

Nuove soluzioni nell'ambito del raffreddamento solare

Dr. Uli Jakob, SolarNext AG
Nordstrasse 10, 83253 Rimsting, Germania
T +49/8051/6888-403, F +49/8051/6888-490
uli.jakob@solarnext.de www.solarnext.de

Abstract

Negli ultimi anni sono nate soprattutto in Europa numerose nuove macchine frigorifere a bassa potenza. Molte di queste nuove macchine frigorifere ad assorbimento e adsorbimento hanno ormai superato la fase prototipale e sono passate alla fase di test sul campo e alla produzione in serie; nei prossimi anni è perciò presumibile l'arrivo sul mercato di numerosi nuovi prodotti. Molti progetti dimostrativi in Europa puntano ad acquisire esperienze nel campo delle basse e alte potenze. Migliorano così le strategie di regolazione e viene facilitata la pianificazione dei sistemi. Il potenziale di mercato per il raffreddamento solare di bassa potenza è notevole, il che ha indotto diverse aziende a sviluppare kit di Solar Cooling per la vendita al dettaglio. Per quest'applicazione è indispensabile l'uso delle fonti energetiche rinnovabili durante tutto l'arco dell'anno per la produzione di acqua calda, l'integrazione del riscaldamento e il raffreddamento solare. A confronto aumentano rapidamente le vendite nel campo della climatizzazione convenzionale, soprattutto nel settore dei piccoli apparecchi, i cosiddetti mini-split. Nell'edilizia residenziale e commerciale, la Refrigeration and Air Conditioning Industry Association giapponese (JRAIA) pronostica a livello mondiale 62,97 milioni di apparecchiature con potenze fino a 4 kW nel 2006, di cui 5,38 milioni in Europa [1]. Per il 2008 viene pronosticato un aumento fino a raggiungere i 68,65 milioni di apparecchi in tutto il mondo e 6,12 milioni in Europa. Con circa il 2% delle famiglie, nell'edilizia residenziale la penetrazione di mercato delle macchine frigorifere in Europa è molto bassa se confrontata con il 70% delle famiglie in Giappone e il 55% negli USA.

Parole chiave: Raffreddamento solare, Raffreddamento per assorbimento/adsorbimento, Solar Cooling Kit, potenziale di mercato

1. Introduzione

In Europa e in tutto il mondo il fabbisogno energetico per la climatizzazione è in continuo aumento. Il raffreddamento con il solare termico o con biomassa può condurre ad una sensibile riduzione del consumo energetico e delle emissioni di CO₂. I bassi coefficienti di prestazione delle macchine frigorifere ad assorbimento e adsorbimento di tipo monostadio, tuttavia, possono comportare un rapido aumento dei consumi di energia primaria ove, per integrare il fabbisogno di riscaldamento, non fosse possibile ricorrere a fonti energetiche rinnovabili. Per questa ragione occorre puntare a un grado di copertura solare molto elevato (> 70%) soprattutto nel campo delle macchine frigorifere ad assorbimento monostadio o, meglio ancora, adottare un sistema di riscaldamento interamente solare. Per raggiungere costi ragionevoli nella gestione degli impianti sarà necessario che calino anche i costi di investimento aggiuntivi della tecnologia di raffreddamento termica; ciò avverrà

certamente con l'aumento dei volumi di produzione. Con la diffusione degli impianti termici solari di maggiori dimensioni, le piccole macchine frigorifere termiche rappresentano un'ottima opportunità per sfruttare con efficienza il calore estivo. Nei prossimi anni potremo perciò aspettarci sul mercato una sempre maggiore diffusione dei Solar Cooling Kit a bassa potenza.

2. Tecnologie di raffreddamento solare

La tecnologia di raffreddamento solare è ormai utilizzata da diversi decenni, pur essendo pochi i Solar Cooling kit disponibili in commercio. In linea di principio, i sistemi di raffreddamento basati sul solare termico si suddividono in due principali categorie: i sistemi chiusi per la produzione di acqua fredda e i sistemi aperti per la climatizzazione dell'aria [2].

La Tabella 1 riporta le coppie di fluidi utilizzati, i fluidi frigoriferi, le temperature e le potenze frigorifere nonché i coefficienti di prestazione (COP = Coefficient of Performance, definisce il rapporto fra potenza frigorifera e potenza termica utilizzata) per le tecnologie di raffreddamento più diffuse.

Tabella 1: Tecnologie di raffreddamento e di climatizzazione basate sul solare termico disponibili in commercio

Tecnologia	Assorbimento			Adsorbimento	DEC
	monostadio	bistadio	monostadio		
Fluido frigorifero	Acqua	Acqua	Ammoniaca	Acqua	–
Fluido assorbente	Bromuro di litio	Bromuro di litio	Acqua	Gel di silice	Gel di silice o cloruro di litio
Fluido frigorifero	Acqua	Acqua	Acqua-glicole	Acqua	Aria
Temperature di raffreddamento [°C]	6 – 20	6 – 20	-30 – +20	6 – 20	16 – 20
Temperature di riscaldamento [°C]	70 – 90	130 – 160	80 – 180	55 – 100	55 – 100
Temperatura dell'acqua di raffreddamento [°C]	25 – 40	25 – 40	25 – 50	25 – 35	non necessaria
Potenza refrigerante [kW]	5 – 20.500	170 – 23.300	10 – 1.000	5 – 350	6 – 300
Coefficiente di prestazione (COP) [-]	0,6 – 0,7	1,1 – 1,4	0,5 – 0,6	0,6 – 0,7	0,5 – 1,0

3. Nuovi sviluppi ed esperienze

3.1 Refrigerazione ad assorbimento

Le macchine frigorifere ad assorbimento con potenze medio-alte (> 35 kW) vengono usate da anni nei progetti di raffreddamento solare. A livello delle basse potenze (< 20 kW), invece, la disponibilità di assorbitori è scarsa. Per gli impianti solari termici si utilizzano sia collettori piani ad alta efficienza che collettori a tubi sottovuoto.

Fin dal 1977 la giapponese Yazaki ha messo sul mercato macchine frigorifere ad assorbimento ad acqua/bromuro di litio con potenze frigorifere di 35, 70 e 105 kW [3]; il suo impianto da 35 kW è la macchina frigorifera ad assorbimento più diffusa a livello mondiale nel campo del raffreddamento solare (Figura 1). In futuro verrà immessa sul mercato una macchina da 17,5 kW. Altri assorbitori ad acqua/bromuro di litio con potenze frigorifere da 15 a 200 kW sono offerte dalla EAW Westenfeld; dal mese di maggio 2007 le due



macchine più piccole di quest'azienda (15 kW e 30 kW) sono distribuite in esclusiva dalla Schüco [4]. Nelle condizioni di progetto, vale a dire con una temperatura dell'evaporatore di 15°C, con una temperatura di raffreddamento di 32°C e una temperatura dell'acqua calda di 90°C, queste macchine frigorifere ad assorbimento raggiungono un coefficiente di prestazione di 0,75. Se il raffreddamento è a secco, per cui le temperature possono raggiungere anche i 40°C, questo può essere compensato portando la temperatura di esercizio a 100°C. Basse temperature di esercizio (fra 70 e 80°C) sono possibili con una potenza di raffreddamento ridotta in proporzione [5].

Figura 1: Macchina frigorifera ad assorbimento ad acqua/bromuro di litio WFC-10 della ditta Yazaki (Fonte: SolarNext)

La ditta Sonnenklima di Berlino esegue test sul campo in diverse località europee con un impianto da 10 kW al bromuro di litio con ottimi coefficienti di prestazione e basse temperature di esercizio di 75°C (e parallelamente temperature elevate di entrata all'evaporatore di 18°C) [6]. L'immissione sul mercato è prevista per il 2010. Un'altra macchina al bromuro di litio a bassa potenza viene sviluppata da qualche anno dalla ditta Rotartica in Spagna e valutata nei test sul campo. Con una potenza frigorifera misurata compresa tra 4,2 e 5,1 kW vengono raggiunti coefficienti di prestazione attorno a 0,42; in questo caso l'uso dell'assorbitore rotativo consente di lavorare con un raffreddamento a secco che rappresenta un notevole vantaggio per le piccole installazioni [7]. La ditta ABAKUS di Halle ha sviluppato una macchina frigorifera ad assorbimento ad acqua/bromuro di litio funzionante senza pompa meccanica per la soluzione, che invece è sostituita dalla pompa a termosifone. La potenza frigorifera ammonta a 3-4,5 kW e le temperature di esercizio sono comprese tra 85 e 100°C [8]. L'introduzione sul mercato è prevista per il 2008 con l'esclusiva affidata alla ditta Paradigma.

Mentre si ricorre a soluzioni complesse per evitare la cristallizzazione nelle convenzionali macchine frigorifere ad assorbimento, la ditta ClimatWell AB svedese utilizza proprio questo principio della cristallizzazione di una soluzione LiBr ad alta concentrazione per aumentare la densità di accumulo interna. Per estrarre il fluido frigorifero acqua completamente dalla soluzione cristallina e far cristallizzare due serbatoi con la soluzione salina, sono necessari complessivamente 88 kWh di energia termica. Dal 2005 i primi prototipi con potenze comprese tra 7 e 10 kW vengono già testati sul campo in Spagna [9].



Dalla fine del 2006 la SolarNext distribuisce in esclusiva una macchina frigorifera ad assorbimento ad ammoniac/acqua, la chillii® PSC (Figura 2) della ditta Pink austriaca, che utilizza una pompa a membrana di nuova concezione. Questa macchina frigorifera è disponibile in tre dimensioni: con potenze frigorifere di 5, 10 e 20 kW. A seconda della temperatura dell'acqua fredda e della possibilità di raffreddamento (torre di raffreddamento per evaporazione o raffreddamento a secco) le temperature di esercizio vanno da 75 a 85°C. Per le condizioni di progetto il coefficiente di prestazione è compreso tra 0,6 e 0,65 [10].

Figura 2: Macchina frigorifera ad assorbimento ad ammoniac/acqua chillii® PSC10 con torre di raffreddamento tramite evaporazione

In cooperazione con il Politecnico di Graz, la ditta Helioplus austriaca sta sviluppando una pompa di calore/macchina frigorifera ad assorbimento ad ammoniaca/acqua con una potenza frigorifera di 5 kW [11]. Anche la ITW dell'Università di Stoccarda sta perfezionando una macchina frigorifera ad assorbimento ad ammoniaca/acqua con una potenza frigorifera massima di 10 kW. La soluzione viene pressurizzata con l'utilizzo di una pompa a membrana [12]. Due macchine frigorifere ad assorbimento ad ammoniaca/acqua, raffreddate direttamente ad aria, della ditta Robur italiana con 17 kW e della Aosol portoghese con una potenza di 6 kW sono in corso di sviluppo per il mercato dell'Europa meridionale. Un altro impianto frigorifero ad assorbimento ad $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ che non necessita di alcuna pompa meccanica, è la macchina frigorifera ad assorbimento a diffusione (DAKM) sviluppata presso lo zafh.net della HfT di Stoccarda, con una potenza frigorifera di 3,0 kW [13].

3.2 Raffreddamento ad adsorbimento

Gli impianti ad adsorbimento chiusi hanno il problema del cattivo trasporto di calore fra gli assorbitori a sostanze solide, quali ad esempio i cappotti attorno a uno scambiatore di calore e il liquido frigorifero. Solamente rivestendo gli scambiatori di calore con materiali adsorbenti è possibile costruire macchine frigorifere ad adsorbimento con tempi ciclo molto brevi nell'ordine dei minuti.



Figura 3: chillii® STC6 - Macchina frigorifera ad adsorbimento ad acqua/gel di silice (Fonte: SorTech)

La ditta SorTech AG di Halle ha sviluppato un impianto con una potenza refrigerante di 5,5 kW distribuito dalla SolarNext, CitrinSolar, Solution e Solvis. Con temperature di esercizio di 75/67°C e temperature dell'acqua di raffreddamento di 27/33°C (torre di raffreddamento ad evaporazione), la macchina frigorifera ad adsorbimento (Figura 3) raggiunge una temperatura dell'acqua di 18/15°C e un COP di 0,53. Usando refrigeratori a secco (33/38°C) le temperature di esercizio salgono a 85/77°C. A partire dal 2007 vengono effettuati i primi test sul campo con il chillii® STC [14].

La Shanghai Jiao Tong University cinese ha sviluppato un adsorbitore ad acqua/gel di silice da 10 kW (Figura 4) prodotto dall'azienda cinese Jiangsu Shuangliang Air Conditioner Equipments Co. [15]. La InvenSor GmbH di Berlino ha sviluppato una macchina frigorifera ad adsorbimento ad acqua/gel di silice il cui primo prototipo con una potenza refrigerante di 10 kW è stato completato nell'agosto 2007 [16].



Figura 4: Macchina frigorifera ad adsorbimento ad acqua/gel di silice SWAC-10 (Fonte: Shanghai Jiao Tong University)

Anche la ditta InvenSor distribuirà prossimamente una macchina frigorifera ad adsorbimento ad acqua/zeolite. Insieme alla RWTH di Aquisgrana, la ditta Vaillant invece ha sviluppato un radiatore ad acqua/zeolite con una potenza riscaldante di 10 kW. Anche la Viessmann sta sviluppando una pompa di calore ad adsorbimento ad acqua/zeolite.

Macchine ad adsorbimento con capacità maggiori (> 70 kW) del costruttore giapponese Mayekawa e della ditta giapponese Nishyodo che attualmente produce negli Stati Uniti, sono in funzione con una certa affidabilità in diversi impianti dimostrativi. Nella Clinica universitaria di Friburgo sono stati misurati coefficienti di prestazione termici medi del 43% di un adsorbitore da 70 kW, pur essendo il grado di copertura solare dei 171 m² di collettori a tubi sottovuoto in notturna solamente pari al 28% annuo a causa dei tempi di esercizio prolungati [17].

3.3 Climatizzazione aperta con sistemi di raffreddamento a desiccante ed evaporazione (sistemi DEC)

I climatizzatori aperti con sistemi di raffreddamento a desiccante ed evaporazione sono ormai maturi dal punto di vista tecnico e solamente la tecnologia di controllo richiede un adattamento alle esigenze specifiche di progetto e deve essere pianificata e realizzata con particolare attenzione [18, 19]. Sono pochi gli impianti DEC con il solare termico a disporre di sistemi di misurazione ed elaborazione dettagliati.



Figura 5: Sistema DEC sul tetto della biblioteca a Mataró (Fonte: zafh.net)

Il sistema DEC esaminato dalla IHK Friburgo con una portata di 10.200 m³/h e un esercizio di rigenerazione puramente solare ha prodotto una resa annua dei collettori di max. 100 kWh/(m² a) [20]. Questa scarsa resa è essenzialmente dovuta ai brevi tempi di esercizio dell'impianto che, infatti, è utilizzato solo temporaneamente per le aule dei seminari. Il coefficiente di prestazione medio annuo

è pari a 0,43. A Mataró in Spagna (Figura 5) 105 m² di collettori ad aria con l'aria preriscaldata di una facciata ventilata con copertura a pannelli fotovoltaici (portata 12.000 m³/h) vengono usati per la rigenerazione di un tubo di adsorbimento a gel di silice per la climatizzazione di una biblioteca. Questo impianto DEC utilizza un postrefrigeratore come fonte energetica ausiliaria, mentre il riscaldamento dell'aria di rigenerazione avviene solo tramite il solare termico. I coefficienti di prestazione misurati a pieno carico di rigenerazione sono compresi tra 0,6-1,0 [21]. Soprattutto gli scambiatori di calore non raggiungono i coefficienti di recupero del calore indicati dal costruttore.

3.4 Sistemi a desiccante liquido

I primi test sul campo sono stati completati con successo con sistemi a desiccante liquido: coefficienti di prestazione termici medi di 1,1 sono stati ottenuti durante la prima fase di misurazione nel 2005 di un sistema a desiccante liquido della ditta Menerga [22]. La ditta L-DCS ha installato un sistema a desiccante liquido da 350 kW a Singapore, basato sugli sviluppi presso lo ZAE Baviera [23]. Anche negli USA è in corso lo sviluppo di sistemi a desiccante liquido della ditta AIL Research (Figura 6) in collaborazione con la Queen's University, Canada con portate particolarmente ridotte che stanno per essere sottoposti a test sul campo [24].



Figura 6: Sistema a desiccante liquido OA-6000 con torre di raffreddamento della AIL Research Inc (Fonte: AIL Research)

Diversi enti di ricerca stanno lavorando alla realizzazione di assorbitori e desorbitori a desiccante liquido: lo ZAE Baviera sviluppa e gestisce impianti a desiccante liquido in laboratorio e in applicazioni pratiche, la University of South Australia e l'università di Kassel stanno sviluppando rigeneratori/assorbitori con scambiatori di calore a piastre in materiale sintetico e materassi di cotone per la

distribuzione del liquido, lo zafh.net di Stoccarda sta sviluppando un piccolo e sensibile raffreddamento dell'aria con essiccazione a desiccante liquido sul lato dell'evacuazione dell'aria viziata [25].

4. Potenziale di mercato

4.1 Climatizzazione convenzionale

Le vendite soprattutto dei mini condizionatori "split" stanno andando a gonfie vele: dal 1996 al 2000 in Grecia il numero di condizionatori venduti è triplicato, raggiungendo la cifra di 400.000 unità e il consumo di corrente aumenta del 3-4% all'anno [26]. Le vendite pronosticate a livello mondiale dalla Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRAIA) giapponese per i condizionatori a bassa potenza da 2-4 kW ammontano a 68,65 milioni di apparecchi per il 2008, di cui 6,12 milioni in Europa [1].

I condizionatori elettrici a compressione a bassa potenza presentano un COP di poco inferiore a 3,0; la migliore tecnologia di oggi offre coefficienti di prestazione da 5 a 6. I condizionatori multi-split con una quota di mercato di circa il 70% hanno un coefficiente di prestazione medio di 2,5 con raffreddamento ad aria e di 2,75 con raffreddamento ad acqua. La media dei coefficienti di prestazione di tutti i condizionatori elettrici negli Stati Uniti è pari a 2,93 [27]. Il rendimento di trasformazione dell'energia elettrica da energia primaria è di circa il 35%. Moltiplicando il COP con il rendimento di trasformazione si può ricavare l'efficienza a livello di energia primaria. Questa indica il numero di kW di freddo prodotti con un kW di energia primaria. Quanto più alta è questa cifra, più efficiente è la produzione del freddo. I condizionatori elettrici a compressione forniscono un'efficienza a livello di energia primaria di poco inferiore a 1,0 e, con l'utilizzo della tecnologia migliore, di max. 2,0.

4.2 Climatizzazione solare

I primi impianti di raffreddamento solare per la climatizzazione degli ambienti in Europa e negli USA furono già sviluppati negli anni '70 del XX secolo dalle ditte Dornier-Prinz Solartechnik GmbH [28,29] e Arkla Industries Inc., USA (oggi Robur SpA, Italia) [30] e realizzate in progetti dimostrativi. Lo scarso numero di apparecchi venduti hanno portato alla sospensione della produzione di questi sistemi di raffreddamento solare.

Anche oggi le macchine refrigeranti a funzionamento solare non sono ancora sufficientemente competitive. L'impianto solare termico è il maggiore fattore di costo, mentre i costi di

esercizio e di manutenzione delle macchine frigorifere sono minori rispetto agli impianti convenzionali; viceversa sono maggiori i costi di investimento a causa del basso numero di unità prodotte [30]. Tuttavia i costi superano di poco quelli di un impianto convenzionale: per un sistema DEC in uno stabilimento di pressofusioni ad Althengstett i maggiori costi ammontavano solo al 6% [31]. Per la grossa incidenza dell'impianto solare termico, l'elevata durata d'uso è decisiva ai fini dell'economia dell'impianto. Il numero tipico di ore a pieno carico della climatizzazione, compreso tra 800 e 1.000 h negli edifici amministrativi e commerciali, è basso rispetto alle circa 2.500 ore di riscaldamento. Il mercato per il raffreddamento solare termico è perciò ancora molto piccolo: in Europa sono attualmente installati complessivamente circa 12 MW di potenza refrigerante, corrispondenti a circa 120 impianti [32]. La maggior parte degli impianti è stata realizzata in Germania (39,1%), Spagna (27,5%) e Grecia (8,7%). La superficie totale dei collettori installati è di circa 20.000 m². Il 60 % circa degli impianti utilizza macchine frigorifere ad assorbimento, il 11% circa macchine frigorifere ad adsorbimento e il 29% circa tecniche di raffreddamento aperte con un dominio dei sistemi di raffreddamento a desiccante e ad evaporazione (DEC) e finora pochi sistemi (4%) che operano a ciclo aperto.

5. Parametri di progetto

Il valore medio della superficie specifica dei collettori di tutti gli impianti di raffreddamento solare finora installati in Europa è di circa 3,0 m²/kW. Un valore di 3-3,5 m²/kW può essere considerato il valore di riferimento per le macchine frigorifere ad assorbimento/adsorbimento con funzionamento termico. Con i sistemi a ciclo aperto (DEC, sistemi a desiccante liquido) si preferisce invece indicare la portata di aria; qui l'ordine di grandezza di riferimento prevede un valore compreso tra 8 e 10 m² per 1.000 m³/h di portata d'aria installata [33]. Questi valori tuttavia sono dei semplici valori di riferimento e non possono in alcun caso sostituire la progettazione dettagliata dell'impianto. I costi specifici complessivi degli impianti di raffreddamento solare installati sono compresi tra 5.000 e 8.000 EUR/kW per le macchine frigorifere ad assorbimento/adsorbimento. Per i sistemi aperti i costi complessivi specifici ammontano a 2.500 - 3.500 EUR/kW [34].

6. Conclusioni

Il raffreddamento con il solare termico o il ricupero di calore può condurre ad una sensibile riduzione del consumo energetico e delle emissioni di CO₂. A questo scopo, soprattutto se si tratta di macchine frigorifere termiche ad assorbimento monostadio, è indispensabile garantire un grado di copertura solare molto elevato (> 70%) o, meglio ancora, un sistema di riscaldamento solare completo, in quanto un coefficiente di prestazione basso comporterebbe un elevato consumo di energia primaria per raggiungere la temperatura di regime. Perché la gestione dell'impianto possa essere economicamente sostenibile si tratterà di ridurre ulteriormente i costi di investimento aggiuntivi della tecnologia termica di refrigerazione; questo obiettivo potrà essere raggiunto con un aumento dei volumi venduti. Con un trend diffuso verso impianti solari termici di dimensioni maggiori, le piccole macchine frigorifere termiche offrono una soluzione ideale per sfruttare in maniera efficiente il calore estivo.

Molte soluzioni basate sulla tecnologia ad assorbimento, adsorbimento e a desiccante liquido sono ormai passate dallo stadio di prototipo al test sul campo e alla produzione in serie, per cui negli anni a venire sarà con ogni probabilità disponibile un numero maggiore di progetti e di Solar Cooling Kit anche a bassa potenza.

7. Bibliografia

- [1] JRAIA, "Estimates of World Demand for Air Conditioners (2000-2008)", *The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association*, 2006, <http://www.jraia.or.jp/>.
- [2] U. Jakob, U. Eicker, "Solare Kühlung in Gebäuden", *Atti della 9a Giornata dell'energia Renania-Palatinato*, Bingen, FH Bingen – Transferstelle Bingen, 21 settembre 2006.
- [3] J. Niemeyer, "Absorption Technology for Solar Air-Conditioning", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 ottobre 2007, pagina 342-345, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [4] S. Rentzing, "Starre Sonnenkälte", *neue energie*, Nr. 7, 2007, pagina 50-53.
- [5] M. Safarik, L. Richter, M. Otto, "Entwicklung einer 30 kW H₂O/LiBr Absorptionskältemaschine für den Einsatz in der solaren Kühlung", *Atti del 4° Simposio "Raffreddamento solare nella prassi"*, Stoccarda, HfT Stuttgart, Volume 74, 3-4 aprile 2006, pagina 143-149.
- [6] V. Clauß, A. Kühn, Ch. Schweigler, "Field Testing of a Compact 10 kW Water/LiBr Absorption Chiller", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 ottobre 2007, pagina 572-577, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [7] M. Izquierdo, R. Lizarte, J.S. Marcos, E. Palacios, A. Burguete, "Cooling with a 4,5 kW Air-cooled Single Effect LiBr/H₂O Absorption Unit (Rotartica 045v)", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 ottobre 2007, pagina 612-617, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [8] I. Dassler, M. Dietrich, D. Hebecker, "Entwicklungsstand und eigene Ergebnisse zur solaren Sorptionsklimakälteerzeugung", *VDI-Berichte*, Nr. 1924, 2006, pagina 313-328.
- [9] C. Bales, G. Bolin, S. Nordlander, F. Settenwall, "Solar driven chemical heat pump with integral storage – the thermo-chemical accumulator", *Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning*, Bad Staffelstein, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 6-7 ottobre 2005, pagina 63-67, ISBN 3-934681-41-7.
- [10] U. Jakob, W. Pink, "Development and Investigation of an Ammonia/Water Absorption Chiller – chillii[®] PSC – for a Solar Cooling System", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 ottobre 2007, pagina 440-445, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [11] H. Moser, R. Rieberer, "Small-Capacity Ammonia/Water Absorption Heat Pump for Heating and Cooling - Used for Solar Cooling Applications", *Proceedings of the 2nd International Conference Solar Air-Conditioning*, Tarragona, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 18-19 ottobre 2007, pagina 56-61, ISBN 978-3-934681-61-3.
- [12] T. Brendel, K. Spindler, H. Müller-Steinhagen, „Entwicklung einer 10 kW Absorptionskälteanlage mit Ammoniak/Wasser“, *Atti del 4° Simposio*

- “Raffreddamento solare nella prassi”*, Stoccarda, HfT Stuttgart, Volume 74, 3-4 aprile 2006, pagina 189-207.
- [13] U. Jakob, U. Eicker, D. Schneider, A. Teußler, “Experimental investigation of bubble pump and system performance for a solar driven 2.5 kW diffusion absorption cooling machine”, *Proceedings of the Heat SET 2007*, Chambéry, Francia, 18-20 aprile 2007, pagina 789-796, ISBN 2-9502555-3-1.
- [14] U. Jakob, M. Huber, D. Dubbelfeld, R. Aubele R, “Experimental investigation of a novel solar cooling system based on a small-scale water/silica gel adsorption heat pump”, *Proceedings of the 1st International Symposium on Innovative Materials for Processes in Energy Systems IMPRES*, Kyoto, Giappone, 28-31 ottobre 2007.
- [15] D. Z. Wang, Z. Z. Xia, J. Y. Wu, R. Z. Wang, H. Zhai, W. D. Dou, “Study of a novel silica gel-water adsorption chiller. Part I. Design and performance prediction”, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 28, 2005, pagina 1073-1083.
- [16] D. Dubbelfeld, “Solares Kühlen hydraulische und regelungstechnische Beschreibung einer Adsorptionskältemaschine”, *Tesi*, Istituto tecnico Superiore di Augusta, Corso di laurea in Ingegneria meccanica, 2007.
- [17] E. Wiemken, H.-M. Henning, “Solar Assisted Cooling at the University Hospital Klinikum Freiburg”, *Proceedings of the 1st International Conference Solar Air-Conditioning*, Bad Staffelstein. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), 6-7 ottobre 2005, pagina 178-182, ISBN 3-934681-41-7
- [18] U. Schürger, U. Eicker, J. Schumacher, “Betriebserfahrungen und Untersuchungen von DEC-Anlagen: Regelungsoptimierung und Energieanalysen“, *Atti del 4° Simposio “Raffreddamento solare nella prassi”*, Stoccarda, HfT Stuttgart, Volume 74, 3-4 aprile 2006, pagina 59-71.
- [19] W. Zörner, “Solarunterstützte DEC-Anlage im Güterverkehrszentrum Ingolstadt“, *Atti del 4° Simposio “Raffreddamento solare nella prassi”*, Stoccarda, HfT Stuttgart, Volume 74, 3-4 aprile 2006, pagina 73-98.
- [20] H.-M. Henning, “Solar assisted air conditioning of buildings – an overview”, *Proceedings of the Heat SET 2005*, Grenoble, Francia, 5-7 aprile 2005.
- [21] U. Jakob, U. Eicker, “Solare Kühlung in Mataró“, *Sonne Wind & Wärme*, Vol. 31, No. 2, 2007, pagina 46-49.
- [22] C. Hindenburg, “Solare Kälte im Sommer“, *Sonne Wind & Wärme*, Vol. 30, Nr. 8, 2006, p. 52-55.
- [23] E. Lävemann, A. Hublitz, M. Pelzer, “Betriebsergebnisse einer solarunterstützten Flüssigsorptionsanlage in Singapur“, *Atti del 4° Simposio “Raffreddamento solare nella prassi”*, Stoccarda, HfT Stuttgart, Band 74, 3-4 April 2006, pagina 53-58.
- [24] A. Lowenstein, S. Slayzak E. Kozubal, “A zero carry over liquid desiccant air conditioner for solar applications“, *ASME/SOLAR06*, 8-13 luglio 2006, Denver, USA, ISEC2006-99079.
- [25] D. Pietruschka, U. Eicker, M. Huber, J. Schumacher, “Experimental performance analysis and modelling of liquid desiccant cooling systems for air conditioning in residential buildings“, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 29, Nr. 1, 2006, pagina 110-124.
- [26] T. Tsoutsos, J. Anagnostou, C. Pritchard, M. Karagiorgas, D. Agoris, “Solar cooling technologies in Greece - An economic viability analysis“, *Applied Thermal*

- Engineering*, Vol 23, 2003, pagina 1427-1439.
- [27] B. Guiney, "Solar thermal for cooling, heating and power generation", *Renewable Energy World*, Vol. 6, No. 2, marzo-aprile, 2003, pagina 92-98.
 - [28] K. Schubert, J. Dreyer, "Kühlen mit Sonnenenergie", *Dornier Post*, Nr. 1, 1977, pagina 9-11.
 - [29] "Solarwärme sorgt für angenehme Kühlung". *Sonnenenergie & Wärmetechnik*, Nr. 1, 1993, pagina 29.
 - [30] G. Grossman, "Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning", *Solar Energy*, Vol. 72, Nr. 1, 2002, pagina 53-62.
 - [31] D. Schneider, "Energie- und Wirtschaftlichkeitsanalyse einer industriellen sorptionsgestützten Klimaanlage mit solaren Luftkollektoren", *Atti del 2° Simposio "Raffreddamento solare nella prassi"*, HFT Stuttgart, Volume 56, 10-11 giugno 2002, pagina 17-36.
 - [32] H.-M. Henning, "Overview on solar cooling", *Proceedings of the 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007*, Friburgo, 19-20 giugno 2007.
 - [33] H.-M. Henning, "Solare Klimatisierung – Stand der Entwicklung", *erneuerbare energien*, Nr. 2, 2005, pagina 7-11.
 - [34] U. Jakob, U. Eicker, "Solare Kühlung in Gebäuden", *Atti della 9a Giornata dell'energia Renania-Palatinato*, Bingen, FH Bingen – Transferstelle Bingen, 21 settembre 2006.