

UN SISTEMA DI CLIMATIZZAZIONE SOLARE BASATO SU MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE

Franco Cotana, Federico Rossi, Andrea Nicolini

Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università di Perugia

SOMMARIO

Nel presente lavoro si propone un sistema per la climatizzazione degli ambienti abitativi basato sull'effetto serra e materiali a cambiamento di fase (PCM). Il sistema è costituito da PCM opportunamente installato dietro pareti vetrate esposte alla radiazione solare; l'effetto serra consente di accumulare nelle ore diurne l'energia necessaria a bilanciare il carico termico notturno. L'ottimizzazione del sistema e la validazione delle scelte progettuali adottate sono state effettuate mediante simulazioni numeriche con un codice di calcolo ai volumi finiti. I risultati delle simulazioni hanno peraltro permesso di individuare i parametri e le condizioni operative che rendono conveniente l'impiego di tali sistemi.

ABSTRACT

An original system is here proposed which stores thermal energy into a phase change material (PCM) in order to control building inner temperature; energy storage is enhanced by a green house pattern. The system consists on glass walls, rotating PCM panels and thermal insulating materials. System optimization and validation were carried out by means of numerical simulations. Simulations have pointed out the parameters and the operating conditions which are suitable for a convenient usage of the system.

1. INTRODUZIONE

Si propone un sistema solare passivo di concezione originale, costituito da una serie di pannelli rotanti disposti a circa 50 cm da una superficie vetrata sottoposta all'irraggiamento solare. Ciascun pannello è costituito da due strati di materiali differenti: un materiale termoisolante ed un materiale a transizione di fase (Phase Change Material - PCM). Quest'ultimo consente di immagazzinare un'elevata quantità di energia mantenendo costante la propria temperatura. Fra i numerosi materiali PCM disponibili, l'ottadecano mostra le migliori caratteristiche per il sistema proposto, in particolare per la sua temperatura di fusione, di poco superiore a quella ambiente. Per dimensionare il sistema sono stati analizzati i diversi parametri che regolano il processo di scambio termico, quali l'intensità della radiazione solare incidente sulla superficie vetrata nell'arco delle ore diurne e il contributo apportato al sistema dall'effetto serra e la temperatura dell'aria esterna.

Il sistema è stato dimensionato facendo riferimento alle condizioni invernali; simulazioni numeriche hanno consentito di individuare la quantità ottimale di PCM, di verificarne il

corretto funzionamento e di individuare le condizioni operative che ne rendono conveniente l'impiego. Per opportune condizioni operative il sistema proposto consente di limitare le variazioni di temperatura causate dalla variabilità delle condizioni climatiche esterne e dall'alternarsi del giorno e della notte, rendendo possibile il raggiungimento di condizioni di comfort ambientale senza l'ausilio di sistemi di trattamento dell'aria.

2. INDIVIDUAZIONE DEL MATERIALE PCM

L'individuazione del materiale PCM idoneo al sistema proposto è stata effettuata prendendo in esame le sole condizioni invernali, caratterizzate da una temperatura di progetto per l'ambiente interno pari a circa 20°C. Il contributo fornito dall'effetto serra, a causa dello scarso apporto dell'irraggiamento solare durante il periodo invernale, fa sì che la temperatura alla quale si porta la superficie esterna del PCM sia di poco superiore a quella ambiente, comunque inferiore a 35-40°C. Il materiale PCM idoneo al sistema proposto dovrà dunque presentare una temperatura di fusione compresa tra 20 e 35°C.

Esistono materiali PCM appartenenti alle famiglie dei composti organici, inorganici ed i loro eutettici (Lane, 1983). Per applicazioni nel settore edilizio, i composti inorganici non sono adatti all'accumulo dell'energia termica a causa della possibile irreversibilità dei loro processi di liquefazione e solidificazione, dovuta a problemi di segregazione. Essi possono inoltre presentare inconvenienti derivanti dal fenomeno della corrosione. I PCM eutettici sono invece poco adatti dati i costi estremamente elevati. I composti organici sono suddivisi in paraffine e non. La maggior parte dei PCM non paraffine sono costituiti dagli acidi, nocivi e costosi. Le paraffine presentano invece le migliori proprietà di impiego nel settore dell'edilizia: hanno una temperatura di fusione di poco superiore a quella ambiente, non sono tossiche né corrosive e igroscopiche, sono chimicamente stabili e compatibili con la maggior parte dei materiali edilizi (Salzer et al., 1990).

In base a quanto riportato, l'Ottadecano ($C_{18}H_{38}$), che presenta una temperatura di fusione pari a 28.1 °C ed un calore latente uguale a 244.000 kJ/kg (Perry, 1984), è il materiale che meglio risponde alle esigenze suddette.

2. IL SISTEMA DI CLIMATIZZAZIONE SOLARE PASSIVO BASATO SU PANNELLI ROTANTI IN PCM

Il sistema proposto consiste in una serie di pannelli rotanti installati ad una distanza opportuna da una superficie vetrata. Il sistema è stato pensato per un impiego durante la stagione invernale; tuttavia, mediante l'introduzione di particolari accorgimenti, dei quali attualmente si stanno verificando le prestazioni, potrà essere impiegato anche per la stagione estiva.

Il funzionamento del sistema si basa sul fenomeno dell'effetto serra, dovuto all'incidenza della radiazione solare sulla superficie vetrata esterna. I pannelli, che contengono uno strato di materiale PCM ed uno di isolante termico, vengono posizionati a circa 50 cm di distanza dalla parete vetrata, per rendere possibile la rotazione degli stessi. La radiazione solare incidente sulla superficie vetrata durante il periodo diurno viene in gran parte assorbita dal PCM, che è posizionato sul lato esterno del pannello (vedi Fig. 1). L'accumulo di energia nel PCM avviene a 28.1°C, durante il cambiamento di fase da solido a liquido, ed è pari al proprio calore di trasformazione. Il materiale termoisolante a contatto con il PCM nel pannello rotante consente invece, durante le ore diurne, di limitare lo scambio termico fra l'ambiente interno e l'intercapedine e viceversa.

Durante le ore notturne, in assenza della radiazione solare, viene effettuata la rotazione dei pannelli, in modo che lo strato costituito dal materiale PCM si trova rivolto verso l'ambiente interno (vedi Fig. 2). La temperatura del PCM (circa 28°C) è superiore a quella dell'ambiente

interno, per cui ha inizio il processo di solidificazione con la cessione del calore all'ambiente interno che consente di bilanciare il carico termico notturno. In questa situazione, il materiale termoisolante limita il trasferimento di calore dal PCM verso l'ambiente esterno attraverso l'intercapedine ed il vetro.

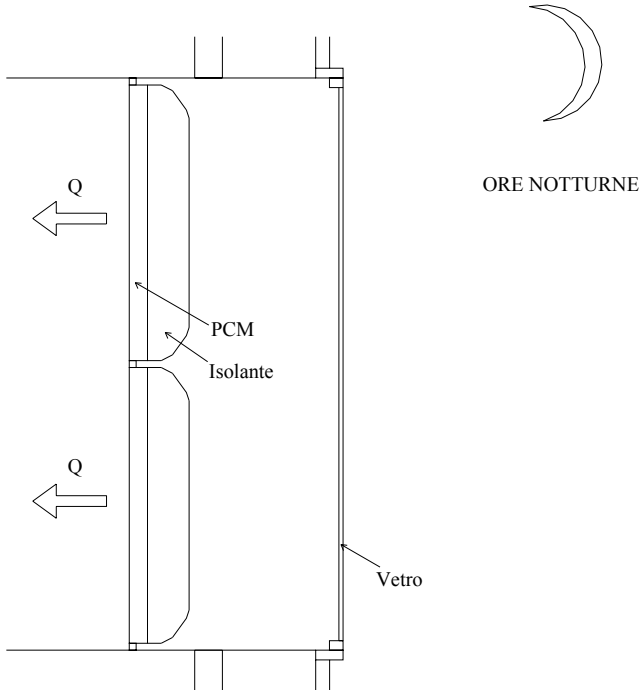


Fig. 1 - configurazione del sistema nelle ore diurne

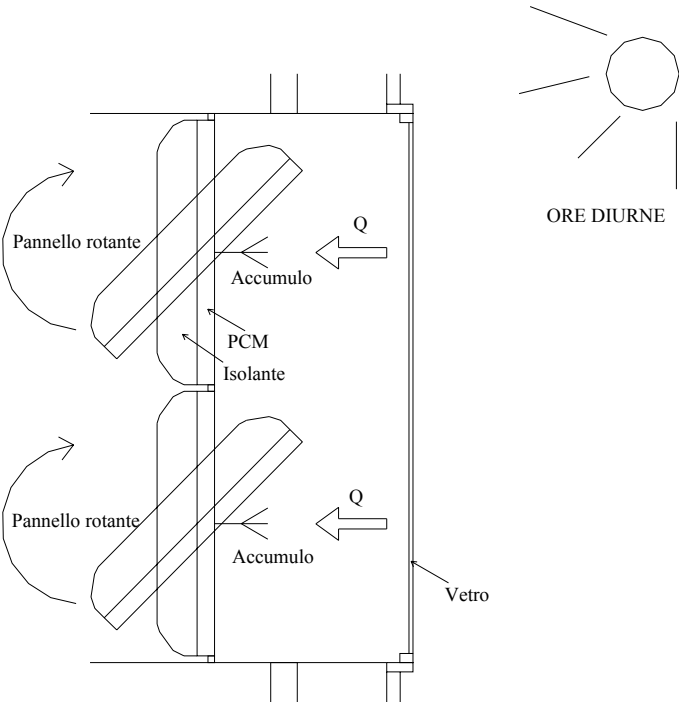


Fig. 2 - configurazione del sistema nelle ore notturne

3. VALIDAZIONE DEL PROGETTO MEDIANTE SIMULAZIONI NUMERICHE

Sono state effettuate simulazioni numeriche, mediante un codice ai volumi finiti (Fluent Inc., 1998), al fine di determinare la quantità di PCM adatta allo scopo, individuare l'andamento della temperatura all'interno del locale e stabilire le condizioni operative che giustificano un conveniente impiego del sistema stesso. Le simulazioni sono state effettuate facendo riferimento ad un locale di medie dimensioni, pari ad un volume di 4m (lato base ipotizzato rivolto a Sud) x 2m (lato base) x 3m (altezza). Una parete del locale, di dimensioni pari a 4m x 3m, è equipaggiata con il sistema proposto; le altre pareti sono realizzate in mattoni pieni intonacati su entrambi i lati (lo spessore dei mattoni pieni è stato considerato pari a 25 cm, quello dell'intonaco pari a 2 cm). E' inoltre presente una finestra in vetro con superficie pari a 1m² e spessore del vetro pari a 5 mm. Per la determinazione dell'andamento della temperatura interna, il modello numerico è stato implementato considerando condizioni di cielo sereno relative al mese di gennaio alla latitudine di 40°N.

Nel periodo diurno, l'andamento temporale della potenza solare incidente sulla superficie vetrata verticale esposta verso Sud è stato assunto uguale al semiperiodo di una funzione sinusoidale, il cui massimo si trova in corrispondenza del mezzogiorno; in tali condizioni la potenza istantanea che colpisce detta superficie è espressa dalla seguente relazione:

$$F(t) = \frac{\overline{W} \cdot \pi}{2} \cdot \sin\left(t \cdot \frac{\pi}{T}\right) \quad (1)$$

La funzione F(t) è stata calcolata impiegando i valori $\overline{W} = 236.4 \text{ W/m}^2$, $T = 8\text{h}53\text{m}$ che sono appunto relativi alla latitudine di 40° (ANAB, 1996) per il mese di Gennaio; \overline{W} è la radiazione solare media giornaliera per il mese in esame; la (1) gode pertanto della seguente proprietà:

$$\int_0^T F(t) \cdot dt = \overline{W} \cdot T \quad (2)$$

Per il periodo notturno (16:54 – 8:18) la radiazione solare è nulla. La temperatura dell'aria esterna è stata assunta pari a 10°C di giorno e 0°C di notte. Le simulazioni sono state condotte con un numero di "time steps" pari a 30900 per il periodo diurno e 55500 per le ore notturne, ogni "time step" corrisponde ad 1 secondo. Le condizioni al contorno assunte nel periodo diurno sono le seguenti:

- le pareti laterali dell'intercapedine che divide il PCM dalla superficie vetrata sono adiabatiche;
- il locale è caratterizzato da pareti in mattoni pieni intonacati la cui trasmittanza è pari a 1.8 W/m²K;
- la trasmittanza della finestra è pari a 5.8 W/m²K.

Il volume del PCM è stato assunto pari a 0.54 m³, che corrisponde ad un pannello di area 4x3 metri e spessore 4.5 cm; in tali condizioni il codice di calcolo ha mostrato che la completa liquefazione del PCM si ottiene al termine del periodo diurno; in tali condizioni l'energia complessivamente accumulata dal PCM è pari a 0.9·10⁸ J.

Durante le ore notturne, lo strato di PCM si trova rivolto verso l'interno del locale. Inizia il processo di solidificazione, durante il quale il PCM cede energia all'ambiente interno contribuendo a bilanciare il carico termico notturno.

I risultati ottenuti dalla simulazione (vedi Fig.3) mostrano che le variazioni di temperatura all'interno dell'ambiente durante l'intero arco della giornata sono pari a 3.5°C; taluni risultati sono relativi al raggiungimento di condizioni di regime periodico stabilizzato.

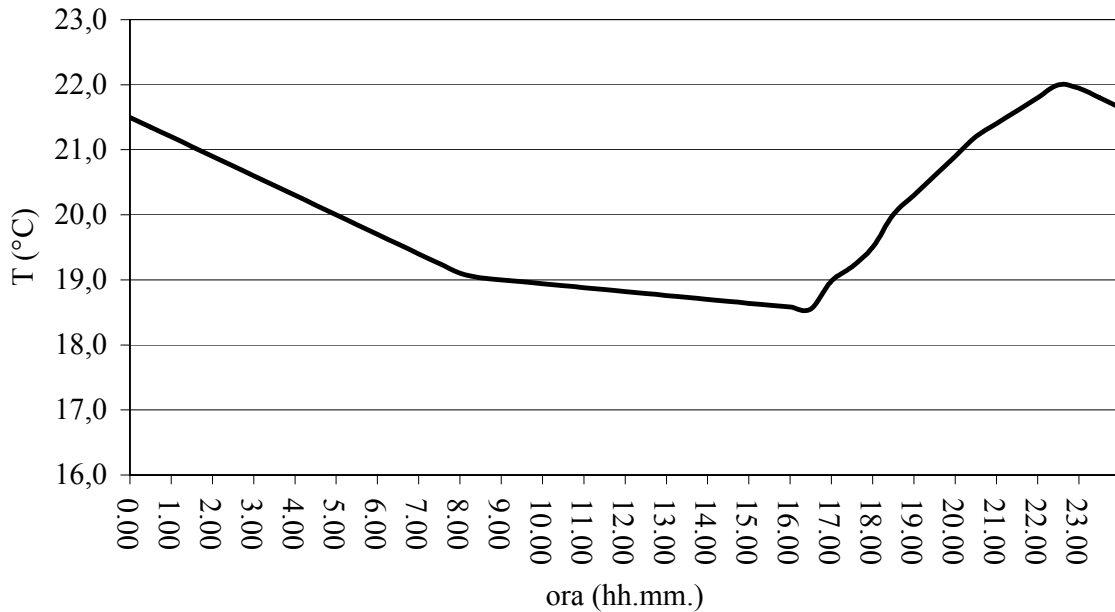


Fig. 3 - andamento della temperatura all'interno dell'ambiente durante una giornata del mese di gennaio nelle condizioni di cielo sereno e per un regime periodico stabilizzato. Temperatura esterna diurna 10°C, Temperatura esterna notturna 0°C.

Le condizioni di irraggiamento e di temperatura esterna impostate nelle suddette simulazioni sono tuttavia poco probabili poiché relative a cielo sereno ed a temperatura esterna diurna mite per il mese di gennaio. Infatti, per particolari condizioni di irraggiamento e di temperatura esterna, possono verificarsi situazioni per cui non si raggiungono nemmeno le condizioni per la liquefazione del PCM. A tale proposito, mediante ulteriori simulazioni sono state individuati le coppie di valori della temperatura esterna e dell'irraggiamento medio diurno che determinano le minime condizioni per le quali avviene la liquefazione: è stata cautelativamente assunta la temperatura di liquefazione del PCM pari a 30°C in luogo del valore di letteratura di 28°C.

In Fig.4 la linea piena rappresenta il luogo dei punti alla destra dei quali si hanno le condizioni per la liquefazione del PCM.

Inoltre sono state individuate le coppie di valori della temperatura esterna e dell'irraggiamento medio diurno che determinano, nelle ore notturne, condizioni di equilibrio energetico tra l'energia persa dall'ambiente per effetto del carico termico e quella erogata dal PCM a seguito dell'accumulo diurno; per tale valutazione si è imposta la temperatura all'interno del locale pari a 20°C (condizioni di comfort). Suddette coppie di valori sono rappresentate dalla linea tratteggiata di Fig.4.

Tale rappresentazione costituisce un metodo per prevedere, nota la statistica sulle condizioni meteorologiche del luogo in esame, la percentuale di tempo nel quale il sistema è in grado di bilanciare il carico termico notturno e contemporaneamente le condizioni di comfort.

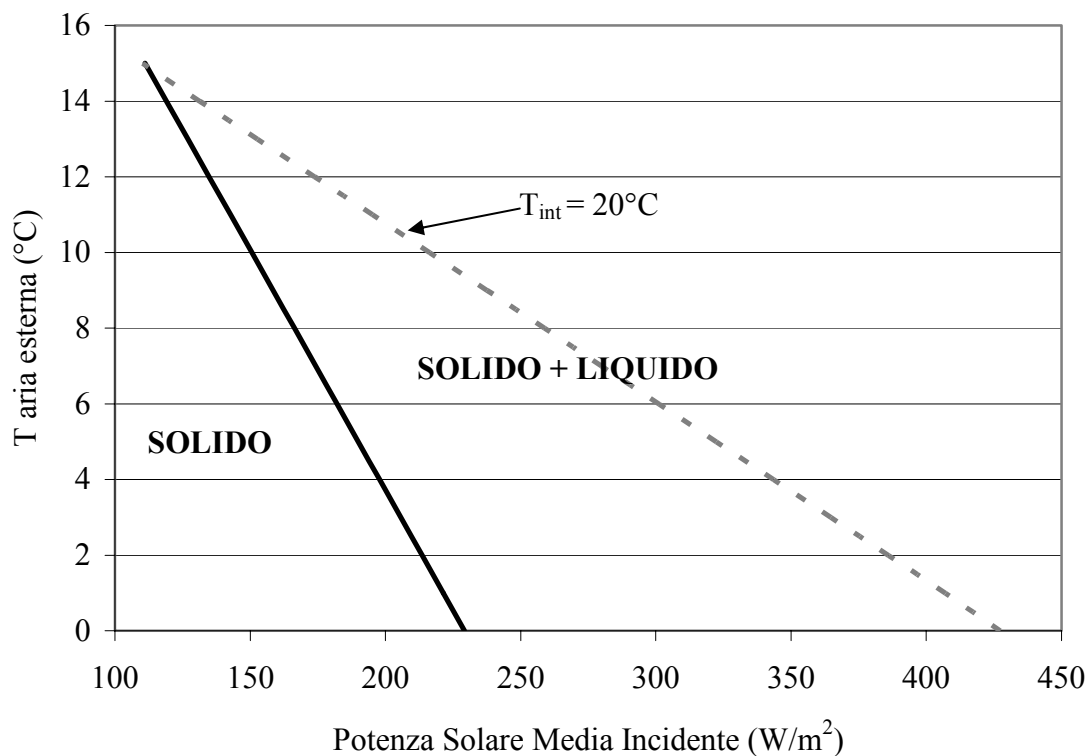


Fig. 4 - Curva piena: luogo geometrico dei punti per i quali la temperatura sulla superficie del PCM è pari a 30°C, corrispondente alle condizioni di liquefazione. Curva tratteggiata: luogo geometrico dei punti ai quali corrisponde equilibrio energetico fra il carico termico notturno e l'energia erogata dal PCM per una temperatura interna pari a 20°C.

4. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato proposto un sistema di climatizzazione solare basato su pannelli rotanti in PCM e ne sono stati valutati i benefici energetici. Un'analisi preventiva ha consentito di individuare la migliore tipologia di PCM per l'applicazione in esame. In base alle caratteristiche del locale e alle condizioni climatiche medie del luogo di installazione, è stata poi determinata la quantità di materiale PCM idonea all'applicazione.

Mediante una simulazione numerica è stato osservato che, in inverno con cielo sereno, la temperatura all'interno del locale oscilla attorno a 20°C (condizioni di regime periodico stabilizzato) lungo l'intero arco della giornata denotando peraltro modesti valori delle oscillazioni stesse.

Inoltre è stata fornita una utile rappresentazione grafica delle condizioni di liquefazione del PCM in termini di temperatura esterna e di radiazione solare giornaliera media. Infine è stata individuata la relazione fra temperatura esterna e radiazione solare giornaliera media che determina condizioni di equilibrio energetico fra il carico termico notturno e l'energia ceduta di notte dal PCM a seguito dell'accumulo diurno. Queste ultime considerazioni costituiscono una proposta metodologica per studi di fattibilità di impianti solari basati su PCM.

5. LISTA DEI SIMBOLI

Simbolo	Descrizione	Unità di Misura
F(t)	potenza solare istantanea incidente su una superficie verticale esposta verso Sud	W/m ²
W	potenza solare media incidente su una superficie verticale esposta verso Sud in un dato mese dell'anno	W/m ²
T	durata del periodo di soleggiamento giornaliero in un dato mese dell'anno	hh.mm
T _{int}	temperatura dell'ambiente interno	°C

Bibliografia

Lane, G.A. (1983), *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials*, CRC Press, Inc, Florida, USA.

Salyer I., Sircar A. (1990), "Phase Change Materials for heating and cooling of residential buildings and other applications", Proceedings of the 25th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (Volume 1), Reno, NV, USA.

Perry R., Green D. (1984), "Perry's chemical engineers' handbook", *Sixth Edition*, 1984, Mc Graw - Hill, Inc. – sections 1, 3.

Fluent Incorporated (1998): "Fluent 5 User Guide".

Realizzazione ANAB, AA. VV. (1996), "Architettura bioecologica", Atti del primo convegno nazionale sul costruire bioecologico, Terza Edizione, Edicom Edizioni.