

LA RICHIESTA DI SEMPRE MAGGIORE EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI STA PORTANDO ALL'IMPIEGO DI NUOVI MATERIALI IN GRADO DI REAGIRE IN MODO DINAMICO ALLE ESCURSIONI TERMICHE AMBIENTALI. QUESTI PRODOTTI, DEFINITI MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE, CONSENTONO DI RAGGIUNGERE ELEVATI STANDARD PRESTAZIONALI EVITANDO ULTERIORI CONSUMI DI ENERGIA.

I MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE

I materiali a cambiamento di fase (Phase Change Materials – PCM), sono composti accumulatori di calore latente, che si giovano del fenomeno fisico della transizione di fase per assorbire i flussi energetici entranti, conservando un'elevata quantità di energia e mantenendo costante la propria temperatura, restituendo il calore all'esterno durante un abbassamento successivo di temperatura. Provenienti dalla ricerca aerospaziale, sono tra i materiali più innovativi nel settore dell'efficienza energetica. Con spessori ridottissimi e comportamenti intelligenti si inseriscono di diritto, nel presente (e nel futuro) del settore delle costruzioni. L'esempio più conosciuto di PCM è l'ac-

qua. Sfortunatamente la temperatura di congelamento di 0 °C ne rende inapplicabile l'utilizzo per la maggioranza delle applicazioni di immagazzinamento del calore.

Per questo sono stati sviluppati svariati materiali PCM la cui temperatura di transizione di fase è compresa nella gamma da -40 °C a oltre i 150 °C (figura 1). Queste speciali sostanze sono in grado di immagazzinare calore per unità di volume fino a 14 volte in più dei materiali come l'acqua, muratura o roccia.

Di norma i PCM sono solidi a temperatura ambiente, ma con l'aumentare di questa oltre una certa soglia, che varia a seconda del materiale, essi si fondono

accumulando calore (latente di liquefazione) che viene così sottratto all'ambiente circostante. Allo stesso modo, quando la temperatura scende, il materiale si solidifica e cede calore (latente di solidificazione). I PCM, da alcuni anni sono in fase di studio e di sviluppo d'applicazione nell'architettura eco-sostenibile, soprattutto nell'ambito del risparmio energetico. Risultati positivi si sono avuti nella sperimentazione di pannelli in cartongesso o in legno (soffitti freddi), intonaci, sistemi di facciata vetrati o in plexiglas, isolanti termici, impianti di riscaldamento e di raffrescamento passivo, accumulo (cold/heat storage), collettori solari e scambiatori di calore.

Questi materiali termoregolanti rappresentano una soluzione tecnologica innovativa nella progettazione di edifici, in quanto costituiscono un nuovo metodo per smorzare le fluttuazioni giornaliere della temperatura ambiente attraverso la riduzione dei picchi di temperatura interna, e quindi dei consumi energetici necessari alla climatizzazione degli ambienti. Inoltre, come vantaggio non trascurabile, sono funzionali e operativi senza nessun tipo di richiesta di energia esterna.

I requisiti che i PCM dovrebbero possedere per poter essere impiegati nel campo dell'edilizia e negli impianti correlati, sono:

- temperatura di fusione intorno ai 25 °C;
- elevato calore di transizione di fase (liquefazione/solidificazione);
- basso costo;
- atossicità, non corrosivi o igroscopici;
- disponibilità sul mercato in quantità tali da poter essere incorporati nei normali materiali edilizi.

Attualmente i PCM più sperimentati in edilizia, in quanto meglio rispondenti a queste caratteristiche, sono i composti

organici paraffinici e idrocarburi ottenibili come sottoprodotti della raffinazione del petrolio o per polimerizzazione, e alcuni prodotti inorganici come i sali idrati. Ultimamente sono presenti sul mercato anche materiali di natura vegetale.

I sistemi di contenimento utilizzati sono il macro e micro incapsulamento e l'immersione in matrici porose.

Alcuni vantaggi dei PCM:

- con spessori molto ridotti (15 mm) offrono una capacità di accumulo termico pari ad un muro in mattoni pieni dello spessore 12 cm;
- innalzano il comfort interno perché si riducono i picchi di temperatura;
- abbassano il fabbisogno di freddo in estate: si possono così evitare i climatizzatori o comunque sottodimensionarli perché i carichi di picco vengono abbassati. Ne risultano costi di investimento e di esercizio ridotti, e quindi un concreto risparmio sia energetico che economico.

Di contro presentano ancora qualche criticità come quella di non assicurare sempre la necessaria stabilità durante i ripetuti cicli di fase e quindi una non

sempre certezza funzionale all'invecchiamento (i prodotti in commercio vengono però certificati dalle aziende con test sull'invecchiamento).

Le opzioni di scelta

Esistono materiali PCM appartenenti alle famiglie dei composti organici, inorganici ed i loro eutettici (figura 2). Per applicazioni nel settore edilizio, i composti inorganici solo in pochi casi sono adatti all'accumulo dell'energia termica a causa della possibile irreversibilità dei loro processi di liquefazione e solidificazione, dovuto a problemi di segregazione. Essi possono inoltre presentare inconvenienti derivanti dal fenomeno della corrosione. I PCM eutettici sono invece poco applicati dati i costi ancora 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, e gli oli vegetali. Le paraffine (figura 3) presentano comunque le migliori proprietà di impiego nel settore: 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. Un problema importante dei PCM in edilizia è nella bassa conduttività termica e, quindi, nei lunghi tempi di risolidificazione (in questi casi la ventilazione notturna controllata è stata utilizzata anche per aumentare il coefficiente di convezione).

Paraffine

Sono miscele di idrocarburi saturi derivate dalla distillazione del petrolio, e hanno una consistenza cerosa a temperatura

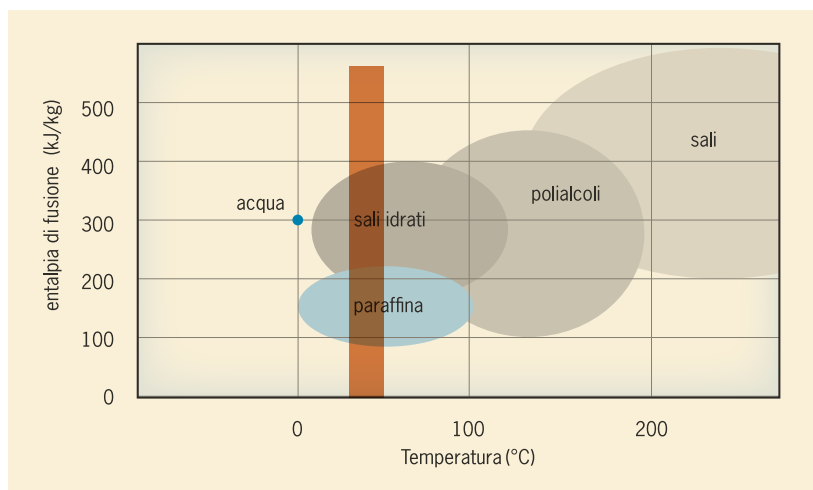


Fig. 1 - Capacità di accumulo del calore dei PCM e temperatura di esercizio. Si nota la capacità di accumulo delle paraffine e dei sali idrati alle normali temperature di comfort ambientale (area arancio).

Fig. 2 - Schema dei diversi materiali a cambiamento di fase presenti sul mercato. Tra i diversi PCM (Phase Change Materials), solo le paraffine e i sali idrati presentano le corrette caratteristiche termodinamiche per un impiego nel settore delle costruzioni. I composti eutettici presentano oggi prezzi molto ancora troppo elevati.

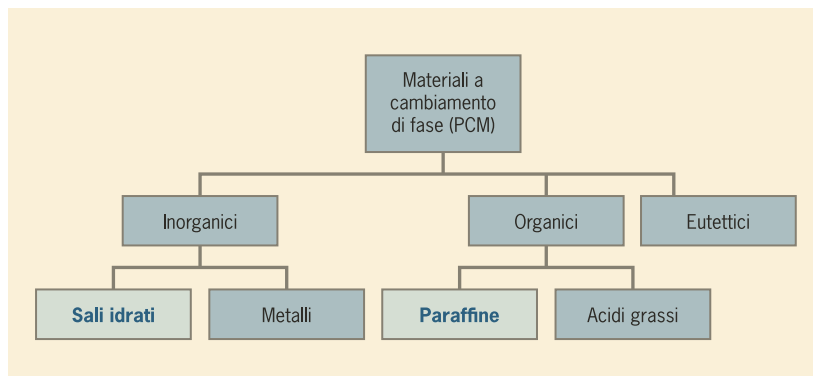




Fig. 3 - PCM di origine organica, meglio conosciuti come paraffine.

ambiente, con temperatura di transizione di fase fra i - 8 ed i 40 °C.

Hanno una buona capacità di accumulo termico e si sono dimostrate capaci di solidificare/congelare senza ulteriore sottoraffreddamento. Possiedono una elevata stabilità chimica anche dopo innumerevoli cicli di congelamento e riscaldamento. Non sono corrosive e sono compatibili con la maggior parte dei materiali di incapsulamento. Hanno di contro una gamma limitata dei punti di fusione e il loro costo è collegato ai prezzi (instabili) del petrolio, oltre ad avere un impatto ambientale non trascurabile. Alcuni composti di paraffine sono altresì pericolosi per la salute, provocando ferite cutanee, agli occhi e alle mucose.

Oli vegetali

Gli oli vegetali sono composti organici derivati da fonti naturali come olio di palma, olio di colza, olio di cocco e olio di soia, ma esistono versioni derivate anche da grassi animali.

Il loro range di lavoro è compreso tra le temperature di - 40 °C e 150 °C.

Non presentano tossicità e sono biodegradabili. Correttamente contenuti, questi composti completamente idrogenati, non si ossidano e non diventano rancidi. Altri vantaggi degli oli vegetali:

- manifestano una variazione minima di

- volume durante il cambiamento di fase;
- sono stabili e possono durare per decenni;

- possiedono un elevato calore latente;
- sono resistenti al fuoco;

- risultano più economici rispetto ai PCM derivati dal petrolio.

Sali idrati

Sono composti chimici costituiti da molecole di sale combinate con molecole di acqua.

Il loro punto di fusione è compreso in un intervallo di temperature tra i 15 °C e gli 80 °C. I vantaggi dei sali idrati sono il basso costo, una capacità di stoccaggio di un elevato calore latente, un preciso punto di fusione ed un'elevata conducibilità termica e infiammabilità.

Tra gli svantaggi si possono considerare:

- hanno scarse proprietà di nucleazione che li rendono vulnerabili al sottoraffreddamento, fenomeno in cui una sostanza si raffredda sotto il punto di congelamento senza solidificarsi, questa situazione può essere utile in alcune applicazioni, ma per la maggior parte degli impieghi necessitano dell'aggiunta di agenti specifici per evitare questo problema.

- la variazione di volume nella fase solido/liquido può essere maggiore del 10%, risulta così necessario prevedere speciali contenitori per consentire questa variazione di volume;

- alcuni sali idrati non riescono a cristallizzare completamente dopo ogni ciclo, di conseguenza perdono ogni capacità di utilizzo del proprio calore latente;

- alcuni sali idrati sono tossici e molto corrosivi verso i metalli, presentando problemi di sicurezza e smaltimento.

Quali applicazioni?

Il mercato globale di PCM sta vivendo un periodo di alta crescita anche a seguito dell'incremento della domanda

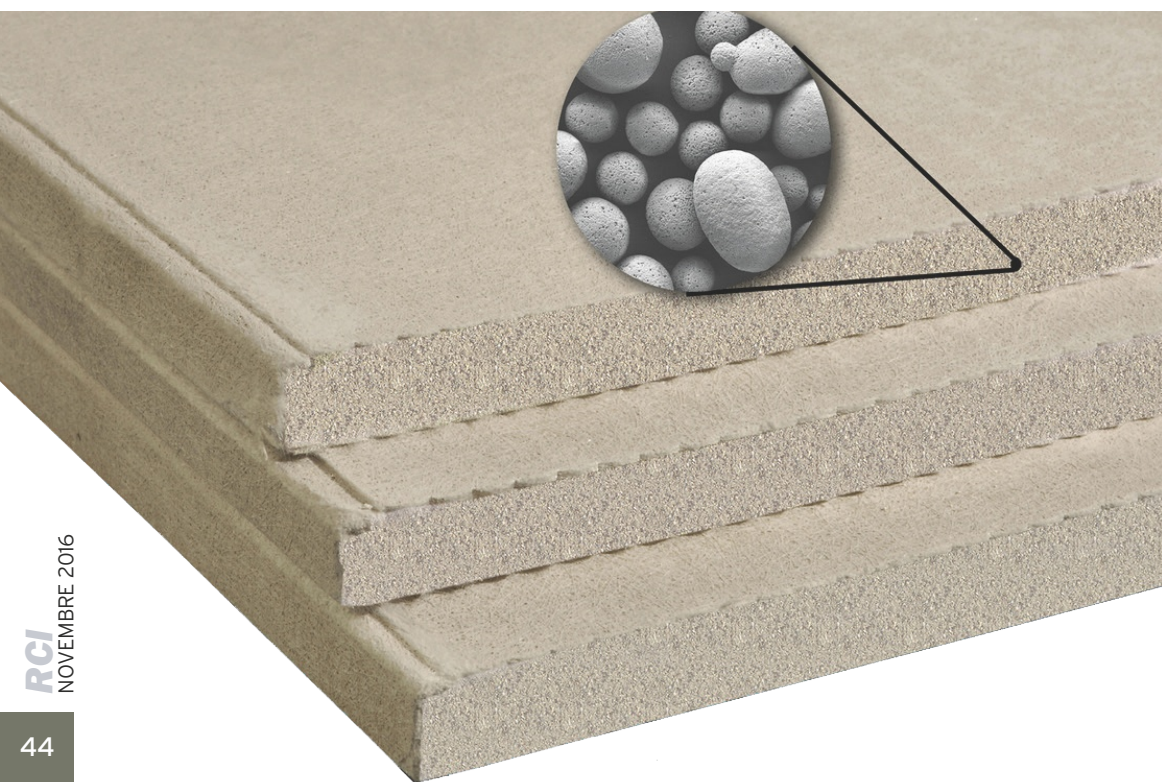


Fig. 4 - Capsule di cera (paraffina) di dimensioni microscopiche contenute in uno strato di intonaco. Queste microcapsule di cera sono protette da un involucro di plastica, in modo da non fuoriuscire dall'intonaco, durante il cambiamento di fase della liquidazione. (Micronal, Basf).



Fig. 5 - PCM interposto tra isolamento e pannelli in cartongesso. Possono essere usati anche come barriera al vapore.

di materiali eco-friendly e di risparmio energetico. Grazie alle caratteristiche di leggerezza e di accumulo termico basato sul cambiamento di fase, i PCM rappresentano un campo di ricerca che offre già oggi e ancora di più in proiezione futura, numerose applicazioni.

I settori maggiormente interessati sono l'edilizia, la refrigerazione, gli impianti HVAC, l'accumulo di energia termica, il tessile e l'elettronica.

Si segnalano applicazioni PCM nei:

- materiali da costruzione che mantengono negli spazi abitativi le condizioni di comfort, riducendo la richiesta di riscaldamento e/o di raffreddamento;
- sistemi di storage termico, consentendo di modulare convenientemente la maggiore/minore richiesta termica negli edifici;
- frigoriferi e congelatori, messi nelle condizioni di consumare una quantità minore energia;
- container adibiti al trasporto termico controllato, qui i PCM assicurano il mantenimento della temperatura prevista per periodi di tempo più estesi;
- tessuti ad alte prestazioni che riescono a garantire miglior condizioni di comfort termico al caldo/freddo.

Fig. 6 - Installazione a soffitto di pannelli in cartongesso contenenti PCM (Du Pont).

Edilizia

In particolare nel settore dell'edilizia questi materiali forniscono all'edificio una massa termica artificiale basata non sulla capacità di accumulo inerziale, come nei materiali tradizionali, ma sul calore latente.

Nella strategia passiva, l'involucro edilizio non viene più visto come un elemento immutabile, la cui prestazione energetica è a priori predeterminata dalle diverse stratigrafie dei componenti di separa-

zione, ma viceversa diventa un componente stesso del sistema energetico in grado di interagire con continuità con l'ambiente circostante per assicurare bassi consumi e maggior comfort.

Nello specifico, all'isolamento dell'involucro esterno può essere affiancata l'inerzia termica artificiale, programmabile sulla temperatura desiderata, grazie al posizionamento nel nucleo interno, o nelle frontiere opache (e trasparenti), di strati di PCM. I sali o le paraffine applicati agli edifici passano durante il giorno dalla fase solida a quella liquida compiendo una reazione endotermica, ovvero immagazzinando il calore in eccesso che altrimenti surriscalderebbe l'ambiente.

Durante la notte, al calare della temperatura, il materiale si solidifica nuovamente, cedendo il calore accumulato, ed è quindi pronto a compiere un nuovo ciclo il giorno successivo. Così in estate, i PCM lavorano principalmente per smorzare l'onda di calore durante il giorno ed è importante che si scarichino durante la notte per funzionare nuovamente il giorno seguente; Il carico frigorifero viene spostato così dalle elevate temperature



Fig. 7 - Il centro espositivo realizzato attraverso tre cupole galleggianti semitrasparenti a Rotterdam copre un'area di circa 1.000 metri e rappresenta un progetto sperimentale di "edificio" posto senza fondamenta direttamente sull'acqua. La sala conferenze viene riscaldata anche attraverso i materiali presenti nelle pareti delle cupole che assorbono calore sopra i 21 °C e lo rilasciano quando la temperatura scende al di sotto.

diurne al periodo notturno, diminuendo i picchi operativi dei dispositivi refrigeranti. Ciò permette di utilizzare sistemi refrigeranti che sfruttino sistemi naturali di riduzione della temperatura (aria notturna, suolo). Per la rigenerazione del PCM si hanno diverse possibilità: ventilazione manuale a finestra effettuata dall'utente, ventilazione automatizzata con aria notturna estiva in caso sia presente un impianto di ventilazione, o raffreddamento degli strati PCM mediante feltri integrati negli strati e raffreddati ad acqua (attivazione delle superfici).

Nel periodo invernale viceversa, il calore accumulato durante le ore calde viene rilasciato durante la notte ed è importante prevedere un sistema che permetta di ritardare la perdita di calore verso l'esterno. I PCM vengono normalmente incapsulati in materiali da costruzione (materiali semplicemente impregnati con PCM possono provocare essudazione) come intonaci, nelle miscele dei calcestruzzi, massetti e sottofondi, sistemi di facciata vetrati o in plexiglas, isolanti termici e posizionati sia nelle chiusure opache perimetrali (figura 4), e sia nei divisori interni (pannelli in cartongesso o in legno), in modo così da poter aumentare la loro capacità di stoccaggio termico.

L'incapsulamento del PCM si rende



necessario per prevenire la perdita, la degradazione e la contaminazione della sostanze chimiche (figura 5). Così come un'attenta considerazione deve essere data alla compatibilità del PCM individuali con la plastica o il metallo scelto per l'applicazione. La plastica tende ad essere un involucro meno costoso, ma ha la necessità di pareti più spesse che soffrono quindi di bassa conducibilità termica. Di contro i metalli utilizzati per l'incapsulamento di PCM aumentano la conducibilità termica, ma risultano più costosi e possono risultare corrosivi se combinati con alcuni PCM.

Questi materiali possono accumulare o rilasciare una grande quantità di calore a una temperatura costante, che è la temperatura del loro cambiamento di fase fisica (da solida a liquida). In un

edificio di civile abitazione la temperatura "obiettivo" è chiaramente quella di comfort e il PCM scelto è specifico. L'aspetto di calcolo e verifica della quantità e qualità del materiale da applicare è forse uno dei punti che ancora ostacola la diffusione in edilizia di questi materiali, usati invece in altre nicchie industriali. E' però un dato di fatto che l'applicazione dei PCM in controsoffitti di corpi uffici (figura 6) consente di sfruttare notevolmente gli apporti energetici interni o i raffrescamenti notturni e, di fatto, fornisce un volano inerziale con l'impiego di una quantità di materiale 40 volte inferiore in peso rispetto alla stessa prestazione fornita da un nucleo massiccio in calcestruzzo (le lastre in gesso rivestito contenenti paraffine con soli 15 mm di spessore equivalgono alla capacità termica di un solaio composto da 100 mm di calcestruzzo e da 150 mm di laterizio). I PCM si propongono inoltre per gli anni futuri, in cui il problema energetico crescerà, come interessante compendio inerziale a edifici leggeri e isolati (figura 7) o nel recupero di edifici esistenti scarsamente dotati di massa.



Fig. 8 - Le microparticelle PCM vengono facilmente incorporate nei materiali da costruzione come gesso o cemento e svolgono il loro compito di "heat buffer" per decenni. (Micronal, Basf).



Fig. 9 - Recuperatore di calore BatTherm realizzato con materiali a cambiamento di fase. Il serbatoio rettangolare in acciaio inox accumula il calore di scarto prevalentemente dai processi industriali tra i 130 - 180 °C e lo rilascia quando richiesto attraverso il cambiamento di fase tra i 60-110 °C (Stiral).



Fig. 10 - Scambiatori di calore impilabili riempiti con PCM. Questi scambiatori possono essere installati sulle pareti e assorbire/rilasciare il calore dall'aria. Hanno dunque la funzione di accumulatori di calore (storage) in grado di intervenire sui picchi della domanda di climatizzazione.

E' comunque nella realizzazione di intonaci dove si realizza con maggior evidenza l'utilizzo di questa nuova tecnologia.

Per far questo vengono utilizzati nuovi speciali intonaci progettati per trattenere il calore latente, attraverso particolari particelle di cera inserite in microcapsule che ne agevolano l'incorporazione nella vernice oppure nell'intonaco.

Le capsule di cera (paraffina) di dimensioni microscopiche contenute in uno strato di intonaco (figura 8), consentono di mantenere temperature gradevoli all'interno degli edifici. Si tratta dunque di micro-accumulatori di calore latente, che viene assorbito durante la fusione della cera stessa (22-26 °C), ed è rilasciato quando la cera si solidifica. Queste microcapsule di cera sono protette da un involucro di plastica, in modo da non fuoriuscire dall'intonaco, durante il cambiamento di fase della liquidazione. La capacità di assorbimento di calore di questo speciale intonaco con PCM equivale ad almeno 4.5 volte quella di un normale intonaco. In questo modo l'andamento delle oscillazioni giornaliere della temperatura si riduce considerevolmente.

Impianti

Andando oltre il semplice inserimento dei PCM all'interno dei materiali da

costruzione, una prima applicazione d'impianto la si ritrova nel campo della climatizzazione assistita, e qui vista la difficoltà di ottenere quantità elevate di scambio termico PCM-aria, si sono sviluppate applicazioni nelle quali i PCM vengono inseriti direttamente nell'unità di scambio termico (microcapsule in spugne di alluminio), al fine di ottenerne il raffreddamento notturno, a fronte di un rilascio di energia fredda accumulata durante i picchi di calore diurni.

Allo stesso modo, ma in funzione di riscaldamento assistito, le sfere di PCM vengono "caricate" dall'aria calda irradiata in copertura, accumulando dunque calore. In assenza di soleggiamento, o a fronte di richieste termiche di punta, l'energia stoccata viene ceduta all'ambiente indoor. Il funzionamento è reversibile.

Un'altra interessante applicazione passiva dei PCM consiste nel stabilizzare la temperatura nei pannelli solari fotovoltaici. Il ciclo di cristallizzazione / fusione modera i picchi di temperatura del pannello durante il periodo d'insolazione, aumentandone l'efficienza.

L'impiego dei materiali PCM non si limita alla sola fase passiva, ma, sulla falsariga (e meglio) dei sistemi ice-storage, attraverso appositi contenitori possono aumentare la capacità di stoccaggio termico dell'impianto termico conven-

zionale in modo da ridurre il picco (del carico elettrico) di riscaldamento e raffreddamento (figure 9 e 10).

Ci sono diverse forme in cui i materiali a cambiamento di fase possono essere introdotte nel serbatoio di stoccaggio, ad esempio come granuli, capsule macro (pacchetti, pannelli, palline, ecc.), o fluidi PCM (impasto) adatte per il pompaggio.

L'area di trasferimento di calore disponibile è fondamentale per le prestazioni del sistema di stoccaggio.

In questi casi l'accumulatore a calore latente è costituito da un serbatoio riempito con macrosfere contenenti PCM, mentre la connessione con l'impianto refrigerante avviene tramite un fluido vettore, a base di alcool che circola tra le sfere. Nella fase di accumulo, durante la notte, l'energia è immagazzinata utilizzando il gruppo frigorifero che raffredda il liquido nello scambiatore. Questo circolando nel serbatoio ad una temperatura inferiore alla temperatura di fusione del materiale a cambiamento di fase (PCM) contenuto nei noduli, provoca la sua cristallizzazione.

Quando l'energia richiesta è superiore alla potenza frigorifera del gruppo, le necessità sono assicurate dal funzionamento associato del gruppo e dell'accumulatore. ■