



# ATTI E RASSEGNA TECNICA

DELLA SOCIETÀ DEGLI INGEGNERI E DEGLI ARCHITETTI IN TORINO

RIVISTA FONDATA A TORINO NEL 1867

NUOVA SERIE - ANNO LXVI - Numero 1-2-3 - APRILE-GIUGNO 2012

*Direttore*

Carla Barovetti

*Segretario*

Davide Rolfo

*Tesoriere*

Claudio Vaglio Bernè

*Art Director*

Riccardo Franzero

*Comitato di redazione*

Domenico Bagliani, Alessandro De Magistris, Guglielmo Demichelis, Marco Filippi,  
Alessandro Martini, Paolo Picco, Costanza Roggero, Valerio Rosa, Andrea Rolando,  
Mauro Sudano, Mauro Volpiano

*Sede*

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

Corso Massimo d'Azeglio 42, 10123 Torino, telefono 011 - 6508511 - [www.siat.torino.it](http://www.siat.torino.it)

ISSN 0004-7287

Periodico inviato gratuitamente ai Soci della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino.



**L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA  
PER I SISTEMI ENERGETICI E GLI IMPIANTI  
TECHNICAL INNOVATION FOR PRIMARY AND SECONDARY SYSTEMS**

|  |   |          |
|--|---|----------|
| Marco Filippi  | Introduzione<br><i>Foreword</i>   | pag. 114 |
| Luca Stefanutti  | Gli impianti per gli edifici sostenibili<br><i>HVAC for sustainable building</i>                                | pag. 115 |
| Massimiliano Scarpa  | Impianti a radiazione per il riscaldamento e il raffrescamento<br><i>Radiant panels for heating and cooling</i> | pag. 121 |
| Michele Vio  | Le prestazioni delle pompe di calore<br><i>The heat pumps performances</i>                                      | pag. 128 |
| Marco Beccali  | Prospettive di sviluppo degli impianti solari termici<br><i>Advances on solar thermal system</i>                | pag. 144 |
| Stefano Fissolo, Serena Damiano,<br>Alice Morra, Marco Rinaldi | Prospettive di sviluppo degli impianti solari fotovoltaici<br><i>Advances on photovoltaic systems</i>           | pag. 151 |
| Gianluca Dho   | La sfida della domotica<br><i>The challenge of home automation</i>  | pag. 158 |

**L'EFFICIENZA ENERGETICA E LA QUALITÀ AMBIENTALE  
DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE  
ENERGY EFFICIENCY AND INDOOR QUALITY  
OF THE EXISTING BUILDINGS**

|   |   |          |
|---|---|----------|
| Stefano Paolo Corgnati                            | Introduzione<br><i>Foreword</i>   | pag. 164 |
| Vincenzo Corrado                                  | Stato attuale della normativa nazionale e regionale in tema di<br>contenimento dei consumi energetici in edilizia<br><i>Current status of national and regional legislation regarding reduction of energy<br/>consumption in buildings</i>  | pag. 165 |
| Lorenzo Balsamelli                                | La diagnosi e la contabilizzazione energetica nell'edilizia residenziale<br><i>Energy audit and accounting in residential buildings</i>   | pag. 172 |
| Mauro Tricotti                                    | Gli interventi per l'isolamento termico degli edifici esistenti<br><i>Thermal insulation of existing buildings</i>  | pag. 181 |
| Stefano Paolo Corgnati                            | Il monitoraggio energetico e ambientale del patrimonio edilizio esistente<br><i>Energy and indoor environment monitoring of existing building stock</i>   | pag. 187 |
| Roberto Gerbo                                     | Sistema di monitoraggio e interventi per la riduzione dei consumi<br>energetici nei siti bancari<br><i>Monitoring and actions to reduce energy consumption in banks</i>   | pag. 194 |
| Giovanni La Bella, Paolo Strada,<br>Attila Oldano | Efficientamento energetico dei palazzi uffici eni<br><i>Energy retrofitting of the eni office buildings</i>   | pag. 202 |
| Piero Bozza                                       | ICT per l'energia: il progetto WiFi4Energy del Politecnico di Torino<br><i>Information and Communication Technologies applied to energy management:<br/>the WiFi4Energy project at Politecnico di Torino</i>  | pag. 211 |
| Barbara Conti, Valeria Branciforti                | La responsabilità energetico-ambientale di una grande industria:<br>le azioni per la riqualificazione del patrimonio immobiliare esistente<br>e i nuovi progetti di Lavazza S.p.A.<br><i>The energy and environmental responsibility of a big firm: retrofit actions on the<br/>existing building stock and new projects of Lavazza S.p.A</i> | pag. 220 |

# Prospettive di sviluppo degli impianti solari termici

## *Advances on solar thermal systems*

**MARCO BECCALI**

*Marco Beccali, ingegnere, professore associato di Fisica Tecnica Ambientale presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Palermo.*

marco.beccali@dream.unipa.it

La domanda di energia per la climatizzazione ambientale e per usi termici a medie basse temperature costituisce oggi circa il 50% della domanda totale di energia in Europa.

In questo contesto le tecnologie del solare termico possono giocare un ruolo di primo piano.

Le tecnologie per usi termici a bassa temperatura sono già ampiamente disponibili ed affidabili. Ulteriori sviluppi consentiranno di incrementarne le prestazioni e le tipologie di applicazione anche in ambiti oggi poco competitivi. Nell'articolo si tracciano le linee principali delle attività di ricerca e di innovazione per la componentistica di impianti solari termici e per le applicazioni ad essi connessi nel settore civile.

In sintesi i temi di ricerca principali riguardano lo sviluppo di collettori solari ad alta efficienza, nuove tecnologie per accumuli termici compatti e "time-indifferent", sistemi di integrazione architettonica di tecnologie solari attive, sistemi di raffreddamento e refrigerazione alimentati da calore.

*Energy demand for building heating and cooling and for low-medium temperature heat is today about the 50% of the global energy demand in Europe.*

*In this context solar thermal technologies can play an important role to meet a relevant part of their demand. Low temperature solar thermal systems are yet widely available on the market with good reliability and energy performances. Further improvements will upgrade their performances and make possible their application also in today not competitive sectors. This paper depicts the main trends of research and innovation in solar thermal technologies for application in the civil sector.*

*In summary they deal with R&D in: high efficiency solar collectors, compact and time indifferent thermal storages, architectural integration of active solar thermal components, solar (heat driven) cooling systems*

### **Introduzione**

La domanda di energia per la climatizzazione ambientale e per usi termici a medie basse temperature costituisce oggi circa il 50% della domanda totale di energia in Europa.

In questo contesto le tecnologie del solare termico possono giocare un ruolo di primo piano. Le applicazioni possibili delle tecnologie solari termiche non dipendono da fonti esauribili. L'energia solare è disponibile ovunque ed è sfruttata anche alle latitudini in cui è presente in minore quantità.

Già oggi, l'energia solare termica per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti è una tecnologia ben consolidata e con alti tassi di diffusione in alcuni paesi. L'andamento positivo del mercato europeo del solare termico nell'ultimo decennio è stato caratterizzato

da una forte crescita. Le superfici installate sono aumentate con incrementi annuali pari a circa dieci volte quelli di dieci anni fa.

L'Italia è oggi il secondo mercato europeo, e molto più stabile di altri mercati emergenti. In confronto al 2008, il mercato italiano ha registrato una lieve flessione del 5% nel 2009 con 280 MWth di potenza installata con nuovi impianti, corrispondenti a circa 400.000 m<sup>2</sup> di collettori solari termici (fonte ESTIF 2010). Grazie alla sua collocazione geografica e in forza della sua elevata dipendenza energetica (86,8% in Italia in confronto con una media europea del 53,8%), il mercato italiano presenta ancora un potenziale notevole di espansione.

La grande crescita degli ultimi anni ha beneficiato delle politiche fiscali che prevedono un credito di imposta del 55% per misure di efficienza energetica in edifici esistenti, in vigore fino alla fine del 2010. Molti osservatori concordano sul rischio di contrazione della crescita a seguito della soppressione o della drastica riduzione di tale incentivo.

Un panel di esperti coordinati dalla Commissione Europea denominato European Solar Thermal Technology Platform ha sviluppato nel 2008 un documento noto come *Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe*.

In esso si delinea uno scenario di medio-lungo termine (2030) dove si prevede che il solare termico possa coprire circa il 50% della domanda totale di calore, se tale domanda è preventivamente ridotta mediante adeguate misure di efficienza energetica.

Per raggiungere questi obiettivi, nuove applicazioni del solare termico devono essere sviluppate e introdotte nel mercato.

Mentre negli edifici di nuova costruzione la direttiva EPBD "recast" introduce il concetto di Nearly Zero Energy Building, nZEB prevedendo per il 2020 la quasi autonomia energetica degli edifici di nuova costruzione (dal 2018 per gli edifici pubblici), il tema degli interventi negli edifici e negli impianti esistenti è anche in questo ambito cruciale.

Ne consegue che nello scenario 2030 elaborato nel documento il solare termico coprirà il 50% della domanda di riscaldamento nel lungo periodo quando verrà utilizzato in quasi tutti gli edifici coprendo più del 50% della domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento negli edifici ristrutturati e il 100% nei nuovi edifici.

Il solare termico inoltre sarà utilizzato nel teleriscaldamento e nelle applicazioni commerciali ed industriali con tecnologie nuove ed innovative.

Nel breve-medio termine, con le tecnologie oggi disponibili, il potenziale del solare termico è superiore alla penetrazione attuale in uno dei paesi più solarizzati, l'Austria (ca. 250 kWth per 1.000 capita) ed anche a quello di Cipro dove è utilizzato quasi esclusivamente per la produzione di ACS. Il raggiungimento del livello di diffusione di Cipro in

tutta Europa significherebbe moltiplicare per 15 le installazioni attualmente funzionanti. Tuttavia si può ragionevolmente affermare che nei prossimi due decenni il fattore tecnologico non sarà certamente limitante per la crescita. Lo sviluppo tecnologico potrà anzi accelerare ulteriormente la penetrazione nel mercato.

### 1. Aspetti chiave di sviluppo tecnologico

Mentre un numero esiguo di edifici solari attivi è già stato realizzato e dimostrato, l'obiettivo di divenire standard dal 2030 sarà possibile solo a seguito di un significativo progresso tecnologico nelle seguenti aree:

- collettori solari ad alta efficienza che incrementeranno l'energia utilizzata nella stagione invernale mantenendo alti livelli di durabilità ed incrementando la competitività economica del processo di manifattura e installazione;
- nuove tecnologie per accumuli termici compatti e "time-indifferent" che ridurranno ingombri e pesi di questo sottosistema. Ciò porterà anche a più soluzioni più economiche e più pratiche di accumulo stagionale consentendo di sfruttare maggiori quantità di calore captato in estate per usi invernali;
- sistemi di integrazione architettonica di tecnologie solari attive e passive;
- sistemi di raffreddamento e refrigerazione alimentati da calore più efficienti per coprire una parte consistente della domanda di condizionamento con l'energia solare;
- sistemi di controllo intelligente di tutti i flussi energetici degli edifici contribuiranno ad una riduzione dei consumi ed ad una ottimizzazione dell'uso dell'energia solare.

Nel seguito si tracciano le linee principali delle attività di ricerca e di innovazione per la componentistica di impianti solari termici e per le applicazioni ad essi connessi nel settore civile.

### 2. Collettori solari ad elevate prestazioni

Il componente più rappresentativo di un impianto solare termico è certamente il dispositivo di captazione ed assorbimento della radiazione solare, il pannello (o collettore). I collettori solari termici sono una tipologia speciale di scambiatori di calore che trasferiscono la componente termica della radiazione solare ad un fluido termovettore.

Il tipo più comune è il pannello piano. È un collettore stazionario in cui l'area di ricezione e di assorbimento della radiazione solare coincidono. È costituito da una piastra assorbente, dei condotti per il passaggio del fluido termovettore, una lastra di copertura trasparente (in alcuni casi può essere assente), l'isolamento termico posteriore e laterale, la struttura di supporto e contenimento. Il vetro, se di qualità opportuna, è trasparente alle radiazioni dello spettro della radiazione solare, mentre è opaco a radiazioni di lunghezza d'onda maggiore come quelle emesse dalla piastra.

Per massimizzare la resa termica del collettore è necessario che la piastra captante sia caratterizzata da una elevata assorbenza e da una bassa remissività termica.

Queste proprietà vengono raggiunte mediante un trattamento selettivo della superficie piuttosto che con la semplice verniciatura nera della stessa.

Il vetro solare standard utilizzato per la copertura dei collettori riflette, per ciascuna delle due superfici (interne ed esterna), una frazione della radiazione incidente che non supera il 4%. Ciò significa che, tenendo in considerazione anche i fenomeni di assorbimento, mediamente solo il 90% della radiazione che penetra nel collettore ha un effetto utile. Alcune aziende hanno sviluppato un trattamento della superficie vetrata che ne riduce il coefficiente di riflessione a tal punto che la capacità di trasmissione viene innalzata fino al 96%.

Questa tecnologia si basa su un processo di corrosione mediante il quale la superficie del vetro viene resa ruvida. La scocca in cui è generalmente incapsulato il dispositivo di captazione, è realizzata in metallo (alluminio anodizzato o acciaio inossidabile) oppure, recentemente anche in plastica (fibra di vetro, resine epossidiche, miscele di poliuretani).

Per migliorare le prestazioni di un pannello solare piano è necessario ridurre significativamente le dispersioni di calore.

Migliorando opportunamente le prestazioni del collettore solare piano si può pensare di utilizzarlo anche per temperature superiori a quelli usuali fino a raggiungere circa 120-150°C.

In primo luogo è necessario ridurre le dispersioni termiche principalmente sul lato anteriore del collettore senza sacrificarne le prestazioni ottiche.

Possibili miglioramenti in tal senso si possono ottenere con:

- collettori ermetici riempiti con gas inerti;
- collettori con coperture vetrate a doppia lastra;
- collettori piani sottovuoto.

Il miglioramento delle prestazioni ottenibile mediante l'utilizzo di vetri antiriflesso è notevole. In questo caso il miglioramento è indipendente dalla temperatura di funzionamento.

L'uso di coperture vetrate a due o tre lastre garantisce invece migliori prestazioni per temperature di funzionamento maggiori con incrementi dell'efficienza anche del 35%.

Queste prestazioni sono state verificate anche in via sperimentale nei laboratori del Fraunhofer ISE di Friburgo.

I collettori con doppio vetro e gas inerte così come collettori piani sottovuoto sono già disponibili sul mercato.

In generale, per applicazioni che richiedono calore di processo a temperature fino a 120°C, i collettori solari piani ad alte prestazioni sono più convenienti economicamente dei collettori a concentrazione. Ciò è particolarmente vero per climi in cui vi è una forte frazione di

radiazione diffusa.

Una nota va anche fatta sui materiali utilizzati per la costruzione di un impianto solare.

Trovare un'alternativa all'attuale uso di metalli (costosi ed energivori) sarà certamente una richiesta urgente nel prossimo futuro. In questo panorama i materiali polimerici sono buoni candidati anche per via della significativa riduzione di costo che potrebbero garantire.

Un'altra tecnologia di pannelli solari stazionari, è quella dei collettori a tubi evacuati. In questa tipologia le dispersioni termiche attraverso il vetro verso l'ambiente esterno sono ridotte al minimo mantenendo il vuoto nella porzione di spazio tra l'assorbitore ed il vetro. L'involucro deve assicurare una tenuta perfetta nel tempo. Grazie a queste caratteristiche costruttive, le temperature raggiunte dal fluido termovettore sono dell'ordine di 110-120°C permettendo così l'impiego di questi collettori anche nel campo dei processi industriali.

Le perdite di calore vengono così talmente ridotte che anche in presenza di piastra captante con temperatura superiore ai 120 °C, al superficie esterna del tubo rimane fredda.

I collettori sottovuoto hanno un'efficienza ottica lievemente inferiore rispetto ai collettori piani in ragione della forma discontinua della piastra captante, ma grazie al migliore isolamento termico l'efficienza globale media annuale è superiore a quella dei collettori piani.

I vantaggi principali sono: un'elevata efficienza anche in presenza di elevati gradienti termici tra la piastra captante e l'ambiente circosta e in condizioni di irraggiamento contenuto (in inverno)

I limiti principali sono dovuti al fatto che è più costoso di un collettore piano e i suoi componenti (i tubi) risultano spesso fragili e di difficile rimpiazzo.

Il potenziale di ulteriore miglioramento delle prestazioni è principalmente legato ad una più facile riparazione e manutenzione, ad una maggiore resistenza alle elevate temperature di stagnazione, all'ulteriore incremento delle prestazioni energetiche, alla durabilità e alla introduzione di prodotti che possano per una maggiore integrazione architettonica.

I collettori piani e gli evacuati producono acqua a temperature utili generalmente inferiori a 100 °C. Quando, per taluni impieghi, occorrono temperature superiori si può ricorrere ai collettori a concentrazione, cosiddetti in quanto concentrano sull'elemento assorbitore la radiazione raccolta.

Alla base di questa tecnologia vi è l'utilizzo di un sistema superfici riflettenti che agiscono come specchi concentratori della radiazione solare la quale viene indirizzata su di un ricevitore (un tubo o un serbatoio) ove è presente il fluido termovettore.

Nella maggior parte dei casi, i collettori a concentrazione richiedono un sistema di movimentazione che inseguia la radiazione solare diretta.

Caratteristica basilare di questo genere di collettori è il "rapporto di concentrazione": il rapporto tra le densità del flusso di radiazione prima e dopo la concentrazione. I sistemi a concentrazione più frequentemente utilizzati ricorrono all'uso di superfici riflettenti di forma cilindro-parabolica, o paraboloidale, o tronco conica. Generalmente si può dire che i collettori a concentrazione impiegano dispositivi ottici -a riflessione oppure a rifrazione- per aumentare l'intensità della radiazione solare sulla superficie assorbente del ricevitore. Un più intenso flusso di energia su quella superficie significa un'area assorbente minore a parità di energia in gioco e di conseguenza perdite termiche minori. Per contro si presentano due altri tipi di svantaggi:

- la maggior parte dei dispositivi a concentrazione utilizza soltanto la radiazione solare diretta, mentre quella diffusa va persa;
- le perdite per imperfezioni ottiche possono essere rilevanti;

I collettori a concentrazione possono produrre, sulla superficie del ricevitore, flussi di radiazione da 1,5 sino a 10.000 volte più intensi di quelli naturali. Aumentare il rapporto di concentrazione significa aumentare la temperatura alla quale l'energia viene fornita ma significa anche aumentare l'esigenza di precisione dei dispositivi ottici e perciò accrescerne i costi. Le temperature raggiungibili che vanno da 100 °C fino a oltre 1200 °C. Le applicazioni di questi sistemi sono principalmente nel settore industriale, per la produzione di potenza elettrica e di vapore (con temperature oltre i 500 °C), ed ultimamente anche per la produzione di freddo in grandi dimensioni. Il fluido caldo può anche essere immagazzinato e utilizzato quando l'energia solare non è disponibile.

Fra le tipologie più ricorrenti di collettori ad inseguimento si hanno:

- parabolic trough collector;
- linear Fresnel reflector (LFR);
- parabolic dish;
- central receiver.

Tutte queste tipologie sono oggi oggetto di intense attività di ricerca per migliorarne prestazioni e affidabilità e per ridurle i costi.

Fra i collettori a concentrazione con maggiori potenzialità di impiego nel settore civile possiamo anche annoverare i civili i collettori CPC (Compound Parabolic Concentrator). Si tratta di sistemi stazionari in cui l'immagine del sole non viene focalizzata su un ricevitore.

I collettori CPC sono i candidati naturali a coprire il gap fra le temperature di produzione di un pannello piano ( $T < 80^\circ\text{C}$ ) e le temperature molto più alte dei sistemi a concentrazione lineare ad inseguimento (da 200 a 1200 °C).

I collettori CPC, sono montati su un piano e hanno l'enorme vantaggio di ricevere e assorbire la radiazione proveniente da tutte le direzioni, e quindi anche la radiazione

diffusa. Per questo motivo possono quindi essere stazionari. Tuttavia presentano alte perdite di calore per via delle loro dimensioni. A causa di queste dispersioni la loro efficienza decresce significativamente all'aumentare della temperatura di lavoro.

I concentratori solari ad immagine focalizzata (come i concentratori ad assorbimento) hanno invece una ridottissima superficie di assorbimento e quindi minori dispersioni. Tuttavia hanno lo svantaggio di avere un minore angolo di visuale e richiedono quindi un sistema di movimentazione che consenta di inseguire la sorgente solare. Per lo stesso motivo raccolgono solo una piccola frazione di radiazione diffusa.

I collettori CPC possono essere disegnati in modo da concentrare la radiazione solare con un fattore variabile fra 1 e 2 e raccogliere allo stesso modo una maggiore frazione di radiazione diffusa.

Il principio del CPC può essere applicato per ottenere diversi livelli di concentrazione variabili fra a bassa e ad alta concentrazione.

In un collettore CPC assorbitore non è più piano, ma ha una forma cilindrica. Con l'impegno di un trattamento selettivo sull'assorbitore, il collettore si comporta come un collettore solare piano molto efficiente. Se si aumenta ulteriormente il rapporto di concentrazione e si adottano misure per limitare le dispersioni termiche il collettore può raggiungere prestazioni molto elevate.

Le perdite per convezione possono essere ridotte, ad esempio, usando materiali isolanti trasparenti (TIM) al posto del vetro e nell'intercapedine. Questo collettore può funzionare molto bene in applicazioni come il solar cooling, dissalazione ed altri processi industriali con temperature che possono superare i 100°C. I collettori CPC possono essere realizzati al costo di un buon collettore piano convezionale, installati come un collettore piano e avere lo stesso livello di durabilità.

Il CPC a bassa concentrazione è anche applicato a collettori di tipo evacuato.

Recentemente è stato presentato un collettore evacuato con l'assorbitore realizzato anch'esso in vetro con una potenziale riduzione dei costi e un incremento della durata. Un'altra interessante variante è quella dei tubi Dewar. Due tubi concentrici di vetro sono utilizzati e nello spazio fra di essi viene creato il vuoto.

Un altro innovativo collettore evacuato è l'integrated compound parabolic collector (ICPC). In questo collettore nella parte inferiore del tubo viene fissato un materiale riflettente.

Questo collettore combina i pregi dei collettori evacuati a quelli dei collettori a concentrazione a stazionari. Dei collettori ICPC dotati di sistemi di inseguimento sono stati realizzati per applicazioni ad alta temperatura.

I collettori ad aria hanno caratteristiche costruttive simili a quelle dei normali pannelli vetrati, tranne per il fatto che in

essi circola aria anziché acqua. Tali sistemi sono paragonabili ai sistemi solari a liquido. Le differenti proprietà fisiche dei due fluidi comportano diversità delle applicazioni e delle tipologie di impianto.

L'aria circola tra vetro e assorbitore o, in alcuni casi, in una intercapedine ricavata tra l'assorbitore ed il fondo isolato del collettore. Poiché l'aria scambia calore con più difficoltà dell'acqua affinché questa assorba il calore della radiazione incidente (il coefficiente di scambio termico convettivo aria-piastra, a parità di numero di Reynolds, è circa 50 volte più piccolo di quello dell'acqua) occorre assicurarle un tempo di permanenza abbastanza lungo all'interno del pannello. Per questo motivo l'assorbitore è alettato e offre percorsi tortuosi che rallentano il flusso d'aria. L'impiego di questi collettori, integrato con i tradizionali impianti termici, è particolarmente adatto per il riscaldamento degli edifici o per essiccare prodotti alimentari.

Questo tipo di collettore ha una struttura essenzialmente analoga a quelli funzionanti con fluido liquido, presentando però valori più elevati della superficie di passaggio nei singoli condotti dell'assorbitore. Il fattore di rimozione termica resta però ridotto a causa del basso coefficiente di convezione dell'aria in confronto a quello dell'acqua. A causa di ciò i collettori ad aria presentano, a parità di temperatura all'ingresso, un'efficienza minore rispetto a quelli ad acqua.

D'altra parte, nei sistemi ad aria il calore prodotto viene direttamente utilizzato senza l'impiego di scambiatori intermedi, così da permettere delle temperature operative più basse in applicazioni quali il riscaldamento ambientale. Infatti, l'aria, considerando il suo ridotto calore specifico rispetto all'acqua, raggiunge in un solo passaggio temperature sufficienti per l'immissione.

Tra i principali vantaggi dei sistemi solari funzionanti ad aria vi è sicuramente la semplicità del sistema unita ai minori problemi di sicurezza (il fenomeno della stagnazione non richiede sistemi di protezione). Inoltre, non si verifica corrosione dei condotti e la vita media dell'impianto è superiore rispetto ai sistemi a liquido.

Di contro la superficie captante e il diametro dei condotti sono maggiori rispetto ad un sistema a liquido per effetto della bassa capacità termica e della bassa conduttività dell'aria. Inoltre gli accumuli termici sono più costosi e molto più problematici rispetto ai sistemi a liquido.

Una soluzione interessante che permette di coprire parzialmente, ma in alcuni casi anche totalmente, i consumi elettrici dell'impianto è la cogenerazione solare ovvero la contemporanea produzione di calore ed elettricità da fonte solare tramite l'impiego di collettori solari ibridi ad aria parzialmente rivestiti da celle fotovoltaiche.

Il sistema ibrido prevede la retroventilazione forzata o naturale dei moduli fotovoltaici al fine di recuperare l'energia termica prodotta dal riscaldamento delle celle

fotovoltaiche e mantenerne bassa al contempo la temperatura di lavoro all'aumentare della quale si ha una diminuzione del rendimento di conversione elettrica. Utilizzando l'aria come fluido termovettore, infatti, il calore generato dal surriscaldamento delle celle viene asportato raffreddando il laminato fotovoltaico, mentre l'aria calda può essere trasportata ed impiegata per la climatizzazione dell'edificio. Le rese in termini di temperature raggiunte in uscita dal pannello solare sono minori all'aumentare del grado di copertura della lastra vetrata con celle fotovoltaiche.

### 3. Accumulo termico con tecniche e materiali innovativi

L'accumulo di calore incrementa l'uso che può farsi della risorsa solare disaccoppiando la domanda dalla disponibilità istantanea di radiazione. Accumulare calore per una o due settimane è ormai una pratica comune con costi accettabili e dispersioni limitate. Diverse soluzioni per l'accumulo termico per periodi più lunghi (settimane o mesi) hanno permesso di utilizzare il calore accumulato in estate anche nella stagione invernale. Tuttavia queste tecniche sono ancora allo stato iniziale. Solo quando gli accumuli stagionali saranno ampiamente disponibili a basso costo sarà possibile raggiungere gli obiettivi ambiziosi delineati in premessa corrispondenti al 100% di frazione solare per la climatizzazione degli edifici di nuova costruzione. I parametri importanti da considerare in un sistema di accumulo sono: il costo, la capacità, la potenza di carico e scarico, l'ingombro, il tempo fra carico e scarico, la trasportabilità, la sicurezza e l'integrabilità nell'edificio.

Gli accumuli a breve termine hanno tempi di reazione bassi e devono cedere rapidamente il calore avendo anche ridotte capacità.

Gli accumuli a medio termine lavorano su tempi dell'ordine del giorno in su.

La dimensione del serbatoio dipende dal calore specifico del mezzo utilizzato. L'accumulo con acqua richiede volumi significativi per quantità di calore relativamente basse. Ad esempio, per coprire interamente la domanda di acqua calda sanitaria e di riscaldamento per un appartamento ben isolato del centro Europa sarebbero necessari circa 30 m<sup>3</sup> di serbatoio a 85 °C equivalenti a circa il 10% del volume utile di una abitazione.

La dimensione degli accumuli necessari rende spesso difficile utilizzare pienamente il calore in inverno. Lo sviluppo di nuovi accumuli termici compatti a scala stagionale aprirebbe scenari di mercato di rilevantissima importanza. Un altro parametro importante è la temperatura di accumulo. Accumuli a bassa temperatura (<100°C) sono utilizzati per riscaldare ambienti a temperature fra 20 e 24°C. Ciò comporta elevate dispersioni e inefficienze. Accumulando il calore a temperature più basse si potrebbe certamente più agevolmente allungare il tempo di residenza

fino addirittura a qualche mese. Infine, il tema dell'accumulo termico include anche l'accumulo di freddo. Includere accumuli di freddo in sistemi di refrigerazione solare è certamente una pratica interessante.

L'impegno di sistemi di accumulo termico latente è certamente la più promettente al fine di superare molti dei limiti dell'accumulo di calore sensibile. Con questa tecnica il calore è accumulato durante il cambiamento di fase del mezzo utilizzato, sia in condensazione che in evaporazione. I materiali più comunemente impiegati per le basse temperature di interesse nelle applicazioni a scala di edificio prendono il nome di PCM ovvero Phase Changing Materials. In funzione dell'intervallo di temperatura questo tipo di accumulo è molto più compatto dell'equivalente che impiega acqua.

Questa tecnica presenta una grande potenzialità anche per l'accumulo di calore prodotto da collettori solari ad aria.

Nel caso di collettori ad aria si sono realizzati anche prototipi con accumulo termico integrato.

#### 4. Integrazione architettonica degli impianti solari termici

Sul versante dell'integrazione architettonica dei collettori solari esiste ancora un notevole potenziale di sviluppo di componenti e di sistemi. Mentre per la tecnologia fotovoltaica, anche in ragione della maggiore facilità di realizzazione delle connessioni elettriche, esistono ormai numerose soluzioni, per la componentistica termica la problematica risulta spesso irrisolta.

Un comune pannello solare termico ha una superficie variabile tra 0,5 e 2 m<sup>2</sup>, uno spessore di circa 10-15 cm ed il suo peso intorno ai 20 kg/m<sup>2</sup> (cui va aggiunto il peso del liquido circolante). Nei sistemi a circolazione forzata è possibile trovare buone soluzioni per l'inserimento del collettore in sistemi di copertura a falda con coppi, in modo da rispettare il filo del piano esterno. Ma una reale e completa integrazione dell'intero sistema non è di fatto mai stata proposta. I sistemi a circolazione naturale, il cui serbatoio deve essere installato ad una quota superiore a quella del pannello e risulta spesso visibile, presentano una notevole invasività raramente mitigata dal design di qualità del componente.

Oltre al collettore di dimensioni standard esistono in commercio anche collettori di grandi dimensioni, particolarmente adatti all'integrazione architettonica. I pannelli solari di grandi dimensioni (*Roof Module Collectors*) possono essere realizzati a piè d'opera o venire forniti prefabbricati e sono studiati per sostituire intere parti di coperture a falda. In questo modo, al posto del manto di copertura in tegole, viene applicato un pannello di grandi dimensioni che svolge contemporaneamente la funzione tradizionale di isolamento termico e protezione dalle intemperie e quella energetica di produzione di acqua calda sanitaria. Il vantaggio è quello di installare un sistema

di captazione già assemblato, con una notevole riduzione di tempi e costi ed una migliore garanzia di integrazione nell'involucro. Nonostante le forti potenzialità, bisogna tuttavia denunciare un'attuale scarsa diffusione di queste tipologie nel contesto italiano. Altri sistemi integrati consentono di realizzare coperture che includano componenti attivi di diversa tipologia (collettori ad aria, ad acqua e pannelli fotovoltaici). Un esempio è il Tetto Integrato Solare prodotto da Secco e installato al Centro Ricerche Fiat di Orbassano.

Anche nelle facciate ventilate è possibile realizzare veri e propri sistemi di captazione della radiazione solare configurabili come collettori ad aria.

Molte facciate ventilate sono progettate per questo scopo.

Altri esempi di elementi "multifunzionali" sono:

- tubazioni dell'acqua che possono avere anche funzioni strutturali;
- collettori di facciata che riducono le dispersioni termiche, garantiscono ombreggiamento e non ultimo captano e accumulano energia solare termica;
- elementi di copertura che proteggono l'edificio, ombreggiano, possono far passare la luce e integrare pannelli solari termici e fotovoltaici;
- sistemi murari che agiscano come componenti solari passivi;
- collettori con funzioni di parapetto, elementi di ombreggiamento, elementi di facciata semi-trasparente.

Esistono anche collettori solari integrati/nascosti nel colmo di una copertura a falda, sviluppati prevalentemente per nascondere l'installazione e per non impedire l'uso del tetto, per esempio l'apertura di lucernai.

#### 5. Solar Cooling

Le più promettenti innovazioni nel campo dello sfruttamento della tecnologia solare termica a scala di edificio sono quelle mirate a garantire un uso esteso anche nella stagione estiva degli impianti, migliorando anche la resa economica dell'investimento.

D'altra parte, a causa di una richiesta sempre maggiore di comfort ambientale, la domanda di energia per il condizionamento estivo degli ambienti è aumentata considerevolmente negli ultimi decenni ed il trend è ancora fortemente in crescita.

Negli ultimi anni, ed in particolare nell'ultimo decennio, diverse attività di ricerca e sviluppo tecnologico si sono così focalizzate sullo studio di processi per il condizionamento degli edifici basati su tecnologie innovative che utilizzano l'energia solare.

Il principio generale di funzionamento di un impianto di solar cooling si basa sull'uso del calore prodotto da un impianto solare termico come input energetico di un sistema di condizionamento. Ciò è reso possibile grazie all'introduzione di particolari cicli frigoriferi alternativi a

quelli a compressione di vapore che richiedono lavoro meccanico.

L'impiego dell'energia solare nella stagione estiva per il condizionamento dell'aria negli edifici costituisce una soluzione tecnica dal punto di vista energetico molto interessante, vista anche la coincidenza della domanda di raffrescamento degli ambienti con la maggiore disponibilità di energia solare.

L'impianto solare, essendo dimensionato anche per far fronte alle esigenze di riscaldamento nella stagione invernale, permette in tal modo una diminuzione della spesa energetica durante tutto l'arco dell'anno.

Fra le tecnologie utilizzabili, quelle con maggiore prospettiva e che già si presentano nel mercato sono quelle delle macchine ad assorbimento a ciclo chiuso e dei sistemi desiccant cooling a ciclo aperto.

Una macchina ad assorbimento è un sistema a ciclo inverso che produce acqua refrigerata in cui è possibile utilizzare calore a bassa temperatura (80-120°C) come input energetico. I fluidi utilizzati come refrigeranti in un ciclo ad assorbimento sono diversi da quelli impiegati in un ciclo a compressione di vapore. In particolare le macchine disponibili sul mercato lavorano con miscele acqua-bromuro di litio o con acqua-ammoniaca. Macchine che usano coppie di lavoro differenti sono attualmente solo in fase di ricerca.

Nelle applicazioni di solar cooling sono generalmente impiegate macchine funzionanti con soluzione acqua-bromuro di litio, essendo in questo caso minori le temperature richieste al generatore rispetto al caso acqua-ammoniaca. Applicazioni con quest'ultima miscela sono comunque possibili con l'impiego di collettori solari a concentrazione o a tubi evacuati.

Nel condizionamento dell'aria assume spesso importanza il carico latente dovuto prevalentemente alla presenza di persone e a particolari attività come la cottura dei cibi o le essiccazioni. Tenuto conto inoltre del ricambio con aria esterna, la cui umidità specifica è normalmente più elevata di quella dello spazio condizionato, risulta necessario nella stagione estiva provvedere all'eliminazione di vapor d'acqua nel trattamento dell'aria.

Tradizionalmente la deumidificazione dell'aria viene effettuata tramite un raffreddamento della stessa al di sotto della sua temperatura di rugiada, richiedendo in generale un successivo postriscaldamento per ripristinare le condizioni termoigrometriche operative.

La deumidificazione dell'aria tramite adsorbimento sfrutta il processo fisico per cui le molecole del vapore d'acqua contenuto nell'aria si depositano sulla superficie

interna di un materiale ad elevata porosità che si trova allo stato solido o liquido, tipicamente il gel di silicio o il cloruro di litio. Questo processo è reversibile, ovvero il fluido refrigerante può essere nuovamente rimosso tramite un processo di rigenerazione del materiale adsorbente. A tal fine è richiesta energia termica a temperatura dell'ordine di 45-95°C che può essere fornita ad esempio da un impianto solare o di cogenerazione. La deumidificazione dell'aria effettuata tramite l'utilizzo di materiali adsorbenti consente di evitare la fase di postriscaldamento nel trattamento dell'aria di condizionamento, ottenendo in tal modo un vantaggio energetico apprezzabile. Il sistema di deumidificazione più largamente impiegato nelle unità di trattamento aria di sistemi desiccant cooling è la ruota deumidificante ovvero un dispositivo rotante costituito da un cilindro formato da strutture concentriche di supporto di sostanze deumidificanti, siano esse assorbenti come il cloruro di litio, o adsorbenti come il gel di silicio.

Entrambe i sistemi sono applicabili anche in installazioni di piccola potenza e con superfici di collettori abbastanza contenute (fra 3 e 5 m<sup>2</sup> di collettore per ogni kW frigorifero installato).

Purtroppo i costi di tali sistemi sono ancora lontani dalla competitività economica. Ci si augura che una politica di supporto possa favorire una maggiore diffusione nel mercato e una conseguente riduzione dei costi. Il potenziale di riduzione dei costi è infatti molto elevato. Altre barriere non economiche da considerare sono: mancanza di know-how diffuso nei tecnici e negli utenti, problemi di affidabilità e di efficienza dei sistemi se non progettati e realizzati a regola d'arte.

### Bibliografia

ESTIF, European Solar Thermal Industry Federation, *Solar Thermal Markets in Europe - Trends and Market Statistics 2009*, June 2010

European Commission, *Renewable Energy Action Plans NREAPs*, Decisione della Commissione Europea del 30 giugno 2009 Establishing a template for National Renewable Energy Action Plans under Directive 2009/28/EC, Bruxelles 2009

ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation, *Potential of solar thermal in Europe, UE Project RESTMAC*, 2010  
IEA, International Energy Agency, *Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2008, SHC - Solar Heating and Cooling Programme*, Edition 2010