



CIRIAF

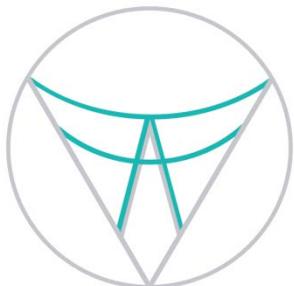
Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Inquinamento e sull'Ambiente - "Mauro Felli"

14° CONGRESSO
NAZIONALE CIRIAF

ENERGIA, AMBIENTE E SVILUPPO SOSTENIBILE

Perugia 4-5 aprile 2014

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE AEROGEL BASED PLASTERS: THERMAL AND ACOUSTIC PERFORMANCE EVALUATION



AGOSTI NANOTHERM
SRL - GMBH

Cinzia Buratti*
Elisa Moretti*
Elisa Belloni*
Fabrizio Agosti**

* Department of Engineering - University of Perugia (PG)

** Agosti Nanotherm s.r.l. - Via San Giacomo 23 - 39055 Laives (BZ)

INTRODUZIONE

L'impiego di materiali isolanti ad alte prestazioni in edilizia è diventato fondamentale al fine di ridurre i consumi energetici degli edifici sia per il riscaldamento invernale che per il condizionamento estivo.



Riduzione della trasmittanza termica **U** ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) delle componenti di un involucro



RIDUZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO DELL'EDIFICIO



1. REALIZZAZIONE DI NUOVI EDIFICI A BASSO CONSUMO ENERGETICO

2. RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI EDIFICI ESISTENTI

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

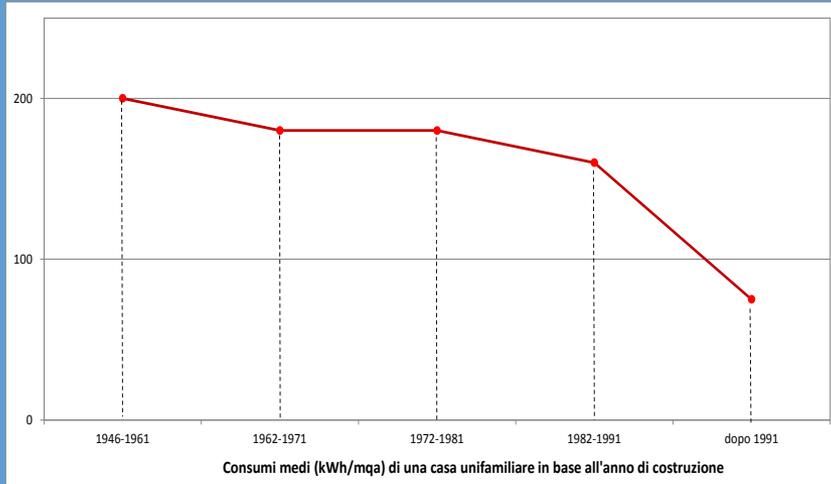
Metodologia

Discussione dei risultati

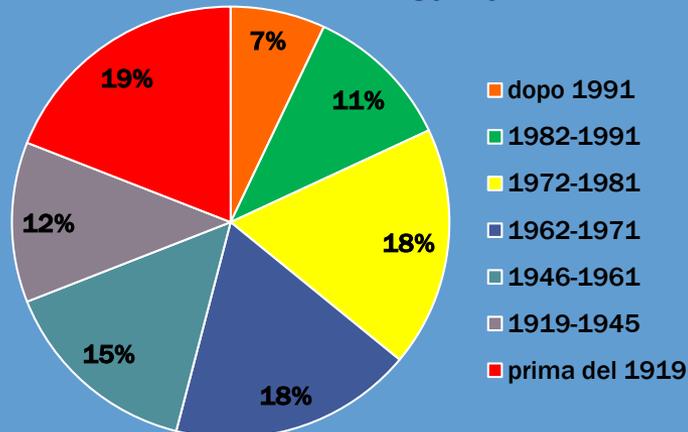
Conclusioni

INTRODUZIONE

Ad oggi il settore edilizio è responsabile del **40% dei consumi complessivi in Europa** →
 Le tecnologie edilizie, i materiali performanti, gli impianti più efficienti sul mercato ci consentono di realizzare nuovi edifici dimezzando i consumi energetici complessivi.



In Italia: **PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE** →



75% sono edifici residenziali

25% edifici non residenziali

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni



INTRODUZIONE

Impiego di materiali isolanti innovativi:

AEROGEL

Sostanza solida nanoporosa caratterizzata dal 96-99% di aria e il 2-4% da silice, si identifica come il materiale con la minor densità al mondo 50-200 Kg/m³, conducibilità inferiore a quella dell'aria

Due forme

- **monolitico** (lastre di spessore variabile 8-20 mm)
- **granulare** (sfere di diametro variabile 0.7-4 mm)

PROPRIETÀ

- Diametro medio dei pori = 20 nm
- Resistenza alle radiazioni
- Bassa resistenza a trazione
- Conducibilità = 0.012-0.02 W/mK
- Idrofobicità

CAMPI DI APPLICAZIONE

- Microelettronica
- Ottica
- Isolamento acustico
- Isolamento termico

Introduzione



MATERIALI E APPLICAZIONI

Impiego di materiali isolanti innovativi:

INTONACO TERMO ISOLANTE A BASE DI AEROGEL



È un prodotto termoisolante e termoriflettente, costituito da grassello di calce completamente naturale stagionata e **AEROGEL** in forma granulare, miscelati in pasta umida. Il prodotto che si ottiene è ignifugo, traspirante, idrofobico, leggero e facile da applicare.

Prodotto come pasta o come tinta, può essere applicato su muratura nuova o su murature esistenti, previa rimozione della vecchia pittura e applicazione di un fissante antibatterico. Dopo avere steso il prodotto, si applicano rasanti e finiture da esterno o da interno.

Introduzione

Materiali e applicazioni



MATERIALI E APPLICAZIONI

INTONACO TERMO ISOLANTE A BASE DI AEROGEL

Il prodotto è già stato impiegato in numerose applicazioni, sia sulle facciate di nuovi edifici, sia nella riqualificazione di complessi esistenti → applicazione su lato interno di 5 mm di intonaco (grassello di calce 20% + AEROGEL 80% in volume).

Descrizione	s (m)	U (W/m ² K)	Spessore di intonaco a base di AEROGEL (lato interno) (m)	U dopo applicazione aerogel (W/m ² K)	ΔU (%)
Muro in pietra (s=600 mm), intonacato ambo i lati (s= 15 mm)	0.63	2.14	0.005	1.73	- 19
Muro in laterizio (s = 300 mm), intonacato ambo i lati (s= 15 mm)	0.33	1.61	0.005	1.37	- 15
Doppia muratura in laterizio (s = 250 mm) (forato 120 mm + 50 mm aria + forato 80 mm), intonaco (s= 15 mm)	0.28	1.10	0.005	0.98	- 11
Doppia muratura in laterizio (s = 250 mm) (forato 120 mm + 50 mm polistirene + forato 80 mm), intonaco (s= 15 mm)	0.28	0.50	0.005	0.47	- 6

L'efficacia è più evidente in murature poco isolanti caratterizzate da elevati valori di trasmittanza termica.

Introduzione



Materiali e applicazioni



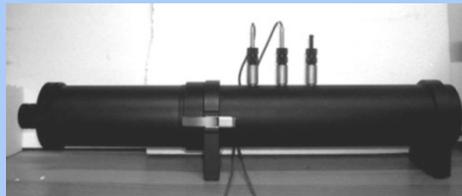
Confronto con le prestazioni termiche ed acustiche di intonaci e soluzioni tradizionali



ACUSTICA

Laboratorio di acustica
dell'Università degli
Studi di Perugia

Valutazione delle
proprietà di assorbimento
per incidenza normale
mediante Tubo di Kund't
ai sensi della



UNI ISO 10534-2:2001 - Acustica- Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza - Metodo della funzione di trasferimento



TERMICA

presso la Agosti Nanotherm

Valutazione della
conducibilità termica di
campioni di intonaco a
base di aerogel mediante
termoflussimetro
Fox 314 HFM



UNI EN ISO 12667: 2002 - Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro - Prodotti con alta e media resistenza termica

I CAMPIONI

ACUSTICA

Campioni di forma cilindrica di diametro 29 mm e 100 mm composti da un supporto in cartongesso, uno strato di pasta a base di grassello di calce e AEROGEL e finitura superficiale

campione	primo strato	secondo strato	terzo strato	spessore totale (mm)
A0	supporto in cartongesso (s=12.5 mm)	-	-	12.5
A1	supporto in cartongesso (s=12.5 mm)	pasta isolante (20% gras. calce + 80% aerogel) (s=10 mm)	rasante finale (s=2 mm)	24.5
A2	supporto in cartongesso (s=12.5 mm)	pasta isolante (20% gras. calce + 80% aerogel) (s=30 mm)	rasante finale (s=2 mm)	44.5



Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

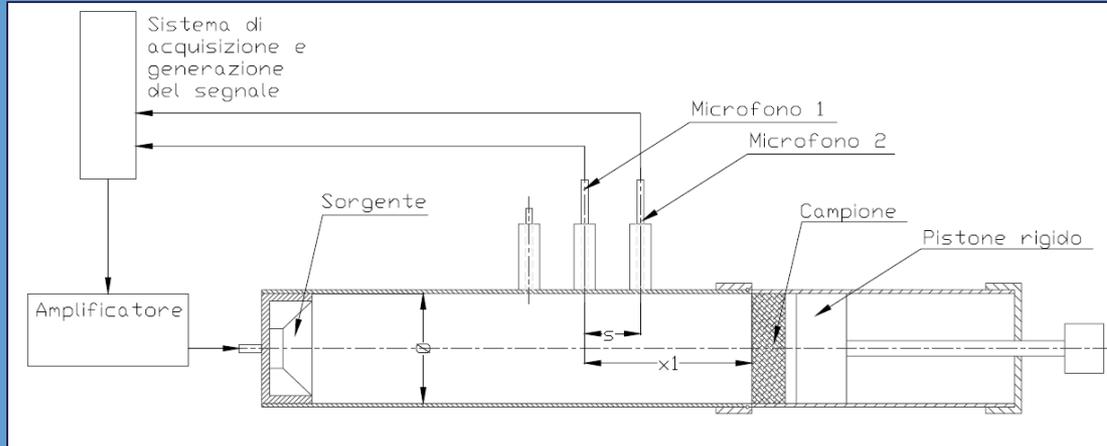
Discussione dei risultati

Conclusioni

METODOLOGIA

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2 – metodo della funzione di trasferimento

- rilevamento di T_a , Φ e p_{atm} all'interno dell'ambiente;
- **calibrazione** in pressione dei microfoni;
- inserimento del campione all'interno del sistema porta-campione, sigillando i bordi esterni con nastro adesivo o plastilina;
- valutazione del rapporto segnale – rumore all'interno del tubo compiendo due misure con la sorgente attiva e disattiva: rapporto <10 dB;
- determinazione del fattore di calibrazione per correggere lo sfasamento tra i canali (microfono + preamplificatore + canale dell'analizzatore);
- dalla funzione di trasferimento corretta \hat{H}_{12} si determinano i coefficienti di RIFLESSIONE e ASSORBIMENTO.



TUBO GRANDE

$\Phi = 100$ mm, $s = 50$ mm, $x_1 = 150$ mm, Range 100 – 1600 Hz



COMBINAZIONE

Range 100 – 6400 Hz



TUBO PICCOLO

$\Phi = 29$ mm, $s = 20$ mm, $x_1 = 55$ mm, Range 500 – 6400 Hz

Introduzione

Materiali e applicazioni

Il range di frequenza di accuratezza dipende dal diametro del tubo Φ e dalla distanza s tra i microfoni: Φ determina il limite in alta frequenza (massima frequenza per la quale si propagano solo onde piane all'interno del tubo), s individua il limite in bassa frequenza.

Conclusioni





METODOLOGIA

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2

Il coefficiente di riflessione $R(f)$ si calcola in funzione di H_{12} , x_1 e x_2 (distanza dei microfoni dal campione), k (numero d'onda) $= 2\pi f/c$

$$\alpha_{norm} = 1 - |R(f)|^2$$

ASSORBIMENTO ACUSTICO PER INCIDENZA NORMALE



$$\alpha_{dif} = 8 \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \left[1 - \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \ln(1 + 2z' + z'^2 + z''^2) + \frac{1}{z''} \frac{z'^2 - z''^2}{z'^2 + z''^2} \arctan\left(\frac{z''}{1 + z'}\right) \right]$$

ASSORBIMENTO ACUSTICO PER INCIDENZA DIFFUSA

Tiene conto della parte reale e immaginaria dell'impedenza (z' e z'') determinate dal software PULSE Labshop

L'impedenza è il rapporto tra la pressione sonora e la velocità di vibrazione delle particelle in un punto e dipende dal mezzo in cui l'onda si propaga

$$Z = z' + i z'' \rightarrow z' = p / u [Pa \cdot s/m]$$

I dati disponibili in Letteratura sul coefficiente di assorbimento acustico di materiali edilizi sono prevalentemente ottenuti in campo sonoro ad incidenza diffusa

TUBO GRANDE

Range 100 – 1600 Hz



COMBINAZIONE



TUBO PICCOLO

Range 500 – 6400 Hz

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

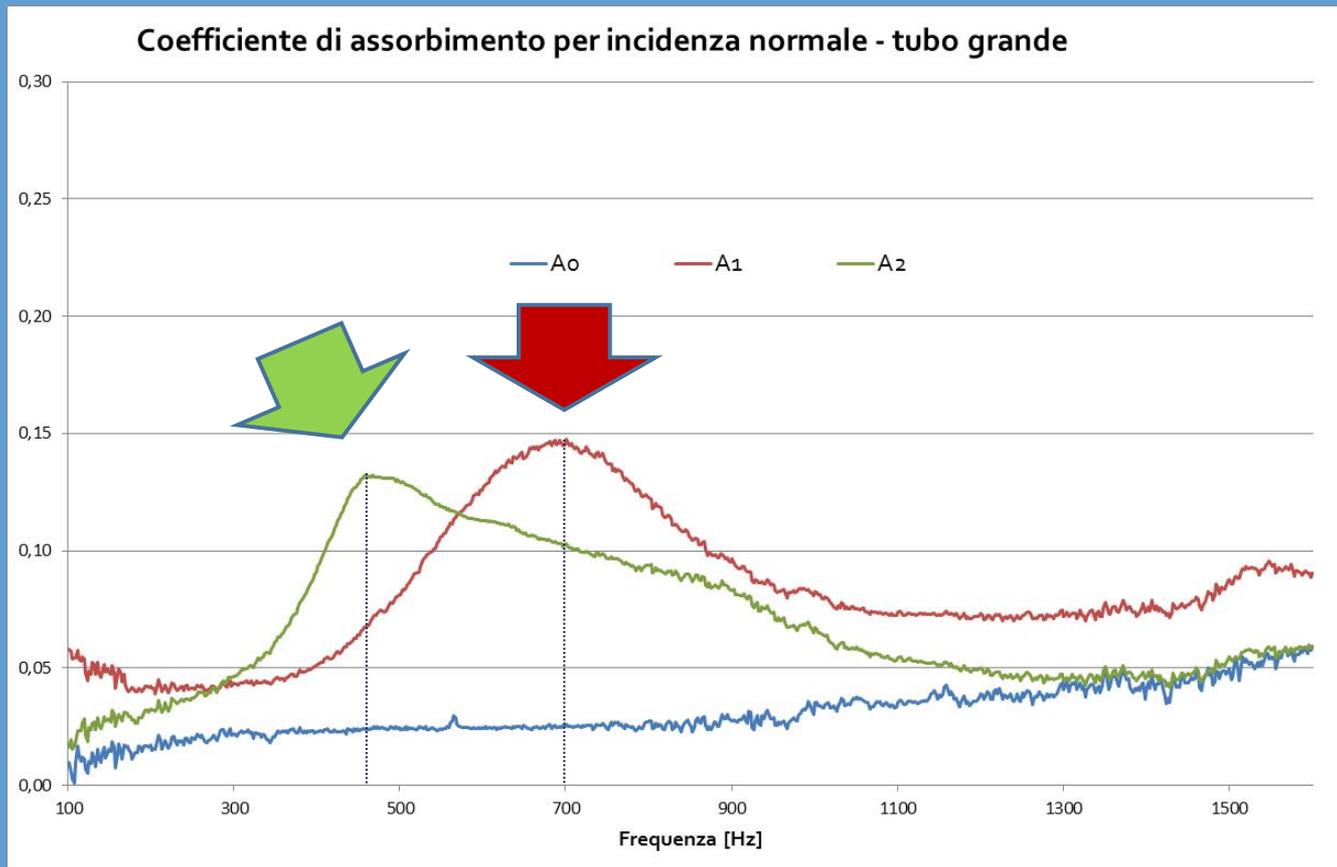
Discussione dei risultati

Conclusioni

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2

Andamento del coefficiente di assorbimento per incidenza normale – TUBO GRANDE (100 – 1600 Hz)



Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni

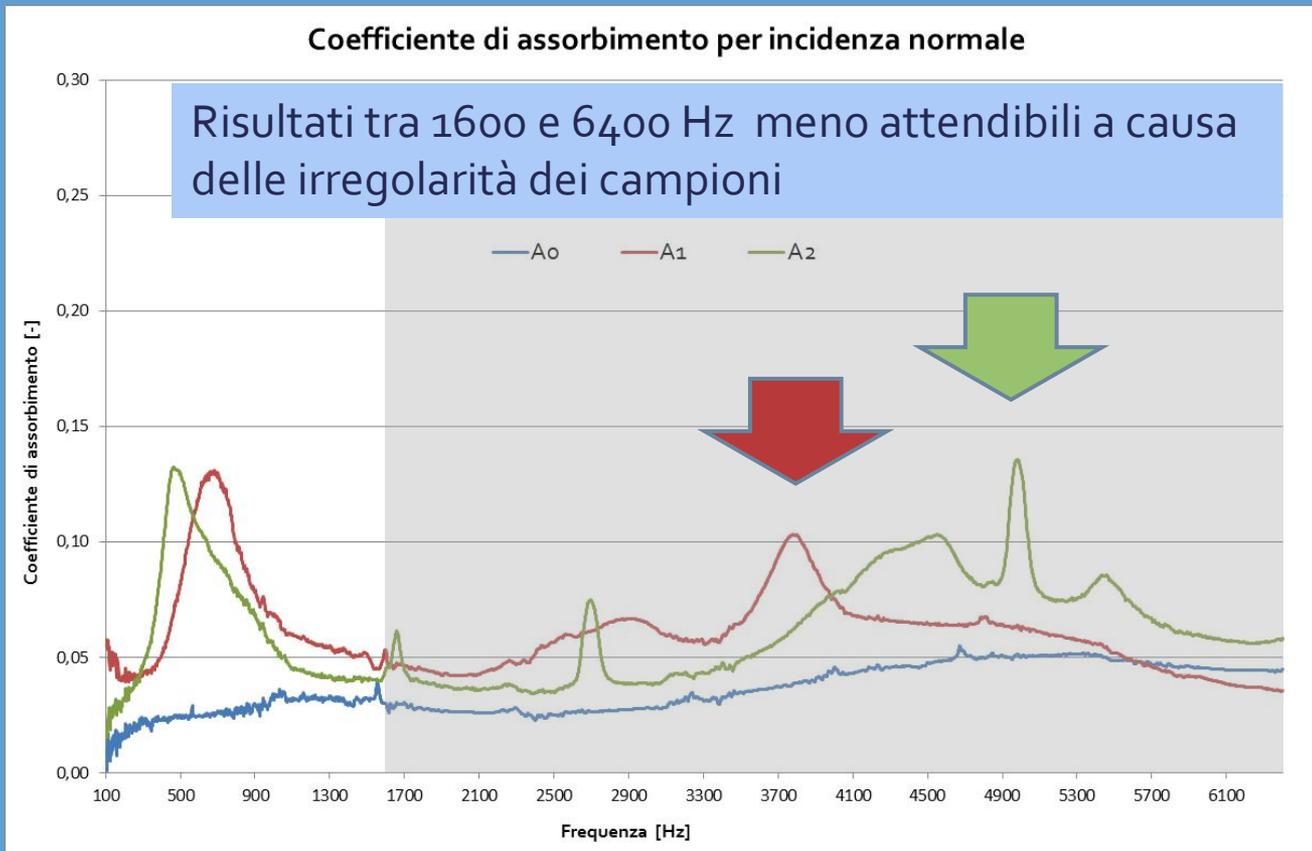


AGOSTI NANOTHERM
SRL - GMBH

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2

Andamento del coefficiente di assorbimento per incidenza normale – TUBO GRANDE e PICCOLO (100 – 6400 Hz)



Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

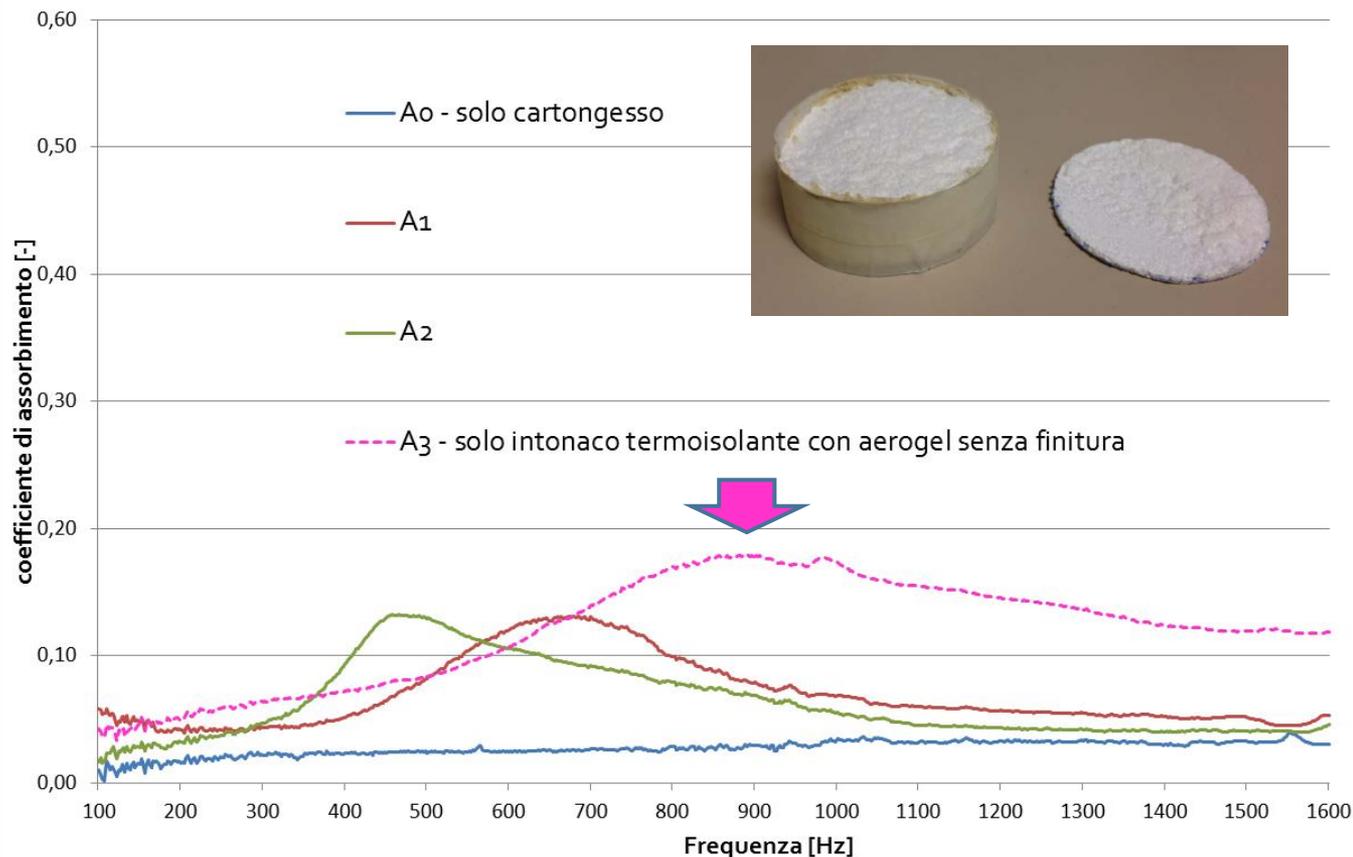
Conclusioni

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2

Andamento del coefficiente di assorbimento per incidenza normale – TUBO GRANDE (100 – 1600 Hz)

A₁ – cartongesso + intonaco a base di aerogel (80%) s = 1cm



Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni

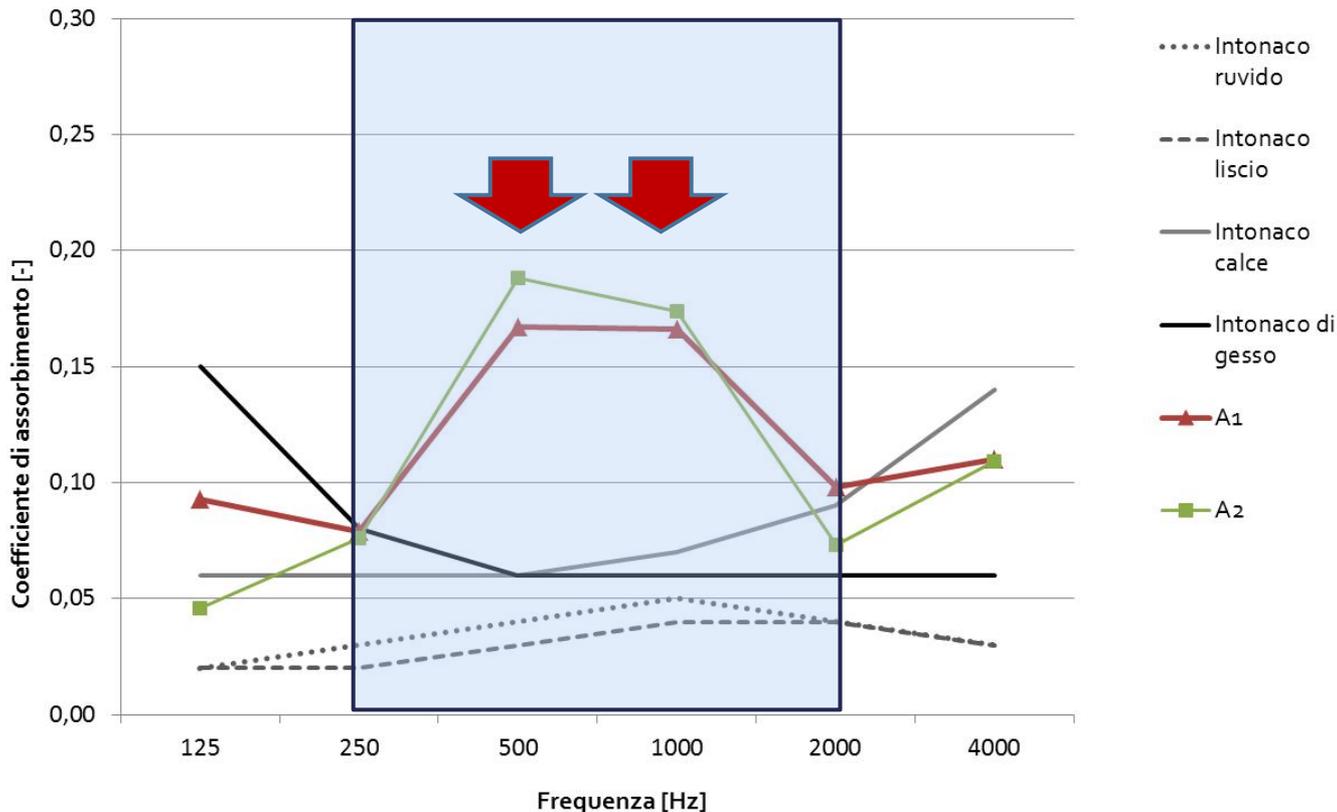


DISCUSSIONE DEI RISULTATI

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2

Andamento del coefficiente di assorbimento per
INCIDENZA DIFFUSA → valori leggermente superiori →
CONFRONTO CON SOLUZIONI TRADIZIONALI

Coefficiente di assorbimento - confronto con valori di Letteratura



I valori disponibili in Letteratura sono riportati in bande di ottava (125 – 4000 Hz), quindi una volta determinati i range delle bande di frequenza, si è proceduto facendo le medie dei valori del coefficiente di assorbimento per incidenza diffusa entro queste bande e quindi il confronto con i valori di Letteratura relativi ad intonaci tradizionali

DISCUSSIONE DEI RISULTATI

ACUSTICA UNI EN ISO 10534-2

Calcolo del coefficiente NRC – Noise Reduction Coefficient (media dei valori alle frequenze 250, 500, 1000 e 2000 Hz) - esprime le proprietà di fonoassorbimento di un materiale e consente di scegliere materiali specifici adatti ad essere applicati per il controllo del rumore

Campione	NRC [-] incidenza normale	NRC [-] incidenza diffusa
A ₁	0,06	0,13
A ₂	0,06	0,13
Intonaco ruvido	-	0,04
Intonaco liscio	-	0,03
Intonaco di calce	-	0,07
Intonaco di gesso	-	0,07

+ 61.5%

Valore medio
0,05

CONFRONTO CON SOLUZIONI TRADIZIONALI

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni

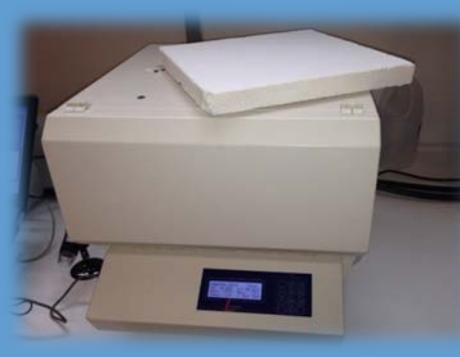


I CAMPIONI

TERMICA

Campioni di forma parallelepipedica 300 x 300 mm composti da pasta a base di grassello di calce e AEROGEL in diverse percentuali in volume

campione	composizione	AEROGEL (% in volume)
T ₀	grassello di calce senza AEROGEL	-
T ₁	grassello di calce con AEROGEL	80 - 90
T ₂	grassello di calce con AEROGEL	91 - 95
T ₃	grassello di calce con AEROGEL	96 - 99



Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

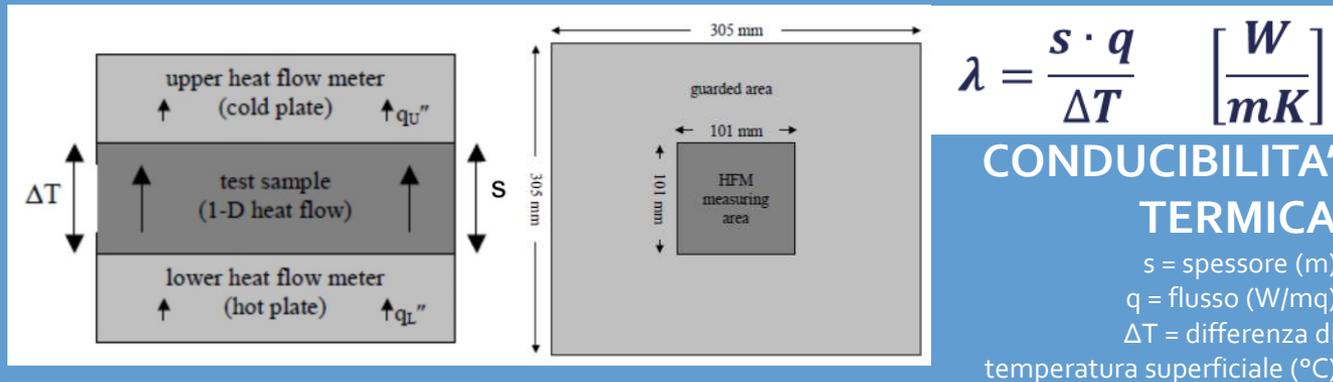
Discussione dei risultati

Conclusioni

METODOLOGIA

TERMICA ASTM Standard C518 (2003) e UNI EN ISO 12667

Il metodo del termoflussimetro consente di determinare λ per materiali omogenei. Il campione di prova è posto tra due piastre (calda e fredda) che mantengono le temperature superficiali del provino costanti. Termocoppie e termoflussimetri sono installati sulle superfici del provino per valutare T_{sup} e il flusso q attraverso il campione. È presente un'area di misura ed un anello di guardia posto alla stessa T per evitare flussi in direzione trasversale, e mantenere il flusso monodimensionale. Quando le $T_{m,sup}$ oscillano tra $\pm 0.2^\circ\text{C}$ e il flusso oscilla al max di un $\pm 2\%$, si considerano raggiunte le condizioni stazionarie per eseguire la prova.



Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni



DISCUSSIONE DEI RISULTATI

TERMICA ASTM Standard C518 (2003) e UNI EN ISO 12667

campione	DESCRIZIONE	AEROGEL in volume [%]	densità ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
T ₀	grassello di calce senza AEROGEL	-	2200	0.50
T ₁	grassello di calce con AEROGEL	80 – 90	300 - 275	0.050 – 0.045
T ₂	grassello di calce con AEROGEL	91 – 95	136 - 126	0.021 – 0.019
T ₃	grassello di calce con AEROGEL	96 – 99	125 - 115	0.016 – 0.014

Soluzione attualmente in commercio

Dal confronto con **INTONACI TRADIZIONALI** (UNI 10351 – 2) emerge che:

intonaci	densità ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]
malta di gesso per intonaci con diverse taglie di inerti	600	0.29
malta di gesso per intonaci con diverse taglie di inerti	1000	0.47
malta di gesso per intonaci con diverse taglie di inerti	1200	0.58
Intonaco di gesso e calce	1400	0.70
Intonaco di gesso puro	1200	0.35
T ₀ – grassello calce senza aerogel	2200	0.50
T ₁ - grassello calce con aerogel	275 - 300	0.045 – 0.050
T ₂ - grassello calce con aerogel	126 - 136	0.019 – 0.021
T ₃ - grassello calce con aerogel	115 - 125	0.014 – 0.016

Soluzioni tradizionali hanno valori di λ compresi tra **0.29 e 0.7 W/mK** (peso e tipi diversi).

L'aggiunta di un **80 – 90 % di aerogel in volume** comporta una riduzione del **90%** (buona soluzione commerciale).

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni



CONCLUSIONI

- Dal punto di vista **ACUSTICO** presenta un coefficiente di assorbimento per incidenza diffusa non molto alto (picco massimo di 0.2) ma relativamente più alto rispetto ad intonaci di calce e gesso tradizionali, soprattutto alle frequenze centrali (**NRC = 0.13 rispetto a valori di NRC medi di 0.05**)
- Dal punto di vista **TERMICO** la conducibilità media del solo grassello di calce (0.5 W/mK) si riduce notevolmente ($0.05 - 0.014 \text{ W/mK}$, con volumi di AEROGEL via via crescenti) → **buona soluzione commerciale con buona resistenza meccanica con 80% di AEROGEL ($0.05-0.045 \text{ W/mK}$)**
- La trasmittanza U in opera di una parete su cui si applica questa soluzione di rivestimento innovativa (con 80% di Aerogel) **diminuisce di un 6 -20 % considerando uno spessore di 5 mm** e varia in base al tipo di parete da riquilibrare.
- **LIMITE** → **COSTI** → si passa da un costo di **2 euro /mq/mm** del grassello di calce a circa **10 euro /mq/mm** se ho una soluzione T₁ (80% aerogel in volume) → **massimo 3 -5 mm (sopra 5 mm non è economicamente conveniente)**

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

Metodologia

Discussione dei risultati

Conclusioni

CONCLUSIONI

Introduzione

Materiali e applicazioni

I campioni

SVILUPPI FUTURI → Analisi dell'efficacia delle soluzioni in opera (ante e post operam) mediante su interventi:

- termografia a infrarossi;
- misura della trasmittanza in opera;
- analisi di comfort termico e inquinanti indoor.

Nanotecnologie in cantiere

Nanomateriali per riqualificare

Riqualificazione energetica di un vecchio fabbricato con materiali di nuova generazione



L'EDIFICIO IN ESAME. Prima e dopo la ristrutturazione

LE NANOTECNOLOGIE AL SERVIZIO DEL RISPARMIO ENERGETICO E DELLA CONSERVAZIONE DEGLI EDIFICI STORICI, COME DIMOSTRA QUESTA RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA SU UN EDIFICIO DI PREGIO ARCHITETTONICO

Materiali di ultima generazione, frutto delle nanotecnologie sono stati utilizzati, abbinati a prodotti naturali, in un recente intervento di riqualificazione energetica su una villa d'epoca nella quale vi era la necessità di mantenere inalterate le particolari caratteristiche architettoniche della facciata esterna e, allo stesso tempo, applicare un materiale isolante e altamente traspirante. La soluzione è stata trovata individuando uno speciale pacchetto isolante costituito da grassello di calce stagionato naturalmente, senza additivi chimici e cemento, feltro isolante flessibile in aerogel e vernice isolante traslucida a base d'acqua.



Si ringraziano:



per la preziosa e
continuativa
collaborazione con
le nostre attività di
ricerca

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE AEROGEL BASED PLASTERS: THERMAL AND ACOUSTIC PERFORMANCE EVALUATION

Cinzia Buratti

Elisa Moretti

Elisa Belloni*

Fabrizio Agosti*

*Università degli Studi di Perugia – belloni.unipg@ciriaf.it

*Agosti Nanotherm srl - info@agostinanotherm.com



GRAZIE PER L'ATTENZIONE