

**ENERGIA.**

# Il solare termico, analisi delle scelte tecniche tra circolazione naturale e forzata

*I RISULTATI DI UNA SIMULAZIONE SUL FUNZIONAMENTO DI TRE IMPIANTI DIFFERENTI*

Se si esaminano i dati relativi all'andamento del mercato italiano del solare termico negli ultimi anni, divulgati dal Centro Studi Solarexpo e dalla CNS (Commissione Nazionale per l'Energia Solare), si riscontra che in Italia l'utilizzo del sole come fonte di energia termica per uso domestico sta crescendo a ritmi molto più rapidi di quanto si potesse immaginare fino a pochi anni fa. Grazie alle agevolazioni fiscali per la riqualificazione energetica degli edifici (detrazione fiscale del 55%), attualmente previste fino al 2010 - e che comprendono tra i possibili interventi l'installazione di pannelli solari termici - si sta infatti registrando una ampia diffusione di questa tecnologia nel parco edilizio esistente.

La direttiva europea 91/2002/CE sull'efficienza energetica degli edifici, recepita in Italia con i due decreti legislativi n. 192/05 e n. 311/06, dovrebbe inoltre imprimere, se correttamente applicata, una svolta definitiva nel modo di costruire e nell'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile in edilizia. In particolare, il D. Lgs. 311 prevede, tra l'altro, l'obbligo di soddisfare con fonti rinnovabili almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria degli edifici. Per ottemperare a tale disposizione il solare termico risulta certamente essere una delle tecnologie più convenienti ed è pertanto ipotizzabile una sua ancora più ampia diffusione nelle nuove costruzioni.

Ma come si presenta il mercato italiano del solare di fronte a questa ulteriore prospettiva di crescita? Attualmente oltre il 90% delle installazioni totali del solare termico sono realizzate su edifici mono e bi-familiari, mentre sono ancora rari gli impianti di grandi dimensioni, nonostante questi rappresentino l'applicazione economicamente più conveniente. La maggior parte degli impianti installati è preposta al fabbisogno di acqua calda sanitaria (acs) ed è dimensionata per la copertura completa del fabbisogno relativo al periodo che va da aprile a settembre. Sono però sempre più frequenti, in particolare nel nord Italia, gli impianti combinati, funzionali cioè sia alla produzione di acs sia al riscaldamento degli ambienti.

## Cenni di tecnologia solare termica

**Radiazione solare.** Il nostro Paese presenta condizioni meteorologiche ottimali per l'uso dell'energia solare. Il valore di insolazione che raggiunge il suolo è compreso tra 1200 e 1750 kWh/m<sup>2</sup> all'anno e circa il 75% della quantità di energia irradiata è da ascrivere al periodo che va da aprile a settembre. Il conseguimento di una ottimale copertura solare, valutata su base annuale, si ottiene normalmente su una superficie orientata a sud con un angolo di inclinazione di circa 30°<sup>(1)</sup>; una superficie con angolo di 45° con orientamento a

### GLI AUTORI.

L'ingegnere **Paolo Fresu** è funzionario della Regione Sardegna, Assessorato dell'Industria - Servizio Energia. e-mail: pfresu@regione.sardegna.it

L'ingegnere **Gaetano Nastasi** svolge la libera professione. e-mail: nastasi@artechstudio.com

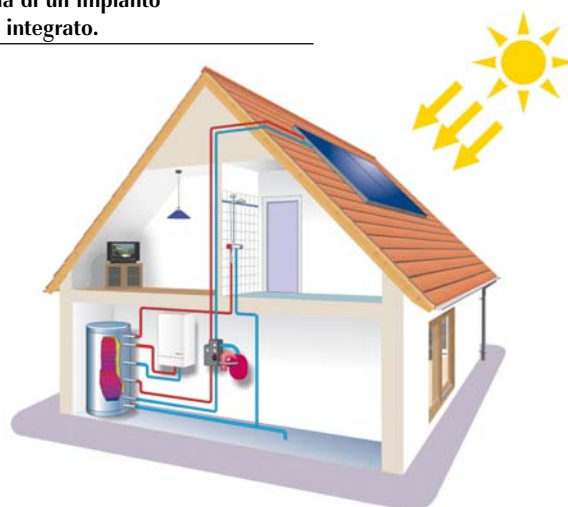
L'ingegnere **Gianluigi Costante** svolge la libera professione in ambito termotecnico. e-mail: gianluigi.costante@alice.it

L'ingegnere **Ezio Pireddu** svolge la libera professione ed è docente di Impianti presso istituti tecnico-professionali e-mail: isi.tecnico@tiscali.it

L'ingegnere **Davide Macciotta** svolge la libera professione. e-mail: d.macciotta@tiscali.it

*Questo articolo è il frutto del lavoro della Commissione Energia presso l'Ordine degli Ingegneri della provincia di Cagliari.*

Schema di un impianto solare integrato.



(1) L'inclinazione di 30 gradi è ottimale alle nostre latitudini e in relazione al periodo di un anno. Se si considera, ad esempio, il caso del 21 giugno, in cui il sole a mezzogiorno raggiunge alle nostre latitudini l'altezza di circa 68 gradi, la massima radiazione teorica captabile da un pannello solare si ha, in queste condizioni, (condizione di perpendicolarità) con orientamento a Sud ed inclinazione pari a 22 gradi.

sud-est o a sud-ovest registra, tuttavia, una diminuzione della radiazione globale media annua inferiore solamente al 5%. L'angolo di inclinazione ottimale dipende, inoltre, anche dal tipo di impiego previsto e dalla stagione in cui si prevede il massimo utilizzo del sistema.

**Collettori solari.** Il collettore solare, che trasforma la radiazione solare in calore, ha come elemento principale l'assorbitore, che ha per l'appunto la funzione di assorbire la radiazione incidente a onde corte e di trasformarla in energia termica (trasformazione fototermica). Solitamente è costituito da una lastra metallica con elevata conducibilità termica (per esempio il rame), in grado di trasformare il più possibile la radiazione solare in calore. Attualmente nella maggior parte dei collettori piani o a tubi sottovuoto sono impiegati assorbitori dotati di un cosiddetto strato selettivo, che determina un alto grado di assorbimento ( $> 0,95$ ) nel range delle lunghezze d'onda della radiazione solare e, contemporaneamente, consente che venga emessa poca energia nelle lunghezze d'onda della radiazione termica grazie a un basso fattore di emissività ( $< 0,1$ ). Un buon contatto termico tra l'assorbitore ed il fluido termovettore in circolazione (normalmente acqua e glicole) permette la cessione del calore allo stesso fluido e, di conseguenza, il suo trasferimento all'acqua contenuta nel serbatoio di accumulo.

Al fine di migliorare il rendimento del collettore e di ridurre le dispersioni termiche, l'assorbitore è fornito di una copertura trasparente frontale che permette il verificarsi del cosiddetto "effetto serra" e, nel contempo, viene coibentato lateralmente e sul retro. Nei collettori a tubi sottovuoto, ogni striscia di assorbitore è inserita in un tubo di vetro in cui è stato creato il vuoto, ottimo sistema di coibentazione, che permette il raggiungimento di temperature di lavoro proprie dei processi industriali.

**Applicazioni.** Gli impianti solari oggi presenti sul mercato si caratterizzano per una collaudata ed affidabile tecnologia. I risparmi di energia conseguibili con la produzione di acqua calda sanitaria sono mediamente del 50-80%; sono, invece, dell'ordine del 20-40% quelli ottenibili con impianti preposti sia alla produzione di acs che al riscaldamento degli ambienti. È da precisare, tuttavia, che l'uso dell'energia solare per il riscaldamento degli ambienti è consigliabile, dal punto di vista tecnico-economico, solo nei casi in cui l'involucro edilizio sia caratterizzato da bassi coefficienti di dispersione termica e durante la stagione calda sia comunque disponibile una fonte di utilizzo o volano termico attraverso cui smaltire l'eccesso di energia solare prodotta rispetto a quella strettamente necessaria per i normali usi igienico sanitari. L'utilizzo ottimale si realizza, inoltre, in presenza di impianti di riscaldamento del tipo a bassa temperatura.

### Tipologie impiantistiche.

Gli impianti solari termici possono essere distinti in sistemi a circolazione naturale e sistemi a circolazione forzata. Gli impianti solari a **circolazione naturale** sfruttano il principio di Bernoulli secondo cui, grazie ad un gradiente di pressione dovuto alla diversa densità che l'acqua possiede in corrispondenza di differenti temperature, si instaura una circolazione naturale dell'acqua stessa (o meglio, del fluido

termovettore) tra l'interno dei pannelli solari ed il serbatoio di accumulo, posto - nel caso in esame - in posizione sopraelevata rispetto ad essi.

Negli impianti solari a **circolazione forzata** invece per consentire la circolazione del fluido termovettore si utilizza un sistema ausiliario (normalmente una o più elettropompe) in grado di fornire la necessaria prevalenza idraulica per compensare le perdite di carico nel circuito solare. In estrema sintesi il funzionamento di un impianto solare a circolazione forzata è, normalmente, il seguente: i pannelli solari sono collegati tramite tubazioni di opportuno diametro al serbatoio di accumulo e la centralina che governa il sistema avvia il circolatore solo quando si raggiunge il  $\Delta T$  impostato tra la sonda posta sul collettore solare e quella che rileva la temperatura sulla parte bassa dell'accumulo. Il circolatore, quindi, resta spento se la temperatura in uscita dal modulo solare è inferiore alla temperatura dell'acqua contenuta nell'accumulo. Con questa tecnologia è, pertanto, possibile collocare il serbatoio in qualunque locale all'interno dell'edificio.

Gli impianti a circolazione forzata si caratterizzano per un ottimo grado di **efficienza** legato alla conformazione verticale del serbatoio e al suo posizionamento in luoghi protetti:

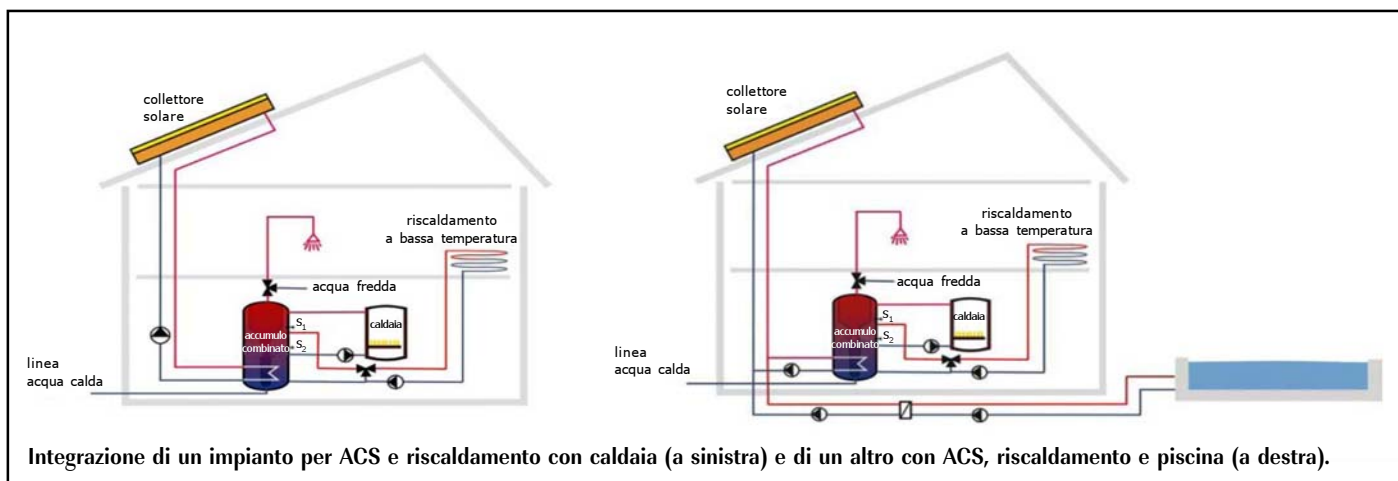
- 1) la conformazione verticale sfrutta al meglio il principio di stratificazione dell'acqua a differenti temperature ovvero, un reintegro di acqua fredda dalla parte bassa del serbatoio conseguente al prelievo di acqua calda dalla parte alta, genera uno spostamento verso l'alto con un trascurabile effetto di miscelazione, condizione quest'ultima che si verifica, invece, in misura considerevole in un serbatoio installato in posizione orizzontale;
- 2) l'ubicazione del serbatoio in zona protetta garantisce una minor dispersione per conduzione e irraggiamento rispetto a quanto avviene, inevitabilmente, in un serbatoio nel tetto di copertura in un impianto a circolazione naturale.

L'impianto a circolazione forzata è, inoltre, in grado di funzionare anche in condizioni limite, e cioè con bassa radiazione solare e con qualunque inclinazione dei collettori; nei sistemi a circolazione naturale è, invece, richiesta una inclinazione minima per il loro corretto funzionamento e, in caso di bassa radiazione, la circolazione naturale non si attiva.

È opportuno sottolineare, come anche rappresentato dalla letteratura tecnica, che in realtà la tecnologia più indicata per impianti di medie-grandi dimensioni è quella a circolazione forzata, considerate anche le potenzialità in termini di efficienza energetica che tale sistema può garantire.

È invece possibile constatare, anche analiticamente mediante simulazioni di funzionamento, come per impianti di piccole dimensioni, quali quelli ad esempio a servizio di utenze monofamiliari (consumi ridotti e modeste capacità di accumulo) ubicate in località con clima temperato, la soluzione a circolazione naturale possa ritenersi non meno vantaggiosa rispetto ai sistemi a circolazione forzata. [vedi report simulazione alle pagine 22 e 23]

Gli impianti a circolazione forzata sono generalmente **più costosi** in quanto più complessi, soprattutto se a servizio di una pluralità di utenze, e perché, conseguentemente, necessitano di maggiore impegno per la progettazione, l'instal-



lazione e la manutenzione oltre che di una maggiore spesa per la fornitura dei materiali. In particolare, per quanto riguarda i costi relativi al funzionamento del circolatore, nel caso di impianti di medie dimensioni, la spesa oscilla tra i 20 e i 25 euro all'anno, corrispondenti a un consumo di energia elettrica pari a circa 100 kWh.

Si ricorda, inoltre, che per gli impianti solari termici in genere, grazie ai forti incentivi fiscali (55% di detrazione con la L. 296/06 fino al 31 dicembre 2010 e iva agevolata al 10%), il costo dell'investimento è praticamente dimezzato.

### Procedure autorizzative

Il D. lgs. 115 del 30 maggio 2008 ha semplificato la procedura di autorizzazione per gli impianti solari termici a circolazione forzata in quanto, come si evince dall'articolo 11, le installazioni degli "impianti solari aderenti o integrati nei tetti degli edifici con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi" sono da considerarsi "interventi di manutenzione ordinaria e non sono soggetti alla disciplina della denuncia di inizio attività di cui agli articoli 22 e 23 del testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, e successive modificazioni, qualora la superficie dell'impianto non sia superiore a quella del tetto stesso. In tale caso, fatti salvi i casi di cui all'articolo 3, comma 3, lettera a), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, è sufficiente una comunicazione preventiva al Comune."

Questo porta notevoli vantaggi in termini di tempi e costi di installazione per la tecnologia a circolazione forzata. Viceversa, restano soggetti a DIA gli impianti a circolazione naturale in quanto, per la presenza del boiler d'accumulo in copertura, non rientrano nella procedura semplificata di cui sopra.

### Integrazione architettonica e sicurezza.

I sistemi a circolazione forzata hanno la possibilità di essere perfettamente integrati nell'architettura dell'edificio e, in ogni caso, hanno un minimo impatto estetico grazie alla presenza dei soli collettori nella copertura. Inoltre, i collettori posizionati in perfetta aderenza alla falda non risentono di fenomeni di distacco per l'azione del vento.

Nei sistemi a circolazione naturale, in caso di installazione su solai di copertura esistenti, deve essere verificata l'idoneità degli stessi a sopportare il sovraccarico di boiler e massa d'acqua in esso contenuta. La circolazione naturale, inoltre, è caratterizzata dalla mancanza di sistemi di controllo soprattutto in riferimento ai fenomeni estivi di stagnazione (passaggio allo stato di vapore del fluido termovettore per eccesso di apporto di calore) con conseguenti perdite di liquido solare e/o acqua sanitaria dal boiler. A questo fenomeno rispondono al meglio i sistemi a circolazione forzata a svuotamento in quanto, durante il non funzionamento, il fluido solare non è presente nei collettori.

### Possibilità impiantistiche e pratiche.

I sistemi a circolazione naturale risultano molto semplici da installare e non necessitano di spazi dedicati all'interno di un edificio, mentre la circolazione forzata ha bisogno di spazi appositi e con determinate caratteristiche per boiler, accumulo, componentistica idraulica, elettrica e di sicurezza.

Gli impianti a circolazione forzata si adattano a svariate possibilità impiantistiche anche preesistenti in edifici residenziali e non; possono, inoltre, essere utilizzati per il riscaldamento ambienti (impianti combinati) e riscaldamento di piscine. Qualora vengano utilizzati in grandi edifici multifamiliari, in reti di teleriscaldamento, ospedali, residenze per anziani o studenti e nel settore turistico arrivano ad avere collettori con superfici dai 100 sino ai 1000 m<sup>2</sup>.

### Conclusioni.

Alla luce di quanto sopra esposto, posta la necessità di valutare la soluzione più idonea caso per caso, si ritiene che la scelta della tecnologia solare debba tener conto dei numerosi risvolti richiamati: gli aspetti energetici, le procedure autorizzative, i costi di installazione e manutenzione, l'utilizzo estivo od annuale dell'impianto, la tipologia dimensionale e l'integrazione architettonica degli impianti, aspetto quest'ultimo di fondamentale importanza per il definitivo affermarsi della tecnologia solare.

**Paolo Fresu, Gaetano Nastasi  
Gianluigi Costante, Ezio Pireddu,  
Davide Macciotta**

## Tre impianti a confronto

Di seguito viene illustrato il report di una simulazione alle differenze finite, effettuata con passo temporale ad intervalli dell'ordine del minuto, del funzionamento annuale di tre impianti solari destinati a coprire parzialmente il fabbisogno di acs di una utenza monofamiliare realizzati adottando le tipologie impiantistiche esaminate nel presente articolo:

1. circolazione naturale ed integrazione tramite resistenza elettrica;
2. circolazione forzata ed integrazione tramite resistenza elettrica;
3. idem come lo schema 2 ma con serbatoio corredato di dispositivo di caricamento a stratificazione.

Lo schema 3 (circolazione forzata) differisce dallo schema 2 per l'adozione di un serbatoio dotato di dispositivo di caricamento a stratificazione che consente la massimizzazione della resa di scambio termico del circuito solare.

Al fine di pervenire ad un equo confronto energetico sono state adottate, fatto salvo quanto attiene le differenze impiantistiche afferenti lo specifico schema impiantistico, medesime condizioni al contorno per i tre casi esaminati, come riassunto nel riquadro qui a destra.

Le simulazioni sono state tutte effettuate ipotizzando la completa copertura del fabbisogno di acs mediante integrazione con resistenza elettrica da 1 kW<sub>e</sub>. Tale scelta è stata dettata, oltre che dalla semplicità dello schema impiantistico ai fini esplicativi, dall'esigenza di omogeneizzazione delle condizioni al contorno tra i sistemi confrontati <sup>(2)</sup>.

Nei due schemi a circolazione forzata si è inoltre ipotizzato l'utilizzo di una centralina elettronica in grado di gestire, tra l'altro, la velocità dell'elettropompa ad essa asservita entro un range del 30%-100% in funzione del gradiente termico tra collettore solare e parte bassa del serbatoio (*matched flow*), al fine di favorire così l'adattamento del sistema all'entità dell'irraggiamento solare ed evitare inutili sprechi energetici associati a funzionamenti intermittenti tipici degli impianti a portata costante.

I limiti di accensione/spegnimento sono stati impostati secondo logica termostatica con differenziale rispetto la temperatura nominale di accumulo (ON se  $TM_{coll} > T_{serb} + 8^{\circ}C$  - OFF se  $TM_{coll} < T_{serb} + 3^{\circ}C$ , ove  $TM_{coll}$  rappresenta la temperatura di mandata del collettore e  $T_{serb}$  rappresenta la temperatura nominale di accumulo).

La portata dell'elettropompa asservita ai sistemi a circolazione forzata di cui agli schemi 2 e 3 è stata valutata in ragione di 50 l/h/m<sup>2</sup> (sistema *high flow*) <sup>(3)</sup>.

La capacità di scambio degli scambiatori asserviti ai due impianti a circolazione forzata è stata fissata in 1 W/K per litro di volume serbatoio. L'ubicazione serbatoio è stata ipotizzata in esterno (copertura) per lo schema a circolazione naturale ed entro ambiente avente temperatura media annua pari a 20°C per gli schemi a circolazione forzata. Il valore di set-point di temperatura nei serbatoi a servizio degli impianti a circolazione forzata è stato impostato pari a 55°C.

(2) Il ricorso a sistemi a circolazione naturale corredati da resistenza elettrica integrativa è molto frequente, soprattutto nel caso di interventi su edifici esistenti ove si voglia minimizzare i costi e l'invasività di installazione (talvolta a scapito dei costi di esercizio).

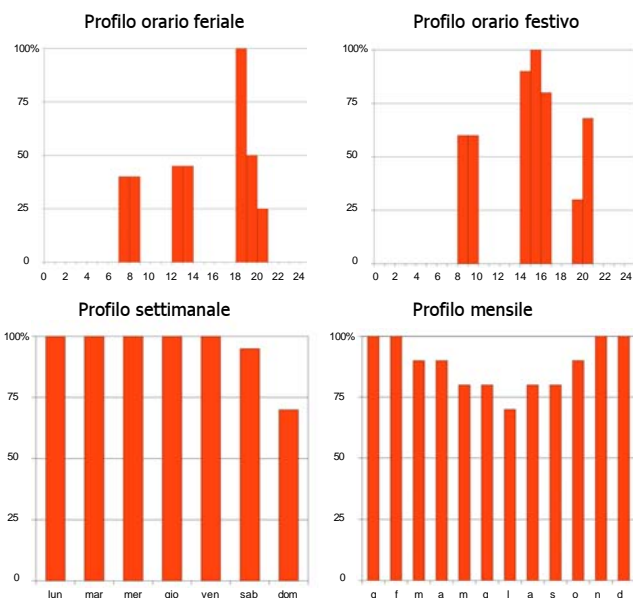
(3) Quando la portata è di ca. 30-50 litri/ora nell'impianto solare si parla di impianto high-flow. Con questa portata specifica il fluido termovettore si riscalda con un irraggiamento di 800-1000 W/m<sup>2</sup> di ca. 10°C. Se il serbatoio è caldo 20°C, il termovettore ritorna a 30°C. Se tutto il serbatoio è salito a 30°C, il termovettore ritorna allora a 40°C. La temperatura, quindi, con l'irraggiamento solare sale lentamente e uniformemente. Nei cosiddetti sistemi low-flow la portata che passa nel collettore viene ridotta a 15-20 l/h/m<sup>2</sup> consentendo un innalzamento della temperatura del fluido termovettore (resta appunto esposto più a lungo al calore del sole) dell'ordine di 20-30°C. Affinché l'acqua calda non si mescoli nel serbatoio insieme all'acqua fredda è indispensabile una corretta modalità di caricamento raggiungibile, a titolo di esempio, mediante scambiatore di calore esterno con carico nella parte superiore del serbatoio e serbatoio a stratificazione.

### Meteo

Latitudine: 39,2 °  
 Longitudine: -9,1°  
 Radiazione globale annua totale: 1634,0 kWh/m<sup>2</sup>  
 Percentuale di radiazione diffusa: 44,3 %  
 Temperatura media esterna: 17,6 °C  
 Temperatura esterna minima: 2,0 °C

### Utenza ACS

Consumo medio giornaliero: 200 l  
 Consumo annuo: 73,0 m<sup>3</sup>  
 Consumo max giornaliero: 236,4 l  
 Temperatura teorica di consumo: 50 °C  
 Temperatura acqua fredda in Febbraio: 15 °C  
 Temperatura acqua fredda in Agosto: 20 °C  
 Fabbisogno energetico annuo (al serbatoio ACS): 2764 kWh  
 Giorni di esercizio: 365 gg



### Caratteristiche e orientamento collettore piano standard

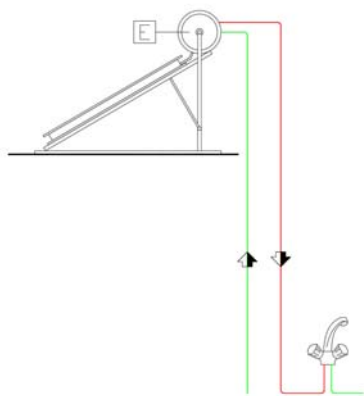
Superficie lorda/captante: 3\*1 m<sup>2</sup>  
 Capacità termica specifica: 6000 Ws/m<sup>2</sup>/K  
 Dispersioni termiche:  
*Coefficiente di trasmittanza termica lineare: 3,8 W/m<sup>2</sup>K*  
*Coefficiente di trasmittanza termica quadratica: 0,03 W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>*  
 Dispersioni ottiche:  
*Fattore di conversione: 78%*  
*Fattore di conversione per radiazione diretta con angolo di irraggiamento di 50°: 88%*  
*Fattore di conversione per radiazione diffusa: 83%*

Orientamento: 0 ° (SUD)  
 Inclinazione: 30 °  
 Ombreggiamento: nessuno

### Accumulo solare

Capacità: 300 l  
 Coibentazione: poliuretano espanso  
 Conduttività effettiva: 0,035 W/(m\*K)  
 Spessore coibentazione: 55 mm  
 Resistenza elettrica: 1 kW<sub>e</sub>

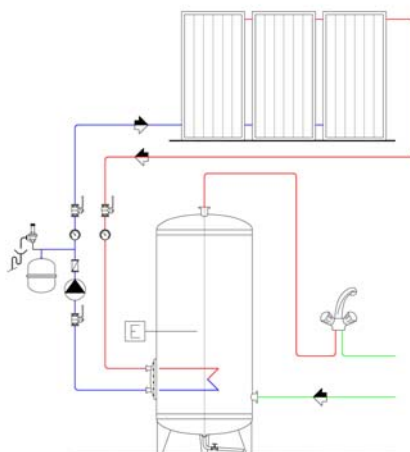




**Bilancio energetico annuale schema 1**

Quota di copertura ACS: 65,3 %  
Rendimento del sistema: 42,9 %

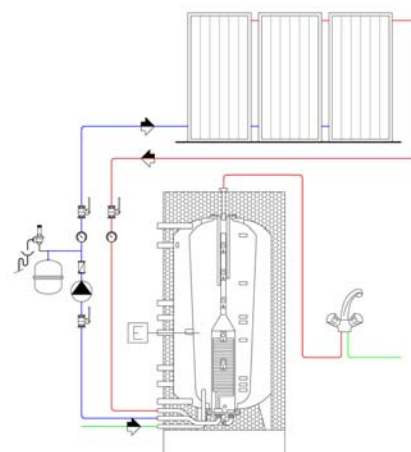
1 Radiazione sulla superficie collettore	5.442 kWh
1.1 Perdite ottiche collettore	1.659 kWh
1.2 Perdite termiche collettore	1.159 kWh
2 Energia del campo collettori	2.624 kWh
2.5 Perdite tubature esterne	252 kWh
2.6 Perdite tubature interne	39 kWh
2.1 Energia solare al serbatoio	2.333 kWh
3.1 Dispersioni serbatoio	809 kWh
6.5 Resistenza	1.240 kWh
9 Energia in uscita dal serbatoio	2.764 kWh



**Bilancio energetico annuale schema 2**

Quota di copertura ACS: 64,8 %  
Rendimento del sistema: 40,0 %

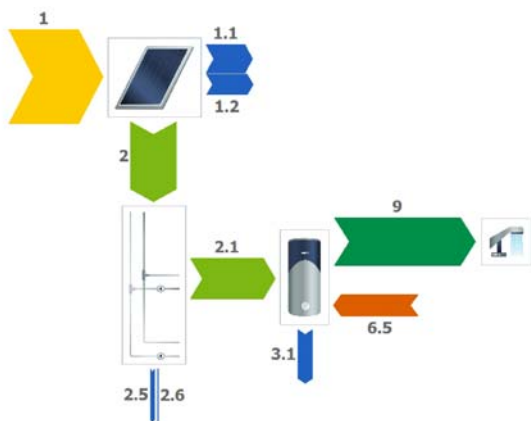
1 Radiazione sulla superficie collettore	5.442 kWh
1.1 Perdite ottiche collettore	1.659 kWh
1.2 Perdite termiche collettore	1.277 kWh
2 Energia del campo collettori	2.506 kWh
2.5 Perdite tubature est.	291 kWh
2.6 Perdite tubature int.	39 kWh
2.1 Energia solare al serbatoio	2.176 kWh
3.1 Dispersioni serbatoio	596 kWh
6.5 Resistenza	1.184 kWh
9 Energia in uscita dal serbatoio	2.764 kWh



**Bilancio energetico annuale schema 3**

Quota di copertura ACS: 67,6 %  
Rendimento del sistema: 42,2 %

1 Radiazione sulla superficie collettore	5.442 kWh
1.1 Perdite ottiche collettore	1.659 kWh
1.2 Perdite termiche collettore	1.179 kWh
2 Energia del campo collettori	2.604 kWh
2.5 Perdite tubature est.	272 kWh
2.6 Perdite tubature int.	39 kWh
2.1 Energia solare al serbatoio	2.293 kWh
3.1 Dispersioni serbatoio	632 kWh
6.5 Resistenza	1.103 kWh
9 Energia in uscita dal serbatoio	2.764 kWh



## Conclusioni

I risultati evidenziati nei bilanci relativi ai tre schemi impiantistici esaminati confermano una sostanziale equivalenza energetica, nel caso di installazione in clima temperato di impianto solare a servizio di piccole utenze, tra il sistema a circolazione naturale e quello a circolazione forzata mostrando nel contempo, col terzo caso, le potenzialità in termini di resa negli impianti a circolazione forzata ove si adottino soluzioni mirate alla massimizzazione dell'efficienza di scambio termico (es. serbatoio corredato di dispositivo di caricamento a stratificazione).

È da notare comunque che, indipendentemente dalla copertura solare e dai rendimenti ottenuti nei tre casi, il siste-

ma a circolazione naturale richiede, per soddisfare il medesimo fabbisogno di ACS, un maggiore contributo energetico integrativo (1240 kWh ottenuti tramite resistenza elettrica) rispetto ai sistemi a circolazione forzata.

Ciò è dovuto sostanzialmente alle maggiori dispersioni termiche associate al serbatoio solare dell'impianto a circolazione naturale per l'installazione all'esterno rispetto a quelle dell'impianto a circolazione forzata oltre che al posizionamento della resistenza elettrica rispetto alle caratteristiche geometriche dell'accumulo. Tale divario aumenta considerevolmente con l'aumentare dei gradi giorno della zona climatica ove l'impianto sia installato.