

## RELAZIONE DI RICERCA

**Accordo di collaborazione tra Regione Lombardia e ITC-CNR per la “ricerca e sperimentazione – mediante allestimento di un laboratorio di ricerca applicata – di un materiale di rivestimento innovativo e sostenibile, avente elevate caratteristiche termiche e acustiche per il risanamento di edifici”**





CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

**Istituto per le Tecnologie della Costruzione**

**SEDE ISTITUZIONALE**

## **RELAZIONE DI RICERCA**

### **N° 2017.11.15.518.**

#### **AUTORI**

*Scamoni F.*

*Scrosati C.*

*Depalma M.*

*Maffè C.*

*Pollastro C.*

*Salamone F.*

#### **DIRETTORE ITC**

*Prof. ing. Antonio Occhiuzzi*

Sede Istituzionale

Via Lombardia 49, 20098 San Giuliano Milanese (MI)

[segreteria@itc.cnr.it](mailto:segreteria@itc.cnr.it)

[itc@pec.cnr.it](mailto:itc@pec.cnr.it)

Via Paolo Lembo 38/B, 70124 Bari

Via G. Carducci 32, 67100 L'Aquila

c/o DIST, Via Claudio 21, Fabbricato 7, 1° piano, 80125 Napoli

Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova

Tel. 02 9806417

Fax 02 98280088

Sede Secondaria di Bari

Sede Secondaria di L'Aquila

Sede Secondaria di Napoli

Sede Secondaria di Padova

Tel. 080 5481265

Tel. 0862 316669

Tel. 081 7683336

Tel. 049 8295618

Fax 0862 318429

Fax 081 7685921

Fax 049 8295728

**P. IVA 02118311006 - C.F. 80054330586**

## INDICE

<b>1. OGGETTO.....</b>	<b>2</b>
<b>2. SCOPO.....</b>	<b>2</b>
<b>3. OBIETTIVI.....</b>	<b>2</b>
<b>4. FASI PREVISTE DI ATTIVITÀ.....</b>	<b>2</b>
<b>5. FASI INIZIALI DELLA RICERCA .....</b>	<b>4</b>
<b>5.1. SELEZIONE E SCELTA DEI PRODOTTI PARTECIPANTI ALLA MANIFESTAZIONE DI INTERESSE.....</b>	<b>4</b>
<b>6. VERIFICHE DI LABORATORIO SUI PRODOTTI SCELTI .....</b>	<b>6</b>
<b>6.1. VERIFICA DELLE PROPRIETÀ ACUSTICHE .....</b>	<b>6</b>
<b>6.2. VERIFICA DELLE PROPRIETÀ TERMICHE .....</b>	<b>16</b>
<b>6.2.1. CALCOLO DELLA TRASMITTANZA TERMICA .....</b>	<b>19</b>
<b>7. VERIFICHE IN CAMPO .....</b>	<b>20</b>
<b>7.1. EDIFICIO SPERIMENTALE .....</b>	<b>20</b>
<b>7.2. INTERVENTI DELLE DITTE SELEZIONATE .....</b>	<b>21</b>
<b>7.3. VERIFICA DELLE PROPRIETÀ ACUSTICHE .....</b>	<b>22</b>
<b>7.3.1. ISOLAMENTO ACUSTICO DI FACCIATA .....</b>	<b>22</b>
<b>7.3.2. TEMPO DI RIVERBERAZIONE.....</b>	<b>26</b>
<b>7.3.3. RIFLESSIONE SONORA SULLA FACCIATA .....</b>	<b>27</b>
<b>7.4. VERIFICA DEL COMFORT TERMOIGROMETRICO .....</b>	<b>29</b>
<b>7.4.1. ASSETTO SPERIMENTALE E DATI METEO.....</b>	<b>30</b>
<b>7.4.2. MONITORAGGIO ANTE-OPERAM.....</b>	<b>32</b>
<b>7.4.3. MONITORAGGIO POST-OPERAM.....</b>	<b>36</b>
<b>7.4.4. CONFRONTI ANTE-OPERAM/POST-OPERAM .....</b>	<b>40</b>
<b>8. DIVULGAZIONE DELLA RICERCA E DEI RISULTATI OTTENUTI.....</b>	<b>43</b>
<b>8.1. PRESENTAZIONI, CONVEGNI E PUBBLICAZIONI .....</b>	<b>43</b>
<b>9. CONSIDERAZIONI FINALI .....</b>	<b>45</b>

## 1. Oggetto

Il presente Rapporto descrive l'attività svolta da ITC CNR nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione sottoscritto da Regione Lombardia e CNR ITC per la "Ricerca e sperimentazione - mediante allestimento di un laboratorio di ricerca applicata - di un materiale di rivestimento innovativo e sostenibile, avente elevate caratteristiche termiche e acustiche per il risanamento di edifici"(D.g.r. X/4008 del 04/09/2015).

## 2. Scopo

La ricerca e sperimentazione in oggetto ha lo scopo di individuare un materiale innovativo, da utilizzare in aree urbane densamente popolate e/o in aree caratterizzate da inquinamento acustico da infrastrutture, al fine di ottenere sia un miglioramento dell'efficienza energetica che una sostanziale riduzione dell'esposizione al rumore. È previsto l'allestimento di un laboratorio di analisi e sperimentazione all'interno di un edificio di proprietà regionale, posto in prossimità dell'Aeroporto di Malpensa, ove verificare le proprietà termiche e acustiche del materiale innovativo proposto dalle imprese che hanno aderito ad una Manifestazione di Interesse bandita da Regione Lombardia.

## 3. Obiettivi

La Regione Lombardia e il CNR-ITC, collaborano allo scopo di sviluppare congiuntamente, mettendo in comune le rispettive competenze e strutture, una ricerca e sperimentazione di un materiale di rivestimento innovativo e sostenibile, con elevate caratteristiche termiche e acustiche, finalizzato al risanamento di edifici, in termini di riduzione dei consumi energetici e di riduzione dell'esposizione all'inquinamento acustico da infrastrutture (per es. trasporto aereo e viabilistico).

La ricerca e la sperimentazione in oggetto mira a selezionare uno o più materiali innovativi, da utilizzare in aree urbane densamente popolate e/o in aree caratterizzate da inquinamento acustico da infrastrutture, al fine di ottenere sia un miglioramento dell'efficienza energetica che una sostanziale riduzione dell'esposizione al rumore.

I sistemi che attualmente il mercato propone per assolvere a tali compiti non sempre si adattano alle diverse tipologie costruttive e ai vincoli (storici, architettonici, ecc.) imposti ad alcune di esse; inoltre il loro utilizzo non è esente da difficoltà di applicazione e limiti.

In particolare i sistemi attualmente più utilizzati nelle ristrutturazioni e nei recuperi (ad es. i rivestimenti "a cappotto" per l'esterno e le contropareti per l'interno) prevedono l'applicazione di forti spessori di materiale isolante ( $\geq 10$  cm) e non sono esenti da difficoltà di applicazione e limiti.

## 4. Fasi previste di attività

La ricerca è svolta secondo il seguente Piano delle Attività:

	Principali	Secondarie	Competenza
<b>Chiamata aziende (industrie) produttrici</b>			
A1	Avviamento di una "manifestazione d'interesse"		RL
	A1.1	Istruttoria: ITC-CNR si impegna a dare supporto a Regione Lombardia per la preparazione della "manifestazione d'interesse"	RL e ITC CNR
	A1.2	Pubblicazione della "manifestazione d'interesse" sul sito della Regione Lombardia	RL

A1.3	ITC-CNR si impegna a dare supporto a Regione Lombardia per la valutazione e la graduatoria della “manifestazione d’interesse”	RL e ITC CNR
<b>Caratterizzazione prestazionale del prodotto</b>		
A2	Verifiche preliminari sui primi tre prodotti inseriti in graduatoria e scelta dei prodotti da provare presso il sito di Malpensa	ITC CNR e RL
A2.1	ITC-CNR svolgerà presso i propri laboratori le seguenti prove: a. Misura dell’assorbimento acustico del rivestimento nella camera riverberante di ITC-CNR secondo la norma ISO 354. b. Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia nei laboratori di ITC-CNR secondo la norma UNI EN 12667.	ITC CNR
A2.2	Confronto dei risultati dei tre primi prodotti in graduatoria e scelta dei materiali che verranno posati in opera	ITC CNR
A3	Campagna di misura presso il sito di Malpensa sui prodotti selezionati al punto A2.2	ITC CNR
A3.1	ITC-CNR svolgerà le seguenti caratterizzazioni sull’edificio pilota in area Malpensa <i>ante operam</i> (ovvero prima della posa del materiale di rivestimento): a. Misura dell’isolamento acustico di facciata UNI 11572 b. Misura del coefficiente di diffusione direzionale in campo libero ISO 17497-2. c. Misura del tempo di riverbero EN ISO 3382-2 d. Misura di confort termo-igrometrico UNI EN ISO 7730	ITC CNR
A3.2	ITC-CNR svolgerà le seguenti caratterizzazioni sull’edificio pilota in area Malpensa <i>post operam</i> (ovvero dopo la posa del materiale di rivestimento) sulla facciata ( <i>esterno</i> ): a. Misura dell’isolamento acustico di facciata UNI 11572 b. Misura del coefficiente di diffusione direzionale in campo libero ISO 17497-2 c. Misura del tempo di riverberazione EN ISO 3382-2 d. Misura di confort termo-igrometrico UNI EN ISO 7730	ITC CNR
A3.3	ITC-CNR svolgerà le seguenti caratterizzazioni sull’edificio pilota in area Malpensa <i>post operam</i> (ovvero dopo la posa del materiale di rivestimento) sugli ambienti <i>interni</i> : a. Misura dell’isolamento acustico di facciata UNI 11572 b. Misura dell’assorbimento acustico interno EN ISO 3382-2 c. Misura di confort termo-igrometrico UNI EN ISO 7730	ITC CNR
A3.4	ITC-CNR svolgerà le seguenti caratterizzazioni sull’edificio pilota in area Malpensa <i>post operam</i> ovvero dopo la posa del materiale di rivestimento sia sulla <i>facciata</i> che sugli ambienti <i>interni</i> : a. Misura dell’isolamento acustico di facciata UNI 11572 b. Misura di confort termo-igrometrico UNI EN ISO 7730	ITC CNR
<b>Disseminazione dei risultati</b>		
A4	Convegno	ITC CNR
A4.1	Preparazione del convegno per la disseminazione dei risultati	ITC CNR
A4.2	Preparazione gli interventi per la comunicazione dei risultati durante il convegno	ITC CNR

Di seguito viene illustrato il cronoprogramma aggiornato dell’intero Piano delle attività:

Attività	ago-15	set-15	ott-15	nov-15	dic-15	gen-16	feb-16	mar-16	apr-16	mag-16	giu-16	lug-16	ago-16	set-16	ott-16	nov-16	dic-16	gen-17	feb-17	mar-17	apr-17	mag-17	giu-17	lug-17	ago-17	set-17	ott-17	nov-17	dic-17	
A.1 bando	■																													
A.1.1 istruttoria	■	■																												
A.1.2 pubblicazione			■	■																										
A.1.3 graduatoria					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
A.2 prove di laboratorio										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
A.2.1 prove										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
A.2.2 confronto risultati																					■	■	■	■	■	■	■	■	■	
A.3 prove in opera																					■	■	■	■	■	■	■	■	■	
A.3.1 ante operam																						■	■	■	■	■	■	■	■	
A.3.2 post - facciata																								■	■	■	■	■	■	
A.3.3 post - interno																									■	■	■	■	■	
A.3.4 post - facciata+interno																									■	■	■	■	■	
A.3.4 elaborazione risultati																										■	■	■	■	
A.4 convegno																														
A.4.1 preparazione																														
A.4.2 comunicaz. risultati																														

1	Human Factory Day 2017 : risultati parziali
2	Convegno AIA : risultati parziali
3	Convegno ICSV Londra: risultati parziali
4	Articolo su Building Acoustics

## 5. Fasi iniziali della ricerca

La prime fasi della ricerca (attività A1 e A2), sono consistite nella selezione, a seguito di graduatoria, dei prodotti proposti dalle ditte che hanno partecipato alla Manifestazione di interesse (D.d.s. 17 dicembre 2015 n.11509) e alle verifiche preliminari di laboratorio.

### 5.1. Selezione e scelta dei prodotti partecipanti alla Manifestazione di Interesse

I sistemi di rivestimento proposti in fase di Manifestazione di interesse devono potersi applicare sia sul lato esterno che sul lato interno di un'opera muraria, rispettando i seguenti spessori:

- per il rivestimento interno: spessore  $\leq 2$  cm;
- per il rivestimento esterno: spessore  $\leq 6$  cm;

In base alla graduatoria finale (D.d.s. 12 aprile 2016 n.3220) sono stati scelti i seguenti tre prodotti:

1) *Prodotto di rivestimento interno ad elevato assorbimento acustico proposto dalla ditta Mappy*

È un pacchetto composto dai due seguenti strati: a) materiale composto da elastomeri e cariche minerali accoppiato ad uno strato di polietilene espanso reticolato fisicamente; b) pannello in fibra di poliesteri ricoperto da tessuto a vista. La parte elastomerica è ottenuta mediante il parziale riciclo degli scarti della lavorazione del materiale stesso mentre la fibra è ottenuta mediante il riciclo di bottiglie di plastica senza aggiunta di leganti chimici

Tale prodotto fonoassorbente ottenuto con materiale di riciclo permette di abbattere sensibilmente il riverbero all'interno di ambienti abitati e, tramite la sua modularità può essere facilmente applicato su pareti e soffitti di ambienti a diverse destinazioni d'uso.



Prodotto 1

2) *Prodotto di rivestimento di pareti ad elevate prestazioni acustiche e termiche proposto dalla ditta TRI*

È un intonaco innovativo nano-composito, a base di vetro cellulare e nano-leganti, che utilizza composti nano-strutturati, leganti ecologici e materie prime riciclate, con finitura a base di idropittura murale traspirante.



Prodotto 2

3) *Prodotto di rivestimento di pareti ad elevate prestazioni acustiche e termiche proposto dalla ditta DIASEN*

È un intonaco premiscelato composto da materiali naturali quali sughero, argilla, polveri diatomeiche e calce, con finitura formata da resine a base acqua.



Prodotto 3

I Prodotti 2) e 3) sono due sistemi che debbono la loro innovazione alla loro versatilità e facilità di applicazione; sono applicabili come un normale intonaco su entrambi i lati delle murature e in tutte quelle situazioni in cui non è possibile o non è accettabile ricorrere a forti spessori di materiale isolante all'esterno e all'interno di edifici permettendo la riqualificazione del maggior numero possibile di peculiarità costruttive. Si ottiene in tal modo un miglioramento significativo rispetto alla situazione di partenza combinando e ottimizzando l'intervento (per esempio suddividendo gli spessori) su entrambi i lati dell'opera muraria.



I prodotti 2) e 3) possono anche essere applicati direttamente su intonaci esistenti

## **6. Verifiche di laboratorio sui prodotti scelti**

Le verifiche di laboratorio delle prestazioni termiche e acustiche dei prodotti selezionati (attività A2.1 e A2.2) sono state eseguite presso i laboratori dell'ITC CNR.

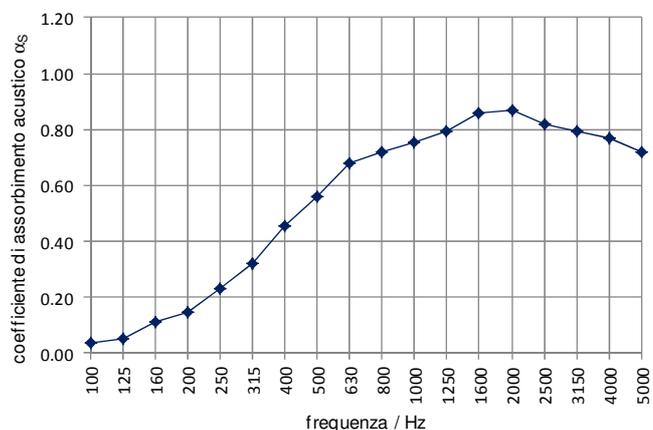
### **6.1. Verifica delle proprietà acustiche**

#### **a) Assorbimento acustico**

L'assorbimento acustico è stato verificato in laboratorio nella camera riverberante applicando il metodo di prova definito nelle norme UNI EN ISO 354 - 2003 e UNI EN ISO 11654 - 1998.

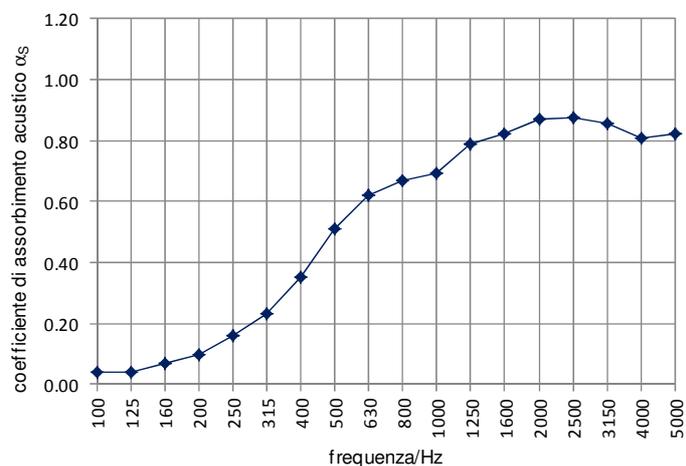
I risultati delle prove per i tre diversi prodotti sono rappresentati nelle figure seguenti in termini di coefficiente di assorbimento acustico in funzione della frequenza e di indice di valutazione del coefficiente di assorbimento acustico.

Prodotto 1):



$$\alpha_w = 0,55(H)$$

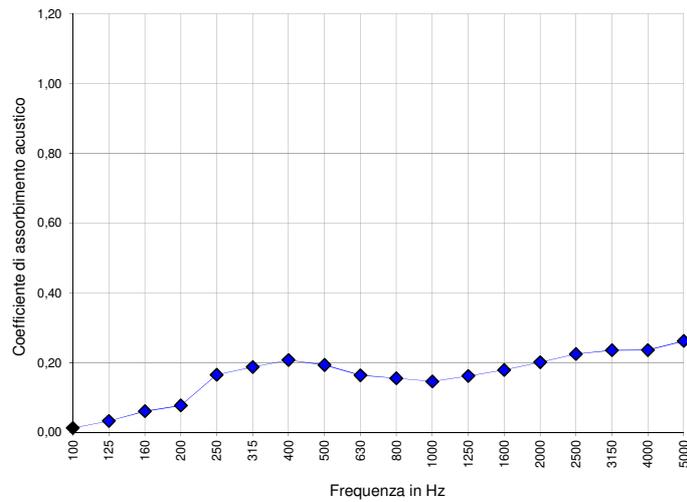
Prodotto 1) nella configurazione Mappysilent PLT + Mappyfiber Trevira Piano



$$\alpha_w = 0,45(MH)$$

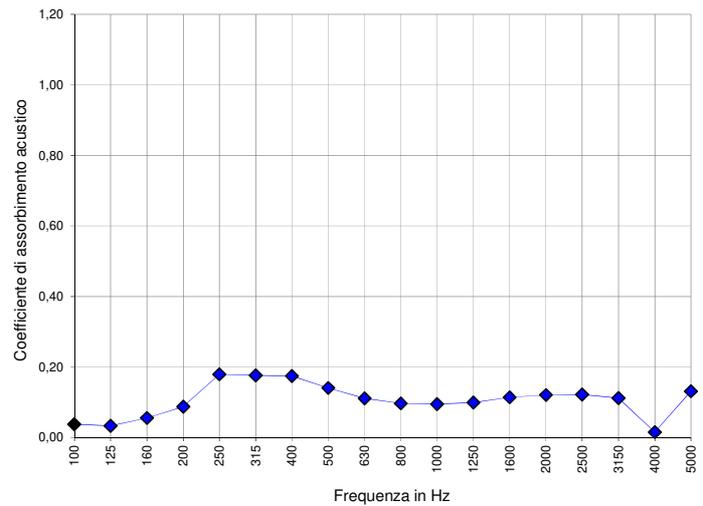
Prodotto 1) nella configurazione Mappysilent PLT + Mappyfiber Trevira Bubble

Prodotto 2):



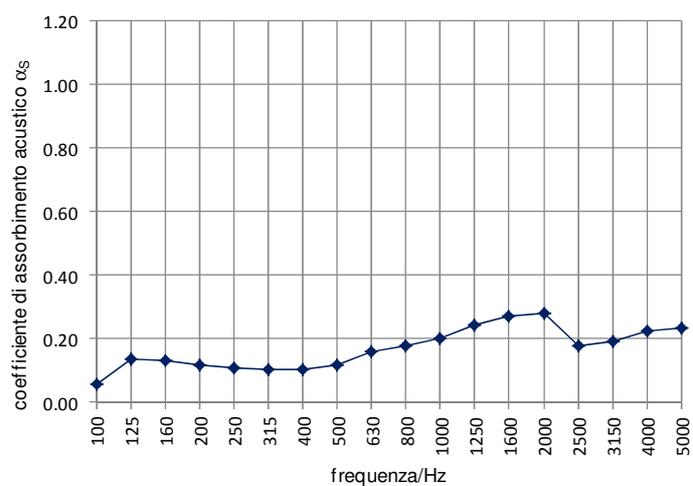
$$\alpha_w = 0,2$$

Prodotto 2) nella configurazione STILNEX - 2 cm.



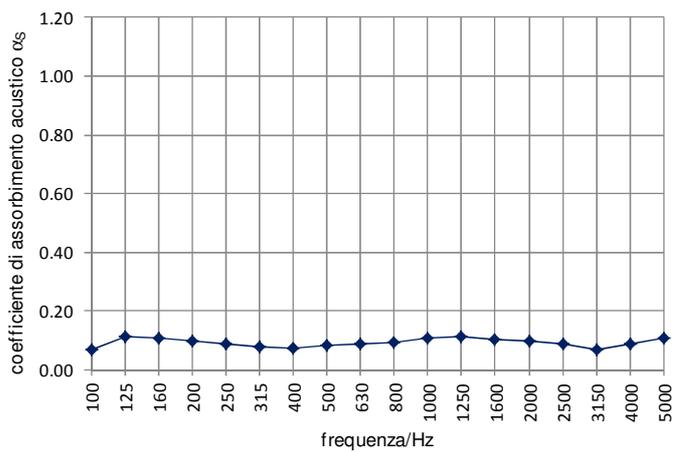
$$\alpha_w = 0,15$$

Prodotto 2) nella configurazione STILNEX - 2 cm con finitura.



$$\alpha_w = 0,2$$

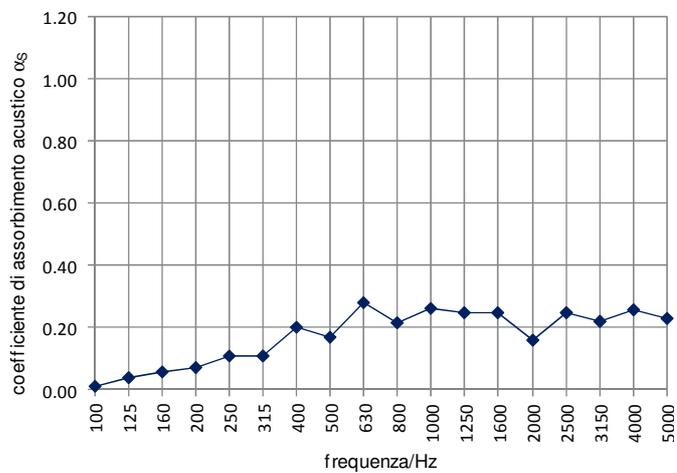
Prodotto 2) nella configurazione STILNEX - 6 cm.



$$\alpha_w = 0,1$$

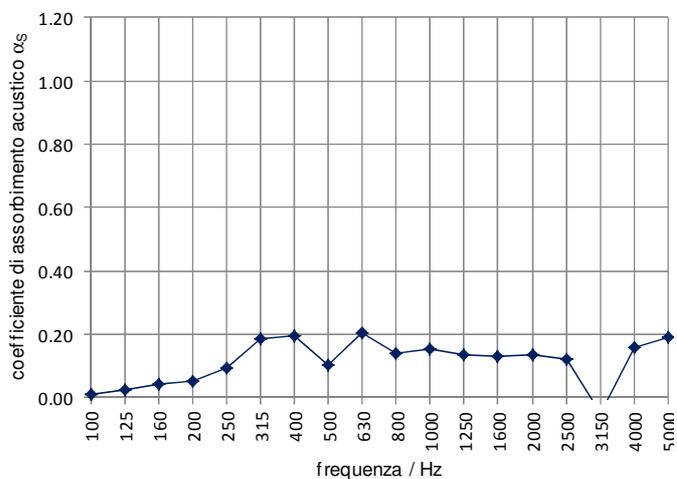
Prodotto 2) nella configurazione STILNEX - 6 cm con finitura.

Prodotto 3):



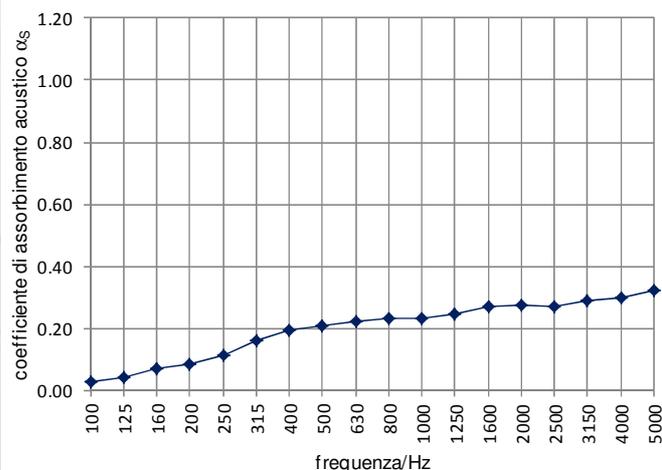
$$\alpha_w = 0,25$$

Prodotto 3) nella configurazione Diathonite Acoustix – 2 cm.



$$\alpha_w = 0,15$$

Prodotto 3) nella configurazione Diathonite Acoustix – 2 cm con finitura Decorck.



$$\alpha_w = 0,25$$

Prodotto 3) nella configurazione Diathonite Acoustix - 6 cm.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori a numero unico per tutti i prodotti provati:

CAMPIONE IN PROVA	Assorbimento acustico $\alpha_w$ (*)
Prodotto 1)Mappysilent PLT + Mappyfiber Trevira Piano	0,55
Prodotto 1)Mappysilent PLT + Mappyfiber Trevira Bubble	0,45
Prodotto 2)STILNEX - 2 cm	0,2
Prodotto 2)STILNEX - 2 cm con finitura	0,15
Prodotto 2)STILNEX - 6 cm	0,2
Prodotto 2)STILNEX - 6 cm con finitura	0,1
Prodotto 3)Diathonite Acoustix - 2 cm	0,2
Prodotto 3)Diathonite Acoustix - 2 cm con finitura	0,15
Prodotto 3)Diathonite Acoustix - 6 cm	0,25

(\*)  $\alpha_w = 0$  materiale riflettente;  $\alpha_w = 1$  assorbimento massimo

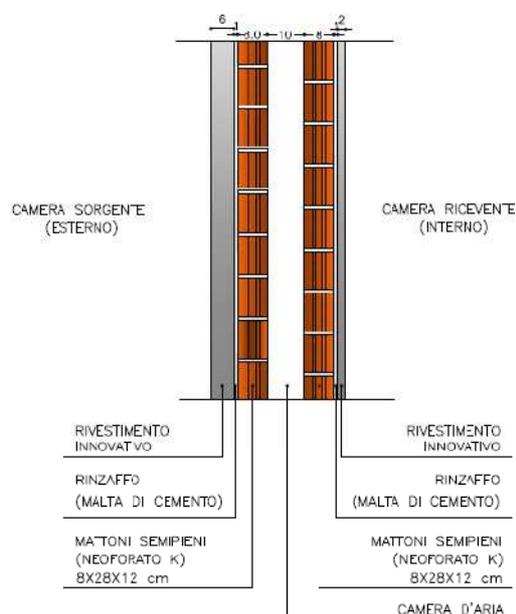
## b) Isolamento acustico

La proprietà di isolamento acustico è stata misurata in laboratorio applicando il metodo di prova definito nelle norme UNI EN ISO 10140:2016 e UNI EN ISO 717-1:2013 riproducendo come supporto del campione in prova la stessa struttura muraria presente nell'edificio sperimentale.



Struttura muraria presente nell'edificio sperimentale e sua riproduzione in laboratorio

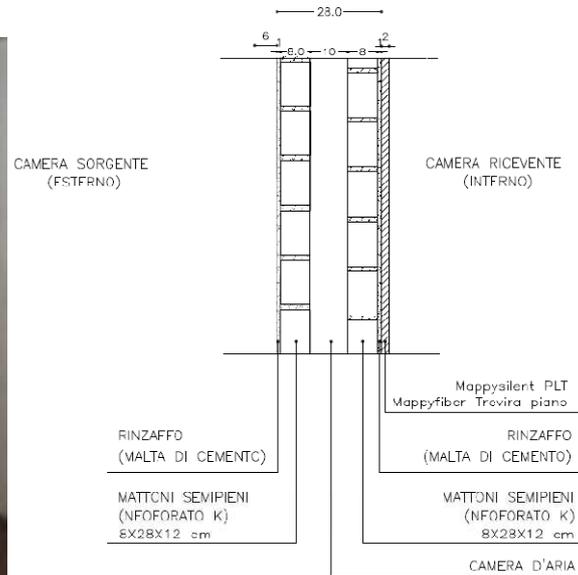
Su tale muratura è stato applicato sia sul lato interno che sul lato esterno il prodotto in prova, come rappresentato nella figura seguente:



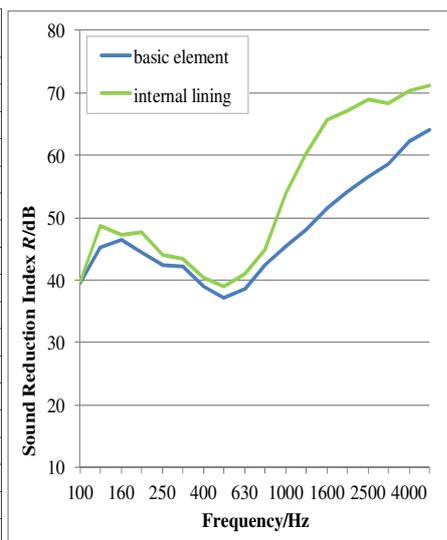
Struttura muraria di supporto e applicazione del prodotto in prova sul lato interno e sul lato esterno

I risultati delle prove per i tre diversi prodotti sono rappresentati nelle figure seguenti in termini di potere fonoisolante, incremento del potere fonoisolante e di indice di valutazione dell'incremento del potere fonoisolante.

Prodotto 1) (è stato applicato solo sul lato interno):



Frequenza (Hz)	R <sub>with</sub> (dB)	R <sub>without</sub> (dB)	ΔR (dB)
100Hz	39,7	39,5	0,2
125Hz	48,7	45,3	3,4
160Hz	47,3	46,5	0,8
200Hz	47,7	44,5	3,2
250Hz	44,1	42,5	1,6
315Hz	43,4	42,3	1,1
400Hz	40,3	38,9	1,4
500Hz	39,0	37,1	1,9
630Hz	41,0	38,6	2,4
800Hz	44,9	42,4	2,5
1kHz	53,9	45,4	8,5
1.25kHz	60,2	48,0	12,2
1.6kHz	65,6	51,5	14,1
2kHz	67,2	54,1	13,1
2.5kHz	68,9	56,6	12,3
3.15kHz	68,4	58,7	9,7
4kHz	70,3	62,3	8,0
5kHz	71,1	64,1	7,0



curva **blu** muro senza rivestimento, curva **verde** rivestimento interno

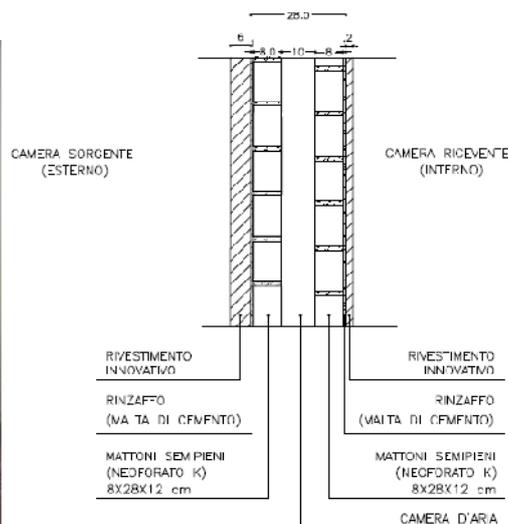
$$\Delta R_{w,direct} = 3 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C)_{direct} = 3 \text{ dB}$$

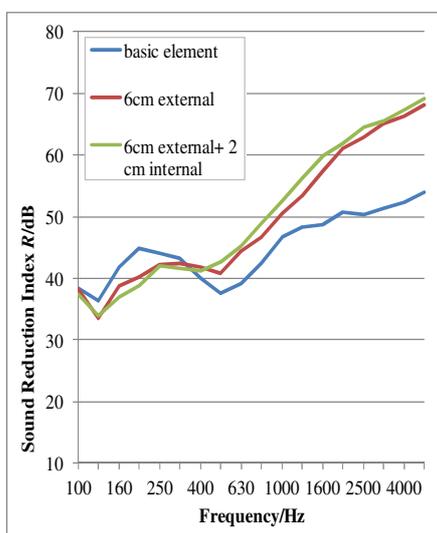
$$\Delta(R_w + C_{tr})_{direct} = 3 \text{ dB}$$

Prodotto 1) nella configurazione Mappysilent PLT + Mappyfiber Trevira Piano

Prodotto 2) (è stato applicato su entrambi i lati):



Frequenza (Hz)	R <sub>w</sub> with (dB)	R <sub>w</sub> without (dB)	ΔR (dB)	Frequenza (Hz)	R <sub>w</sub> with (dB)	R <sub>w</sub> without (dB)	ΔR (dB)
100Hz	35,4	38,3	-2,9	100Hz	37,3	38,3	-1,0
125Hz	32,3	36,4	-4,1	125Hz	34,0	36,4	-2,4
160Hz	34,4	41,8	-7,4	160Hz	37,0	41,8	-4,8
200Hz	37,1	44,8	-7,7	200Hz	38,7	44,8	-6,1
250Hz	40,0	44,1	-4,1	250Hz	42,0	44,1	-2,1
315Hz	41,4	43,2	-1,8	315Hz	41,6	43,2	-1,6
400Hz	41,1	39,9	1,2	400Hz	41,2	39,9	1,3
500Hz	41,8	37,6	4,2	500Hz	42,6	37,6	5,0
630Hz	46,0	39,1	6,9	630Hz	45,3	39,1	6,2
800Hz	49,4	42,4	7,0	800Hz	48,8	42,4	6,4
1kHz	54,1	46,6	7,5	1kHz	52,5	46,6	5,9
1.25kHz	57,8	48,2	9,6	1.25kHz	56,1	48,2	7,9
1.6kHz	61,4	48,6	12,8	1.6kHz	59,7	48,6	11,1
2kHz	63,3	50,7	12,6	2kHz	61,9	50,7	11,2
2.5kHz	65,5	50,3	15,2	2.5kHz	64,4	50,3	14,1
3.15kHz	66,4	51,3	15,1	3.15kHz	65,4	51,3	14,1
4kHz	68,4	52,3	16,1	4kHz	67,4	52,3	15,1
5kHz	70,1	53,9	16,2	5kHz	69,2	53,9	15,3



Rivestimento solo esterno

interno + esterno

curva *blu* muro senza rivestimento, curva *rossa* solo rivestimento esterno, curva *verde* rivestimento esterno ed interno

Rivestimento solo esterno

interno + esterno

$$\Delta R_{w,direct} = 3 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C)_{direct} = 3 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C_{tr})_{direct} = 1 \text{ dB}$$

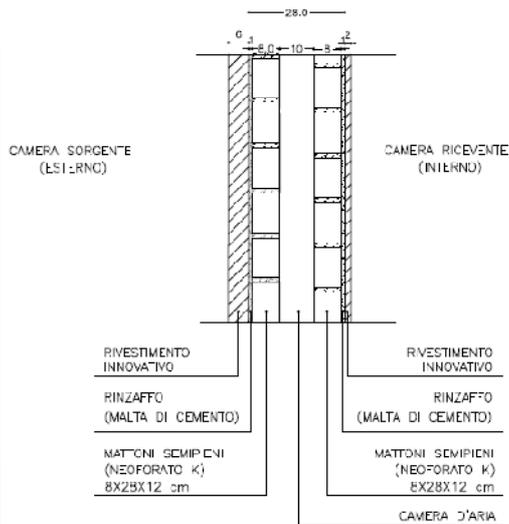
$$\Delta R_{w,direct} = 4 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C)_{direct} = 4 \text{ dB}$$

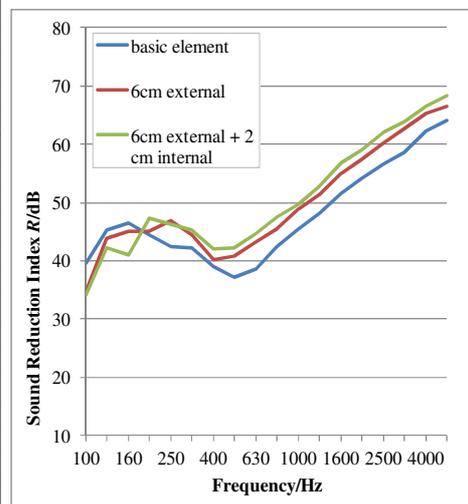
$$\Delta(R_w + C_{tr})_{direct} = 2 \text{ dB}$$

Prodotto 2) nella configurazione Stylnex 6 cm esterno e 2 cm interno con finitura.

Prodotto 3) (è stato applicato su entrambi i lati):



Frequenza (Hz)	R <sub>with</sub> (dB)	R <sub>without</sub> (dB)	ΔR (dB)	Frequenza (Hz)	R <sub>with</sub> (dB)	R <sub>without</sub> (dB)	ΔR (dB)
100Hz	34,8	39,5	-4,7	100Hz	34,1	39,5	-5,4
125Hz	43,9	45,3	-1,4	125Hz	42,2	45,3	-3,1
160Hz	45,1	46,5	-1,4	160Hz	41,0	46,5	-5,5
200Hz	45,0	44,5	0,5	200Hz	47,3	44,5	2,8
250Hz	46,8	42,5	4,3	250Hz	46,3	42,5	3,8
315Hz	44,4	42,3	2,1	315Hz	45,2	42,3	2,9
400Hz	40,2	38,9	1,3	400Hz	42,0	38,9	3,1
500Hz	40,8	37,1	3,7	500Hz	42,2	37,1	5,1
630Hz	43,3	38,6	4,7	630Hz	44,7	38,6	6,1
800Hz	45,4	42,4	3,0	800Hz	47,4	42,4	5,0
1kHz	48,9	45,4	3,5	1kHz	49,7	45,4	4,3
1.25kHz	51,4	48,0	3,4	1.25kHz	52,7	48,0	4,7
1.6kHz	55,0	51,5	3,5	1.6kHz	56,7	51,5	5,2
2kHz	57,3	54,1	3,2	2kHz	59,1	54,1	5,0
2.5kHz	60,2	56,6	3,6	2.5kHz	62,1	56,6	5,5
3.15kHz	62,7	58,7	4,0	3.15kHz	63,9	58,7	5,2
4kHz	65,2	62,3	2,9	4kHz	66,6	62,3	4,3
5kHz	66,5	64,1	2,4	5kHz	68,4	64,1	4,3



Rivestimento solo esterno

interno + esterno

curva *blu* muro senza rivestimento, curva *rossa* solo rivestimento esterno, curva *verde* rivestimento esterno ed interno

Rivestimento solo esterno

interno + esterno

$$\Delta R_{w,direct} = 3 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C)_{direct} = 3 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C_{tr})_{direct} = 3 \text{ dB}$$

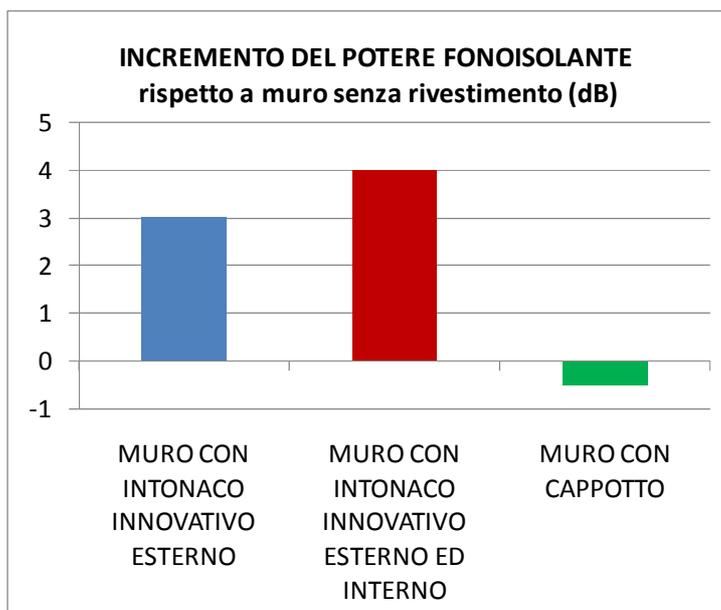
$$\Delta R_{w,direct} = 4 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C)_{direct} = 4 \text{ dB}$$

$$\Delta(R_w + C_{tr})_{direct} = 3 \text{ dB}$$

Prodotto 3) nella configurazione Diathonite Acoustix 6 cm esterno e 2 cm interno.

Il risultato ottenuto ha evidenziato per entrambi i prodotti 2) e 3) un significativo miglioramento dell'isolamento acustico della muratura dopo l'applicazione dell'intonaco innovativo e una prestazione acustica decisamente più elevata rispetto ai sistemi tradizionali utilizzati per ridurre le dispersioni termiche dalle facciate (es.: cappotto) come evidenziato dal grafico seguente:



## 6.2. Verifica delle proprietà termiche

La prestazione termica è stata verificata in laboratorio mediante la misurazione della conduttività termica con il metodo del termo flussimetro secondo la norma UNI EN 12667:2002.



La conduttività termica misurata con termo flussimetro

I risultati delle prove per i tre diversi prodotti sono riportati di seguito in termini di conduttività termica.

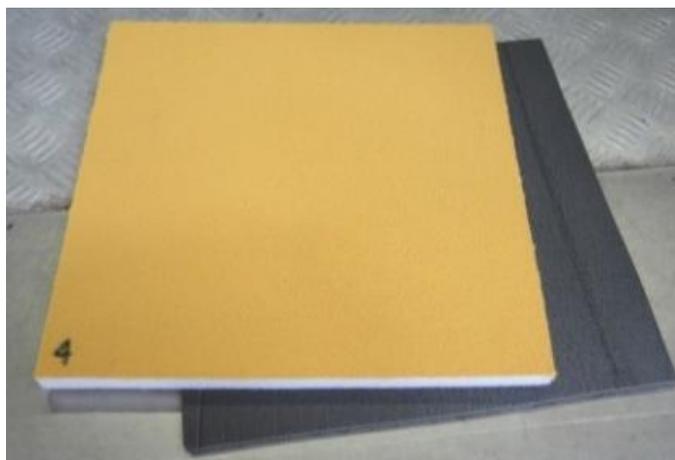
Prodotto 1):



Polistik Zero



Mappyfiber Trevira piano



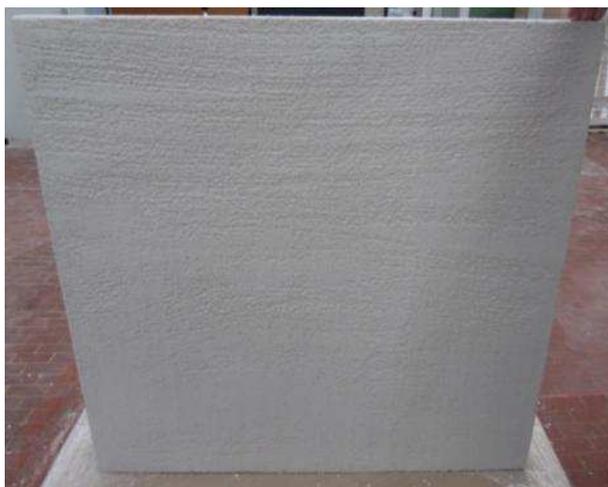
Mappyfiber Trevira piano + Mappysilent PLT



Mappysilent

<i>Configurazione Prodotto 1)</i>	<i>Conduttività termica [W/mK]</i>
Polistik Zero	0,033
Mappyfiber Trevira piano	0,034
Mappyfiber Trevira piano + Mappysilent PLT	0,036
Mappysilent	0,299

Prodotto 2):



STILNEX

Configurazione Prodotto 2)	Conduttività termica [W/mK]
STILNEX_BASE	0,09
STILNEX	0,093

Prodotto 3):



DiathoniteAcoustix



Diathonite Acoustix" con finitura "Decork

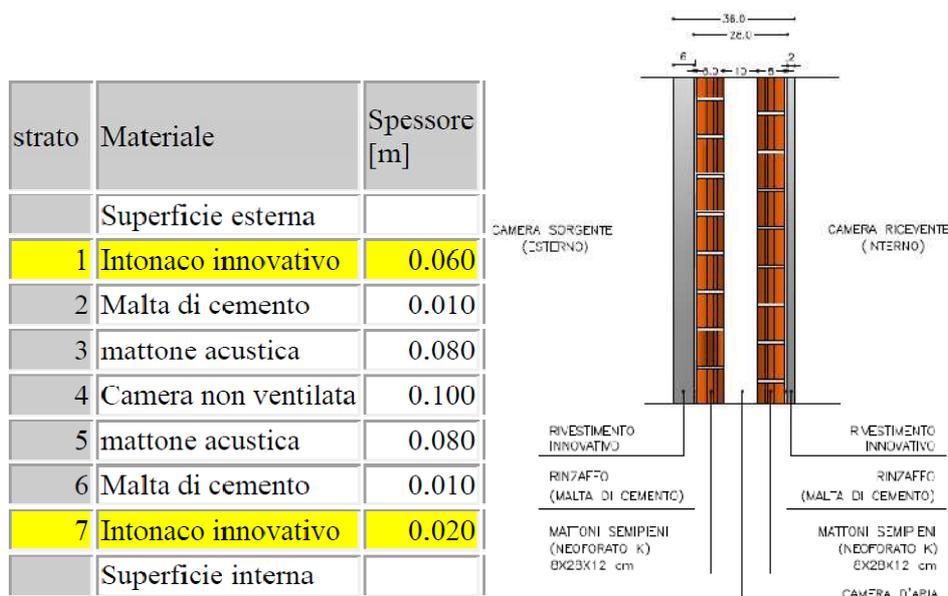
Configurazione Prodotto 3)	Conduttività termica [W/mK]
Diathonite Acoustix	0,0745
Diathonite Acoustix" con finitura "Decork	0,079

Le proprietà termiche dei due intonaci innovativi (prodotti 2 e 3) provati sono riassunte nella seguente tabella:

Prodotto	Conduttività termica [W/mK]	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]
2) STILNEX	0,09	0,6064
3) Acoustix Decork	0,079	0,3739

### 6.2.1. Calcolo della trasmittanza termica

La prestazione di isolamento termico della muratura rivestita dall'intonaco innovativo è valutata in termini di trasmittanza termica calcolata utilizzando i dati di conduttività termica ottenuti in laboratorio; il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI ISO 13786: 2008 simulando la situazione della muratura rivestita su entrambi i lati dall'intonaco innovativo.



Stratigrafia del muro utilizzato per il calcolo della trasmittanza termica

I risultati ottenuti per muro rivestito con l'intonaco innovativo distinti per i prodotti 1) e 2) e confrontati con muro senza rivestimento sono riassunti nella seguente tabella:

Caratteristiche del muro campione	Muro con Prodotto 2 applicato	Muro con Prodotto 3 applicato	Muro senza intonaco innovativo
Spessore [m]	0,360	0,360	0,280
Massa superficiale [kg/m <sup>2</sup> ]	211,07	209,76	176,10
Resistenza [m <sup>2</sup> K/W]	1,894	2,018	1,0316
<b>Trasmittanza [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>0,53</b>	<b>0,49</b>	<b>0,97</b>

Dal confronto delle due trasmittanze termiche si evidenzia un significativo miglioramento dell'isolamento termico della muratura rivestita con i due intonaci innovativi.

## 7. Verifiche in campo

La fase finale del progetto (attività A3) si è svolta attraverso una campagna di sperimentazione in scala reale su di un edificio laboratorio situato in prossimità dell'aeroporto di Malpensa, messo a disposizione da Regione Lombardia. Le prove sul campo avevano lo scopo di verificare in scala reale le prestazioni dei prodotti innovativi selezionati nel corso della prima fase di attività.

### 7.1. Edificio sperimentale

La palazzina è sita in località Case Nuove (Somma Lombardo) in vicinanza dell'aeroporto di Malpensa.

La localizzazione in vicinanza di una sorgente di rumore disturbante importante come quella aeroportuale consente di riportarsi a situazioni di inquinamento acustico presenti in aree urbane densamente abitate esposte a rumore causato da traffico stradale e altro.

L'edificio ha caratteristiche costruttive tipiche degli anni '60, e necessita di interventi di ristrutturazione, risanamento e riqualificazione termica e acustica.

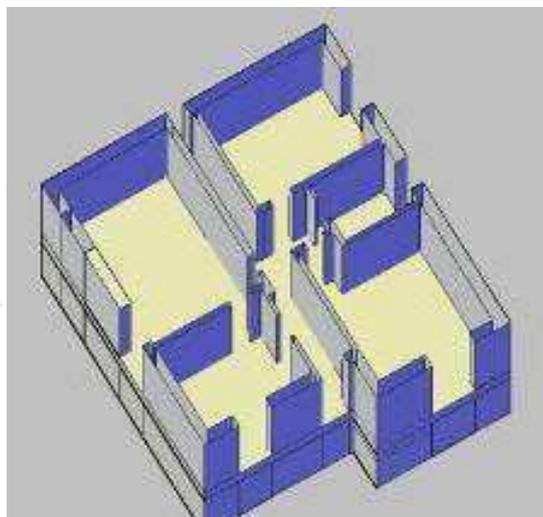
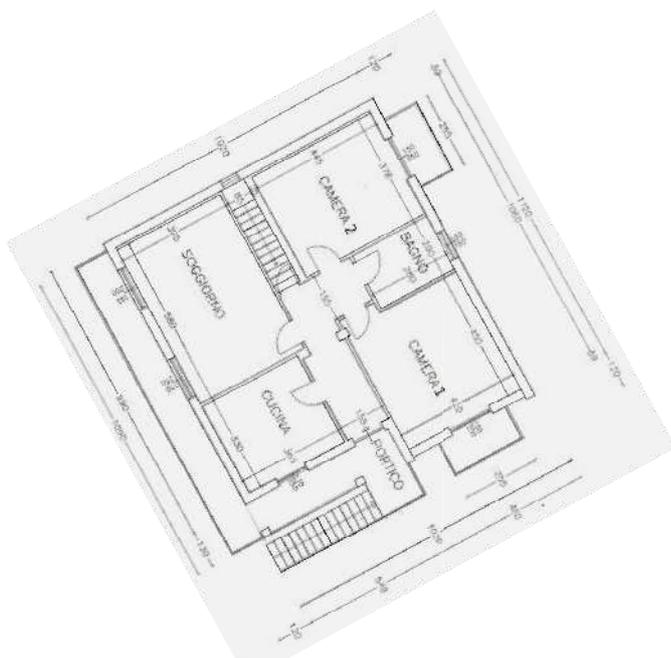


Localizzazione dell'edificio sperimentale in prossimità dell'aeroporto di Malpensa



La palazzina sperimentale prima degli interventi

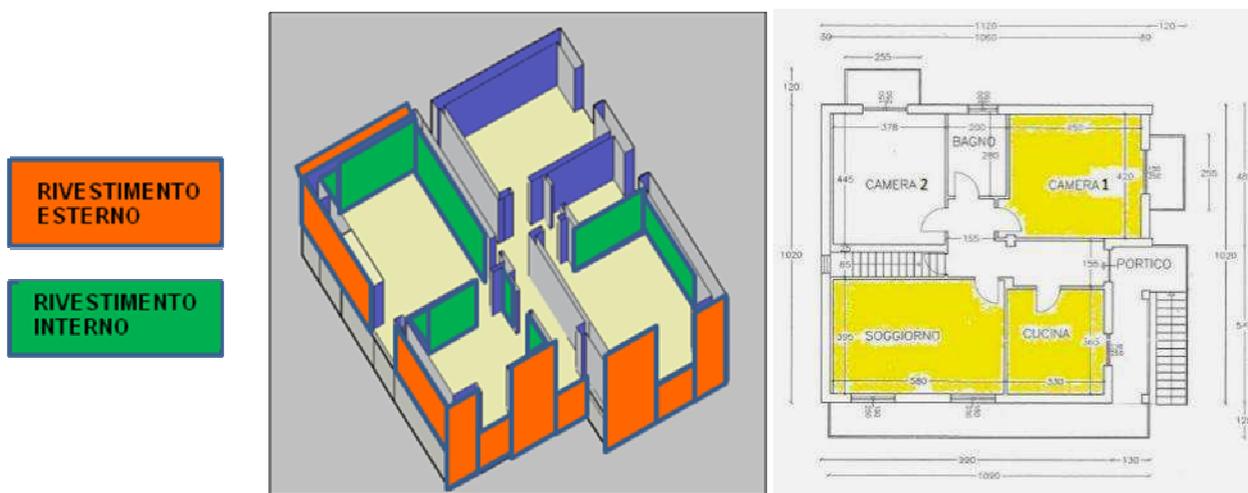
Gli ambienti destinati alla sperimentale sono localizzati nel piano rialzato dell'abitazione, come indicato dalla figura seguente.



Pianta e rilievo degli ambienti oggetto della sperimentazione

## 7.2. Interventi delle Ditte Selezionate

Due delle tre ditte selezionate (Prodotto 2) e Prodotto 3)) sono intervenute presso l'edificio sperimentale per applicare i loro prodotti alle superfici interne ed esterne delle pareti delle stanze come indicato nella figura seguente.



Ambienti interessati dagli interventi delle ditte proponenti il Prodotto 2) e il Prodotto 3)

### a) Interventi eseguiti col Prodotto 2):

- Soggiorno: applicazione interna (spessore 2 cm) ed esterna (spessore 6 cm) entrambe con finitura;
- Cucina: applicazione interna (spessore 2 cm) ed esterna (spessore 4 cm) entrambe con finitura.

*b) Interventi eseguiti col Prodotto 3):*

Camera 1: applicazione interna (spessore 2 cm) ed esterna (spessore 4 cm) entrambe con finitura.



Alcune fasi dell'applicazione del Prodotto 2)



Alcune fasi dell'applicazione del Prodotto 3)

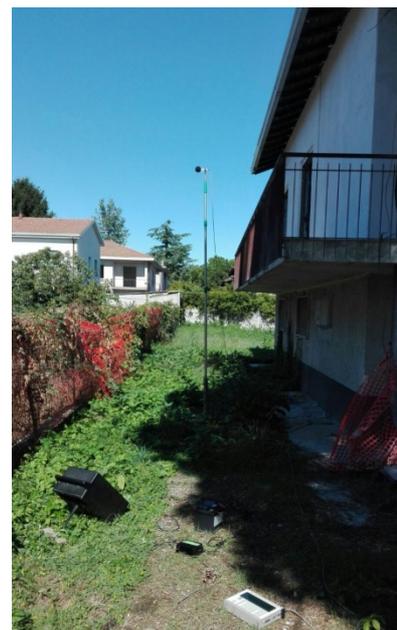
### **7.3. Verifica delle proprietà acustiche**

La verifica delle proprietà acustiche rientra nelle caratterizzazioni sull'edificio pilota in area Malpensa(attività da A3.1 a A3.4) e comprende prove eseguite sia ante-operam che post-operam.

#### **7.3.1. Isolamento acustico di facciata**

L'isolamento acustico di facciata è stato valutato applicando il metodo definito nelle norme UNI EN ISO 16283-3:2016 e UNI EN ISO 717-1:2013 utilizzando come sorgente rumore bianco generato da un altoparlante.

Le prove sono state eseguite sia prima degli interventi (ante-operam) che dopo l'applicazione dei prodotti sulle pareti interne ed esterne (post-operam), nei seguenti ambienti: cucina, soggiorno, e camera 1.



Allestimenti sperimentali per le prove acustiche in campo

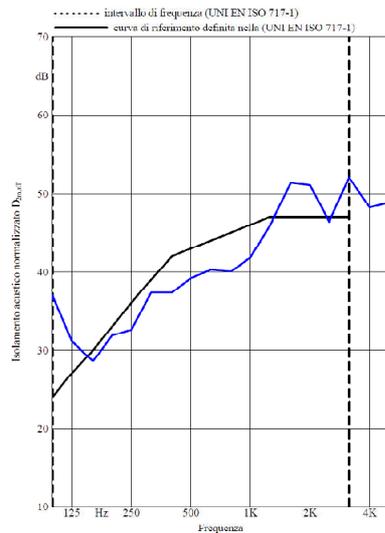
A causa della presenza negli ambienti di prova di serramenti a scarsissima prestazione acustica, per valutare la variazione di isolamento dovuta all'applicazione dei due intonaci innovativi, si sono analizzati i risultati relativi alle sole pareti cieche di ognuno degli ambienti. Di seguito sono riportati i risultati ante-operam e post-operam per ogni ambiente provato:

### a) Soggiorno:

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione secondo la ISO 16283-3: 2016

Area S dell'elemento in prova: 12.00 m<sup>2</sup>  
 Volume dell'ambiente ricevente: 69.0 m<sup>3</sup>  
 Descrizione: D<sub>snat</sub> della facciata

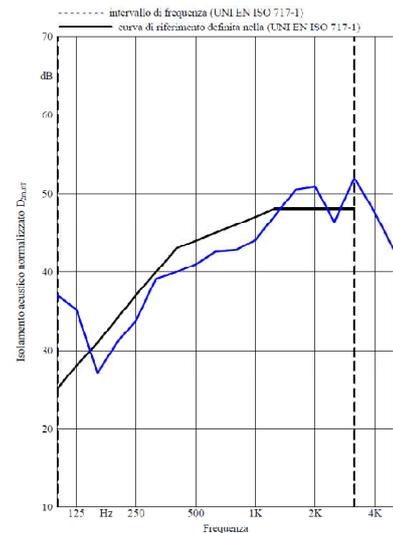
Frequenza Hz	D <sub>snat</sub> dB
100	36.9
125	31.2
160	28.6
200	31.9
250	32.6
315	37.3
400	37.2
500	39.2
630	40.2
800	40.1
1000	41.9
1250	45.8
1600	51.4
2000	51.1
2500	46.4
3150	52.1
4000	48.2
5000	48.8



Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione secondo la ISO 16283-3: 2016

Area S dell'elemento in prova: 12.00 m<sup>2</sup>  
 Volume dell'ambiente ricevente: 69.0 m<sup>3</sup>  
 Descrizione: D<sub>snat</sub> della facciata

Frequenza Hz	D <sub>snat</sub> dB
100	37.0
125	35.2
160	27.1
200	31.0
250	33.8
315	39.1
400	40.0
500	41.0
630	42.6
800	42.8
1000	44.1
1250	47.1
1600	50.5
2000	50.0
2500	46.3
3150	52.0
4000	47.5
5000	42.8



Valutazione secondo la ISO 717-1:

$$D_{snat,w}(C; C_w) = 43 \quad (-1; -4) \text{ dB}$$

Valutazione basata su risultati di misurazioni in opera ottenuti mediante un metodo tecnico.

Ante-operam

Valutazione secondo la ISO 717-1:

$$D_{snat,w}(C; C_w) = 44 \quad (1; 4) \text{ dB}$$

Valutazione basata su risultati di misurazioni in opera ottenuti mediante un metodo tecnico.

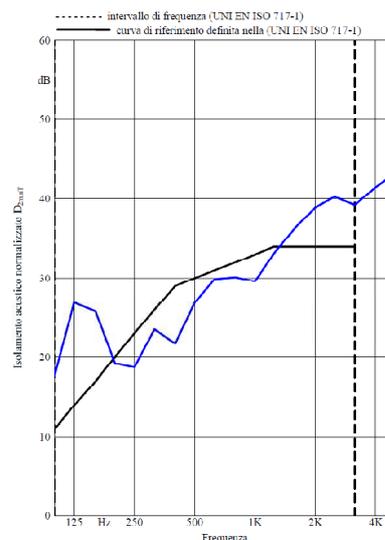
Post-operam

### b) Cucina:

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione secondo la ISO 16283-3: 2016

Area S dell'elemento in prova: 9.90 m<sup>2</sup>  
 Volume dell'ambiente ricevente: 36.0 m<sup>3</sup>  
 Descrizione: D<sub>snat</sub> della facciata

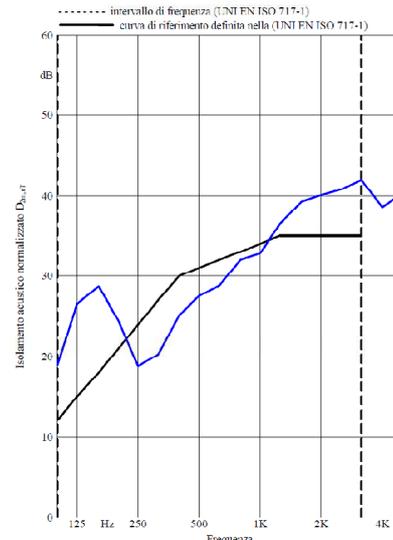
Frequenza Hz	D <sub>snat</sub> dB
100	17.7
125	26.9
160	25.8
200	19.2
250	18.7
315	23.5
400	21.7
500	26.9
630	29.9
800	30.1
1000	29.6
1250	33.2
1600	36.5
2000	38.9
2500	40.2
3150	39.2
4000	41.4
5000	42.1



Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione secondo la ISO 16283-3: 2016

Area S dell'elemento in prova: 9.90 m<sup>2</sup>  
 Volume dell'ambiente ricevente: 36.0 m<sup>3</sup>  
 Descrizione: D<sub>snat</sub> della facciata

Frequenza Hz	D <sub>snat</sub> dB
100	18.9
125	26.5
160	28.7
200	24.5
250	18.8
315	20.3
400	25.2
500	27.5
630	28.8
800	32.0
1000	32.8
1250	36.5
1600	30.3
2000	40.1
2500	40.8
3150	42.0
4000	38.5
5000	40.3



Valutazione secondo la ISO 717-1:

$$D_{snat,w}(C; C_w) = 30 \quad (0; -3) \text{ dB}$$

Valutazione basata su risultati di misurazioni in opera ottenuti mediante un metodo tecnico.

Ante-operam

Valutazione secondo la ISO 717-1:

$$D_{snat,w}(C; C_w) = 31 \quad (0; -3) \text{ dB}$$

Valutazione basata su risultati di misurazioni in opera ottenuti mediante un metodo tecnico.

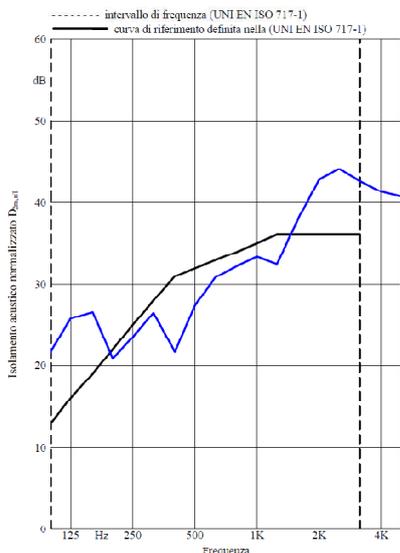
Post-operam

### c) Camera1:

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione secondo la ISO 16283-3: 2016

Area S dell'elemento in prova: 13,50 m<sup>2</sup>  
 Volume dell'ambiente ricevente: 57,0 m<sup>3</sup>  
 Descrizione: D<sub>2m,nTw</sub> della facciata

Frequenza Hz	D <sub>2m,nTw</sub> dB
100	21.7
125	23.8
160	26.6
200	20.9
250	23.5
315	26.5
400	21.7
500	27.4
630	30.9
800	32.3
1000	33.4
1250	32.5
1600	38.2
2000	42.8
2500	44.1
3150	42.6
4000	41.3
5000	40.7



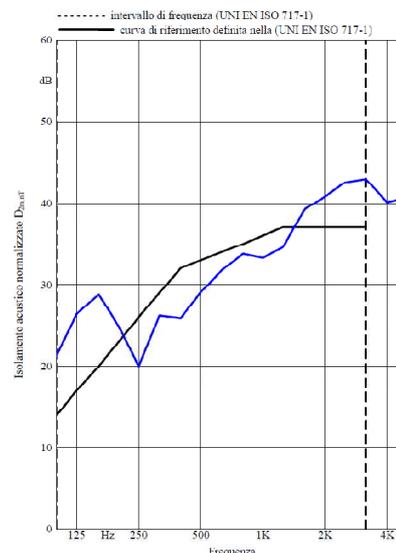
Valutazione secondo la ISO 717-1:  
 $D_{2m,nTw}(C; C_{50}) = 32 \quad (-1; -3) \text{ dB}$   
 Valutazione basata sui risultati di misurazioni in opera ottenuti mediante un metodo tecnico.

Ante-operam

Isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione secondo la ISO 16283-3: 2016

Area S dell'elemento in prova: 13,50 m<sup>2</sup>  
 Volume dell'ambiente ricevente: 57,0 m<sup>3</sup>  
 Descrizione: D<sub>2m,nTw</sub> della facciata

Frequenza Hz	D <sub>2m,nTw</sub> dB
100	21.3
125	26.4
160	28.8
200	24.9
250	20.0
315	26.2
400	25.9
500	29.1
630	31.7
800	33.8
1000	33.3
1250	34.6
1600	39.3
2000	40.8
2500	42.5
3150	42.9
4000	40.1
5000	40.7



Valutazione secondo la ISO 717-1:  
 $D_{2m,nTw}(C; C_{50}) = 33 \quad (-1; -3) \text{ dB}$   
 Valutazione basata sui risultati di misurazioni in opera ottenuti mediante un metodo tecnico.

Post-operam

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati in termini di indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata:

Ambiente di prova (prodotto applicato)	Risultato ante-operam $D_{2m,nTw} [dB]$	Risultato post-operam $D_{2m,nTw} [dB]$	$\Delta$ [dB]
Soggiorno (2)	43	44	1
Cucina (2)	30	31	1
Camera 1 (3)	32	33	1

La differenze nei valori di isolamento tra le diverse stanze è attribuibile alle diverse tipologie di muratura, ai diversi rapporti tra le superfici di muratura e i volumi, e ai diversi spessori di intonaco applicato; in particolare il valore molto più alto del soggiorno è dovuto:

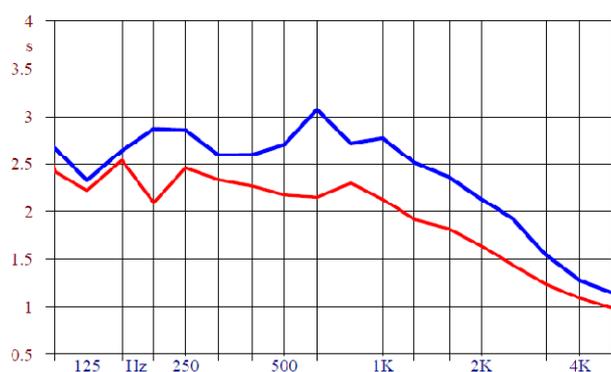
- al maggior volume della stanza rispetto alla cucina e alla camera 1;
- alla maggiore massa del muro di base;
- al maggior spessore totale di intonaco applicato (+2 cm rispetto alle altre stanze - vedi §7.2)).

In tutti e tre i casi si nota comunque un aumento di isolamento riscontrato dopo l'applicazione dei due intonaci innovativi, a conferma di quanto risultato dalle prove di laboratorio sull'incremento del potere fonoisolante dovuto all'applicazione dei due intonaci sul muro di base, il quale riproduceva esattamente il muro reale (vedi 6.1 b)).

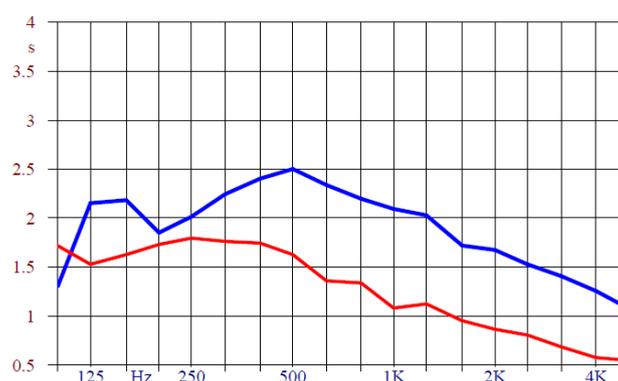
### 7.3.2. Tempo di riverberazione

Il tempo di riverberazione all'interno degli ambienti di prova è stato misurato applicando la norma UNI EN ISO 3382-2:2008 (attività A3.1, A3.2 e A3.3). In particolare la misurazione è stata eseguita sia nelle condizioni iniziali, cioè con le superfici interne delle pareti allo stato originario, sia nelle condizioni finali dopo l'applicazione dei prodotti 2) e 3) sulle stesse pareti.

Nei grafici seguenti sono riportati, per ogni stanza esaminata, i valori del tempo di riverberazione prima (curva blu) e dopo (curva rossa) l'intervento; si può notare facilmente come l'applicazione dei due intonaci innovativi abbia prodotto una diminuzione del tempo di riverberazione a quasi tutte le frequenze a testimonianza delle proprietà di assorbimento acustico dei due prodotti 2) e 3).



Camera1: prodotto 3



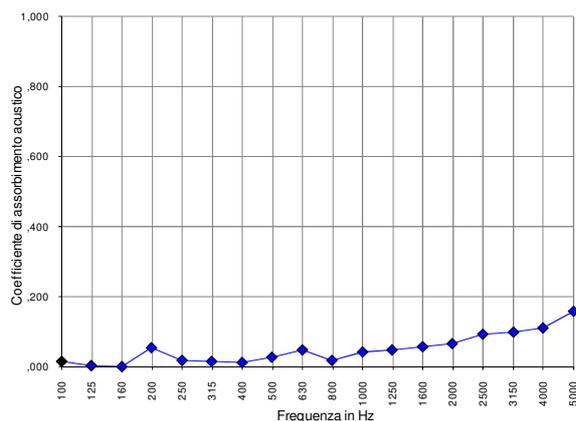
Cucina: prodotto 2



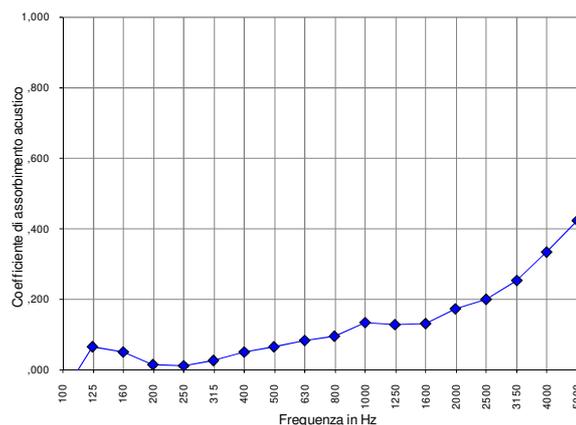
Soggiorno: prodotto 2



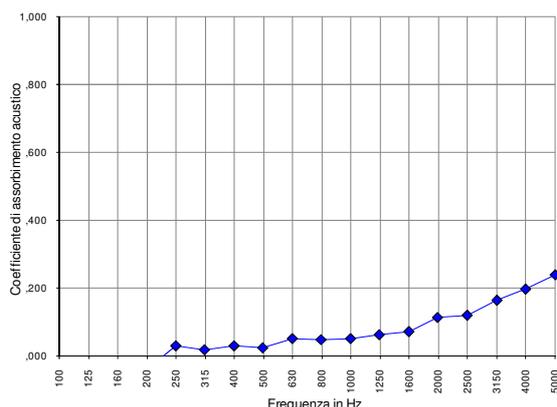
Dalla misura del tempo di riverberazione, conoscendo temperatura e umidità relativa interne, area della superficie trattata e volume dell'ambiente trattato, è possibile ricavare il valore dell'assorbimento acustico  $\alpha$  da attribuire all'intonaco applicato alle pareti (attività A3.3 b); nelle figure e tabella seguenti è riportato il valore di assorbimento acustico in funzione delle frequenze e il valore unico di  $\alpha_w$ :



Camera 1: prodotto 3



Cucina: prodotto 2



Soggiorno: prodotto 2

Coefficiente di assorbimento acustico $\alpha_s$		
soggiorno	cucina	camera 1
-0,05	-0,07	0,02
-0,04	0,07	0,00
-0,07	0,05	0,00
-0,04	0,01	0,05
0,03	0,01	0,02
0,02	0,03	0,01
0,03	0,05	0,01
0,02	0,07	0,03
0,05	0,08	0,05
0,05	0,09	0,02
0,05	0,13	0,04
0,06	0,13	0,05
0,07	0,13	0,06
0,11	0,17	0,07
0,12	0,20	0,09
0,17	0,26	0,10
0,20	0,33	0,11
0,24	0,42	0,16
$\alpha_w=0,2$	$\alpha_w=0,2H$	$\alpha_w=0,2$

I risultati ottenuti in campo confermano quelli ottenuti in laboratorio sugli stessi prodotti (vedi capitolo 6.1 a) evidenziando un miglioramento dell'assorbimento acustico soprattutto per le frequenze medio-alte.

### 7.3.3. Riflessione sonora sulla facciata

La riflessione sonora sulla superficie di una facciata è stata valutata utilizzando il metodo descritto nella norma UNI EN ISO 1793-5:2016. Tale metodo permette di ricavare una grandezza specifica, chiamata indice di riflessione, che definisce la riflessione sonora misurata di fronte ad una superficie più o meno fonoassorbente. La prova si basa sulla media di misurazioni effettuate in diversi punti davanti all'elemento in prova e/o sotto diversi angoli di incidenza. Il metodo ha il grosso vantaggio di essere applicato *in situ* nelle reali condizioni di posa e in maniera non distruttiva.

Le prove sono state eseguite sulle facciate prive di finestre degli ambienti trattati con i prodotti 2 e 3, vale a dire il soggiorno e la camera 1. È stata eseguita anche una prova su una porzione di facciata non trattata con gli intonaci innovativi per avere un termine di confronto con le facciate rivestite dai prodotti 2 e 3. Sulle facciate provate

è stata accostata la griglia di microfoni realizzata in accordo con la norma EN 1793-5 e composta da nove microfoni equidistanti tra loro disposti in configurazione quadrata 3x3. La fonte di rumore è costituita da un altoparlante posto di fronte ai microfoni e quindi alla facciata; i microfoni sono posti ad una distanza di 0,25 m dal piano della facciata e l'altoparlante ad una distanza di 1,25 m dal piano dei microfoni. L'altoparlante emette un'onda sonora transiente (impulso sonoro nel campo di frequenza compreso tra 100 Hz e 5 kHz) che attraversa la griglia microfonica, colpisce la superficie della facciata e viene riflessa da essa; ogni microfono riceve sia l'onda diretta che quella riflessa. Con una successiva misurazione effettuata in campo libero si acquisisce la sola onda diretta; sottraendo la componente diretta alla somma di quella diretta e riflessa si ottiene la sola riflessa. La misurazione in campo libero è eseguita rivolgendo la griglia microfonica e la cassa verso lo spazio aperto sgombro da oggetti riflettenti, mantenendo la stessa configurazione e distanza tra altoparlante e microfoni.



*Verifiche relative alla facciata senza rivestimento*



*Verifiche relative al Prodotto 2 (facciata cieca del soggiorno)*



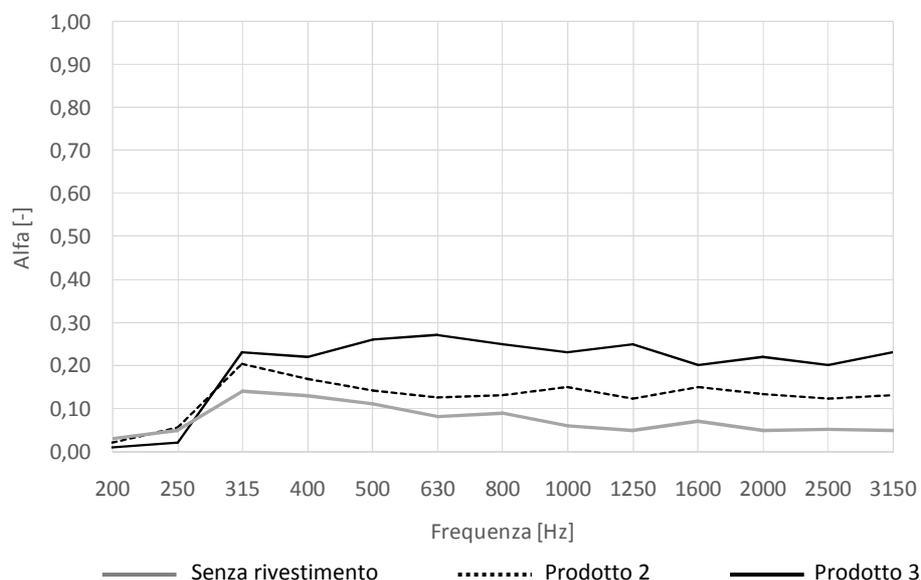
*Verifiche relative al Prodotto 3 (facciata cieca della camera 1)*



*Misurazione in campo libero*

**Allestimenti sperimentali per le prove di riflessione sonora in campo**

L'elaborazione delle misurazioni eseguite ha consentito di ricavare il coefficiente di riflessione sonora e l'assorbimento acustico delle configurazioni provate in funzione della frequenza; tali risultati sono rappresentati nel grafico e nella tabella seguenti:



Assorbimento acustico dei due intonaci (Prodotto 2 e 3) e della parete senza intonaco.

Hz	Prodotto 2		Prodotto 3		Senza rivestimento	
	RI	alfa	RI	alfa	RI	alfa
200	0,98	0,02	0,99	0,01	0,97	0,03
250	0,95	0,05	0,98	0,02	0,95	0,05
315	0,80	0,20	0,77	0,23	0,86	0,14
400	0,83	0,17	0,78	0,22	0,87	0,13
500	0,86	0,14	0,74	0,26	0,89	0,11
630	0,87	0,13	0,73	0,27	0,92	0,08
800	0,87	0,13	0,75	0,25	0,91	0,09
1000	0,85	0,15	0,77	0,23	0,94	0,06
1250	0,88	0,12	0,75	0,25	0,95	0,05
1600	0,85	0,15	0,80	0,20	0,93	0,07
2000	0,87	0,13	0,78	0,22	0,95	0,05
2500	0,88	0,12	0,80	0,20	0,95	0,05
3150	0,87	0,13	0,77	0,23	0,95	0,05

Riflessione sonora RI e assorbimento acustico (alfa) dei due intonaci (Prodotto 2 e 3) e della parete senza intonaco.

Dall'analisi dei risultati risulta evidente il miglioramento dell'assorbimento acustico dovuto ai due intonaci innovativi, a conferma di quanto riscontrato con le prove di laboratorio (vedi 6.1).

#### 7.4. Verifica del comfort termoigrometrico

La campagna sperimentale svolta ha avuto lo scopo di verificare il livello di comfort termo-igrometrico (Indoor Climate Quality – ICQ) dell'edificio sperimentale.

La ICQ può essere determinata considerando l'indice di comfort ottenuto secondo la norma UNI EN ISO 7730. Il comfort termo-igrometrico è influenzato dall'attività fisica e dall'abbigliamento, oltre che da alcuni parametri misurabili in un ambiente indoor: temperatura ed umidità relativa dell'aria misurata attraverso un termo-igrometro, temperatura media radiante misurata attraverso un globo-termometro e velocità dell'aria misurata con un anemometro. Una volta misurati questi parametri si può prevedere la sensazione termica di una persona calcolando l'indice PMV (Predicted Mean Vote, voto medio previsto). Il PMV è basato su una scala di sensazione termica che varia da +3 a -3 secondo la seguente scala:

- +3 *molto caldo*
- +2 *caldo*
- +1 *leggero caldo*
- 0 *neutro*
- -1 *leggero freddo*
- -2 *freddo*
- -3 *molto freddo*

L'indice PPD (Predicted Percentage Dissatisfied, percentuale prevista di insoddisfatti), determinato in funzione del PMV, fornisce invece informazioni sul disagio termico, o malessere termico, prevedendo la percentuale di persone che percepirebbe una sensazione di discomfort in un certo ambiente.

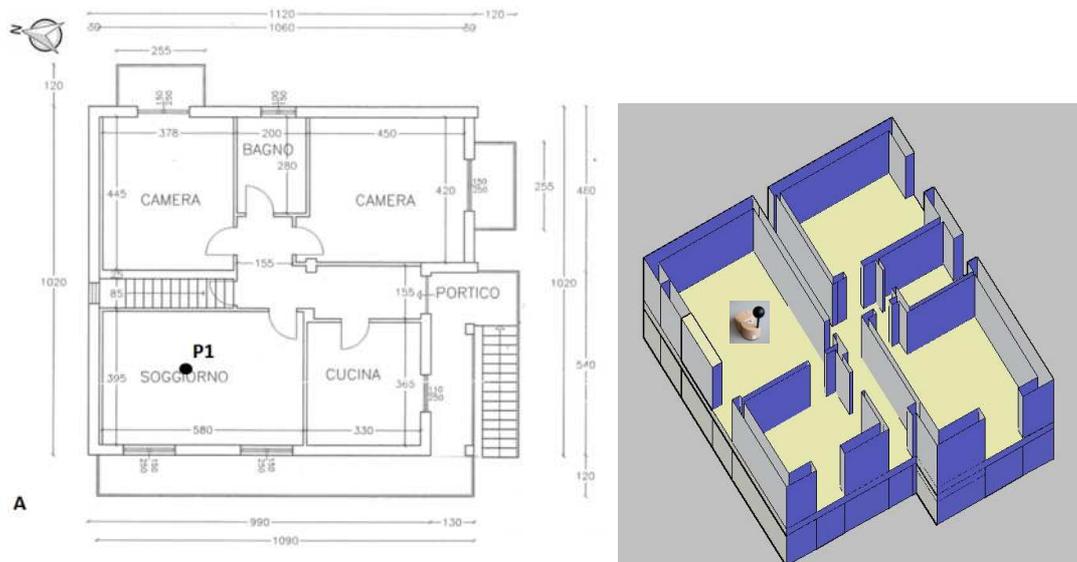
#### **7.4.1. Assetto sperimentale e dati meteo**

All'interno del soggiorno, in posizione P1e ad una altezza indicativa di 1.5 m (vedi Figura), è stato collocato il sistema di monitoraggio ambientale e di acquisizione dati finalizzato a determinare le condizioni di ICQ.

La strumentazione installata è costituita da un dispositivo di monitoraggio integrato sviluppato da ITC-CNR. Il dispositivo, nEMoS (nano Environmental Monitoring System), rileva in modo continuo le variabili ambientali atte alla definizione di indicatori sintetici per la valutazione del comfort ambientale. I diversi sensori sono disposti in un case integrato di piccole dimensioni alimentato a batterie.



dispositivo nEMoS utilizzato per le verifiche termo-energetiche



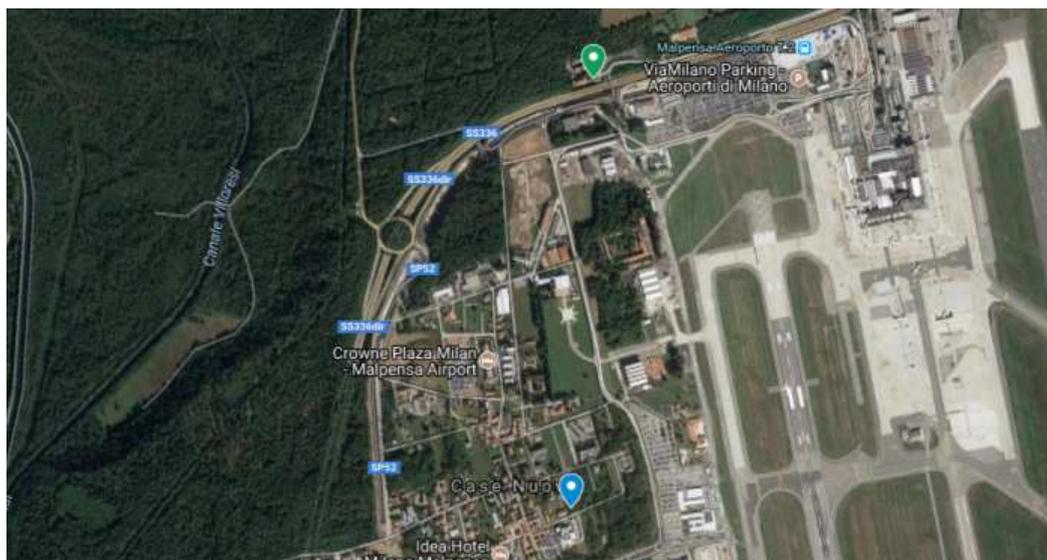
Localizzazione di nEMoS all'interno della palazzina sperimentale

Complessivamente sono stati rilevati i seguenti parametri:

- temperatura dell'aria;
- umidità relativa dell'aria;
- velocità dell'aria;
- temperatura radiante.

La frequenza di campionamento è pari a 10 secondi con valori medi orari utili per le analisi.

Per i dati ambientali esterni, si considerano i valori medi orari restituiti dalla centralina meteo dell'ARPA Lombardia di Somma Lombardo posta a poco più di un chilometro in linea d'aria dal caseggiato.



Vista satellitare: in blu la posizione del caseggiato; in verde la centralina meteo.

I valori considerati sono:

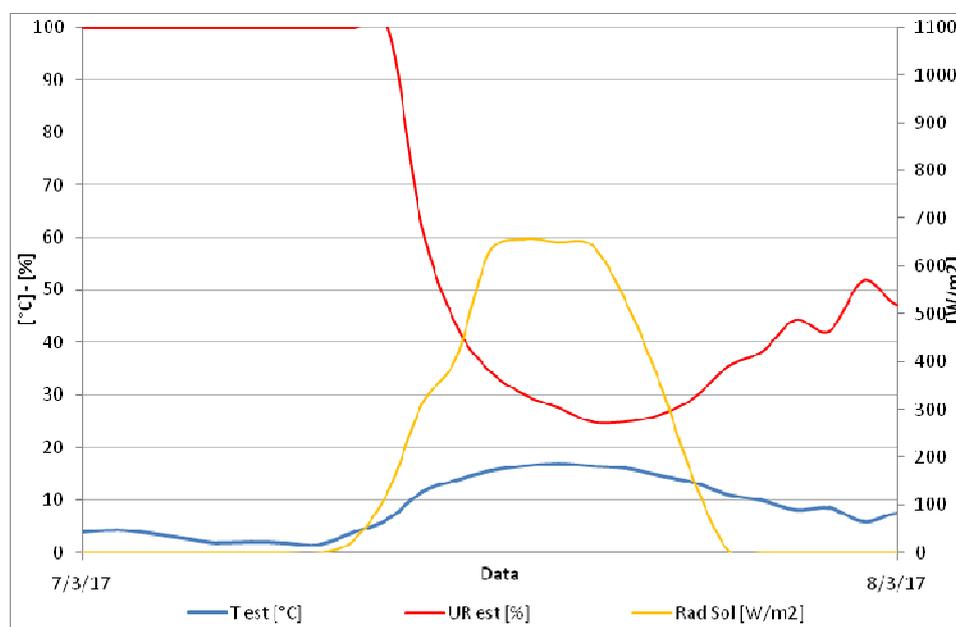
- temperatura dell'aria esterna;
- umidità relativa dell'aria esterna;
- radiazione solare globale sul piano orizzontale.

### 7.4.2. Monitoraggio ante-operam

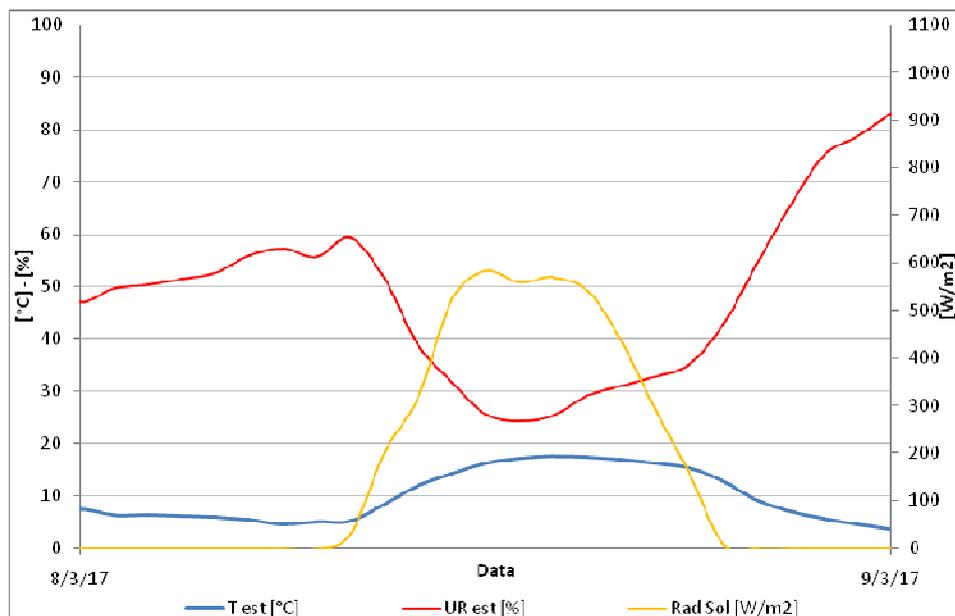
L'attività di monitoraggio è servita a valutare le condizioni di comfort termigrometrico del caseggiato prima di aver effettuato l'intervento di rivestimento con l'intonaco innovativo (attività A3.1 d)). La sperimentazione è stata condotta in tre giorni distinti: 7, 8 marzo e 16 maggio 2017.

#### Condizioni Meteo

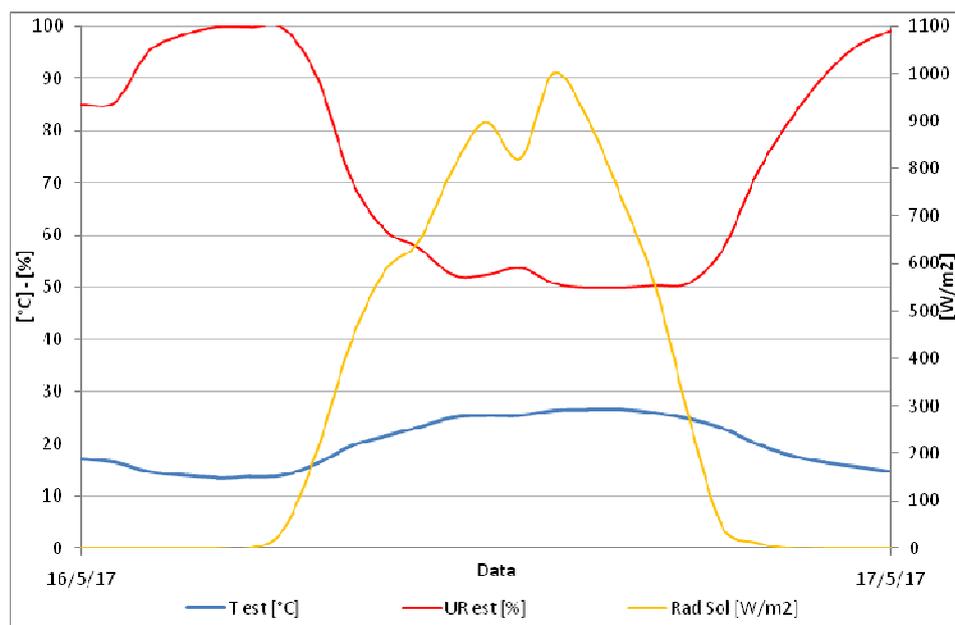
Le condizioni meteo presenti durante i tre giorni di sperimentazione sono riassunte nei seguenti grafici.



Dati da centralina meteo ARPA Lombardia del 7 marzo 2017



Dati da centralina meteo ARPA Lombardia del 8 marzo 2017

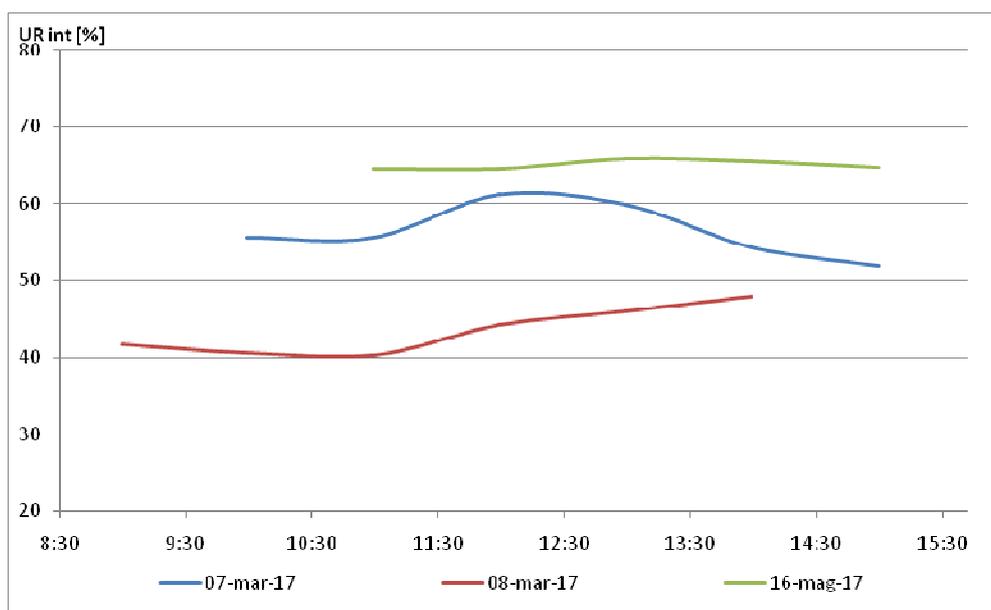


Dati da centralina meteo ARPA Lombardia del 16 maggio 2017

### *Condizioni ambientali interne*

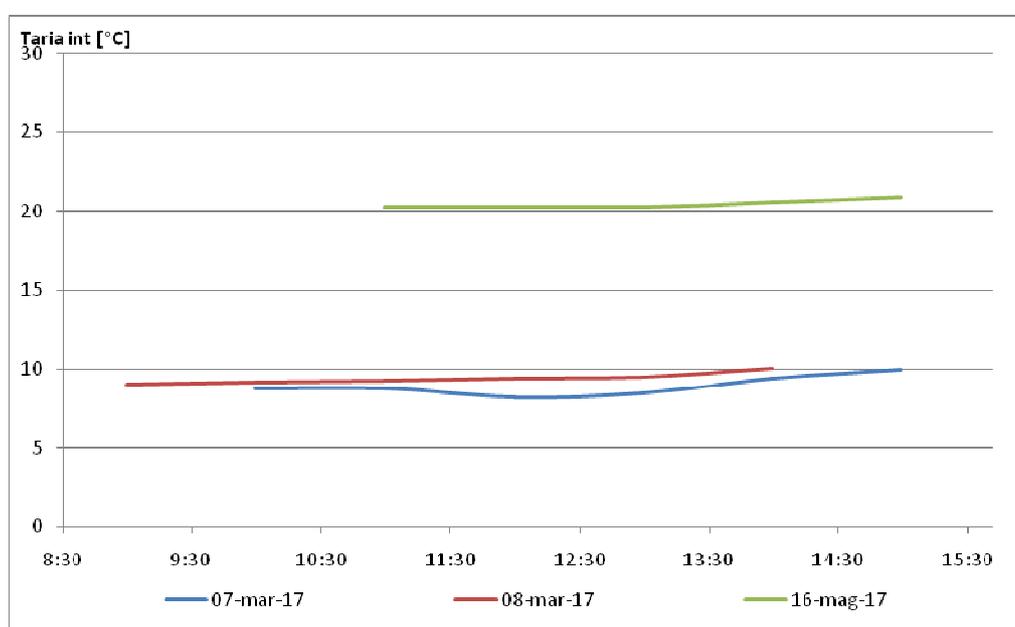
Gli ambienti di misura erano privi di impianti di climatizzazione funzionanti.

I seguenti grafici riepilogano l'andamento delle variabili ambientali indoor utili per la determinazione della ICQ. In particolare, sono considerati gli andamenti dell'umidità relativa, della temperatura dell'aria e della temperatura radiante nei tre giorni di prova. Non sono stati considerati i valori della velocità dell'aria praticamente sempre uguali a zero per l'assenza di soluzioni impiantistiche attive e data la condizione di finestre chiuse durante il periodo di prova.



Umidità relativa interna ante operam

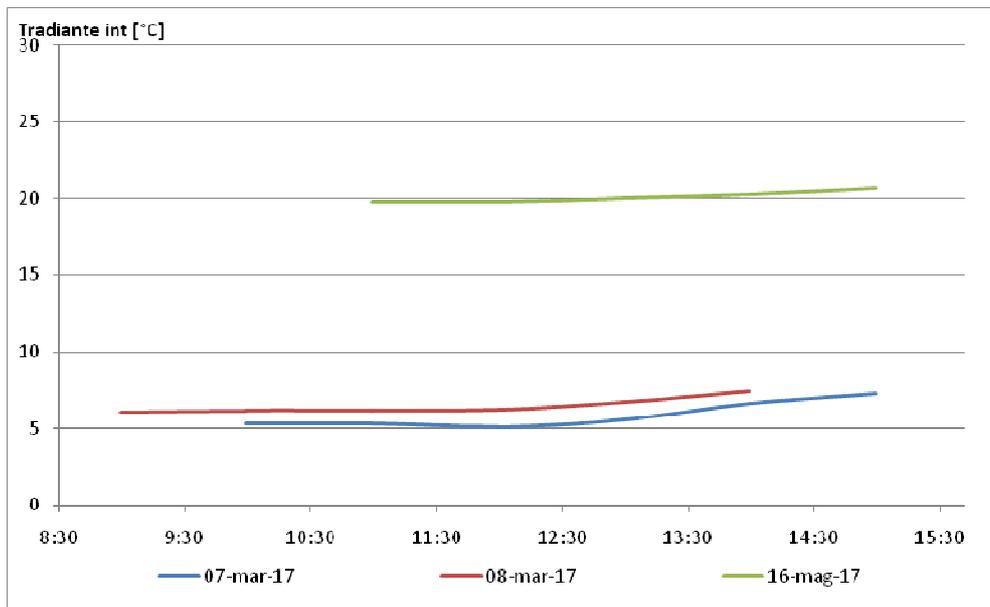
L'umidità relativa dell'aria media interna per il giorno 7 marzo 2017 è pari a 56.41 % con valore minimo e massimo rispettivamente uguale a 51.88 % e 61.16 %. Per il giorno successivo l'umidità è lievemente più bassa con il valore medio pari a 43.45 %, valore minimo uguale a 40.32 % e massimo uguale a 47.90 %. Per il 16 maggio, infine, il valore di umidità resta pressoché costante per il periodo di monitoraggio con valori medio, minimo e massimo uguali a 65.06 %, 64.63 % e 65.83 % rispettivamente.



Temperatura aria interna ante operam

Il profilo della temperatura dell'aria interna per i due giorni consecutivi del 7 e 8 marzo 2017 è pressoché identico con i valori medi rispettivamente uguali a 8.92 °C e 9.39 °C con escursione tra i valori minimi e massimi in entrambi i casi uguale a circa 1°C. Decisamente più alto il valore della temperatura media dell'aria interna a

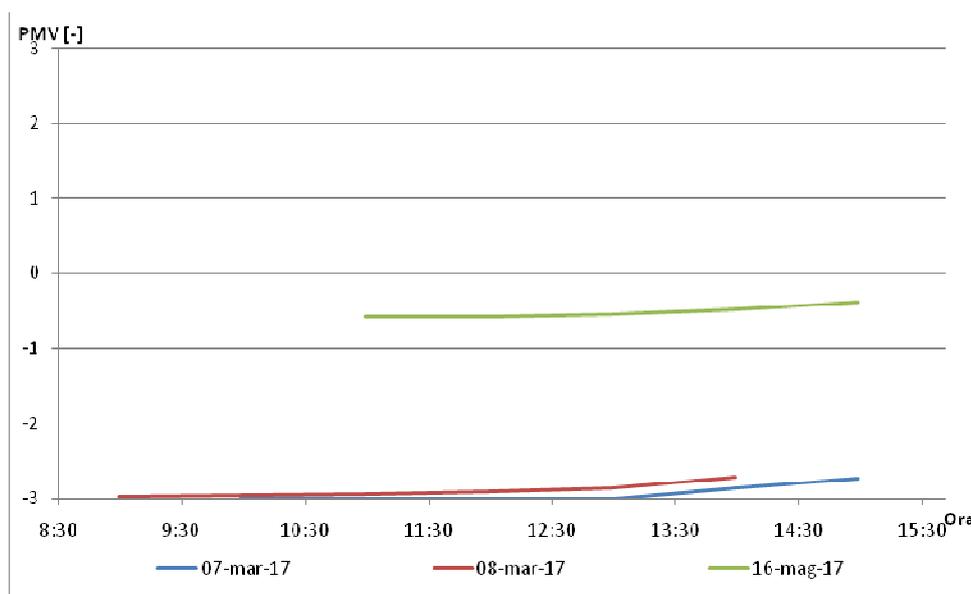
maggio con valore uguale a 20.47 °C, minimo uguale a 20.27 °C e massimo uguale a 20.93 °C.



Temperatura radiante ante operam

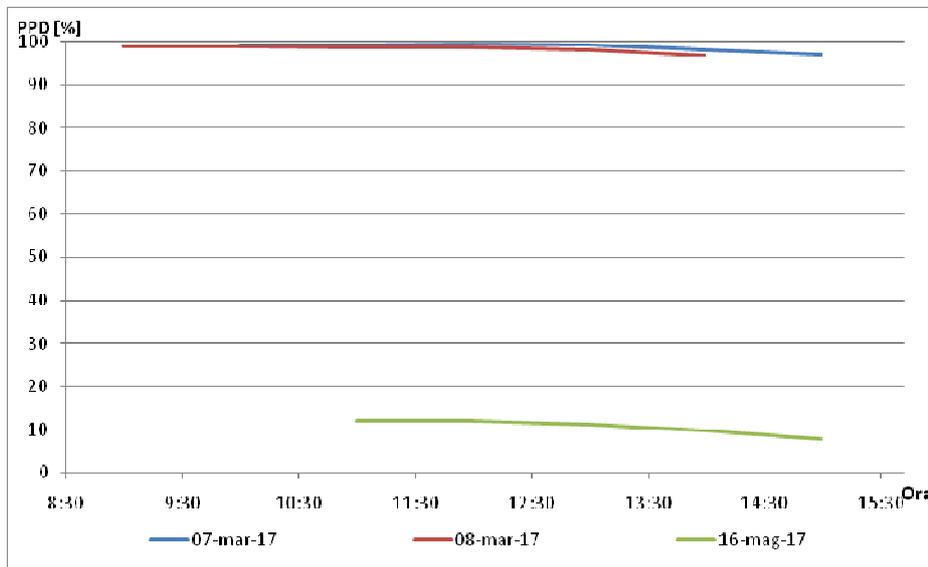
Non essendoci sistemi di riscaldamento attivi gli andamenti della temperatura radiante per i tre giorni e per le ore considerate ricalcano quelli della temperatura dell'aria senza variazioni significative.

Per il calcolo del PMV e PPD, va precisato che per i primi due giorni (7 e 8 marzo), sono stati considerati i seguenti valori: resistenza termica dell'abbigliamento pari a 1.0 clo e un'attività metabolica pari a 1.2 met. Per il calcolo degli indici di comfort relativo al giorno 16 maggio, a parità di valore dell'attività metabolica, è stato considerato un valore leggermente più basso della resistenza termica dell'abbigliamento pari a 0.8 clo.



PMV ante operam

In generale è possibile osservare come in condizioni invernali (7-8 marzo 2017), l'indice PMV è prossimo al valore negativo massimo corrispondente alla condizione di molto freddo. Invece, in condizioni primaverili, vale a dire al 16 maggio, i valori del PMV sono nell'intorno del - 0.5, indicativi di una condizione di comfort variabile tra *neutrale e lievemente caldo*.



PPD ante operam

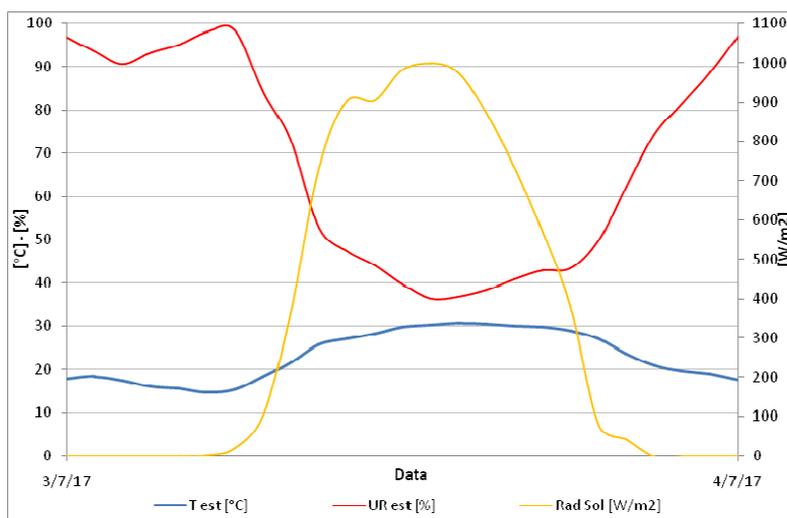
L'andamento del PPD conferma quanto detto per il PMV. In generale è possibile osservare come in condizioni tipicamente invernali (7-8 marzo 2017), l'indice PPD restituisce circa il 100% di persone insoddisfatte. Mentre al 16 maggio la percentuale di persone insoddisfatte è pari, mediamente, al 10%.

### 7.4.3. Monitoraggio post-operam

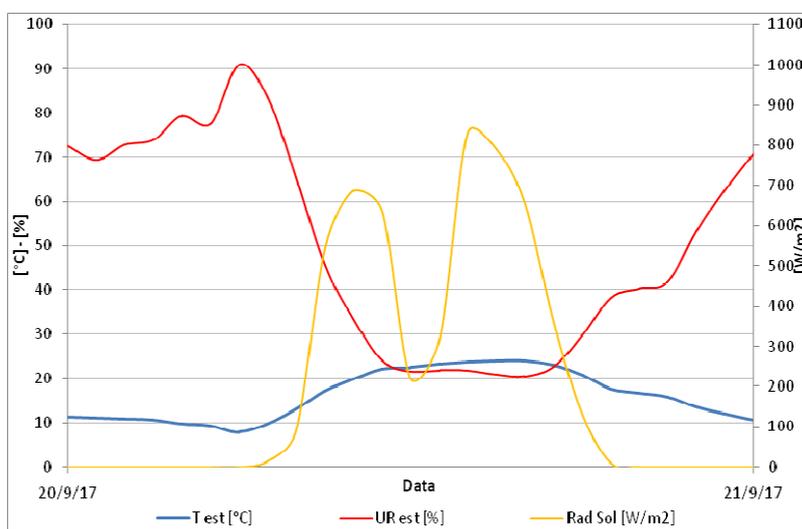
L'attività di monitoraggio svolta durante la seconda fase è servita a verificare le condizioni di comfort termo-igrometrico del caseggiato dopo aver effettuato degli interventi di riqualificazione (attività A3.2-3-4 d). Più nello specifico, la sperimentazione condotta il 3 luglio 2017 ha consentito di monitorare le condizioni termo-igrometriche indoor a seguito dell'intervento di rivestimento esterno con un intonaco innovativo da 6 cm di spessore; le sperimentazioni condotte il 20 settembre e il 31 ottobre 2017 hanno consentito di monitorare gli effetti sul comfort termo-igrometrico dell'azione combinata del rivestimento esterno da 6 cm di spessore ed uno interno da 2 cm.

#### Condizioni Meteo

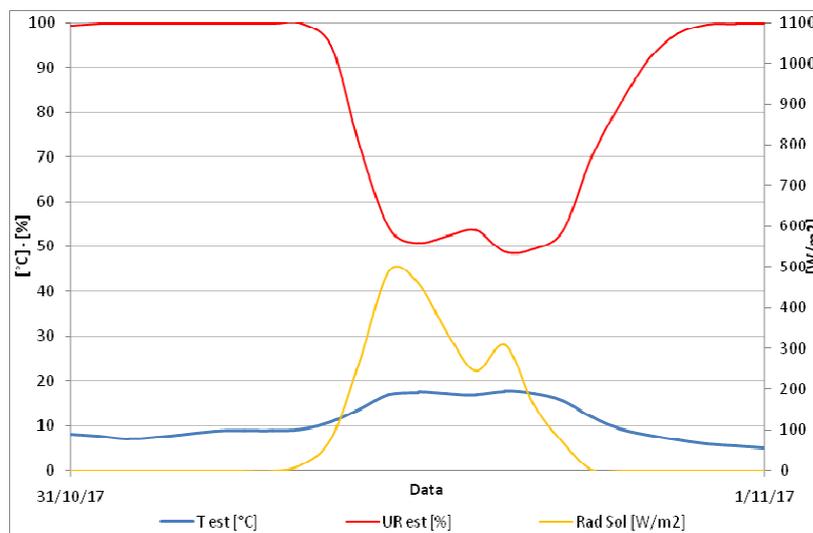
Le condizioni meteo presenti durante i due giorni di sperimentazione sono riassunte nei seguenti grafici.



Dati da centralina meteo ARPA Lombardia del 3 luglio 2017



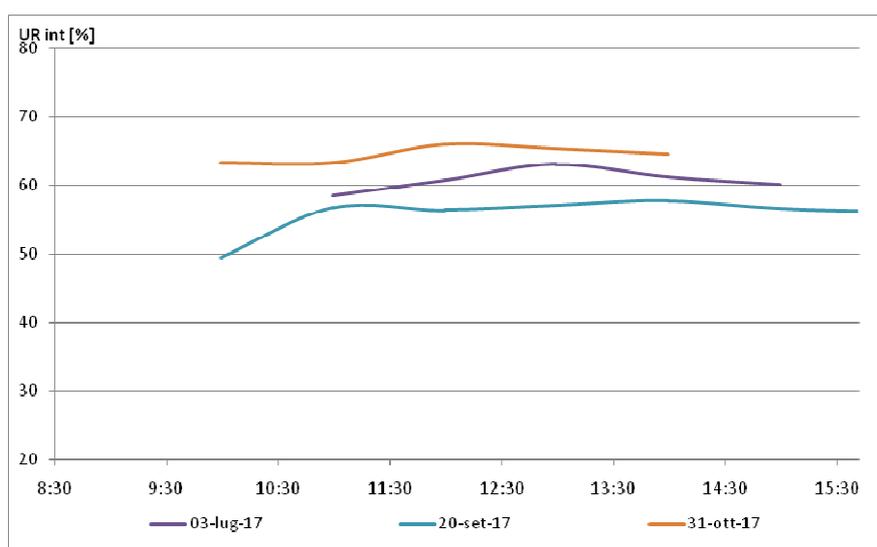
Dati da centralina meteo ARPA Lombardia del 20 settembre 2017



Dati da centralina meteo ARPA Lombardia del 31 ottobre 2017

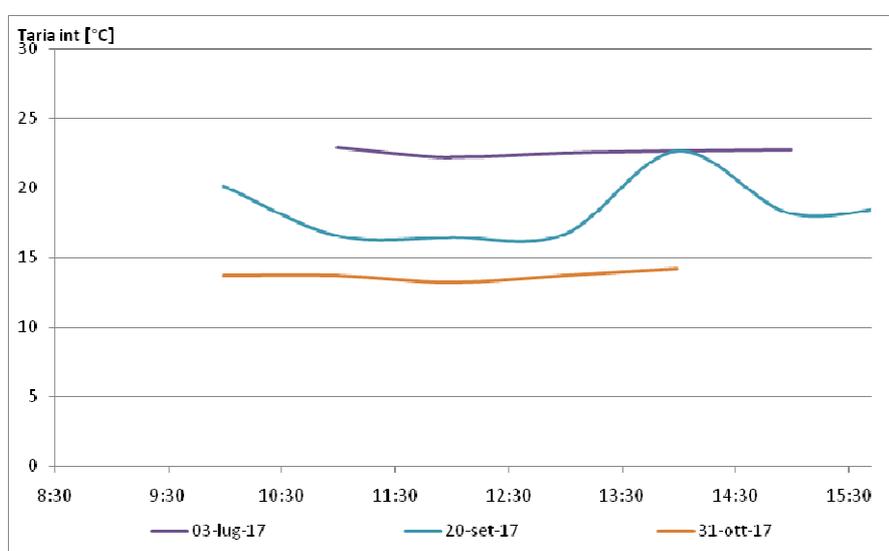
### Condizioni ambientali interne

I seguenti grafici riepilogano l'andamento delle variabili ambientali indoor utili per la determinazione della ICQ. Anche per la seconda fase sono considerati gli andamenti dell'umidità relativa, della temperatura dell'aria e della temperatura radiante nel giorno di test. Non sono stati considerati i valori della velocità dell'aria oraria perché nulli a causa dell'assenza di soluzioni impiantistiche attive e data la condizione di finestre chiuse durante il periodo di prova.



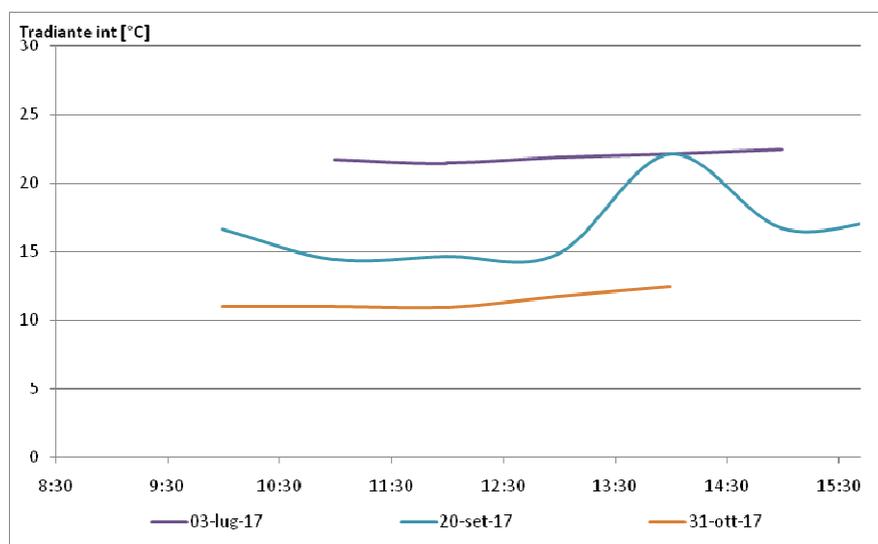
Umidità relativa interna post operam

L'umidità relativa dell'aria media interna per il giorno 3 luglio 2017 è pari a 60.74 % con valore minimo e massimo rispettivamente uguale a 58.53 % e 63.08 %. Per il giorno 20 settembre 2017 l'umidità è lievemente più bassa con il valore medio pari a 55.73 %, valore minimo uguale a 49.40 % e massimo uguale a 57.77 %. Infine, per il 31 ottobre, l'umidità relativa media è di 64.69%, valore minimo uguale a 63.30% e massimo uguale a 65.95 %.



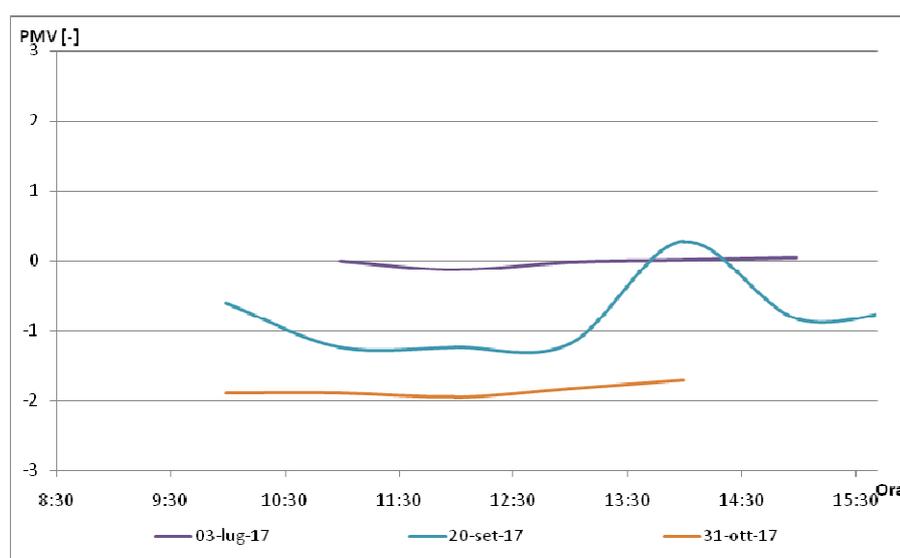
Temperatura aria interna post operam

I profili della temperatura dell'aria interna nei tre giorni di prova, il 3 luglio, il 20 settembre e il 31 ottobre 2017, variano sensibilmente con i valori medi rispettivamente uguali a 22.63 °C, 18.49 °C e 13.69 °C con escursione tra i valori minimi e massimi uguale a circa 0.7°C nel primo caso, pari a 6 °C nel secondo e a 1°C nel terzo caso. L'elevata escursione registrata il 20 settembre è probabilmente dovuta a condizioni esterne.



Temperatura radiante post operam

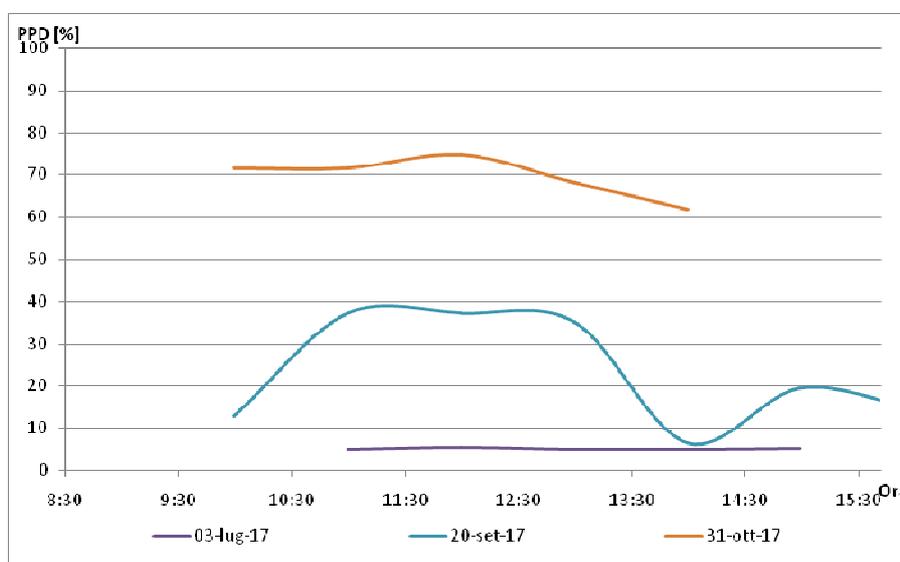
L'andamento della temperatura radiante per il 3 luglio 2017 è stabile e pari, mediamente a 21.92°C con una variazione massima di circa 1°C. Per il 20 settembre l'andamento è poco variabile almeno fino alle 13.00, quando si registra una variazione significativa imputabile a condizioni esterne. Infine, per il 31 ottobre, l'andamento è costante e pari, mediamente, a 11.43 °C.



PMV post operam

Per il calcolo del PMV e PPD, va precisato che per il 3 luglio, sono stati considerati i seguenti valori: resistenza termica dell'abbigliamento pari a 0.8clo e un'attività metabolica pari a 1.2 met. Per il calcolo degli indici di comfort relativo ai giorni 20 settembre e 31 ottobre, a parità di valore dell'attività metabolica, è stato considerato un valore leggermente più alto della resistenza termica dell'abbigliamento pari a 1.0clo.

In generale è possibile osservare come l'indice PMV per il 3 luglio è prossimo al valore 0 corrispondente a una sensazione termica neutrale. Per quanto riguarda il 20 settembre, l'andamento del PMV oscilla tra il valore -1, corrispondente alla condizione leggermente freddo, fino a 0 corrispondente alla condizione neutrale. Per il 31 ottobre, infine, il PMV è pressappoco stabile intorno al valore -2 corrispondente ad una sensazione termica di freddo.



PPD post operam

I corrispondenti indici PPD restituiscono una condizione coerente con quanto espresso prima per il PMV con un valore medio pari a circa il 5% per il 3 luglio e, considerando le ore comprese fra le 11.00 e le 13.00 del 20 settembre, pari a circa il 35% di persone insoddisfatte. Per il 31 ottobre 2017, il valore di PPD è variabile dal 61% al 74%.

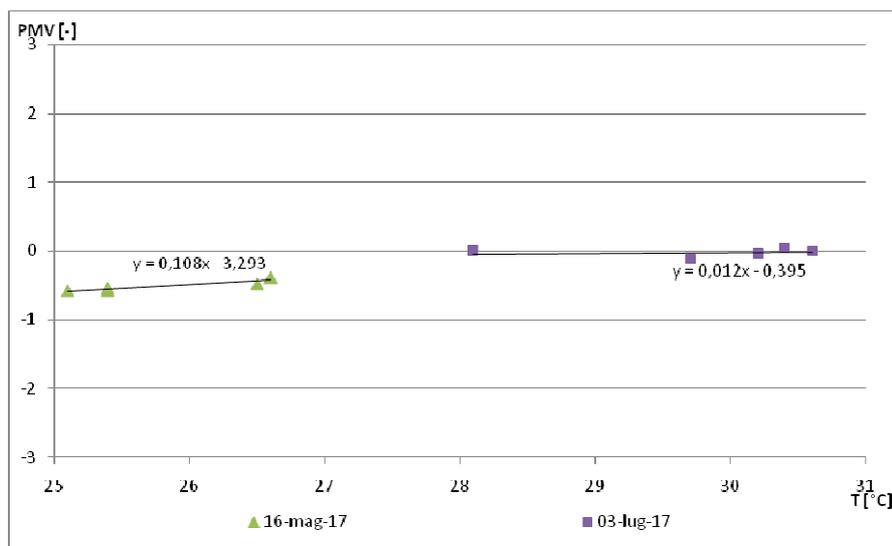
#### 7.4.4. Confronti ante-operam/post-operam

Considerata l'estrema variabilità delle condizioni ambientali esterne, è difficile fare una analisi e un confronto diretto. Come evidenziato dall'andamento delle variabili ambientali esterne per il 16 maggio e il 3 luglio, è possibile osservare come i due giorni siano comparabili in termini di andamento delle radiazione solare globale sul piano orizzontale mentre, per la temperatura dell'aria esterna la differenza media è di circa 3 °C. Tra l'altro il 16 maggio corrisponde alla condizione ante operam mentre il 3 luglio ad una post installazione di un rivestimento esterno con un intonaco innovativo da 6 cm di spessore. A parità di variabili ambientali soggettive (per entrambi i casi sono stati considerati 0.8 clo e 1.2 met) è possibile evidenziare come il PMV determinato a partire dai dati monitorati per i due giorni passi dal valore medio paria -0.5 per la condizione ante operam a quella 0 per la condizione post

operam, registrando un lieve miglioramento in termini di condizioni termoigrometriche indoor:

<i>Sensazione termica</i>	<i>Ante-operam</i>	<i>Post-operam</i>
PMV medio	-0,5	0

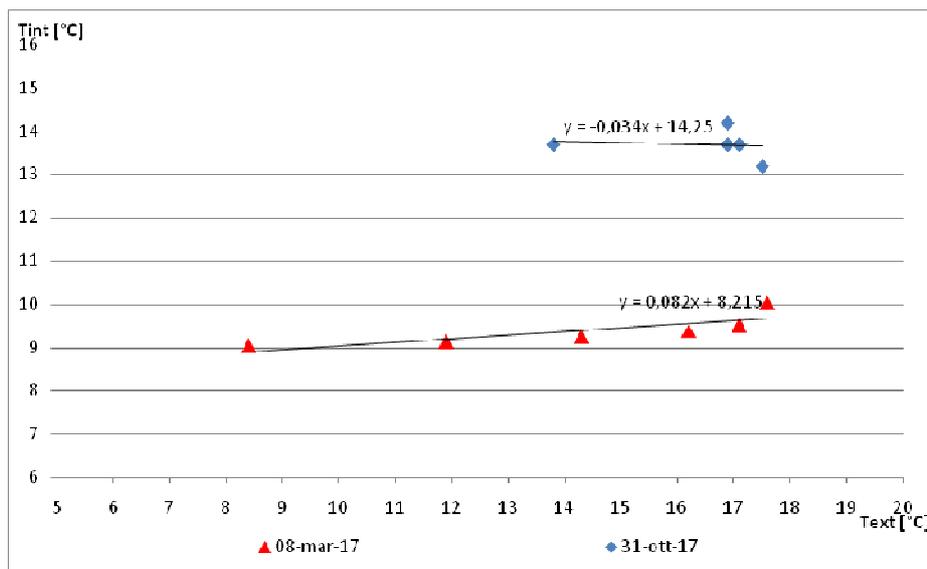
È possibile inoltre verificare la dipendenza dei valori di PMV rispetto ad una variabile esterna, ad esempio la temperatura dell'aria, come mostrato nella figura seguente:



PMV in funzione della temperatura esterna

È possibile notare la differenza di un ordine di grandezza che intercorre fra i due termini noti delle rette di tendenza relative ai punti determinati a partire dai dati monitorati il 16 maggio e il 3 luglio 2017: i punti determinati il 16 maggio dipendono, seppur in minima misura, dalle condizioni ambientali esterne; per il 3 luglio, invece, seppure i valori di temperatura dell'aria sono superiori, non è possibile evidenziare una dipendenza diretta fra i valori di questa variabile e quelli del PMV, essendo il coefficiente angolare della retta interpolatrice prossimo a zero. Ciò evidenzia come effettivamente l'intonaco da 6 cm applicato all'esterno dell'involucro contribuisce a isolare l'ambiente interno dalla variabilità delle condizioni esterne.

Sulla base dei dati monitorati l'8 marzo e il 31 ottobre è possibile verificare il comportamento della soluzione composta dall'intonaco esterno da 6 cm di spessori più, in aggiunta, l'intonaco interno innovativo da 2 cm di spessore. Per questi due giorni, a parità di variabili ambientali soggettive (per entrambi i casi sono stati considerati 1 clo e 1.2 met) è possibile verificare la dipendenza dei valori della temperatura interna rispetto ad una variabile esterna, ad esempio la temperatura dell'aria:



Temperatura interna in funzione della temperatura esterna, intonaco da 6+2 cm di spessore

Anche per questo caso è possibile notare la differenza: la retta di tendenza determinata a partire dai dati di temperatura interna monitorati l'8 marzo aumentano, seppur in minima misura, all'aumentare della temperatura esterna; per il 31 ottobre, invece, seppure i valori di temperatura dell'aria sono superiori e la variazione è ridotta, non è possibile evidenziare una dipendenza diretta fra i valori di questa variabile e quelli della temperatura interna, essendo il coefficiente angolare della retta interpolatrice negativo. Ciò evidenzia come effettivamente la soluzione costituita dall'intonaco da 6 cm applicato all'esterno dell'involucro più i 2 cm di intonaco innovativo applicato all'interno contribuisce a isolare l'ambiente interno dalla variabilità delle condizioni esterne.

## 8. Divulgazione della ricerca e dei risultati ottenuti

Le azioni di divulgazione, sia in ambito nazionale che internazionale, delle attività della Ricerca e dei primi risultati svolte finora sono elencate di seguito.

### 8.1. Presentazioni, Convegni e Pubblicazioni

#### a) Human Factory Day 2017 (Milano 29 maggio 2017):

Allestimento di una postazione con esposizione di posters e presentazione video:

**Istituto per le Tecnologie della Costruzione**  
Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Regione Lombardia**

**RISANA: Ricerca e sperimentazione di un materiale di rivestimento innovativo e sostenibile con elevate caratteristiche termiche ed acustiche per il risanamento di edifici.**

Partners: ITC-CNR, Regione Lombardia, TRI, DIASEN e MAPPY

**Oggetto**  
selezionare un **materiale innovativo** da utilizzare **in aree urbane** densamente popolate, caratterizzate da elevato **inquinamento acustico**

**Scopo**

- **riduzione dell'esposizione al rumore**
- **miglioramento dell'efficienza energetica**
- **rigenerazione urbana, riqualificazione e risanamento dell'ambiente costruito**

Il sistema **innovativo e sostenibile** si distingue dai sistemi tradizionali di isolamento acustico e termico in edilizia e garantisce la massima flessibilità di applicazione e destinazioni d'uso.

**Il materiale innovativo** può essere applicato direttamente su intonaci esistenti

**Il materiale innovativo** è poroso e **assorbe i rumori**

**L'assorbimento acustico** è stato provato in camera riverberante

**La prestazione termica** è stata provata col termoflussometro

**L'isolamento acustico** è stato provato nelle camere di trasmissione acustica

La fase finale del progetto prevede una **campagna di sperimentazione in scala reale su di un edificio laboratorio** situato in prossimità dell'aeroporto di Malpensa. Le prove sul campo verificheranno in scala reale le prestazioni dei prodotti innovativi.

La casa laboratorio si trova in vicinanza dell'area aeroportuale e consente di ripetersi a situazioni di inquinamento acustico presenti in aree urbane densamente abitate esposte a rumore da traffico.

ha caratteristiche costruttive tipiche degli anni '50, e necessita di interventi di ristrutturazione, risanamento e riqualificazione termica e acustica.

L'intonaco innovativo verrà applicato all'interno delle stanze e all'esterno sulla facciata e verrà in seguito misurato l'isolamento e l'assorbimento acustico ottenuto.

Ringraziamenti: si ringraziano TRI, DIASEN e MAPPY per la collaborazione fornita allo svolgimento della ricerca

**ITC - Istituto per le Tecnologie della Costruzione - CNR**

poster presentato allo Human Factory Day



Postazione di presentazione della Ricerca Risana allo Human FactoryDay

**b) Convegno Nazionale AIA (Pavia 7-9 giugno 2017):**

È stato presentato il seguente contributo, pubblicato agli atti del Convegno (ISBN 978-88-88942-54-4):

*Sperimentazione su materiali di rivestimento innovativi, aventi elevate caratteristiche acustiche, da utilizzare per il risanamento di edifici.*

Fabio Scamoni (1), Chiara Scrosati (1), Edoardo Alessio Piana (2), Michele Depalma (1), Maurizio Federici (3), Sandra Zappella (3)

1) ITC CNR, San Giuliano Milanese, fabio.scamoni@itc.cnr.it

2) Università di Brescia, Brescia

3) Regione Lombardia, D.G. Territorio, Urbanistica, Difesa del suolo e Città Metropolitana, Milano

**c) Convegno Internazionale ICSV24 – International Congress on Sound and Vibration (Londra 23-27 luglio 2017):**

È stato presentato il seguente contributo, pubblicato agli atti del Convegno:

*Innovative and sustainable coating system: preliminary acoustic evaluation results.*

C. Scrosati and F. Scamoni - Construction Technologies Institute, National Research Council of Italy, San Giuliano Milanese, Milan, Italy

E.A. Piana - University of Brescia, Brescia, Italy

M. Federici and S. Zappella - Department of Territory, Urban Planning, Land Defence and Metropolitan City, Lombardy Region, Italy

**d) 3rd Workshop "Dedicated manufacturing and experimental techniques for acoustic metamaterials and acoustic treatments" - DENORMS Action CA15125 (Leuven on 5th, 6th and 7th February 2018).**

Sarà presentato il seguente contributo, pubblicato sul portale della DENORMS:

*Experimental techniques for testing innovative acoustic coating systems.*

C. Scrosati and F. Scamoni - Construction Technologies Institute, National Research Council of Italy, San Giuliano Milanese, Milan, Italy.

**e) Pubblicazioni su riviste indicizzate**

Scamoni F, Piana E A, Scrosati C, *Experimental evaluation of the sound absorption and insulation of an innovative coating through different testing methods*, Building Acoustics, September 06, 2017, ISSN: 1351-010X, DOI:10.1177/1351010X17728596.

## 9. Considerazioni finali

Da un'analisi critica della sperimentazione si possono pertanto trarre le seguenti considerazioni:

il risultato principale della ricerca è stato la messa in atto di una procedura di verifica delle proprietà e delle prestazioni dei prodotti in oggetto aderente alle esigenze delle applicazioni reali a cui essi sono destinati.

Le analisi di laboratorio hanno permesso la verifica delle prestazioni dichiarate mettendone in evidenza alcune carenze.

Le verifiche in campo hanno confermato in larga parte le prestazioni ottenute in laboratorio aggiungendone altre non ricavabili se non in situ, come l'isolamento acustico di facciata, la riflessione sonora e i parametri di comfort termo-igrometrico.

Per quanto riguarda le peculiarità dei prodotti indagati, oltre ai risultati numerici descritti nei precedenti capitoli, si può aggiungere quanto segue:

dei tre prodotti selezionati il primo (Mappy) si è dimostrato come il più indicato ad utilizzi mirati alla correzione acustica degli ambienti interni, in virtù della sua discreta prestazione di assorbimento acustico; in particolare si presta ad interventi in ambienti molto riverberanti come grandi atrii, aule scolastiche e palestre. Ma non può essere utilizzato all'aperto in quanto la sua applicazione è limitata al rivestimento di pareti interne. Fornisce anche un piccolo contributo all'isolamento termico.

Gli altri due prodotti (Stilnex e Diasen) sono invece degli intonaci applicabili sia all'interno che all'esterno delle pareti. Fra le prestazioni verificate sia in laboratorio che in campo quella più promettente è legata alla loro capacità di assorbire il rumore incidente; ciò li rende particolarmente adatti ad applicazioni in situazioni in cui si debba ridurre l'effetto di riflessione sonora multipla tra superfici riflettenti contrapposte; esempi di tali situazioni sono i tipici canyon urbani in presenza di forte inquinamento acustico da rumore di traffico. Anche barriere antirumore, rivestimenti interni di gallerie e delle stazioni ferroviarie e metropolitane potrebbero trarre vantaggio dalla bassa riflessione sonora di questi due intonaci innovativi; restano ovviamente da approfondire o indagare requisiti specifici di queste applicazioni (meccanici, strutturali, anti-incendio ecc.).