



LOG
LOGISTICS & MARITIME FORUM
European trends and regional perspectives

15-16 February 2017 Piacenza Expo

PIATTAFORME LOGISTICHE IN SFRC

l'impiego di calcestruzzi fibrorinforzati con fibre di acciaio (SFRC) nelle pavimentazioni ad uso logistico garantisce una vita utile duratura ed operazioni sicure ed efficienti

Relatore:

Dott. Ing. Christian Pierini – Libero Professionista



perazzini & pierini
studio associato di ingegneria

Via Eugenio Curiel, 38 - cap 47922 – Rimini (RN)

Tel. (+39) 0541-734.573 – Fax. (+39) 0541-449.014

E.mail: info@perazziniepierini.com

Web site: www.perazziniepierini.com



Perazzini & Pierini Studio Associato di Ingegneria

ATTIVITA' SVOLTE:

- *Progettazione e direzione lavori di strutture civili ed industriali*
- *Progettazione di strutture prefabbricate*
- *Riabilitazione strutturale*
- *Consulenza alle aziende del settore*

Cenni sul calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio (SFRC)

- **SFRC = Steel Fibres Reinforced Concrete**
 - E' un **materiale composito** costituito da calcestruzzo rinforzato da fibre d'acciaio diffuse omogeneamente nella matrice cementizia;
 - L'aggiunta di fibre metalliche incrementa la **ductilità** e la **tenacità** del calcestruzzo conferendogli una maggiore capacità resistente in fase plastica (post-fessurazione);
 - La maggiore tenacità è determinata dalla capacità del calcestruzzo fibrorinforzato di assorbire e di ridistribuire gli sforzi su tutta la sezione, incrementando quindi la capacità portante del sistema;
 - Grazie alle proprietà meccaniche ed ai vantaggi economici del calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio, stiamo assistendo in questi ultimi anni ad un forte incremento di questa tecnologia a livello mondiale, e si aprono nuove interessanti possibilità di applicazione;
 - I settori dove questa tecnologia è maggiormente applicata sono: **le pavimentazioni industriali, la prefabbricazione, l'edilizia civile.**

Cenni sul calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio (SFRC)



FIBRE METALLICHE

MATRICE FIBRORINFORZATA



PAVIMENTAZIONE FIBRORINFORZATA



Cenni sul calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio (SFRC)

□ **Vantaggi del SFRC**

- Sostituzione o riduzione dell'armatura tradizionale
- Riduzione dei costi relativi alla manodopera
- Riduzione delle problematiche relative al corretto posizionamento delle armature (copriferri, sovrapposizioni, distanziatori, ecc...)
- Miglior comportamento alla fessurazione
- Maggior durabilità (degrado delle armature con espulsione del copriferro)
- Maggiore resistenza agli urti e all'abrasione
- Migliore resistenza alla fatica

Quadro normativo

□ Normative per la Definizione del Materiale

- **UNI 11037:2003** Fibre di acciaio da impiegare nel conglomerato cementizio rinforzato;
- **UNI U73041440** Progettazione, esecuzione e controllo degli elementi strutturali in calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio;
- **UNI 11039-1:2003** Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio: definizioni, classificazione e designazione;
- **UNI 11039-2:2003** Calcestruzzo rinforzato con fibre d'acciaio: Metodo di prova per la determinazione della resistenza di prima fessurazione e degli indici di duttilità;
- **UNI EN 14889-1:2006** Fibers for concrete: definitions, specifications and conformity;
- **UNI EN 14651:2007** Test method for metallic fibered concrete;
- **Rilem TC 162** Test and design methods for steel fiber reinforced concrete.

Quadro normativo

□ Normative per la Progettazione

□ D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”

- Par. 4.6 Costruzioni di altri materiali: *“I materiali non tradizionali o non trattati nelle presenti norme tecniche potranno essere utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali od opere, previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ...”*. *“Si intende qui riferirsi a materiali quali (...) calcestruzzi fibrorinforzati...”*.
- Cap. 12: *“Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti (**Eurocodici, Norme UNI EN armonizzate, Norme UNI per prove**). Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità (**Istruzioni CSLLP, Linee Guida STC, Istruzioni CNR**). Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche”*.

Quadro normativo

□ Normative per la Progettazione

□ Revisioni delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”

- Par. 11.2.12. Calcestruzzo fibrorinforzato (FRC): *“Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) è caratterizzato dalla presenza di fibre discontinue nella matrice cementizia; tali fibre possono essere realizzate in acciaio o in materiale polimerico e devono essere marcate CE in accordo alle norme europee armonizzate, quali la UNI EN 14889-1 ed UNI EN 14889-2 per le fibre realizzate in acciaio o materiale polimerico. La miscela di calcestruzzo fibrorinforzato deve essere sottoposta a valutazione preliminare secondo le indicazioni riportate nel precedente § 11.2.3 con determinazione dei valori di resistenza a trazione residua f_{R1k} per lo Stato Limite di Esercizio e f_{R3k} per lo Stato Limite Ultimo determinati secondo le UNI EN 14651:2007. Per la qualificazione del calcestruzzo fibrorinforzato e la progettazione delle strutture in FRC si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizioni emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.”*

Quadro normativo

□ Normative per la Progettazione

□ CNR-DT 204/2006 “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato”

- Materiali e Concetti basilari di progetto;
- Verifiche SLU e SLE, Resistenza al fuoco;
- Esecuzione e Collaudo.

□ CNR-DT 211/2014 “Istruzioni per la Progettazione, l’Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo”

- Classificazione delle pavimentazioni;
- Massicciata e Sottofondo;
- Materiali;
- Criteri di progettazione e Progettazione dei giunti;
- Verifiche SLU e SLE;
- Esecuzione, Indagini e controlli, Piano di Uso e Manutenzione.

Quadro normativo

□ Nuovi Codici Europei

□ fib Model Code for Concrete Structures 2010

- Par. 5.6 Fibres/fibre reinforced concrete: proprietà del materiale, classificazione della resistenza post-fessurazione, leggi e diagrammi costitutivi, coefficienti parziali di sicurezza, fattore di orientamento;
- Par. 7.7 Verification of safety and serviceability of FRC structures: classificazione dei sistemi strutturali, principi di progettazione, verifiche di sicurezza SLU, verifiche in esercizio SLE

Materiali: Fibre di acciaio

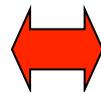
LE FIBRE D'ACCIAIO

- Le fibre d'acciaio sono disponibili di diversi formati, di diverse forme e di diverse qualità.

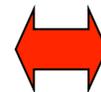


- Di conseguenza il dosaggio necessario per soddisfare determinati requisiti strutturali e di progetto deve essere relazionato alle **prestazioni che la fibra conferisce al composito.**

tipo fibra



dosaggio



prestazioni

Resistenza a trazione
e a flessione

Materiali: Fibre di acciaio

MARCATURA CE (UNI EN 14889-1)

Classe 1

Differenze tra classe 1 e classe 3

Classe 3

Campo di applicazione

Uso strutturale

“Uso strutturale delle fibre è dove l’aggiunta delle fibre è progettata per contribuire alla capacità portante di un elemento in calcestruzzo” (Copyright EN 14889-1)

Uso non strutturale

Controllo di Qualità

Test iniziale tipo (ITT) sotto la responsabilità di un Istituto di Certificazione;

Test Iniziale e **Annuale**: Controllo di Produzione (FPC) verificato da un **Istituto di Certificazione CE**

Istituto di Certificazione CE → **“Certificato di Conformità”**

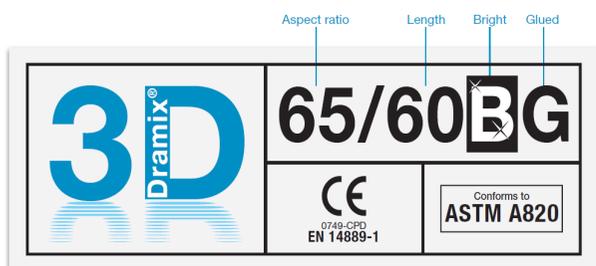
Test Iniziale Tipo da Laboratorio Certificato

Controllo di Produzione (FPC) sotto la responsabilità del **produttore**

Il produttore crea e firma una **Dichiarazione di Conformità**

Materiali: Fibre di acciaio

DRAMIX® 3D



Tensile strength: $R_{m,nom}$: 1.160 N/mm²
Tolerances: $\pm 7,5\%$ Avg
Young's Modulus: ± 210.000 N/mm²

Geometry

Fibre family

3D



Length (l)

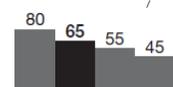
60 mm



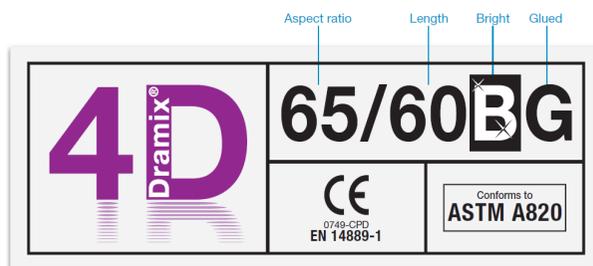
Diameter (d) 0,90 mm



Aspect ratio (l/d) 65



DRAMIX® 4D



Tensile strength: $R_{m,nom}$: 1.500 N/mm²
Tolerances: $\pm 7,5\%$ Avg
Young's Modulus: ± 210.000 N/mm²

Geometry

Fibre family

4D



Length (l)

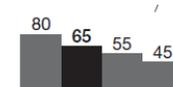
60 mm



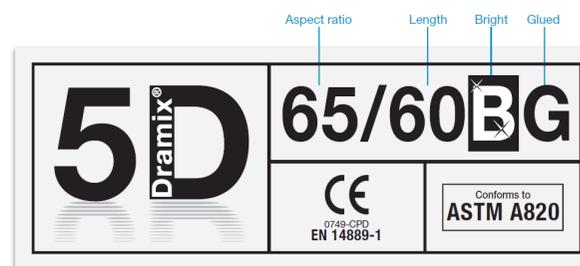
Diameter (d) 0,90 mm



Aspect ratio (l/d) 65



DRAMIX® 5D



Tensile strength: $R_{m,nom}$: 2.300 N/mm²
Tolerances: $\pm 7,5\%$ Avg
Young's Modulus: ± 210.000 N/mm²
Wire ductility: Ag+e = 6%

Geometry

Fibre family

5D

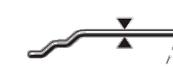


Length (l)

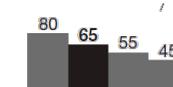
60 mm



Diameter (d) 0,90 mm



Aspect ratio (l/d) 65



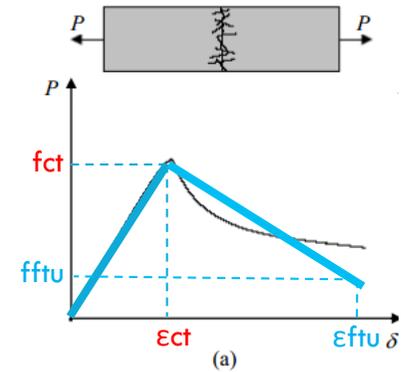
Materiali:

confronto con le fibre polimeriche

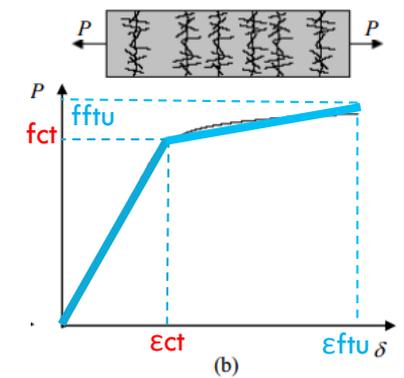
□ **Fibre per uso strutturale**

- Uso strutturale: l'aggiunta di fibre è progettata per contribuire alla capacità portante dell'elemento
- Le fibre di acciaio sono più efficaci come rinforzo strutturale del calcestruzzo rispetto alle fibre polimeriche per le seguenti ragioni:
 - Le fibre polimeriche fondono a 165°C e iniziano a perdere le loro prestazioni meccaniche a 50°C
 - Il modulo di Young è pari a 3-10 GPa, insufficiente per rinforzare il calcestruzzo avente modulo pari a 30 Gpa
 - Le macrofibre sono soggette allo scorrimento viscoso: a temperatura ambiente (tra i -20°C e i 165°C) il polipropilene/polietilene è viscoelastico e presenta fenomeni di scorrimento viscoso significativi
 - Presentano problemi di durabilità nel tempo in quanto soggetti a degradazione UV

Comportamento meccanico



COMPORTAMENTO DEGRADANTE
(BASSO CONTENUTO DI FIBRE)



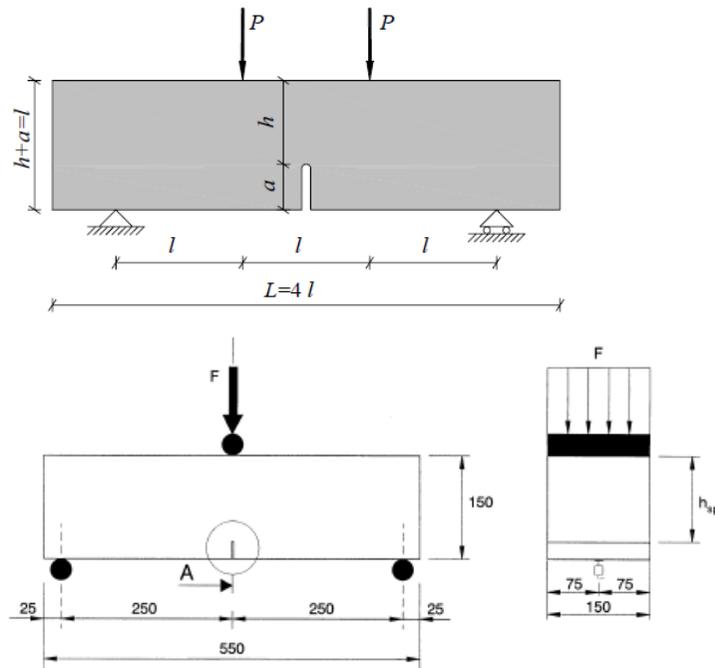
COMPORTAMENTO INCRUDENTE
(ALTO CONTENUTO DI FIBRE)

Esempio di progettazione con SFRC: caratterizzazione del materiale

□ Comportamento a trazione

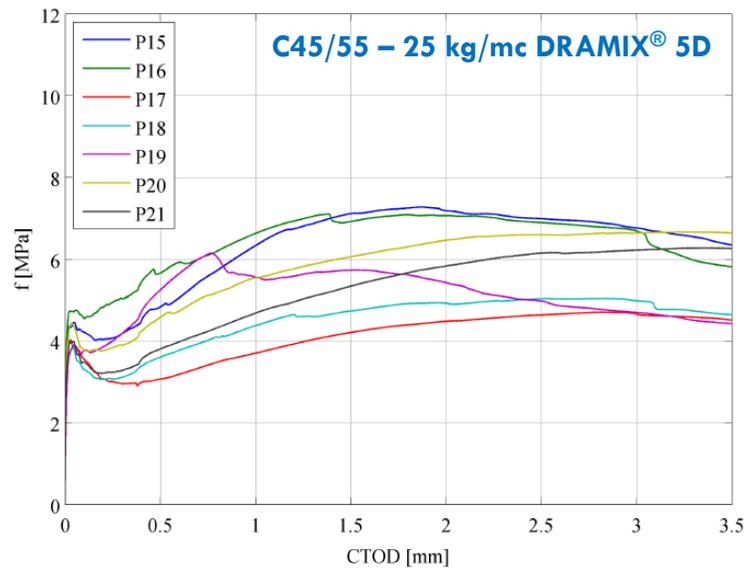
□ Prova a flessione su provino intagliato

- UNI 11039 (CNR-DT 204/2006) Prova a flessione a 4 punti
- EN 14651 (CNR-DT 211/2014) Prova a flessione a 3 punti

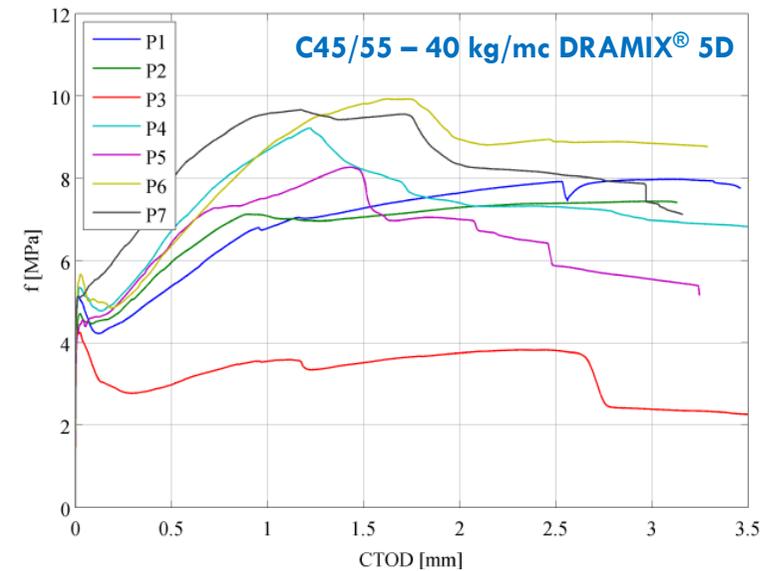


Esempio di progettazione con SFRC: caratterizzazione del materiale

□ Esempi di curve sperimentali (UNI 11039)



Codice provino	f_{IF} [MPa]	CTOD _{m,IF} [μm]	$f_{eq(0-0.6)}$ [MPa]	$f_{eq(0.6-3.0)}$ [MPa]	f_1 [MPa]	f_2 [MPa]	D_0 [-]	D_1 [-]
P15	4.3	23	4.4	6.8	5.2	6.8	1.02	1.53
P16	4.7	23	5.2	6.8	5.9	6.6	1.10	1.31
P17	4.0	25	3.2	4.3	3.2	4.6	0.79	1.34
P18	4.0	24	3.4	4.7	3.8	5.0	0.85	1.40
P19	3.7	25	4.5	5.4	5.7	4.7	1.21	1.20
P20	4.4	25	4.2	6.1	4.8	6.6	0.95	1.48
P21	4.0	24	3.5	5.5	4.0	6.2	0.89	1.55
Media	4.2	24	4.1	5.7	4.7	5.8	0.97	1.40
s	0.3	0.9	0.7	1.0	1.0	1.0	0.15	0.13
Val. caratteristico	3.5	-	2.5	3.6	2.6	3.7	0.67	1.14



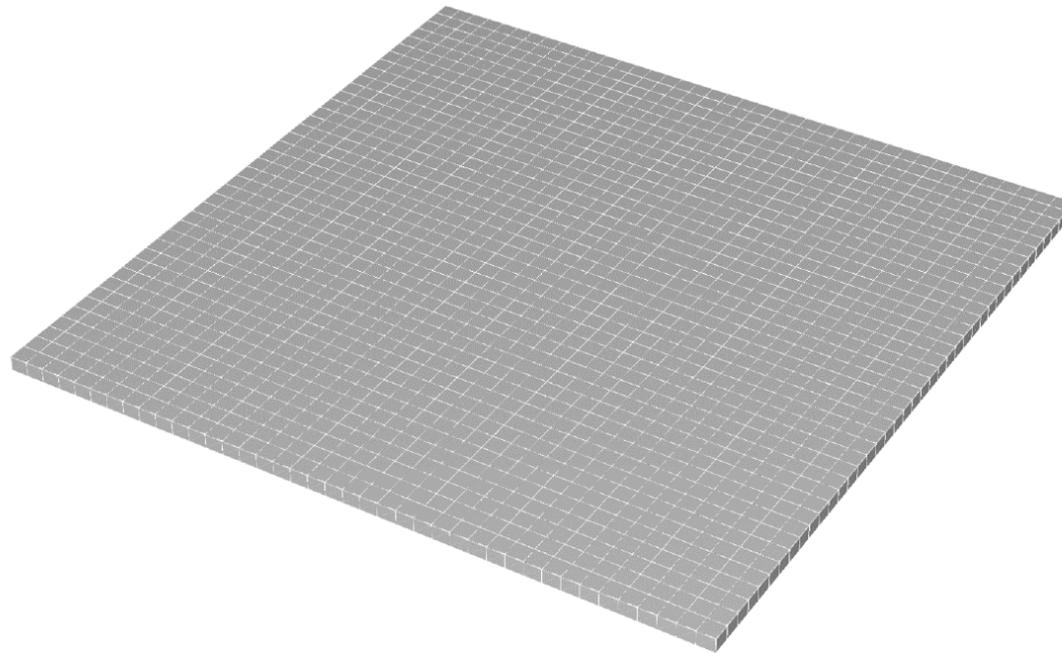
Codice provino	f_{IF} [MPa]	CTOD _{m,IF} [μm]	$f_{eq(0-0.6)}$ [MPa]	$f_{eq(0.6-3.0)}$ [MPa]	f_1 [MPa]	f_2 [MPa]	D_0 [-]	D_1 [-]
P1	5.1	13	4.9	7.4	5.8	8.0	0.95	1.51
P2	4.7	24	5.3	7.2	6.4	7.4	1.12	1.36
P3	4.3	22	3.0	3.5	3.2	2.4	0.72	1.13
P4	5.3	22	5.8	7.8	7.3	7.0	1.09	1.34
P5	4.4	25	5.6	6.9	7.0	5.5	1.25	1.24
P6	5.7	25	5.6	9.0	7.0	8.8	1.00	1.60
P7	5.1	14	6.8	8.8	8.6	7.4	1.33	1.29
Media*	5.1	21	5.7	7.8	7.0	7.4	1.12	1.39
σ*	0.4	6	0.6	0.9	0.9	1.1	0.14	0.14
Val. caratteristico*	4.1	-	4.3	6.0	5.0	5.0	0.81	1.09

*I risultati del provino P3 non sono stati utilizzati per il calcolo della media e dello scarto tipo dei campioni perché ritenuti anomali, pertanto per il calcolo dei valori caratteristici è stato considerato un numero di risultati sperimentali pari a 6.

Esempio di progettazione con SFRC: modellazione della struttura

MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI (FEM)

- MODELLO DI CALCOLO ELASTICO-LINEARE
- ANALISI LINEARE STATICA
- SCHEMA STATICO: PIASTRA SU SUOLO ELASTICO ALLA WINKLER



Modello tridimensionale agli Elementi Finiti.

Esempio di progettazione con SFRC: verifiche SLU e SLE

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

- VERIFICA A FLESSIONE
- VERIFICA A PUNZONAMENTO

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

- VERIFICA DI DEFORMABILITA'
- VERIFICA DI FESSURAZIONE
- LIMITAZIONE DELLE TENSIONI IN ESERCIZIO
- VALUTAZIONE DELLE TENSIONI DI TRAZIONE DOVUTE AL RITIRO DEL CALCESTRUZZO PER LA DETERMINAZIONE DEI GIUNTI DI CONTRAZIONE

Esempio di progettazione con SFRC: verifiche SLU e SLE

SOFTWARE PER IL CALCOLO DI SEZIONI IN CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO CON FIBRE DI ACCIAIO (SFRC)



www.diacalcsoftware.com

- VERIFICA DI SEZIONI IN CALCESTRUZZO CON ARMATURE TRADIZIONALI
- VERIFICA DI SEZIONI IN CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO
- VERIFICA DI SEZIONI IN CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO CON ARMATURE TRADIZIONALI

REFERENZE: Industrial flooring



AMAZON (UK) 77.000 m² Jointless

REFERENZE: Industrial flooring



B&Q DISTRIBUTION CENTER (UK) - 72.000 m²

REFERENZE: Industrial flooring



DECATHLON (F) - 30.000 m² Jointless

REFERENZE: Industrial flooring



DEICHMANN (SK) - 5.000 m² Jointless

REFERENZE: Industrial flooring



EUROGLASS (PL) - 67.000 m² Jointless

REFERENZE: Industrial flooring



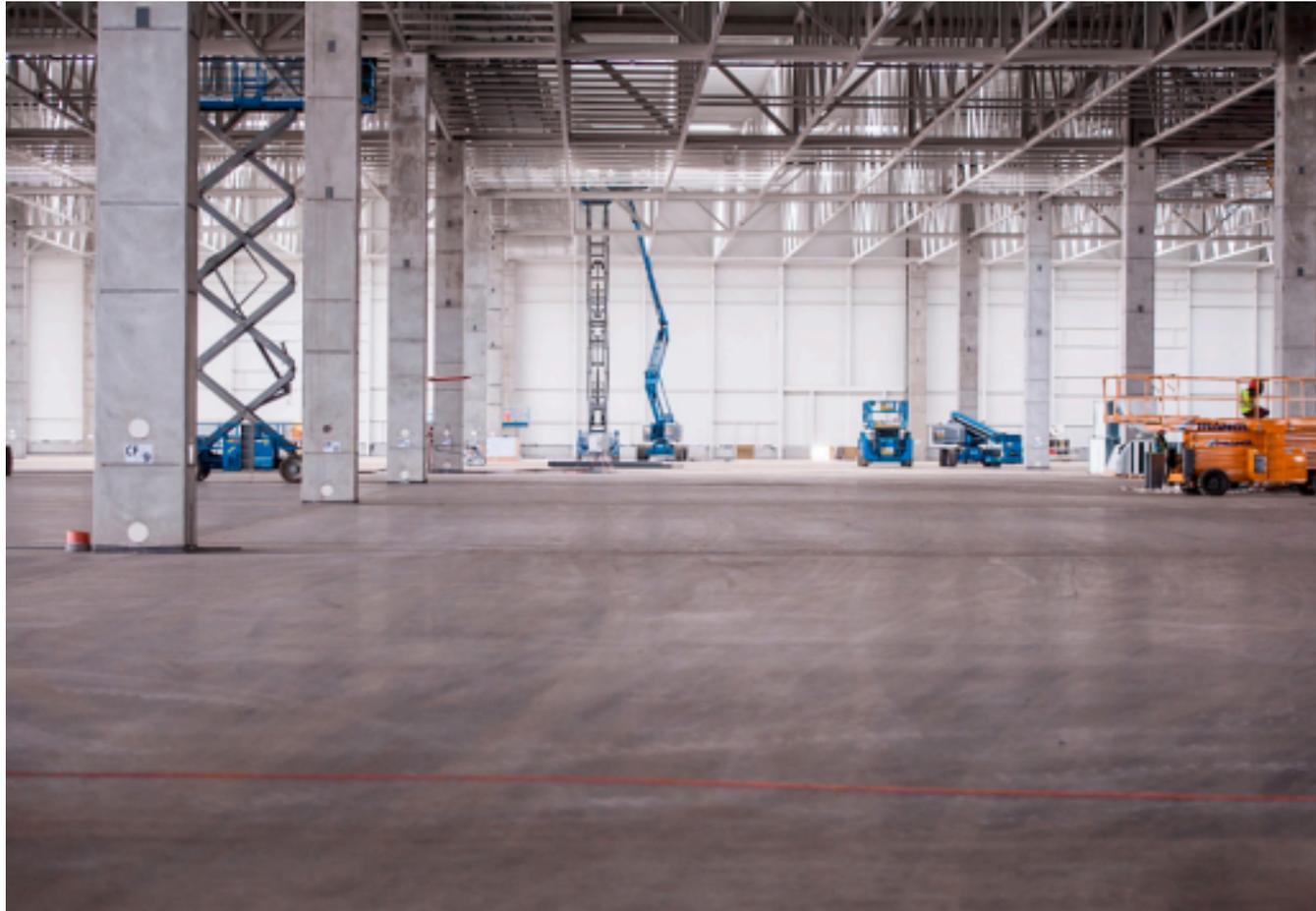
LIDL Magazzino Centrale (D) - 30.000 m² Jointless

REFERENZE: Industrial flooring



LIEBHERR (F) - 15.000 m² Jointless

REFERENZE: Industrial flooring



VOLKSWAGEN (D) - 105.000 m² Jointless

REFERENZE: Combi Slab Seamless floor 4D[®]



TAKATA (HU) 48.000 m² ; CW < 0,2mm

REFERENZE: Combi Slab Seamless floor **4D**

Dramix®
4D



6.400 m² ; CW < 0,3mm

REFERENZE: Floors on piles



SCHIPHOL AIRPORT (NL) - 18.000 m²

REFERENZE: Floors on piles



GIANT DISTRIBUTION CENTER (Malaysia) - 14.400 m²

REFERENZE: Floors on piles



TOYOTA WAREHOUSE (UK) - 40.000 m²



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Relatore:

Dott. Ing. Christian Pierini – Libero Professionista