



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# Indagini sperimentali sul comportamento strutturale di pannelli multistrato con isolanti poliuretanicici

Flora Faleschini, Mariano Angelo Zanini, Carlo Pellegrino, Tommaso D'Antino

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale –

Via F. Marzolo 9, 35131 - Padova

ICEA



*Prima conferenza nazionale Poliuretano Espanso Rigido  
Isolamento termico e risparmio energetico*



## Problematiche ambientali nell'edilizia

- Circa il 35% della CO<sub>2</sub> rilasciata in Europa è riconducibile ad attività nell'ambito del settore dell'edilizia;
- La maggior parte è dovuta a consumi per il riscaldamento e raffreddamento degli edifici.



**Direttive e Regolamenti per limitare  
l'impatto ambientale**



**Aumentare il livello di isolamento termico**

### Direttiva EPBT “Energy Performance of Building Directive” 2010/91/CE

- prescrive una sensibile riduzione nei consumi energetici con l'obiettivo di raggiungere **consumi quasi nulli** a partire dal **2020** (anticipato al 2018 per il settore pubblico);
- Risparmio energetico del 27÷30%.





### **MATERIALI DI PROVENIENZA MINERALE:**

- lana di roccia, lana di vetro: alto impatto ambientale;
- $\lambda = 0,04 > \lambda_{\text{poliuretano}} = 0,022 \div 0,030$

### **MATERIALE DI ORIGINE NATURALE:**

- fibre di legno, sughero, canapa, paglia, argilla: impatto delle fasi di produzione e perdita della “provenienza naturale” nelle fasi di produzione; rapida degradabilità e alterabilità;
- $\lambda = 0,04 \div 0,132 > \lambda_{\text{poliuretano}} = 0,022 \div 0,030$

### **MATERIALI DERIVATI DAL PETROLIO:**

- poliesteri, polistireni
- $\lambda = 0,03 \div 0,04 > \lambda_{\text{poliuretano}} = 0,022 \div 0,030$

# Il Poliuretano: categorie e ambiti di utilizzo

|  |   |
|--|---|
| <b><u>Poliuretani espansi rigidi</u></b> | <b>Isolanti termici per l'edilizia, la refrigerazione, gli imballaggi</b> |
| Poliuretani espansi semirigidi           | Industria automobilistica, applicazioni di sicurezza                      |
| Poliuretani espansi flessibili           | Imbottiture, giocattoli   |
| Poliuretani compatti ed elastomeri       | Suole per calzature, articoli sportivi, piste di atletica                 |
| Poliuretani per vernici e collanti       | Arredamento, industria edilizia, industria automobilistica                |
| Poliuretani speciali                     | Applicazioni mediche (protesi, valvole cardiache)                         |





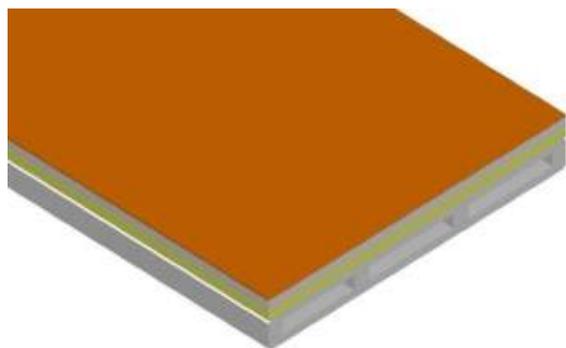
## Il Poliuretano: i punti di forza del materiale

- **Conducibilità termica  $\lambda$  molto bassa:** buon isolamento termico, minor dispendio di risorse, minor ingombro e maggior spazio utile;
- **Leggerezza:** riduzione dei carichi;
- **Stabilità del materiale:** ottima durabilità, compatibile con quella degli altri materiali da costruzione;
- **Versatilità:** ampia gamma di prodotti adatti a varie esigenze;
- **Edilizia prefabbricata:** praticità, maggiore qualità, meno imperfezioni, rapidità di posa, riduzione dei costi di installazione.

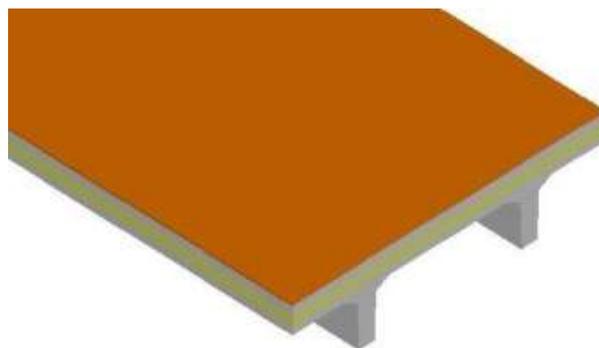


## L'indagine sperimentale: introduzione

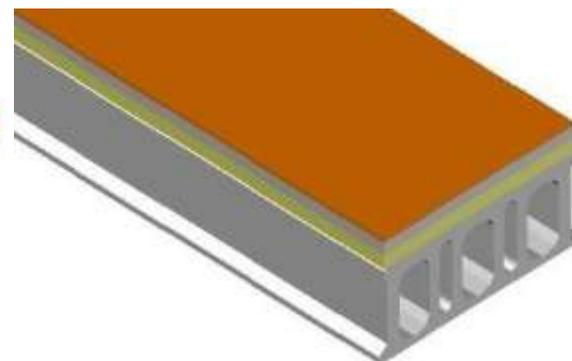
L'indagine sperimentale condotta presso il Laboratorio di Costruzioni del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Padova ha avuto come oggetto l'analisi del comportamento strutturale su 3 diverse tipologie di pannelli multistrato utilizzati per pavimentazioni civili e industriali. Sono stati testati pacchetti strutturali rappresentativi delle più diffuse soluzioni progettuali nelle costruzioni prefabbricate.



Solai predalles



Tegoli TT



Tegoli alveolari

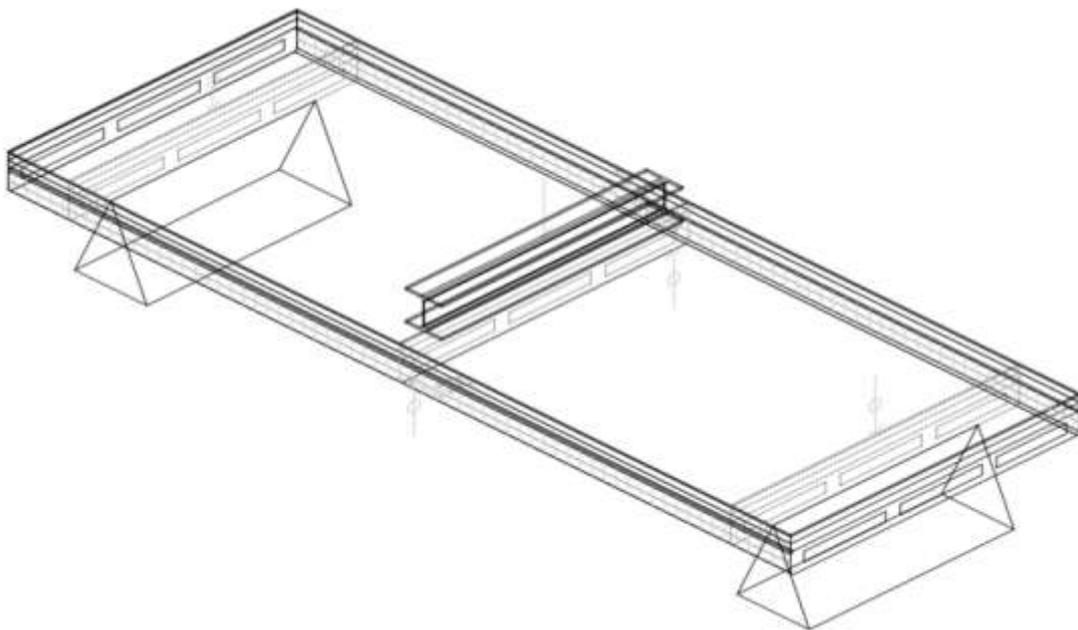


- Lo scopo è quello di verificare la potenziale influenza della presenza dell'isolante sul comportamento flessionale della pavimentazione, e valutarne la stabilità e resistenza ai carichi;
- Sono state considerate diverse combinazioni di finitura-elemento strutturale portante in maniera tale da rappresentare le varie soluzioni progettuali adottate nel mercato dell'edilizia prefabbricata.

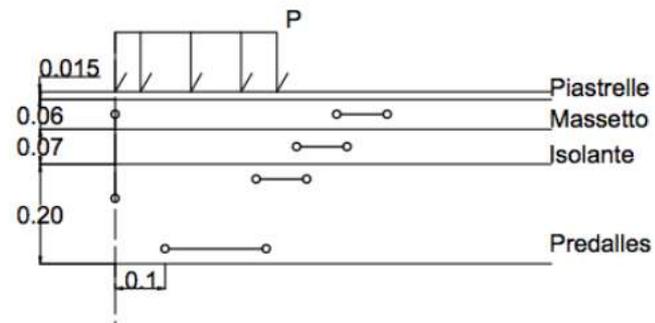


- I test sono stati realizzati simulando il comportamento a trave dell'elemento solaio;
- E' stata eseguita una prova a flessione con carico centrale applicato in mezzeria, distribuito sull'intera larghezza dell'elemento;
- Per ciascuna tipologia di elemento strutturale sono state testate due alternative soluzioni di finitura superficiale.

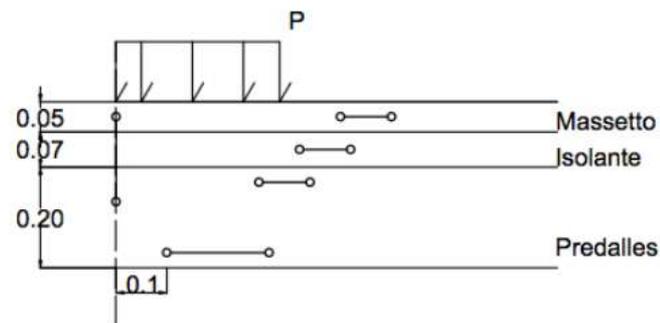
## Solai Predalles



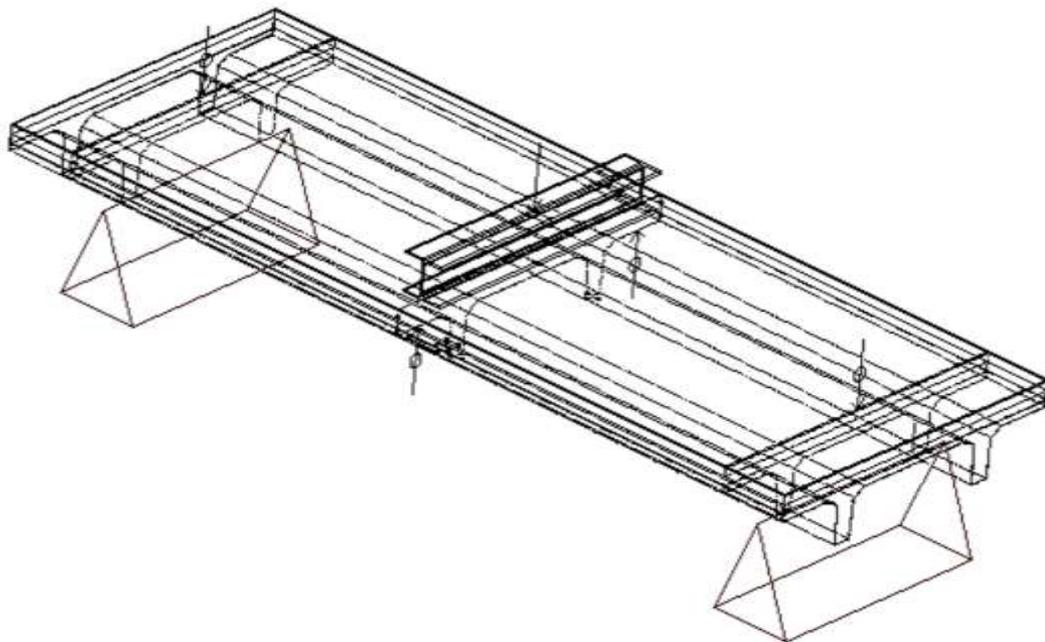
### Finitura A



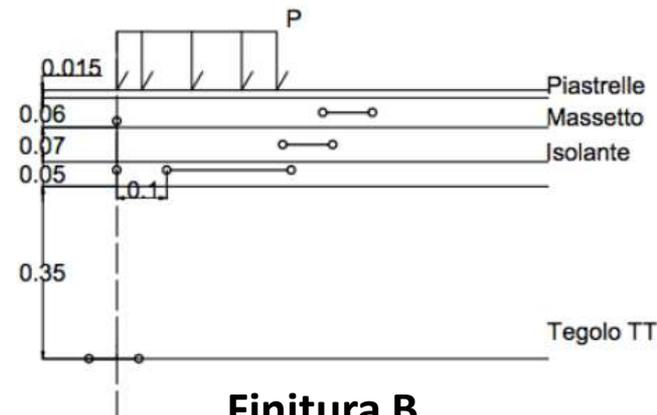
### Finitura B



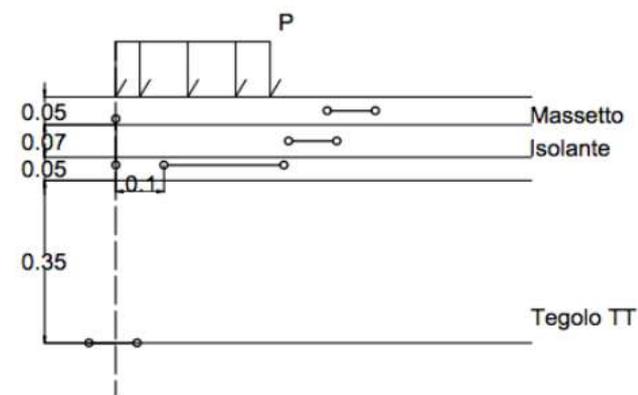
## Tegoli TT



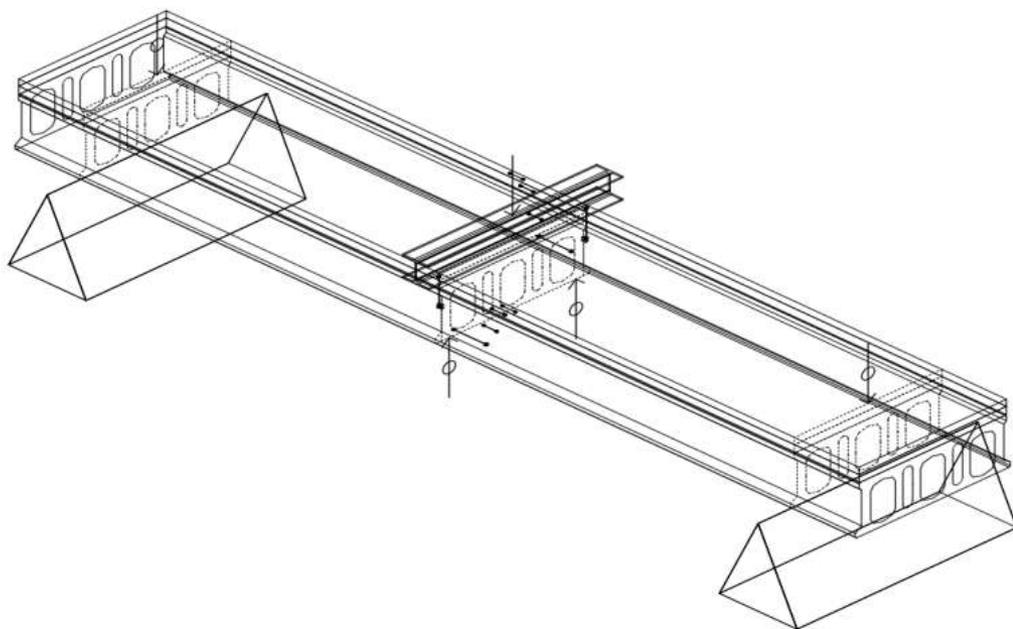
### Finitura A



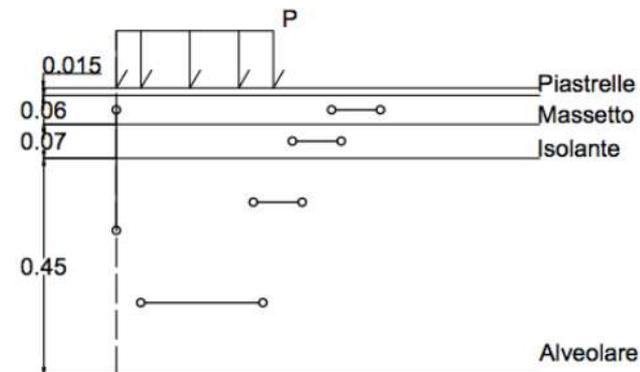
### Finitura B



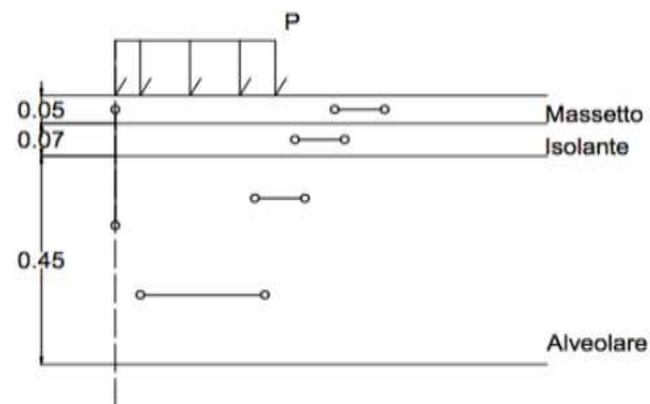
## Tegoli Alveolari



### Finitura A

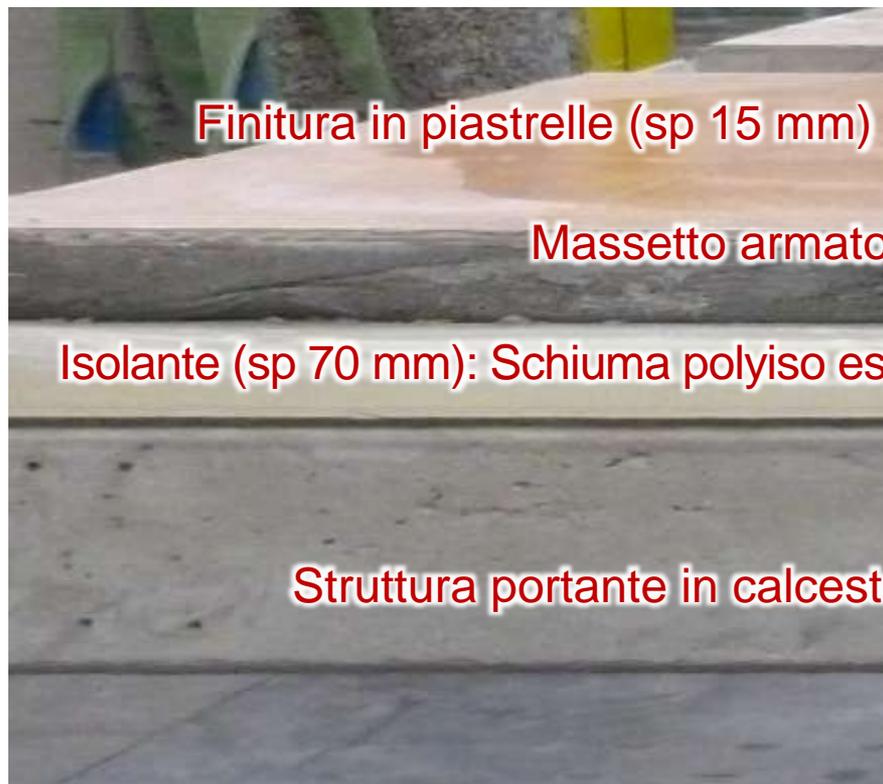


### Finitura B

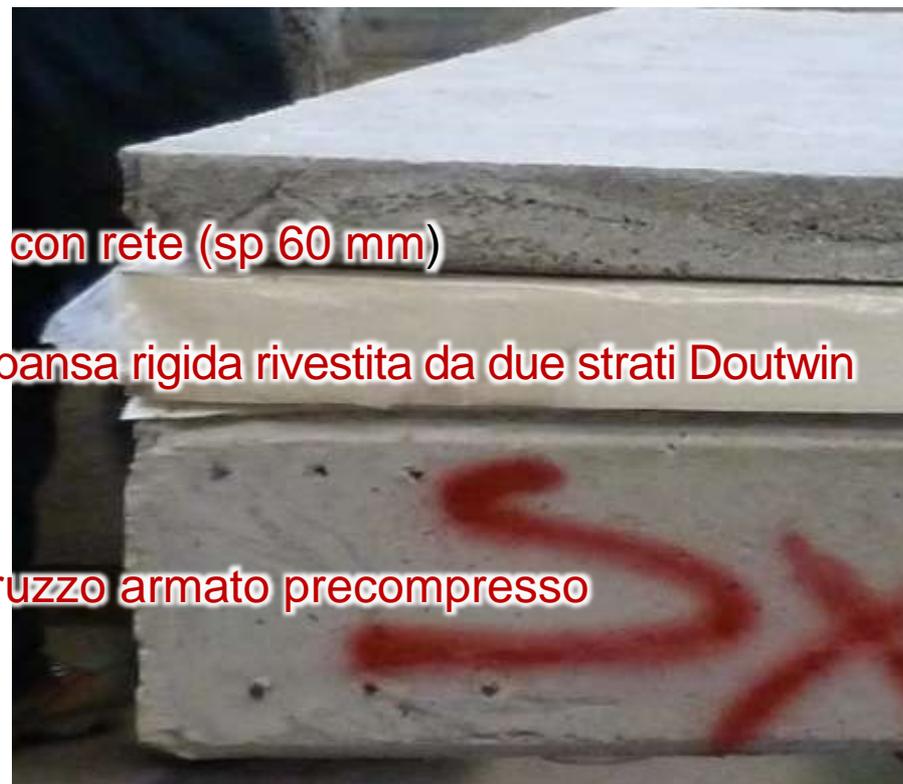


## Stratigrafia tipica dei campioni testati

### Finitura A



### Finitura B



## L'indagine sperimentale: i pacchetti di finitura considerati

Sono stati inoltre testati altri due campioni:



## L'indagine sperimentale: la caratterizzazione dei materiali utilizzati

Un buon materiale da isolamento termico deve presentare da un lato **minimi impatti ambientali** nel corso delle varie fasi della sua produzione, trasporto e posa in opera, e dall'altro garantire un **livello prestazionale elevato** così da minimizzare i costi legati al riscaldamento e rinfrescamento degli ambienti.

I migliori risultati vengono raggiunti con l'utilizzo di pannelli realizzati in schiuma poliuretanica, in polistirene espanso estruso o in schiuma polyiso.





## L'indagine sperimentale: la caratterizzazione dei materiali utilizzati

L'isolante polyiso preso in considerazione è un materiale attualmente utilizzato in molteplici applicazioni, in particolar modo per l'isolamento di coperture, pareti perimetrali e pavimentazioni, sia a destinazione d'uso civile che industriale.

| Caratteristiche dichiarate   | Isolante sp = 70 mm | Isolante sp = 100 mm | U.M.                 |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|
| Conducibilità termica  | 0,023               | 0,026                | [W/mK]               |
| Massa volumica   | 36                  | 52                   | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Resistenza a compressione al 10% di schiacciamento (funzione dello spessore) | 130÷150             | 150÷175              | [kPa]                |
| Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo (per sp 100 mm)      | 148                 | 33                   | -                    |
| Assorbimento d'acqua per immersione totale a lungo periodo $W_{It}$          | <1                  | <2                   | [%]                  |
| Assorbimento d'acqua per immersione parziale a breve periodo $W_{sp}$        | <0,1                | <0,2                 | [kg/m <sup>2</sup> ] |
| Classe di reazione al fuoco  | F                   | F                    | -                    |

## L'indagine sperimentale: la caratterizzazione dei materiali utilizzati

La verifica di resistenza a compressione del materiale isolante è stata eseguita seguendo le prescrizioni contenute nella norma UNI EN 826/1998.

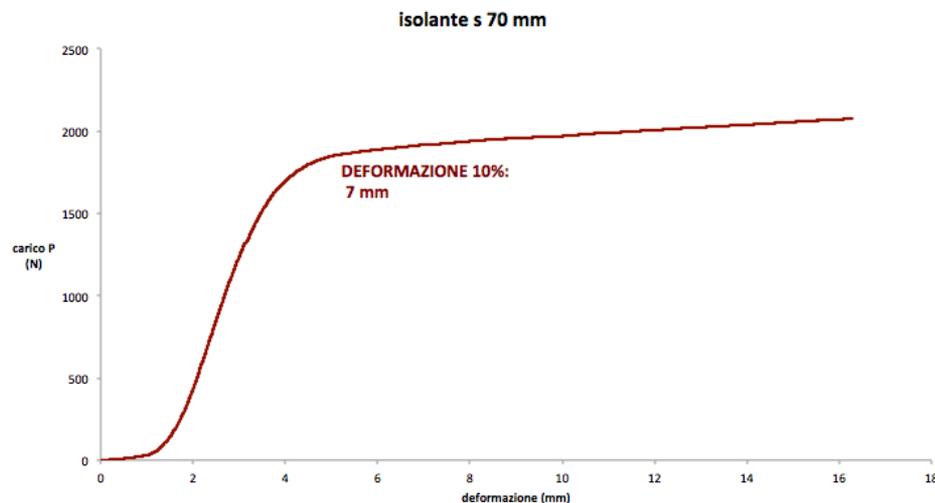
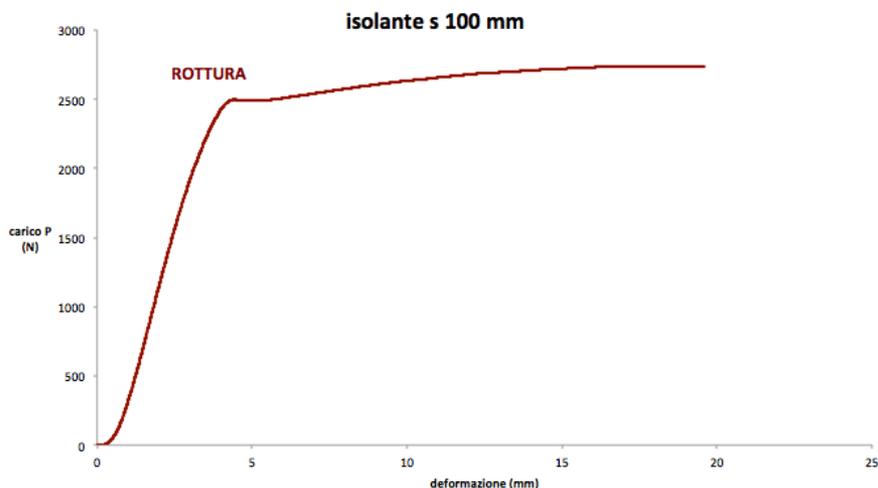


Sono stati testati 5 provini per ognuno dei due tipi di isolante presi in esame:

- Isolante sp = 70mm (100x100x70)
- Isolante sp = 100mm (100x100x100)



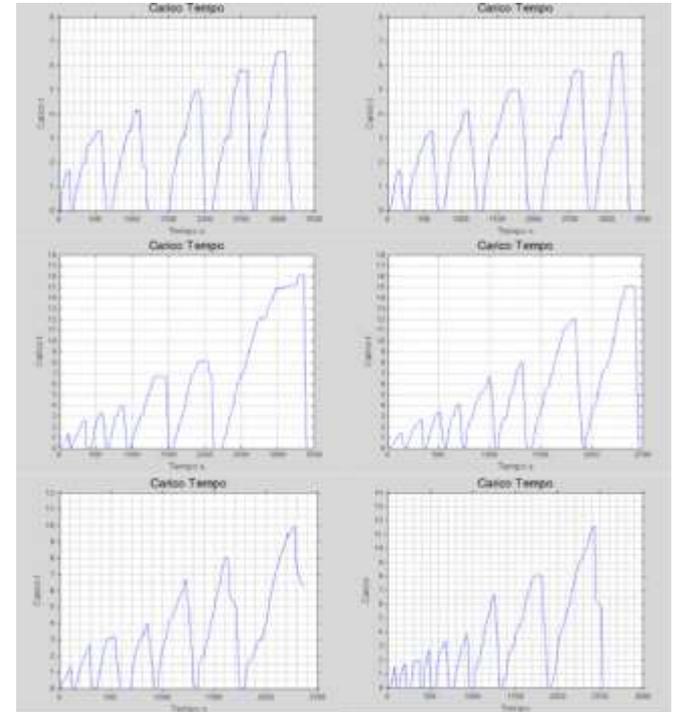
# L'indagine sperimentale: la caratterizzazione dei materiali utilizzati



| Caratteristiche sperimentali       | Isolante sp = 70 mm | Isolante sp = 100 mm | U.M.  |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|-------|
| $\epsilon$ max ammissibile/rottura | 4,494               | 10                   | [%]   |
| $\sigma$ max ammissibile/rottura   | 248                 | 191,3                | [kPa] |
| <b>E</b>                           | 5,897               | 2,2414               | [MPa] |

## L'indagine sperimentale: le prove svolte

- La prova è stata articolata nelle seguenti fasi:
  - 1) cicli di carico;



I carichi sono stati determinati in riferimento alle classi d'uso specificate nel DM 14/01/2008 Tab. 3.1.II

## L'indagine sperimentale: le prove svolte

- 2) raggiungimento del carico a rottura;



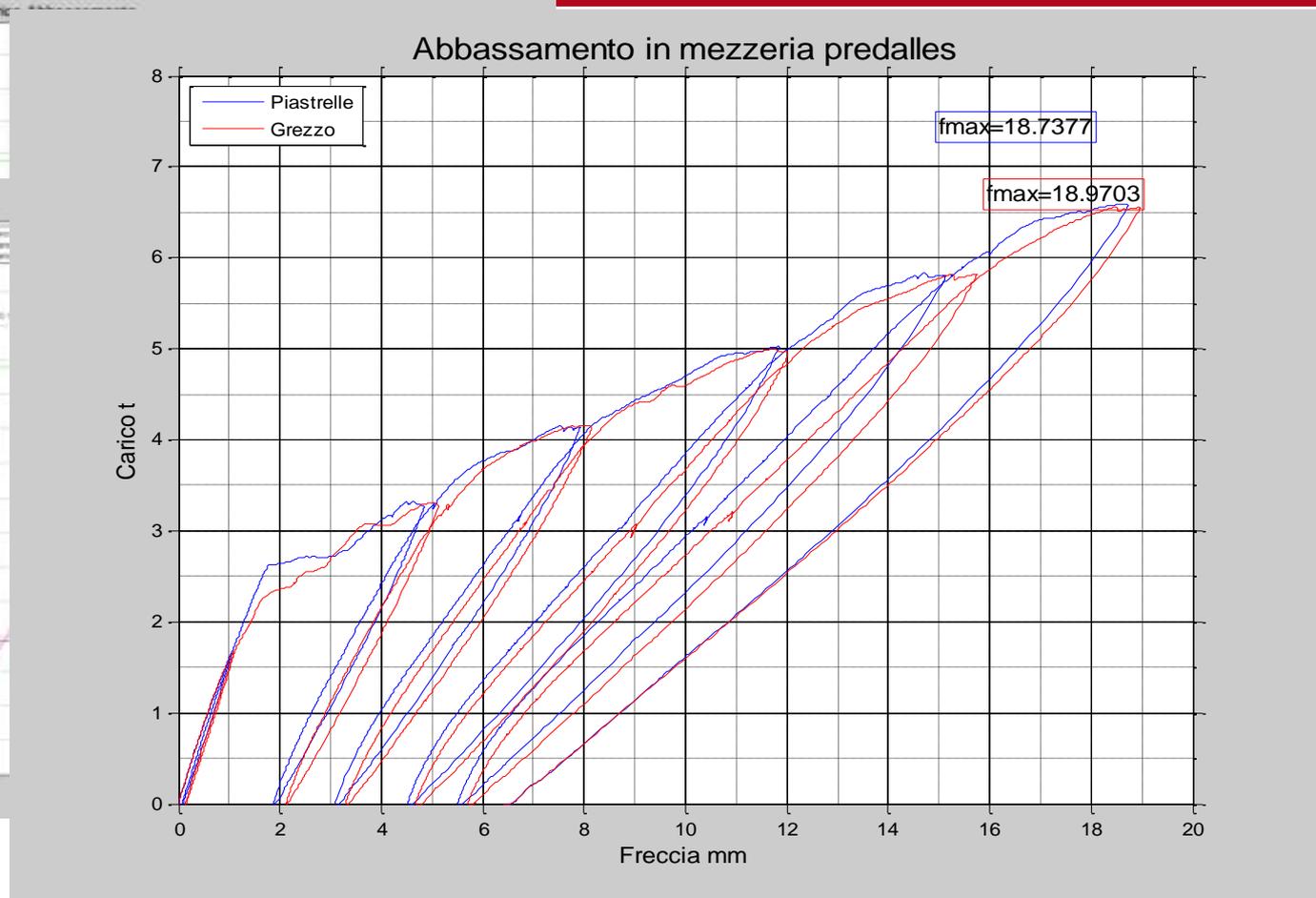
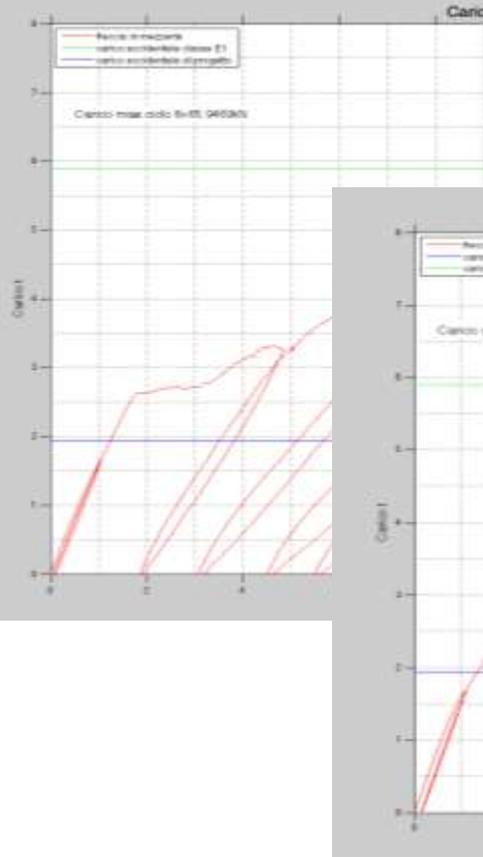
La determinazione del carico ultimo a rottura è stata possibile grazie alla precedente caratterizzazione dei materiali da costruzione (calcestruzzo, acciaio, poliuretano).

## L'indagine sperimentale: le prove svolte

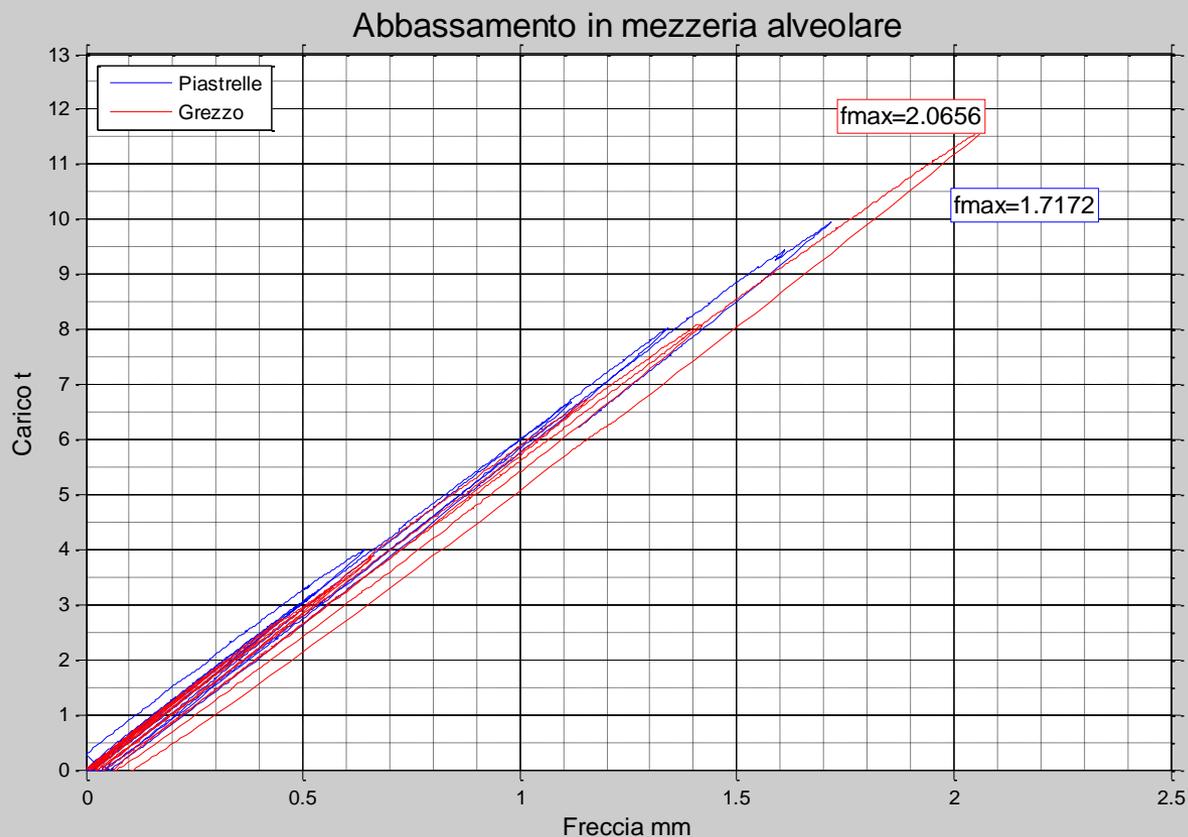
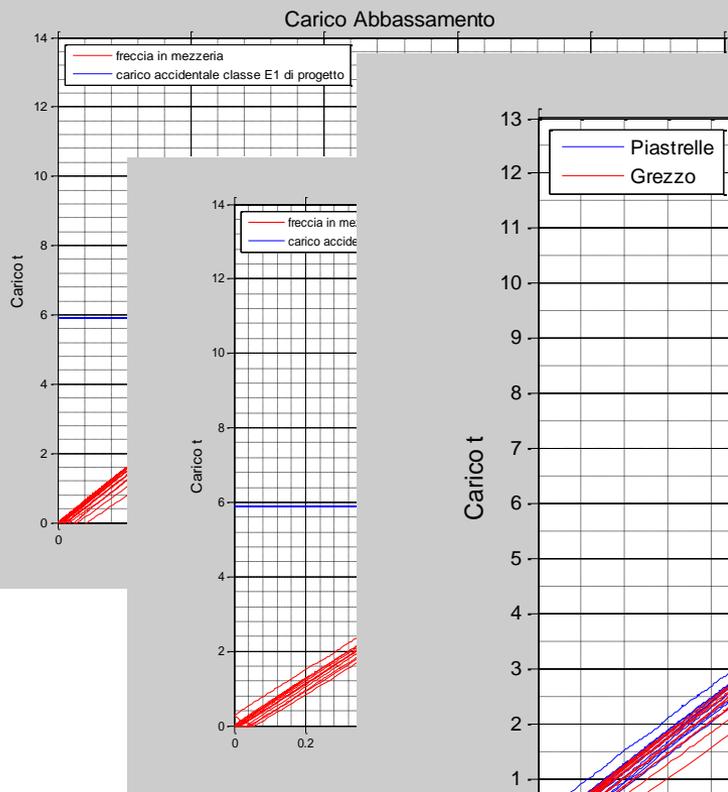
- 3) trans-pallet con massa da una tonnellata per simulazione di carico concentrato sulla pavimentazione.



# L'indagine sperimentale: i risultati







## L'indagine sperimentale: i risultati

| Denominazione campione | $P_{ult, th}$ (kN) | $P_{ult, exp}$ (kN) | $\sigma_{max @Pult}$ concentrata (kPa) | Rottura isolante |
|------------------------|--------------------|---------------------|--|------------------|
| Predalles_piastrelle   | 160                | 154.3               | 257                                    | NO               |
| Predalles_grezzo       | 160                | 151.75              | 253                                    | NO               |
| Tegolo_piastrelle      | 265                | 231.4               | 385                                    | NO               |
| Tegolo_grezzo          | 265                | 210.8               | 351                                    | NO               |
| Alveolare_piastrelle   | 242                | 116.3               | 485                                    | SI               |
| Alveolare_grezzo       | 242                | 99.5                | 415                                    | SI               |

A causa della diversa larghezza dei pannelli testati, si è optato per un'applicazione del carico tramite superficie d'appoggio differente:

- Solai predalles e tegoli TT: (2 x 0, 3) m = 0,6 m<sup>2</sup>
- Tegoli alveolari: (1,2 x 0,2) m = 0,24 m<sup>2</sup>

La specificità della tipologia dello schema di carico induce la nascita di tensioni localizzate sotto l'area di carico molto elevate, superiori a quelle che si raggiungono normalmente in esercizio.



Le prove sono state interrotte in corrispondenza al raggiungimento di:

- **elevate deformazioni**, incompatibili con la funzionalità dell'opera, nel caso dei solai predalles e dei tegoli TT;
- **rottura del pavimento e dell'isolante**, nel caso dei tegoli alveolari, a motivo delle alte tensioni concentrate raggiunte in corrispondenza dell'impronta di carico e dell'elevata rigidità dell'elemento strutturale.

Si è riscontrato inoltre come la rottura dell'isolante sopraggiunga solo **dopo** la rottura del massetto e della pavimentazione, che risultano dunque la parte più debole della struttura.

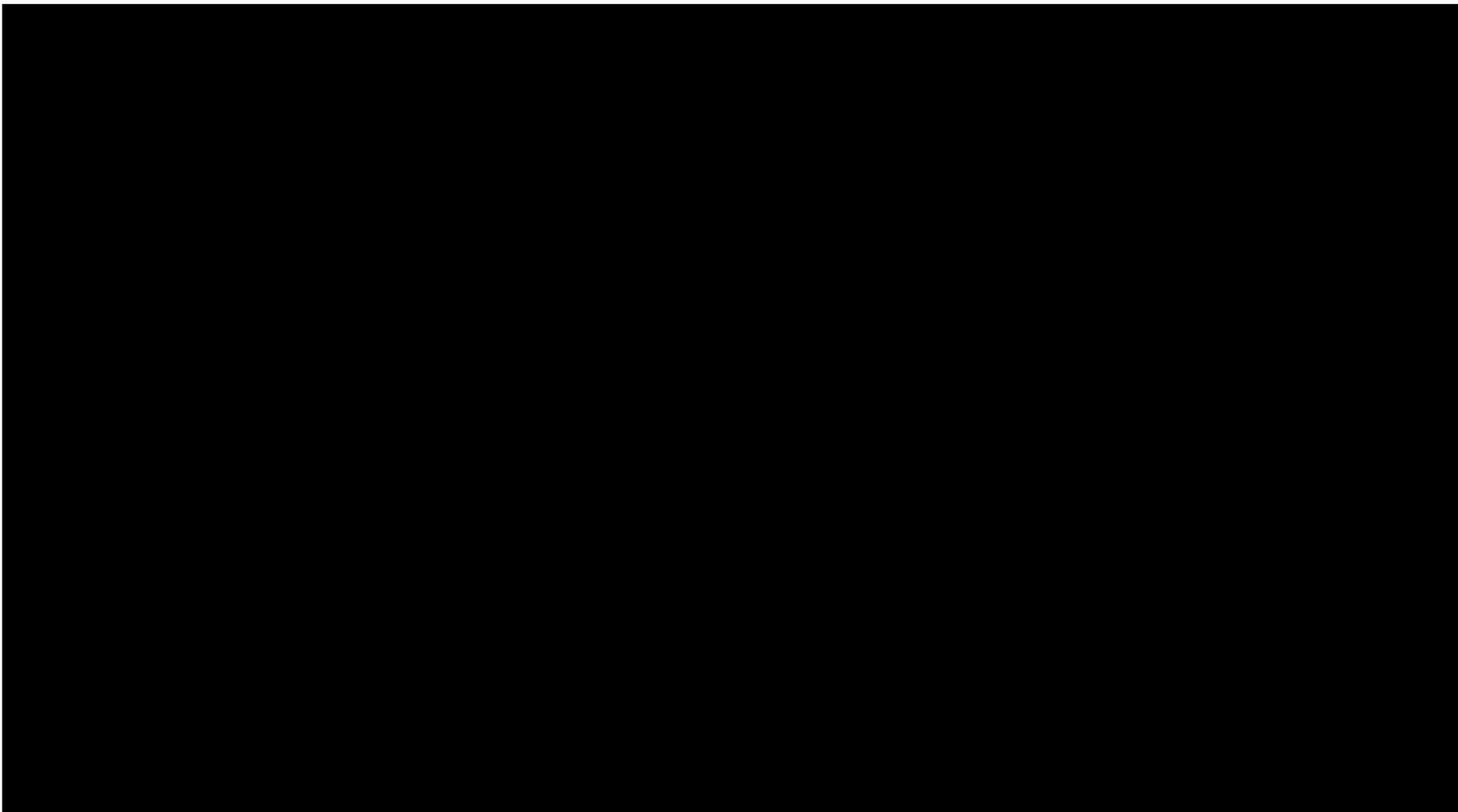


## L'indagine sperimentale: i risultati



## L'indagine sperimentale: i risultati





*Prima conferenza nazionale Poliuretano Espanso Rigido  
Isolamento termico e risparmio energetico*



## Concludendo:

- Solai predalles: dimensionati per classe d'uso A hanno resistito alle sollecitazioni per livelli di carico superiori alla classe E, esibendo ottima stabilità dimensionale anche in presenza di elevate deformazioni;
- Tegoli TT: dimensionati per classe d'uso E, hanno resistito a cicli di carico a livelli superiori alla classe E, senza manifestare rotture dell'isolante;
- Tegoli alveolari: sono state rilevate rotture locali dovute a tensioni localizzate elevate al di sotto dell'impronta di carico; è necessario interpretare correttamente tali evidenze:

**Maggior rigidezza - Maggiori carichi a rottura - Minori impronta di carico**



**Maggiori tensioni localizzate**

## L'indagine sperimentale: conclusioni

- Le prove eseguite permettono di rappresentare lo stato di sollecitazione flessionale derivante dall'applicazione dei carichi previsti da normativa per le varie classi di destinazione d'uso;
- La configurazione adottata comporta la formazione di effetti localizzati che devono essere valutati correttamente;
- L'esito positivo dei test, nonostante le specificità della configurazione adottata ha evidenziato la stabilità dimensionale dei pannelli di isolante, non andando a inficiare il comportamento globale del pacchetto di orizzontamento alle condizioni di esercizio e non mostrando cedimenti localizzati dovuti alla rottura dell'isolante.

**La soluzione progettuale di isolamento termico con pannelli in poliuretano risulta pertanto efficiente sia dal punto di vista energetico che dal punto di vista strutturale, abbattendo inoltre i costi di gestione dei fabbricati.**





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale – ICEA**  
**Via Marzolo 9, 35131 Padova**

**Ing. Flora Faleschini**

Dottorato di Ricerca

[flora.faleschini@dicea.unipd.it](mailto:flora.faleschini@dicea.unipd.it)

**Ing. Mariano Angelo Zanini**

Dottorato di Ricerca

[marianoangelo.zanini@dicea.unipd.it](mailto:marianoangelo.zanini@dicea.unipd.it)

**Prof. Ing. Carlo Pellegrino**

Ricercatore Universitario

[carlo.pellegrino@unipd.it](mailto:carlo.pellegrino@unipd.it)

**Ing. Tommaso D'Antino**

Dottorato di Ricerca

[tommaso.dantino@dicea.unipd.it](mailto:tommaso.dantino@dicea.unipd.it)