

SOLAIO COMPOUND: OTTIMIZZAZIONE E SPERIMENTAZIONE DEL SOLAIO COMPOSTO LEGNO-CALCESTRUZZO

> con il solaio Compound® di Coperlegno è possibile ottenere innumerevoli vantaggi, tra cui: ottimizzazione del sistema di connessione dal punto di vista statico, capacità di portata e deformazioni in esercizio pari a quelle dei tradizionali solai in latero-cemento, garanzia degli standard qualitativi di produzione attraverso il confezionamento del solaio realizzato in stabilimento.

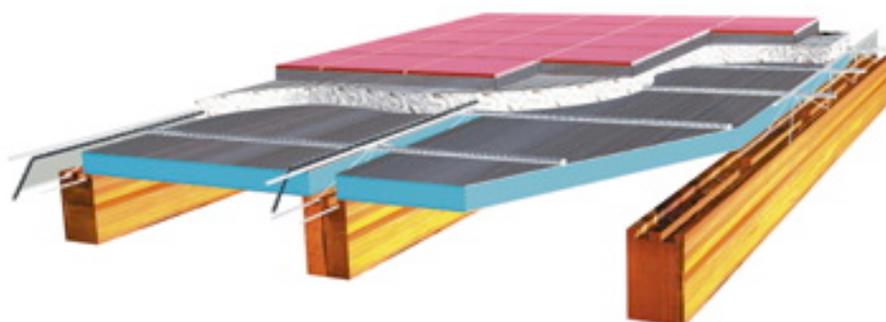
Il sistema "Solaio Compound®", brevettato e prodotto da Coperlegno srl, è un solaio misto legno-calcestruzzo che basa il suo funzionamento sulla collaborazione dei materiali che lo costituiscono sfruttando la resistenza a trazione del legno e quella a compressione del calcestruzzo. La sezione resistente del Solaio Compound è formata da una trave superiore a T in calcestruzzo armato di dimensioni costanti e da un travetto rettangolare in

legno. Il travetto è costituito da un elemento a trave in legno lamellare di sezione rettangolare delle seguenti dimensioni (mm): 100*120, 100*160, 100*200. Nella parte superiore l'elemento è dotato di una particolare fresatura ad incastro nella quale viene realizzato un getto in malta cementizia antiritiro ad alta resistenza e successivamente viene inserito un traliccio metallico in acciaio FeB 44k elettrosaldato tipo Bausta, di 7

cm di base e 9.5 cm di altezza, composto da due tondini Ø5 inferiori, un Ø7 superiore e staffe Ø5 con passo 200 mm.

Il travetto per solaio in legno-clt viene confezionato in stabilimento con le seguenti modalità:

- nell'elemento in legno lamellare, già dotato di fresatura ad incastro per il successivo inserimento del traliccio, vengono asportati tratti di legno lungo il risalto centrale in modo da rea-





lizzarenti di legno di lunghezza 100 mm, posti ad interasse di 150 mm;

- la superficie inferiore e laterale dell'elemento in legno lamellare (non interessata dal successivo getto di malta e di cls) viene trattata per la protezione da muffe, funghi e tarli, con impregnante;
- nella scanalatura viene quindi gettata la malta a stabilità volumetrica fino al quasi totale riempimento della fresatura;
- la malta ancora fluida viene inserito meccanicamente il traliccio;
- il travetto per solaio in legno-calcestruzzo così ottenuto viene posizionato in luogo fresco e

asciutto per una corretta maturazione della malta;

Tutte le operazioni descritte sono eseguite in linee di produzione progettate e realizzate appositamente.

Il montaggio del solaio Compound ed il successivo getto di completamento sono effettuati con operazioni convenzionali di pratica diffusa. In particolare:

- posa in opera dei travetti con l'interasse di progetto; normalmente il solaio viene progettato con interasse pari a 560 o 660 mm;
- posa in opera degli elementi di interposizione (pannello Compound, tavelle in cotto,

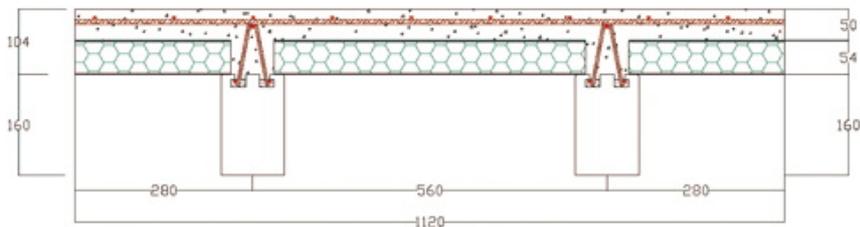
tavole in legno o altro) che non hanno alcuna funzione né influenza sul comportamento statico del solaio;

- opere di puntellamento dei travetti ogni 2,5mt.;
- posa in opera dell'armatura e getto del calcestruzzo di completamento e della soletta di spessore 50mm.;
- maturazione del getto.

Le caratteristiche che differenziano il solaio Compound dalle altre tipologie di solai in legno sono:

- la presenza della soletta in c.a., che costituisce il diaframma rigido necessario a garanti-





Sezione tipo del Solaio Compound.

re il collegamento con le strutture verticali e la rigidità infinita nel proprio piano, entrambi aspetti fondamentali per una efficace risposta sismica del solaio che offre quindi la possibilità di utilizzare il sistema nella modellazione per impalcati rigidi.

- la tipologia di connessione tra trave in legno e soletta in c.a., realizzata mediante connettore continuo (traliccio bausta), malta a stabilità volumetrica, ingranaggio tra denti di legno e corrispondenti denti di malta.
- la connessione tra il legno e il calcestruzzo viene completamente realizzata in stabilimento, garantendo la costanza qualitativa, non necessita di alcun intervento ulteriore in fase di montaggio e velocizza la posa.

I volumi ed i pesi contenuti del pacchetto strutturale riducono i costi di trasporto ed agevolano le operazioni di cantiere.

Il peso proprio che varia da 1,50 kN/mm² a 1,70 kN/mm² determina inoltre azioni sismiche inferiori rispetto ai solai tradizionali.

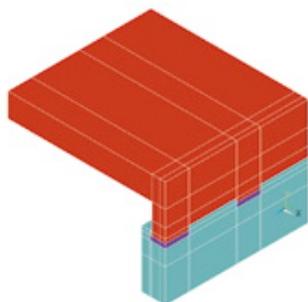
Infine, questa soluzione risulta anche economicamente competitiva rispetto ad altri solai misti legno-clc e laterocemento a motivo dell'industrializzazione totale della trafilatura produttiva.

Analisi effettuata presso l'Università di Trento, facoltà di Ingegneria, dipartimento di Ingegneria Meccanica e strutturale

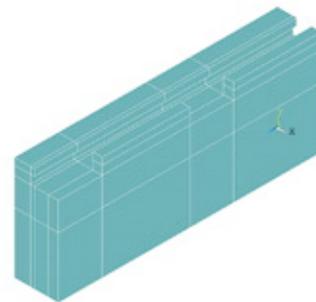
La forma ed i parametri geometrici della scanalatura del travetto in legno sono stati perfezionati, al fine di migliorare ed ottimizzare il comportamento in opera del solaio, attraverso indagini teoriche e l'esecuzione di prove sperimentali

seguite e successivamente certificate presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Trento, diretto e supervisionato dal Prof. Riccardo Zandonini, dal Prof. Maurizio Piazza, dall'Ing. Roberto Tomasi.

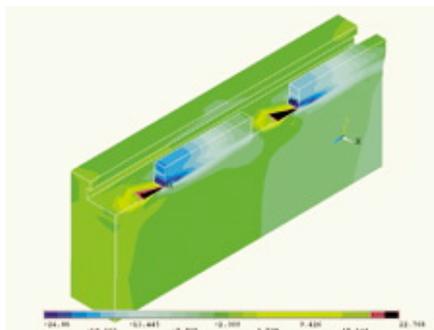
Per ottimizzare le dimensioni dei denti di legno è stato implementato un modello numerico agli elementi finiti con il programma Ansys 9.0 attraverso il quale sono state studiate le caratteristiche meccaniche di rigidità e di resistenza teoriche della connessione. Si riportano in seguito le immagini che mostrano la volumetria modello, la distribuzione delle tensioni di compressione parallela alla fibratura e delle tensioni di taglio nel travetto di legno.



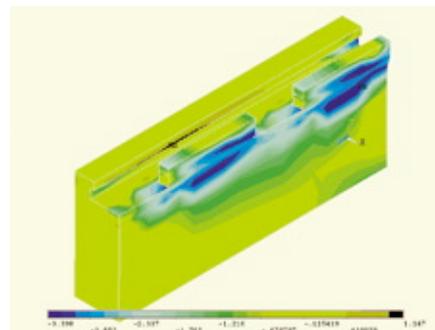
Volumi del modello numerico con i materiali legno, malta e cls di differente colore.



Tensioni di compressione parallela alla fibratura nel legno.



Volumi di legno del modello numerico.



Tensioni di taglio nel legno.

pressione parallela alla fibratura e delle tensioni di taglio nel travetto di legno.

La campagna sperimentale ha previsto la preparazione e l'esecuzione di 12 prove di scorrimento su campioni tipo "push-out" e di 8 prove di flessione su campioni di dimensione reale. Dall'interpretazione dei dati sperimentali è stato possibile ricavare i parametri necessari per il corretto dimensionamento, il calcolo e la verifica del solaio Compound mediante la teoria delle strutture composte a connessione defamabile.

Prove di scorrimento (push-out)

I campioni sottoposti a prova sono campioni tipo "push-out", ovvero campioni costituiti ciascuno da due spezzoni di travetto di legno lamellare (una per lato) collegati ad una parte centrale di calcestruzzo mediante la connessione che caratterizza il solaio.

Il carico sui campioni è stato applicato mediante la macchina di prova Galdabini (portata massima 100 kN) collegata a un computer. Durante la prova sono stati acquisiti, mediante centralina elettronica asservita a computer, il carico applicato e lo scorrimento relativo fra gli elementi in legno e la soletta, quest'ultimo rilevato tramite 4 trasduttori induttivi HBM. Per ogni



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO
FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E STRUTTURALE



Macchina di prova "Galdabini" e disposizione della strumentazione durante la prova.

campione sono stati realizzati due strati in gesso alla base degli spezzoni di trave ed uno in sommità alla parte centrale di cemento armato per ottenere la perfetta planarità delle superfici di appoggio e la loro ortogonalità rispetto alla direzione di applicazione del carico.

Dalle prove di push-out possono essere ricavate la rigidità e la resistenza della connessione. Le resistenze normalizzate della connessione dei campioni sono ricavate dalle resistenze ultime, pari al carico massimo FU raggiunto durante ciascuna prova di push-out, divise per la lunghezza della connessione tra legno e calcestruzzo. La rigidità in campo elastico K_{ser} è data dalla pendenza della retta secante passante per i punti della curva carico-scorrimento corrispondenti a $0.1 \cdot FU$ e $0.4 \cdot FU$. La rigidità allo stato limite ultimo KU è data dalla pendenza della secante relativa ai punti della curva carico-scorrimento corrispondenti ai valori $0.1 \cdot FU$ e $0.8 \cdot FU$.

Prove di flessione

I campioni sottoposti a prova di flessione sono porzioni di solaio Compound di dimensioni $1,12 \text{ m} \times 5,3 \text{ m}$. Ogni campione è composto da due travi di legno lamellare di conifera collegate alla soletta superiore in calcestruzzo mediante il sistema di connessione che caratterizza il solaio. Durante le prove di flessione lo schema di prova ha previsto che il carico sia applicato su 4 linee per mezzo di travi di ripartizione in acciaio; il numero e la posizione di tali linee sono stati determinati in modo da indurre nel solaio effetti (momento massimo, taglio massimo e freccia in mezzera) simili a quelli indotti da un carico uniformemente distribuito di pari risultante.



Apparato di prova a flessione

La forza è stata applicata utilizzando un martinetto idraulico da 630 kN collegato ad una traversa di riscontro vincolata al pavimento del laboratorio, posta in asse al punto medio delle travi in prova, ed alla trave di ripartizione principale. I dati relativi a carichi e spostamenti sono stati rilevati mediante due centraline asservite a un computer. La forza imposta è stata rilevata con una cella di carico interposta tra il martinetto e la trave. Durante la prova sono stati rilevati con continuità il carico totale applicato al campione, gli abbassamenti in mezzera ed in due punti distanti 530 mm ($L/10$) dalla mezzera tramite 6 misuratori di spostamento resistivi GEFRA, e gli scorrimenti relativi trave-soletta agli appoggi tramite 4 trasduttori induttivi HBM.

Conclusioni

Il lavoro di sviluppo e ricerca effettuato al fine di migliorare il comportamento del sistema Solaio Compound® ha permesso di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ottimizzazione del sistema di connessione dal punto di vista statico in modo da risultare conforme con le prescrizioni dei più recenti documenti normativi.
- efficace collaborazione tra legno e calcestruzzo ottenuta tramite il sistema di connessione costituito da malta a stabilità volumetrica, traliccio metallico e denti di legno.
- capacità di portata e deformazioni in esercizio pari a quelle dei tradizionali solai in laterocemento.
- garanzia degli standard qualitativi di produzione attraverso il confezionamento (inserimento del legante e del traliccio nel travetto) del solaio realizzato integralmente in stabilimento e non in cantiere.
- Contenimento del bilancio energetico complessivo.

Ing. Fabrizio Ricci