

# Innovative SFRC applications: an industrial building in Como

## Applicazioni innovative in SFRC: un edificio industriale in Como

M. di Prisco<sup>1</sup>, F. Sibaud<sup>2</sup>, C. Failla<sup>3</sup>, P. Finazzi<sup>4</sup>, A. Siboni<sup>5</sup>, A. Bassani<sup>6</sup>, G. Nava<sup>6</sup>, M. Colombo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy*

<sup>2</sup> *MS. Civil Engineer, Construction Manager, Como, Italy*

<sup>3</sup> *Magnetti Building, Carvico (Bg), Italy*

<sup>4</sup> *FGF construction company, Como, Italy*

<sup>5</sup> *MAPEI, Milan, Italy*

<sup>6</sup> *DSC, Erba (Co), Italy*

**ABSTRACT:** In the framework of the construction of a new industrial building in Como, three different types of slabs made with hybrid reinforcement were designed and executed according to Model Code 2010. Two foundation slabs on piles cast on site without any joint, connected along their perimeter to foundation beams on piles made also with FRC; two elevated slabs cast on site also made of hybrid reinforcement and finally an industrial SFRC slab partially prefabricated with SFRC prestressed beams, supported at their ends on prefabricated R/C beams, SFRC prefabricated plates supported at their ends on the SFRC beams and a pumped SFRC top slab connecting to all the prefabricated elements, represent three good examples of SFRC applications. In the paper the design and construction phases are described and explained in order to highlight the main advantages of the proposed solution. / Nell'ambito della costruzione di un nuovo edificio industriale a Como, sono state progettate e realizzate tre diverse tipologie di lastre realizzate con rinforzo ibrido secondo il Codice Modello 2010. Due platee di fondazione fibro-armate su pali gettate in opera prive di giunti, collegate lungo il loro perimetro a travi di fondazione in FRC su pali; due solai gettati in opera armati con rinforzo ibrido e infine un solaio industriale parzialmente prefabbricato con travi precomprese in SFRC, appoggiate alle loro estremità a travi prefabbricate in c.a., con lastre prefabbricate fibroarmate usate come casseri a perdere appoggiate alle estremità alle travi precomprese fibroarmate e getto di soletta fibro-armata con armatura al negativo ottenuta pompando calcestruzzo fibrorinforzato in modo da collegare tutti gli elementi prefabbricati, rappresentano tre esempi applicativi di strutture in SFRC. Nella memoria sono descritte e commentate le fasi progettuali e costruttive al fine di evidenziare i principali vantaggi della soluzione proposta.

**KEYWORDS:** fibre reinforced concrete, structural design, foundation slab, elevated slab, partially prefabricated slab, mechanical characterization, executive procedures. / calcestruzzo fibro-rinforzato; progettazione strutturale; platea di fondazione, solaio gettato in opera, solaio parzialmente prefabbricato, caratterizzazione meccanica, procedure esecutive.

## 1 INTRODUZIONE

Il calcestruzzo fibrorinforzato è un materiale sempre più frequentemente utilizzato nelle strutture interagenti con il terreno come le platee di fondazione (Falkner & Henke, 1997), i conci di tunnel prefabbricati (fib, 2017) e le strutture di ritegno (J. Walraven, 2010). Potendo raggiungere alti livelli di prestazione viene utilizzato anche in strutture prefabbricate (fib, 2016), caratterizzate anche da spessori molto ridotti e geometrie complesse (Toutlemonde and Resplendino, 2016); si è infine rivelato alquanto efficace nella costruzione di solai, sia interamente gettati in opera (Destreè, 2001), sia parzialmente prefabbricati (di Prisco et al., 2016). La memoria riassume le peculiarità costruttive di un edificio industriale ove sono presenti tre tipologie di orizzontamenti in calcestruzzo fibrorinforzato: la platea di fondazione appoggiata su pali, il solaio in

calcestruzzo fibrorinforzato gettato in opera con armatura tradizionale e un impalcato industriale con travi prefabbricate precomprese fibro-armate da 14m di luce, lastre *predalles* fibro-armate con tralicci di armatura elettrosaldati e soletta in calcestruzzo fibrorinforzato gettata in opera con armatura al negativo in corrispondenza degli appoggi indiretti, costituiti dalle travi secondarie.

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

### 2.1 Geometria dell'edificio

L'edificio industriale, in fase di ultimazione, ha pianta pressoché rettangolare (Fig.1) con lato maggiore orientato sull'asse NO - SE. La zona destinata alla produzione è collegata con una palazzina uffici. Quest'ultima si sviluppa su due piani ed è servita da un vano scala che arriva in copertura rendendola ac-

cessibile. Esternamente al fabbricato è realizzato un piazzale che si eleva dal piano campagna per portarsi, nella zona posta a S.E., alla quota dell'impalcato industriale ove è predisposta un'area di carico-scarico.

L'area sopraelevata del piazzale ospita alcune vasche d'accumulo con volumetria complessiva pari a  $787 \text{ m}^3$  e superficie di  $470 \text{ m}^2$ . Il vano tecnico è pensato come locale isolato dal resto del fabbricato ed è costituito dal solo piano terra e da una copertura piana da cui si eleva una torre di altezza 9m per il passaggio degli impianti, che per mezzo di un collegamento aereo, di 11 m di luce, risulta collegato alla copertura dell'edificio industriale.

Le superfici dell'edificio risultano: edificio industriale P.T. ( $171 \text{ m}^2$ ) e P.1 ( $1454 \text{ m}^2$ ); superficie piazzale sopraelevato ( $547 \text{ m}^2$ ); superficie palazzina P.T. ( $265 \text{ m}^2$ ), P. 1 e 2 ( $269 \text{ m}^2$ ). La zona adibita alla

produzione industriale è caratterizzata da una maglia strutturale  $14.45 \times 8.45 \text{ m}$  con altezza sotto tegolo piano terra pari a 3.6 m e primo piano 5.7 m. La palazzina uffici prevede una maglia  $7.2 \text{ m} - 8.9 \text{ m} - 6.71 \text{ m}$ , altezza dell'interpiano di circa 3.0 m. Gli impalcati di spessore 25 cm sono realizzati con getto in opera di calcestruzzo fibro-rinforzato, armato nelle due direzioni anche con armatura tradizionale.

Il fabbricato è realizzato con strutture di elevazione, impalcati e tamponamenti prefabbricati tradizionali; i vani scala ed i setti oltreché i muri delle vasche d'accumulo sono stati gettati in opera. Il progetto architettonico è a firma del geom. F. Fasola e dell'arch. L. Marongiu, progettista strutturale è l'ing. A. Gaffuri della Società DSC-Erba, Direttore Lavori è l'ing. F. Sibaud. L'impresa costruttrice è la FGF di Como e le opere prefabbricate sono di Magnetti Building di Carvico.

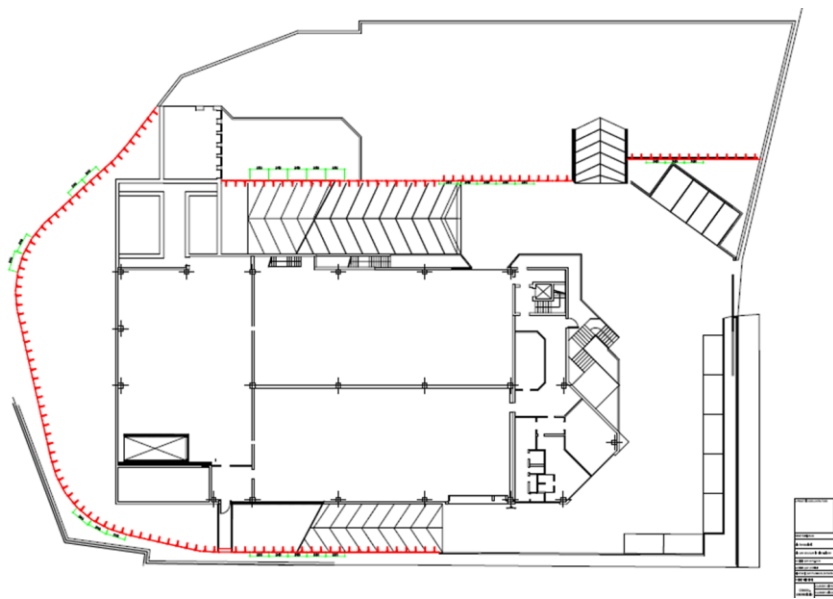


Figure 1. Plan view of the industrial building. / Vista in pianta dell'edificio industriale.

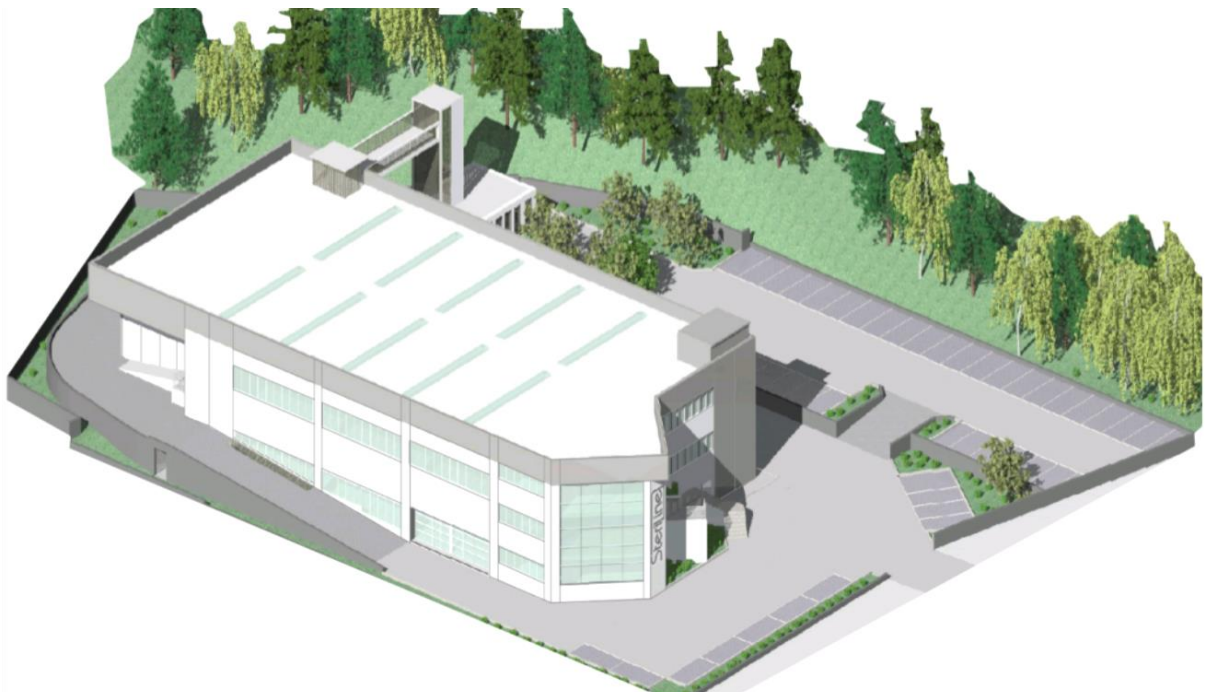


Figure 2. Axonometric view of the industrial building. / Vista assonometrica dell'edificio industriale.

## 2.2 Fondazioni

Il fabbricato è collocato sul territorio del comune di Como in Via M. Tentorio, 30. La zona di cantiere si colloca ai piedi di una collinetta posizionata a Sud, la superficie è per lo più pianeggiante (Fig.2). A seguito di sondaggi geognostici e prove penetrometriche il suolo di fondazione risulta essere ascrivibile alla categoria C: depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{SPT} < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa).

In considerazione della morfologia locale, così come richiesto dalle NTC, si può inserire il comparto d'intervento nella categoria topografica T1 (inclinazione del pendio media  $i < 15^\circ$ ).

Il sottosuolo risulta dotato di scadenti caratteristiche geotecniche sino alla profondità media di circa 3 m dal piano campagna; solo oltre tale profondità si rinviene una successione di terreni mediamente addensati. Si sottolinea la presenza di torbe nello strato superficiale. Tale presenza ha escluso la possibilità di procedere all'esecuzione di fondazioni dirette. Tenuto conto della stratigrafia e delle interpretazioni fornite in relazione geologica si è previsto un sistema di fondazioni di tipo indiretto, da realizzarsi mediante impiego di pali ( $\Phi = 40$  cm ;  $l = 15$ m) incastrati nei terreni mediamente addensati di fondo.

Con lo scopo di limitare i cedimenti differenziali della pavimentazione industriale ed in seguito alle conclusioni derivanti da un riscontro diretto, nel quale si è evidenziato un innalzamento della falda acquifera superficiale sino al piano campagna indicativamente corrispondente con il pavimento finito dell'edificio, si è deciso di progettare una platea appoggiata su pali. Per evitare problemi di infiltrazione di acqua è stata quindi eseguita una attenta progettazione finalizzata all'impermeabilizzazione della platea ed in corrispondenza dei giunti costruttivi fra le platee dirette e le travi di collegamento dei plinti.

Per la progettazione della platea, di spessore 30 cm, in corrispondenza di ogni pilastro è stato considerato un plinto isolato sempre su pali (Fig.3). Nelle restanti parti è stato eseguito un calcolo a piastra, considerando oltre ai carichi verticali anche quelli orizzontali trasmessi dalle opere in elevazione.

Si sono introdotti alcuni giunti strutturali tra l'edificio e le vasche di accumulo, rendendo tali corpi di fatto strutturalmente indipendenti e consentendo liberi spostamenti dei corpi di fabbrica dovuti alle azioni del sisma, del vento e delle variazioni termiche. Per l'alloggiamento dell'ascensore, posto nel vano scala, si è prevista una fossa in c.a. prefabbricata con profondità 1.25 m rispetto al piano di fondazione e dimensioni in pianta di circa 3.0 x 2.8 m. La piastra di base della fossa ha spessore 0.30 m, mentre i muri laterali hanno spessore 0.25 m. Lo schema

dell'armatura della platea di fondazione (Fig.4a) consiste in una rete  $\Phi 12/200$  mm isotropa e un'armatura al negativo solo in corrispondenza dei pali aventi maglia 4 x 4 m e armature di collegamento che si sono rivelate alquanto utili anche in fase esecutiva come camminamenti in fase di getto.

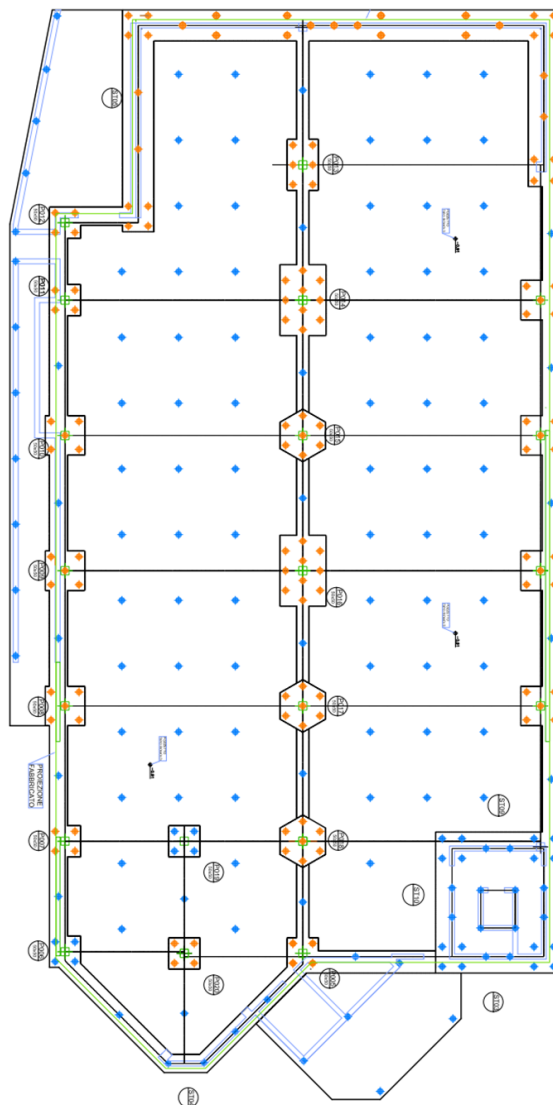


Figure 3. Foundations of the industrial building. / Fondazioni dell'edificio industriale.

## 2.3 Solai gettati in opera

I solai gettati in opera, come la piastra di fondazione ed i solai in elevazione, sono stati progettati con l'ausilio del software ad E.F. Midas Gen, modellando le piastre gli elementi strutturali portanti al contorno con elementi di guscio. La progettazione considerata, sia in fase di esercizio per il controllo della fessurazione, sia allo S.L.U. mediante le combinazioni richieste dalle NTC 2008, ha consentito il dimensionamento dell'armatura al positivo estesa a tutta la piastra, tenendo conto del contributo del calcestruzzo fibro-rinforzato, e il dimensionamento dell'armatura al negativo considerando le condizioni al contorno, ovvero i pali e le travi di fondazione,

anch'esse su pali, per la platea di fondazione e le travi di bordo e il pilastro centrale per i solai in elevazione (Fig.4b). Si noti che, a favore di sicurezza, si è soddisfatta la disequazione  $M_{Rd} \geq M_{Sd}$  in ogni punto della piastra, trascurando per cautela anche allo S.L.U., la redistribuzione strutturale che risulta contenuta in presenza di piastre allungate, ma che consente coefficienti di sicurezza amplificati in presenza di carichi distribuiti non uniformemente.

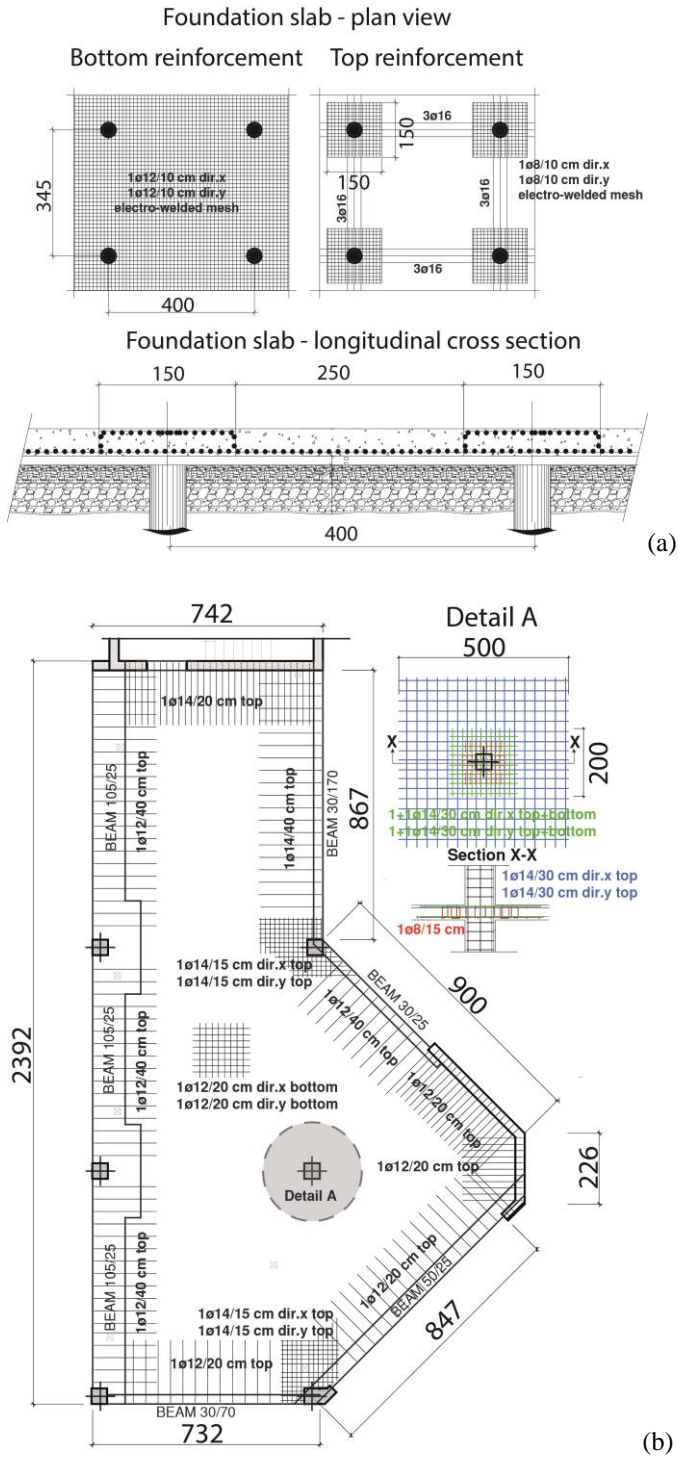


Figure 4. Elevated cast-on-site slabs for office zone: (a) plan view; (b) reinforcement adopted. / Piastre di solaio gettate in opera per la zona uffici: vista in pianta; (b) schema d'armatura.

## 2.4 Solaio industriale parzialmente prefabbricato

L'impalcato della zona produttiva è stato realizzato con una soluzione innovativa che fa uso di precompressione parziale. Sono state impiegate travi precomprese in SFRC con interasse di 1.70 m e con luce di 14 m aventi un'armatura minima trasversale utile anche al collegamento con la soletta gettata in opera. Quest'ultima si è avvalsa di lastre prefabbricate (tipo predalles) fibro-armate munite di tralicci metallici come cassero strutturale di finitura. Il getto integrativo in opera è stato eseguito con calcestruzzo auto-compattante fibro-rinforzato armato solo al negativo in corrispondenza delle travi precomprese (Fig.5). Una descrizione accurata di questa soluzione innovativa e delle prove preliminari che sono state eseguite per la verifica prototipale del sistema è presente in (di Prisco et al. , 2018) e nella traduzione in italiano presentato a questo congresso.

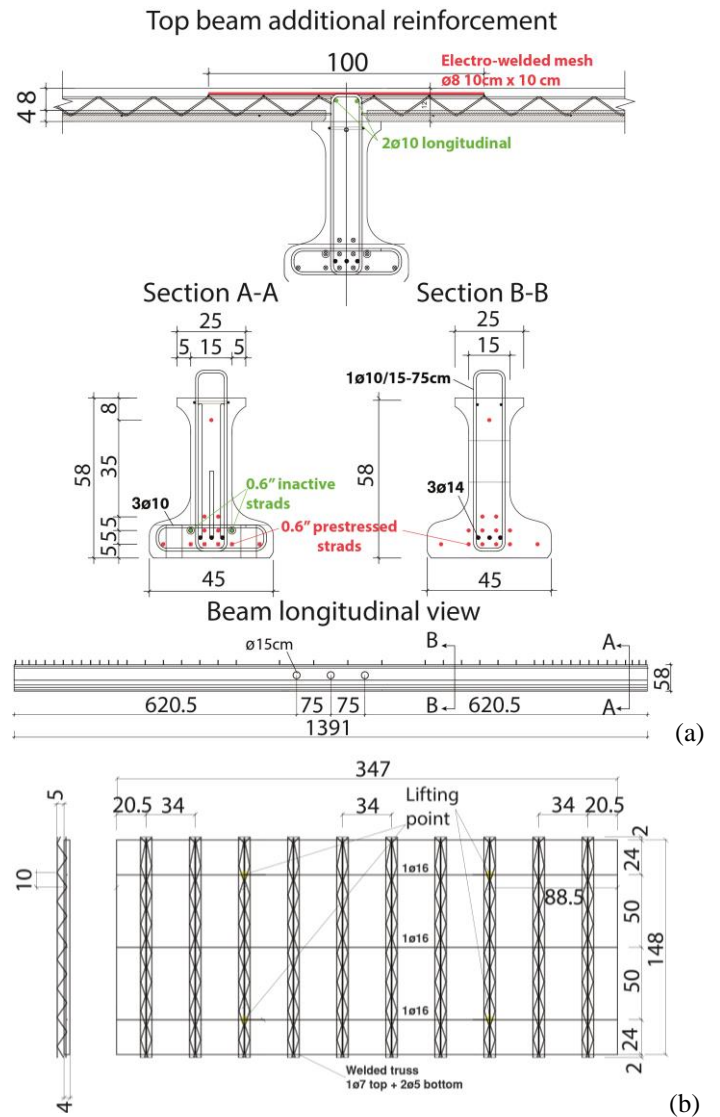


Figure 5. Industrial deck: elevated, partially prefabricated slabs for production zone: (a) plan view; (b) reinforcement adopted. / Impalcato industriale: piastre di solaio parzialmente prefabbricate per la zona produttiva: vista in pianta; (b) schema d'armatura.

### 3 LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

#### 3.1 Prove iniziali di tipo

Sono stati adottati due conglomerati fibro-rinforzati auto-compattanti, uno per i getti in opera ed uno per gli elementi prefabbricati. Entrambe le ricette sono state ottenute a seguito di un lungo processo empirico teso ad ottimizzare sia le prestazioni meccaniche, sia quelle esecutive. Le miscele finali sono sinteticamente indicate in tabella 1. In (di Prisco et al., 2018) sono esemplificati alcuni passaggi del procedimento adottato per il calcestruzzo usato nella realizzazione degli elementi prefabbricati.

Table 1. Mix Design of materials adopted / Mix design dei materiali utilizzati.

Component	Mix 1		Mix 2	
	Type	kg/m <sup>3</sup>	Type	kg/m <sup>3</sup>
Cement	CEMI 52.5R	380	42.5R*	380
Filler	Limestone	100	Calcareous	100
Water SSD		190		165
Agg 1	0/4	620	0/4	509
Agg 2	0/12	440	0/8	763
Agg 3	8/15	710	8/14	424
Superplast.	(slab/beam)	5.5/7.0		6.0
Shrink. reducer		-		5.5
Steel fibre**	A	50	B	35
PP fibre	slab/beam	1.5/1.0		

\* CEM IV/A 42.5R LH

\*\* A= Dramix 3D 65-60; B = Dramix 4D 65-60

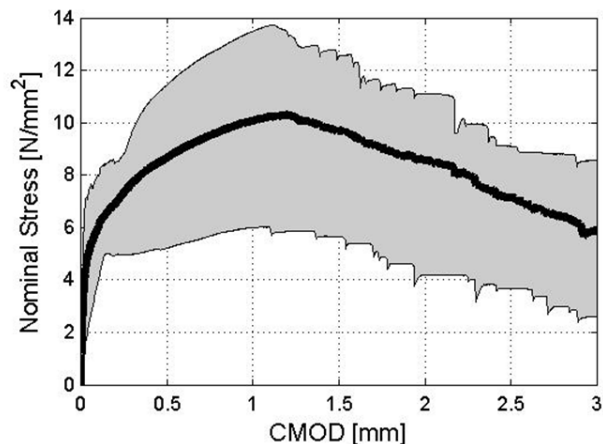
#### 3.2 La qualificazione dei materiali

In accordo con il Codice Modello 2010, sono stati classificati entrambi i materiali fibro-rinforzati facendo uso della prova a flessione a tre punti su almeno 12 provini prismatici intagliati secondo la EN 14651. Considerando i valori caratteristici calcolati come stabilito dalla EN 1990, (e confermato dalla ISO 13822), mediante la distribuzione log-normale, si sono ottenute rispettivamente le seguenti classi: C28/35 3c per il calcestruzzo gettato in opera e C45/55 4c per quello usato in prefabbricazione. La curva media e la dispersione dei risultati sono indicate in figura 6.

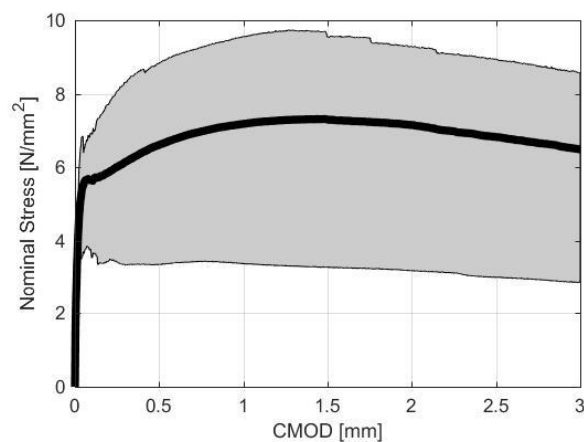
#### 3.3 I controlli di accettazione

I controlli di accettazione sono stati condotti come suggerito nella bozza in discussione al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ovvero controllando, su un numero di almeno 1 prelievo (media di due campioni) per ogni 100 m<sup>3</sup> di getto, che le resistenze a flessione residue soddisfino le seguenti disequazioni sul valore al limite di proporzionalità, e sui valori delle resistenze flessionali post-fessurative relative allo S.L.E. e allo S.L.U.:

$$f_{R,1m} / f_{fct,FLm} > 0.4 \quad (1)$$



(a)



(b)

Figure 6. Performance of SFRC material used: (a) for cast-on-site elements; (b) for precast elements. / Prestazioni del materiale SFRC usato: (a) per i getti in opera; (b) per gli elementi prefabbricati.

$$f_{R,1m} > 1.3 f_{R,1k}; f_{R,1min} > 0.7 f_{R,1k} \quad (2)$$

$$f_{R,3m} > 1.3 f_{R,3k}; f_{R,3min} > 0.7 f_{R,3k} \quad (3)$$

Confrontando i valori ottenuti nei controlli di accettazione per entrambi i materiali con i valori delle classi dichiarate nelle prove di qualificazione, si è potuto accettare sia il calcestruzzo in opera, sia quello usato nella produzione di elementi prefabbricati.

Table 2. Mechanical characteristics measured in the acceptance tests for the cast-on-site materials. / Caratteristiche meccaniche misurate nei controlli di accettazione per il materiale gettato in opera.

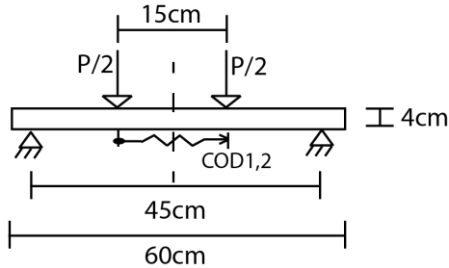
Sample	Cast element	$f_{ct,FL}$	$f_{R,1}$	$f_{R,2}$	$f_{R,3}$	$f_{R,4}$
1	foundation center	5.42	5.24	6.33	3.51	2.57
2	foundation axis A	4.85	4.40	5.54	4.35	3.14
3	1 foundation slab	4.54	2.55	2.64	2.70	2.56
4	1 foundation slab	4.31	3.44	4.00	3.93	3.21
5	1 foundation slab	3.93	2.03	2.38	2.62	1.75
6	Foundation lateral +elevator basis	5.11	4.61	5.62	4.09	2.95
7	2 foundation slab	4.46	5.45	6.38	5.43	4.32
$f_{j,im}$		<b>4.66</b>	<b>3.96</b>	<b>4.70</b>	<b>3.80</b>	<b>2.93</b>
$f_{min}$		<b>3.93</b>	<b>2.03</b>	<b>2.38</b>	<b>2.62</b>	<b>1.75</b>

Table 3. Mechanical characteristics measured in the acceptance tests for the SFRC used in prefabrication. / Caratteristiche meccaniche misurate nei controlli di accettazione per il calcestruzzo fibro-rinforzato usato nella prefabbricazione.

EN14651 test (3 samples)

Sample Cast date	$f_{ct,FI}$	$f_{R1}$	$f_{R2}$	$f_{R3}$	$f_{R4}$
27/01/17	7.93	10.58	10.33	8.05	6.63
30/01/17	6.41	8.79	9.29	7.55	6.11
01/02/17	6.28	8.26	9.24	7.57	6.47

Structural test (35 samples - 70 tests)



	$f_{IF}$	$f_{eq1}$	$f_{eq2}$
Av. (MPa)	6.82	5.28	4.21
COV	8.1%	16.5%	21.9%
min(MPa)	6.00	2.69	2.24

Nella produzione di lastre prefabbricate utilizzate come cassero a perdere strutturale, a causa del ridotto spessore, si è proceduto ad eseguire un'ampia sperimentazione anche su "provini strutturali", ovvero campioni prismatici non intagliati aventi lo stesso spessore delle lastre prodotte, provate anch'esse come suggerito dalla CNR DT 204, per confermare i valori ottenuti con le prove di accettazione su campioni standard (Tab.3). I risultati si sono rivelati come in precedenti sperimentazioni meno favorevoli rispetto ai valori nominali deducibili dai provini standard, ma superiori ai valori di progetto assunti.

#### 4 LE PROVE PRELIMINARI

Il primo elemento strutturale di rilievo realizzato, la platea di fondazione, risultava critico per il livello dell'acqua che scorrendo verso la strada provinciale spesso portava all'allagamento del terreno sul quale si doveva costruire l'edificio industriale. Risultava pertanto determinante controllare le fessurazioni e, se possibile, evitare fessurazioni dovute al ritiro e/o a coazioni durante la fase di getto. Per questa ragione si ritenne necessario provvedere ad alcuni getti preventivi di piastre (6x4x0.25 m) aventi uno spessore comparabile con quella della platea, per verificare le condizioni esecutive reali e la necessità di una maturazione accurata. Le prime prove eseguite mostrarono ampie fessure a distanza di qualche giorno dal getto (Figg. 7a,b), e pertanto fu necessario modificare la miscela per ridurre il ritiro, piuttosto elevato (Fig. 7d), mediante un cambio di granulome-

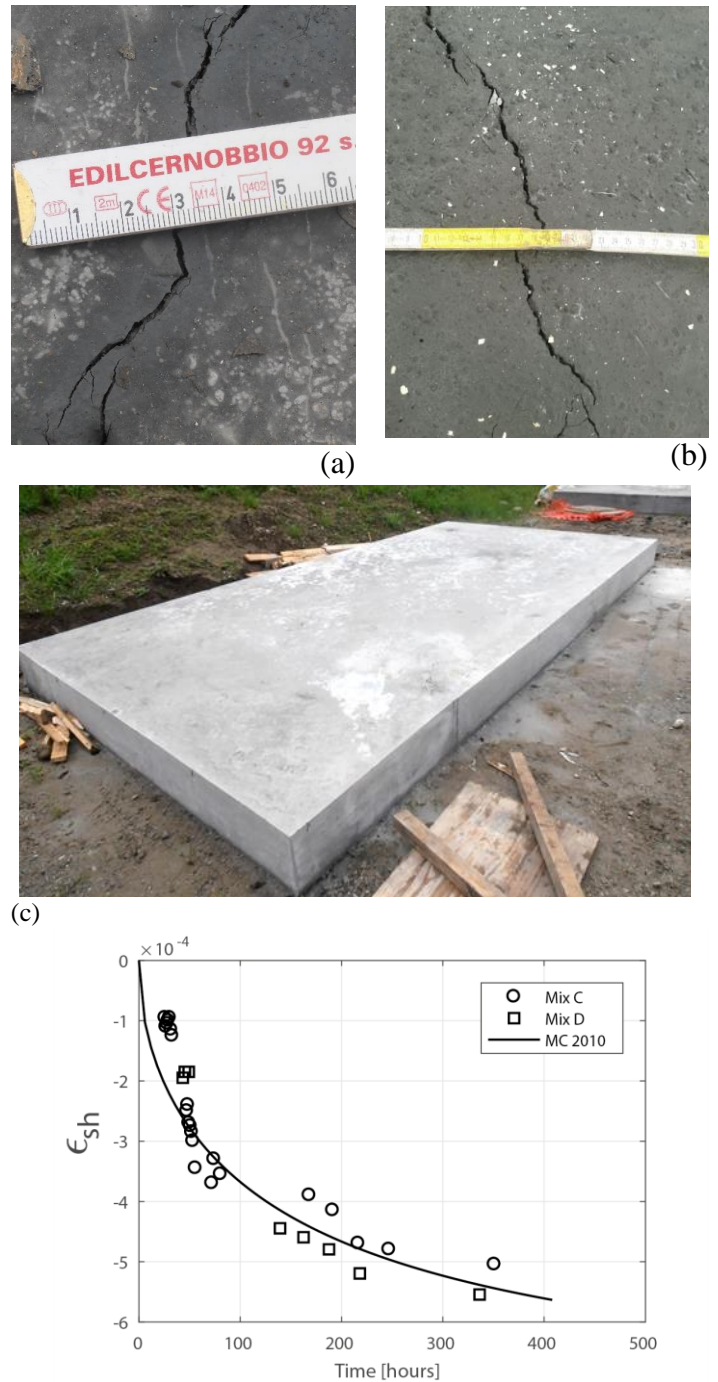


Figure 7. Preliminary SFRC ground slabs: (a) cracks detected after the first attempt; (b) uncracked underwater cured ground slab; (c) strain evolution of the material induced by shrinkage. / Piastre di fondazioni preliminari: (a) fessure rilevate a seguito del primo getto; (b) piastra di secondo tentativo maturata sott'acqua priva di fessure; (c) evoluzione della deformazione nel tempo dovuta al ritiro del calcestruzzo.

tria e l'uso di un additivo apposito (Tab.1). Le misure adottate, unitamente all'allagamento superficiale per una settimana a seguito del getto di una successiva piastra avente le stesse dimensioni (Fig.7c), confermarono sia la scelta della miscela, sia l'assenza di fessurazioni. Insieme alle piastre, utilizzate successivamente come basamento delle baracche di cantiere, furono gettate travi 1.5x0.5x0.3 m, armate con 1Φ12/200 mm come nel caso della platea di fondazione da un solo lato (Fig. 8). I risultati fu-

rono indispensabili per controllare il comportamento del rinforzo ibrido e per confermare agli occhi del collaudatore la metodologia di calcolo proposta nel Codice Modello 2010, usato come riferimento.

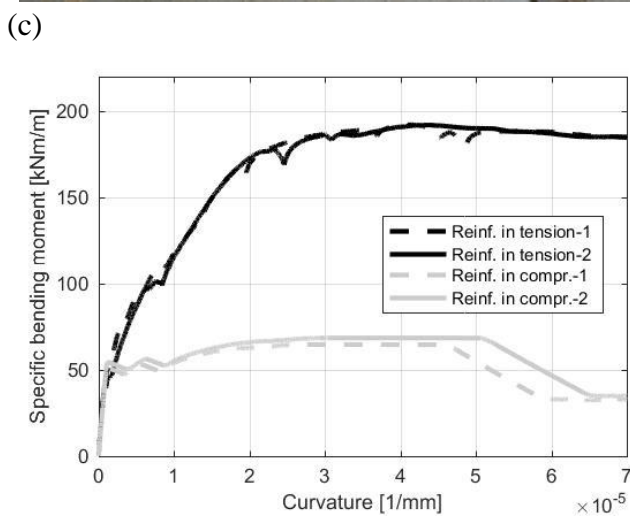
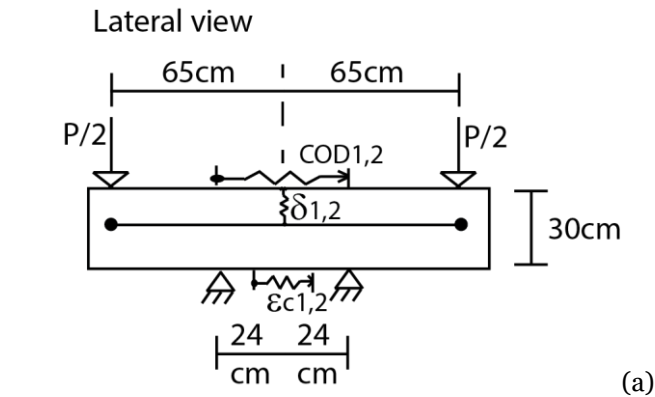


Figure 8. SFRC beam (1500x500x300 mm) tests: (a) set-up; (b) test lateral view; (c) crack localization; (d) positive and negative bending response of the cross section. / Travi (1500x500x300 mm) in SFRC: (a) schema di prova; (b) vista laterale di una prova; (c) localizzazione; (d) risposta flessionale positiva e negativa della sezione.

## 5 LE DIRETTIVE PROGETTUALI

L'efficacia del metodo di calcolo proposto è confermata dal confronto tra le curve progettuali del momento flettente positivo e negativo  $M_{rd}^+$  e  $M_{rd}^-$  al va-

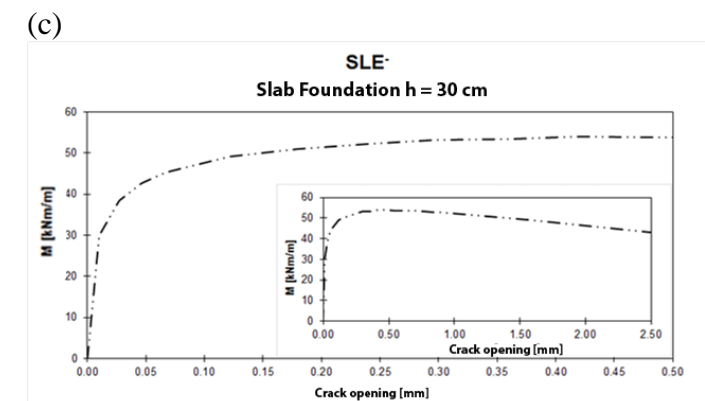
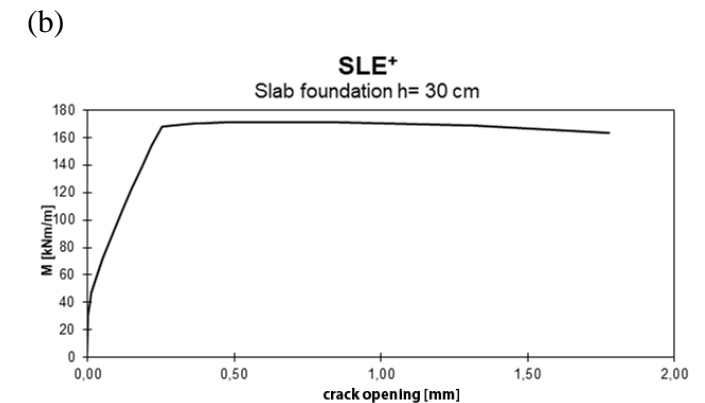
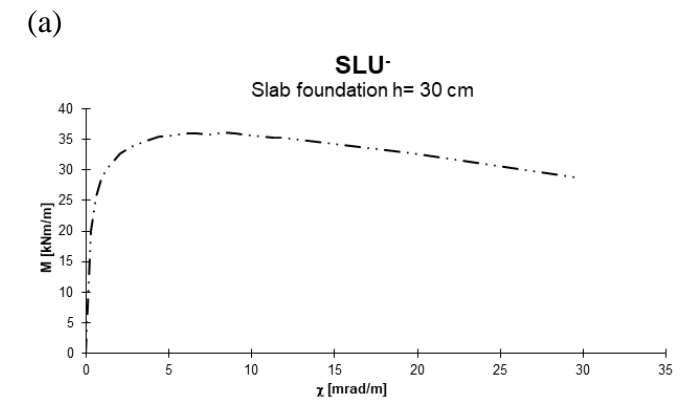
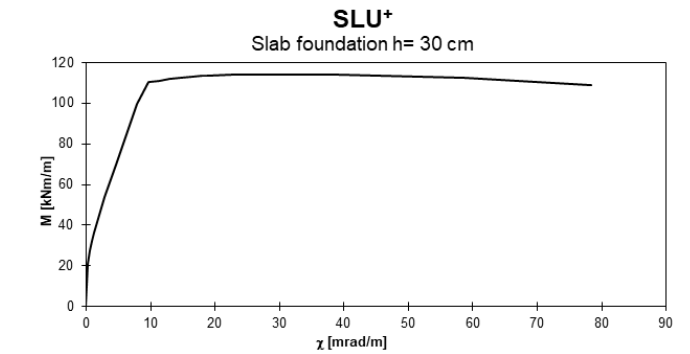


Figure 9. Foundation slab: bending response of specific SFRC cross-section with bottom isotropic reinforcement (1 $\Phi$ 12/100): (a) positive UL5; (b) negative UL5; (c) positive SLS; (d) negative SLS. / Platea di fondazione: risposta a flessione della sezione specifica con armatura isotropa al positivo (1 $\Phi$ 12/100). (a) momento positivo S.L.U.; (b) negativo S.L.U.; (c) positivo S.L.E.; (d) negativo S.L.E.

riare della curvatura media  $\chi$ , calcolati assumendo un coefficiente di sicurezza  $\gamma_F$  pari a 1.5, ed il valore ottenuto sperimentalmente (Fig.8d), ponendo al lembo teso sia il lato armato con armatura tradizionale, sia quello privo di armatura tradizionale (ovvero solo fibro-armato). Si noti come il rapporto dei valori massimi e l'andamento della curva di risposta confermino i risultati sperimentali ottenuti: il rapporto tra i massimi momenti corrisponde all'incirca al coefficiente di sicurezza imposto. Altrettanto significativo risulta la costruzione del legame costitutivo generalizzato M-w (momento-apertura di fessura), calcolato ignorando la resistenza di picco a trazione del fibrorinforzato, ma considerando il legame elasto-lineare per considerare la resistenza post-fessurativa e calcolando la lunghezza caratteristica come suggerito nel Codice Modello per integrare su tale distanza la deformazione media e pertanto calcolare l'apertura di fessura a seguito di un certo numero di cicli di carico e scarico (Figg.9c,d). La verifica progettuale riferita al soddisfacimento puntuale della verifica di flessione considerando il valore del momento negativo mediato sull'area della dimensione del pilastro o del palo, ha consentito di attuare un comportamento progettuale prudentiale al fine di ampliare i coefficienti di sicurezza minimi, tenendo conto che tale esperienza realizzativa è la prima in Italia e che l'uso del materiale fibrorinforzato ha consentito comunque di operare senza giunti nei due campi della platea di fondazione (60x14 m) con un'armatura alquanto ridotta rispetto alle percentuali geometriche tradizionali ( $\rho_s = 0,002$ ) nelle aree esterne alle zone di appoggio sui pali.

La soluzione prefabbricata utilizzata nell'impalcato industriale ha consentito la riduzione del numero di travi, la riduzione dello spessore del solaio ( $h = 70\text{cm}$ ), stante la portata di  $16.4 \text{ kN/m}^2$  di carico variabile con un peso proprio di  $10.4 \text{ kN/m}^2$  ed una luce dell'impalcato di 14 m. L'armatura disposta sulle travi che fungono da appoggi indiretti per la soletta di 8 cm gettata sulla lastra *predalle* prefabbricata di 4 cm ha permesso di considerare la soletta non solo come elemento di diaframma rigido nel piano medio, ma di realizzare anche una iperstaticità flessionale in direzione ortogonale alle travi precomprese, favorendo la redistribuzione trasversale e l'aumento della capacità portante.

## 6 LE FASI ESECUTIVE

Il tempo di costruzione è risultato piuttosto esteso, tenuto conto che la realizzazione dei pali fu avviata a luglio del 2016. Il mancato immorsamento della testa dei pali nella platea di fondazione ha semplificato l'armatura della platea ed ha impedito cedimenti locali sebbene in presenza di un terreno molto cedevole. L'uso di calcestruzzo fibro-armato ha permesso una accelerazione della produzione della platea ridu-

cendo significativamente i tempi di posa dell'armatura tradizionale (Figg. 10a,b). L'allagamento per una settimana dal getto ha scongiurato la presenza di fessurazioni garantendo l'impermeabilizzazione



(a)



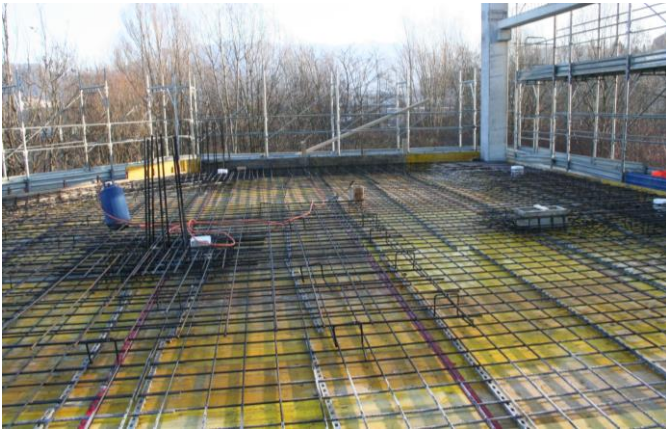
(b)



(c)

Figure 10. SFRC foundation slab: (a) casting phase; (b) reinforcement distribution; (c) reinforcement handling and underwater curing. / Platea di fondazione fibroarmata: (a) fase di getto; (b) distribuzione dell'armatura; (c) posa dell'armatura e maturazione con allagamento.





(a)



(b)

Figure 11. SFRC elevated cast-on-site slabs: (a) reinforcement distribution; (b) pumping phase. / Solai gettati in opera: (a) distribuzione dell'armatura; (b) fase di getto con pompaggio del calcestruzzo fibro-armato.

richiesta seppure in assenza di giunti su una lunghezza di circa 65 m (Fig. 10c). Il getto dei solai in opera (Fig.11) ha sfruttato la buona pompabilità del conglomerato e la sua lavorabilità, che è stata progressivamente migliorata con il procedere delle fasi produttive. Il getto della soletta dell'impalcato industriale è avvenuta per stadi successivi (Fig. 12). L'armatura di continuità al negativo posta in corrispondenza delle travi ha permesso di interrompere il getto senza dover mettere in atto misure aggiuntive. Ciò nonostante non si sono osservate aperture di fessure nei giunti superiori a 0.1 mm. In figura 13 sono riassunte alcune fasi costruttive e la vista dell'intradosso con i fori che consentono il passaggio degli impianti ortogonalmente all'asse delle travi.

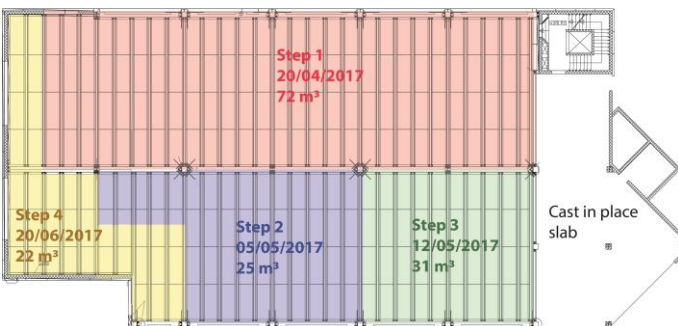


Figure 12. Casting steps of the top slab of the industrial deck. / Fasi di getto in opera della soletta dell'impalcato industriale.



(a)



(b)



(c)

Figure 13. Prefabrication phases of the industrial deck: (a) laying of the SFRC prefabricated plates; (b) casting of the top SFRC slab (step 3); (c) bottom view of the 14m long pre-stressed beams. / Fasi realizzative dell'impalcato parzialmente prefabbricato: (a) posa delle lastre in SFRC; (b) getto della soletta (stadio 3); (c) vista dell'intradosso delle travi precomprese di 14m di luce.

## 7 SPERIMENTAZIONI E COLLAUDO

Oltre alle sperimentazioni descritte e alle prove preliminari sugli elementi prefabbricati riassunte in (di Prisco et al., 2018), si è provveduto a gettare ulteriori travi 1.5x0.5x0.25 m per eseguire prove di taglio e prove di flessione con schemi iperstatici. Inoltre è stata avviata un'estesa campagna di prove su piastre 2x2x0.25 m, variamente armate e vincolate al contorno, per verificare l'affidabilità del calcolo proposto dal Codice Modello su elementi bidimensionali piani inflessi e calibrare il coefficiente di re-

distribuzione strutturale  $k_{Rd}$  introdotto nel §7.7 del Codice Modello 2010. E' in corso infine un round-robin su una parte di questi test al quale una dozzina di istituti di ricerca esperti in calcestruzzo fibrorinforzato hanno aderito con il fine di prevedere il comportamento fino a rottura delle piastre provate sperimentalmente. Al termine della costruzione, si è proceduto ad eseguire il collaudo con un carico prossimo a quello di esercizio sia dei solai gettati in opera (Fig.14a), sia dell'impalcato industriale parzialmente prefabbricato (Fig.14b). Il collaudo è risultato positivo evidenziando un comportamento deformativo prossimo a quello atteso.



(a)



(b)

Figure 14. Final test at S.L.S.: (a) cast-on-site slab; (b) industrial deck. / Collaudo finale: (a) solaio gettato in opera; (b) impalcato industriale.

## 8 CONCLUSIONI

In the construction of an industrial building in Como three different types of hybrid-reinforced slabs were designed and built. The experience has allowed to the whole construction team to face with the problems correlated to the use of SFRC in cast-on-site and prefabricated constructions and to appreciate its advantages. The significant reduction of conventional reinforcement and the specific toughness guaranteed by this composite offer the possibility of a cost-saving and more durable design. The design approach proposed by the Model Code turned out reliable and able to guarantee the same safety level of conventional R/C structures.

La costruzione di un edificio industriale a Como è stata l'occasione per progettare e costruire tre diversi tipi di solaio con armatura ibrida. L'esperienza ha permesso al team costruttivo di affrontare i problemi relativi all'uso di SFRC in costruzioni gettate in opera e prefabbricate e di apprezzarne i vantaggi. La significativa riduzione di armatura convenzionale e la tenacità specifica garantita da questo materiale composito consentono una progettazione più economica, un risparmio dei tempi di messa in opera e una costruzione più durevole. L'approccio progettuale proposto dal Codice Modello è risultato affidabile e in grado di garantire lo stesso livello di sicurezza delle strutture in c.a. convenzionali.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il dott. Gerardo Fumagalli per avere creduto in questa realizzazione innovativa e avere supportato la realizzazione di questo primo esempio di edificio industriale in FRC in Italia. Gli autori sono in debito con i progettisti ed i tecnici per le molte discussioni ricche di spunti in merito alle varie fasi realizzative.

## REFERENCES

- Bulletin fib 83 (2017) Precast tunnel segments in fibre-reinforced concrete, ISBN 978-2-88394-123-6.
- Bulletin fib 79 (2016) Fibre-Reinforce concrete: From design to structural applications, B. Massicotte, J.P. Charron, G. Plizzari and B. Mobasher ed., ISBN 978-2-88394-119-9.
- Destrée, X. (2001), Steel fibre reinforcement for suspended slabs, *Concrete (London)*, 35 (8), 58 p.
- di Prisco, M., Colombo, M., De Wilder K., Vandewalle, L., (2016), A new FRC solution for partially prefabricated industrial deck, BEFIB 2016, Vancouver., Canada.
- Falkner, H., Henke, V. (1997), Steel Fibre Concrete for Underwater Slabs at Potsdamer Platz *Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*, 7 (4), 238-241.
- Toutlemonde, F., Resplendino, J. (2013), *Designing and Building with UHPFRC*, 784 p.
- Walraven, J.C. (2009), High performance fiber reinforced concrete: Progress in knowledge and design codes, *Materials and Structures*, 42 (9), 1247-1260.



Figure 15. SFRC material performances: (a) SCC for cast-on-site elements; (b) material used in precast elements / Prestazioni del materiale SFRC usato: (a) per i getti in opera; (b) per gli elementi prefabbricati.