

## B. TASK 42 "Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration" (attività nell'ambito della WGB-Numerical Modelling Session);

La programmazione dei lavori della Task 42/24, iniziati nel febbraio del 2009 prevedevano una fine lavoro per dicembre 2012. Al fine di completare tutti i lavori di ricerca e di validare sperimentalmente il corpus di algoritmi sviluppati, la IEA ha deliberato il prolungamento dei lavori della Task fino al 2015.

La partecipazione del DEIM dell'Università degli studi di Palermo ai lavori del Task 42 IEA SHC, costituito dal Prof. Ing. Valerio Lo Brano responsabile scientifico della ricerca, Prof. Marco Beccali, Prof. Maurizio Cellura e Ing. Giuseppina Ciulla, ha come obiettivo lo sviluppo di algoritmi e strumenti per migliorare le prestazioni di pannelli fotovoltaici mediante l'utilizzo di sistemi di accumulo termico.

Al fine di proseguire e migliorare la ricerca sui materiali a cambiamento di fase il gruppo di ricerca del DEIM ha partecipato a diversi Expert meeting della attività della TASK-42, in ultimo al 9th experts Meeting, tenutosi a Freiburg, Germany, dal 15 al 17 Aprile 2013 al Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Durante il meeting, in vista della proroga ottenuta, è stato analizzato lo stato di fatto dei lavori mettendo in evidenza gli obiettivi raggiunti e i punti di debolezza da indagare e approfondire nei prossimi anni.

Tra gli obiettivi raggiunti rientra il lavoro del gruppo di ricerca del DEIM che ha messo a punto un algoritmo alle differenze finite capace di modellizzare il flusso termico dinamico attraverso una parete multistrato in presenza di cambiamento di fase, sia mediante metodo implicito che mediante metodo esplicito. La simulazione numerica è stata condotta mediante la creazione di un programma codificato con Visual Basic.NET.. Inoltre al fine di validare i risultati ottenuti è stata messa a punto una test facility installata presso il tetto del DEIM.

La relazione scientifica del lavoro "Heat storage system coupled with a photovoltaic panel. Autori: Maurizio Cellura, Giuseppina Ciulla, Valerio Lo Brano, è stata infatti inserita nel report ufficiale della IEA TASK-42 in fase di pubblicazione. Inoltre, durante gli anni della ricerca, il gruppo del DEIM ha prodotto ulteriori pubblicazioni quali:

A finite difference model of a PV-PCM system; Ciulla G., Lo Brano V., Cellura M., Franzitta V., Milone D., Energy Procedia 30 (2012) 198-206;

A numerical solution that determines the temperature field inside phase change materials: application in buildings; Ciulla G., Lo Brano V., Messineo A., Peri G., in press: JCEM journal of Civil Engineering and Management, DOI: 10.3846/13923730.2013.778212

Nel proseguo delle attività previste in questa linea di ricerca ci si propone di verificare la correttezza dei risultati con alcune soluzioni analitiche largamente impiegate nella bibliografia di settore. Ci si propone infatti di approfondire l'applicazione del metodo di Crank-Nicolson all'algoritmo precedentemente identificato, per ottimizzare i vantaggi offerti dal metodo esplicito con quelli offerti dal metodo implicito nella risoluzione delle equazioni differenziali che descrivono il bilancio termico. Per tale ragione il gruppo di ricerca del DEIM prevede di poter partecipare ai prossimi incontri dei lavori della Task 42/24.

Infine alla luce della proroga dei lavori della Task-42 il responsabile del progetto ha proposto l'Università degli Studi di Palermo come possibile prossima sede del meeting; probabile data settembre 2014.

## C. Task 48 " Quality assurance and support measures for Solar Cooling"

Il Dipartimento DEIM (prof. Marco Beccali) coordina le attività legate allo svolgimento di analisi del ciclo di vita di sistemi di solar cooling, recentemente unificate all'interno del task, nell'attività denominata "A2/B3" Life cycle analysis at component and system level.

Il primo scopo è quello di svolgere secondo un formato condiviso dai partner alcuni Life Cycle Inventories (LCI) di componenti di impianti di solar heating/cooling allo scopo di integrare la casistica già sviluppata all'interno del task 38. Supposto che la creazione di un vero e proprio data-base è un compito al di fuori della portata del Task, la raccolta consentirà in ogni caso, di ottenere informazioni di primaria importanza per lo svolgimento di analisi a livello di sistema.

In secondo luogo verrà creato un tool di facile impiego per effettuare rapide analisi parametriche per valutare l'incidenza sull'impatto finale di alcuni fattori quali, ad esempio: l'affidabilità dei dati di input, il tasso di riciclo dei materiali, le prestazioni energetiche in fase d'uso di base e di altre rilevanti variabili.

Le attività del gruppo di lavoro del Dipartimento DEIM si sono articolate su più piani. Da una parte si è condotto il coordinamento del gruppo A2/B3" Life cycle analysis at component and system level, dall'altra di sono sviluppati ulteriori temi di ricerca di interesse della comunità mediante comunicazioni a seminari e congressi internazionali.

In particolare il DEIM, nella persona del prof. Marco Beccali è stato inviato partecipare in qualità di relatore al seminario "Technologies for solar cooling in tropical climates" organizzato dall'International Energy Agency, Solid Asia Energy Services a Singapore, 5 Apr 2013 una relazione dal titolo Advances in Solar DEC: test and researches at University of Palermo.

Inoltre il gruppo di ricerca ha partecipato al 4th expert meeting dal 09-10 Aprile 2013 a Newcastle, AUSTRALIA e all'Australian Solar Cooling 2013 Conference, Sydney 2013.

Sono state presentate le seguenti relazioni:

- A new compact solar air conditioner based on fixed beds adsorption and high efficient evaporative cooling concepts and prototype
- New DEC open cycle for air conditioning based on fixed cooled adsorption beds and wet heat exchangers
- Advances in Solar DEC: test and researches at University of Palermo
- Life Cycle analysis on component/system

In merito alle attività A2/B3: Life cycle analysis at component and system level va registrata una difficoltà nella prosecuzione dei lavori dovuta al ridotto contributo degli altri partner.

In ogni caso lo stato dei lavori è il seguente:

- I. La metodologia per la definizione della metodologia LCI è stata consolidata e condivisa fra i partner
- II. L'Inventario di nuovi componenti è in corso di redazione ma i soli contributors sono L'Università di Palermo e L'Austrian Institute of Technology (AIT)
- III. AIT ha dato la disponibilità a raccogliere dati per ulteriori analisi
- IV. UNIPA deve verificare se nei limiti di budget disponibili può realizzare ulteriori LCI rispetto a quelli pianificati all'inizio
- V. E' necessario discutere dei parametri di impatto ambientale da utilizzare nel template del Tool per la verifica rapida di analisi di sensitività dei LCI

Rispetto al workplan iniziale è da sottolineare che il contributo di esperti e industria è estremamente ridotto. Questo probabilmente implicherà una rimodulazione degli obiettivi in termini di numero di prodotti da inserire nel data base (act. A2)

AIT si è impegnata a facilitare l'impiego di dati provenienti dal progetto europeo SolarCoolOpt project. Tuttavia è necessario verificare se i metodi e gli output previsti in tale progetto siano coerenti con quelli condivisi in sede di Task 48 o al massimo compatibili. Ad esempio ci si aspetta come output "minimo" il calcolo del GER, GWP, Payback Energetici e di Emissioni.

Si è inoltre deciso di fondere i milestones M-A2.2 Draft report on determination of the impact factors parametric analysis e MB3-1 Template for LCA method tool.

Quindi il deliverable MA2-2 sarà completato e unificato con quello relativo al template del tool per la LCA MB3-1.

Il data base sarà implementato il più possibile dopo un controllo dei dati disponibili dai costruttori (SORTECH, SOLID, KINGENBURG).

### C.1 Attività di interesse comune all'interno del task 48

Nell'ambito dei sistemi di climatizzazione ad adsorbimento a ciclo aperto (Desiccant Evaporative Cooling) operanti con materiali adsorbenti allo stato solido, oggetto delle attività comuni del TASK, sono state svolte diverse attività di ricerca di sviluppo allo scopo di individuare soluzioni tecniche innovative che permettono lo smaltimento del calore prodotto durante il processo di adsorbimento. Diverse ricerche condotte sui sistemi di deumidificazione ad adsorbimento dimostrano infatti i vantaggi energetici ottenuti per mezzo di tale trasformazione termodinamica.

Il sistema di deumidificazione più largamente impiegato nelle unità di trattamento aria Desiccant Evaporative Cooling (DEC) è il rotore essiccante costituito da una matrice cilindrica alveolare su cui sono posate le sostanze deumidificanti, siano esse assorbenti come il cloruro di litio, o adsorbenti come il silica gel. In generale gli svantaggi dei rotori adsorbenti tradizionali possono essere riassunti nei seguenti punti:

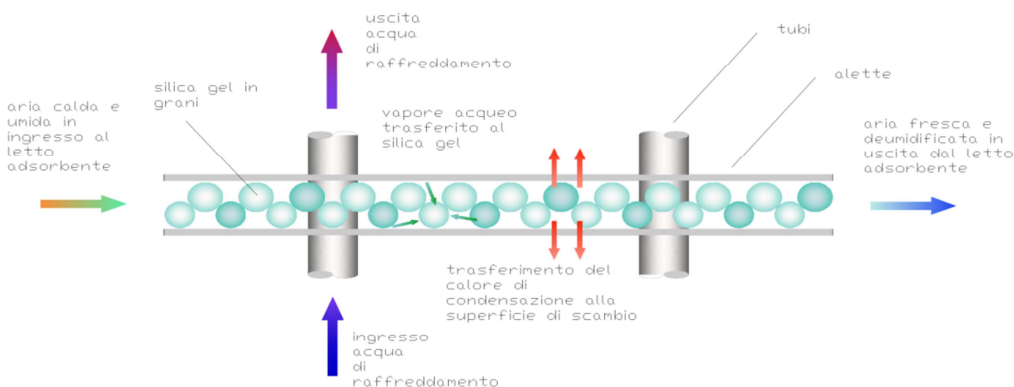
impossibilità di smaltire il calore di adsorbimento con conseguente diminuzione di efficienza dell'intero ciclo di trattamento dell'aria;

prestazioni limitate in termini di deumidificazione massima ottenibile in presenza di aria di processo molto umida;

il raggiungimento di elevate temperature nel materiale adsorbente durante la fase di deumidificazione comporta l'utilizzo di calore a temperatura maggiore per la rigenerazione;

elevati costi di installazione;

Gli aspetti elencati possono essere considerati la motivazione alla base delle attività di ricerca svolte. In particolare, sulla base delle considerazioni viste, è stato sviluppato un componente innovativo per la deumidificazione e il contemporaneo raffreddamento dell'aria. Il componente proposto è costituito da uno scambiatore a pacco alettato impaccato con grani di silica gel. Il trasferimento di calore avviene tra il flusso d'aria e un liquido refrigerante (normalmente acqua) mentre il trasferimento di massa coinvolge il flusso d'aria e lo strato di materiale adsorbente. In definitiva, il trasferimento di massa avviene dunque tra l'aria e il materiale adsorbente, sotto forma di scambio di umidità, mentre non c'è nessun trasferimento di massa tra l'aria e il fluido refrigerante. Il fenomeno descritto è rappresentato schematicamente in *Figura 1*.



**Figura 1: Schema trasferimento di calore e massa all'interno di uno scambiatore di calore con materiale adsorbente**

Uno dei principali vantaggi di questo tipo di scambiatore è quello di poter avere facilmente ampie sezioni di passaggio e grandi superfici di scambio lato aria. Ciò permette da un lato di limitare le perdite di carico e dall'altro di raggiungere elevate potenze di scambio termico. Il grado di vuoto del letto dovrà essere scelto in modo tale da ottimizzare le perdite di carico, lo scambio di massa e di calore.

Per ciò che riguarda i materiali adsorbenti che possono essere utilizzati esiste un'ampia varietà di materiali disponibili sul mercato e di altri ancora in fase di ricerca. In particolare, al momento i materiali più appropriati per l'applicazione specifica sono il silica gel e i composti da esso derivati quando questo viene impregnato con cloruro di calcio. Il silica gel è infatti tra i materiali adsorbenti che richiedono le più basse

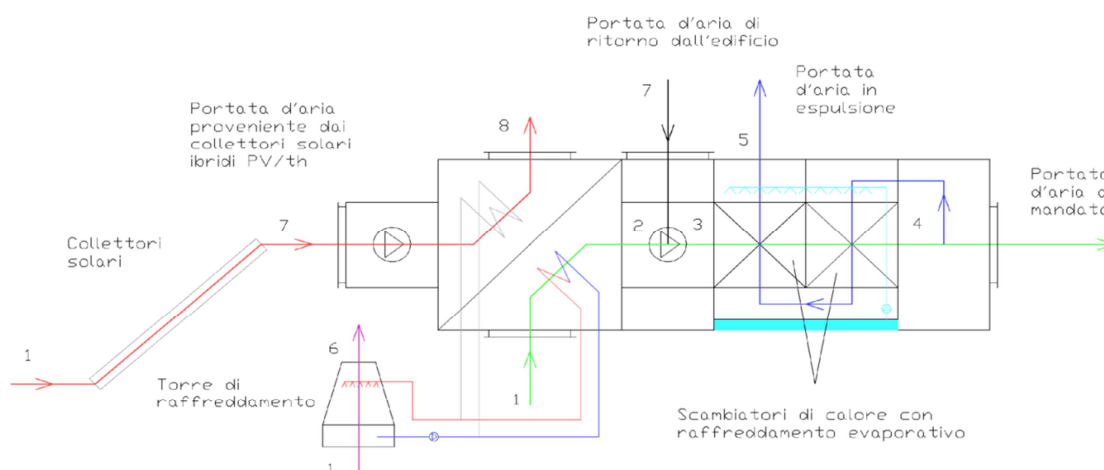
temperature di rigenerazione, e che presentano un calore di adsorbimento modesto. Esistono inoltre vari prodotti disponibili sul mercato a costi contenuti.

Al fine di testare la soluzione proposta sono stati messo a punto un banco di prova per uno scambiatore contenente 18 kg di silica gel e con portata massima di 300 m<sup>3</sup>/h, progettato per applicazioni in sistemi DEC in ambito residenziale.

I risultati ottenuti sono stati significativi e dimostrano l'efficacia della soluzione proposta. In particolare possono essere evidenziati i seguenti aspetti:

- prestazioni molto elevate in termini di deumidificazione massima raggiungibile;
- possibilità di raffreddare il flusso d'aria fino a temperature inferiori a quelle dell'aria in ingresso;
- possibilità di sfruttare il componente anche come accumulo energetico. Il calore fornito ad esempio da un impianto solare può essere accumulato sotto forma di capacità di adsorbimento nel materiale adsorbente, realizzando una sorta di accumulo a cambiamento di fase;

I risultati ottenuti sono stati utilizzati per progettare un sistema DEC innovativo basato sull'utilizzo di due letti adsorbenti fissi. L'impianto sarà a servizio del Laboratorio Solare del Dipartimento DEIM dell'Università di Palermo e avrà il compito di attuare un trattamento dell'aria completo ovvero potrà essere utilizzato per la climatizzazione sia estiva che invernale del locale citato. Inoltre, dato l'elevato affollamento del locale, l'impianto provvederà alle esigenze di ventilazione con un adeguato ricambio dell'aria.



**Figura 2: Sistema DEC innovative basato sui letti adsorbenti fissi**

Il calore per la rigenerazione del materiale adsorbente sarà fornito da una pensilina ibrida PV/th che coprirà anche il fabbisogno di elettricità dell'impianto su base annuale. Il raffreddamento dei letti adsorbenti sarà realizzato per mezzo di un circuito ad acqua collegato ad una torre evaporativa.

Inoltre, nel sistema è stato implementato un sistema di raffreddamento evaporativo indiretto realizzato tramite due scambiatori di calore evaporativi a flusso incrociato posti in serie secondo quanto riportato in *Figura 2*.

Parallelamente all'applicazione citata, si sta lavorando allo sviluppo di un sistema DEC di piccola taglia per applicazioni nel settore residenziale e commerciale cosiddetto leggero. Si tratta di un sistema compatto che integra tutti i componenti all'interno avente una superficie solare di circa 2 m<sup>2</sup>. La portata è di 500 m<sup>3</sup>/h e la potenza frigorifera di circa 3 kW. Al momento è già stata completata la fase di realizzazione del prototipo e si stanno raccogliendo i dati di monitoraggio. I risultati sperimentali verranno presentati alla conferenza SHC che si terrà a Friburgo e al prossimo meeting del Task 48 IEA.

## Pubblicazioni inerenti i temi della ricerca

---

1. Beccali M, Cellura M, Finocchiaro P, Guarino F, Longo S, Nocke B., "Life Cycle Assessment Performance Comparison of Small Solar Thermal Cooling Systems with Conventional Plants Assisted with Photovoltaics", accepted for Solar Energy Journal Special Issue
2. Beccali M., Cellura M., Guarino F., Longo D., Mistretta M., Finocchiaro P., Analisi comparata di sistemi solari per il condizionamento tramite la metodologia LCA - VII° Convegno rete Italiana LCA "Life Cycle Assessment e ottimizzazione ambientale: esempi applicativi e sviluppi metodologici", Milano, 2013
3. Marco Beccali, Maurizio Cellura, Francesco Guarino, Marina Mistretta, Sonia Longo, "Eco-design of solar driven systems: a performance comparison between the Italian and the Brazilian context," 21st Conference of the International Group for Lean Construction, July 31st - August 2nd of 2013, Fortaleza, Brazil
4. Finocchiaro P., Beccali M., Gentile V, Experimental investigation of adsorption performances of an heat exchanger packed with silica gel for application in solar desiccant cooling systems, OTTI 5th Solar Air-Conditioning Conference, Black Forest, September 25 - 27, 2013
5. Finocchiaro P, Beccali M., New DEC open cycle for air conditioning based on fixed cooled adsorption beds and wet heat exchangers, Proceedings of Australian Solar Cooling 2013 Conference, 11-12 Aprile 2013, Sydney, Australia
6. Finocchiaro P, Beccali M Innovative compact solar air conditioner based on fixed and cooled adsorption beds and wet heat exchangers, 2nd International Conference IEA Solar Heating and Cooling, Freiburg 23-25 Sept 2013
7. Ciulla G., Lo Brano V., Cellura M., Franzitta V., Milone D, A finite difference model of a PV-PCM system;., Energy Procedia 30 (2012) 198-206;
8. Ciulla G., Lo Brano V., Messineo A., Peri G, A numerical solution that determines the temperature field inside phase change materials: application in buidings, (in press): JCEM journal of Civil Engeneering and Management, DOI: 10.3846/13923730.2013.778212