

## SOLAR COOLING

### Raffreddare con il sole

**La climatizzazione solare – opportunamente sviluppata – consente di ottenere considerevoli risparmi energetici rispetto agli impianti convenzionali. Sicuramente, però, per scegliere il sistema e dimensionare l'impianto occorre una simulazione dinamica dell'andamento delle condizioni climatiche interne a un edificio. In futuro, poi, è auspicabile lo sviluppo di dispositivi idraulici e sistemi di regolazione per uno sfruttamento ottimale degli apporti solari disponibili.**

La climatizzazione ad assorbimento è una delle più promettenti tecnologie termiche di climatizzazione perché consente lo sfruttamento dell'energia solare e quindi un risparmio d'energia primaria più o meno alto. Due fattori rendono questa tecnologia interessante: le basse temperature d'esercizio (da 45°C a 90°C) e il fatto che il fluido refrigerante usato è l'acqua e questa non crea problemi per l'ambiente [1].

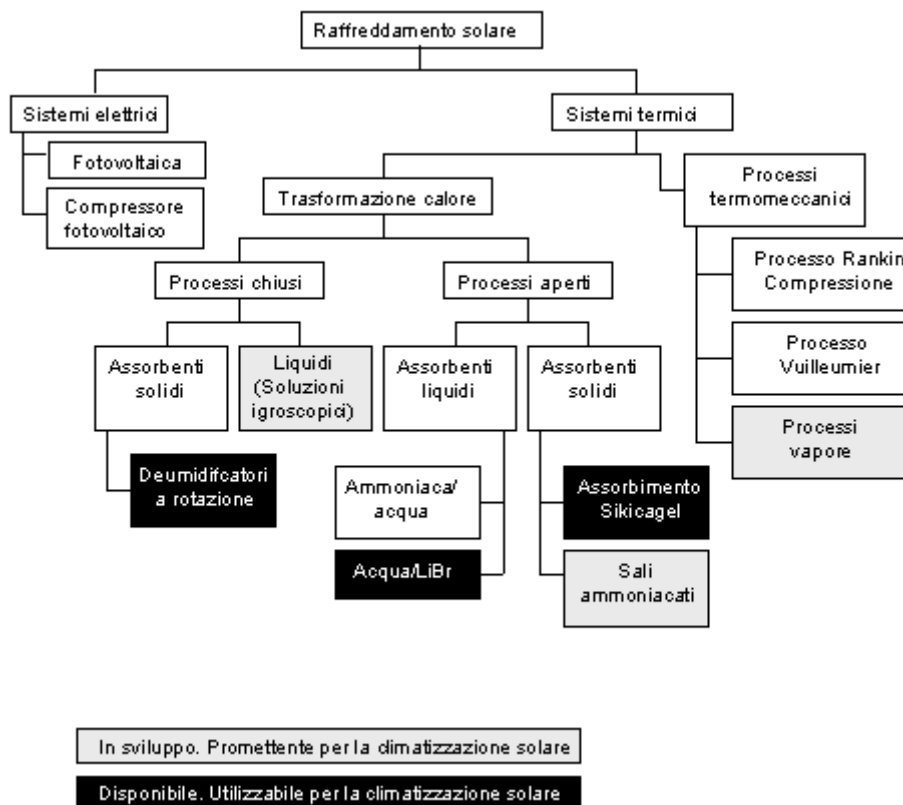
In questo articolo illustriamo alcune tecnologie che consentono di conseguire notevoli risparmi d'energia primaria rispetto agli impianti di climatizzazione convenzionali. Le tecnologie prese in considerazione sono le seguenti:

- sistemi interamente solari (autonomi)
- sistemi solari assistiti da una macchina frigorifera a compressione
- sistemi con un'elevata percentuale di copertura solare
- sistemi frigoriferi a due effetti, alimentati da collettori solari ad alto rendimento.

#### La necessità di raffreddare

Negli edifici, soprattutto in quelli amministrativi ampiamente vetriati, spesso in estate si manifestano delle spiacevoli condizioni di surriscaldamento che diminuiscono notevolmente il benessere degli occupanti. In questi casi, la climatizzazione, oltre a garantire il necessario ricambio d'aria, assume la funzione di mantenere la temperatura e l'umidità relativa dell'aria interna ad un livello gradevole. Il controllo della temperatura dell'aria si può ottenere con una sufficiente ventilazione, oppure raffreddando delle superfici termoattive, per esempio, quelle dei solai e dei pavimenti, ma l'umidità relativa si può regolarla solo tramite il condizionamento dell'aria.

La regolazione della temperatura e dell'umidità dell'aria si ottiene normalmente con un impianto di ventilazione combinato con una macchina frigorifera. Le macchine refrigeranti consumano o energia elettrica o termica. Volendo usare l'energia solare per risparmiare energia primaria (gasolio, gas metano, ecc.), si devono impiegare delle macchine termiche. Volendo non solo raffreddare con il sole, ma anche controllare l'umidità dell'aria e quindi il comfort igrotermico, si possono impiegare tecnologie termiche a processi aperti d'assorbimento. Si ha così ciò che si chiama "climatizzazione ad assorbimento" (CAA).



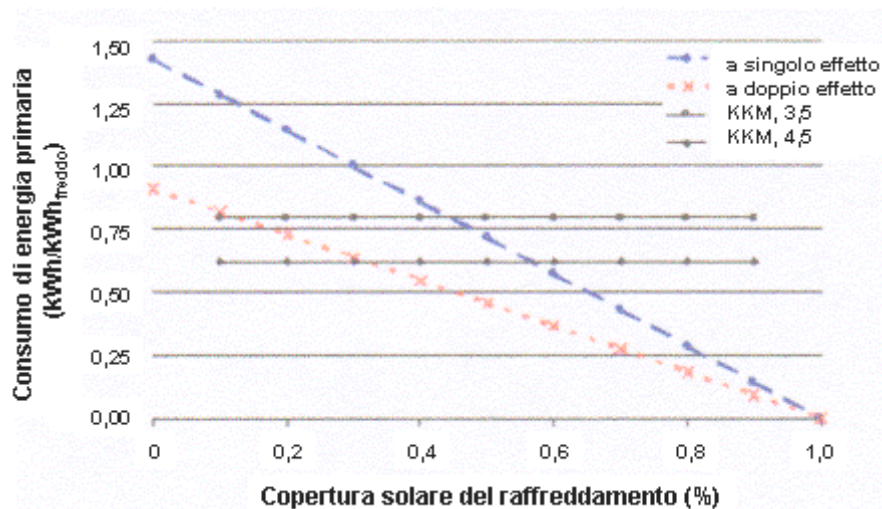
**Figura 1** - Possibili tecnologie di trasformazione della radiazione solare in freddo o utilizzabili per il condizionamento dell'aria

### Risparmio di energia primaria

I sistemi di climatizzazione solare ad assorbimento possono sì contribuire ad un notevole risparmio energetico, ma l'uso d'energia solare ha anche dei limiti. Già un semplice confronto tra alcuni processi termici, convenzionali e solari, basato solo sui coefficienti di prestazione (COP) delle macchine termiche e sul rendimento della produzione d'energia elettrica, può dimostrare l'assunto.

Le macchine frigorifere termiche a singolo effetto hanno normalmente un COP di circa 0,7; lo stesso COP vale anche per le macchine ad assorbimento e per i processi CAA con deumidificatori a rotazione. Il COP delle macchine a doppio effetto è invece di circa 1,1. Le più moderne macchine frigorifere a compressione raggiungono un COP compreso tra 3,5 e 4,5. Per quanto riguarda il rendimento della produzione di corrente elettrica, si può ipotizzare che con 1 kWh d'energia primaria si producano circa 0,36 kWh d'energia elettrica.

Il diagramma (figura 2) dimostra che, tra tutti i processi presi in esame, quelli termici alimentati con energia primaria (per esempio gas naturale), hanno un rendimento inferiore rispetto alle moderne macchine frigorifere a compressione. Per raggiungere lo stesso livello dei consumi d'energia primaria, i processi termici devono essere alimentati con l'energia solare almeno nella misura variabile tra il 10% e il 55%, secondo il sistema e della tecnologia frigorifera applicata. Un effettivo risparmio d'energia primaria si ottiene quindi solo con una copertura solare ancora maggiore.



**Figura 2** – Consumo d'energia primaria. Confronto tra macchine frigorifere convenzionali e macchine frigorifere assistite da collettori solari

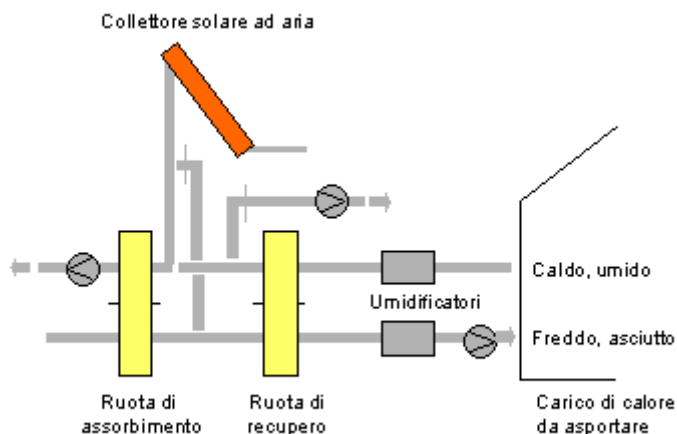
Dalle considerazioni appena espresse, si apprende che per ottenere un effettivo risparmio d'energia primaria con la climatizzazione solare, prima di scegliere un determinato sistema di climatizzazione, si deve concretamente valutare la situazione in base ad un bilancio energetico.

### Sistemi interamente solari

Rinunciare a qualsiasi ausilio integrativo (backup), significa accettare il principio: "Take, what you get". Si climatizza solo nella misura consentita dagli effettivi apporti solari. Quando il sole c'è, c'è energia e quindi si può anche raffreddare con il sole. Il principio funziona al meglio quando il surriscaldamento è principalmente causato dagli apporti solari, cioè quando il bisogno di raffreddare e gli apporti solari si manifestano contemporaneamente, come avviene in edifici interamente vetrati.

Una certa flessibilità nell'uso degli apporti solari si può però ottenere integrando nel sistema un accumulatore di calore, per esempio un serbatoio d'acqua. In questo caso, non basta un semplice bilancio energetico per scegliere il sistema e per dimensionare l'impianto. Occorre, invece, una simulazione dinamica dell'andamento giornaliero delle condizioni climatiche all'interno dell'edificio, una simulazione che evidenzia quelle ore in cui il comfort igrotermico non è garantito. La simulazione deve essere eseguita considerando l'intero sistema costituito dall'edificio, dall'impianto di ventilazione e da quello del collettore solare.

Un impianto interamente solare è stato installato, per esempio, nell'edificio della Camera di commercio di Freiburg i.Br. (Germania), dove climatizza due sale di riunione dell'attico (216 m<sup>2</sup>) (Figura 3).

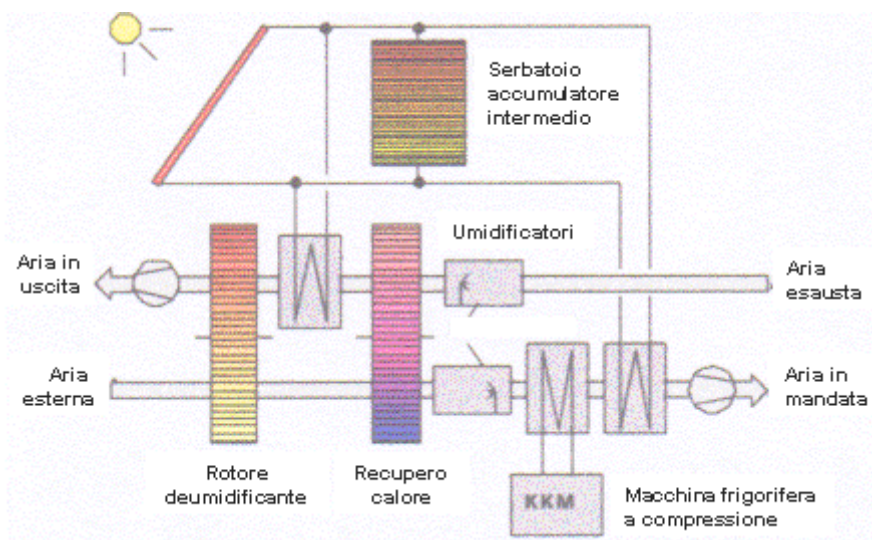


**Figura 3** – Schema dell'impianto di climatizzazione solare installato nella Camera di Commercio di Freiburg i.B. (Germania)

da: Carsten Hindenburg, Mario Motta, Sascha Backes, Christian Bichler: Erste thermisch solar autarke Klimaanlage in Deutschland – Betriebserfahrungen und ökonomische Gesichtspunkte. 12. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 2002.

### Sistemi solari assistiti

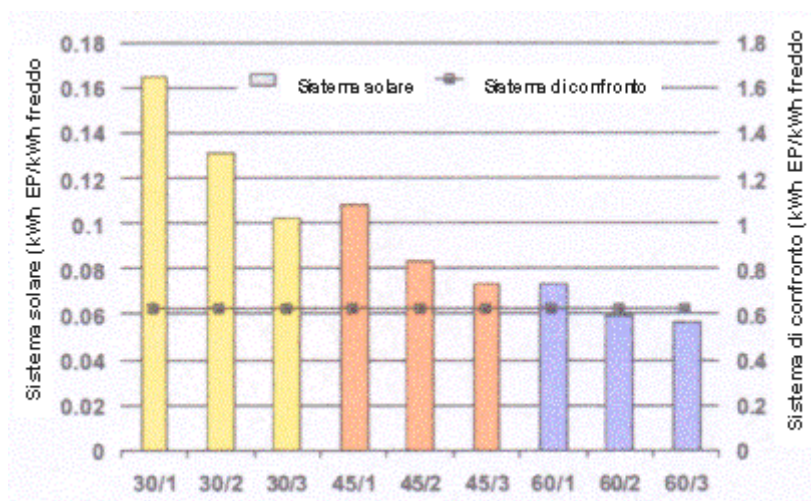
Nel caso in cui il sistema di climatizzazione solare non raffreddi sufficientemente gli ambienti, conviene integrare, come ausilio, una macchina frigorifera a compressione. Così il raffreddamento solare avviene solo in quei periodi in cui gli apporti solari sono effettivamente sfruttabili e l'impiego d'energia primaria si riduce a quelle ore in cui la climatizzazione solare è insufficiente o impossibile. Un tale sistema è stato installato e monitorato in un edificio amministrativo a Catania. [2] Nell'impianto CAA è stata integrata una macchina frigorifera che raffredda l'aria in caso d'insufficiente abbassamento della temperatura e d'eccessiva umidità (figura 4).



**Figura 4** – Schema di un impianto di climatizzazione solare con refrigeratore alimentato da acqua proveniente da una macchina frigorifera

L'impianto di Catania è stato ideato e monitorato dal Fraunhofer Institut für Solarenergie (ISE) che l'ha confrontato con un impianto convenzionale. Per ambedue gli impianti si è ipotizzato un flusso volumico fisso di  $1500\text{m}^3/\text{h}$  e si è calcolato il consumo d'energia primaria in condizioni di differenti contributi solari. Con questo calcolo si è potuto dimostrare che, rispetto ad un impianto di ventilazione con recupero di calore, raffreddamento adiabatico e macchina frigorifera a compressione, con il sistema CAA si poteva ottenere un significativo risparmio d'energia primaria, e questo per tutti i contributi solari considerati (figura 5).

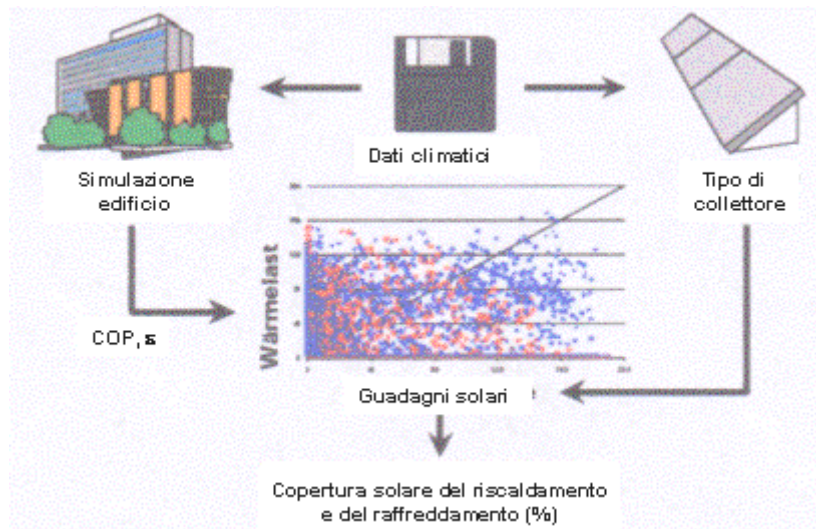
Il calcolo ha inoltre evidenziato l'utilità dell'integrazione di un serbatoio intermedio nel sistema. L'uso di un serbatoio accumulatore conviene soprattutto in quei casi in cui la superficie captante dei collettori solari è piccola. Dato un collettore con una superficie di  $30\text{ m}^2$ , il raddoppio del volume del serbatoio accumulatore da  $1,5\text{ m}^3$  a  $3,0\text{ m}^3$  porta, teoricamente, ad una riduzione del consumo d'energia primaria di quasi il 40%.



**Figura 5** – Risultato di un impianto con macchina frigorifera come backup in un edificio amministrativo in Sicilia

### Sistemi con un'elevata copertura solare

Come già detto prima, per la climatizzazione solare è di grande aiuto la simultaneità del bisogno di raffreddare e degli apporti solari, perché in questo caso si ottiene la massima copertura solare. È stato anche detto che, in questo caso, si deve eseguire una simulazione dinamica dell'andamento giornaliero delle condizioni climatiche interne. Questa simulazione serve anche per determinare la copertura solare raggiungibile. Un software che consenta una tale simulazione è attualmente in fase di elaborazione nell'ambito della Task 25 "Solar Assisted Air Conditioning of Buildings" del programma IEA Solar Heating and Cooling [3], ma è già utilizzabile un software semplificato, anch'esso elaborato nell'ambito del medesimo programma (Figura 6).



**Figura 6** – Metodologia semplificata per la determinazione della copertura solare del sistema di climatizzazione

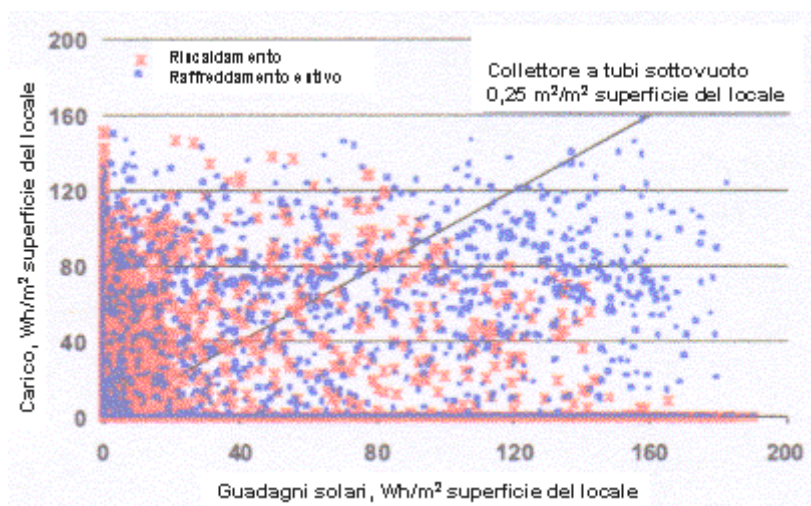
La simulazione con questo software si basa sui dati climatici locali, sui dati delle caratteristiche termiche dell'edificio e sui dati del collettore solare (superficie e temperatura media). Il software calcola il fabbisogno termico in base ad un bilancio termico dell'edificio e al guadagno termico ottenibile dal collettore solare. La temperatura media del collettore può essere scelta dal progettista, per esempio 40° C in caso di riscaldamento e 70° C in caso di raffreddamento con la tecnologia CAA. Il software esegue i calcoli per ogni ora dell'anno e confronta i guadagni solari utilizzabili con il fabbisogno termico necessario per un'ottimale climatizzazione (riscaldamento / raffreddamento).

Moltiplicando il fabbisogno termico, calcolato per ogni ora dell'anno, con un fattore di conversione che descrive il rendimento globale dell'impianto, si ottiene la potenza richiesta per ogni ora. Il rendimento globale dell'impianto può essere, per esempio, 0,95 in inverno e 0,65 in estate. Dal confronto dei guadagni solari e della potenza richiesta (riscaldamento invernale, raffreddamento estivo) si ricava un diagramma in cui tutti i dati annuali sono rappresentati da un punto. La figura 7 rappresenta l'esempio di un tale diagramma riferito all'impianto della Camera di Commercio di Freiburg i. Br. I punti rossi indicano le ore del periodo di riscaldamento, mentre quelli blu le ore di raffreddamento. I guadagni solari sono quelli ottenibili con un collettore a tubi sottovuoto con una superficie specifica di 0,25 m<sup>2</sup> ogni metro quadrato della sala.

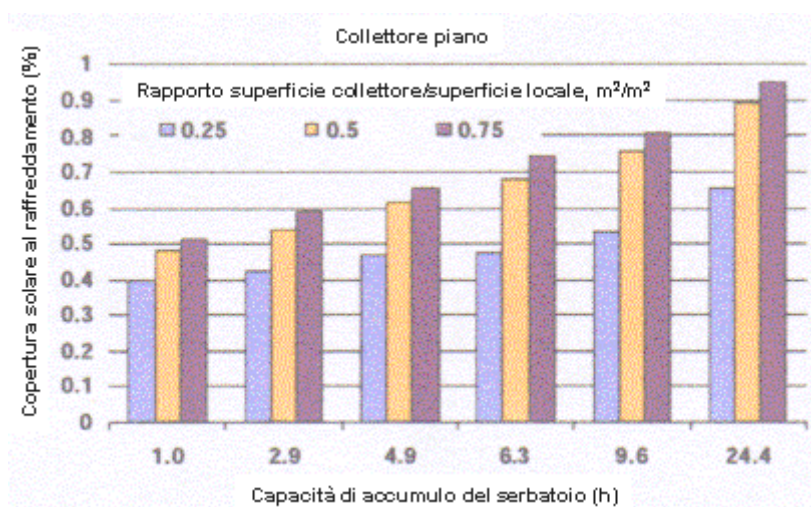
I punti che si trovano sulla linea della bisettrice, indicano le ore in cui gli apporti solari corrispondono esattamente al fabbisogno termico di quel momento. I punti sotto la bisettrice indicano i guadagni solari che superano il fabbisogno termico e i punti sopra la bisettrice indicano invece l'insufficienza dei guadagni solari. Senza un serbatoio accumulatore i guadagni non utilizzati vanno persi, mentre nelle ore in cui il fabbisogno termico non è completamente coperto dall'impianto solare occorrerà coprirlo con altre fonti. Tirando la somma di tutte le quantità termiche, si ottiene il grado di copertura solare dell'impianto, volendo sia per l'esercizio invernale che per quello estivo.

Il software consente inoltre la determinazione dell'effetto di un serbatoio accumulatore. In questo caso non sono calcolati i valori per ogni ora, ma valori medi di un certo numero di ore. Dalla figura 7 che illustra il risultato di un calcolo

eseguito con la metodologia appena descritta, si evince che il raffreddamento con una copertura solare maggiore del 70% è ottenibile, per esempio tramite l'uso di un collettore a piastra con una superficie specifica dell'assorbitore di  $0,75 \text{ m}^2/\text{ogni m}^2$  del locale climatizzato e una capacità d'accumulo effettiva di 6 ore, cioè con un serbatoio accumulatore che consenta la copertura del fabbisogno per 6 ore. Ciò significa che il serbatoio d'acqua deve avere una capacità di almeno 50 litri ogni metro quadrato di superficie del locale.



**Figura 7** – Confronto tra apporti solari e fabbisogno energetico per la climatizzazione di una sala di riunione a Friburgo. Ogni punto indica un'ora.



**Figura 8** – Copertura solare in funzione della superficie specifica del collettore (assorbitore/ $\text{m}^2$  del locale) e dimensione effettiva del serbatoio accumulatore (definita in termini di tempo necessario per ottenere la completa copertura del fabbisogno massimo).

### Sistemi frigoriferi a doppio effetto

Un risparmio d'energia primaria lo si può ottenere anche con sistemi a doppio effetto e una copertura solare minore. In questo caso, il COP della macchina frigorifera deve essere adeguatamente superiore. Il mercato offre oggi macchine frigorifere ad assorbimento con un COP tra 1,1 e 1,2, ma non ci sono apparecchi con una potenza frigorifera inferiore a 200 kW. Inoltre queste macchine lavorano

generalmente con temperature d'esercizio oltre i 150°C e pertanto si devono utilizzare collettori solari ad alta efficienza che producono queste temperature. Una soluzione interessante sembra essere l'uso di collettori parabolici, che, oltre ad avere un prezzo conveniente, producono anche acqua alla temperatura desiderata e a costi convenienti (vedi, per esempio, [4]). L'uso di questi collettori si presta particolarmente in quelle regioni dove la radiazione globale raggiunge valori elevati e la percentuale di luce diretta è alta.

### Esperienze con impianti realizzati

Degli impianti di climatizzazione solare sono stati finora realizzati principalmente nell'ambito di progetti R&D. In Germania ne sono stati installati circa 25 [5]. Dalle numerose esperienze fatte con questi impianti si possono trarre alcune conclusioni generali:

- Molti impianti di climatizzazione solare non lavorano in maniera ottimale; cioè non sfruttano abbastanza gli apporti solari ottenibili. Una delle cause è da ricercarsi nella complessità dei sistemi idraulici che richiedono complessi dispositivi di regolazione; in questi sistemi inoltre si producono frequentemente dei guasti. Sarebbe pertanto necessario sviluppare sistemi idraulici più semplici e più robusti.
- Ancora non esistono dei sistemi di regolazione che garantiscano il massimo sfruttamento degli apporti solari disponibili e, contemporaneamente, la copertura del fabbisogno termico. La regolazione degli impianti non è facile, perché, in tutti i sistemi, l'effetto frigorifero, il rendimento delle macchine frigorifere e quello dei collettori solari, dipendono sostanzialmente dalla temperatura. Il fatto si può dimostrare con l'esempio di una macchina frigorifera ad assorbimento combinata con un collettore a piastra (figura 9). Dalla figura 8 si evince che l'ottimale temperatura d'esercizio, intesa come la temperatura alla quale il rendimento complessivo dell'impianto, come prodotto dei rendimenti dei singoli componenti (macchina frigorifera, collettore solare), raggiunge il massimo, varia in rapporto all'effettiva irradiazione globale ( $W/m^2$ ).
- Il futuro della tecnologia CCA dipende in particolare dallo sviluppo di efficienti sistemi d'accumulo, perché solo questi possono garantire un'alta copertura solare, e dallo sviluppo di macchine frigorifere termiche che mantengano un elevato COP anche in condizioni di bassa carica.
- La progettazione degli impianti si deve basare su metodi di calcolo più affidabili, altrimenti si corre il rischio di costruire degli impianti che non solo non soddisfano le attese, ma non comportano nemmeno effettivi risparmi energetici.

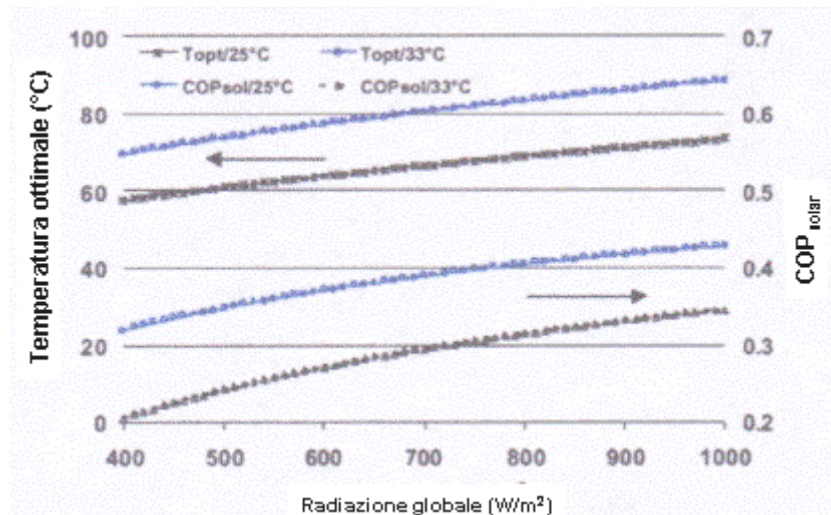
### Aspetti economici

Volendo valutare la convenienza economica della climatizzazione con processi termici, bisogna considerare due aspetti:

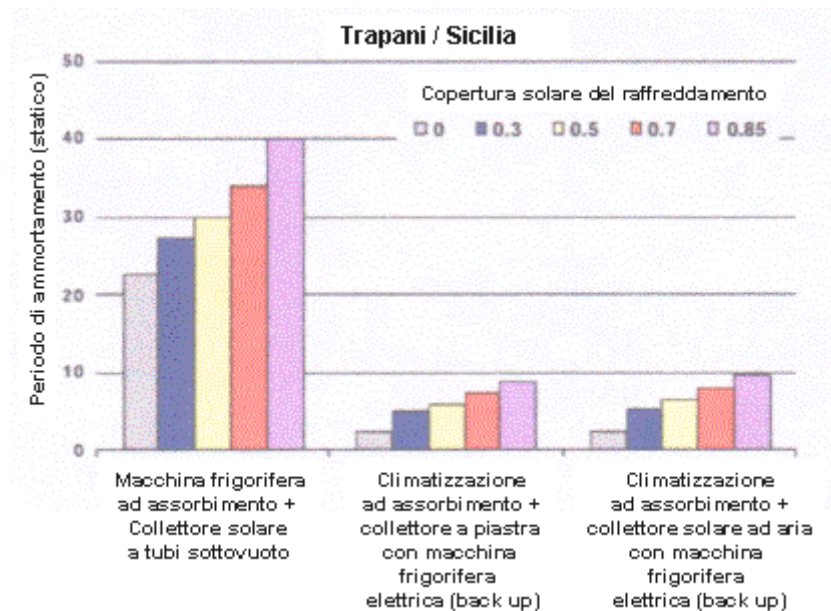
- Sostituendo la convenzionale tecnologia frigorifera alimentata con l'energia elettrica con impianti termici, la convenienza economica dipende, da una parte, dal costo della produzione dell'energia termica e, dall'altra, dal costo dell'energia elettrica che si vuole risparmiare.
- Alimentare di un impianto di climatizzazione, interamente o parzialmente, con l'energia solare, comporta un aumento del costo d'investimento per il costo dell'impianto solare. In compenso però diminuiranno i costi d'esercizio.

I costi dell'energia termica sono stati studiati per esempio nell'ambito del programma Solarthermie 2000 [6]. I costi ivi indicati si riferiscono a grandi impianti solari, in uso anche negli impianti di climatizzazione solare.

Il periodo d'ammortamento dei costi di differenti sistemi di climatizzazione è stato calcolato nel corso della progettazione dell'impianto di ventilazione meccanica di un edificio amministrativo di Trapani (figura 10). Da questo calcolo è risultato, come soluzione economicamente più vantaggiosa, la combinazione della tecnologia CAA con una macchina frigorifera elettrica che serve da backup. Il periodo d'ammortamento dei costi di questo impianto è stato inferiore a 10 anni [7].



**Figura 9** – Ottimale temperatura d'esercizio e COP<sub>solar</sub> ottenibile in rapporto all'irradiazione globale per un impianto composto da una macchina frigorifera ad assorbimento e un collettore a piastra



**Figura 10** – Risultati delle valutazione economica di differenti sistemi di climatizzazione solare in rapporto alla percentuale della copertura solare

## Conclusioni

La climatizzazione solare, correttamente dimensionata e progettata, consente l'ottenimento di considerevoli risparmi energetici. I sistemi, in cui sono integrati collettori solari e una sorgente frigorifera alimentata da combustibili fossili, richiedono un'alta copertura solare per ottenere un notevole risparmio d'energia primaria. La maggiore copertura solare si ottiene quando il periodo di raffreddamento coincide con quello dei massimi apporti solari. Nel caso in cui l'intera copertura solare non sia raggiungibile, i più interessanti sistemi, sia dal punto di vista energetico, sia da quello economico, sembrano quelli che usano una macchina frigorifera convenzionale elettrica quando il raffreddamento solare non è possibile.

Il futuro della tecnologia dipende, soprattutto, dallo sviluppo di dispositivi idraulici semplici, robusti e ben regolabili; occorrono inoltre sistemi di regolazione che garantiscano, in ogni momento, l'ottimale sfruttamento degli apporti solari disponibili e quindi un minimo impiego d'energia primaria.

## Bibliografia

[1] Hans-Martin Henning (ISE): "Solare Klimatisierung von Gebäuden"; in: Symposium „Thermische Solarenergie“, 24.- 26. April 2002, Staffelstein 2002

[2] Mario Motta: Thermodynamic design and optimisation of solar assisted desiccant cooling cycles for Italian climates. PhD-Thesis Università di Genova, 2002. Produced in cooperation with Fraunhofer ISE, Freiburg

[3] vedi: [www.iea-shc-task25.org](http://www.iea-shc-task25.org)

[4] Solar Heat for Industrial Processes, POSHIP-Broschüre. European Commission, SG TREN, pubblicato 2002 ([www.aiguasol.com/poship.htm](http://www.aiguasol.com/poship.htm))

[5] Heino Wolkenhauer, Jan Albers: Systemlösungen und Regelungskonzepte von solarunterstützten Klimatisierungssystemen. HLH Bd. 52 (2001), Nr. 12, S. 41ff.

[6] vedi: [www.solarthermie2000.de/projekt2/projekt2.htm](http://www.solarthermie2000.de/projekt2/projekt2.htm)

[7] Hans-Martin Henning, Carsten Hindenburg: Economic study of solar assisted cooling systems. BMBF-Abschlussbericht TOS1-HMH-9905-E0

### MiniWatt.it

MiniWatt.it è un servizio d'informazione sull'efficienza energetica, il risparmio energetico, edifici a basso consumo energetico ed edifici passivi.

[www.miniwatt.it](http://www.miniwatt.it)

Redazione:

Via Spinosa, 4/C - 46047 Porto Mantovano (MN)

tel.: 0376 39 07 22 - fax: 0376 39 07 22

e-mail: [info@assa-cee.org](mailto:info@assa-cee.org)

[www.assa-cee.org](http://www.assa-cee.org)