

L'edilizia di domani è già oggi: i P.C.M., nuova frontiera dell'edificare efficiente

Dalla tecnologia aerospaziale all'edilizia, i nuovi materiali hi-tech promettono performance superiori grazie all'accumulo di calore latente.

(Fabrizio Dellachà)

PCM (Phase Changing Materials), tre consonanti che ai profani diranno ben poco.

Tre consonanti che però in campo aerospaziale hanno un impiego già noto e largamente diffuso per fabbricare tute e per termocompensare la strumentazione di bordo; sono infatti già passati oltre 60 anni da quanto la teoria sulla cinetica del cambiamento di fase fu proposta da *Melvin Avrami* verso la fine degli anni '30. Essa ha avuto grande riscontro per via dell'enorme duttilità di impiego che i materiali a cambiamento di fase possono avere in ambito aeronautico ed aerospaziale, dove poter immagazzinare il calore latente può significare prestazioni nemmeno immaginabili che si possono raggiungere con i materiali tradizionali *monofase*.

L'equazione di *Avrami* descrive come un solido si trasformi da una *fase* (stato materico) in un'altra a temperatura costante. Essa descrive in un preciso e specifico modello matematico-fisico la cinetica delle particelle nel processo di *crystallizzazione*, e può essere applicata generalmente ad altri cambiamenti di fase in svariati materiali. Il fenomeno della cinetica chimica noto come le *velocità di reazione** può avere persino profondi significati (e relative applicazioni) nell'analisi dei sistemi ecologici.

[* il tasso di variazione nel tempo del grado di avanzamento di una reazione chimica, ovvero il tasso di variazione nel tempo delle concentrazioni delle specie chimiche coinvolte nella reazione stessa.]

L'equazione nota come la *Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov*, abbreviata dagli studiosi di fisica semplicemente come "l'equazione JMAK" fu derivata in via primigenia da Kolmogorov nel lontano 1937 e divenne popolare grazie ad Avrami in una serie di studi (meravigliosi) che furono pubblicati nel "Journal of Chemical Physics" negli anni tra il 1939 ed il 1941.

Il Modello di Avrami presuppone che il sistema sottoposto al cambiamento di fase sia già dotato in partenza da elementi (da lui stesso definiti *germs*) della nuova fase.

Questi *germs* altro non sono che molecole transitorie organizzate (ma distribuite casualmente) che sono simili a quelle esistenti nella nuova fase (la fase finale, post transizione).

Secondo la fluttuazione statistica, questi legami si formano e scompaiono, ma alcuni permangono in stato latente senza più crescere. Quando, per qualsivoglia motivo, il cambiamento di fase ha origine ed inizia, alcuni di questi "germi primordiali" iniziano a crescere, raggiungendo una dimensione critica che poi diviene stabile. Da questo punto in poi, essi verranno chiamati grani (*grains*) della nuova fase; subiranno infatti un processo di espansione, nel quale il numero di *germi essenziali* diminuirà via via nel tempo.

Questa diminuzione avviene per due differenti meccanismi: il *germe* che si trasforma direttamente nei *grani* oppure i *grani* che crescendo inglobano altri germi esistenti nel loro immediato intorno.

Avrami ha pertanto sviluppato la propria modellazione teorica partendo da questi presupposti fisici e realizzando intorno a queste ipotesi un modello matematico, che considera la relazione funzionale tra il *numero di germi* ed il *volume della nuova fase* di crescita dei germi stessi.

Dopo questa trattazione a cavallo tra storia e scienza possiamo già meglio comprendere cosa significhi di preciso PCM e come essi si impieghino in edilizia.

I materiali a cambiamento di fase per l'edilizia sono infatti (parimenti al settore aerospaziale) nient'altro che degli *accumulatori di calore latente*.

Cosa significa? Vuol dire che essi sfruttano il fenomeno sopracitato della *transizione di fase* per assorbire i flussi energetici in ingresso (*flussi entranti*), immagazzinando un'elevata quantità di energia e mantenendo al contempo costante la propria temperatura.

In estrema sintesi quindi i PCM sono in grado di *assorbire energia termica* e di *restituirla nel tempo* all'esterno, senza che venga variata (innalzandosi) la propria temperatura. Questo vuol dire pertanto che essi restituiranno calore, cedendolo nuovamente all'ambiente esterno, non appena la temperatura esterna si abbassa, innescando il processo inverso di decristallizzazione verso la fase liquido-viscosa.

I PCM saranno pertanto in forma solido-cristallina a temperatura ambiente ma non appena questa salirà, superando una determinata soglia (che varia a seconda del materiale a cambiamento di fase), essi si discioglieranno accumulando il calore (in questo caso *calore latente di liquefazione*) che verrà quindi sottratto all'ambiente. Allo stesso modo, quando la temperatura riscenderà, il materiale si solidificherà nuovamente e cederà al contempo il calore immagazzinato in precedenza (in questo caso *calore latente di solidificazione*).

I PCM, ormai da qualche anno sono in fase di studio e di sviluppo per la loro perfetta applicabilità nell'architettura energeticamente efficiente.

Risultati ben più che positivi si sono ottenuti aggregando le nanosfere di PCM nei pannelli in cartongesso o in legno, nella pasta degli intonaci, nei sistemi di facciata trasparenti (sia vetrati sia in plexiglass), nonché in vari isolanti termici (pannelli, lastre, cappotti, aggregati a spruzzo, etc.), senza contare le potenzialità di impiego anche negli impianti di riscaldamento e raffrescamento passivo, nei collettori solari e negli scambiatori di calore.

Questi materiali per le loro *proprietà termoregolanti* rappresentano quindi una soluzione tecnologica che permette di adottare un approccio estremamente innovativo nella progettazione di *edifici passivi* (o comunque molto snelli dal punto di vista impiantistico), in quanto sono un'interessante sistema per mitigare le fluttuazioni termiche giornaliere della temperatura ambiente attraverso la riduzione dei picchi di temperatura interna, e quindi conseguentemente dei relativi consumi energetici necessari alla climatizzazione degli ambienti.

I requisiti che i PCM dovrebbero possedere per poter essere impiegati in edilizia sono, in estrema sintesi i seguenti:

- Una temperatura di fusione (intesa come di cambiamento di fase da solido-cristallina a liquido-viscosa) intorno ai 25°C.
- Un elevato calore di transizione di fase (liquefazione/solidificazione).
- Un costo che li renda economicamente convenienti.
- Non essere tossici.
- Non essere corrosivi.
- Non essere igroscopici.
- Permeare in quantità sufficienti il mercato (reperibilità) affinché possano essere incorporati nei comuni materiali del comparto edilizio.

Attualmente i PCM più largamente impiegati in edilizia, proprio perché rispondono integralmente alle caratteristiche sopra elencate, sono i composti *organici paraffinici* ed alcuni particolari *idrocarburi* ottenibili come sottoprodotti della *raffinazione del petrolio* o per *polimerizzazione*; esistono inoltre alcuni interessanti PCM derivati da composti inorganici come le soluzioni saline (*sali idrati*).

I sistemi di contenimento utilizzati per questi materiali a transizione di fase sono il *macro* ed il *micro incapsulamento* oltre all'*immersione in matrici porose*.

Le capsule hanno un diametro di 2-20µm, e sono comunemente inserite all'interno di pannelli trasparenti in *polimetilmetacrilato*, molto resistenti anche a fronte di ridottissimi spessori. Ciò consente, come con altre applicazioni simili, di ottenere ottimi risultati termici, ma al contempo

notevolissimi recuperi volumetrici, impensabili con i materiali tradizionali. L'attenuazione della temperatura, durante il periodo estivo, non avviene infatti solamente impiegando i tradizionalmente diffusi corpi schermanti (o *sistemi di schermatura solare passivi*, come ad esempio i frangisole) ma si basa anche sul principio di non surriscaldamento dei materiali stessi.

Questi PCM hanno però anche qualche difetto, che non va assolutamente ignorato né trascurato. Innanzitutto i derivati paraffinici, in quanto sottoprodotti degli idrocarburi, sono ovviamente infiammabili pertanto le quantità di PCM consentite per le applicazioni in edilizia risulteranno per forza di cose abbastanza ridotte, a meno di adottare misure ponderalmente molto rilevanti in ambito di progettazione antincendio.

Inoltre in alcuni periodi particolarmente caldi, le cui alte temperature si protraggono nel tempo, non sempre essi provvedono al totale rilascio termico durante la fase di successivo abbassamento notturno della temperatura. Ciò significa che l'accumulo non avviene più in maniera vicina al modello fisico-matematico teorico e quindi l'uso dei PCM in luoghi ad alta temperatura dovrà per forza essere integrato da sistemi per il raffrescamento notturno o anche da scambiatori di calore in grado di smaltire l'energia termica in eccesso.

Ad oggi gli studi e le sperimentazioni dei PCM stanno studiando delle *varianti ecologiche* (che non prevedano pertanto alcun idrocarburo), inoltre si sta tentando di realizzare nuovi materiali a cambiamento di fase in grado di garantire non soltanto il raffrescamento, ma anche il riscaldamento degli edifici grazie al medesimo principio - ma all'inverso - di immagazzinamento dell'energia

Vediamo ora alcune interessanti applicazioni pionieristiche dei Phase Changing Materials:

- Il biogel che raffresca gli ambienti interni a Seattle

Uno dei primi esperimenti condotti al mondo è stato in un edificio nel Campus del complesso Universitario di Seattle (USA). Nell'intercapedine tra le mura ed i soffitti è stato insufflato un gel, che si solidifica durante la notte e si fonde durante il giorno con il calore dell'irraggiamento solare; questo PCM ha dimostrato di poter ridurre in maniera sensibile la quantità di energia necessaria per raffrescare gli spazi interni, con un risparmio energetico notevole. L'effetto di *thermal buffer* (volano termico) è lo stesso che si otterrebbe con muratura massiva in calcestruzzo o mattoni di 20-25cm circa, però con questo biogel gli spessori sono scesi fino ad addirittura 1,25cm!

- Riscaldamento Alternativo in Cina

Nella Cina occidentale è stato lanciato un programma pilota di "alternative sheperd heating" (riscaldamento alternativo dei pastori) che potrebbe presto diffondersi in altri campi: in questa regione particolari bio-PCM ricavati addirittura da *burro di yak* ed *olii vegetali* di origine locale stanno aiutando i pastori di yak a starsene belli caldi durante le loro trasferte. Il materiale viene infatti avvolto nella plastica e tessuto incorporandolo negli abiti: in questo modo il composto si scioglie quando i pastori sono in movimento per raggiungere gli alpeggi, per poi - quando smettono di muoversi - rilasciare lentamente il calore, mantenendoli ad una temperatura costante e confortevole durante il controllo delle proprie greggi da fermi.

- Stoccaggio alternativo dell'energia solare

Altro interessante ambito applicativo potrebbe essere costituito dal settore solare: i PCM potrebbero infatti essere benissimo sfruttati ed impiegati per lo stoccaggio di energia termica in volumi notevoli. Oggi, infatti, i sistemi che concentrano l'energia solare termica si servono di *sali liquidi* per immagazzinare calore; sono però necessari enormi quantitativi di questi liquidi nonché impianti di stoccaggio di analoghe dimensioni assai rilevanti e pure perfettamente isolati per produrre energia. Utilizzare sostanze a cambiamento di fase semplificherebbe notevolmente le cose, al punto da rendere realistica la riduzione del volume del materiale di stoccaggio di oltre due terzi, lo afferma la SGL Carbon che sta testando dal 2012 un prototipo nei suoi laboratori in Germania che potremmo vedere presto impiegato.

- La Council House di Melbourne edificio bioclimatico adattivo con PCM cooling
A Melbourne, in Australia, gli edifici per uffici necessitano anche in inverno di un sistema di *cooling* che purifichi e raffreddi l'aria diminuendo il carico termico apportato sia dagli occupanti, sia dai macchinari, sia dai sistemi di illuminazione.

Il sistema della climatizzazione del *green building CH2* è assolutamente all'avanguardia. Il raffrescamento avviene grazie ai pannelli radianti posti nei soffitti in calcestruzzo, la superficie che accumula più calore durante il giorno. L'acqua refrigerata viene poi pompata all'interno dei pannelli radianti, raffreddando naturalmente la massa termica del soffitto e mantenendo la temperatura costante a circa 20°C.

Ma l'aspetto forse più interessante del sistema sono i tre serbatoi d'accumulo posti sotto l'edificio che consentono di refrigerare l'acqua pompata nel sistema. All'interno delle tre strutture sono inserite *migliaia di sfere in acciaio inox contenenti un particolare tipo di PCM*, una sostanza che ghiaccia a 16°C e raffredda naturalmente l'acqua surriscaldata proveniente dall'edificio.

La massa termica dell'edificio inoltre viene raffrescata durante la notte, grazie ad un sistema automatizzato connesso con le piccole aperture poste in corrispondenza del soffitto. Quando necessario queste finestre si aprono automaticamente creando una corrente fresca che abbassa la temperatura interna.

Referenze Bibliografiche:

- Avramov, I (2007). *Kinetics of distribution of infections in networks*. Physica A 379: 615–620
- Avrami, M (1939). *Kinetics of Phase Change. I. General Theory*. Journal of Chemical Physics 7 (12): 1103–1112
- Avrami, M (1940). *Kinetics of Phase Change. II. Transformation-Time Relations for Random Distribution of Nuclei*. Journal of Chemical Physics 8 (2): 212–224
- Avrami, M (1941). *Kinetics of Phase Change. III. Granulation, Phase Change, and Microstructure*. Journal of Chemical Physics 9 (2): 177–184.
- AK Jena, MC Chaturvedi (1992). *Phase Transformations in Materials*. Prentice Hall. p. 243.
- AK Jena, MC Chaturvedi (1992). *Phase Transformations in Materials*. Prentice Hall. p. 247.
- JW Cahn (1956). *Transformation kinetics during continuous cooling*. Acta Metallurgica 4 (6): 572–575
- Avrami, M. J. *Chem. Phys.*, v. 7, p. 1103, 1939.
- Avrami, M. J. *Chem. Phys.*, v. 8, p. 212, 1940.
- Weiberg, M.C.; Birnie, D.P.; Shneidman, V.A. J. *Non-Crystalline Solids*, v. 219, p. 89, 1997.
- Malek, J.; Mitsuhashi, T.; Ramirez-Castellanos, J.; Matsui, Y. *J. Mat. Res.*, v. 14 n. 5, p. 1834, 1999.
- Jean, J.H.; Lin, S.C. *J. Mat. Res.*, v. 14, n.7, p. 2922 1999.
- Zhong, Z.K.; Guo, Q.P. *J. Polimer Science Part B - Polymer Physics*, v. 37, n. 19, p. 2726, 1999.
- Li, W.Y.; Mitchell, B.S. *J. Non-Crystalline Solids*, v. 255, n. 2-3, p. 199, 1999.
- Di Lorenzo, M.L.; Silvestre, C. *Progress in Polymer Science*, v. 24, n. 6, p. 917, 1999.
- Kong, L.X.; Hodgson, P.D.; Wang, B. *J. Mat. Proc. Tech.*, v. 90, p. 44, 1999.
- Volpe, M.; Tomellini, M.; Fanfoni, M. *Surf. Sci.*, v. 423, n. 2-3, p. 1258, 1999.
- Jouppila, K.; Kansikas, J.; Roos, Y.H. *Carbohydrate Polymers*, v. 36, n. 2-3, p. 143, 1998.
- Meier, A.; Chidambaram, P.R.; Edwards, G.R. *Acta Materialia*, v. 46, n. 12, p. 4453, 1998.
- Yavari, A.R.; Negri, D. *Nanostructured Materials*, v. 8, n. 8, p. 969, 1997.
- Volmer, M.; Weber, A. *Zeits. F. Physik. Chemie*, v. 119, p. 277, 1926.
- Volmer, M.; Marder, M. *Zeits. F. Physik. Chemie*, v. A154, p. 97, 1931.
- Stranski, N.; Kaischew R. *Zeits. F. Physik. Chemie*, v. B26, p. 317, 1934.
- Stranski, N.; Kaischew, R. *Zeits. F. Physik. Chemie*, v. 36, p. 393, 1935.
- Borelius, G. *Ann. Physik*, v. 33, p. 517, 1938.
- Becker, R. *Ann. Physik*, v. 32, p. 128, 1938.
- Austin, J.B.; Rickett R.L. *Metals Technology*, p. 964, 1938.
- Krainer, H. *Archiv F. Eisenhüttenwesen*, v. 9, p. 619, 1936.
- Mehl, R.F. Johnson W. *Metals Technology*, p. 1089, 1939.
- Davenport, B. *Trans. A.I.M.E.*, v. 90, p. 117, 1930 and v. 100, p.13, 1932.
- A.C. Faleirosa, T.N. Rabeloa, G.P. Thimb, M.A.S. Oliveirab. *Kinetics of Phase Change - Departamento de Matemática, Instituto Tecnológico de Aeronáutica y Departamento de Química, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 12228-900 São José dos Campos - SP, Brazil, July 2000*