



Gruppo di Ricerca

Fabrizio Ascione

Nicola Bianco

Rosa Francesca De Masi

Filippo de Rossi

Gerardo Maria Mauro

Giuseppe Peter Vanoli

**Isolanti termici e/o acustici innovativi:
Vacuum insulation panel VIP,
Cambiamento di fase PCM, Aerogel, Multi-
riflettenti sottili, Schiume con nanopori**

Gerardo Maria Mauro

germauro@unisannio.it

Dipartimento di Ingegneria,
Università degli Studi Del Sannio





*La presentazione si focalizza sui **materiali termo-isolanti***

*Tuttavia, essendo materiali porosi, spesso hanno anche caratteristiche **fonoassorbenti***

*Tra i materiali fonoassorbenti ci sono quelli in fibre minerali, come la lana di roccia e la lana di vetro, che sono materiali porosi in cui l'assorbimento avviene per trasformazione dell'energia sonora in calore a **causa dell'attrito che le onde sonore incontrano all'interno di essi***

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Decreto dei Requisiti Minimi [1]

Edificio di Riferimento

Tabella 1- Trasmissione termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Tabella 2 - Trasmissione termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Riqualificazione energetica

Tabella 1- Trasmissione termica U massima delle strutture opache verticali, verso l'esterno soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

Tabella 2 - Trasmissione termica U massima delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015 ⁽¹⁾	2021 ⁽²⁾
A e B	0,34	0,32
C	0,34	0,32
D	0,28	0,26
E	0,26	0,24
F	0,24	0,22

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{i=1}^N \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_{j=1}^M \frac{1}{C_j} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

intro

obiettivi

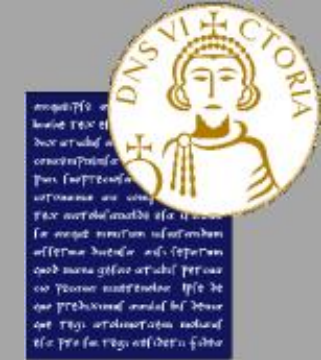
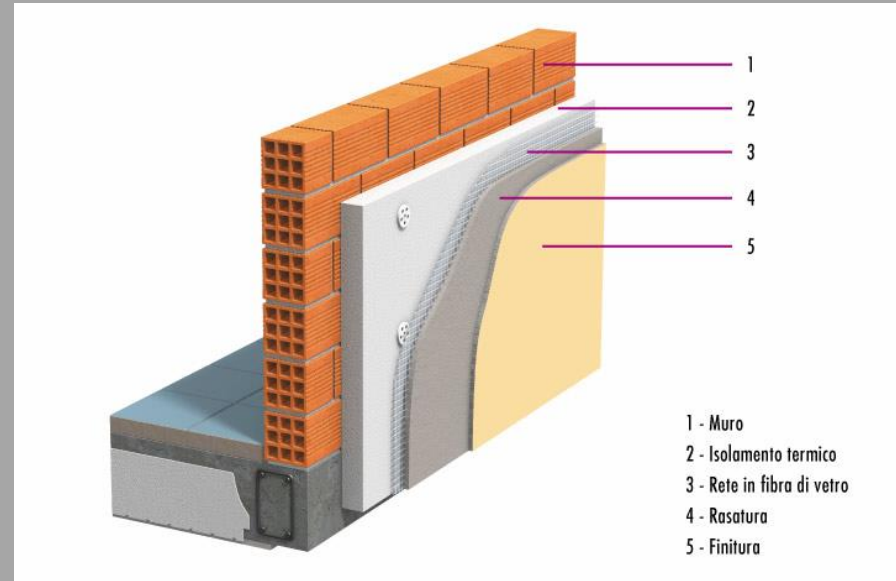
stato dell'arte

futuro

conclusioni

Cappotto termico

Lastre di pannelli in polistirene espanso sinterizzato (EPS) additivato con grafite, conforme alla norma UNI EN 13163, avente conducibilità termica $\lambda = 0.030 \text{ W/mK}$, resistenza a trazione $\geq 100 \text{ kPa}$, euroclasse di reazione al fuoco E secondo EN 13501-1, rispondente ai criteri CAM (Criteri Ambientali Minimi). Il sistema a cappotto, posato su pareti esterne già preparate, provvisto di ETA, è costituito da adesivo minerale ad elevate prestazioni, fissaggio meccanico eseguito con idonei tasselli, successiva rasatura con interposta rete in fibra di vetro. Le dimensioni dei pannelli sono $1000 \times 600 \text{ mm}$ e spessore 120 mm



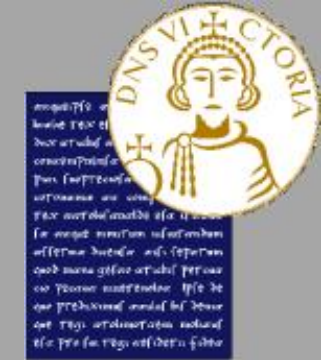
intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Isolanti termici

Classificazione dei materiali isolanti

Vengono definiti come isolanti, i materiali con un valore di conducibilità termica inferiore a 0.065 W/m K ; i materiali isolanti comunemente commercializzati hanno comunque valori di conducibilità tra $0.03\text{-}0.045 \text{ W/m K}$

I materiali isolanti possono essere classificati sulla base di tre caratteristiche:

- Struttura del materiale
- Tipologia di derivazione delle materie prime
- Processo di trasformazione



Con riferimento alla **struttura** si possono individuare materiali porosi e fibrosi

Il secondo metodo di classificazione invece fa riferimento alla natura delle materie prime utilizzate per la produzione del materiale isolante, distinguendo tra prodotti **organici** (mondo vegetale o derivati del petrolio) e **inorganici** (mondo minerale)

Il terzo criterio riguarda il livello di «sostituzione» nel processo di trasformazione delle materie prime e distingue **prodotti naturali** e prodotti **sintetici**

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Isolanti termici

Porosi– Sintetici - Organici

- Poliuretano
- Polistirene o Polistirolo
- Polistirolo espanso (EPS)
- Polistirolo estruso (XPS)



Fibrosi - Naturali - Organici

- Fibra di cocco
- Fibra di legno
- Lana di legno
- Lana di pecora
- Fibra cellulosa



Porosi- Naturali - Inorganici

- Argilla espansa
- Perlite espansa
- Vermiculite espansa
- Pomice



intro

obiettivi

stato dell'arte

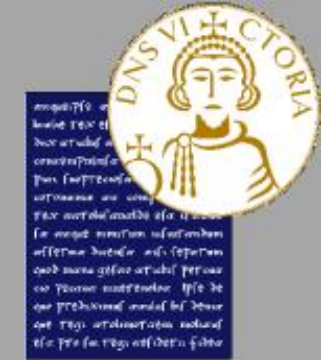
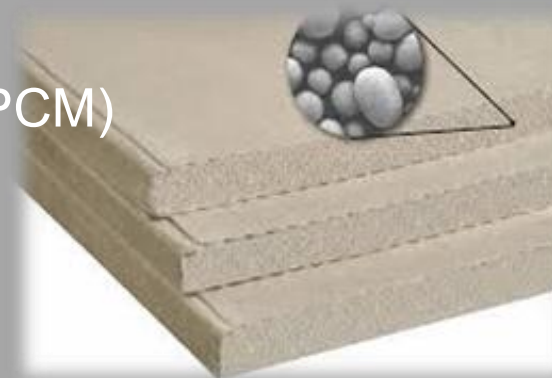
futuro

conclusioni



Termoisolanti innovativi: Obiettivi

- minimizzare la conducibilità termica, k (λ) [W/m K]
- migliorare la **capacità/inerzia** termica dell'involucro edilizio (es, PCM)
- minimizzare i **costi**
- ridurre l'impatto ambientale in termini di **life-cycle analysis**
- promuovere soluzioni sostenibili



intro

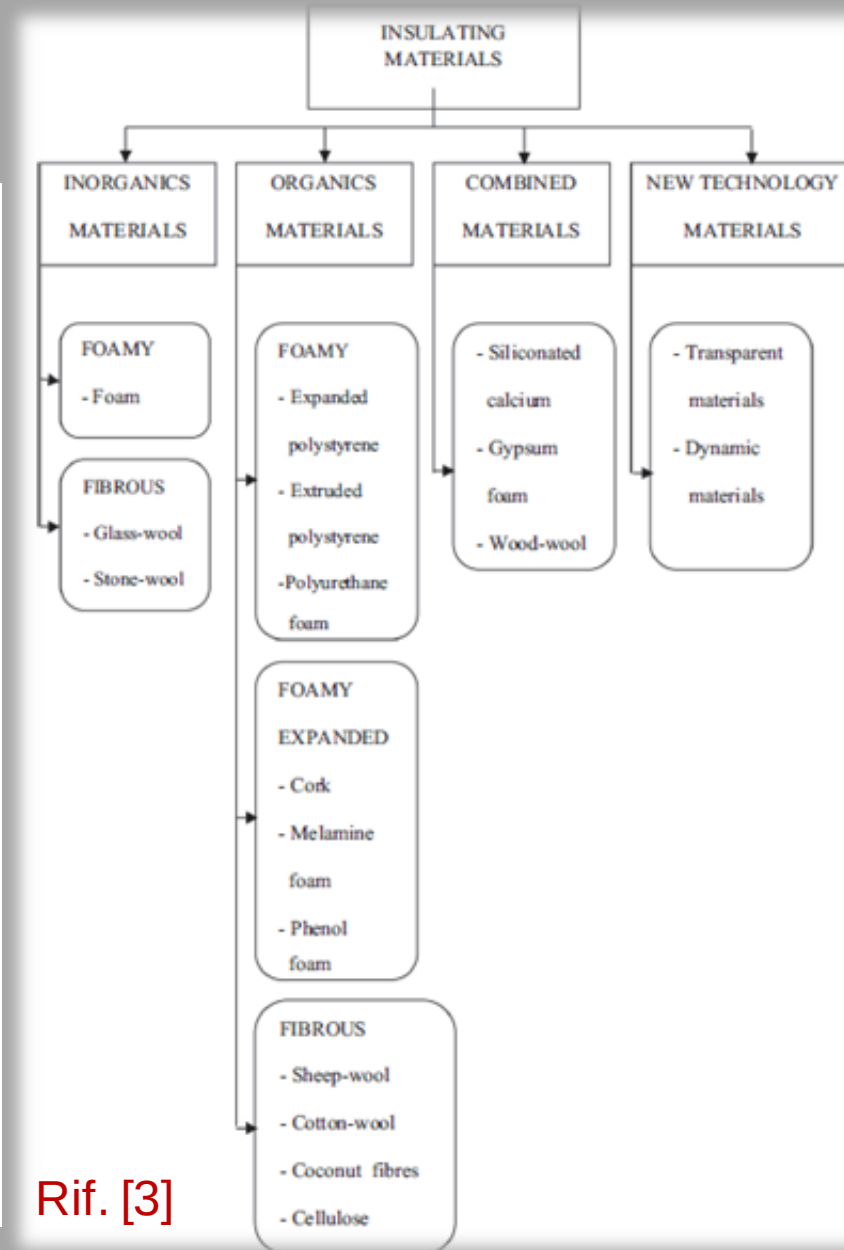
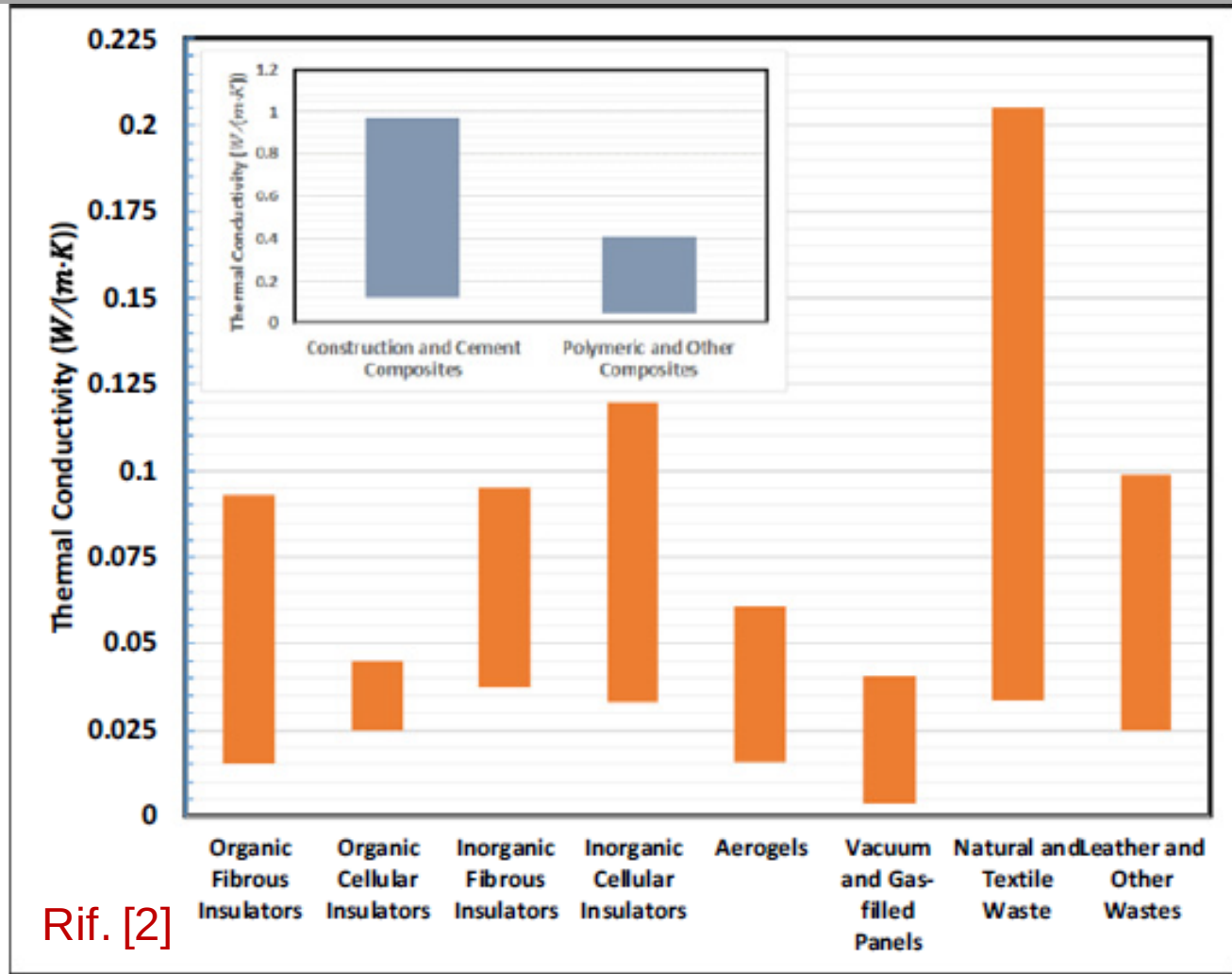
obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Panoramica



intro
obiettivi
stato dell'arte
futuro
conclusioni



Panoramica

Table 4
Recent studies based on application of building insulation.

Building component	Material	Thermal conductivity (λ) (W/m K)	Reference
Floor	Fiberglass (sand & recycled glass)	0.04–0.033	[20,24] [29] [23]
	Rockwool (natural rocks)	0.037	[20,24] [29] [23]
	Polyethylene	0.041	[20,24] [29] [23]
	Cellulose (ground-up waste paper)	0.054–0.046	[29] [13,24]
	Perlite (natural glassy volcanic rock)	0.06–0.04	[29] [13,24]
	Vermiculite	0.068–0.063	[29] [13,24]
	Expanded Polystyrene (closed cell foam)	0.038–0.037	[29] [20]
	Extruded Polystyrene (closed cell foam)	0.032–0.030	[29] [20]
Wall	Fiberglass (sand & recycled glass)	0.04–0.033	[20,24] [23,29,119]
	Rockwool (natural rocks)	0.037	[20,24] [29] [23]
	Polyethylene	0.041	[20,24] [29] [23]
	Expanded Polystyrene (closed cell foam)	0.038–0.037	[29] [20]
	Extruded Polystyrene (closed cell foam)	0.032–0.030	[29] [20,120]
	Cellulose (ground-up waste paper)	0.054–0.046	[29] [13,24]
Ceiling	(open cell structure)	0.038–0.030	[20,24] [29] [23]
	Rockwool (open cell structure)	0.040	[20,24] [29] [23]
	Cellulose (ground-up waste paper)	0.054–0.046	[20,24] [29] [23]
	Perlite (natural glassy volcanic rock)	0.06–0.04	[20,24] [29] [23]
	Vermiculite	0.068–0.063	[20,24] [29] [23]
Roof	Fiberglass (sand & recycled glass)	0.04–0.033	[20,24] [29] [23]
	Rockwool (natural rocks)	0.037	[20,24] [29] [23]
	Polyethylene	0.041	[20,24] [29] [23]
	Expanded Polystyrene (closed cell foam)	0.038–0.037	[29] [20]
	Extruded Polystyrene (closed cell foam)	0.032–0.030	[29] [20,120]
	Cellulose (ground-up waste paper)	0.054–0.046	[29] [13,24,120]

Rif. [3]

intro
obiettivi
stato dell'arte
futuro
conclusioni

Termoisolanti organici comuni



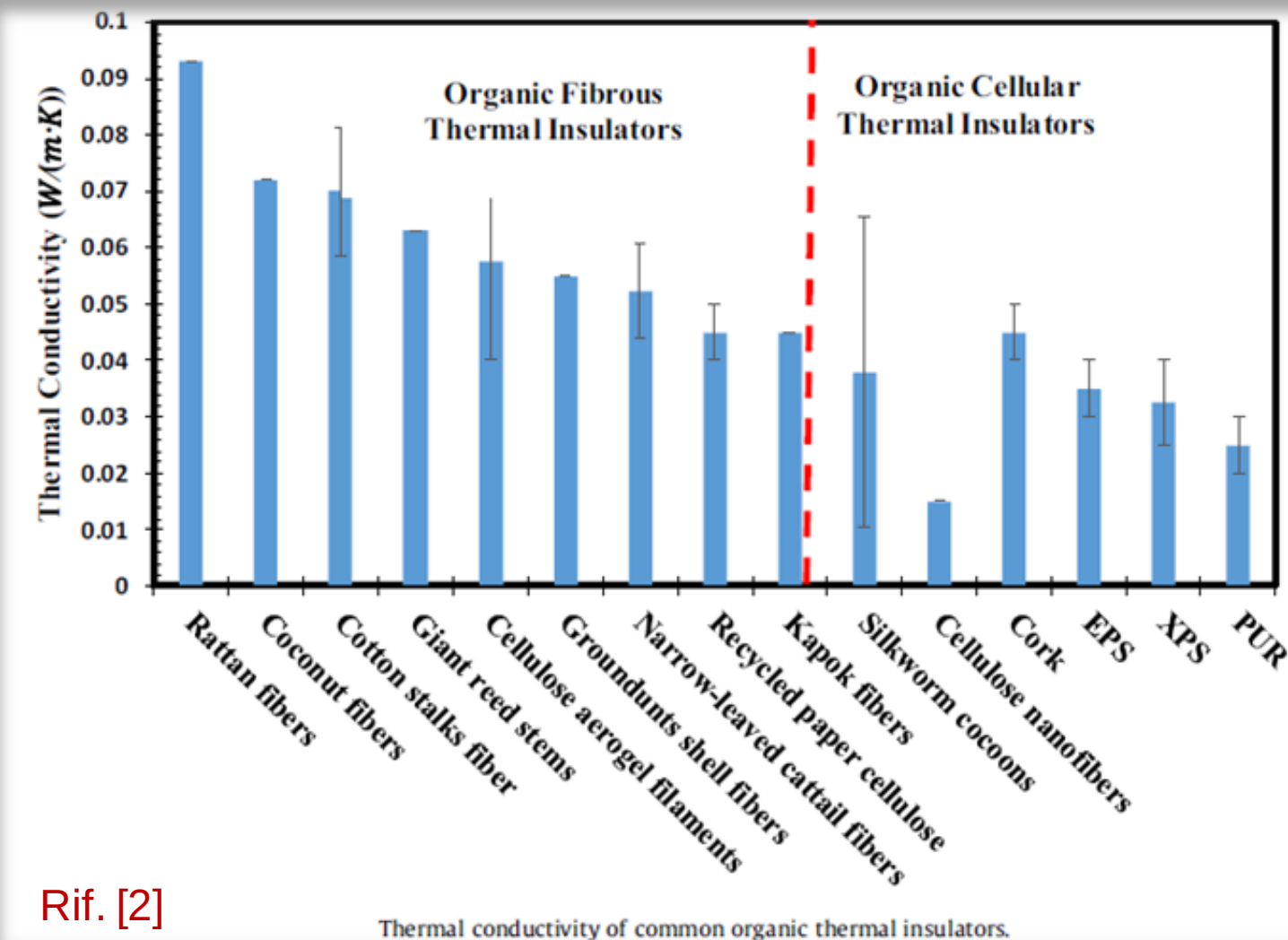
intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

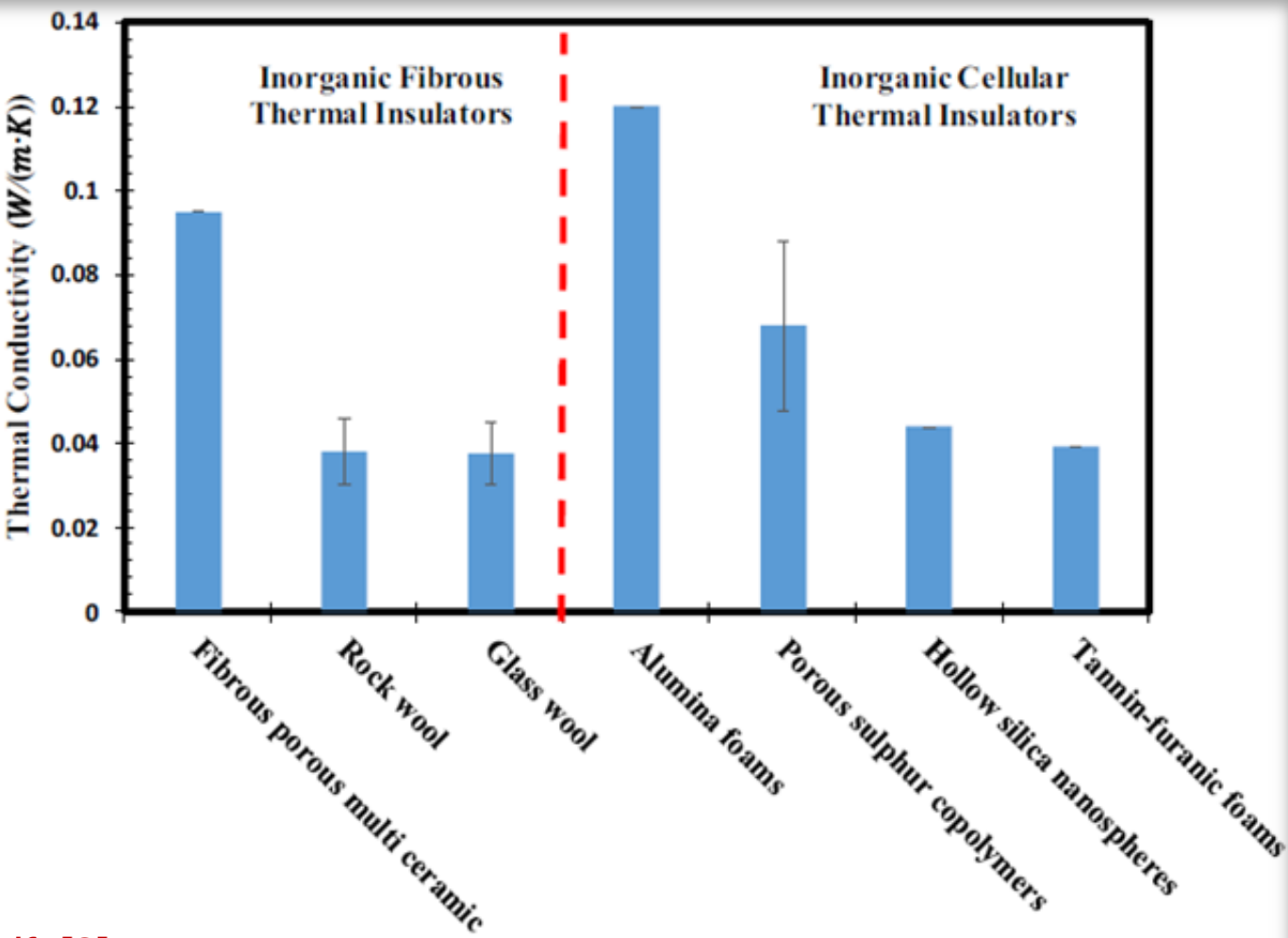


Rif. [2]



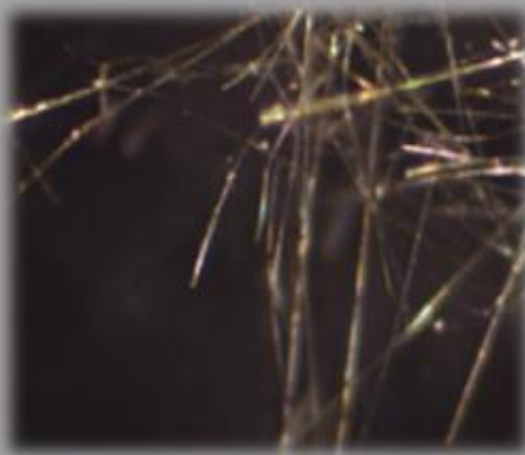


Termoisolanti inorganici comuni



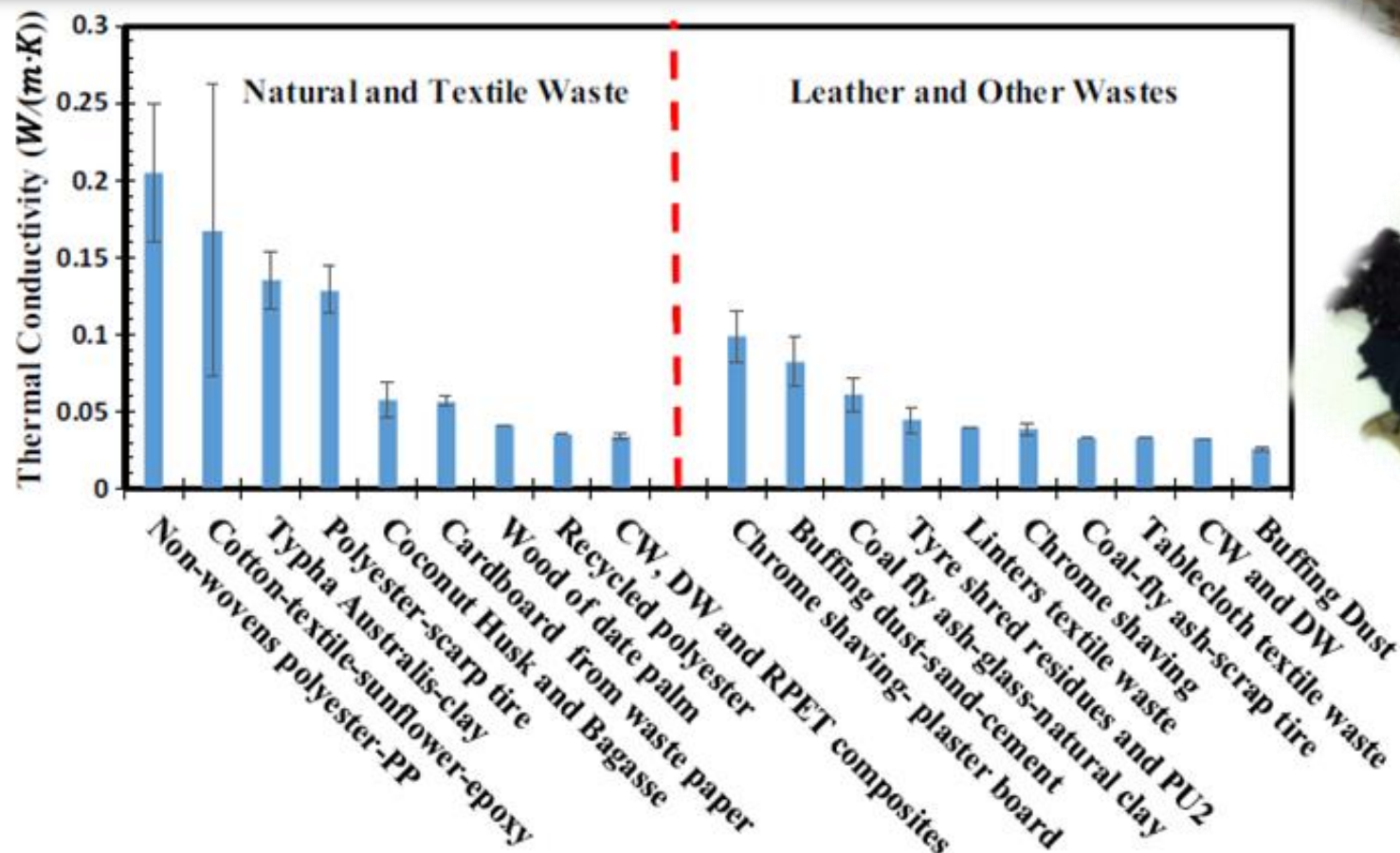
Rif. [2]

Thermal conductivity of common inorganic thermal insulators.



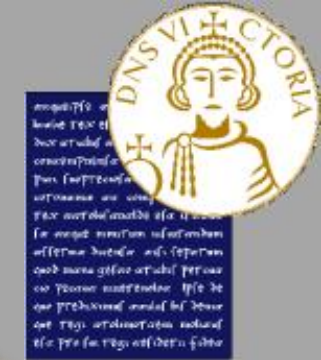
- intro
- obiettivi
- stato dell'arte
- futuro
- conclusioni

Termoisolanti da rifiuti/scarti



Rif. [2]

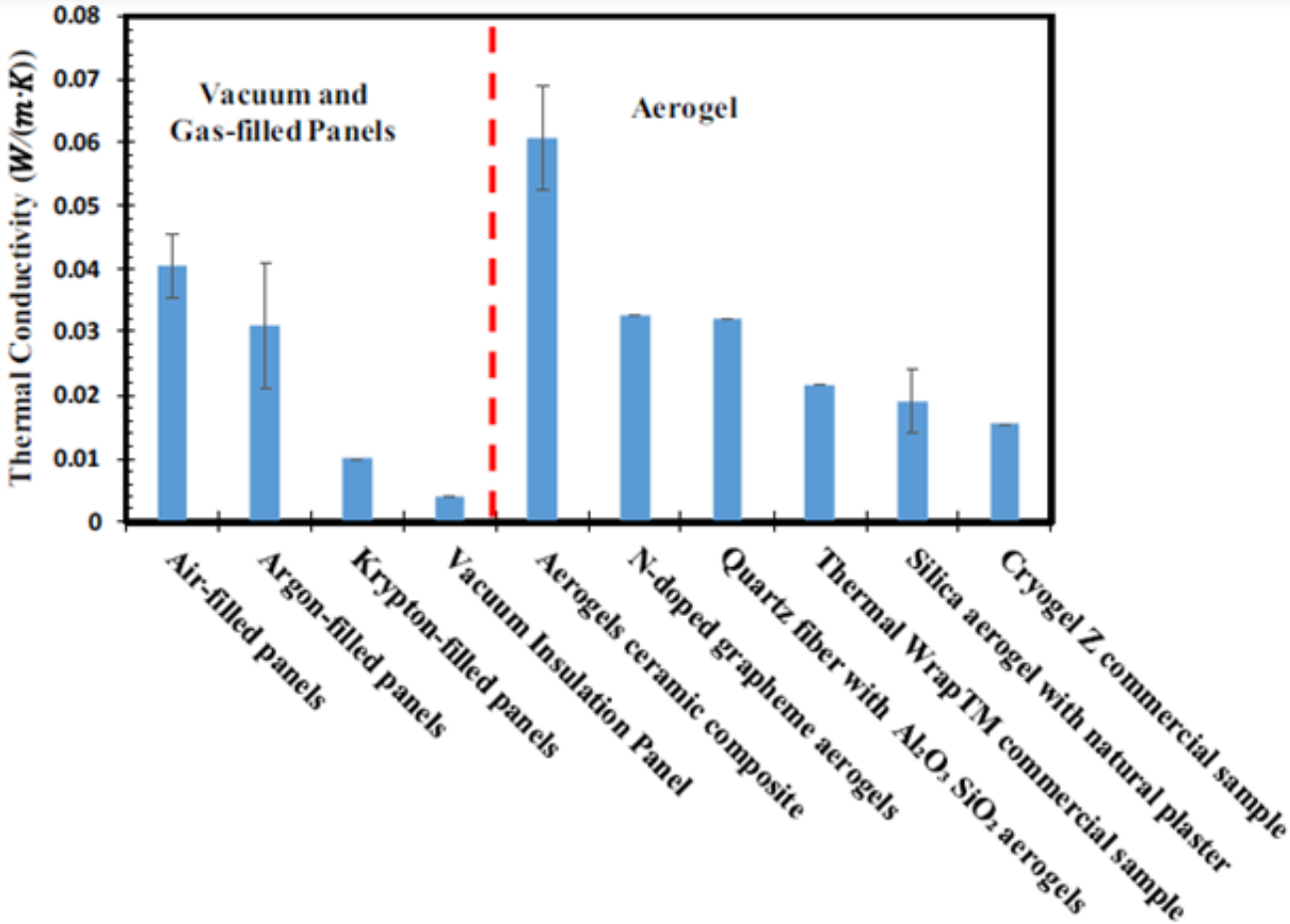
Thermal conductivity of natural, textile, leather and others waste based thermal insulators (RPET: recycled polyester fiber, CW: coring wool, DW: doper wool).



- intro
- obiettivi
- stato dell'arte
- futuro
- conclusioni



Termoisolanti innovativi: VIP



Rif. [2]

Thermal conductivity of common metallic thermal insulators.

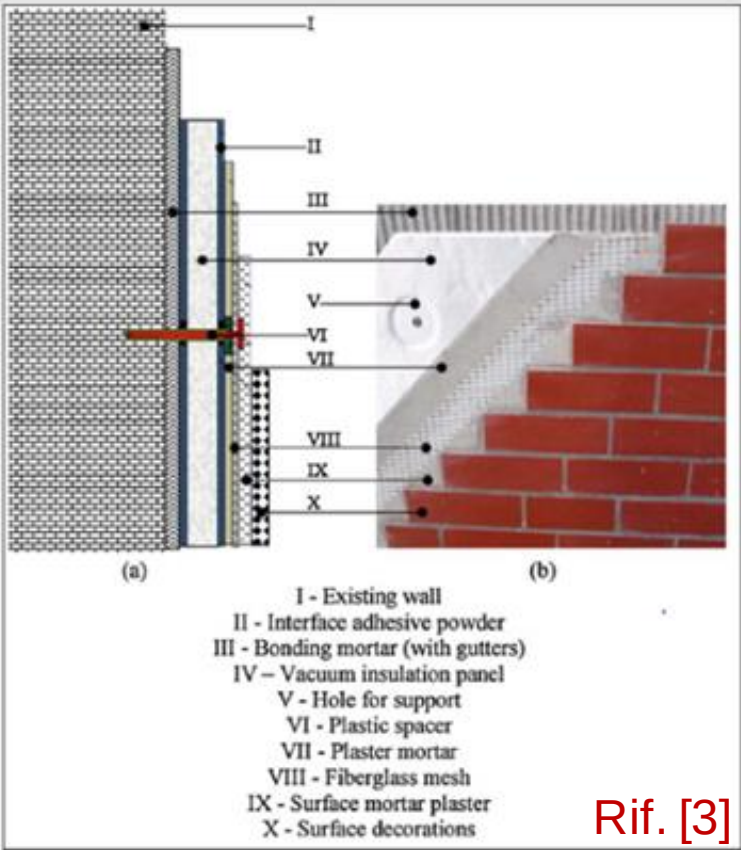


- intro
- obiettivi
- stato dell'arte
- futuro
- conclusioni



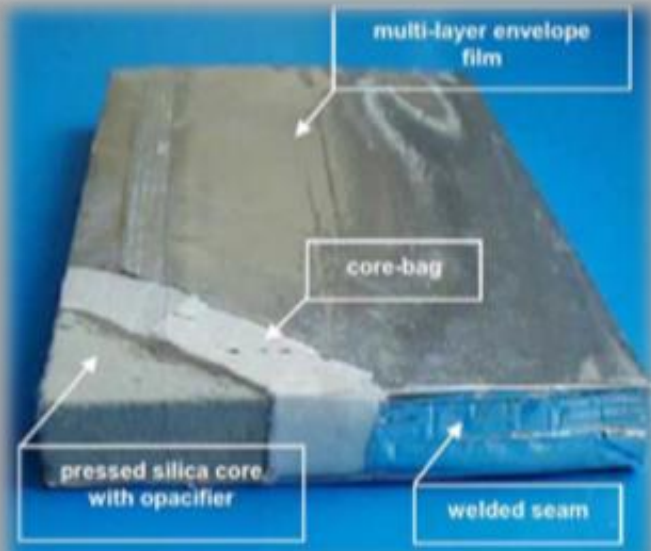
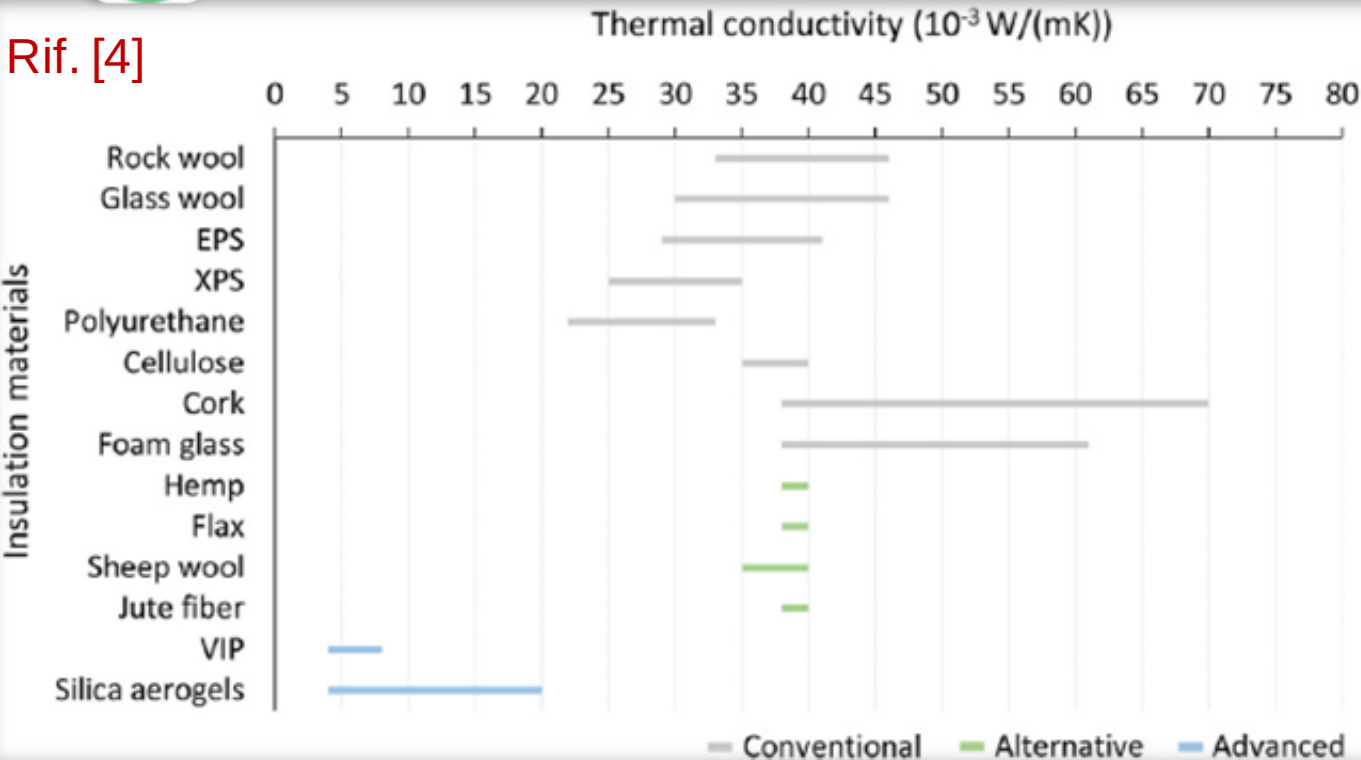
Termoisolanti innovativi: VIP

Rif. [4]



Rif. [3]

Assembly of vacuum insulation system: (a) cross-section and (b) pictorial view of insulated wall



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Termoisolanti innovativi: VIP

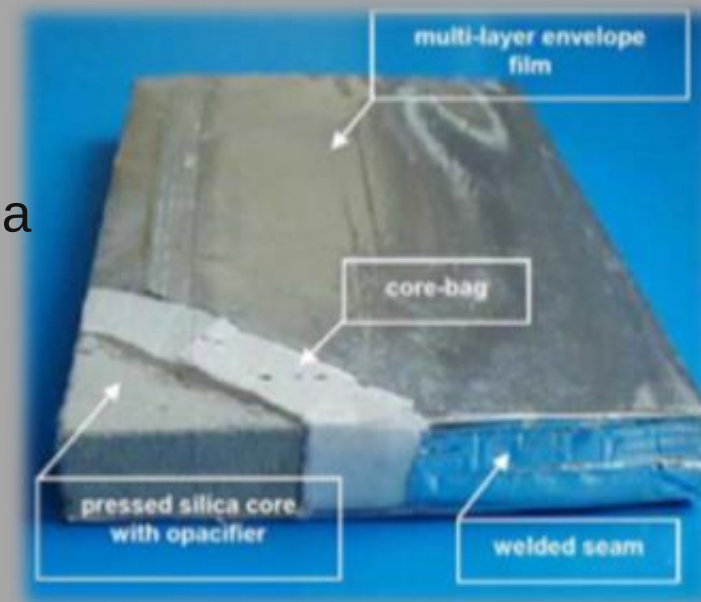
Un **pannello coibentato sottovuoto** (VIP) è una forma di isolamento termico costituito da un involucro a tenuta di gas che circonda un nucleo rigido, da cui è stata evacuata l'aria. È usato in costruzione di edifici, unità di refrigerazione e contenitori di spedizione isolati per fornire prestazioni di isolamento migliori rispetto ai materiali isolanti convenzionali
È anche un ottimo isolante acustico

I VIP sono costituiti da:

- Pareti a membrana, utilizzate per impedire all'aria di entrare nel pannello
- Un pannello di un materiale rigido, come silice esalata, aerogel, perlite, o fibra di vetro, per sostenere le pareti della membrana contro la pressione atmosferica una volta che l'aria è stata evacuata

PROBLEMI:

- Costi
- Tenuta
- Non posso essere tagliati/forati



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Termoisolanti innovativi: VIP

Vacuum Insulation Panel (VIP)



I vacuum insulation panel sono **pannelli isolanti sottovuoto**. Si tratta di un prodotto coibente che nasce a partire dall'industria frigorifera e permette di ottenere una **conducibilità termica da 5 a 10 volte inferiore a quella degli isolanti utilizzati tradizionalmente**, con spessori decisamente ridotti.

I vacuum insulation panel sono da **ordinare su misura** e bisogna prestare **particolare cura nella posa**. Costa molto di più degli altri materiali isolanti tradizionali ma permette **spessori molto ridotti**.

conduttività termica	0,004 - 0,008 W/m,K
fattore di resistenza alla diffusione	infinito
densità	> 30 kg/m ³
capacità termica specifica	1200 J/kg K
resistenza alla compressione	- N/mm ²

formati commerciali	pannelli
---------------------	----------

costo indicativo del materiale	5.550,00 €/m ³
prezzo al m ² posato	
1 cm di materiale posato	> 100,00 €/m ²

campi di applicazione

	isolamento dall'interno	isolamento dall'esterno	isolamento intercapedine
parete perimetrale	X	X	X
parete interna			X
parete controterra	X	X	X
copertura	X	X	
solaio sottotetto	X	X	
solaio su vespaio	X	X	
solaio verso cantina	X	X	
isolamento acustico	X	X	X
tubazioni			

inquinamento ambientale durante produzione	basso
disponibilità della materia prima	abbondante
riciclabilità	possibile
spese di trasporto	basse

galleria immagini



vip. pannelli sandwich per copertura inclinata

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Termoisolanti innovativi: **Multi-riflettenti sottili**

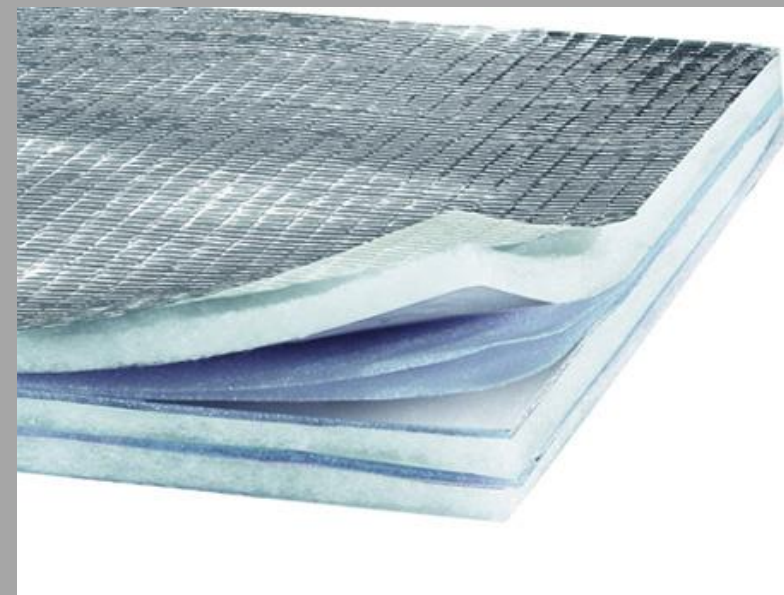
Gli isolanti sottili riflettenti multi-strato sono dei composti tecnici a spessore ridotto (max. 7-8 cm) costituiti dall'unione di pellicole di materiale riflettente ed elementi isolanti combinati (ovatta, schiume, lana)

Riflettono la radiazione infrarossa e solare

Partendo dalla stessa efficienza termica, gli isolanti sottili riflettenti multi-strato permettono di realizzare dispositivi isolanti da 2 a 3 volte più sottili rispetto agli isolanti spessi tradizionali.

Si tratta di materiali perfettamente adatti all'isolamento (anche **acustico**) degli edifici residenziali, commerciali e industriali – coperture, tetti, muri e pavimenti

Costi competitivi 
Riducono i guadagni solari 



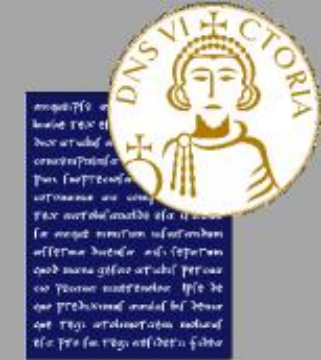
intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Termoisolanti innovativi: Aerogel

L'**aerogel** è una **miscela** di un gas e di un solido, pertanto simile a un **gel** ove il liquido sia sostituito da un gas. Il risultato è una **schiuma** solida dalle molte proprietà particolari, la più importante delle quali è l'efficacia nell'isolare. È soprannominato **fumo ghiacciato**, **fumo solido** o **fumo blu** per la sua trasparenza (anche se alterano lo spettro luminoso)

L'aerogel di **silice** è prodotto per disidratazione di un gel composto da **silice colloidale** in condizioni estreme di pressione e temperatura. Tale aerogel è la sostanza solida meno densa conosciuta, ovvero la più leggera per metro cubo; è composta dal 99,8% di **aria** e dallo 0,2% di **diossido di silicio** (silice), il principale componente del **vetro**. L'aerogel è mille volte meno denso del vetro, tre volte più pesante dell'aria, è in grado di sostenere enormi carichi, sopporta altissime **temperature** ed è un eccezionale **isolante termico**

Al **tatto**, un aerogel si presenta in modo simile a una **schiuma** leggera ma rigida. Nonostante quanto il loro nome possa suggerire, gli aerogel sono materiali secchi e piuttosto che somigliare a un classico gel le loro proprietà fisiche li rendono più simili a una **nanoschiuma**

Gli aerogel sono eccezionali **isolanti termici e acustici**

Conducibilità termica estremamente bassa (da 0.004 W/mK a 0.03 W/mK)



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Termoisolanti innovativi: Aerogel

SPECIFICHE TECNICHE		CARATTERISTICA	NORMA	U.M.	VALORE
		Conducibilità termica dichiarata ¹⁾	λ_D	EN10456	W/mK
					0,016

AEROGEL A2

Materassino termoisolante costituito da fibre di vetro agugliate ad alta densità e aerogel nanoporoso di silice amorfa sintetica. Adatto per applicazioni a secco e rivestimenti a cappotto. Rasabile, resistente alla compressione, ininfiammabile, permeabile al vapore, privo di rivestimenti. Mediamente flessibile nello spessore 10 mm, rigido negli spessori superiori. Idoneo per uso interno ed esterno.

Formato	Pannello
Dimensioni (mm)	1480x740 / 740x740

Art.	Spessore mm	Dimensioni	Pannelli per confezione	EAN	EUR/m2
A21011L	11	1480x740	25	0645760079912	74,00
A211xxN	11	740x740	10 - 20 - 30 - 40	0645760079912	74,00
A22011L	22	1480x740	13	0645760449012	165,00
A221xxN	22	740x740	5 - 10 - 15 - 20	0645760449012	165,00
A23011L	33	1480x740	8	0645760549729	255,00
A24011L	44	1480x740	6	0645760191355	345,00
A25011L	55	1480x740	5	0645760141688	425,00

- intro
- obiettivi
- stato dell'arte
- futuro
- conclusioni



Termoisolanti innovativi: Aerogel



Rif. [2]

Intonaci



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

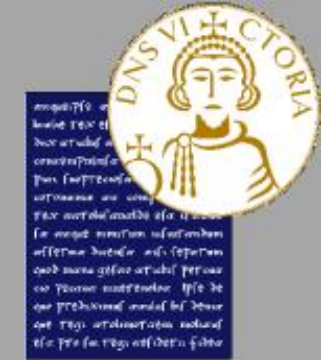
conclusioni



Termoisolanti innovativi: **Schiume con nanopori**

- Fumed Silica – FS (o silice pirogenica), costituita da pannelli pressati di silice amorfa sintetica, ottenuta da biossido di silicio pirogenico idrofobizzato
- Resine fenoliche
- Schiume poliuretaniche
- ✓ **estremamente leggeri**, porosità > 90%
- ✓ **bassa conducibilità termica** (0.019 – 0.30 W/m K)
- ✓ **elevata stabilità dimensionale nel tempo**

Futuro: Stampa 3d?



intro

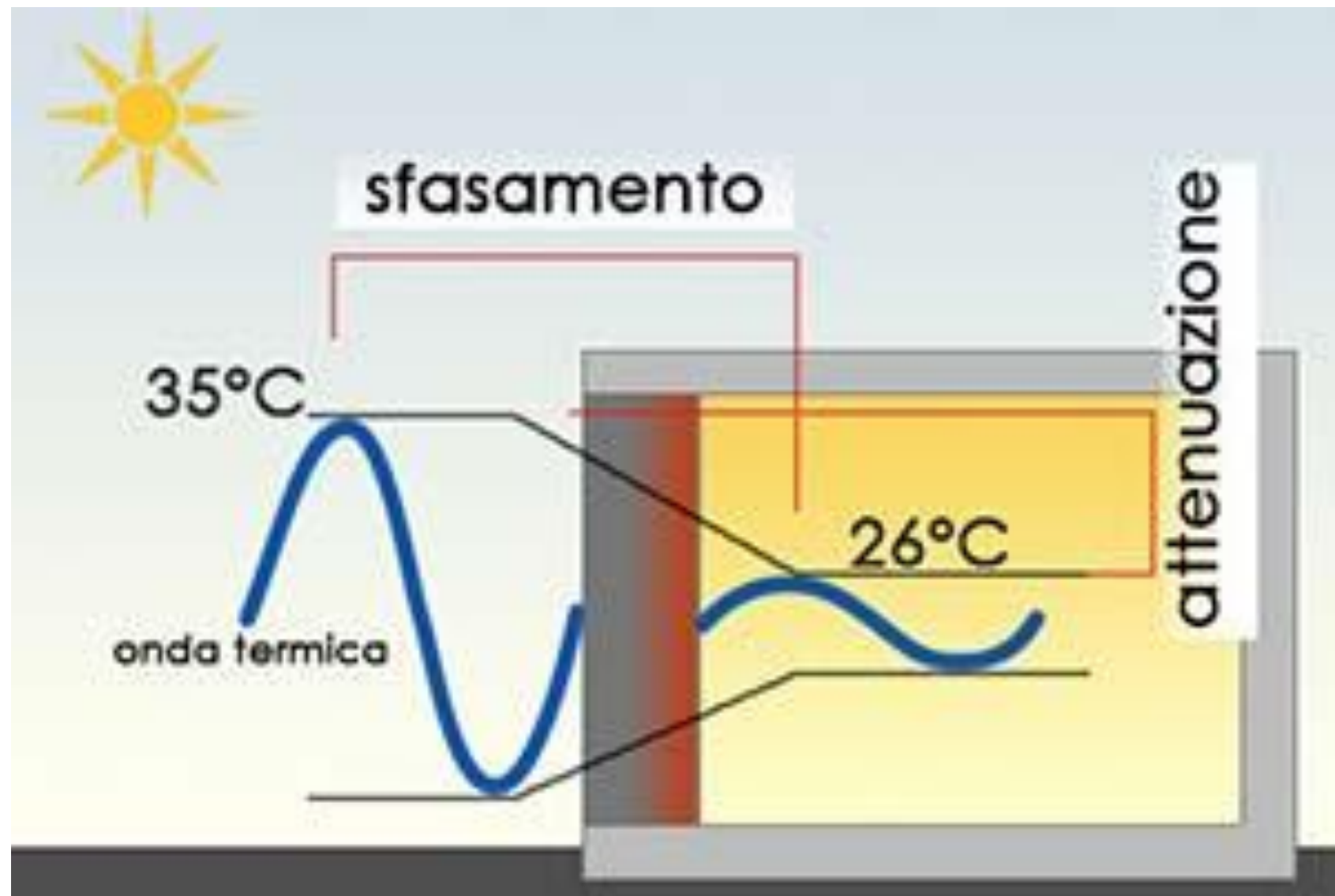
obiettivi

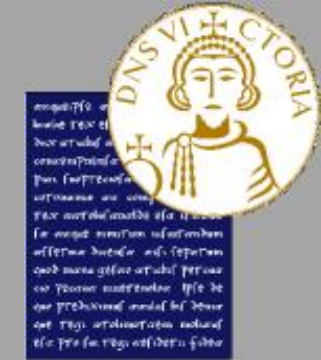
stato dell'arte

futuro

conclusioni

Phase
Change
Materials
(PCMs)





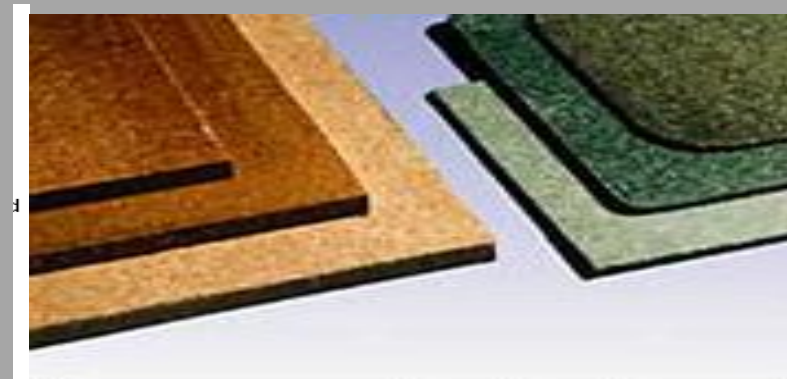
Phase Change Materials (PCMs)

I materiali a cambiamento di fase per l'edilizia (phase changing materials – PCMs) sono materiali accumulatori di calore latente, che sfruttano il fenomeno della transizione di fase per assorbire i flussi energetici entranti, immagazzinando un'elevata quantità di energia e mantenendo costante la propria temperatura

Questi sono caratterizzati dal fatto che, a pressione atmosferica, subiscono un cambiamento di fase in un range di temperature prossimo al valore della temperatura ambiente

Il principio di base è quella di sfruttare la loro notevole capacità di **accumulare calore** a temperature prossime al loro punto di fusione

Mentre il cambiamento di fase è in corso, il calore viene immagazzinato e rilasciato senza alcuna sensibile variazione di temperatura



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

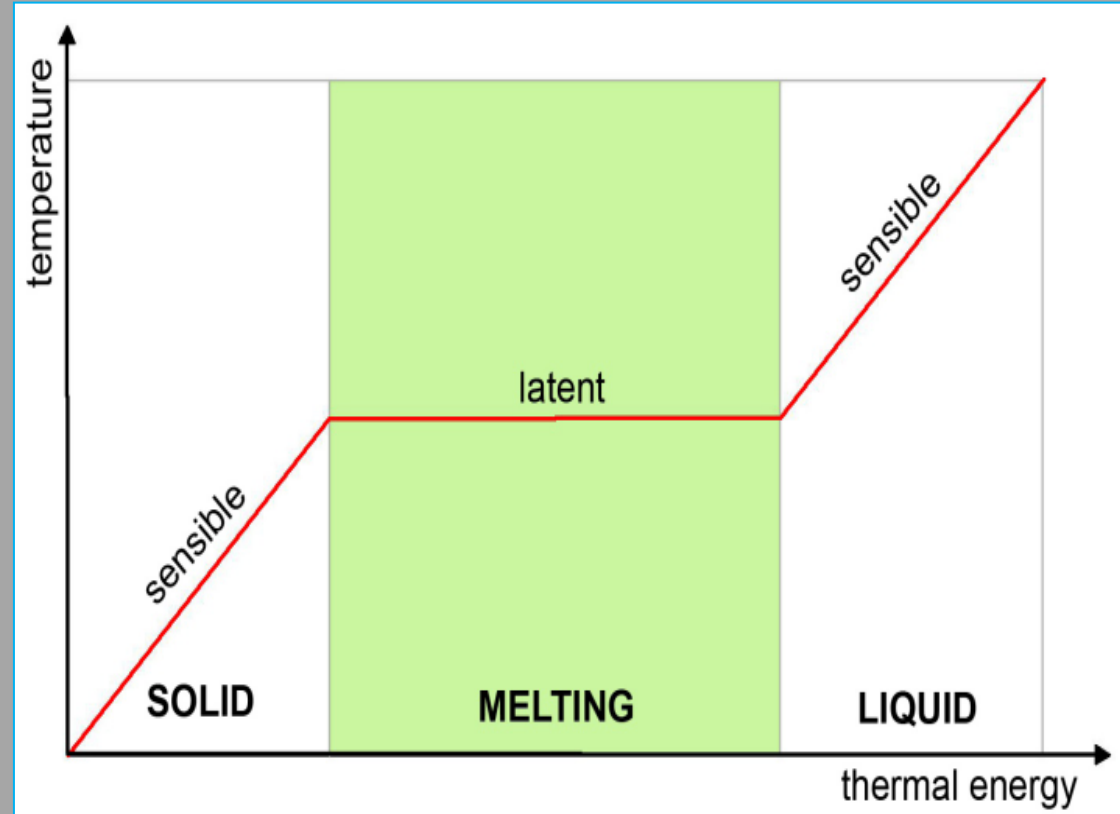


Phase Change Materials (PCMs)

I PCM sono solidi a temperatura ambiente ma quando questa sale e supera una certa soglia, che varia a seconda del materiale, essi si liquefanno accumulando calore (latente di **liquefazione**) che viene sottratto all'ambiente

Allo stesso modo, quando la temperatura scende, il materiale si solidifica e cede calore (latente di **solidificazione**)

Aumentano **INERZIA E CAPACITÀ TERMICA** dell'involucro edilizio



intro

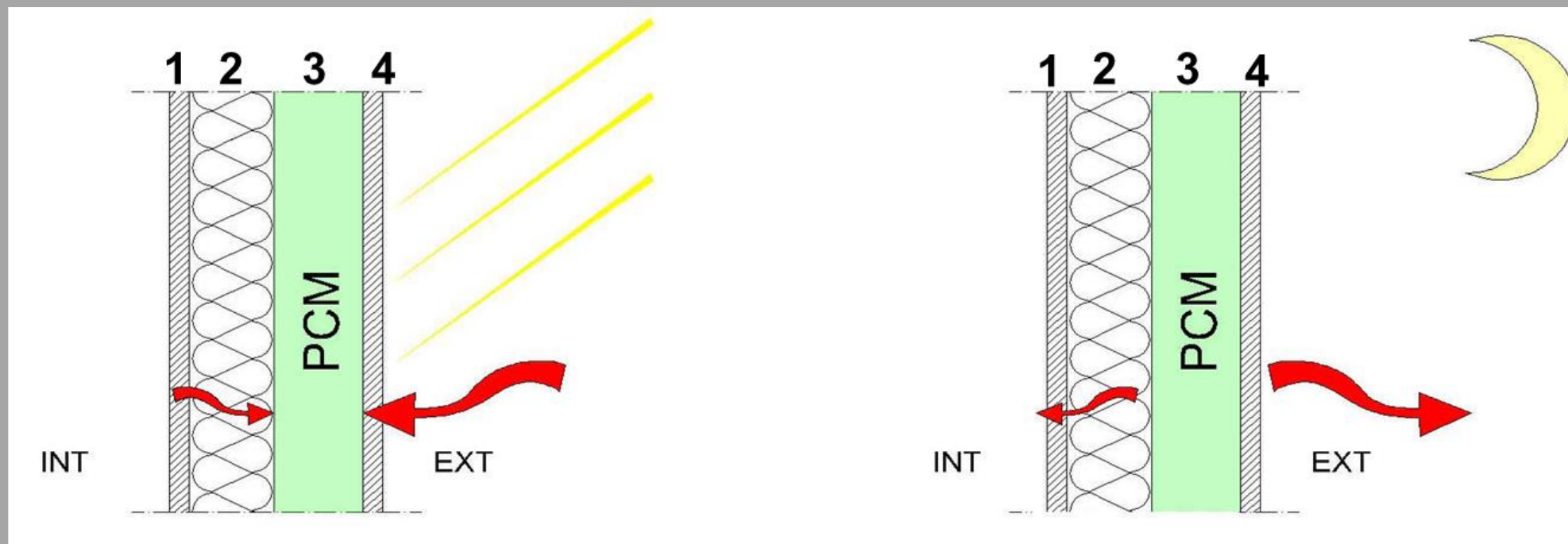
obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Phase Change Materials (PCMs)

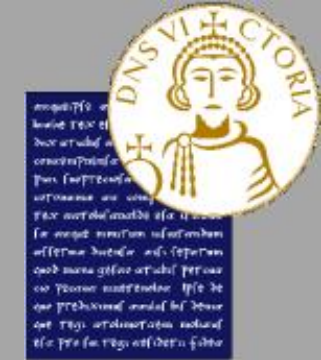


GIORNO:

Lo strato di PCM assorbe il flusso termico dovuto all'assorbimento della radiazione solare e alla differenza di temperatura dell'aria;

NOTTE:

la maggior parte dell'energia termica accumulata viene ceduta all'ambiente esterno.



intro

obiettivi

stato dell'arte

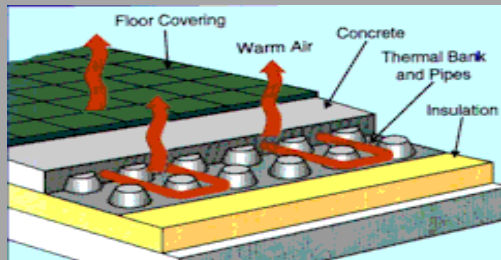
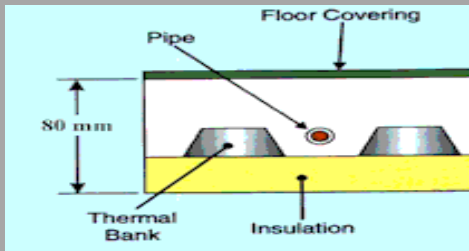
futuro

conclusioni

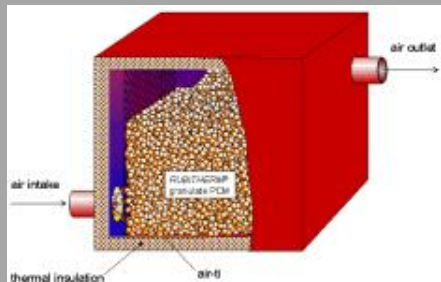
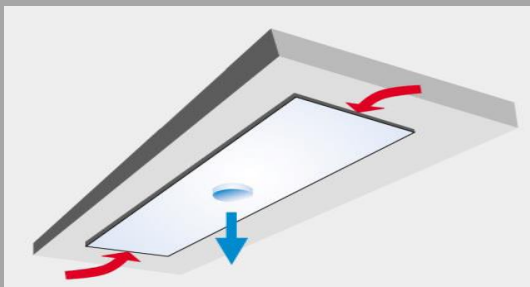


Phase Change Materials (PCMs)

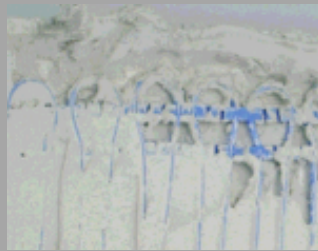
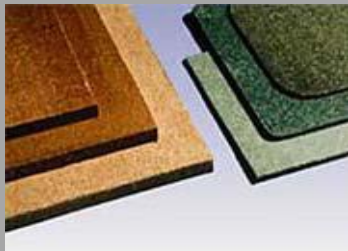
Sottopavimento



Scambiatori di calore



Murature



intro

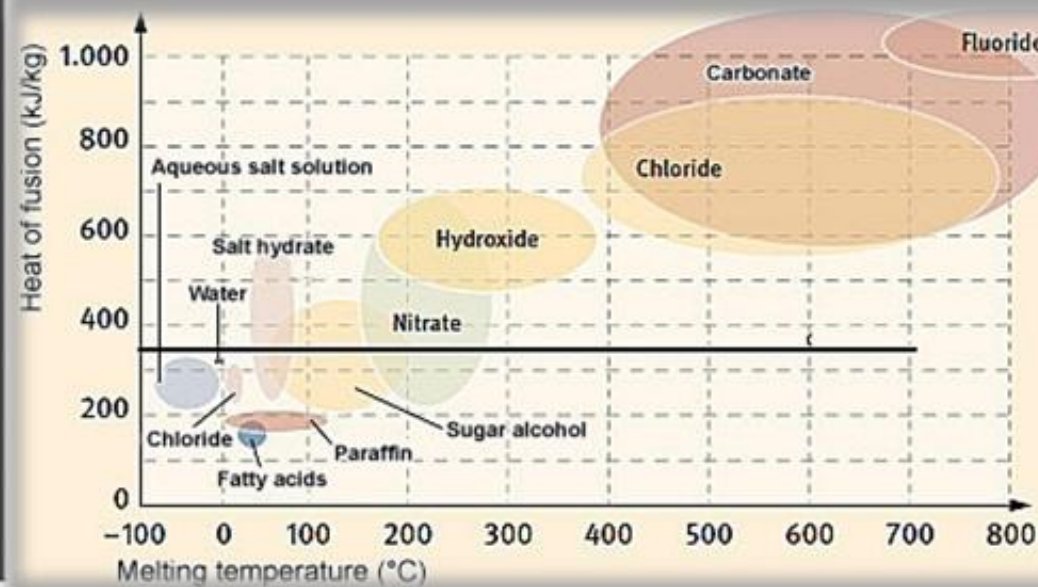
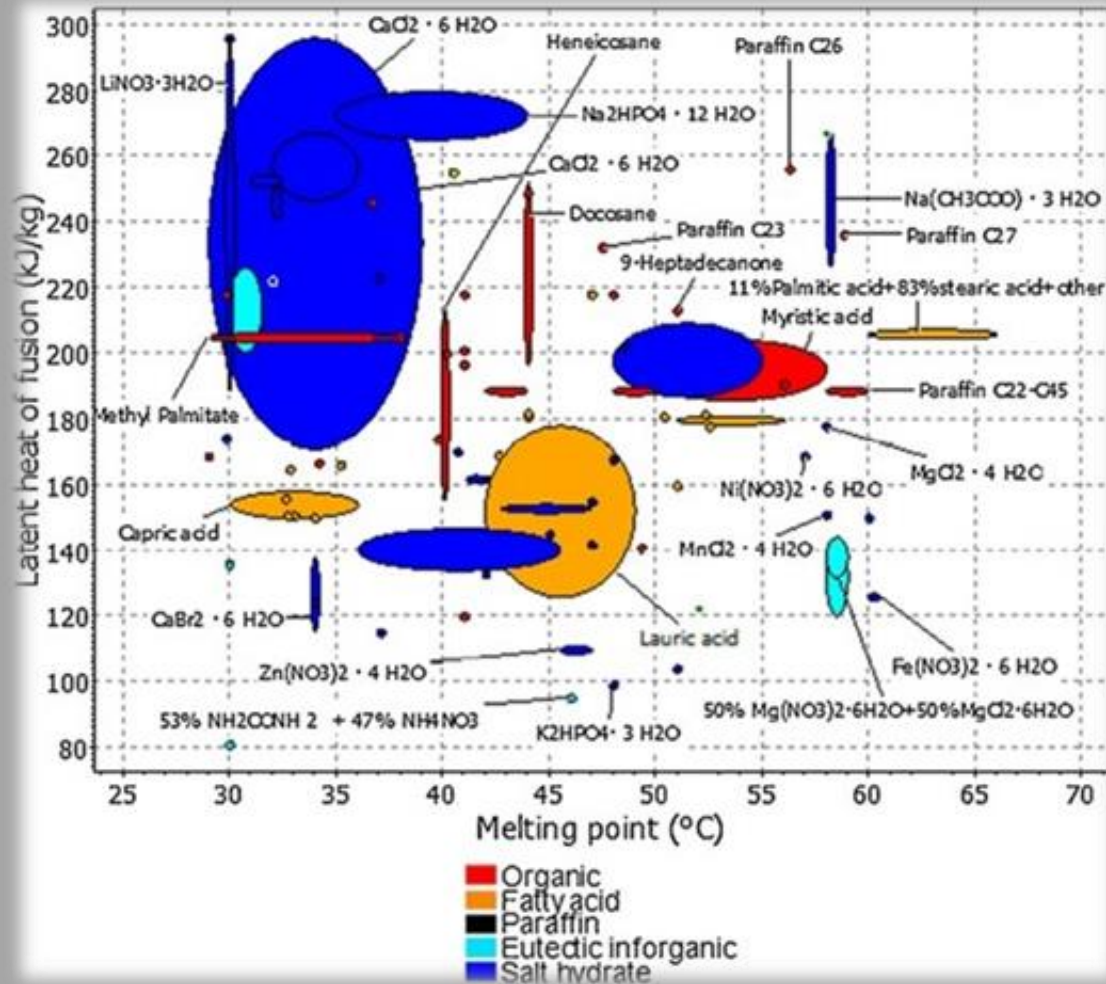
obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Phase Change Materials (PCMs)



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Phase Change Materials (PCMs)



PCMs	Type	Melting temperature (°C)	Heat of fusion (kJ/kg)	Specific Heat (kJ/kg K)	Thermal Conductivity (W/m K)
Paraffin C ₁₆ -C ₁₈	Organic	20-22	152	-	-
Paraffin C ₁₃ -C ₂₄	Organic	22-24	189	2.1	0.21
Paraffin C ₁₈	Organic	28	244	2.16	0.15
Butyl stearate	Organic	19	140	-	-
1-Dodecanol	Organic	26	200	-	-
n-Octadecane	Organic	28	200	-	-
Vinyl stearate	Organic	27-29	122	-	-
Dimethyl sabacate	Organic	21	120-135	-	-
Polyglycol E600	Organic	22	127.2	-	0.1897 (l)
45/55 capric + lauric acid	Organic eutectic	21	143	-	-
Propyl palmitate	Organic	19	186	-	-
Octadecyl 3-mercaptopropylate	Organic	21	143	-	-
KF·4H ₂ O	Hydrate salts	18.5	231	1.84 (s) 2.39 (l)	-
Mn (NO ₃)·6H ₂ O	Hydrate salts	25.8	125.9	-	-
CaCl ₂ ·6H ₂ O	Hydrate salts	29.7	171	1.45 (s)	-
CaCl ₂ · 6H ₂ O + Nucleat + MgCl ₂ · 6H ₂ O(2:1)	Inorganic eutectics	25	127	-	-
48% CaCl ₂ + 4.3% NaCl + 0.4% KCl + 47.3% H ₂ O	Inorganic eutectics	26.8	188	-	-

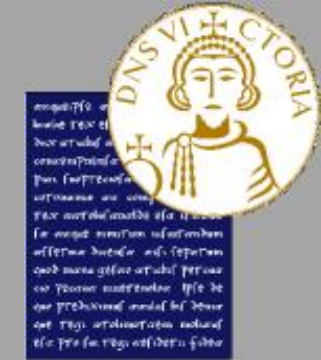
intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Phase Change Materials (PCMs)

In comparto edilizio i PCM possono venire utilizzati:

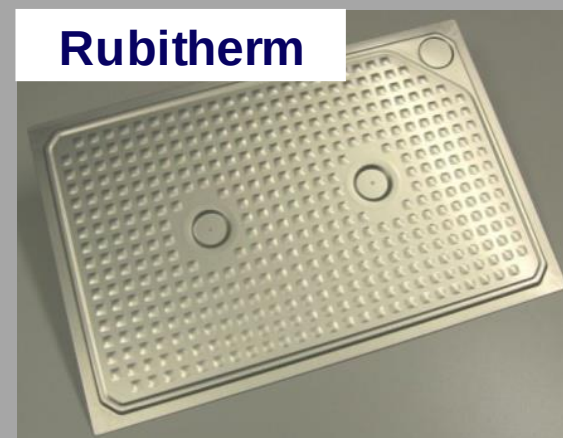
Metodi di incorporazione:

- Metodi tradizionali
- Micro-incapsulamento
- PCM stabilizzati



GlassX

Difficilmente questi materiali vengono usati “sciolti”, ma il più delle volte vengono **incapsulati in contenitori oppure con tecnologie diverse**, a seconda del tipo di utilizzo che i materiali a cambiamento di fase sono destinati ad avere



Rubitherm

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



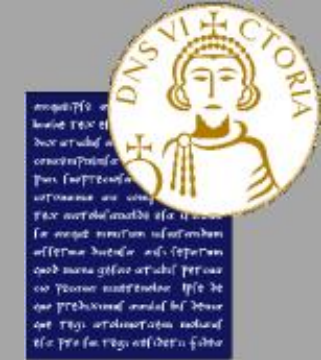
Phase Change Materials (PCMs)

Tecniche tradizionali

Incorporazione diretta: è il più semplice metodo di incorporazione. Il PCM liquido o in polvere viene direttamente inglobato nei materiali costituenti l'involucro. Non c'è bisogno di altri elementi di supporto ma c'è un forte rischio di incompatibilità con i materiali da costruzione

Immersione: è la tecnica per cui il gesso, i mattoni o il cemento sono immersi nel PCM liquido in modo da assorbirlo per capillarità. Il maggiore problema è la compatibilità a lungo termine

Macro-incapsulamento: il PCM è incapsulato in contenitori come tubi, pannelli etc. Si evita il problema di compatibilità con i materiali da costruzione ma ha il problema della tendenza alla solidificazione ai bordi e una bassa conducibilità termica



intro

obiettivi

stato dell'arte

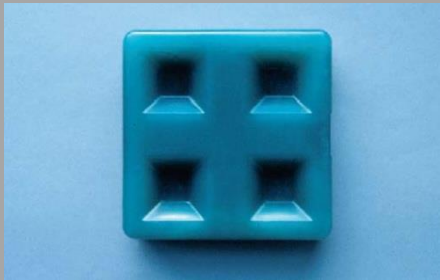
futuro

conclusioni



Phase Change Materials (PCMs)

Tecnologie di contenimento dei PCM per installazione a parete



Plastici

Polimeri



Metallici

Acciaio

Alluminio



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Phase Change Materials (PCMs)

Micro-incapsulamento

Consiste nel racchiudere il PCM in una capsula di polimero di dimensioni micro. Le microcapsule formano una polvere, che viene poi mescolata durante il processo di produzione del cemento, di un polimero o del gesso. Particolare attenzione deve essere posta nella scelta del materiale della capsula per evitare reazioni chimiche tra le capsule e il materiale da costruzione

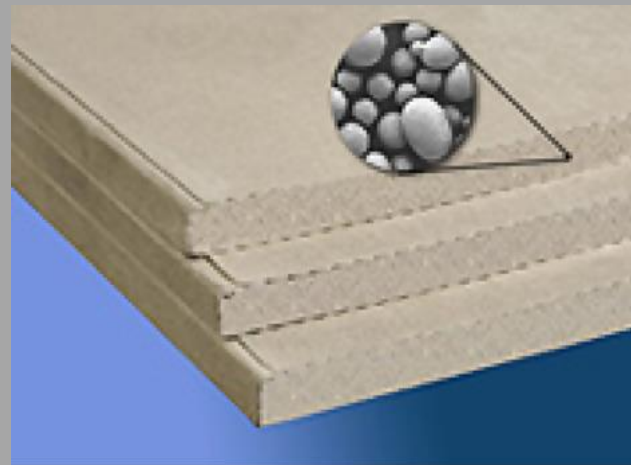
intro

obiettivi

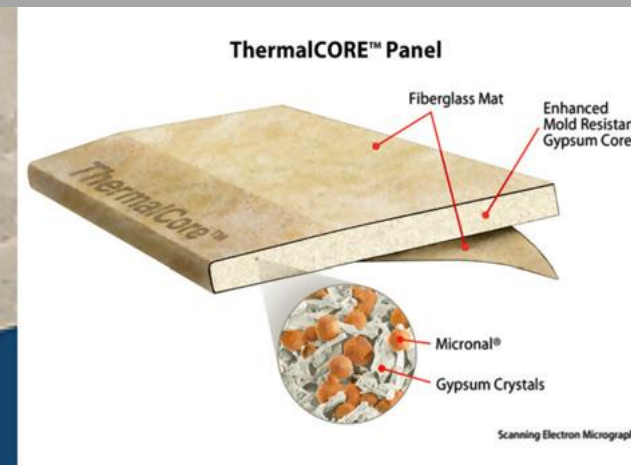
stato dell'arte

futuro

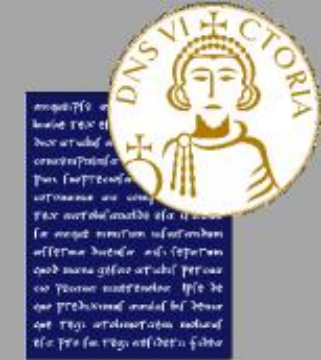
conclusioni



Intonaco di gesso con PCM



thermalCORE phase-change drywall



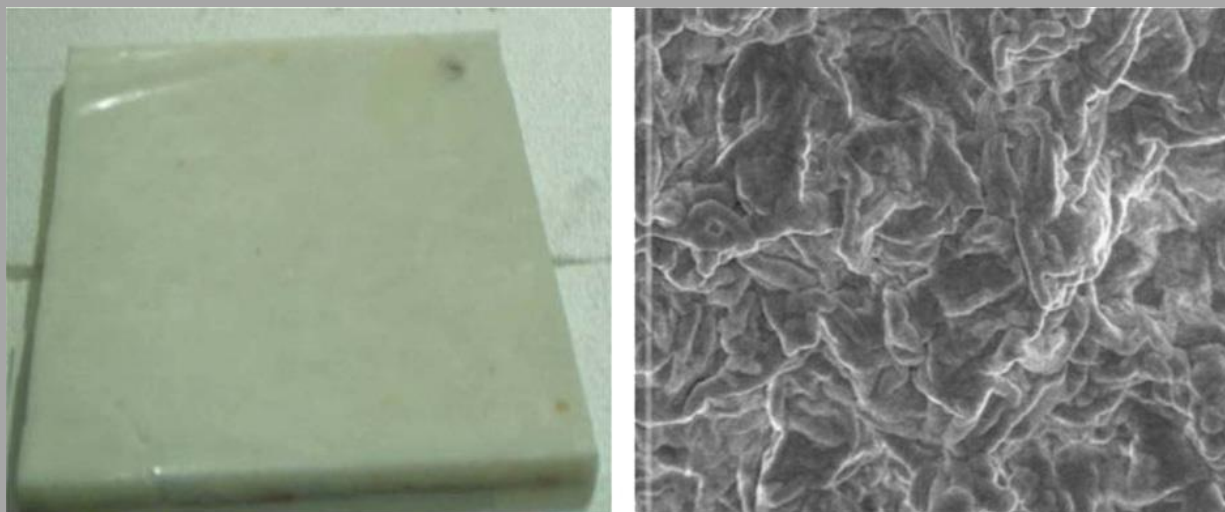
Phase Change Materials (PCMs)

PCM stabilizzato

Consiste nello stabilizzare una miscela liquida di PCM in un materiale di supporto.

La miscela viene quindi raffreddata sotto della temperatura di transizione vetrosa del materiale di supporto, finché diventa solida

Una scelta appropriata del materiale di supporto permette proporzioni in massa di PCM fino al **80%**. I materiali più comuni di supporto in letteratura sono polietilene ad alta densità e stirene-butadiene-stirene



La conducibilità termica non è molto elevata per cui si stanno valutando opportuni additivi e al momento il più efficiente è la grafite

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

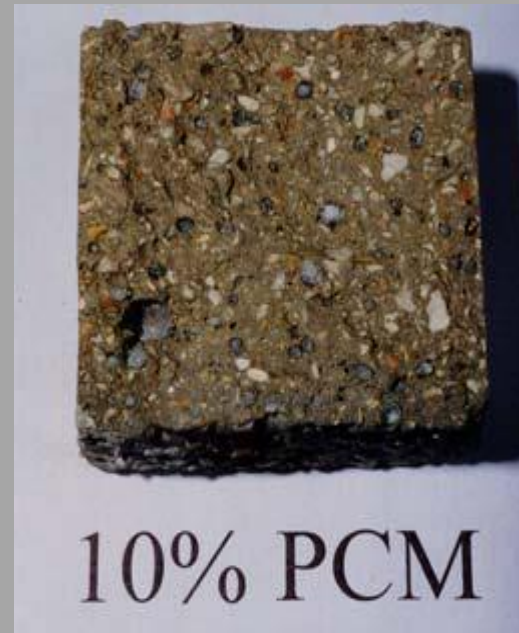


Phase Change Materials (PCMs)

Matrici di calcestruzzo contenete paraffina



0% PCM



10% PCM



20% PCM

- ottimo comportamento energetico
- difficoltà di omogeneizzare il materiale durante la lavorazione
- perdita di resistenza meccanica all'aumentare della concentrazione di PCM
- minima resistenza al fuoco

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

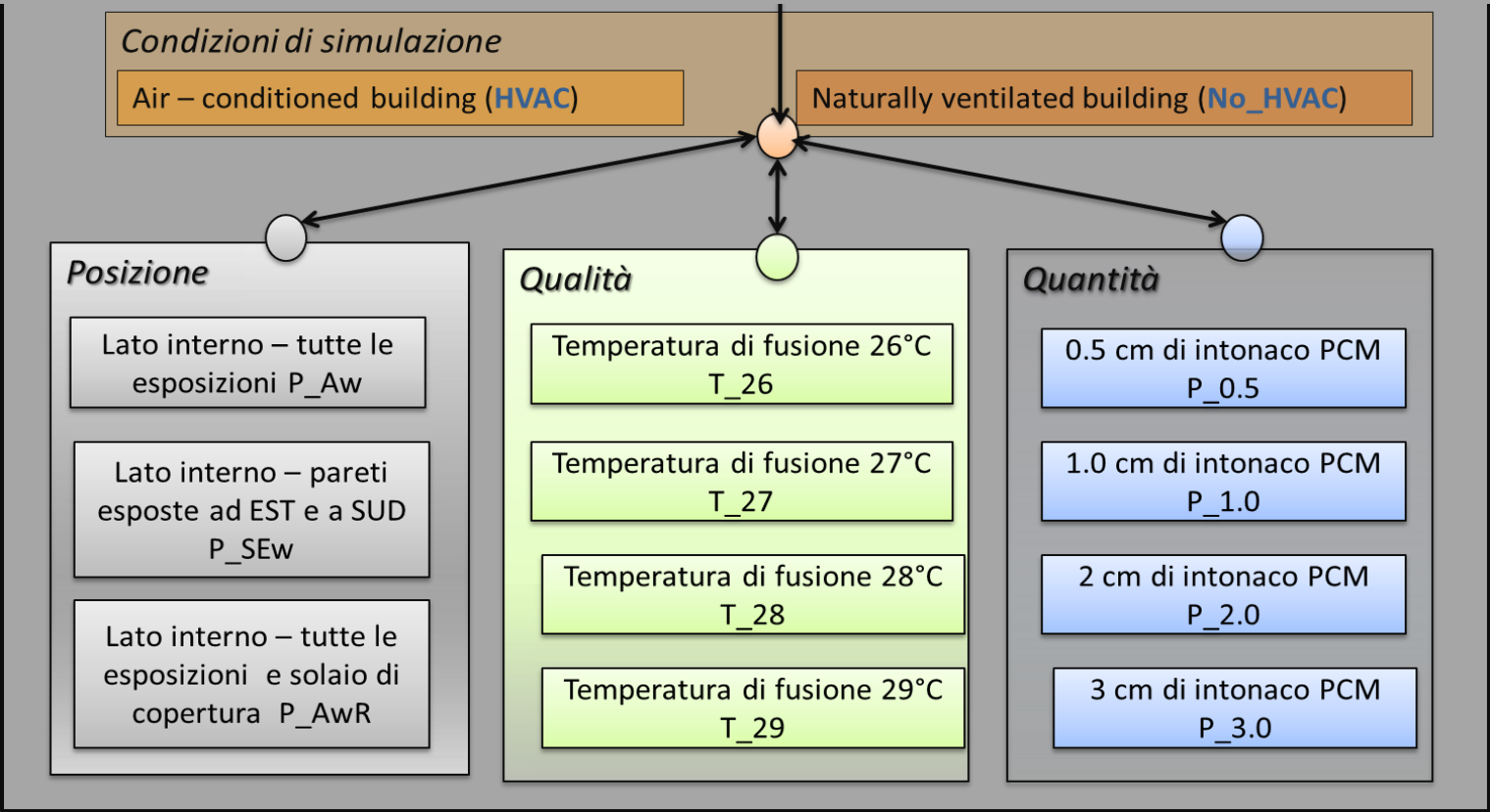
conclusioni



Phase Change Materials (PCMs)

Edificio uffici, Napoli

Caso studio



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Phase Change Materials (PCMs)

Scelta la configurazione ottimale (P_3.0 and P_Aw) , sono stati calcolati i risparmi conseguibili per ciascun mese della stagione considerata al variare della temperatura di fusione.

Napoli

Mese	T_26		T_27		T_28		T_29	
	ΔEP_C	$\Delta E_{C,\%}$	ΔEP_C	$\Delta E_{C,\%}$	ΔEP_C	$\Delta E_{C,\%}$	ΔEP_C	$\Delta E_{C,\%}$
	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]
Maggio	28.2	0.8%	63.1	2.0%	39.2	1.3%	136.8	4.4%
Giugno	142.1	4.2%	144.6	4.2%	72.4	2.1%	112.8	3.3%
Luglio	61.8	1.5%	135.9	3.3%	128.0	3.1%	78.5	1.9%
Agosto	22.2	0.5%	50.0	1.1%	31.0	0.7%	69.0	1.5%
Settembre	22.2	0.7%	39.1	1.3%	0.9	0.0%	112.1	3.8%
Totale	244.0	1.3%	432.7	2.4%	271.5	1.5%	509.2	2.8%

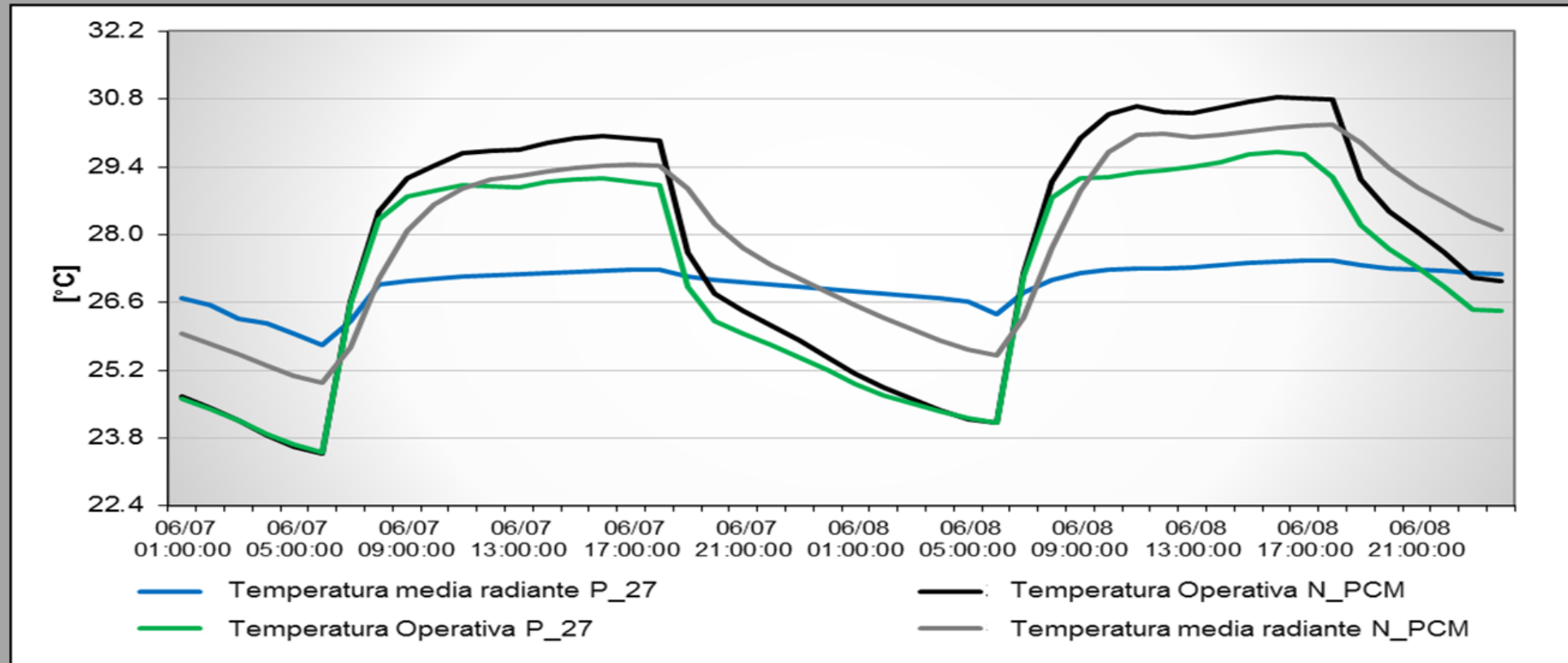
intro
obiettivi
stato dell'arte
futuro
conclusioni

Phase Change Materials (PCMs)

Sono riportati gli andamenti orari della temperatura sulla parete interne con esposizione a sud, quando l'impianto è spento

$T_f=27^{\circ}\text{C}$

Napoli



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Cool roof

Elevata **riflettanza solare** >0.9

Elevata **emissività infrarosso** >0.9

Riduco l' «urban heat island effect»



intro

obiettivi

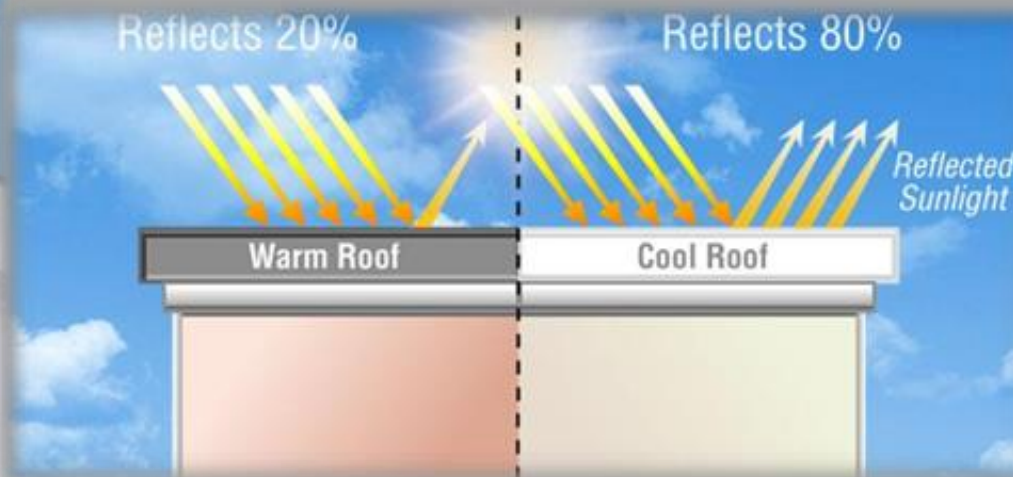
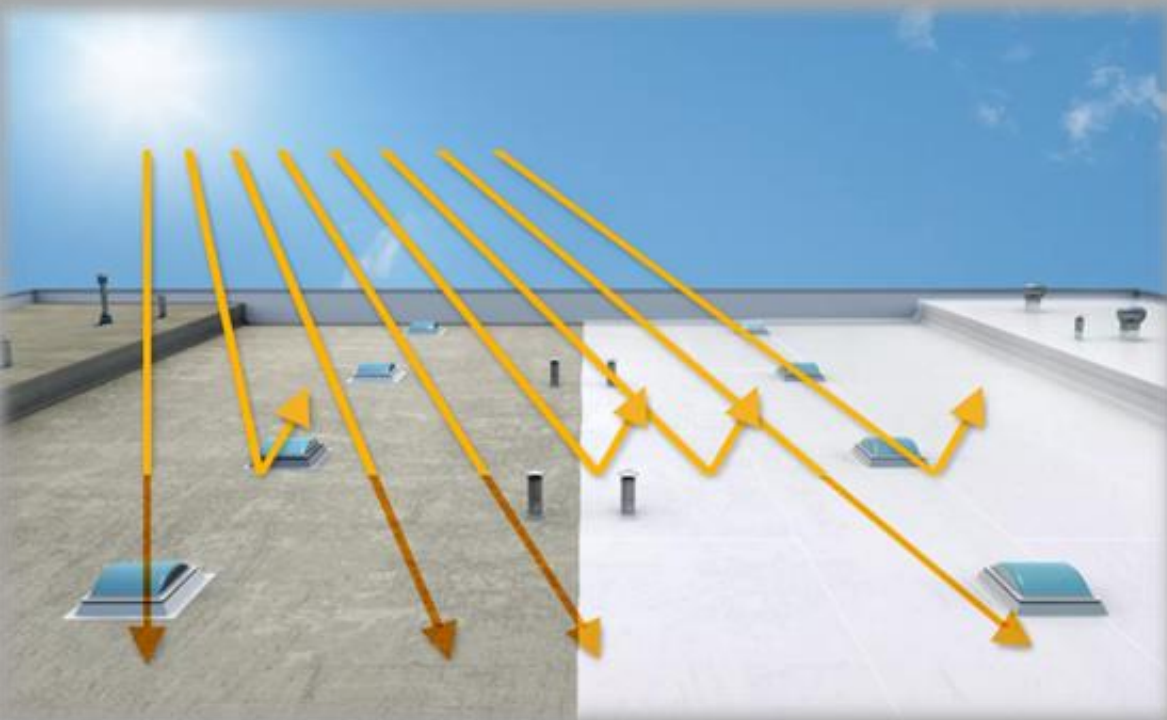
stato dell'arte

futuro

conclusioni



Cool roof dinamici



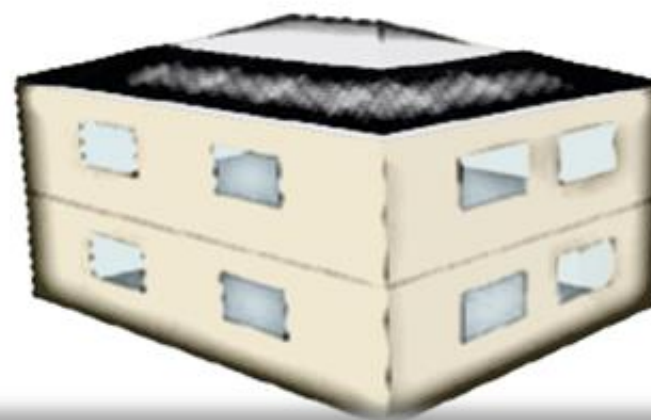
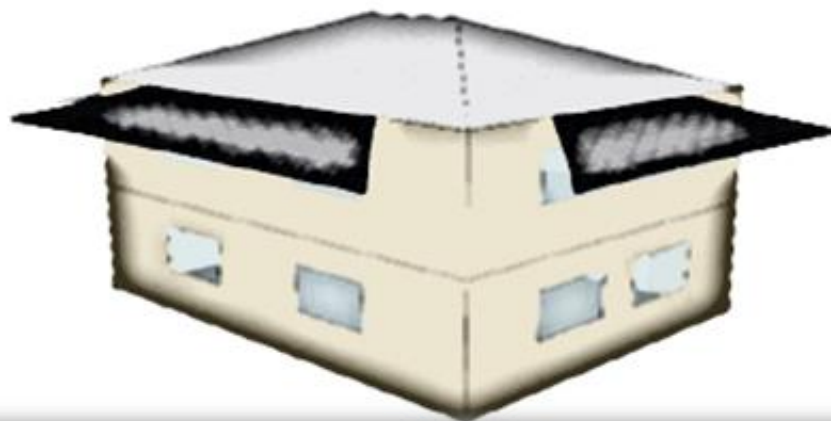
intro

obiettivi

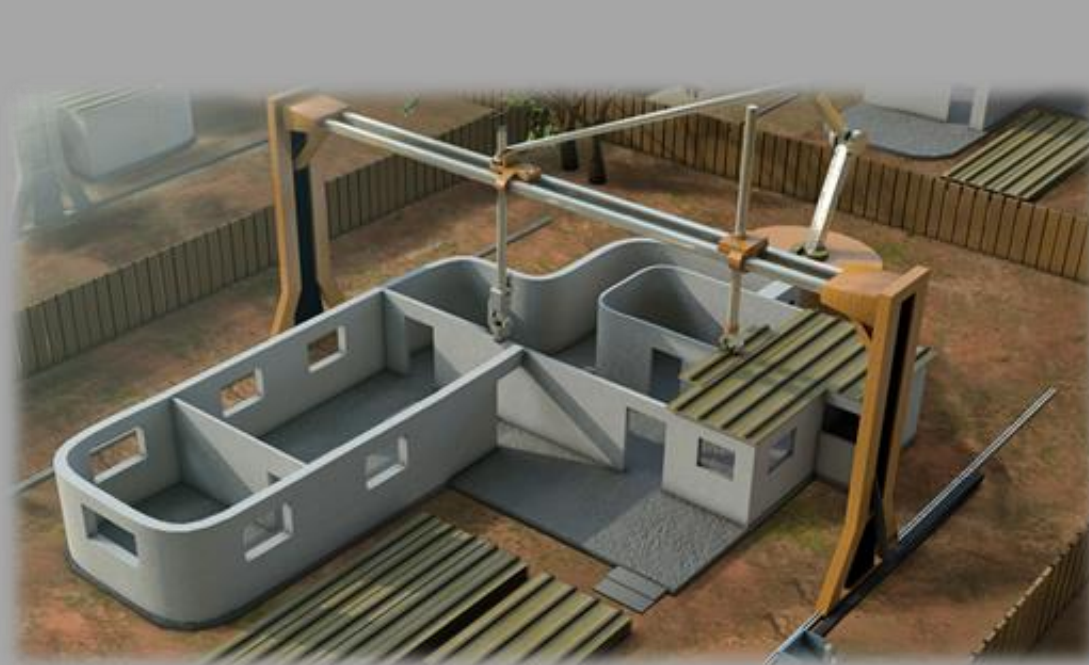
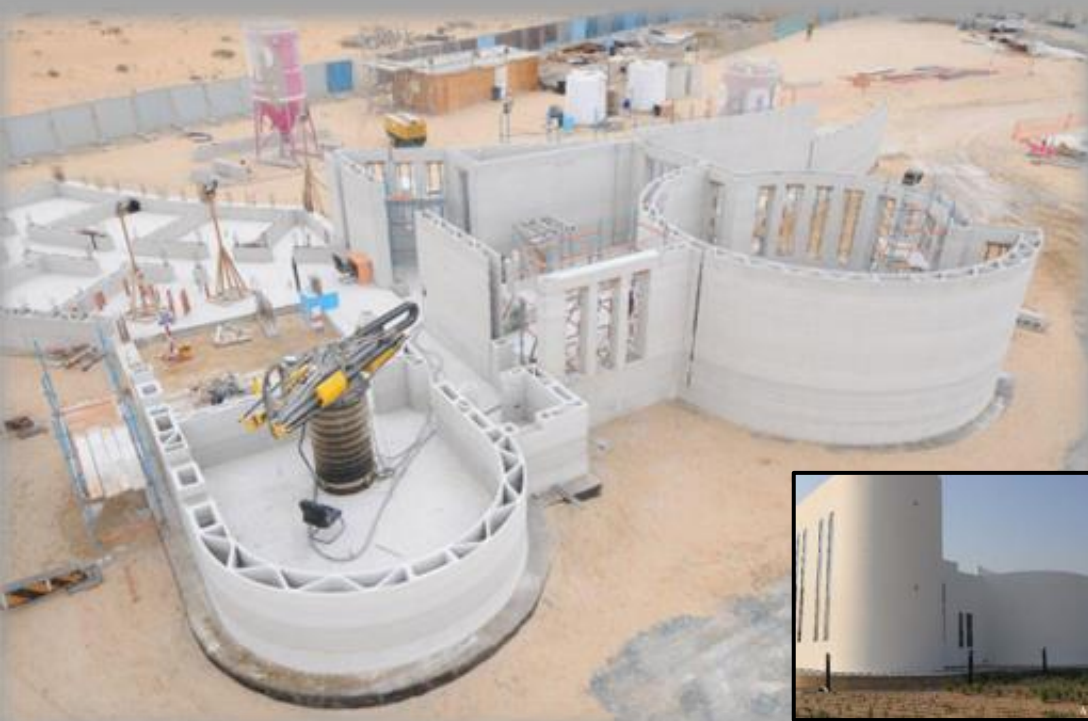
stato dell'arte

futuro

conclusioni



Stampa 3d e termoisolanti



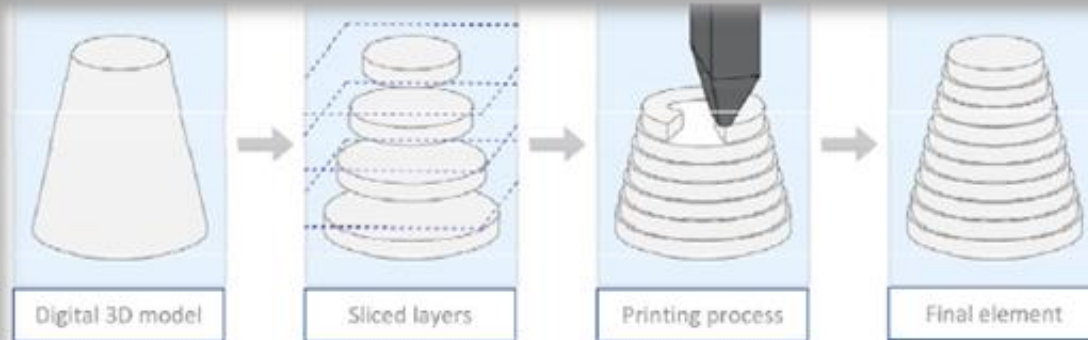
intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

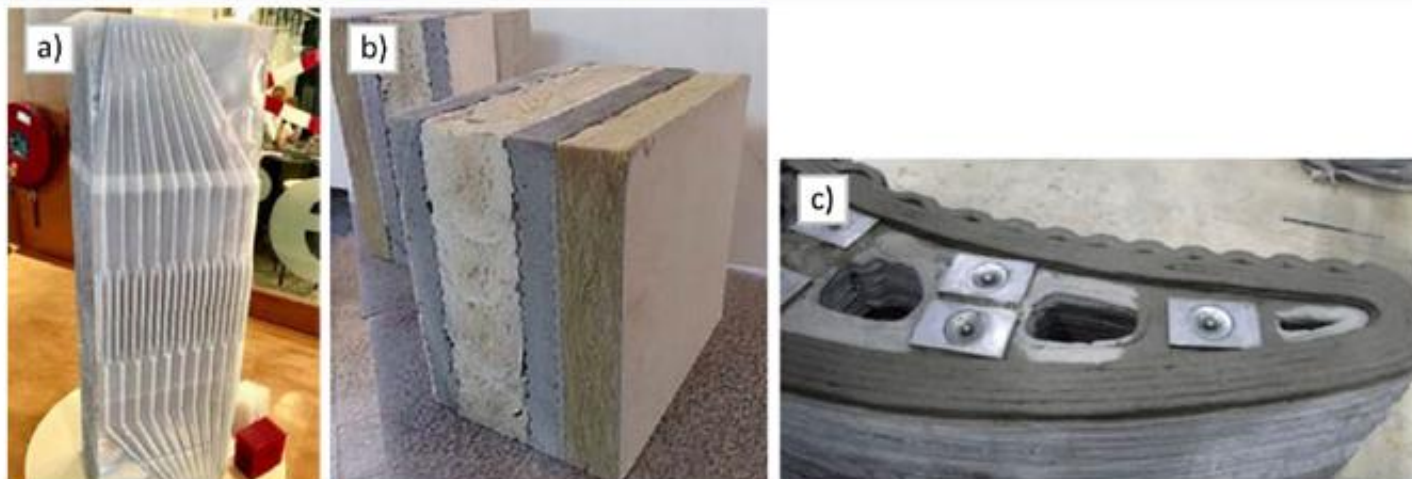


Rif. [4]

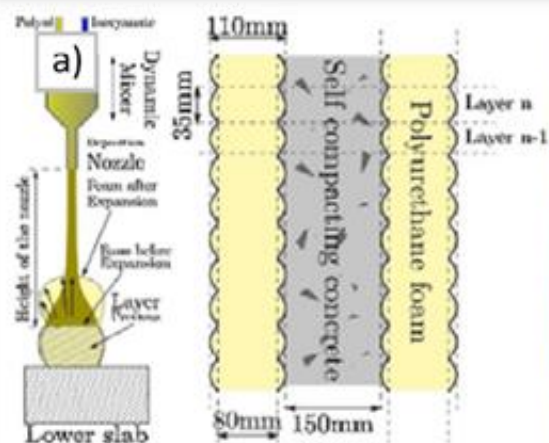


Stampa 3d e termoisolanti

Rif. [4]



Diverse 3D printing applications: a) final full-size prototype of the Spong3D research project [115], b) cross-section example of a printed wall insulated with mineral wool and polyurethane foam [117] and c) vertical cavities inside a printed structure [45].



Rif. [4]

Yhnova™ house: a) wall cross-section, b) 3D printed without coating and c) finished in its environment [28].

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

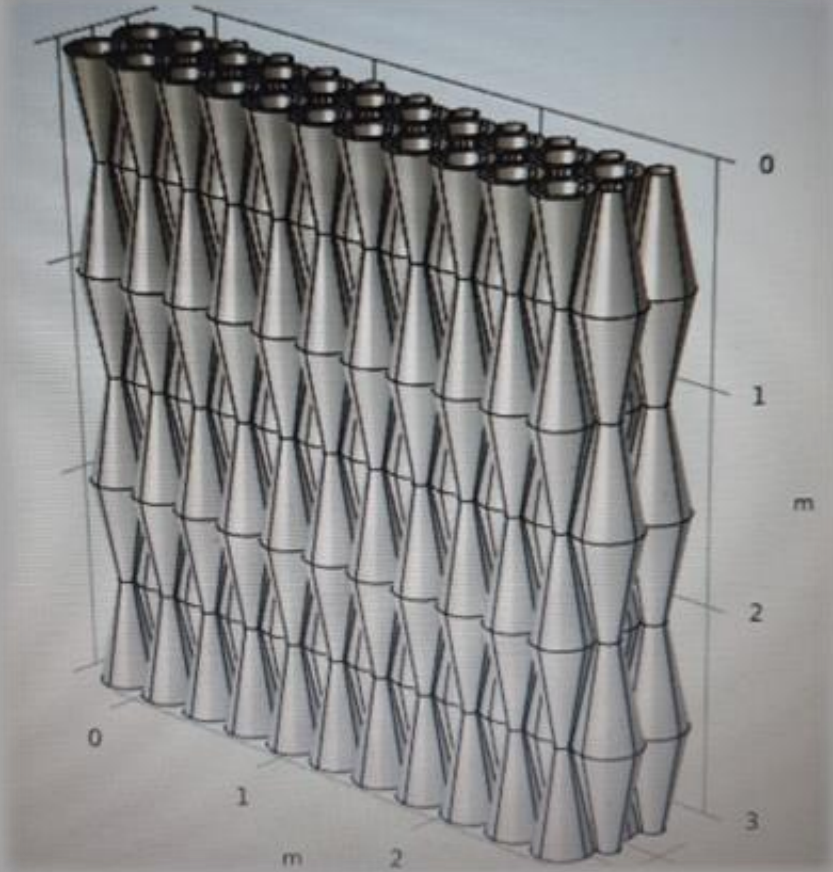
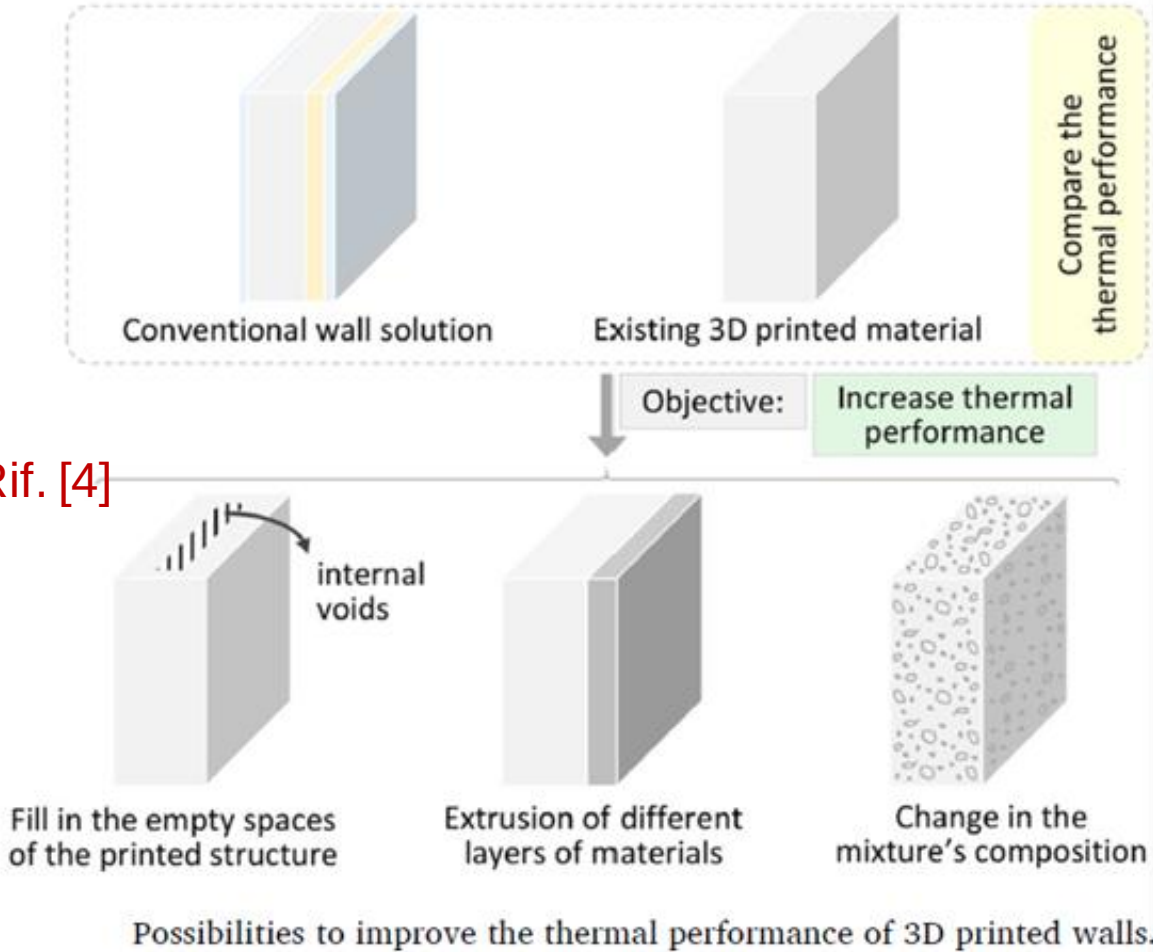
conclusioni



Stampa 3d e termoisolanti



Rif. [4]



intro

obiettivi

stato dell'arte

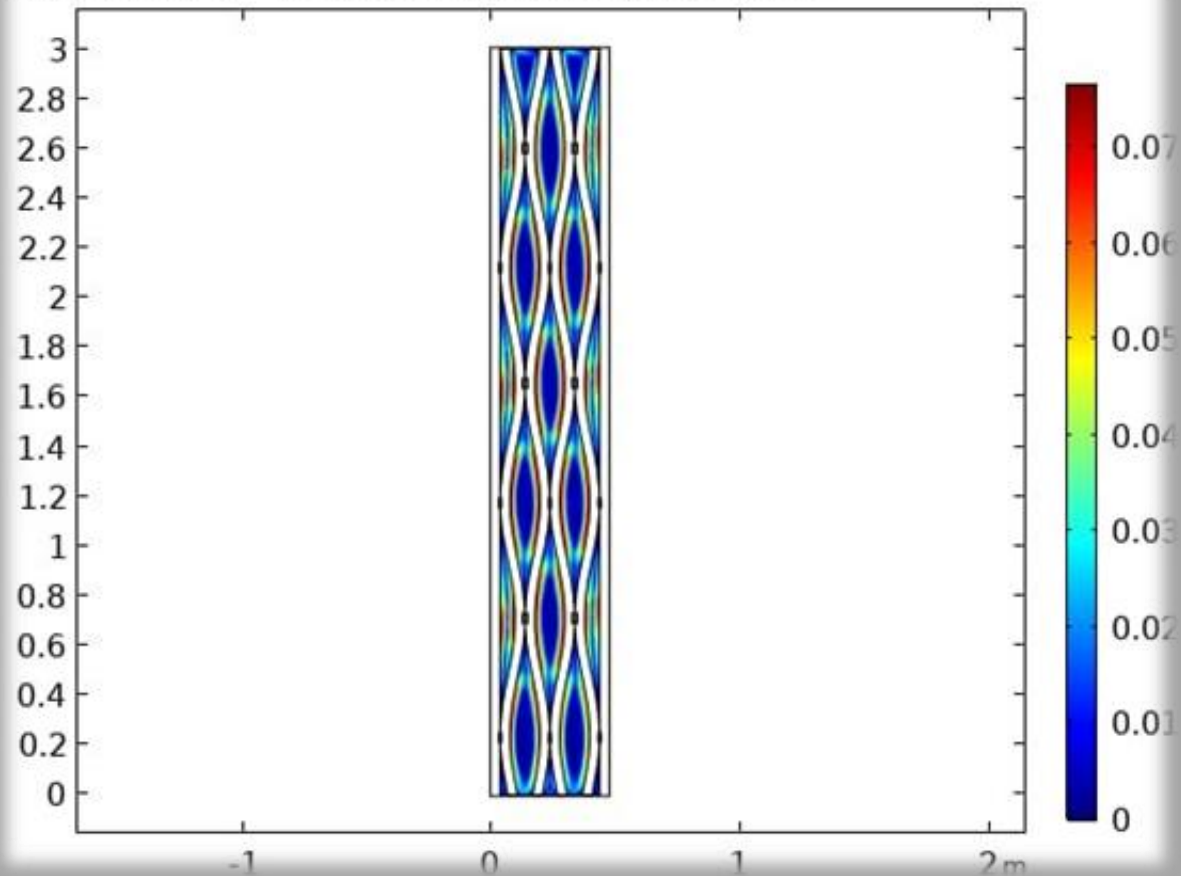
futuro

conclusioni

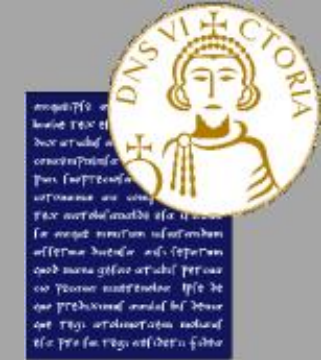
Stampa 3d e termoisolanti

Ottimizzazione termo-fluidodinamica

DeltaT(8)=18 K Surface: Velocity magnitude (m/s)



Spray basso-emissivi



intro

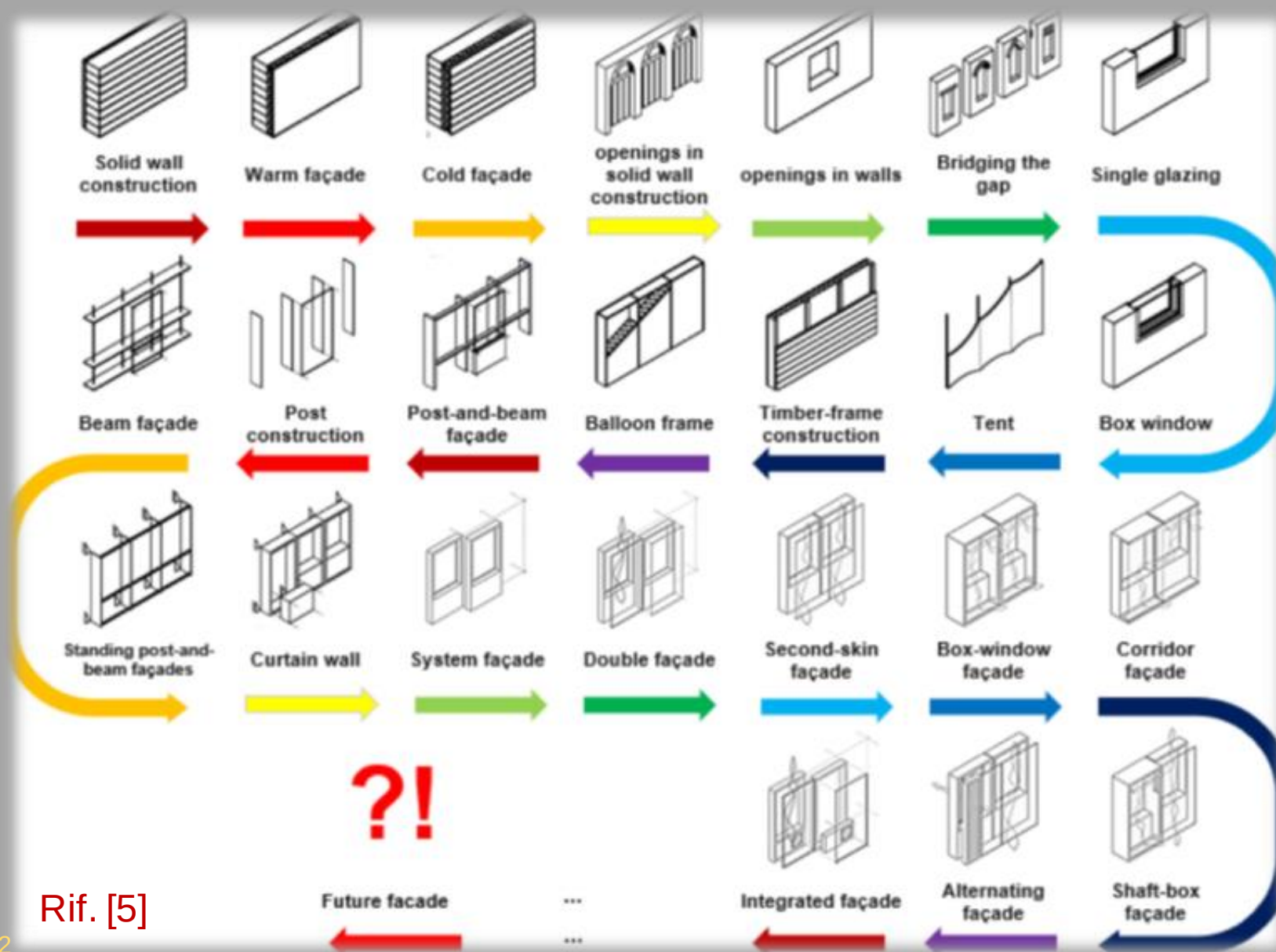
obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive



Rif. [5]

intro

obiettivi

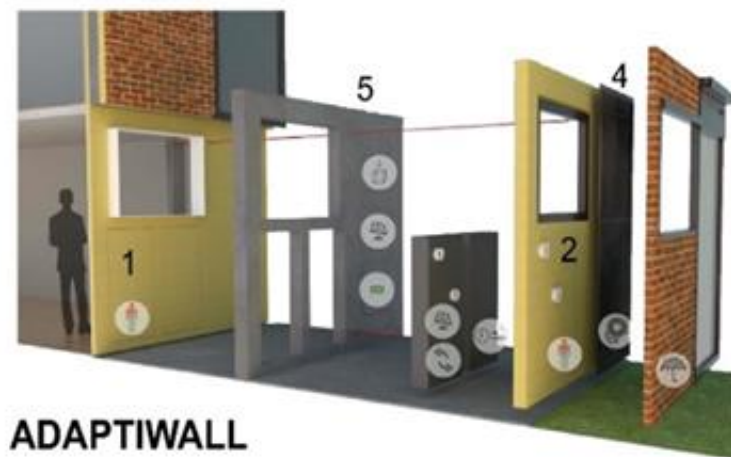
stato dell'arte

futuro

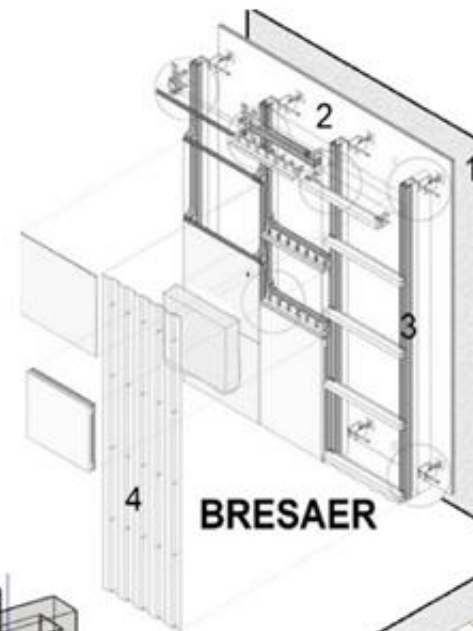
conclusioni

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Rif. [5]

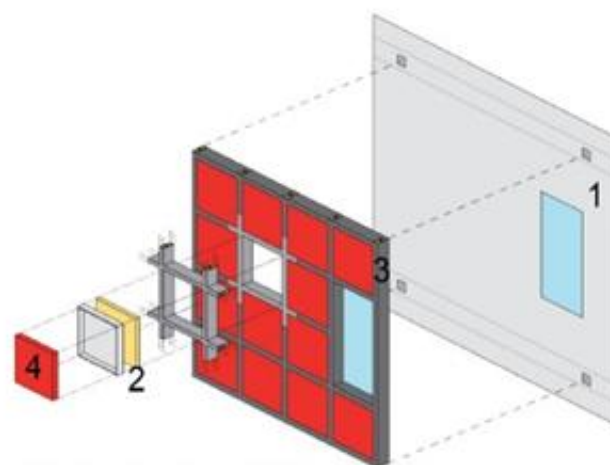


ADAPTIWALL

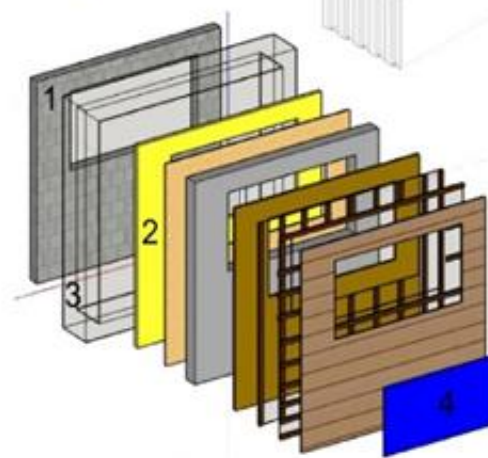


BRESAER

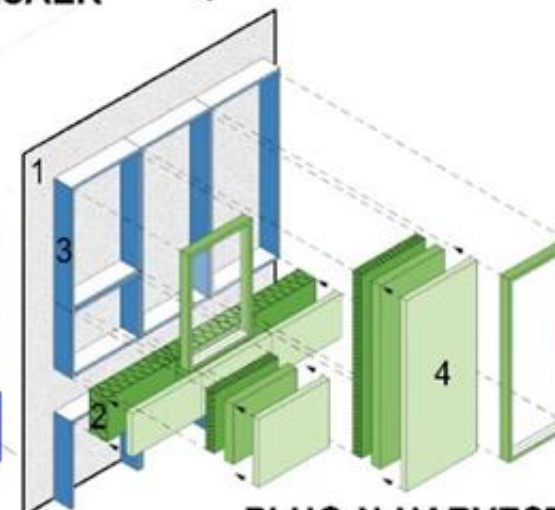
- 1 - Existing facade
- 2 - Insulation
- 3 - Frame
- 4 - Renewable
- 5 - Structure layer



MEEFS RETROFITTING



4RinEU



PLUG-N-HARVEST

intro

obiettivi

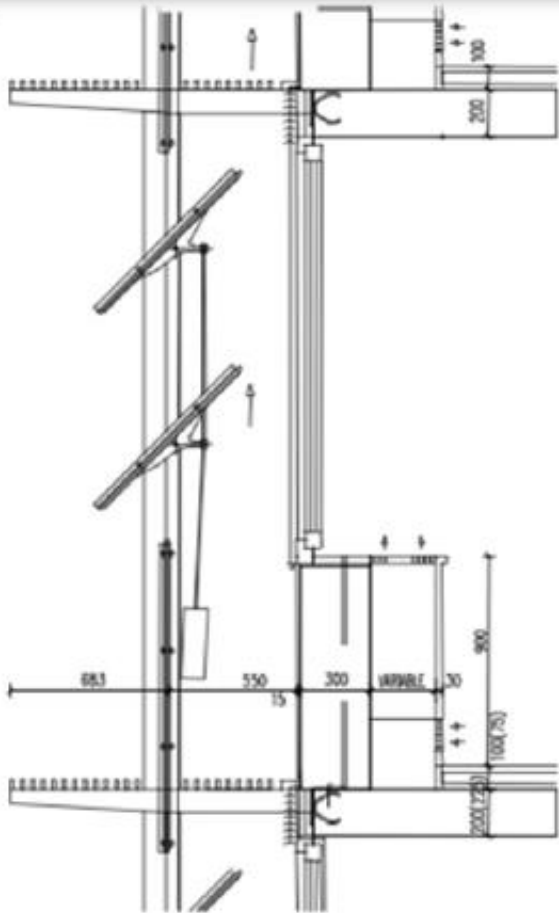
stato dell'arte

futuro

conclusioni

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Facciate passive: facciate ventilate, Trombe wall, che assicurano risparmi energetici senza componenti «intelligenti»



Example of passive façade: The Moravian Library in Brno (Czech Republic) [77].

Rif. [6]

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Facciate attive: l'involucro si adatta per ottenere risparmi energetici senza interazioni degli occupanti:

- (a) migliaia di pannelli di alluminio che vibrano con il vento per migliorare la qualità visiva
- (b) pannelli in *ethylene tetrafluoroethylene (ETFE)* air cushions che rispondono alla radiazione solare attraverso inflazione/deflazione



Rif. [6]

Examples of active facades: (Left) ARTICULATED CLOUD [75] in Pittsburgh (USA), (Right) ICT-MEDIA in Barcelona (Spain) [76].

intro

obiettivi

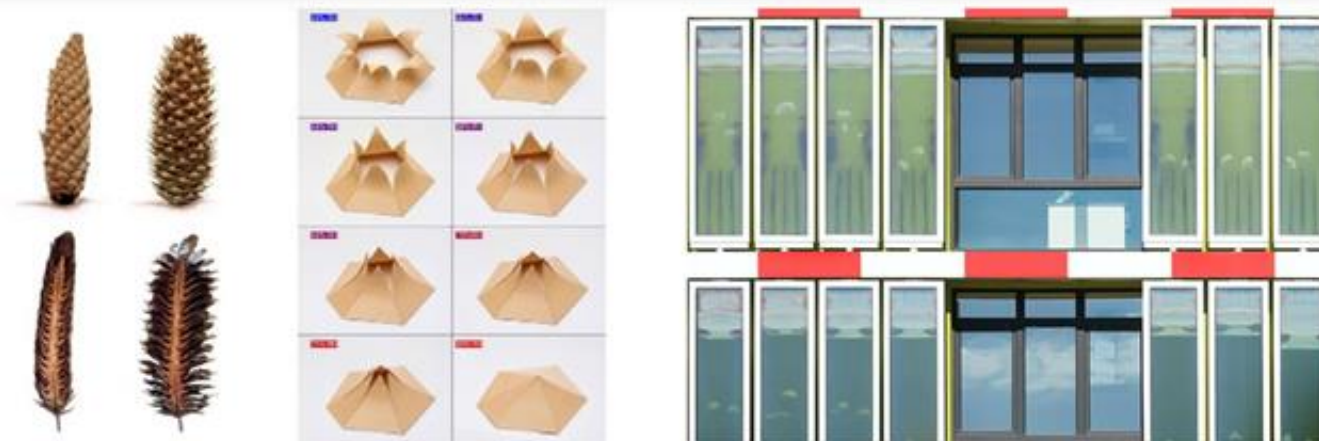
stato dell'arte

futuro

conclusioni

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Facciate biometriche:
copiano il
comportamento delle
piante e della pelle
umana in risposta alla
radiazione solare (a),
utilizzano accumulo di
energia in sistemi
biologici (alghe) per
rilasciarla quando
necessario (b)



Examples of biomimetic facades: (Left) Hygro-Skin Pavilion in Paris (France) [78], (Right) The BIQ House in Hamburg (Germany) [79].



Examples of kinetic facades [27]: (Left) Helio Trace in New York (USA), (Right) Arab World Institute in Paris (France), (Middle) Al-Bahar Towers in Abu Dhabi (UAE)

Facciate cinetiche:
pannelli che cambiano
posizione (traslazione,
rotazione) in base alla
radiazione solare

Rif. [6]

intro

obiettivi

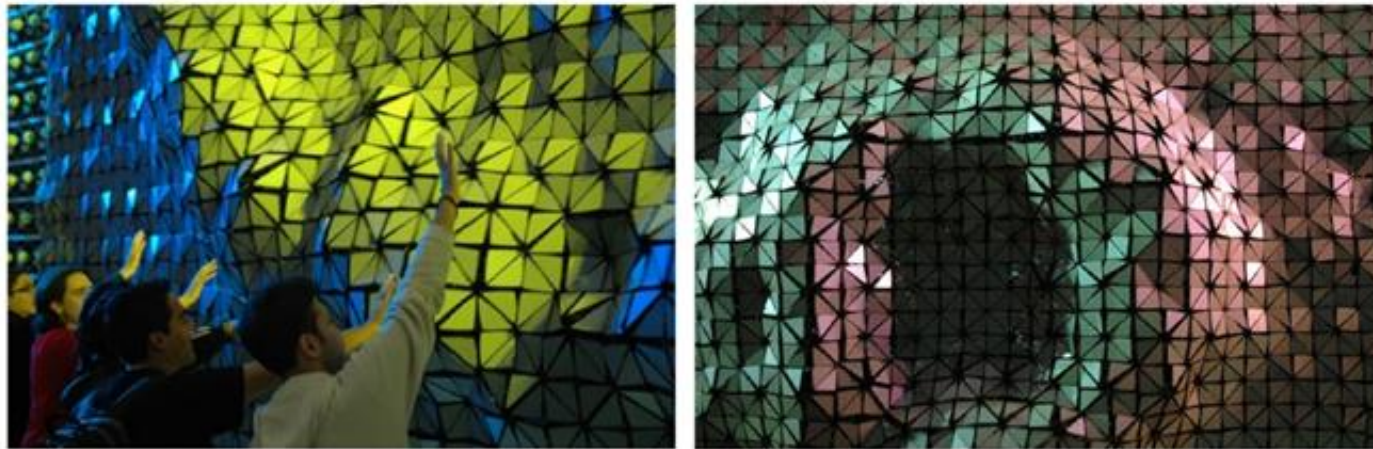
stato dell'arte

futuro

conclusioni

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Facciate interattive: si modificano in base all'interazione con l'utente (non sempre per motivi «energetici»)



Example of interactive façade [65]: HypoSurface, National Museum of Energy (Spain).

Facciate mobili: si modificano in base alle condizioni ambientali, e.g., per ottimizzare lo sfruttamento della radiazione solare, specialmente in combinazione ad impianti fotovoltaici



Examples of movable façades: (Left) House of Natural Resources in Zurich (Switzerland) [87], (Right) EWE Arena in Oldenburg (Germany) [74].

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

Rif. [6]

Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Facciate intelligenti: combinano controllo degli utenti e automatico, attraverso tecniche di Intelligenza Artificiale (Building Automation Systems, sensori, attuatori, etc.) per ottimizzare **apporti solari** e **ventilazione**



Example of intelligent façade [60]: GSW Headquarters in Berlin (Germany).

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni

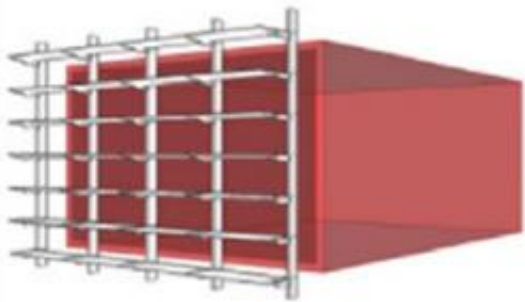


Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

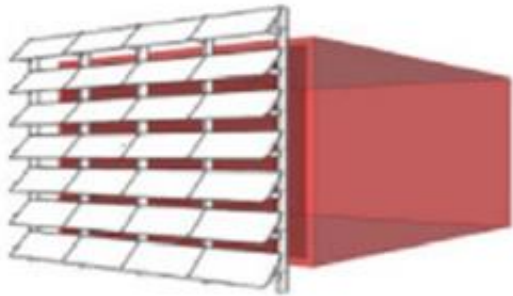
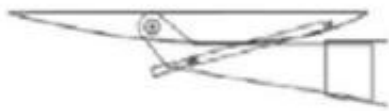


Example of responsive façade: Kiefer Technic Showroom (Austria) [27].

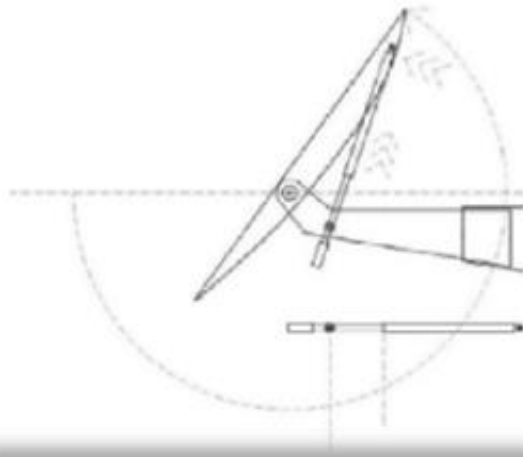
Rif. [6]



CONFIGURATION 1



CONFIGURATION 2



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Isolamento dinamico (DIM) e Facciate responsive/adattive

Rif. [6]



- intro
- obiettivi
- stato dell'arte
- futuro
- conclusioni



in un futuro zero-carbon a tinte (verdi)
rinnovabili...

l'**isolamento termico** degli **edifici** sarà
ancora più imprescindibile



intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni



Riferimenti bibliografici (Rif.)

1. Decreto Interministeriale 26 giugno 2015: http://www.sviluppoeconomico.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/2032966-decreto-interministeriale-26-giugno-2015-applicazione-delle-metodologie-di-calcolo-delle-prestazioni-energetiche-e-definizione-delle-prescrizioni-e-dei-requisiti-minimi-degli-edifici#page_top.
2. Abu-Jdayil, B., Mourad, A. H., Hittini, W., Hassan, M., & Hameedi, S. (2019). Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials*, 214, 709-735.
3. Aditya, L., Mahlia, T. M. I., Rismanchi, B., Ng, H. M., Hasan, M. H., Metselaar, H. S. C., ... & Aditiya, H. B. (2017). A review on insulation materials for energy conservation in buildings. *Renewable and sustainable energy reviews*, 73, 1352-1365.
4. Pessoa, S., Guimarães, A. S., Lucas, S. S., & Simões, N. (2021). 3D printing in the construction industry-A systematic review of the thermal performance in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110794.
5. Du, H., Huang, P., & Jones, P. (2019). Modular facade retrofit with renewable energy technologies: The definition and current status in Europe. *Energy and Buildings*, 205, 109543.
6. Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review.
7. Dabbagh, M., & Krarti, M. (2020). Evaluation of the performance for a dynamic insulation system suitable for switchable building envelope. *Energy and Buildings*, 222, 110025.
8. Kishore, R. A., Bianchi, M. V., Booten, C., Vidal, J., & Jackson, R. (2021). Enhancing building energy performance by effectively using phase change material and dynamic insulation in walls. *Applied Energy*, 283, 116306.

intro

obiettivi

stato dell'arte

futuro

conclusioni