiti al kit solare con accumulatore di energia, con accessori inclusi: stazione solare e centralina di comando, elementi di montaggio e connessione collettori, tubi di collegamento), si prendono in considerazione i diversi costi dell'impianto solare termico al variare dell'area dei collettori, a seconda che questo serve per:

a) produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento

N_c	A_c (m ²)	Costo (€)
1	2,3	3880
2	4,6	5160
3	6,9	5943
4	9,2	6913
5	11,5	7750
6	13,8	8840

Tabella 7.83.a Costi sistema solare per ACS ed integrazione al riscaldamento

b) solo produzione di ACS

N_c	A_c (m ²)	Costo (€)
1	2,3	2730
2	4,6	3956
3	6,9	4790
4	9,2	5760

Tabella 7.83.b Costi sistema solare per ACS

Di seguito vengono riportate tabelle riguardanti la valutazione economica dei diversi impianti solari termici installati nelle tre diverse città considerate in precedenza, prendendo in esame le possibili soluzioni d'installazione evidenziate nei risultati ottenuti dalle simulazioni del sistema solare per variazione di superficie ed inclinazione dei collettori; in particolare vengono riportati gli investimenti, le quantità di energia risparmiata, quindi in funzione di questi viene determinato il tempo di ritorno dell'investimento fatto, distinguendo il caso in cui il sistema viene dimensionato per la produzione combinata (ACS ed integrazione al riscaldamento) e per produzione solo di ACS.

7.5.1 Impianto PALERMO

Nella tabella 7.84 inerente alla valutazione economica dell'impianto di Palermo, nel caso di produzione combinata si prendono in considerazione le soluzioni di installazione per $\beta=Lat$, da tabella 7.5 e 7.6, che si riferiscono al caso in cui il sistema solare riesce a coprire rispettivamente il 28% del carico termico, con 2 collettori senza necessità di dissipare calore, e il 46%, con 6 collettori con installazione di dissipatore termico per l'energia in eccesso. Considerando angoli di inclinazione diversi, nella tabella 7.12 si osserva che per $\beta=(Lat +20^\circ)$ utilizzando la superficie dei collettori pari a $6,9 \text{ m}^2$ si ottiene un $F=34,20\%$ (l'energia prodotta in questo caso è riportata in tabella 7.14) senza dovere dissipare calore, invece con $13,8 \text{ m}^2$ si ottiene $F=47\%$, con necessità di installare anche un dissipatore termico.

Nel caso di produzione di sola ACS si prende in considerazione, da tabella 7.21, la soluzione di installazione per $\beta=Lat$, utilizzando una superficie di collettori pari a $2,3 \text{ m}^2$, che permette di ottenere il maggiore valore del fattore di copertura solare ($F=87,4\%$).

Per l'installazione a Palermo, come è possibile vedere dalla seguente tabella 7.84, la soluzione economicamente conveniente risulta essere quella nel caso in cui l'impianto serva alla produzione di sola ACS: a parità di superficie considerata, nel caso in cui l'impianto serva alla produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento il tempo di ritorno dell'investimento è maggiore, dovuto al maggiore investimento iniziale da dovere sostenere.

Infatti nel caso in cui il sistema solare venga dimensionato per la produzione di sola acqua calda sanitaria ACS considerando un investimento di € 3956 il tempo di ritorno è di **8 anni**: la soluzione di installazione di 2 collettori con inclinazione pari alla latitudine della località risulta essere la più conveniente sia dal punto di vista energetico che economico.

Per quanto riguarda la produzione combinata risulta essere conveniente installare 3 collettori, per una superficie totale di $6,9 \text{ m}^2$, inclinati di 58° , cioè la soluzione di installazione con inclinazione $\beta=(Lat +20^\circ)$, che, considerando un investimento di € 5943, permette di ottenere un ritorno dell'investimento fatto in **9,2 anni**; oppure si può pensare di installare il doppio di collettori, cioè una superficie di $13,8 \text{ m}^2$, aumentando l'investimento iniziale a € 8915 ottenendo un tempo di ritorno di circa **10 anni**, permettendo di coprire maggiormente il fabbisogno termico dell'abitazione, anche se bisogna installare un dissipatore termico.

VALUTAZIONE ECONOMICA						
- Impianto Palermo -						
Costo combustibile	C_{F1}	0,95 €/m ³		0,118 €/kWh		
Inflazione	i_F	0,1				
		IMPIANTO SOLARE-TERMICO PER :				
		RISCALDAMENTO + ACS				ACS
		$\beta = Lat$	$\beta = (Lat + 20^\circ)$			$\beta = Lat$
Area collettori	A_c	4,6 m ²	13,8 m ²	6,9 m ²	13,8 m ²	4,6 m ²
Fraz. Solare	F	28,30%	46,00%	34,20%	47,00%	87,40%
Energia risparmiata (annualmente)	(F L)	2963,3 kWh	4829,6 kWh	3605,3 kWh	4912,8 kWh	2702 kWh
INVESTIMENTO	I	€ 5.160,00	€ 8.915,00	€ 5.943,00	€ 8.915,00	€ 3956
Tempo di Ritorno	TR	9,5 anni	9,9 anni	9,2 anni	9,8 anni	8 anni

Tabella 7.84 Valutazione economica dell'impianto installato a Palermo

7.5.2 Impianto MILANO

Nella tabella 7.85 inerente alla valutazione economica dell'impianto di Milano, nel caso di produzione combinata si prendono in considerazione le soluzioni di installazione per $\beta=Lat$, da tabella 7.31 e 7.32, che si riferiscono al caso in cui il sistema solare riesce a coprire rispettivamente l'8% del carico termico, con 2 collettori senza necessità di dissipare calore, e il 16,4%, con 6 collettori con installazione di dissipatore termico per l'energia in eccesso. Inoltre, considerando angoli di inclinazione diversi, nella tabella 7.40.a si osserva che, per $\beta=(Lat + 20^\circ)$ utilizzando una superficie di collettori pari a $6,9 \text{ m}^2$ si ottiene un $F=10,4\%$, senza dovere dissipare calore; per stessa inclinazione dei collettori ma con $13,8 \text{ m}^2$ il valore del fattore di copertura solare annuo aumenta a $F=16,4\%$, favorendo la producibilità nel periodo invernale anche se c'è la necessità di installare anche un dissipatore termico per dissipare l'energia in eccesso in estate. Ma utilizzando la stessa superficie, cioè 6 collettori, con $\beta=90^\circ$ è possibile ottenere un $F=13\%$ senza dovere dissipare energia, come è possibile vedere in tabella 7.40.b, in cui sono presenti i valori di frazione solare mensile ed annuale al variare dell'inclinazione del collettore riferiti alla superficie di $13,8 \text{ m}^2$.

Nel caso di produzione di sola ACS si prende in considerazione, da tabella 7.45, la soluzione di installazione per $\beta=Lat$, utilizzando una superficie di collettori pari a $2,3 \text{ m}^2$, che permette di ottenere il maggiore valore del fattore di copertura solare ($F=75\%$).

Nel caso in cui il sistema solare installato a Milano venga dimensionato per la produzione di sola acqua calda sanitaria ACS con un investimento di € 3956 il tempo di ritorno ottenibile è di **9,4 anni**, installando 2 collettori con inclinazione pari alla latitudine della località, che quindi risulta essere la più conveniente sia dal punto di vista energetico che economico.

Invece il tempo di ritorno dell'investimento fatto sull'impianto per produzione combinata risulta essere minore nella soluzione di installazione con superficie totale dei collettori pari a $13,8 \text{ m}^2$ con un'inclinazione $\beta=65^\circ=(Lat + 20^\circ)$, tenendo conto della maggiore energia risparmiata, quindi rappresenta la soluzione di installazione più conveniente per il sistema solare installato a Milano per produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento.

VALUTAZIONE ECONOMICA						
- Impianto Milano -						
Costo combustibile	C_{F1}	0,84 €/m ³				0,105 €/kWh
Inflazione	i_F	0,1				
		IMPIANTO SOLARE-TERMICO PER :				
		RISCALDAMENTO + ACS			ACS	
		$\beta = Lat$	$\beta = (Lat + 20^\circ)$	$\beta = 90^\circ$	$\beta = Lat$	
Area collettori	A_c	4,6 m ²	6,9 m ²	13,8 m ²	13,8 m ²	4,6 m ²
Fraz. Solare	F	8,00%	10,40%	16,40%	13,00%	75,00%
Energia risparmiata (annualmente)	(F L)	2647,9 kWh	3321,6 kWh	5224,6 kWh	4056 kWh	2310,5 kWh
INVESTIMENTO	I	€ 5.160,00	€ 5.943,00	€ 8.915,00	€ 8.840,00	€ 3956
Tempo di Ritorno	TR	11 anni	10,4 anni	10,2 anni	11,8 anni	9,4 anni

Tabella 7.85 Valutazione economica dell'impianto installato a Milano

7.5.3 Impianto BARCELLONA

Nella tabella 7.86 inerente alla valutazione economica dell'impianto di Milano, nel caso di produzione combinata si prende in considerazione la soluzione di installazione per $\beta=Lat$, da tabella 7.59 e 7.60, che si riferiscono al caso in cui il sistema solare riesce a coprire rispettivamente l'18% del carico termico, con 2 collettori senza necessità di dissipare calore, e il 36,3%, con 6 collettori con installazione di dissipatore termico per l'energia in eccesso. Inoltre, considerando angoli di inclinazione diversi, nella tabella 7.68.b si osserva che, per $\beta=(Lat + 20^\circ)$ utilizzando una superficie di collettori pari a $6,9 \text{ m}^2$ si ottiene un $F=23\%$, senza dovere dissipare calore, invece, da tabella 7.68.a, con $13,8 \text{ m}^2$ si ottiene $F=36,4\%$, favorendo la producibilità nel periodo invernale ma c'è la necessità di installare anche un dissipatore termico per eliminare l'energia in eccesso in estate. Ma utilizzando la stessa superficie, cioè 6 collettori, con $\beta=90^\circ$ è possibile ottenere un $F=13\%$ senza dovere dissipare energia, come è possibile vedere sempre in tabella 7.68.a.

Nel caso di produzione di sola ACS si prende in considerazione, da tabella 7.73, la soluzione di installazione per $\beta=Lat$, utilizzando una superficie di collettori pari a $2,3 \text{ m}^2$, che permette di ottenere il maggiore valore del fattore di copertura solare ($F=88,8\%$).

Nel caso in cui il sistema solare venga dimensionato per la produzione di sola acqua calda sanitaria ACS considerando un investimento di € 3956 il tempo di ritorno è di 8,2 anni, con la installazione di 2 collettori con inclinazione pari alla latitudine della località che quindi risulta essere la più conveniente sia dal punto di vista energetico che economico.

Invece il tempo di ritorno dell'investimento fatto sull'impianto per produzione combinata risulta essere minore nella soluzione di installazione con superficie totale dei collettori pari a $13,8 \text{ m}^2$ con un'inclinazione $\beta=65^\circ=(Lat + 20^\circ)$, tenendo conto della maggiore energia risparmiata, quindi rappresenta la soluzione di installazione più conveniente anche per il sistema solare installato a Barcellona per produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento.

VALUTAZIONE ECONOMICA							
- Impianto Barcellona -							
Costo combustibile	C_{F1}	0,85 €/m ³			0,106 €/kWh		
Inflazione	i_F	0,1					
		IMPIANTO SOLARE-TERMICO PER :					
		RISCALDAMENTO + ACS					ACS
		$\beta = Lat$	$\beta = (Lat + 20^\circ)$	$\beta = 90^\circ$	$\beta = Lat$		
Area collettori	A_c	4,6 m ²	13,8 m ²	6,9 m ²	13,8 m ²	13,8 m ²	4,6 m ²
Fraz.Solare	F	18,00%	36,30%	23,00%	36,40%	28,00%	88,80%
Energia risparmiata (annualmente)	(F L)	3245 kWh	6560,7 kWh	4146,5 kWh	6578,3 kWh	5082,5 kWh	2742,6 kWh
INVESTIMENTO	I	€ 5.160,00	€ 8.915,00	€ 5.943,00	€ 8.915,00	€ 8.840,00	€ 3956
Tempo di Ritorno	TR	9,6 anni	8,7 anni	9 anni	8,6 anni	10,2 anni	8,2 anni

Tabella 7.86 Valutazione economica dell'impianto installato a Barcellona

Da queste tabelle sulla valutazione economica, la prima conclusione interessante è che tutti i **valori del tempo di ritorno dell'investimento fatto sono inferiori ai 11 anni**, mentre il tempo di vita utile solitamente considerato plausibile per un impianto solare di buona qualità è di almeno 20 anni. Quindi usare questo tipo di tecnologia è conveniente per risparmiare energia, nel settore civile, dato che è possibile ottenere lo stesso effetto utile dei sistemi convenzionali senza ricorrere all'uso di combustibili.

E' possibile notare come nelle tre città considerate l'impianto dimensionato per la produzione combinata di ACS ed integrazione al riscaldamento il tempo di ritorno è maggiore rispetto al caso di sola produzione di ACS, dovuto al maggiore investimento da fare per maggiore complessità impiantistica.

Per quanto riguarda il **risparmio** è legato alla producibilità (output) dell'impianto, nonché ovviamente al costo del gas non consumato durante il periodo di funzionamento del sistema solare.

8. CONCLUSIONI

Con questo lavoro si sono effettuate delle simulazioni su un sistema solare termico, che si suppone essere installato a Palermo, Milano e Barcellona, prima considerando che questo sia destinato alla produzione combinata di acqua calda sanitaria ed integrazione al riscaldamento degli ambienti di un'abitazione; successivamente si considera il dimensionamento dell'impianto per soddisfare la sola richiesta di ACS dell'abitazione. In questo modo vengono fatte delle valutazioni su quale sia la soluzione più conveniente da adottare, sia dal punto di vista energetico che economico, considerando anche l'influenza che può avere una variazione dell'inclinazione dei collettori sulla producibilità del sistema stesso.

Considerando l'impianto solare installato nella città di Barcellona inizialmente si effettua la modellazione del sistema usando il software Omnilus, che effettuando dei calcoli transitori permette di fare delle simulazioni su base oraria, giornaliera e mensile; poi si applica il metodo della carta-f. Essendo Barcellona in fascia climatica 2 è necessario che il fattore di copertura solare annuo sia del 40%, secondo norma. Si è trovato che il sistema termico è in grado di convertire circa il 40% dell'energia solare disponibile in energia utile, per acqua calda sanitaria e il riscaldamento degli ambienti, utilizzando una superficie di collettori di circa 14 m² (sei collettori di 2,3 m²), con un volume di accumulo di 830L, ma in questo modo è necessario dissipare una parte dell'energia prodotta dall'impianto nei mesi estivi. Invece usando le soluzioni di installazione per $\beta=(\text{Lat} +20^\circ)$ con 6,9 m² si ottiene un $F=23\%$ e per $\beta=90^\circ$ con 13,8 m² si ottiene un $F=28\%$, in entrambi i casi senza necessità di dissipatore di calore.

Facendo riferimento agli sviluppi nei diversi mesi dell'anno, con diversi livelli di energia solare, si può vedere come il sistema solare sia in grado di coprire le esigenze dell'utenza solo nei mesi da maggio ad ottobre, proprio nei mesi in cui c'è la sola richiesta di acqua calda sanitaria, in cui la frazione solare è pari a 1 (il dimensionamento dell'impianto è effettuato in modo che il valore del fattore di copertura mensile, nel periodo estivo, non superi il valore unitario).

Usando il software Omnilus, dall'andamento annuale della disponibilità di energia solare, dell'energia erogata dal sistema e quella richiesta dall'abitazione (indicate rispettivamente con Q_{sol} , Q_{SYS} , Q_{dem}) è stato possibile vedere come in alcuni mesi vi è una grande differenza tra l'energia ricevuta e quella fornita dal sistema, ma questo è sufficiente per soddisfare la domanda nei mesi da maggio a ottobre (questo può anche essere visto dall'andamento della frazione solare f annua); in inverno tuttavia il sistema non può soddisfare completamente la domanda allora sarà necessario fare ricorso ad un sistema ausiliario, ad esempio una caldaia.

Dall'andamento di temperatura media nell'accumulo T_{sav} nei vari mesi dell'anno, si può osservare che per ogni mese il valore della temperatura è circa uguale a quella finale (come era stato stabilito dall' algoritmo di simulazione del software Omnilus); inoltre, la temperatura raggiunge il valore massimo in corrispondenza delle stesse ore che corrispondono ai valori massimi di Q_{sol} , per ogni mese.

Per i mesi di maggio, giugno, luglio, agosto, settembre, ottobre l'energia fornita dal sistema è in grado di coprire interamente la domanda di energia termica dell'abitazione (è proprio in corrispondenza di questi mesi che il sistema presenta valori di $f = 1$).

In inverno si può osservare soprattutto di notte e la mattina presto che vi è una grande differenza tra la potenza in uscita dal sistema e quella richiesta per la mancanza o dalla scarsità della fonte solare; nelle ore del tardo pomeriggio-sera invece c'è una grande differenza tra le due energie nei mesi di gennaio-febbraio-marzo (i mesi più freddi) e un andamento quasi simile nei restanti mesi.

Nelle simulazioni si sono considerati diversi valori dell'angolo di inclinazione β dei collettori: per disposizione orizzontale e per $\beta=(\text{Lat}-20^\circ)$ si ottengono valori del fattore di copertura solare più bassi rispetto alle soluzioni di installazione con $\beta=90^\circ$ e con $\beta=(\text{Lat}+20^\circ)$, in quanto si favorisce la producibilità dell'impianto nel periodo di maggiore radiazione solare su collettore. Inclinando il collettore solare di un angolo pari alla latitudine ($\beta=\text{Lat}$) della località di installazione si ottengono i più alti valori del fattore di copertura solare annuale dell'impianto, a ragione della maggiore energia

solare annuale incidente sul piano del collettore rispetto alle altre soluzioni di inclinazione. Dalle simulazioni effettuate sulle tre installazioni, nelle tre diverse città, si è visto che nel caso in cui l'impianto sia dimensionato per la produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento dell'abitazione, la maggiore producibilità dell'impianto, quindi il valore maggiore del fattore di copertura solare annua, è favorita da un'inclinazione dei collettori pari ad un angolo di circa 60° ovvero le soluzioni di installazione dei pannelli con $\beta=(Lat+20^\circ)$: con questo angolo di tilt si favorisce la producibilità del sistema solare nel periodo invernale, quello in cui il fabbisogno termico dell'abitazione è maggiore. Con questa soluzione, così come con $\beta=90^\circ$, si può aumentare la superficie dei collettori usati aumentando il fattore di copertura solare senza che il valore di f superi il valore unitario nei mesi estivi.

Ma si è visto come è possibile ottenere dei valori del fattore di copertura solare maggiori utilizzando 6 collettori, anche se in questo modo si verifica un eccesso di energia generata dall'impianto rispetto a quella richiesta dall'abitazione nel periodo estivo, di maggiore irraggiamento, in cui il carico termico è solo quello relativo all'acqua calda sanitaria; essendo il valore mensile $f>1$ allora sarà necessario inserire un dissipatore termico, per scaricare il calore in eccesso, per evitare problemi di stagnazione conseguenti ad un aumento della temperatura all'interno dei collettori.

In particolar modo questa soluzione è conveniente nel caso di installazione dell'impianto a Milano, dove il periodo di riscaldamento è più lungo e la radiazione annuale incidente su collettore è inferiore rispetto alle altre due città, considerando che permette di ottenere un fattore di copertura annuale $F=16,4\%$, più alto di quelli ottenibili con le altre soluzioni, a parità di superficie considerata, con un investimento di € 8915 che viene ripagato in circa 10anni considerando anche la quantità di energia risparmiata. Se si effettua il dimensionamento del sistema in modo che il fattore di copertura mensile f sia al massimo 1 si ottengono dei valori abbastanza bassi: $F= 10,4\%$, usando 3 collettori inclinati di un angolo $\beta=(Lat+20^\circ)$, permettendo di ripagare l'investimento fatto di € 5943 in 10anni e mezzo, oppure $F=13\%$ usando 6 collettori con disposizione verticale, ma in questo caso essendo maggiore l'investimento iniziale (€ 4056) il tempo di ritorno sarà di circa 12 anni, quindi non risulta essere una soluzione conveniente da adottare. Nel caso di dimensionamento per produzione di sola ACS il valore della frazione solare aumenta ($F=75\%$) anche utilizzando solo 2 collettori, in quanto è minore il carico termico a cui il sistema solare deve far fronte; tuttavia il valore della frazione solare annua dell'impianto a Milano rimane sempre più basso rispetto a quelli degli altri due impianti a parità di superficie installata.

Lo stesso vale per le installazioni nelle altre due città, in cui inclinare i collettori di un angolo $\beta=(Lat+20^\circ)$ risulta essere le più convenienti nel caso di dimensionamento del sistema per produzione di ACS ed integrazione al riscaldamento. La percentuale del fattore di copertura potrebbe essere anche maggiore, ma, come detto in precedenza, l'impianto risulterebbe sovradimensionato ($f>1$) per il periodo in cui è richiesta solo ACS e sarebbe necessario installare un dissipatore termico.

Dalle simulazioni effettuate è l'impianto installato a Palermo che permette di conseguire un valore del fattore copertura solare annuale maggiore rispetto agli altri due, sia nel caso di produzione combinata che di sola ACS; dunque installare un tale tipo di sistema nel sud Italia risulta abbastanza vantaggioso, dal punto di vista energetico, dovuto anche alle condizioni meteorologiche e disponibilità della fonte solare favorevoli durante tutto l'anno.

Nel caso in cui l'impianto solare-termico venga dimensionato per la produzione di sola ACS, in tutte e tre le città considerate, la soluzione di installazione con inclinazione del collettore $\beta=Lat$, oltre a permettere di conseguire i maggiori valori del fattore di copertura solare rimane quella che permette di avere una producibilità maggiormente distribuita nel corso dell'anno rispetto alle altre, considerando soprattutto che il fabbisogno di ACS non dipende tanto dalle condizioni esterne della località quanto dal numero di persone che vivono nell'abitazione. Dunque, considerando una richiesta di ACS costante durante l'anno, è meglio avere la produzione di energia termica maggiormente distribuita nei vari mesi dell'anno piuttosto che favorire la produzione nel periodo

invernale, come invece può essere nel caso di impianto dimensionato per produzione combinata in cui i carichi maggiori si hanno al periodo invernale.

Per l'abitazione il consumo di acqua calda per usi residenziali è circa costante nell'arco dell'anno, mentre l'insolazione è bassa nel periodo invernale e vede il suo massimo nel periodo estivo: questo significa che se l'impianto viene dimensionato in modo da avere il 100% di ACS da fonte solare nei mesi più soleggiati, nei restanti mesi (da metà ottobre a metà aprile circa) il contributo medio dell'impianto solare sarà abbastanza alto, con la restante parte del fabbisogno erogata dalla parte da un sistema ausiliario (ad esempio una caldaia a gas).

Grazie ai fattori di copertura ottenibili, l'impianto solare per produzione di ACS risulta essere una tecnologia conveniente.

In generale si è visto come il tempo di ritorno dell'investimento fatto è minore nel caso di dimensionamento dell'impianto per produzione di sola ACS, anche se le quantità di energia risparmiata sono inferiori rispetto al caso di dimensionamento per produzione combinata, dovuto a un minore investimento iniziale, dato che a seconda dei due casi la complessità del sistema sarà differente e si avrà diverso dimensionamento dell'impianto. Se si considera solo ACS e/o produzione combinata variano le dimensioni dell'impianto (principalmente la superficie totale dei collettori e quindi anche il serbatoio di accumulo, il sistema idraulico e di regolazione), allora cambia anche l'investimento iniziale da sostenere.

Inoltre bisogna considerare che i prezzi unitari, per m² installato, dei pannelli solari diminuiscono all'aumentare della superficie installata.

Come visto dalle tabelle sulla valutazione economica tutti i valori del tempo di ritorno dell'investimento, calcolato nei diversi impianti, sono inferiori a 11 anni, mentre il tempo di vita utile solitamente considerato plausibile per un impianto solare è di almeno 20 anni.

Nei casi esaminati dunque l'installazione di un sistema solare termico risulta essere abbastanza conveniente visto il tempo di ritorno dell'investimento ottenibile in circa metà della sua vita utile e considerando le quantità di energia che si possono risparmiare.

9. BIBLIOGRAFIA

[1] “*Solar Engineering of Thermal Processes*”, New Jersey: 2013, Fourth Edition - DUFFIE & BECKMAN

[2] OmniluS® - <http://es.omnilus.com>

[3] UNI 103491: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici-Dati climatici

[4] PVGIS – <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

[5] “*Planning and Installing Solar Thermal Systems - A guide for installers, architects and engineers*”, 2010, Second edition - Earthscan

[6] Daikin Air Conditioning Italy S.p.A

[7] UNI EN 15316: Impianti di riscaldamento degli edifici- Metodo per il calcolo dei requisiti energetici e dei rendimenti dell'impianto -
Parte 4-3: Sistemi di generazione del calore, sistemi solari termici

10. Appendice

10.1 MANUALE UTENTE *Omnilus*

Di seguito viene spiegato come vengono effettuate le simulazioni dal software *Omnilus*. Si prendono in considerazione le classi che definiscono il sistema e i suoi metodi di simulazione.

10.1.1. Sistema

Come accennato in precedenza, il sistema è formato da file chiamati *Transis*. Tuttavia, bisogna tenere conto che si è anche fatto uso di alcuni file ausiliari. È il caso per il file dei dati in entrata chiamati *InputSPHSystem.py* che permette di ottenere i dati da inserire per generare l'output, e il *TransisPHeatReport.py* che genera un set di configurazioni in formato PDF e quindi la soluzione del sistema.

Tutto è legato allo scambio di energia continua chiamato *SpaceLoad* o *HeatExchanger*, a seconda che si parla del processo di scambio in termini di domanda o di modellazione nello scambio di energia.

La chiamata del programma principale è fatta da *rdtransisPHeat.py*, il file di comando. L'inserimento dei dati è effettuato con un tipo di file XML che comprende i seguenti parametri:

Location	Country	Longitude	Town
	Province	Altitude	Latitude
Meteo	H	Hd	Ho
	KT	Hd/H	HT
	Ta	Tm	Tg

	RH	Wv	histTmin
	histTminSource		
Surface	Azimuth	Inclination	Albedo
Collector	Eta0	K1	K2
	Tref	lam50	refA
	refVFlow	grossA	
CollectorField	N		
solarLoop	vFlowRate		
Tank	Volume	Diameter	U
spaceLoad	UA	tHeatBalance	tCoolBalance
sHHEX	tIndoors	nPower	nHTin
	nHTOut	nTIndoors	

Tabella 10.1 Parametri di input del software

Il file *rdtransisPHeat.py* comprende la classe *AppTransisPHeat* e la funzione principale, responsabile del funzionamento del sistema. È questa caratteristica che rende la chiamata *AppTransisPHeat* come file di classe ed esegue tutti i calcoli, i report e file di output a seconda delle opzioni che sono state applicate nel fare la chiamata al programma principale. Il programma permette diverse output di simulazioni, così che un tipo di file PDF sui valori mensili dei risultati di queste simulazioni è il COP e F dell'installazione. Permette anche di avere un file più dettagliato che mostra i risultati ogni ora al giorno del mese, con i valori più significativi di temperature o bilanci energetici. Questo file è: *rdsoldes / src /*.

1.1 AppTransisPHeat Class

La classe è prevista *AppTransisPHeat* in Python ed è una sottoclasse di *AppBase*.

Le diverse funzioni sono disponibili all'interno della classe sono:

- beginning
 - calculate
 - setOutputs

1.2 AppBase Class

La classe è definita dalla *AppBase* directory: *rdsoldes / lib / python / AppBase.py* scheduled inPython e le funzioni disponibili in questa classe sono :

- init
- getSingles
- GetList
- seven
- appendOutputSet
- appendOutputSetFromList
- appendOutput
- getInput
- getOutputs
- printSets
- printInputs
- printOutputs
- setOutputs

1.3 TransisPHeat Class

La classe prevista è *TransisPHeat*, in C ++, ed è una sottoclasse di *TransisBase*.

Per essere programmato in C ++ è costituito da due file: uno *TransisPHeat.h*, che ha definito i metodi di classe e *TransisPHeat.cc*. E' programmato nella directory: *rdsoldes / lib / LibMain /*.

- Builder
- Destroyer
- week
- setShHex
- setSpaceLoads
- arrange
- setInitialConditions
- Calculate
- setBoundaryConditions
- update
- yearlyPerformancePrediction
- setDt

1.4 TransisBase Class

Questa classe è definita in C ++ e ha quindi due file diversi, uno in testa (*TransisBase.h*) e il principale (*TransisBase.cc*) definito: *rdsoldes / lib / LibMain /*.

I metodi della classe sono i seguenti

- Builder
- Destroyer
- setClimate
- setClimate
- setOutputFile
- unsetOutputFile
- setCollector
- setCollectorField
- setSolarLoop
- setTank
- setDt
- week
- update
- setLoads
- arrange
- setBoundaryConditions
- setInitialConditions
- updateIteMDhw
- updateIteLoopTCi
- boundedT
- updateIteMCol

Le funzioni di ciascun metodo sono i seguenti.

setClimate

Come è possibile notare ci sono due metodi che hanno lo stesso nome ma entrambi portano allo stesso risultato, perché il secondo serve a modificare le voci da estrarre nella classe *MonthlyClimateData*. Il risultato di questo metodo è una classe *setClimate* chiamata di funzione, *InstantaneousClimateData*, cioè, le voci configurate dalla classe.

setOutputFile

Questo metodo funziona tramite la variabile booleana *outputFileSet* e la funzione svolta è quella di generare i dati del file di output.

unsetOutputFile

Chiudere il file di output ogni volta che la variabile è impostata su True e False.

setCollector

Impostare la densità *rhoRef 1000*.

modalità di lettura viene utilizzato per la temperatura di riferimento, o Tav Stagno per i calcoli e lo appoggio sul TRefModel. Questa impostazione determina come i calcoli e ha spiegato il processo che colpisce la spiegazione del modello di raccolta.

Inoltre, impostare i parametri del collettore oggetto: *Eta0Beam*, *Eta0Diff*, *ColBeta*, *B*, *ColUsefulArea*, *MFlowTest*, *NumberOfCollnPar*, *U0*, *U1*, *A0*, *A1*, *A2*, *ColLength*, e *ColCapacity*. Assegnare un parametro B0 e ColB in *etaoBeam* Asigna *colEta0_0* e impostare la variabile booleana *colDataSet* a Vero.

setCollectorField

Usato per configurare il numero di collettori che ne definiscono il campo.

setSolarLoop

Assegnare il valore della portata volumetrica in l / hm2 nella variabile booleana e configura *vFlowRate*

solarLoopDataSet associato Vero.

setTank

Metodo della carica di impostazioni tipo di geometria (orizzontale o verticale)

Serbatoio metri di diametro, la lunghezza in metri, alta pressione nel coefficiente di Pascal

La perdita di calore dal serbatoio all'atmosfera in W / K. Inoltre, impostare la variabile a chi a seconda del tipo di geometria moltiplicando il diametro di 0,95 e orizzontale in un serbatoio della lunghezza di un serbatoio verticale.

setDt

Configurare intervalli di tempo richiesti per effettuare simulazioni sia uguale al collettore del serbatoio.

setMem

Permette di configurare il numero di nodi utilizzati nel serbatoio e collettore. Entrambi stabiliti in 10, che nel caso del collettore si riferisce alle divisioni dell'assorbitore.

Durante la chiamata settimana metodo di entrambi i componenti.

Infine, il memoryAllocation variabile assegna il valore True.

update

Metodo UpdateDTi utilizzato per disegnare le due componenti, serbatoio e collettore.

setLoads

Per chiamare questo metodo, richiede aver configurato in precedenza la sezione climatica dei dati. Questo metodo è configurato volume di scarico in litri al giorno e la scarica totale della temperatura desiderata in gradi Celsius.

Estratta la temperatura Tm dell'oggetto *instantaneousClimateData* per classe con lo stesso nome e *monthlyWaterLoads* assegna al setTmDwh chiamata poi esegue il metodo calculateDwh di una singola classe.

Infine, impostare il profilo per scaricare *setLoadProfile*.

arrange

Questo serve per organizzare eseguire metodi, verificare e calcolare i due componenti. Inoltre, si imposta l'oggetto di superficie, dal *instantaneousClimateData*, la pendenza, l'angolo di azimut, albedo e B0.

setBoundaryConditions

Permette di configurare i parametri di input corrispondenti ai componenti. il

I parametri sono:

irradianza totale sul piano del collettore in W / m² (gt)

Modificatore angolo di incidenza totale istantaneo (IAM)

Temperatura in gradi Celsius (ta)

Controllare scarico flusso di massa proveniente dal serbatoio in kg / s (TLMI)

temperatura di ingresso del serbatoio del liquido di scaricare Celsius (tlti)

setInitialConditions

Regolare la temperatura iniziale della temperatura del serbatoio ed il collettore

updateIteMDhw

Questo metodo è responsabile della restituzione del flusso di massa della domanda. Basato su la temperatura dell'acqua e la rete corrente erogata precedenti impone una condizione iterazione da rispettare.

boundedT

questo serve a limitare una temperatura nell'intervallo tra 1 e 250.

updateIteMCol

Questo si propone di effettuare una regolazione sul collettore di flusso di massa per evitare situazioni che potrebbero verificarsi a causa l'aumento del tempo trascorso per le simulazioni. Ciò che viene fatto in questo caso ha trovato che la temperatura di uscita del collettore è inferiore all'uscita dell'ingresso serbatoio o collettore, in caso affermativo il flusso di massa corretta diventa più piccolo moltiplicando 0,9.

10.1.2 Global Support System

Per garantire il programma di funzionamento regolare tra il sistema esistente e *Process Heating* si è dovuto creare i seguenti file, nella directory indicata:

- "RdtransisPHeat" to "rdsoldes / src /"
- "TransisPHeat.h" to "rdsoldes / lib / libmain /"
- "TransisPHeat.cc" to "rdsoldes / lib / libmain /"
- "TransisPHeatReport.py" to "rdsoldes / lib / python /"
- "InputSPHSystem.py" to "rdsoldes / lib / python /"

In aggiunta, i seguenti file sono stati modificati con l'aggiunta di quelli descritti:

- FILE: rdsoldes / lib / libmain / Makefile.am
Within "libmain_la SOURCES =" added "TransisPHeat.cc \" and "Pkginclude_HEADER = \" added "TransisPHeat.h \".
- FILE: rdsoldes / lib / python / Makefile.am
Within "pkgpython_PYTHON =" added "TransisDHWReport.py."
- FILE: rdsoldes / include / rdsoldes / rdsoldes.h
Add "#include <rdsoldes / TransisPHeat.h>."
- FILE: rdsoldes / lib / Python / rdsoldes.i
Add "% include" TransisPHeat.h "".
- FILE: rdsoldes / lib / python / makefile.am
Add to "pkgpython_PYTHON =" line "InputSPHSystem.py."
- FILE: rdsoldes / src / makefile.am
Add "rdtransisPHeat" between spaces.

L'aggiunta di questo codice e questi file garantisce il corretto funzionamento e l'interazione con il resto del programma esistente e così c'è solo bisogno di installare i moduli e *rdsoldes rdlib*.

10.1.3 Componenti:

.1 Meteo

Per rendere l'immissione di dati meteorologici, della loro elaborazione e fare i calcoli, si usano diverse classi. Le due principali sono *InstantaneousClimateData* e *Sun*. Entrambi sono programmati in C++ e sono directory: *rdlib / lib / lib1 / tempo /*.

.1.1. InstantaneousClimateData

Questo è il principale modulo di classe meteorologico, a cui si accede dal *TransisPHeat*. Dal mese in cui si inseriscono i dati su cui si sta lavorando sulle chiamate che restituisce il valore della temperatura, dell'irraggiamento totale sulla superficie inclinata e IAM in cui viene eseguita la simulazione. Per ogni calcolo eseguito entro *TransisPHeat* fa uso del metodo che consenta l'aggiornamento di rinnovamento dell'opera dati.

.1.2. Sole

È particolarmente interessante per parlare di questo genere date le funzioni svolte, come tutte le posizioni elaborazione dei dati e gli angoli sono coperti in questa sezione, che considera la relazione geometrica tra i collettori e i raggi solari.

.2 Collettore solare

La programmazione del collettore è fatto di puntatori a oggetti. Cioè, esso crea un puntatore all'oggetto che corrisponde alla classe del modello da utilizzare: collettore->.

Questo in modo da poter accedere ai metodi dell'oggetto rapidamente e facilmente.

Il modello utilizzato nel collettore è il file di intestazione che appare come *TransisBase.h* ed è un oggetto di classe *SingleCapCol*.

In definitiva, il collettore utilizzato proviene da quattro classi, ciascuno aggiunge le modifiche

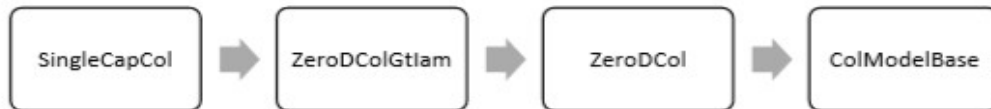
necessarie per modellare il collettore. E 'chiaro che molte delle funzioni non vengono utilizzate, perché sono sovrascritti. Così, quando si chiama un metodo ripetuto in classi diverse, sempre agirà sulla classe di base .

Non tutti i metodi sono classi definiti perché, a differenza del sistema, in cui è stato spiegato, questa parte non utilizzato tutto, essendo solo necessario spiegare il metodo di calcolo per ottenere risultati di classe *SingleCapCol*.

Queste classi sono disponibili all'indirizzo: *rdlib / lib / lib1 / collectorModels /*.

.2.1. SingleCapCol

La classe ha metodo *scalarsIteration* che esegue i calcoli di equazioni del modello. Questo metodo viene chiamato dal metodo *Calcola* della *ColModelBase* di classe.



risolvere equazioni e ottenere i valori della temperatura e il valore finale desiderato

Si controlla la temperatura del campo dei sensori, utilizzando una serie di file esterni.

.3 Serbatoio

Il serbatoio è previsto nella cartella *rdlib / lib / lib1 / StorageModels /*, e si compone anche di due file, l'intestazione principale *MultiNode.h* e *Multinode.cc*. I riferimenti ai metodi di altre classi sono con il puntatore: *Tank->*

Non ci sono funzioni o metodi ereditati da qualsiasi altro serbatoio, in modo che possa funzionare da solo.

.4 Processo di riscaldamento

Sono tre gli elementi essenziali per rappresentare esso: *BinData*, *InstantaneousSpaceLoads* e *HeatExTerminalECMin*.

La prima classe è usato in oggetto *dD* e che quindi serve per calcolare i gradi giorno di domanda Installazione da temperature desiderate.

Il secondo *instantaneousSpaceLoads* oggetto di classe opera, e dai risultati ottenuti *BinData* classe determina download eseguiti.

.4.1 BinData

Classe *BinData* fondamentalmente sei metodi usati: 3 impostazioni per regolare le variabili,uni per il calcolo e due per risultati di estrazione.

Il più rilevante, il calcolo utilizzato in questo progetto, calcolare *MonthlyDegreeDays*, disciplinati esclusivamente da un'equazione che fa la differenza tra la temperatura e l'equilibrio dell'ambiente e moltiplicato per il numero di giorni del mese. Questa classe è configurato direttamente dal *TransisPHeat :: setSpaceLoads*.

Essa è definita come: *rdlib / lib / lib1 / weather /*.

.4.2 HeatExTerminalECMin

La modellazione dello scambiatore è sotto la classe denominata *HeatExTerminalECMin* che eredita metodi e altre funzioni da altre classi.

.5 Processo di calcolo transitorio

Di seguito si mostra in riassunto l'intero approccio del sistema globale *TransisPHeat* .

La prima colonna viene riempita a seconda che il processo sta eseguendo un processo iterativo o esegue un ciclo. Nella seconda colonna si indica quale processo è in corso, che può essere su un componente o sul sistema. Nelle ultime due colonne vengono indicate le classi e i metodi ,definiti precedentemente,utilizzati per eseguire i processi desiderati.

(*TransisBase* è stata semplificata come *TB --> TransisPHeat --> TPHEAT*)

<i>Iteratività</i>	<i>Processo</i>	<i>Classi e Metodi Principali</i>	<i>Classe ausiliaria</i>	
	Impostazione clima	TB :: setClimate InstantaneousClimateData: : setClimate		
	Impostazione scarico energia	TPHEAT :: setSpaceLoads	BinData	
			InstantaneousSpaceLoads	
	Impostazione collettore	TB::setCollector TB::setCollectorField	InstantaneousClimateData SingleCapCo	
	Impostazione serbatoio	TB::setTank	MultiNode	
	Impostazione scambio	TPHEAT::setShHex	HeatExTerminalEC Min	
	Impostazione condizioni iniziali	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction TB::setInitialConditions	TB SingleCapCol MultiNode	
	Calcoli di sistema su condizioni iniziali	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction TB::arrange	SingleCapCol MultiNode	
		TPHEAT::yearlyPerformancePrediction TB::arrange	SingleCapCol MultiNode	
	Impostazioni Giorno tipico	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction	InstantaneousClimateData	
	Calcolo parametri. Programmi giornalieri su collettori	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction	InstantaneousClimateData Sun	
	<i>Solo nella prima iterazione</i>	Calcolo parametri. Programmi giornalieri su domanda di energia	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction InstantaneousSpaceLoads: :arrange	MonthlyLoads
	<i>Ogni giorno</i>	Calcoli valori istantanei di collettori	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction InstantaneousClimateData	Sun MonthlyClimateData

<i>Ogni mese</i>		Calculating values Snapshot demand	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction InstantaneousSpaceLoads	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction InstantaneousSpaceLoads
		Impostazione dei valori istantanei e serbatoio	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction TPHEAT::setBoundaryConditions	MultiNode SingleCapCol
		Calcolo Soluzione	TPHEAT::calculate	
		Convergenza la temperatura media del serbatoio	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction	TB MultiNode
		Calcolo della produzione solare	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction	
		Calcolo del COP	TPHEAT::yearlyPerformancePrediction	
		Configurazione File PDF d'uscita	AppTPHEAT.setOutputs	AppBase InputSPHSystem TPHEATReport

Tabella 10.2 Processo di calcolo transitorio

10.2 Convalida del sistema di calcolo usato: CASO ESEMPIO

Per verificare che i risultati ottenuti siano corretti sul sistema, si utilizza un altro modello esistente all'interno del pacchetto software chiamato *TransisCombi*. Questo modulo funziona con un collettore solare e un serbatoio di accumulo con due uscite. Un' uscita collegata ad un altro serbatoio di accumulo di acqua calda, chiamato ACS (acqua calda sanitaria), l'altro scambio permette l'accesso ad un riscaldamento di uno spazio, come mostrato in figura, oltre ai sistemi ausiliari.

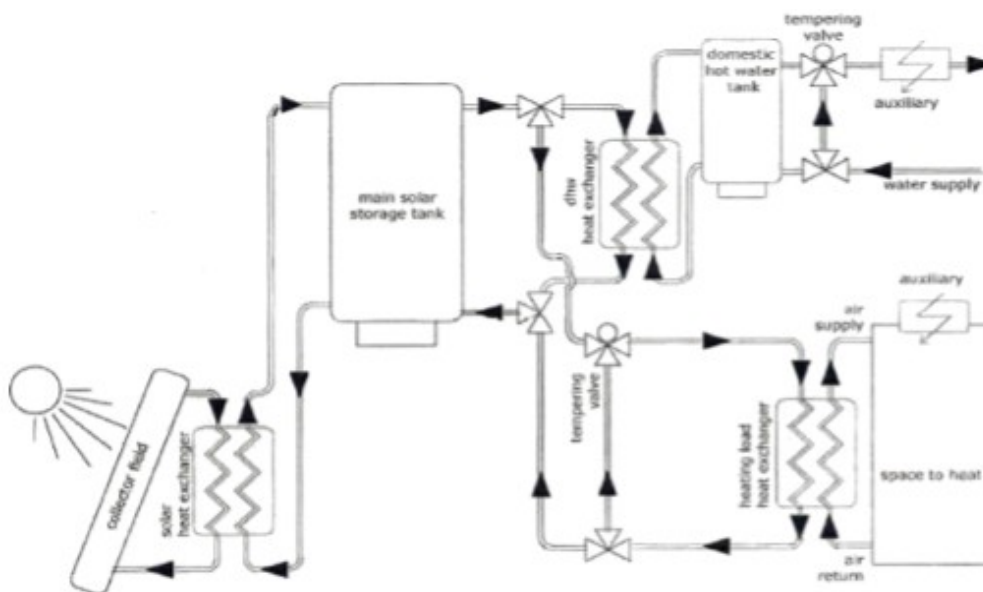


Figura 10.1 Rappresentazione corrispondente al modello *TransisCombi* [2]

Il caso esempio si riferisce ad un impianto solare-termico situato a Riaza, nella provincia di Segovia, in Spagna, alla Lat. di 41,28 °, Long.3,48 °, Alt.1190. Tutti i dati richiesti per il calcolo della frazione solare del sistema sono già contenute nel file "combi.xml".

