



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI GUGLIELMO MARCONI**

**FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE APPLICATE**

**Corso di laurea magistrale in Ingegneria Civile**

**Tesi di Laurea**

**PCM – Phase Change Materials**

**ANALISI DELLE TIPOLOGIE, PROPRIETÀ, APPLICABILITÀ E  
VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO TERMICO NELLE  
PARETI DEGLI EDIFICI**

**Relatore:  
Prof. Ing. Mario De Giorgi**

**Candidato:  
Alicia Mantoan  
Matr. n°: STA 06420/LM23**

**ANNO ACCADEMICO**

**2015/2016**

# INDICE GENERALE

<b>PREMESSA</b> .....	<b>1</b>
<b>OBIETTIVI E FASI DELLA TESI</b> .....	<b>5</b>
<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPITOLO 1 SOSTENIBILITA', NORMATIVA ED EDILIZIA</b> .....	<b>11</b>
1.1 Sostenibilità ambientale in edilizia .....	11
1.1.1 L'edilizia .....	11
1.1.2 Ciclo di vita di un edificio.....	13
1.1.3 Ecobilancio, compatibilità e benessere .....	15
1.1.4 Risorse energetiche, riduzione dei consumi, riciclo e riuso.....	16
1.2 La normativa .....	20
1.3 L'evoluzione dell'involucro edilizio.....	26
1.3.1 Cenni storici .....	26
1.3.2 Funzioni e prestazioni dell'involucro .....	27
1.3.3 Involucro passivo, attivo ed ibrido.....	31
1.3.4 Classificazione in base al sistema costruttivo .....	32
1.3.5 Tipologie e soluzioni di involucro a secco.....	33
<b>CAPITOLO 2 I MATERIALI A CAMBIAMENTO DI FASE (PCM)</b> .....	<b>37</b>
2.1 Materiali immagazzinatori di energia .....	37
2.1.1 Materiali termoregolanti .....	37
2.1.2 Accumulatori di energia termica: TES.....	38
2.1.3 Classificazione dei TES .....	47
2.1.4 TES-PCM.....	48
2.2 Materiali a cambiamento di fase .....	55
2.2.1 PCM organici .....	56
2.2.2 PCM inorganici .....	63
2.2.3 PCM Eutettici.....	68

2.2.4	Proprietà TES-PCM .....	70
2.2.5	Modalità di utilizzo dei PCM.....	72
2.2.6	Stabilità delle proprietà dei PCM.....	85
2.2.7	Metodologie d'analisi e di simulazione numerica .....	87
2.2.8	Costi .....	91
2.2.9	Modelli funzionali di pareti contenenti PCM .....	94
2.2.10	Collocazione del PCM all'interno delle pareti.....	98
2.2.11	Pareti con diversa stratificazione a confronto .....	101

### **CAPITOLO 3 APPLICAZIONI DEI PCM ..... 107**

3.1	Applicazioni dei PCM in campo energetico ed in edilizia.....	107
3.1.1	EasyHouse, modular building system.....	115
3.1.2	Un sistema di climatizzazione solare basato su materiali a cambiamento di fase .....	123
3.1.3	Realizzazione di strutture multistrato contenenti materiali a cambiamento di fase per la realizzazione di celle frigorifere ...	129
3.1.4	Massa Termica Intelligente.....	134
3.1.5	Soluzioni e tecnologie per l'efficienza energetica degli edifici: involucri performanti .....	137
3.1.6	Blocchi con riempimento in materiale a cambiamento di fase .	144
3.1.7	Racus Ceiling Tile.....	152
3.1.8	GlassX Crystal, sistema di vetrata isolante con schermatura e accumulo termico integrati.....	154
3.1.9	Impiego dei materiali a cambiamento di fase negli intonaci .....	156
3.1.10	Forni solari .....	160
3.1.11	Studio sperimentale e numerico di materiali a cambiamento di fase per il raffreddamento passivo di componenti elettronici....	161
3.1.12	Applicazione della termografia IR a pelli per abbigliamento e calzature con microcapsule a cambiamento di fase per la valutazione delle proprietà termoregolanti .....	164
3.1.13	Studio di sistemi di accumulo a cambiamento di fase nel solar cooling.....	167
3.2	Applicazioni dei PCM in altri campi .....	171

## **CAPITOLO 4 ANALISI DELLA TRASMITTANZA DI PARETI CONTENENTI PCM181**

4.1	Caratteristiche delle pareti .....	186
4.1.1	Conducibilità, inerzia e trasmittanza termica.....	186
4.1.2	Condensa interstiziale, superficiale e muffa .....	192
4.2	Metodologia di studio .....	203
4.2.1	Blumatica Energy e considerazioni sul diagramma di Glaser ...	203
4.2.2	Caratteristiche dei PCM e dei materiali isolanti scelti .....	207
4.3	Analisi e conclusioni .....	214
4.3.1	Analisi e confronto dei dati .....	214
4.3.2	Conclusioni dell'analisi.....	218
4.4	Schede tecniche.....	220

## **CONCLUSIONI..... 281**

## **APPENDICI..... 287**

Appendice 1 .....	287
Appendice 2 .....	289
Appendice 3 .....	291
Appendice 4 .....	292
Appendice 5 .....	293
Appendice 6 .....	294
Appendice 7 .....	296
Appendice 8.....	297
Appendice 9.....	298
Appendice 10.....	299

## **BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA..... 301**

## ABSTRACT

Il mio interesse verso i PCM *-Phase Change Materials-* è nato da una proposta del mio relatore. Si è rivelato, poi, argomento di grande attualità, ma di nicchia, almeno in Italia: forse per questo ho intrapreso con curiosità e passione la presente ricerca.

Per quanto i materiali a cambiamento di fase siano conosciuti ed utilizzati da più di cinquant'anni, la loro diffusione è molto scarsa e solo poche delle aziende produttrici hanno sede in Europa.

Nello sviluppo di questo lavoro sono partita cercando di capire quale miglioramento avrebbero potuto apportare nel mondo delle costruzioni: essi si sono dimostrati un concreto e valido aiuto nella "causa" dell'edilizia sostenibile a costi, però, elevati.

L'obiettivo di raggiungere edifici a zero emissioni sia durante l'utilizzo, sia in fase di costruzione, demolizione e creazione delle materie prime, che non inquinino e rispettino l'ambiente per lasciarlo vitale e sostenibile ai posteri, risulta ancora utopico, sebbene gli attuali sforzi si avvicinino molto a risultati concreti.

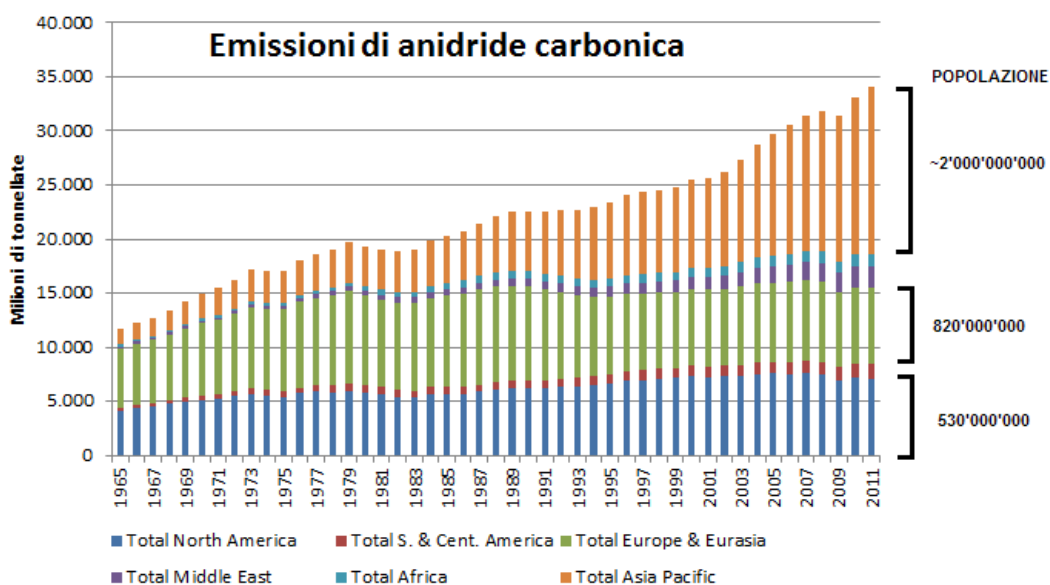
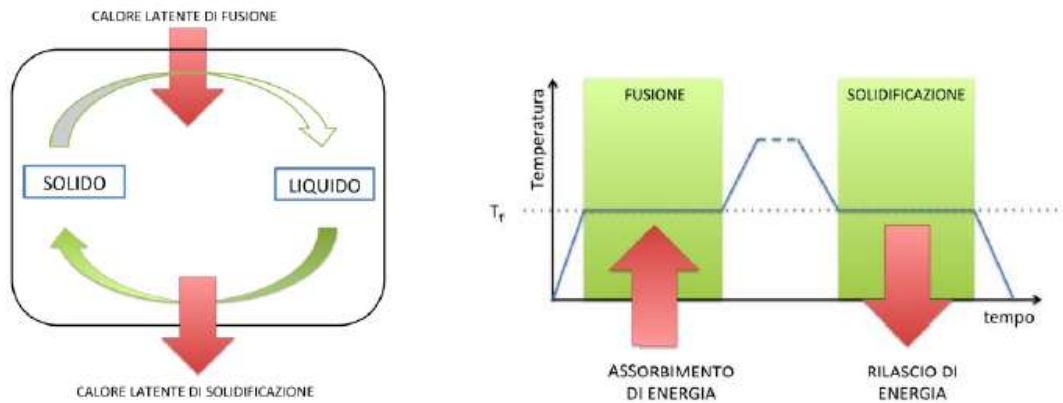


Fig. 1 – Emissioni mondiali anidride carbonica dal 1965 al 2011

Anche la normativa, partendo dalla COP 3, fino agli attuali decreti di legge, cerca di regolare ed incentivare strategie che favoriscano una riduzione delle emissioni ed un controllo sui materiali.

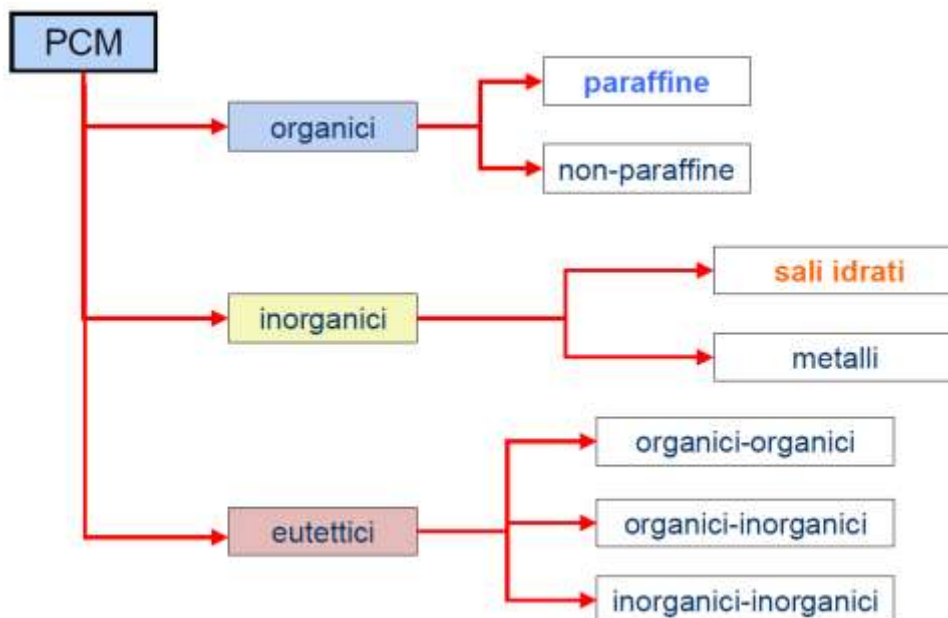
Proprio in questo ambito i PCM possono aiutare a ridurre le emissioni, essendo accumulatori di calore latente, e a limitare il consumo di combustibili ed altre forme di riscaldamento invernale e di condizionamento estivo.



**Fig. 2 - Principio di funzionamento dei materiali ad accumulo termico**

Infatti questi materiali modificano il loro stato fisico da solido cristallino a liquido e viceversa in funzione della temperatura esterna ed, opponendosi al passaggio del flusso di calore ne assorbono, in condizioni quasi isoterme, una parte che verrà, poi, rilasciata: per questo vengono denominati TES -*Thermal Energy Storage*- cioè accumulatori di energia termica. Fattori importanti di questi sistemi di accumulo sono la *durata* -ossia il tempo nel quale può essere conservata l'energia- e la *densità di stoccaggio* - cioè la quantità di calore immagazzinato per unità di volume-.

I materiali a cambiamento di fase, in letteratura, hanno varie classificazioni, in funzione di queste caratteristiche.



**Fig. 3 – Classificazione dei PCM**

La più consueta è la divisione in *organici*, *inorganici* ed *eutettici*.

I primi si dividono in *paraffine* e *non paraffine* -che a loro volta si differenziano in *acidi grassi* e *altri PCM organici non paraffinici*-, quelli inorganici sono i *sali idrati* e i *metalli* -che si dividono in *metalli a bassa temperatura di fusione* e *metalli eutettici*- e gli eutettici che possono essere una *coppia organica*, una *inorganica* o una *mista*.

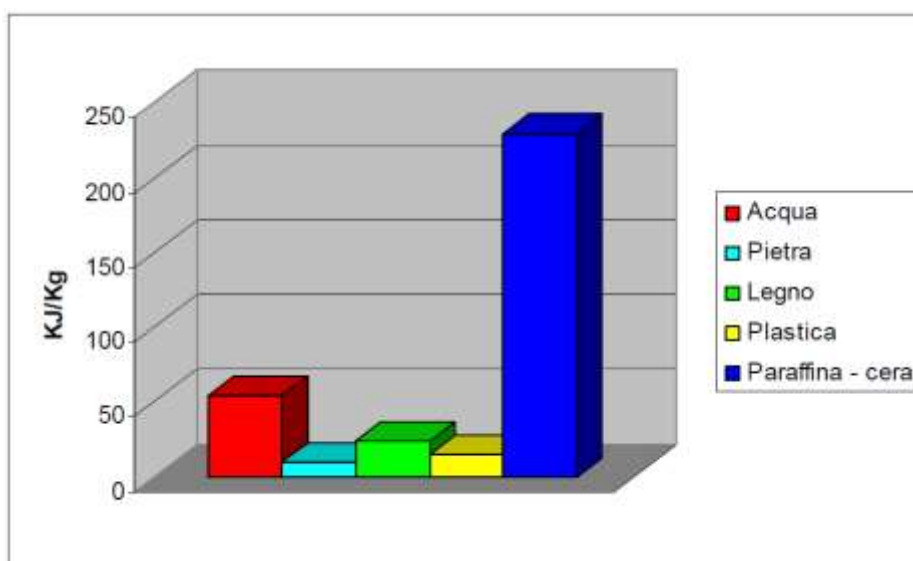
La paraffina è un derivato del petrolio; i PCM organici non paraffinici derivano, generalmente, da sostanze organiche; mentre i sali idrati sono miscele di sali inorganici ed acqua di cui il più noto ed utilizzato è il sale di Glauber.



**Fig. 4 – Paraffina solida**

Fra tutti, i più utilizzati sono le paraffine ed i sali idrati.

Tutti i PCM hanno caratteristiche positive e negative, infatti ciascuno di essi risulta più adatto ad una specifica applicazione. Comunque, in generale un PCM deve essere *non tossico*, *non infiammabile*, *non corrosivo*, *disponibile* e a *buon prezzo*.



**Fig. 5 - Confronto dei PCM con altri materiali utilizzati nelle costruzioni nella capacità di accumulare energia termica**

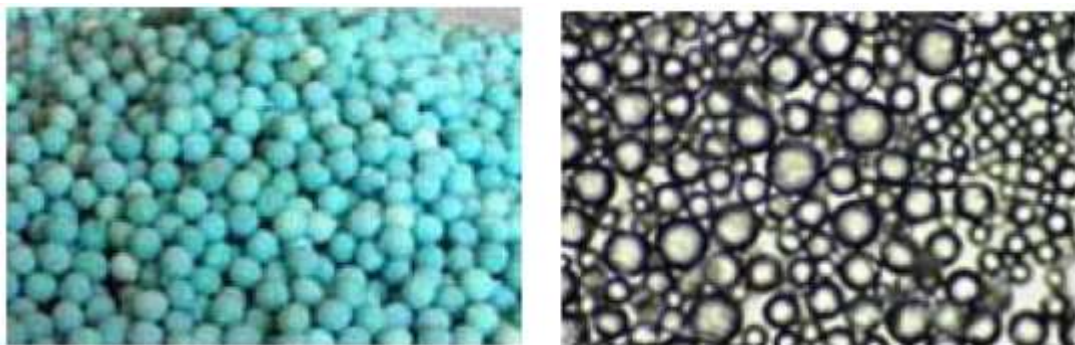
Come già detto, questi materiali funzionano entro un certo campo di temperatura, diverso per ciascuno di essi, che porta alla fusione e solidificazione: ciò significa che, in climi le cui temperature si avvicinano a quelle che avviano il processo di cambiamento di fase, le caratteristiche del materiale verranno sfruttate pienamente. Invece, in climi in cui le variazioni termiche sono più repentine, il PCM potrà funzionare in modo completo solo in alcuni mesi, poiché il processo di solidificazione o di liquefazione potrebbe verificarsi unicamente in alcuni periodi dell'anno.

Per risolvere il problema della mancata fusione o solidificazione, oltre alla scelta di PCM con diverse temperature di solidificazione e liquefazione, si utilizzano supporti meccanici od elettrici (come ventole) per completare il cambiamento di stato.

In questo caso i PCM vengono impropriamente denominati *elementi attivi*, sebbene fondano e solidifichino grazie a variazioni termiche, e sono applicati in *sistemi attivi* realizzati con energia fornita separatamente, anziché in *sistemi passivi*, cioè senza il supporto di energia esterna, che, invece, massimizzano il risparmio energetico ed economico.

In questi climi, sarà necessario valutare se è economicamente vantaggioso pensare all'uso di un sistema attivo oppure di uno passivo o addirittura a non usare i PCM.

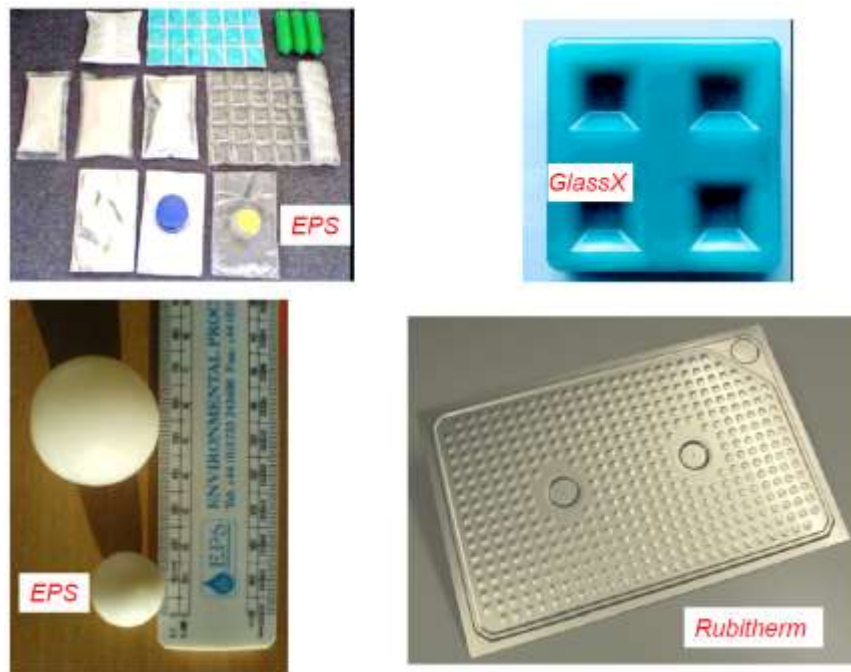
In edilizia essi vengono usati *sfusi*, con *micro* e *macro* *incapsulamento*, con *incapsulazione molecolare*, *incorporati in sistemi costruttivi* o *immersi in matrici porose*.



**Fig. 6 - PCM macroincapsulato e microincapsulato**

Ad esempio i sali, in forma di polvere, devono essere inseriti in un contenitore prima di poter essere posizionati all'interno della parete.



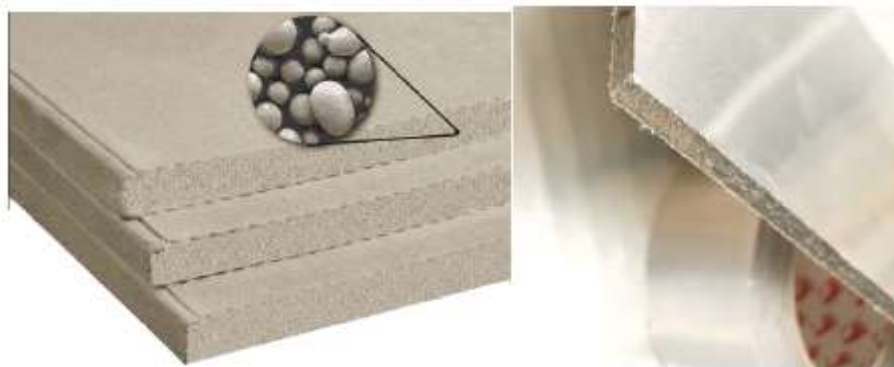


**Fig. 7 - Vari contenitori per PCM**

La stabilità delle proprietà dovute a cicli termici ripetuti e la corrosione del contenitore sono i principali problemi dei PCM. In qualche caso i problemi di stabilità possono essere risolti con additivi e vengono controllati con tecniche di scansione calorimetrica e analisi termica differenziale. Altri due metodi d'analisi sono l'uso di *strumenti di calcolo agli elementi finiti (FEM) -Finite Element Method-* alle differenze o ai volumi finiti per calcolare il comportamento del materiale in ogni sua fase, oppure l'utilizzo di software di simulazione dinamica. Queste tecniche risultano, però, molto costose.

Qualsiasi metodo si usi per l'analisi dei costi evidenzia che i PCM, al momento, sono troppo onerosi almeno qui, in Italia.

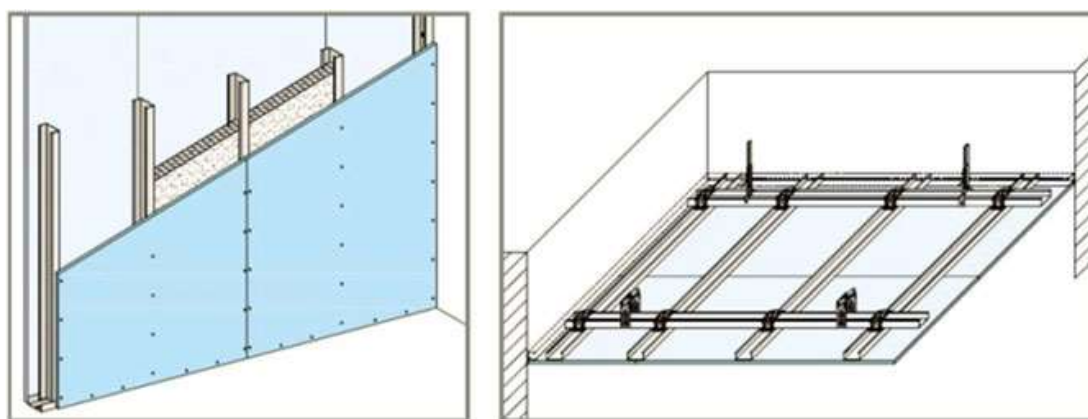
Di seguito ho proposto studi ed applicazioni commerciali. La maggior parte di queste risultano tutt'oggi ancora in via sperimentale e, le poche in uso (GlassX, Racus Ceiling Title) hanno scarsa diffusione a causa dei loro costi.



**Fig. 8 – Pannelli con PCM (a) Basf Micronal, (b) DuPont Energain**

Infine ho valutato la trasmittanza termica dei prodotti in commercio proprio per avere un riscontro numerico sulle affermazioni trovate in rete o nei testi. Partendo dal presupposto che il programma che ho usato fa un'analisi statica dei dati inseriti, cioè non tiene conto del calore ceduto ed assorbito, e, che i PCM, hanno un comportamento dinamico grazie alla loro capacità di accumulo dovuto ai cambiamenti di fase, ho comunque potuto avere un quadro delle loro potenzialità.

Dall'analisi di 10 pareti realizzate con isolanti tradizionali ad alto rendimento, con PCM e di una mista cioè con isolante ad alto rendimento e PCM, ho potuto osservare come la minor trasmittanza termica, rispetto alla parete di riferimento, si abbia utilizzando blocchi a cambiamento di fase.



**Fig. 9 – Smartboard Knauf**

È emerso che accoppiare PCM ed isolante, per quanto vantaggioso, potrebbe annullare le capacità dinamiche del PCM. Inoltre l'utilizzo di più strati di PCM risulta economicamente svantaggioso.

Per quanto i risultati ottenuti siano soddisfacenti, sfortunatamente, la mia analisi non è stata completa a causa dell'assenza di dati tecnici, come la densità, richiesti dal programma per completare lo studio.

Risulta comunque che per quanto i PCM non possano ridurre drasticamente le emissioni di anidride carbonica, derivando alcuni dal petrolio, essi costituiscono un ottimo elemento per aumentare l'inerzia termica di un edificio e, quindi, il suo risparmio globale di energia.

Allo stato dell'arte anche studi od analisi risultano molto complessi per l'assenza di dati e di interesse verso l'argomento. Le stesse aziende produttrici non sono intenzionate a divulgare i dati in loro possesso.

La speranza è che studi di dottorato e ricerche scientifiche, in sinergia con la collaborazione dei produttori, riescano a mettere in luce le potenzialità di questi materiali affinché possano entrare stabilmente nel mercato edilizio e diventino economicamente competitivi.

# BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

## TES e PCM

### Testi:

Austin R., *TES Systems limited*, UK, 1994;

Albertino Paolo, *Materiali a cambiamento di fase (PCM) in edilizia. Sperimentazioni sull'involucro a blocchi portanti e su rivestimenti ad intonaco*, Politecnico di Torino, Torino, 2009;

Bonacina C., Cavallini A., Mattarolo L., *Trasmissione del calore*, CLEUP editore Bologna, 1993;

Serway Raymond A., *Principi di fisica*, James Madison University, Pomona EdISES, 2002;

JW Cahn, *Transformation kinetics during continuous cooling*, Acta Metallurgica, 1956;

Cengel A.Y., *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill;

### Articoli e pubblicazioni:

McKay.E.M, Bromley.A.K.R, *Incorporating Phase Change Materials into the Building Fabric*, CIBSE Conference 1994;

Avramov I, *Kinetics of distribution of infections in networks*, Physica A 379, 2007;

Avrami, M., *Kinetics of Phase Change. I. General Theory*, Journal of Chemical Physics 7, 1939;

Avrami, M., *Kinetics of Phase Change. II. Transformation-Time Relations for Random Distribution of Nuclei*, Journal of Chemical Physics 8, 1940;

Avrami, M., *Kinetics of Phase Change. III. Granulation, Phase Change, and Microstructure*, Journal of Chemical Physics 9, 1941;

AK Jena, MC Chaturvedi, *Phase Transformations in Materials*, Prentice Hall, 1992;

AK Jena, MC Chaturvedi, *Phase Transformations in Materials*, Prentice Hall, 1992;

Baetensa R., Jelle B.P., Gustavsen A., *Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review*, Energy and Buildings 42, 2010;

Cellura M., Lo Brano V., Orioli A., Ciulla G., *Un modello alle differenze finite di un pannello fotovoltaico accoppiato a materiale a cambiamento di fase*, 65° Congresso Nazionale ATI – Domus de Maria (CA), 13-17 Settembre 2010;

Goia F., Perino M., Serra V., Zanghirella F., *Analisi sperimentale di un componente vetrato responsivo con materiali a cambiamento di fase*, 65° Congresso Nazionale ATI – Domus de Maria (CA), 13-17 Settembre 2010;

### **Sitografia:**

[http://buildsmart.madeexpo.it/ew/ew\\_bsmart\\_eventi/g\\_file\\_relatori/01\\_Luigi%20Coppola.pdf](http://buildsmart.madeexpo.it/ew/ew_bsmart_eventi/g_file_relatori/01_Luigi%20Coppola.pdf)

[http://www.easyhousesystem.com/images/fileuploaded/1\\_scheda\\_eh.pdf](http://www.easyhousesystem.com/images/fileuploaded/1_scheda_eh.pdf)

[https://www.researchgate.net/publication/236165547\\_Performance\\_and\\_cost\\_analysis\\_of\\_phase\\_change\\_materials\\_with\\_different\\_melting\\_temperatures\\_in\\_heating\\_systems?enrichId=rgreq-ef243e0236f46009ca31285db00db132&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIzNjE2NTU0NztBUzoxOTEyMjE5NzAzMzMDJAMTQyMjYwMjI3ODk1MQ%3D%3D&el=1\\_x\\_3](https://www.researchgate.net/publication/236165547_Performance_and_cost_analysis_of_phase_change_materials_with_different_melting_temperatures_in_heating_systems?enrichId=rgreq-ef243e0236f46009ca31285db00db132&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIzNjE2NTU0NztBUzoxOTEyMjE5NzAzMzMDJAMTQyMjYwMjI3ODk1MQ%3D%3D&el=1_x_3)

[http://www.edilio.it/blocchi-termici-in-laterizio-analisi-teorico-sperimentale/p\\_18121.html](http://www.edilio.it/blocchi-termici-in-laterizio-analisi-teorico-sperimentale/p_18121.html)

[http://www.assimpredilance.it/doc\\_incontri\\_professionisti/file/09.BASF%20-%20Soluzione%20e%20tecnologie%20per%20efficienza%20energetica.pdf](http://www.assimpredilance.it/doc_incontri_professionisti/file/09.BASF%20-%20Soluzione%20e%20tecnologie%20per%20efficienza%20energetica.pdf)

[https://repository.asu.edu/attachments/56138/content/Muruganantham\\_asu\\_0010N\\_10151.pdf](https://repository.asu.edu/attachments/56138/content/Muruganantham_asu_0010N_10151.pdf)

[https://www.researchgate.net/publication/286443618\\_L\\_Coppola\\_S\\_Lorenzi\\_Impiego\\_dei\\_materiali\\_a\\_cambiamento\\_di\\_fase\\_PCM\\_negli\\_intonaci](https://www.researchgate.net/publication/286443618_L_Coppola_S_Lorenzi_Impiego_dei_materiali_a_cambiamento_di_fase_PCM_negli_intonaci)

<http://www.crbnet.it/File/Pubblicazioni/pdf/1171.pdf>

<http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/55553.pdf>

[http://www.latermotecnica.net/pdf\\_riv/201412/20141209002\\_1.pdf](http://www.latermotecnica.net/pdf_riv/201412/20141209002_1.pdf)

[http://www.micronal.de/portal/load/fid443847/BASF\\_Micronal\\_PCM\\_Brochure%202009\\_English.pdf](http://www.micronal.de/portal/load/fid443847/BASF_Micronal_PCM_Brochure%202009_English.pdf)

[http://www.comieco.org/allegati/2013/9/de-nardo---pcm\\_129347.pdf](http://www.comieco.org/allegati/2013/9/de-nardo---pcm_129347.pdf)

[https://www.researchgate.net/publication/281790156\\_Annual\\_energy\\_analysis\\_of\\_concrete\\_containing\\_phase\\_change\\_materials\\_for\\_building\\_envelopes](https://www.researchgate.net/publication/281790156_Annual_energy_analysis_of_concrete_containing_phase_change_materials_for_building_envelopes)

[www.mdpi.com/1996-1073/7/3/1318/pdf](http://www.mdpi.com/1996-1073/7/3/1318/pdf)

<http://www.bollettinoingegneri.it/articoli/Guarneri&Balocco%20x%20web.pdf>

[www.fedoa.unina.it/3862](http://www.fedoa.unina.it/3862)

[http://www.matech.it/downloads/websiteMat/news/360/Matech\\_PCM.pdf](http://www.matech.it/downloads/websiteMat/news/360/Matech_PCM.pdf)

<http://biblus.acca.it/materiali-cambiamento-fase-edilizia/>

[http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/materiali-/Materiali\\_Isolanti.pdf](http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archivio-d/approfondi/materiali-/Materiali_Isolanti.pdf)

[http://eprints.unife.it/407/1/Musa\\_Modellazione%20dei%20sistemi%20di%20accunulo%20termico%20per%20impian.pdf](http://eprints.unife.it/407/1/Musa_Modellazione%20dei%20sistemi%20di%20accunulo%20termico%20per%20impian.pdf)

<https://www.docenti.unina.it/downloadPub.do?tipoFile=md&id=132473>

<http://www.pcmproducts.net/files/PCM%20Products%20General.pdf>

[http://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/materials-products/phase-change-materials-to-become-more-cost-competitive\\_o](http://www.ecobuildingpulse.com/vision-2020/materials-products/phase-change-materials-to-become-more-cost-competitive_o)

<http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archiviod/laboratori/pubblicazi/Articoli/Ponte-n.1-2013.pdf>

<http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub41752.pdf>

[http://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/climatizzazione-rinnovabili/rds-256.pdf](http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/climatizzazione-rinnovabili/rds-256.pdf)

[http://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/risparmio-energia-settore-civile/2012/rds-2013-101.pdf](http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/risparmio-energia-settore-civile/2012/rds-2013-101.pdf)

[http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/st04\\_fracastoro\\_doc.pdf](http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/st04_fracastoro_doc.pdf)

<http://www.teaenergie.it/wp-content/uploads/TEA-Energie-Scheda-bioPCMat.pdf>

<http://www.mapei.com/public/IT/approfondimento/techincal-2.pdf>

[http://tesi.cab.unipd.it/44573/1/Tesi\\_MARCO\\_CAZZOLI.pdf](http://tesi.cab.unipd.it/44573/1/Tesi_MARCO_CAZZOLI.pdf)

[https://www.researchgate.net/publication/301705629\\_Thermal\\_performance\\_of\\_a\\_PCM-filled\\_double-glazing\\_unit\\_with\\_different\\_thermophysical\\_parameters\\_of\\_PCM?enrichId=rgreq-25d93dc7474c2592745c1533c91808f6-](https://www.researchgate.net/publication/301705629_Thermal_performance_of_a_PCM-filled_double-glazing_unit_with_different_thermophysical_parameters_of_PCM?enrichId=rgreq-25d93dc7474c2592745c1533c91808f6-)

[XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMTcwNTYyOTtBUzoZNTc0NTg5MTc3NzMzMTJAMTQ2MjIzNjI1NTc2MQ%3D%3D&el=1\\_x\\_3](http://XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMTcwNTYyOTtBUzoZNTc0NTg5MTc3NzMzMTJAMTQ2MjIzNjI1NTc2MQ%3D%3D&el=1_x_3)

<http://www.crbnet.it/File/Pubblicazioni/pdf/1171.pdf>

<http://www.valentin-software.com/en/downloads>

<http://www.pcmproducts.net/>

[http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1\\_290798](http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_290798)

<http://www.mygreenbuildings.org/2014/12/09/materiali-a-cambiamento-di-fase-pcm-riqualificazione-energetica.html>

<http://phys.org/news/2015-07-rapid-phase-changes-resonantly-bonded-materials.html>

<http://www.mygreenbuildings.org/2014/12/14/materiali-a-cambiamento-di-fase-e-involucro-edilizio.html>

<http://www.puretemp.com/stories/understanding-pcms>

[www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it)

## **Sostenibilità ed involucro edilizio**

### **Sitografia:**

[http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/aree-urbane-2014/CAP\\_7\\_Edilizia%20sostenibile.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/aree-urbane-2014/CAP_7_Edilizia%20sostenibile.pdf)

[http://www.pianetascuola.it/risorse/media/secondaria\\_secondo/costruzioni/koenig\\_schede/bioeco\\_schede\\_pdf/edf\\_02\\_bioeco.pdf](http://www.pianetascuola.it/risorse/media/secondaria_secondo/costruzioni/koenig_schede/bioeco_schede_pdf/edf_02_bioeco.pdf)

[www.ingegneria.it/index.php/.../k2/.../738\\_31de6cc0c2415c4067c14c1422b8bc93](http://www.ingegneria.it/index.php/.../k2/.../738_31de6cc0c2415c4067c14c1422b8bc93)

[http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/st04\\_fracastoro\\_doc.pdf](http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/st04_fracastoro_doc.pdf)

<http://www.mapei.com/public/IT/approfondimento/techincal-2.pdf>

<https://www.reteclima.it/protocollo-di-kyoto>

<http://www.leconotizie.com/attualita/la-sostenibilita-in-architettura-cose-e-come-si-attua-186858>

[www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it)

## **Normativa**

### **Sitografia:**

<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/dir91-02.pdf>

[http://www.minambiente.it/sites/default/files/direttiva\\_2003\\_87\\_CE.pdf](http://www.minambiente.it/sites/default/files/direttiva_2003_87_CE.pdf)

<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/dpr412-93.pdf>

<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/dpr551-99.pdf>

[http://www.sportelloenergiarinnovabili.it/utility/pdf\\_biblio/60.pdf](http://www.sportelloenergiarinnovabili.it/utility/pdf_biblio/60.pdf)

[http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/dlgs\\_192-05.pdf](http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/dlgs_192-05.pdf)

<http://www.ingegneri.info/news/ambiente-e-territorio/guida-pratica-alla-uni-10349-sui-dati-climatici-aggiornata/>

## **Analisi**

### **Sitografia:**

<http://www.poroton.it/user/articoli/N9/condensa-murature/condensa-murature.aspx>

<http://www.pontarolo.com/ita/pro-cbk03ca.html>

<http://www.ording.roma.it/archivio/file/1-nobili.pdf>



<http://www.emmetisistemi.it/umidita/umidita-da-condensa>

<http://www.skm-italia.eu/UmiditaCondensa.aspx>

<http://www.architettodileo.it/umidita.html>

[http://www.siginsulation.co.uk/Literature/dupont\\_energain\\_prod%20info.pdf](http://www.siginsulation.co.uk/Literature/dupont_energain_prod%20info.pdf)

<http://www.iuav.it/SISTEMA-DE/Archiviod/laboratori/pubblicazi/Articoli/Ponte-n.1-2013.pdf>

<http://www.mygreenbuildings.org/2014/12/14/materiali-a-cambiamento-di-fase-e-involucro-edilizio.html>

[http://www.lowex.info/projekte/Importe/projekt08/FL\\_SmartBoard\\_e.pdf](http://www.lowex.info/projekte/Importe/projekt08/FL_SmartBoard_e.pdf)

[http://www.scuolaestivafisicatecnica.ing.unisannio.it/materiale\\_didattico/Prof\\_Principi/Principi\\_2.pdf](http://www.scuolaestivafisicatecnica.ing.unisannio.it/materiale_didattico/Prof_Principi/Principi_2.pdf)

[http://www.scuolaestivafisicatecnica.ing.unisannio.it/materiale\\_didattico/Prof\\_Principi/Principi\\_4.pdf](http://www.scuolaestivafisicatecnica.ing.unisannio.it/materiale_didattico/Prof_Principi/Principi_4.pdf)

[www.wikipedia.it](http://www.wikipedia.it)