

RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITÀ

Brescia, 16 novembre 2023

Aula Magna Ingegneria - Università di Brescia (UniBs)

Organizzato da:



Associazione italiana
cemento armato e
precompresso



Collegio dei
Tecnici della
industrializzazione
Edilizia



Società
Italiana
Gallerie
Italian Tunnelling Society

Con il patrocinio di:



Media Partner:



Foto credit: Ghella | cantiere Legacy Way di Brisbane, Australia

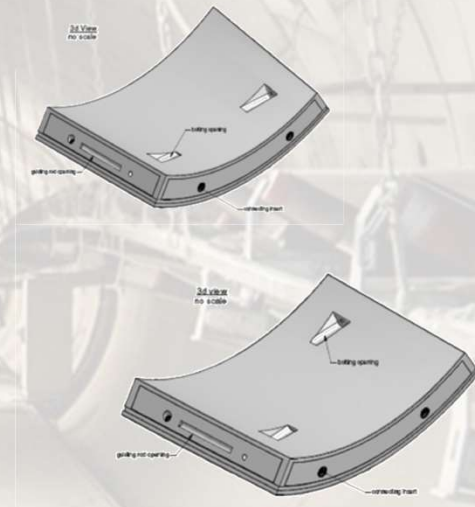
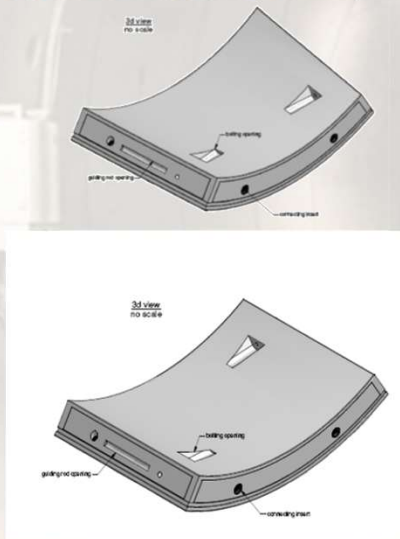
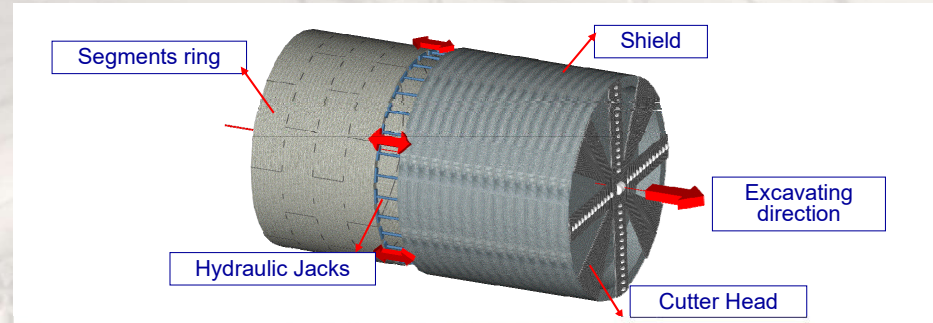


RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM
INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'

LOW CARBON PRECAST SEGMENT USING FRC

MIGLIORARE LA SOSTENIBILITA' AMBIENTALE NELLA PRODUZIONE DEI
CONCI PREFABBRICATI UTILIZZANDO CALCESTRUZZO FIBRO RINFORZATO
FRC

**E' IN ATTO UNA TRASFORMAZIONE SIGNIFICATIVA NEL MODO DI PROGETTARE E REALIZZARE LE GALLERIE
SEMPRE PIU TUNNEL VERRANNO REALIZZATI UTILIZZANDO LO SCAVO MECCANIZZATO CON TBM**



POSSIAMO ANCHE DEFINIRE IN CRESCITA ANCHE L'UTILIZZO DEL FRC PER IL RINFORZO DEI CONCI PREFABBRICATI

I vantaggi del SFRC



Key Underground projects from more 300



pioneering

innovating

expanding

recognition

new design codes

transforming

1990

Munich Water Tunnel, Germany

- Contractor: Bilfinger und Berger
- Designer: C.V. Buchan
- Owner: Munich City Works
- Fiber type: Dramix® RC80/60BN
- Length: 11.8 km
- Diameter: 2.2 m
- Thickness: 180 mm
- Concrete class: C45

- All start from Heathrow baggage

2003

CTRL (Channel Tunnel Rail Link), UK

- Client: RLE (Rail Link Engineering Ltd.
- Designer: Ove ARUP & partners
- Fiber type: Dramix® RC80/60BN
- Length: 40 km
- Diameter: 7,15 m
- Thickness: 35 cm

2006

Singapore Metro Line

- Contractor: Woh Hup – STEC –
- NCC JV – Tasei Corporation
- Fiber type: Dramix® RC65/60BN
- Length: 750 m & 650 m
- Diameter: 5.8 m
- Thickness: 275 mm
- Concrete strength: 60MPa
- Dosage rate: 30 kg/m

2010

Brisbane Airport link, AU

- Client: BrisConnections
- Contractor: TJH JV
- Designer: PBA JV & Hallcrow
- Fiber type: Dramix® RC80/60BN Duomix® M6 Fire
- Length: 15 km
- Diameter: 11.34m

2014

Lee Tunnel, UK Concrete Society Awards

- Contractor: Morgan Sindall/Vinci
- Grand Projets/Bachy Soletanche
- (MVB JV)
- Designer: Aecom/UnPS
- Owner: Thames Water
- Fiber type: Dramix® 3D 8060BG
- Length: 6.9 km
- Diameter: 7.2 m
- Thickness: 350mm
- Concrete class: C50/60

2016

Doha Metro, Qatar

- Contractor: JV Porr – Saudi BinLadin – HBK
- Designer: D&B by JV contractors
- Fiber type: DRAMIX® 4D 80/50 BG
- Diameter: 7.8 m
- Thickness: 350mm
- Length: 34 km

2020

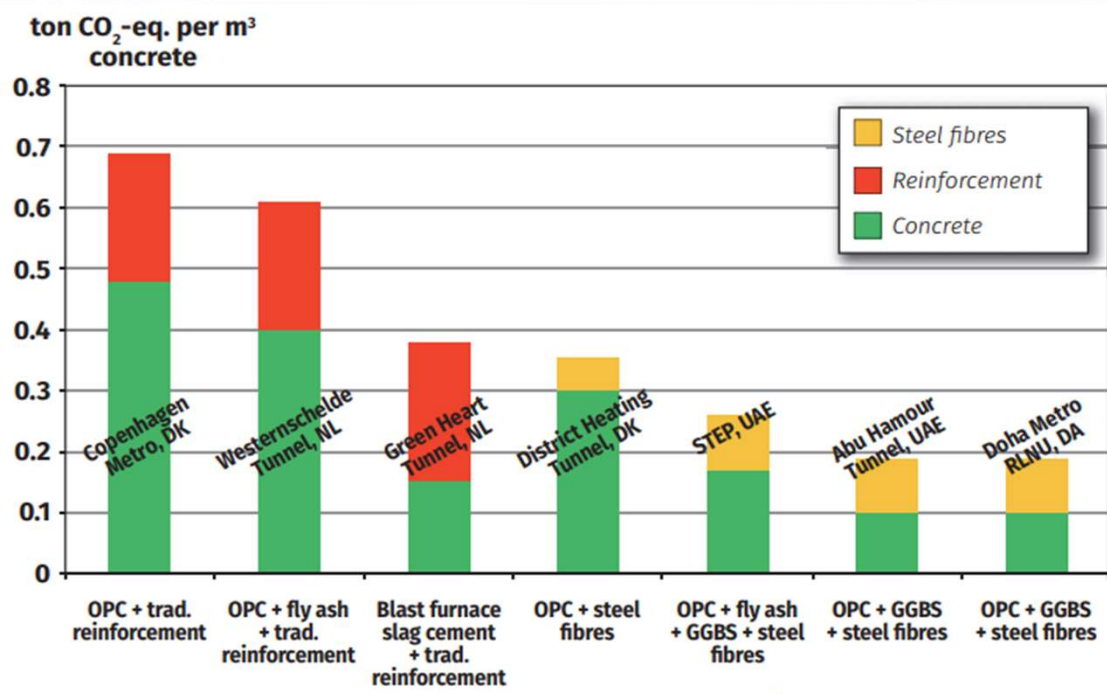
Grand Paris, France

- Owner : Société du Grand Paris (SGP)
- Designer: Egis
- Contractor: Eiffage Génie Civil
- Diameter: 9,50m
- Length: 16 km
- Thickness: 400mm
- Concrete quality: C 40/50
- Fiber type: DRAMIX® 3D 80/60 BGP
- **First important reference in definitive segments in the French Market**

2022

Toronto Project, Canada

Low Carbon Concrete Lining for tunnels -



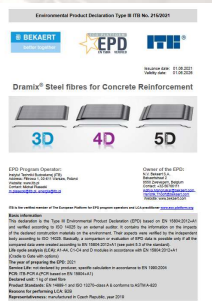
Confronto del consumo di CO₂ per differenti tipi di legante ed armature utilizzati in diversi progetti.

Nella pubblicazione intitolata **‘The consultant’s view on service life design’** by COWI Denmark viene fornito questo esempio di quante emissioni di CO₂ si possono risparmiare sostituendo il tradizionale cls + armature tradizionale con cls composito ed a basse emissioni + fibre d’acciaio.

- Doha Metro have just 0,2to vs 0,7to of CO₂ emission which Copenhagen Metro had.
- If Doha Metro would be built “traditional”... = 400.000 tons more CO₂ emission

Valutare le emission di CO2 eq

Environmental Product Declaration (EPD)



Cosa è un EPD?

- Certificazione di 3rd parte che comunica in maniera trasparente le principali performance ambientali lungo il ciclo di vita del prodotto (o manufatto)
- Oggi EPD disponibili per siti produttivi di Petrovice, Lonand, Karawang ; Shanghai and Izmit in fase di emissione

Quali sono I parametri principali di Dramix?*

Dramix® EPD GWP
0.88kgCO2e

Dramix® contenuto ric.
25%

Come e dove migliorare?



Più sostenibili
materie prime
(contenuto ric)



Energia proveniente
da fonti rinnovabili



Soluzioni che
prevedano
riutilizzo di
componenti

Valutare l'impatto di Dramix® in termini di sostenibilità

What is a life cycle assessment (LCA):

- Metodo scientifico che quantifica gli impatti ambientali lungo il ciclo di vita di un edificio / manufatto. Metodologia contenuta nella EN 14040 e EN 14044

Come si calcola:

- LCA software per le costruzioni
- Comparano I risparmi di CO₂ rispetto ad una soluzione definite "benchmark / riferimento"
- Creates awareness with transparency



Il ns impegno in termini di sostenibilità è riassumibile in 4 tematiche

1

EPD

il valore A1 ha il più alto impatto nel ns EPD ~60%. 85% del quale riguarda le emissioni di CO2 della vergella . (ns principale materia prima) **la Riduzione delle emissioni di CO2 derivanti dalla materia prima vergella è fondamentale**

Target: Raggiungere 0.7kgCO2e fine 2023. 0.6 entro 2025



2

Green Dramix Portfolio

Linea Dramix “sostenibile” in accordo con I regolamenti e I protocolli di sostenibilità al fine di **massimizzare il risparmio di CO2**

Target: lancio low carbon Dramix 4D ad alto Riciclato con EPD



3

Uso del rottame / scarti

La Maggiore importanza della **circolarita' dell'acciaio** è altresì influenzata dalla catena di valore; in corso investimenti per ridurre la CO2 footprint attraverso **maggiore integrazione acciaio proveniente da rottame nel processo produttivo**

Target: migliorare recycled content dal 20% a >50%



4

Dramix® for green concrete

La Transizione verso il green concrete sta avvenendo

Abbiamo già condotto test con prodotti MC Bauchemie, Hoffmann, Eco materials e mostrano risultati positivi con le fibre

Target: miglior. knowhow e ottimizz. Dramix nei nuovi mix design



- Bekaert R&D team insieme a università e società Ingegneria continua a studiare la riciclabilità e riutilizzabilità delle fibre metalliche

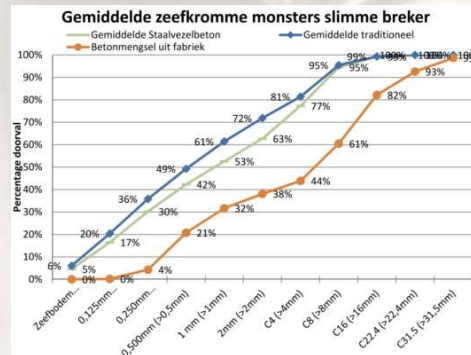
Test condotti su volume limitati di cls attestano una riciclabilità delle fibre al 95%

In Corso ricerche per portare risultati complete ricicl. Entro 5 anni

- Oggi il cls demolito viene impiegato nei sottofondi e l'acciaio riciclato
- La riciclabilità può essere ulteriormente migliorata riducendo dimensioni particelle e permettendone impiego nei cls.

- La complete riciclabilità degli SFRC è in fase di studio / sperimentazione
- Un programma di ricerca sul riciclo a seguito di demolizione con demolitori con bande magnetiche è in Corso con HAN Applied Science University

- In Corso programma biennale di studi sulla riciclabilità con KU Leuven
- La consapevolezza su queste tematiche è in continua espansione anche da parte delle società di ingegneria



Granular particles from smart crusher

Case Study

Grand Paris Express Line 16

Entities involved

- Owner Société du Grand Paris (SGP)
- Designer Egis
- Contractor Eiffage Génie Civil
- Precast plant Bonna Sabla

Tunnel parameters

- Year of construction 2020 – 2021
- Designed lifetime 100 years
- Total length 19 km (excavated)
- Diameter 8,70
- Quantity fibers 5.200T

Segmental lining parameters

- # of segments 7 per ring (incl. key)
- Size of segments L 2m x W 4m x T 0,40m
- Concrete quality C40/50
- Fiber type Dramix® 3D 80/60 BGP
- Fiber dosage 40 kg/m³



Grand Paris Express Line 16



Jean François MONTEILS

Chair of the Board of Société du Grand Paris

Voice of the Owner: Less Steel to Save Steel

- *“Our innovation policy is above all a lever for making the Grand Paris Express a project in the service of ecological transition and developing practices in the world of public works.*
- *This is why we are orienting many of our projects towards sustainable design and construction, such as reducing concrete, choosing materials or even operating solutions for the metro that consume less energy.*
- *Innovations have already given significant results....*
- ***The use of fiber-reinforced concrete for the construction of the segments of part of line 16. This is a first in France in underground work. Compared to reinforced concrete, fiber-reinforced concrete notably represents **savings of around 5,000 tonnes of steel for 10 kilometers of tunnels**”***
- *AFTES CONGRESS/SPG Website*

Grand Paris Express Line 16



VS

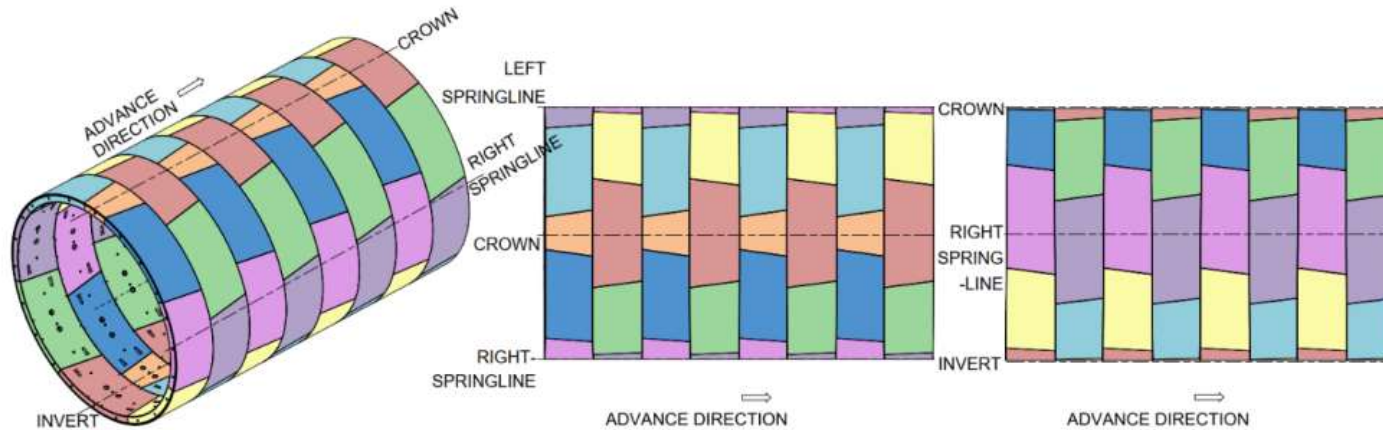
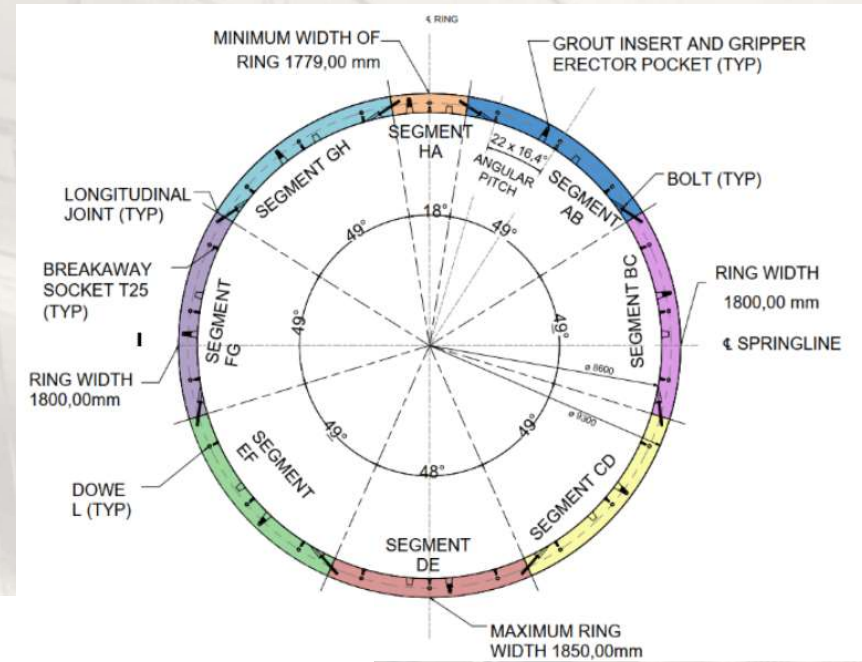


- 85 kg/m³ armature tradizionale
- 1 truck supplies 60 segments (17,85 t. per truck)

- 40 kg/m³ steel fiber
- 1 truck supplies 173 segments (24,2 t. per truck)
- 5000 ton steel production carbon saving per 10 km

Montreal Blue Line Extension

- 6 km two-track tunnel
- 5 new stations
- Internal diameter 8,6m
- 7+1 segments
- Thickness 350mm
- 40 kg/m³ Dramix 4D 80/60BG



Applying ACI 544.7R for Design and Construction of FRC Tunnel Segments in North America with Fiber-Enabled Carbon Footprint Reduction – M. Bakhshi & V. Nasri

Montreal Blue Line Extension

Mix Design Components	CO _{2,eq} Factor	Baseline Reinforced Concrete Mixture (OPC)			Moderate SCM Concrete Mixture with Fiber		
		Mass (kg/m ³)	CO _{2,eq} (kg/m ³)	% Replacement by Mass	Mass (kg/m ³)	CO _{2,eq} (kg/m ³)	% Replacement by Mass
Portland Cement	0.92	475.0	437		346.8	319.1	
Slag	0.1466	0.0	-	0%	104.5	15.3	22%
Fly Ash	0.093	0.0	-	0%	0	0	0%
Silica Fume	0.014	0.0	-	0%	23.8	0.3	5%
Admixtures	1.67	4.5	7.5	1%	4.5	7.5	1%
Aggregate	0.06	1430	8.6		1430	8.6	
Steel bar	1.85	80.0	148.00		-	-	
Dramix 4D	0.88	-	-		40	36.4	
		Total	601		Total	387	

35 % CO_{2,eq} saving per m³

Applying ACI 544.7R for Design and Construction of FRC Tunnel Segments in North America with Fiber-Enabled Carbon Footprint Reduction – M. Bakhshi & V. Nasri

Riferimenti Normativi



Le NTC 2018 includono il CLS Fibrorinforzato tra i materiali per la realizzazione di elementi strutturali

- **NTC 2018** par. 11.2.12

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 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 del 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 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.

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018

Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1100, alla legge 2 febbraio 1974, n. 94, al decreto del Presidente della Repubblica 9 giugno 2005, n. 300, ed al decreto legge 20 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 156. Le presenti norme sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 gennaio 2005.



Le Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici Maggio 2022 definiscono la progettazione, messa in opera e collaudo di elementi strutturali in FRC



*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale*

Linee guida per la progettazione, messa in opera, controllo e collaudo di elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre di acciaio o polimeriche.

Edizione maggio 2022

1

1 SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

Le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (di seguito NTC) prescrivono, al § 11.1, che tutti i materiali e i prodotti da costruzione, quando impiegati per uso strutturale, debbano essere identificati e in possesso di specifica qualificazione all'uso previsto e debbano altresì essere oggetto di controlli in fase di accettazione da parte del direttore dei lavori (DL).

A tal fine, le citate Norme prevedono che i calcestruzzi fibrorinforzati per uso strutturale debbano essere in possesso di un "Certificato di Valutazione Tecnica" (nel seguito CVT) rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sulla base di linee guida approvate dallo stesso Presidente.

Inoltre, le medesime NTC, al § 11.2.12 CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO (FRC) stabiliscono che *"sia per la qualificazione dei calcestruzzi fibrorinforzati che per la progettazione delle strutture in FRC, si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, rese attraverso apposite Linee Guida"*.

La presente Linea Guida fornisce le procedure per la progettazione, l'esecuzione e il controllo nel caso di impiego di calcestruzzi fibrorinforzati, denominati FRC (Fibre Reinforced Concrete), per la realizzazione di nuovi elementi strutturali e per il consolidamento di strutture esistenti in cemento armato.

Il calcestruzzo fibrorinforzato per impieghi strutturali deve essere qualificato in accordo al caso C) di cui al § 11.1 delle vigenti NTC ed in conformità alla *"Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)"*. Le caratteristiche meccaniche prestazionali del FRC alla base della progettazione sono definite nelle Linee Guida di cui sopra, sono contenute nel CVT di qualificazione e sono garantite dal Fabbricante.

I calcestruzzi fibrorinforzati possono essere preparati nello stabilimento del Fabbricante e forniti in cantiere come prodotto pronto per l'impiego, oppure forniti in cantiere come prodotto secco premiscelato, al quale va aggiunta l'acqua in cantiere. In ogni caso il Direttore dei Lavori può accettare soltanto prodotti in possesso della qualificazione di cui alle Linee Guida sopra citate.

Gli elementi strutturali in FRC possono essere classificati come:

- elementi lineari (travi, colonne, etc.);
- elementi prevalentemente bidimensionali verticali (lastre, setti, etc.);
- elementi prevalentemente bidimensionali orizzontali (piastre, pavimentazioni, etc.);
- elementi a guscio (tubi, conchi di tunnel prefabbricati, rivestimenti per gallerie, etc.);
- elementi tridimensionali le cui tre dimensioni sono paragonabili (fondazioni, frangiflutti, etc.).

4

• **NTC 2018**

par. 11.2.12

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 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 del 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 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.



*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale*

*Linea guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di
valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi
fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)*

Gennaio 2019



C.V.T. secondo *Linee Guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC*

Prove previste per il rilascio del CVT

Prove iniziali di Tipo (meccaniche)	n° campioni/prove
Prova di slump allo stato fresco	1
Prove di compressione (UNI EN 12390)	6
Prove di flessione (UNI EN 14651)	12
Prove di trazione (solo FRC incrudente a trazione, quindi > 8d, 8e)	12
Prove a lungo termine sul filo per fibre sintetiche	0



Spett.le:
 Servizio Tecnico Centrale – Divisione Tecnica II
 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
 Ministero delle Infrastrutture
 Via Nomentana, 2 – Roma
 Tel. 06/44.12.41.01 – Mail: consup.stc@mit.gov.it
 PEC: cplo.divtecnica2@pec.mt.gov.it

OGGETTO: RICHIESTA DI CERTIFICATO DI VALUTAZIONE TECNICA, AI SENSI DEL PAR. 11.1, LETTERA C, DEL D.M. 17/01/2018 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI" PER L'UTILIZZO DI CALCESTRUZZI FIBRORINFORZATI (FRC)

La scrivente Società _____ con sede legale in Via _____
 (_____) Tel. _____ Fax _____ e-mail _____ C.F./P.IVA _____ iscritta
 al R.E.A. di _____ al n° _____ nella persona del Legale Rappresentante, Sig. _____ nato a
 _____ (_____) il _____ C.F. _____ residente nel Comune di
 _____ (_____) in Via _____

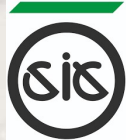
È CON LA PRESENTE A RICHIEDERE

il rilascio del Certificato di Valutazione Tecnica, ai sensi del par. 11.1, lettera c, del D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" per l'utilizzo di calcestruzzi fibrorinforzati FRC nel seguito specificati, ai sensi delle "Linee guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione di valutazione tecnica ed il controllo di accettazione dei calcestruzzi fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)" di cui al D.Cons.Supp.LL.PP. 09/04/2019, N. 208.

La presente richiesta riguarda le miscele di calcestruzzi fibrorinforzati con fibre di acciaio nel seguito elencate, prodotte all'interno dello stabilimento, per la realizzazione di manufatti prefabbricati quali _____.

Le miscele di FRC che si intendono qualificare sono le seguenti:

DENOMINAZIONE COMMERCIALE	Classe del calcestruzzo a compressione	Tipo di fibra	Dosaggio di fibre
		Bekaert Dramix _____	____ kg/m ³
		Bekaert Dramix _____	____ kg/m ³
		Bekaert Dramix _____	____ kg/m ³
		Bekaert Dramix _____	____ kg/m ³



**RIVESTIMENTI IN ANELLI DI CONCI PREFABBRICATI DI GALLERIE REALIZZATE CON TBM
INDUSTRIALIZZAZIONE E SOSTENIBILITA'**

Grazie per l'attenzione

Benoit De Rivaz
Global Technical Manager
Bekaert Underground Solutions

+33 682660878
Benoit.derivaz@bekaert.com

Gianluca Morselli
Regional Sales Manager Italy-Greece
Bekaert Underground Solutions

+39 3351344498
Gianluca.morselli@bekaert.com