Dott. Roberto Grillenzoni

Technical Manager GARC SPA

Dott. Ing. Fulvio Beretta C.E.O. STRUCTURAMA

Dott. Ing. Marco Brambilla Technical Manager FIBROCEV SRL

Ing. Oscar IseppiProject Manager
FLORIM CERAMICHE SPA







Pavimentazioni in calcestruzzo fibrorinforzato per la nuova Fabbrica 4.0 per le grandi lastre FAORIM CERAMICHE S.p.A.

Un investimento da 70 milioni di euro volto alla costruzione di un nuovo sito da 56.000 metri quadri con le più moderne tecnologie produttive in grado di dialogare tra loro.

La superficie complessiva di 56.000 metri quadri di pavimentazioni in calcestruzzo è stata rinforzata con fibre strutturali in acciaio FIBROCEV - FIBRAG® STEEL.

Un investimento da **70 milioni di euro** volto alla costruzione di un nuovo sito da **56 mila metri quadri** con le più moderne tecnologie produttive in grado di dialogare tra loro. Sfida vinta dalla **GARC SPA** di Carpi (MO), che in soli 6 mesi ha portato a termine la commessa.

Tutta la commessa, progettazione preliminare definitiva ed esecutiva con modellazione delle parte strutturale, è stata **modellata attraverso BIM** dalla società di **Ingegneria STRUCTURAMA SRL** e porta la firma dell'**Ing. Fulvio Beretta**.

800 pali funzionali all'antisismica sono stati posizionati per sorreggere uno stabilimento **100% FLORIM** per aspetti innovativi ed estetici. Un nuovo impianto di cogenerazione aiuterà ad alimentare lo stabilimento con l'autoproduzione di energia elettrica, in ottica di sostenibilità ambientale.

L'intervento ha avuto come oggetto la realizzazione delle pavimentazioni della zona produzione, stoccaggio e movimentazione delle grandi lastre.

Abbiamo posto particolare attenzione al **progetto della sezione** delle pavimentazioni, in quanto, sia a causa dei rigidi requisiti richiesti dai carichi agenti ma anche delle particolari condizioni al contorno, è stato necessario eseguire delle **analisi sezionali non lineari e calcolo dell'apertura di fessurazione.**

L'analisi non lineare per il calcolo della sezione della pavimentazione è stata dettata dal fatto che l'appoggio della stessa è avvenuto sia su zone rigide (fondazione su pali) sia su zone con appoggio su suolo elastico (appoggio su terreno).

In collaborazione con l'ufficio tecnico della **GARC** e il team di Ingegneri della **STRUCTURAMA** abbiamo progettato accuratamente la pavimentazione, sia per gli **Stati Limite Ultimi** che per gli **Stati Limite di Esercizio**, stimando accuratamente le tensioni massime attese.



I passi della realizzazione del nuovo polo FLORIM di Mordano (BO)



2 Aprile

Realizzazione pali di fondazione

4 MaggioMontaggio struttura
prefabbricata





11 GiugnoMontaggio struttura prefabbricata

23 Agosto

Completamento montaggio struttura prefabbricata e realizzazione pavimentazioni









Progetto della pavimentazione

I carichi

Nel progetto della pavimentazione sono stati considerati i seguenti carichi:

- CARICHI STATICI

Carico uniformemente distribuito	10.000 kg/m ²
Scaffalature fisse	50 KN/appoggio

- CARICHI DINAMICI

LGV	52,73 KN/ruota

Il calcestruzzo

Per il progetto della pavimentazione è stata posta particolare attenzione al mix design del calcestruzzo, per garantire la corretta integrità della pavimentazione sia durante le prime ore di maturazione del calcestruzzo, che per preservarne la vita utile in relazione ai carichi agenti.

Nello specifico, è stato utilizzato un calcestruzzo cosi definito:

Calcestruzzo	C28/35
Classe di esposizione	XC3
Rapporto a/c	0,55
Classe di consistenza	S4

CARICHI STATICI



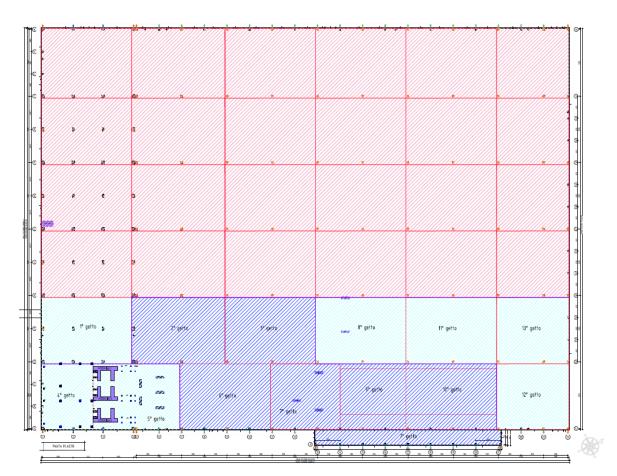
Scaffalature fisse stoccaggio lastre

CARICHI DINAMICI



Laser Guided Vehicles (LGV)

I campi di getto – Campi da 1400 mq/giorno





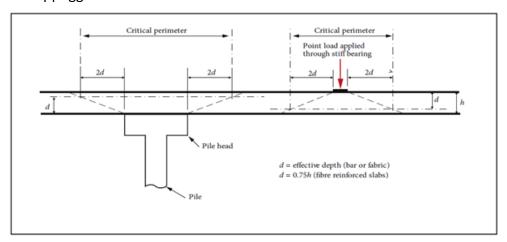




Modello di calcolo pavimentazione

Per le aree in prossimità delle fondazioni su pali, è stato necessario adottare un metodo di calcolo che tenesse in considerazione la rigidezza dell'appoggio della lastra in calcestruzzo.

In particolare nella figura successiva vengono riportati i due casi di calcolo: il primo dove la lastra è contrastata dalla fondazione su pali e quindi su appoggio infinitamente rigido, mentre il secondo caso, prevedeva la piastra appoggiata su suolo elastico.



Il progetto della piastra allo Stato Limite Ultimo (SLU) si basa sulla teoria delle linee di rottura (Yeld Line Theory), che richiede un'adeguata duttilità per assumere comportamenti plastici.

Per il calcolo allo **Stato Limite di Esercizio (SLE)**, è stata eseguita un'analisi sezionale non lineare con calcolo dell'apertura di fessurazione.

Il calcolo dell'apertura di fessura è svolto in accordo all'equazioni 7.7-22, 7.7-23 e 7.7-23 del Model Code 2010. L'approccio adottato da tale codice è quello di modificare il modello consolidato del tension stiffening. Detto ciò, nel caso specifico di struttura in cemento armato fibrorinforzato, è determinante conoscere con una stima accurata il valore di tensione dell'armatura. Noto questo valore è possibile stimare l'apertura di fessura.

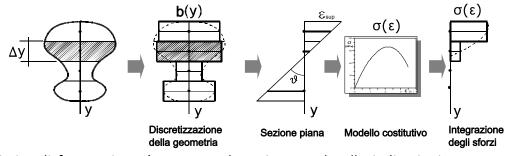
A tale scopo è necessario svolgere analisi sezionali non lineari, mantenendo l'ipotesi di sezioni piane ottenendo dei diagrammi momento-curvatura $M=M(\theta)$, in questo modo è possibile determinare compiutamente il contributo resistente offerto dalla presenza del fibrorinforzo.

La determinazione del diagramma momento-curvatura $M=M(\theta)$ è stata ottenuta per integrazione numerica delle tensioni sulla sezione.

L'analisi prevede l'assunzione di un modello cinematico alla Eulero-Bernulli, la sezione resta dunque piana ed il diagramma delle deformazioni è lineare sulla sezione. Si ammette l'ipotesi di perfetta aderenza.

Si ipotizza la divisione della geometria della sezione del calcestruzzo in n strisce di altezza Δ_v , approssimando dunque la sezione con un insieme di rettangoli di altezza costante e larghezza variabile.

La risoluzione del problema non lineare con riferimento alla generica sezione qui sotto riportata, per un assegnato assetto deformativo definito dalla dilatazione ε_{sup} al lembo superiore e della curvatura θ , determina il momento corrispondente alla curvatura presa in considerazione.



La scelta del limite di fessurazione è stata condotta in accordo alle indicazioni contenute nel paragrafo 4.1.2.2.4 del DM 2008. In particolare essendo le armature poco sensibili

e le condizioni ambientali ordinarie,

il limite di fessurazione, è pari a w₂=0.3mm.





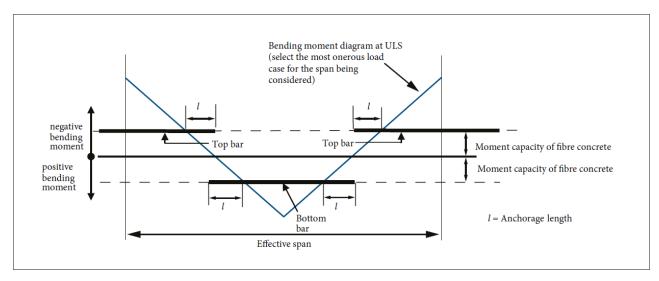
Tipologia strutturale

Viste le particolari tolleranze richieste per la logistica dello stabilimento, la scarsa portanza del sottofondo verificato con prove geotecniche e geologiche e la presenza delle fondazioni su pali, il modello di calcolo impiegato ha restituito la seguente soluzione progettuale:

armatura delle lastre in calcestruzzo di spessore pari a 25cm mediante l'utilizzo di rete elettrosaldata φ10 con maglia 200 x 200 mm a cui sono state aggiunte delle fibre in acciaio **FIBRAG® STEEL: F-DUE 44/45 MT** con dosaggio di 30 Kg/m³. La rete elettrosaldata è stata posta a 5 cm dal sottofondo nel caso di piastra appoggiata su suolo elastico, mentre in prossimità delle fondazioni su pali fino ad una distanza di 50cm, è stata posata superiormente, garantendo il copriferro, allo scopo di assorbire le trazioni derivanti dai momenti negativi. Tutte le verifiche dei momenti sia positivi che negativi sono state condotte integrando il contributo delle fibre di acciaio e la rete elettrosaldata.

Le fibre di acciaio strutturali **FIBRAG® STEEL: F-DUE 44/45 MT**, grazie all'elevato grado di adesione, interazione e di distribuzione uniforme all'interno della matrice cementizia, forniscono un eccellente rinforzo tridimensionale della sezione, incrementando le resistenze residue a trazione del calcestruzzo.

L'unicità della geometria delle fibre **FIBRAG®**, ha garantito un'elevata miscelabilità nella matrice cementizia, senza creare né effetti di "balling" né affioramenti delle stesse fibre sulla superficie della pavimentazione.





Vantaggi con l'utilizzo delle fibre di acciaio FIBROCEV

- ✓ diminuzione 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 durabilità della pavimentazione
- ✓ omogeneità delle prestazioni in tutta l'altezza della sezione







Le fasi della realizzazione delle pavimentazioni

La realizzazione delle pavimentazioni sono state eseguite attraverso la posa meccanizzata del calcestruzzo per un totale di circa 14.000 mc.





Impianto di calcestruzzo di Imola

Le fibre di acciaio sono state aggiunte in betoniera presso l'impianto di calcestruzzo che dista circa 20min dal cantiere, per garantire una miscelazione uniforme delle stesse.

Il Mix Design

Additivi e aggiuntivi impiegati

additivo superfluidificante specifico per il calcestruzzo destinato alle pavimentazioni industriali 1% in volume

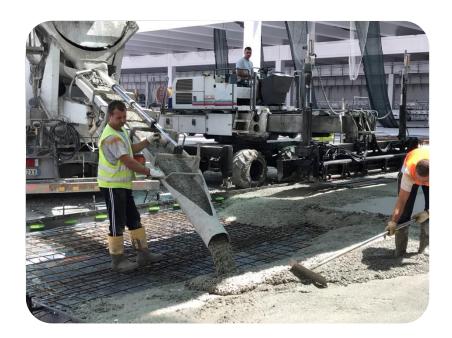






Realizzazione fondazioni speciali

Getto del calcestruzzo e posa meccanizzata











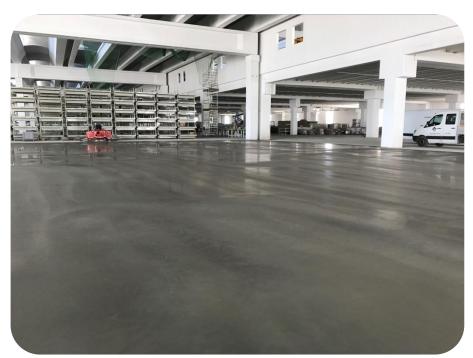




Lavorazioni superficiali sulla pavimentazione



Trattamento superficiale consolidante ai Silicati di Litio











Pavimentazione finita





Particolare LGV





Dati generali dell'opera

COMMITTENTE

FLORIM CERAMICHE S.p.A.

Ing. Oscar Iseppi – Project Manager FLORIM SPA

MAIN CONTRACTOR

GARC S.p.A.

Dott. Roberto Grillenzoni – *Technical Manager*

PROGETTISTA OPERE STRUTTURALI E PAVIMENTAZIONI

STRUCTURAMA

Dott. Ing. Fulvio Beretta – CEO

PAVIMENTAZIONE

FIBROCEV SRL

Dott. Ing. Marco Brambilla - Technical Manager-R&D







PAVIMENTAZIONE

Superficie 56.000 mq

Spessore 25 cm

Calcestruzzo C28/35

Classe di consistenza S4

Armatura fibre FIBRAG® STEEL: F-DUE 44/45 MT

Campi di getto giornalieri 1430 m²

Giunti di controllo 6,00 m x 6,00 m

