

Federico Alberio
f.alberio@fibrocev.it

Diego Tomasoni
d.tomasoni@fibrocev.it

FIBROCEV
We build business in concrete

Soluzioni fibrorinforzate per le pavimentazioni in calcestruzzo di una grande logistica commerciale

Per meglio rispondere alle diverse caratteristiche di un grande magazzino logistico, un approfondito confronto tecnico tra progettisti e ingegneri strutturisti ha portato a identificare la soluzione di una pavimentazione in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre in acciaio ad alta resistenza e polimeriche.

DESCRIZIONE DELL'OPERA

Un'importante catena della grande distribuzione ha recentemente investito nella realizzazione di un nuovo e moderno centro logistico distributivo. L'edificio ha una superficie coperta di 34.000 mq, in cui trova spazio una cella frigorifera a bassa temperatura di circa 3.500 mq. Il magazzino intensivo è dotato di scaffalature di altezza circa 10 metri.

Per poter sopportare in modo adeguato e durevole le sollecitazioni dovute sia agli elevati carichi statici distribuiti e concentrati che a quelli dinamici, lo studio della pavimentazione è stato accurato ed è stato motivo di numerosi confronti per giungere a tre differenti soluzioni esecutive, specifiche per le tre differenti destinazioni d'uso previste (magazzino intensivo, cella frigorifera e piazzale esterno), optando per l'utilizzo di un calcestruzzo fibrorinforzato in tutte le aree. La pavimentazione dedicata allo stoccaggio su scaffalature e movimentazione, infatti, è fibrorinforzata con fibre in acciaio ad alta resistenza a trazione, mentre per la cella a bassa temperatura e per il piazzale esterno di carico e transito dei camion si è optato per una soluzione combinata con fibre polimeriche e rete elettrosaldata.

Date le particolari richieste in termini di sollecitazioni sulla pavimentazione, quindi, la soluzione in calcestruzzo fibrorinforzato è stata identificata come la migliore sia in termini realizzativi che prestazionali. Tale tecnologia, ha infatti permesso di garantire un rinforzo tridimensionale nell'intera sezione del pavimento dimezzando le tempistiche di realizzazione delle opere stesse, contenendone lo spessore della stessa pavimentazione e salvaguardando quindi gli aspetti di sostenibilità ambientale.



IL PROGETTO DELLA PAVIMENTAZIONE

Un incarico molto complesso e sfidante ha impegnato il dipartimento tecnico di FIBROCEV.

Ascoltate le esigenze della Committenza, le iniziali richieste progettuali sono state affrontate in modo analitico, olistico e basandosi sul propositivo confronto con lo studio di ingegneria incaricato del calcolo strutturale dell'edificio. A seguito di aggiornamenti e migliorie progettuali, il team di professionisti ha concordato i layout finali delle diverse aree del pavimento fibrorinforzato.

Inoltre, per la realizzazione di una buona pavimentazione industriale, è stata posta particolare attenzione anche al mix design del calcestruzzo, in modo da garantire la corretta integrità della piastra sia durante le prime ore di maturazione del calcestruzzo che per preservarne la vita utile in relazione ai carichi agenti e al ritiro del calcestruzzo stesso.

Oggi, infatti, il progetto di una pavimentazione industriale assume un ruolo sempre più fondamentale in quanto, rispetto al passato, la stessa svolge di fatto la funzione di vera e propria fondazione dovendo sopportare carichi sempre più gravosi sia statici, dati da scaffalature di altezza sempre più importanti, che dinamici, dovuti al passaggio di mezzi di trasporto di grandi dimensioni. Inoltre, le richieste in termini di planarità si sono fatte sempre più stringenti prediligendo, quindi, l'impiego di sistemi quanto più automatizzati e di precisione.

Una non corretta progettazione di una piastra in calcestruzzo può provocare, quindi, danni molto importanti, oltre che da un punto di vista economico, anche e soprattutto per la sicurezza degli utilizzatori finali.

IL MODELLO DI CALCOLO

Il progetto di una pavimentazione industriale si basa sulla schematizzazione della piastra su un supporto continuo, in cui il terreno di sottofondo viene modellato come un insieme di elementi elastici indipendenti (teoria di Winkler).

Vengono quindi inizialmente eseguite le analisi allo Stato Limite di Esercizio (SLE), verificando la deformabilità della piastra al gradiente termico e la fessurazione da ritiro. La verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) della pavimentazione in calcestruzzo fibrorinforzato viene, invece, condotta confrontando il valore di progetto delle azioni sollecitanti con i corrispondenti valori resistenti, ottenuti dalle resistenze residue del calcestruzzo fibrorinforzato secondo il modello di calcolo proposto da Meyerhof e riportato nel documento di progettazione delle pavimentazioni industriali Technical Report 34 verificando, quindi, la piastra in posizione interna, ai bordi liberi e agli angoli liberi (come intersezione tra due pareti o tra giunti metallici di costruzione, angoli di pilastri o di pozzetti interni) i quali risultano essere, come ben noto, le aree più deboli di una pavimentazione.

Le analisi numeriche prevedono l'utilizzo di un legame costitutivo a trazione post-fessurazione determinato sulla base di prove sperimentali sul materiale fibrorinforzato in accordo con la normativa UNI EN 14651. Tale norma prevede lo svolgimento di prove di flessione su tre punti di carico, condotte su elementi intagliati di dimensione 600x150x150mm, mediante i quali è possibile determinare le resistenze post-fessurazione f_{R1} , tipica per le condizioni di esercizio SLE, e f_{R3} , necessaria, invece, per le verifiche allo stato limite ultimo SLU.

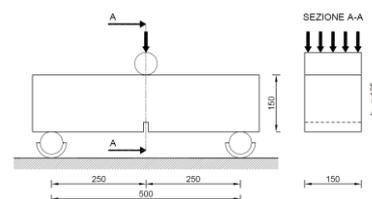


Figura 1.
Prova di trazione per flessione secondo UNI EN 14651

IL PROGETTO DEL MAGAZZINO INTENSIVO

Per garantire le prestazioni richieste e il soddisfacimento delle verifiche ai carichi agenti, il modello di calcolo ha restituito una soluzione progettuale fibrorinforzata considerando l'impiego di un calcestruzzo FRC con l'uso di fibre in acciaio strutturali ad alta resistenza a trazione **FIBRAG® STEEL: F-WG 60/80 SHT**.

Grazie all'elevato grado di miscelabilità e di distribuzione uniforme all'interno della matrice cementizia, le fibre **FIBRAG® STEEL** forniscono, infatti, un eccellente rinforzo tridimensionale della sezione, incrementando la resistenza ultima a trazione del calcestruzzo e controllando in maniera attiva il ritiro igrometrico del calcestruzzo, oltre a garantire una maggiore durabilità delle pavimentazioni stesse.

I getti per la realizzazione della pavimentazione sono stati eseguiti attraverso la fornitura di circa 6.800 mc di calcestruzzo con successiva stesura manuale. I campi giornalieri di getto sono di circa 1.000 mq.

Le fibre



FIBRAG STEEL: F-WG 60/80 SHT

Gruppo (UNI EN 14889-1)	I
Lunghezza (L)	60 mm
Diametro (D)	0,75 mm
Rapporto d'aspetto (L/D)	80
Forma	Uncinata alle estremità
Resistenza a trazione	1.855 N/mm ²
Numerosità	4.800 fibre/kg

AREA	CARICHI	CLS	SPESS.	ARMATURA
PAVIM. INTERNA				
Sottofondo:	UDL 8.000 kg/mq	C30/37	20 cm	Fibre F-WG 60/80 SHT + rete Φ 8/10x10 cm bordi e angoli liberi
Massicciata k = 0.09 N/mm ³	CL 9.000 kg/app			

Tabella 1. Riepilogo della soluzione di progetto. Si riportano sommariamente le principali richieste in termini di carichi limitanti e la relativa soluzione proposta (UDL: uniformly distributed loads, CL: concentrated loads)

IL PROGETTO DELLA CELLA FRIGORIFERA E LE PRESCRIZIONI PER PAVIMENTAZIONI SOGGETTE A BASSE TEMPERATURE

Come è possibile vedere nel dettaglio in **Tabella 2**, il Dipartimento di Progettazione di Fibrocev, ha analizzato nel dettaglio l'area oggetto di intervento, fornendo una specifica soluzione progettuale in funzione della tipologia di sottofondo presente (strato in calcestruzzo + lastre XPS), delle richieste previste in termini di carichi agenti e delle condizioni d'uso future della cella a bassa temperatura.

Dal momento che le celle frigorifere sono locali ben protetti in cui il calcestruzzo non subisce le tradizionali variabili meteo e il calcestruzzo delle piastre è solitamente soggetto a tensioni da flessione-trazione derivanti dal materassino coibente sottostante, per le pavimentazioni di una cella a bassa temperatura si consiglia di considerare uno spessore minimo di almeno 15-18 cm di calcestruzzo e mai inferiore.

Le fibre



FIBRAG POLY: PSF 55-TP

Classe (UNI EN 14889-2)	II
Materiale	Copolimero poliolefinico additivato
Lunghezza (L)	55 mm
Diametro equivalente (Deq)	0,45 mm
Densità	0,91 g/cm ³
Forma	Struttura ritorta
Resistenza a trazione	650 N/mm ²

Grazie alla loro particolare conformazione a trefolo, che garantisce una distribuzione uniforme nel composito cementizio e date le forti sollecitazioni termiche a cui sarà soggetta la pavimentazione durante il suo ciclo di vita, è stata valutata una soluzione in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre **FIBRAG® POLY: PSF 55-TP**, che forniscono un eccellente rinforzo tridimensionale della sezione e controllano in maniera attiva il ritiro igrometrico e la fessurazione del calcestruzzo, garantendo così una maggiore durabilità delle pavimentazioni stesse.

AREA	CARICHI	CLS	SPESS.	ARMATURA
CELLE FRIGORIFERE				Fibre PSF 55-TP
Sottofondo:	UDL 8.000 kg/mq	C30/37	20 cm	+ rete inferiore Ø8/15x15cm su tutta la superficie
Calcestruzzo + lastre XPS k = 0.088 N/mm ³	CL 9.000 kg/app			+ rete superiore Ø8/15x15cm agli angoli liberi

Tabella 2. Riepilogo della soluzione di progetto. Si riportano sommariamente le principali richieste in termini di sottofondo di posa della pavimentazione, i carichi limitanti e la relativa soluzione proposta (UDL: uniformly distributed loads, CL: concentrated loads)

In merito ad una pavimentazione in calcestruzzo di una cella frigorifera è indispensabile, inoltre, prendere in considerazione alcuni aspetti e accorgimenti di fondamentale importanza.

Prima di mettere a regime la cella, infatti, è necessario attendere che il calcestruzzo della pavimentazione disponga di una umidità residua inferiore al 4-7%. Una volta raggiunta l'umidità richiesta, è possibile quindi portare le celle frigorifere a regime lentamente ed in modo progressivo fino a 0°C, conservando tale temperatura per circa 3 giorni. A questo punto, sarà possibile continuare ad abbattere la temperatura di 1-3°C al giorno sino al raggiungimento della temperatura di esercizio richiesta. Tanto più bassa sarà la temperatura inferiore a 0°C, tanto più lenta dovrà essere la messa a regime.

Nel caso di temperature inferiori a -10°C è importante proteggere, inoltre, il pavimento dell'anticella o del corridoio con materiale coibente, dal momento che generalmente il ghiaccio aggredisce le aree prospicienti le aperture della cella stessa, in modo da consentire una manutenzione rapida.

IL PROGETTO DEL PIAZZALE ESTERNO

In merito alla pavimentazione esterna, soggetta ai carichi derivanti dal transito e dalla sosta di autoarticolati e da materiale stoccato direttamente sulla piastra in calcestruzzo, è stata valutata una soluzione considerando il contributo congiunto di fibre polimeriche **FIBRAG® POLY: PSF 55-TP** e di rete elettrosaldata su tutta l'area di intervento. Nella successiva **Tabella 3**, si riportano le principali specifiche di progetto.

AREA	CARICHI	CLS	SPESS.	ARMATURA
PAVIM. ESTERNA				Fibre PSF 55-TP
Sottofondo:	UDL 5.000 kg/mq	C30/37	19 cm	+ rete inferiore Ø6/15x15cm su tutta la superficie
Massicciata k = 0.09 N/mm ³	DL 12.000 kg/asse			

Tabella 3. Riepilogo della soluzione di progetto. Si riportano sommariamente le principali richieste in termini di sottofondo di posa della pavimentazione, i carichi limitanti e la relativa soluzione proposta (UDL: uniformly distributed loads, DL: dynamic loads/autoarticolati su ruote)

CONCLUSIONI

Il progetto di una pavimentazione industriale è, al giorno d'oggi, un requisito fondamentale per la buona riuscita dell'opera e il punto di partenza per realizzare un lavoro controllato in ogni sua fase.

Le tecnologie messe a disposizione per conferire al calcestruzzo doti di elevata qualità e durabilità hanno reso possibile un nuovo e radicale cambiamento sia della progettazione sia nei tempi di realizzazione della pavimentazione industriale, permettendo di creare strutture con un elevato impatto estetico più performanti, più funzionali e con diminuzione dei costosi cicli di manutenzione.

Ciò permette di rispettare pienamente le ambiziose aspettative della Committenza, in quanto una soluzione in calcestruzzo fibrorinforzato FRC si dimostra sia tecnicamente molto valida, ma soprattutto economicamente vincente e vantaggiosa.

I vantaggi con l'uso delle fibre FIBRAG® STEEL: F-WG 60/80 SHT FIBRAG® POLY: PSF 55-TP

I vantaggi di un calcestruzzo fibrorinforzato FRC per la realizzazione di una pavimentazione industriale sono molteplici e possono essere così riassunti:

- ✓ **Riduzione** dei tempi di posa del calcestruzzo
- ✓ **Elevate resistenze** residue del calcestruzzo
- ✓ **Contrasto** dei fenomeni di **ritiro** del calcestruzzo
- ✓ **Maggior resistenza** ai carichi dinamici e statici
- ✓ **Maggior resistenza** all'impatto e alla caduta dei materiali
- ✓ **Maggior durabilità** della pavimentazione
- ✓ **Maggior resistenza** agli sbalzi termici della pavimentazione
- ✓ **Omogeneità delle prestazioni** in tutta l'altezza della sezione

LE FASI DI REALIZZAZIONE DELL'OPERA



Figura 2. Fasi di getto della pavimentazione fibrorinforzata con FIBRAG® STEEL: F-WG 60/80 SHT e ausilio di autopompa



Figura 3. Fasi di getto della pavimentazione fibrorinforzata con FIBRAG® STEEL: F-WG 60/80 SHT



Figura 4. Fasi di getto della pavimentazione fibrorinforzata con FIBRAG® STEEL: F-WG 60/80 SHT



Figura 5. Fasi di getto della pavimentazione fibrorinforzata con FIBRAG® STEEL: F-WG 60/80 SHT e ausilio di autopompa



Figura 6. Particolare della cura adottata in fase di realizzazione di giunti di controllo in prossimità di elementi di discontinuità



Figura 7. Vista della pavimentazione ultimata

LA MISSION



Massima Professionalità

da parte di tutto il Team, formato da tecnici specializzati con approfondita formazione ed esperienza nel settore



Aggiornamento Continuo

in modo da offrire sempre la migliore soluzione innovativa e più vantaggiosa da un punto di vista tecnico ed economico



Ricerca & Sviluppo

grazie al laboratorio mobile e presso il laboratorio interno Fibrocev, per un continuo controllo e sviluppo della tecnologia FRC



Supporto al Cliente

continuo e costante, sostenendolo in ogni fase dell'opera e supportandolo nelle scelte più opportune



Rapidità di Risposta

e massima disponibilità, in modo da garantire i tempi previsti di consegna di progetto e operativi di cantiere



Sopralluoghi in Cantiere

costanti durante ogni fase dell'opera, per un supporto continuo al Cliente