



SUSTANZEB

«Moduli edilizi prefabbricati ad elevate prestazioni energetiche ed ambientali con l'inclusione di un pannello in sughero e PCM di origine naturale»

Ing. Ph.D. Domenico Mazzeo

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale – Università della Calabria

P. Bucci , Cubo 44 C – 87036 Rende (CS)

EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

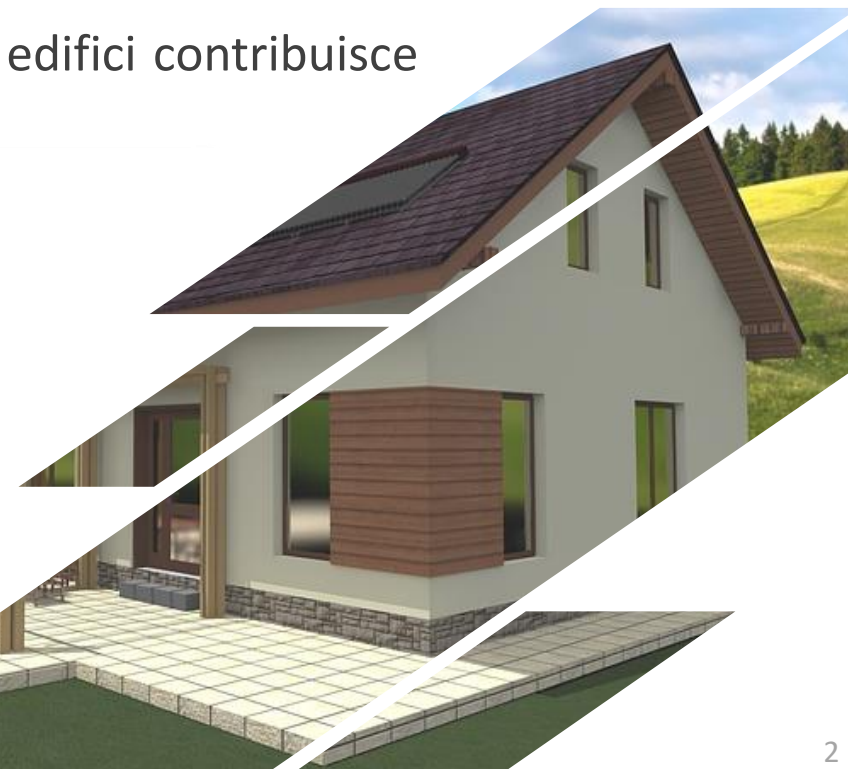
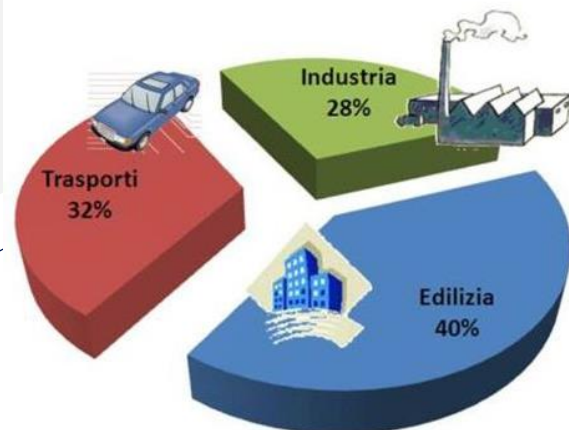
Bioedilizia e consumo energetico nel settore edilizio

La **bioedilizia** è un tipo di settore particolarmente votato:

- alla **sostenibilità**
- all'utilizzo di tecniche costruttive **non inquinanti**
- all'impiego di materiali ecologici, ovvero alla **ecocompatibilità** (che implica l'uso di materiali col minimo impatto ambientale)
- alla elevata **efficienza energetica**
- alla lunga **durata nel tempo**.



Il settore civile, residenziale e terziario, composto per la maggior parte da edifici contribuisce per oltre il **40 %** del consumo finale di energia



Secondo quanto indicato dalle recenti **normative Europee**, la maggior parte dei consumi energetici degli edifici è dovuta alla scarsa qualità dell'involucro edilizio

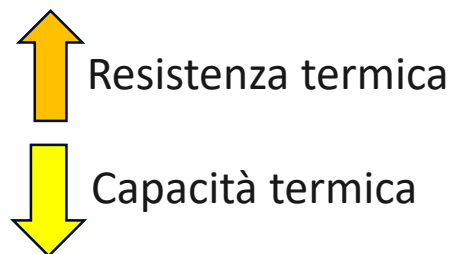
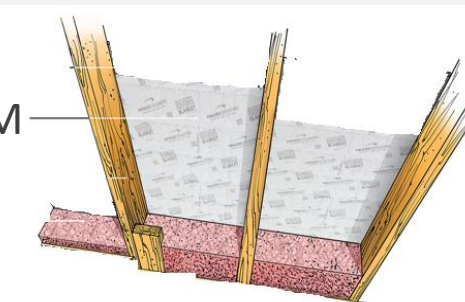
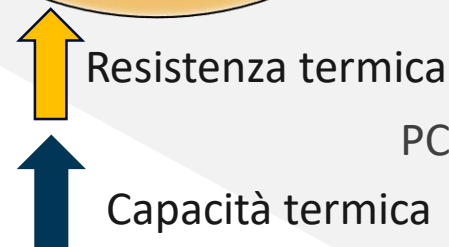
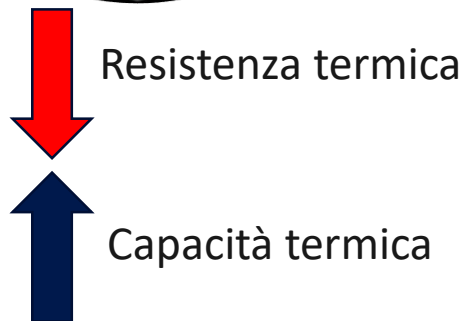
SUSTANZEB

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo

EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it



- Isolante termico ed acustico
- Non è attaccabile dalle muffe
- Ottime proprietà traspiranti
- Possiede una buona resistenza meccanica
- Basso coefficiente di conducibilità termica



- Elevata azione smorzante dell'onda termica sia nella stagione invernale che estiva



Pareti ad elevate prestazioni richiedono:



Resistenza termica



- Minori dispersioni termiche
- Riduzione del fabbisogno termico invernale



Elevato livello di isolamento non garantisce elevate prestazioni termiche in estate nei climi caldi



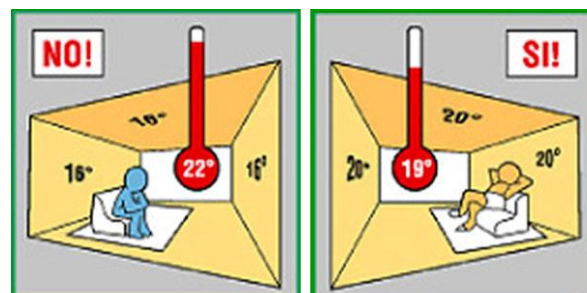
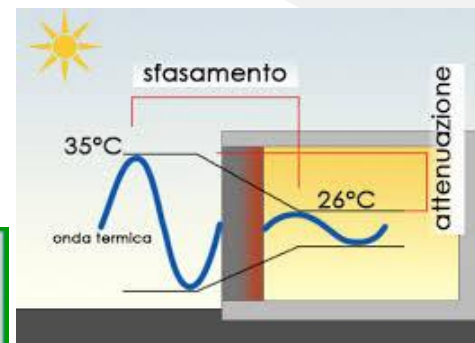
Possibile surriscaldamento in edifici vetrati



Capacità termica



- Capacità di smorzare e sfasare i picchi termici



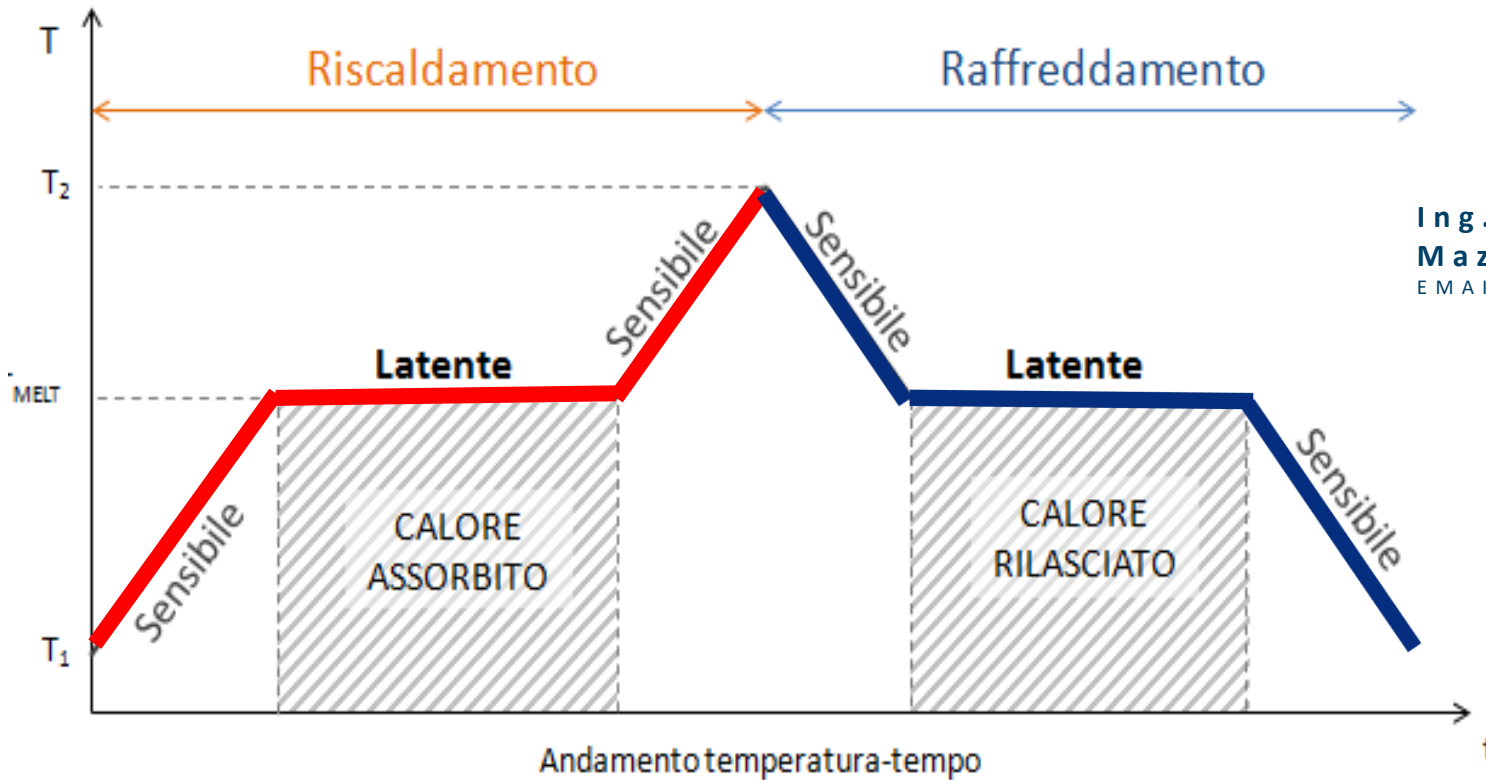
- Minori dimensioni del sistema di climatizzazione
- Miglioramento del comfort termico interno
- Riduzione dei fabbisogni termici



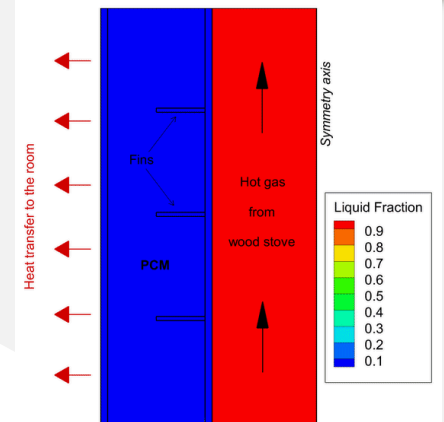
Studiare il comportamento termico dei pannelli sandwich in materiale biobased di sughero, con l'inclusione di materiali a cambiamento di fase di origine naturale

PCM

• I materiali a cambiamento di fase, detti PCM dall'acronimo inglese Phase Change Materials, sono materiali in grado di accumulare e cedere grandi quantità di energia termica sotto forma latente



Ing. Ph.D. Domenico Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

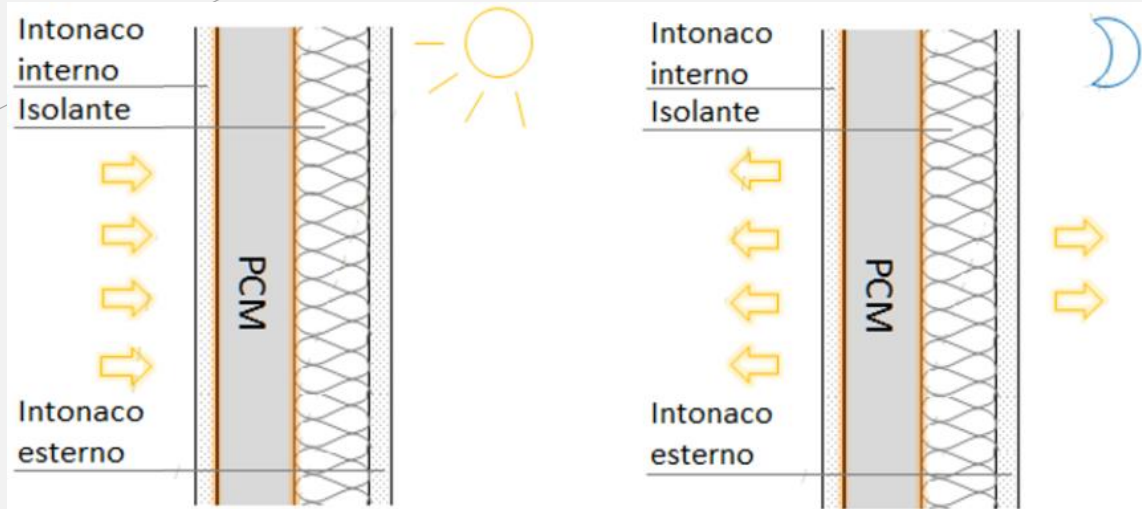


Comportamento dei PCM

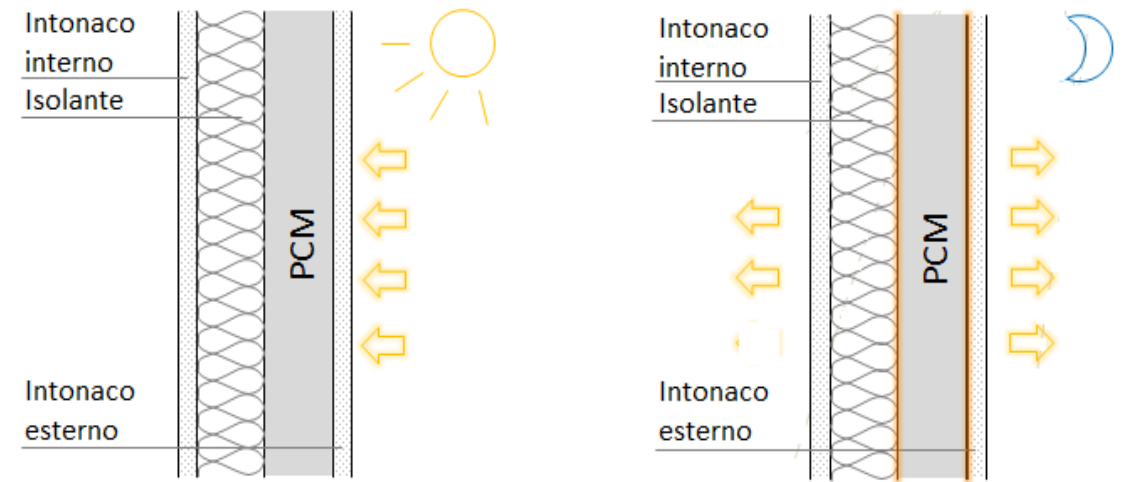
Parete Esterna

- Accumulano gli apporti solari a seguito del cambiamento di fase da solido a liquido durante le ore diurne, e rilasciano l'energia accumulata nel processo di solidificazione durante le ore notturne, a causa dello scambio termico infrarosso radiativo e convettivo con l'ambiente esterno

Regime invernale



Regime estivo

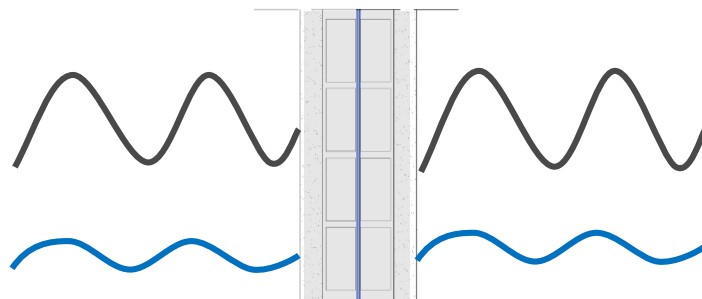


Parete interna

incrementa la capacità di accumulo termico con conseguente riduzione delle oscillazioni di temperatura dell'aria interna

senza PCM

con PCM



senza PCM

con PCM

Attività di progettazione, sviluppo, test dei pannelli Sandwich

Analisi numerica termica, fisica e meccanica delle ipotesi progettuali

- Indagine di mercato dei prodotti PCM di origine naturale

Tra i PCM di origine naturale presenti nel mercato è risultato più idoneo ad essere impiegato all'interno dei pannelli sandwich



Sughero

Aria

OSB

Aria

Sughero



Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo

EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Indagine di mercato dei prodotti PCM di origine naturale



Why

- 5 temperature disponibili di serie



COMPONENT	DESCRIPTION	VALUES (ENGLISH)	VALUES (METRIC)
Film	multilayer white polyfilm	4.4 mil	.1118 mm
Pocket	formed white polyfilm pocket	~35 ct 1.5" x 2.0" x .25" PCM filled pods per Ft ²	376 ct 38mm x 51mm x 6mm PCM filled pods per M ²
PCM	Proprietary Blend of Inorganic Phase Change Materials	~0.7 lbs phase change materials per Ft ²	~4.89 kilograms per sq. meter

PHYSICAL PROPERTIES	TEST METHOD	VALUES (ENGLISH)	VALUES (METRIC)
M-Value	ASTM	70 BTU per sq. ft.	221 W per sq. meter
Melt Point	DSC	73.0° Fahrenheit	23° Celsius
Specific Heat	DSC	1.35 BTU/lb	~3.14 kj/kg
Latent Heat	DSC	~86 btu/lb	~200 j/g
Thermal Conductivity	DSC	~0.16 W/ft/K Liquid ~0.33 W/ft/K Solid	~0.54 W/m/K Liquid ~1.09 W/m/K Solid
Dimensions	Ruler	16.5" x 48"	622mm X 1219mm
Total Unit Thickness	Micrometer	.25"	6mm
Weight	Scale	0.75 lbs per sq. ft.	3.42 kg per sq. meter
Permeability	ASTM E96	0.08 (grains/hr*ft ² *in Hg)	4.60 ng / N's

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Indagine di mercato dei prodotti PCM di origine naturale

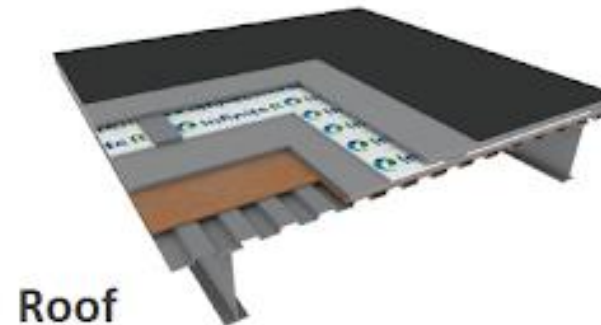
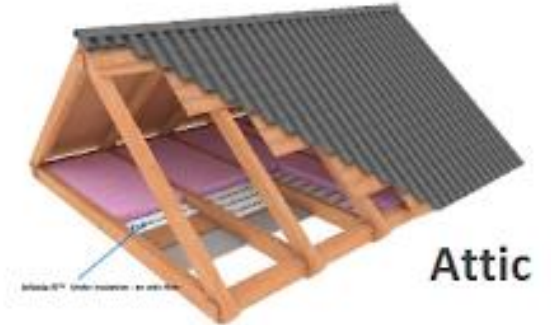
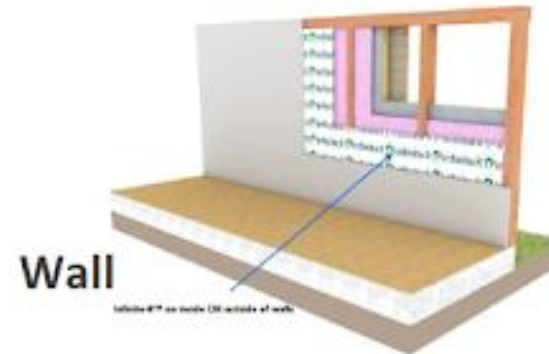


Why

- 5 temperature disponibili di serie
- PCM di origine naturale
- Facile installazione



Application options Infinite-R™



Attività di progettazione, sviluppo, test dei pannelli Sandwich

Le analisi possono essere suddivise nelle seguenti fasi:

I Fase

Configurazione
Suberwall



- Considerando differenti spessori dello strato sughero

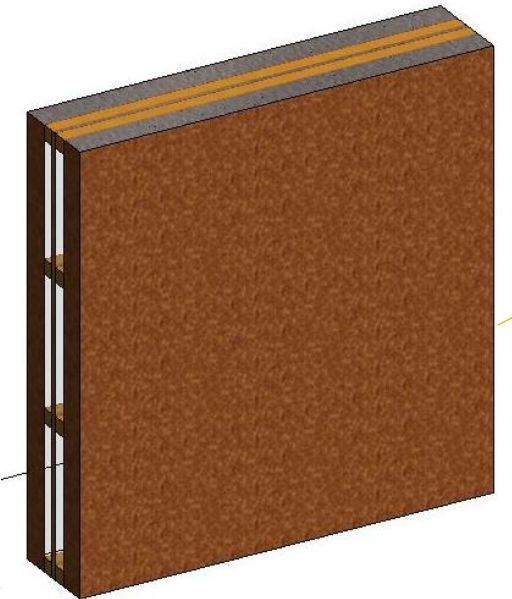


II Fase

Simulazione termica
dinamica parete
sughero-PCM



- Comfort termico, energia termica scambiata



Attività di progettazione, sviluppo, test dei pannelli Sandwich

Le analisi possono essere suddivise nelle seguenti fasi:

I Fase

Configurazione
Suberwall



- Considerando differenti spessori dello strato sughero

II Fase

Simulazione termica
dinamica parete
sughero-PCM



- Comfort termico, energia termica scambiata

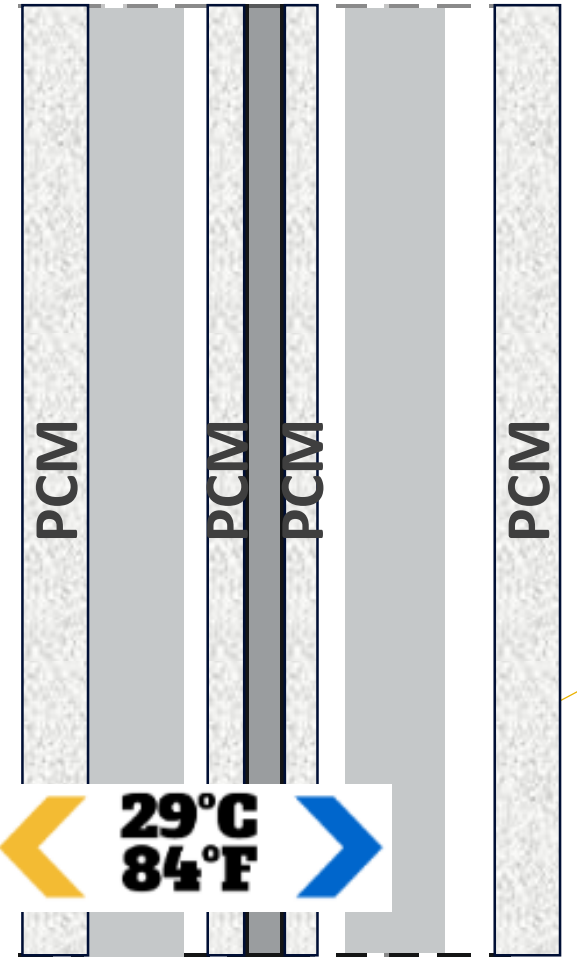


III Fase

Caratterizzazione termica stazionaria e
dinamica della parete Suberwall con PCM

- Differenti **POSIZIONI** del PCM
- Differenti **TEMPERATURE** di melting

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

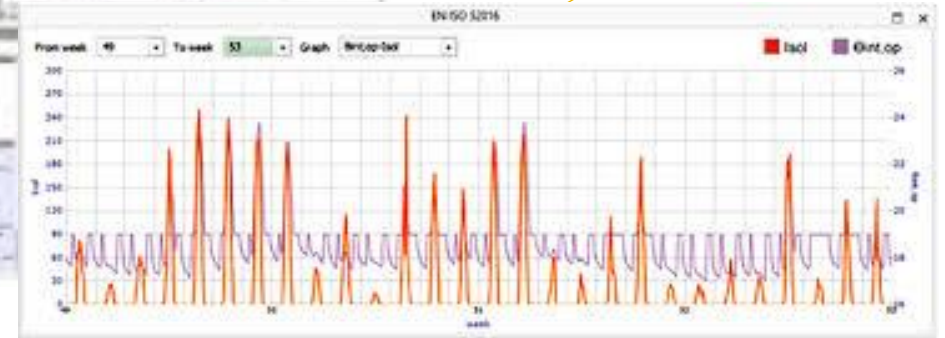
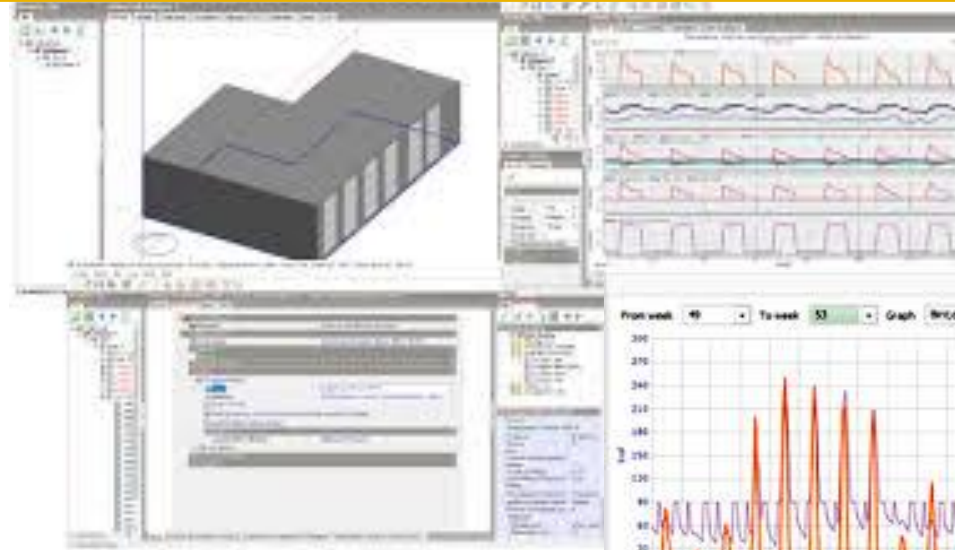
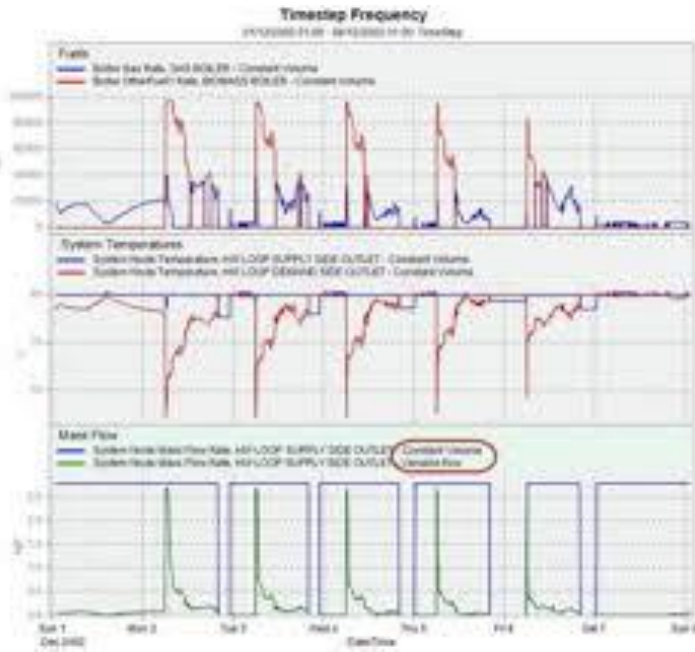


Attività di progettazione, sviluppo, test dei pannelli Sandwich

OR 2.1 Analisi numerica termica, fisica e meccanica delle ipotesi progettuali

- 2.1.b Studio numerico termico di differenti configurazioni di pannello sandwich senza e con PCM

Dopo un'attenta analisi dei modelli matematici utilizzati dai software BPS (Dynamic Building Performance Simulation) considerati per prevedere il comportamento termico di un edificio le cui pareti sono integrate con PCM, è stato scelto **EnergyPlus**





EnergyPlus permette di effettuare una modellazione accurata anche quando l'utente non dispone di dati dettagliati necessari per generare la curva temperatura-entalpia. 

Metodo con isteresi che consente di modellare le due curve temperatura-entalpia durante il processo di fusione e solidificazione. Sono richiesti in input i valori di temperatura e di entalpia, tali input determinano una funzione tabulare temperatura-entalpia a due colonne. Il software dà la possibilità di selezionare da **1 a 16 punti**

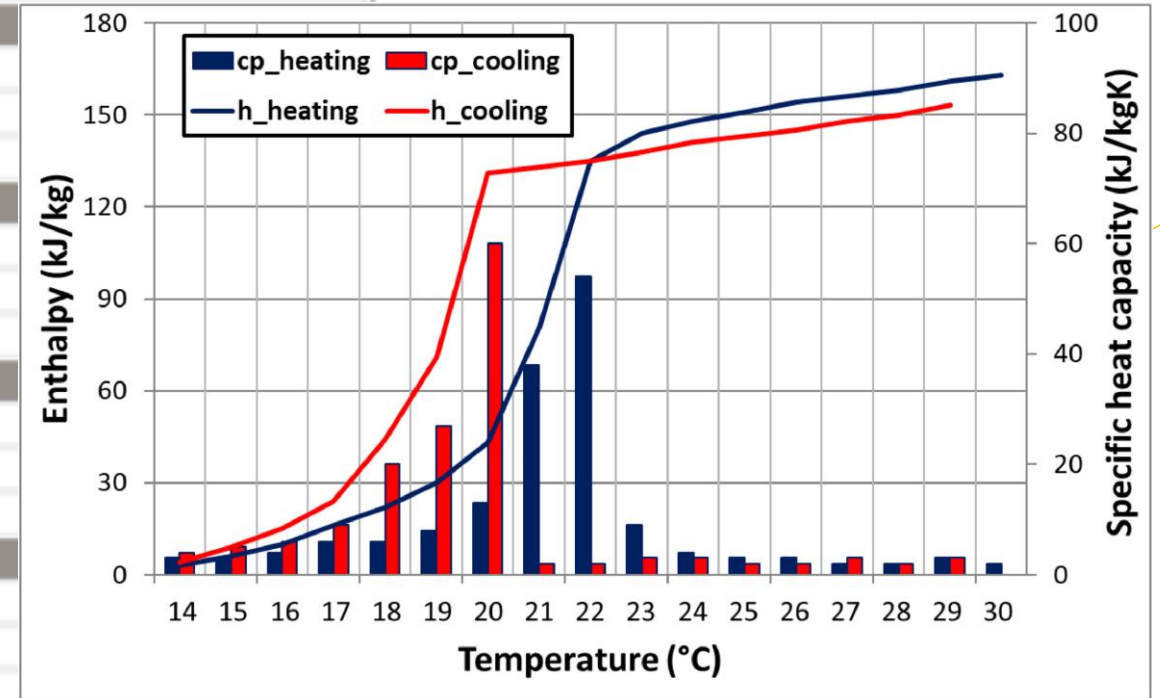
$$C_p = \frac{h_{i,new} - h_{i,prev}}{T_{i,new} - T_{i,prev}}$$

Il calore specifico non dipende solo dallo stato corrente, ma anche dallo stato precedente, poiché tiene conto del fenomeno dell'isteresi presente tra i processi di fusione e solidificazione:



Metodo con isteresi che consente di modellare le due curve temperatura-entalpia durante il processo di fusione e solidificazione

Proprietà Cambiamento di Fase	
<input checked="" type="checkbox"/> Materiale a cambiamento di fase	
Phase change method	2-Hysteresis
Phase Change Hysteresis	
Latent heat during the entire phase change (J/kg)	200000.000000
Liquid State	
Liquid state thermal conductivity (W/m-K)	0.540000
Liquid state density (kg/mc)	1540.000000
Liquid state specific heat (J/kg-K)	3140.000000
Melting Curve	
High temperature difference of melting curve (deltaC)	1.000000
Peak melting temperature (°C)	22.000000
Low temperature difference of melting curve (deltaC)	1.000000
Solid State	
Solid state thermal conductivity (W/m-K)	1.090000
Solid state density (kg/mc)	1540.000000
Solid state specific heat (J/kg-K)	3140.000000
Freezing Curve	
High temperature difference of freezing curve (deltaC)	1.000000
Peak freezing temperature (°C)	20.000000
Low temperature difference of freezing curve (deltaC)	1.000000



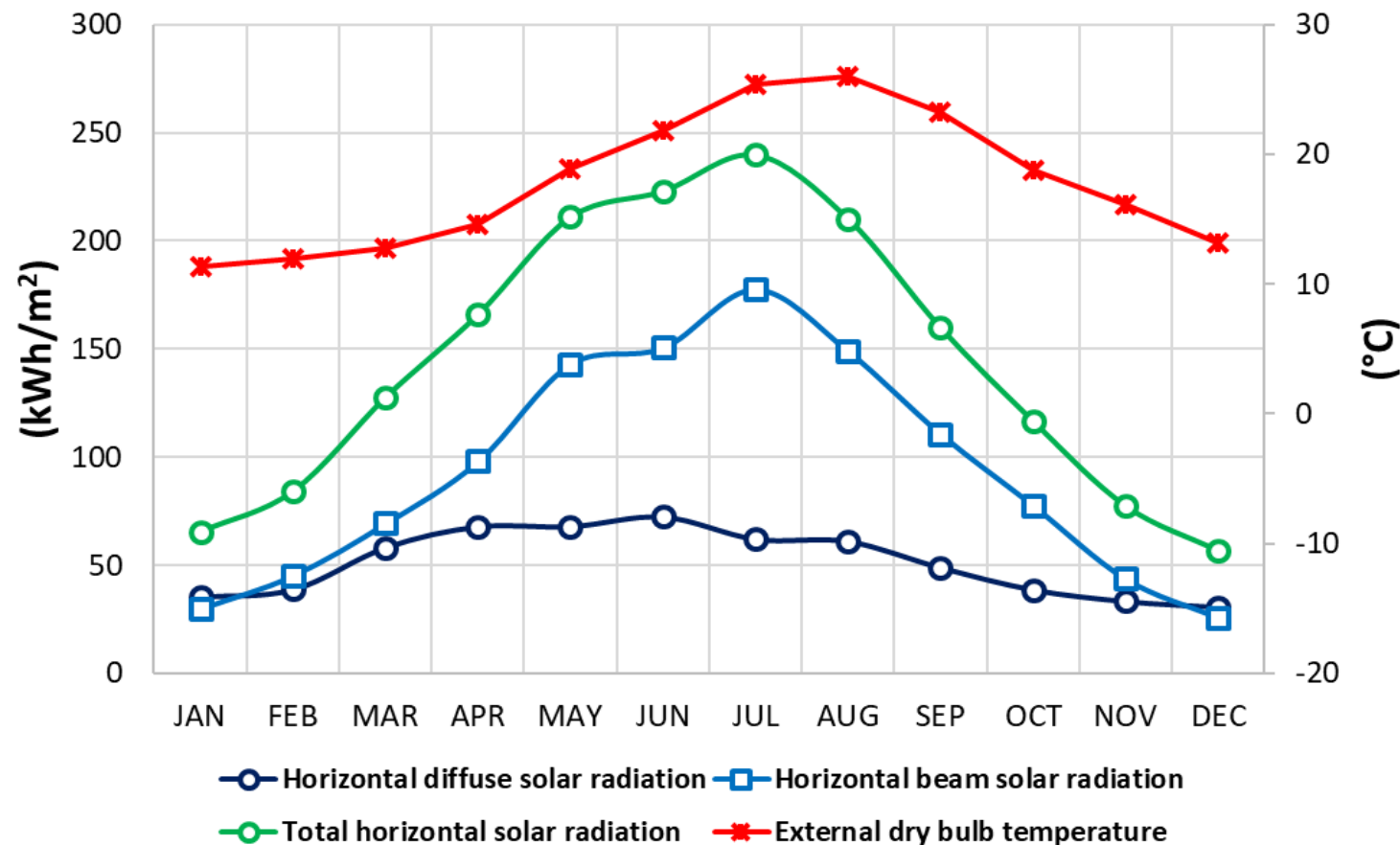
Condizioni climatiche

Il file climatico orario *epw* di Reggio Calabria della è stato impiegato in tutte le analisi

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it



Weather data in Reggio Calabria



Zona Climatica	Da Gradi Giorno	A Gradi Giorno
A	0	600
B	601	900
C	901	1400
D	1401	2100
E	2101	3000
F	Oltre 3001	

Decreto ministeriale del 16 giugno 2015

Temperatura giornaliera media mensile, della radiazione solare diffusa, diretta e totale mensile a Reggio Calabria

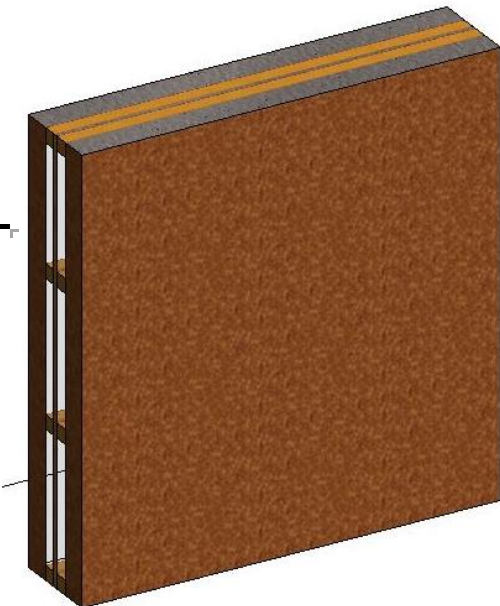
Configurazioni di parete Suberwall

4 configurazioni

Proprietà termofisiche del materiale

Proprietà della superficie

Strato	Conduktività termica (W/mK)	Calore Specifico (J/kgK)	Densità (kg/m ³)	Resistenza termica (m ² K/W)	Emissività (-)	Assorbanz a Solare (-)	Assorbanz a Visibile (-)
Sughero (strato più esterno)	0.052	2491.9	145.85		0.94	0.30	0.30
Aria				0.18	0.90	0.70	0.70
OSB	0.15	2700	550		0.60	0.60	0.60
Aria				0.18	0.90	0.70	0.70
Sughero (strato più interno)	0.052	2491.9	145.85		0.94	0.30	0.30



Configurazioni di parete Suberwall

4 configurazioni

Ing. Ph.D.
Domenico Mazzeo
EMAIL:
domenico.mazzeo@uni-
cal.it



I Configurazione

Spessore (cm)	Strati (dall'esterno verso interno)
6	Sughero
3	Aria
1	OSB
3	Aria
6	Sughero



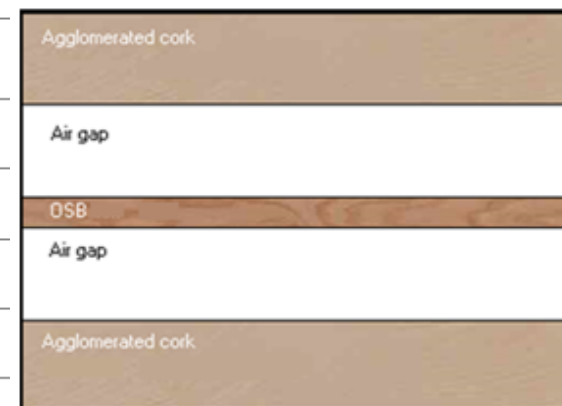
III Configurazione

Spessore (cm)	Strati (dall'esterno verso interno)
6	Sughero
3	Aria
1	OSB
3	Aria
3	Sughero



II Configurazione

Spessore (cm)	Strati (dall'esterno verso interno)
3	Sughero
3	Aria
1	OSB
3	Aria
6	Sughero



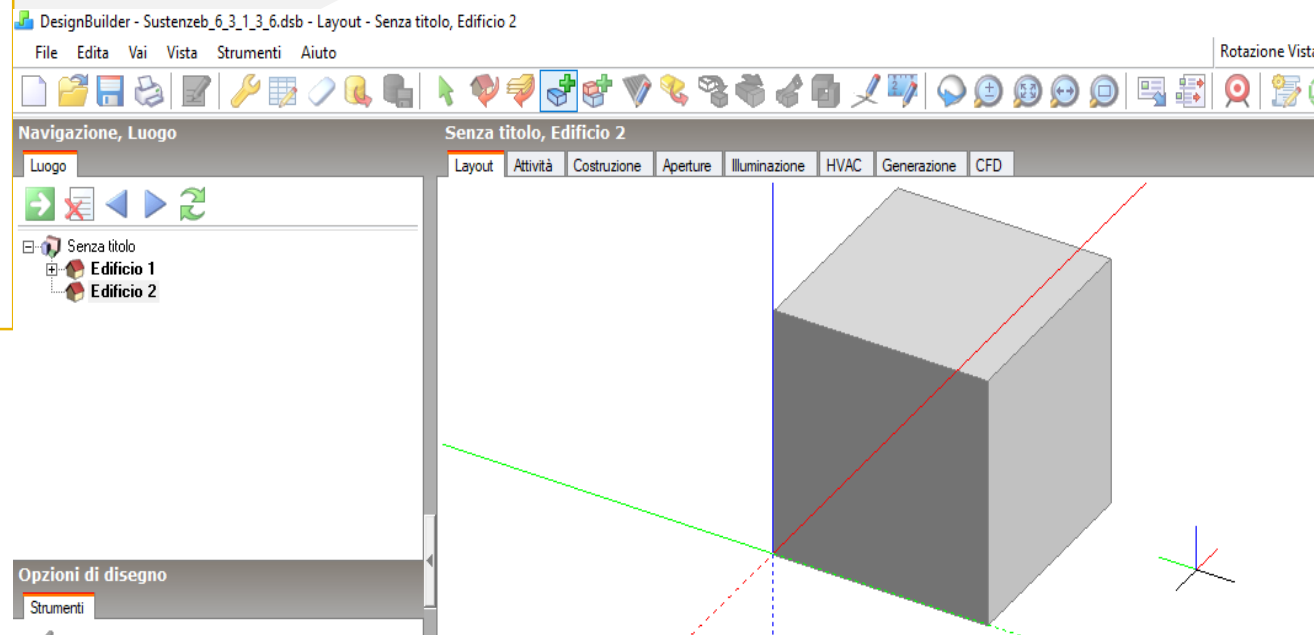
IV Configurazione

Spessore (cm)	Strati (dall'esterno verso interno)
3	Sughero
3	Aria
1	OSB
3	Aria
3	Sughero

Definizione della cavità adiabatica

Per isolare il contributo della parete oggetto di studio

- Cavità 4 m x 4 m x 4 m tramite l'interfaccia fornita da DesignBuilder
- Selezionando l'opzione di condizione al contorno **“adiabatica”** presente in Designbuilder e considerando una parete il cui spessore di isolante è pari a 0.1 cm.



Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unicai.it

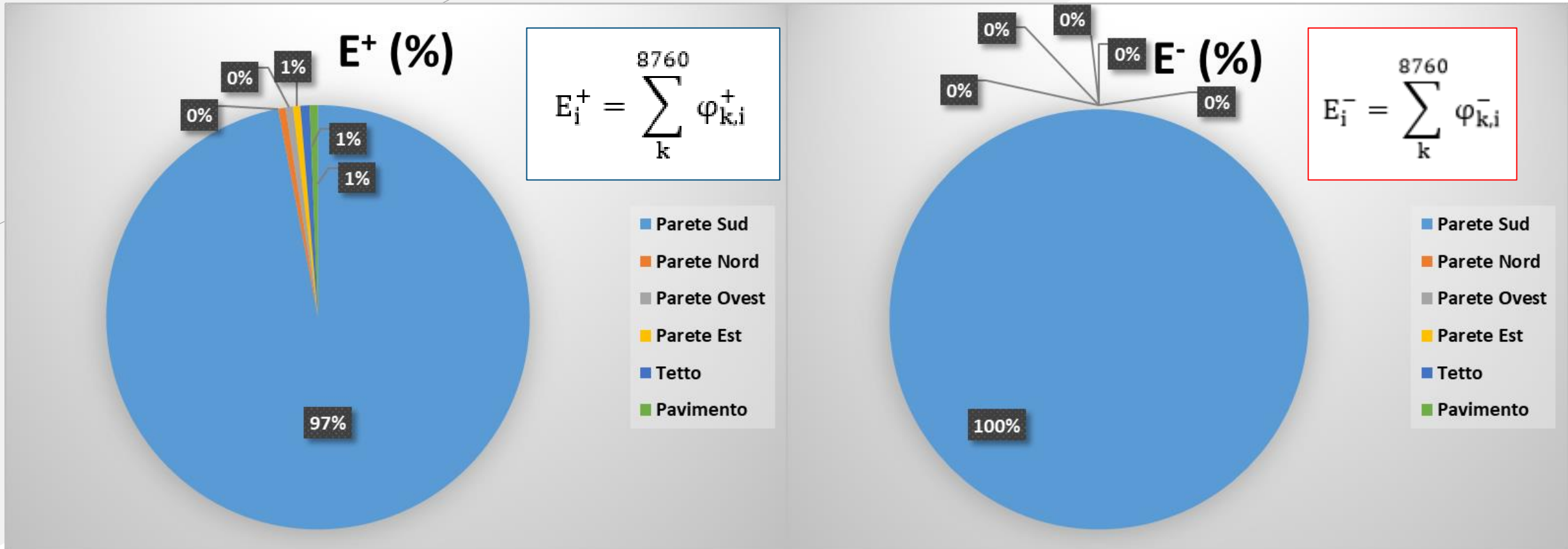
Proprietà termofisiche del materiale

Proprietà della superficie

Strato Isolante	Conducibilità (W/mK)	Calore Specifico (J/kgK)	Densità (kg/m ³)	Emissività (-)	Assorbanza Solare (-)	Assorbanza Visibile (-)
	0.001	100	20	0.99	0.01	0.01

Definizione della cavità adiabatica

Incidenza delle varie pareti costituenti la cavità sul bilancio termico del nodo aria



Configurazione I di parete Suberwall esposta a Sud e condizione al contorno “adiabatica” e **0.1 cm** di isolante sulle altre pareti

Impatto dell'integrazione dello strato di PCM nelle differenti configurazioni di parete Suberwall

Ing. Ph.D. Domenico Mazzeo
 EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

$$TDI_w = \sum_h 20 \text{ }^\circ\text{C} - T_{ai,h} \quad \text{se} \quad T_{ai,h} < 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$TDI_s = \sum_h T_{ai,h} - 26 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{se} \quad T_{ai,h} > 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E_i^+ = \sum_k^{8760} \varphi_{k,i}^+$$

$$E_i^- = \sum_k^{8760} \varphi_{k,i}^-$$



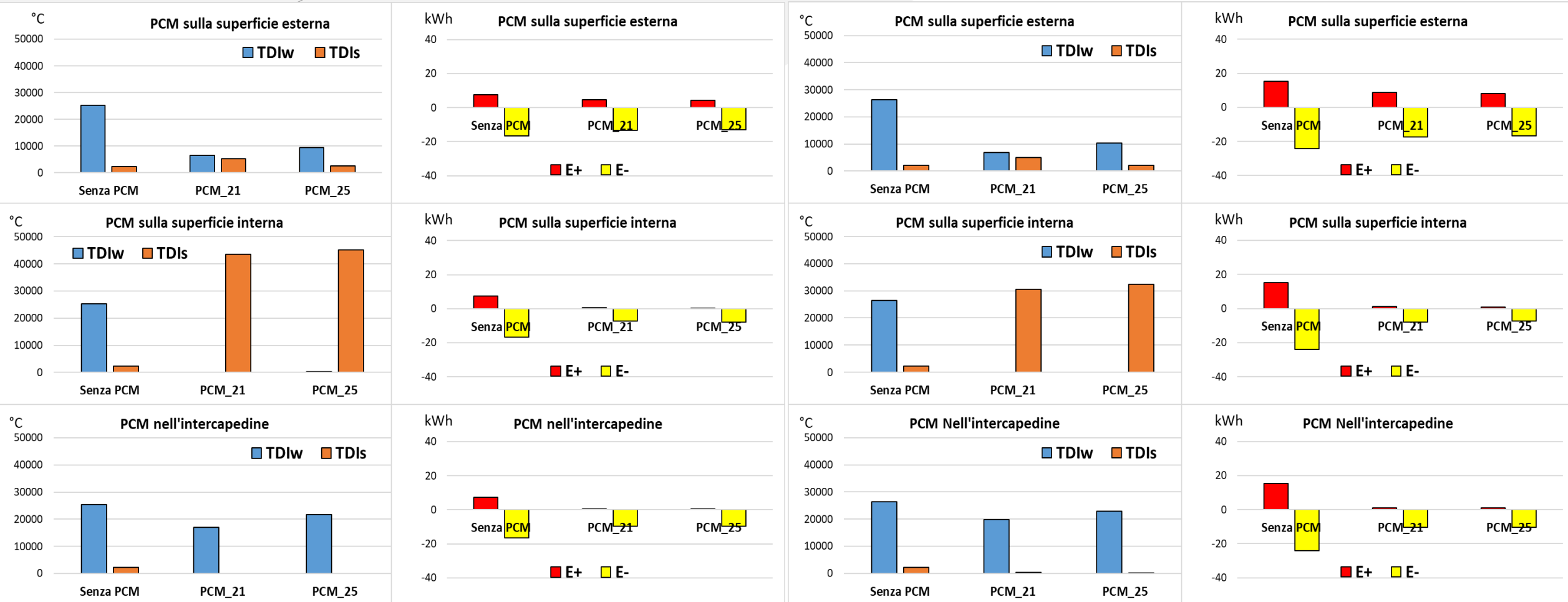
PCM	21 °C Infinite R Energy Sheet	25 °C Infinite R Energy Sheet
Calore latente di fusione (J/g)	200	200
Fase solida		
Conduktività termica (W/mK)	1.09	1.09
Calore Specifico (kJ/kgK)	3.14	3.14
Densità (kg/m ³)	1540	1540
Fase liquida		
Conduktività termica (W/mK)	0.54	0.54
Calore Specifico (kJ/kgK)	3.14	3.14
Densità (kg/m ³)	1540	1540

Intensità di discomfort termico stagionale per le 4 configurazioni di parete Suberwall al variare del posizionamento e della temperatura di cambiamento di fase del PCM

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Configurazione I

Configurazione II

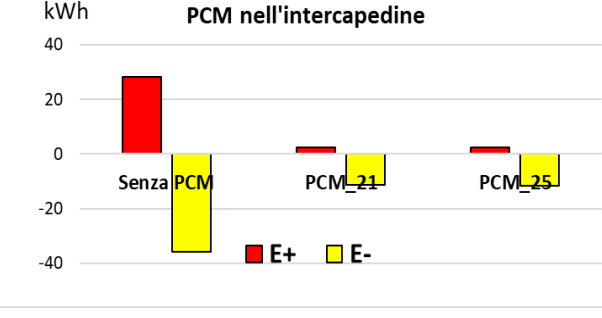
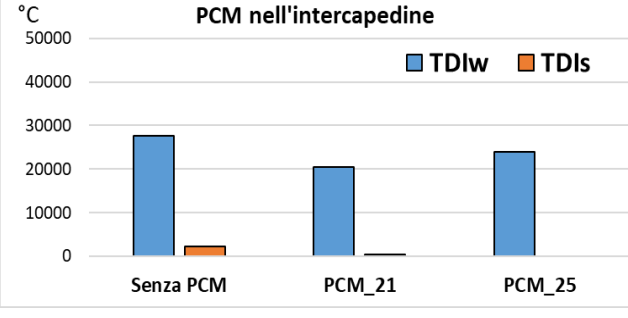
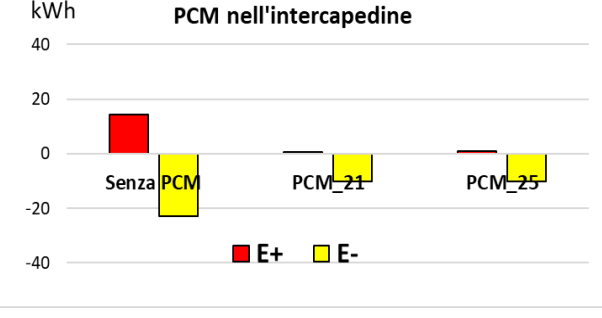
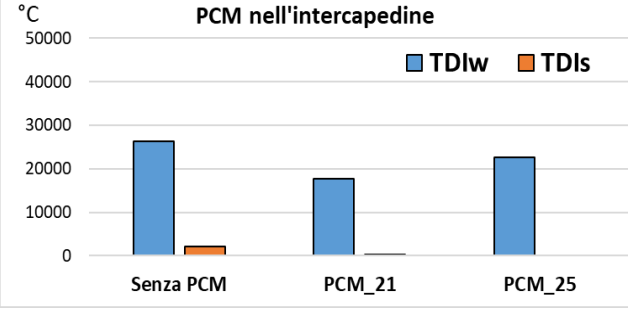
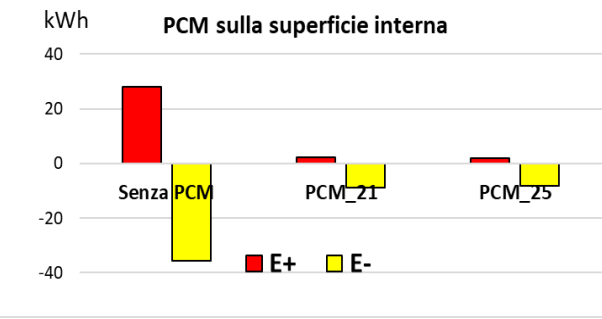
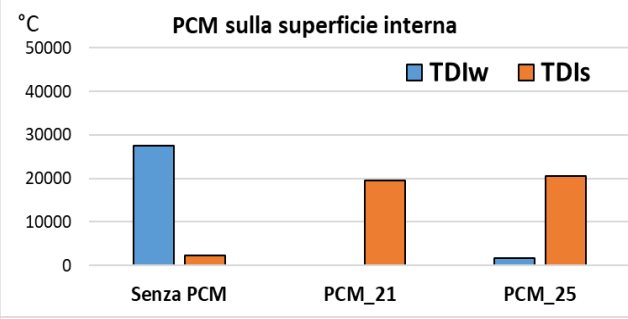
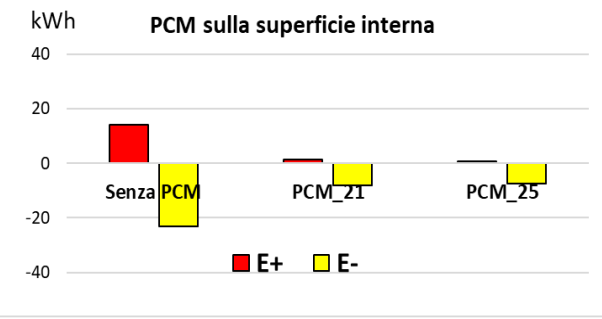
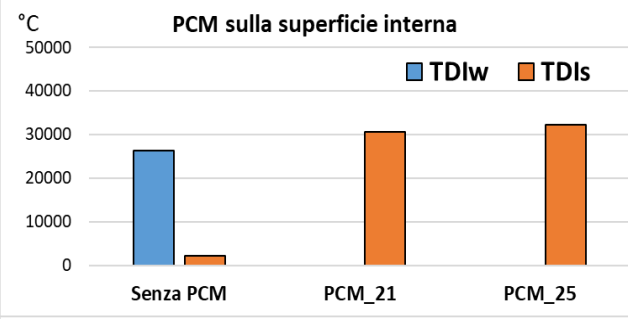
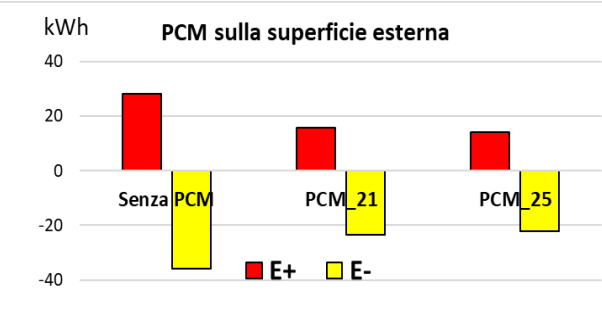
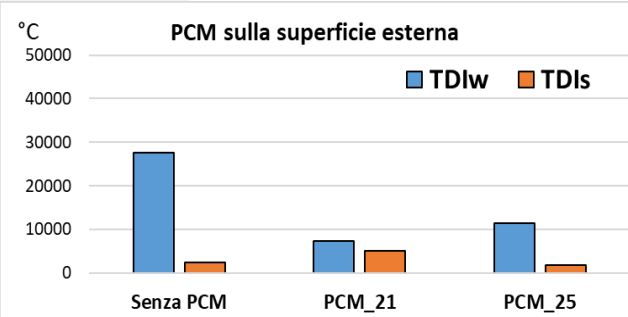
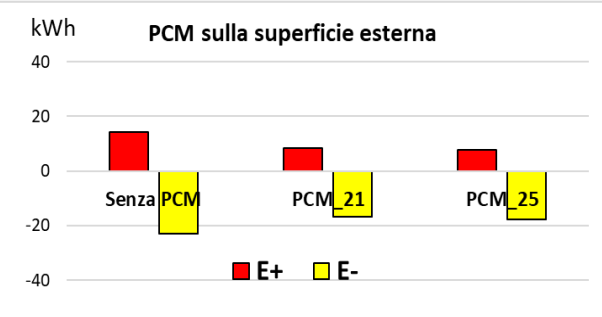
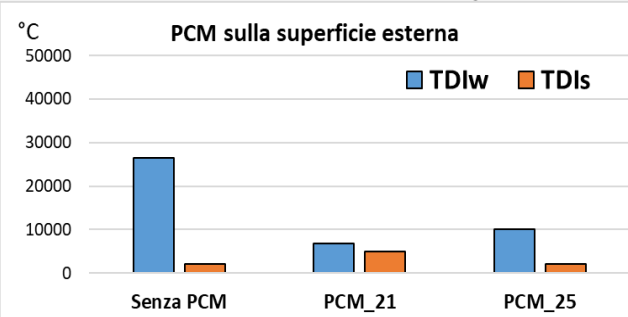


Intensità di discomfort termico stagionale per le 4 configurazioni di parete Suberwall al variare del posizionamento e della temperatura di cambiamento di fase del PCM

Configurazione III

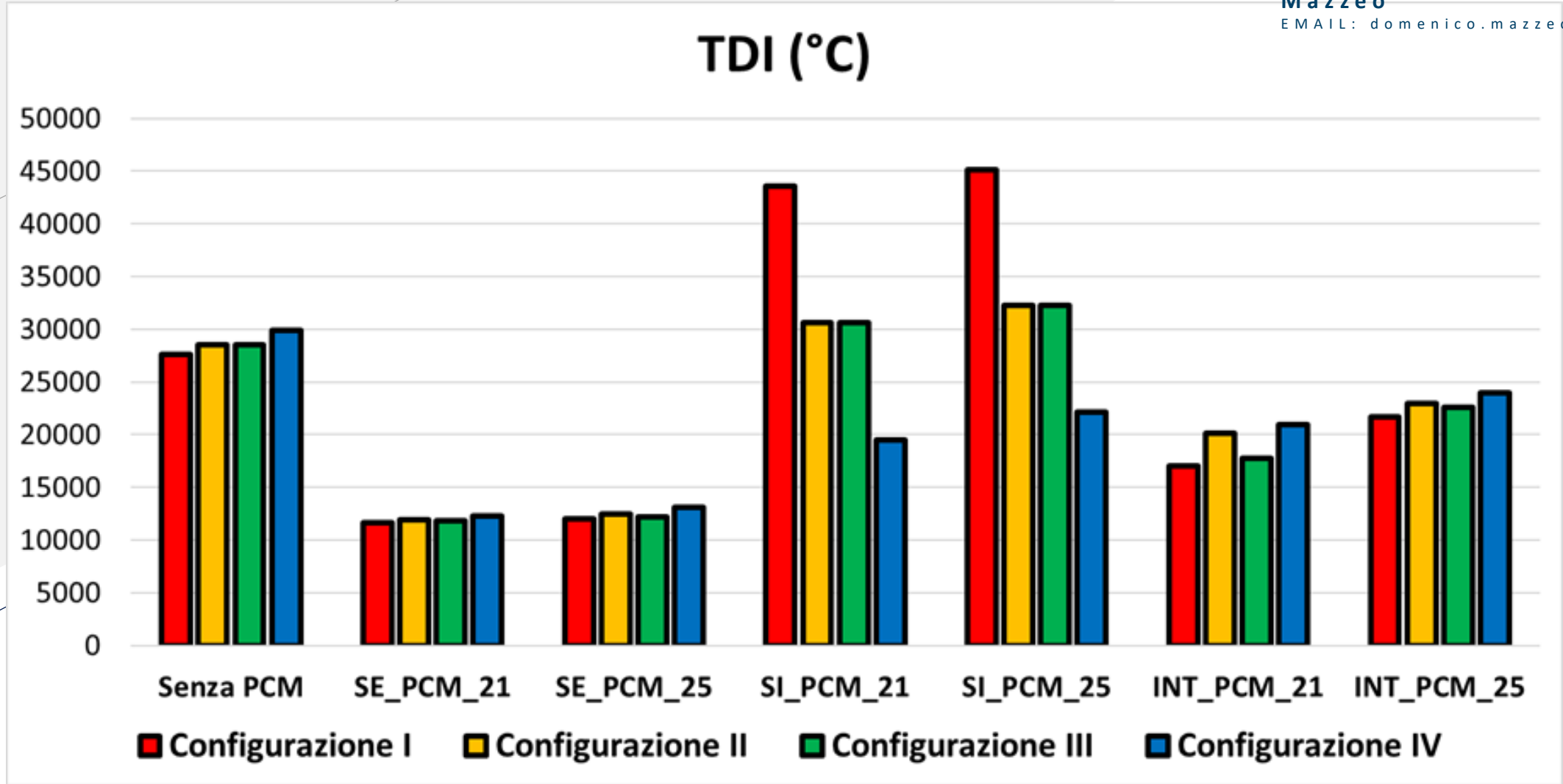
Ing. Ph.D. Domenico
 Mazzeo
 EMAIL: domenico.mazzeo@unica.it

Configurazione IV

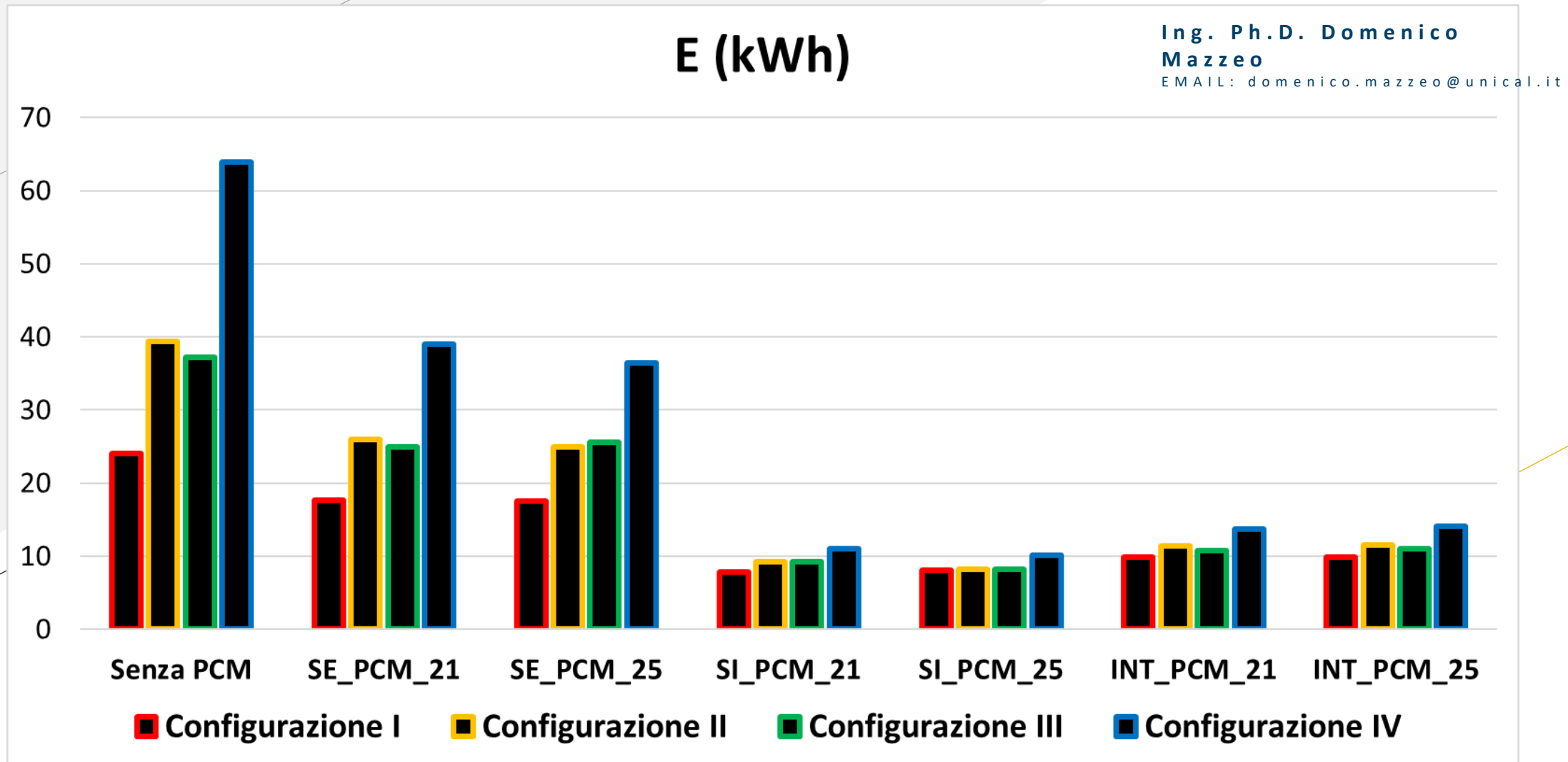


Intensità di discomfort termico annuale per le 4 configurazioni di parete Suberwall al variare del posizionamento e della temperatura di cambiamento di fase del PCM

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it



Energia trasferita verso l'ambiente esterno ed interno per le 4 configurazioni di parete Suberwall al variare del posizionamento e della temperatura di cambiamento di fase del PCM



Trasmittanza termica stazionaria e periodica delle pareti

Calcolo della trasmittanza termica stazionaria mediante la norma UNI EN ISO 6946

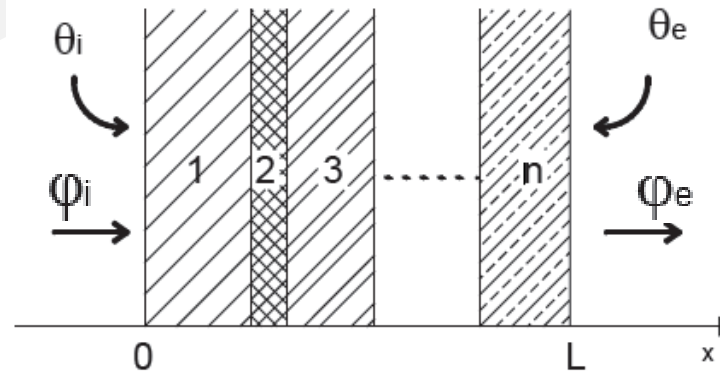
$$H_{T,ie,op} = \frac{1}{R_{se} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{si}}$$

$$R = \frac{s}{k}$$

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Calcolo della trasmittanza termica periodica mediante la norma EN ISO 13786

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} = Z_N Z_{N-1} \dots Z_3 Z_2 Z_1$$



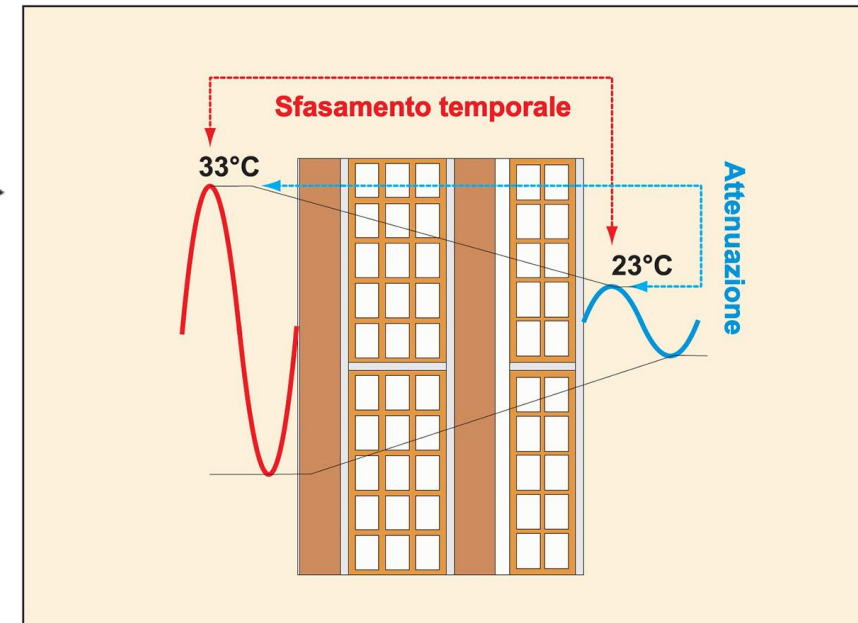
$$Y_{12} = \frac{-\varphi_i}{T_{ae}} \quad \text{se } T_{ai} = 0 \rightarrow |Y_{12}| = \left| -\frac{1}{Z_{12}} \right|$$

Fattore di attenuazione

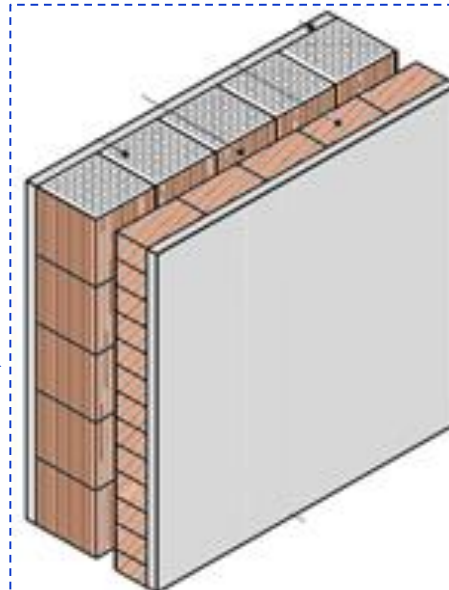
Sfasamento

$$f_a = \frac{|\varphi_i|}{|\theta_e|U} = \frac{|Y_{12}|}{U}$$

$$S = \frac{P}{2\pi} \arg(Z_{12})$$

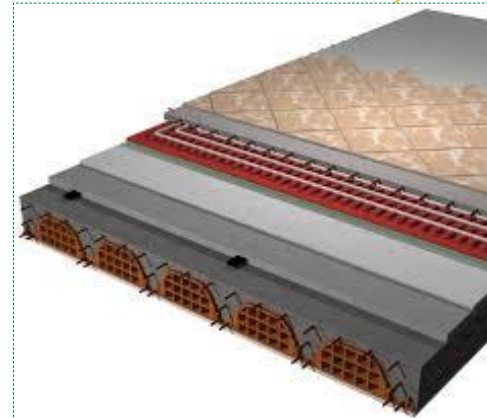


I limiti di trasmittanza in diverse zone climatiche a partire dal 1 gennaio 2015



Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali (W/m ² K)
	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0.43
C	0.34
D	0.29
E	0.26
F	0.24
Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache di copertura (W/m ² K)
	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0.35
C	0.33
D	0.26
E	0.22
F	0.2
Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento (W/m ² K)
	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0.44
C	0.38
D	0.29
E	0.26
F	0.24



DLg. 26/06/2015

Analisi termica: limiti trasmittanza termica periodica

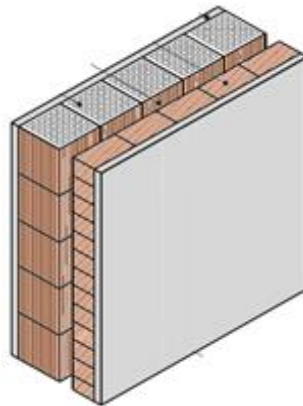
- per tutti gli edifici ad eccezione di E.6 ed E.8
- in tutte le zone climatiche ad esclusione della F
- $I_{ms} > 290 \text{ W/m}^2$ (valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione)

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Per le PARETI VERTICALI OPACHE (ad eccezione N-O/N/N-E)

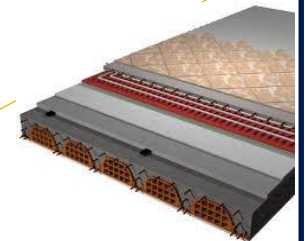
ALMENO UNA delle verifiche:

- 1) $M_s > 230 \text{ Kg/m}^2$
- 2) $Y_{IE} < 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$



Per le PARETI ORIZZONTALI E INCLINATE

$$1) Y_{IE} < 0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$$



DLg. 26/06/2015

Analisi termica: limiti trasmittanza termica stazionaria e periodica



Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

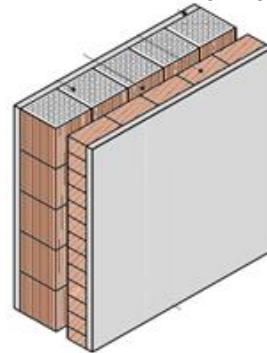
Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache di copertura (W/m ² K)
	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0.35
C	0.33
D	0.26
E	0.22
F	0.20

Per le PARETI VERTICALI OPACHE (ad eccezione N-O/N/N-E)

ALMENO UNA delle verifiche:

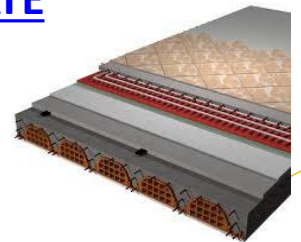
1) $M_s > 230 \text{ Kg/m}^2$

2) $Y_{IE} < 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$



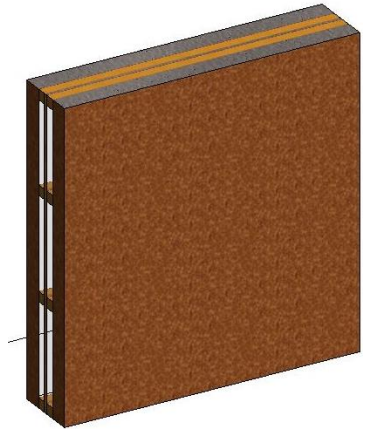
Per le PARETI ORIZZONTALI E INCLINATE

1) $Y_{IE} < 0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$



Essendo identico il pannello costituente i componenti del modulo abitativo, sono stati considerati i limiti relativi alle coperture per la trasmittanza termica stazionaria e quelli delle pareti verticali per la trasmittanza termica periodica in quanto più stringenti

Trasmittanza termica stazionaria e periodica delle quattro configurazioni di parete Suberwall



Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali (W/m ² K)	
	2019/2021 ⁽²⁾	
A e B	0.43	
C	0.34	
D	0.29	
E	0.26	
F	0.24	
Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache di copertura (W/m ² K)	
	2019/2021 ⁽²⁾	
A e B	0.35	
C	0.33	
D	0.26	
E	0.22	
F	0.2	
Zona Climatica	Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento (W/m ² K)	
	2019/2021 ⁽²⁾	
A e B	0.44	
C	0.38	
D	0.29	
E	0.26	
F	0.24	

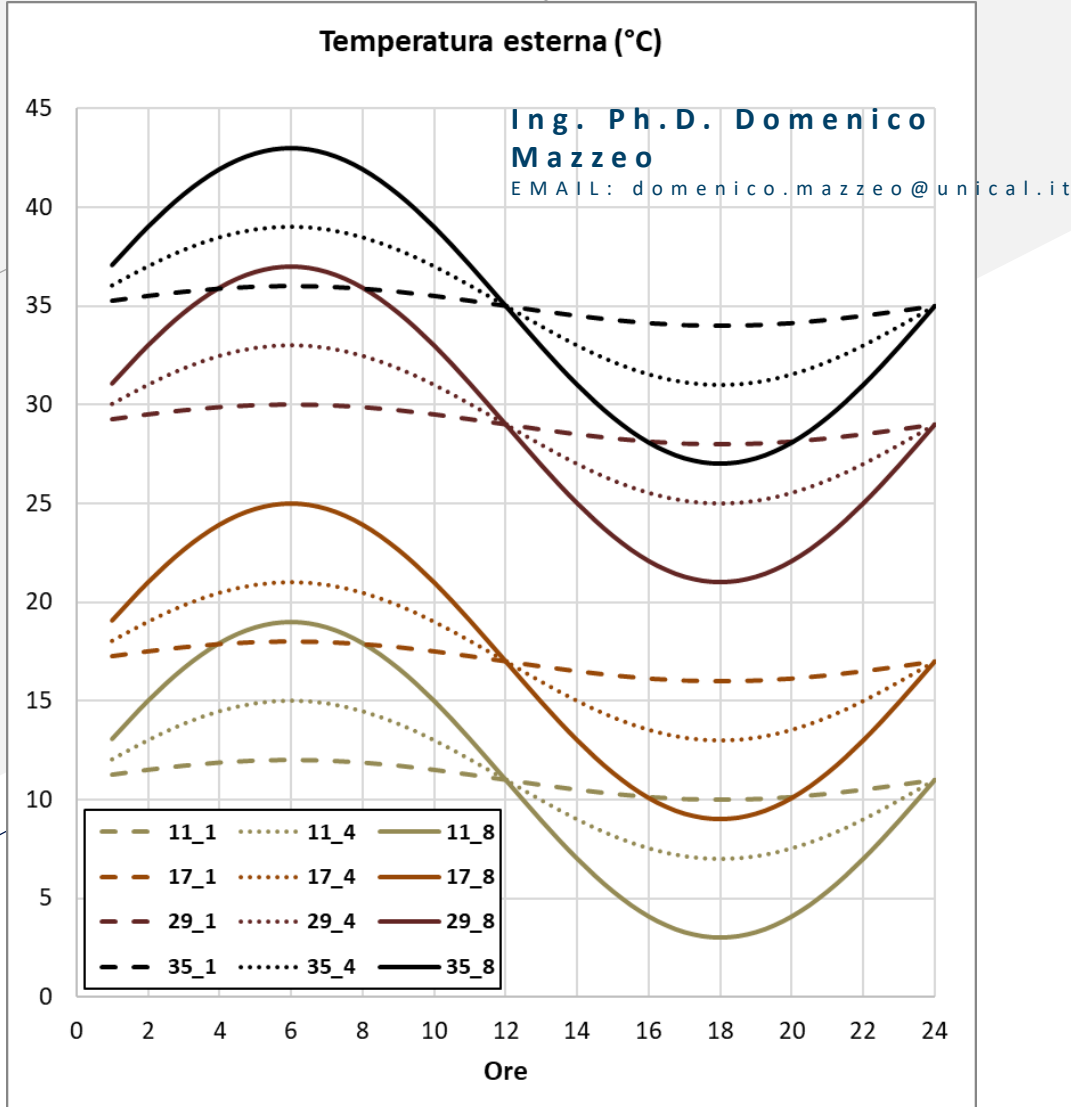
Si evince che solo la configurazione I di parete Suberwall in assenza di PCM rispetta i limiti di trasmittanza termica stazionaria del decreto per coperture ma solo nelle zona climatica A. I limiti di trasmittanza periodica non sono mai rispettati



	Configurazione I	Configurazione II	Configurazione III	Configurazione IV
U (W/m ² K)	0.344	0.430	0.430	0.571
Y _{IE} (W/m ² K)	0.187	0.306	0.305	0.488

Trasmittanza termica stazionaria e periodica pannello sughero-PCM

	Configurazione I	Configurazione II	Configurazione III	Configurazione IV
U (W/m ² K)	0.344	0.430	0.430	0.571
Y _{IE} (W/m ² K)	0.187	0.306	0.305	0.488



Configuration 6_3_1_3_6				Configuration 3_3_1_3_6			
U (W/m ² K)	1	4	8	U (W/m ² K)	1	4	8
11	0.350	0.350	0.350	11	0.439	0.439	0.439
17	0.351	0.351	0.351	17	0.440	0.440	0.440
29	0.350	0.350	0.350	29	0.439	0.439	0.439
35	0.350	0.350	0.350	35	0.439	0.439	0.439

Configuration 6_3_1_3_3				Configuration 3_3_1_3_3			
U (W/m ² K)	1	4	8	U (W/m ² K)	1	4	8
11	0.439	0.439	0.439	11	0.588	0.588	0.588
17	0.440	0.440	0.440	17	0.589	0.589	0.589
29	0.439	0.439	0.439	29	0.588	0.588	0.588
35	0.439	0.439	0.439	35	0.588	0.588	0.588

Configuration 6_3_1_3_6				Configuration 3_3_1_3_6			
Y _{ie} (W/m ² K)	1	4	8	Y _{ie} (W/m ² K)	1	4	8
11	0.187	0.187	0.187	11	0.310	0.309	0.309
17	0.187	0.187	0.166	17	0.310	0.309	0.253
29	0.188	0.188	0.183	29	0.310	0.310	0.293
35	0.188	0.188	0.188	35	0.310	0.310	0.310

Configuration 6_3_1_3_3				Configuration 3_3_1_3_3			
Y _{ie} (W/m ² K)	1	4	8	Y _{ie} (W/m ² K)	1	4	8
11	0.309	0.308	0.308	11	0.496	0.495	0.496
17	0.309	0.308	0.252	17	0.496	0.482	0.393
29	0.309	0.309	0.290	29	0.497	0.495	0.460
35	0.309	0.309	0.309	35	0.497	0.496	0.496

Trasmittanza termica stazionaria pannello sughero-PCM

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

	Configurazione I
U (W/m ² K)	0.344

Valore da normativa

U (W/m²K)_Configuration 6_3_1_3_6

External side

Melting temperature 18°C				Melting temperature 21°C				Melting temperature 23°C				Melting temperature 25°C				Melting temperature 29°C			
U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8
11	0.349	0.349	0.286	11	0.349	0.349	0.347	11	0.349	0.349	0.349	29	0.345	0.168	0.214	29	0.352	0.354	0.353
17	0.295	0.263	0.320	17	0.347	0.169	0.213	17	0.349	0.340	0.173	35	0.348	0.348	0.345	35	0.348	0.344	0.288
								29	0.347	0.337	0.174								
								35	0.348	0.348	0.348								

Internal side

Melting temperature 18°C				Melting temperature 21°C				Melting temperature 23°C				Melting temperature 25°C				Melting temperature 29°C			
U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8
11	0.338	0.337	0.335	11	0.333	0.285	0.219	11	0.106	0.106	0.107	29	0.296	0.141	0.000	29	0.376	0.375	0.374
17	0.320	0.316	0.311	17	0.299	0.147	0.000	17	0.169	0.168	0.000	35	0.331	0.282	0.215	35	0.358	0.358	0.357
								29	0.341	0.324	0.293								
								35	0.346	0.342	0.336								

Inside

Melting temperature 18°C				Melting temperature 21°C				Melting temperature 23°C				Melting temperature 25°C				Melting temperature 29°C			
U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8	U	1	4	8
11	0.334	0.225	0.187	11	0.349	0.349	0.348	11	0.349	0.348	0.348	29	0.300	0.000	0.000	29	0.276	0.131	0.084
17	0.281	0.243	0.230	17	0.302	0.000	0.000	17	0.348	0.343	0.000	35	0.348	0.347	0.347	35	0.317	0.266	0.248
								29	0.346	0.341	0.000								
								35	0.348	0.347	0.347								

Trasmittanza termica periodica pannello sughero-PCM

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

	Configurazione I
Y_{IE} (W/m ² K)	0.187

Valore da normativa

Y_{ie} (W/m²K)_Configuration 6_3_1_3_6

External side

Melting temperature 18°C				Melting temperature 21°C				Melting temperature 23°C				Melting temperature 25°C				Melting temperature 29°C			
Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8
11	0.181	0.183	0.165	11	0.181	0.185	0.185	11	0.181	0.181	0.181	29	0.181	0.156	0.137	29	0.075	0.046	0.050
17	0.056	0.045	0.053	17	0.184	0.123	0.093	17	0.181	0.190	0.107	35	0.179	0.179	0.181	35	0.179	0.184	0.169
								29	0.179	0.183	0.154								
								35	0.179	0.179	0.179								

Internal side

Melting temperature 18°C				Melting temperature 21°C				Melting temperature 23°C				Melting temperature 25°C				Melting temperature 29°C			
Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8
11	0.069	0.067	0.064	11	0.027	0.026	0.024	11	0.050	0.049	0.049	29	0.023	0.021	0.002	29	0.149	0.148	0.148
17	0.089	0.087	0.084	17	0.019	0.018	0.005	17	0.042	0.042	0.042	35	0.035	0.033	0.029	35	0.140	0.139	0.139
								29	0.166	0.166	0.165								
								35	0.168	0.169	0.170								

Inside

Melting temperature 18°C				Melting temperature 21°C				Melting temperature 23°C				Melting temperature 25°C				Melting temperature 29°C			
Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8	Yie	1	4	8
11	0.029	0.002	0.005	11	0.072	0.072	0.072	11	0.072	0.085	0.077	29	0.032	0.001	0.004	29	0.002	0.005	0.007
17	0.008	0.008	0.008	17	0.027	0.001	0.004	17	0.071	0.071	0.002	35	0.072	0.072	0.072	35	0.003	0.006	0.008
								29	0.071	0.071	0.002								
								35	0.072	0.075	0.073								

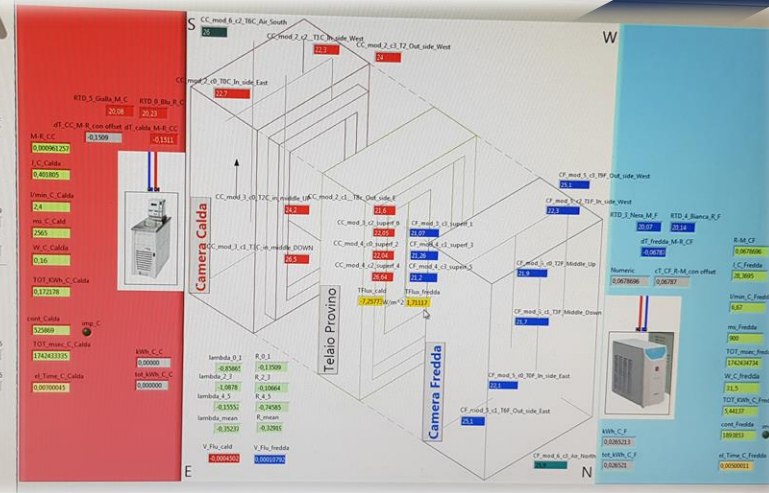
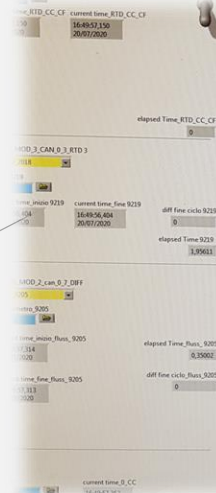
Attività Sperimentale

Prove in camera climatica in condizioni stazionarie e dinamiche

- Caratterizzazione dello strato
- Verifica simulazioni numeriche

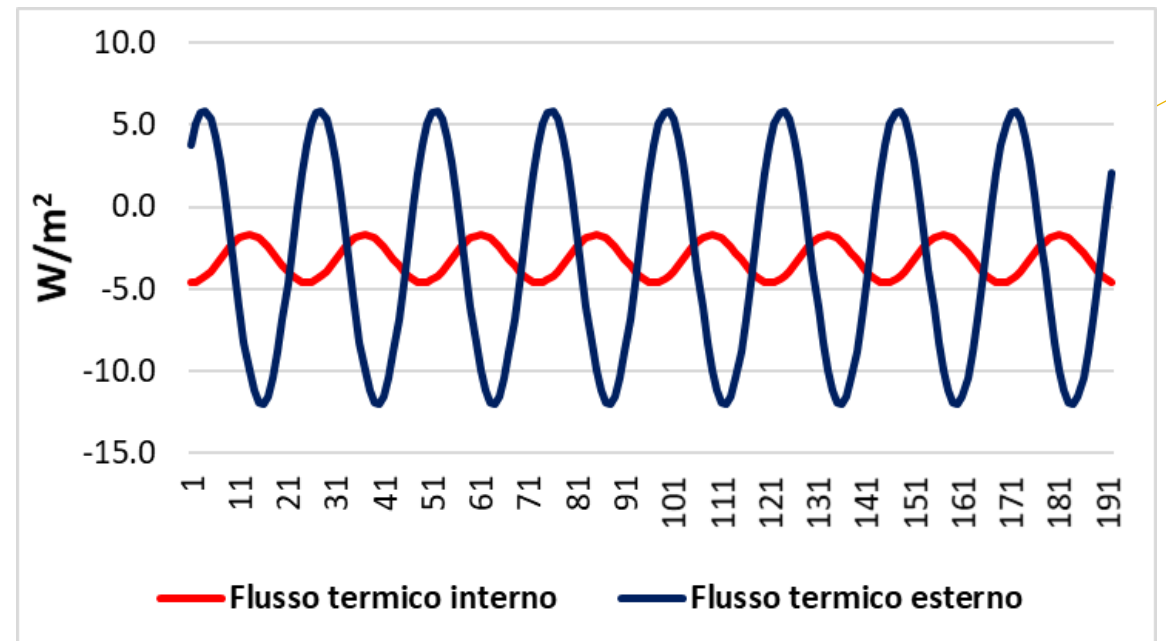
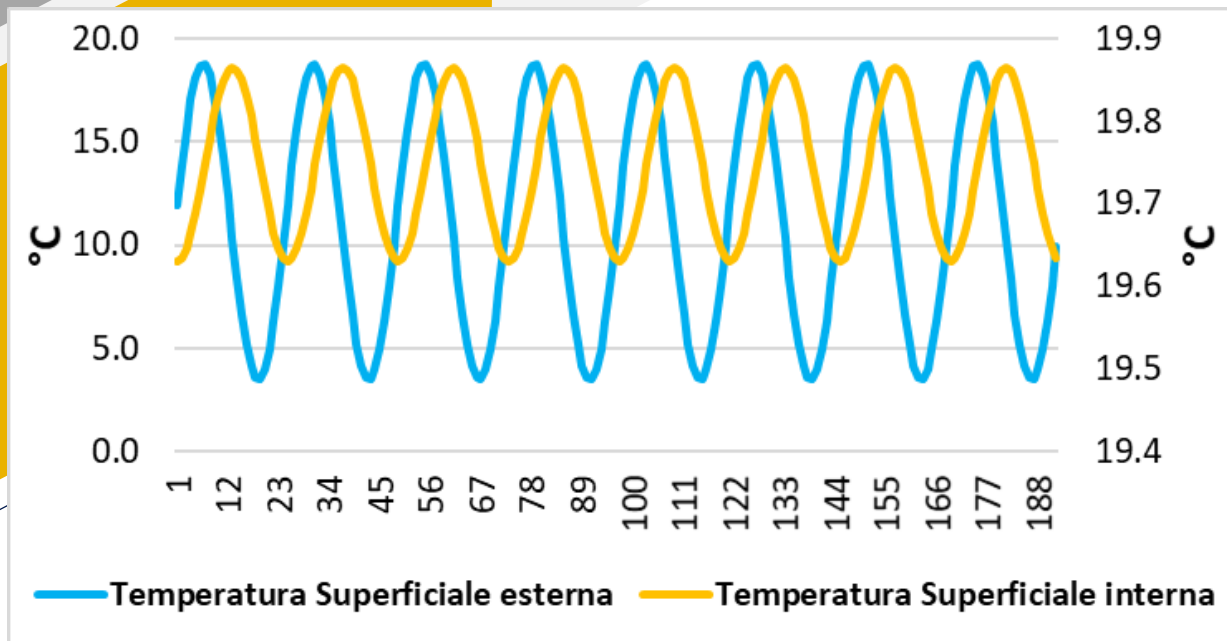
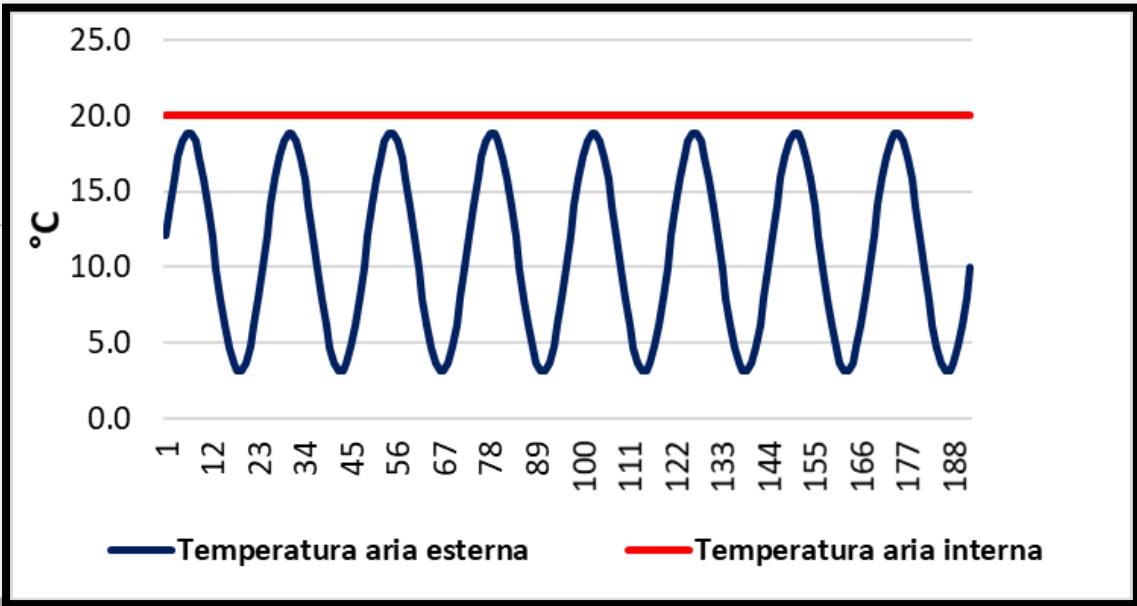
Ing. Ph.D. Domenico Mazzeo

EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

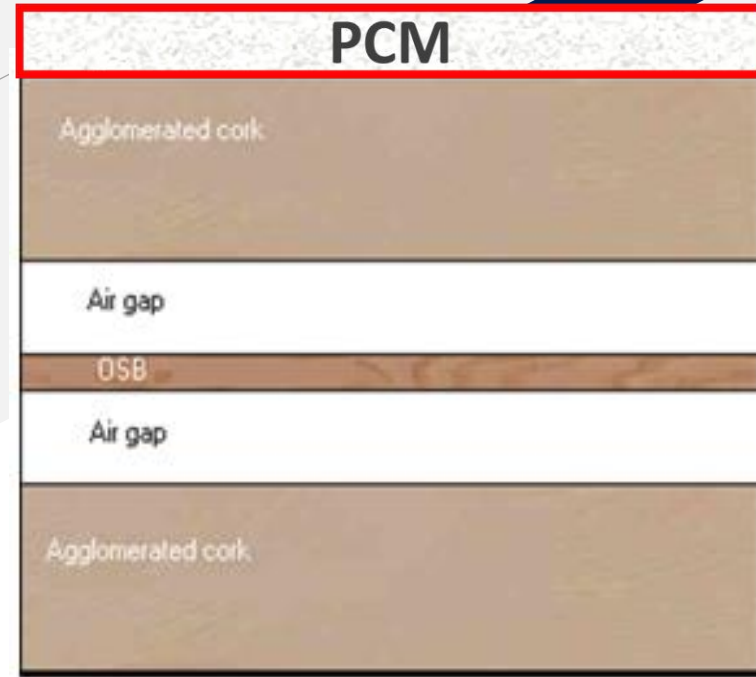
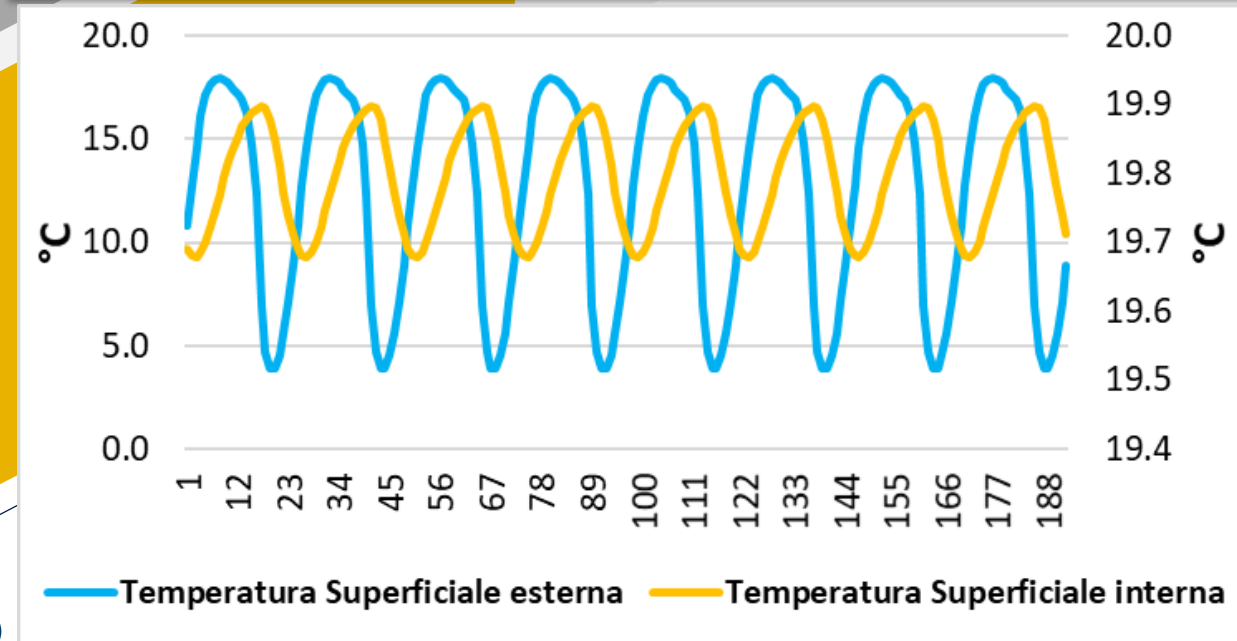
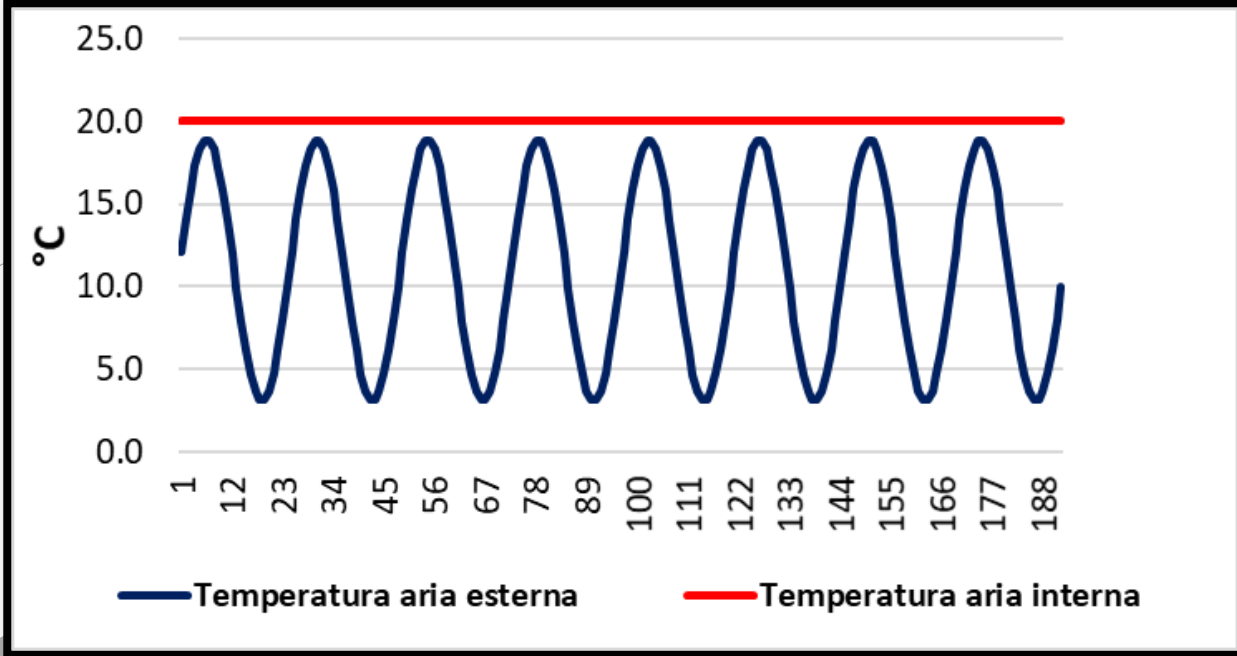


Attività Sperimentale - Test 1a

Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL:
domenico.mazzeo@unical.it



Attività Sperimentale - Test 1b



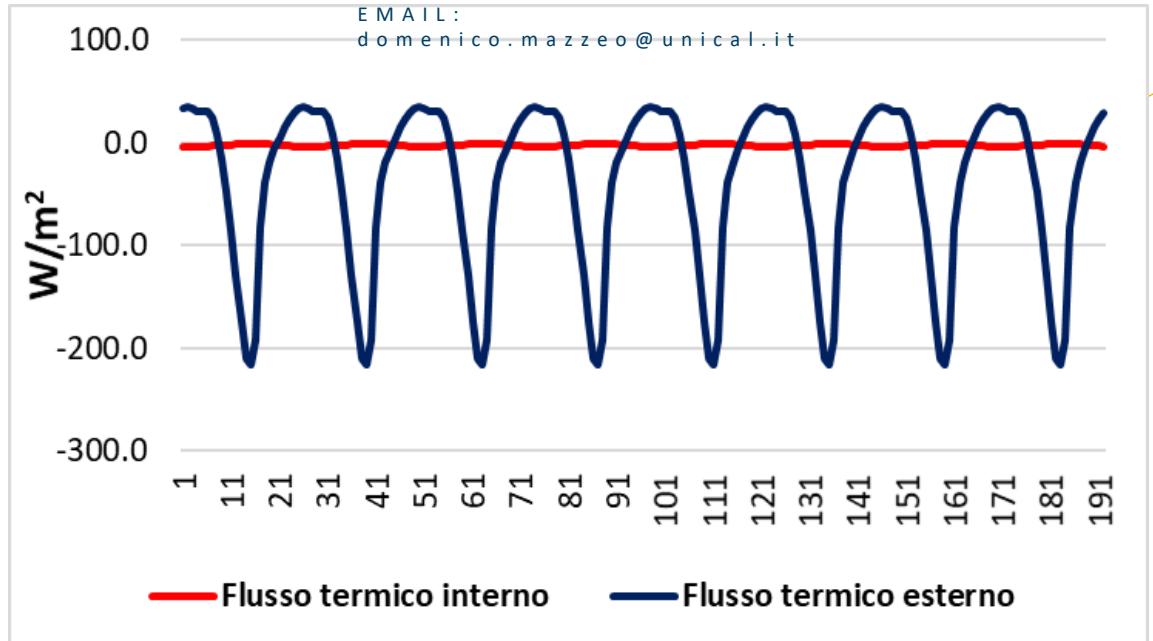
18°C
66°F

INSOLCORP

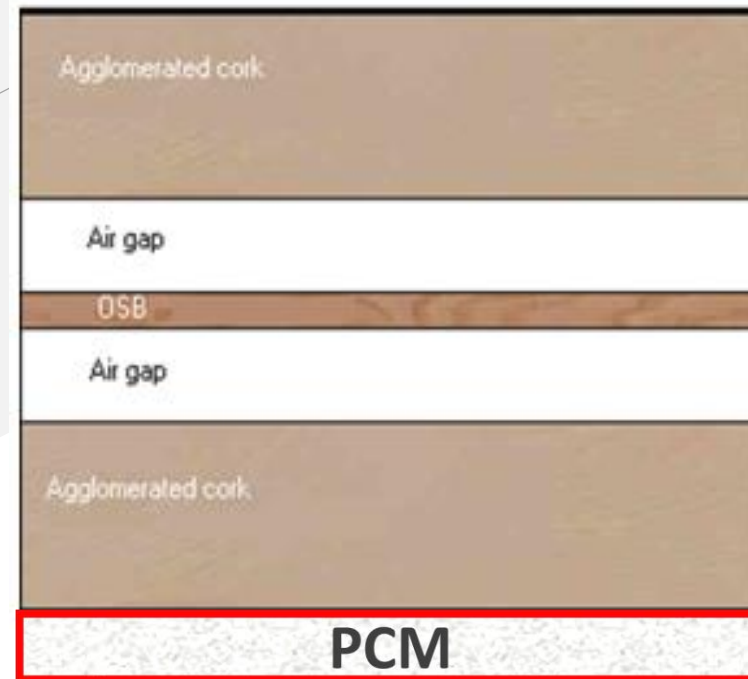
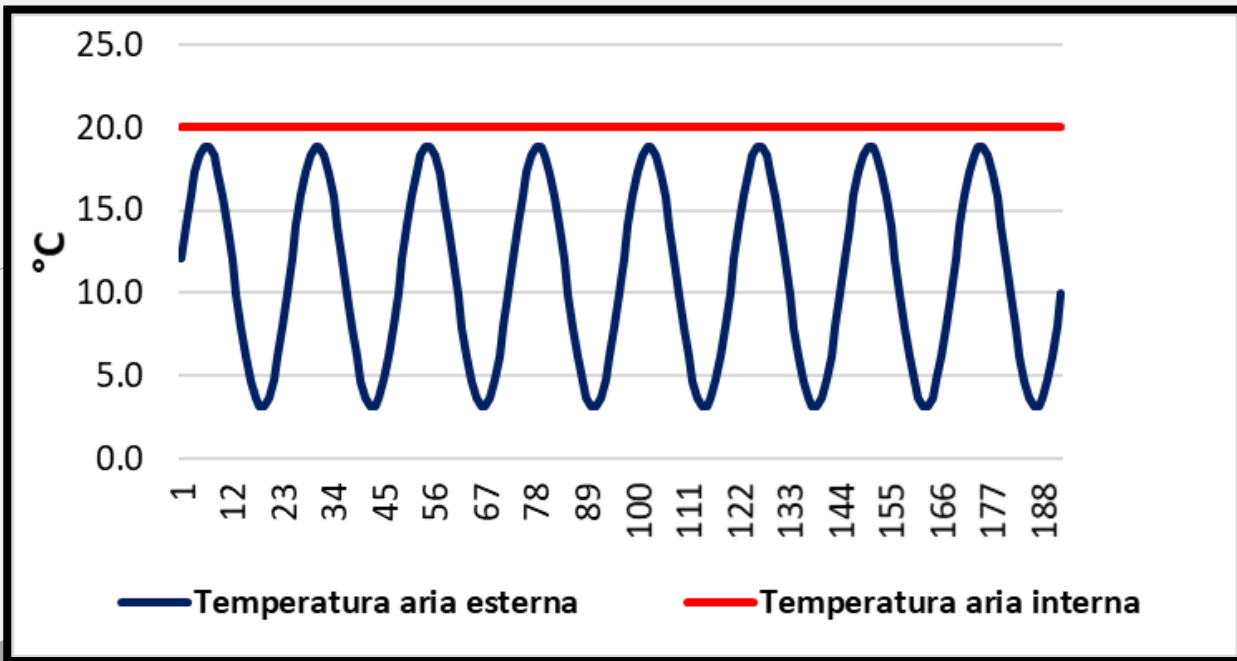
Infinite R™



Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo
EMAIL:
domenico.mazzeo@unical.it



Attività Sperimentale - Test 1c



18°C
66°F

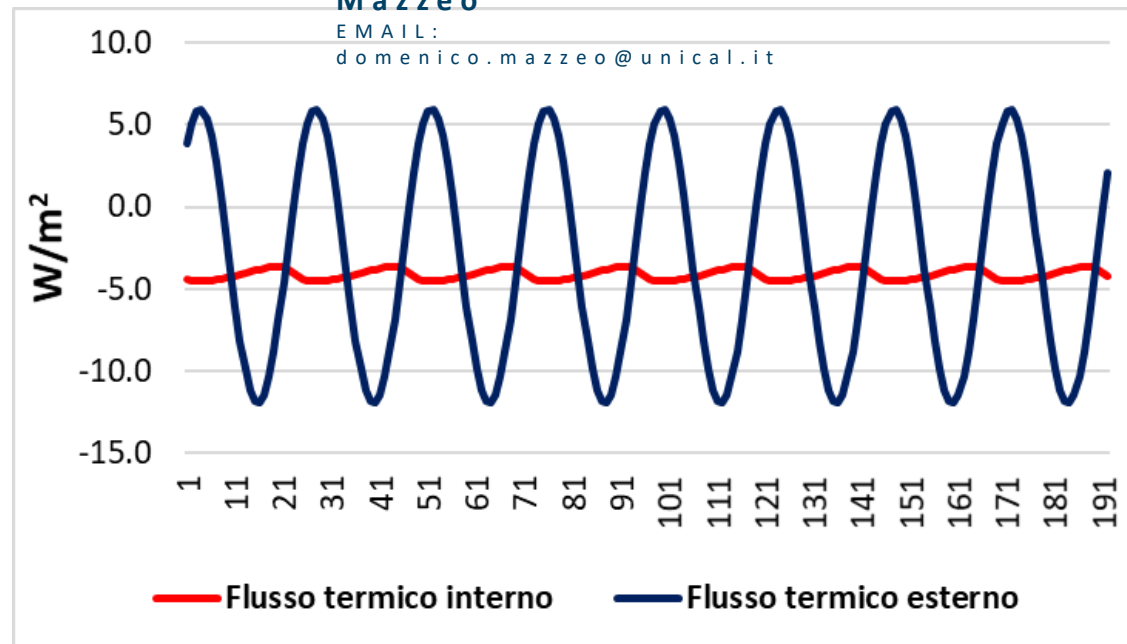
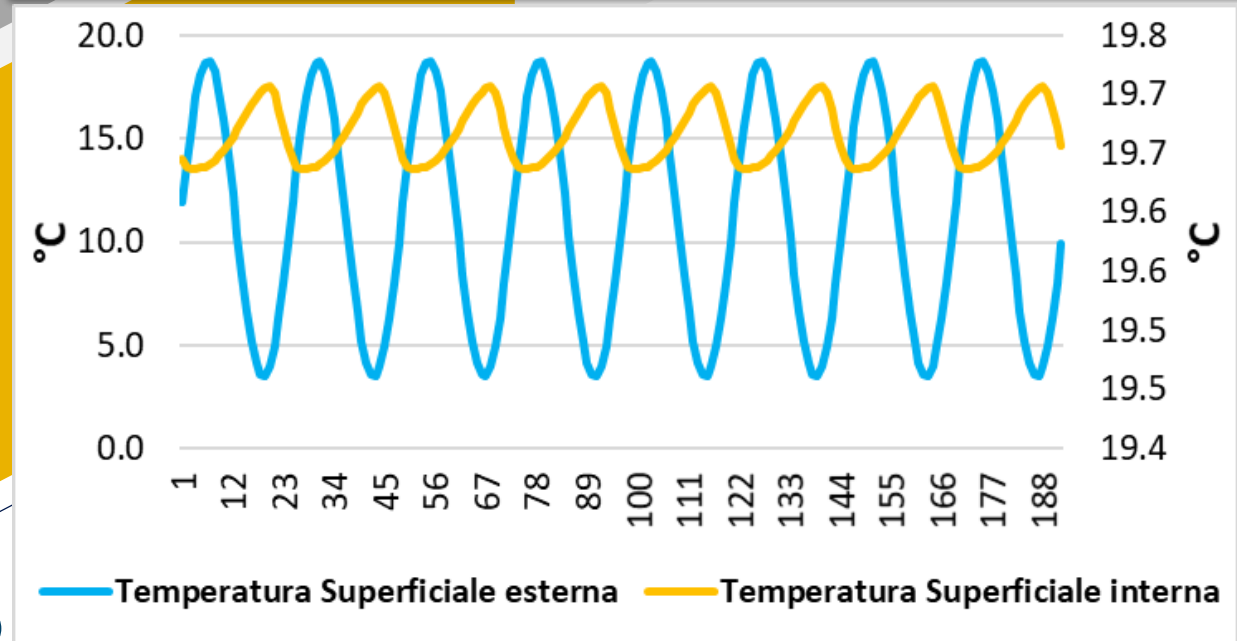
INSOLCORP

Infinite R™

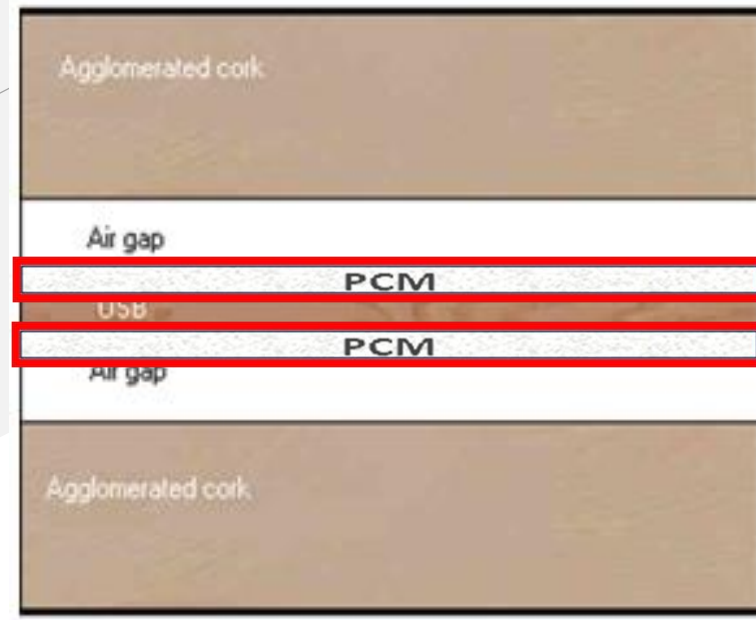
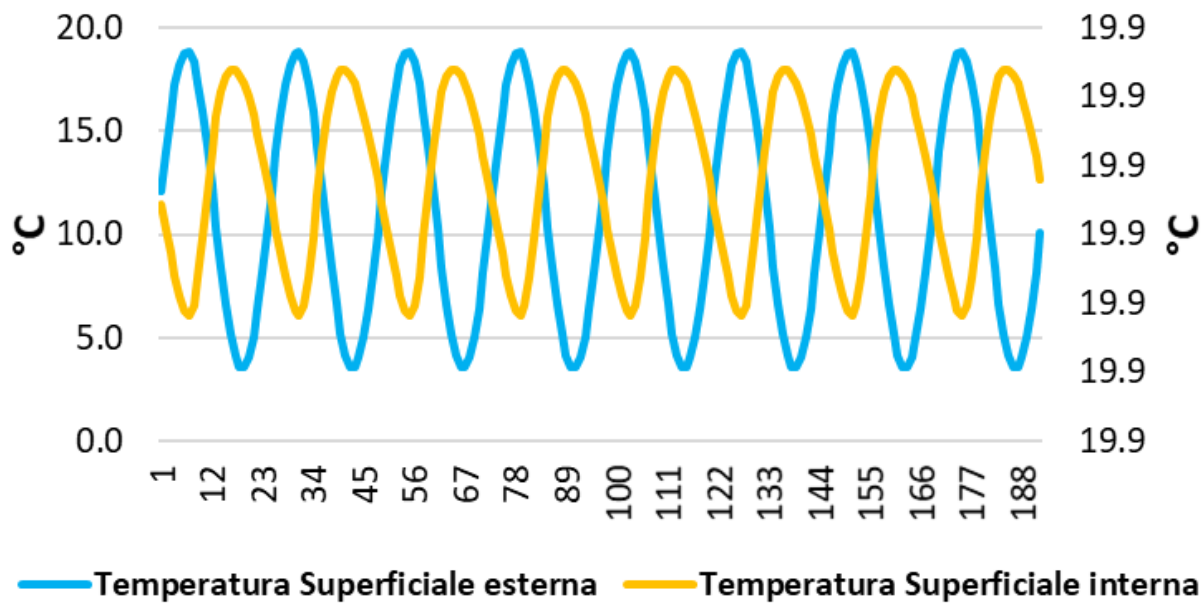
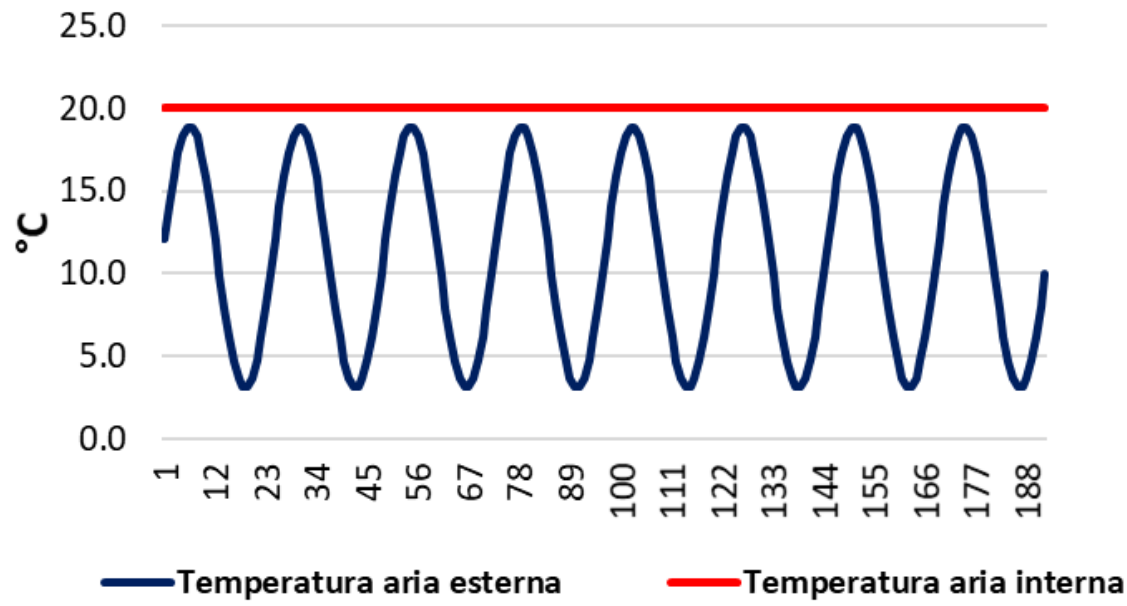


Ing. Ph.D. Domenico Mazzeo

EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it



Attività Sperimentale - Test 1d



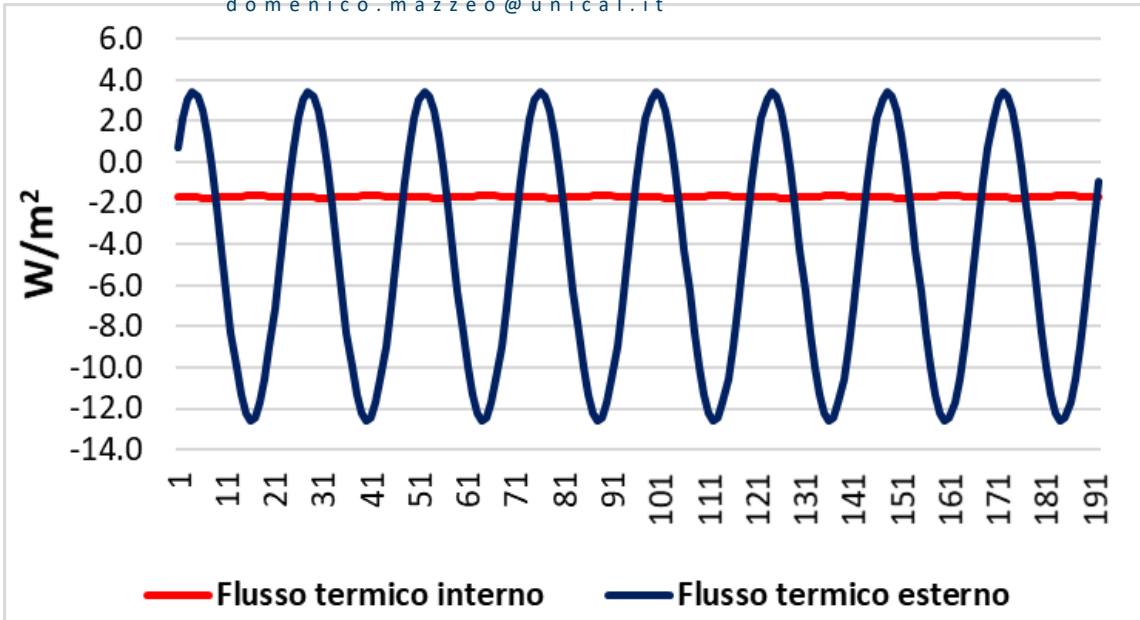
< **18°C** >
66°F

INSOLCORP

Infinite R™

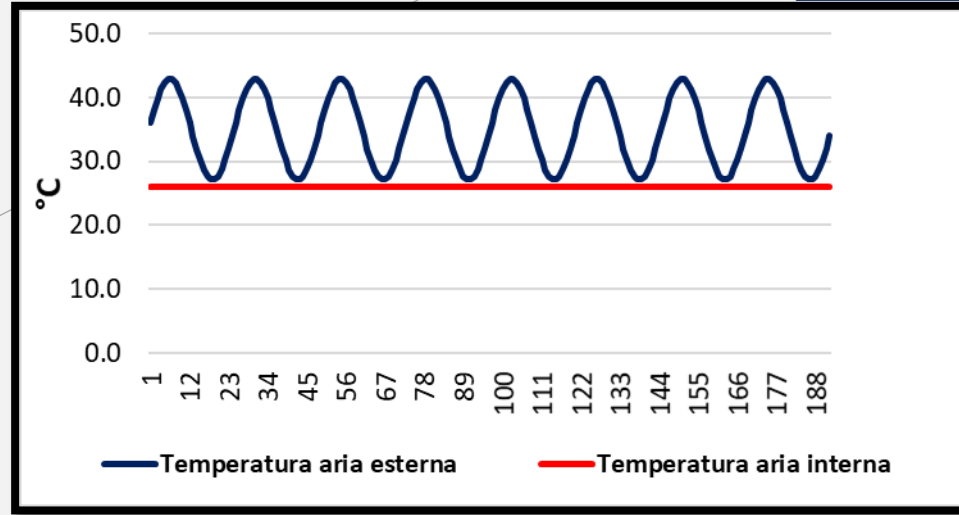


Ing. Ph.D. Domenico Mazzeo
 EMAIL: domenico.mazzeo@unical.it

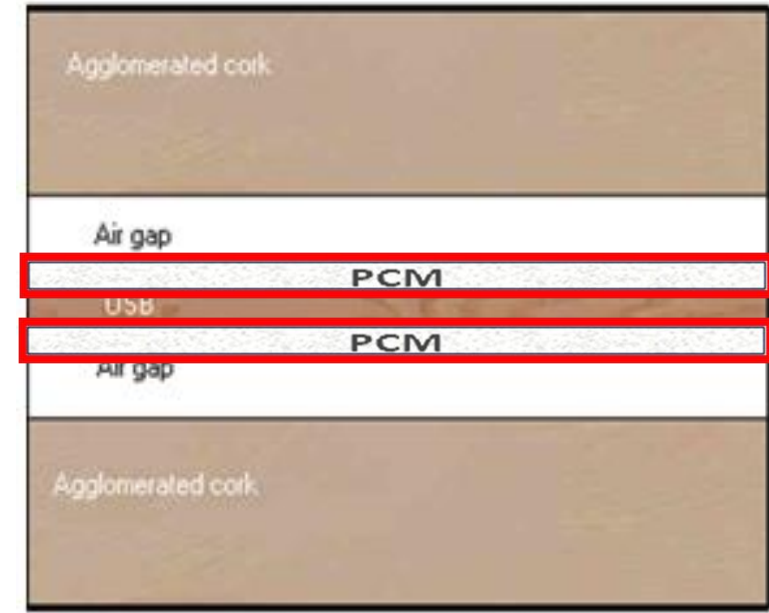
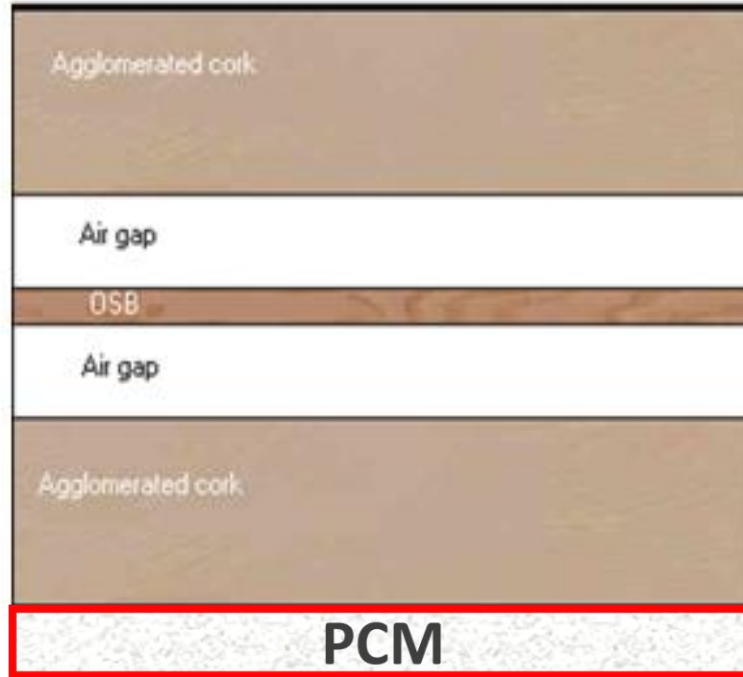


Attività Sperimentale - Test 2a-2d

29°C
84°F



PCM





Grazie per
l'attenzione!!!



Ministero dell'Università,
dell'Università e della Ricerca
**DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA MECCANICA,
ENERGETICA E GESTIONALE**

**Ing. Ph.D. Domenico
Mazzeo**
EMAIL:
domenico.mazzeo@unical.it