

# Indice

<b>1</b>	<b>Il solare termico</b>	<b>2</b>
1.1	Introduzione	2
1.2	Componenti di un impianto solare termico	2
1.2.1	Il collettore solare	2
1.2.2	Il serbatoio	4
1.2.3	Vaso di espansione	4
1.2.4	Pompe idrauliche	5
1.3	Tipologie di impianti	5
1.3.1	Circolazione naturale	5
1.3.2	Circolazione forzata	7
1.3.3	Circolazione forzata a vaso chiuso senza svuotamento	8
1.3.4	Circolazione forzata a vaso chiuso con svuotamento (drain-back)	9
1.3.5	Circolazione forzata a vaso aperto con svuotamento	10
1.3.6	Circolazione forzata ad un solo attraversamento	11
1.4	Tecnologia appropriata	12
1.5	Contesto del Paese in via di sviluppo considerato	12
1.6	Fattibilità delle soluzioni proposte	12
1.7	Circolazione naturale	13
1.7.1	Punti di forza	13
1.7.2	Limiti	13
1.8	Circolazione forzata a vaso chiuso senza svuotamento	13
1.8.1	Punti di forza	13
1.8.2	Limiti	13
1.9	Circolazione forzata con svuotamento	14
1.9.1	Punti di forza	14
1.9.2	Limiti	14

# Capitolo 1

## Il solare termico

### 1.1 Introduzione

Il solare termico è una tecnologia che permette di trasformare l'energia contenuta nella radiazione solare in calore (trasformazione fototermica). Questa energia viene poi ceduta a un fluido termovettore, generalmente si tratta di una miscela di acqua. Un impianto standard di questo tipo consente di risparmiare l'energia necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria fino all'80% e fino al 40% del fabbisogno per il riscaldamento degli ambienti e per la produzione di acqua calda<sup>1</sup>. Una società sempre più attenta e sensibile ai consumi energetici e all'impatto ambientale causato dalla combustione di fonti fossili, potrebbe considerare la tecnologia del solare termico una strada interessante per produrre calore a bassa temperatura da utilizzare soprattutto in ambito domestico. Molti paesi dell' Europa del Nord, pur non avendo un'elevata insolazione, hanno investito molte risorse per integrare impianti solari nelle abitazioni ottenendo sempre ottimi risultati.

Un paese in via di sviluppo può trarre beneficio da questa tecnologia? E' economicamente conveniente e facilmente realizzabile?

Per cercare di rispondere a queste domande vengono ora descritti i principali componenti di un impianto solare termico per poi descrivere le principali tecnologie esistenti in base ai vantaggi e agli svantaggi di carattere tecnico ed economico.

### 1.2 Componenti di un impianto solare termico

#### 1.2.1 Il collettore solare



Figura 1.1: Collettore solare piano

Il collettore solare è un dispositivo in grado di trasformare l'energia contenuta nella radiazione solare in calore (trasformazione fototermica). Esistono numerosi tipi di dispositivi, il più

---

<sup>1</sup>sono dati medi, per un'analisi più specifica è necessario analizzare il clima e l'insolazione della località di interesse

diffuso è sicuramente quello **piano** utilizzato per produrre acqua calda a bassa temperatura, cioè compresa tra i 50°C e i 90°C. L'elemento principale è l'**assorbitore**, costituito da una o più piastre/strisce metalliche con buona capacità di condurre il calore (generalmente rame) ricoperte da uno *strato selettivo*, caratterizzato da un elevato coefficiente di assorbimento ( $\alpha$ ) per la radiazione ad onde corte e da una bassa emissività ( $\epsilon$ ) nel campo della radiazione termica. Esistono numerose tecniche per applicare gli strati selettivi sulla superficie metallica, come ad esempio il procedimento galvanico (cromo, alluminio con pigmentazione al nickel) o tramite procedimenti sottovuoto (Tinox o Cermet).

Il calore raccolto viene ceduto al fluido termovettore che scorre in un fascio di tubi a contatto con l'assorbitore (di rame) saldato sopra, sotto o tra le strisce dell'assorbitore.

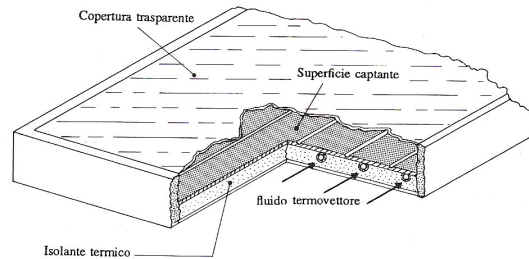


Figura 1.2: Schema di un collettore solare piano

Per incrementare il rendimento del collettore e ridurre le dispersioni termiche il collettore viene coibentato lateralmente e sul retro, mentre al di sopra dell'assorbitore vengono poste una o più lastre trasparenti (vetro o PVC).

Un'altra tipologia che si sta sempre più diffondendo in ambito civile è il collettore solare a **tubi di vetro sottovuoto**, costituito da una serie di cilindri di vetro al cui interno sono presenti l'assorbitore e il tubo di rame che trasporta il fluido termovettore. La pressione



Figura 1.3: Collettore solare a tubi di vetro sottovuoto

dell'aria presente tra la piastra e il vetro è molto ridotta e questo consente di limitare le dispersioni termiche per convezione. Questi pannelli sono molto efficienti, ma anche costosi e più complessi da realizzare, soprattutto perchè è necessario mantenere una tenuta perfetta e garantire una buona resistenza meccanica.

Esistono inoltre dei pannelli solari molto semplici ed economici privi della copertura trasparente costituiti da semplici "tubi neri" realizzati con polimeri termoplastici (come il polipropilene). Questa tipologia non permette quasi mai (a parte in condizioni climatiche e di insolazione particolarmente favorevoli) di raggiungere temperature adatte per la produzione di acqua sanitaria, ma può essere utilizzata, abbinandola ad una caldaia aggiuntiva, per riscaldare l'acqua delle piscine.



Figura 1.4: Collettore solare scoperto

### 1.2.2 Il serbatoio

In un impianto solare termico il serbatoio è utilizzato per accumulare l'energia raccolta dal collettore solare, che può essere così utilizzata anche durante i periodi di scarsa insolazione. Per accumulare più energia è necessario aumentare le dimensioni del serbatoio, ma questo comporta un aumento delle dispersioni termiche dovute alla maggiore superficie di scambio con l'esterno; risulta quindi necessario coibentare in modo efficace le pareti dell'accumulatore. Nella maggior parte dei serbatoi in commercio sono presenti due scambiatori di calore, uno



Figura 1.5: Sezione assiale di un serbatoio solare termico

del circuito solare e uno per la caldaia ausiliaria esterna che viene usata quando l'insolazione non è sufficiente per garantire una certa temperatura dell'acqua. Gli scambiatori utilizzati sono generalmente delle serpentine a tubi lisci o corrugati

### 1.2.3 Vaso di espansione

Il vaso di espansione è un componente che permette di recepire l'aumento di volume del fluido termovettore conseguente a un aumento della sua temperatura e può essere aperto o chiuso:

**A) Vaso aperto:** l'espansione avviene all'interno di un recipiente chiuso in modo ermetico dove è presente una membrana elastica che separa l'acqua dall'aria (che fa da cuscino).

- **Vantaggi:** garantisce una maggiore sicurezza in quanto il circuito idraulico non è in pressione, è più semplice da installare ed è economico.
- **Svantaggi:** il contatto con l'ossigeno presente nell'aria, può provocare la corrosione delle pareti interne delle tubazioni; inoltre con il passare del tempo sulle pareti dei tubi si accumulano depositi di calcare a causa dell'evaporazione del fluido termovettore.

**B) Vaso chiuso:** l'espansione avviene a contatto con l'aria esterna in apposite vasche aperte tramite un tubo di sfiato.

- **Vantaggi:** la maggiore durata delle tubazioni è dovuta a minori corrosioni e incrostazioni.
- **Svantaggi:** dato che il fluido è mantenuto in pressione l'impianto risulta meno sicuro e anche più costoso, perchè necessita di dispositivi ausiliari di sicurezza.

#### 1.2.4 Pompe idrauliche

Le pompe idrauliche sono utilizzate per far scorrere il fluido termovettore nel circuito solare, dal pannello al serbatoio di accumulo. Sono macchine idrauliche centrifughe alimentate con corrente continua o alternata. Il consumo è dell'ordine delle decine di Watt e generalmente non supera i 100 W (a meno che l'impianto sia molto grande).

### 1.3 Tipologie di impianti

#### 1.3.1 Circolazione naturale

In un impianto a circolazione naturale il moto del fluido che attraversa il circuito idraulico è reso possibile dalla differenza di densità che si instaura tra il fluido freddo, all'uscita dal serbatoio, e il fluido caldo presente nel collettore solare. Un aumento della temperatura comporta una diminuzione della densità e quindi un'espansione del fluido che, grazie alla spinta di Archimede, tende a salire essendo meno denso del fluido freddo che entra nel collettore. Affinchè si instauri questo fenomeno di convezione naturale è necessario posizionare l'accumulo al di sopra del collettore solare in modo che il fluido caldo, che tende a salire, possa scambiare calore con l'acqua contenuta nel serbatoio.

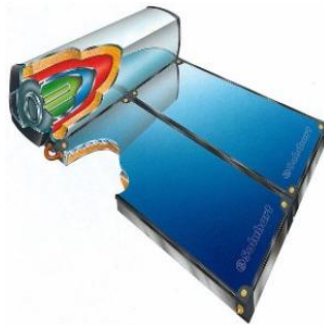


Figura 1.6: Impianto a circolazione naturale (<http://www.solahart.com>)

Le tecnologie a circolazione naturale si distinguono in impianti a scambio diretto (circuito aperto) e a scambio indiretto (circuito chiuso). Il primo è caratterizzato da un unico circuito in cui fluisce l'acqua che viene utilizzata a scopo sanitario. Nel secondo è presente un circuito in

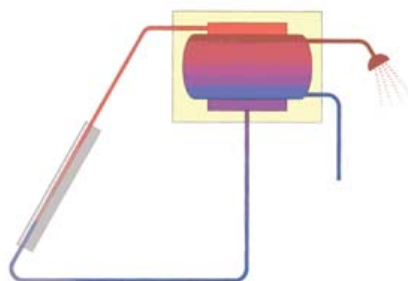


Figura 1.7: Circuito aperto a circolazione naturale

più dove scorre il fluido termovettore (miscela di acqua con eventuale presenza di antigelo) che riscalda l'acqua sanitaria, accumulata in un serbatoio, attraverso uno scambiatore di calore. Generalmente, in ambito domestico, si utilizzano impianti a circuito chiuso per evitare depositi di calcare che, con il passare del tempo, ostruiscono i tubi aumentando considerevolmente le perdite di carico.

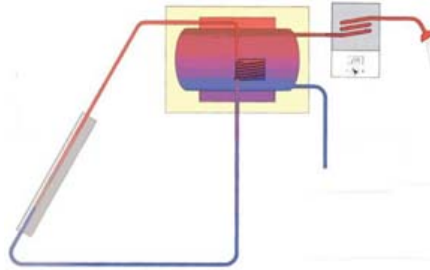


Figura 1.8: Circuito chiuso a circolazione naturale

### Vantaggi

Dato che la movimentazione del fluido è del tutto naturale, cioè non è necessario installare componenti ausiliari (le pompe), l'impianto risulta molto **semplice** soprattutto perchè:

- è in grado di regolarsi autonomamente ;
- l'installazione risulta rapida ed economica dato che non sono presenti pompe, centraline e sonde;
- la manutenzione necessaria non richiede interventi complessi.

Inoltre:

- è caratterizzato da un'elevata affidabilità;
- il suo funzionamento è indipendente dalla disponibilità di energia elettrica.

### Svantaggi e limitazioni

La **progettazione**, al contrario della costruzione, non è semplice perchè richiede uno studio complesso, avanzato e costoso. Infatti tutti i parametri che determinano il funzionamento devono essere calcolati in modo ottimale perchè non sono presenti componenti esterni di regolazione.

Un impianto a circolazione naturale è caratterizzato da una **struttura pesante** (collettore più serbatoio), perciò richiede un sottotetto resistente in grado di reggere il peso dei componenti. E' richiesta inoltre un'**inclinazione minima** del collettore per garantire un funzionamento corretto e in alcuni casi, caratterizzati da bassa insolazione, la circolazione naturale non si attiva.

Durante il periodo estivo, l'intensa irradiazione può causare un eccessivo accumulo di calore all'interno del pannello, che non viene smaltito dalla circolazione del fluido del circuito solare, causando il cosiddetto fenomeno della **stagnazione**. A circa 130°C, parte della miscela antigelo (acqua più glicole) comincia ad evaporare provocando l'aumento di pressione, dovuto all'aumento di temperatura, all'interno del circuito chiuso causando perdite di carico, minor scambio termico e cattivo funzionamento del collettore. Inoltre il surriscaldamento del fluido può alterare la struttura chimica della miscela antigelo basica, conferendole caratteristiche acide. L'aumento di pressione può essere compensato dal vaso di espansione, ma generalmente non è previsto nei sistemi a circolazione naturale. Perciò, per evitare questo fenomeno indesiderato, occorre raffreddare il fluido termovettore sostituendo l'acqua contenuta nel serbatoio

con nuova acqua fredda. Questa soluzione comporta uno *spreco di energia*, ma soprattutto uno **spreco di acqua** non trascurabile. Un'alternativa è usare delle tendine provviste di motore elettrico per evitare l'assorbimento della radiazione da parte del collettore, ma è una soluzione drastica e costosa (Fig.1.9). Proteggere i pannelli con delle coperte è sicuramente più utile durante i periodi in cui l'impianto è fermo e i collettori sono vuoti, per evitare possibili deformazioni meccaniche.



Figura 1.9: Collettori dotati di tendine elettriche per evitare la stagnazione: sistema antistagnazione del **Bepi** ([www.portalsole.it](http://www.portalsole.it))

### 1.3.2 Circolazione forzata

In un impianto a circolazione forzata il moto del fluido è imposto da una o più pompe presenti nel circuito idraulico. La posizione del serbatoio non influisce sul corretto funzionamento dell'impianto e perciò può essere posto in una qualsiasi posizione, generalmente all'interno dell'edificio. Anche questa categoria è suddivisa in impianti a scambio diretto e a scambio indiretto. I primi sono utilizzati prevalentemente per scaldare acqua calda a livello stagionale (utilizzata nelle docce all'aperto o per il riscaldamento delle piscine) mentre gli altri vengono usati tutto l'anno anche nei mesi più freddi, grazie alla miscela antigelo presente nel circuito solare. Come per gli impianti a circolazione naturale risulta preferibile lo scambio indiretto per evitare i depositi di calcare.

#### Vantaggi

Generalmente<sup>2</sup>, rispetto alla circolazione naturale, un impianto a circolazione forzata presenta un'**elevata efficienza** legata soprattutto:

1. al posizionamento verticale del serbatoio, che permette una migliore stratificazione dell'acqua a differenti temperature<sup>3</sup>
2. al collocamento del serbatoio in luoghi protetti, che garantiscono una migliore coibentazione riducendo così le perdite termiche dovute a flussi convettivi e radiativi.

<sup>2</sup>Si veda ad esempio l'eccezione rappresentata dall'impianto a circolazione forzata ad un solo attraversamento

<sup>3</sup>Nella configurazione verticale il prelievo di acqua calda viene effettuato nella parte alta del serbatoio mentre il reintegro di acqua fredda nella parte inferiore. In questo modo si riduce il miscelamento dell'acqua calda con quella fredda

Gli impianti a circolazione forzata possono funzionare anche in **condizioni limite**, cioè con scarsa insolazione e con diverse inclinazioni dei collettori. I collettori solari possono essere integrati perfettamente nell'architettura dell'edificio e, grazie al fatto che l'accumulo non è posto sul tetto, hanno uno **scarso impatto visivo**.

### Svantaggi

Generalmente questa tecnologia viene adottata per impianti di grosse dimensioni ed è caratterizzata da un sistema tecnologicamente complesso. Infatti **i costi di investimento e manutenzione sono più elevati** a causa dei numerosi componenti installati. Inoltre l'installazione necessita di spazi riservati per il serbatoio, le tubazioni, i componenti elettrici e di sicurezza.

E' noto che grossi accumuli di acqua calda (con una temperatura compresa tra i 25 e i 42°C) favoriscono il proliferare della **legionella**, un batterio molto pericoloso. Per evitare questo problema occorre:

- rinnovare spesso l'acqua accumulata nel serbatoio;
- oppure utilizzare serbatoi più piccoli per riscaldare in modo istantaneo l'acqua accumulata.

Nei prossimi paragrafi verranno descritte le principali<sup>4</sup> tipologie a circolazione forzata che, pur avendo caratteristiche simili, presentano numerose differenze sia dal punto di vista impiantistico che da quello operativo.

### 1.3.3 Circolazione forzata a vaso chiuso senza svuotamento

In questo tipo di impianto il fluido vettore, che è composto da una miscela di acqua e antigelo, è mantenuto in pressione (circa 1 – 2 atm) nel circuito solare e scambia calore con l'acqua sanitaria attraverso una serpentina immersa nel serbatoio.

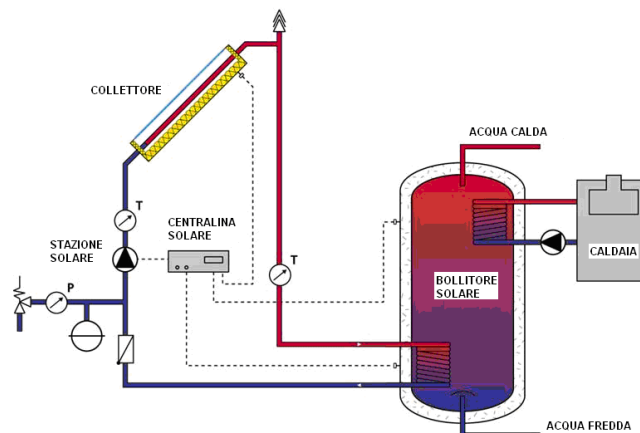


Figura 1.10: Impianto a circolazione forzata (www.novatechenergy.it)

### Vantaggi

Gli impianti a circolazione forzata a vaso chiuso, al contrario di quelli a circolazione naturale, **non spreca acqua** nel caso di irradiazione eccessiva. L'aumento di pressione infatti viene compensato dal vaso di espansione, un componente da dimensionare con molta attenzione.

Il circuito idraulico a vaso chiuso (in pressione) inoltre, evita il fenomeno della corrosione sulla parete interna delle tubazioni, perchè il fluido vettore non entra in contatto con l'aria esterna ricca di ossigeno.

<sup>4</sup>gli impianti descritti sono quelli più diffusi o ritenuti promettenti.



### Svantaggi e limitazioni

Anche se non viene sprecata acqua in caso di elevata irradiazione, il surriscaldamento del fluido può alterare la struttura chimica della miscela antigelo basica, conferendole caratteristiche acide.

La presenza del vaso di espansione (chiuso) richiede l'installazione di numerosi componenti ausiliari tra cui:

- le valvole di sicurezza, di sfiato, di intercettazione (o ritegno) per evitare che la pressione superi i valori stabiliti dai costruttori del collettore solare;
- un gruppo idraulico di carica automatico dall'acquedotto per mantenere l'impianto in pressione;
- manometri per monitorare la pressione del fluido all'interno delle tubazioni del circuito e del pannello.

#### 1.3.4 Circolazione forzata a vaso chiuso con svuotamento (drain-back)

In questo particolare tipo di impianto il circuito solare non è riempito completamente di fluido termovettore (una speciale miscela di acqua e glicole) e non è mantenuto in pressione. Quando la pompa idraulica non è in funzione il fluido è raccolto nella serpentina<sup>5</sup>, nelle tubazioni adiacenti al serbatoio (dove è accumulata l'acqua sanitaria) oppure in un serbatoio più piccolo addizionale. In questo modo il collettore e le tubazioni rimangono pieni d'aria.

Quando la temperatura del collettore, irraggiato dal sole, raggiunge il livello scelto in fase di progettazione, la pompa (o le pompe) spinge la miscela fuori dalla serpentina attraverso le tubazioni fino al collettore solare. Il fluido viene così riscaldato e rimandato nello scambiatore di calore del serbatoio. Appena dopo questa fase la potenza fornita alla pompa viene ridotta perchè la prevalenza necessaria alla miscela per raggiungere il pannello solare viene in parte compensata dal ritorno del fluido; la pompa quindi dovrà fornire l'energia necessaria per vincere le perdite di carico distribuite e concentrate come in un classico impianto a circolazione forzata.

Durante il funzionamento dell'impianto il livello del fluido contenuto nella serpentina scende poco, perchè il volume delle tubazioni sottili dell'impianto e del collettore è inferiore rispetto a quello del grosso scambiatore. Nella parte superiore della serpentina si raccoglie così l'aria spinta fuori dalla parte superiore del circuito solare che si dilata leggermente a causa dell'aumento di temperatura. Questa bolla d'aria si comporta quindi da vaso di espansione e perciò non deve essere assolutamente scaricata attraverso un dispositivo di sfiato.

Quando il collettore non è più in grado di riscaldare il fluido o quando la temperatura raggiunge valori troppo elevati (che potrebbero causare la stagnazione dell'impianto) la pompa si ferma e il fluido termovettore torna nella serpentina maggiorata svuotando il collettore e le tubazioni.

### Vantaggi

Un sistema drain-back evita la stagnazione dell'impianto perchè se la temperatura del fluido, misurata da appositi sensori collegati ad un termostato, raggiunge valori troppo elevati, la pompa si ferma e il collettore viene svuotato. Inoltre non è necessario installare il vaso di espansione chiuso perchè la bolla d'aria presente nella serpentina svolge la medesima funzione; la valvola di sfiato e il manometro quindi, non risultano necessari.

### Svantaggi

Il funzionamento dell'impianto dipende dalla presenza della bolla d'aria che non deve essere assolutamente scaricata all'esterno e quindi occorre garantire una perfetta tenuta del circuito

---

<sup>5</sup>è un serpentina maggiorata, con un volume maggiore rispetto a quelle tradizionali

idraulico. Come nei tradizionali impianti a circolazione forzata, accumuli grandi di acqua calda sanitaria potrebbero favorire la proliferazione della legionella.

### 1.3.5 Circolazione forzata a vaso aperto con svuotamento

Un impianto solare termico a vaso aperto con svuotamento è una tecnologia particolare a circolazione forzata che differisce dalle soluzioni tradizionali principalmente per due motivi:

- il fluido termovettore non è mantenuto in pressione nel circuito solare e l'espansione;
- il serbatoio principale è utilizzato per accumulare il fluido termovettore anziché l'acqua calda sanitaria che viene riscaldata mediante uno scambiatore di calore a serpentina posto all'interno del serbatoio in modo "istantaneo".

Quando l'impianto è a riposo, il fluido termovettore è raccolto tutto nell'accumulo mentre i collettori e le tubazioni sono vuoti. Se la temperatura del collettore, irraggiato dal sole, raggiunge il livello scelto in fase di progettazione, le pompe cominciano a far fluire il liquido all'interno del circuito fino al collettore per poi arrivare al serbatoio. In questa prima fase occorre l'azione di due pompe poste in serie per vincere la prevalenza imposta dalla quota che deve raggiungere il fluido termovettore. Quando il circuito è pieno, è sufficiente l'azione di una sola delle due pompe per mantenere la circolazione a regime. Se non sono presenti le condizioni adatte allo scambio termico tra collettore e fluido (irradiazione insufficiente causata da un'elevata nuvolosità o dal sopraggiungere della notte) la pompa si ferma e la circolazione si interrompe. Grazie ad un piccolo foro il circuito si svuota (facendo posto all'aria) e il fluido viene raccolto nel serbatoio.

#### Vantaggi principali

Negli impianti a vaso aperto l'accumulo termico è affidato al fluido termovettore e non direttamente all'acqua sanitaria come negli impianti tradizionali a circolazione forzata. *Questo accorgimento evita il rischio che le persone entrino direttamente a contatto con l'agente patogeno eventualmente presente nell'acqua utilizzata.* Così l'acqua sanitaria utilizzata non proviene da un accumulo, ma viene riscaldata "istantaneamente" tramite uno scambiatore immerso nel serbatoio.

Gli impianti a vaso aperto inoltre sono **molto più semplici** rispetto a quelli tradizionali, perché il fluido termovettore non è mantenuto in pressione nel serbatoio; perciò il vaso di espansione non è da installare e nemmeno gli sfiatori usati per eliminare le eventuali bolle d'aria, presenti nel circuito idraulico, che compromettono la corretta circolazione. Inoltre avere i collettori e le tubazioni vuote, permette di risolvere due problemi rilevanti degli impianti a circolazione forzata tradizionali:

1. **non è necessario utilizzare antigelo** nel fluido termovettore perché in inverno, se la temperatura ambiente scende sotto gli 0°C e non c'è un'isolazione sufficiente, i collettori vengono svuotati e non c'è il rischio che si formi ghiaccio;
2. **non c'è il rischio di stagnazione** in estate perché se l'irradiazione sul collettore è troppo elevata il circuito si svuota e il fluido termovettore è immagazzinato totalmente nel serbatoio.

In sintesi, i vantaggi principali di un impianto a vaso aperto con svuotamento sono:

- non ha bisogno di antigelo nel circuito del collettore solare;
- non si verificano le condizioni di stagnazione;
- risulta più semplice perché, non avendo circuiti in pressione, non possiede il vaso di espansione e gli sfiatori;
- la manutenzione è minima perché non ha un circuito in pressione che può perdere efficienza con il passare del tempo;

- elimina il proliferare della legionella nell'acqua calda sanitaria poichè l'acqua viene riscaldata istantaneamente.

### Svantaggi

La presenza di aria, e quindi di ossigeno, nel circuito solare potrebbe favorire fenomeni di corrosione delle pareti interne delle tubazioni.

### 1.3.6 Circolazione forzata ad un solo attraversamento

E' l'impianto più semplice che può essere concepito e l'unico in cui l'acqua che attraversa il collettore è quella che verrà utilizzata direttamente dalle utenze. Non necessita di pompe se la pressione dell'acqua proveniente dall'acquedotto è sufficiente a far circolare il fluido nel circuito.

Lo schema proposto in fig.1.11 possiede un collettore scoperto costituito da tubi in polipropilene.

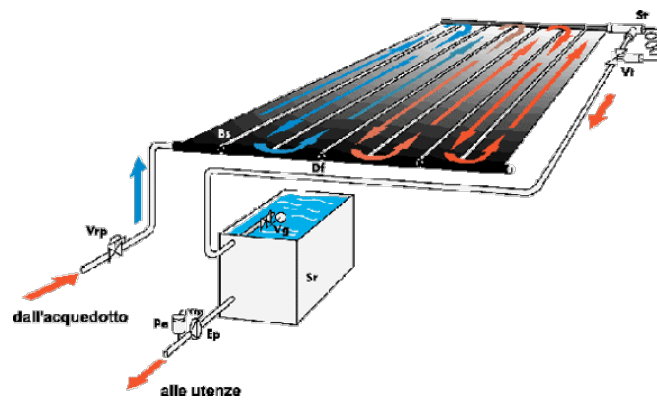


Figura 1.11: Impianto ad un solo attraversamento ([www.sunnyday.it](http://www.sunnyday.it))

Questo sistema è adatto solo quando la richiesta di acqua calda coincide con una buona insolazione. Perciò può rivelarsi utile negli stabilimenti balneari e non trova altre applicazioni interessanti.

Inoltre questa soluzione, dato che non fa ricircolare lo stesso fluido, può essere problematica a causa dei depositi di calcare che intasano le tubazioni e aumentano le perdite di carico.

## 1.4 Tecnologia appropriata

Dopo aver analizzato a livello tecnico le diverse tipologie di un impianto solare termico, occorre valutare da un punto di vista economico, organizzativo e pratico la fattibilità delle tecnologie proposte.

Per cominciare è opportuno sottolineare il significato di *tecnologia appropriata* e verificare quale impianto ne soddisfa al meglio i requisiti. Il testo *Appropriate Technology Journal*, scritto dall'economista Ernst Friedrich Schumacher nel 1976, evidenzia i requisiti che devono soddisfare gli strumenti e le tecniche di una tecnologia appropriata:

1. richiedono un piccolo ammontare di capitali;
2. sono realizzati soprattutto con materie prime reperibili in loco;
3. sono ad alto impiego di manodopera, ma sono più produttive di altre tecnologie tradizionali;
4. sono di piccola scala per soddisfare le esigenze di famiglie singole o di gruppi di famiglie;
5. possono essere comprese, controllate e sviluppate anche dagli abitanti di villaggi, senza particolari corsi;
6. possono essere prodotti in villaggi o piccoli laboratori;
7. presuppongono un lavoro collettivo per poter portare miglioramenti a tutta la comunità;
8. lo sviluppo degli strumenti è indirizzato verso il lavoro e le abilità umane, piuttosto che verso le macchine, che sostituiscono il lavoro umano e riducono le sue capacità;
9. sono flessibili e possono essere adattati a differenti luoghi e a condizioni al contorno differenti;
10. il loro uso non arreca danno all'ambiente;

## 1.5 Contesto del Paese in via di sviluppo considerato

Dopo aver definito le caratteristiche principali di una tecnologia appropriata, è necessario inquadrare, sotto vari aspetti, il luogo dove verrà installato l'impianto che soddisfa i requisiti enunciati. Anche se ogni Paese in via di sviluppo ha il suo contesto geografico, economico, politico e sociale differente, ci sono alcune problematiche generali, a diversi livelli, che accomunano queste nazioni:

- *la fornitura di energia elettrica* (che potrebbe non essere garantita con continuità);
- *la disponibilità di acqua potabile*;
- *il livello di insolazione* (generalmente elevato se si considera che la maggior parte dei paesi in via di sviluppo e del terzo mondo sono compresi tra i due tropici);
- *la qualità della sanità pubblica e la tutela del lavoratore*.

## 1.6 Fattibilità delle soluzioni proposte

In base alle informazioni e agli strumenti elencati nei paragrafi precedenti si cerca ora di trovare la tecnologia più adatta da inserire in un generico paese in via di sviluppo.

## 1.7 Circolazione naturale

### 1.7.1 Punti di forza

- **Non è richiesta energia elettrica** per il funzionamento dell'impianto;
- dato che *l'impianto si regola autonomamente* non sono necessari organi e strumenti di regolazione;
- *non sono presenti dispositivi aggiuntivi* come pompe e termostati e perciò la manutenzione e l'installazione non richiedono interventi complessi;

Inoltre, scegliendo il circuito chiuso, si aggiungono i seguenti vantaggi:

- si possono ottenere temperature superiori ad un impianto con circuito aperto grazie al continuo ricircolo del fluido termovettore;
- si elimina il problema dei depositi di calcare nelle tubazioni;
- la fornitura di calore è omogenea anche quando l'uso non è continuo;
- sono caratterizzati da un'elevata affidabilità.

### 1.7.2 Limiti

I principali limiti di un impianto a circolazione naturale sono causati principalmente dall'eccessiva irradiazione sulla superficie del collettore, un problema rilevante presente nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo. Infatti un' elevata insolazione può innescare il fenomeno della **stagnazione** che generalmente si evita *aggiungendo nuova acqua potabile nel serbatoio*, uno spreco che, al contrario dei paesi sviluppati, non ha un impatto trascurabile.

Inoltre è opportuno ricordare che se l'acqua sanitaria è accumulata in grande quantità, il batterio della **legionella** trova l'ambiente ideale per proliferare, aspetto da considerare con attenzione in un paese in via di sviluppo.

Un altro limite riguarda la progettazione che è particolarmente complessa e costosa che risulta difficile da elaborare ed organizzare senza esperti e strumenti avanzati.

## 1.8 Circolazione forzata a vaso chiuso senza svuotamento

### 1.8.1 Punti di forza

Rispetto agli impianti a circolazione naturale, gli impianti a circolazione forzata **non spreca-no acqua**, perchè l'aumento di volume, causato dall'evaporazione del fluido termovettore, è recepito dal vaso di espansione

### 1.8.2 Limiti

- Per funzionare hanno bisogno di **corrente elettrica**, che alimenta le pompe e alcuni ausiliari. Anche se l'energia necessaria ha un modesto impatto non è detto che sia garantita sempre con continuità, un aspetto rilevante ed inevitabile;
- sono *sistemi tecnologicamente complessi* con elevati costi di manutenzione ed investimento;
- un eccessivo surriscaldamento del fluido può causare il fenomeno della stagnazione e l'alterazione chimica della miscela antigelo;

## 1.9 Circolazione forzata con svuotamento

### 1.9.1 Punti di forza

Come descritto nei paragrafi [1.3.4](#) e [1.3.5](#), un impianto solare a svuotamento riduce notevolmente i limiti presenti in un impianto tradizionale a circolazione forzata. Infatti la *struttura risulta più semplice sia per la realizzazione che per la manutenzione*. Inoltre, in particolare nei sistemi a vaso aperto, **non è presente il problema della legionella** grazie al fatto che non vengono accumulate grosse quantità di acqua sanitaria.

### 1.9.2 Limiti

- Il problema principale di questa tecnologia è **la necessità di corrente elettrica** per il funzionamento dell'impianto;
- altri problemi riguardano la manutenzione e sostituzione delle pompe, aspetti che potrebbero creare qualche difficoltà organizzativa e operativa.