SAPIENZA UNIVERSITA' DI ROMA - FACOLTA' DI ARCHITETTURA - CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO IN ARCHITETTURA UE - A.A. 2017 / 2018
TESI DI LAUREA IN IMPIANTI TECNICI - RELATORE: PROF. ING. FRANCESCO MANCINI - CORRELATORE: PROF. ARCH. CAROLA CLEMENTE - LAUREANDA: CLAUDIA RAMPINI
RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E AMBIENTALE DELL'ISTITUTO SCOLASTICO "GIOVANNI COLASANTI" A CEPRANO

INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

PARETE PERIMETRALE

La proposta per il miglioramento delle prestazioni delle pareti perimetrali esterne prevede la realizzazione di un **isolamento interno e di una intercapedine di aria** per consentire il passaggio degli impianti che verranno realizzati. Nello specifico, viene rimosso l'intonaco interno esistente e viene inserito un **pannello in Aerogel**, materiale ad alte prestazioni composto al **98% da aria e al 2% da silice amorfa** e pensato per la realizzazione di **isolamenti termici a basso spessore**; successivamente si riapplica un intonaco interno. Sulla facciata esterna, dove sono visibili numerosi segni di degrado, viene realizzato un **intonaco termoisolante**.

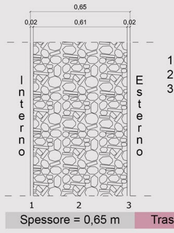
Sia sull'intonaco interno che sull'intonaco esterno viene applicata una **pittura minerale inorganica ad elevata traspirabilità**, che utilizza un insieme di tecnologie brevettate per **ridurre gli inquinanti presenti nell'aria** e eliminare muffe e batteri, impedendone lo sviluppo in modo permanente. Essa mantiene un'elevata traspirabilità e ha un **alto potere riflettente** che impedisce l'eccessivo passaggio di calore all'interno degli edifici, consentendo un **risparmio di energia elettrica** per il condizionamento dell'aria tra il 15 e il 50%. Il prodotto è inoltre **privo di VOC**.



CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PANNELLO

Formato pannello: 1400 mm x 720 mm
Spessore pannello: 30 mm
Conducibilità termica λ: λ= 0,015 W/mK
Resistenza termica R: R= 2,01 m²K/W
Permeabilità al vapore acqueo μ: μ= 5
Calore specifico: 1 kJ/kgK
Densità nominale: 230 kg/m³
Classe di reazione al fuoco: A2

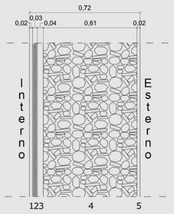
STATO DI FATTO



1 - Intonaco di calce e gesso
2 - Muratura mista in pietre e mattoni
3 - Intonaco di cemento, sabbia e calce

Spessore = 0,65 m | Trasmittanza = 1,35 W/m²K

PROPOSTA PROGETTUALE



Spessore = 0,72 m | Trasmittanza = 0,32 W/m²K

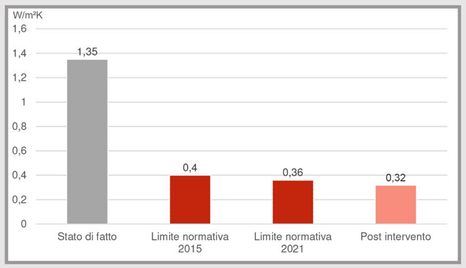
Muratura esterna mista in pietre e mattoni - Proposta progettuale					
Strato funzionale	Spessore S (m)	Conduttanza λ (W/mK)	Densità ρ (kg/mc)	Resistenza R (mqK/W)	Trasmittanza U (W/mqK)
Strato liminare interno				0,13	
1 - Intonaco di calce e gesso	0,02	0,7	1400	0,03	
2 - Isolante in aerogel	0,03	0,014	35	2,01	
3 - Intercapedine d'aria	0,04		1,2	0,18	
3 - Muratura mista in pietre e mattoni	0,61	1,17	2000	0,52	
4 - Intonaco termoisolante a base cementizia	0,02	0,09	400	0,22	
Strato liminare esterno				0,04	
	0,72			3,13	0,32

NORMATIVA

Il D.M. 26 giugno 2015 stabilisce la trasmittanza termica massima degli elementi edilizi presenti negli edifici esistenti, sottoposti a riqualificazione energetica. Nello specifico, il D.M. stabilisce due orizzonti temporali e cinque diversi valore limite per ogni elemento, a seconda della zona climatica di intervento. Riferendoci alla zona climatica C, ossia quella relativa alla località dell'edificio in esame, si individuano i seguenti valori limite di trasmittanza termica massima per le chiusure verticali opache:

Trasmittanza termica massima

	Anno 2015	Anno 2021
Zona climatica C	**0,40 W/m²K**	**0,36 W/m²K**



SOLAIO CONTRO TERRA

La proposta per il miglioramento delle prestazioni del solaio contro terra prevede la realizzazione di uno **strato isolante all'estradosso della struttura portante del solaio**. L'intervento consiste nella rimozione del pavimento originario e nell'inserimento di un **pannello isolante in polistirene espanso estruso**; sucessivamente si realizza un massetto e si posa un pavimento simile a quello originario, per preservare l'aspetto dell'edificio. La pavimentazione coerente con quella originaria verrà posata anche nelle aule, che presentano una pavimentazione non coerente.

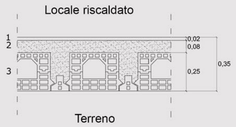
L'isolamento termico del solaio a terra tramite **polistirene espanso estruso (XPS)** permette di evitare l'assorbimento dell'umidità proveniente dal suolo, in maniera **più efficace rispetto all'utilizzo del polistirene espanso (EPS)**, in quanto quest'ultimo possiede una resistenza alla diffusione del vapore acqueo minore (μ = 50 per EPS, μ = 80-230 per XPS), a fronte di una conducibilità termica uguale (λ = 0,035 W/mK).



CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PANNELLO

Formato pannello: 1250 mm x 600 mm
Spessore pannello: 10 mm
Conducibilità termica λ: λ= 0,035 W/mK
Resistenza termica R: R= 2,85 m²K/W
Resistenza al passaggio del vapore acqueo μ: μ= 100
Calore specifico: 1,45 kJ/kgK
Densità nominale: 35 kg/m³
Classe di reazione al fuoco: E

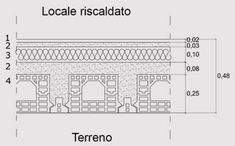
STATO DI FATTO



1 - Pavimento
2 - Massetto in calcestruzzo
3 - Travetti in laterizio armato

Spessore = 0,35 m | Trasmittanza = 1,39 W/m²K

PROPOSTA PROGETTUALE



Spessore = 0,48 m | Trasmittanza = 0,28 W/m²K

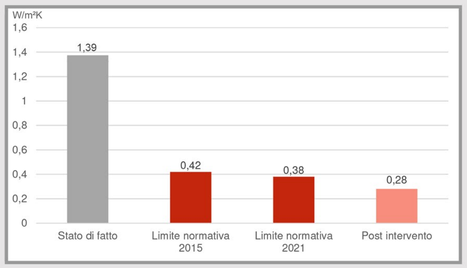
Solaio tipo SAP, contro terra - Proposta progettuale					
Strato funzionale	Spessore S (m)	Conduttanza λ (W/mK)	Densità ρ (kg/mc)	Resistenza R (mqK/W)	Trasmittanza U (W/mqK)
Strato liminare interno				0,1	
1 - Pavimento in ceramica	0,02	1	2300	0,02	
2 - Massetto in calcestruzzo	0,03	1	2000	0,03	
3 - Isolante in XPS	0,1	0,035	35	2,86	
2 - Massetto in calcestruzzo	0,08	1	2000	0,08	
4 - Travetti in laterizio armato	0,25			0,48	
Strato liminare esterno				0,04	
	0,48			3,61	0,28

NORMATIVA

Il D.M. 26 giugno 2015 stabilisce la trasmittanza termica massima degli elementi edilizi presenti negli edifici esistenti, sottoposti a riqualificazione energetica. Nello specifico, il D.M. stabilisce due orizzonti temporali e cinque diversi valore limite per ogni elemento, a seconda della zona climatica di intervento. Riferendoci alla zona climatica C, ossia quella relativa alla località dell'edificio in esame, si individuano i seguenti valori limite di trasmittanza termica massima per le chiusure orizzontali opache verso terra:

Trasmittanza termica massima

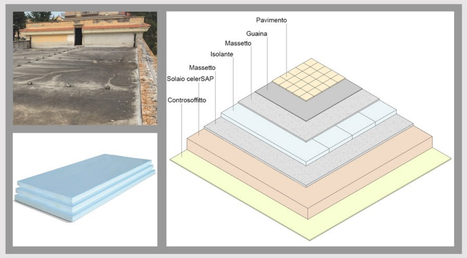
	Anno 2015	Anno 2021
Zona climatica C	**0,42 W/m²K**	**0,38 W/m²K**



SOLAIO DI COPERTURA

La proposta progettuale per il miglioramento delle prestazioni del solaio di copertura prevede la realizzazione di uno **strato isolante all'estradosso della struttura portante del solaio**. L'intervento consiste nel rimuovere la pavimentazione e inserire un **pannello isolante in lana di vetro**; sucessivamente viene realizzato un massetto e viene posato un nuovo pavimento.

L'isolamento termico del solaio di copertura, realizzato mediante un pannello di polistirene estruso espanso (XPS), permette di diminuire notevolmente la trasmittanza termica del solaio, andando ad aggiungere uno spessore di 10 cm al solaio esistente.



CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PANNELLO

Formato pannello: 1250 mm x 600 mm
Spessore pannello: 10 mm
Conducibilità termica λ: λ= 0,035 W/mK
Resistenza termica R: R= 2,85 m²K/W
Resistenza al passaggio del vapore acqueo μ: μ= 100
Calore specifico: 1,45 kJ/kgK
Densità nominale: 35 kg/m³
Classe di reazione al fuoco: E

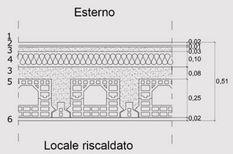
STATO DI FATTO



1 - Guaina impermeabilizzante
2 - Massetto in calcestruzzo
3 - Travetti in laterizio armato
4 - Intonaco in calce e gesso

Spessore = 0,36 m | Trasmittanza = 1,17 W/m²K

PROPOSTA PROGETTUALE



Spessore = 0,51 m | Trasmittanza = 0,28 W/m²K

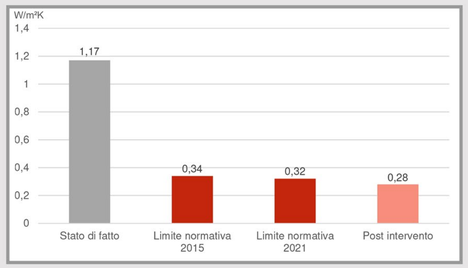
Solaio tipo SAP, copertura - Proposta progettuale					
Strato funzionale	Spessore S (m)	Conduttanza λ (W/mK)	Densità ρ (kg/mc)	Resistenza R (mqK/W)	Trasmittanza U (W/mqK)
Strato liminare interno				0,17	
1 - Pavimento in ceramica	0,02	1	2300	0,02	
2 - Guaina impermeabilizzante	0,01	0,17	1200	0,06	
3 - Massetto in calcestruzzo	0,03	1	2000	0,03	
4 - Isolante in XPS	0,1	0,035	35	2,86	
3 - Massetto in calcestruzzo	0,08	1	2000	0,08	
5 - Travetti in laterizio armato	0,25			0,48	
6 - Intonaco di calce e gesso	0,02	0,7	1400	0,03	
Strato liminare esterno				0,04	
	0,51			3,76	0,28

NORMATIVA

Il D.M. 26 giugno 2015 stabilisce la trasmittanza termica massima degli elementi edilizi presenti negli edifici esistenti, sottoposti a riqualificazione energetica. Nello specifico, il D.M. stabilisce due orizzonti temporali e cinque diversi valore limite per ogni elemento, a seconda della zona climatica di intervento. Riferendoci alla zona climatica C, ossia quella relativa alla località dell'edificio in oggetto, si individuano i seguenti valori limite di trasmittanza termica massima per le chiusure orizzontali opache:

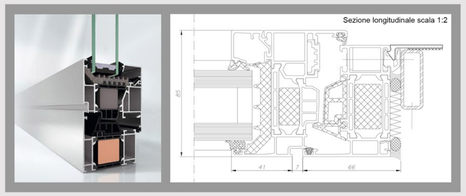
Trasmittanza termica massima

	Anno 2015	Anno 2021
Zona climatica C	**0,34 W/m²K**	**0,32 W/m²K**



SERRAMENTI

La proposta progettuale per il miglioramento delle prestazioni dei serramenti prevede la loro sostituzione integrale (infissi e vetri), poichè non si tratta degli elementi originali, anche se coerenti con essi. Il nuovo serramento è caratterizzato da un isolamento termico ottimizzato.



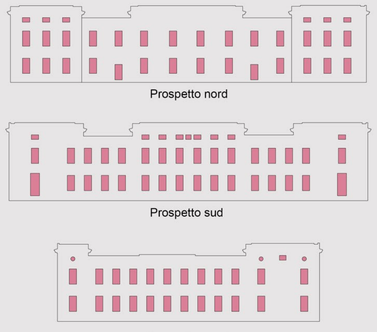
CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'INFISSO

Profondità costruttiva: 90 mm
Spessore massimo del vetro: 68 mm
Trasmittanza del serramento Uf: Uf= 1,30 W/m²K
Abbattimento acustico: 68 dB
Permeabilità all'aria: Classe 4
Impermeabilità alla pioggia battente: 9A
Antieffrazione: RC3
Tenuta al vento: C5/B5

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL VETRO

Spessore vetro: 4+4 mm
Spessore camera: 16 mm
Riempimento camera: Argon 90%
Trasmittanza del vetro Ug: Ug= 1,30 W/m²K

SERRAMENTI DA SOSTITUIRE



Trasmittanza ante = 4,25 W/m²K | Trasmittanza post = 1,30 W/m²K

Infissi - Proposta progettuale

Area vetro Ag: Ag= 2,37 m²
Trasmittanza vetro Ug: Ug= 1,30 W/m²K
Area serramento Aw: Aw= 0,65 m²
Trasmittanza serramento Uw: Uw= 1,30 W/m²K

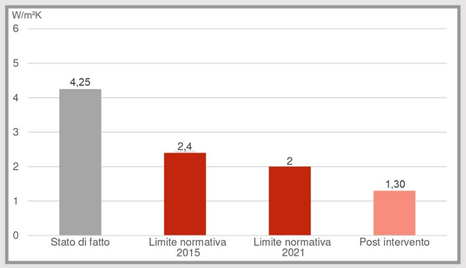
Trasmittanza complessiva infisso U: $U = \frac{Ag*Ug + Aw*Uw}{Ag + Aw} = 1,30$ W/m²K

NORMATIVA

Il D.M. 26 giugno 2015 stabilisce la trasmittanza termica massima degli elementi edilizi presenti negli edifici esistenti, sottoposti a riqualificazione energetica. Nello specifico, il D.M. stabilisce due orizzonti temporali e cinque diversi valore limite per ogni elemento, a seconda della zona climatica di intervento. Riferendoci alla zona climatica C, ossia quella relativa alla località dell'edificio in oggetto, si individuano i seguenti valori limite di trasmittanza termica massima per le chiusure verticali trasparenti:

Trasmittanza termica massima

	Anno 2015	Anno 2021
Zona climatica C	**2,40 W/m²K**	**2,00 W/m²K**



ACUSTICA

Il parametro utilizzato in acustica per valutare la qualità delle condizioni di ascolto è detto **"tempo di riverberazione"**. Esso è definito come il tempo necessario perchè a partire dall'istante di inizio del transitorio di estinzione la densità di energia sonora nell'ambiente discenda a un valore pari a un milionesimo della densità di regiome, ossia di 60 dB. Il tempo di riverberazione T60 deve quindi assumere, a seconda delle condizioni di ascolto, un valore ottimale in modo tale da offrire il miglior compromesso per l'influenza del campo sonoro riverberato sulla qualità dell'ascolto.

La vigente normativa (Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5 dicembre 1997 "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" che recepisce le indicazioni del **Decreto Ministeriale del 18 dicembre 1975** sulle "Norme tecniche aggiornate relative alla edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica") prescrive per ambienti scolastici di dimensioni inferiori a 500 mC valori del tempo di riverbero nell'intervallo di frequenza 1000 Hz - 2000 Hz non superiori a 0,8 s. Per ambienti di dimensioni comprese tra 500 mC e 1000 mC i valori del tempo di riverbero nell'intervallo di frequenza 1000 Hz - 2000 Hz non devono superare 1 s.

Va inoltre ricordato che sono state successivamente emanate due norme tecniche: UNI 11367:2010 e UNI 11532:2014 che fissano criteri specifici per gli edifici scolastici. In particolare il Decreto 11 Gennaio 2017 richiede che i valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio corrispondano almeno a quelli della classe II ai sensi delle norma UNI 11367. Gli ospedali, le case di cura e le scuole devono soddisfare il livello di "prestazione superiore" riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A della norma 11367. Devono essere altresì rispettati i valori caratterizzati come "prestazione buona" nel prospetto B.1 dell'Appendice B alla norma UNI 11367.

Calcolo del tempo di riverberazione per un'aula tipo (coefficienti di assorbimento valutati a una frequenza di 1000 Hz):

T60 = β(V/A)
β= 0,16
V= volume della sala
A= Σ(ai*Si) = am*S

ai	Si (mq)	ai*Si =Ai	Materiale
0,05	113,888	5,69	Pareti intonacate
0,05	54,31	2,72	Soffitto intonacato
0,02	54,31	1,09	Pavimento in marmette
0,04	9	0,36	Finestre
0,08	4,65	0,37	Porta in legno
A = 10,23			

β	V (mc)	A	**T60 (s)**
0,16	233,5	10,23	**3,65**

Per passare dal tempo di riverberazione attuale di 3,65 secondi al tempo di riverberazione stabilito da normativa di 0,8 s, occorre intervenire aggiungendo dei pannelli fonoassorbenti all'interno dell'aula. Partendo dalla formula A = (V*β)/T60 , si evince che per avere T60 = 0,8 s è necessario intervenire sul valore A.

A = (V*β)/T60
A = 233,5*0,16/0,8 = 46,7
A post - A ante = 46,7-(10,23-2,72) = 39,19
ai = 39,19/54,31 = 0,72



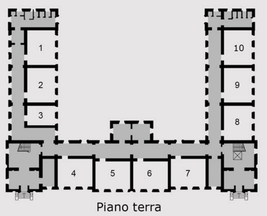
CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PANNELLO

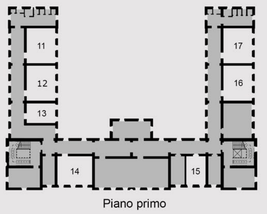
Formato pannello: 2400 mm x 1200 mm
Spessore pannello: 50 mm
Coefficiente di assorbimento: 0,90
Classe di assorbimento: Classe A

RIDISTRIBUZIONE AULE

La proposta progettuale prevede la **ridistribuzione delle aule**, in modo da rispettare le Norme per l'edilizia scolastica, che prevedono di mantenere maggiore o uguale a 1,8 il rapporto mq/alunno. Infatti, in 2 aule su 17 è stato evidenziato un rapporto inferiore a quello di legge, e allo stesso tempo nelle altre aule il rapporto varia da un minimo di 1,94 mq/alunno a 3,63 mq/alunno, vale a dire due volte lo standard.
Il rispetto di questo rapporto permetterà di ospitare complessivamente **fino a 477 bambini**, a fronte dei 342 attualmente iscritti.

Le seguenti aule potranno ospitare un numero massimo di bambini pari a:





Aula 1 - 30 alunni (attuali 24)
Aula 2 - 30 alunni (attuali 19)
Aula 3 - 17 alunni (attuali 15)
Aula 4 - 30 alunni (attuali 15)
Aula 5 - 30 alunni (attuali 18)
Aula 6 - 30 alunni (attuali 22)
Aula 7 - 30 alunni (attuali 21)
Aula 8 - 30 alunni (attuali 18)
Aula 9 - 30 alunni (attuali 28)
Aula 10 - 30 alunni (attuali 20)
Aula 11 - 31 alunni (attuali 25)
Aula 12 - 31 alunni (attuali 17)
Aula 13 - 17 alunni (attuali 18)
Aula 14 - 31 alunni (attuali 19)
Aula 15 - 18 alunni (attuali 23)
Aula 16 - 31 alunni (attuali 21)
Aula 17 - 31 alunni (attuali 19)