

COMSOL - Sistemi più efficienti per il riscaldamento e il raffreddamento

La simulazione multifisica aiuta i ricercatori del Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems a sviluppare macchine frigorifere, pompe di calore e accumulatori termici ad adsorbimento azionati dal calore prodotto da raggi solari, gas naturali e di recupero.

Il riscaldamento e il raffreddamento degli edifici rappresentano circa il 50% del consumo energetico in Europa e questo sta spingendo i ricercatori a studiare nuove alternative alle tecnologie convenzionali. Una possibilità allettante è quella di usare sistemi di riscaldamento e raffreddamento ad adsorbimento, azionati non dall'energia elettrica ma dal calore. Poiché questo può essere generato da collettori solari, dal calore di recupero dei siti industriali o da unità di calore e di potenza combinate, la tecnologia dell'adsorbimento offre la possibilità di ridurre significativamente il consumo di elettricità e le emissioni di CO₂ associate. Questa soluzione può essere usata non solo come sistema di riscaldamento ad alta efficienza, che sfrutta pompe di calore a gas per moltiplicare il calore distribuito in un edificio, ma anche per l'immagazzinamento compatto di energia per lunghi periodi. In breve, i sistemi di riscaldamento e raffreddamento che si basano su questo principio utilizzano un fluido di lavoro, in un ciclo di adsorbimento/desorbimento in cui lo stato del fluido viene alterato passando varie volte da liquido a gassoso e viceversa. Con questa tecnica è possibile costruire scambiatori di calore speciali che agiscono come compressori termici, riscaldando e raffreddando a intervalli regolari un materiale adsorbente a diverse temperature e pressioni. Questi sistemi possono sostituire i compressori meccanici azionati da energia elettrica nelle

FIGURA 1 - Esempio di frigorifero ad adsorbimento disponibile in commercio

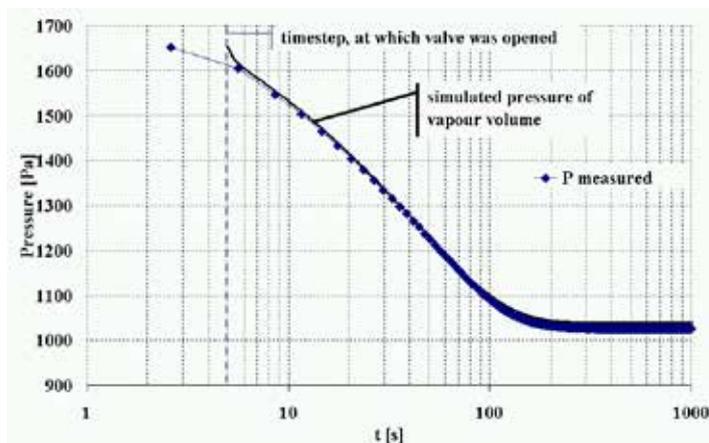
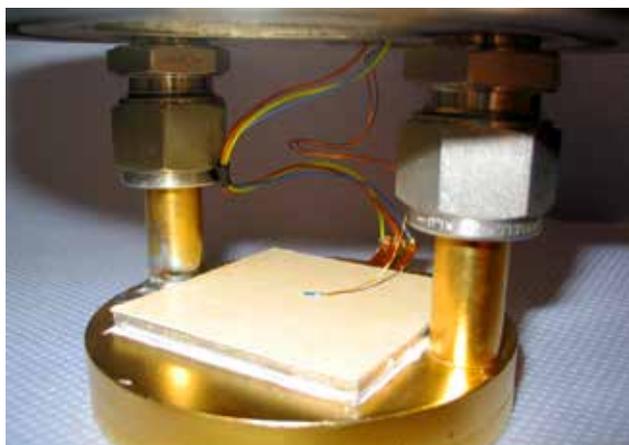
pompe di calore e nelle macchine frigorifere (chillers), con l'ulteriore vantaggio di offrire una capacità di immagazzinamento termico che consente di accumulare una quantità di energia fino a tre volte superiore rispetto a quella immagazzinata usando sistemi tradizionali ad acqua calda.



OTTIMIZZARE IL TRASFERIMENTO E L'IMMAGAZZINAMENTO DI CALORE

Lo sviluppo di sistemi di riscaldamento e raffreddamento ad adsorbimento è complesso. Questi sistemi hanno infatti cicli operativi discontinui, flussi energetici di picco variabili e il loro comportamento dinamico è determinato da fenomeni complessi e accoppiati di trasferimento di calore e di massa. Sebbene alcuni sistemi ad adsorbimento siano già disponibili sul mercato (Figura 1), per sfruttare pienamente il loro potenziale su scala più

FIGURA 2 - Sinistra: Per validare i modelli della cinetica di adsorbimento realizzati con il software COMSOL è stato utilizzato un allestimento sperimentale costituito da uno strato sottile adsorbente di zeolite di 50x50 mm² su di un supporto di alluminio, posizionato sopra una piastra fredda in una camera di dosaggio e monitorato con sensori che misurano temperatura e flusso di calore. Destra: Grafico che mostra la perfetta concordanza tra la pressione di vapore acqueo simulata e quella misurata al Fraunhofer ISE in un test sperimentale con zeolite, materiale caratterizzato da una elevata capacità adsorbente



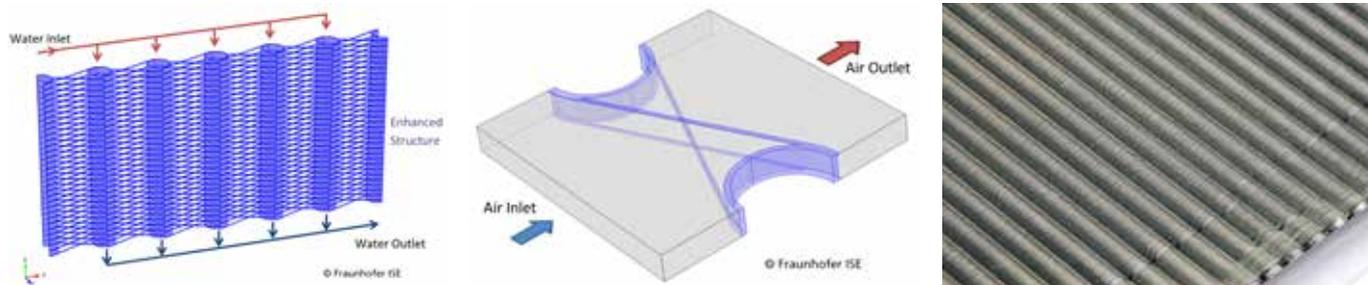


FIGURA 3 - Sinistra: Geometria del dispositivo che mostra l'ingresso dell'acqua calda nei tubi. L'aria fredda passa attraverso i tubi, raffreddando l'acqua che scorre in essi. Al centro: Geometria simulata che mostra l'ingresso dell'aria fredda e l'uscita dell'aria calda. La struttura in fili di ferro e i tubi sono mostrati in viola. Destra: Geometria del dispositivo usato per i test sperimentali

ampia la tecnologia su cui si basano deve diventare molto più efficiente, più compatta ed economicamente più conveniente da produrre.

Uno degli enti di ricerca leader mondiale in questo settore è il Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) di Freiburg, in Germania. Con uno staff di circa 1300 dipendenti, questa organizzazione studia tutti gli aspetti relativi alla trasformazione, all'immagazzinamento e all'uso dell'energia solare. Essa fa parte di una rete che comprende più di 65 istituti di ricerca Fraunhofer in Germania, specializzati in diversi aspetti delle scienze applicate.

Eric Laurenz e Hannes Fugmann, ricercatori presso il Fraunhofer ISE, fanno parte di un gruppo di 20 persone coordinato da Lena Schnabel, che sta sviluppando scambiatori di calore con una efficienza energetica più elevata per sistemi ad adsorbimento. Laurenz studia come il vapore acqueo e il calore scorrono attraverso strutture porose con l'obiettivo di ottimizzare la dimensione e l'efficienza del sistema, mentre Fugmann conduce studi di progetti che coinvolgono flussi non isoterme e conduzione di calore nei solidi, al fine di sviluppare architetture migliori per gli scambiatori di calore. "I metodi analitici sono insufficienti per il nostro lavoro, a causa del forte accoppiamento non lineare tra il trasferimento di calore e di massa," spiega Laurenz. "Abbiamo bisogno di usare strumenti numerici come COMSOL Multiphysics per simulare il processo ciclico di caricamento e scaricamento del sorbente e per considerare la distribuzione di temperatura e massa sia nello spazio sia nel tempo. Con questi strumenti, possiamo essere sicuri che la simulazione rappresenti correttamente le dinamiche di adsorbimento e desorbimento."

Come approccio generale, il gruppo usa una combinazione di simulazione e di esperimenti su piccola scala ben definiti per costruire modelli su larga scala che possano prevedere con precisione il complesso comportamento reale delle fisiche studiate. Con i modelli su piccola scala, il gruppo può modellare interamente i meccanismi fisici in dettaglio, mentre su scale più ampie la complessità può essere ridotta per risparmiare il tempo di calcolo. Questo approccio può ridurre in modo significativo la necessità di costruire prototipi fisici di dimensioni reali, con un conseguente risparmio di tempo e di denaro.

VALIDARE IL PROCESSO DI ADSORBIMENTO

Uno degli obiettivi chiave per migliorare l'adsorbimento degli scambiatori di calore è quello di ottimizzare la velocità e la capacità di adsorbimento degli strati sottili adsorbenti usati nel sistema. In uno studio effettuato, Lena Schnabel e Gerrit Fuldner hanno usato la simulazione per costruire un

modello che rappresentasse le interazioni che si verificano tra il trasferimento di calore e quello di massa nello strato adsorbente. Grazie a questo modello, il gruppo è riuscito a comprendere perfettamente le misurazioni ottenute dall'allestimento sperimentale, mostrato nella Figura 2 a sinistra. "Solo mettendo a confronto i risultati sperimentali e quelli della simulazione, ed effettuando poi una parameter estimation, siamo stati in grado di determinare i coefficienti di trasporto che non potevano essere misurati direttamente," racconta Laurenz. "Questo dato è stato poi usato in simulazioni più complesse del sistema."

Il gruppo di Schnabel ha iniziato a usare COMSOL Multiphysics quasi dieci anni fa. Più recentemente, comunque, il gruppo ha iniziato a usare modelli con vari gradi di dettaglio per stimare i parametri di trasporto e per simulare il comportamento ciclico di sistemi completi in condizioni operative dinamiche. La capacità di simulare facilmente fisiche accoppiate in sistemi complessi e dinamici si è dimostrata indispensabile per molte attività di ricerca effettuate al Fraunhofer ISE.

UNA PROGETTAZIONE PIÙ AVANZATA DEGLI SCAMBIATORI DI CALORE

Nel suo lavoro per ottimizzare le strutture degli scambiatori di calore, Fugmann svolge una ricerca essenziale su alcuni progetti di scambiatori di calore, tra cui macchine frigorifere e pompe di calore. Alcune delle sue geometrie sono progettate per aumentare l'area di scambio termico con strutture a filo come quella mostrata nella Figura 3, diversamente dai progetti più tradizionali di scambiatori di calore alettati. In queste nuove architetture, una struttura di fili di ferro viene intrecciata o saldata attorno a una serie di tubi, che separano i due fluidi nello scambiatore di calore. Nell'allestimento sperimentale di uno scambiatore di calore liquido/gas a filo, l'acqua calda scorre nei tubi mentre l'aria fredda passa tra i tubi e attraverso i fili metallici.

"Abbiamo scoperto che, se usiamo strutture a filo, possiamo ottenere un coefficiente di scambio termico superiore con una superficie più ampia, oltre a ridurre in modo significativo il materiale impiegato," spiega Fugmann. "Siamo in grado di farlo senza aumentare le perdite di carico in modo significativo e la flessibilità delle strutture metalliche ci dà anche la possibilità di adattare facilmente la geometria ai parametri operativi di progetto." Usando il software COMSOL, Fugmann ha effettuato sweep parametrici per studiare perdite di carico, coefficienti di scambio termico, materiale e altre analisi sulla geometria del progetto per casi specifici. La Figura 4 mostra la distribuzione della temperatura e la velocità per una geometria

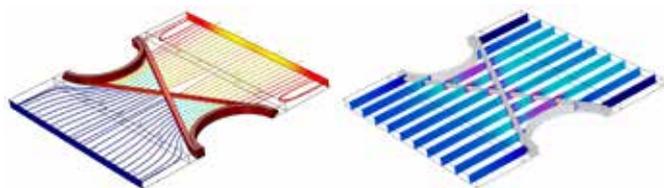


FIGURA 4 - Sinistra: Rappresentazione grafica che mostra streamline e distribuzione di temperature nell'aria, nelle pareti dei tubi e nei fili che connettono i due tubi (rosso: caldo; blu: freddo). Destra: Rappresentazione grafica che mostra il valore assoluto della velocità (rosso: alta; blu: bassa)

ottimizzata della struttura a filo e dei tubi. Fugmann descrive il dispositivo: "Dalle misurazioni effettuate, abbiamo scoperto che le connessioni tra fili metallici e tubi producono una resistenza termica elevata e predominante. Comprendendo i limiti del trasferimento termico nelle strutture a filo, possiamo ulteriormente ottimizzarne il progetto." A causa del maggiore rapporto superficie di scambio/volume, le strutture a filo sono anche analizzate a livello sperimentale e numerico al Fraunhofer ISE per un uso come strutture adsorbenti rivestite e per ampliare la superficie degli scambiatori di calore nei depositi di energia termica.

GUARDARE AVANTI

"Il nostro obiettivo immediato è quello di accrescere la conoscenza e la competenza in questi ambiti, in modo da poter aiutare sia i nostri clienti sia gli altri colleghi del Fraunhofer ISE che stanno sviluppando diversi aspetti dei sistemi di climatizzazione ad adsorbimento," afferma Laurenz. "Faccendo considerazioni più a lungo termine, attendiamo con impazienza il giorno in cui queste tecnologie avranno una larga diffusione, contribuendo a ridurre il carico della rete elettrica e a preservare le risorse ambientali."

Referenze: ¹Földner, G. & Schnabel, L., 2008. *Non-Isothermal Kinetics of Water Adsorption in Compact Adsorbent Layers on a Metal Support*. In *Proceedings of the COMSOL Conference 2008 Hannover*. COMSOL Conference. Hannover.

FIGURA 5 - Il team di Fraunhofer ISE include (da sinistra) Hannes Fugmann, Gerrit Földner, Lena Schnabel ed Eric Laurenz. Dietro di loro, un allestimento sperimentale per la caratterizzazione dinamica di scambiatori di calore ad adsorbimento. L'allestimento viene usato per generare dati sperimentali che permettono di fare parameter estimation tramite simulazione



USARE L'ADSORBIMENTO PER I SISTEMI DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

Nella figura sotto viene mostrato il ciclo schematico in due step usato per progettare pompe di calore e macchine frigorifere ad adsorbimento. Per comprendere meglio, osserviamo ciò che avviene durante la modalità "generatore di calore". Il ciclo è costituito da una fase di adsorbimento e una di desorbimento. Durante la fase di adsorbimento, il fluido termovettore evapora a basse temperature. Nello stesso tempo, esso viene incamerato da un adsorbente a media temperatura, che rilascia calore. Questo potrà essere utilizzato per riscaldare un edificio. Quando il sorbente è saturo, il processo si inverte e inizia lo step di desorbimento. Il sorbente viene riscaldato a una temperatura elevata, rilasciando il fluido di lavoro. Successivamente, questo viene condensato a media temperatura e il calore rilasciato dalla condensazione può essere usato per riscaldare un edificio. In breve, per applicazioni di riscaldamento (pompe di calore) l'edificio viene riscaldato mentre viene sottratta energia all'ambiente circostante. Al contrario, per applicazioni di raffreddamento (macchine frigorifere), l'edificio viene raffreddato mentre il calore viene rilasciato nell'ambiente. Quando il ciclo viene interrotto, il calore potenziale dell'adsorbimento può essere immagazzinato senza perdite. In base alla applicazione desiderata, l'adsorbimento può essere usato per riscaldare o raffreddare un edificio, mentre l'ambiente agisce come fonte di calore o come dissipatore.

