

**ENERGIA.**

# Il solare termico per acqua calda sanitaria: simulazioni sulle prestazioni del sistema

L'IMPORTANZA DI UNA CORRETTA PROGETTAZIONE NEGLI IMPIANTI A CIRCOLAZIONE NATURALE

La ricerca di soluzioni per limitare l'impiego di combustibili fossili, contenendo nel contempo il costo finale del kilowattora, rappresenta un obiettivo per la comunità scientifica internazionale. L'impiego su larga scala delle energie rinnovabili può contribuire in maniera sensibile al raggiungimento di questo obiettivo.

In Italia, la Direttiva Europea 2002/91 è stata recepita con la pubblicazione del DLgs n° 192/2005, integrato con il nuovo DLgs n° 311/2006. In particolare, in questo decreto è previsto che almeno il 50% del fabbisogno annuo di energia primaria necessaria per la produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS) sia coperto con l'impiego di fonti rinnovabili. L'impiego di collettori solari termici rappresenta la soluzione ottimale, da un punto vista tecnico-economico, per soddisfare tale fabbisogno. Considerato l'alto costo d'investimento di questi sistemi, l'analisi costi-benefici è fondamentale per indirizzare la scelta verso l'impianto migliore. Tra le diverse opzioni impiantistiche, un ruolo importante - soprattutto per gli impianti di piccola e media taglia - gioca il tipo di circolazione adottata: naturale o forzata.

In questo lavoro viene presentato un impianto a collettori piani, funzionanti a circolazione naturale, realizzato a integrazione dell'impianto termico convenzionale esistente, per la produzione dell'ACS a servizio di un hotel di seconda categoria e di medie dimensioni ubicato ad Assemmini (CA).

## Parametri di efficienza dei collettori solari piani

L'efficienza istantanea di un collettore solare, si può esprimere col rapporto

$$\eta = \frac{\text{Flusso energia termica estratta dal fluido}}{\text{Irradiazione incidente sul collettore}} = \frac{Q_u}{GA_c}$$

dove  $G$  è l'irradianza solare e  $A_c$  la superficie netta captante dei collettori. Dalla precedente relazione si ottiene la seguente funzione quadratica per esprimere l'efficienza istantanea dei collettori solari piani:

$$\eta = \eta_0 - a_1 (\Delta T_m^*) - a_2 (\Delta T_m^*)^2$$

dove  $\Delta T_m^* = \Delta T/G$  e il termine  $\Delta T$  rappresenta la differenza tra la temperatura media del fluido nel collettore e la temperatura dell'aria esterna.

Da questa equazione si evince che l'efficienza termica istantanea di un collettore solare è caratterizzata dai tre parametri,  $\eta$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ , da ricavare sperimentalmente, secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 12975-02-2005 e forniti normalmente dai costruttori sotto forma di diagrammi e tabelle. Nella *figura 1* è mostrata la curva di efficienza istantanea di un collettore solare piano a vetro singolo proposto sul mercato, con i valori dei tre parametri suddetti.

## Calcolo del fattore di contributo solare

L'energia termica fornita dai collettori dipende da diversi parametri, tra cui l'efficienza del collettore, l'angolo di inclinazione, l'orientamento, il volume d'accumulo, il tipo d'impianto (circolazione naturale o forzata). Pertanto la superficie ottimale dei collettori in un impianto solare termico per produzione di ACS deve scaturire da un processo di analisi del rapporto costi/benefici. Si rende perciò necessario l'uso di un codice di calcolo. Tra i vari modelli impiegati dai codici di calcolo per l'analisi dei sistemi solari in regime stagionale-stazionario, la correlazione "f-chart" rappresenta

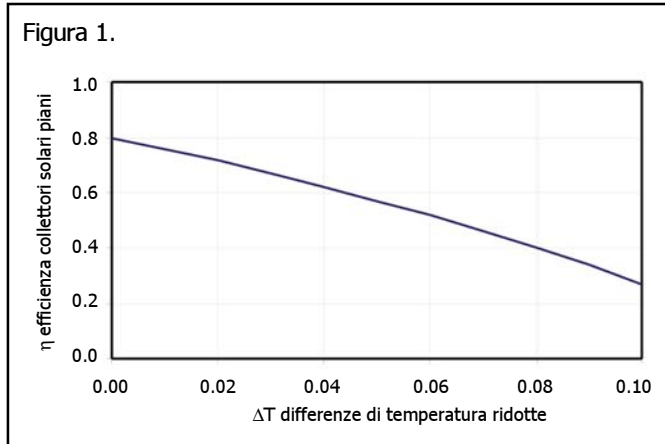
### GLI AUTORI.

L'ingegnere **Gianluca Mandas** svolge libera professione ad Assemmini (CA)  
e-mail: glmandas@yahoo.it

L'ingegnere **Natalino Mandas** è professore ordinario di Macchine e Sistemi Energetici, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Cagliari.  
e-mail: mandas@dimeca.unica.it

L'ingegnere **Francesco Cambuli** è ricercatore di Macchine e Sistemi Energetici, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Cagliari.  
e-mail: cambuli@dimeca.unica.it

*Questo articolo è apparso sul numero di giugno 2008 della rivista "Costruire Impianti", che ha cortesemente acconsentito alla sua ripubblicazione.*



quella più semplice e allo stesso tempo affidabile. Impiegando questa correlazione è possibile calcolare il parametro,  $f$ , definito fattore di contributo solare, che rappresenta il rapporto tra l'energia termica mensile fornita dai collettori solari e il fabbisogno termico mensile dell'utenza. Noti i valori di  $f$  relativi ad ogni mese dell'anno, si può ricavare il valore del contributo solare annuo.

### Impianti a circolazione naturale o forzata

Nel caso degli impianti a circolazione forzata, noti i parametri climatologici della località e assegnati il fabbisogno termico mensile dell'utenza e i parametri di efficienza del collettore solare e degli scambiatori di calore, è possibile, applicando il metodo *f-chart*, calcolare il parametro  $f$ . La correlazione sperimentale proposta nel metodo *f-chart* è valida solo per i sistemi a circolazione forzata, per i quali è stata ricavata.

In questo lavoro, per prevedere il fattore di contributo solare degli impianti a circolazione naturale, che chiameremo con  $f_{nat}$  per distinguerlo da quello  $f$  per circolazione forzata, è stata utilizzata la correlazione "*f-chart modificata*" che si basa su un procedimento iterativo per ricavare una Portata Media Equivalente (PME) del fluido vettore, per ogni mese dell'anno, in modo tale che l'energia termica fornita dall'impianto a circolazione naturale sia uguale a quella di un impianto equivalente a circolazione forzata funzionante con la PME.

### Considerazioni economiche

Per valutare la convenienza di realizzare un impianto solare, bisogna confrontare i maggiori costi sostenuti per costruire la sezione solare con i risparmi ottenibili durante la vita dell'impianto; è necessario cioè valutare la redditività dell'investimento mediante un'analisi costi/benefici. Oltre alla decisione di installare un impianto

solare termico per la produzione di ACS, è necessario valutare sia la tipologia (naturale o forzata) sia la superficie ottimale di pannelli da installare.

Per rispondere al primo quesito è sufficiente confrontare i diversi indicatori, quali VAN e PBT per i due investimenti alternativi. Per la valutazione della superficie di pannelli solari che risulti ottimale dal punto di vista tecnico-economico, si possono confrontare le ipotesi di investimento caratterizzate da diverse superfici, o direttamente valutare la convenienza dell'investimento incrementale, caratterizzato da flussi di cassa ottenuti come differenza dei due investimenti. Infatti l'uso del VAN dell'investimento come indicatore di convenienza può determinare dei risultati errati. Ad

esempio in qualche caso esso cresce se si aumenta la superficie installata, ma l'aumento del VAN non ripaga il maggiore costo iniziale.

### Un esempio applicativo

Come esempio applicativo viene presentato l'impianto per la produzione di ACS realizzato per l'Hotel Grillo, ubicato in Sardegna nel comune di Assemini (CA): Latitudine 39°17' Nord; Longitudine 8°59' Ovest; 8m s.l.m. L'hotel dispone di 84 camere, ristorante-pizzeria, bar e due sale per conferenze. Nella figura 2 è mostrata una vista Sud-Ovest dell'hotel con i collettori solari installati su una falda della copertura. Prima dell'intervento l'ACS veniva prodotta con un impianto termico tradizionale, composto da caldaia a gasolio e sistema di accumulo costituito da due boiler, da 230 litri e 350 litri rispettivamente, provvisti di scambiatore interno a serpentina.

### Dimensionamento dell'impianto solare termico

I collettori solari sono stati adagiati sulla falda orientata a 15° Sud-Ovest con un angolo di inclinazione pari a 24°, rispetto al piano orizzontale. Anche se tale disposizione penalizza la resa energetica dei collettori, la scelta è stata dettata da motivi di limitazione dell'impatto visivo. Il dimensionamento dell'impianto solare è



Figura 2. Vista Sud-Ovest dell'albergo nel quale è stato effettuato l'intervento, con i collettori solari installati su una falda della copertura.

stato effettuato ipotizzando un consumo medio d'acqua calda di 80 litri/ persona, tenendo conto anche degli altri servizi, e per una presenza media annua di 66 persone/giorno; tale ipotesi è in accordo con i dati rilevati dai registri dell'albergo, negli ultimi 5 anni.

L'irradiazione solare sul piano dei collettori è stata calcolata basandosi sui dati climatici e di irradiazione giornaliera media mensile su superficie orizzontale per la città di Cagliari, riportati sulle norme UNI 8477 e UNI 10349, e ipotizzando un valore della riflettanza della superficie sulla quale sono adagiati i collettori pari a 0,60. Dopo aver analizzato le caratteristiche tecnico-economiche e di affidabilità di diversi collettori disponibili sul mercato, si è scelto di impiegare dei collettori piani con un vetro di copertura antiriflesso con piastra captante selettiva, provvisto di certificazione Keymark®, avente i seguenti parametri di efficienza:

$$\eta_0 = 0,799; a_1 = 3,80 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}; a_2 = 0,018 \text{ [W/m}^2 \text{ K}^2\text{]}$$

Sulla base di queste informazioni, il codice realizzato consente di calcolare la frazione di contributo solare mensile con circolazione naturale,  $f_{nat}$  e forzata,  $f$ , in funzione della superficie captante e del volume di accumulo.

In particolare, per valutare le prestazioni del sistema in circolazione naturale è necessario conoscere tutte le dimensioni geometriche del circuito collettori, comprese quelle della piastra captante: diametro e numero dei canali e diametro dei condotti di testata. L'impianto solare termico realizzato nell'Hotel Grillo è costituito da undici sistemi *factory made*; ossia i sistemi collettore-accumulo (kit solari) costituiscono ciascuno un sistema monoblocco. Ogni kit è composto da tre collettori, avente ciascuno una superficie netta captante di 1,86 m<sup>2</sup> (superficie commerciale di 2 m<sup>2</sup>); in totale ogni kit ha quindi una superficie netta captante di 5,58 m<sup>2</sup> (superficie commerciale di 6 m<sup>2</sup>). Il kit è costituito oltre che dai collettori captanti anche da un apposito serbatoio d'accumulo del volume di 0,30 m<sup>3</sup> con scambiatore a camicia esterna, per la trasmissione del calore dall'acqua glicolata, riscaldata dai collettori solari, all'acqua sanitaria.

Gli undici sistemi solari sono distribuiti su due stringhe, rispettivamente da sei kit la stringa superiore e cinque kit quella inferiore. Lo schema idraulico adottato e le informazioni tecniche sono indicati in dettaglio nella figura 3 (pagina seguente). La superficie totale netta captante è di 61,38 m<sup>2</sup>, e il volume totale di accumulo, tenendo conto anche dei due boiler pre-esistenti, è di 3,88 m<sup>3</sup>.

Nella *tabella 1* sono riassunti i parametri energetici calcolati. I parametri di prestazione relativi alla circolazione naturale sono stati ottenuti applicando il metodo *f-chart* modificato a un singolo kit.

Le condizioni di progetto del sito e le caratteristiche dei collettori solari sono riportate nella *tabella 2*. Per la scelta della superficie captante ottimale e della conseguente frazione di energia termica fornita dai collettori solari, oltre a far riferimento ai criteri economici di scelta illustrati nel precedente paragrafo, bisogna tener conto, in particolare per gli impianti a circolazione forzata, che esiste un vincolo di natura tecnica che impone valori del fattore di contributo solare annuo non superiori a 0,70 ÷ 0,80, altrimenti si può determinare un eccessivo surriscaldamento del liquido nei collettori durante i mesi più caldi, con possibilità di danneggiamento dell'impianto.

L'inserimento della sezione solare nell'impianto preesistente non ha compor-

**Tabella 1.** Parametri energetici dell'impianto

	$T_a$	$H_h$	$H$	$Q_i$	$f * Q_i$	$f_{nat} * Q_i$
mese	°C	kWh/ m <sup>2</sup> mese	kWh/ m <sup>2</sup> mese	kWh/ m <sup>2</sup> mese	kWh/ m <sup>2</sup> mese	kWh/ m <sup>2</sup> mese
gennaio	10.3	62.93	88.97	99.22	37.43	39.05
febbraio	10.8	76.16	98.00	89.61	42.53	45.39
marzo	12.8	124.00	145.39	99.22	63.96	72.58
aprile	15.1	154.20	164.10	96.02	71.76	85.41
maggio	18.4	193.75	192.51	99.22	83.42	98.23
giugno	22.9	208.20	200.10	96.02	86.88	94.98
luglio	25.5	234.98	229.09	99.22	97.42	98.23
agosto	25.5	205.84	214.21	99.22	93.02	98.23
settembre	23.3	146.70	167.10	96.02	75.81	90.52
ottobre	19.4	105.59	133.30	99.22	62.29	67.27
novembre	15.5	67.50	93.60	96.02	41.83	43.44
dicembre	11.7	55.18	79.98	99.22	33.28	34.23
<b>anno</b>	<b>17.6</b>	<b>1635.0</b>	<b>1806.4</b>	<b>1168.2</b>	<b>789.6</b>	<b>867.6</b>

dove:

$T_a$ : temperatura media mensile dell'aria ambiente

$H_h$ : irradiazione globale mensile su piano orizzontale

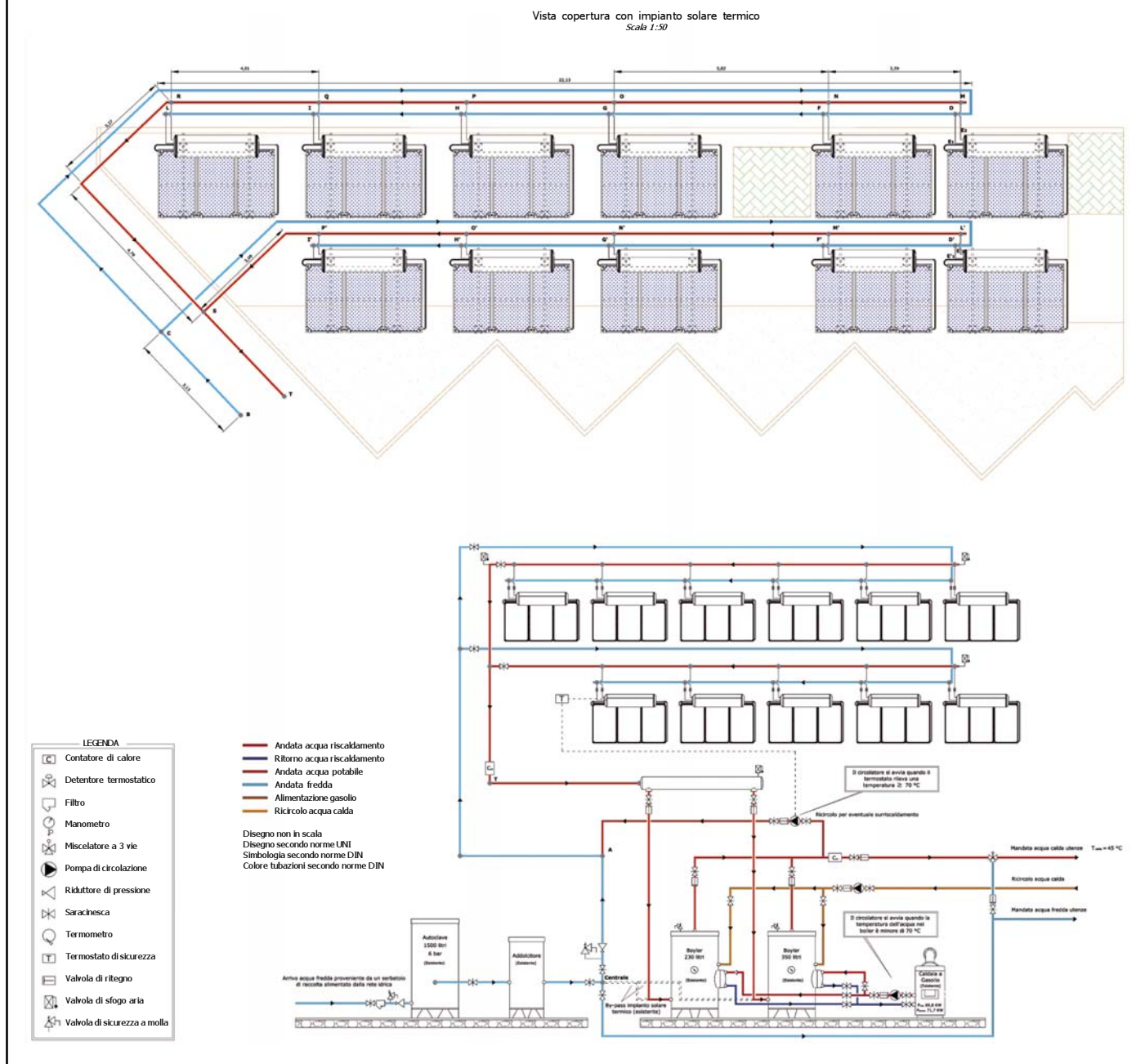
$H$ : irradiazione globale mensile sul collettore

$Q_i$ : fabbisogno termico medio mensile

$f * Q_i$ : contributo solare mensile con circolazione forzata

$f_{nat} * Q_i$ : contributo solare mensile con circolazione naturale

**Figura 3.** Schema idraulico dell'impianto realizzato per i collettori solari piani



tato grossi interventi. L'acqua riscaldata dai collettori solari viene raccolta nei serbatoi dei kit solari e quindi inviata ai due boiler preesistenti per un eventuale successivo riscaldamento, mediante la caldaia pre-esistente che ha funzioni di integrazione, prima di essere distribuita alle utenze.

Nel circuito idraulico, mostrato in figura 3, è stato inserito un circolatore che ha la funzione di evitare surriscaldamenti nel circuito solare. Infatti, in caso di assenza di prelievi d'acqua calda da parte delle utenze, o in periodi con elevata irradiazione, il fluido vettore e di conseguenza l'acqua contenuta nei serbatoi di accumulo disposti sulla copertura si scaldano sino a raggiungere la soglia di evaporazione. Per evitare che il sistema continui a surriscaldarsi fino a portarsi in condizioni di stagnazione, con tutti i problemi annessi, il circolatore viene azionato da un termostato posto sui serbatoi dei sistemi solari, quando rileva una temperatura oltre i  $70^{\circ}\text{C}$ . Il flusso attraverso il circuito idraulico comporta una dispersione termica e una conseguente riduzione di temperatura del fluido vettore evitando il

surriscaldamento nell'impianto solare.

Per quanto riguarda la scelta del tipo di circolazione da adottare, sulla base delle considerazioni fatte, è evidente che un impianto a circolazione naturale necessita, a parità di fabbisogno termico e di fattore di contributo solare, di una superficie di collettori solari sensibilmente inferiore rispetto alla circolazione forzata. Considerando inoltre che in un impianto a circolazione naturale non sono presenti la pompa di circolazione e il termostato differenziale, anche i costi di manutenzione saranno inferiori. Pertanto, quando non si ha il problema dell'impatto visivo, è preferibile adottare questa tipologia impiantistica.

### Conclusioni

Quando si deve operare una corretta progettazione di un impianto elio-assistito per la produzione di ACS è necessario eseguire delle simulazioni per analizzare in quale modo i vari parametri contribuiscano a determinare le prestazioni complessive del sistema. Assegnate le condizioni climatiche della località prescelta e il fabbisogno termico dell'utenza, sono state analizzate diverse soluzioni in termini di inclinazione, superficie e tipologia dei collettori solari, dimensione del sistema di accumulo e tipo di circolazione, naturale o forzata, del fluido termo-vettore.

I risultati ottenuti con la procedura di simulazione adottata hanno dimostrato come l'impiego della circolazione naturale, in questi sistemi, rappresenta una valida scelta per ridurre, a parità di fattore di contributo solare, la superficie di collettori solari. Va comunque evidenziato che la scelta della circolazione naturale nel caso di impianti medio grandi, con la tecnologia solare offerta attualmente dal mercato, può essere di difficile applicazione, soprattutto quando non si voglia creare un impatto visivo dovuto alla presenza dei boiler sopra la copertura. Sarebbe auspicabile pertanto ricercare, nella fase progettuale dei nuovi edifici, soluzioni architettoniche tali da privilegiare questa tipologia impiantistica.

**Tabella 2.** Parametri della località e caratteristiche dei collettori solari.

<b>Località</b>	Località:	Assemini (CA)	
	Altitudine:	8 m s.l.m.	
	Latitudine:	39°17' N	
	Longitudine:	8°59' E	
	Meridiano centrale:	15°E	
<b>Collettori</b>	<b>Collettori Piano Selettivi</b>		
	Produttore:	Solahart	superficie assorbitore = 1,86 m <sup>2</sup>
	Modello:	303Kf	$F_R(\tau\alpha)=0,799$ ; $F_{R,U_L}=3,80$ W/ m <sup>2</sup> K
	Serbatoio d'accumulo/Kit	Volume = 0,300 m <sup>3</sup>	



**Gianluca Mandas**  
**Natalino Mandas**  
**Francesco Cambuli**

Rilievi aerofotogrammetrici e redazione di cartografia

Riprese fotografiche prospettiche

Riprese multispettrali e all'infrarosso

Servizi di vigilanza e tutela del territorio

**AERONIKE** srl

via Calamattia, 10 - 09134 Cagliari • tel. 070-554128 070-504818 • fax 070-5511714  
 www.aeronike.com • e-mail info@aeronike.com

