Quaderni Tecnici

RESISTENZA A CARICHI ELEVATI ED ISOLAMENTO TERMICO: LA RISPOSTA STIFERITE

Versione 1.0
Sintesi di indagini sperimentali condotte presso il
Laboratorio per i Materiali da Costruzione
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
Università degli Studi di Padova.

a cura:
Divisione Ricerca e Sviluppo
STIFERITE SpA
Ing. Cristiano Signori
dott. Fabio Raggiotto

Aprile 2023 - Versione 1.1

stiferite®
l'isolante termico

Sommario

Introduzione **3**

Casi studio **4**

1. Configurazione in appoggio totale - pavimento contro terra 4
2. Configurazione in semplice appoggio - solaio interpiano 6
3. Configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - copertura industriale prefabbricata 8
4. Configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - solaio interpiano 10
5. Configurazione solaio predalles - solaio interpiano 12
6. Configurazione solaio alveolare - solaio interpiano 14

Analisi di modellazione numerica **16**

Conclusioni **18**

I pannelli STIFERITE per isolamento di pavimentazioni e solai **19**

RESISTENZA A CARICHI ELEVATI ED ISOLAMENTO TERMICO: LA RISPOSTA STIFERITE

Introduzione

A fronte di una sempre maggiore richiesta da parte della progettazione e dei professionisti coinvolti a vario titolo nella realizzazione di stratigrafie strutturali orizzontali, intese quali pavimentazioni industriali, solai interpiano, solai di copertura anche a destinazione carrabile, si è ritenuto necessario affrontare uno studio di tali elementi coinvolgendo l'aspetto statico ed, in particolare, la distribuzione dei carichi applicati e le relative tensioni.
Questo a fronte di una mancanza, allo stato attuale, di un metodo previsionale basato su criteri solutivi certi e sull'assenza di normative di calcolo per i casi affrontati.

Lo studio riporta i risultati di una indagine sperimentale corredata da analisi di modellazione numerica, condotta presso il Laboratorio per i Materiali da Costruzione, afferente al Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Padova, con la finalità di ottenere una conoscenza approfondita dello stato tensionale e deformativo sviluppatosi nei singoli elementi soggetti alle prove ed indentificando la sollecitazione imposta ai pannelli isolanti.

L'obiettivo è la conoscenza del comportamento dei materiali isolanti, in particolare del poliuretano espanso rigido, necessario al fine di sviluppare una progettazione corretta, sia sotto l'aspetto dimensionale degli elementi sia dal punto di vista economico. Infatti, una esaustiva conoscenza del comportamento dei prodotti isolanti, sottoposti, anche se in modo indiretto, ad azioni e sollecitazioni elevate, unita alle ben più note caratteristiche di isolamento termico (conduttività termica, calore specifico etc.) permette alla progettazione una scelta mirata e consapevole in merito alla soluzione da adottare.

Lo studio è stato condotto sulle seguenti configurazioni orizzontali:

- **Configurazione in appoggio totale - pavimentazione contro terra**
- **Configurazione in semplice appoggio - solaio interpiano**
- **Configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - copertura industriale prefabbricata**
- **Configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - solaio interpiano**
- **Configurazione solaio in predalles - solaio interpiano**
- **Configurazione solaio alveolare - solaio interpiano**

Le caratteristiche meccaniche degli elementi della stratigrafia (carico massimo a rottura, tensione di snervamento, il modulo elastico e altri parametri significativi) sono state misurate su ogni strato costituente le strutture sottoposte a test. Il calcestruzzo è stato caratterizzato in accordo con le disposizioni delle norme UNI 6130/80 e UNI 6132/72 per ricavare i valori del modulo elastico, della resistenza massima a compressione e a trazione ed i risultati sono stati successivamente elaborati secondo le disposizioni dell'Eurocodice 2. Le prove preliminari di caratterizzazione del poliuretano espanso rigido sono state eseguite in accordo con la norma UNI EN 826, con particolare riguardo alla determinazione del modulo elastico e della resistenza a compressione.

Sono stati scelti pannelli isolanti aventi una resistenza a compressione al 10% della deformazione maggiore di 120, 150 e 200 kPa. Ciascuna struttura è stata sollecitata a compressione e flessione per mezzo di una trave di ripartizione in acciaio, completamente appoggiata in mezzeria dell'elemento testato. L'impronta di carico risulta essere 180 x 30 cm; mentre, il peso della putrella pari a 387 dN.
Si è inizialmente sottoposto le strutture ad un breve ciclo di pre-carico di assestamento allo scopo di verificare l'idoneità in relazione ai carichi di esercizio per destinazione d'uso previsti dall'Eurocodice 2 ed, in seguito, si è caricato fino al massimo valore possibile, con la strumentazione in dotazione (circa 450 kN). La ricostruzione dell'andamento tensionale lungo la sezione trasversale degli elementi costituenti i singoli strati delle strutture sottoposte a test, è stata realizzata mediante dei sensori di precisione DD1 e LVDT (± 0.001 mm).
Si riporta in figura 1 un esempio di layout di prova.
Tale ricostruzione permette di comprendere in modo chiaro alcune dinamiche relative alla distribuzione tensionale e deformativa, conseguenza delle sollecitazioni agenti.

I valori dei carichi esercitati e delle conseguenti risposte in termini di reazione relativi al comportamento dell'intera stratigrafia e non suddivisibili in base ai componenti, sono stati suddivisi in 3 ambiti, riferendosi alle varie fasi di risposta alle sollecitazioni applicate per individuare il valore massimo in campo elastico, plastico ed il valore prima della rottura.

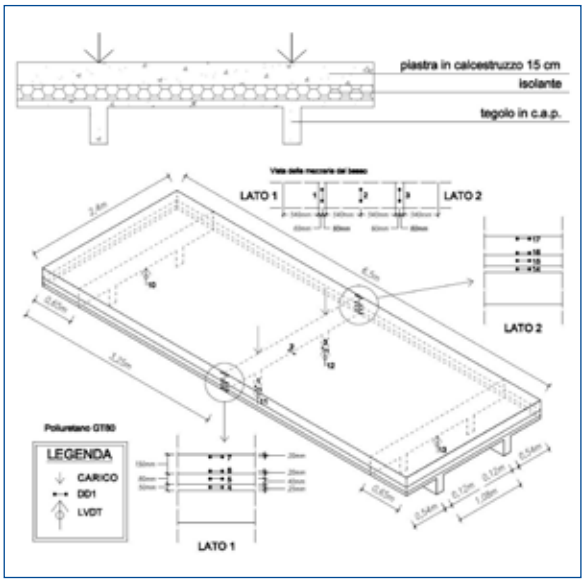


Fig. 1.
Layout di prova – tegolo TT

Casi studio

Sono di seguito riportati i risultati di alcune strutture sottoposte a prova a titolo di esempio:

1. Configurazione in appoggio totale - pavimento contro terra

Si è studiato il comportamento di un pavimento industriale contro terra dotato di pannelli termoisolanti.

Descrizione stratigrafia (dall'intradosso all'estradosso):

- Soletta rigida in c.a. sp. 20 cm. (strato contro terra)
- Triplo strato di pannelli isolanti in poliuretano espanso rigido, **Stiferite P3 (v. nota)**, spessore singolo pannello 50 mm, avente resistenza a compressione al 10% della deformazione maggiore di 120 kPa, spessore complessivo 150 mm
- Pavimentazione industriale in c.a. sp. 15 cm

Il Grafico 1. riassume il comportamento osservato durante il test e le varie fasi di applicazione delle sollecitazioni.

Fig. 2.
Layout di prova - configurazione in appoggio totale

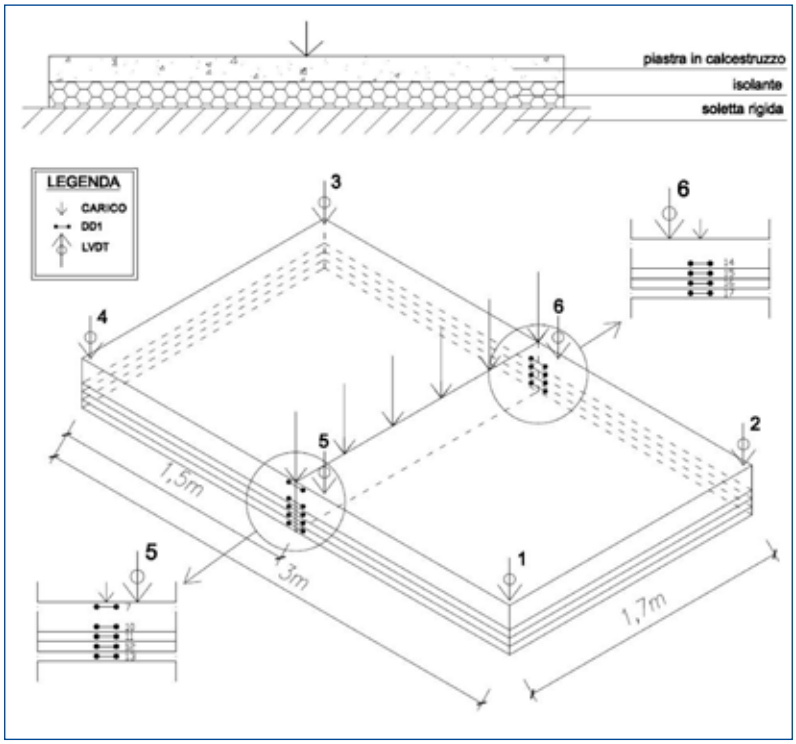


Foto 1.
Prova configurazione in appoggio totale

Foto 2.
Prova configurazione in appoggio totale

Foto 3.
Prova configurazione in appoggio totale

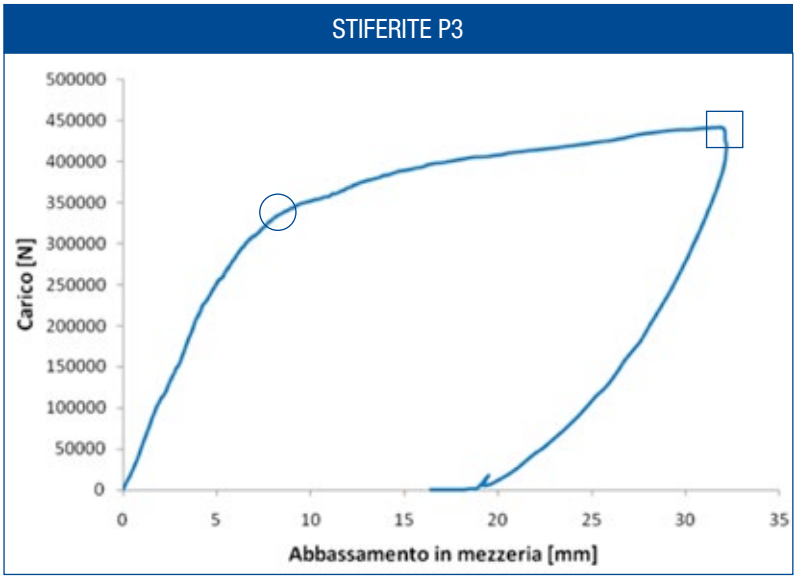


Grafico 1.
Configurazione in appoggio totale.

○ zona limite fase elastica

□ zona limite carico massimo

✓ Carico limite in fase elastica 34006,2 daN (pari a circa 34000 kg)

✓ Carico massimo 44226,7 daN (pari a circa 44200 kg)

Si sono evidenziate le zone di maggiore interesse per valutare l'effettivo grado di resistenza dell'intero pacchetto alle azioni impresse.
I valori corrispondenti alle due zone sopra individuate sono:

- Carico limite in fase elastica 34006,2 daN (pari a circa 34000 kg)
- Carico massimo 44226,7 daN (pari a circa 44200 kg)

Sono valori piuttosto elevati, e ben si sposano con le caratteristiche richieste dalle pavimentazioni industriali (ad esempio destinazione d'uso per celle frigorifere e stoccaggio materiali).

A conclusione del test, previo scarico del sistema, si sono attentamente osservate e valutate le condizioni dei pannelli Stiferite P3, sotto l'aspetto della presenza di eventuali deformazioni geometriche (per quanto concerne planarità e abbassamenti dello spessore rispetto alle condizioni di partenza).

Si sono riscontrate alcune incisioni superficiali in corrispondenza del 3° strato di pannelli posto a contatto con la piastra superiore in c.a., non per cedimenti propri del prodotto, bensì dovuti all'azione di pseudo-punzonamento esercitata dalle asperità presenti nel getto della piastra medesima. In altre parole i pannelli isolanti del 3° strato non hanno subito alcuna deformazione dal punto di vista della loro conformazione originaria (nel senso planare e dello spessore), e ciò va di pari passo con l'assoluta integrità riscontrata nei pannelli isolanti del 1° e 2° strato.

Nota
STIFERITE P3 è un pannello per applicazioni industriali disponibile solo per specifiche commesse e per quantitativi concordati.
E' stato utilizzato nella sperimentazione poichè, all'interno della gamma produttiva STIFERITE, è quello che offre la minore resistenza a compressione al 10% della deformazione (120 kPa) e rappresenta quindi il peggior caso possibile per l'utilizzo di pannelli STIFERITE in applicazioni sottoposte a carichi.

2. Configurazione in semplice appoggio - solaio interpiano

Si è studiato il comportamento della condizione di un solaio interpiano, dotato di pannelli termoisolanti, sottoposto ad azioni in regime flessionale.

Descrizione stratigrafia (dall'intradosso all'estradosso):

-Soletta rigida inferiore in c.a. sp. 20 cm

- Strato di pannelli isolanti in poliuretano espanso rigido, **Stiferite Class SH**, spessore 80 mm, avente resistenza a compressione al 10% della deformazione maggiore di 200 kPa.

-Soletta rigida superiore in c.a. sp. 15 cm

Il Grafico 2. riassume il comportamento osservato durante il test e le varie fasi di applicazione delle sollecitazioni.
Si sono evidenziate le zone di maggiore interesse per valutare l'effettivo grado di resistenza dell'intero pacchetto alle azioni impresse.

Fig.3.
Layout di prova - Configurazione in semplice appoggio

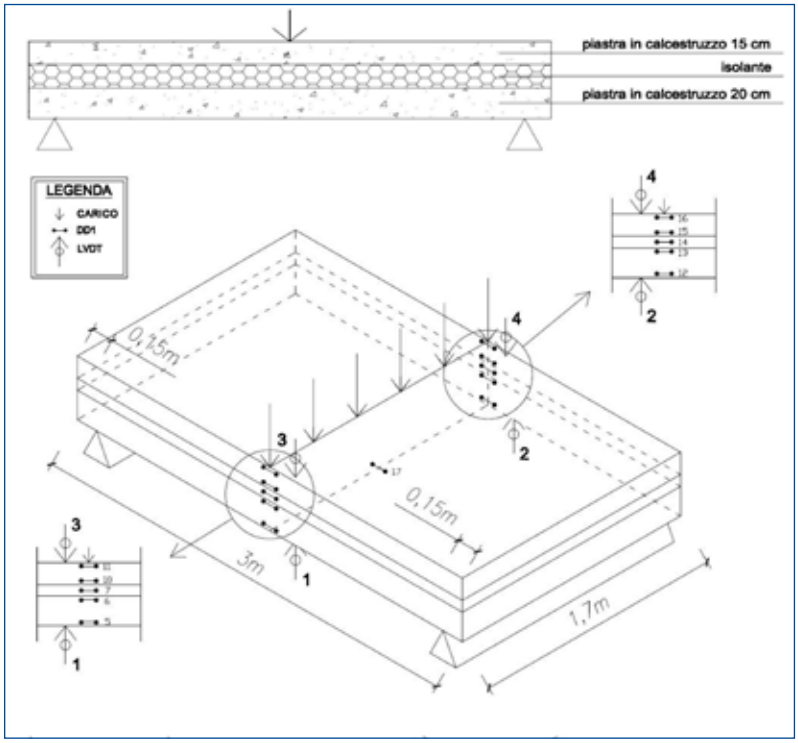


Foto 4.
Prova configurazione in semplice appoggio

Foto 5.
Prova configurazione in semplice appoggio

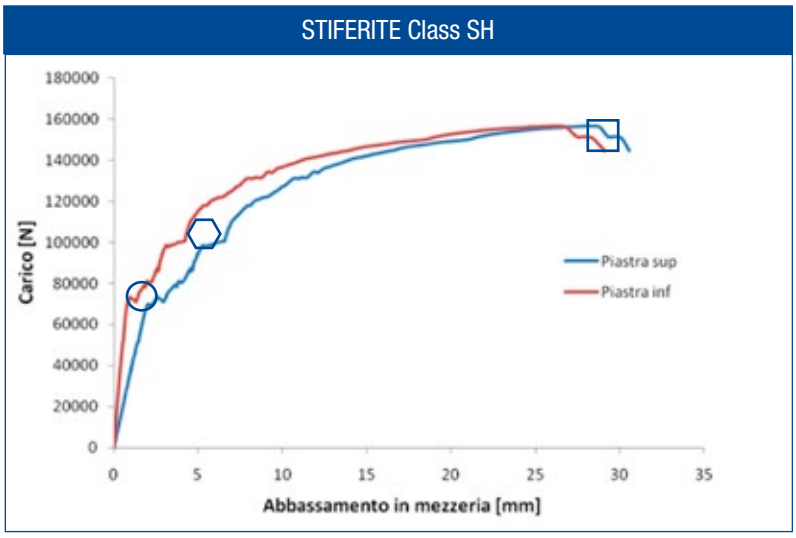


Grafico 2.
Comportamento configurazione in semplice appoggio

- zona limite fase elastica
- zona limite carico massimo
- zona limite plasticizzazione

✓ Carico limite fase elastica 7345,7 daN (pari a circa 7300 kg)

✓ Carico massimo 15671,2 daN (pari a circa 15650 kg)

✓ Carico fase plasticizzazione 13598,8 daN (pari a circa 13600 kg)

I valori corrispondenti alle tre zone sopra individuate sono i seguenti:

- Carico limite fase elastica: 7345,7 daN (pari a circa 7300 kg)
- Carico massimo: 15671,2 daN (pari a circa 15650 kg)
- Carico fase plasticizzazione: 13598,8 daN (pari a circa 13600 kg)

Trattasi di valori elevati, che ben si sposano con le caratteristiche richieste dalle strutture orizzontali (solai interpiano o di copertura) in particolar modo aventi destinazione d'uso quali attività produttive o commerciali, per le quali sono necessarie resistenze alle sollecitazioni elevate.

A conclusione del test post fase di rottura dell'elemento in c.a., previo scarico del sistema, si sono attentamente osservate e valutate le condizioni dei pannelli **Stiferite Class SH**, sotto l'aspetto della presenza di eventuali deformazioni geometriche (per quanto concerne planarità e abbassamenti dello spessore rispetto alle condizioni di partenza).
I pannelli sono risultati perfettamente integri.

3. Configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - copertura industriale prefabbricata

Si è studiato il comportamento di un solaio in c.a.p. come elemento interpiano o di copertura, dotato di pannelli termoisolanti, sottoposto ad azioni in regime flessionale.

Descrizione stratigrafia (dall'intradosso all'estradosso):

- Elemento in c.a.p. (II), altezza totale 30 cm
- Strato di pannelli termici in poliuretano espanso rigido, **Stiferite GT**, spessore 80 mm, avente resistenza a compressione al 10% della deformazione maggiore di 150 kPa.
- Soletta rigida superiore in c.a. quale elemento collaborante e piano di pavimentazione, spessore 15 cm

Il Grafico 3. riassume il comportamento osservato durante il test e le varie fasi di applicazione delle sollecitazioni.
Si sono evidenziate le zone di maggiore interesse per valutare l'effettivo grado di resistenza dell'intero pacchetto alle azioni impresse.

Fig.4.
Layout di prova - configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.)

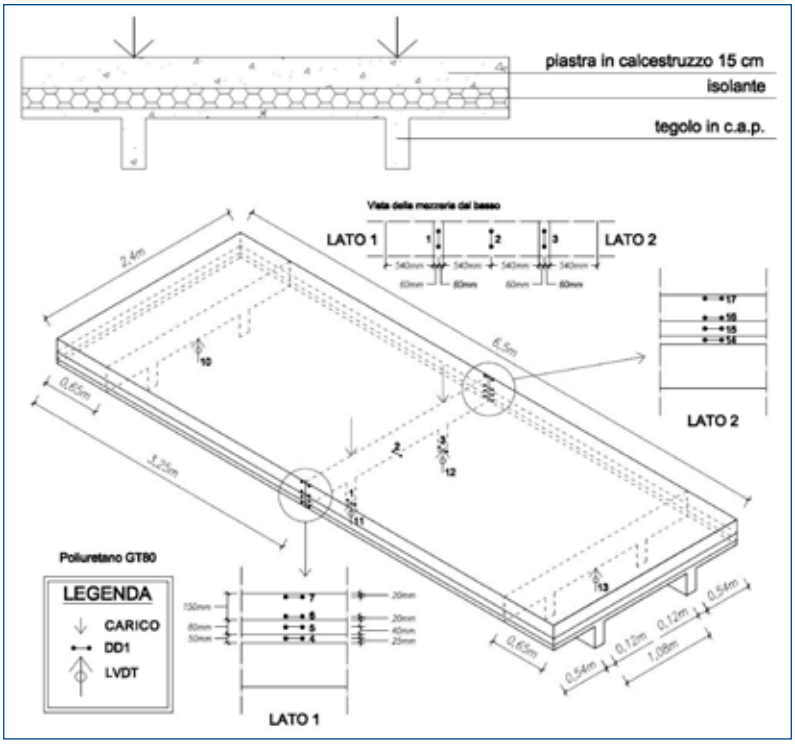


Foto 6. Layout di prova - configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - copertura industriale prefabbricata

Foto 7.
Layout di prova - configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - copertura industriale prefabbricata

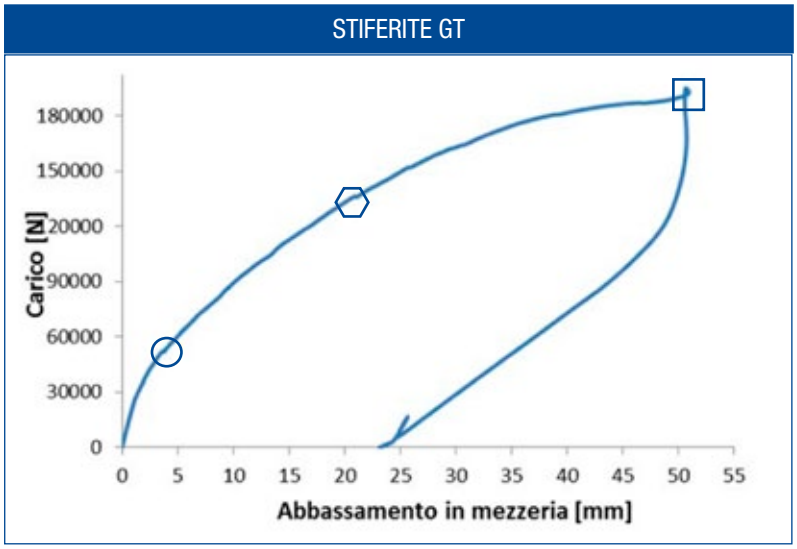


Grafico 3.
Comportamento configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.)

- zona limite fase elastica
- zona limite carico massimo
- zona limite plasticizzazione

- ✓ Carico limite fase elastica 3717,3 daN (pari a circa 3700 kg)
- ✓ Carico massimo 18699,8 daN (pari a circa 18700 kg)
- ✓ Carico fase plasticizzazione 15162,6 daN (pari a circa 15150 kg)

I valori corrispondenti alle tre zone individuate sono i seguenti:

- Carico limite fase elastica: 3717,3 daN (pari a circa 3700 kg)
- Carico massimo : 18699,8 daN (pari a circa 18700 kg)
- Carico fase - plasticizzazione: 15162,6 daN (pari a circa 15150 kg)

Trattasi di valori elevati, che ben si sposano con le caratteristiche richieste dalle strutture orizzontali (solai interpiano o di copertura) in particolar modo aventi destinazione d'uso quali attività produttive o commerciali.
A conclusione del test post fase di rottura dell'elemento in c.a., previo scarico del sistema, si sono attentamente osservate e valutate le condizioni dei pannelli Stiferite GT, sotto l'aspetto della presenza di eventuali deformazioni geometriche (per quanto concerne planarità e abbassamenti dello spessore rispetto alle condizioni di partenza).
I pannelli sono risultati perfettamente integri, come si può notare dalle Foto 8 e 9.

Foto 8.

Foto 9.

4. Configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - solaio interpiano

Si è studiato il comportamento di un solaio in c.a.p. come elemento interpiano o di copertura, dotato di pannelli termoisolanti, sottoposto ad azioni in regime flessionale.

Descrizione stratigrafia (dall'intradosso all'estradosso):

- Elemento in c.a.p. (π), altezza totale 40 cm
- Strato di pannelli termici in poliuretano espanso rigido, **Stiferite GT**, spessore 70 mm, avente resistenza a compressione al 10% della deformazione maggiore di 150 kPa.
- Massetto in cls sp. 60 mm
- Pavimentazione ceramica sp. 15 mm

Il Grafico 4 riassume il comportamento osservato durante il test e le varie fasi di applicazione delle sollecitazioni.
Si sono evidenziate le zone di maggiore interesse per valutare l'effettivo grado di resistenza dell'intero pacchetto alle azioni impresse.

Fig.5.
Layout di prova - configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - solaio interpiano

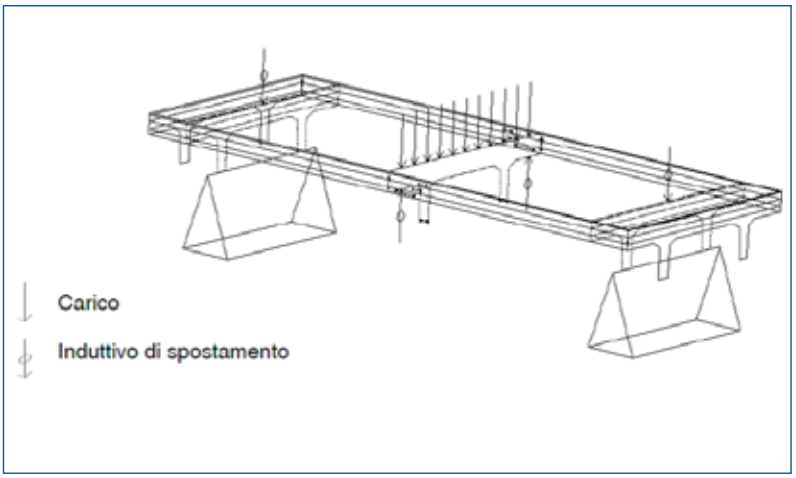


Foto 10.
Layout di prova - configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - solaio interpiano

Foto 11.
Simulazione di un carico dinamico concentrato pari a 1 t, movimentato tramite transpallet

STIFERITE GT

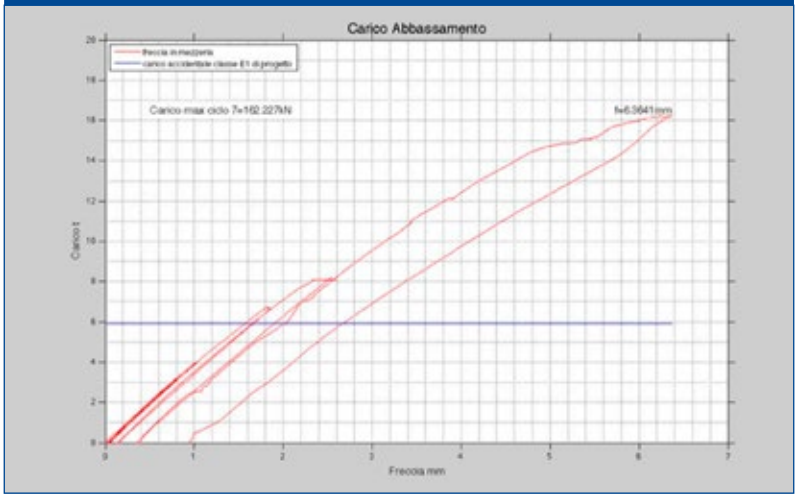


Grafico 4.
Comportamento configurazione solaio π (pi-greco o doppia T in c.a.p.) - solaio interpiano

✓ Carico massimo
23137,1 daN
(pari a circa 23130 kg)

Il valore del **carico massimo è pari 23137,1 daN (pari a circa 23130 kg)**

Trattasi di valori elevati, che ben si sposano con le caratteristiche richieste dalle strutture orizzontali (solai interpiano o di copertura) in particolar modo aventi destinazione d'uso quali attività produttive o commerciali.

A conclusione del test post fase di rottura dell'elemento in c.a., previo scarico del sistema, si sono attentamente osservate e valutate le condizioni dei pannelli Stiferite GT, sotto l'aspetto della presenza di eventuali deformazioni geometriche (per quanto concerne planarità e abbassamenti dello spessore rispetto alle condizioni di partenza).
I pannelli sono risultati perfettamente integri, non evidenziando danneggiamenti significativi prima del valore massimo di carico.

Al termine della prova è stata condotta una ulteriore verifica al fine di determinare l'influenza della presenza dei pannelli di isolante circa la fessurazione della pavimentazione ceramica sottoposta a carichi concentrati. E' stato movimentato un carico concentrato di 1t tramite un transpallet, il quale non ha in alcun modo determinato fessurazioni sulla pavimentazione ceramica (Foto 11).

5. Configurazione solaio predalles - solaio interpiano

Si è studiato il comportamento di un solaio in predalles come elemento interpiano, dotato di pannelli termoisolanti, sottoposto ad azioni in regime flessionale.

Descrizione stratigrafia (dall'intradosso all'estradosso):

- Elemento in predalles , spessore 20 cm
- Strato di pannelli termici in poliuretano espanso rigido, **Stiferite GT**, spessore 70 mm, avente resistenza alla compressione al 10 % della deformazione superiore a 150 kPa.
- Massetto in cls sp. 60 mm
- Pavimentazione ceramica sp. 15 mm

Il Grafico 5 riassume il comportamento osservato durante il test e le varie fasi di applicazione delle sollecitazioni.
Si sono evidenziate le zone di maggiore interesse per valutare l'effettivo grado di resistenza dell'intero pacchetto alle azioni impresse.

Fig.6.
Layout di prova - configurazione solaio predalles

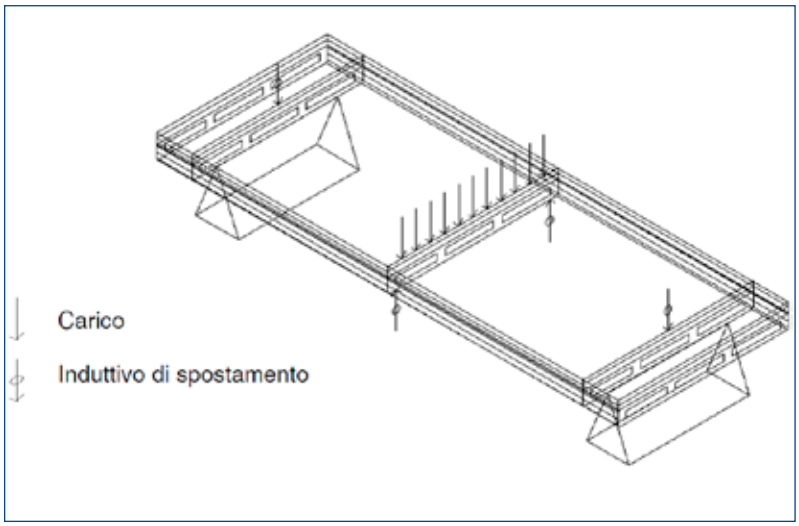


Foto 12.
Layout di prova - Configurazione solaio predalles

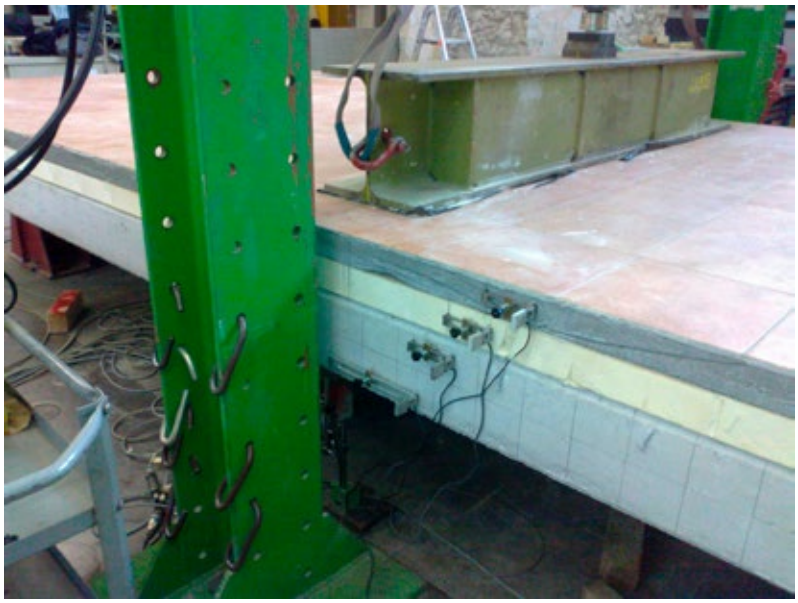


Foto 13.
Layout di prova - configurazione solaio predalles

STIFERITE GT

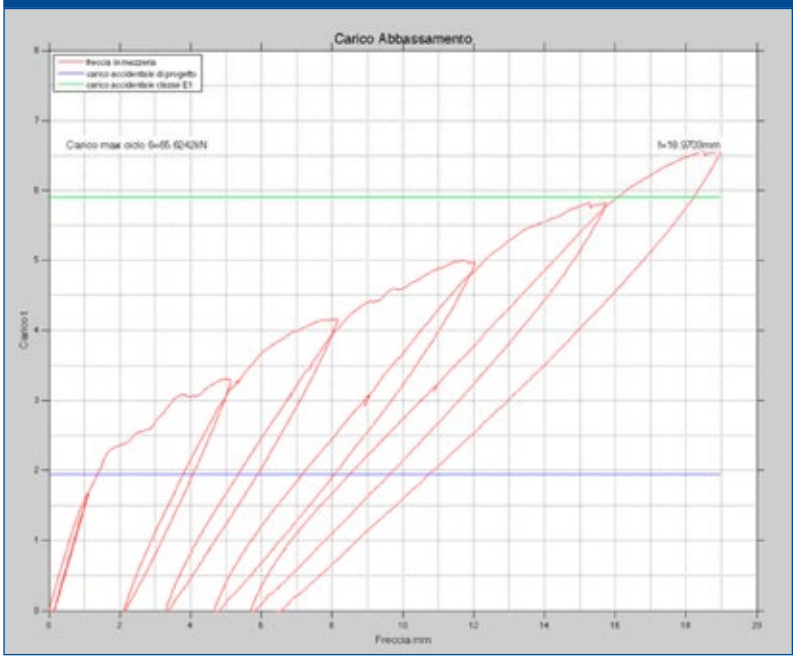


Grafico 5.
Comportamento configurazione solaio predalles

✓ Carico massimo
15439 daN
(pari a circa 15400 kg)

Il valore del **carico massimo è pari 15439 daN (pari a circa 15400 kg)**

Trattasi di valori elevati, che ben si sposano con le caratteristiche richieste dalle strutture orizzontali (solai interpiano o di copertura) in particolar modo aventi destinazione d'uso quali attività produttive o commerciali.

A conclusione del test post fase di rottura dell'elemento in c.a., previo scarico del sistema, si sono attentamente osservate e valutate le condizioni dei pannelli Stiferite GT, sotto l'aspetto della presenza di eventuali deformazioni geometriche (per quanto concerne planarità e abbassamenti dello spessore rispetto alle condizioni di partenza).
I pannelli sono risultati perfettamente integri, non evidenziando danneggiamenti significativi prima del valore massimo di carico.

6. Configurazione solaio alveolare - solaio interpiano

Si è studiato il comportamento di un solaio in c.a.p. alveolare come elemento interpiano o di copertura, dotato di isolamento termico, sottoposto ad azioni in regime flessionale.

Descrizione stratigrafia (dall'intradosso all'estradosso):

- Elemento in c.ap. alveolare , spessore 45 cm
- Strato di pannelli termici in poliuretano espanso rigido, Stiferite GT, spessore 70 mm, avente resistenza alla compressione al 10 % della deformazione superiore a 150 kPa.
- Massetto in cls sp. 60 mm
- Pavimentazione ceramica sp. 15 mm

Il Grafico 6 riassume il comportamento osservato durante il test e le varie fasi di applicazione delle sollecitazioni.
Si sono evidenziate le zone di maggiore interesse per valutare l'effettivo grado di resistenza dell'intero pacchetto alle azioni impresse.

Fig.7.
Layout di prova - configurazione solaio alveolare

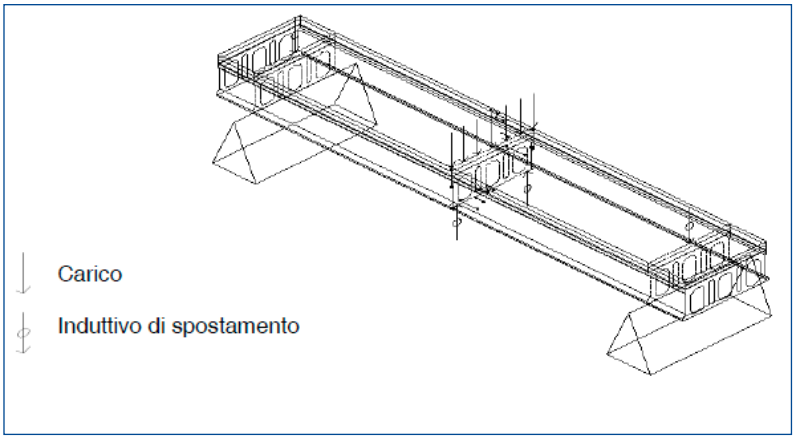


Foto 14.
Layout di prova - configurazione solaio alveolare

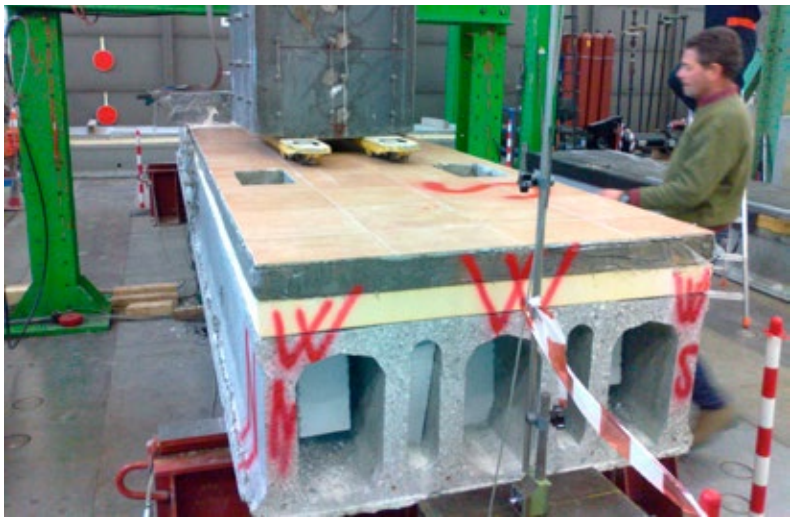


Foto 15.
Layout di prova - configurazione solaio alveolare

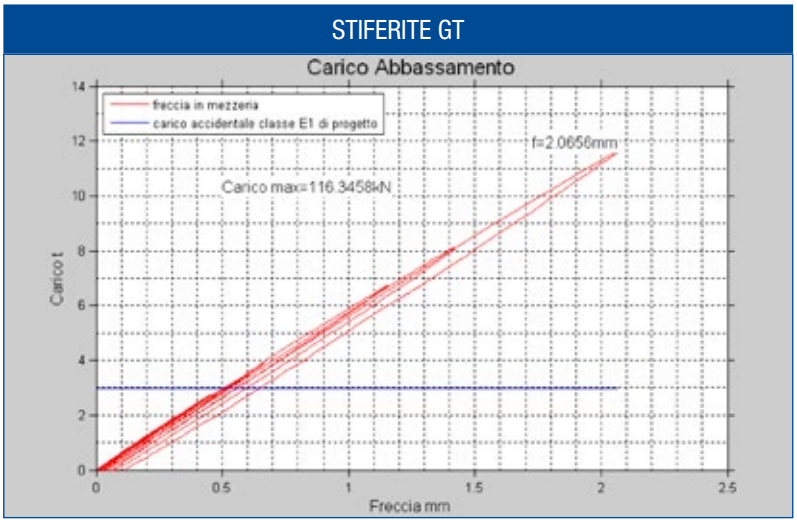


Grafico 6.
Comportamento configurazione solaio alveolare

✓ Carico massimo
11634,6 daN
(pari a circa 11600 kg)

Il valore del **carico massimo è pari 11634,6 daN (pari a circa 11600 kg)**

Trattasi di valori elevati, che ben si sposano con le caratteristiche richieste dalle strutture orizzontali (solai interpiano o di copertura) in particolar modo aventi destinazione d'uso quali attività produttive o commerciali.

A conclusione del test post fase di rottura dell'elemento in c.a., previo scarico del sistema, si sono attentamente osservate e valutate le condizioni dei pannelli Stiferite GT, sotto l'aspetto della presenza di eventuali deformazioni geometriche (per quanto concerne planarità e abbassamenti dello spessore rispetto alle condizioni di partenza).
I pannelli sono risultati perfettamente integri, non evidenziando danneggiamenti significativi prima del valore massimo di carico.

Analisi di modellazione numerica

Dopo la fine delle indagini sperimentali ogni test è stato riprodotto mediante una simulazione numerica utilizzando il software ad elementi finiti "Abaqus". L'obiettivo concerne l'analisi della fase elastica che rappresenta concretamente le reali condizioni di esercizio dei materiali in opera.
In tal modo si può considerare ciascun materiale coinvolto trascurando eventuali non linearità, e pertanto risulta sufficiente l'implementazione di unico parametro ovvero il modulo di elasticità (E), valori ottenuti mediante le prove preliminari di caratterizzazione dei materiali medesimi.
Segue un esempio di modellazione riferito al pannello in poliuretano Stiferite GT sp. 50 mm:

Fig. 8.
Geometria e mesh della configurazione "appoggio"

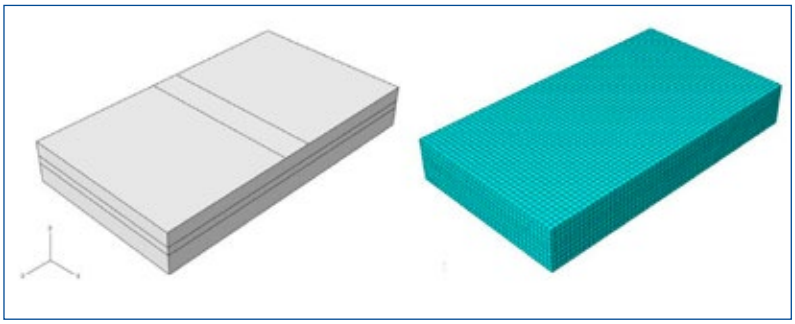


Grafico 7.
Confronto del valore della freccia ottenuto sperimentalmente e tramite analisi numerica

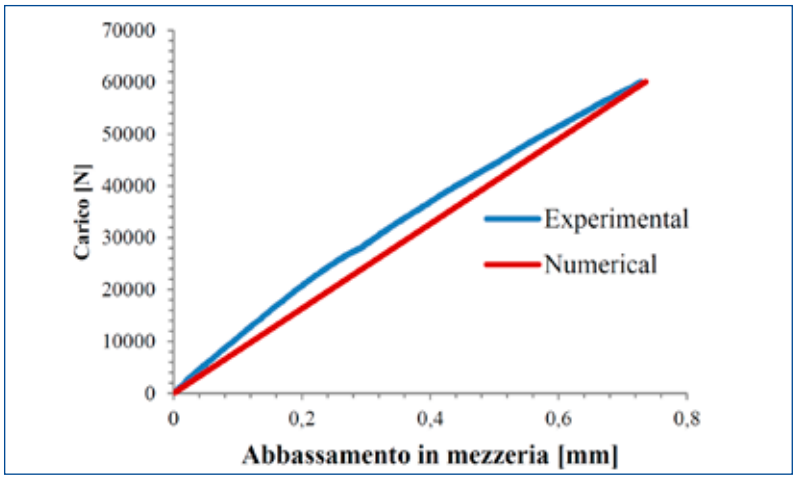


Fig.9.
Mappatura delle deformazioni verticali della prova "appoggio" con isolante Stiferite GT

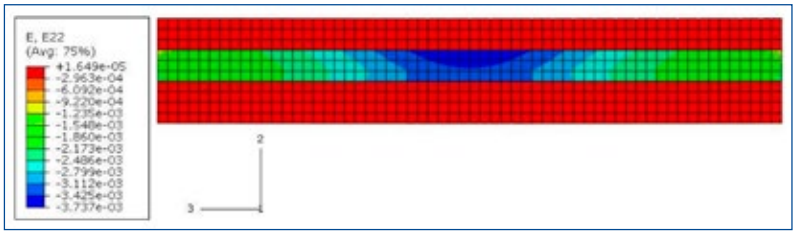
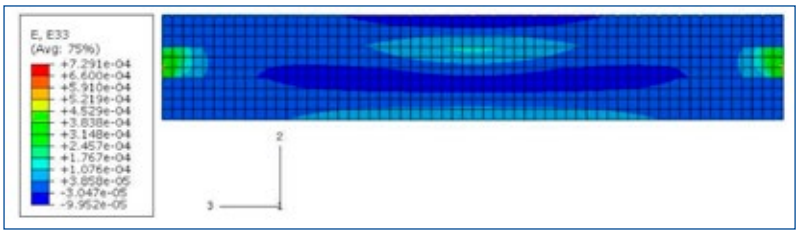


Fig.10.
Mappatura delle deformazioni orizzontali della prova "appoggio" con isolante Stiferite GT



Osservando la mappatura delle deformazioni in direzione verticale è possibile constatare come le piastre in c.a. risultino uniformemente tese, anche se con valori di deformazione trascurabili. L'isolante viene invece compresso con valori massimi di 3.737E-3, misurati in corrispondenza dell'impronta di carico, per poi passare a valori sempre minori mano a mano che la distanza dal centro del pacchetto aumenta. Tali valori di deformazione risultano ad ogni modo trascurabili se rapportati al valore corrispondente alla rottura che, nel caso dell'isolante Stiferite GT 50 mm, è di 0.1 (valore limite indicato dalla normativa per quegli elementi che, come nel presente caso, raggiungono la rottura per valori di deformazione superiori al 10%).

Prendendo ora in considerazione le deformazioni in direzione orizzontale del pacchetto, è possibile notare, un'alternarsi di compressioni e trazioni tipiche dei regimi flessionali. In questo caso i pannelli registrano deformazioni in compressione dell'ordine di 9.952E-5 ed in trazione di 1.291E-4. Tali valori, oltre che distanti dai valori di rottura misurati sperimentalmente, risultano sovrastimati in quanto, per le ipotesi di continuità adottate nella modellazione numerica, si generano tra le superfici di contatto forze d'attrito non presenti nella realtà, che determinano sollecitazioni aggiuntive localizzate, in particolare in mezzeria all'isolante a causa della presenza di un certo "effetto piastra".

Per questo motivo è possibile affermare che i risultati ottenuti siano cautelativi rispetto ai normali regimi di esercizio cui sono soggetti gli elementi in esame i quali dunque, a maggior ragione, si dimostrano in grado di mantenere la propria capacità strutturale senza danneggiarsi in alcun modo.

Tale procedura è stata ripetuta anche per gli altri pannelli isolanti in poliuretano utilizzati: Stiferite P3, CLASS S e CLASS SH, evidenziando i medesimi comportamenti.

Conclusioni

Il lavoro di ricerca si è sviluppato attraverso l'analisi del comportamento strutturale di pannelli multistrato utilizzati per pavimentazioni civili, industriali e commerciali, e si è avvalso di risultati sperimentali e modellazione numerica.
I test sono stati realizzati simulando il comportamento a trave dell'elemento considerato, mediante prove di flessione con carico centrale applicato in mezzeria. Lo schema di carico considerato permette di riprodurre le reali condizioni di esercizio delle strutture poste in opera.

Lo studio si è focalizzato sull'analisi del comportamento di diversi tipi di isolanti poliuretanici, aventi una resistenza a compressione al 10% della deformazione, a seconda del modello, superiore a 120, 150 e 200 kPa, utilizzati nel settore dell'edilizia ed, in particolare, su strutture orizzontali comunemente utilizzate nella realizzazione di impalcati sia in opera che prefabbricati.

Sono state testate 12 differenti tipologie di strutture per modello di isolante ed elementi in c.a. (massetto di ripartizione del carico da 5 fino a 20 cm, con e senza finitura ceramica), al fine di coprire una vasta gamma di possibili applicazioni:

- Struttura appoggiata a terra su suolo infinitamente rigido (pavimento contro terra)
- Struttura in semplice appoggio (solaio interpiano)
- Struttura in semplice appoggio accoppiata a tegolo π (copertura industriale prefabbricata)
- Struttura in semplice appoggio accoppiata a tegolo π (solaio interpiano)
- Struttura in semplice appoggio accoppiata a predalles (solaio interpiano)
- Struttura in semplice appoggio accoppiata ad alveolari (solaio interpiano)

All'analisi sperimentale ha fatto seguito una analisi di modellazione numerica lineare, calibrata secondo i risultati ottenuti.
I dati così ricavati hanno dimostrato che:

- In ognuna delle configurazioni considerate, i pannelli isolanti non hanno subito, in regime lineare, alcun danneggiamento; le uniche eccezioni sono costituite dagli strati di isolante superiori impiegati nei test in completo appoggio che, a causa degli spigoli delle piastre in c.a., poste sopra di essi, hanno subito fenomeni di punzonamento.
- I pannelli isolanti non subiscono deformazioni critiche ai carichi ai quali gli elementi in c.a. hanno superato il loro limite elastico di esercizio e si sono fessurati.

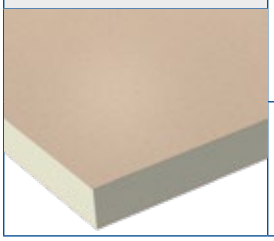
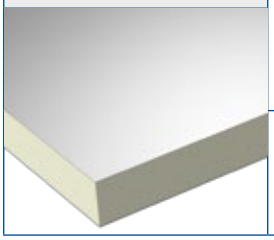
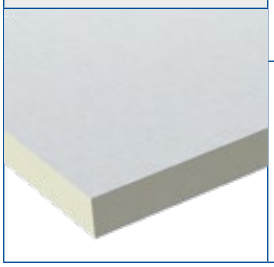
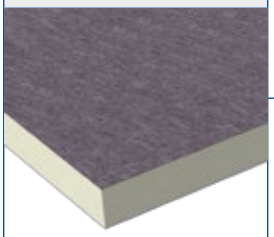
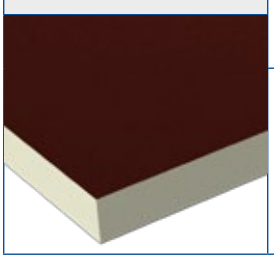
In conclusione, lo studio ha dimostrato che l'utilizzo dei pannelli isolanti in poliuretano nelle più comuni modalità di esercizio non pregiudica in alcun modo la sicurezza strutturale essendo la modalità di rottura dominata dalla resistenza degli elementi in c.a..
L'eventuale apposizione di una cappa di ripartizione del carico sopra l'isolante, necessaria per evitare fenomeni di punzonamento dello stesso, garantisce una resistenza a pacchetto, che normalmente non è considerata nei calcoli di progetto, ma che nella realtà, si è dimostrato, fornisce il suo contributo aumentando il livello di sicurezza.

L'analisi sperimentale è stata volutamente portata sino alla fase di rottura, da intendersi relativa alla parte strutturale della stratigrafia esaminata (piastre in c.a. o tegolo in c.a.p.), in quanto i pannelli isolanti, come più volte sottolineato, non hanno subito deformazioni di sorta, sia sotto l'aspetto della planarità che dello spessore.

Pertanto l'utilizzo dei pannelli in poliuretano espanso rigido in stratigrafie come quelle esaminate, e sottoposti ad azioni gravose amplificate volutamente in sede sperimentale per valutare le condizioni peggiori di carico, non comporta alcun problema dal punto di vista della stabilità strutturale e dimensionale.

Inoltre la scelta di un materiale isolante come i pannelli poliuretano comporta anche un notevole vantaggio dal punto di vista delle prestazioni termiche, noti gli ottimi valori di conducibilità termica del prodotto. Conseguentemente, il poter associare l'alto grado di resistenza termica con l'utilizzo di spessori ridotti alla buona risposta alle sollecitazioni meccaniche risulta essere una combinazione molto rilevante sia in sede progettuale che realizzativa di una stratigrafia orizzontale, sia essa adatta all'utilizzo quale pavimentazione, solaio interpiano o in copertura realizzata in opera o prefabbricata.

I pannelli STIFERITE per isolamento di pavimentazioni e solai

	Descrizione e Prestazioni isolanti	Caratteristiche meccaniche
GT 	Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con lo speciale rivestimento Gas Tight triplo strato. Conducibilità Termica Dichiarata: **λ_D 0,022 W/mK**	Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento: **> 150 kPa** Resistenza alla compressione al 2% di schiacciamento: **> 5000 kg/m²** Creep (resistenza a carichi costanti nel lungo periodo): **Deformazione dello spessore < 2%** **(carico 25 kPa - 50 anni)**
GTE 	Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, con un rivestimento gas impermeabile di alluminio multistrato su entrambe le facce. Conducibilità Termica Dichiarata: **λ_D 0,022 W/mK**	Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento: **> 150 kPa** Resistenza alla compressione al 2% di schiacciamento: **> 5000 kg/m²** Creep (resistenza a carichi costanti nel lungo periodo): **Deformazione dello spessore < 2%** **(carico 25 kPa - 50 anni)**
Class S - Class SH 	Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato. Conducibilità Termica Dichiarata: **λ_D 0,027 W/mK spessori da 20 a 40 mm** **λ_D 0,026 W/mK spessori da 50 a 90 mm** **λ_D 0,025 W/mK spessori da 100 a 160 mm** **λ_D 0,024 W/mK spessori da 180 a 200 mm**	Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento: **Class S > 150 kPa** **Class SH > 200 kPa** Resistenza alla compressione al 2% di schiacciamento: **Class S > 5000 kg/m²** **Class SH > 7000 kg/m²** Creep (resistenza a carichi costanti nel lungo periodo): **Class S Deformazione dello spessore < 2 %** **(carico 25 kPa - 50 anni)** **Class SH Deformazione dello spessore < 2%** **(carico 30 kPa - 50 anni)**
Class B - Class BH 	Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, con rivestimenti di velo vetro bitumato accoppiato PP, idoneo alla sfiammatura, e velo vetro minerale saturato. Conducibilità Termica Dichiarata: **λ_D 0,027 W/mK spessori da 20 a 40 mm** **λ_D 0,026 W/mK spessori da 50 a 90 mm** **λ_D 0,025 W/mK spessori da 100 a 160 mm** **λ_D 0,024 W/mK spessori da 180 a 200 mm**	Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento: **Class B > 150 kPa** **Class BH > 200 kPa** Resistenza alla compressione al 2% di schiacciamento: **Class B > 5000 kg/m²** **Class BH > 7000 kg/m²** Creep (resistenza a carichi costanti nel lungo periodo): **Class B Deformazione dello spessore < 2 %** **(carico 25 kPa - 50 anni)** **Class BH Deformazione dello spessore < 2%** **(carico 30 kPa - 50 anni)**
P3 **v.nota pag. 5** 	Pannello sandwich costituito da un componente isolante in schiuma polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con carta monobitumata. Conducibilità Termica Dichiarata: **λ_D 0,027 W/mK spessori da 20 a 40 mm** **λ_D 0,026 W/mK spessori da 50 a 90 mm** **λ_D 0,025 W/mK spessori da 100 a 160 mm** **λ_D 0,024 W/mK spessori da 180 a 200 mm**	Resistenza alla compressione al 10% di schiacciamento: **> 120 kPa** Resistenza alla compressione al 2% di schiacciamento: **> 4800 kg/m²** Creep (resistenza a carichi costanti nel lungo periodo): **Deformazione dello spessore < 3%** **(carico 32,5 kPa - 30 anni)**

stiferite®
l'isolante termico

Stiferite SpA a socio unico
Viale della Navigazione Interna, 54/5 - 35129 Padova (I)
Tel. +39 049 8997911 - Fax +39 049 774727
www.stiferite.com

Numero Verde 800-840012

CERTIFICAZIONE SISTEMA DI GESTIONE
DNV
ISO 9001 · ISO 14001
ISO 45001

Certificazioni Aziendali
ISO 9001 - Sistema Qualità
ISO 45001 - Salute e sicurezza dei lavoratori
ISO 14001 - Sistema di gestione ambientale