

Un'alternativa per la progettazione, la produzione e la messa in opera

Grooved Hollowcore: una possibilità semplice per ridurre sensibilmente il consumo di calcestruzzo e aumentare i margini di guadagno

■ Marc Sanabra-Loewe, Politecnico della Catalogna, (UPC - Barcelona Tech), Barcellona, Spagna

Lo studio d'ingegneria Elastic Potential, Barcellona, Spagna, ha messo a punto un metodo per produrre solai alveolari precompressi incastrati alle estremità, testato approfonditamente e tutelato da brevetto, che consente di ridurre fino al 20 % lo spessore dell'elemento costruttivo e del consumo di calcestruzzo dei solai alveolari precompressi. Questo metodo prevede la realizzazione di solai alveolari precompressi con profonde scanalature in superficie. Per assorbire i momenti negativi, in cantiere si provvede a posizionare le barre di armatura direttamente sui solai scanalati e a gettare in opera un calcestruzzo tradizionale di minimo 50 mm di spessore. Grazie al significativo abbattimento dei costi in fase di produzione e trasporto dei solai, l'investimento che sostiene un produttore di prefabbricati in calcestruzzo per i nuovi macchinari per produrre i solai scanalati viene ammortizzato molto in fretta. Primari fornitori di macchine propongono già macchine per produrre solai Grooved Hollowcore o li stanno sviluppando e li vogliono proporre a breve (Prensoland, Echo Precast Engineering, UltraSpan, Elematic, Nordimpianti, Spancrete).

In tante situazioni di normale prassi quotidiana, il comportamento sotto carico di un solaio migliora se le estremità sono incastrate, anziché avere un appoggio articolato. Per i solai alveolari precompressi strutturali 20 anni fa veniva messa a punto una soluzione per l'ottimizzazione della struttura portante: aprire le estremità di alcune cavità, inserire acciai in barre e riempire di calcestruzzo. La maggior parte dei sistemi di solai alveolari precompressi costruiti attualmente hanno un appoggio articolato. L'apertura dei vuoti è più complessa e non sempre più economica della soluzione tradizionale. Ma adesso è stata trovata una soluzione più semplice chiamata Grooved Hollowcore. Consente un'installazione dei solai alveolari precompressi incastrati semplice quasi quanto quella dei solai alveolari precompressi di tipo tradizionale, ma molto più conveniente.

Concetto di base: rendere semplice il comportamento sotto carico migliorato

Questo approccio consente di produrre solai alveolari precompressi a costo inferiore, dato che lo spessore dei solai

viene ridotto fino al 20 % (di conseguenza si riduce il consumo di calcestruzzo). Così facendo, i solai hanno un peso fino al 20 % inferiore, quindi sono più facili da trasportare e gestire.

L'ottimizzazione della struttura portante si ottiene con due modifiche della prassi usata normalmente. Da un lato, i solai vengono realizzati con scanalature su tutta la superficie degli elementi prefabbricati in calcestruzzo. Per farlo, occorre una macchina adatta (vedi "Disponibilità delle macchine" in basso). Dall'altro, dopo l'installazione del solaio sul posto le barre di armatura vengono inserite direttamente sul solaio (non occorrono distanziatori) per assorbire i momenti flettenti negativi, integrando con minimo 50 mm di getto di completamento, come sempre (vedi fig. 1).

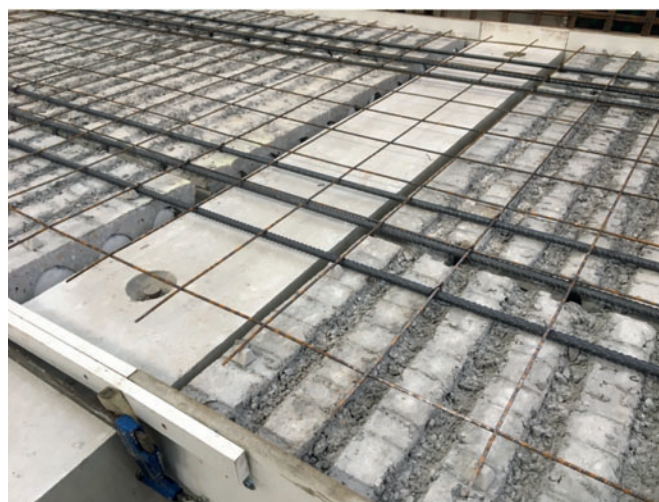


Fig. 1: Il sistema Grooved Hollowcore prima della messa in opera del getto di completamento. Dettagli importanti: le barre di armatura vengono posizionate direttamente sul solaio e adeguatamente separate dall'appoggio, affinché il calcestruzzo riempia la fessura rimasta e possa essere trasmesso il momento flettente negativo; eventualmente bisogna ricorrere a cappucci di protezione affinché i vuoti dei solai alveolari precompressi non si riempiano di calcestruzzo.



■ Il Prof. Marc Sanabra-Loewe, PhD da 11 anni è professore di Edilizia presso il Politecnico di Barcellona, Spagna (UPC - Barcelona Tech). Dal 2018 al 2019 è stato docente anche all'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign. Da 15 anni è a capo di MASA+Arquitectura, uno studio di architettura di Barcellona.

Ha scritto le tesi di laurea e dottorato sull'ottimizzazione dei solai alveolari precompressi. È l'inventore di diversi sistemi brevettati di solai alveolari precompressi ottimizzati dello studio d'ingegneria spagnolo Elastic Potential, S.L. che detiene detti brevetti. msanabra@elastic-potential.com

Nonostante il getto di completamento, i solai Grooved Hollowcore possono essere più convenienti dei solai alveolari precompressi senza getto di completamento.

Chi beneficia di Grooved Hollowcore?

Tutti gli attori che fanno parte della catena di creazione del valore possono trarre notevoli vantaggi e profitti dall'impiego di Grooved Hollowcore.

I produttori di prefabbricati in calcestruzzo possono produrre solai molto più sottili e con meno armatura. In media, i solai possono essere fino al 20 % più sottili di quelli tradizionali (paragonati ad una soluzione standard con getto di completamento) e fino al 25 % più sottili di una soluzione tradizionale senza getto di completamento. Anche per il consumo di acciaio di precompressione si ha in media una riduzione fino al 15 %.

Poiché i solai sono dal 20 % al 25 % più leggeri, anche il trasporto costa meno.

Se si vendono solai più sottili allo stesso prezzo (o ad uno un po' inferiore) dei solai tradizionali ed entrambi hanno la stessa prestazione, un produttore di prefabbricati in calcestruzzo può realizzare consistenti ulteriori margini di guadagno, quindi aumenta notevolmente la redditività.

Questi margini maggiori hanno già come conseguenza il fatto che i solai Grooved Hollowcore molto più sottili si possano vendere a un prezzo leggermente inferiore rispetto a quelli tradizionali (più spessi). Nonostante ciò, è comunque possibile compensare i maggiori costi dell'imprenditore edile per la posa dell'acciaio di armatura per assorbire i momenti negativi.

A sua volta, l'imprenditore edile ha un doppio vantaggio: un prezzo inferiore per il solaio e solai più leggeri: il dimensionamento di travi, pilastri e fondazioni può essere inferiore. Poiché i solai sono più sottili e quindi le travi possono essere più piatte, l'intero solaio interpiano è di 5 cm (2") - 15 cm (6") inferiore. Quindi l'altezza di ogni piano dell'edificio si può ridurre di tanto. E anche la superficie della facciata diminuisce, quindi si risparmiano altri costi. Ipotizzando in Europa costi di costruzione (per la facciata) di un edificio di 500 €/m² - 1000 €/m², facendo la somma l'imprenditore edile ha una riduzione dei costi di 2 €/m² - 6 €/m² (circa lo 0,5 % dei costi di tutta la commessa). I risparmi effettivi dei costi per l'imprenditore edile dipendono dalla riduzione dello spessore del solaio, dal tipo di fondazione (pali o fondamenta) e dal prezzo della facciata al m².

Dramix®



BEKAERT

better together

Aprire un nuovo mercato :

produrre leggere case modulari

altamente isolate,

antisismiche,

anticiclone,

con calcestruzzo fibrorinforzato

per ottenere il know-how, chiamare o visitare...

gilles.exel@bekaert.com

www.cubik-home.com



CUBIK-HOME
26 rue du vieux Magny
FR-58470 Magny-Cours
+33 (0)3 86 57 90 56



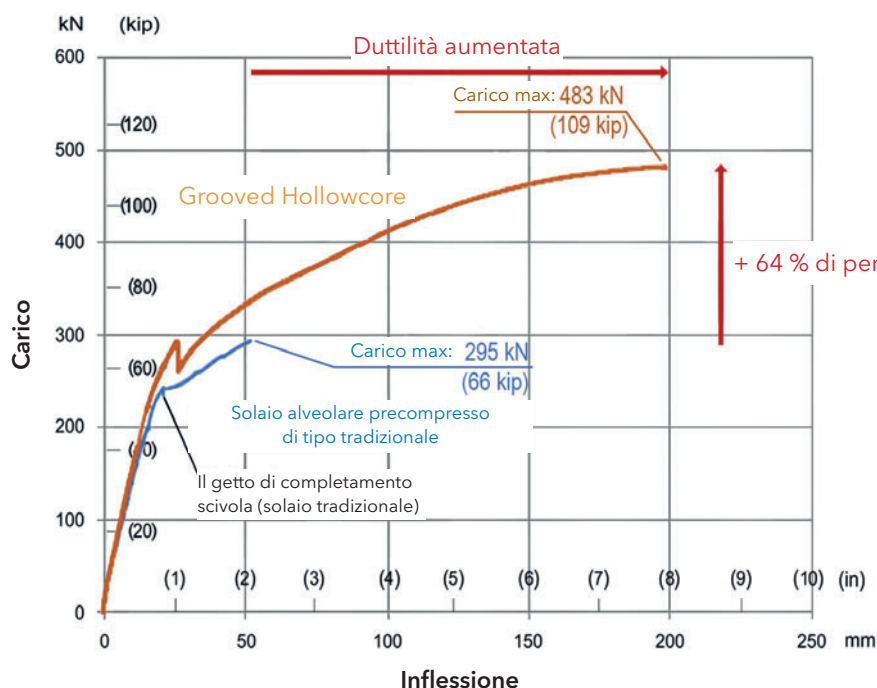


Fig. 2: Diagrammi di curve caratteristiche del carico risultanti da test di sollecitazione di due solai identici, con esattamente la stessa armatura; uno dei solai è un elemento Grooved Hollowcore, l'altro un solaio alveolare precompresso di tipo tradizionale. (Il test del solaio alveolare precompresso di tipo tradizionale è terminato poco dopo il distacco del getto di completamento, come solai tradizionali)

Committente e progettista dell'edificio (architetto, ingegnere) ne traggono una serie di vantaggi. I solai Grooved Hollowcore dello spessore dei solai alveolari precompressi di tipo tradizionale possono assorbire fino al 25 % di carico in più (fig. 2) o aumentare fino al 25 % la campata. Si può anche dare più spazio alla creatività: sono possibili sporgenze, inoltre si possono realizzare grandi aperture nei solai, dato che i solai tagliati al centro della campata possono fungere da braccio a sbalzo a partire dall'appoggio.

I solai Grooved Hollowcore sono vantaggiosi anche dal punto di vista sismico, dato che hanno una massa inferiore e una duttilità superiore del collegamento trave-solaio, cosa che riduce il rischio di collasso progressivo. Inoltre, può essere vantaggiosa la migliore azione di protezione antincendio dei solai, dato che una parte significativa dell'armatura d'acciaio (dal 15 % al 50 %) è collocata nella sezione superiore del solaio. L'armatura nella sezione superiore è esposta molto meno al calore (dal basso) causato tipicamente da un incendio [1]. Infine, i solai alveolari precompressi Grooved Hollowcore consentono la costruzione di solai con emissioni di CO₂ dal 10 % al 15 % in meno. Questo è il risultato di un consumo di calcestruzzo ridotto del 20 % e di un lieve aumento di consumo di acciaio. Tale aumento è dovuto al fatto che una parte dell'acciaio di precompressione degli elementi prefabbricati viene sostituito da barre in acciaio, posate nel luogo d'impiego, che normalmente hanno una resistenza inferiore all'acciaio di precompressione.

Rispetto dei regolamenti attuali

La maggior parte delle norme in materia di edilizia, come l'eurodice (EC-2) [2] e il manuale PCI americano per la progettazione di solai alveolari precompressi [1], accetta la progettazione e la messa in opera di solai alveolari in calcestruzzo precompresso con getto di completamento. La soluzione descritta all'inizio relativa all'ottimizzazione della struttura portante aprendo delle cavità esiste già da tanto.

Pertanto, la nuova soluzione di Grooved Hollowcore di regola è compatibile con i regolamenti attuali.

Inoltre, il principio della progettazione di Grooved Hollowcore tiene conto della resistenza al taglio orizzontale del collegamento calcestruzzo-calcestruzzo (solaio alveolare precompresso/getto di completamento). Anche in questo caso abbiamo una serie di norme (EC-2 [2]; le norme statunitensi ACI-318 [3]), che possono essere considerate compatibili con questi principi: specifiche per la resistenza al taglio orizzontale dell'interfaccia calcestruzzo-calcestruzzo.

Grooved Hollowcore diventa realtà

Una tecnologia, messa a punto a seguito di approfonditi test

La soluzione presentata in questa sede è stata messa a punto in Spagna nel corso di un programma di prove della durata di 18 mesi svoltosi all'Universidad Politécnica de Valencia (UPV) nel 2016 e 2017 (vedi fig. 3). Le prove sono state svolte dal Dr. Pedro Miguel Sosa, professore ordinario di Ingegneria civile, e dal Dr. Luís Pallarés Rubio, professore straordinario di Ingegneria civile, con la supervisione di Elastic Potential (detentore del brevetto).

L'obiettivo principale delle prove era quello di garantire una soluzione affidabile tra solaio alveolare precompresso e getto di completamento. Il programma comprendeva prove su piccola scala, serie di prove su media scala e prove su vasta scala. Sono state analizzate le seguenti variabili principali: geometria e rugosità dell'interfaccia; età dei due calcestruzzi (elemento prefabbricato e getto di completamento); dimensioni dei provini. Una delle principali conclusioni della ricerca è stata la seguente: la diversa velocità e consistenza del ritiro del calcestruzzo nel solaio alveolare precompresso e getto di completamento, il cosiddetto ritiro differenziale, riduce sensibilmente la resistenza al taglio del collegamento. Questo effetto può causare un distacco del getto di completamento già in presenza di una sollecitazione molto esigua. Ciò accade in

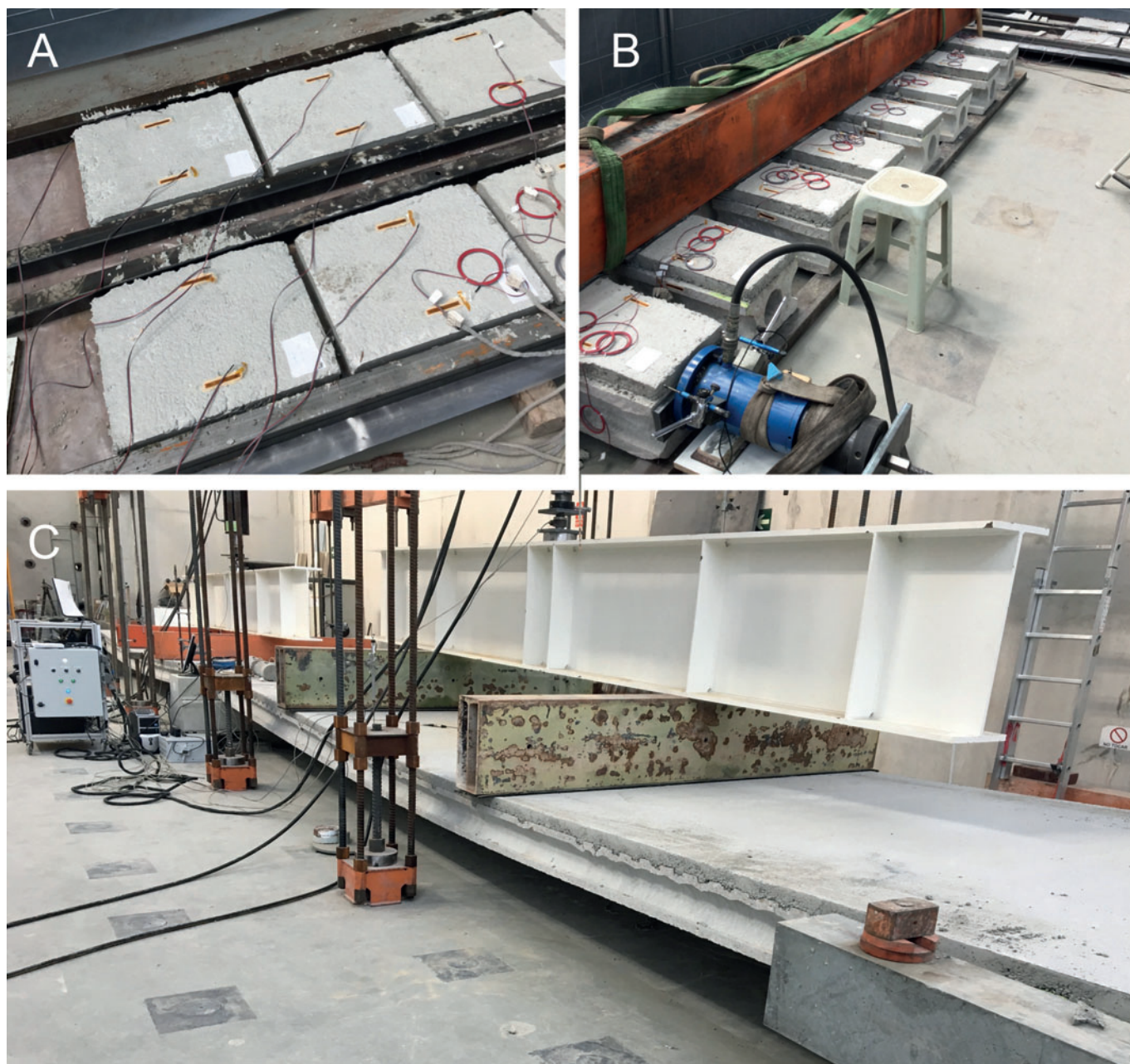


Fig. 3: A. Prova relativa al ritiro senza sforzo nei provini di getto di completamento di varie composizioni del calcestruzzo; B. Prove di resistenza al taglio orizzontale su provini piccoli; C. Prova in scala originale (sollecitazione intensa) su un solaio a due campate con Grooved Hollowcore.

particolare quando nel solaio le velocità di ritiro sono elevate (ad es. se il solaio ha già diversi mesi di vita quando viene messo in opera il getto di completamento) oppure quando il getto di completamento si ritira in misura elevata (ad es. rapporto acqua-cemento elevato nel getto di completamento, temperatura elevata nel luogo di montaggio ecc.). Questi risultati coincidono con i risultati delle prove e le conclusioni di altri autori [4] [5] [6].

Il Codice Modello [7] della Fédération Internationale du Béton - fib menziona anche che in determinate strutture si debba considerare il ritiro differenziale per garantire la resistenza dei collegamenti calcestruzzo-calcestruzzo.

Considerati i risultati, le prove sono state eseguite con le più svariate superfici del lato superiore del solaio: spazzolate moderatamente lisce (come quando escono dall'impianto di pro-

duzione), con profondi buchi isolati nella superficie del solaio e infine con scanalature di varie profondità sulla superficie del solaio. Soltanto nel caso di una soluzione non ci sono stati effetti dovuti al ritiro differenziale e, quindi, una resistenza affidabile e prevedibile. Una soluzione con scanalature profonde (20 mm), distribuite su tutta la superficie del solaio. Questa soluzione consente un collegamento affidabile tra getto di completamento ed elemento prefabbricato. Tale affidabilità è stata documentata dal fatto che il collasso del collegamento è avvenuto con la rottura per taglio del getto di completamento o del solaio alveolare precompresso (collasso prevedibile, in funzione di poche variabili: geometria e resistenza del calcestruzzo). In ogni altro collegamento analizzato il getto di completamento si è staccato dal calcestruzzo del solaio. Si tratta di un collasso su un'interfaccia molto più imprevedibile,

cosa molto più difficile da prevedere, dato che dipende da un numero molto superiore di fattori (presenza di umidità, acqua o sporco sull'interfaccia, ritiro differenziale, velocità di presa ecc.).

Attualmente i risultati delle prove sono in fase di preparazione per la pubblicazione su riviste scientifiche.

Reazione dei produttori di prefabbricati in calcestruzzo

Negli ultimi mesi Elastic Potential ha presentato la tecnologia a circa 20 produttori di prefabbricati in calcestruzzo in Europa (Spagna, Italia, Francia, Belgio) e negli USA.

La maggior parte dei produttori di prefabbricati in calcestruzzo ha manifestato un vero interesse a questa tecnologia. Hanno visto che è molto semplice da gestire e che può portare a margini di guadagno notevolmente superiori. Circa due terzi di loro ha deciso di verificare dettagliatamente se nel singolo caso gli abbattimenti citati dei costi sono realistici. A tale scopo hanno scelto una serie di opere che hanno progettato e costruito negli ultimi tempi, pregando Elastic Potential di riprogettarli con Grooved Hollowcore per dimostrare la differenza. Tutti i progetti finora riprogettati hanno portato, come sopra annunciato, ad un abbattimento dei costi. Ad esempio per i progetti attuali in Europa, considerando un prezzo di vendita medio del solaio da 25 a 40 €/m², dagli studi attuali è emerso un abbattimento dei costi da 3 €/m² (per campate corte e carichi inferiori) a 10 €/m² (per campate lunghe e carichi elevati). Carico e campata incidono in modo determinante sul risultato: con l'aumentare di campata e sollecitazione aumenta quanto si può ottenere in termini di abbattimento dei costi.

Infine, il 90 % delle aziende che ha studiato dettagliatamente i progetti ha chiesto offerte per le macchine e sta meditando se investire. Sulla base degli attuali prezzi delle macchine, tutti gli studi svolti finora sugli ammortamenti sono arrivati a tempi di ammortamento inferiori a un anno.

Disponibilità delle macchine

Elastic Potential ritiene prioritario il fatto che sia disponibile un numero sufficiente di macchine per produrre in serie solai del genere. Per questo motivo, Elastic Potential collabora con primari fornitori internazionali di macchine. Tutti loro vedono in Grooved Hollowcore un'opzione interessante per i loro clienti.

Attualmente il fornitore di macchine Prensoland è in grado di fornire nuove macchine per produrre solai Grooved Hollowcore o modificare macchine esistenti per produrre questa tipologia di solaio secondo le specifiche di Elastic Potential. Echo Precast Engineering e UltraSpan (Progress Group) sono ancora nella fase di sviluppo e attualmente producono prototipi di macchine che presumibilmente saranno lanciate sul mercato ad inizio 2020.

Elematic ha già una macchina per fresare scanalature sui solai alveolari precompressi e attualmente sta lavorando a modificarla in funzione dei requisiti di Grooved Hollowcore (presumibilmente inizio 2020). Inoltre, Elematic sta valutando lo sviluppo di una macchina che estrude direttamente solai con scanalature quando arriva una commessa adeguata. Nordimpianti ha una macchina in grado di fresare scanalature nei

solai alveolari precompressi che precedentemente venivano realizzate su un estrusore, una vibrofinitrice o un flowformer. Nordimpianti effettuerà alla sua scanalatrice le modifiche necessarie non appena arriverà una commessa per la produzione.

Attualmente Spancrete sta verificando l'interesse tra i suoi clienti per Grooved Hollowcore e propone modifiche alle macchine per soddisfare queste esigenze.

Elastic Potential invita tutti i fornitori di macchine che volessero proporre una macchina per produrre Grooved Hollowcore a sottoporre le loro macchine a un processo di validazione. Tale processo è costituito da una serie di prove di laboratorio sui solai che vengono prodotti con queste macchine. Tali prove verificano se i solai soddisfano determinati requisiti minimi per essere accettati come solai Grooved Hollowcore.

Cosa occorre per utilizzare un Grooved Hollowcore?

In primo luogo un produttore di prefabbricati in calcestruzzo vorrà verificare se i risparmi come quelli descritti in questa sede valgono anche per il suo caso. A tale proposito si può contattare Elastic Potential e inviare 2 o 3 progetti modello da analizzare. Elastic Potential riprogetta (gratuitamente) i progetti campione e li restituisce al produttore di prefabbricati in calcestruzzo, che potrà poi valutare le possibili riduzioni dei costi a livello di produzione e trasporto e, quindi, i suoi possibili ulteriori margini di guadagno.

Inoltre, il produttore di prefabbricati in calcestruzzo dovrà chiedere al suo fornitore di macchine un'offerta per uno studio sull'ammortamento.

Non appena un produttore di prefabbricati in calcestruzzo avrà deciso a favore di Grooved Hollowcore, dovrà provvedere ancora a solo tre cose:

a) studiare come si progetta, calcola e costruisce con i nuovi solai (manuale di Elastic Potential); b) stipulare un accordo con Elastic Potential per l'uso della tecnologia (brevetto incluso [8]), c) acquistare una macchina validata dal fornitore preferito. ■

Fonti

- [1] Precast/Prestressed Concrete Institute: PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs and Walls (MNL-126-15E), Third Edition, 2015, Edited by S. K. Ghosh, ISBN 978-0-9968021-0-9.
- [2] European Committee for Standardization (CEN): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2004.
- [3] ACI Committee 318: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, 2014, Farmington Hills: American Concrete Institute.
- [4] Beushausen, Hans-Dieter: Long-term performance of bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, PhD Thesis, 2006.
- [5] Beushausen, H.; Alexander, M.G.: Localized strain and stress in bonded concrete overlays subjected to differential shrinkage, Materials and Structures, March 2007, Volume 40, Issue 2; pp. 189-199.
- [6] Santos, Pedro M. D.; Júlio, Eduardo N. B. S.: Interface Shear Transfer on Composite Members, ACI Structural Journal, January-February, 2014; 113-121.
- [7] Fédération internationale du béton (fib): Model Code 2010, final draft. fib Bulletin Nos. 65/66, Lausanne, 2012.
- [8] Sanabra, Marc: Prefabricated floor element, structure comprising prefabricated floor elements and installation for obtaining the prefabricated floor element, EP 3486392, Filed: 12.03.2018, Published: 22.05.2019.